# CAPACITA’ DI PENETRAZIONE DELLA RADIAZIONE NELLA MATERIA:
# PERCORSO MASSIMO (RANGE) PER PARTICELLE CARICHE E
# SPESSORE EMIVALENTE PER FOTONI E NEUTRONI

# Particelle cariche

Polvani pp 50-57

Tessuti molli considerati in prima approssimazione come acqua
Tessuti aereati: acqua e aria
Osso: acqua e fosfato tricalcico

**PARTICELLE ALFA** (da decadimento radioattivo, energia dell'ordine del MeV)
Capacita' di penetrazione molto modesta:

-Arrestate in meno di 10 cm in aria o da un foglio di carta
-Solo per energie >7 MeV raggiungono 70 micron di profondita' nella pelle (strato germinativo della cute, determinando arrossamento/eritema)

**ELETTRONI/POSITRONI**
-A energia di 1 MeV percorso in aria < 4 m e in acqua < 4 mm
-Occorrono 70 keV per raggiungere la profondita' di 70 micron nella cute (strato germinativo)

| energia (MeV) | Percorso max in mm di acqua |
|---|---|
| 0.1 | 0.15 |
| 0.5 | 1.5 |
| 1.0 | 4 |
| 3.0 | 15 |

# PROFONDITA' DI PENETRAZIONE DI PARTICELLE CARICHE (o percorso massimo, o range)

- Perdita di energia praticamente continua per collisioni: si puo' definire una profondita' di penetrazione (range)

- Necessaria schermatura di spessore maggiore del range

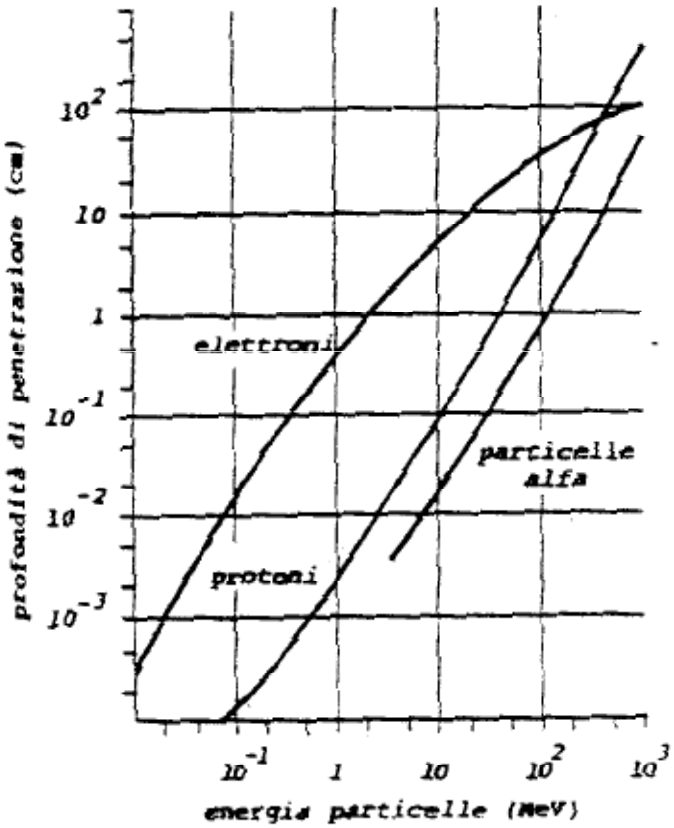



Figura 1. Profondità di penetrazione in acqua di elettroni, protoni e particelle alfa (densità 1 g/cm$^3$).

# FOTONI (raggi X, gamma)

Capacita' di penetrazione modesta per fotoni di bassa energia ("molli"), cresce al crescere dell'energia (fotoni "duri")

Vale la legge $I=I_0\, e^{-\mu x}$ $\mu$ dipende dall'energia dei fotoni, dalla densita' e dal numero atomico del materiale attraversato.

Si definisce lo STRATO EMIVALENTE (SEV): spessore del materiale considerato che riduce a meta' il rateo di dose assorbita del fascio incidente

| MeV | acqua cm | cemento cm | piombo cm |
|---|---|---|---|
| 0.1 | 4 | 2 | 0.01 |
| 0.5 | 7 | 3.5 | 0.4 |
| 1.0 | 10 | 4.5 | 0.9 |
| 3.0 | 18 | 9 | 1.6 |

Capacita’ di  penetrazione dei fotoni nei tessuti (cf tabella precedente per acqua)

-Il numero di fotoni di 100 keV che raggiungono 4 cm di profondita’ (visceri, organi interni) e’ la meta’ dei fotoni incidenti

-Fotoni da 1 MeV danno un “bagno” quasi uniforme a tutti gli organi del torace e dell’addome se la sorgente ruota intorno al corpo

# STRATO EMIVALENTE

Tabella 2. Valori approssimativi dello spessore di dimezzamento e dello spessore 1/10 per fotoni di taluni radioisotopi, molto attenuati in condizioni di cattiva geometria

| nuclide | materiale | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | uranio, cm | | piombo, cm | | acciaio, cm | | calcestr., cm | |
| | s 1/2 | s 1/10 | s 1/2 | s 1/10 | s 1/2 | s 1/10 | s 1/2 | s 1/10 |
| Na-24 | 0,9 | 3,0 | 1,7 | 5,6 | - | - | - | - |
| Co-60 | 0,7 | 2,2 | 1,2 | 4,0 | 2,0 | 6,7 | 6,1 | 20,3 |
| Sb-124 | - | - | 1,4 | 4,5 | - | - | 7,0 | 23,0 |
| I-131 | - | - | 0,7 | 2,4 | - | - | 4,6 | 15,3 |
| Cs-137 | 0,3 | 1,1 | 0,7 | 2,2 | 1,5 | 5,0 | 4,9 | 16,3 |
| Ta-182 | - | - | 1,2 | 4,0 | - | - | - | - |
| Ir-192 | 0,4 | 1,2 | 0,6 | 1,9 | 1,3 | 4,3 | 4,1 | 13,5 |
| Au-198 | - | - | 1,1 | 3,6 | - | - | 4,1 | 13,5 |
| Ra-226 | - | - | 1,3 | 4,4 | 2,1 | 7,1 | 7,0 | 23,3 |

# NEUTRONI

**NEUTRONI VELOCI (10 keV- 10 MeV)**

Meccanismo principale di interazione: diffusione elastica su nuclei di idrogeno
La dose assorbita e' dovuta alle ionizzazioni causate dai nuclei di idrogeno che rinculano.

Si puo' usare il concetto di SEV: In acqua, SEV = 14 cm circa per neutroni di 10 MeV
SEV = 3 cm circa per neutroni di 1 MeV

**NEUTRONI DI FISSIONE (distribuzione continua con max per ca 1 MeV)**

Situazione complicata: la penetrazione varia con l'energia dei neutroni

In acqua, SEV = 7 cm circa

**NEUTRONI LENTI (< 0.5 eV)**
Il grosso della dose dovuto a cattura neutronica

Neutroni "termici" (E~0.02 eV) in acqua: SEV di alcuni cm

# GRANDEZZE DOSIMETRICHE:
# DOSE, DOSE EQUIVALENTE, DOSE EFFICACE

# Grandezze dosimetriche relative al deposito di energia

**•ENERGIA CEDUTA IN UN CERTO VOLUME**

$\varepsilon = R_{in} - R_{out} + \Sigma Q$

$R_{in}$=energia incidente nel volume
$R_{out}$=energia uscente dal volume
$\Sigma Q$ = (somma di tutte le energie liberate) – (somma di tutte le energie consumate) nelle eventuali reazioni nucleari avvenute

E' una grandezza stocastica, ma il suo valore medio non lo e'.
Nel seguito $\varepsilon$ indica il valore medio.

**• DOSE ASSORBITA**

$D = \Delta\varepsilon / \Delta m$ , dove $\Delta m$ è la massa in cui è depositata l'energia $\Delta\varepsilon$
Unità di misura: [D] = J/kg=Gy=100 rad

**• INTENSITA' (o RATEO) DI DOSE ASSORBITA**

$\Delta D / \Delta t$ $[\Delta D / \Delta t]$ = Gy/s=100 rad/s

# DOSE EQUIVALENTE

Da “summary of recommendations ICRP” 1990, p 67-70

- La radiazione ionizzante causa effetti deterministici e stocastici. Scopo della radioprotezione e’ di evitare gli effetti deterministici. Gli effetti stocastici avvengono, pur a bassa frequenza, anche alle dosi piu’ basse.

- Gli effetti deterministici hanno origine dall’uccisione di cellule; se la dose e’ grande a sufficienza, la perdita di cellule e’ tale che il tessuto perde la sua funzionalita’. Dosi ~ alcuni Gy.

- Gli effetti stocastici possono risultare quando una cellula e’ modificata invece che uccisa. Questo puo’ portare a cancro. E’ probabile che non ci sia soglia.

  Se il danno avviene al DNA, si possono provocare effetti ereditari

# DOSE EQUIVALENTE

La dose assorbita non permette di tenere conto della diversita' degli effetti indotti da radiazioni incidenti diverse.

Dose equivalente nel tessuto o nell'organo T dovuta alla radiazione R:

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

**$D_{T,R}$=Dose assorbita nel tessuto o nell'organo T dovuta alla radiazione R,**
**$w_R$= fattore di ponderazione per la radiazione R (dipende dal tipo e qualità delle radiazioni)**

Vd allegato 4 del Decreto legislativo 17 marzo 1995, n 230 e successive modifiche, p69
**http://www.roma1.infn.it/lasezione/pdf/DLgs_230_modificato.pdf**

ICRP Publication 60 (1990)

Pelliccioni p 471 e segg

# DOSE EQUIVALENTE

• **Unit of equivalent dose** (for biological damage) = sievert [= 100 rem (**r**oentgen **e**quivalent for **m**an)]: Equivalent dose $H_T$ (Sv) in an organ $T$ is equal to the absorbed dose in the organ (Gy) times the radiation weighting factor $w_R$ (formerly the quality factor $Q$, but $w_R$ is defined for the radiation incident on the body). It expresses long-term risks (primarily cancer and leukemia) from low-level chronic exposure. It depends upon the type of radiation and other factors, as follows [1]:

**Table 29.1:** Radiation weighting factors.

| Radiation | $w_R$ |
|---|---|
| $X$- and $\gamma$-rays, all energies | 1 |
| Electrons and muons, all energies | 1 |
| Neutrons $< 10$ keV | 5 |
| 10–100 keV | 10 |
| $> 100$ keV to 2 MeV | 20 |
| 2 20 MeV | 10 |
| $> 20$ MeV | 5 |
| Protons (other than recoils) $> 2$ MeV | 5 |
| Alphas, fission fragments, & heavy nuclei | 20 |

**fattore di ponderazione per la radiazione R**

CITATION: W.-M. Yao *et al.*, Journal of Physics G **33**, 1 (2006)

# DOSE EFFICACE

Dose efficace: la somma delle dosi equivalenti, pesate con i fattori di ponderazione dei tessuti/organi considerati più sensibili:

The sum of the equivalent doses, weighted by the tissue weighting factors $w_T$ of several organs and tissues of the body that are considered to be most sensitive [1], is called "effective dose" $E$:

$$E = \sum_T w_T \times H_T \qquad (29.1)$$

Table S-2. Tissue weighting factors[1]

| Tissue or organ | Tissue weighting factor, $w_T$ |
|---|---|
| Gonads | 0.20 |
| Bone marrow (red) | 0.12 |
| Colon | 0.12 |
| Lung | 0.12 |
| Stomach | 0.12 |
| Bladder | 0.05 |
| Breast | 0.05 |
| Liver | 0.05 |
| Oesophagus | 0.05 |
| Thyroid | 0.05 |
| Skin | 0.01 |
| Bone surface | 0.01 |
| Remainder | 0.05[2,3] |

Non una vera grandezza dosimetrica, ma un indicatore del rischio stocastico

**fattore di ponderazione per Il tessuto**

# FATTORI DI PONDERAZIONE $w_T$

Table S-2. Tissue weighting factors[1]

| Tissue or organ | Tissue weighting factor, $w_T$ |
|---|---|
| Gonads | 0.20 |
| Bone marrow (red) | 0.12 |
| Colon | 0.12 |
| Lung | 0.12 |
| Stomach | 0.12 |
| Bladder | 0.05 |
| Breast | 0.05 |
| Liver | 0.05 |
| Oesophagus | 0.05 |
| Thyroid | 0.05 |
| Skin | 0.01 |
| Bone surface | 0.01 |
| Remainder | 0.05[2,3] |

[1] The values have been developed from a reference population of equal numbers of both sexes and a wide range of ages. In the definition of effective dose they apply to workers, to the whole population, and to either sex.

[2] For purposes of calculation, the remainder is composed of the following additional tissues and organs: adrenals, brain, upper large intestine, small intestine, kidney, muscle, pancreas, spleen, thymus and uterus. The list includes organs which are likely to be selectively irradiated. Some organs in the list are known to be susceptible to cancer induction. If other tissues and organs subsequently become identified as having a significant risk of induced cancer they will then be included either with a specific $w_T$ or in this additional list constituting the remainder. The latter may also include other tissues or organs selectively irradiated.

[3] In those exceptional cases in which a single one of the remainder tissues or organs receives an equivalent dose in excess of the highest dose in any of the twelve organs for which a weighting factor is specified, a weighting factor of 0.025 should be applied to that tissue or organ and a weighting factor of 0.025 to the average dose in the rest of the remainder as defined above.

# DOSE EQUIVALENTE:
# modifiche recenti ai fattori di ponderazione $w_R$

ICRP 103 2007
http://www.airm.it/Traduzione-della-ICRP-Publication-103.html

**Table 29.1:** Radiation weighting factors, $w_R$.

| Radiation type | $w_R$ | |
|---|---|---|
| Photons | 1 | |
| Electrons and muons | 1 | |
| Neutrons, $E_n < 1$ MeV | $2.5 + 18.2 \times \exp[-(\ln E_n)^2/6]$ | 5–20 |
| 1 MeV $\leq E_n \leq$ 50 MeV | $5.0 + 17.0 \times \exp[-(\ln(2E_n))^2/6]$ | |
| $E_n >$ 50 MeV | $2.5 + 3.25 \times \exp[-(\ln(0.04E_n))^2/6]$ | |
| Protons and charged pions | 2 | |
| Alpha particles, fission fragments, heavy ions | 20 | |

DOSE EQUIVALENTE:
modifiche recenti ai fattori di ponderazione $w_R$

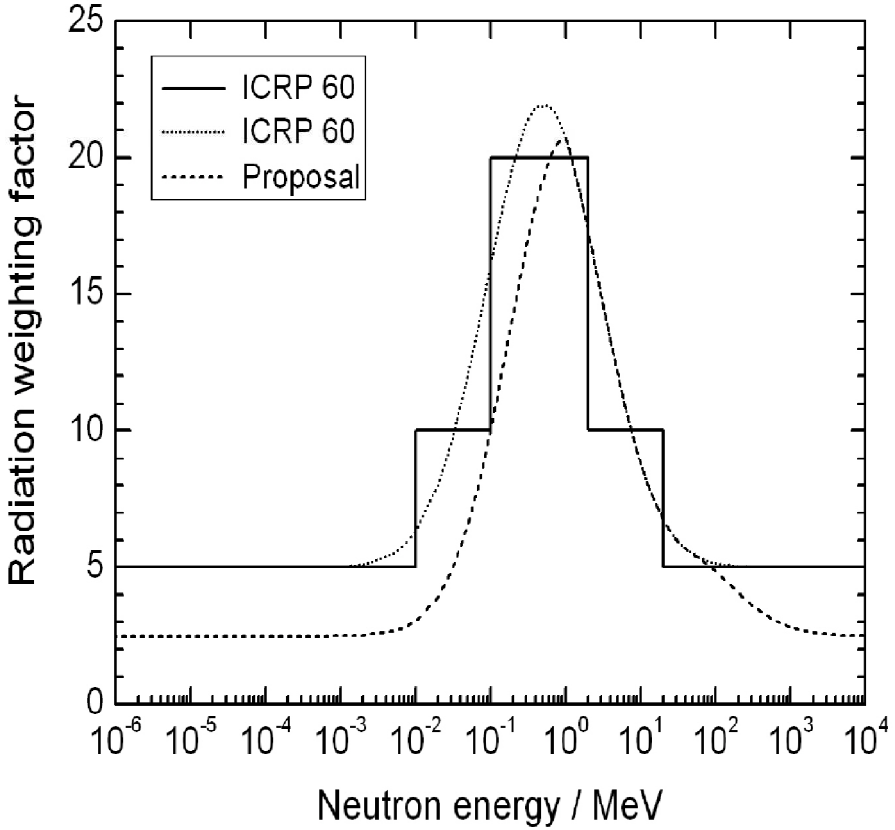
ICRP 103 2007
http://www.airm.it/Traduzione-della-ICRP-Publication-103.html

# Radiation Weighting Factors, $w_R$

| Type and energy range | Publication 60 | 2007 |
|---|---|---|
| Photons, all energies | 1 | 1 |
| Electrons and muons, all energies | 1 | 1 |
| Protons | 5 | 2 |
| Alpha particles, fission fragments, heavy nuclei | 20 | 20 |
| Neutrons | Stepwise function | Continuous function <10 keV, 2.5 |

# DOSE EQUIVALENTE:
# modifiche recenti ai fattori di ponderazione $w_R$

ICRP 103 2007
http://www.airm.it/Traduzione-della-ICRP-Publication-103.html



# Dose efficace:
# Modifiche recenti ai FATTORI DI PONDERAZIONE $w_T$

ICRP 103 2007
http://www.airm.it/Traduzione-della-ICRP-Publication-103.html

## *Tissue Weighting Factors, $w_T$*

| Tissue | $w_T$ | $\sum w_T$ |
|---|---|---|
| Bone-marrow, breast, colon, lung, stomach, remainder tissues *(13/14)* | 0.12 | 0.72 |
| Gonads | 0.08 | 0.08 |
| Bladder, oesophagus, liver, thyroid | 0.04 | 0.16 |
| Bone surface, brain, salivary glands, skin | 0.01 | 0.04 |

## Dose efficace:
## Modifiche recenti ai FATTORI DI PONDERAZIONE $w_T$

ICRP 103 2007
http://www.airm.it/Traduzione-della-ICRP-Publication-103.html

# Remainder Tissues

Adrenals, Extrathoracic region, Gall bladder, Heart wall, Kidneys, Lymphatic nodes, Muscle, Oral mucosa, Pancreas, Prostate, Small intestine, Spleen, Thymus, Uterus/cervix.

# PRINCIPI DELLA RADIOPROTEZIONE

# PRINCIPI DELLA RADIOPROTEZIONE

Nessuna esposizione alla radiazione ionizzante, per quanto piccola, puo' essere considerata sicura

1. Principio di giustificazione:
   "No practice will be adopted unless its introduction produces a positive net benefit"
   Ossia: necessaria prevalenza dei benefici sui costi – dal punto di vista globale: tecnico, sanitario, economico, sociale… (per es: vantaggio di riconoscimento precoce dei tumori vs dose alla popolazione, uso di rivelatori d'incendio che usano sostanze radioattive, uso dell'energia nucleare per la produzione di energia elettrica…)

2. Principio di ottimizzazione:
   "All the exposures shall be kept as low as reasonably achievable, economic and social factors being taken into account" ("ALARA")
   Un'attivita' giustificata deve essere realizzata con il costo complessivo minimo per la societa'

3. Principio del limite di dose individuale:
   La dose agli individui "shall not exceed the limits recommended for the appropriate circumstances"
   Tutela l'individuo fissando limiti per qualsiasi lavoratore e ogni membro della popolazione.

# PRINCIPI DELLA RADIOPROTEZIONE

- Pubblicazione ICRP no. 26 1977



## Decreto Legislativo del Governo 17 marzo 1995 n° 230

modificato

dal **D.Lgs. 26 maggio 2000**, n. 187,
dal **D.Lgs. 26 maggio 2000**, n. 241
dal **D.Lgs. 9 maggio 2001**, n. 257
dal **D.Lgs. 26 marzo 2001**, n.151
e dalla **Legge 1 marzo 2002**, n. 39

**"Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti.".**

Legenda: in grassetto le modifiche derivanti dal D. Lgs. 241/2000;
in corsivo le modifiche derivanti dal D. Lgs. 257/2001 e dal D.Lgs. 151/2001
il tratto nero continuo indica le parti del decreto 241/2000 definitivamente cancellate.

http://www.camera.it/parlam/leggi/deleghe/testi/00187dl.htm

*Principio di giustificazione*

1. E' vietata l'esposizione non giustificata
2. Le esposizioni mediche devono mostrare di essere sufficientemente efficaci mediante la valutazione dei potenziali vantaggi diagnostici o terapeutici complessivi da esse prodotti inclusi i benefici diretti per la salute della persona e della collettività, rispetto al danno alla persona che l'esposizione potrebbe causare, tenendo conto dell'efficacia, dei vantaggi e dei rischi di tecniche alternative disponibili, che si propongono lo stesso obiettivo, ma che non comportano un'esposizione, ovvero comportano una minore esposizione alle radiazioni ionizzanti. In particolare:
   - *a)* tutti i nuovi tipi di pratiche che comportano esposizioni mediche devono essere giustificate preliminarmente prima di essere generalmente adottate;
   - *b)* tutti i tipi di pratiche esistenti che comportano esposizioni mediche possono essere riveduti ogni qualvolta vengano acquisite prove nuove e rilevanti circa la loro efficacia o le loro conseguenze;
   - *c)* il processo di giustificazione preliminare e di revisione delle pratiche deve svolgersi nell'ambito dell'attività professionale specialistica tenendo conto dei risultati della ricerca scientifica.
3. Il Ministero della Sanità può vietare, sentito il Consiglio superiore di sanità, tipi di esposizioni mediche non giustificati.
4. ***Tutte le esposizioni mediche individuali devono essere giustificate preliminarmente, tenendo conto degli obiettivi specifici dell'esposizione e delle caratteristiche della persona interessata. Se un tipo di pratica che comporta un'esposizione medica non è giustificata in generale, può essere giustificata invece per il singolo individuo in circostanze da valutare caso per caso.***
5. ***Il prescrivente e lo specialista, per evitare esposizioni non necessarie, si avvalgono delle informazioni acquisite o si assicurano di non essere in grado di procurarsi precedenti informazioni diagnostiche o documentazione medica pertinenti alla prevista esposizione.***

6. Le esposizioni mediche per la ricerca clinica e biomedica sono valutate dal comitato etico istituito ai sensi delle norme vigenti.
7. Le esposizioni ai fini medico legali, che non presentano un beneficio diretto per la salute delle persone esposte, devono essere giustificate in modo particolare e devono essere effettuate in maniera che la dose derivante dall'esposizione sia mantenuta al livello più basso ragionevolmente ottenibile.
8. Le esposizioni di soggetti che al di fuori della propria occupazione, assistono o confortano persone sottoposte ad esposizioni mediche devono essere sottoposte ad una particolare procedura di giustificazione, devono limitarsi a casi strettamente necessari, scoraggiando esposizioni abituali. E' obbligatorio l'uso di idonei mezzi di protezione. (all.I). Tali esposizioni sono comunque vietate nei confronti dei minori di 18 anni e delle donne con gravidanza in atto.

*Principio di ottimizzazione*

1. Tutte le dosi dovute ad esposizioni mediche per scopi radiologici ad eccezione delle procedure radioterapeutiche, devono essere mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile e compatibile con il raggiungimento dell'informazione diagnostica richiesta, tenendo conto di fattori economici e sociali; il principio di ottimizzazione riguarda la scelta delle attrezzature, la produzione adeguata di un'informazione diagnostica appropriata o del risultato terapeutico, la delega degli aspetti pratici, nonché i programmi per la garanzia di qualità, inclusi il controllo di qualità, l'esame e la valutazione delle dosi o delle attività somministrate al paziente.
2. Per tutte le esposizioni mediche a scopo terapeutico, lo specialista deve programmare individualmente l'esposizione dei volumi bersaglio tenendo conto che le dosi a volumi e tessuti non bersaglio devono essere le più basse ragionevolmente ottenibili e compatibili con il fine radioterapeutico perseguita con l'esposizione.
3. Ai fini dell'ottimizzazione dell'esecuzione degli esami radiodiagnostici si deve tenere conto dei livelli diagnostici di riferimento (LDR) secondo le linee guida indicate nell'allegato II.
4. Le procedure di giustificazione e di ottimizzazione della ricerca scientifica comportante esposizioni a radiazioni ionizzanti sono dettate dall'allegato III della normativa.

5. Particolare attenzione deve essere posta a che la dose derivante da esposizione medico-legale sia mantenuta al livello più basso ragionevolmente ottenibile.

6. Le procedure di ottimizzazione e i vincoli di dose per le esposizioni di soggetti che coscientemente e volontariamente collaborano, al di fuori della loro occupazione, all'assistenza ed al conforto dei pazienti sottoposti a diagnosi o, se del caso, a terapia, sono quelli indicati nell'allegato I, parte II.

7. Nel caso di un paziente sottoposto ad un trattamento o ad una diagnosi con radionuclidi, se del caso, il medico nucleare o il radioterapista fornisce al paziente stesso o al suo tutore legale istruzioni scritte volte a ridurre, per quanto ragionevolmente conseguibile, le dosi per le persone in diretto contatto con il paziente, nonché le informazioni sui rischi delle radiazioni ionizzanti. Tali istruzioni sono impartite prima di lasciare la struttura sanitaria.

# LIMITI DI DOSE PER LAVORATORI PROFESSIONALMENTE ESPOSTI E POPOLAZIONE

# LIMITI DI DOSE PER I LAVORATORI ESPOSTI

**1. Limiti di dose efficace per i lavoratori esposti**

1.1. Il limite di dose efficace per i lavoratori esposti è stabilito in 20 mSv in un anno solare.

**2. Limiti di dose equivalente per particolari organi o tessuti per i lavoratori esposti**

2.1. Per i lavoratori esposti, fermo restando il rispetto del limite di cui al paragrafo 1, devono altresì essere rispettati, in un anno solare, i seguenti limiti di dose equivalente:

a) 150 mSv per il cristallino;

b) 500 mSv per la pelle; tale limite si applica alla dose media, su qualsiasi superficie di 1 $cm^2$, indipendentemente dalla superficie esposta;

c) 500 mSv per mani, avambracci, piedi, caviglie.

# LIMITI DI DOSE PER I LAVORATORI ESPOSTI

**2. Apprendisti e studenti**

2.1. Ai fini dell'applicazione delle disposizioni del presente decreto gli apprendisti e gli studenti esposti al rischio derivante dalle radiazioni ionizzanti, in ragione della attività di studio o di apprendistato, vengono suddivisi nelle seguenti categorie:

a) apprendisti e studenti, di età non inferiore a 18 anni, che si avviano ad una professione nel corso della quale saranno esposti alle radiazioni ionizzanti, o i cui studi implicano necessariamente l'impiego di sorgenti di radiazioni ionizzanti;

b) apprendisti e studenti di età compresa tra 16 e 18 anni, che si trovino nelle condizioni di cui alla precedente lettera a);

c) apprendisti e studenti di età non inferiore a 16 anni, che non si trovino nelle condizioni di cui alla lettera a);

d) apprendisti e studenti di età inferiore a 16 anni.

**Limiti di esposizione per apprendisti e studenti**

3.1. I limiti di dose per gli apprendisti e per gli studenti di cui al paragrafo 2 dell'Allegato III del presente decreto sono stabiliti nei paragrafi seguenti, in relazione alla suddivisione dei medesimi in ragione dell'età e del tipo di attività lavorativa o di studio.

3.2. Per gli apprendisti e studenti di cui al paragrafo 2.1, lettera a), dell'Allegato III i limiti di dose efficace e di dose equivalente per particolari organi o tessuti, sono uguali ai limiti fissati per i lavoratori esposti ai sensi dei paragrafi 1 e 2.

3.3. Per gli apprendisti e studenti di cui al paragrafo 2.1, lettera b), dell'Allegato III, il limite di dose efficace è fissato in 6 mSv per anno solare.

3.4. I limiti di dose equivalente per particolari organi o tessuti relativamente agli apprendisti e studenti di cui al paragrafo 2.1, lettera b), dell'Allegato III sono fissati, per anno solare, in:

a) 50 mSv per il cristallino;

b) 150 mSv per la pelle; tale limite si applica alla dose media, su qualsiasi superficie di 1 $cm^2$, indipendentemente dalla superficie esposta;

c) 150 mSv per mani, avambracci, piedi, caviglie.

3.5. Per gli apprendisti e gli studenti di cui al paragrafo 2.1, lettere c) e d), dell'Allegato III i limiti annuali di dose efficace nonché di dose equivalente per particolari organi o tessuti sono rispettivamente uguali alla metà di quelli stabiliti nei paragrafi 7 e 8 per gli individui della popolazione; per detti soggetti, inoltre, ogni singola esposizione correlata alla loro attività non può superare un ventesimo dei limiti annuali di cui agli stessi paragrafi 7 e 8.

# LIMITI DI DOSE PER I LAVORATORI ESPOSTI

**4 bis.Particolari condizioni i di esposizione**

4.bis 1. Qualora per i lavoratori esposti e per gli apprendisti e gli studenti ad essi equiparati ai sensi del paragrafo 3.3 dell'Allegato III sia superato, anche a seguito di esposizioni accidentali, di emergenza o esposizioni soggette ad autorizzazione speciale di cui al paragrafo 9 dell'Allegato III stesso, il limite annuale di dose efficace di 20 mSv di cui al paragrafo 1, le successive esposizioni devono essere limitate, per anno solare, a 10 mSv sino a quando la media annuale delle esposizioni stesse per tutti gli anni solari seguenti, compreso l'anno del superamento, risulti non superiore a 20 mSv.

4 bis 2. Ove in epoca anteriore all'applicazione del presente paragrafo 4 bis sia stato superato il limite annuale di dose efficace di 50 mSv stabilito ai sensi delle norme previgenti, si applicano, ove necessario, le disposizioni di cui al paragrafo 4.bis 1 a partire dall'anno in cui acquistano efficacia le presenti norme".

# LIMITI DI DOSE PER I LAVORATORI ESPOSTI

***Art. 8. - Esposizione a radiazioni ionizzanti (D.Lgs. 26 marzo 2001, n. 151)***

1. Le donne, durante la gravidanza, non possono svolgere attivita' in zone classificate o, comunque, essere adibite ad attivita' che potrebbero esporre il nascituro ad una dose che ecceda un millisievert durante il periodo della gravidanza.

2. E' fatto obbligo alle lavoratrici di comunicare al datore di lavoro il proprio stato di gravidanza, non appena accertato.

3. E' altresi' vietato adibire le donne che allattano ad attivita' comportanti un rischio di contaminazione.

***Allegato A (D.Lgs. 26 marzo 2001, n. 151)***
***Elenco dei lavori faticosi, pericolosi e insalubri di cui all'art. 7***

I lavori faticosi, pericolosi ed insalubri, vietati ai sensi dello stesso articolo, sono i seguenti: … *omissis* …

D) i lavori che comportano l'esposizione alle radiazioni ionizzanti: durante la gestazione e per 7 mesi dopo il parto;

# LIMITI DI DOSE PER LA POPOLAZIONE

**7. Limiti di dose efficace per gli individui della popolazione**

7.1. Il limite di dose efficace per gli individui della popolazione è stabilito in 1 mSv per anno solare.

**8. Limiti di dose equivalente per particolari organi o tessuti per gli individui della popolazione**

8.1. Fermo restando il rispetto del limite di cui al ~~paragrafo 8~~ ***paragrafo 7***, per gli individui della popolazione devono altresì essere rispettati in un anno solare i seguenti limiti di dose equivalente:
a) 15 mSv per il cristallino;
b) 50 mSv per la pelle, calcolato in media su 1 $cm^2$ di pelle, indipendentemente dalla superficie esposta.

# ESPERTO QUALIFICATO

Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 241

**"Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti"**

pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* n. 203 del 31 agosto 2000 - Supplemento Ordinario n. 140
*(Rettifica Gazzetta Ufficiale n. 68 del 22 marzo 2001)*

u) 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. La sua qualificazione è riconosciuta secondo le procedure stabilite nel presente decreto;

- 1° grado: apparecchi radiologici che accelerano elettroni con tensione applicata <400keV;
- 2° grado: macchine radiogene con energia degli elettroni <10 MeV, materie radioattive, incluse le sorgenti di neutroni con produzione media $< 10^4$ neutroni/sec;
- 3° grado: sorgenti di neutroni e impianti nucleari.

L'abilitazione di 2° grado comprende anche quella di 1°; quella di 3° grado comprende anche quella di 2° e 1° grado.

# ESPERTO QUALIFICATO

L'esperto qualificato deve fornire al datore di lavoro, prima dell'inizio di qualsiasi attività con rischio da radiazioni ionizzanti, una consulenza in merito alla valutazione dei rischi che l'attività comporta e ai relativi provvedimenti di radioprotezione da adottare, redigendo apposita relazione.
Rientrano tra le competenze dell'esperto qualificato una serie di fondamentali azioni organizzative generali della radioprotezione, le principali delle quali riguardano:

- la classificazione delle aree con rischio da radiazioni ionizzanti;
- la classificazione del personale ai fini della radioprotezione;
- la predisposizione delle norme interne di radioprotezione;
- la segnalazione mediante contrassegni delle sorgenti di radiazione;
- la predisposizione di un programma di informazione e formazione, finalizzato alla radioprotezione, allo scopo di rendere il personale edotto dei rischi specifici a cui è esposto.

- esaminare i progetti degli impianti, rilasciando il relativo benestare;
- provvedere ad effettuare il collaudo e la prima verifica degli impianti;
- verificare periodicamente l'efficacia dei dispositivi ovvero delle tecniche di radioprotezione;
- effettuare il controllo periodico del buon funzionamento della strumentazione di radioprotezione; - effettuare la sorveglianza ambientale;
- valutare le dosi ricevute dai lavoratori e le introduzioni dei radionuclidi;
- procedere alla valutazione sia in fase di progetto che di esercizio delle dosi ricevute o impegnate dai gruppi di riferimento della popolazione, in condizioni normali di lavoro e nel caso di incidenti; - etc.

# CLASSIFICAZIONE DELLE ZONE

zona classificata: ambiente di lavoro sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione contro le radiazioni ionizzanti. Le zone classificate possono essere zone controllate o zone sorvegliate. È zona controllata un ambiente di lavoro, sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione dalle radiazioni ionizzanti, in cui si verifichino le condizioni stabilite con il decreto di cui all'articolo 82 ed in cui l'accesso è segnalato e regolamentato. È 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.

È classificata zona **controllata** ogni area di lavoro ove sussiste per i lavoratori ivi operanti il rischio di superamento di uno qualsiasi dei seguenti valori:

- 6 mSv/anno di dose efficace
- 45 mSv/anno per il cristallino;
- 150 mSv/anno per la pelle, mani, avambracci, piedi, caviglie.

E' classificata zona **sorvegliata** ogni area di lavoro, che non debba essere classificata zona controllata, ove sussiste per i lavoratori ivi operanti il rischio di superamento di uno qualsiasi dei seguenti valori:

- 1 mSv/anno di dose efficace
- 15 mSv/anno per il cristallino;
- 50 mSv/anno per la pelle, mani, avambracci, piedi, caviglie.

Zona interdetta: dove i ratei di dose possono raggiungere valori molto elevati (per es. fasci di acceleratori o aree in cui sono presenti importanti sorgenti radioattive)

# CLASSIFICAZIONE DEI LAVORATORI

***Sono classificati lavoratori esposti i soggetti che, in ragione della attività lavorativa svolta per conto del datore di lavoro, sono suscettibili di superare in un anno solare uno o più dei seguenti valori:***

***a. 1 mSv di dose efficace;***
***b. 15 mSv di dose equivalente per il cristallino;***
***c. 50 mSv di dose equivalente per la pelle, calcolato in media su 1 cm2 qualsiasi di pelle, indipendentemente dalla superficie esposta;***
***d. 50 mSv di dose equivalente per mani, avambracci, piedi, caviglie.***

Sono considerati lavoratori non esposti i soggetti sottoposti, in ragione dell'attività lavorativa svolta per conto del datore di lavoro, ad una esposizione che non sia suscettibile di superare uno qualsiasi dei limiti fissati per le persone del pubblico dall'Allegato IV.

3.1. Sono classificati in Categoria A i lavoratori esposti che, sulla base degli accertamenti compiuti dall'esperto qualificato ai sensi del paragrafo 5, sono suscettibili di un'esposizione superiore, in un anno solare, ad uno dei seguenti valori:
a) 6 mSv di dose efficace;
b) i tre decimi di uno qualsiasi dei limiti di dose equivalente fissati al paragrafo 2 dell'Allegato IV, per il cristallino, per la pelle nonché per mani , avambracci, piedi e caviglie, con le modalità di valutazione stabilite al predetto paragrafo.

3.2. I lavoratori esposti non classificati in Categoria A ai sensi del paragrafo 3.1 sono classificati in Categoria B.

3/10 x

**2. Limiti di dose equivalente per particolari organi o tessuti per i lavoratori esposti**

2.1. Per i lavoratori esposti, fermo restando il rispetto del limite di cui al paragrafo 1, devono altresì esser rispettati, in un anno solare, i seguenti limiti di dose equivalente:
a) 150 mSv per il cristallino;
b) 500 mSv per la pelle; tale limite si applica alla dose media, su qualsiasi superficie di 1 cm indipendentemente dalla superficie esposta;
c) 500 mSv per mani, avambracci, piedi, caviglie.

# CLASSIFICAZIONE DEI LAVORATORI

Cat. A:  sorveglianza medica (semestrale) da parte del medico autorizzato
Cat B: controlli medici (medico autorizzato o competente) con frequenza annuale