

## Le radiazioni ionizzanti

### 1. Generalità

Le radiazioni ionizzanti sono, per definizione, onde elettromagnetiche e particelle capaci di causare, direttamente o indirettamente, la ionizzazione degli atomi e delle molecole dei materiali che attraversano. In pratica, nell'attraversare la materia, queste radiazioni riescono a sottrarre, in virtù della loro energia, elettroni dagli atomi (o molecole) creando così una coppia di particelle cariche (nella figura 1 si è riportato uno schema esemplificativo del processo di ionizzazione da radiazione).

Le radiazioni ionizzanti possono essere di due tipi:

- *radiazioni di natura corpuscolare*, fondamentalmente particelle subatomiche o nucleari dotate di una certa massa e, spesso, di carica elettrica; secondo le leggi della fisica quantistica tali particelle, sebbene siano corpi dotati di massa e quindi di un certo "peso", possono comportarsi come onde (dando luogo a fenomeni di diffrazione e interferenza) e durante i processi di interazione con la materia possono cedere energia al mezzo attraversato;
- *radiazioni di natura ondulatoria*, chiamate "fotoni", costituite da particelle di massa nulla e sprovviste di carica elettrica.



Si usa distinguere tra "radiazioni direttamente ionizzanti" e "radiazioni indirettamente ionizzanti". Sono direttamente ionizzanti le particelle cariche (elettroni, particelle  $\beta$ , particelle  $\alpha$ , ecc.); sono invece indirettamente ionizzanti i fotoni (raggi X e raggi  $\gamma$ ), e le particelle neutre (neutroni).

Le particelle  $\alpha$  e le particelle  $\beta$  sono emesse nei decadimenti radioattivi. Le prime si compongono di due neutroni e due protoni. Le seconde sono del tutto simili agli elettroni, ma contrariamente a questi possono avere carica sia negativa che positiva. I neutroni sono emessi nella disintegrazione spontanea di elementi pesanti prodotti artificialmente e nelle reazioni nucleari.

Convenzionalmente si definiscono raggi X tutte le radiazioni elettromagnetiche prodotte per frenamento (*bremstrahlung*) di particelle cariche e le radiazioni emesse dagli elettroni orbitali di un atomo durante un processo di "riassestamento". Sebbene della stessa natura, si definiscono raggi  $\gamma$  tutte le radiazioni derivanti da transizioni nucleari (ad esempio le radiazioni elettromagnetiche emesse dai radioisotopi).

Una caratteristica molto importante delle radiazioni è la loro energia, che si misura in joule [J], o, più diffusamente in fisica delle radiazioni, in elettronvolt [eV]. Per definizione un elettronvolt è l'energia che una carica elementare (quella di un elettrone o di un protone) acquista attraversando una differenza di potenziale di 1 Volt ( $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ ). Multipli sono il keV ( $10^3 \text{ eV}$ ), il MeV ( $10^6 \text{ eV}$ ), il GeV ( $10^9 \text{ eV}$ ). Ad esempio, in un tubo a raggi X un elettrone, attraversando la differenza di potenziale di 100.000 Volt, acquista un'energia di 100.000 eV (100 keV). Una particella  $\alpha$  avendo carica doppia, attraversando la stessa differenza di potenziale, acquista un'energia doppia, pari a 200 keV.

## 2. L'interazione con la materia

Le radiazioni ionizzanti, propagandosi nello spazio, possono incontrare materia vivente e non, con la quale possono interagire. I meccanismi di interazione sono diversi e dipendono dal tipo di radiazione, dall'energia e dalle caratteristiche del materiale attraversato. Ne segue una diversa capacità di penetrazione dei vari tipi di radiazioni nei vari materiali.

### 2.1 Radiazioni direttamente ionizzanti

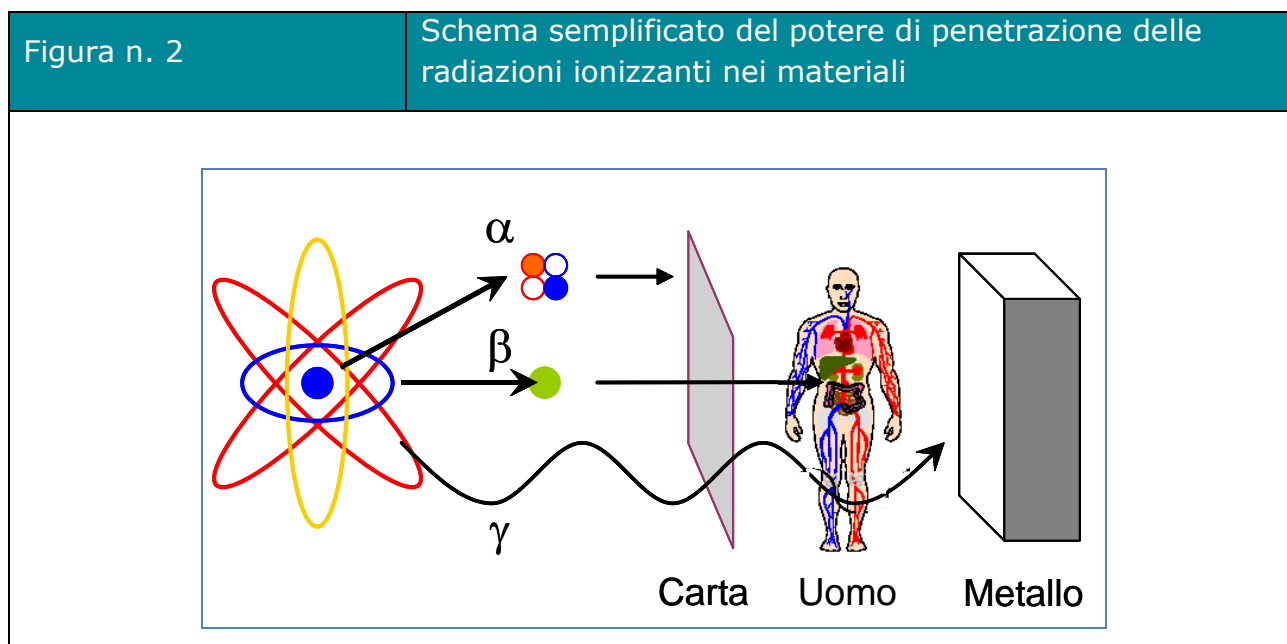
Le particelle cariche pesanti (protoni, particelle  $\alpha$ , deutoni, ecc.) nell'attraversare la materia cedono la loro energia per lo più mediante urti elastici con gli elettroni atomici; la perdita di energia è caratterizzata da una innumerevole quantità di urti, ciascuno dei quali coinvolge tipicamente una frazione molto piccola dell'energia della particella incidente.

A loro volta, gli elettroni liberati dall'urto (detti anche raggi  $\delta$ ) acquistano energia che perdono successivamente urtando altri elettroni atomici. Questo meccanismo produce una ionizzazione a distanza dal fascio primario; in altre parole, i raggi  $\delta$  possono formare gruppi di ioni in prossimità della traccia primaria stessa in funzione della loro energia.

Occasionalmente, con probabilità molto minore, la particella può urtare il nucleo di un atomo (collisione nucleare), provocandone la rottura e perdendo una frazione

consistente di energia. A titolo di esempio, particelle pesanti molto energetiche perdono mediamente 2 MeV per ogni centimetro percorso in acqua.

La perdita di energia delle particelle cariche pesanti è linearmente proporzionale alla densità della materia attraversata e il meccanismo stesso con cui avviene, caratterizzato da numerosissimi urti di cui ciascuno porta via una parte molto piccola della energia a disposizione, fa sì che la lunghezza del percorso nella materia sia quasi la stessa per ogni particella di data energia.



Le particelle cariche leggere, quali gli elettroni ed i positroni (massa di quiete pari a circa  $1/1836$  della massa dell'atomo di idrogeno; carica elettrica positiva o negativa pari alla carica elettrica elementare, ovvero  $1,6 \times 10^{-19}$  Coulomb), nell'attraversare la materia cedono la loro energia mediante urti con gli elettroni atomici, in modo del tutto analogo alle particelle pesanti. Tuttavia, in questo caso il percorso è meno prevedibile, in quanto per ogni urto l'energia ceduta all'elettrone atomico può arrivare fino al 50% dell'energia della particella incidente. Un secondo importante meccanismo di perdita di energia di elettroni e positroni è dovuto all'interazione con il campo elettrico nucleare, per il quale elettroni e positroni possono perdere energia anche perché frenati dall'effetto del campo elettrico dovuto al nucleo. Questo meccanismo è detto di frenamento (*bremstrahlung*).

## 2.2 Radiazioni indirettamente ionizzanti

I fotoni di energia compresa tra 10 keV e 10 MeV (raggi X e raggi  $\gamma$ ) subiscono tre tipi principali di interazione con la materia: effetto fotoelettrico, effetto Compton, produzione di coppie.

- *Effetto fotoelettrico*: il fotone viene completamente assorbito da un elettrone atomico, il quale acquista energia sufficiente per sfuggire al legame atomico.
- *Effetto Compton*: il fotone urta un elettrone delle orbite esterne dell'atomo. Ne

consegue una diffusione del fotone incidente (ad energia minore di quella originaria) e l'espulsione dell'elettrone colpito.

- *Creazione di coppie*: mentre i due precedenti processi possono essere compresi in termini quasi balistici, quest'ultimo tipo di fenomeno è complesso poiché implica la trasformazione del fotone in una coppia elettrone-positrone. La creazione della coppia da parte del fotone avviene in presenza del campo elettrico del nucleo.

In tutti e tre i casi, come risultato del processo di interazione si ha almeno una particella carica. Si può quindi intuire che man mano che si penetra nel materiale la perdita di energia dovuta ai fotoni assomiglia sempre più a quella degli elettroni.

La penetrazione delle radiazioni indirettamente ionizzanti nella materia è assai maggiore di quella delle particelle cariche. In considerazione della tipologia delle loro interazioni non ha senso parlare di percorso nella materia; con i raggi X e  $\gamma$  si suole piuttosto far riferimento agli spessori emivalenti (SEV), attraversando i quali si dimezza l'intensità primaria della radiazione incidente. Detti spessori hanno le dimensioni di  $[\text{g}/\text{cm}^2]$ , perché sono espressi come prodotto dello spessore  $\Delta x$  [cm] per la densità del mezzo  $\rho$   $[\text{g}/\text{cm}^3]$ , e questo rapporto risulta grosso modo indipendente dal tipo di materiale preso in considerazione, almeno per energie dei fotoni non troppo modeste. Ad esempio, per radiazioni di energia di 1 MeV, gli spessori di dimezzamento in acqua, calcestruzzo e piombo sono, espressi in cm, rispettivamente di 10 cm, 4,5 cm e 0,9 cm, mentre, espressi in  $\text{g}/\text{cm}^2$ , risultano tra loro confrontabili (circa  $10 \text{ g}/\text{cm}^2$ ).

In ragione del loro elevato potere di penetrazione, per attenuare efficacemente le radiazioni X e  $\gamma$  si devono usare materiali pesanti con elevato numero atomico  $Z$ , cioè ad alta densità elettronica, quali: piombo, tungsteno, calcestruzzo baritico ecc.

Le particelle neutre (neutroni) perdono la loro energia mediante collisioni con i nuclei atomici. I nuclei possono essere debolmente accelerati oppure frantumati. I frammenti (essendo costituiti da protoni e neutroni) perdono energia in modo analogo alle particelle descritte precedentemente. Trattandosi di radiazioni indirettamente ionizzanti, anche per i neutroni si può tentare di introdurre in linea di principio lo spessore di dimezzamento, sebbene molto meno significativo che nel caso dei fotoni. A titolo esemplificativo, in acqua, a neutroni di energia di 3 MeV e 10 MeV, corrispondono a SEV dell'ordine di 3 cm e 14 cm rispettivamente.

Per attenuare i fasci di neutroni i migliori materiali sono quelli con elevato contenuto di protoni e nuclei leggeri, quali: acqua, paraffina, calcestruzzo, ecc.

### Bibliografia

- CONIGLIO A., D'ARIENZO M., SANDRI S., 2005. "Classificazione delle radiazioni ionizzanti grandezze ed unità di misura", ACTA I° corso "Aggiornamenti su radiazioni ionizzanti e tutela sanitaria" edito da I.S.R.A.;

- MANCINI E. (a cura di), 2002. Appunti di Radioprotezione delle lezioni del Prof. Carlo Mancini, ed. Università di Roma "La Sapienza".

### **Data di chiusura del documento**

**Febbraio 2022**

### **Conoscere il rischio**

Nella sezione Conoscere il rischio del portale Inail, la Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione (Contarp) mette a disposizione prodotti e approfondimenti normativi e tecnici sul rischio professionale, come primo passo per la prevenzione di infortuni e malattie professionali e la protezione dei lavoratori. La Contarp è la struttura tecnica dell'Inail dedicata alla valutazione del rischio professionale e alla promozione di interventi di sostegno ad aziende e lavoratori in materia di prevenzione.

### **Per informazioni**

[contarp@inail.it](mailto:contarp@inail.it)