

ALLEGATO 3 – GLOSSARIO DI RADIOPROTEZIONE

3.1 – Alcune definizioni

Si vedranno ora alcune definizioni di termini usati in ambito radioprotezionistico.

Radioattività: scoperta alla fine del 1800, è la disintegrazione spontanea di nuclei atomici con emissione di particelle subatomiche e di onde elettromagnetiche. Rutherford scoprì che vi sono almeno due componenti nelle emissioni radioattive: le particelle alfa, che penetrano solo per alcuni millesimi di centimetro nell'alluminio, e le particelle beta, caratterizzate da un potere penetrante 100 volte maggiore. Esperimenti successivi, rivelarono la presenza di una terza componente ad alta energia, i raggi gamma.

Le particelle beta (“beta meno”) sono dotate di carica negativa, le particelle alfa trasportano cariche positive (e hanno massa maggiore delle particelle beta) e i raggi gamma sono elettricamente neutri.

La radiazione alfa, beta e gamma interagisce profondamente con la materia, provocando una intensa ionizzazione. Questo fenomeno, estremamente accentuato per le particelle alfa, meno per le beta e ancora meno per le gamma comporta differenti esiti in caso di interazione di queste particelle con organismi biologici. Le radiazioni alfa sono infatti profondamente dannose a brevi distanze, quelle beta e le gamma, nonostante arrivino più lontano sono in proporzione meno dannose per gli esseri umani.

Isotopi: ogni elemento chimico esiste in natura come miscela di isotopi. L'isotopo è una delle forme possibili dell'atomo di un elemento chimico. Ad esempio, esistono tre isotopi dell'idrogeno: l'idrogeno propriamente detto, H-1, il deuterio, H-2, e il trizio H-3. La differenza tra gli isotopi è nel numero di neutroni contenuti nel nucleo. Nell'idrogeno non ce ne sono, nel deuterio ce n'è uno e nel trizio due. Il numero a fianco del simbolo dell'elemento è la somma di protoni e neutroni.

Tempo di dimezzamento: tempo che impiega una quantità di un elemento radioattivo a diminuire della metà la sua massa. Ad esempio, un Kg di U-238 si ridurrà a 1/2 Kg in 4.51 miliardi di anni.

Decadimento: emissione di particelle alfa e beta dal nucleo degli atomi lascia un nucleo con minore massa; questo procedimento è detto decadimento nucleare (o radioattivo).

3.2 – Unità di misura

Attività : quella di una sostanza radioattiva è data dal numero di disintegrazioni nucleari prodotte nell'unità di tempo. Di solito, si usa misurare l'attività per unità di massa (o attività specifica) e per unità di volume (o concentrazione di attività). L'unità di misura del Sistema Internazionale è il Becquerel (Bq).

Un Bq è l'attività di un radionuclide che decade spontaneamente subendo in media una disintegrazione al secondo (1 Bq = 1 decadimento/secondo).

E' ancora di uso comune una “vecchia” unità di misura, il Curie (Ci), che esprime l'attività di un grammo di Radio226 e corrisponde a $3,7 \cdot 10^{10}$ decadimenti al secondo. Si ricorda che $1 \text{ Bq} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ci}$.

Dose assorbita: è la quantità di energia che le radiazioni ionizzanti cedono alla materia per unità di massa della sostanza irradiata, cioè il rapporto tra l'energia delle radiazioni assorbita dalla materia e la massa di materia interessata. Tutto questo indipendentemente dal tipo di radiazione ionizzante. Nel Sistema Internazionale l'unità di misura della dose assorbita è il Gray (Gy). Un Gy è la dose che viene assorbita quando l'energia per unità di massa, ceduta alla materia da una radiazione ionizzante, è un Joule per chilogrammo (1 J/kg).

E' ancora in uso la "vecchia" unità di misura, il rad (rate adsorbed dose) che corrisponde a un'energia di 100 erg ($1\text{J} = 10^7\text{ erg}$) assorbita per ogni grammo di materia. Si ricorda che $1\text{ Gy} = 100\text{ rad}$.

La dose assorbita, pur essendo una grandezza fondamentale nella radioprotezione, non è però in grado da sola di interpretare in modo completo i processi di cessione di energia dalle radiazioni alla materia vivente, non permettendo in particolare di tener conto della diversità degli effetti indotti a parità di dose assorbita a seconda della qualità delle radiazioni incidenti.

Per tale motivo si è quindi resa necessaria l'introduzione di nuove e più idonee grandezze che meglio esprimano la probabilità di manifestazione degli effetti dannosi. La più importante fra queste è l'equivalente di dose.

Equivalente di dose: è la dose di radiazioni ionizzanti che, assorbita dal corpo umano, produce un effetto biologico identico a quello prodotto nello stesso tessuto dall'assorbimento di raggi X o gamma. Questa grandezza è molto importante perché le radiazioni ionizzanti di caratteristiche diverse, come raggi alfa o i neutroni, possono provocare effetti biologici diversi pur dando luogo alla stessa dose assorbita. Il valore dell'equivalente di dose si ottiene moltiplicando la dose assorbita per un fattore numerico caratteristico del tipo di radiazione ionizzante (fattore di qualità).

L'equivalente di dose si misura, secondo il Sistema Internazionale, in Sievert (Sv); $1\text{ Sv} = 1\text{ Gy} \cdot \text{fattore di qualità}$. Un Sievert è l'equivalente di dose che si verifica quando la dose di radiazioni assorbita, moltiplicata per un dato fattore adimensionato, è uguale a 1 J/kg.

Altra unità di misura ancora in uso è il rem (rad equivalent man); $1\text{ rem} = 1\text{ rad} \cdot \text{fattore di qualità}$. Esso indica la quantità di radiazioni ionizzanti che, a parità di altre condizioni, producono lo stesso effetto biologico di 1 röntgen (unità di misura della dose di esposizione); 1 rem è la dose biologica assorbita da un organismo vivente dovuta ad un rad.

Il fattore di qualità vale quindi 1 per i raggi X o gamma, vale ancora 1 per i raggi beta, da 2 a 10,5 (a seconda dell'energia) per i neutroni, 20 per le particelle alfa.

Gli organi ed i tessuti che costituiscono il corpo umano reagiscono in modo diverso all'irraggiamento e conseguentemente anche gli effetti saranno diversi. Quindi per andare a valutare correttamente il danno provocato, si è assegnato ad ogni organo e tessuto (o gruppi di organi e tessuti) un certo coefficiente (fattore di ponderazione) w_T che rappresenta la frazione del rischio totale (per l'intero corpo) imputabile all'irradiazione di quel singolo organo.

Utilizzando tale coefficiente si è introdotto l' "equivalente di dose efficace (E.D.E.)" definito dalla seguente relazione:

$$H_E = \sum T w_T H_T$$

(dove H_T è l'equivalente di dose nel tessuto T), la cui unità di misura è il Sievert.

Quando un radionuclide viene introdotto nel corpo, si ha assunzione di dose continua per tutto il tempo durante il quale il radionuclide rimane nel corpo.

Si definisce quindi **“dose impegnata o impegno di dose”** la dose impartita durante tutto il tempo per cui il radionuclide resta nel corpo; in genere però viene utilizzata come unità di misura l'impegno di dose a 50 anni.

Efficacia biologica relativa: non è altro se non, nella pratica, il fattore di qualità. Essa corrisponde al rapporto tra una dose in rad di raggi X standard, presa come riferimento, e la dose in rad delle radiazioni ionizzanti considerate che produce lo stesso effetto biologico.

I raggi X, i gamma, gli elettroni e i raggi beta di qualsiasi energia hanno un valore EBR (efficacia biologica relativa) uguale 1.

I protoni e i raggi alfa hanno un valore EBR uguale a 20, come i nuclei pesanti. I neutroni hanno un valore che varia da 2 a 10,5 a seconda dell'energia.

Dose biologica efficace: si esprime in SV; è data dal prodotto della dose assorbita per il valore numerico della efficacia biologica relativa (EBR).

3.2.1 – Altre definizioni di dose

Prompt Dose: questa dose considera effetti acuti sulla salute, cioè malattie o morti dovute a esposizioni a radiazioni per tempi brevi. La “prompt bone marrow dose” (dose pronta al midollo osseo) considera gli effetti, dopo 7 giorni, dell'assunzione di radioattività dovuta a 7 giorni di esposizione; il midollo osseo, essendo l'organo più sensibile all'esposizione in tempi brevi, è l'indicatore singolo più importante per effetti acuti sulla salute.

Early Dose: questa dose considera il caso di effetti latenti sulla salute (insorgenza di gravi mutazioni) dovuti a esposizione a radiazione per tempi brevi. La “early dose”, per ogni organo specifico del corpo, considera l'impegno di dose a 50 anni, dovuto all'assunzione di radioattività nei primi 7 giorni di esposizione.

Chronic Dose: questa dose considera gli effetti latenti sulla salute dovuti ad esposizione per lunghi periodi di tempo. La “chronic dose” per ogni organo specifico valuta l'impegno di dose a 50 anni di una continua assunzione di radioattività.

Nell'analisi radioprotezionistica di un impianto nucleare si fa riferimento alla “early dose”, per le sequenze incidentali, mentre per il normale funzionamento si utilizza la “chronic dose”.

3.3 – Normativa radioprotezionistica

Per la dose totale del corpo, nel caso particolare di neutroni e radiazioni gamma, la Commissione per le Protezioni Radiologiche raccomandava in passato che:

1. La dose totale ricevuta da ogni persona non deve superare **50 rem** (500 mSv), prima che tale persona abbia compiuto il trentesimo anno di età.
2. La dose totale ricevuta da ogni persona nel corso della sua vita non deve superare **200 rem** (2 Sv).
3. La dose massima settimanale è di **0.3 rem** (3 mSv) per un periodo consecutivo di 13 settimane.

Questa normativa, recepita in Italia negli anni sessanta, rispecchiava le raccomandazioni ICRP in vigore prima del 1990. Attualmente, le nuove raccomandazioni ICRP hanno portato ad una revisione dei limiti di dose. In Italia, ciò è stato recepito con il D. L. n° 230 del 17/3/1995, che ha sostituito il precedente DPR 185 del 1964 in materia di radioprotezione.

Esso è poi stato ulteriormente modificato dal D.L.vo n.241 del 27.5.2000. In particolare, i limiti di dose sono stati così ridefiniti:

1. Lavoratori professionalmente esposti: **20 mSv** per anno solare, dovuti all'attività lavorativa.
2. Popolazione: **1 mSv/anno** escluso usi medicali e il fondo naturale.

Questa revisione è dovuta ad un mutato aspetto della curva dose-danno e al passaggio da un modello additivo ad un modello moltiplicativo per quanto riguarda gli effetti stocastici ritardati da radiazione, nonché al tenere in conto anche gli eventi gravi non letali.

Nelle Direttive e Raccomandazioni della Comunità Europea in materia di protezione sanitaria dalle radiazioni ionizzanti (1/6/'76), si considera come lavoratore esposto ogni lavoratore suscettibile di ricevere nel corso del suo lavoro una irradiazione superiore a 5 mSv l'anno, valore che costituiva all'epoca il limite di dose per gli individui della popolazione. Tale limite è ora stato aggiornato al valore di 1 mSv. I lavoratori esposti sono suddivisi dall'attuale legislazione italiana in due categorie:

- **cat. A** quelli suscettibili di ricevere una dose superiore ai 3/10 delle dosi annuali massime ammissibili (ovvero, 6 mSv);
- **cat. B**: quelli che non sono suscettibili di ricevere tale dose (ovvero, sotto i 6 mSv).

Per la categoria A sono necessarie una sorveglianza medica particolare e una dosimetria individuale, mentre per la categoria B sono sufficienti un controllo medico meno oneroso e una dosimetria collettiva.