

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-58/18 (16. 12. 58)

M. Ladu: PROTEZIONE DA IRRADIAZIONE ESTERNA DI RAGGI
E NEUTRONI.

8

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE
Laboratori di Frascati

Nota interna n° 7
Dicembre 16.1958

Mario LADU: PROTEZIONE DA IRRADIAZIONE ESTERNA DI RAGGI
 γ E NEUTRONI.

PROTEZIONE DA IRRADIAZIONE ESTERNA DI RAGGI γ E NEUTRONI.

Danno biologico e unità di misura

La perdita di energia per ionizzazione, subita dalle radiazioni che attraversano i tessuti, sta alla base del corrispondente danno biologico.

Il danno provocato sui tessuti delle radiazioni non è necessariamente lo stesso per una eguale ionizzazione totale prodotta, o - ciò che lo stesso - per uno stesso ammontare di energia assorbita. Esso varia infatti col tipo di radiazione ed è tanto più grande quanto più grande è la densità di ionizzazione lungo il percorso delle particelle ionizzanti.

Si dice perciò che la efficacia biologica relativa (EBR) dei vari tipi di radiazione è più o meno grande, a seconda che è più o meno grande la corrispondente ionizzazione specifica.

Alcuni valori ^{di} EBR sono dati nella tabella I e sono riferiti all'EBR dei raggi γ preso come unità.

Tab. I

Tipo di radiazione	EBR
Raggi γ , X (fra 0,1 e 100 MeV)	1
Elettroni (fra 0,1 e 100 MeV)	1
Neutroni termici (fino a 0,02 MeV)	5
Neutroni veloci (fra 0,02 e 10 MeV)	10

L'unità di dose di radiazione assorbita è il rad, che è uguale a 100 ergs/gr di materia irradiata.

Il roentgen invece corrisponde a un'energia assorbita di circa 84 ergs/gr di aria o di 94 ergs/gr di acqua o di tessuto ed è definito come la quantità di radiazione X o γ , tale che l'emissione corpuscolare associata

in un cc. di aria, produce in aria tanti ioni, quanti sono quelli che trasportano una u.e.s. dell'uno o dell'altro segno.

L'unità che permette di valutare l'effetto biologico di una data dose di qualunque tipo di radiazione è il rem, che si definisce come la quantità di radiazione che, assorbita nel corpo umano, produce un effetto biologico uguale a quello prodotto, nello stesso tessuto, da un rad di γ . Per definizione si ha quindi che

$$\text{Dose in rems} = \text{Dose in rads} \times \text{EBR}$$

E' logico che in un campo misto di radiazione, ad esempio γ e neutroni lenti e veloci, la dose totale in rems è la somma delle dosi in rems delle singole componenti.

EFFETTI DELLE RADIAZIONI

Gli effetti delle radiazioni sui tessuti, oltre che all'energia e alla natura della radiazione, sono legati anche alla durata e alla frequenza delle esposizioni.

E' un fatto ormai provato che due dosi eguali, assorbite negli stessi tessuti, producono effetti diversi, a seconda che provengono da un'unica esposizione o da più esposizioni intervallate nel tempo. Ciò perchè le cellule, quando non siano state completamente distrutte, hanno una certa capacità di ripresa.

Per una piccola dose assorbita in un'unica esposizione su tutto il corpo o su particolari organi, gli effetti più importanti, a carattere temporaneo, che si possono riscontrare sono:

- 1°) una modifica della formula sanguigna
- 2°) una radiodermide che ^{si}risolve a breve scadenza con arrossamento e desquamazione dei punti colpiti.

Se in un'unica esposizione viene assorbita una forte dose, oltre agli effetti precedenti, naturalmente molto accentuati, si può verificare:

- 1) un immediato indebolimento generale;
- 2) un'emorragia interna;
- 3) la morte dopo 10-20 giorni dall'irradiazione.

Gli effetti delle esposizioni ripetute hanno in ge
nere come conseguenza:

- 1) una modificazione permanente della formula sanguigna;
- 2) ulcerazioni superficiali e dermatiti;
- 3) alterazioni del cristallino e spesso cataratte;
- 4) alterazioni generali a lunga scadenza che possono por-
tare alla leucemia o a forme cancerose localizzate in
qualche organo.

Fra gli organi più sensibili alle radiazioni sono
gli occhi e le ghiandole genitali, che a differenza degli
altri organi, non dimenticano le radiazioni ricevute e
ne sommano gli effetti nel tempo.

Nel caso delle ghiandole genitali, dosi anche mol-
to deboli possono provocare mutazioni genetiche, che pos-
sono essere trasmesse ai discendenti.

DOSI MASSIME AMMISSIBILI.

Gli effetti biologici delle radiazioni non vengono
in alcun modo messi in evidenza, purchè la dose assorbi-
ta non superi un certo valore limite, che viene chiama-
to dose massima ammissibile (DMA); e ciò anche per espo-
sizioni che possono durare per tutta la vita.

Con ciò non si può escludere che per le dosi infe-
riori alla DMA, i tessuti vengano in qualche modo danneg-
giati. Si vuole solo affermare che in casi del genere,
eventuali alterazioni sfuggono a tutti i metodi d'inda-
gine clinica, ne' danno alcun disturbo, per cui le dosi
assorbite possono ritenersi inoffensive.

I valori della DMA per irradiazione esterna su tut-
to il corpo, valori che peraltro possono essere rivedu-
ti sulla base di più recenti esperienze, sono stati fis-
sati tenendo conto dei risultati ottenuti sia attraver-

so migliaia di prove eseguite su animali di diverse specie, sia osservando le conseguenze di irradiazioni esterne, globali o localizzate.

La DMA fissata dalla Commissione Internazionale di Protezione Radiologica è di 0,3 rem/settimana per un massimo di 5rems/anno, ciò che porta la dose settimanale a 100 mrems per 50 settimane lavorative.

Per una settimana lavorativa di 40 ore, una dose di 100 mrems corrisponde a un'intensità di 2,5mrems/h.

Questa è da considerarsi l'intensità limite per chi lavora normalmente esposto alle radiazioni; per chi invece lavora solo saltuariamente, tale intensità può essere superata entro i limiti di 300mrems/settimana e di 5rems/anno.

In ogni caso si raccomanda di evitare esposizioni ad intensità superiori a 750 mrems/h, salvo casi di assoluta inderogabile necessità.

AZIONE DEI RAGGI γ E DEI NEUTRONI

I modi con cui le radiazioni ionizzanti agiscono sulla materia vivente sono estremamente complessi e la loro conoscenza è ancora ben lungi dal poter essere considerata soddisfacente.

E' certo solo che ogni alterazione cellulare è legata alla ionizzazione, che conduce ad uno squilibrio delle molecole componenti e a modificazioni più o meno profonde delle loro proprietà.

Molte funzioni cellulari vengono così alterate dalle radiazioni, sia direttamente, come nel caso delle particelle cariche, sia indirettamente come nel caso dei raggi γ e dei neutroni.

I raggi γ infatti, per effetto fotoelettrico, per effetto Compton e per produzione di coppie, producono elettroni che sono direttamente responsabili della ionizzazione e del conseguente danno biologico.

I neutroni, a seconda che sono lenti o veloci, penetrando nei tessuti si comportano in modo diverso.

Per la stessa costituzione dei tessuti, le radiazioni cui danno luogo più di frequente i neutroni lenti, sono la $H(n, \gamma)D$ e la $N^{14}(n, p)C^{14}$.

Nella prima il γ viene emesso con una energia di 2,2 MeV, mentre nella seconda viene emesso un protone di 0,6 MeV che percorre nei tessuti circa 10 μ .

I neutroni veloci invece ionizzano soprattutto tramite i nuclei d'idrogeno, abbondantissimi nei tessuti, contro i quali urtano, ed ai quali trasferiscono tutta o in parte la loro energia. Possono inoltre produrre stelle di disintegrazione ed anche, una volta rallentati attraverso urti successivi, dar luogo alle due reazioni su citate.

CONTROLLI E NORME DI SICUREZZA

Il livello di radiazione nell'ambiente di lavoro deve essere tale da escludere qualunque possibilità di sovraesposizione, per chi esplica la propria attività esposto alle radiazioni.

Ciò richiede una efficace schermatura delle sorgenti, qualunque esse siano.

La scelta del materiale e lo spessore della schermatura, dipendono naturalmente dall'energia, intensità e natura delle radiazioni dalle quali ci si deve proteggere.

Nel caso di un elettrosincrotrone, le protezioni devono essere particolarmente efficaci contro i raggi ed i neutroni.

Il calcestruzzo risponde assai bene allo scopo ed è consigliabile anche per il suo basso costo.

Volendo fare economia di spazio e ridurre quindi lo spessore delle schermature, si può caricare il calcestruzzo con materiale pesante come barite, magnetite o ferro.

Comunque le protezioni vanno sempre previamente calcolate, ma specie nel caso dei raggi γ e dei neutroni, le misure sono più significative dei calcoli. Ciò può dar modo, quando fosse necessario, di provvedere per una eventuale opportuna schermatura addizionale.

Tutto inoltre deve essere predisposto perchè ogni rischio da radiazione sia eliminato anche nel caso di un incidente meccanico o di una falsa manovra che in qualche modo coinvolga la sorgente delle radiazioni.

Per raggiungere le condizioni di massima sicurezza è ancora consigliabile una costante vigilanza e un continuo controllo di tutte le installazioni, da effettuare sulla base di opportune norme che devono essere attuate e rispettate rigorosamente.

Le norme di sicurezza devono prevedere il più stretto controllo degli accessi alle vicinanze del generatore di radiazioni. In generale l'ingresso al locale della sorgente dovrebbe essere consentito attraverso una sola porta, mentre le altre dovrebbero essere bloccate mediante un meccanismo di sicurezza. Un contatto elettrico di chiusura, che sia necessario anche al funzionamento della sorgente, è consigliabile.

Le stesse norme devono vietare l'accesso a zone particolarmente 'calde' che saranno delimitate in modo inconfondibile e segnate sulla mappa delle radiazioni, della quale il personale deve prendere conoscenza.

Segnalazioni acustiche e ottiche devono precedere l'entrata in funzione delle macchine, mentre nelle zone dove l'accesso è consentito, dovranno essere installati apparecchi di rivelazione e di allarme, per indicare un eventuale livello di radiazione superiore al massimo permmissibile.

CONTROLLO INDIVIDUALE

Oltre ad un periodico rilevamento dell'intensità di

radiazione dell'ambiente di lavoro, da effettuarsi con strumenti idonei la cui efficienza va di continuo controllata, le norme di sicurezza e protezione devono essere completate da un sistema di controllo individuale della dose assorbita.

Quest'ultimo viene effettuato normalmente per mezzo di dosimetri fotografici e di stilodosimetri, che ognuno deve portare su di sé, fissandoli nei punti di probabile massima esposizione.

I dosimetri fotografici permettono di risalire alla dose assorbita, mediante misura della densità di annerimento dei films, previa opportuna taratura. Gli stessi films, se protetti da un piccolo spessore di cadmio, permettono di effettuare la dosimetria dei neutroni lenti, grazie alla reazione $Cd^{113} (n, \gamma) Cd^{114}$.

La dosimetria dei neutroni veloci si può effettuare con le emulsioni nucleari, grazie alla registrazione e al conteggio dei protoni di rinculo.

Il principio di funzionamento degli stilodosimetri è basato sulla scarica, per effetto delle radiazioni ionizzanti, di un elettroscopio inizialmente carico.

Gli stilodosimetri permettono in qualunque istante il controllo della dose γ assorbita.

E' buona norma per la più sicura protezione individuale, portare entrambi i dosimetri. Nel caso infatti in cui lo stilodosimetro indicasse una dose superiore a quella che lo strumento può misurare, si può tempestivamente procedere allo sviluppo del film per conoscere la dose assorbita e per intervenire nel modo più idoneo ad evitare eventuali danni.

Le dosi registrate dai films devono essere annotate sulle cartelle personali, così da evitare che le dosi massime ammissibili vengano superate.

B I B L I O G R A F I A

- G.J. Hine and G.L. Brownell - Radiation Dosimetry
- Academic Press Inc. 1956.
- B.T. Price, C.C. Horton and K.T. Spinney - Radiation Shielding - Pergamon Press - 1957.
- F. Fossati et al.: Norme per le Protezioni Contro Le Radiazioni Ionizzanti - Hoepli 1956.
- H. Joffre - Control des Radiations - Conference C.E.A.
n° 18.
- G. Cortellessa - La Protezione dalla Radiazione Diffusa Generata nel Funzionamento di un Elettrosincrotrone.
- N.B.S. - H.55 - Protection Against Betatron - Synchrotron Radiations Up To 100 MeV.
- U.S.A.E.C. - TID 7545 - Conference of Shielding of High-Energy Accelerators.
- U.S.A.E.C. - NYO 4699 - Stray Radiation Measurements At Particle Accelerator Sites.