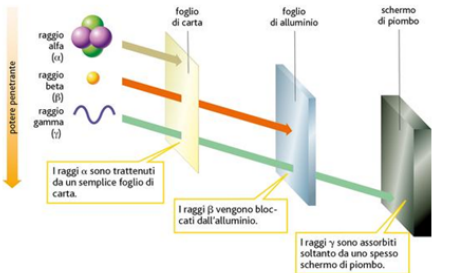


|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1</p> <h2 style="text-align: center;">RADIAZIONI IONIZZANTI</h2> <h3 style="text-align: center;">Radioprotezione e normativa</h3> <hr/> <p>A cura di : <b>Silvia Vaccari</b><br/>Esperto Qualificato - Responsabile del Servizio di Fisica Sanitaria</p> <p style="text-align: center;">Università degli Studi di Parma</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p>Buongiorno, in questa unità didattica ci occuperemo degli aspetti fondamentali concernenti la protezione dai rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti.</p> <p>Forniremo alcuni cenni del quadro normativo vigente in questo settore.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <p>2</p> <h2 style="text-align: center;">RADIOPROTEZIONE</h2> <hr/> <p>La radioprotezione ha l'obiettivo di preservare lo stato di salute e benessere dei lavoratori, degli individui della popolazione e della loro discendenza, nonché di tutelare i sistemi ecologici naturali, nel contesto delle attività umane che comportano rischi di esposizione alle radiazioni ionizzanti.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <h3>RADIOPROTEZIONE</h3> <p>La radioprotezione, o protezione sanitaria contro le radiazioni ionizzanti, è una disciplina a forte contenuto biologico, fisico e naturalistico.</p> <p>Ha l'obiettivo di preservare lo stato di salute e benessere dei lavoratori, degli individui della popolazione e della loro discendenza, nonché di tutelare i sistemi ecologici naturali, nel contesto delle attività umane che comportano rischi di esposizione alle radiazioni ionizzanti.</p>                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p>3</p> <h2 style="text-align: center;">RADIAZIONI IONIZZANTI</h2> <hr/> <p>Sono dette <b>ionizzanti</b> le radiazioni che hanno un'energia sufficiente per produrre, interagendo con la materia, fenomeni di ionizzazione nel mezzo attraversato (in genere qualche decina di eV).</p> <p>Il diagramma mostra lo spettro elettromagnetico con frequenze da <math>10^0</math> a <math>10^{20}</math> Hz. Le radiazioni non ionizzanti (radio, microonde, calore) sono a basse frequenze, mentre le radiazioni ionizzanti (raggi X, raggi gamma, radiazione secondaria di quota) sono ad alte frequenze. Sono mostrati anche esempi di radiazioni: elettrodotti, radio, telefono cellulare, calore, luce, raggi X, raggi gamma e radiazione secondaria di quota.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>Sono dette <b>ionizzanti</b> le radiazioni che hanno un'energia sufficiente per produrre, interagendo con la materia, fenomeni di ionizzazione nel mezzo attraversato (in genere qualche decina di elettronVolt).</p> <p>Nel caso delle radiazioni elettromagnetiche, se questa energia è inferiore, si parla di radiazioni non ionizzanti.</p> <p>Lo spettro elettromagnetico, come si vede in figura, rappresenta appunto tali radiazioni in funzione della loro energia.</p>                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <p>4</p> <h2 style="text-align: center;">Radiazioni ionizzanti</h2> <hr/> <p>A seconda della loro natura, le radiazioni ionizzanti si possono distinguere in</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>corpuscolari</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>particelle cariche (alfa, beta, protoni, etc.)</b><br/>inducono fenomeni di ionizzazione (elevata ionizzazione specifica), in generale poco penetranti</li> <li>- <b>neutroni</b><br/>non ionizzano direttamente, ma interagiscono con la materia tramite collisione diretta con i nuclei atomici provocando diversi tipi di reazioni, sono molto penetranti</li> </ul> </li> <li><b>elettromagnetiche</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>raggi X, prodotti a livello degli elettroni orbitali</b></li> <li>- <b>raggi gamma, prodotti a livello del nucleo</b><br/>sono di natura ondulatoria con frequenza superiore a <math>3 \cdot 10^{15}</math> Hz, interagiscono con la materia e determinano la ionizzazione attraverso meccanismi indiretti (produzione di secondari carichi), sono molto penetranti</li> </ul> </li> </ul> | <p>A seconda della loro natura, le radiazioni ionizzanti si possono distinguere in</p> <p><b>corpuscolari</b></p> <p><b>elettromagnetiche</b></p> <p>Le radiazioni corpuscolari sono costituite da particelle subatomiche dotate o meno di carica elettrica.</p> <p>Le particelle cariche (particelle alfa, beta, protoni, etc.) inducono direttamente fenomeni di ionizzazione nei materiali che attraversano e posseggono un'elevata ionizzazione specifica. In generale sono poco penetranti.</p> <p>I neutroni sono particelle non dotate di carica elettrica; non ionizzano direttamente, ma interagiscono con la materia tramite collisione diretta con i nuclei atomici provocando diversi tipi di reazioni. Sono molto penetranti.</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>Le radiazioni elettromagnetiche sono di natura ondulatoria, interagiscono con la materia e determinano la ionizzazione attraverso meccanismi indiretti. Sono radiazioni molto penetranti.</p> <p>Appartengono a questa categoria di radiazioni:<br/>i <i>raggi X</i>, prodotti a livello degli elettroni orbitali<br/>i <i>raggi gamma</i>, prodotti a livello del nucleo</p>                                                                                                                                                                                                                                             |                                |                    |                |                                    |                                |                |                                 |                                |  |  |                                |  |  |                                |                 |  |  |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------|---------------------------------|--------------------------------|--|--|--------------------------------|--|--|--------------------------------|-----------------|--|--|--|
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>Questi tipi di radiazioni e/o particelle hanno proprietà e comportamenti differenti.</p> <p>In particolare è diverso il potere di penetrazione e l'energia che rilasciano durante il loro passaggio nei differenti materiali.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                |                    |                |                                    |                                |                |                                 |                                |  |  |                                |  |  |                                |                 |  |  |  |
| <div><p><b>Potere di penetrazione delle radiazioni</b></p></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                |                    |                |                                    |                                |                |                                 |                                |  |  |                                |  |  |                                |                 |  |  |  |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>L'attuale legislazione recepisce le Direttive della Comunità Europea in materia di radiazioni ionizzanti, che a sua volta tengono conto delle raccomandazioni della Commissione Internazionale per le Protezioni Radiologiche (ICRP).</p> <p>Il D.Lgs. 230/95 e sue modifiche ed integrazioni (s.m.i.) si occupa della protezione della popolazione e dei lavoratori contro i rischi di esposizione alle radiazioni ionizzanti.</p> <p>Il D.Lgs. 187/2000 si occupa della protezione sanitaria delle persone contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti connessi ad esposizioni mediche (protezione dei pazienti).</p> |                                |                    |                |                                    |                                |                |                                 |                                |  |  |                                |  |  |                                |                 |  |  |  |
| <div><p><b>Principali dispositivi legislativi della radioprotezione</b></p><table><tr><th>Raccomandazioni</th><th>Direttive Europee</th><th>Normativa Italiana</th></tr><tr><td>ICRP 26 - 1977</td><td>Direttive Europee Euratom 89-90-92</td><td>Decreto Legislativo n.230/1995</td></tr><tr><td>ICRP 60 - 1990</td><td>Direttive Europee Euratom 96-97</td><td>Decreto Legislativo n.241/2000</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Decreto Legislativo n.187/2000</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Decreto Legislativo n.257/2001</td></tr><tr><td>ICRP 103 - 2007</td><td></td><td></td></tr></table></div>                                                                       | Raccomandazioni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Direttive Europee              | Normativa Italiana | ICRP 26 - 1977 | Direttive Europee Euratom 89-90-92 | Decreto Legislativo n.230/1995 | ICRP 60 - 1990 | Direttive Europee Euratom 96-97 | Decreto Legislativo n.241/2000 |  |  | Decreto Legislativo n.187/2000 |  |  | Decreto Legislativo n.257/2001 | ICRP 103 - 2007 |  |  |  |
| Raccomandazioni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Direttive Europee                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Normativa Italiana             |                    |                |                                    |                                |                |                                 |                                |  |  |                                |  |  |                                |                 |  |  |  |
| ICRP 26 - 1977                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Direttive Europee Euratom 89-90-92                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Decreto Legislativo n.230/1995 |                    |                |                                    |                                |                |                                 |                                |  |  |                                |  |  |                                |                 |  |  |  |
| ICRP 60 - 1990                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Direttive Europee Euratom 96-97                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Decreto Legislativo n.241/2000 |                    |                |                                    |                                |                |                                 |                                |  |  |                                |  |  |                                |                 |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Decreto Legislativo n.187/2000 |                    |                |                                    |                                |                |                                 |                                |  |  |                                |  |  |                                |                 |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Decreto Legislativo n.257/2001 |                    |                |                                    |                                |                |                                 |                                |  |  |                                |  |  |                                |                 |  |  |  |
| ICRP 103 - 2007                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                |                    |                |                                    |                                |                |                                 |                                |  |  |                                |  |  |                                |                 |  |  |  |
| 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>Anche il D.Lgs. 81/08, nel definire il campo di applicazione per gli agenti fisici, sottolinea che “la protezione dei lavoratori dalle radiazioni ionizzanti è disciplinata unicamente dal decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230, e sue successive modificazioni”.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                |                    |                |                                    |                                |                |                                 |                                |  |  |                                |  |  |                                |                 |  |  |  |
| <div><p><b>Normativa in Italia</b></p><p>► Il D.Lgs. 230/95 e s.m.i. si occupa della protezione della popolazione e dei lavoratori contro i rischi di esposizione dalle radiazioni ionizzanti.</p><p>► Anche il D.Lgs.81/08, nel definire il campo di applicazione per gli agenti fisici, sottolinea che “la protezione dei lavoratori dalle radiazioni ionizzanti è disciplinata unicamente dal decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230, e sue successive modificazioni”.</p><p>► Il D.Lgs. 187/2000 si occupa invece della protezione sanitaria delle persone contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti connessi ad esposizioni mediche (protezione dei pazienti).</p></div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                |                    |                |                                    |                                |                |                                 |                                |  |  |                                |  |  |                                |                 |  |  |  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>8</p> <p style="text-align: center;"><b>Campo di applicazione</b></p> <hr/> <p>Nel <i>D.Lgs.230/95 s.m.i.</i> vengono definiti il <b>campo di applicazione</b> e i <b>principi generali di protezione</b> dalle radiazioni ionizzanti.</p> <p>Rientrano nel Decreto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• .....       <ul style="list-style-type: none"> <li>- pratiche che implicano un rischio dovuto a radiazioni ionizzanti provenienti da una sorgente artificiale o da una sorgente naturale...:           <ul style="list-style-type: none"> <li>- produzione, ...detenzione, ...impiego, ...di <b>materie radioattive</b>;</li> <li>- funzionamento di <b>macchine radiogene</b>;</li> <li>- lavorazioni minerarie...</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• .....</li> </ul>                                          | <p>Nel <i>D.Lgs.230/95 s.m.i.</i> vengono definiti il campo di applicazione e i principi generali di protezione dalle radiazioni ionizzanti.</p> <p>Rientrano nel Decreto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pratiche che implicano un rischio dovuto a radiazioni ionizzanti provenienti da una sorgente artificiale o da una sorgente naturale...:       <ul style="list-style-type: none"> <li>- produzione, detenzione, impiego, di materie radioattive;</li> <li>- funzionamento di macchine radiogene;</li> <li>- lavorazioni minerarie...</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p>9</p> <p style="text-align: center;"><b>Definizione di pratica</b></p> <hr/> <p><b>Pratica:</b> attività umana che è suscettibile di aumentare l'esposizione degli individui alle radiazioni provenienti da una sorgente artificiale, o da una sorgente naturale di radiazioni...</p> <p>Il Decreto legislativo suddivide le pratiche in due categorie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pratiche con materie radioattive</li> <li>• pratiche con macchine radiogene</li> </ul> <p>definisce le condizioni per cui tali pratiche sono soggette all'applicazione della normativa di legge.</p>                                                                                                                                                                                                                          | <p>Definizione di <i>pratica</i>: attività umana che è suscettibile di aumentare l'esposizione degli individui alle radiazioni provenienti da una sorgente artificiale, o da una sorgente naturale di radiazioni...</p> <p>Il Decreto legislativo suddivide le pratiche in due categorie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pratiche con materie radioattive</li> <li>• pratiche con macchine radiogene</li> </ul> <p>definisce le condizioni per cui tali pratiche sono soggette all'applicazione della normativa di legge.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>10</p> <p style="text-align: center;"><b>Le sorgenti di radiazioni ionizzanti</b></p> <hr/> <p>Le sorgenti di radiazioni ionizzanti si possono distinguere in:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sostanze radioattive</li> <li>- macchine radiogene</li> </ul> <p><b>a) Sostanze radioattive</b></p> <p>Le sostanze radioattive sono quelle che presentano il fenomeno della radioattività: i nuclei dei loro atomi si trovano in uno stato di instabilità e, seguendo una determinata legge temporale, si disintegrano spontaneamente emettendo radiazioni corpuscolari e/o elettromagnetiche. Ad ogni disintegrazione corrisponde la formazione del nucleo di una nuova sostanza.</p> <p>► Esse danno luogo ad irradiazione con continuità fino al loro completo decadimento.</p>                                     | <p>Le sorgenti di radiazioni ionizzanti si possono distinguere in:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sostanze radioattive</li> <li>- macchine radiogene</li> </ul> <p>Sostanze radioattive</p> <p>Le sostanze radioattive sono quelle che presentano il fenomeno della radioattività: i nuclei dei loro atomi si trovano in uno stato di instabilità e si disintegrano spontaneamente emettendo radiazioni corpuscolari e/o elettromagnetiche. Ad ogni disintegrazione corrisponde la formazione del nucleo di una nuova sostanza.</p> <p>Esistono sostanze radioattive naturali e artificiali.</p> <p>Esse danno luogo ad irradiazione con continuità fino al loro completo decadimento.</p>                                                                                                                                  |
| <p>11</p> <p><b>Sorgenti sigillate</b></p>  <p>Sono formate da sostanze radioattive solidamente incorporate in materie solide e di fatto inattive, o sigillate in un involucro inattivo che presenti una resistenza sufficiente per evitare, in condizioni normali di impiego, dispersione di materie radioattive superiori ai valori stabiliti dalle norme di buona tecnica applicabili.</p> <p><b>Sorgenti non sigillate</b></p>  <p>Sono formate da materie radioattive utilizzate nello stato fisico in cui si trovano (generalmente polveri, liquidi o gas) senza nessun incapsulamento e per le quali, quindi, non può essere esclusa la dispersione.</p> | <p>Nelle applicazioni industriali, sanitarie e di ricerca le sostanze radioattive sono utilizzate nelle forme di seguito specificate:</p> <p><b>Sorgenti sigillate</b></p> <p>Sono formate da sostanze radioattive solidamente incorporate in materie solide e di fatto inattive, o sigillate in un involucro inattivo che presenti una resistenza sufficiente per evitare, in condizioni normali di impiego, dispersione di materie radioattive.</p> <p><b>Sorgenti non sigillate</b></p> <p>Sono costituite da qualsiasi sorgente che non corrisponde alle caratteristiche o ai requisiti della sorgente sigillata. Sono infatti formate da materie radioattive utilizzate nello stato fisico in cui si trovano (polveri, liquidi o gas) senza nessun incapsulamento e per le quali, quindi, non può essere esclusa la dispersione.</p> |

12

Impieghi dei radioisotopi

Come sorgenti sigillate nei seguenti ambiti:

- Industria (gammagrafia, radiometria, irraggiamento, ...)

- Ricerca (taratura strumenti, irraggiamento materiali, ...)

- Medicina (impieghi terapeutici)

Come sorgenti non sigillate nei seguenti ambiti:

- Industria (traccianti, tecniche di ionizzazione, ...)

- Agricoltura (controlli su fertilizzanti, procedure di sterilizzazione, ...)

- Ricerca (esperimenti con traccianti, radiochimica, ...)

- Medicina (impiego di marcanti per tecniche diagnostiche o terapeutiche)

12

Gli ambiti di impiego dei radioisotopi

Come sorgenti sigillate:

in Industria (gammagrafia, radiometria, ...)

in Ricerca (taratura strumenti, irraggiamento materiali, ...)

in Medicina (impieghi terapeutici)

Come sorgenti non sigillate:

in Industria (traccianti, tecniche di ionizzazione, ...)

in Agricoltura (controlli su fertilizzanti, procedure di sterilizzazione, ...)

in Ricerca (utilizzo di traccianti, radiochimica, ...)

in Medicina (impiego di marcanti per tecniche diagnostiche o terapeutiche)

13

Radioisotopi nelle attività di ricerca

|                                 | <sup>3</sup> H | <sup>14</sup> C | <sup>32</sup> P | <sup>33</sup> P | <sup>35</sup> S | <sup>125</sup> I |
|---------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| T <sub>1/2</sub> <sup>(1)</sup> | 12,4a          | 5730a           | 14,3g           | 25,4g           | 87,4g           | 60g              |
| Radiazione                      | Beta           | Beta            | Beta            | Beta            | Beta            | Gamma-X          |
| Energia (MeV) <sup>(2)</sup>    | 0,019          | 0,156           | 1,71            | 0,25            | 0,167           | 0,035(γ)         |
| Percorso in aria                | 6mm            | 24cm            | 6,1m            | 89cm            | 26cm            | >10m             |

(1) Tempo di dimezzamento (T<sub>1/2</sub>): tempo necessario affinché l'attività di un radionuclide si riduca alla metà del valore iniziale

(2) Nel caso dei radionuclidi beta-emettitori si intende il valore dell'energia massima

13

In tabella sono riportati alcuni dei radioisotopi maggiormente utilizzati nelle attività di ricerca del settore biochimico

14

b) Macchine radiogene

Le macchine radiogene sono gli apparecchi generatori di fasci di particelle cariche e/o di raggi X.

Gli apparecchi generatori di raggi X sono costituiti essenzialmente da tubi acceleratori statici in cui è stato fatto il vuoto.

Gli elettroni emessi dal catodo (filamento) per effetto termoelettrico, sono accelerati dal campo elettrico, fino ad urtare contro un bersaglio detto anticatodo. L'interazione determina l'emissione di raggi X.

► Le macchine radiogene danno luogo ad irradiazione solo durante il loro funzionamento (se spente non emettono radiazioni).

14

Macchine radiogene

Le macchine radiogene sono gli apparecchi generatori di fasci di particelle cariche e/o di raggi X.

Gli apparecchi generatori di raggi X sono costituiti essenzialmente da tubi acceleratori statici in cui è stato fatto il vuoto.

Le macchine radiogene danno luogo ad irradiazione solo durante il loro funzionamento (se spente non emettono radiazioni).

15

Impieghi delle macchine radiogene

- Industria (gammagrafia, radiografia, ...)

- Ricerca (diffrattometria, acceleratori di particelle, ...)

- Medicina

diagnostica (radiografie, radioscopie, tomografia assiale computerizzata TAC, tomografia ad emissione di positroni PET)

terapia (acceleratori di elettroni, acceleratori di adroni, ...)

15

Ambiti di impiego delle macchine radiogene:

in Industria (radiografia, ...)

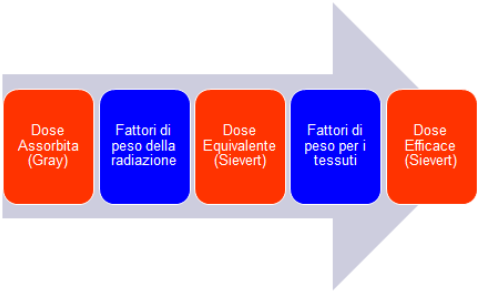
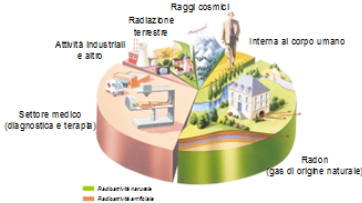
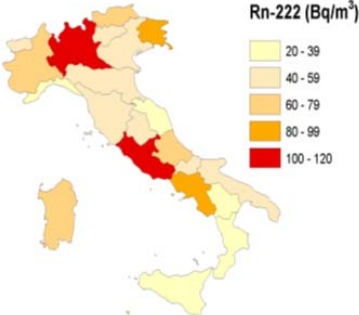
in Ricerca (diffrattometria, acceleratori di particelle, ...)

in Medicina:

diagnostica (radiografie, TAC, PET, ...)

e terapia (acceleratori di elettroni, acceleratori di adroni, ...)

| <p>16</p> <p><b>Principali grandezze d'interesse radioprotezionistico</b></p> <hr/> <p><b>Attività</b><br/> E' il numero di disintegrazioni spontanee che avvengono nell'unità di tempo in una data quantità di sostanza radioattiva.<br/> L'unità di misura è il Becquerel (Bq) - <math>1 \text{ Bq} = 1 \text{ dis/s}</math><br/> <math>A(t) = A_0 e^{-\lambda t}</math> legge del decadimento radioattivo</p> <p>In passato l'attività veniva misurata in Curie (Ci), l'attività di 1 Ci è pari all'attività di 1 grammo di Radio 226 e pari a <math>3,7 \cdot 10^{10}</math> disintegrazioni al secondo<br/> <math>1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}</math></p> <p><b>Tempo di dimezzamento <math>T_{1/2}</math></b><br/> E' una costante caratteristica di un dato radionuclide e rappresenta il periodo di tempo in cui l'attività iniziale si riduce al 50%.<br/> Tale parametro è legato alla costante <math>\lambda</math> tramite la relazione<br/> <math>T_{1/2} = \ln(2)/\lambda = 0.693/\lambda</math></p> <p>16</p>           | <p><b>Principali grandezze d'interesse radioprotezionistico</b></p> <p><b>Attività</b><br/> E' il numero di disintegrazioni spontanee che avvengono nell'unità di tempo in una data quantità di sostanza radioattiva.<br/> L'unità di misura è il Becquerel</p> <p><b>Tempo di dimezzamento</b><br/> E' una costante caratteristica di un dato radionuclide e rappresenta il periodo di tempo in cui l'attività iniziale si riduce al 50%.</p>                                                                                                                                                                                                                          |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|------|-----------------------|------|-------------------------|------|------------------------------------------------------|------|----------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------|------|-------|------|--------------------|------|----------|------|--------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>17</p> <p><b>Dose assorbita</b><br/> Esprime l'energia ceduta dalle radiazioni all'unità di massa del materiale con cui interagiscono.<br/> L'unità di misura è il Gray (Gy) - <math>1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}</math><br/> Il rateo di dose assorbita rappresenta la dose assorbita nell'unità di tempo (ad esempio: 1 Gy/ora)</p> <p><b>Dose equivalente</b><br/> E' una grandezza collegata al danno provocato; tiene conto di fattori di ponderazione <math>w_R</math> legati al tipo ed alla qualità della radiazione.<br/> L'unità di misura è il Sievert (Sv) - <math>1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} \cdot w_R</math><br/> Il rateo di equivalente di dose rappresenta l'equivalente di dose nell'unità di tempo (ad esempio: 1 Sv/ora)</p> <p><b>Dose efficace</b><br/> Corrisponde alla somma delle dosi equivalenti medie nei vari organi o tessuti, ponderate secondo opportuni fattori <math>w_T</math> che tengono presente la differente radiosensibilità dei vari organi e/o tessuti. Si esprime in Sv.</p> <p>17</p> | <p><b>Dose assorbita</b><br/> Esprime l'energia ceduta dalle radiazioni all'unità di massa del materiale con cui interagiscono. L'unità di misura è il Gray</p> <p><b>Dose equivalente</b><br/> E' una grandezza collegata al danno provocato; tiene conto di fattori di ponderazione <math>w_R</math> legati al tipo ed alla qualità della radiazione. L'unità di misura è il Sievert</p> <p><b>Dose efficace</b><br/> Corrisponde alla somma delle dosi equivalenti medie nei vari organi o tessuti, ponderate secondo opportuni fattori <math>w_T</math> che tengono presente la differente radiosensibilità dei vari organi e/o tessuti. Si esprime in Sievert.</p> |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| <p>18</p> <p><b>Dose assorbita <math>D = dE/dm</math></b>    Unità misura: Gray <math>1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}</math><br/> Energia ceduta dalla radiazione alla massa di materia contenuta in un elemento di volume</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Radiazioni</th><th><math>w_R</math></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fotoni</td><td>1</td></tr> <tr> <td>Elettroni e muoni</td><td>1</td></tr> <tr> <td>Protoni e pioni carichi</td><td>2</td></tr> <tr> <td>Particelle alfa, frammenti di fissione, ioni pesanti</td><td>20</td></tr> <tr> <td>Neutroni</td><td>Funzione continua dell'energia del neutrone</td></tr> </tbody> </table> <p>Fattori di peso <math>w_R</math> per la radiazione dipendono da tipo ed energia della radiazione</p> <p><b>Dose equivalente <math>H = D \cdot w_R</math></b>    Unità misura: Sievert <math>1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}</math><br/> Grandezza radioprotezionistica che qualifica D per scopi protez/biologici</p> <p>18</p>                                           | Radiazioni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $w_R$ | Fotoni | 1    | Elettroni e muoni     | 1    | Protoni e pioni carichi | 2    | Particelle alfa, frammenti di fissione, ioni pesanti | 20   | Neutroni | Funzione continua dell'energia del neutrone | <p>In tabella si riportano i fattori peso <math>w_R</math> per i diversi tipi di radiazione pubblicati dall'ICRP e l'espressione ottenuta per la dose equivalente.</p> |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Radiazioni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $w_R$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Fotoni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Elettroni e muoni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Protoni e pioni carichi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Particelle alfa, frammenti di fissione, ioni pesanti                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Neutroni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Funzione continua dell'energia del neutrone                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| <p>19</p> <p><b>Dose efficace <math>E = \sum_T w_T H_T</math></b>    Unità misura Sievert<br/> Somma dosi equivalenti ponderate nei diversi organi/tessuti</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tessuto o organo</th><th><math>w_T</math></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gonadi</td><td>0,08</td></tr> <tr> <td>Midollo osseo (rosso)</td><td>0,12</td></tr> <tr> <td>Polmone, Colon, Stomaco</td><td>0,12</td></tr> <tr> <td>Mammelle</td><td>0,12</td></tr> <tr> <td>Tiroide</td><td>0,04</td></tr> <tr> <td>Vescica, Esofago, Fegato</td><td>0,04</td></tr> <tr> <td>Ossa (superfici ossee)</td><td>0,01</td></tr> <tr> <td>Pelle</td><td>0,01</td></tr> <tr> <td>Ghiandole salivari</td><td>0,01</td></tr> <tr> <td>Cervello</td><td>0,01</td></tr> <tr> <td>Rimanti organi e tessuti</td><td>0,12</td></tr> </tbody> </table> <p>19</p>                                                                                                                                                                                    | Tessuto o organo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $w_T$ | Gonadi | 0,08 | Midollo osseo (rosso) | 0,12 | Polmone, Colon, Stomaco | 0,12 | Mammelle                                             | 0,12 | Tiroide  | 0,04                                        | Vescica, Esofago, Fegato                                                                                                                                               | 0,04 | Ossa (superfici ossee) | 0,01 | Pelle | 0,01 | Ghiandole salivari | 0,01 | Cervello | 0,01 | Rimanti organi e tessuti | 0,12 | <p>In tabella si riportano i fattori peso <math>w_T</math> rappresentativi della diversa radiosensibilità dei tessuti/organi del corpo umano, pubblicati anch'essi dall'ICRP, e l'espressione finale per la dose efficace.</p> |
| Tessuto o organo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $w_T$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Gonadi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0,08                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Midollo osseo (rosso)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0,12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Polmone, Colon, Stomaco                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0,12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Mammelle                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0,12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Tiroide                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0,04                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Vescica, Esofago, Fegato                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0,04                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Ossa (superfici ossee)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0,01                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Pelle                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0,01                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Ghiandole salivari                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0,01                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Cervello                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0,01                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |
| Rimanti organi e tessuti                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0,12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |        |      |                       |      |                         |      |                                                      |      |          |                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |      |       |      |                    |      |          |      |                          |      |                                                                                                                                                                                                                                |

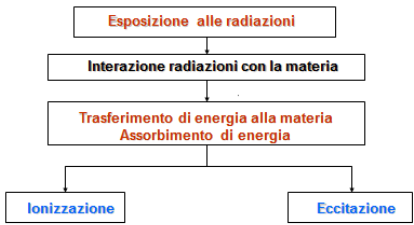
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>20</p> <p style="text-align: center;"><b>Le Grandezze Dosimetriche</b></p>  <p style="text-align: right;">20</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>Le grandezze dosimetriche utilizzate nel campo della radioprotezione possono così riassumersi.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>21</p> <p style="text-align: center;"><b>Radiazioni e Ambiente</b></p> <p>Le sorgenti di radiazioni ionizzanti possono essere suddivise in due principali categorie:</p> <p><b>sorgenti naturali</b>, cui tutti gli esseri viventi sono da sempre costantemente esposti,</p> <p><b>sorgenti artificiali</b>, diffuse in particolare con lo sviluppo delle nuove tecnologie (medicina, industria, ricerca, sicurezza...).</p> <p style="text-align: center;"><b>Sorgenti naturali e artificiali</b></p>  <p style="text-align: right;">21</p>                                                                                                                                                                                       | <p>Le sorgenti di radiazioni ionizzanti possono essere suddivise in:</p> <p><i>sorgenti naturali</i>, a cui tutti gli esseri viventi sono da sempre esposti,</p> <p><i>sorgenti artificiali</i>, diffuse in particolare con lo sviluppo delle nuove tecnologie (medicina, industria, ricerca, sicurezza...).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <p>22</p> <p style="text-align: center;"><b>Radioattività naturale</b></p> <p>Le radiazioni naturali, presenti ovunque nell'ambiente, sono originate da tre componenti fondamentali:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>raggi cosmici</b>, costituiti da radiazioni emesse dai corpi stellari, che raggiungono la terra.</li> <li>• <b>radioisotopi cosmogenici</b>, prodotti dalla interazione dei raggi cosmici con l'atmosfera e con la superficie terrestre.</li> <li>• <b>radioisotopi primordiali</b>, esistenti dalla formazione della terra e ancora presenti per il loro lunghissimo tempo di dimezzamento.</li> </ul> <p>Particolare attenzione merita il <b>gas radon</b> perché è responsabile del maggior contributo alla dose da sorgenti naturali.</p> <p style="text-align: right;">22</p> | <p>Le radiazioni naturali, presenti ovunque nell'ambiente, sono originate da tre componenti fondamentali:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>raggi cosmici</i>, costituiti da radiazioni emesse dai corpi stellari, che raggiungono la terra.</li> <li>• <i>radioisotopi cosmogenici</i>, prodotti dalla interazione dei raggi cosmici con l'atmosfera e con la superficie terrestre;</li> <li>• <i>radioisotopi primordiali</i>, esistenti dalla formazione della terra e ancora presenti per il loro lunghissimo tempo di dimezzamento.</li> </ul> <p>La loro concentrazione varia molto con le caratteristiche geomorfologiche dei terreni. Particolare attenzione merita il <i>gas radon</i> perché è inalato ovunque ed è responsabile del maggior contributo alla dose da sorgenti naturali.</p> |
| <p>23</p>  <p style="text-align: right;">23</p> <p><small>Bohicchio, F. et al., Results of the national survey on radon indoors in the all the 21 Italian region, Proceedings of Radon in the Living Environmental Workshop, Atene, Aprile 1999</small></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>In figura viene rappresentata la carta delle concentrazioni medie di attività di Radon rilevate nelle abitazioni, suddivise per regioni.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |



| <p>24</p> <p><b>Stima dei contributi alla dose efficace media annuale per individuo in Italia</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sorgente</th> <th>Dose efficace media individuale mSv/anno</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Naturale</td> <td></td> </tr> <tr> <td>  Esposizione esterna:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>    Raggi cosmici</td> <td>0,4</td> </tr> <tr> <td>    Radiazione gamma terrestre</td> <td>0,6</td> </tr> <tr> <td>  Esposizione interna:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>    Inalazione (radon e toron)</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>    Inalazione (ossigeno da radon e toron)</td> <td>0,006</td> </tr> <tr> <td>    Ingestione</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td><b>TOTALE NATURALE</b></td> <td><b>3,3</b></td> </tr> <tr> <td>Artificiale</td> <td></td> </tr> <tr> <td>  Diagnostica medica</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>  Incidente di Chernobyl</td> <td>0,002</td> </tr> <tr> <td>  Test nucleari</td> <td>0,005</td> </tr> <tr> <td>  Instabilità nucleari</td> <td>0,002</td> </tr> <tr> <td><b>TOTALE ARTIFICIALE</b></td> <td><b>1,2</b></td> </tr> <tr> <td><b>TOTALE</b></td> <td><b>4,5</b></td> </tr> </tbody> </table> <p><small>Fonte: Elaborazione APAT da: Cardinale G., Corbelli F., Gera G., Ieri G., Lembo G., "Absorbed Dose Distribution in the Italian Population Due to the Natural Background Radiation. Proceedings of the Second International Symposium on the Natural Radiation Environment, U.S.S. Adams, W.M. Lowder and T.F. Gessell eds. Pag. 421, 1972.<br/>Bochicchio F., Campos Venuti G., Piermattei S., Nuccetelli C., Risica S., Tommasino L., Torri G., "Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni Rapporto STS/AN Congress 34 ISSN 0363-5620, Roma, Giugno 1984.<br/>Bochicchio F., Campos Venuti G., Piermattei S., Torri G., Nuccetelli C., Risica S., Tommasino L., "Results of the National Survey on Radon indoors in the all the 21 Italian Regions Proceedings of Radon in the Living Environment Workshop, Alene, Aprile 1999.<br/>UNSC/UNSAR 2000 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and effects of ionizing radiation. Vol. I. Sources, New York, United Nations, E.O.D.3, 2000.<br/>Ministero della salute<br/>ENEA Osserv 1989 - La radioprotezione in Italia - La salvaguardia della popolazione e dell'ambiente Rapporto EBN 88-0236-074-4<br/>National Research Council - NRC, Risk Assessment of Radon in Drinking Water, National Academy Press Washington D.C. 1989</small></p> | Sorgente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Dose efficace media individuale mSv/anno | Naturale |  | Esposizione esterna: |  | Raggi cosmici | 0,4 | Radiazione gamma terrestre | 0,6 | Esposizione interna: |  | Inalazione (radon e toron) | 2 | Inalazione (ossigeno da radon e toron) | 0,006 | Ingestione | 0,3 | <b>TOTALE NATURALE</b> | <b>3,3</b> | Artificiale |  | Diagnostica medica | 1,2 | Incidente di Chernobyl | 0,002 | Test nucleari | 0,005 | Instabilità nucleari | 0,002 | <b>TOTALE ARTIFICIALE</b> | <b>1,2</b> | <b>TOTALE</b> | <b>4,5</b> | <p>Attualmente, in assenza di specifici eventi (esplosioni nucleari o incidenti), l'esposizione della popolazione si ripartisce tra il contributo della radiazione di origine naturale e quello dovuto all'impiego delle radiazioni in campo medico. In Italia risulta che in media un individuo della popolazione è esposto ad una dose di circa 4,5 mSv/anno.</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------|--|----------------------|--|---------------|-----|----------------------------|-----|----------------------|--|----------------------------|---|----------------------------------------|-------|------------|-----|------------------------|------------|-------------|--|--------------------|-----|------------------------|-------|---------------|-------|----------------------|-------|---------------------------|------------|---------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sorgente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Dose efficace media individuale mSv/anno                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Naturale                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Esposizione esterna:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Raggi cosmici                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0,4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Radiazione gamma terrestre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0,6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Esposizione interna:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Inalazione (radon e toron)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Inalazione (ossigeno da radon e toron)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0,006                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Ingestione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0,3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>TOTALE NATURALE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>3,3</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Artificiale                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Diagnostica medica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1,2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Incidente di Chernobyl                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0,002                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Test nucleari                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0,005                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Instabilità nucleari                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0,002                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>TOTALE ARTIFICIALE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>1,2</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>TOTALE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>4,5</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <p>25</p> <p>Tratto da NCRP Report No. 160, "Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States" (2009)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>Nei paesi maggiormente sviluppati, come si può notare nel caso degli Stati Uniti, l'impiego delle radiazioni per le esposizioni mediche su pazienti contribuisce per più del 95% all'esposizione alle radiazioni artificiali ed è confrontabile al fondo naturale.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <p>26</p> <p><b>I rischi da radiazioni ionizzanti e i criteri base della radioprotezione</b></p> <p>I rischi da radiazioni ionizzanti possono essere distinti in:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>esposizione esterna</i></li> <li>- <i>esposizione interna</i></li> </ul> <p><b>a) Esposizione esterna</b></p> <p>E' costituita dall'esposizione prodotta da sorgenti situate all'esterno dell'organismo.</p> <p>Essa può essere <b>parziale</b> quando colpisce soprattutto una parte dell'organismo o uno o più organi o tessuti oppure <b>globale</b>, quando coinvolge in modo omogeneo il corpo intero.</p> <p>Rischi di esposizione esterna causati da: <u>macchine radiogene</u> e sostanze radioattive sotto forma di <u>sorgenti sigillate e non</u>.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>A fini essenzialmente operativi, i rischi da radiazioni ionizzanti possono essere distinti in:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>esposizione esterna</i></li> <li>- <i>esposizione interna</i></li> </ul> <p><b>Esposizione esterna</b></p> <p>E' costituita dall'esposizione prodotta da sorgenti situate all'esterno dell'organismo.</p> <p>Essa può essere parziale quando colpisce soprattutto una parte dell'organismo oppure globale, quando coinvolge in modo omogeneo il corpo intero.</p> <p>Presentano rischi di esposizione esterna le <u>macchine radiogene</u> e, in grado diverso in funzione dell'attività e del tipo di sorgente, le sostanze radioattive sotto forma di <u>sorgenti sigillate e non</u>.</p> |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <p>27</p> <p>I <b>criteri di protezione</b> dal rischio di esposizione esterna si fondano essenzialmente sul rispetto dei seguenti principi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- il <b>tempo</b> di esposizione, che deve essere quanto più possibile ridotto, poiché la dose assorbita è ad esso direttamente proporzionale</li> <li>- la <b>distanza</b> dalla sorgente: il rateo di dose nei dintorni di una sorgente puntiforme varia in modo inversamente proporzionale al quadrato della distanza</li> <li>- la <b>schermatura</b> della sorgente, poiché il materiale interposto attenua il fascio di radiazioni in rapporto alla sua densità.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>I criteri di protezione dal rischio di esposizione esterna si fondano essenzialmente sul rispetto dei seguenti principi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- il <b>tempo</b> di esposizione, che deve essere quanto più possibile ridotto, poiché la dose assorbita è ad esso direttamente proporzionale</li> <li>- la <b>distanza</b> dalla sorgente: il rateo di dose nei dintorni di una sorgente puntiforme varia in modo inversamente proporzionale al quadrato della distanza</li> <li>- la <b>schermatura</b> della sorgente, poiché il materiale interposto attenua il fascio di radiazioni in rapporto alla sua densità.</li> </ul>                                                                                       |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <p>28</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>La valutazione dei rischi di esposizione esterna può essere effettuata mediante l'utilizzo di opportuni strumenti.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                          |          |  |                      |  |               |     |                            |     |                      |  |                            |   |                                        |       |            |     |                        |            |             |  |                    |     |                        |       |               |       |                      |       |                           |            |               |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>La <b>valutazione dei rischi</b> di esposizione esterna può essere effettuata mediante l'utilizzo di opportuni strumenti.<br/>In relazione allo scopo cui sono destinati si distinguono in:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ambientali</li> <li>- personali.</li> </ul> <p>Gli strumenti <b>ambientali</b> permettono di misurare il rateo di dose ambientale (camera di ionizzazione, Geiger-Müller, scintillatore, etc.). La scelta dello strumento dipende dal tipo e dall'energia delle radiazioni che si intendono misurare.</p> <p>Gli strumenti <b>personali</b> consentono la valutazione della dose assorbita dai singoli lavoratori; essi costituiscono i cosiddetti "dosimetri personali". Possono riferirsi al corpo intero o anche a parti di esso (mani, occhi, etc.).</p> <p>28</p>                                                               | <p>In relazione allo scopo cui sono destinati si distinguono in:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ambientali</li> <li>- personali.</li> </ul> <p>Gli strumenti <b>ambientali</b> permettono di misurare il rateo di dose ambientale. La scelta dello strumento dipende dal tipo e dall'energia delle radiazioni che si intendono misurare.</p> <p>Gli strumenti <b>personali</b> consentono la valutazione della dose assorbita dai singoli lavoratori; essi costituiscono i "dosimetri personali". Possono riferirsi al corpo intero o anche a parti di esso (mani, occhi, ecc.).</p>                                                                            |
| <p><b>29</b></p> <p><b>b) Esposizione interna</b></p> <p>E' costituita dalla <b>esposizione prodotta da sorgenti introdotte nell'organismo</b>.<br/>In genere è causata da contaminazione dell'ambiente, con successiva introduzione del contaminante nell'organismo.<br/>Rischi di esposizione interna causati da:<br/><u>sostanze radioattive</u> sotto forma di <u>sorgenti non sigillate</u>.</p> <p>Le principali vie di introduzione nel corpo umano dei radioisotopi sono le seguenti:</p> <p>inalazione<br/>ingestione<br/>assorbimento cutaneo<br/>via sistemica</p> <p>E' fondamentale conoscere i processi fisiologici e metabolici di ritenzione e di accumulo corporei degli elementi incorporati (utilizzo di modelli matematici compartimentali).</p> <p>29</p>                                                                                                   | <p><b>Esposizione interna</b></p> <p>E' costituita dalla esposizione prodotta da sorgenti introdotte nell'organismo.</p> <p>In genere è causata da contaminazione dell'ambiente, con successiva introduzione del contaminante nell'organismo.</p> <p>Presentano rischi di esposizione interna le sostanze radioattive sotto forma di <u>sorgenti non sigillate</u>.</p> <p>Le principali vie di introduzione nel corpo umano dei radioisotopi sono le seguenti:</p> <p>inalazione, ingestione, assorbimento cutaneo, via sistemica.</p> <p>E' fondamentale conoscere i processi fisiologici e metabolici di ritenzione e di accumulo corporei degli elementi incorporati.</p> |
| <p><b>30</b></p> <p>I <b>criteri di protezione</b> dal rischio di esposizione interna si basano essenzialmente su procedure che permettano di evitare l'incorporazione e azioni che consentano di prevenire la dispersione della contaminazione, sia a livello personale sia ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• utilizzo di mezzi di protezione (schermi, camici o tute, guanti, maschere...) adeguati al livello di rischio;</li> <li>• funzionalità delle strutture (sistemi di ventilazione separati, presenza di cappe o scatole a guanti, segnaletica specifica di rischio radioattivo...)</li> <li>• perizia e professionalità degli operatori (maneggiare con cura le sorgenti radioattive non sigillate, evitando di contaminare l'ambiente e la persona)</li> <li>• pulizia degli ambienti, delle superfici e del personale.</li> </ul> <p>30</p> | <p>I criteri di protezione dal rischio di esposizione interna si basano essenzialmente su procedure che permettano di evitare l'incorporazione ed azioni che consentano di prevenire la dispersione della contaminazione, sia a livello personale sia ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• utilizzo di mezzi di protezione adeguati al livello di rischio;</li> <li>• perizia e professionalità degli operatori</li> <li>• pulizia degli ambienti, delle superfici e del personale.</li> </ul>                                                                                                                                                            |
| <p><b>31</b></p> <p>La <b>valutazione dei rischi</b> di esposizione interna consiste, a livello ambientale, in misure in grado di valutare la <b>contaminazione superficiale</b> e determinare l'<b>attività presente nell'aria e nell'acqua</b> (per elevati livelli di radioattività).</p> <p>E' possibile determinare l'<b>attività presente nell'organismo</b> di una persona contaminata mediante tecniche di misura dirette (es. Whole Body Counter con sistemi di spettrometria gamma) o indirette (es. misure sugli escreti).</p> <p>► La <b>combinazione di esposizione esterna ed interna</b> è definita come <b>esposizione totale</b>.</p> <p>31</p>                                                                                                                                                                                                                 | <p>La valutazione dei rischi di esposizione interna consiste, a livello ambientale, in misure in grado di valutare la contaminazione superficiale e determinare l'attività presente nell'aria e nell'acqua (per elevati livelli di radioattività).</p> <p>Per determinare l'attività presente nell'organismo di una persona contaminata è possibile utilizzare tecniche di misura sia dirette che indirette.</p> <p><u>La combinazione di esposizione esterna ed interna</u> è definita come esposizione totale.</p>                                                                                                                                                          |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>32</p> <p><b>Interazione radiazione materia</b></p> <hr/> <p>Come ormai è ben noto, l'energia depositata nei tessuti organici attraverso l'esposizione alle radiazioni può provocare un danno biologico.</p> <p>Scopo della radioprotezione è appunto quello di <u>valutare ed impedire (o quanto meno limitare) il danno biologico sia ai lavoratori esposti che al pubblico.</u></p>  <p>32</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p><b>Interazione radiazione materia</b></p> <p>Come ormai è ben noto, l'energia depositata nei tessuti organici attraverso l'esposizione alle radiazioni può provocare un danno biologico.</p> <p>Scopo della radioprotezione è appunto quello di valutare ed impedire (o quanto meno limitare) il danno biologico sia ai lavoratori esposti che al pubblico.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <p>33</p> <p><b>Effetti delle radiazioni</b></p> <hr/> <p>Il danno biologico è dovuto all'interazione delle radiazioni ionizzanti con le molecole dei tessuti.</p> <p>L'azione si traduce in un rilascio di energia alla materia stessa, ovvero all'assorbimento di una determinata dose da parte del tessuto interessato, con possibili effetti di <b>eccitazione o ionizzazione</b>.</p> <p>In questo modo le radiazioni possono provocare <b>danni cellulari diretti</b>, ad esempio rompendo legami della molecola del DNA, inducendo errori nella duplicazione della cellula o inibendone la duplicazione (ciò corrisponde alla morte della cellula).</p> <p><b>Danni indiretti</b> possono derivare dalla radiolisi dell'acqua contenuta nella cellula con conseguente produzione di radicali molto reattivi che possono a loro volta danneggiare componenti fondamentali della cellula stessa.</p> <p>33</p> | <p>Il danno biologico è dovuto all'interazione delle radiazioni ionizzanti con le molecole dei tessuti.</p> <p>L'azione si traduce in un rilascio di energia alla materia stessa, ovvero all'assorbimento di una determinata dose da parte del tessuto interessato, con possibili effetti di eccitazione o ionizzazione.</p> <p>In questo modo le radiazioni possono provocare danni cellulari diretti, ad esempio rompendo legami del DNA, inducendo errori nella duplicazione della cellula o inibendone la duplicazione.</p> <p>Danni indiretti possono derivare dalla radiolisi dell'acqua contenuta nella cellula con conseguente produzione di radicali molto reattivi che possono danneggiare componenti fondamentali della cellula stessa.</p> |
| <p>34</p>  <p>A seconda che la ionizzazione del mezzo irraggiato avvenga per via diretta o indiretta si usa distinguere tra <b>radiazioni direttamente ionizzanti</b> e <b>radiazioni indirettamente ionizzanti</b>.</p> <p>34</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>Nello schema è rappresentato il meccanismo d'interazione.</p> <p>A seconda che la ionizzazione del mezzo irraggiato avvenga per via diretta o indiretta si usa distinguere tra <i>radiazioni direttamente ionizzanti</i> e <i>radiazioni indirettamente ionizzanti</i>.</p> <p>Sono direttamente ionizzanti le particelle cariche (elettroni, particelle beta, particelle alfa, etc.); sono invece indirettamente ionizzanti i fotoni (raggi X e raggi gamma), i neutroni, etc.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p>35</p> <p><b>Danni da radiazioni</b></p> <hr/> <p>Gli effetti delle radiazioni sull'uomo dipendono dalle cellule del corpo danneggiate e possono essere:</p> <p><b>somatici</b>, si manifestano sull'individuo irraggiato</p> <p><b>genetici</b>, si manifestano sulla progenie dell'individuo irraggiato.</p> <p>Le cellule hanno comunque anche dei <b>sistemi di riparo</b> tali che, se il danno non è particolarmente grave, sono in grado di riparare i danni provocati.</p> <p>35</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p><b>Danni da radiazioni</b></p> <p>Gli effetti delle radiazioni sull'uomo dipendono dalle cellule del corpo danneggiate e possono essere:</p> <p>somatici, se si manifestano sull'individuo irraggiato</p> <p>genetici, se si manifestano sulla progenie dell'individuo irraggiato.</p> <p>Le cellule hanno comunque anche dei sistemi di riparo tali che, se il danno non è particolarmente grave, sono in grado di riparare i danni provocati.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

36

Si indica con il termine di **radiosensibilità cellulare** la capacità delle radiazioni ionizzanti di provocare alterazioni biologiche significative nelle cellule (morte cellulare, arresto o aberrazione della proliferazione).



meno sensibile

più sensibile

36

Un ulteriore fattore da considerare è la radiosensibilità cellulare, cioè la capacità delle radiazioni ionizzanti di provocare alterazioni biologiche significative nelle cellule.

37

Gli effetti conseguenti all'esposizione alle radiazioni possono essere classificati in due categorie:

> **a soglia o deterministici (reazioni tessutali)**

- Compaiono solo al superamento di una dose soglia caratteristica di ogni effetto.
- Il superamento della dose soglia comporta l'insorgere dell'effetto in tutti gli individui irradiati.
- Il periodo di latenza è breve.
- La gravità delle manifestazioni cliniche aumentano all'aumentare della dose.

> **stocastici**

- La probabilità e non la gravità di accadimento è proporzionale alla dose.
- Non presentano una dose soglia per la loro comparsa.
- Sono distribuiti casualmente nella popolazione esposta.
- Si manifestano anche dopo molti anni dopo l'irradiazione.

37

Gli effetti conseguenti all'esposizione alle radiazioni possono essere classificati in due categorie:

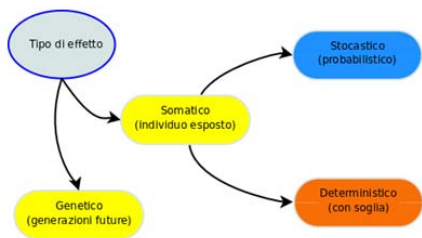
**a soglia o deterministici (reazioni tessutali)** - sono gli effetti che

- Compaiono solo al superamento di una dose soglia caratteristica di ogni effetto.
- Il superamento della dose soglia comporta l'insorgere dell'effetto in tutti gli individui irradiati.
- Il periodo di latenza è breve.
- La gravità delle manifestazioni cliniche aumentano all'aumentare della dose.

**stocastici** - sono gli effetti per cui

- La probabilità e non la gravità di accadimento è proporzionale alla dose.
- Non presentano una dose soglia per la loro comparsa.
- Sono distribuiti casualmente nella popolazione esposta.
- Si manifestano anche molti anni dopo l'irradiazione.

38



38

Nello schema vengono rappresentate le diverse tipologie di effetti.

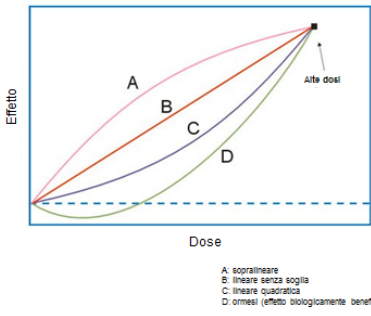
39

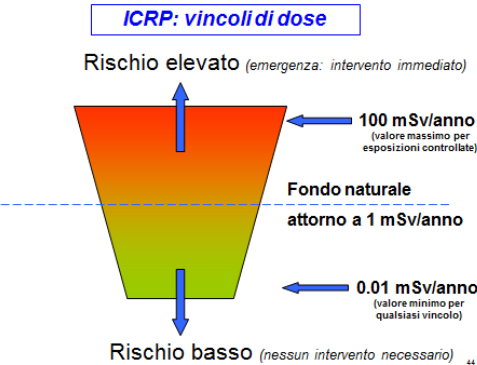
Effetti deterministici conseguenti a irradiazione X e gamma a tutto il corpo e localizzati: soglie di dose assorbita per esposizioni singole (a breve termine) e frazionate o a basso rateo di dose (a lungo termine) Pubblicazione SG2 dell'ICRP.

| Organo/tessuto | Effetto                         | Soglie di dose assorbita (Gy)              |                                                                 |
|----------------|---------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                |                                 | Esposizione a breve termine (dose singola) | Esposizione a lungo termine (annuale - ripetute per molti anni) |
| Testicoli      | Sterilità temporanea            | 0,15                                       | 0,4                                                             |
|                | Sterilità permanente            |                                            | 2,0                                                             |
| Ovaio          | Sterilità                       | 3,5 - 6,0                                  | > 0,2                                                           |
| Cristallino    | Opacità rilevabili              | 0,5 - 2,0                                  | > 0,1                                                           |
|                | Difficoltà visive (cataratta)   | 5,0                                        | > 0,15                                                          |
| Midollo osseo  | Difficoltà dell'emopoiesi       | 0,5                                        | > 0,4                                                           |
| Pelle          | 1. Eritema                      | 2                                          | -                                                               |
|                | 2. Desquamazione                | 18                                         | -                                                               |
|                | 3. Necrosi dell'epidermide      | 25                                         | -                                                               |
|                | 4. Atrofia cutanea              | 10 - 12                                    | 1,0                                                             |
| Corpo intero   | Malattia acuta da raggi (lieve) | 1,0                                        | -                                                               |

39

Questo è un quadro dei possibili effetti deterministici dovuti ad esposizioni X e gamma a breve e a lungo termine con i rispettivi valori di soglia per la dose assorbita.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>40</p> <p style="text-align: center;"><b>Raccomandazioni dell'ICRP</b></p> <hr/> <p>Organismi sovranazionali, quali la <b>International Commission on Radiological Protection (ICRP)</b> emanano periodicamente raccomandazioni che contengono, tra l'altro, l'indicazione dei limiti di dose per i lavoratori esposti e per la popolazione; tali limiti sono stabiliti in modo tale da:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ escludere l'insorgenza di effetti a soglia</li> <li>▪ limitare la probabilità di morte dovuta al verificarsi di effetti stocastici ai medesimi livelli di quella relativa ad attività ritenute sicure (per gli individui della popolazione, i rischi non devono essere di livello superiore a quelli accettati nella vita di ogni giorno e devono comunque essere giustificati da benefici che altrimenti non potrebbero essere ricevuti).</li> </ul> <p style="text-align: right;">40</p>                                                                                                                                     | <p><b>Raccomandazioni dell'ICRP</b></p> <p>Organismi sovranazionali, quali la International Commission on Radiological Protection (ICRP) emanano periodicamente raccomandazioni che contengono l'indicazione dei limiti di dose per i lavoratori esposti e per la popolazione; tali limiti sono stabiliti in modo tale da:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- escludere l'insorgenza di effetti a soglia</li> <li>- limitare la probabilità di morte dovuta al verificarsi di effetti stocastici ai medesimi livelli di quella relativa ad altre attività ritenute sicure.</li> </ul> |
| <p>41</p> <p style="text-align: center;"><b>Curve dose-effetto nella regione delle basse dosi</b></p>  <p style="text-align: center;">Dose</p> <p style="text-align: center;">Effetto</p> <p style="text-align: center;">Alte dosi</p> <p style="text-align: center;">A: sopralineare<br/>B: lineare senza soglia<br/>C: lineare quadratico<br/>D: ormesi (effetto biologicamente benefico a basse dosi)</p> <p style="text-align: right;">41</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>Non ci sono dati certi per definire l'andamento della curva dose-effetto nella regione delle basse dosi.</p> <p>In figura vengono rappresentati diversi modelli ottenuti dall'estrapolazione alle basse dosi.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <p>42</p> <p>Lo stato attuale di conoscenza in questo campo può essere riassunto come segue</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ esiste un'informazione ben documentata sugli effetti di esposizione ad alte dosi</li> <li>➤ esiste una limitata conoscenza per quanto concerne la regione delle basse dosi</li> </ul> <p>Non ci sono dati certi per definire l'andamento della curva dose-effetto nel regime delle basse dosi.</p> <p>In radioprotezione si assume, per fini puramente cautelativi, il <b>modello lineare senza soglia</b>.</p> <p>Vengono quindi fatte le seguenti assunzioni conservative:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ esiste una relazione lineare dose-effetto per qualsiasi esposizione, da quelle acute a quelle croniche, indipendentemente dalla intensità della dose ricevuta: il danno è proporzionale alla dose integrale assorbita</li> <li>➤ non vi è alcuna soglia sulla dose da radiazione, al di sopra della quale l'effetto si manifesta, ma al di sotto no.</li> </ul> <p style="text-align: right;">42</p> | <p>In radioprotezione si assume, per fini puramente cautelativi, il modello lineare senza soglia.</p> <p>Vengono quindi fatte le seguenti assunzioni conservative:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- esiste una relazione lineare dose-effetto per qualsiasi esposizione, da quelle acute a quelle croniche, indipendentemente dall'intensità della dose ricevuta: il danno è proporzionale alla dose integrale assorbita</li> <li>- non vi è alcuna soglia sulla dose da radiazione, al di sopra della quale l'effetto si manifesta, ma al di sotto no.</li> </ul>                  |
| <p>43</p> <p style="text-align: center;"><b>Ultime indicazioni dell'ICRP</b></p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le revisioni dei dati biologici e clinici hanno condotto ad un ulteriore sviluppo delle valutazioni della Commissione ICRP sui meccanismi cellulari e dei tessuti che sono alla base delle reazioni tissutali e delle soglie di dose che si applicano ai principali organi e tessuti.</li> <li>• <u>Per valori di dose assorbita fino a circa 100 mGy si ritiene che nessun tessuto esprima danni funzionali clinicamente rilevanti.</u> Questa valutazione si applica sia a singole irradiazioni acute sia alle situazioni dove tali basse dosi sono assorbite nel corso del tempo come esposizioni annuali ripetute.</li> </ul> <p style="text-align: right;">43</p>                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>Le revisioni dei dati biologici e clinici hanno condotto ad un ulteriore sviluppo delle valutazioni della Commissione ICRP sui meccanismi cellulari e dei tessuti che sono alla base delle reazioni tissutali e delle soglie di dose che si applicano ai principali organi e tessuti.</p> <p>Per valori di dose assorbita fino a circa 100 milliGray si ritiene che nessun tessuto esprima danni funzionali clinicamente rilevanti.</p> <p>Questa valutazione si applica sia a singole irradiazioni acute sia alle situazioni dove tali basse dosi sono assorbite nel corso del tempo.</p>   |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>44</p> <p><b>ICRP: vincoli di dose</b></p>  <p>Rischio elevato (emergenza: intervento immediato)</p> <p>100 mSv/anno<br/>(valore massimo per esposizioni controllate)</p> <p>Fondo naturale<br/>attorno a 1 mSv/anno</p> <p>0.01 mSv/anno<br/>(valore minimo per qualsiasi vincolo)</p> <p>Rischio basso (nessun intervento necessario)</p> <p>44</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>L'ICRP presenta quindi la situazione in questi termini.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p>45</p> <p><b>Obiettivi della Radioprotezione</b></p> <hr/> <p><i>Prevenzione</i> degli effetti dannosi deterministici e <i>limitazione</i> a livelli considerati accettabili della probabilità di accadimento degli effetti stocastici.</p> <p>- La <i>prevenzione</i> degli effetti <i>deterministici</i> può essere ottenuta fissando dei limiti di dose a valori inferiori a quelli della dose soglia.</p> <p>- La <i>limitazione</i> degli effetti <i>stocastici</i> è ottenuta mantenendo tutte le esposizioni che risultino giustificate ad un livello tanto basso quanto ragionevolmente ottenibile.</p> <hr/> <p>45</p>                                                                                                                                                                             | <p>Obiettivi quindi della radioprotezione sono:</p> <p><i>Prevenzione</i> degli effetti dannosi deterministici e <i>limitazione</i> a livelli considerati accettabili della probabilità di accadimento degli effetti stocastici.</p> <p>- La <i>prevenzione</i> degli effetti <i>deterministici</i> può essere ottenuta fissando dei limiti di dose a valori inferiori a quelli della dose soglia.</p> <p>- La <i>limitazione</i> degli effetti <i>stocastici</i> è ottenuta mantenendo tutte le esposizioni che risultino giustificate ad un livello tanto basso quanto ragionevolmente ottenibile.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>46</p> <p><b>Principi dell'ICRP</b></p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> <li>Il <b>rispetto del principio di giustificazione</b> delle pratiche, in funzione di un'analisi <i>rischio-beneficio</i>: cioè nessuna pratica può essere attuata senza giustificati vantaggi economici, sociali o di altro tipo rispetto al detrimento sanitario che ne può derivare.</li> <li>Il <b>principio di ottimizzazione</b> nel controllo dell'esposizione alle radiazioni, che deve essere mantenuta al <i>livello più basso ragionevolmente ottenibile</i>.</li> <li>Il <b>rispetto dei limiti di dose</b>, cioè <i>la somma delle dosi ricevute ed impegnate non deve essere superiore ai limiti stabiliti</i> nella normativa stessa per tutte le categorie di individui interessati.</li> </ul> <p>46</p> | <p>I Principi fondamentali dell'ICRP sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Il <b>rispetto del principio di giustificazione</b> delle pratiche, in funzione di un'analisi <i>rischio-beneficio</i>: cioè nessuna pratica può essere attuata senza giustificati vantaggi economici, sociali o di altro tipo rispetto al detrimento sanitario che ne può derivare. Qualunque attività umana che comporti l'uso di radiazioni ionizzanti deve apportare un beneficio sociale netto ed accertato.</li> <li>Il <b>principio di ottimizzazione</b> nel controllo dell'esposizione alle radiazioni, che deve essere mantenuta al <i>livello più basso ragionevolmente ottenibile</i>: a questo scopo devono essere attuate tutte le misure di protezione e sicurezza nelle attività a rischio.</li> <li>Il <b>rispetto dei limiti di dose</b>, cioè <i>la somma delle dosi ricevute ed impegnate non deve essere superiore ai limiti stabiliti</i> nella normativa stessa per tutte le categorie di individui interessati. I limiti di dose devono essere scelti in modo che i rischi indotti siano minimi e paragonabili a quelli associati ad altre attività lavorative non particolarmente rischiose.</li> </ul> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>47</p> <p style="text-align: center;"><b>I limiti di dose</b></p> <hr/> <p>L'ICRP distingue due categorie:</p> <p>a) Gli individui esposti per motivi professionali<br/>b) La popolazione nel suo insieme</p> <p>Si deve stabilire un confine tra rischio inaccettabile e rischio accettabile. Per la popolazione il rischio accettabile viene correlato ad un limite di dose di 1 mSv per anno solare.</p> <p>Questo valore coincide con quello dovuto alla radioattività naturale (raggi cosmici, <math>^{222}\text{Rn}</math>, <math>^{40}\text{K}</math>, <math>^{14}\text{C}</math>, ...)</p> <p>Per le attività lavorative il rischio accettabile è correlato ad un limite di dose di 20 mSv per anno solare.</p> <p style="text-align: right;">47</p>                                                                                                    | <p>Per quanto concerne i limiti di dose, l'ICRP distingue due categorie:</p> <p>a) Gli individui esposti per motivi professionali<br/>b) La popolazione nel suo insieme</p> <p>Si deve stabilire un confine tra rischio inaccettabile e rischio accettabile.</p> <p>Per la popolazione il rischio accettabile viene correlato ad un limite di dose di 1 mSv per anno solare.</p> <p>Per le attività lavorative il rischio accettabile è correlato ad un limite di dose di 20 mSv per anno solare.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p>48</p> <p style="text-align: center;"><b>Disposizioni di legge</b></p> <hr/> <p>Il D.Lgs. 230/95 s.m.i. ed i relativi Allegati definiscono i limiti di dose per i lavoratori e per la popolazione e le norme a cui devono attenersi i datori di lavoro per le attività in cui si impiegano sorgenti radioattive.</p> <p>Tali limiti, definiti in base a stretti criteri di <b>salvaguardia della salute dei lavoratori e della popolazione</b>, sono diversi a seconda del diverso grado di pericolosità del lavoro svolto e degli organi del corpo che possono essere oggetto della irradiazione.</p> <p style="text-align: right;">48</p>                                                                                                                                                                                                                     | <p>Il D.Lgs. 230/95 s.m.i. ed i relativi Allegati definiscono i limiti di dose per i lavoratori e per la popolazione e le norme a cui devono attenersi i datori di lavoro per le attività in cui si impiegano sorgenti radioattive.</p> <p>Tali limiti sono diversi a seconda del diverso grado di pericolosità del lavoro svolto e degli organi del corpo che possono essere oggetto della irradiazione.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>49</p> <p><b>Popolazione nel suo insieme:</b> l'intera popolazione, ossia i lavoratori esposti, gli apprendisti, gli studenti e le persone del pubblico.</p> <p><b>Persone del pubblico:</b> individui della popolazione, esclusi i lavoratori, gli apprendisti e gli studenti esposti in ragione della loro attività.</p> <p><b>Gruppi di riferimento (gruppi critici) della popolazione:</b> gruppi che comprendono persone la cui esposizione è ragionevolmente omogenea e rappresentativa di quella degli individui della popolazione maggiormente esposti, in relazione ad una determinata fonte di esposizione.</p> <p><b>Lavoratori esposti:</b> persone sottoposte, per l'attività che svolgono, a una esposizione che può comportare dosi superiori ai pertinenti limiti fissati per le persone del pubblico.</p> <p style="text-align: right;">49</p> | <p><i>Nella normativa vengono riportate le seguenti definizioni:</i></p> <p><b>Popolazione nel suo insieme:</b> l'intera popolazione, ossia i lavoratori esposti, gli apprendisti, gli studenti e le persone del pubblico.</p> <p><b>Persone del pubblico:</b> individui della popolazione, esclusi i lavoratori, gli apprendisti e gli studenti esposti in ragione della loro attività.</p> <p><b>Gruppi di riferimento della popolazione:</b> gruppi che comprendono persone la cui esposizione è particolarmente omogenea in relazione ad una determinata fonte di esposizione.</p> <p><b>Lavoratori esposti:</b> persone sottoposte, per l'attività che svolgono, a un'esposizione che può comportare dosi superiori ai limiti fissati per le persone del pubblico.</p> |
| <p>50</p> <p style="text-align: center;"><b>Soggetti responsabili e loro obblighi</b></p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> <li>Il D.Lgs. 230/95 s.m.i. (Capo VIII) definisce i soggetti responsabili per quanto riguarda gli adempimenti previsti per la radioprotezione e ne caratterizza obblighi e doveri.</li> <li>Introduce le figure dell'Esperto Qualificato e del Medico Autorizzato per quanto concerne la sorveglianza fisica e medica nei casi previsti dalla legge.</li> </ul> <p style="text-align: right;">50</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p>Il D.Lgs. 230/95 s.m.i. definisce i soggetti responsabili per quanto riguarda gli adempimenti previsti per la radioprotezione e ne caratterizza obblighi e doveri.</p> <p>Introduce le figure dell'Esperto Qualificato e del Medico Autorizzato per quanto concerne la sorveglianza fisica e medica nei casi previsti dalla legge.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <p>51</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>Per quanto riguarda il datore di lavoro, deve:</p> <p>Attuare tutte le misure di protezione e sicurezza prevista nella</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |



### Adempimenti dei Datori di Lavoro, Dirigenti e Preposti

Attuare tutte le misure di protezione e sicurezza prevista nella normativa e, prima dell'inizio delle attività comportanti rischio da radiazioni ionizzanti, acquisire dall'Esperto Qualificato la relazione di radioprotezione.

- Far classificare le zone e segnalare gli ambienti a rischio.
- Provvedere per classificare i lavoratori.
- Predisporre norme interne, e regolamentare l'accesso.
- Fornire ai lavoratori, ove necessari, i mezzi di sorveglianza dosimetrica e di protezione.
- Rendere edotti i lavoratori, nell'ambito di un programma di formazione finalizzato alla radioprotezione sui rischi e sulle norme
- Far rispettare le norme interne ed il corretto uso dei mezzi di protezione.
- Segnalare con contrassegni le sorgenti di radiazioni.
- Comunicare ai lavoratori i dati dosimetrici.

51

normativa e, prima dell'inizio delle attività comportanti rischio da radiazioni ionizzanti, acquisire dall'Esperto Qualificato la relazione di radioprotezione. Inoltre deve:

- Far classificare le zone e segnalare gli ambienti a rischio.
- Provvedere per classificare i lavoratori.
- Predisporre norme interne, e regolamentare l'accesso.
- Fornire ai lavoratori, ove necessari, i mezzi di sorveglianza dosimetrica e di protezione.
- Rendere edotti i lavoratori, nell'ambito di un programma di formazione finalizzato alla radioprotezione sui rischi e sulle norme.
- Far rispettare le norme interne ed il corretto uso dei mezzi di protezione.
- Segnalare con contrassegni le sorgenti di radiazioni.
- Comunicare ai lavoratori i dati dosimetrici.

52

**Esperto qualificato:** persona che possiede le cognizioni e l'addestramento necessari per espletare le seguenti funzioni:



- rilasciare il benestare sul progetto prima dell'inizio della pratica e a seguito di trasformazioni rilevanti
- classificare i lavoratori e le aree ove sussiste il rischio di esposizione a radiazioni ionizzanti (valutare il rischio e fornire indicazioni di radioprotezione al datore di lavoro)
- predisporre le norme interne di radioprotezione
- assicurare la sorveglianza ambientale
- valutare le dosi da parte dei lavoratori esposti
- effettuare le verifiche periodiche di radioprotezione
- assistere il datore di lavoro in caso di situazioni incidentali

52

**Esperto qualificato:** persona che possiede le cognizioni e l'addestramento necessari per espletare le seguenti funzioni:

- rilasciare il benestare sul progetto prima dell'inizio della pratica e a seguito di trasformazioni rilevanti*
- classificare i lavoratori e le aree ove sussiste il rischio di esposizione a radiazioni ionizzanti*
- predisporre le norme interne di radioprotezione*
- assicurare la sorveglianza ambientale*
- valutare le dosi dei lavoratori esposti*
- effettuare le verifiche periodiche di radioprotezione*
- assistere il datore di lavoro in caso di situazioni incidentali*

53

**Medico autorizzato:** medico responsabile della sorveglianza medica dei lavoratori esposti di categoria A. La sorveglianza medica dei lavoratori classificati in categoria B può essere svolta anche dal **Medico Competente**.



Il medico autorizzato/competente ha il compito di:

- sottoporre a visita medica preventiva i lavoratori prima dell'inizio della loro attività
- esprimere il giudizio sull'idoneità al lavoro specifico con rischio da radiazioni ionizzanti dei lavoratori esposti sottoponendoli a visite mediche periodiche e a esami clinici
- istituire e aggiornare il documento sanitario personale

53

**Medico autorizzato:** medico responsabile della sorveglianza medica dei lavoratori esposti di categoria A.

La sorveglianza medica dei lavoratori classificati in categoria B può essere svolta anche dal **Medico Competente**.

Il medico autorizzato/competente ha il compito di:

- sottoporre a visita medica preventiva i lavoratori prima dell'inizio della loro attività*
- esprimere il giudizio sull'idoneità al lavoro specifico con rischio da radiazioni ionizzanti dei lavoratori esposti sottoponendoli a visite mediche periodiche e a esami clinici*
- istituire e aggiornare il documento sanitario personale*

54

### Sorveglianza fisica dei lavoratori

L'insieme dei dispositivi adottati, delle valutazioni, delle misure e degli esami effettuati, delle indicazioni fornite e dei provvedimenti formulati dall'esperto qualificato al fine di garantire la protezione sanitaria dei lavoratori e della popolazione.

### Sorveglianza medica dei lavoratori

L'insieme dei controlli sanitari effettuati dal medico addetto, sia attraverso visite preventive, periodiche o straordinarie, sia tramite indagini specialistiche e di laboratorio, al fine di verificare l'idoneità (o il perdurare dell'idoneità) dei lavoratori a svolgere mansioni con rischi da radiazioni ionizzanti.

54

### Sorveglianza fisica dei lavoratori

E' l'insieme dei dispositivi adottati, delle valutazioni, delle misure e degli esami effettuati, delle indicazioni fornite e dei provvedimenti formulati dall'esperto qualificato al fine di garantire la protezione sanitaria dei lavoratori e della popolazione.

### Sorveglianza medica dei lavoratori

E' l'insieme dei controlli sanitari effettuati dal medico addetto, sia attraverso visite preventive, periodiche o straordinarie, sia tramite indagini specialistiche e di laboratorio, al fine di verificare l'idoneità dei lavoratori a svolgere mansioni con rischi da radiazioni ionizzanti.



55

### Classificazione dei lavoratori

I lavoratori possono essere distinti in **lavoratori non esposti** e **lavoratori esposti**.

- Sono considerati **lavoratori non esposti** i soggetti sottoposti ad una esposizione non superiore ad uno qualsiasi dei limiti fissati per le persone del pubblico. In termini di dose efficace al corpo intero il limite annuo è di **1 mSv**.
- Sono classificati **lavoratori esposti** i soggetti che sono suscettibili di una esposizione alle radiazioni ionizzanti superiore ad uno qualsiasi dei limiti per le persone del pubblico. I **lavoratori esposti** sono ulteriormente suddivisi in due **categorie: A e B**.

|                          | Lavoratori non esposti e popolazione | Lavoratori esposti Categoria B | Lavoratori esposti Categoria A |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Dose efficace (mSv/anno) | 1                                    | 6                              | 20                             |

55

### Classificazione dei lavoratori

I lavoratori possono essere distinti in **lavoratori esposti** e **lavoratori non esposti**.

Sono considerati **lavoratori non esposti** i soggetti sottoposti ad un'esposizione non superiore ad uno qualsiasi dei limiti fissati per le persone del pubblico.

In termini di dose efficace al corpo intero il limite annuo è di 1 mSv.

Sono classificati **lavoratori esposti** i soggetti che sono suscettibili di una esposizione alle radiazioni ionizzanti superiore ad uno qualsiasi dei limiti per le persone del pubblico. I **lavoratori esposti** devono essere ulteriormente suddivisi in due **categorie: A e B**.

56

- Per i lavoratori esposti di **categoria A**, il limite annuo di dose efficace al corpo intero è di **20 mSv**. Devono essere dotati di dosimetri personali (forniti dal datore di lavoro su indicazione dell'esperto qualificato) per la valutazione della dose al corpo. Devono essere sottoposti a visita medica almeno ogni sei mesi.
- Per i lavoratori esposti di **categoria B**, il limite annuo di dose efficace al corpo intero è di **6 mSv**. Le valutazioni di dose possono essere eseguite sia tramite l'utilizzo di dosimetri personali, sia sulla scorta dei risultati della sorveglianza fisica ambientale. Devono essere sottoposti a visita medica almeno una volta all'anno.

56

Per i lavoratori esposti di categoria A, il limite annuo di dose efficace al corpo intero è di 20 mSv.

Devono essere dotati di dosimetri personali per la valutazione della dose al corpo ed essere sottoposti a visita medica almeno ogni sei mesi.

Per i lavoratori esposti di categoria B, il limite annuo di dose efficace al corpo intero è di 6 mSv.

Le valutazioni di dose possono essere eseguite sia tramite l'utilizzo di dosimetri personali, sia sulla base dei risultati della sorveglianza fisica ambientale.

Devono essere sottoposti a visita medica almeno una volta all'anno.

57

| LIMITI DI DOSE ANNUI (da Allegato III e IV del D. Lgs. 230/95 s.m.i.) |               |                                 |                                                           |                                 |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------|
|                                                                       | Dose Efficace | Dose equivalente al cristallino | Dose equivalente alla pelle (media su 1 cm <sup>2</sup> ) | Dose equivalente alle estremità |
| Non Esposti (anche popolazione)                                       | ≤ 1 mSv       | ≤ 15 mSv                        | ≤ 50 mSv                                                  | ≤ 50 mSv                        |
| Categoria B                                                           | ≤ 6 mSv       | ≤ 45 mSv                        | ≤ 150 mSv                                                 | ≤ 150 mSv                       |
| Categoria A                                                           | ≤ 20 mSv      | ≤ 150 mSv                       | ≤ 500 mSv                                                 | ≤ 500 mSv                       |

57

I limiti superiori delle diverse categorie sono quelli riportati in tabella, sia per la dose efficace che per la dose equivalente riferita ai vari tessuti/organi

58

### Classificazione dei lavoratori



58

La situazione per i lavoratori si può quindi rappresentare in questi termini.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>59</p> <p><b>Disposizioni particolari per le lavoratrici</b><br/>Le gestanti non possono svolgere attività in zone controllate o sorvegliate o comunque attività che potrebbero esporre il feto ad una dose di 1 mSv durante la gravidanza.<br/>Le lavoratrici devono notificare al datore di lavoro il proprio stato di gestazione, non appena accertato.<br/>E' vietato adibire le donne che allattano ad attività comportanti rischio di contaminazione.</p>  <p><b>Disposizioni particolari per apprendisti e studenti</b><br/>Per gli apprendisti e gli studenti, di età non inferiore a 18 anni, i limiti di dose efficace e di dose equivalente per particolari organi o tessuti, sono uguali ai limiti fissati per i lavoratori esposti, in relazione alle specifiche esigenze della loro attività di studio o di apprendistato.</p>  <p><b>Disposizioni per i minori</b><br/>Per i minori di anni diciotto sussistono limiti più ristrettivi, a secondo della fascia d'età. Il limite dei 6 mSv/anno di dose efficace non può mai essere superato.</p>  | <p><b>Disposizioni particolari per le lavoratrici</b><br/>Le gestanti non possono svolgere attività in zone controllate o sorvegliate o comunque attività che potrebbero esporre il feto ad una dose di 1 mSv durante la gravidanza.<br/>Le lavoratrici devono notificare al datore di lavoro il proprio stato di gestazione, non appena accertato.<br/>E' vietato adibire le donne che allattano ad attività comportanti rischio di contaminazione.</p> <p><b>Disposizioni particolari per apprendisti e studenti</b><br/>Per gli apprendisti e gli studenti, di età non inferiore a 18 anni, i limiti di dose sono uguali ai limiti fissati per i lavoratori esposti.</p> <p><b>Disposizioni per i minori</b><br/>Per i minori di anni diciotto sussistono limiti più ristrettivi, a secondo della fascia d'età.</p>                                   |
| <p>60</p> <p><b>Obblighi dei Lavoratori</b></p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. osservare le disposizioni impartite dal datore di lavoro ...</li> <li>b. usare secondo le specifiche istruzioni i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica ...</li> <li>c. segnalare immediatamente al datore di lavoro, le deficienze dei dispositivi e dei mezzi di sicurezza, di protezione e di sorveglianza dosimetrica, nonché le eventuali condizioni di pericolo ...</li> <li>d. non rimuovere né modificare, senza averne ottenuto l'autorizzazione, i dispositivi e gli altri mezzi di sicurezza ...</li> <li>e. non compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre che non sono di loro competenza o che possono compromettere la protezione e la sicurezza;</li> <li>f. sottoporsi alla sorveglianza medica ai sensi del presente decreto.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>I lavoratori sono tenuti anch'essi a rispettare determinati obblighi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) osservare le disposizioni impartite dal datore di lavoro ...</li> <li>b) usare secondo le specifiche istruzioni i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica ..</li> <li>c) segnalare immediatamente al datore di lavoro, le deficienze dei dispositivi e dei mezzi di sicurezza, nonché le eventuali condizioni di pericolo ...</li> <li>d) non rimuovere né modificare, senza averne ottenuto l'autorizzazione, i dispositivi e gli altri mezzi di sicurezza ...</li> <li>e) non compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre che non sono di loro competenza o che possono compromettere la protezione e la sicurezza;</li> <li>f) sottoporsi alla sorveglianza medica.</li> </ul> |
| <p>61</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• I lavoratori che svolgono, per più datori di lavoro, attività che li espongono al rischio da radiazioni ionizzanti, devono informare ciascun datore di lavoro delle attività svolte presso gli altri. Analoga dichiarazione deve essere resa per eventuali attività pregresse.</li> <li>• 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.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>I lavoratori che svolgono, per più datori di lavoro, attività che li espongono al rischio da radiazioni ionizzanti, devono informare ciascun datore di lavoro delle attività svolte presso gli altri.</p> <p>I lavoratori esterni sono tenuti ad esibire il libretto personale di radioprotezione all'esercente prima di effettuare le loro prestazioni.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p>62</p> <p><b>Classificazione degli ambienti di lavoro</b></p> <hr/> <p>Tutte le aree e gli ambienti di lavoro in cui è presente il rischio di superamento di uno dei pertinenti limiti di dose fissati per le persone del pubblico sono classificate in <b>zona controllata</b> o <b>sorvegliata</b> in funzione dell'entità del rischio di esposizione presente (dose).</p> <p><b>Zona Controllata:</b> ogni area di lavoro in cui sussiste il rischio di superamento di uno qualsiasi dei valori di dose per cui è prevista la classificazione in categoria A.</p> <p><b>Zona Sorvegliata:</b> ogni area di lavoro in cui sussiste il rischio di superamento dei limiti di dose per la popolazione.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p><b>Classificazione delle zone</b><br/>Tutte le aree e gli ambienti di lavoro in cui è presente il rischio di superamento di uno dei pertinenti limiti di dose fissati per le persone del pubblico sono classificate in <b>zona controllata</b> o <b>sorvegliata</b> in funzione dell'entità del rischio di esposizione presente.</p> <p><b>Zona Controllata:</b> ogni area di lavoro in cui sussiste il rischio di superamento di uno qualsiasi dei valori di dose per cui è prevista la classificazione in categoria A.</p> <p><b>Zona Sorvegliata:</b> ogni area di lavoro in cui sussiste il rischio di superamento dei limiti di dose per la popolazione.</p>                                                                                                                                                                                     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>63</p> <p style="text-align: center;"><b>Classificazione delle zone</b></p> <hr/> <p><i>Le Zone Controllate e le Zone Sorvegliate devono essere delimitate e segnalate utilizzando la segnaletica specifica.</i></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p><i>Nelle Zone Controllate l'accesso è regolamentato.</i></p> <p><i>Nelle Zone Controllate e Sorvegliate si deve attuare la sorveglianza fisica secondo le disposizioni contenute nel D.Lgs. 230/95 e s.m.i.</i></p> <p style="text-align: right;">63</p>                                                                                                                           | <p>Le Zone Controllate e le Zone Sorvegliate devono essere delimitate e segnalate utilizzando la segnaletica specifica. Nelle Zone Controllate l'accesso inoltre è regolamentato. Nelle Zone Controllate e Sorvegliate deve essere attuata la sorveglianza fisica.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p>64</p> <p style="text-align: center;"><b>Norme generali di radioprotezione</b></p> <hr/> <div style="display: flex;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>Formazione e informazione addetti</li> <li>Segnalazione sorgenti radiazioni ionizzanti</li> <li>Riduzione numero di esposti</li> <li>Minima attività/potenza possibile</li> <li>Minima durata esposizione</li> <li>Massima distanza possibile operatore-sorgente</li> <li>Minimo campo radiante</li> <li>Idonei schermi protettivi</li> <li>Utilizzo corretto DPI</li> <li>Corrette procedure di lavoro e uso idoneo delle apparecchiature</li> <li>Verifica costante dei sistemi di sicurezza</li> <li>Corretto impiego dispositivi di sorveglianza dosimetrica</li> </ul>  </div> <p style="text-align: right;">64</p> | <p><b>Norme generali di radioprotezione</b></p> <p>In generale, negli ambienti in cui sussiste il rischio di esposizione a radiazioni ionizzanti, dovranno sempre essere rispettate le seguenti norme e procedure di radioprotezione:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Formazione e informazione addetti</li> <li>Segnalazione sorgenti radiazioni ionizzanti</li> <li>Ridurre il numero di esposti</li> <li>Minima attività/potenza</li> <li>Minima durata esposizione</li> <li>Massima distanza operatore-sorgente</li> <li>Minimo campo radiante</li> <li>Idonei schermi protettivi</li> <li>Utilizzo corretto D.P.I.</li> <li>Corrette procedure di lavoro e uso idoneo delle apparecchiature</li> <li>Verifica costante dei sistemi di sicurezza</li> <li>Corretto impiego dispositivi di sorveglianza dosimetrica</li> </ul> |
| <p>65</p> <p style="text-align: center;"><b>Formazione</b></p> <hr/>  <p>Rientra tra gli obblighi dei datori di lavoro, dirigenti e preposti quello di:</p> <p>rendere edotti i lavoratori, nell'ambito di un programma di formazione finalizzato alla radioprotezione, in relazione alle mansioni cui essi sono addetti,</p> <p>dei rischi specifici cui sono esposti,</p> <p>delle norme di protezione sanitaria,</p> <p>delle conseguenze derivanti dalla mancata osservanza delle prescrizioni mediche,</p> <p>delle modalità di esecuzione del lavoro e delle norme interne.</p> <p style="text-align: right;">65</p>                                                                                                                                                             | <p>La formazione rientra tra gli obblighi dei datori di lavoro, dirigenti e preposti; devono infatti rendere edotti i lavoratori, 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.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p>66</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: right;">66</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>Grazie per l'attenzione</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

