

FISICAST

per
SxT

Radiazioni per la diagnostica medica

di
Riccardo Faccini



Radiazioni per la diagnostica medica

Riccardo Faccini

Abstract:

Le radiazioni non sono solo nocive, ma servono anche per aiutare il medico nella diagnostica e nella cura delle malattie. In questa puntata vedremo come vengono utilizzate le radiazioni per investigare cosa c'è all'interno del corpo umano e come funzionano i vari organi, sia con sorgenti esterne sia con sorgenti radiative direttamente dentro al paziente...

INIZIO

Introduzione: Continuiamo nel nostro viaggio di conoscenza delle radiazioni. Oggi cominceremo a capire, con Riccardo Faccini del dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "La Sapienza", quali sono le applicazioni mediche della fisica delle radiazioni. Allora, Riccardo, le radiazioni non fanno solo male, ma curano anche?

A: Sì certo, come ogni strumento, il loro effetto dipende dall'uso che se ne fa... Appropriatamente utilizzate non sono nocive, ma aiutano il medico sia nella diagnosi di una malattia che nella sua cura.

Prima però credo che sia meglio capire bene cosa è in questo contesto la "radiazione".

Q:Giusto, finora abbiamo sentito parlare il Prof. Pallottino di decadimenti radioattivi e fasci di particelle ...

A: Esatto. Le radiazioni di cui parliamo oggi sono particelle elettricamente cariche, quali elettroni e positroni, oppure neutre, quali i fotoni, cioè la radiazione elettromagnetica.

In tutti i casi, considereremo solo particelle che sono in grado di attraversare almeno qualche centimetro di tessuto umano (cioè di penetrare nel corpo umano o di uscirne). Questo vuol dire in particolare che tra i fotoni considereremo solo i più energetici ...

Q:... i raggi gamma? Ce ne hai parlato nella puntata "Le Onde Elettromagnetiche" ...

A: Esatto, i raggi gamma sono i fotoni più energetici che ci siano, però parleremo anche di raggi X. Prima però voglio presentare le particelle che

ci interessano. Facciamo così, ecco l'elenco: tu li introduci come attori ed io ne descrivo le caratteristiche importanti.

Q: OK mi piace, cominciamo, vai con la musica (parte musica da passarella) " Ed ecco a voi ... i raggi X"!

A: Passano indisturbati tra gli atomi, a meno che non colpiscano un elettrone e gli trasferiscano tutta la loro energia, facendolo schizzare via dal suo atomo, un processo noto come effetto fotoelettrico. Questo effetto è tanto più probabile quanto più l'atomo è ricco di elettroni. Quindi i raggi X attraversano la materia dove gli atomi hanno pochi elettroni per nucleo mentre vengono fermati dagli atomi con più elettroni. Per esempio un fascio di raggi X di energia tale da ridursi a un terzo ogni centimetro nei tessuti molli quale il muscolo, in fosfato di calcio, principale componente delle ossa, si riduce a un terzo ogni mezzo millimetro!

Q: " Ed ora ... i raggi gamma!"

A: Della stessa specie dei raggi X, ma più potenti, è altamente improbabile che l'elettrone riesca a fermarli completamente. Capita però che un raggio gamma lasci una parte della sua energia ad un elettrone per poi proseguire il suo cammino, lungo una direzione differente e con energia ridotta. Questo fenomeno si chiama "effetto Compton" ed è tipicamente almeno 10 volte meno probabile dell'effetto fotoelettrico. In conclusione però una buona percentuale di fotoni (sia X che soprattutto gamma) attraversano un corpo umano.

Q: " Ora è la volta degli elettroni!"

A: Elettricamente carichi, ogni volta che incontrano un atomo cedono un pochino della loro energia ai suoi elettroni, tipicamente strappando via quelli meno legati (fenomeno chiamato "ionizzazione"). Al contrario dei fotoni dunque non perdono tutta o gran parte della loro energia nell'interazione con un singolo atomo, ma la perdono a poco a poco mentre attraversano la materia. Spesso vanno a sbattere su un nucleo molto più pesante di loro. Alle energie di cui parliamo oggi l'attrazione elettrostatica del nucleo non è sufficiente a catturarlo, ma ne cambia la direzione. L'elettrone dunque nella materia si comporta come una pallina pazza: procede a zig-zag e torna su se stesso, penetrando in tutto soltanto qualche millimetro.

Q: "Chiude la passarella la star del settore, il positrone, anti-particella dell'elettrone!"

A: Finché non si ferma si comporta come l'elettrone al quale è identico se non per la carica elettrica che è opposta. Quando si ferma però si unisce ad un elettrone per formare raggi gamma, nel caso più interessante due e diretti lungo la stessa direzione in versi opposti. Quindi ai fini pratici non vediamo il positrone, ma una coppia di raggi gamma.

Q:Quindi, fammi riepilogare, i raggi X e gamma scappano ovunque, gli elettroni penetrano zig-zagando per millimetri ed infine i positroni risultano a tutti gli effetti come una coppia di raggi gamma ...

A: Bravissima

Q:Grazie, ora però possiamo cominciare a parlare di applicazioni mediche?

A: Sì certo. Per prima cosa chiariamo che il medico può essere aiutato dalle radiazioni sia nel fare la diagnosi, cioè nello stabilire se ci sia una malattia, quale sia ed in che stadio, sia nella terapia. Oggi ci occuperemo di diagnostica, sempre ricordando che ci vogliamo concentrare sugli aspetti fisici e non su quelli medici di cui non sono competente.

Q:Si' certo ...

A: A loro volta esistono due tipi di diagnostica, quella morfologica e quella funzionale. Una diagnostica morfologica fornisce informazioni riguardo alla forma e al posizionamento degli organi ed alla densità dei tessuti. Con essa è cioè possibile stabilire se c'è una massa anomala, un osso rotto, un organo ingrossato o deformato, e così via...

La diagnostica funzionale invece investiga la funzionalità di un organo o di un tessuto. Ci permette cioè di dire se sta funzionando o quale parte di esso si attiva quando si compie una determinata azione. Similmente, permette di capire se una massa ignota assorbe o meno determinate sostanze e in base a questo il medico può determinarne la natura.

Q:Se ben capisco dunque la radiografia è una diagnostica morfologica, ma non me ne viene in mente una funzionale...

A: Credo che la più comune sia la scintigrafia, ne avrai sentito parlare ...

Q:Sì ma non ne so nulla ...

A: Bene, allora cominciamo a descrivere come funziona la più comune e la più nota delle diagnostiche che fanno uso di radiazioni, la radiografia. Hai presente come funziona?

Q:Beh ti mettono a contatto con una lastra e ti puntano una specie di macchinetta fotografica contro. Dopo aver scattato è la lastra a contenere l'immagine.

A: OK, come descrizione è corretta. Una prima osservazione interessante è che quella che descrivi come una specie di macchinetta fotografica in realtà è la sorgente di raggi X, detta "Tubo Catodico". Al suo interno c'è un filamento che si arroventa per il passaggio di corrente, un po' come quello nelle lampadine a bulbo ormai desuete. Questo filamento emette elettroni, che vengono accelerati da un campo elettrico e mandati a sbattere contro una lastra di metallo pesante, tipicamente tungsteno. Nel

fermarsi all'interno del metallo, gli elettroni emettono raggi X, e questi escono dalla finestrella che sembra l'obiettivo della macchina fotografica.

Q:Dopo di che i raggi X vengono fermati dalle parti più dure del corpo (per esempio le ossa) mentre passano attraverso le altre, giusto?

A: Sì ... per essere un pochino più precisi, i raggi X, come abbiamo visto durante la sfilata delle particelle, sono più facilmente catturati per effetto fotoelettrico dagli atomi con un alto numero di elettroni. Questo equivale a dire che i principali costituenti dell'osso, fosforo e calcio, che hanno 15 e 20 elettroni per atomo rispettivamente, fermano i raggi X maggiormente dei componenti degli altri tessuti: infatti idrogeno, carbonio ed ossigeno hanno rispettivamente 1, 6 e 8 elettroni per atomo. Per oltre due terzi, infatti, siamo fatti di acqua, cioè ossigeno e idrogeno.

In conclusione dunque ho una sorgente di raggi X che irradia la parte da studiare. La maggior parte dei raggi X passa attraverso il corpo, ma la frazione di quelli che sono assorbiti dipende da quanti atomi ad alto numero di elettroni si interpongono tra la sorgente ed il rivelatore.

Q:Il rivelatore sarebbe la lastra fotografica, giusto?

A: Sì ... anche se oggi non si usano più le lastre fotografiche. Se ci fai caso non viene più estratto qualcosa dalla piastra dietro al paziente. I fotoni vengono rivelati con CCD (che sta per Charge-Coupled Device), cioè quella stessa tecnologia che è usata per fare fotografie con le macchinette digitali.

Q:Vuoi dire che potrei fare una radiografia alle persone con la mia macchinetta fotografica?

A: No scusa, sarò più dettagliato. Per fare una radiografia si generano raggi X con un tubo radiogeno e si illumina con essi la parte del corpo di interesse. I raggi X che non vengono assorbiti dal corpo raggiungono uno schermo fatto di materiale (il fosforo) che colpito dai raggi X rilascia luce visibile. I sensori CCD sfruttano a loro volta l'effetto fotoelettrico per vedere la luce: i fotoni arrivano su uno strato di silicio, ne estraggono elettroni energetici che a loro volta per ionizzazione estraggono molti elettroni con meno energia e questi elettroni provocano un segnale elettrico che siamo in grado di misurare. In definitiva siamo in grado di contare i raggi X che passano attraverso il dispositivo.

Se poi acquisisco tante immagini radiografiche posso fare una tomografia.

Q:Una che?

A: La tomografia è una tecnica matematica in grado di produrre una immagine 3D a partire da molte radiografie 2D prese ad angolazioni diverse. Per capirci, ogni radiografia è una proiezione su un piano (cioè 2D) del numero di atomi con molti elettroni nel corpo umano. Con la

tomografia si combinano tante proiezioni ottenute facendo ruotare attorno al paziente sia la sorgente di raggi X che il rivelatore, per ottenere un'immagine tri-dimensionale di tutto il paziente. Questa diagnostica si chiama CT (ossia computerized tomography), gergalmente detta TAC (che sta per Tomografia Assiale Computerizzata) in italiano.

Q:Quindi la TAC non è altro che una sequenza di radiografie opportunamente elaborate?

A: Esatto

Q:Grazie, ora ho un'idea un po' più approfondita della radiografia, che però mi era già un po' nota. Mi parlavi prima però di scintigrafia?

A: Con la scintigrafia entriamo nell'ambito della diagnostica che si effettua con raggi gamma invece che X. I raggi gamma sono più energetici. In particolare hanno un'energia sufficiente per alterare il nucleo degli atomi. Questa è la differenza fondamentale tra raggi X e gamma che ne giustifica il cambio di nome pur essendo tutti fotoni energetici: i raggi X hanno un'energia sufficiente ad estrarre gli elettroni più interni degli atomi, mentre i raggi gamma hanno un'energia circa mille volte superiore, pari a quella che si sprigiona nei processi nucleari. Dal punto di vista medico, si passa dalla radiologia alla medicina nucleare.

Q:Però posso fare lo stesso, sparare un fascio di raggi gamma e guardare l'immagine dall'altra parte? Hai detto che anche loro risentono degli atomi con l'effetto Compton?

A: Teoricamente sì, ma sarebbe altamente inefficiente. Irradiare un paziente con raggi gamma e tentare di rivelare il risultato dell'interazione di tali raggi con i tessuti sarebbe molto più complicato e dannoso per il paziente ed il personale medico. Non c'è motivo per fare una cosa del genere. Si possono però sfruttare le caratteristiche fisiche dei raggi gamma per far sì che la sorgente radioattiva sia dentro il paziente e non fuori!

Q:Mamma mia fa un po' impressione, spiegati meglio ...

A: Al contrario dei raggi X che richiedono un tubo catodico per essere generati, i raggi gamma si ottengono da nuclei instabili, detti radio-nuclidi, che decadono, cioè si trasformano in nuclei più leggeri emettendo tra l'altro raggi gamma. Il bello è che questo processo non avviene nell'istante in cui i nuclei instabili vengono generati, ma avviene in continuità nel tempo; in particolare in ogni secondo decade la stessa frazione del nucleo (diversa da elemento a elemento): ogni radio-nuclide ha una sua "emi-vita", cioè un tempo, misurato in secoli come il radium 226 naturale o in giorni come l'Iridio 192, dopo il quale si dimezza il numero di nuclei ancora non decaduti, e corrispondentemente l'intensità della radiazione emessa.

Quindi se io mi procuro un radio-nuclide in un dato momento, esso continuerà ad emettere radiazione per un tempo confrontabile con qualche emivita. Per applicazioni mediche occorre scegliere radionuclidi con emivite maggiori di un'ora (altrimenti non riesco neanche a trasportarlo da dove lo produco a dove lo uso) ma minori di qualche giorno (altrimenti la radioattività rimane attiva troppo a lungo nel paziente).

Q:E come si usano questi ..."radio-nuclidi"?

A: Vengono legati chimicamente a farmaci che hanno un comportamento noto negli organi che si vogliono studiare. Per esempio per una scintigrafia ai reni si usa un farmaco che arriva rapidamente ai reni stessi. Questo composto farmaco più radionuclide (detto radiofarmaco) viene iniettato nel paziente e si attende che vada in circolo. Quando è arrivato dove deve, emetterà raggi gamma da quella zona e si sfrutta il fatto che i raggi gamma attraversano tessuti molto spessi ed escono per lo più dal paziente. Vedendo da dove provengono i raggi gamma si trova dove si è andato a localizzare il farmaco e da questo si valuta il funzionamento dell'organo interessato. Per esempio nel caso della scintigrafia ai reni tra le varie cose si riesce a capire se il farmaco è andato in ugual quantità ai due reni o se uno di essi funziona meno dell'altro.

Q:Ed i raggi gamma come si rivelano?

A: Anche i raggi gamma si rivelano sfruttando il fatto che rilasciano la loro energia agli elettroni. Solo che in questo caso, visto che la probabilità che questo rilascia avvenga è minore, occorrono rivelatori molto più spessi e densi dei CCD. Inoltre la differenza principale con la radiografia è che in questo caso non so dove è la sorgente. Quindi devo misurare anche la direzione di provenienza del raggio gamma, mentre nel caso della radiografia io dovevo solo capire se il fotone era arrivato o meno da una sorgente in posizione nota.

Q:Ma come si fa a misurare la direzione di provenienza di un fotone?

A: In effetti i CCD contano solo i fotoni che vi arrivano. Occorre dunque fare in modo che vi arrivino solo i fotoni che provengono da una certa direzione. Questo viene realizzato facendo uso dei collimatori, lastre metalliche, di spessore sufficiente a fermare i raggi gamma, con fori paralleli per far passare solo i fotoni che arrivano da una direzione ben determinata. Questo rende l'apparecchiatura più pesante e difficile da maneggiare che nel caso della radiografia.

Q:Grazie Riccardo, è stato molto interessante parlare di diagnostica ...

A: Vuoi chiudere qui sul più bello, senza parlare di come si usa l'antimateria per la diagnostica?

Q:L'antimateria? Suona un po' fantascientifico...

A: Eppure chi fa un esame diagnostico chiamato PET, diventa una sorgente di anti-elettroni, chiamati positroni.

Q:Ah quelli che alla fine producono una coppia di raggi gamma.

A: Esatto. In questo caso al farmaco che raggiunge l'organo di interesse si legano radio-nuclidi che invece di produrre raggi gamma producono positroni tramite quello che si chiama il decadimento beta+.

Q:E perche' mai usare positroni?

A: Da un lato perché nel caso dei positroni è più facile capire dove si trova la sorgente, dalla quale provengono due fotoni emessi lungo lo stesso asse ma in due direzioni opposte. Se infatti posiziono un anello di rivelatori attorno al paziente, ogni volta che si accende una coppia di rivelatori io so che il corrispondente positrone era da qualche parte lungo l'asse che congiunge i due rivelatori. Con una tecnica tomografica (e infatti PET sta per positron emission tomography, tomografia ad emissione di positroni) posso risalire alla posizione tridimensionale della sorgente di positroni

C'è però anche un motivo medico. Gli emettitori di raggi gamma e di positroni sono diversi tra loro e si legano a farmaci diversi. Ci sono dunque dei casi clinici in cui si può usare esclusivamente la PET. Il caso più classico è legato al fatto che il fluoro può avere un nucleo che emette positroni, se opportunamente prodotto (non spaventatevi normalmente il fluoro non è radioattivo). Il fluoro può essere legato ad uno zucchero, formando quello che si chiama l'FDG. Poiché le cellule tumorali sono particolarmente avidi di zuccheri, se inietto un FDG con fluoro radiattivo sono in grado di distinguere se un particolare tessuto assorbe molto zucchero oppure no. Per esempio posso avere informazioni sulla natura di una massa identificata da una TAC. Posso inoltre dire se ci sono metastasi lontane dal tumore primario, metastasi che sarebbe impossibile vedere con una TAC, perché piccole e non si sa dove.

Q:Grazie! Certo che e' sorprendente quanta fisica di base c'e' in medicina!

A: Sicuramente, e non abbiamo ancora affrontato le possibili applicazioni terapeutiche. ma di questo ne parleremo la prossima volta ...

FINE