

Rischi Fisici

RADIAZIONI IONIZZANTI



OPUSCOLO INFORMATIVO PER IL LAVORATORE

Il Decreto Legislativo 101 del 31 Luglio 2020 individua, tra gli obblighi del datore di lavoro, l'informazione e la formazione dei lavoratori addetti all'utilizzo delle sorgenti di radiazioni ionizzanti. Il presente opuscolo vuole essere uno strumento di consultazione al fine di fornire un contributo informativo affinché ciascun lavoratore garantisca la propria e l'altrui sicurezza.

L'Esperto di radioprotezione:

Dott. Michele STASI, Tel. Ufficio: 011.5082251, e-mail: mstasi@mauriziano.it
S.C. Fisica Sanitaria, A.O. Ordine Mauriziano di Torino

Il Medico Autorizzato:

Dott. Pagliaro Giantommaso, Tel. Ufficio: 011.5085182, e-mail: gpagliari@mauriziano.it
Dott. Cugliari Gualtiero, Tel. Ufficio: 011.5085320, e-mail: gpagliari@mauriziano.it
S.S. Medico Competente e Medicina del Lavoro, A.O. Ordine Mauriziano di Torino

Sommario

1.	Introduzione	3
2.	Radiazioni ionizzanti	3
3.	Grandezze e unità di misura	4
4.	Irradiazione esterna e interna	4
5.	Effetti biologici delle radiazioni ionizzanti	5
6.	Sorgenti di radiazioni e rischi specifici ad esse connessi	5
7.	Protezione dalle radiazioni ionizzanti	7
7.1.	Irradiazione esterna	7
7.2.	Irradiazione interna	7
7.3.	Rischi specifici in relazione all'attività svolta	8
7.4.	Segnaletica	9
8.	Strumenti di misura	9
9.	Radioprotezione	10
9.1.	Riferimenti normativi	10
9.2.	Classificazione dei lavoratori e limiti di dose	11
9.3.	Classificazione delle zone	11
9.4.	Obblighi	12

1. Introduzione

Il termine **radiazione** viene utilizzato in fisica per descrivere fenomeni apparentemente assai diversi tra loro come ad esempio l'emissione di luce visibile da una lampada, di radio-onde da un circuito elettrico, di raggi infrarossi da un corpo incandescente, di raggi X da una macchina radiogena. Caratteristica peculiare comune a tutti questi fenomeni è il trasferimento di energia da un punto all'altro dello spazio senza che vi sia movimento di corpi macroscopici e senza il supporto di un mezzo materiale.

Le radiazioni si distinguono in base alla loro frequenza (o lunghezza d'onda) come mostrato nello spettro riportato nella sottostante figura, dove si possono individuare due regioni: l'intervallo di frequenza che caratterizza le Radiazioni Non Ionizzanti (NIR) e quello relativo alle Radiazioni Ionizzanti (RI).

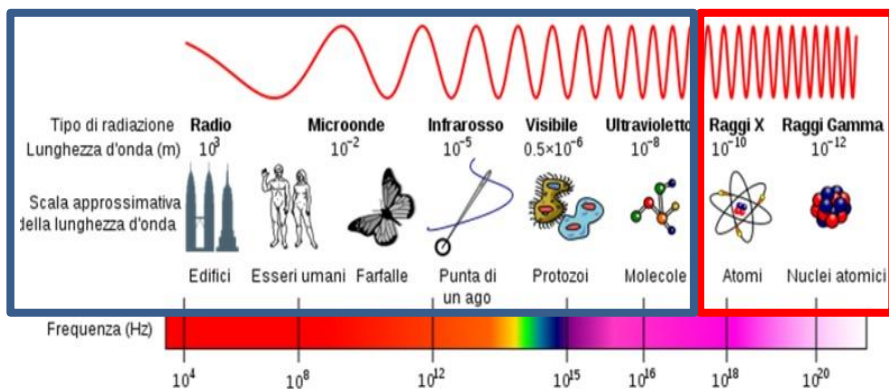


Figura 1. Spettro elettromagnetico: in rosso l'intervallo che caratterizza le radiazioni ionizzanti, in blu quello relativo alle radiazioni non ionizzanti.

2. Radiazioni ionizzanti

Tutte le sostanze sono costituite da particelle dette **atomi**, che, a loro volta, contengono particelle ancora più piccole: **elettroni, protoni e neutroni**. Protoni e neutroni costituiscono il nucleo centrale dell'atomo, attorno al quale ruotano gli elettroni.

In condizioni normali l'atomo risulta elettricamente neutro, perché la carica elettrica positiva dovuta ai protoni del nucleo è perfettamente bilanciata dalla carica elettrica negativa dovuta all'insieme degli elettroni periferici. Quando un elettrone viene allontanato da un atomo, la sua carica negativa viene a mancare e l'atomo rimane carico positivamente, trasformandosi in uno **ione**: tale fenomeno è detto **ionizzazione**. Con il termine di **radiazioni ionizzanti** vengono indicate tutte le radiazioni in grado di produrre ionizzazioni negli atomi o nelle molecole (insieme di atomi) di un mezzo materiale: raggi X e γ e particelle α e β .

Le radiazioni ionizzanti possono essere di origine naturale o artificiale. Infatti, ogni essere vivente è continuamente esposto alle radiazioni provenienti dall'ambiente in cui vive e che costituiscono il cosiddetto fondo naturale di radiazioni; tale fondo è dovuto ai raggi cosmici, provenienti direttamente dallo spazio, e dal decadimento radioattivo di isotopi naturali presenti nel suolo, nelle acque superficiali, nell'aria e, per conseguenza, nei cibi, nei materiali con cui sono costruite le case e nel nostro stesso organismo. Alle fonti di esposizioni naturali vanno poi aggiunte quelle artificiali

prodotte in alcune attività umane: esplosioni di bombe termonucleari, con conseguente ricaduta di radioisotopi (fall-out); impiego di sostanze radioattive per fini diagnostici e terapeutici in Medicina Nucleare; utilizzo di macchine generatrici di radiazioni elettromagnetiche (raggi X) per fini diagnostici e terapeutici in Radiologia, Radioterapia ed altri settori della medicina; attività industriali varie.

3. Grandezze e unità di misura

Per valutare i rischi legati ad una esposizione a radiazioni ionizzanti possono essere usate diverse grandezze:

Esposizione (X): descrive la capacità della radiazione elettromagnetica di produrre ionizzazione in aria: la sua unità di misura nel Sistema Internazionale (SI) è il Coulomb per chilogrammo (C/Kg), ma viene spesso usato il Roentgen.

Dose assorbita (D): è l'energia ceduta dalla radiazione ionizzante all'unità di massa del mezzo considerato; la sua unità di misura nel Sistema Internazionale è il Gray (Gy).

Dose Equivalente (H): i differenti tipi di radiazione, a seconda della loro capacità di attraversare la materia, hanno probabilità diverse di produrre effetti radiobiologici. La Dose equivalente è definita come il prodotto della Dose Assorbita per un fattore correttivo che tiene conto di queste differenti caratteristiche: $H = D \cdot w_R$; la sua unità di misura nel Sistema Internazionale è il Sievert (Sv).

Dose Efficace (E): i diversi tipi di tessuti biologici hanno una differente sensibilità alle radiazioni (radiosensibilità specifica). La Dose Efficace tiene conto del tipo di organo o di tessuto interessato, in modo da stimare la probabilità che avvengano effetti stocastici gravi ed è definita come la somma delle dosi equivalenti ponderate (prodotto della Dose Equivalente per un fattore correttivo: $E = H \cdot w_T$); la sua unità di misura nel Sistema Internazionale è il Sievert (Sv).

Per quanto riguarda le sostanze radioattive, una stima del rischio può essere data dall'**Attività**, espressa in Becquerel (Bq), che indica il numero di disintegrazioni al secondo. Dato che l'attività di una sostanza radioattiva si riduce nel tempo, assume particolare importanza il **tempo di dimezzamento**, definito come il tempo necessario perché l'attività si riduca alla metà del valore iniziale.

4. Irradiazione esterna e interna

I rischi connessi con l'impiego delle radiazioni ionizzanti sono conseguenti a due differenti modalità di irradiazione del corpo umano, che si distinguono per la diversa collocazione delle sorgenti di radiazioni nei riguardi del soggetto irradiato. Nell'**irradiazione esterna**, l'organismo o una sua parte è irradiato con una o più sorgenti che si trovano al di fuori di esso; nell'**irradiazione interna** le sorgenti sono invece introdotte nell'organismo.

Le possibili vie di introduzione delle sorgenti di radiazioni nel corpo umano sono: l'inalazione, l'ingestione, l'assorbimento transcutaneo o attraverso ferite superficiali.

Inoltre, si parla di **contaminazione** quando la sorgente di radiazioni viene a trovarsi a diretto contatto con l'organismo dell'individuo interessato. La contaminazione può essere esterna, quando si riferisce a organi esterni, o interna.

Naturalmente anche superfici o oggetti possono essere contaminati e divenire a loro volta sorgenti di radiazioni o potenziali agenti contaminanti.

5. Effetti biologici delle radiazioni ionizzanti

L'interazione delle radiazioni ionizzanti con la materia produce negli organismi viventi processi biochimici in grado di provocare un danno biologico al tessuto o organo coinvolto.

Il danno biologico dovuto alle radiazioni ionizzanti può essere di due tipi:

- **danno somatico:** riguarda unicamente l'individuo esposto e può a sua volta essere:
 - *stocastico o probabilistico*, con probabilità di accadimento direttamente proporzionale alla dose da radiazioni;
 - *non stocastico o deterministico*, la cui insorgenza è legata al superamento di una dose soglia e la cui gravità è direttamente proporzionale alla dose da radiazioni;
- **danno genetico:** coinvolge le cellule germinali con mutazioni o aberrazioni cromosomiche e si può manifestare nella progenie sotto forma di disordini ereditari dei discendenti.

Ogni tessuto biologico presenta una diversa sensibilità alle radiazioni (radiosensibilità): in generale sono più radiosensibili gli organi le cui cellule sono meno differenziate e la cui attività riproduttiva è maggiore (gonadi, tessuto linfatico, midollo osseo).

Tabella 1. Effetti delle radiazioni ionizzanti

Somatici	Stocastici (probabilistici)	Tumori solidi Leucemie
	Non Stocastici	Radiodermite Infertilità Cataratta
Genetici	Stocastici	Mutazioni genetiche Aberrazioni cromosomiche

6. Sorgenti di radiazioni e rischi specifici ad esse connessi

In generale le radiazioni utilizzate in ambito sanitario possono derivare dall'impiego di:

- **Apparecchiature a raggi X**, quali apparecchiature radiologiche in radiodiagnostica, camere operatorie, gastroenterologia, odontoiatria, cardiologia/emodinamica e ed acceleratori lineari in radioterapia;
- **Sorgenti sigillate**, quali le sorgenti di Ir-192 usate per la brachiterapia
- **Sorgenti non sigillate**, quali, per esempio, ^{99m}Tc , ^{18}F , ^{131}I in medicina nucleare.

Presso L'A.O. Ordine Mauriziano di Torino i rischi radiologici sono dovuti a:

- attività di diagnostica radiologica con apparecchiature a Raggi X;
- attività complementare radiologica con apparecchiature a Raggi X;
- attività radioterapeutica con acceleratori lineari;
- attività di medicina nucleare con radioisotopi sia diagnostica che terapeutica.

Nelle attività di diagnostica radiologica e per uso complementare vengono utilizzati tubi a raggi X in grado di generare fasci di radiazione di diversa energia (TC, mammografi, apparecchi endorali, apparecchi RX convenzionali quali: le apparecchiature installate nelle sale radiologiche, le apparecchiature portatili per radiografie al letto del paziente, gli archi a C impiegati nelle sale operatore e angiografi in cardiovascolare).



Figura 2. TC



Figura 3. Mammografo



Figura 4. Endorale



Figura 5. Telecomandato



Figura 6. Arco a C

I rischi connessi all'impiego di tali apparecchiature sono limitati al loro effettivo funzionamento, in quanto a generatore spento non vi è emissione di radiazioni, e derivano dall'irradiazione esterna a:

- fascio primario, radiazione emessa dal tubo in una direzione definita dalle condizioni geometriche del tubo stesso;
- radiazione diffusa, che ha origine nell'interazione del fascio primario con oggetti, corpi e pareti eventualmente investiti;
- radiazione di fuga, emessa eventualmente dal tubo in direzioni diverse da quella del fascio primario.

Nell'attività terapeutica con acceleratori lineari vengono generati fasci di radiazione X ad alta energia. Gli acceleratori sono installati all'interno di bunker appositamente costruiti per ridurre al minimo la radiazione all'esterno della sala di utilizzo.

I rischi connessi all'impiego di tali apparecchiature sono:

- fascio primario, radiazione emessa dalla testata dell'acceleratore in una direzione definita dalle condizioni geometriche del fascio stesso;
- radiazione diffusa, che ha origine nell'interazione del fascio primario con oggetti, corpi e pareti eventualmente investiti;
- radiazione di fuga, emessa eventualmente dalla testata dell'acceleratore in direzioni diverse da quella del fascio primario;
- nel caso di apparecchiature che utilizzano fasci accelerati con differenza di potenziale superiore a 10 MV, produzione di neutroni che persistono in sala per qualche minuto dalla fine dell'accensione del fascio.



Figura 7. Acceleratore lineare



Figura 8. SPECT -CT

Nelle attività di medicina nucleare diagnostica e terapeutica i rischi principali sono legati alla radiazione emessa dai radioisotopi.

Queste sorgenti di radiazioni, a differenza di quelle utilizzate in Radiologia o in Radioterapia, sono sempre attive e non è quindi possibile interrompere l'emissione di radiazione.

Esistono pertanto procedure operative specifiche per la manipolazione delle sorgenti, dei pazienti e dei rifiuti

radioattivi.

Nel caso si utilizzino in concomitanza apparecchiature radiologiche (es. SPECT-CT, PET-CT) sussistono inoltre i rischi dell'attività di diagnostica radiologica.

7. Protezione dalle radiazioni ionizzanti

Affinché la protezione dalle radiazioni sia efficace, essa deve mantenere sotto controllo tutti i fattori di rischio potenziale. Questo si realizza attraverso semplici accorgimenti e norme di buona tecnica.

7.1. Irradiazione esterna

I parametri più importanti sui quali bisogna agire per limitare le dosi assorbite da irradiazione esterna sono il tempo di esposizione, la distanza dalla sorgente e la presenza di eventuali schermature.

Tempo

Essendo l'esposizione alle radiazioni direttamente proporzionale al tempo, per ridurre i livelli di esposizione occorre rimanere il minor tempo possibile in presenza della sorgente di radiazione, cioè solo per il tempo strettamente necessario allo svolgimento delle attività.

Distanza

Dato che il livello di esposizione è inversamente proporzionale al quadrato della distanza (ad esempio, raddoppiando la distanza l'esposizione diminuisce di un fattore 4), occorre che l'operatore, compatibilmente con le attività da svolgere, si mantenga alla maggior distanza possibile dalle sorgenti di radiazioni. L'utilizzo di telecomandi e quadri-comando posti sufficientemente lontani dalle apparecchiature può servire allo scopo.

Schermature

I livelli di esposizione alle radiazioni si riducono notevolmente interponendo quando possibile tra sorgente e operatori barriere di materiale idoneo (per esempio, piombo): infatti, maggiore è lo spessore della barriera e minore sarà la quantità di radiazione in grado di oltrepassarla. Durante il funzionamento di apparecchiature a raggi X l'operatore deve mantenersi al riparo delle barriere (fisse o mobili) o, qualora questo non sia possibile, indossare indumenti protettivi (dispositivi di protezione individuale – DPI), quali grembiule, collare e occhiali piombati.

7.2. Irradiazione interna

Per quanto riguarda la sicurezza nei confronti dei rischi da contaminazione interna, la principale metodica si basa sul contenimento, ovvero sulla necessità di isolare la sorgente radioattiva, al fine

di impedire ogni fuga verso l'ambiente esterno e la possibilità di contaminazione degli operatori e della popolazione.

A tale scopo è opportuno conservare le sorgenti non sigillate, quando non utilizzate, in contenitori ermetici ed osservare, durante il loro impiego, alcune precauzioni, come indossare indumenti protettivi (guanti monouso, camici) durante le operazioni di manipolazione, impiegare cappe a filtro assoluto durante operazioni in cui si possono sviluppare vapori o gas, predisporre superfici facilmente lavabili, rimuovere immediatamente eventuali oggetti contaminati, che andranno gestiti come rifiuti radioattivi.

7.3. Rischi specifici in relazione all'attività svolta

Congiuntamente ai criteri sopra riportati, altri metodi, variabili da apparecchiatura ad apparecchiatura, possono essere impiegati per ridurre l'esposizione alle radiazioni e sono riportati nelle *Norme Interne di Radioprotezione* predisposte dall'Esperto di radioprotezione e affisse in tutti i locali in cui sono utilizzate sorgenti di radiazioni ionizzanti particolari a cui occorre attenersi durante lo svolgimento delle diverse attività.

Le principali strutture dell'A.O. Ordine Mauriziano di Torino in cui sussiste il rischio di esposizione alle radiazioni ionizzanti sono:

- Radiologia
- Radiologia Vascolare
- Anestesia e rianimazione
- Ortopedia
- Urologia
- Gastroenterologia
- Camere Operatorie Generali
- Camere Operatorie Cardiovascolari
- Radioterapia
- Medicina Nucleare
- Camere di degenza protetta
- Cardiologia/UTIC
- Emodinamica/Elettrofisiologia
- DEA

Per ogni singola attività specifica (art. 118 D. Lgs. 101/2020), i lavoratori:

- *usano secondo le specifiche istruzioni ricevute i dispositivi di sicurezza, di protezione e di sorveglianza dosimetrica predisposti o forniti dal datore di lavoro;*
- *segnalano immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto la mancanza, l'insufficienza o il mancato funzionamento dei dispositivi di sicurezza, di protezione e di sorveglianza dosimetrica, nonché le eventuali condizioni di pericolo di cui vengono a conoscenza.*

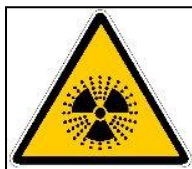
Parallelamente (art. 130 D. Lgs. 101/2020), l'Esperto di radioprotezione nell'esercizio della sorveglianza fisica per conto del datore di lavoro:

- *esegue la verifica periodica dell'efficacia dei dispositivi e delle procedure di radioprotezione.* La modalità di controllo e verifica sarà, a seconda delle necessità, di tipo visivo e/o sotto guida RX.

7.4. Segnaletica

La presenza di sorgenti di radiazioni e, di conseguenza, del rischio ad esse connesso, è segnalata con cartelli, etichette ed avvisatori acustici e/o luminosi.

Il simbolo generico di rischio da radiazione è il cosiddetto *trifoglio o ventolino*, cui può essere associata una voce esplicativa che evidenzia il tipo di rischio (irradiazione esterna, contaminazione) o la tipologia dell'area contrassegnata (zona controllata, zona sorvegliata).



I colli o i contenitori di sorgenti radioattive sono contrassegnati dall'apposito simbolo di materiale radioattivo riportante anche il tipo di radioisotopo e l'attività contenuta; l'imballaggio utilizzato dipenderà dalla pericolosità del materiale in esso contenuto.



In alcuni locali (sale radiologiche, acceleratori lineari) devono essere installati avvisatori acustici e/o luminosi che segnalano la presenza di radiazioni in sala ed eventuali interlocks, che impediscono l'accesso ai locali durante il funzionamento dell'apparecchiatura.



8. Strumenti di misura

Le radiazioni ionizzanti vengono rivelate attraverso strumenti e metodi che si basano sulla capacità di ionizzazione del materiale attraversato dalla radiazione stessa. La strumentazione utilizzata per la rivelazione e misura delle radiazioni ionizzanti può essere distinta in due categorie:

- misuratori di intensità di esposizione alle radiazioni, capaci di misurare la quantità di radiazioni nell'unità di tempo (camera a ionizzazione, contatore proporzionale, contatore Geiger Muller);
- misuratori integrali di dose assorbita, in grado di misurare la dose in intervalli di tempo variabili (camera a ionizzazione, dosimetri a film o a termoluminescenza).

Lo strumento più idoneo viene scelto di volta in volta sia in base al tipo ed all'energia della radiazione, che in relazione alle informazioni che si vogliono ottenere. Ad esempio, se si vuole verificare la tenuta alle radiazioni di un tubo a raggi X, si utilizzerà una camera a ionizzazione, mentre se si vuole registrare nel tempo la dose assorbita da un singolo operatore, verrà scelto un dosimetro individuale a film o a termoluminescenza.

La dosimetria ambientale consente di controllare che negli ambienti di lavoro la dose da radiazioni ionizzanti non sia tale da comportare rischi per i lavoratori e per la popolazione.

La dosimetria personale permette invece di verificare che le dosi assorbite dagli operatori rimangano al di sotto dei valori preventivamente stabiliti e consente di accertare, per via indiretta, che permangano le condizioni di sicurezza esaminate in fase di verifica ambientale.

Il metodo usato per la dosimetria personale si basa sul fenomeno della termoluminescenza. Il/i dosimetri a termoluminescenza (TLD) sono contenuti in appositi contenitori plastici. Il materiale



Figura 9. Camera a ionizzazione

attivo è un cristallo (es. fluoruro di litio LiF) che, dopo aver assorbito delle dosi di radiazioni, emette, se riscaldato, una quantità di luce proporzionale alla dose assorbita.

I dosimetri a termoluminescenza possono naturalmente essere usati anche per rilevamenti ambientali, se posti in un punto d'interesse per un certo periodo.



Figura 10. Dosimetri personali a termoluminescenza

I dosimetri individuali per il corpo intero vengono generalmente indossati in corrispondenza dell'emitorace sinistro, fornendo in tal modo una misura della dose al tronco e permettendo quindi una valutazione della dose assorbita degli organi più importanti. Alcuni dosimetri sono anche utilizzati per la valutazione della dose di uno specifico organo e quindi indossati in corrispondenza dei tessuti di cui si vogliono conoscere le dosi assorbite, per esempio, arti e/o

cristallino.

9. Radioprotezione

La radioprotezione ha l'obiettivo di preservare lo stato di salute e di benessere dei lavoratori e della popolazione, riducendo i rischi sanitari da radiazioni, nello svolgimento di attività che siano giustificate dai benefici che ne derivano alla società e ai suoi componenti. Scopo della radioprotezione è prevenire i danni non stocastici e limitare a livelli considerati accettabili la probabilità che si verifichino effetti stocastici.

La radioprotezione si basa essenzialmente su tre principi:

- ✓ *principio di giustificazione*: nessuna pratica radiologica deve essere attuata a meno che non produca un beneficio netto e dimostrabile;
- ✓ *principio di ottimizzazione*: l'esposizione alle radiazioni ionizzanti deve essere tanto bassa quanto ragionevolmente ottenibile, in considerazione anche di fattori economici e sociali;
- ✓ *principio di limitazione delle dosi*: la dose ricevuta dagli individui non deve eccedere i limiti stabiliti.

L'applicazione dei principi della radioprotezione si ottiene attraverso accorgimenti tecnici e operativi, con l'applicazione di norme interne, con l'ausilio di una segnaletica appropriata e con lo stabilire limiti alle dosi che i lavoratori possono ricevere, permettendo così di limitare la probabilità di effetti stocastici e di eliminare, per quanto possibile, il rischio indebito.

9.1. Riferimenti normativi

Il Decreto Legislativo 31 Luglio 2020 n.101 stabilisce i principi generali di radioprotezione dei lavoratori, della popolazione e del paziente nonché gli obblighi del datore di lavoro, dei dirigenti, dei preposti e dei lavoratori che esercitano attività comportanti rischio da radiazioni ionizzanti.

Per l'espletamento della radioprotezione i datori di lavoro devono assicurare:

- *la sorveglianza fisica della protezione*: insieme dei dispositivi adottati, delle valutazioni, delle misure e degli esami effettuati, delle indicazioni fornite e dei provvedimenti formulati dall'Esperto di Radioprotezione, al fine di garantire la protezione sanitaria dei lavoratori e degli individui della popolazione;

- *la sorveglianza sanitaria*: insieme degli atti medici adottati dal Medico Autorizzato, finalizzati a garantire la protezione sanitaria dei lavoratori esposti.

9.2. Classificazione dei lavoratori e limiti di dose

In relazione al tipo di attività svolta, i lavoratori vengono classificati in diverse categorie:

- *Lavoratori Esposti*: qualunque lavoratore che può ricevere dosi superiori a uno qualsiasi dei limiti di dose fissati per l'esposizione degli individui della popolazione;
- *Lavoratori non Esposti*: persone che, per l'attività che svolgono, non superano uno dei limiti di dose fissati per il pubblico.

Nella Tabella 2 sono riportati i limiti di dose per i lavoratori esposti a rischio da radiazioni ionizzanti.

Tabella 2: Limiti di dose (art. 146 D. Lgs. 101/2020)

Limiti	Lavoratori Esposti (mSv/anno solare)	Lavoratori non Esposti Individui popolazione
<i>Dose efficace</i>	20 mSv/anno solare	1 mSv/anno
<i>Dose equivalente per particolari organi o tessuti</i>		
<i>Cristallino</i>	20 mSv/anno solare	15 mSv/anno
<i>Cute</i>	500 mSv/anno solare	50 mSv/anno
<i>Estremità (mani, avambracci, piedi, caviglie)</i>	500 mSv/anno solare	---

I lavoratori esposti sono classificati in Categoria A se, durante l'attività lavorativa, sono suscettibili di un'esposizione superiore a uno dei valori riportati in Tabella 3; i lavoratori esposti non classificati in categoria A sono classificati in Categoria B.

Tabella 3: Valori di esposizione per la classificazione in Categoria A (art. 133 D. Lgs. 101/2020)

<i>Dose efficace</i>	6 mSv/anno solare
<i>Dose equivalente per particolari organi o tessuti:</i>	
<i>Cristallino</i>	15 mSv/anno solare
<i>Cute</i>	150 mSv/anno solare
<i>Estremità (mani, avambracci, piedi, caviglie)</i>	150 mSv/anno solare

Va sottolineato che nel calcolo delle dosi che consentono la classificazione dei lavoratori non vanno valutate quelle derivanti da esposizione a fondo naturale di radiazione ed agli esami e cure mediche, ma solo quelle dovute a normale attività lavorativa o ad eventi anomali e/o malfunzionamenti.

9.3. Classificazione delle zone

Si definisce *Zona Classificata* ogni ambiente di lavoro ove sussiste rischio di irradiazione e sottoposto quindi a regolamentazione per motivi di protezione dalle radiazioni ionizzanti. Le zone classificate si suddividono in:

- **Zona Controllata**: ogni area di lavoro in cui sussiste per i lavoratori il rischio di superare uno dei valori limite di dose per i lavoratori esposti di Categoria A;
- **Zona Sorvegliata**: ogni area di lavoro in cui sussiste per i lavoratori il rischio di superare uno dei valori limite di dose fissati per le persone del pubblico e che non sia classificata Zona Controllata.

9.4.Obblighi

La legge fissa alcuni obblighi che si riferiscono ai rapporti tra datore di lavoro e lavoratori subordinati. Per completezza delle informazioni si riportano integralmente gli articoli di legge riguardanti gli obblighi del datore di lavoro

Obblighi del datore di lavoro, dirigenti e preposti (Art. 109 D. Lgs. 101/2020)

1. I datori di lavoro e i dirigenti che rispettivamente svolgono e dirigono le attività disciplinate dal presente decreto e i preposti che vi sovrintendono, nell'ambito delle rispettive attribuzioni e competenze, attuano le misure di protezione e di sicurezza previste dal presente Titolo e dai provvedimenti emanati in applicazione di esso.
2. Prima dell'inizio delle pratiche disciplinate dal presente decreto, il datore di lavoro acquisisce e sottoscrive una relazione redatta e firmata dall'esperto di radioprotezione contenente:
 - a. la descrizione della natura e la valutazione dell'entità dell'esposizione anche al fine della classificazione di radioprotezione dei lavoratori nonché la valutazione dell'impatto radiologico sugli individui della popolazione a seguito dell'esercizio della pratica;
 - b. le indicazioni di radioprotezione incluse quelle necessarie a ridurre le esposizioni dei lavoratori in tutte le condizioni di lavoro e degli individui della popolazione conformemente al principio di ottimizzazione.
3. Per le finalità di cui al comma 2 il datore di lavoro fornisce all'esperto di radioprotezione le informazioni in merito a:
 - a. descrizione degli ambienti, degli impianti e dei processi che comportano il rischio di esposizione alle radiazioni ionizzanti, ivi compreso l'elenco delle sorgenti di radiazioni ionizzanti che si intendono impiegare;
 - b. organizzazione del lavoro;
 - c. mansioni cui sono adibiti i lavoratori;
 - d. ogni altra informazione ritenuta necessaria dall'esperto di radioprotezione.
4. Il datore di lavoro comunica altresì preventivamente all'esperto di radioprotezione le variazioni relative allo svolgimento della pratica, ivi comprese quelle inerenti ai lavoratori interessati e all'organizzazione del lavoro, nonché le eventuali migliorie tecniche che si intendono apportare alla pratica stessa.
5. La relazione di cui al comma 2 costituisce il documento di cui all'articolo 28, comma 2, lettera a), del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, per gli aspetti relativi ai rischi di esposizione alle radiazioni ionizzanti ed è munita di data certa, in qualsiasi modo attestata, nel rispetto dell'articolo 28, comma 2, del decreto legislativo n. 81 del 2008.
6. Sulla base delle indicazioni della relazione di cui al comma 2, e successivamente di quelle di cui all'articolo 131, comma 1, i datori di lavoro, i dirigenti e i preposti, nell'ambito delle rispettive competenze:
 - a. provvedono affinché gli ambienti di lavoro in cui sussiste un rischio da radiazioni vengano, nel rispetto delle disposizioni di cui all'articolo 133, individuati, delimitati, segnalati, classificati in zone e che l'accesso a esse sia adeguatamente regolamentato;
 - b. provvedono affinché i lavoratori interessati siano classificati ai fini della radioprotezione nel rispetto delle disposizioni di cui all'articolo 133 e informano i lavoratori stessi in merito alla loro classificazione;

- c. predispongono norme interne di protezione e sicurezza adeguate al rischio di radiazioni e curano che copia di dette norme sia consultabile nei luoghi frequentati dai lavoratori, e in particolare nelle zone classificate;
 - d. forniscono ai lavoratori, ove necessario, i mezzi di sorveglianza dosimetrica e i dispositivi di protezione individuale in relazione ai rischi cui sono esposti e ne garantiscono lo stato di efficienza e la manutenzione;
 - e. provvedono affinché i singoli lavoratori osservino le norme interne di cui alla lettera c) , e usino i dispositivi e i mezzi di cui alla lettera d) ;
 - f. provvedono affinché siano apposte segnalazioni che indichino il tipo di zona, la natura delle sorgenti e i relativi tipi di rischio e siano indicate, mediante appositi contrassegni, le sorgenti di radiazioni ionizzanti, fatta eccezione per quelle non sigillate in corso di manipolazione;
 - g. forniscono al lavoratore classificato esposto, o comunque al lavoratore sottoposto a dosimetria individuale, i risultati delle valutazioni di dose effettuate dall'esperto di radioprotezione, che lo riguardino direttamente, nonché assicurano l'accesso alla documentazione di cui all'articolo 132 concernente il lavoratore stesso.
7. Per gli obblighi previsti al comma 6, con esclusione di quelli previsti alla lettera e) , nei casi in cui occorre assicurare la sorveglianza fisica ai sensi dell'articolo 125, i datori di lavoro, i dirigenti e i preposti si avvalgono degli esperti di radioprotezione e, per gli aspetti sanitari, dei medici autorizzati. Nei casi in cui non occorre assicurare la sorveglianza fisica, essi adempiono alle disposizioni di cui alle lettere c) ed e) , e forniscono i dispositivi di protezione eventualmente necessari di cui alla lettera d) .
8. I datori di lavoro, i dirigenti e i preposti comunicano tempestivamente all'esperto di radioprotezione e al medico autorizzato la cessazione del rapporto di lavoro con il lavoratore esposto.
9. I datori di lavoro trasmettono al Ministero del lavoro e delle politiche sociali i risultati delle valutazioni di dose effettuate dall'esperto di radioprotezione per i lavoratori esposti, ai fini del loro inserimento nell'archivio nazionale dei lavoratori esposti di cui all'articolo 126.
10. I datori di lavoro garantiscono le condizioni per la collaborazione tra l'esperto di radioprotezione e il responsabile del servizio di prevenzione e protezione di cui all'articolo 2, comma 1, lettera f) , del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, nell'ambito delle rispettive competenze. L'esperto di radioprotezione e, ove nominato, il medico autorizzato partecipano alle riunioni periodiche di cui all'articolo 35 del medesimo decreto legislativo.
11. Tutti gli oneri economici relativi alla sorveglianza fisica e sanitaria della radioprotezione sono a carico del datore di lavoro.

Obblighi dei lavoratori (Art.118 D. Lgs. 101/2020)

1. Ogni lavoratore si prende cura della propria salute e sicurezza e di quella delle altre persone presenti sul luogo di lavoro, su cui ricadono gli effetti delle sue azioni od omissioni, conformemente alla sua formazione, alle istruzioni e ai mezzi forniti dal datore di lavoro.
2. I lavoratori:
 - a) contribuiscono, insieme al datore di lavoro, ai dirigenti e ai preposti, all'adempimento degli obblighi previsti a tutela della salute e sicurezza sui luoghi di lavoro;

- b) osservano le disposizioni e le istruzioni impartite dal datore di lavoro, dai dirigenti e dai preposti, ai fini della protezione collettiva e individuale, a seconda delle mansioni alle quali sono addetti;
 - c) usano secondo le specifiche istruzioni ricevute i dispositivi di sicurezza, di protezione e di sorveglianza dosimetrica predisposti o forniti dal datore di lavoro;
 - d) segnalano immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto la mancanza, l'insufficienza o il mancato funzionamento dei dispositivi di sicurezza, di protezione e di sorveglianza dosimetrica, nonché le eventuali condizioni di pericolo di cui vengono a conoscenza;
 - e) si astengono dal compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre che non sono di loro competenza o che possono compromettere la protezione e la sicurezza propria o di altri lavoratori;
 - f) si sottopongono alla sorveglianza sanitaria ai sensi del presente decreto;
 - g) partecipano ai programmi di formazione e di addestramento organizzati dal datore di lavoro.
3. I lavoratori esposti che svolgono per più datori di lavoro attività che li espongono al rischio da radiazioni ionizzanti, informano ciascun datore di lavoro delle attività che svolgono o hanno svolto in passato presso gli altri datori di lavoro, ai fini di quanto previsto dall'articolo 116.
4. I lavoratori esterni di categoria A esibiscono il libretto personale di radioprotezione all'esercente le zone controllate prima di effettuare le prestazioni per le quali sono stati chiamati.

Lavoratrici in gravidanza e/o in allattamento (Art. 111 D. Lgs. 101/2020)

Il datore di lavoro che svolge le attività disciplinate dal presente decreto provvede affinché ciascun lavoratore soggetto ai rischi derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti riceva una adeguata informazione: [...]

- 1. sull'importanza dell'obbligo, per le lavoratrici esposte di comunicare tempestivamente il proprio stato di gravidanza;
- 2. sull'importanza per le lavoratrici esposte di comunicare l'intenzione di allattare al seno un neonato

GLOSSARIO

Attività: numero di trasformazioni nucleari spontanee di un radionuclide che si producono nell'unità di tempo; si esprime in becquerel.

Becquerel (Bq): unità di misura dell'attività; 1 Bq = 1 disintegrazione al secondo.

Contaminazione radioattiva: la presenza involontaria o non intenzionale di sostanze radioattive su superfici o all'interno di solidi, liquidi o gas o sul corpo umano. Nel caso particolare del corpo umano, essa include tanto la contaminazione esterna quanto la contaminazione interna, per qualsiasi via essa si sia prodotta.

Dose assorbita: energia media ceduta dalle radiazioni ionizzanti per unità di massa di materiale irraggiato; si esprime in gray (Gy).

Dose equivalente: prodotto della dose assorbita in tessuto per il fattore di qualità; si esprime in sievert (Sv).

Dose efficace: somma del prodotto delle dosi equivalenti ricevute da specifici organi del corpo umano per gli appropriati fattori di ponderazione; si esprime in sievert (Sv).

Dose (efficace) impegnata: dose (efficace) ricevuto da un organo o tessuto, in un determinato periodo di tempo, in seguito all'introduzione di uno o più radionuclidi.

Esperto di radioprotezione: la persona che possiede le cognizioni e l'addestramento necessari sia per effettuare misurazioni, esami, verifiche o valutazioni di carattere fisico, tecnico o radiotossicologico, sia per assicurare il corretto funzionamento dei dispositivi di radioprotezione, sia per fornire tutte le altre indicazioni e formulare provvedimenti atti a garantire la sorveglianza fisica della protezione dei lavoratori e della popolazione. La sua qualificazione è riconosciuta secondo procedure stabilite per legge.

Esposizione: qualsiasi esposizione di persone a radiazioni ionizzanti.

Sorgente naturale di radiazioni: una sorgente di radiazioni ionizzanti di origine naturale terrestre o cosmica.

Gray: unità di misura della dose assorbita; 1 Gy = 1 J*kg⁻¹.

Introduzione: attività totale di un radionuclide introdotta nell'organismo dall'ambiente esterno

Irradiazione esterna: esposizione prodotta da sorgenti situate all'esterno dell'organismo

Irradiazione interna: esposizione prodotta da sorgenti introdotte nell'organismo

Lavoratori esposti: qualunque lavoratore che è sottoposto a un'esposizione sul lavoro e che può ricevere dosi superiori a uno qualsiasi dei limiti di dose fissati per l'esposizione degli individui della popolazione.

Limiti di dose: il valore della dose efficace (se del caso, della dose impegnata) o della dose equivalente in un periodo di tempo specificato che non deve essere superato nel singolo individuo.

Materia radioattiva: sostanza o insieme di sostanze radioattive contemporaneamente presenti.

Medico autorizzato: medico responsabile della sorveglianza medica dei lavoratori esposti, la cui qualificazione e specializzazione sono riconosciute secondo le procedure e le modalità stabilite dal D. Lgs 101/2020.

Individui della popolazione: singoli individui che possono essere soggetti a una esposizione del pubblico.

Radiazioni ionizzanti: particelle o onde in grado di produrre ioni direttamente o indirettamente interagendo con la materia.

Radioattività: processo naturale attraverso il quale gli atomi instabili di un elemento emettono l'energia in eccesso da parte dei nuclei trasformandosi in atomi di un diverso elemento o in stati energetici di minor energia dello stesso elemento.

Sievert: denominazione specifica dell'unità di misura della dose equivalente o dose efficace

$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Sorgente di radiazioni ionizzanti: qualsiasi fonte che può provocare un'esposizione, attraverso l'emissione di radiazioni ionizzanti o la presenza di materiali radioattivi.

Sorgente sigillata: una sorgente radioattiva in cui il materiale radioattivo è sigillato in permanenza in una capsula o incorporato in un corpo solido con l'obiettivo di prevenire, in normali condizioni di uso, qualsiasi dispersione di sostanze radioattive, secondo quanto stabilito dalle norme di buona tecnica applicabili.

Sorgente non sigillata: qualsiasi sorgente che non corrisponde alle caratteristiche o ai requisiti della sorgente sigillata.

Sorveglianza sanitaria: l'insieme degli atti medici adottati dal medico autorizzato, finalizzati a garantire la protezione sanitaria dei lavoratori esposti.

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

Sostanza radioattiva: ogni sostanza contenente uno o più radionuclidi di cui, ai fini della radioprotezione, non si può trascurare l'attività o la concentrazione.

Zona controllata: zona sottoposta a regolamentazione speciale ai fini della radioprotezione o della prevenzione della diffusione della contaminazione radioattiva e il cui accesso è controllato.

Zona sorvegliata: zona sottoposta a regolamentazione e sorveglianza ai fini della protezione contro le radiazioni ionizzanti.