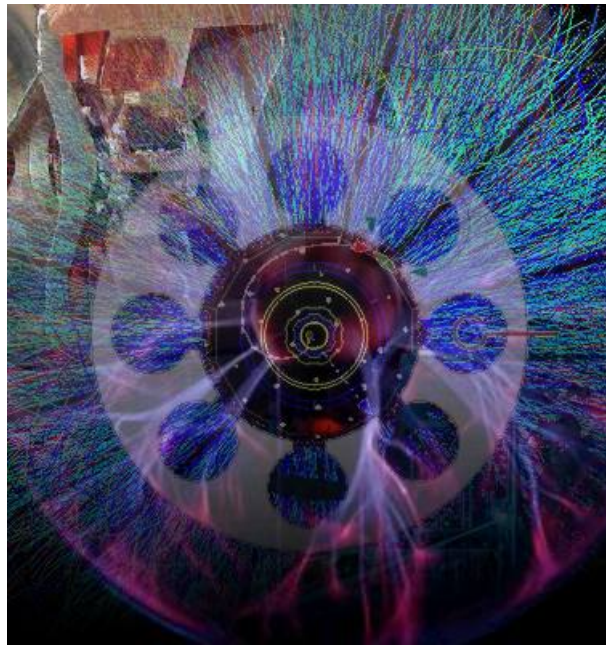


paolo carlizza (paolo.carlizza)

LE RADIAZIONI IONIZZANTI

29 January 2010



radiazioniionizzanti.jpg

'Grassetto

Generalita'

Le radiazioni del campo elettromagnetico sono divise in **ionizzanti** e **non ionizzanti**.

Le prime hanno **energia** tale da scalzare **elettroni** nelle orbite atomiche, mentre le seconde interagiscono con le cariche libere della materia, i dipoli preesistenti e indotti dallo stesso campo.

Le prime, producono alterazioni importanti nelle strutture delle **cellule** di un organismo vivente, mentre per le seconde, un tessuto si comporta come un conduttore alle basse frequenze ed un dielettrico alle alte e soprattutto si crea uno sviluppo di calore, per effetto joule.

Le radiazioni ionizzanti sono quindi molto più energetiche delle non ionizzanti e si collocano soprattutto subito dopo lo **spettro dell'ultravioletto** che fa da separatore tra i due tipi di radiazioni.

Le non ionizzanti sono soprattutto le onde radio, mentre le ionizzanti sono costituite come onde elettromagnetiche dai **raggi X** e **gamma**, come **radiazioni corpuscolari** da particelle alfa, beta, protoni e ioni.

La radiazione corpuscolare e' direttamente ionizzante in quanto produce ioni durante il suo percorso, mentre la radiazione elettromagnetica X e gamma e' detta indirettamente ionizzante, perche' mette in moto una radiazione corpuscolare associata, che e' responsabile della ionizzazione vera e propria.

Interazioni delle particelle cariche con la materia.

Perdite di energia per collisioni.

Una particella carica perde energia in collisione nell'attraversare un mezzo: si hanno collisioni prossime e distanti. Una collisione prossima e' quando un particella carica di muove nel campo coulombiano generato da un elettrone: se esso, nella collisione, riceve una energia maggiore di quella di legame all'atomo, si ha la ionizzazione. Quando la carica passa lontano dall'atomo essa interagisce con tutto il sistema atomico e non piu' con un elettrone: l'atomo riceve una quantita' di energia che lo porta ad uno stato eccitato. Si puo' quantificare l'energia che una particella carica perde per collisioni, in un percorso infinitesimo dx ed essa vale:

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right) = n^2 e^4 N Z K B m v^2$$

dove:

e la la carica dell'elettrone e la carica della particella N e' il numero atomico di atomi/unita' di volume del mezzo percorso dalla particella m la massa dell'elettrone v e' la velocita' della particella prima dell'interazione Z il numero atomico del mezzo K e' una costante che dipende da una particella carica B e' una funzione della velocita', del tipo della particella e dell'energia media di legame degli atomi nel mezzo.

Il rapporto $-(dE/dx)$ e' detto potere frenante per collisioni o LET, energia perduta nell'unita' di percorso

Occorre dire che la particella produce nel suo cammino un certo numero di ionizzazioni, prima di perdere il suo contenuto energetico ed e' definibile, come energia media di ionizzazione il rapporto E/N_0 dove N_0 e' il numero di ionizzazioni. Questa energia e' dunque superiore a quella necessaria per produrre una singola ionizzazione. L'energia media di ionizzazione e' compresa tra 30 4 40 eV.

Perdita di energia per irraggiamento

Un elettrone di carica e , massa m e con velocità v che passa nel campo elettrico generato da un atomo di carica elettronica $+Ze$ è sottoposto alla forza:

$$F = \frac{Ze^2}{4\pi d^2}$$

dove π è il numero di PI e d la distanza dell'elettrone dal nucleo del mezzo. Per questo l'elettrone subisce una accelerazione, in quanto è sottoposto alla forza coulombiana e questa grandezza vale

$$a = \frac{F}{m} = \frac{Ze^2}{4\pi m d^2}$$

È noto dalla fisica che qualunque particella carica sottoposta ad una accelerazione, irradia onde elettromagnetiche e la loro potenza è proporzionale al quadrato dell'accelerazione. Da ciò si intuisce che il potere frenante è proporzionale a NZ^2 e quindi esso è importante per materiali ad elevato numero atomico. Si deduce anche che l'energia irradiata da un elettrone è maggiore di quella di una di particelle più grandi, in quanto subiscono accelerazioni minori (particelle alfa, protoni ed ioni).

Se la velocità degli elettroni sono paragonabili con quella della luce la potenza irradiata è proporzionale all'energia E della particella.

Infatti $\left(\frac{dE}{dx}\right)$ è proporzionale ad ENZ^2 .

Abbiamo tutti gli elementi per far vedere come funziona un apparecchio a raggi X, per le radiografie. Infatti gli elettroni emessi per sollecitazione termica vanno verso il catodo irraggiano e ionizzano l'atomo, strappandogli un elettrone; l'atomo eccitato emette in quanto X allorché un altro elettrone passa da un'orbita più esterna ad un'orbita più interna, dove si trovava l'elettrone allontanato dall'atomo per collisione.

L'effetto fotoelettrico o fotovoltaico

L'effetto fotovoltaico è quello che produce la ionizzazione di un atomo, quando è investito da una radiazione. La radiazione può essere trattata anche in modo quantico e quindi ciò che eccita l'atomo è il quanto $E=h \cdot f$, dove h è la costante di Planck ed f la frequenza di radiazione. La luce, per esempio, ha una frequenza più bassa e quindi con meno energia, rispetto ai raggi X e per questo nel caso della luce vengono ionizzati gli elettroni più esterni dell'atomo colpito da radiazione, mentre per i raggi X, sono estratti anche quelli più interni e quindi il tasso di ionizzazione è maggiore. Infine si dimostra che il quanto di luce interagisce con elettroni legati

all'atomo e non con elettroni liberi, in virtù del teorema della conservazione della quantità di moto. Nell'effetto fotovoltaico le perdite per collisioni sono praticamente trascurabili rispetto a quelle per irraggiamento: questo perché l'elettrone emesso ha bassa energia (l'effetto fotoelettrico avviene per basse energie).

L'effetto Compton

In questo caso, il quanto incidente interagisce col singolo elettrone con una certa energia e viene deviato in un'altra direzione, perdendo energia. Il legame dell'elettrone con l'atomo non è essenziale all'accadimento del fenomeno. Date le energie non basse del fenomeno, avvengono sia perdite per collisioni, che per irraggiamento, ovvero il quanto di luce ionizza l'atomo e l'elettrone estratto è accelerato in una direzione diversa, ma anche il quanto di luce è deviato di un certo angolo (perdita di radiazione). I quanti con energia più bassa invece vengono scatterati in avanti ed indietro, con la stessa probabilità del 50%.

Effetto di materializzazione.

In poche parole, per quest'effetto, il quanto che interagisce con un atomo dà luogo ad una coppia elettrone-positrone. Queste due particelle, prodotte dalla materializzazione, dopo vari urti perdono energia in collisioni ed irraggiamento ed una volta esaurita la loro energia, l'elettrone viene catturato da un atomo, mentre il positrone interagisce con un elettrone atomico e si annichila producendo due quanti.

Effetti sull'uomo

Le radiazioni ionizzanti sono molto più pericolose delle non ionizzanti, in quanto provocando l'estrazione di ioni dagli atomi che compongono le cellule, modificano la struttura molecolare e le proprietà chimiche della materia con cui interagiscono. In particolar modo è influenzato in gran parte il processo di divisione cellulare e l'effetto tanto più è marcato, quanto più è rapido il meccanismo di divisione.

Infatti con i raggi X e bombardamenti di ioni si cercano di far morire le cellule tumorali, che si estinguono così in fretta. L'ultimo effetto dell'interazione con una cellula è l'aumento dell'agitazione termica molecolare. Gli effetti in generale, si dividono in due categorie:

- somatici, che si ripercuotono sull'individuo stesso
- genetici, che si manifestano sulla discendenza.

Effetti somatici

Questi effetti causano problemi, che riguardano, in maniera immediata:

- la pelle, dove si producono gravi ulcerazioni
- il cristallino, che diviene definitivamente opaco
- il midollo osseo, la milza e le linfoghiandole, che perdono il loro corretto funzionamento
- le gonadi, con danni irrimediabili alla funzione di fertilità

Le dosi pericolose assorbite vanno al di sopra dei 0.25 Sv (**1 severt = 1 Joule/Kg**); la dose di 1 Sv può essere mortale, mentre da 2 a 6 Sv la mortalità è del 50% ed infine da 6 a 10 Sv si hanno casi quasi totali di decesso: la morte avviene soprattutto per danni al midollo osseo, al sistema gastro-intestinale ed al sistema nervoso. Gli effetti differiti sono costituiti soprattutto dalle neoplasie.

Effetti genetici

Sono costituiti fondamentalmente da mutazioni sui discendenti, che danneggiano l'organismo umano, piuttosto perfezionarlo: quindi avviene l'insorgenza di albinismo, cretinismo e malformazioni genetiche.

Questa causa può rivelarsi nei suoi effetti, anche dopo diverse generazioni.

Probabilità di suscitare un evento pericoloso, in funzione della dose.

Questa probabilità dipende dal dosaggio:

- per dosi piccole ha un andamento lineare a pendenza più bassa.
- per dosi medie e medio-alte l'andamento è sempre lineare, ma con una pendenza più marcata
- per dosi alte l'andamento è di tipo quadratico.

Limiti di dose

Si distinguono quattro categorie:

- Lavoratori di categoria A
- Lavoratori professionalmente esperti di categoria B
- Apprendisti e studenti
- Persone del pubblico.

Per i lavoratori di categoria A, il valore suscettibile ricevuto di radiazione in un anno solare è:

- **6 mSv** (globale-totale)
- **45 mSv** per il cristallino
- **150 mSv** per la pelle, mani, piedi e caviglie

Per quanto riguarda i limiti:

un lavoratore di categoria A non deve ricevere una dose equivalente superiore a 100 mSv in 5 anni consecutivi solari, con un massimo di 50 mSv in un anno solare

Per le esposizioni parziali valgono come limiti i valori già visti, ma moltiplicati per 10.

La zona dove esercitano i lavoratori di categoria A è una zona di tipo controllato, delimitata e segnalata in maniera efficace.

Un esperto qualificato valuta quindi, i dispositivi di protezione, le barriere di protezione, compie le misure e valuta le dosi ricevute dal personale.

Medici autorizzati controllano periodicamente la salute dei lavoratori.

Un lavoratore di categoria B è suscettibile di ricevere in un anno solare la dose equivalente maggiore ad 1 mSv, ma meno di quanto indicato per la categoria B

La zona dove essi operano è una zona di tipo sorvegliata, e viene controllata da un'esperto qualificato.

Medici non necessariamente autorizzati verificano le condizioni di salute dei lavoratori.

Per gli apprendisti-studenti, le dosi equivalenti suscettibili di essere assorbite per ogni anno solare sono funzione dell'età e del tempo d'impiego.

Per le persone del pubblico, il limite di dose globale è 1 mSv per anno solare.

Sorgenti di [Raggi X](#)

Le sorgenti sono costituite da:

- tubi valvole, apparecchiature o altri dispositivi che accelerano particelle elementari cariche con energie:
 1. superiori a 20 [keV](#)
 2. superiori a 5 keV (anche inferiori a 20 keV), con una dose equivalente a 5 cm. Uguale o superiore a 5 mS/h
- tubi catodici che forniscono immagini televisive con una dose di uguale a 5 mS/h ad una distanza di 5 cm

le norme CEI stabiliscono un'intensita' di esposizione inferiore a 0.5 mR/h a 5 cm dalla superficie esterna dell'apparecchio

Per esempio un televisore emette meno di una sorgente a raggi X, perche' la quantita' di particelle emesse dipende dal numero atomico del materiale colpito. Infatti l'anticatodo per gli apparecchi a raggi X e' di tungsteno, mentre la maschera di un televisore e' di ferro, nichel e rame, con un numero atomico piu' basso.

Sorgenti a raggi X possono essere ad esempio:

- [tubi catodici](#) ingegnere
- [klystron](#)
- [thyatron](#)
- [magnetron](#)
- [laser](#)
- [microscopi elettronici](#)
- diffrattometri
- [spettrometri](#)
- generatori di plasma
- apparecchi a raggi X per ogni uso
- [acceleratori di particelle](#) lineari e ciclici

Barriere protettive contro i raggi X

I raggi X sono costituiti di quanti eteroenergetici: radiazione continua di bremstrahlung e quanti caratteristici. I primi stanno nella parte piu' bassa dello spettro, i secondi hanno frequenza maggiore. Il fascio utile che emerge da un apparecchio di raggi X, viene di solito filtrato con barriere di alcuni millimetri di spessore di Al e Cu, con lo scopo di trattenere i quanti di piu' bassa energia non utilizzabili per il fine cui l'apparecchio e' destinato e che provocherebbero una irradiazione indebita del soggetto. Nonostante il filtro, il fascio rimane sempre eteroenergetico. Si definisce primaria la barriera verso cui puo' essere rivolto il fascio utile. Oltre il fascio utile l'apparecchio emette anche verso direzioni non volute (radiazione di fuga), nonostante le guaine protettive che lo racchiudono. La radiazione di fuga non deve dare luogo ad un metro di distanza dal fuoco dell'apparecchio, ad una esposizione maggiore di un limite variabile da 0.1 a 1 R/h, a seconda del tipo di apparecchio.

Nel caso di un'applicazione medica la radiazione interagisce con la persona sotto esame e con lo schermo primario, dando origine a radiazioni diffuse dalla persona e dallo schermo, per effetto fotoelettrico e per quello Compton. I quanti diffusi all'indietro dalla barriera primaria sono in numero trascurabile perche':

- la barriera ha un forte coefficiente di attenuazione (materiale con elevato numero atomico, come il piombo) e si ha una diffusione per effetto fotoelettrico
- i quanti piu' energetici interagiscono per effetto Compton e sono diffusi in avanti.

In definitiva e' apprezzabile solo la radiazione diffusa dal tessuto biologico (basso numero atomico). Detto questo e fatte le valutazioni necessarie si ha che i raggi diffusi dal tessuto biologico hanno approssimativamente la stessa quantita' energetica della radiazione diffusa, in quanto i raggi provocati dall'effetto Compton hanno intensita' poco apprezzabile. Oltre le barriere primarie, ci sono anche quelle secondarie, che hanno il compito di attenuare l'intensita' della radiazione diffusa e di quella di fuga.

Paolo Carlizza - Roma, 5 maggio 2010

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Paolo.carlizza:radiazioni>"