

## LA SICUREZZA NEL LAVORO CON RADIAZIONI IONIZZANTI

Per radiazioni ionizzanti si intendono le radiazioni elettromagnetiche (raggi X e  $\gamma$ ), le particelle cariche (elettroni, protoni, alfa, ioni, ecc.) e neutre (neutroni) emesse dagli atomi di alcune particolari sostanze, dette per ciò radioattive, o prodotte da apparecchi o impianti ideati dall'uomo (tubi a raggi X, acceleratori, reattori), capaci di penetrare nella materia e di crearvi delle ionizzazioni, cioè di strappare elettroni agli atomi.

La ionizzazione prodotta dalle radiazioni all'interno della materia vivente induce vari processi chimici, responsabili della formazione di radicali liberi ( $H^+$  e  $OH^-$ ), i quali possono attaccare le molecole complesse che compongono le cellule e dare luogo, quindi, ad alterazioni cellulari, quali morte della cellula stessa, arresto o rallentamento del suo processo di divisione, oppure modificazione cromosomica permanente che viene trasmessa alle cellule figlie (mutazione).

Poiché il danno biologico finale dipende dalla ionizzazione locale prodotta nel tessuto, ovvero della quantità di energia ceduta dalla radiazione per unità di massa di tessuto, tale danno dipende dalla grandezza fisica dose assorbita, definita come l'energia assorbita per unità di massa, la cui unità di misura è il gray ( $1 \text{ Gy} = 1 \text{ joule/kg}$ ). Inoltre poiché l'effetto biologico dipende non solo dalla **dose assorbita**, ma anche dalle modalità con cui la radiazione cede energia al tessuto, ai fini radioprotezionistici si introduce la grandezza la **dose equivalente**, data dalla dose assorbita moltiplicata per un fattore di ponderazione  $w_R$ , che tiene conto del diverso effetto biologico prodotto dai vari campi di radiazione e che dipende dal tipo e dall'energia della radiazione.

Ad esempio, il fattore di ponderazione  $w_R$  è pari ad uno per la

radiazione elettromagnetica (raggi X e  $\gamma$ ) e gli elettroni ed è invece pari a 5 per i protoni. L'unità di misura della dose equivalente è il sievert (Sv).

Nel caso delle attività sanitarie, avendo a che fare normalmente con radiazioni elettromagnetiche od elettroni, per cui  $w_R = 1$ , la dose equivalente corrisponde numericamente alla dose assorbita ( $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy}$ ).

Inoltre, poiché non sempre viene irradiato tutto il corpo, ma possono essere irradiati solo alcuni organi, occorre tenere conto di quanto ciascun organo è sensibile alle radiazioni: per esempio, le gonadi sono più sensibili delle ossa e queste sono più sensibili della pelle.

Per tenere conto di questo, si utilizza la grandezza **dose efficace**, ottenuta moltiplicando la dose equivalente per un opportuno fattore (minore di 1 se non è irradiato il corpo intero).

### Effetti biologici delle radiazioni

L'effetto biologico è la risultante di una serie di processi attivati dallo stimolo fisico della irradiazione; la sua manifestazione può richiedere un intervallo di tempo più o meno lungo dopo l'esposizione alle radiazioni ionizzanti. Questo intervallo di tempo può essere brevissimo (effetti precoci) o lungo, con un periodo di latenza variabile da mesi ad anni (effetti differiti o tardivi).

Per alcuni degli effetti biologici esiste una proporzionalità tra l'entità dell'effetto e la dose fisica (effetti graduati), per altri non esiste invece una proporzionalità tra dose fisica e frequenza di comparsa dell'effetto (effetti stocastici).

Sono effetti graduati l'eritema cutaneo, la radionecrosi, la cataratta da radiazioni.

Sono invece effetti stocastici, ovvero statistici, le mutazioni genetiche e l'induzione di tumori e leucemie.

### **Effetti graduati**

Per gli effetti di tipo graduato il meccanismo di produzione del danno consiste nella compromissione di un numero elevato di cellule che compongono un sistema organico. Quando la dose assorbita nella unità di tempo in un sistema è molto limitata, pur avendosi ugualmente il danneggiamento di un certo numero di cellule, può accadere che le capacità di restaurazione del danno, proprie del sistema siano in grado di mantenere ugualmente le condizioni di equilibrio a livelli normali. In questo caso, non si avranno alterazioni macroscopicamente rilevanti, ma si avrà la riparazione completa del danno. Solo se la dose supera un certo valore (dose soglia), vengono meno le capacità di compensare le maggiori perdite indotte dalla irradiazione, con conseguente perdita dell'equilibrio ed evidenziazione di effetti macroscopici.

### **Effetti statistici o stocastici**

Le stime di rischio relative agli effetti stocastici indotti dall'azione delle radiazioni ionizzanti sull'uomo sono state ricavate dai dati relativi agli effetti osservati su alcuni gruppi di individui irradiati ad alte dosi, in quanto gli studi epidemiologici eseguiti su popolazioni o gruppi di individui irradiati a livelli bassi di dose, dell'ordine di quelli di interesse radioprotezionistico, non hanno finora portato ad alcuna conclusione statisticamente significativa. I dati su cui si basano pertanto le stime di rischio sono quelli relativi a:

- popolazione giapponese esposta alle radiazioni a seguito dei bombardamenti nucleari di Hiroshima e Nagasaki;
- lavoratori a contatto con vernici contenenti sali di radio;

- minatori impiegati nell'industria estrattiva di sostanze radioattive;
- pazienti sottoposti a radioterapia;
- pazienti sottoposti a indagini radiologiche con mezzo di contrasto contenente sali di torio;
- animali da esperimento.

Per quanto riguarda le basse dosi alcuni dati sembrerebbero addirittura mostrare un'azione benefica stimolante delle radiazioni (effetto ormesi): già ai tempi dei Romani e tutt'oggi le terapie termali con acque radioattive sono reputate benefiche..

Cautelativamente, però, si ipotizza che le radiazioni siano comunque dannose e che non esista una dose soglia, ovvero, che qualsiasi dose di radiazione possa aumentare l'incidenza delle malattie maligne sopra i livelli di spontaneità. E' inoltre dimostrato che l'effetto delle radiazioni è maggiore sugli individui più giovani della popolazione.

Per quanto riguarda invece il rischio genetico tutti gli studi relativi all'uomo, compresi quelli sui sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki, non hanno mai messo in evidenza danni genetici sicuramente attribuibili alle radiazioni.



### Protezione dei lavoratori

Il valore raccomandato di dose efficace come limite di dose per i lavoratori è di 20 mSv per anno, mediato su 5 anni, con l'ulteriore condizione che la dose efficace su un singolo anno non sia superiore a 50 mSv. Tale limite è sufficiente a prevenire l'insorgere di effetti deterministici in tutti i tessuti e gli organi del corpo umano. La Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica raccomanda, pertanto, oltre al limite sopra indicato per quanto riguarda la dose efficace, i seguenti limiti di dose equivalente:

- 150 mSv per anno per il cristallino;
- 500 mSv per anno per le mani ed i piedi;
- 500 mSv per anno per la pelle, valore medio su 1 cm<sup>2</sup>, indipendentemente dalla superficie esposta.

I limiti di dose raccomandati dalla Commissione devono intendersi come il livello di dose, al di sopra del quale il rischio è da ritenersi non più tollerabile, ovvero come il limite superiore da raggiungere solo in casi particolari.

In ambiente ospedaliero le modalità di lavoro sono tali per cui è possibile garantire livelli di esposizione per cui la dose efficace massima risulti essere dell'ordine di 5 mSv, che, comunque, si riferisce a realtà particolari poco diffuse.

Per una valutazione più completa del rischio di esposizione alle radiazioni ionizzanti è, inoltre, opportuno considerare, per confronto, l'esposizione degli individui della popolazione alla radiazione dovuta al fondo naturale. Nella tabella riportata sono mostrati i contributi all'esposizione di un individuo della popolazione a causa del fondo naturale di radiazioni, che è, tra l'altro, fortemente variabile da luogo a luogo. Proprio questa forte variabilità del fondo naturale rende impossibile effettuare studi attendibili sugli effetti delle basse dosi.

### Esposizione media di un individuo dovuta a fonti di irradiazione presenti nell'ambiente

Fonte	Esposizione media* (mSv/anno)
Raggi cosmici	0,355
Radionuclidi presenti in natura prodotti dalla radiazione cosmica	0,015
Radionuclidi primordiali	
irradiazione esterna	0,41
<sup>40</sup> K	0,18
famiglie radioattive ( <sup>238</sup> U e <sup>232</sup> Th)	1,42 (**)
<b>Totale</b>	<b>2,4</b>

(\*) equivalente di dose efficace

(\*\*) estremamente variabile (dipende dal contributo dovuto alla inalazione di radon, gas radioattivo naturale emesso sia dal terreno, sia dai materiali di costruzione, soprattutto granito o tufo)

Per un più diretto confronto fra il rischio dovuto all'esposizione alle radiazioni ionizzanti ed il rischio dovuto ad altre attività lavorative nella tabella successiva è mostrata la riduzione media della durata di vita dovuta ad incidenti in diverse attività lavorative.

**Riduzione media della durata di vita dovuta ad incidenti in diverse attività lavorative.**

<b>Attività lavorativa</b>	<b>Riduzione media della durata di vita (giorni)</b>
Commercio	27
Industria manifatturiera	40
Servizi	27
Trasporti	160
Agricoltura	320
Costruzioni	227
<b>Valor medio</b>	<b>60</b>
<b><u>Esposizione alle radiazioni (5 mSv/anno)</u></b>	<b>40</b>

**Normativa**

In Italia l'impiego delle radiazioni ionizzanti è regolamentato dal Decreto Legislativo n. 230/95 e dai relativi decreti applicativi.

La protezione sanitaria dei lavoratori è, in particolare, regolamentata dal Capo VIII del suddetto decreto.

Per una migliore comprensione si riportano alcune definizioni di legge:

**Zona Controllata:**

*ambiente di lavoro, sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione dalle radiazioni ionizzanti, in cui sussiste per i lavoratori in essa operanti il rischio di superamento di uno qualsiasi dei valori di dose per cui è prevista la classificazione dei lavoratori esposti in categoria A.*

**Zona Sorvegliata :**

*ogni area di lavoro in cui sussiste per i lavoratori in essa operanti il rischio di superamento di uno dei limiti di dose fissati per le persone del pubblico.*

**Medico autorizzato:**

*medico responsabile della sorveglianza medica dei lavoratori esposti, la cui qualificazione e specializzazione sono riconosciute secondo le procedure e le modalità stabilite per legge.*

**Esperto qualificato:**

*persona che possiede le cognizioni e l'addestramento necessari sia per effettuare misurazioni, esami, verifiche o valutazioni di carattere fisico, tecnico o radiotossicologico, sia per assicurare il corretto funzionamento dei dispositivi di protezione, sia per fornire tutte le altre indicazioni e formulare provvedimenti atti a garantire la sorveglianza fisica della protezione dei lavoratori e della popolazione.*

I medici autorizzati e gli esperti qualificati devono essere iscritti in appositi elenchi nominativi tenuti dall'Ispettorato medico centrale del lavoro.

### Classificazione dei lavoratori

I criteri di classificazione, ai fini della radioprotezione, dei luoghi di lavoro e dei lavoratori sono demandati ad un successivo decreto interministeriale, che dovrà essere emanato dal Ministero del Lavoro e della Sanità ai sensi dell'art. 82 del D.Lgs. 230 del 17 marzo 1995. Nelle more del provvedimento assumono valore di legge gli allegati III e IV dello stesso D.Lgs.

I lavoratori sono pertanto distinti in:

- lavoratori esposti
- lavoratori non esposti.

Sono classificati lavoratori esposti i soggetti che, in ragione dell'attività lavorativa svolta per conto del datore di lavoro, sono suscettibili di una esposizione alle radiazioni ionizzanti superiore ad uno qualsiasi dei limiti fissati per le persone del pubblico, ovvero:

- 1 mSv per quanto riguarda l'equivalente di dose globale o l'equivalente di dose efficace
- i tre decimi di uno qualsiasi dei seguenti limiti di dose:
  - *15 mSv per il cristallino*
  - *50 mSv per la pelle; se l'esposizione risulta da una contaminazione radioattiva cutanea, tale limite si applica all'equivalente di dose medio su qualsiasi superficie di 1 cm<sup>2</sup>;*
  - *50 mSv per mani, avambracci, piedi, caviglie.*

Tra i lavoratori esposti vi è una ulteriore suddivisione in due categorie: A e B.

Sono classificati in categoria A i lavoratori esposti che, sulla base degli accertamenti compiuti dall'esperto qualificato, sono suscettibili di una esposizione superiore, in un anno solare, ad uno dei seguenti valori:

- 6 mSv per quanto riguarda l'equivalente di dose globale o l'equivalente di dose efficace
- i tre decimi di uno qualsiasi dei seguenti limiti di dose:
  - *150 mSv per il cristallino*
  - *500 mSv per la pelle; se l'esposizione risulta da una contaminazione radioattiva cutanea, tale limite si applica all'equivalente di dose medio su qualsiasi superficie di 1 cm<sup>2</sup>;*
  - *500 mSv per mani, avambracci, piedi, caviglie.*

I lavoratori esposti non classificati in categoria A sono classificati in categoria B.

- L'esposizione delle lavoratrici, nonché delle apprendiste e delle studentesse, che siano in età fertile, deve inoltre essere tale da assicurare che l'equivalente di dose all'addome ricevuto in un trimestre solare qualsiasi non superi 13 mSv.
- Le donne gestanti non possono svolgere attività che le espongono al rischio di superare i limiti di dose stabiliti per i lavoratori non esposti.

### **Limiti di equivalente di dose per esposizione globale e di equivalente di dose efficace per le persone del pubblico**

- Il limite di equivalente di dose per esposizione globale e di equivalente di dose efficace è stabilito in 1 mSv per anno solare.
- Devono, altresì, essere rispettati, in un anno solare, i seguenti limiti:
  - a) 15 mSv per il cristallino;
  - b) 50 mSv per la pelle;
  - c) 50 mSv per mani, avambracci, piedi, caviglie.

## **ALLEGATI**

### **Allegato 1 - PRINCIPI GENERALI DI PROTEZIONE CONTRO LE RADIAZIONI IONIZZANTI**

#### **Rischio da irradiazione esterna**

Si applicano tre principi fondamentali:

- **tempo**
- **distanza**: la dose di radiazione segue la legge dell'inverso del quadrato della distanza rispetto al punto di emissione, cioè raddoppiando la distanza l'intensità scende a  $\frac{1}{4}$ .
- **schermature**: la radiazione viene attenuata a seguito dell'interazione con il materiale con cui viene a contatto;

pertanto, la dose di radiazione in un punto viene ridotta interponendo del materiale tra la sorgente e il punto d'interesse;

11

Lo spessore di materiale necessario dipende dal tipo della radiazione, in particolare:

- le particelle alfa vengono schermate facilmente, con un sottile foglio di carta,
- le particelle beta (elettroni) sono più penetranti e richiedono schermature dell'ordine di 1 cm di plexiglas;
- le radiazioni X e  $\gamma$  sono molto più penetranti e, nel caso di energie elevate, richiedono spessori considerevoli di piombo.

#### **Rischio di contaminazione (esterna e interna)**

E' ridotto sostanzialmente operando secondo modalità operative corrette.

### **Allegato 2A - RADIOPROTEZIONE NEGLI AMBIENTI IN CUI VENGONO UTILIZZATI I RAGGI X A SCOPO DIAGNOSTICO**

L'erogazione dei raggi X da un'apparecchiatura è segnalata mediante luci di sicurezza, poste sull'apparecchio (per apparecchi mobili) o sull'apparecchio e all'esterno dei locali (per apparecchi fissi). La luce gialla indica che il generatore è sotto tensione, cioè sta per essere comandata l'erogazione dei raggi; la luce rossa lampeggiante indica l'erogazione.

Per dare una indicazione dell'entità del rischio di irradiazione esterna che si ha quando si impiegano apparecchi per radiodiagnostica si riportano tabelle e grafici:

12

**Dose dovuta alla radiazione diffusa dal paziente a diverse distanze dallo stesso**

Distanza	GRAFIA	SCOPIA
	mGy per radiografia (90 kV, 100 mAs)	mGy per minuto di scopia (90 kV, 1,6 mA)
In vicinanza del fascio	<b>200</b>	<b>idem</b>
a 30 cm	<b>40</b>	"
a 65 cm	<b>20</b>	"
a 1 m	<b>10</b>	"
a 2 m	<b>2</b>	"

**IL RISCHIO IN ATTIVITÀ RADIOLOGICA**

**Radiologia tradizionale**

Un progetto ottimizzato di una sala radiologica garantisce che la dose efficace assorbita da un Tecnico Sanitario di Radiologia Medica è mediamente minore di 0,1  $\mu$ Sv per radiografia.

**Esami su pazienti allettati**

Per esami su pazienti allettati si può stimare un campo di radiazioni a 1 m variabile da 0,5 a 3  $\mu$ Gy/radiografia.

**Tomografia Computerizzata**

In tomografia computerizzata le dosi al paziente possono essere elevate (dipendentemente dallo spessore dello strato e dal numero di strati) ma le dosi efficaci assorbite dal personale in sala comandi sono di solito estremamente basse.

13

Per il personale alla console la tomografia computerizzata non rappresenta una significativa fonte di rischio. Solo in esami particolari, in cui è necessario lo stazionamento di personale nelle vicinanze del paziente, il personale è interessato a campi di radiazioni rilevanti (da 5 a 20  $\mu$ Gy/strato).

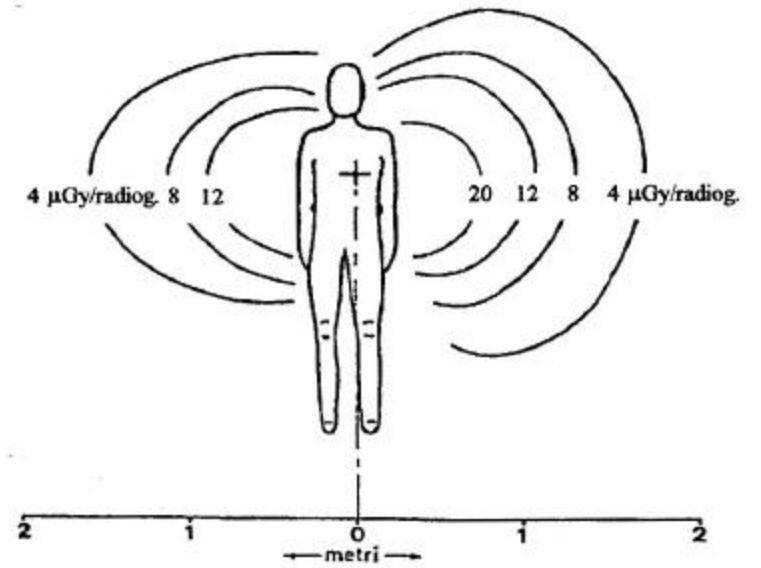
**Mammografia**

Con apparecchiature dedicate, le esposizioni lavorative dovute ad esami mammografici sono di assoluta irrilevanza radioprotezionistica.

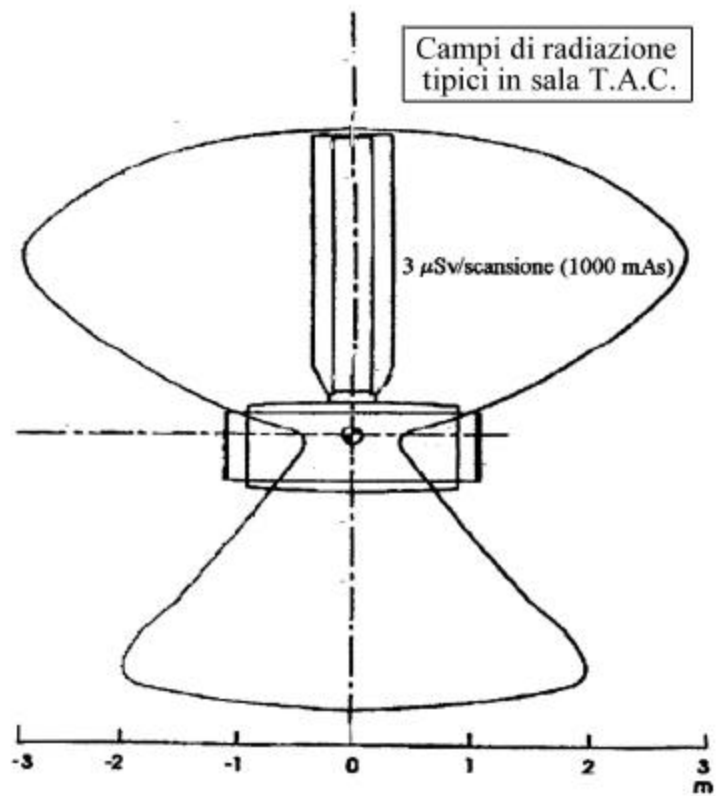
Si riportano le curve di isolivello di radiazione tipici relativi all'esecuzione di un radiogramma, in una Sala T.C. e in alcune procedure radiologiche comportanti l'utilizzo della fluoroscopia.

14

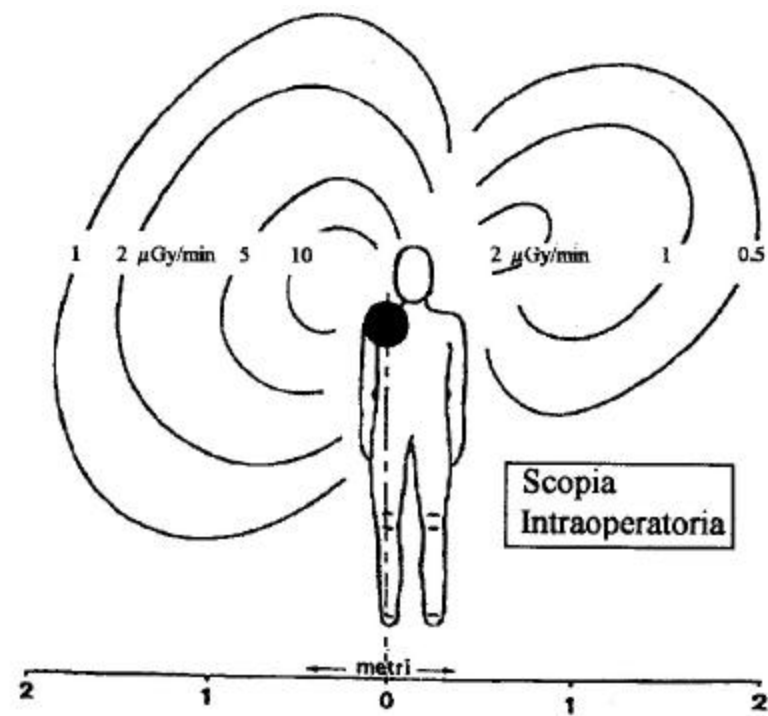
**Campi di radiazione tipici per esami  
Rx - Grafia**



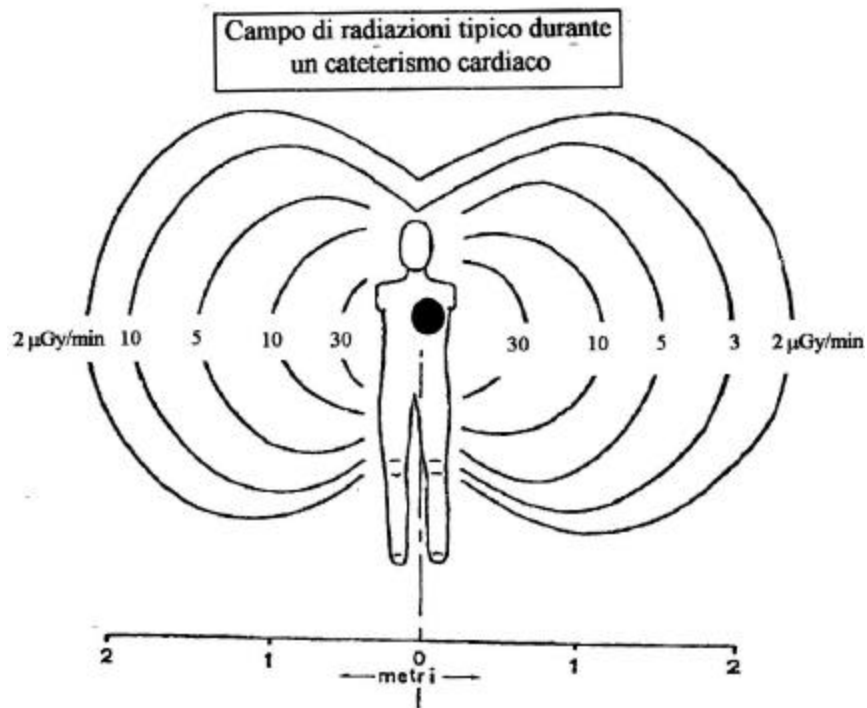
15



16



17



18

### MEZZI DI PROTEZIONE

**SCHERMATURE:** Barriere fisse e mobili, indumenti protettivi

**Fattori di attenuazione della radiazione x per diversi spessori di piombo e diverse tensioni di lavoro**

	50 kV	75 kV	100 kV
<b>0.25 mm Pb</b>	250	20	10
<b>0.50 mm Pb</b>	10000	200	50
<b>1 mm Pb</b>	>10000	3000	300
<b>2 mm Pb</b>	>>10000	>>10000	5000

L'uso di un grembiule in gomma piombifera di spessore equivalente a 0.25 mm, riduce da 10 a 20 volte la dose assorbita e conseguentemente il rischio professionale.

### FLUOROSCOPIA

L'uso di Intensificatori di Brillanza (I.B.) rappresenta la maggiore fonte di esposizione professionale in ambito sanitario. La riduzione delle dosi assorbite dagli operatori in fluoroscopia può essere ottenuta:

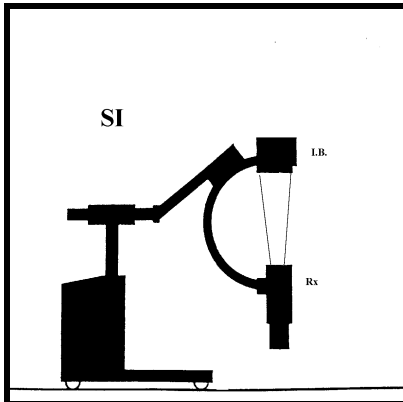
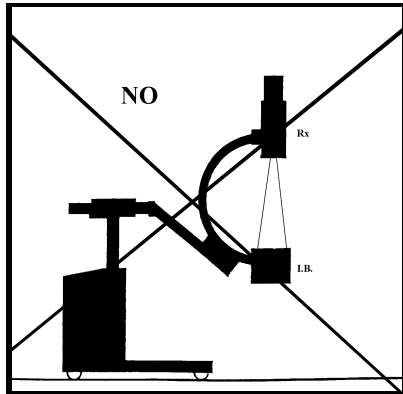
- Con l'uso di tempi di scopia brevi
- In cine-fluoroscopia usando velocità non superiori a 25 fotogrammi/secondo e riprese di soli 3 - 5 secondi
- Con l'uso di stop di immagine o di sistemi "a memoria"
- Con l'uso del sistema automatico di controllo della luminosità

19

**E' inoltre importante sapere che:**

- Se il Tubo Rx è posizionato in alto l'esposizione professionale può aumentare di un fattore 3.
- Se il Tubo Rx è posizionato in alto aumenta la possibilità di esposizione degli arti superiori al fascio diretto.

**Pertanto è importante, ogni volta che è possibile, tenere il tubo Rx al di sotto del tavolo.**



## RADIOPROTEZIONE NELL'IMPIEGO DI SOSTANZE RADIOATTIVE NON SIGILLATE

L'impiego di sostanze radioattive non sigillate in ambito sanitario può essere ricondotto alla seguente suddivisione generale:

- Diagnostico - impiego "in vivo"
- Terapeutico - impiego "in vitro"

Esso comporta un pericolo di irradiazione esterna ed un pericolo di contaminazione degli ambienti di lavoro e personale (irradiazione interna).

Il rischio di irradiazione esterna e di contaminazione interna dipende dal tipo e forma del radioisotopo utilizzato. È direttamente legato alla quantità di radioattività manipolata, al tempo di manipolazione e di stazionamento nei locali in cui sono presenti sorgenti radioattive o pazienti a cui siano state somministrate sostanze radioattive, alla cattiva pulizia degli ambienti, delle superfici e del personale. È ridotto dalla distanza alla quale si opera, dai mezzi di protezione utilizzati (banchi di lavoro protetti, contenitori e siringhe schermati, telemanipolatori), dalla funzionalità delle strutture, dalla perizia e professionalità dell'operatore.

La protezione dei lavoratori non addetti è assicurata dall'etichettatura delle sorgenti, con questo segnale di pericolo:



pericolo per sostanze radioattive  
o radiazioni ionizzanti

## RISCHIO DA IRRADIAZIONE ESTERNA

L'impiego "in vivo" di sostanze radioattive non sigillate comporta la manipolazione di attività relativamente elevate soprattutto nella preparazione dei radiofarmaci da somministrare (eluizione dal generatore e marcatura del radiofarmaco), soprattutto quando il trattamento del paziente è di tipo terapeutico.

Radio-isotopo	attività somministrate (MBq)	energia delle radiazioni g emesse (keV)	mGy/h a 1 m per MBq
<sup>99m</sup> Tc	37 - 740	140	0,0195
<sup>131</sup> I	1 - 5550	364	0,052
<sup>67</sup> Ga	74 - 185	93, 184, 300	0,024
<sup>111</sup> In	74 - 185	171, 245	0,05
<sup>201</sup> Tl	74 - 370	69-85, 167	0,011

L'impiego "in vitro" comporta un rischio molto più contenuto:

Radio-isotopo	attività annue manipolate (MBq)	radiazioni emesse ed energie (keV)	mGy/h a 1 m per MBq
<sup>125</sup> I	37 - 3700	X,γ: 27-31, 35	0,03
<sup>57</sup> Co	74 - 370	γ: 122	0,024
<sup>32</sup> P	1 - 5550	β: 1710	-
<sup>35</sup> S	74 - 185	β: 167	-
<sup>14</sup> C	74 - 185	β: 156	-
<sup>3</sup> H	74 - 185	β: 18	-

**LIVELLI DI DOSE INTORNO AI CONTENITORI DELLE  
SOSTANZE RADIOATTIVE MAGGIORMENTE  
IMPIEGATE PER UN'ATTIVITA' DI 37 MBQ (1 MCI)**

**a contatto:**

ISOTOPO	$\mu\text{Gy/h}$ a 1 cm senza schermatura	SCHERMATURA
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	7600	2 mm Pb
$^{131}\text{I}$	20400	2 cm Pb
$^{125}\text{I}$	13600	1 mm Pb
$^{32}\text{P}$	3800000	2 cm plexiglas
$^{57}\text{Co}$	9500	2 mm Pb

**a 1 m:**

ISOTOPO	$\mu\text{Gy/h}$ a 1 m senza schermatura	$\mu\text{Gy/h}$ a 1 m con schermatura
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0,76	0,007
$^{131}\text{I}$	2,04	0,020
$^{125}\text{I}$	1,36	0
$^{32}\text{P}$	0	0
$^{57}\text{Co}$	0,95	0,009

**LIVELLI DI DOSE MEDI INTORNO AD UN PAZIENTE  
CUI SIA STATA SOMMINISTRATA UNA SOSTANZA  
RADIOATTIVA**

**attività diagnostica:**

esame	Radio- farmaco	attività (MBq)	mSv/h		
			a contatto	a 0,3 m	a 1 m
Scintigrafia ossea	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ MDP	555	15	7,2	2,2
			4	2	0,6
Scintigrafia epatica	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ colloide	150	4	2	0,6
			20	10	3
Angiocardio- scintigrafia	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ RBC	740	20	10	3
			4	2	0,7
Scintigrafia miocardica	$^{201}\text{Tl}$	110	4	2	0,7



## VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE DEL PERSONALE PER IRRADIAZIONE ESTERNA

### Impiego "in vivo"

- impiego diagnostico
  - 2 – 5       $\mu\text{Sv/esame}$
  - 3 – 4       $\text{mSv/anno per operatore ( < 8 mSv )}$
  - 5 – 20      $\mu\text{Sv/esame alle mani}$

### Impiego "in vitro"

- rischio molto contenuto salvo casi particolari, quali l'impiego di elevate attività o l'impiego di emettitori beta di alta energia (ad esempio  $^{32}\text{P}$ ), per cui occorre l'impiego di specifici mezzi di protezione
  - $\ll 1 \text{ mSv/anno}$  (per le normali attività RIA)

25

## RISCHIO DA IRRADIAZIONE INTERNA

La contaminazione interna può avvenire attraverso l'ingestione e l'inalazione di radionuclidi presenti sulle superfici di lavoro contaminate o sospesi nell'aria a causa di una evaporazione durante la manipolazione o dalle superfici contaminate.

Per valutare il rischio occorre considerare:

### *A) Incorporazione per inalazione*

I radiofarmaci normalmente impiegati in ambito sanitario sono prevalentemente in forma non volatile.

In generale i dati in letteratura riportano valori della frazione di attività inalata, rispetto all'attività impiegata, molto piccoli. Per la stima del rischio si valuta, normalmente, che venga inalata una quantità di radioattività pari ad un milionesimo dell'attività impiegata, con l'eccezione costituita dall'impiego di sostanze marcate con iodio radioattivo, in particolare ioduri, data la maggior volatilità di questi composti.

### *B) Incorporazione per ingestione*

L'incorporazione per ingestione di sostanze radioattive da parte del personale operatore è dovuta alla eventuale contaminazione radioattiva delle mani, pelle e vestiti. In letteratura viene riportato che la più importante via di incorporazione è quella mani-bocca durante la preparazione del radiofarmaco. Le frazioni di attività ingerite, qualora si adottino gli opportuni accorgimenti operativi, sono, comunque, molto piccole.

Per effettuare la stima del rischio si valuta, normalmente, che venga ingerita una quantità di radioattività pari a dieci milionesimi dell'attività impiegata.