

A. RATTI

Direttore dell'Istituto di Radiologia dell'Università di Milano e della
Divisione Radiologica dell'Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura
dei Tumori di Milano

G. FAVA

Dottore in Fisica, Divisione Radiologica dell'Istituto Nazionale per lo
Studio e la Cura dei Tumori di Milano

Problemi di radioprotezione in un servizio radiologico e in un laboratorio di medicina nucleare

Premesse

Dovendo trattare dell'organizzazione proteximetrica di un servizio radiologico e di medicina nucleare, riteniamo opportuno che l'attività di controllo debba essere rivolta ai due gruppi di persone che vanno incontro a differenti condizioni di esposizione. Si tratterà del gruppo che chiameremo di « residenti fissi », medici e assistenti tecnici; e del gruppo costituito da « ospiti temporanei », i pazienti.

È ben noto che, per ogni esposizione radiografica, si possono verificare due tipi di danno: quello somatico, che interessa unicamente l'individuo e che riguarda ogni età della vita; quello genetico che interessa, invece, la discendenza, e pertanto può esercitarsi sul periodo potenzialmente fertile, cioè dal concepimento al termine dell'età riproduttiva, che convenzionalmente è fissata all'età di 30 anni. Anche se questo limite non corrisponde a un concetto biologico, agli effetti pratici non si potrà, tuttavia, non tenerne conto, per le persone che operano in un reparto radiologico e di medicina nucleare.

Si deve subito dire che tanto il rischio quanto la gravità dell'eventuale danno, sono di diversa rilevanza se riferiti al gruppo dei residenti fissi, o al gruppo dei pazienti.

Infatti: il rischio somatico derivante ai pazienti per effetto di esame o di terapia radiologica, data la perfezione tecnica raggiunta dalle apparecchiature (automatismi e accorgimenti vari, quali schermature, etc.), può considerarsi irrilevante.

Diversa considerazione si dovrà avere, per contro, del rischio di danno genetico che corrono i pazienti, in ordine alla loro funzione comunitaria: l'alterazione per mutazioni delle qualità ereditarie di una comunità, per la legge di probabilità e a parità di esposizione, dipenderà dal numero delle persone esposte. Concetto valido, soprattutto oggi, per la sempre crescente utilizzazione delle radiazioni ionizzanti in medicina, trascurando altre condizioni di esposizione.

Considerando, ora, il danno somatico derivante al gruppo che abbiamo chiamato di « residenti fissi », diremo che il rischio è di elevata probabilità per l'accumulo, nel tempo, delle dosi che quotidianamente può ricevere ogni persona nella sua attività professionale.

Nel corso della presente ci limiteremo all'esame di particolari aspetti del problema protezionistico da radiazioni ionizzanti del personale addetto ai servizi radiologico e di medicina nucleare.

Sorgenti delle radiazioni

Il personale di un servizio radiologico e di medicina nucleare, oltre che assorbire le radiazioni naturali terrestri ed extraterrestri (radiazioni di fondo), viene quotidianamente ad esporsi alle radiazioni da « sorgente », proprie dell'ambiente in cui opera. A ragione della diversa natura e del diverso manifestarsi delle radiazioni ambientali, esamineremo l'ambiente di lavoro nella seguente suddivisione: Servizio di diagnostica radiologica - Servizio di terapia radiologica - Servizio di medicina nucleare.

Servizio di Diagnostica Radiologica: l'esposizione del personale di questo servizio è limitata alla durata dell'esame in atto, escludendosi sempre l'azione diretta del « fascio utile ».

- La protezione del personale, quindi, dovrà indirizzarsi:
- alle radiazioni « parassite », promananti dalla cuffia protettiva del tubo a raggi X
 - alle radiazioni « secondarie », provenienti dall'interazione del fascio primario col corpo del paziente sottoposto a esame (radiazione « diffusa »)

— alle radiazioni « terziarie », conseguenti alla diffusione e retrodiffusione delle pareti e dell'arredamento dell'ambiente di lavoro.

Gli spazi in cui si distribuiscono tali radiazioni, per lo più a componente molle, sono facilmente localizzabili, per ogni stanza e per ogni esame.

Si può quindi affermare che tali aree sono esattamente individuate, per cui il soggiorno in sale di diagnostica radiologica, anche durante gli esami, non presenta rischio di sovraesposizione oltre i limiti massimi fissati (ICRP 1958 - e Raccomandazioni EURATOM).

Servizio di Terapia Radiologica :

Roentgenterapia: qui la possibilità protettiva del personale migliora, rispetto al servizio di diagnostica, perché al personale stesso deve essere fatto divieto di sostare nella stanza operativa, durante la marcia delle apparecchiature, e fatto obbligo di porsi ai telecomandi, controllando il paziente attraverso una finestra munita di vetri anti-X. La sicurezza protettiva sarà efficace e permanente se la stanza operativa avrà pareti di spessore adatto, e porte schermate, sicuramente stagne.

Telegammaterapia: quivi, utilizzandosi sorgenti sigillate di radioisotopi, la posizione protetta del personale non viene a sostanzialmente modificarsi, rispetto al reparto Roentgenterapia. Il personale addetto controllerà il funzionamento delle attrezzature attraverso i comandi, posti in area di assoluta sicurezza. Si dovrà solo accennare che le apparecchiature per gammaterapia, in stato di riposo, lasciano sfuggire radiazioni attraverso la testata porta-sorgente, e il sistema collimatore-otturatore (radiazione di fuga). Sarà cura del personale, pertanto, usare la maggiore possibile rapidità nella sistemazione del paziente sul lettino di terapia (centratura).

Curieterapia: il problema della protezione in questo servizio è certamente il più grave di tutti: non a torto è stato detto che è impossibile a un operatore di proteggersi. Giudizio chiaramente comprensibile, quando si rifletta all'energia media del radium. Anche se oggi l'impiego del radium è notevolmente ridotto rispetto a quello di un tempo, poiché la terapia con radiazioni di alta energia ha fatto scomparire quasi completamente la tecnica di apparecchi modellati con cariche di alcune centinaia di grammi di Radium, rimane pur

sempre attuale la quotidiana applicazione di rilevanti quantità di questo radionuclide ai fini della terapia ginecologica.

Né può considerarsi trascurabile l'esposizione cui si va incontro in certi trattamenti interstiziali.

Si aggiungano tutte le operazioni di stoccaggio dei preparati e quelle di preparazione degli applicatori e, in certi casi, di misura diretta delle radiazioni emesse.

La soluzione del problema protettivo consisterà, quindi, nella ricerca e nella messa in opera di accorgimenti e dispositivi che, pur permettendo i necessari spostamenti delle sorgenti, assicurino una sufficiente protezione del personale.

Servizio di Medicina Nucleare: qui, dovendosi manipolare sorgenti non sigillate, si dovrà provvedere all'impianto di adatta cassaforte di deposito, tavolo di telemanipolazione, areatori, scarichi di rifiuti, etc. Epperò, anche tali apparecchiature potranno contaminarsi per errore di manipolazione delle sorgenti, aumentando pericolosamente il fondo radioattivo dell'ambiente di lavoro. Si richiederà, pertanto, un attento studio organizzativo, in grado sia di prevenire ogni possibile incidente di lavoro, che semmai avverrà per l'imponderabile casuale; sia di controllare e valutare l'eventuale effetto dannoso. Da ciò la necessità che l'apparato protettivo si adegui alla varia natura delle sorgenti usate, al tipo di radiazioni emesse, alla durata delle stesse.

Natura delle radiazioni

Ai fini della scelta di un opportuno rilevatore, il più adatto al nostro scopo di misura protettiva, ci atterremo alle indicazioni dettate dall'ICRP. Sarà necessaria, pertanto, una esatta conoscenza delle caratteristiche delle radiazioni presenti nei locali di radiologia e di medicina nucleare.

A) stabiliremo anzitutto, se trattasi di radiazione elettromagnetica o corpuscolare.

B) classificheremo le radiazioni secondo la loro origine:

— radiazioni « primarie »: quelle provenienti direttamente dalle sorgenti: macchia focale dei tubi a raggi-X; pastiglia di una unità di telegammaterapia a collimatore aperto; contenitore per radioisotopi non schermato, etc. La direzione di propagazione delle radiazioni « primarie », nonché la loro durezza, sono dati generalmente noti in via esatta.

- radiazioni « parassite »: quelle provenienti dall'involucro di un tubo a raggi-X, o dalla testata e dal sistema di collimazione di un'unità di telegammaterapia, o dal contenitore di una sorgente radioattiva sigillata e no. Le radiazioni di che trattasi sfuggono dalle pareti degli involucri per incompleto assorbimento delle stesse; hanno varia direzione non localizzabile perché, natura loro, hanno ogni possibile direzione; il loro spettro e intensità varia, d'ordinario, talvolta, anche nel tempo.
- radiazioni « indirette » o « secondarie e terziarie »: quelle originate, per lo più, da radiazioni diffuse e retrodiffuse dalle pareti e dagli arredi irradiati. La loro direzione e durezza è completamente sconosciuta, e il loro spettro e intensità varia nel tempo.

C) Valuteremo, almeno in via approssimata, l'intensità di esposizione, e ciò al fine di una scelta del rivelatore più adatto alle nostre misurazioni.

Conosciuta la natura delle radiazioni, imposteremo il problema della misura protettiva, che analizzeremo in due successive fasi:

- 1) studio delle barriere protettive
- 2) valutazione delle esposizioni.

Studio delle barriere protettive

Conosciuta la natura, durezza e direzione delle radiazioni elettromagnetiche del fascio primario, la barriera protettiva verrà realizzata con uno spessore d tale che

$$I_e = I_i e^{-\mu d}$$

non superi i valori consigliati dall'ICRP: I_i valore all'interno della parete, I_e valore all'esterno della parete, μ coefficiente di assorbimento del materiale utilizzato. Se il fascio è monocromatico, esprimeremo lo spessore in S.E.V., intendendo per Strato-Emi-Valente lo spessore di assorbente capace, in quel punto, di ridurre (*)

$$I_e = \frac{I_i}{2}$$

(*) Il termine Strato-Emi-Valente è usato, da molti anni, dalla letteratura italiana per indicare lo spessore in mm di un materiale che riduce a metà, all'emergenza, l'intensità di un fascio di radiazioni. Se ci si riferisce alla natura del fenomeno, riteniamo che una tale terminologia non sia la più propria. Analogamente ai termini usati in tedesco, francese e inglese, riteniamo sia più appropriato parlare di Strato di Semi Assorbimento - S.S.A. fig. n. 1.

Se il fascio è policromatico, introdurremo il fattore « grado di omogeneità » definito con il rapporto

$$S.E.V. / s.e.v.$$

ove s.e.v. è lo spessore di materiale aggiunto che riduce

$$I_e = \frac{I_i}{4}$$

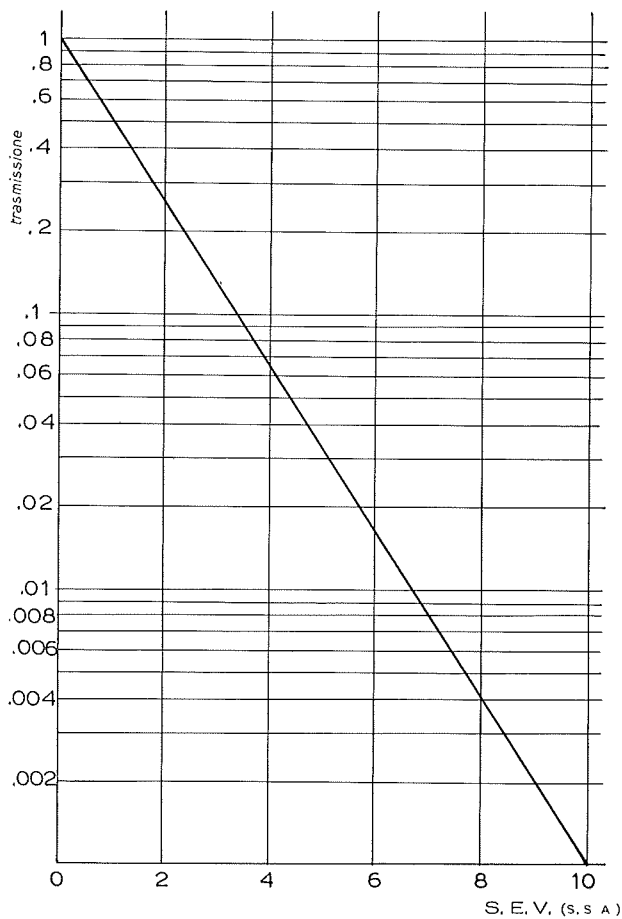


Fig. 1 - Grafico con cui stabilire il numero di S.E.V. di qualsivoglia assorbente, capace di ridurre l'intensità del fascio emergente, secondo un valore predeterminato.

Le barriere protettive sono, generalmente, realizzate in piombo. Quando sono costituite da altro materiale, si preferirà esprimerle in « equivalente piombo », e diremo, pertanto, che uno spessore d_A di materiale A è equivalente a d_P cm. di Pb quando, dal punto di vista dell'assorbimento delle radiazioni ionizzanti, daranno lo stesso risultato:

$$I_e e^{-\mu_P d_P} = I_e e^{-\mu_A d_A}$$

$$\mu_P d_P = \mu_A d_A$$

$$d_A = \frac{\mu_P}{\mu_A} d_P$$

Si otterrà il valore di d_A con misure dirette, nel caso che μ_A , o lo spettro del fascio primario non siano noti. Provvedute le apparecchiature del servizio di opportune schermature, si disporrà per lo studio della distribuzione delle radiazioni parassite e secondarie, presenti inevitabilmente nell'ambiente di lavoro.

In via preliminare effettueremo un'operazione di rilevazione con tubo G.M., e successivamente valuteremo quantitativamente l'esposizione nei vari punti, mediante una camera a ionizzazione, capace di una risposta largamente indipendente dalla durezza e dalla direzione delle radiazioni.

Mezzi e metodi di valutazione delle esposizioni

Per valutare il rischio di esposizione di persone soggette all'azione di radiazioni ionizzanti, è necessario misurare la entità del carico cui le persone stesse sono sottoposte.

La scelta del dosimetro sarà condizionata dal tipo di misura che si vorrà effettuare. E così, volendosi stabilire l'esposizione (X), si userà un dosimetro integratore (esposimetro), in grado di indicare la esposizione direttamente in R, o parte aliquota di essi. Volendosi, per contro, valutare l'intensità dell'esposizione (esposizione nell'unità di t tempo $\frac{\Delta X}{\Delta t}$), si impiegherà un misuratore medio di esposizione, capace di indicare direttamente il dato richiesto in mR/h o mR/m.

Il rivelatore utilizzato nel dosimetro per i nostri fini protometrici, sarà generalmente: o una camera a ionizzazione, o una camera condensatore, o una emulsione fotografica. Epperò, considereremo rapidamente le principali caratteristiche dei detti rivelatori:

Monitor con tubo contatore G.M.:

vantaggi:

- piccole dimensioni
- lettura diretta dell'intensità d'esposizione

svantaggi:

- dipendenza dalla direzione di propagazione delle radiazioni
- deficiente linearità per valori di elevata intensità di esposizione

Camera di ionizzazione con elettrometro incorporato:

vantaggi:

- indipendenza, entro ampio intervallo, del valore di intensità dell'esposizione
- linearità, entro ampio intervallo, dell'energia dei fotoni

svantaggi:

- volume ampio di misura
- sensibilità al campo magnetico

Camera di ionizzazione con strumento di misura separato:

vantaggi:

- elevata precisione
- linearità, entro ampio intervallo, dell'energia dei fotoni

svantaggi:

- debole sensibilità, per cui si rende indispensabile la misura per integrazione

Camera condensatore con strumento di carica e lettura:

vantaggi:

- buona precisione
- energia indipendente entro ampio intervallo

svantaggi:

- lettura unicamente per integrazione
- elevata sensibilità all'urto e agli agenti atmosferici

Dosimetro a emulsione fotografica:

vantaggi:

- adatto alla localizzazione di radiazioni parassite
- possibilità che l'annerimento si renda energia indipendente, mediante opportuna combinazione di emulsioni e di filtri

svantaggi:

- nessuna lettura diretta
- lettura unicamente per integrazione.

I rivelatori, prima di essere posti in marcia, dovranno essere calibrati, al fine di:

- a) conoscere il grado di energia- dipendenza
- b) determinare l'effetto direzionale
- c) stabilire l'intervallo di indipendenza dell'intensità del fascio
- d) stabilire il grado di precisione della scala.

La taratura verrà eseguita, d'ordinario, mediante impiego di sorgenti di radioisotopi a lungo periodo fisico di dimezzamento, come Ra^{226} , Co^{60} , Cs^{137} . E così per esempio: l'intensità della esposizione (Exp. rat.) relativa a sorgente di C grammi di Ra^{226} filtrati da t mm di platino-iridio, a una distanza S m dalla sorgente stessa, viene indicata matematicamente, o con la formula di Laurence (1937)

$$\text{Exp. rat.} = \frac{(0,898 - 0,117 t) C}{S^2} \text{ R/h}$$

o con la formula del Whyte

$$\text{Exp. rat.} = \frac{(0,88 - 0,12 t) C}{S^2} \text{ R/h}$$

Le apparecchiature impiegate per la misurazione di radiazione beta, ordinariamente sono le stesse che per le misurazioni di raggi X o gamma, con la variante che le apparecchiature stesse saranno munite di rivelatori a finestra sottile, per facilitare l'entrata in essi delle particelle beta.

Nel caso si impiegassero camere a ionizzazione, le pareti di queste dovranno essere realizzate con materiale a basso numero atomico, e di spessore non superiore a 7 mg/cm² (spessore corrispondente mediamente a quello degli strati morti del tessuto cutaneo).

Le tarature dei rivelatori dovranno eseguirsi impiegando sorgenti calibrate, aventi emissioni beta eguali a quelle di cui si vuole misurare l'intensità.

Metodi proteximetrici adottati nel nostro Istituto

I — Nel servizio di Radiodiagnostica ci siamo preoccupati:

a) di ricercare la distribuzione della radiazione dispersa durante la radioscopia (Radiation-Survey), mediante il Dosimetro integratore «Condiometer» della P.T.W. (Freiburg), i cui rivelatori sono camere-condensatore suddivisi in gruppi, a seconda della sensibilità e ampiezza del « range » di misura.

Le misurazioni vennero eseguite in modo preordinato e sistematico, secondo direzioni di raggi uscenti dall'asse del fantoccio paziente-simulatore, equidistanti 15° l'uno dall'altro, e circonferenze concentriche rispetto al detto asse, distanti cm. 25 fig. n. 2.

In tal modo nessuna zona della stanza venne trascurata, e ogni piano richiese circa 130 rilevazioni.

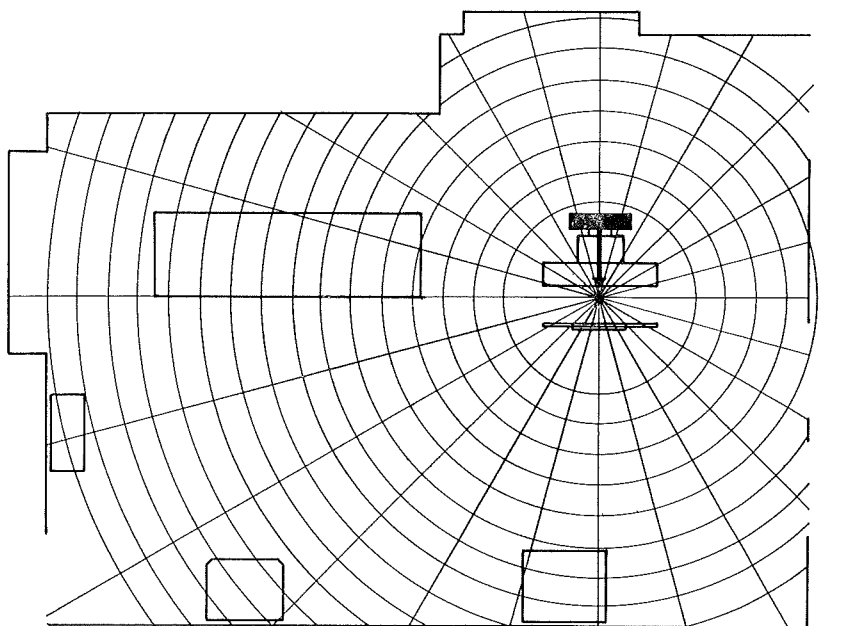
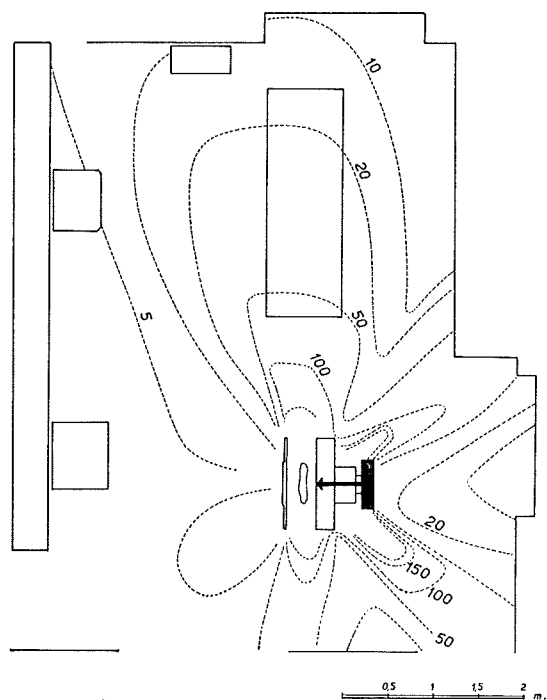


Fig. 2 - Al fine di non trascurare alcuna zona, le misurazioni nella sala di roentgendiagnostica vengono rilevate secondo raggi uscenti dal fantoccio paziente-simulatore, e secondo circonferenze concentriche rispetto all'asse del fantoccio stesso: raggi e circonferenze sono complanari.

Le misure ottenute, espresse in mR/h, ci consentirono di disegnare in scala, su una pianta del locale, delle famiglie di curve: luogo dei punti di isoesposizione.

Con le mappe ottenute, indicammo sul pavimento del servizio, con tratteggio ben visibile, le aree calde, al fine che il personale potesse facilmente evitarle durante i necessari spostamenti nel corso dell'esame radioscopico. fig. n. 3.

b) di misurare l'esposizione di tutti coloro che operano nel servizio dotandoli di un dosimetro individuale con rivelatore a emulsione fotografica « film-badge » Kodak - Chas-sende-Baroz Tipo D.M.A.-X, la cui lettura, a evitare errori di



STANZA "B, DIAGNOSTICA

ORTOCLINOSCOPIO 4 m.A 80KV campo cm. 25x25

PIANO ORIZZONTALE 125 cm. dal suolo

CENTRO SCHERMO E FANTOCCIO 125 cm. dal suolo

Valori in mr/ora

Fig. 3 - Mappa indicante la distribuzione delle curve di « isoesposizione » in una sala di roentgendiagnostica durante un esame radioscopico.

valutazione soggettiva, viene eseguita mediante densitometro a riflessione Kodak, in base a una curva di taratura controllata periodicamente, con alcuni films trattenuti dallo stock distribuito, che vengono, successivamente, esposti, sviluppati e fissati con criteri di taratura.

II - Nei reparti di Roentgenterapia e di telegamma-terapia, è stato effettuato il controllo dell'efficienza delle pareti protettive con camera a ionizzazione, mediante elettrometro incorporato della Victoreen « Gamma Survey Meter ». Mod. 247 C. I risultati delle misurazioni, nelle zone di maggior frequenza, hanno confermato la validità delle barriere studiate: l'intensità di esposizione (mR/h) è largamente inferiore ai valori massimi ammissibili secondo le norme ICRP (1958). Fig. n. 4.

Tutte le persone che operano in questo servizio portano un dosimetro personale Gilardoni, munito di rivelatore a emulsione fotografica Ferrania D2. Il dosimetro (Astuccio)

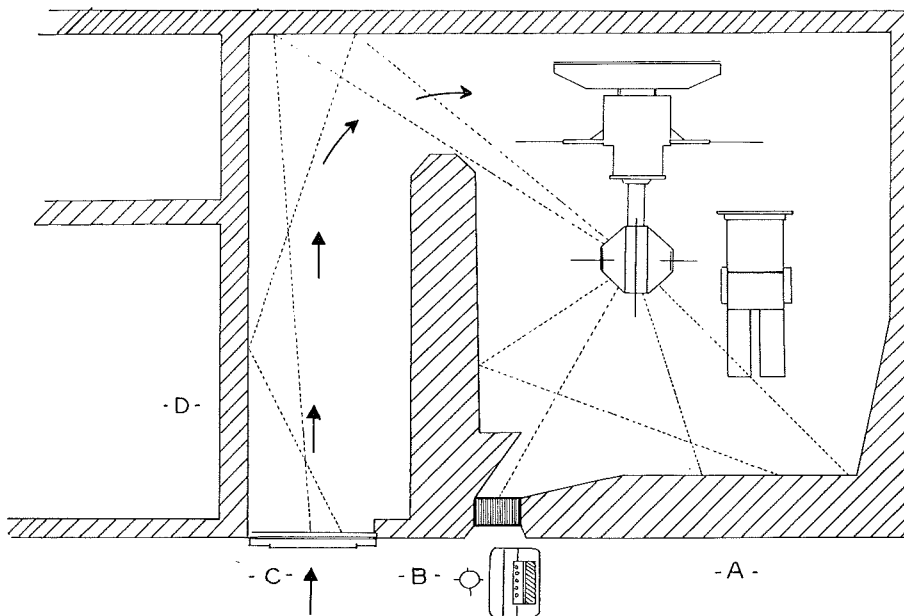


Fig. 4 - Schema del labirinto di un'unità di telegammaterapia. Le barriere protettive sono di spessore capace di ridurre l'esposizione, nei punti A, B, C, D, al livello della Dose-Massima-Ammissibile: A corridoio, B posto di telecomando, C porta schermata, D soggiorno pazienti.

è munito di speciali filtri metallici, che permettono di stabilire anche la qualità della radiazione.

La lettura di questi film avviene mediante densitometro a trasmissione Baldwin, la cui scala delle densità è tarata in mR.

III - Curieterapia :

a) anche qui è stato eseguito un controllo: delle barriere protettive, costituite essenzialmente da piombo e barite, poste attorno alla speciale cassaforte; delle barriere dei tavoli di manipolazione, nonché di quelle che si adottano quando si deve procedere a misure dirette; infine, delle pareti dei contenitori che si usano quando si rende necessario il trasporto dei materiali radioattivi.

b) il personale di servizio di radiumterapia è dotato di penne-dosimetriche Victoreen (Pocket-chambers) Mod. 362 (0 — 0,2 R). La carica e la lettura delle penne (camera condensatore) avviene impiegando il dosimetro « Minometer » Mod. 287 della Victoreen stessa. L'uso delle penne consente un rapido controllo settimanale del carico individuale.

IV - Reparto di medicina nucleare:

a) per il controllo dell'attività ambientale (Area-Monitoring) di questo servizio, data la complessità delle attrezzature occorrenti alla manipolazione di sorgenti non sigillate, si renderà necessario suddividerlo in due settori: Zona Controllata (laboratorio caldo) e Zona Sorvegliata (laboratorio di radiochimica e sale somministrazione e conteggio). Fig. n. 5.

Il livello dell'attività ambientale della zona controllata è costantemente sorvegliato da un monitor a rivelatore G.M. incorporato, della ditta Gilardoni, capace di emettere un segnale acustico ogni qual volta, durante una manipolazione di stoccaggio o di diluizione non corretta, si superino i 2 mR/h.

Al limite delle due zone si trova un monitor a rivelatore G.M. mobile, della ditta Selo — Mod. 12/1 F 7 - MRG 202 BR — avente la duplice funzione di controllare il livello dell'attività nella zona sorvegliata, e dell'eventuale contaminazione accidentale dei tecnici uscenti dalla zona controllata.

In caso di contaminazione del personale o degli ambienti, il servizio di fisica sanitaria interverrà per procedere alla localizzazione, delimitazione e decontaminazione.

Questo servizio di emergenza è dotato, fra l'altro, di un misuratore portatile transistorizzato della Selo — Mod. 12/2

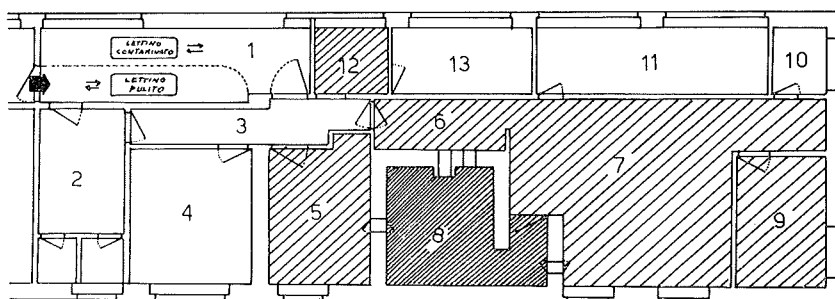


Fig. 5 - Pianta del Servizio di Medicina Nucleare. L'area a tratteggio fitto indica la «Zona Controllata» laboratorio caldo; l'area a tratteggio rado indica la «Zona Sorvegliata»: 5 sala somministrazioni; 6 lavaggio vetrerie; 12 lavanderia; 7 laboratorio radiochimico; 9 laboratorio ricerche. L'area senza tratteggio indica: 1 ingresso; 2 spogliatoio e servizi; 4 fisica sanitaria; 10, 11, 13 deposito materiali puliti e decontaminati.

F 15 - MRG 310 DT — a quattro campi di misura 2 - 20 - 200 - 2.000 IPS. La sonda è un tubo G.M. funzionante a 300-400 V con pareti a spessore 25-35 mg/cm².

Al servizio di fisica sanitaria spetta, inoltre, il controllo dell'efficienza dei filtri di areazione, e dello smaltimento dei rifiuti radioattivi, in modo che tutto proceda secondo le raccomandazioni internazionali, atte a garantire l'incolumità delle popolazioni civili, nonché secondo i disposti del D.P.R. n. 185 del 13 febbraio 1964.

b) il personale del servizio di medicina nucleare è dotato, nel nostro Istituto, di un doppio controllo, di cui uno a lettura mensile con dosimetro Landis & Gyr - ERB - i cui rivelatori sono penne dosimetriche della stessa ditta - tipo EQC (0 — 200 mR); l'altro a lettura settimanale costituito da dosimetro a tasca con dispositivo di carica incorporato e lettura diretta immediata - produzione Philips.

Risultati delle rilevazioni individuali eseguite negli anni 1962-63

Complessivamente sono stati sottoposti a controllo n. 62 unità per ogni anno.

Come si vedrà, tra i valori minimi e massimi di esposizione vi sono differenze rilevanti, e ciò in rapporto alle diverse mansioni svolte in ciascun reparto.

Salvo qualche eccezione, i dati si riferiscono a persone che hanno prestato la loro attività per un anno solare in uno dei reparti indicati.

I risultati delle rilevazioni individuali, espressi come carico minimo e massimo in mrem, sono indicati nella seguente tabella:

TABELLA 1
CARICO ANNUALE INDIVIDUALE (mrem/anno)

SERVIZIO	1 9 6 2		1 9 6 3		
	<i>minimo</i>	<i>massimo</i>	<i>minimo</i>	<i>massimo</i>	
Roentgendiagnostica	80	3964	70	3684	
Terapia {	Co ⁶⁰ - Cs ¹³⁷	83	113	45	283
	Roentgen	45	720	81	1069
Curieterapia	802	7450	433	5500	
Medicina Nucleare	590	1820	340	1300	

(Anno lavorativo di 50 settimane)

Questi dati dimostrano, in primo luogo, che le esposizioni hanno potuto essere contenute al disotto del limite della Dose-Massima-Ammissibile, salvo che per il reparto di radium-terapia, ove tre persone delle venti controllate hanno superato il detto limite.

Da quanto si è riferito, risulta essere possibile che la normale attività in un Istituto di Radiologia si svolga nel rispetto delle norme protezionistiche suggerite. Naturalmente le esigenze di lavoro e le condizioni ambientali variano da Istituto a Istituto, ed è comprensibile che il problema di una efficiente protezione assuma aspetti diversi, e presentare diverse difficoltà.

Appare però ben chiaro che la protezione, nei servizi di Roentgen e telegamma-terapia, può essere ottenuta in modo largamente efficiente e senza troppa difficoltà. Un risultato analogo è raggiungibile, sia pure meno agevolmente, nella diagnostica, ove soltanto questioni di ordine economico osta-

colano, oggi, l'attuazione di adeguate norme di protezione: comunque, una ben proporzionata disponibilità di personale e una avveduta modernizzazione degli impianti può condurre a soluzioni assolutamente soddisfacenti. Anche per il servizio di medicina nucleare si è arrivati a una condizione di sicurezza, che però riposa in buona parte, e qui maggiormente che negli altri reparti, sulla educazione tecnica degli operatori.

I reparti di medicina nucleare sono tutti di età recente, e verranno a farsi più numerosi: essi non saranno causa di inconvenienti se si eviteranno improvvisazioni.

Più difficile appare il problema del servizio di Curieterapia, e qui però occorrono alcune considerazioni. In primo luogo: nella maggior parte dei servizi radiologici di Ospedali generali, l'attività Curieterapica, quantitativamente, è limitata rispetto a quella della Roentgendiagnostica, e ciò costituisce un primo fattore di riduzione del rischio. Là dove controlli attendibili dimostrino che l'esposizione settimanale superi valori massimi ammissibili, si potrà provvedere con opportuna rotazione del personale, facendolo passare, dopo un trimestre o un quadrimestre, dal servizio di Curieterapia a uno Roentgen o gamma-terapia, servizi che possono considerarsi quasi completamente protetti.

Si deve però segnalare che, per la Curieterapia, sono stati studiati e, se pur molto limitatamente per ragioni pratiche, sono entrati in uso i metodi di Curieterapia con radioisotopi, che si prestano alla preparazione non radioattiva del vero e proprio tempo terapeutico (B. Pierquin), con guadagno non soltanto della protezione ma anche della esattezza dosimetrica. È augurabile un rapido ulteriore perfezionamento e diffusione di questi metodi.

Da tutto ciò, a nostro modo di vedere, emerge un concetto, per sé ovvio, ma che riteniamo utile sottolineare: quello, cioè, che un grande servizio radiologico debba essere costituito in modo armonico, così che vi sia sufficiente possibilità di un lavoro, organizzato da persone a buon livello di preparazione tecnica che, per la costituzione dei singoli reparti come per la possibilità di opportune rotazioni, risponda a quelle misure di protezione che metodici e ben diretti controlli fisici devono indicare.

Per conferire un più pratico valore ai risultati delle misure eseguite, pensiamo sia opportuno dare un'idea dell'attività media svolta in un anno nei diversi servizi:

TABELLA 2
ATTIVITA' ANNUALE

SERVIZIO	1962	1963
Esami X-diagnostici	7940	8661
Co ⁶⁰ - Cs ¹³⁷ {	applicazioni statiche . .	18340
	applicazioni cinetiche . .	2365
Roentgenterapia	18390	18894
Curieterapia (Ra ²²⁶ - Sr ⁹⁰)	2418	2377
Medicina nucleare {	diagnostica (*) . .	211
	terapia (*)	19

(*) Radionuclidi impiegati: I¹³¹ - P³² - Au¹⁹⁸ - Y⁹⁰ - Hg¹⁹⁷ - Cr⁵¹

Conclusioni

Le attuali conoscenze circa l'influenza nociva delle radiazioni ionizzanti per esposizioni croniche di limitata intensità, non consentono di assumere precisa responsabilità in ordine alla determinazione del punto limite massimo di tolleranza.

L'esperienza radiologica e le considerazioni statistiche, però, hanno consentito agli organismi tecnici che hanno affrontato il problema, di proporre il valore di dose minima che è assai giusto ritenere come valido. Anche se a taluno potrà sembrare che, nello stabilire tali limiti, abbiano avuto peso fattori di ordine psicologico tali da indurre, nel giro di pochi anni, a spostare verso limiti più bassi la Dose-Massima-Ammissibile. Secondo le norme ICRP, la Dose-Massima-Ammissibile-Totale (D) (*) accumulata nelle gonadi negli organi omopoi-

(*) A parità di Dose Assorbita (D), l'effetto biologico varia in funzione della qualità della radiazione (x, gamma, beta+, beta-, alfa, n ...). Inoltre, per una irradiazione con particelle, direttamente o indirettamente ionizzanti, dello stesso tipo, l'effetto biologico è funzione della loro distribuzione e del loro LET. Per cui l'ICRU e ICRP, hanno stabilito di chiamare, nello studio delle protezioni, Dose Equivalente (DE) la quantità definita dalla seguente equazione:

$$(DE) = D (QF) (DF) \quad \text{rem}$$

ove (QF) è il « fattore qualità », e (DF) il « fattore di distribuzione ». L'unità di misura della (DE) è il rem. (Report. 10a - Handbook 84 - 1962).

tici e nei cristallini all'età di N anni ($N > 18$), dovrà essere regolata dalla relazione:

$$D = 5 (N - 18) \text{ rem}$$

Per un individuo professionalmente esposto a dose costante dall'età di anni 18, la formula consente la dose massima settimanale di 100 mrem.

Ritenuto il danno totale funzione dell'intensità della esposizione (mR/sett), rappresenteremo indicativamente il danno stesso col grafico fig. n. 6 ad andamento esponenziale, suddiviso in due zone: quella relativa all'esposizione accettabile (inferiore a 100 mrem/sett), e quella alla sovraesposizione. (Vedi Tabella n. 3).

L'andamento della zona di sovraesposizione, anche per la numerosa casistica posseduta, offre i dati di stima del danno subito dal personale addetto ai servizi di nostra considerazione, che non si sia attenuto alle norme raccomandate.

La zona di esposizione accettabile, causa l'incertezza di determinazione dell'effetto biologico, offre lo spunto a considerazioni di varia natura. Nell'affrontare l'organizzazione protettiva, ci si rivolge a problema che trascende un argomento puramente scientifico. Accetteremo, pertanto, il principio del rischio limitato (Dose-Massima-Ammissibile), in funzione del necessario compromesso tra esigenza protezionistica e progresso scientifico ed economico. Del resto non v'ha professione alcuna senza rischio proprio, per concludere, quasi paradossalmente, che non v'è manifestazione vitale senza rischio.

L'accettazione del principio del danno limitato, per essere morale, ha limite e condizione: si dovrà cioè tendere con ogni sforzo, sia da parte dello scienziato che da parte del legislatore, a ridurre costantemente il livello del rischio, considerando con flessuosa elasticità i metodi protettivi e le conquiste tecnologiche, codificando non in maniera astratta e fredda.

V'è pure chi considera la protezione dalla bassa esposizione in relazione all'elevato costo dei mezzi protettivi: materiali assorbenti, schermi, telecomandi, reti di monitoraggio, dispositivi di sicurezza, evidentemente ritenendo innocua l'attuale dose di massima esposizione consentita. Costoro traducono il problema in:

$$\text{Costo protezione} = f(\text{Espos. Prof.})$$

Si otterrebbe, così, il grafico ad andamento parabolico che tende a zero per esp. prof. $\rightarrow \infty$, e tende a ∞ per esp. prof. $\rightarrow 0$.

Esaminando il grafico si rileverà che il costo di una attrezzatura protettiva è elevato proprio nella zona incerta, o della massima esposizione consentita (fig. 6).

A noi ripugna la accettazione del compromesso economicità-riduzione del margine di sicurezza.

Il fisico sanitario, preposto alla prevenzione e al controllo, avrà altri modi nell'intervenire efficacemente a risolvere

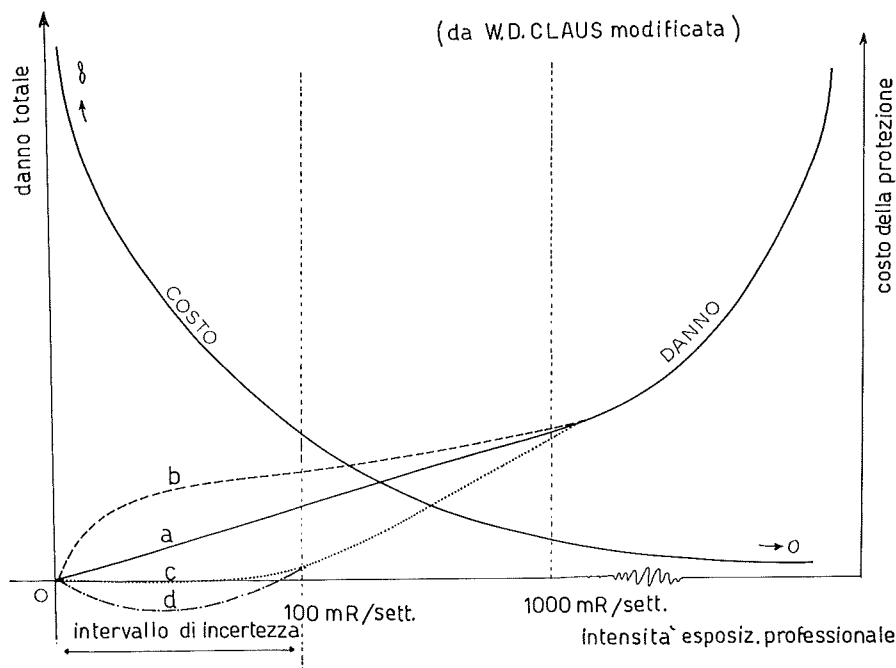


Fig. 6 - Relazione tra « Danno Totale », « Costo della Protezione » e « Esposizione Professionale ». Curva del danno totale: l'andamento del grafico, per la numerosa casistica (sovraesposizione accidentali, esposizioni terapeutiche nell'uomo, esposizioni sperimentali sugli animali), è sufficientemente noto nell'intervallo $1 R - \infty$; nell'intervallo $0 - 1 R$ non è ancora esattamente definito. In questo secondo intervallo, l'andamento, per l'ammissione di molti Autori, potrebbe essere, in via alterna, secondo le seguenti curve; curva a: che si ottiene per estrapolazione, confermando la proporzionalità del danno alle basse esposizioni; curva b: che evidenzia la superiorità del danno in prossimità dell'origine; curva c: che presume l'esistenza di una soglia, inferiormente alla quale le esposizioni recherebbero danni perfettamente riparabili; curva d: che vuole giustificare un assurdo effetto benefico delle basse esposizioni (effetto stimolante delle radiazioni). Curva del costo delle protezioni: che evidenzia come il costo protettivo aumenti sensibilmente col conseguimento di livelli di esposizione sempre minori.

TABELLA 3

SVILUPPO STORICO DELLA «DOSE DI TOLLERANZA»

<i>DATA</i>	<i>AUTORE</i>	<i>D.T. (mR/sett)</i>
1902	Rollins	60000
1925	Mutscheller e Sievert	1200
1926	Solomon	12000
1927	Dutch Board	240
1928	Barclay e Cox	1200
1928	Kaye	720
1932	Failla	600
1932	Stenstrom	960
1934	Int. X-ray and Radium Prot. Comm.	1200
1936	Adv. Comm. on X-ray a. Radium Prot.	600
1949	N.C.R.P.	300
1950	ICRP	300
1958	ICRP	100

il problema protezionistico, con misure collettive ed individuali, mediante:

- delimitazione e contrassegno delle zone sorvegliate e controllate
- controllo di sistemi di protezione
- valutazione delle esposizioni e delle contaminazioni ambientali e individuali
- messa in opera di barriere di schermatura
- adozione di particolari indumenti protettivi
- impianto di particolari sistemi di lavaggio
- adozione di dosimetri individuali, da portarsi permanentemente durante le ore di lavoro, e rilevazione delle dosi assorbite a opportuno intervallo di tempo
- conservazione in archivio dei risultati delle valutazioni effettuate
- impiego statistico dei risultati di archivio, al fine della esatta determinazione del rischio cui il personale è soggetto, e conseguenti indicazioni di fattori su cui operare per conseguire un ulteriore abbassamento del livello di rischio
- istruzione del personale sui rischi specifici cui è esposto e delle norme essenziali di protezione

- opportuno sistema di smaltimento dei residui radioattivi
- rotazione del personale che si intercambierà nei vari reparti, così da equilibrare l'esposizione singola cumulativa del personale dell'intero servizio
- disposizione dei pazienti portatori di sorgenti radioattive, nelle camere di soggiorno, in modo che gli addetti alla loro assistenza evitino le aree di esposizione circostanti i pazienti stessi.

Concluderemo affermando, ed è opinione largamente diffusa, che solo una coscienza del rischio, da parte del personale dei servizi radiologici e di medicina-nucleare, è condizione efficiente alla massima sicurezza, nonostante il buon impiego dei più avanzati dispositivi di protezione. Soltanto con l'esatta coscienza del rischio si potrà ridurre lo stesso, almeno al livello del rischio di ogni altra attività professionale.

BIBLIOGRAFIA

- (1) *Abbatt J. D., Lakey I. R. A.*, Protection against radiation, Cassel, London 1961.
- (2) *Allisy A.*, La mesure des doses de rayons x ou gamma a l'aide d'emulsions photographique. Jour. Rad. et Elett. XXXVII - ottobre 1956 pag. 249-252.
- (3) *Archer Vincent*, Protection of personel during roentgenological examination. Am. J. Roent. LXXIV, 1955, pag. 667-676.
- (4) *Braestrup C. B., Wickoff H. O.*, Radiation protection. Thomas, Illinois, 1958.
- (5) *Cassano C., Baschieri I., Tresalti E.*, Problemi inerenti la spedalizzazione dei pazienti da sottoporre a terapia con radioisotopi. Att. Osped. Ital. XI, Nov. 1963, pag. 41-44.
- (6) *Claus W. D.*, Radiation Biology and Medecine, Addison-Wesley, Massachusetts, 1958.
- (7) *Jacchia E.*, Il rischio da radiazioni nell'era nucleare. Giuffré, Milano, 1963.
- (8) *Jacobson L. E., Schwartzmann J. J., Heiser S.*, Monitoring of diagnostic X ray department. Radiology LVIII 1952, pag. 568-582.

- (9) *Larsson L. E.*, Measurement on radiation protection required in the walls of roentgen diagnostic rooms. *Acta Rad.* XLV, 1956, pag. 249-254.
- (10) *Moricini A., Polvani C.*, Il controllo fisico delle contaminazioni radioattive. *Minerv. Nucl.* I, 10, 1958, pag. 261.
- (11) *Perussia A.*, Problemi di sicurezza connessi all'uso dell'energia nucleare e dei radioisotopi. *Atti I Conv. Studio sulle condizioni della ricerca fisica in Italia.*
- (12) *Price B. T., Horton C. C., Spinney K. T.*, *Radiation Shielding.* Pergamon Press 1957.
- (13) *Ratti A., Buraggi G. L.*, Il reparto di medicina nucleare dell'Istituto Vittorio Emanuele III per lo studio e la cura dei tumori. *La Rad. Med.* XLVIII Nov. 1962, pag 1041-1057.
- (14) *Tubiana M.*, Dangers des radiations ionisantes. *Rev. de l'Enseignement Supérieur*, N. 2, III, 1958, pag. 123.
- (15) *Tubiana M., Dutreix J., Dutreix A., Jokey P.*, *Bases physiques de la radiothérapie et de la radiobiologie* Masson et C.º, Paris, 1963.
- (16) *Manuale di esercizio del laboratorio operazioni-calde.* C.N.E.N. Giugno 1962.
- (17) Sicurezza degli impianti e protezione sanitaria dei lavoratori e delle popolazioni contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti derivanti dall'impiego pacifico dell'energia nucleare. D.P.R. 13.2.1964, N. 185. *Suppl. Gazz. Uff.* N. 95 del 16.4.1964.
- (18) Raccomandazioni della Commissione Internazionale per le Protezioni radiologiche e relazione delle decisioni prese alla riunione del 1959 dalla Commissione Internazionale per le Protezioni radiologiche (ICRP). Traduz. dei dott. C. Polvani e L. Forti a cura della SIRMN (1960).
- (19) N.B.S. Circular 583 (1957). *Suppl.* (1959). X ray attenuation coefficients from 10 to 100 MeV. U.S.D. of Comm. N.B.S.
- (20) Handbook N. 50. X ray protection design. *Handbooks of the Nat. Bur. of Stand.* (1962).
- (21) Handbook N. 51. Radiological monitoring methods and instruments *Handbooks of the Nat. Bur. of Stand.* (1952).
- (22) Handbook N. 57. Photographic dosimetry of and X gamma rays *Handbook of the Nat. Bur. of Stand.* (1954).
- (23) Handbook N. 84. Radiation quantities and units. Report 10a ICRU (1962).

INTERVENTI SULLA RELAZIONE

F. W. SPIERS

I was interested that Prof. Ratti found the highest occupational doses among those handling radium for this is also the experience in Britain. This problem is likely to remain and to be only partially solved until other methods of treatment replace the present use of intracavitary radium, although some reduction in dose can be achieved by remote handling apparatus in the preparation of the radium and by a division of labour among a sufficient number of personnel to reduce the dose to anyone individual.

S. LIN

Penso che la brillante relazione del Prof. Ratti abbia esaurientemente dimostrato quale importanza abbia la competenza ed il senso di responsabilità di chi dirige un grande Istituto Radioterapico nell'adozione di tutte quelle misure che permettono di mantenere entro limiti molto bassi le dosi di esposizione, integrate nel periodo di un anno, del personale che vi è addetto. E di ciò fa testimonianza la tabella n. 1 della relazione scritta nella quale possiamo osservare come la massima parte delle dosi del personale esposto è ben al di sotto dei livelli massimi permessi dalle norme dell'I.C.R.P.

D'altra parte, ha sottolineato poco fa il Prof. Spiers, la maggiore esposizione si riscontra negli addetti alla pratica della Curieterapia per la peculiare difficoltà delle tecniche di applicazione dei preparati radiferi che difficilmente permettono una sufficiente ed idonea schermatura dell'operatore.

Vorrei sottolineare che oltre a questo aspetto costituito dal pericolo di irraggiamento esterno che la radiumterapia comporta, ne esiste anche un altro e, forse sotto certi aspetti più temibile, che riguarda la possibilità di contaminazione anche estesa degli individui e dell'ambiente a causa di preparati deteriorati contenenti sali di radio.

Alcuni anni or sono un articolo apparso sul periodico « Nucleonics » richiamava l'attenzione sul pericolo che potevano presentare aghi e placche radiferi qualora, per manipolazioni non ortodosse o per imperfetta preparazione, venissero meno quelle caratteristiche di ermeticità necessarie ad impedire la fuoruscita di emanazione o, nel caso più grave, dello stesso sale radioattivo. Segnalava anche il pericolo che l'aumento della pressione interna causato dalla produzione di elio in quantità superiore alla norma potesse causare delle serie incrinature nei preparati.

E' nota, d'altra parte, la relativa facilità con cui si può determinare lesione dello schermo metallico per un impiego erroneo delle pinze usate nell'applicazione degli aghi o per incurvamento degli stessi in grado tale da superare i limiti di elasticità del metallo impiegato per l'incamiciatura.

L'argomento della contaminazione da elementi radiferi avariati nel confronto con quello delle contaminazioni da radioisotopi non è stato, che io sappia, trattato nei congressi nazionali di fisica sanitaria od in genere dedicati ai problemi della radioprotezione. Anche negli Stati Uniti tale argomento è stato discusso solamente in tempi abbastanza recenti in alcune memorie presentate nei meetings della Health Physics Society.

Il problema mi sembra di grande importanza e penso che valga la pena di ricordarlo fra gli argomenti di radioprotezione che riguardano l'impiego della Curieterapia.

RISPOSTA DEI RELATORI

A. RATTI

Ringrazio il dott. Spiers di aver voluto ricordare alcune questioni riguardanti la Curieterapia ed in particolare il problema della protezione nella curieterapia ginecologica. Il suo intervento mi dà modo di far notare che nel testo scritto della relazione, e già distribuito in bozze, è ricordata la questione della distribuzione dei letti per le ammalate in trattamento con radio per carcinoma dell'utero; nella esposizione orale, per brevità, ho dovuto ometterne la menzione. In pieno accordo con quanto ha detto il dott. Spiers ricorderò i criteri adottati al Radiumhemmet nel dipartimento ginecologico del prof. Kottmeier, criteri che sono stati ripresi in considerazione anche recentemente da noi, in un lavoro del prof. Bonomini.

Al dott. Lin dirò che nel nostro Istituto i casi di smarrimento di preparati di radio sono stati fortunatamente assai rari e si sono conclusi quasi sempre con il sollecito ritrovamento dei preparati medesimi, oggi molto facilitato dai rivelatori di radiazioni. Quanto al pericolo del deterioramento dei preparati, esso riguarda soprattutto gli aghi con pareti di spessore di mezzo millimetro di platino. Noi usiamo il controllo autoradiografico degli aghi e in un servizio nel quale si svolga una notevole attività curieterapica con l'impiego di aghi, pensiamo che tale controllo debba essere fatto sistematicamente e ad intervalli di tempo non superiori ad un anno; ancora recentemente abbiamo dovuto constatare che qualche ago presentava segni di deterioramento.

Il dott. De Franceschi mi ha chiesto (*) chi sia il responsabile della protezione nel mio Istituto. Desidero chiarire che il mio è un Istituto universitario, nel quale, per legge, tutte le responsabilità spettano al direttore: nel caso nostro quella scientifica, quella didattica, quella clinica e perfino quella amministrativa; naturalmente là dove si rende necessario ricorrere alle competenze specifiche, il direttore dell'Istituto si vale dei suoi collaboratori per i singoli settori della propria responsabilità.

Chiudendo questa risposta, desidero ringraziare coloro che sono intervenuti nella discussione dimostrando con ciò di avere seguito con cortese attenzione la nostra relazione.

INTERVENTO DEI MODERATORI

A. ROSTAGNI

Credo opportuno mettere in rilievo la presa di posizione del prof. Spiers, sulla questione sollevata dal prof. Caldirola nella sua relazione, circa la qualifica delle persone che devono eseguire le misure con apparecchiature complesse, come i dispositivi per la misura della radiazione totale emessa dal corpo umano (whole body counter): non vi è dubbio che debbano essere dei fisici, opportunamente addestrati.

Sulla delicata questione della utilità o meno del fisico per il controllo di sicurezza negli impianti radiologici e nel loro impiego, che è stata oggetto di vivace discussione, mi sia consentito di esprimere un parere. Non vi è dubbio che radiologi con una particolare preparazione scientifica nella fisica delle radiazioni ed una grande esperienza professionale possano avere tutta la competenza che il problema richiede. Ma il procedere empirico può sempre nascondere dei pericoli. E vi è qui un problema di divisione del lavoro, tanto più importante, quando è necessario limitare le ore di esposizione anche a bassa intensità. La collaborazione del fisico addetto alle radioprotezioni consentirà al radiologo di dedicare tutto il suo tempo d'esposizione al compito, ben più prezioso, della cura dei malati.

Forse è opportuno ricordare che le dosi di tolleranza sono state stabilite, e vengono progressivamente aggiornate, in base ad osserva-

(*) Vedasi l'intervento del dott. De Franceschi alla Relazione del Prof. Cignolini.

zioni statistiche, le quali tengono conto anche di quegli individui che risultano più sensibili della norma. Non ha perciò valore generale la constatazione che altri individui singoli, anche numerosi, possano aver sopportato senza danni dosi eventualmente più elevate di quelle indicate come « massime ammissibili ». E' dunque necessario procedere con tutte le cautele suggerite dalle norme internazionali e dalle recenti disposizioni ufficiali.

A conclusione sono lieto di rilevare la bontà dei risultati ottenuti dal collega Ratti, come egli ci ha esposto nella sua relazione, attraverso una organizzazione strettamente scientifica del laboratorio.

Argomento precedente



Indice

Argomento successivo

