

RADIOATTIVITA' ED EFFETTI

A) Introduzione

Si definisce radioattività la proprietà che hanno gli atomi di alcuni elementi di emettere spontaneamente radiazioni ionizzanti.

La radioattività non è stata inventata dall'uomo, anzi, al contrario, l'uomo è esposto alla radioattività fin dal momento della sua apparizione sulla Terra.

Solo recentemente (circa 100 anni fa), con i lavori dello scienziato francese Henry Becquerel, l'uomo ha scoperto l'esistenza della radioattività.

Fin dalla formazione della Terra, circa cinque miliardi di anni fa, la materia era formata da atomi stabili non radioattivi e atomi instabili radioattivi. Col trascorrere dei millenni, la maggior parte degli elementi radioattivi, attraverso il processo di decadimento, hanno cessato di essere tali.

Tuttavia, esistono ancora oggi in natura alcuni isotopi radioattivi, e non è cessato l'apporto esterno di radioattività prodotto dal bombardamento di raggi cosmici a cui siamo tuttora sottoposti. Ecco perché tutto quello che ci circonda è "naturalmente" radioattivo.

Dall'alba dei tempi fino ad oggi, gli esseri viventi sono perciò immersi in un vero e proprio bagno di radioattività:

Un chilogrammo di granito ha una radioattività naturale di circa 1000 Becquerel

Un litro di latte ha una radioattività naturale di circa 80 Becquerel

Un litro di acqua di mare ha una radioattività naturale di circa 10 Becquerel

Un individuo di 70 kg ha una radioattività dell'ordine di 8000 Becquerel, causata dalla presenza, nel corpo umano, di isotopi radioattivi naturali (in gran parte, potassio-40)

In Italia la dose di radioattività naturale cui è sottoposto annualmente ciascun individuo è pari approssimativamente alla dose associata ad una radiografia del torace moltiplicata per venti.

B) Atomi

La materia che ci circonda (aria, acqua, terra, oggetti, esseri viventi, eccetera) è costituita da atomi, che a loro volta consistono in un nucleo estremamente piccolo (dimensione approssimativa: un milione di miliardi di volte meno di un metro), di carica positiva, circondato da una nuvola di elettroni di carica negativa. All'interno dell'atomo, il nucleo è costituito da protoni carichi positivamente e da neutroni privi di carica e perciò neutri (come dice il loro stesso nome).

Negli atomi, il numero di protoni (carichi positivamente) è uguale al numero di elettroni (carichi negativamente), così che l'atomo è elettricamente neutro.

Il numero totale di protoni nel nucleo (e quindi di elettroni nella nuvola esterna), chiamato numero atomico, determina di quale elemento chimico si tratta: così ad esempio l'elemento chimico con 8 protoni è l'ossigeno, quello con 26 protoni è il ferro, quello con 79 protoni è l'oro, quello con 92 protoni è l'uranio.

Come abbiamo visto, nel nucleo, oltre ai protoni, sono presenti anche i neutroni: la somma del numero totale di protoni più il numero totale di neutroni determina il numero di massa.

C) Isotopi

Un elemento chimico, oltre al numero fisso di protoni che lo caratterizza, può avere un numero variabile di neutroni: in tal caso si identificano diversi isotopi di uno stesso elemento.

Ad esempio: il ferro presente in natura è costituito da 4 isotopi, tutti con 26 protoni ma ognuno con 28, 30, 31 e 32 neutroni rispettivamente.

Gli isotopi sono identificati dal nome dell'elemento e dal numero di massa (esempio: ferro-54, ferro-56, ecc.). In natura esistono circa 90 elementi (dall'idrogeno, il più leggero, all'uranio, il più pesante) e circa 270 isotopi.

Tra gli elementi, una ventina sono costituiti da un unico isotopo (come ad esempio il sodio, il cobalto, l'arsenico e l'oro), gli altri hanno almeno due isotopi (ad esempio: il cloro ne ha due, lo zinco ne ha cinque, lo stagno ne ha dieci).

Oltre agli isotopi da sempre presenti in natura (isotopi naturali), esistono oggi un gran numero di isotopi artificiali, cioè prodotti dall'uomo. Esempi di isotopi artificiali sono il cobalto-60 (27 protoni, 33 neutroni), usato in radioterapia e in gammagrafia, il plutonio-239 (94 protoni, 145 neutroni), usato come combustibile nelle centrali nucleari.

D) Origine della radioattività

Gli isotopi presenti in natura sono quasi tutti stabili. Tuttavia, alcuni isotopi naturali, e quasi tutti gli isotopi artificiali, presentano nuclei instabili, a causa di un eccesso di protoni e/o di neutroni. Tale instabilità provoca la trasformazione spontanea in altri isotopi, e questa trasformazione si accompagna con l'emissione di radiazioni ionizzanti per cui essi sono chiamati isotopi radioattivi, o anche radioisotopi, o anche radionuclidi. La trasformazione di un atomo radioattivo porta alla produzione di un altro atomo, che può essere anch'esso radioattivo oppure stabile. Essa è chiamata disintegrazione o decadimento.

Tale trasformazione, a seconda dei casi, può completarsi in tempi estremamente brevi o estremamente lunghi. Una misura di tale tempo è data dal tempo di dimezzamento, o tempo di vita media, che esprime il tempo alla fine del quale la metà degli atomi radioattivi inizialmente presenti ha subito una trasformazione spontanea.

Ad esempio il radioisotopo artificiale tecnezio-99m ha un tempo di dimezzamento di 6 ore (dopo 6 ore la sua radioattività si è ridotta della metà); il radioisotopo artificiale iodio-131 ha un tempo di dimezzamento di 8 giorni; il radioisotopo naturale potassio-40 ha un tempo di dimezzamento di 1,3 miliardi di anni.

Dopo dieci tempi di dimezzamento, la radioattività di un radioisotopo è mille volte minore di quella iniziale.

E) Misura della radioattività

Un campione contenente radioisotopi si caratterizza per la sua quantità di radioattività, che viene espressa con il numero di disintegrazioni nell'unità di tempo di nuclei radioattivi. L'unità di misura è il becquerel, con simbolo Bq.

1 becquerel = 1 Bq = 1 disintegrazione al secondo.

Poiché questa unità di misura è assai piccola, la radioattività si esprime molto spesso in multipli di becquerel:

kilobecquerel (kBq) = mille Bq

megabecquerel (MBq) = un milione di Bq

gigabecquerel (GBq) = un miliardo di Bq

terabecquerel (TBq) = mille miliardi di Bq

(Allo stesso modo, per esprimere la distanza da Roma a Milano si parla di 560 chilometri, e non di 560 milioni di millimetri)

L'unità di misura usata in precedenza era il curie, (simbolo: Ci) definita come la quantità di radioattività presente in un grammo di radio, elemento naturale che si trova assieme all'uranio. Questa unità è immensamente più grande del Bq, perché in un grammo di radio si producono 37 miliardi di disintegrazioni al secondo.

Perciò:

1 curie = 1 Ci = 37 GBq = 37 gigabecquerel = 37 miliardi di becquerel.

F) I differenti tipi di radioattività

I differenti tipi di radioattività sono:

- Radioattività alfa
- Radioattività beta
- Radioattività gamma

Ciascun tipo di radioattività ha un proprio "potere penetrante" e "modalità di schermatura"

Radioattività alfa

Atomi nei cui nuclei sono contenute quantità eccessive di protoni e neutroni emettono di solito una radiazione alfa, costituita da un nucleo di elio (due protoni + due neutroni), e avente due cariche positive. Tale disintegrazione porta alla formazione di un isotopo di altro elemento chimico, avente numero atomico diminuito di due unità e numero di massa diminuito di quattro unità.

Esempio: l'uranio 238 (92 protoni + 146 neutroni) emette radioattività alfa trasformandosi in torio-234 (90 protoni + 144 neutroni), con un tempo di dimezzamento di 4,5 miliardi di anni.

Le radiazioni alfa, per la loro natura, sono poco penetranti e possono essere completamente bloccate da un semplice foglio di carta.

Radioattività beta

Atomi nei cui nuclei sono contenute quantità eccessive di neutroni emettono di solito una radiazione beta, costituita da un elettrone. In particolare, uno dei neutroni del nucleo si disintegra in un protone e in un elettrone, che viene emesso. Tale disintegrazione porta alla formazione di un isotopo di altro elemento chimico, avente numero atomico aumentato di una unità (il protone in più) e numero di massa invariato (il protone si è sostituito al neutrone).

Esempio: il cobalto-60 (27 protoni + 33 neutroni) emette radioattività beta trasformandosi in nichel-60 (28 protoni + 32 neutroni), con un tempo di dimezzamento di 5,3 anni.

Le radiazioni beta sono più penetranti di quelle alfa, ma possono essere completamente bloccate da piccoli spessori di materiali metallici (ad esempio, pochi millimetri di alluminio).

Radioattività gamma

La radiazione gamma è una onda elettromagnetica come la luce o i raggi X, ma assai più energetica. Le radiazioni alfa e beta sono invece di tipo corpuscolare e dotate di carica (positiva le alfa, negativa le beta).

La radiazione gamma accompagna solitamente una radiazione alfa o una radiazione beta. Infatti, dopo l'emissione alfa o beta, il nucleo è ancora eccitato perché i suoi protoni e neutroni non hanno ancora raggiunto la nuova situazione di equilibrio: di conseguenza, il nucleo si libera rapidamente del surplus di energia attraverso l'emissione di una radiazione gamma.

Esempio: il cobalto-60 si trasforma per disintegrazione beta in nichel-60, che raggiunge il suo stato di equilibrio emettendo una radiazione gamma.

Al contrario delle radiazioni alfa e beta, le radiazioni gamma sono molto penetranti, e per bloccarle occorrono rilevanti spessori di materiali ad elevata densità come il piombo.



Effetti della radioattività

A) Il concetto di dose

Le radiazioni prodotte dai radioisotopi interagiscono con la materia con cui vengono a contatto, trasferendovi energia.

Tale apporto di energia, negli organismi viventi, produce una ionizzazione delle molecole: da qui la definizione di radiazioni ionizzanti.

La dose di energia assorbita dalla materia caratterizza questo trasferimento di energia.

Gli effetti possono essere irrilevanti o più o meno dannosi, a seconda della dose di radiazioni ricevuta e del tipo delle radiazioni stesse.

Per meglio chiarire l'importanza della dose assorbita, un esempio noto a tutti è quello delle radiazioni ultraviolette dei raggi solari, che, per l'uomo, a piccole dosi sono innocue, ma per esposizioni eccessivamente prolungate possono provocare colpi di sole o bruciature della pelle.

B) La misura della dose

L'unità di misura della dose assorbita dalla materia a seguito dell'esposizione alle radiazioni ionizzanti è il Gray (simbolo: Gy):

1 Gray (Gy) = 1 joule (J) assorbito da 1 kilogrammo di materia

Per la misura delle dosi di radiazioni assorbite dall'uomo, o più precisamente per una misura degli effetti biologici dovuti alla dose di radiazioni assorbita, è stato introdotto il concetto di equivalente di dose, che tiene conto della dannosità più o meno grande, a parità di dose, dei vari tipi di radiazioni ionizzanti. In questo caso, l'unità di misura è il sievert (simbolo: Sv).

In particolare:

per le radiazioni beta e gamma: 1 Gray => 1 Sievert

per le radiazioni alfa: 1 Gray => 20 Sievert

per i fasci di neutroni: 1 Gray => 3 - 11 Sievert (a seconda dell'energia dei neutroni)

Di uso più comune è il sottomultiplo millisievert (mSv), pari a un millesimo di Sv.

Ad esempio, come riportato nella seguente tabella, una radiografia al torace comporta l'assorbimento di una dose di circa 0,14 millisievert (mSv).

Alcuni dati dosimetrici relativi ad esami medici con raggi X:

Radiografia del torace 0,14 mSv

Radiografia dell'addome 1,1 mSv

Radiografia del tubo digerente 4,1 ÷ 7,2 mSv

Colecistografia 1,5 mSv

Urografia 3,1 mSv

Mammografia 1,0 mSv

C) L'esposizione dell'uomo alle radiazioni

L'uomo può essere esposto alla radioattività in due modi:

- per esposizione esterna, che avviene quando l'individuo si trova sulla traiettoria delle radiazioni emesse da una sorgente radioattiva situata all'esterno dell'organismo; si parla, in questo caso, di irradiazione
- per esposizione interna, che si verifica quando la sorgente radioattiva si trova all'interno dell'organismo, a causa di inalazione per respirazione, e/o ingestione, ovvero per introduzione attraverso una ferita; si parla, in questo caso, di contaminazione interna

L'esposizione esterna cessa quando l'individuo si allontana dalla sorgente ovvero vengono interposti opportuni schermi tra sorgente e individuo. Le radiazioni alfa, beta e gamma da esposizione esterna non

fanno diventare radioattiva la materia che le assorbe.

L'esposizione interna cessa quando i radioisotopi respirati o ingeriti o introdotti attraverso ferite sono completamente rimossi dall'organismo (ad esempio: con l'urina, le feci, ecc.).

D) L'esposizione alle radiazioni naturali

Per poter considerare nella giusta luce gli effetti della radioattività sull'uomo, è necessario anzitutto prendere in considerazione l'esposizione alle radiazioni naturali. A tale "bagno di radioattività", in cui l'uomo è immerso fin dalla sua origine, gli organismi viventi si sono da tempo adattati.

La dose annualmente assorbita da ogni individuo della popolazione per effetto della radioattività naturale è mediamente di 2,4 mSv/anno (2,4 millisievert/anno)

Sorgente	Esposizione esterna(mSv/anno)	Esposizione interna(mSv/anno)	Totale(mSv/anno)
Raggi cosmici	0,36		0,36
Potassio-40	0,15	0,18	0,33
Uranio-238 e radioisotopi associati	0,10	1,24	1,34
Torio-232 e radioisotopi associati	0,16	0,18	0,34

Alla radioattività naturale contribuiscono una componente terrestre e una componente extraterrestre.

La componente terrestre è dovuta ai radionuclidi presenti nei materiali della crosta terrestre (rocce, minerali), come: il potassio-40, l'uranio naturale, il torio e i radionuclidi ad essi associati. Tra questi ultimi, particolare importanza riveste il radon, prodotto gassoso che offre il maggiore contributo alla radioattività naturale.

La componente extraterrestre è costituita dai raggi cosmici, i cui effetti sono tanto più rilevanti quanto più ci si allontana dalla superficie terrestre, e quindi dalla protezione dell'atmosfera. Ad esempio, in un volo in aereo, l'effetto dei raggi cosmici è circa 100 volte maggiore di una zona al livello del mare.

E) Effetti biologici delle radiazioni ionizzanti

Da quando l'uomo ha scoperto la radioattività, le proprietà di vari radioisotopi sono state sfruttate per impieghi pacifici e purtroppo, talvolta anche a scopi bellici.

Ciò ha determinato, da una parte, lo studio degli effetti sull'uomo di dosi di radiazioni anche elevate, e dall'altra, lo sviluppo di principi e strumenti per una efficace protezione dalle radiazioni ionizzanti (radioprotezione).

In termini molto generali, gli effetti delle radiazioni ionizzanti sull'uomo possono distinguersi in effetti immediati (detti anche deterministici) ed effetti a lungo termine (detti anche stocastici).

Gli effetti immediati sono quelli che, al di sopra di un certo valore di dose, si manifestano indistintamente a tutti coloro che sono stati irradiati, entro un tempo di solito assai breve (non più di qualche giorno o qualche settimana), e per cui la gravità dei danni aumenta con l'aumentare della dose.

Nella tabella qui sotto riportata è indicata la stima nell'individuo adulto della soglia di dose per effetti deterministici:

Tessuto ed effetto	Soglia di dose	
	Equivalente di dose totale ricevuto in una singola breve esposizione (Sv)	Equivalente di dose totale ricevuto per esposizioni fortemente frazionate o protratte (Sv)
Testicoli		
Sterilità temporanea	0,15	NA ¹
Sterilità permanente	3,5	NA
Ovaie		
Sterilità	2,5 ÷ 6,0	6,0
Cristallino		
Opacità osservabili ²	0,5 ÷ 2,0	5,0
Deficit visivo	5,0	> 8,0
Midollo osseo		
Depressione dell'emopoiesi	0,5	NA
Aplasia mortale	1,5	NA

¹ NA indica "Non Applicabile", in quanto la soglia dipende dall'intensità di dose più che dalla dose totale

² Opacità lenticolari appena osservabili.

Ad esempio: una esposizione superiore a 1 Gray comporta, come conseguenze, vomito e netta modificazione della formula del sangue; una esposizione superiore a 5 Gray può provocare il decesso per danno al tessuto emopoietico se il soggetto non è sottoposto a cure adeguate.

I suddetti valori si riferiscono a una esposizione omogenea a tutto il corpo. Nel caso della radioterapia dei tumori, si arriva a somministrare dosi molto più elevate, anche oltre 40 Gray, ma concentrate limitatamente ed esclusivamente al tumore da distruggere.

L'esposizione a dosi più o meno elevate di radiazioni ionizzanti può avere effetti a lungo termine che possono provocare cancro o leucemia. Tali effetti si manifestano in modo aleatorio, che non si può predire in modo certo per ciascuna persona sottoposta alle radiazioni.

In questi casi, si parla di probabilità di accadimento, che cresce o diminuisce a seconda dell'entità più o meno rilevante della dose assorbita. La stima di tale probabilità è ricavata dai dati sperimentali (epidemiologia) ottenuti osservando le conseguenze dell'esposizione alle radiazioni su persone o gruppi di persone (ad esempio: i giapponesi sopravvissuti alle esplosioni nucleari di Hiroshima e Nagasaki; i lavoratori e le popolazioni limitrofe esposti alle conseguenze di incidenti in installazioni nucleari).

Si è potuto così stabilire che la probabilità di insorgenza di cancro o leucemia è elevata per alte dosi, mentre è assai limitata per basse dosi.

Il limite massimo di dose stabilito dalla legge italiana per le persone del pubblico è 1 millisievert (1mSv) / anno al di sopra della dose naturale di radiazioni.

Secondo gli studi sugli effetti a lungo termine, questa dose corrisponde ad una probabilità di sviluppo di un cancro o leucemia mortale pari a 1 / 100.000 .

F) La radioprotezione

Una volta conosciute le conseguenze dannose che l'esposizione alle radiazioni ionizzanti può provocare, è stato necessario provvedere alla predisposizione di adeguate misure di protezione.

E' nata così la radioprotezione, ossia un insieme di misure destinate a garantire la protezione dalle radiazioni ionizzanti dei lavoratori, della popolazione e dell'ambiente.

Le regole più elementari della radioprotezione sono le seguenti:

- allontanarsi dalla sorgente di radiazioni, in quanto l'intensità delle radiazioni diminuisce con la distanza (ad esempio: le installazioni nucleari sono circondate da una "zona di rispetto" che impedisce l'insediamento di

attività umane nelle immediate vicinanze);

- interporre uno o più dispositivi di schermatura tra la sorgente e le persone (ad esempio, nelle installazioni nucleari, la protezione dei lavoratori e dell'ambiente circostante è assicurata da una serie di schermi costituiti da spessori o muri di piombo, di acciaio, di cemento, di materiali speciali);
- ridurre al minimo la durata di esposizione alle radiazioni.

Queste regole sono peraltro simili a quelle da prendere a riferimento per proteggersi dai raggi solari (ad esempio: l'utilizzazione di creme speciali che fungono da schermo e limitano l'esposizione).

Oltre che da norme elementari di buona pratica, la radioprotezione è regolata da una severa normativa di legge. Negli Stati dell' Unione Europea, ciascuno Stato Membro è obbligato a inserire nella propria legislazione le specifiche Direttive Euratom, periodicamente aggiornate secondo i più rigorosi standards internazionali.

In Italia, la legislazione fondamentale sulla radioprotezione è contenuta nel Decreto Legislativo n. 230 del 1995, recentemente aggiornato ed integrato dal Decreto Legislativo n. 241 del 2000.

I principi ispiratori di tale legge, come di tutte le analoghe leggi dei Paesi dell'Unione Europea, sono i seguenti:

- Principio della Giustificazione dell'attività (*Le attività che comportano rischi di esposizione alle radiazioni ionizzanti devono essere preventivamente giustificate e periodicamente riconsiderate alla luce dei benefici che da esse derivano*)
- Principio dell'Ottimizzazione della protezione (*Le esposizioni alle radiazioni ionizzanti debbono essere mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenuto conto dei fattori economici e sociali*)
- Principio della Limitazione delle dosi (*La somma delle dosi ricevute non deve superare i limiti prescritti*)

In relazione a quest'ultimo enunciato, la legge italiana prescrive che non si debbano superare i seguenti limiti:

Per i "lavoratori esposti" (lavoratori impegnati in attività che prevedono l'uso o la manipolazione di radioisotopi) al massimo 20 millisievert/anno in più rispetto alla radiazione naturale (pari, come abbiamo visto, a 2,4 millisievert/anno)

Per tutti gli altri individui della popolazione:

al massimo 1 millisievert/anno in più rispetto alla radiazione naturale (pari, come abbiamo visto, a 2,4 millisievert/anno).

I criteri di radioprotezione che devono essere rispettati oggi per la costruzione di una nuova installazione nucleare impongono che la dose che tale nuovo insediamento determina per la popolazione circostante debba essere contenuta entro una piccola frazione rispetto al limite di legge (pari, come già visto, a 1 millisievert/anno in più rispetto alla radiazione naturale).