

Pagina 1 di 1	AZ. OSPEDALIERA FATEBENEFRATELLI E OFTALMICO MILANO Servizio di Prevenzione e Protezione
---------------	--

Emissione: 16.12.1996	PROCEDURA N. 13
Aggiornamento: 27.9.2001	RISCHI DERIVANTI DALL'IMPIEGO DI SORGENTI RADIOGENE
Destinatari	Tutto il personale esposto a radiazioni ionizzanti

◀ **INDICE**

1. GRANDEZZE FISICHE E LORO UNITA' DI MISURA
2. SCOPI DELLA RADIOPROTEZIONE
3. RELAZIONE TRA DOSE ED EFFETTI
4. TESSUTI ESPOSTI AL RISCHIO BIOLOGICO DA RADIAZIONI
5. LIMITI DI DOSE: D.L. 17/3/95 n. 230 e successivi
6. ZONA CONTROLLATA E SORVEGLIATA dal Decreto Legislativo n. 230 del 17/3/95
7. REGOLAMENTAZIONE DELL'ACCESSO ALLA ZONA CONTROLLATA
8. CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DEL PERSONALE
9. OBBLIGHI DEL LAVORATORE art. 68 del D.L. 17/3/95 n. 230
10. DISPOSIZIONI PARTICOLARI PER LE LAVORATRICI art. 69
11. OBBLIGHI DEI DATORI DI LAVORO, DIRIGENTI E PREPOSTI art 61
12. RISCHI ASSOCIATI ALL'USO DI APPARECCHIATURE RADIOGENE
13. METODI PER LA RIDUZIONE DELLA DOSE ASSORBITA
14. NORME DI RADIOPROTEZIONE
15. MISURAZIONE DELLA DOSE EQUIVALENTE ASSORBITA
16. VALUTAZIONE DELLA DOSE DA ESPOSIZIONE ESTERNA ED INTERNA
17. CONTROLLI AMBIENTALI
18. BIBLIOGRAFIA

◀ **1) GRANDEZZE FISICHE E LORO UNITA' DI MISURA**

ESPOSIZIONE: è il rapporto tra la somma delle cariche elettriche degli ioni di un dato segno prodotti in aria e la massa del volume d'aria, quando siano stati completamente arrestati tutti gli elettroni liberati. La sua unità di misura è il C/kg (coulomb/kg):

$$\text{Esposizione} = \frac{\text{Quantità di carica}}{\text{Massa}}$$

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

L'esposizione è la misura della ionizzazione causata dall'assorbimento di raggi X o gamma di energia inferiore a 3 MeV in una determinata massa di aria nel punto di interesse.

DOSE ASSORBITA: energia assorbita per unità di massa e cioè il quoziente di dE diviso per dm , in cui dE è l'energia media ceduta dalle radiazioni ionizzanti alla materia in un elemento volumetrico e dm la massa di materia contenuta in tale elemento volumetrico. L'unità di misura è il Gray, esso equivale a 100 rad.

Dalla definizione segue:

$$\text{Dose assorbita} = \frac{\text{Energia ceduta}}{\text{Massa}} \quad (\text{unità di misura Gy (Gray)})$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

$$1 \mu\text{Gy (micro Gray)} = 10 \text{ mrad (milli rad)}$$

KERMA (kinetic energy released per unit mass): è l'energia cinetica di particelle ionizzanti cariche rilasciata per unità di massa, generate da radiazioni non direttamente ionizzanti.

La sua unità di misura, nel S.I., è il Gray (Gy).

Nel sistema di unità di misura internazionale (S.I.) l'air-kerma, misurato in Gy, sostituisce il concetto di esposizione, misurato in C/kg.

Il kerma può essere definito per uno specifico materiale sia nel libero spazio che in un mezzo assorbitore, pertanto ha senso l'espressione "tessuto kerma".

Per un grande intervallo di energie "air-kerma" e "tessuto-kerma" differiscono per meno del 10 % e si possono considerare, per gli scopi della radioprotezione, dello stesso ordine di grandezza.

Quando l'air-kerma è misurata mediante uno strumento (es. camera di ionizzazione) nelle condizioni di equilibrio elettronico, essa è uguale alla dose assorbita.

Qui di seguito è ricavata l'equivalenza tra "esposizione" e "air-kerma"; una esposizione di 1 R, di una radiazione X da 100 kV, equivale ad un air-kerma di circa 8,7 mGy (0,87 rad) e ad un tessuto-kerma di circa 9,5 mGy (0,95 rad).

Fattore di conversione Esposizione Kerma

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg} \quad 1 \text{ e} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

dal rapporto:

$$1 \text{ R} / 1 \text{ e} = \frac{2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 1,61 \times 10^{15} \text{ n. coppie ioni/kg}$$

L'energia di ionizzazione media è di circa $E = 33,7 \text{ eV/coppia di ioni}$, pertanto

$$E = 1,61 \times 10^{15} \text{ n. coppie ioni/kg} \times 33,7 \text{ eV/coppia di ioni} = 5,43 \times 10^{16} \text{ eV/kg}$$

Essendo $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ ne segue

$$E = 5,43 \times 10^{16} \text{ eV/kg} \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J/eV} = 0,00869 \text{ J/kg} = 0,00869 \text{ Gy} = 0,869 \text{ rad}$$

Conclusione : il fattore di conversione è : $f = 0,869$ cioè

$$1 \text{ R in aria o tessuto molle equivale a : } 0,00869 \text{ Gy} = 0,869 \text{ rad.}$$

Il fattore di conversione roentgen-rad dipende sia dalla energia della radiazione incidente che dal materiale assorbitore, qui di seguito si riportano alcuni valori dei fattori di equivalenza.

Energia MeV	Acqua	Osso	Muscolo
0,010	0,92	3,58	0,933
0,030	0,877	4,43	0,919
0,050	0,90	3,61	0,934
0,100	0,957	1,47	0,957
0,150	0,971	1,06	0,964
0,200	0,982	0,988	0,972
0,400	0,975	0,936	0,963
0,660 Cs 137	0,975	0,933	0,966
1,25 Co 60	0,974	0,928	0,965
3,00	0,971	0,937	0,963

La dose assorbita non è sufficiente per predire la gravità o la probabilità degli effetti sanitari dannosi in seguito ad irradiazione, pertanto si è definita la seguente grandezza che esprime meglio gli effetti nocivi della esposizione alle radiazioni: la dose efficace.

DOSE EFFICACE (E) : somma delle dosi equivalenti nei diversi organi o tessuti, ponderate nel modo indicato nei provvedimenti di applicazione, l'unità di dose efficace è il sievert;

La dose efficace, definita come somma delle dosi equivalenti ponderate nei tessuti ed organi del corpo causate da irradiazioni interne ed esterne ed è data da:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

dove:

H_T è la dose equivalente nell'organo o tessuto T;

w_T è il fattore di ponderazione per l'organo o il tessuto T;

w_R è il fattore di ponderazione per la radiazione R;

$D_{T,R}$ è la dose assorbita media, nel tessuto o nell'organo T, dovuta alla radiazione R.

I valori del fattore di ponderazione w_T per i diversi organi o tessuti sono i seguenti:

Gonadi	0,20
Midollo osseo (rosso)	0,12
Colon	0,12
Polmone (vie respiratorie toraciche)	0,12
Stomaco	0,12
Vescica	0,05
Mammelle	0,05
Fegato	0,05
Esofago	0,05
Tiroide	0,05
Pelle	0,01
Superficie ossea	0,01
Rimanenti organi o tessuti	0,05

DOSE EQUIVALENTE (HT): dose assorbita media in un tessuto o organo T, ponderata in base al tipo e alla qualità della radiazione nel modo indicato nei provvedimenti di applicazione; l'unità di dose equivalente è il sievert;

La dose equivalente si calcola moltiplicando il valore di dose assorbita nell'organo T dovuta alla radiazione R mediante il fattore di ponderazione w_R cioè:

$$H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R}$$

dove:

$D_{T,R}$ è la dose assorbita media nel tessuto o nell'organo T, dovuta alla radiazione R;

w_R è il fattore di ponderazione per la radiazione R, che dipende dal tipo e dalla qualità del campo di radiazioni esterno, oppure dal tipo e dalla qualità delle radiazioni emesse da un radionuclide depositato all'interno dell'organismo.

I valori del fattore di ponderazione delle radiazioni w_R sono i seguenti:

Fotoni, tutte le energie	1
Elettroni e muoni, tutte le energie	1
Neutroni con energia < 10 keV	5
Neutroni con energia 10 keV - 100 keV	10
Neutroni con energia > 100 keV - 2 MeV	20
Neutroni con energia > 2 MeV - 20 MeV	10
Neutroni con energia > 20 MeV	5
Protoni, esclusi i protoni di rinculo, con energia > 2 MeV	5
Particelle alfa, frammenti di fissione, nuclei pesanti	20.

2) SCOPI DELLA RADIOPROTEZIONE

La radioprotezione si occupa della protezione degli individui, della loro progenie e del genere umano nel suo insieme.

Gli effetti dannosi che possono derivare da esposizioni alle radiazioni ionizzanti si dividono in:

effetti somatici;

effetti ereditari.

EFFETTI SOMATICI: effetti che si manifestano nell'individuo stesso esposto alle radiazioni ionizzanti;

EFFETTI EREDITARI: effetti che colpiscono i suoi discendenti.

Per quanto riguarda gli EFFETTI SOMATICI, essi si suddividono ulteriormente in:

1. STOCASTICI;
2. DETERMINISTICI.

STOCASTICI (cioè probabilistici): per i quali la probabilità di accadimento viene considerata in funzione della dose (cioè all'aumentare della dose aumenta anche la probabilità di accadimento del danno biologico) esempio la carcinogenesi è l'effetto stocastico più importante; questi tipi di danno si possono manifestare anche con dosi minime, tuttavia la probabilità di danno cresce al crescere della dose di radiazioni assorbite dal corpo umano.

Con riferimento ai vari tipi di effetti sono state stabilite, per quanto riguarda gli effetti Stocastici, le stime di probabilità sia per le radiazioni a basso LET (cioè raggi X, gamma ed elettroni di ogni energia), sia per quelle ad alto LET.

Nella tabella sottostante si riportano le stime di probabilità solo per le radiazioni a basso LET di tipico utilizzo nelle attività sanitarie.

La dose di radiazioni indicata, "dose efficace" è espressa in Sievert (Sv).

Le probabilità indicate (con l'esclusione di quella di riduzione del QI) rappresentano il numero di eventi su 100 persone irradiate con 1 Sv che si manifestano per un determinato effetto nel periodo e con le modalità indicate.

STIME DI PROBABILITA' DEGLI EFFETTI (da ICRP Pubblicazione 60 del 1990)

TABELLA 1

EFFETTO	POPOLAZIONE	PERIODO DI ESPOSIZIONE	MODALITÀ' DI ESPOSIZIONE	DANNO o PROBABILITA'
Effetti Cancerogeni				
Tumori letali	Lavoratori	Tutta la vita	Basse dosi e intensità	4/100 Sv ⁻¹
Tumori letali	Popolazione generale	Tutta la vita	Basse dosi e intensità	5/100 Sv ⁻¹
Tumori letali alla cute	Popolazione generale	Tutta la vita	Alte o basse dosi basse intensità	0,02/100 Sv ⁻¹
Effetti ereditari				
Effetti ereditari gravi	Popolazione generale	Tutte le generazioni	Basse dosi e intensità	1/100 Sv-1
Effetti mentali				
Riduzione del QI	Feto	8 - 15 settimana di gestazione	Alte dosi e alte intensità	30 punti di QI Sv-1
Ritardo mentale grave	Feto	8 - 15 settimana di gestazione	Alte dosi e alte intensità	40/100 Sv-1

DETERMINISTICI: per i quali la gravità varia con la dose ricevuta, e per i quali esiste una dose soglia (esempi di effetti deterministici : cataratta del cristallino, eritema cutaneo, diminuzione della fertilità).

Per quanto riguarda gli effetti deterministici a dose-soglia la ICRP ha stabilito limiti di dose al di sotto delle soglie al fine di evitare l'accadimento dell'effetto.

Nel fissare i limiti di dose efficace (dose al corpo intero) la ICRP si è basata sugli effetti stocastici al fine di definire un livello di dose al di sotto del quale le conseguenze per l'individuo siano accettabili.

La ICRP ha fissato inoltre limiti di equivalente di dose (dose agli organi) come ulteriore limite nel caso di effetti deterministici alla cute, al cristallino, alle estremità.

◀ **LIMITI DI DOSE da ICRP Pubblicazione n. 60 del 1990**

TABELLA 2

	LAVORATORI	PUBBLICO
Dose efficace	20 mSv per anno (media su 5 anni)	1 mSv per anno
Dose equivalente		
Cristallino	150 mSv per anno	15 mSv per anno
Cute	500 mSv per anno	50 mSv per anno
Estremità	500 mSv per anno	

L'impiego di sorgenti radianti (tubi a raggi X o isotopi radioattivi) comporta pertanto dei rischi di natura probabilistica e di natura non probabilistica, i primi sono quei danni che si determinano con maggiore probabilità all'aumentare della dose e non vi è una dose soglia sotto la quale la probabilità di accadimento del danno cada a zero; i secondi sono quelli che si manifestano quando il valore di dose di radiazioni sorpassa un valore di soglia prefissato.

I rischi di natura probabilistica quindi sono il rischio carcinogenico (induzione di tumori).

I rischi di natura non probabilistica sono danni a soglia prefissata, danni che hanno luogo quando una dose soglia è stata superata; (es. cataratta del cristallino, eritema cutaneo, caduta dei peli, sterilità temporanea e permanente, sindrome del sistema emopoietico, sindrome del sistema gastrointestinale, sindrome del sistema nervoso).

Qui sotto si riportano i valori di dose soglia oltre la quale questi tipi di danni si determinano:

eritema cutaneo desquamazione secca, dose soglia	3.000.000 - 5.000.000 μ Sv
desquamazione umida, dose soglia	20.000.000 μ Sv
caduta dei peli, dose soglia	3.000.000 - 4.000.000 μ Sv

Se vengono irradiati entrambi i testicoli:

sterilità temporanea, dose soglia	150.000 μ Sv
sterilità permanente, dose soglia	3.500.000 - 6.000.000 μ Sv

Se vengono irradiate entrambe le ovaie:

sterilità permanente, dose soglia	2.500.000 - 6.000.000 μ Sv
-----------------------------------	--------------------------------

Cristallino

opacità visibili	500.000 - 2.000.000 μ Sv
cataratta, dose soglia	5.000.000 μ Sv

Midollo osseo

depressione dell'ematopoiesi	500.000 μ Sv
------------------------------	------------------

Se viene irradiato il corpo nella sua totalità (panirradiazione), si hanno tre tipi di sindrome a seconda del valore della dose soglia raggiunto:

sindrome del sistema emopoietico, dose soglia: (morte entro 30 - 60 giorni)	3.000.000 - 5.000.000 μSv
sindrome del sistema gastrointestinale, dose soglia: (morte entro 10 - 20 giorni)	5.000.000 - 15.000.000 μSv
sindrome del sistema nervoso, dose soglia: (morte entro 1 - 5 giorni)	> 15.000.000 μSv

(dati desunti dalla Pubblicazione ICRP n. 60 del 1990)

Per quanto riguarda gli EFFETTI EREDITARI nell'intervallo di dosi che interessa la radioprotezione, sono ritenuti di tipo "stocastico" (cioè probabilistico).

Essi sono: danno genetico (danno sui futuri figli dovuto alla irradiazione degli organi genitali maschili e femminili); danno sul feto, dovuto ad irradiazione del nascituro nel grembo materno.

Scopo della radioprotezione è pertanto la prevenzione degli effetti dannosi di natura "deterministica" e la limitazione a livelli considerati accettabili della probabilità di accadimento degli effetti "stocastici".

La limitazione degli effetti stocastici si ottiene mantenendo tutte le esposizioni, che risultino giustificate, ad un livello tanto basso quanto è ragionevolmente ottenibile, mentre la prevenzione degli effetti "deterministici" si ottiene fissando limiti di dose equivalente tali che nessuna dose-soglia venga raggiunta anche a seguito di esposizione per l'intera durata della vita.

3) RELAZIONE TRA DOSE ED EFFETTI

1. Sono state fatte alcune ipotesi semplificative per gli scopi della radioprotezione: entro l'intervallo di esposizione che si incontra nelle condizioni abituali di lavoro con le radiazioni, si assume che il rischio di un dato effetto biologico sia legato linearmente con la dose e non vi sia soglia sotto la quale il rischio assuma valore "zero" (per gli effetti stocastici);
2. il rischio di un effetto è determinato dalla dose efficace su tutto l'organo o dalla dose equivalente su di un tessuto indipendentemente dal tempo di assorbimento;
3. il periodo più appropriato per integrare la dose efficace è una vita lavorativa di 50 anni; la dose totale in 50 anni è chiamata dose efficace impegnata ed è la somma delle dosi equivalenti impegnate nei diversi organi o tessuti $HT(t)$ risultanti dall'introduzione di uno o più radionuclidi, ciascuna moltiplicata per il fattore di ponderazione del tessuto w_T .

4) TESSUTI ESPOSTI AL RISCHIO BIOLOGICO DA RADIAZIONI

Il concetto di organo o tessuto critico (tessuto o organo più importante sotto il profilo sanitario al quale si deve far riferimento quando è esposto più di un organo del corpo) non permettendo di tenere in conto i vari detrimenti relativi a tutti i tessuti irradiati in funzione della loro radiosuscettibilità, viene a cadere, di conseguenza la limitazione delle dosi terrà in conto del rischio totale.

I fattori di rischio per i diversi tessuti sono basati sulle stime delle probabilità di induzione di malattie maligne a decorso fatale, di effetti deterministici oppure di malattie ereditarie che compaiono nei discendenti.

Si deve tenere conto che i fattori di rischio per la comparsa di tumori maligni sono ridotti nelle persone anziane, a causa dei lunghi periodi di latenza che sono necessari per lo sviluppo dei tumori.

Per questa ragione il rischio totale che deriva da una esposizione individuale varia con l'età ed il sesso.

FATTORI DI RISCHIO:

GONADI: suscettibilità bassa all'induzione di tumori da radiazioni; riduzione della fertilità: nella donna, l'induzione della menopausa, può essere il risultato di una dose assorbita di 3 Gy

(300 rem) in una donna di 40 anni, mentre potrebbe causare una amenorrea temporanea in una donna di 20 anni; nell'uomo, una dose assorbita di 0,25 Gy (25 rem) può indurre una diminuzione

temporanea degli spermatozoi, mentre una dose di 2,5 Gy (250 rem) può indurre una sterilità permanente.

Il rischio di malattie ereditarie a seguito della irradiazione di un singolo genitore, nelle prime due generazioni, è calcolato a: 1/100 1/Sv (1/10000 1/rem).

MIDOLLO OSSEO ROSSO: tessuto principalmente implicato nel rapporto casuale tra radiazione e leucemie; osservazioni su persone irradiate per scopi terapeutici indicano che la frequenza di leucemie indotte raggiunge il suo massimo entro pochi anni dall'irradiazione e che la frequenza ritorna a livelli che esistevano prima della irradiazione dopo 25 anni circa.

Il fattore di rischio per la leucemia è pari a: 0,002 1/Sv (0,00002 1/rem).

OSSA: le cellule radiosuscettibili dell'osso sono indicate nelle cellule dell'endostio e nelle cellule epiteliali della superficie ossea.

Per gli scopi della radioprotezione il fattore di rischio per i tumori maligni delle ossa è preso pari a: 0,0005 1/Sv (0,000005 1/rem).

POLMONI: tumori maligni sono stati osservati nei minatori esposti ad alte concentrazioni di radon (gas radioattivo). Non sono descritti tumori maligni chiaramente attribuibili alla esposizione alle radiazioni in individui che hanno lavorato con materiali radioattivi in forma particolata (esempio plutonio); il rischio da materiali particolati è più piccolo di quello che si avrebbe per lo stesso materiale distribuito in maniera uniforme in tutto il tessuto polmonare. Per gli scopi della radioprotezione il fattore di rischio per i tumori maligni dei polmoni è pari a: 0,002 1/Sv (0,00002 1/rem).

TIROIDE: le cellule esposte a rischio biologico da radiazioni risultano essere le cellule epiteliali dei follicoli tiroidei. Per gli scopi della radioprotezione il fattore di rischio per i tumori maligni della tiroide è pari a: 0,0005 1/Sv (0,000005 1/rem).

MAMMELLE: le mammelle femminili, durante l'età riproduttiva, possono essere gli organi tra i più radiosuscettibili del corpo umano. Per gli scopi della radioprotezione il fattore di rischio per i tumori maligni delle mammelle è pari a: 0,0025 1/Sv (0,000025 1/rem).

NEGLI ALTRI TESSUTI: si ritiene che il rischio complessivo di tumori maligni in tutti i rimanenti tessuti non specificati non superi il valore di: 0,005 1/Sv (0,00005 1/rem) con l'ipotesi aggiuntiva che nessun singolo tessuto contribuisca per più di 1/5 al valore di rischio complessivo.

◀ **RISCHIO STOCASTICO TOTALE A SEGUITO DI IRRADIAZIONE UNIFORME DEL CORPO INTERO**

Il fattore di rischio di mortalità per tumori maligni indotti è circa 0,01 1/Sv (0,0001 1/rem).

CRISTALLINO: l'equivalenti dose di 15 Sv (1500 rem) è al di sotto della dose soglia per la produzione di qualsiasi opacità nel **cristallino**.

CUTE: paragonando con gli altri tessuti, la cute ha una tendenza assai minore nello sviluppare tumori maligni mortali, tuttavia possono sopravvenire alterazioni cutanee inaccettabili, dal punto di vista estetico, a seguito di dosi assorbite di 20 Gy (2000 rem), somministrate nell'arco di settimane o mesi; pertanto l'uso di questo valore come limite di esposizione sull'intero arco della vita, previene la manifestazione di alterazioni deterministiche.

BAMBINI E FETI: la suscettibilità all'induzione di taluni tumori maligni risulta più elevata prima della nascita e durante l'infanzia che non durante la vita adulta.

◀ **5) LIMITI DI DOSE: D.L. 17/3/95 n. 230**

Si riportano i limiti di dose efficace e dose equivalente per le categorie delle persone esposte per ragioni professionali, secondo il Decreto Legislativo 17 Marzo 1995 n. 230 e successive modifiche.

Categoria A - limite di dose efficace: 20.000 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$.

Dose equivalente annua

Cristallino	150.000 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$
Cute	500.000 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$
Mani e piedi	500.000 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$

Categoria B - limite di dose efficace: 6.000 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$.

Dose equivalente annua

Cristallino	45.000 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$
Cute	150.000 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$
Mani e piedi	150.000 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$

Pubblico - limite di dose efficace: 1.000 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$.

Dose equivalente annua

Cristallino	15.000 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$
Cute	50.000 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$

6) ZONA CONTROLLATA E SORVEGLIATA (dal Decreto Legislativo n. 230 del 17/3/95)

ZONA CONTROLLATA: un ambiente di lavoro, sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione dalle radiazioni ionizzanti, in cui si verifichi il superamento di uno dei valori dei limiti di dose dei lavoratori di Categoria A.

- a) 6 mSv per esposizione globale o equivalente di dose efficace;
- b) i tre decimi dei seguenti limiti:
 - 150 mSv per il cristallino;
 - 500 mSv per la pelle;
 - 500 mSv per mani, avambracci, piedi, caviglie;

ed il cui accesso è segnalato e regolamentato.

ZONA SORVEGLIATA: un ambiente di lavoro in cui può essere superato in un anno solare uno dei pertinenti limiti fissati per le persone del pubblico e che non è zona controllata.

LAVORATORI ESPOSTI: persone sottoposte, per attività che svolgono, a una esposizione che può comportare dosi superiori ai pertinenti limiti fissati per le persone del Pubblico.

CATEGORIA A: sono lavoratori esposti di Categoria A i lavoratori che, per il lavoro che svolgono, sono suscettibili di ricevere in un anno una dose superiore ai limiti di dose efficace e di dose equivalente sopra riportati.

CATEGORIA B: sono lavoratori di Categoria B i lavoratori esposti che non sono classificati di categoria A.

PERSONE DEL PUBBLICO: individui della popolazione, esclusi i lavoratori, gli apprendisti e gli studenti esposti in ragione della loro attività.

7) REGOLAMENTAZIONE DELL'ACCESSO ALLA ZONA CONTROLLATA (art. 61 comma 3, lettera a)

Durante l'emissione raggi, tutto il personale classificato "NON ESPOSTO" deve rimanere all'esterno del locale classificato Zona Controllata.

8) CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DEL PERSONALE

Sulla scorta di quanto detto sopra si sono fatti propri i criteri di classificazione elaborati nella Circolare della Regione Lombardia n. 15/SAN del 18/04/94 che prevede la seguente metodologia: Se dalla analisi del rischio effettuata dall'Esperto Qualificato risulta che il lavoratore ha la possibilità di assorbire una dose superiore ad 1/10 di 20 mSv/anno per esposizione globale, oppure di 1/10 di uno qualsiasi dei limiti fissati per il cristallino, le mani ecc., allora appare possibile il superamento di 6 mSv/anno, pertanto il lavoratore è classificato di categoria A; nel caso, dalla analisi dei rischi, risulti, che il lavoratore abbia la possibilità di superare 1/3 di 1 mSv/anno ma non il 1/10 di 20 mSv/anno allora è classificato di categoria B; nel caso che il valore risultato dalla analisi dei rischi sia inferiore a 1/3 di 1 mSv/anno, allora il lavoratore viene classificato "NON esposto".

Dalla Tabella 1: "STIME DI PROBABILITÀ' DEGLI EFFETTI" si può calcolare la probabilità che il lavoratore ha di contrarre un tumore letale in base alla valutazione della equivalente di dose assorbita:

Probabilità di Tumore letale = $4/100 \text{ Sv}^{-1} \times \text{dose assorbita Sv}$.

9) OBBLIGHI DEL LAVORATORE art. 68 del D.L. 17/3/95 n. 230

I lavoratori devono:

- a) osservare le disposizioni impartite dal datore di lavoro o dai suoi incaricati, ai fini della protezione individuale e collettiva e della sicurezza, a seconda delle mansioni alle quali sono addetti;
- b) usare secondo le specifiche istruzioni i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica predisposti o forniti dal datore di lavoro;
- c) segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le deficienze dei dispositivi e dei mezzi di sicurezza, di protezione, di protezione e di sorveglianza dosimetrica, nonché le eventuali condizioni di pericolo di cui vengono a conoscenza;
- d) non rimuovere né modificare, senza averne ottenuto l'autorizzazione, i dispositivi, e gli altri mezzi di sicurezza, di segnalazione, di protezione e di misurazione;
- e) non compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre che non sono di loro competenza o che possono compromettere la protezione e la sicurezza;
- f) sottoporsi alla sorveglianza medica ai sensi del presente decreto.

I lavoratori che svolgono, per più datori di lavoro, attività che li espongano al rischio da radiazioni ionizzanti, devono rendere edotto ciascun datore di lavoro delle attività svolte presso gli altri, ai fini di quanto previsto al precedente art. 66. Analoga dichiarazione deve essere resa per eventuali attività pregresse. I lavoratori esterni sono tenuti ad esibire il libretto personale di radioprotezione all'esercente le zone controllate prima di effettuare le prestazioni per le quali sono stati chiamati.

SCAMBIO DI INFORMAZIONI art. 68 bis del D.L. 17/3/95 n. 230

Su motivata richiesta di autorità competenti anche di altri paesi appartenenti all'Unione Europea o di soggetti, anche di detti paesi, che siano titolari di incarichi di sorveglianza fisica o medica della radioprotezione del lavoratore, il lavoratore trasmette alle autorità o ai soggetti predetti le informazioni relative alle dosi ricevute. La richiesta delle autorità o dei soggetti di cui sopra deve essere motivata dalla necessità di effettuare le visite mediche prima dell'assunzione oppure di esprimere giudizi in ordine all'idoneità a svolgere mansioni che comportino la classificazione del lavoratore come esposto oppure, comunque, di tenere sotto controllo l'ulteriore esposizione del lavoratore.

10) DISPOSIZIONI PARTICOLARI PER LE LAVORATRICI art. 69

Ferma restando l'applicazione delle norme speciali concernenti la tutela delle lavoratrici madri, le donne gestanti non possono svolgere attività che le espongono in zone classificate o, comunque, attività che potrebbero esporre il nascituro ad una dose che ecceda un millisievert durante il periodo della gravidanza.

E' fatto obbligo alle lavoratrici di notificare al datore di lavoro il proprio stato di gestazione, non appena accertato.

E' altresì vietato adibire le donne che allattano ad attività comportanti un rischio di contaminazione.

11) OBBLIGHI DEI DATORI DI LAVORO, DIRIGENTI E PREPOSTI art. 61 D.L. 17/3/95 n. 230

I datori di lavoro ed i dirigenti che rispettivamente esercitano e dirigono le attività disciplinate dal presente decreto ed i preposti che vi sovrintendono devono, nell'ambito delle rispettive attribuzioni e competenze, attuare le cautele di protezione e di sicurezza previste dal presente capo e dai provvedimenti emanati in applicazione di esso.

I datori di lavoro, prima dell'inizio delle attività di cui al comma 1, debbono acquisire da un esperto qualificato di cui all'articolo 77 una relazione scritta contenente le valutazioni e le indicazioni di radioprotezione inerenti alle attività stesse.

A tal fine i datori di lavoro forniscono all'esperto qualificato i dati, gli elementi e le informazioni necessarie. La relazione costituisce il documento di cui all'art. 4, comma 2, del decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626, per gli aspetti concernenti i rischi da radiazioni ionizzanti.

Sulla base delle indicazioni della relazione di cui al comma 2, e successivamente di quelle di cui all'art. 80, i datori di lavoro, i dirigenti e i preposti devono in particolare:

- a) provvedere affinché gli ambienti di lavoro in cui sussista un rischio da radiazioni vengano, nel rispetto delle disposizioni contenute nel decreto di cui all'articolo 82, individuati, delimitati, segnalati, classificati in zone e che l'accesso ad essi sia adeguatamente regolamentato;
- b) provvedere affinché i lavoratori interessati siano classificati ai fini della radioprotezione nel rispetto delle disposizioni contenute nel decreto di cui all'articolo 82;
- c) predisporre norme interne di protezione e sicurezza adeguate al rischio di radiazioni e curare che copia di dette norme sia consultabile nei luoghi frequentati dai lavoratori, ed in particolare nelle zone controllate;
- d) fornire ai lavoratori, ove necessari, i mezzi di sorveglianza dosimetrica e di protezione, in relazione ai rischi cui sono esposti;
- e) rendere edotti i lavoratori, nell'ambito di un programma di formazione finalizzato alla radioprotezione, in relazione alle mansioni cui essi sono addetti, dei rischi specifici cui sono esposti, delle norme di protezione sanitaria, delle conseguenze derivanti dalla mancata osservanza delle prescrizioni mediche, delle modalità di esecuzione del lavoro e delle norme interne di cui alla lettera c);
- f) provvedere affinché i singoli lavoratori osservino le norme interne di cui alla lettera c), usino i mezzi di cui alla lettera d) ed osservino le modalità di esecuzione del lavoro di cui alla lettera e);
- g) provvedere affinché siano indicate, mediante appositi contrassegni, le sorgenti di radiazioni ionizzanti, fatta eccezione per quelle non sigillate in corso di manipolazione;
- h) fornire al lavoratore i risultati relativi alla sorveglianza dosimetrica che lo riguardano direttamente.

Per gli obblighi previsti nel comma 3 ad esclusione di quelli previsti alla lettera f), nei casi in cui occorra assicurare la sorveglianza fisica ai sensi dell'articolo 75, i datori di lavoro, dirigenti e preposti di cui al comma 1 devono avvalersi degli esperti qualificati di cui all'articolo 77 e, per gli

aspetti medici, dei medici di cui all'articolo 83; nei casi in cui non occorre assicurare la sorveglianza fisica, essi sono tenuti comunque ad adempiere alle disposizioni di cui alle

lettere c), e), f), nonché a fornire i mezzi di protezione eventualmente necessari di cui alla lettera d).

Tutti gli oneri economici relativi alla sorveglianza fisica e medica della radioprotezione sono a carico del datore di lavoro.

12) RISCHI ASSOCIATI ALL'USO DI APPARECCHIATURE RADIOGENE

I rischi radiologici associati con l'uso di apparecchiature emittenti radiazioni ionizzanti derivano solamente da irradiazione esterna.

Il rischio di irradiazione esterna è dovuto alle radiazioni X prodotte da tubi a raggi X di diagnostica e terapia o da radiazioni gamma prodotte da apparecchiature di gamma terapia, quali la cobalto terapia ed altre.

Sostanzialmente si può dividere l'attività del personale sanitario (esempio: personale tecnico di radiologia, personale medico radiologo, personale infermieristico ecc.) secondo tre modalità di lavoro fondamentali:

- ❑ la prima in cui l'operatore può lavorare stando al riparo di schermi protettivi fissi, quali cabinati posti a protezione dei tavoli di comando nelle diagnostiche della radiologia;
- ❑ la seconda in cui l'operatore può operare protetto da schermi mobili (esempio: sala angiografica e sale operatorie dotate di barriere protettive mobili);
- ❑ la terza in cui l'operatore è costretto ad operare presso il paziente senza alcun riparo protettivo se non indossando il grembiule anti-X in gomma piombifera.

Nel primo caso la protezione del lavoratore è massima, infatti le barriere protettive sono sempre progettate e realizzate affinché la dose assorbita dal lavoratore sia la minima possibile.

Nel secondo caso la protezione offerta dalle barriere mobili costituite da pannelli schermati, garantisce ugualmente un elevato grado di protezione, infatti assorbono la maggior parte della radiazione diffusa prodotta dal paziente; tuttavia date le loro ridotte dimensioni, dovute alle necessità di essere mobili, e data la vicinanza con la sorgente diffondente durante il loro impiego, non permettono lo stesso grado di protezione delle barriere fisse.

Nel terzo caso il contenimento della dose assorbita dal lavoratore è affidata sostanzialmente alla protezione offerta dal grembiule anti-X in gomma piombifera, dalla distanza dalla sorgente e dal tempo di uso della apparecchiatura radiogena (tempo di scopia, numero di radiogrammi effettuati).

13) METODI PER LA RIDUZIONE DELLA DOSE ASSORBITA

DISTANZA: il fattore distanza, cioè distanza persona-sorgente radiante è uno dei metodi più validi.

Consideriamo un lavoratore che si allontani di due passi (circa 1 m) dalla sorgente radiante, di quanto diminuirà la dose assorbita rispetto ad una persona che si allontani di un solo passo (circa 50 cm)?

La dose diminuirà ad un quarto del valore di dose assorbita rispetto ad una distanza di un passo. Nella ipotesi che il lavoratore si allontani di tre passi (circa 1,5 m) la dose assorbita diminuirà ad un nono di quella assorbita ad un solo passo di distanza.

Come si vede la dose assorbita diminuisce molto rapidamente con l'aumentare della distanza. Questa legge fisica prende il nome di "legge dell'inverso del quadrato della distanza".

Quindi un metodo per ridurre la dose in modo significativo è quello di allontanarsi il più possibile dalla sorgente radiante compatibilmente con il lavoro che si deve svolgere.

MEZZI PROTETTIVI (grembiuli e guanti anti-X): il lavoratore che deve operare al di fuori delle barriere fisse (es. cabinati delle diagnostiche radiologiche) deve sempre indossare il grembiule anti-X in gomma piombifera messo a disposizione.

Generalmente vi sono due tipi di grembiuli che si possono utilizzare, quello di spessore equivalente a 0,5 mm di Pb (molto pesante) e quello equivalente a 0,25 mm di Pb (di peso più contenuto).

Il potere schermante del grembiule anti-X da 0,5 mm di Pb è di circa il 99,5 % della radiazione incidente a 80 kV, mentre il potere schermante del grembiule anti-X da 0,25 mm di Pb è di circa il 95,5 % della radiazione incidente a 80 kV.

E' indiscutibile la maggiore protezione offerta dal grembiule più pesante tuttavia dai dati sopra riportati anche il grembiule più leggero offre una protezione assai valida.

E' pertanto consigliabile che l'operatore indossi il grembiule più leggero quando prevederà che la seduta radiologica possa protrarsi per un tempo abbastanza lungo da rendere insopportabile il peso del grembiule pesante (es. interventi in sala operatoria, interventi di cateterismi cardiaci ecc.).

Il lavoratore deve inoltre indossare i guanti anti-X che anche in questo caso si possono presentare di diversi tipi:

- ❑ guanti anti-X da 0,5 mm di Pb; essi offrono una grande protezione, però le mani dell'operatore risultano praticamente immobilizzate (sono adatti quando l'operatore non ha necessità della mobilità delle dita e della loro sensibilità; es. quando si deve tenere fermo qualche cosa);

- ❑ guanti da 0,25 mm di Pb, permettono una migliore mobilità delle dita, però non si ha nessuna sensibilità;
- ❑ guanti equivalenti a spessori di pochi mm di Al; essi offrono un grado di protezione notevolmente minore rispetto ai guanti equivalenti in mm di Pb, il loro grande vantaggio è di avere una consistenza paragonabile ai guanti chirurgici; possono essere sterilizzati più volte; essendo il loro grado di protezione notevolmente minore rispetto ai guanti equivalenti in mm di Pb sono consigliabili solo nei casi in cui l'operatore (es. chirurghi ortopedici, vascolari ecc.) devono tenere le mani in prossimità del fascio radiante ed avere nello stesso tempo la massima sensibilità.

MEZZI PROTETTIVI (barriere mobili): tutte le sale operatorie ed alcune diagnostiche della radiologia sono dotate di barriere protettive mobili di spessore equivalente a 2 mm di Pb.

I lavoratori che possono allontanarsi dalla sorgente radiogena devono ripararsi dietro la barriera mobile, in caso di impossibilità devono o uscire dal locale (se possibile) o allontanarsi in modo da posizionarsi il più lontano possibile dalla sorgente radiante e in direzione opposta alla emissione del fascio a raggi X.

TEMPO DI ESPOSIZIONE: il fattore tempo di esposizione o numero di lastre effettuate incide notevolmente sul valore totale della dose di esposizione, pertanto si deve ridurre al massimo il tempo di scopia ricorrendo a brevi colpi d'occhio ed utilizzando laddove esista la memoria dell'immagine, ridurre il numero di lastre effettuate impostando correttamente i dati di esposizione ed evitare la ripetizione delle stesse; limitare le dimensioni del campo allo stretto necessario perché all'aumentare del volume del corpo del paziente irradiato aumenta anche la quantità di radiazione diffusa.

RICORDARE CHE TUTTI I MEZZI PROTETTIVI SONO STATI PENSATI PER LA PROTEZIONE DALLE RADIAZIONI DIFFUSE E NON DAL FASCIO PRIMARIO.

E' VIETATO QUINDI ORIENTARE IL TUBO RX NELLA PROPRIA DIREZIONE OVERSO PERSONE CHE NON SIANO IL PAZIENTE MEDESIMO CHE DEVE EFFETTUARE L'ESAME RADIODIAGNOSTICO.

◀ 14) NORME DI RADIOPROTEZIONE

Si allegano le Norme di Radioprotezione esposte nei luoghi di lavoro. In particolare si riportano le norme e modalità relative all'utilizzo dei dosimetri personali.

◀ MODALITÀ DI UTILIZZO DEI DOSIMETRI PERSONALI

- a) il dosimetro per la valutazione della dose efficace va portato all'altezza del taschino del camice, avendo cura che non venga schermato da alcun oggetto metallico: durante l'uso del grembiule protettivo in gomma piombifera, il dosimetro deve trovarsi al di sotto del grembiule anti-X stesso;
- b) il dosimetro per la valutazione della dose equivalente agli organi non protetti dal grembiule anti-X, qualora sia stato assegnato, va portato all'altezza del collo, non coperto dal grembiule anti-X;
- c) il dosimetro termoluminescente, ad anello o a piastrina, per la valutazione della dose alle mani va portato, sotto i guanti protettivi sia schermati che non, sulla mano che risulti più vicina alla sorgente radiante;
- d) il dosimetro non deve essere esposto volontariamente ai raggi;
- e) il dosimetro deve essere conservato, durante le ore di assenza dal servizio, lontano dalle fonti di calore e di radiazioni ionizzanti;
- f) in caso di smarrimento o di rottura, il lavoratore deve avvertire il datore di lavoro, affinché, sia possibile provvedere ad una rapida sostituzione del dosimetro;
- g) in caso di assenza prolungata per malattia, ferie, o aspettativa, consegnare i propri dosimetri personali al responsabile del servizio o del reparto che provvederà alla custodia o alla loro consegna al servizio di radioprotezione. Alla ripresa del lavoro, il lavoratore deve personalmente provvedere al recupero dei propri dosimetri prima di iniziare l'attività lavorativa.

Si ricorda che l'osservanza di tali norme è sancito dall'art. 68, comma 1) lettera b) del D.L. n. 230/95.

◀ 15) MISURAZIONE DELLA DOSE EQUIVALENTE ASSORBITA

I dosimetri impiegati per la valutazione dell'equivalente di dose assorbita sono principalmente di due tipi:

- ❑ dosimetri a pellicola fotografica (film-badge);
- ❑ dosimetri a termoluminescenza (TLD).

Ai lavoratori viene assegnato, a seconda del tipo di esposizione e degli organi da controllare, i dosimetri sopra indicati.

Generalmente ai lavoratori che effettuano esami radiodiagnostici utilizzando le barriere protettive fisse, viene assegnato un dosimetro del tipo a film-badge da portare al torace.

Ai lavoratori che effettuano esami radiodiagnostici protetti solamente dal grembiule anti-X vengono assegnati due dosimetri a film-badge, uno da portare al torace sotto il grembiule anti-X, l'altro da portare al collo, per la valutazione della dose assorbita dagli organi non protetti (es. cristallino, braccia ecc.).

Ai lavoratori che espongono le mani in prossimità del fascio radiante primario viene assegnato anche un dosimetro termoluminescente ad anello o a piastrina.

◀ 16) VALUTAZIONE DELLA DOSE DA ESPOSIZIONE ESTERNA ED INTERNA

L'art. 79 del D.L. 230/95, prevede che la valutazione della dose individuale per i lavoratori di categoria A sia effettuata mediante uno o più apparecchi di misura individuali nonché sulla base della sorveglianza ambientale, mentre per la stessa categoria di lavoratori la dose individuale da esposizione interna deve essere eseguita in base ad idonei metodi fisici e/o radiotossicologici.

Per i lavoratori classificati di categoria B il medesimo articolo dà la possibilità all'Esperto Qualificato di valutare la dose ricevuta da ogni singolo lavoratore sulla scorta dei risultati della sorveglianza fisica dell'ambiente di lavoro.

Riveste pertanto particolare rilevanza la corretta classificazione del personale in categoria A o B, in quanto la valutazione della dose come si è visto può essere effettuata mediante sistemi individuali o semplicemente ambientali.

◀ 17) CONTROLLI AMBIENTALI

L'art. 79 comma 1, lettera c), relativo alle attribuzioni dell'esperto qualificato, prevede che venga effettuata periodicamente la sorveglianza ambientale di radioprotezione nelle zone controllate e sorvegliate.

Tale controllo è effettuato annualmente mediante esposizione di film-dosimetri ambientali per un periodo minimo di due mesi.

Tale controllo è previsto in quanto la Legge consente all'esperto qualificato di valutare la dose ricevuta dai lavoratori che non sono classificati di categoria A sulla scorta dei risultati della sorveglianza fisica dell'ambiente di lavoro.

18) BIBLIOGRAFIA

ICRP Pubblicazione n. 26 "Raccomandazioni 1977";

ICRP Pubblicazione n. 34 "Protezione del paziente in Diagnostica Radiologica" 1982;

ICRP Pubblicazione n. 37 "Analisi dei costi e benefici nella ottimizzazione della Protezione contro le radiazioni" 1983;

ICRP Pubblicazione n. 57 1989 "Radiological Protection of the Worker in Medicine and Dentistry" Pergamon Press Oxford- New York;

ICRP Pubblicazione n. 60 1990 "Raccomandazioni 1990" ENEA DISP;

J.E. Coggle "Effetti Biologici delle Radiazioni" Edizioni Minerva Medica;

ICRP Pubblicazione n. 68 "Coefficienti di dose per incorporazione di radionuclidi da parte dei lavoratori" 1994;

D.M. 6 Giugno 1968 G.U. n. 220 del 30/8/68;

D.M. 2 Febbraio 1971 G.U. n. 58 del 6/3/71;

D.L. 17 Marzo 1995 n. 230.

D.L. 26 Maggio 2000 n. 241

D.L. 09 Maggio 2001 n. 257.