

**WEBINAR (MODALITÀ ON LINE)**

**MERCOLEDÌ 30 NOVEMBRE 2022, ORE 15.00 - 18.00**

**Ingegneria e radioprotezione in ambito  
sanitario, industriale e della ricerca**

Roma  
2022

**Ing. Marco Martellucci**  
Esperto di Radioprotezione di III grado  
Università Campus Bio Medico di Roma

# Argomenti

- 1. Richiami di Fisica di Base: Radioattività e Interazione con la materia**
- 2. Principi di funzionamento del Tubo Rx**
- 3. Biologia di Base e Danno da Radiazioni**
- 4. La Radioprotezione operativa**
- 5. I Dispositivi di Protezione Individuali**
- 6. La normativa vigente e le figure tecniche preposte alla radioprotezione**

# **Fisica di base**

---

## L'ATOMO

**L'atomo** (dal greco ἄτομος - àtomos -, indivisibile, unione di ἄ - a - [alfa privativo] + τέμνειν - témnein - [tagliare]) è una struttura nella quale è normalmente organizzata la materia nel mondo fisico o in natura.

Più atomi formano le molecole, mentre gli atomi sono a loro volta formati da costituenti subatomici quali **protoni** (con carica positiva), **neutroni** (con carica neutra) ed **elettroni** (con carica negativa).

La **teoria atomica** è dunque la teoria fisica secondo la quale tutta la materia è costituita da unità elementari chiamate atomi.



## L'ATOMO

Nel 1913 **Niels Bohr** propose il suo modello su cui si basa la fisica moderna.

Pur accettandone l'idea di modello planetario, postulò che gli elettroni avessero a disposizione orbite fisse, dette anche "orbite quantizzate", queste orbite possedevano un'**energia quantizzata** (ossia un'energia già prestabilita identificata da un numero detto numero quantico principale  $N$ ) nelle quali gli elettroni non emettevano né assorbivano energia (questa infatti rimaneva costante).

In particolare, **un elettrone emetteva o assorbiva energia sotto forma di onde elettromagnetiche solo se effettuava una transizione da un'orbita all'altra**, e quindi passava ad uno stato a energia minore o maggiore.

## L'ATOMO

L'Atomo è composto principalmente da tre tipologie di particelle subatomiche (cioè di dimensioni minori dell'atomo):

- **Protoni**
- **Neutroni**
- **Elettroni**

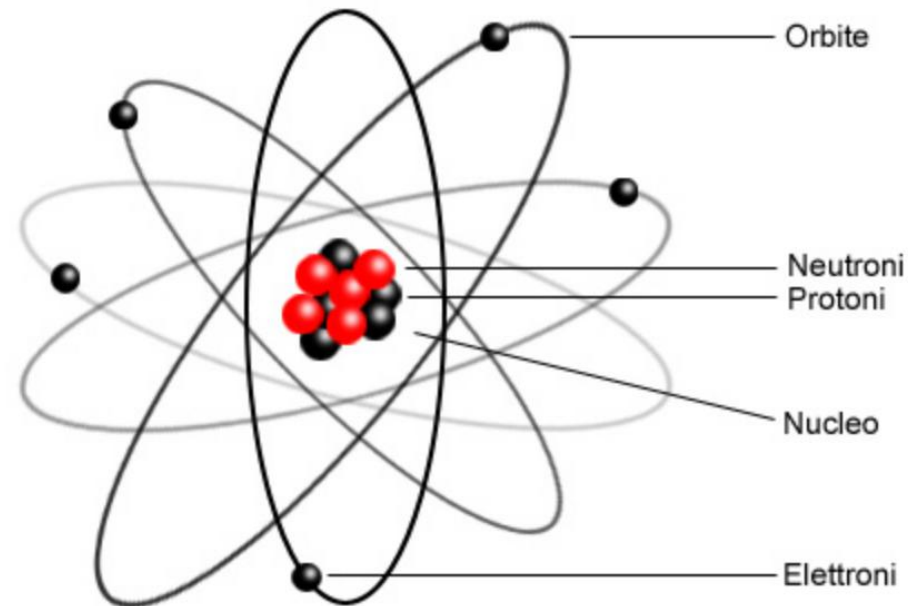
In particolare:

- i protoni (carichi positivamente) e i neutroni (privi di carica) formano il "nucleo" (carico positivamente); protoni e neutroni sono detti quindi "**nucleoni**";
- gli elettroni (carichi negativamente) sono presenti nello stesso numero dei protoni e ruotano attorno al nucleo senza seguire un'orbita precisa (l'elettrone si dice quindi "delocalizzato"), rimanendo confinati all'interno degli orbitali (o "livelli energetici").

## L'ATOMO

L'Atomo è composto principalmente da tre tipologie di particelle subatomiche (cioè di dimensioni minori dell'atomo):

- **Protoni**
- **Neutroni**
- **Elettroni**



## L'ATOMO

L'Atomo è composto principalmente da tre tipologie di particelle subatomiche (cioè di dimensioni minori dell'atomo):

- **Protoni**
- **Neutroni**
- **Elettroni**

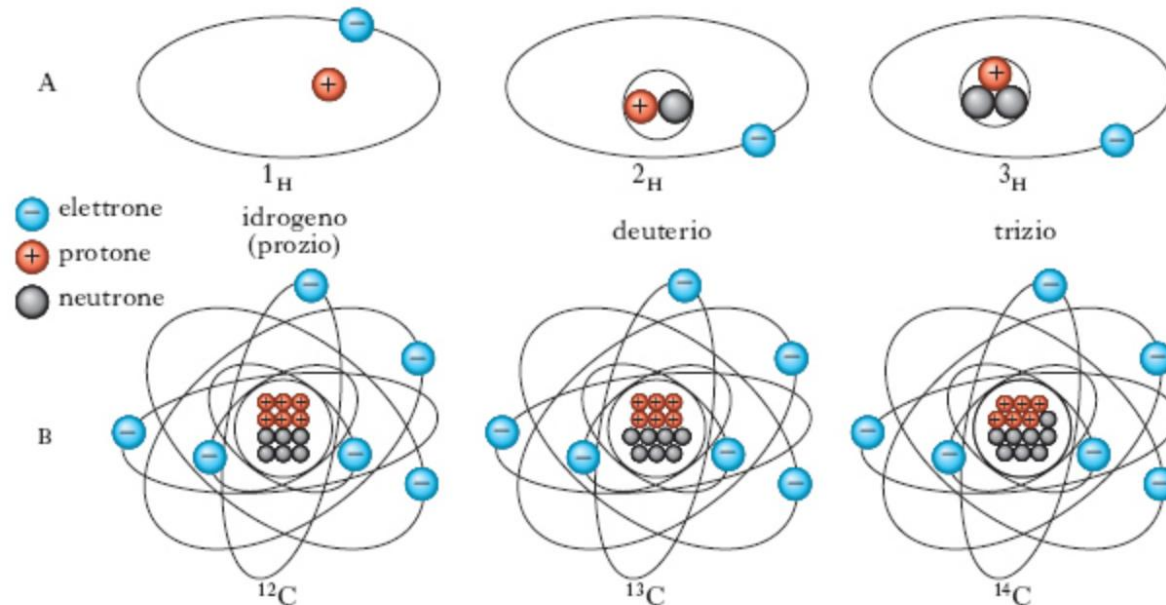
Particella	Simbolo	Carica	Massa
Elettrone	$e^-$	$-1,6 \times 10^{-19}$ C	$9,109\ 382\ 6 \times 10^{-31}$ kg (0,51099 891 MeV/C <sup>2</sup> )
Protone	$p^+$	$1,6 \times 10^{-19}$ C	$1,672\ 623\ 1 \times 10^{-27}$ kg (9,3828 × $10^2$ MeV/C <sup>2</sup> )
Neutrone	$n$	0 C	$1,674\ 927\ 29 \times 10^{-27}$ kg (9,39565 × $10^2$ MeV/C <sup>2</sup> )

## L'ATOMO

Si definiscono due quantità per identificare ogni atomo:

**Numero di massa (A)** la somma del numero di neutroni e protoni nel nucleo.

**Numero atomico (Z)** il numero dei protoni nel nucleo, che, allo stato neutro, corrisponde al numero di elettroni esterni ad esso.



# **La Radioattività**

## ISOTOPI – ISOBARI – ISOTONI : Terminologia e Simboli

- **Elemento** : insieme di atomi con proprietà chimiche equivalenti



X = simbolo chimico

Z = numero atomico (p)

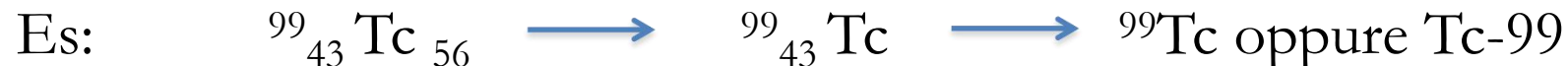
- **Nuclide** : atomo caratterizzato da un definito numero di particelle subatomiche (nucleoni)



A = numero di massa (p + n) = Z + N

N = numero di neutroni (n)

Z = numero atomico (p)



## ISOTOPI – ISOBARI – ISOTONI : Terminologia e Simboli

- Elemento : insieme di atomi con proprietà chimiche equivalenti



X = simbolo chimico

Z = numero atomico (p)

- Nuclide : atomo caratterizzato da un definito numero di particelle subatomiche (nucleoni)



A = numero di massa (p + n) = Z + N

N = numero di neutroni (n)

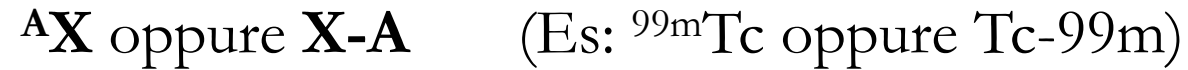
Z = numero atomico (p)

<b>ISOBARI</b>	Nuclidi con eguale numero di massa <b>A</b>
<b>ISOTOPI</b>	Nuclidi con eguale numero atomico <b>Z</b>
<b>ISOTONI</b>	Nuclidi con eguale numero di neutroni <b>N</b>



## RADIOISOTOPO

E' un radio-nuclide (naturale o artificiale) di un particolare elemento:

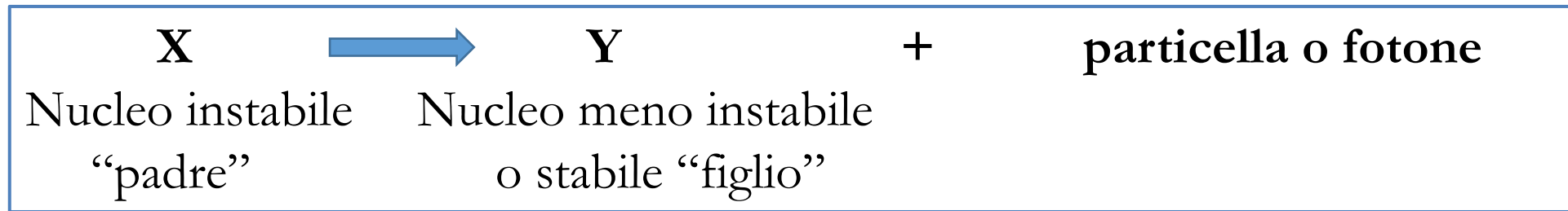


caratterizzato da un nucleo instabile che tende a raggiungere la stabilità emettendo radiazioni (decadimento).

Ogni radioisotopo è caratterizzato:

- dalla **modalità di decadimento**
- dal **tipo ed energia di emissione** (particelle o fotoni)
- dalla sua **emi-vita fisica** ( $t_{1/2}$ ): intervallo di tempo impiegato da una determinata quantità di un radio-nuclide per ridursi alla metà del suo valore iniziale per effetto del suo decadimento.

## DECADIMENTO DI NUCLEI RADIOATTIVI



Il decadimento radioattivo è il processo per cui un radio-nuclide **si trasforma nel nucleo di un elemento diverso o raggiunge uno stato energetico minore, emettendo radiazioni.**

Il nuclide prodotto in un decadimento può risultare stabile e non emettere ulteriori radiazioni o a sua volta essere ancora radioattivo.

Lo studio del processo di decadimento può essere suddiviso in due parti:

1. Studio delle **modalità di decadimento**
2. Studio della **cinetica di decadimento**

# La Radioattività

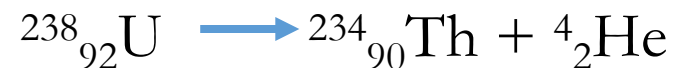
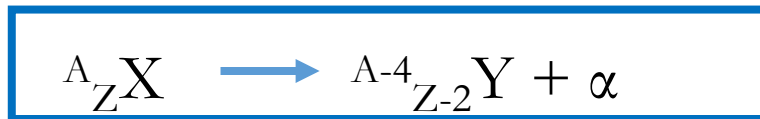
## 1 - MODALITA' DI DECADIMENTO

I radionuclidi possono decadere utilizzando uno (o una combinazione) dei 5 seguenti processi:

### Decadimento con emissione di particelle

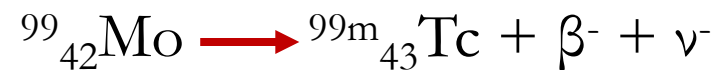
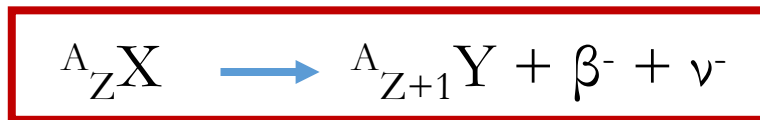
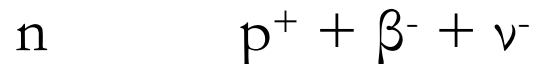
- Decadimento per cattura elettronica

- Decadimento alfa

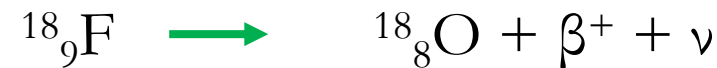
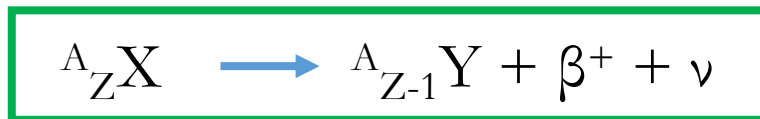
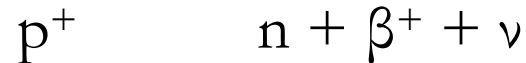


- Decadimento beta (positivo o negativo)

*Decadimento  $\beta^-$*



*Decadimento  $\beta^+$*



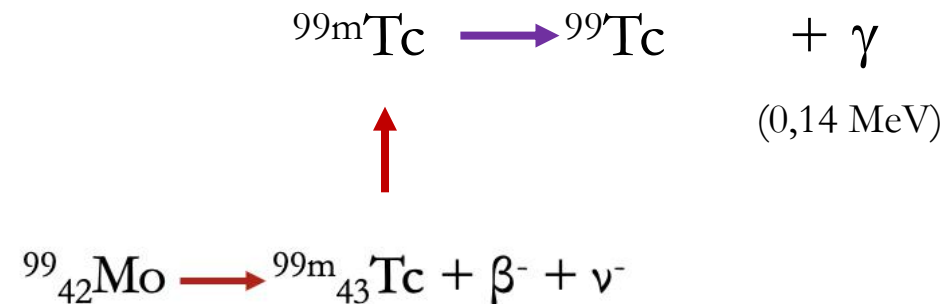
$\bar{\nu}$  = antineutrino ;  $\nu$  = neutrino ; p = protone ; n = neutrone ;  $\beta^-$  = e = elettrone ;  $\beta^+$  = positrone ;  $\gamma$  = raggio gamma

## 1 - MODALITA' DI DECADIMENTO

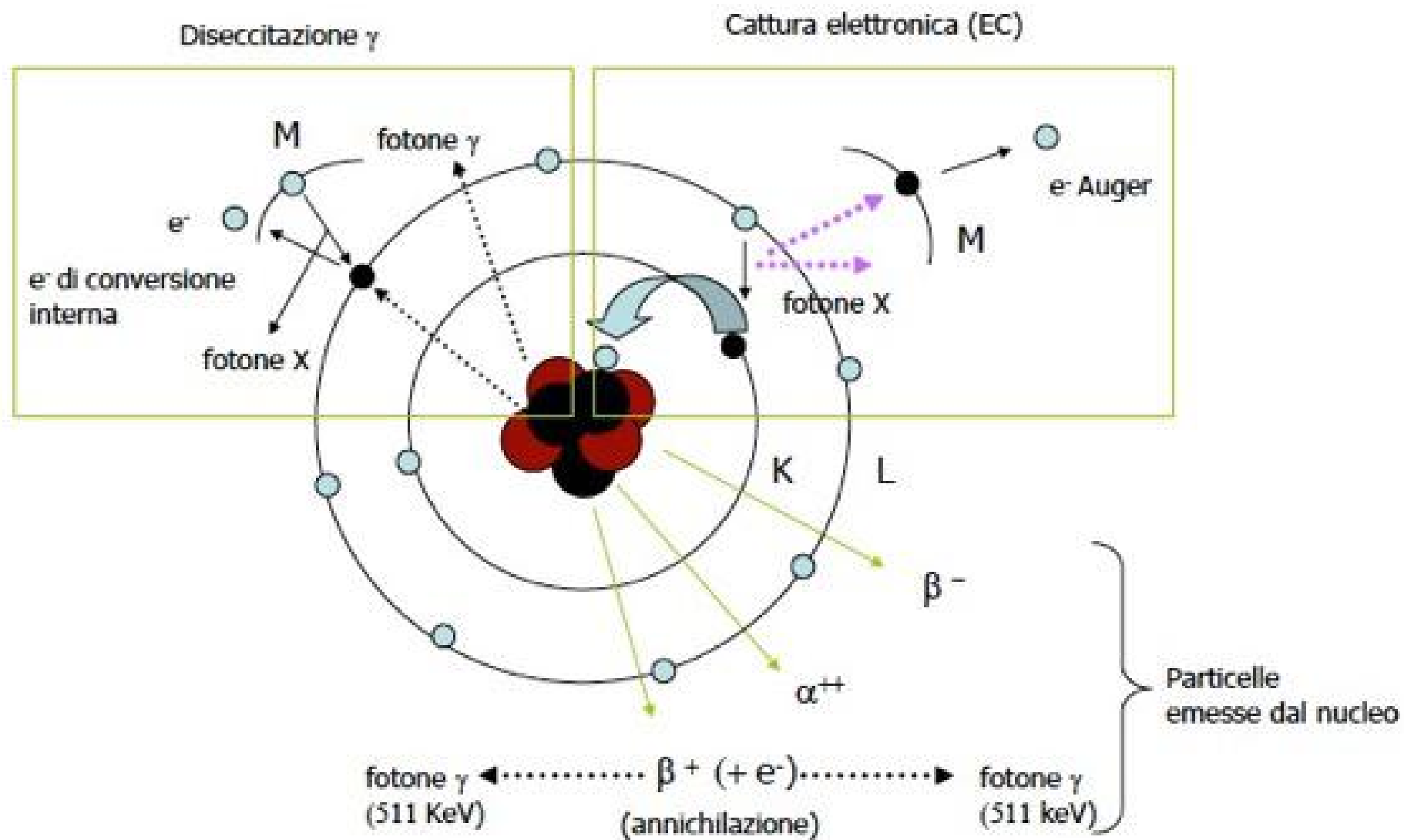
I radionuclidi possono decadere utilizzando uno (o una combinazione) dei 5 seguenti processi:

### Diseccitazione

- decadimento per conversione interna
- decadimento gamma



## 1 - MODALITA' DI DECADIMENTO

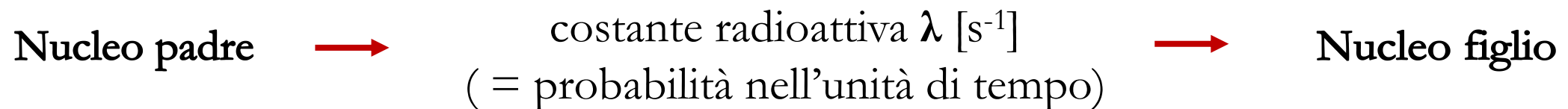


## 2 - CINETICA DI DECADIMENTO

Consideriamo un nucleo instabile in un dato istante; questo si trasformerà in un nucleo stabile (dopo una o più trasformazioni) attraverso un dato processo radioattivo.

E' **impossibile** prevedere quando un dato nucleo si trasformerà; possiamo solamente definire una certa **probabilità di trasformazione in un'unità di tempo data**. Questa probabilità è la stessa per tutti i nuclei di un dato nuclide e si mantiene costante nel tempo.

Questa probabilità di disintegrazione radioattiva spontanea per unità di tempo è detta **costante radioattiva**, si esprime in secondi<sup>-1</sup> e si indica con  $\lambda$ .



## 2 - CINETICA DI DECADIMENTO

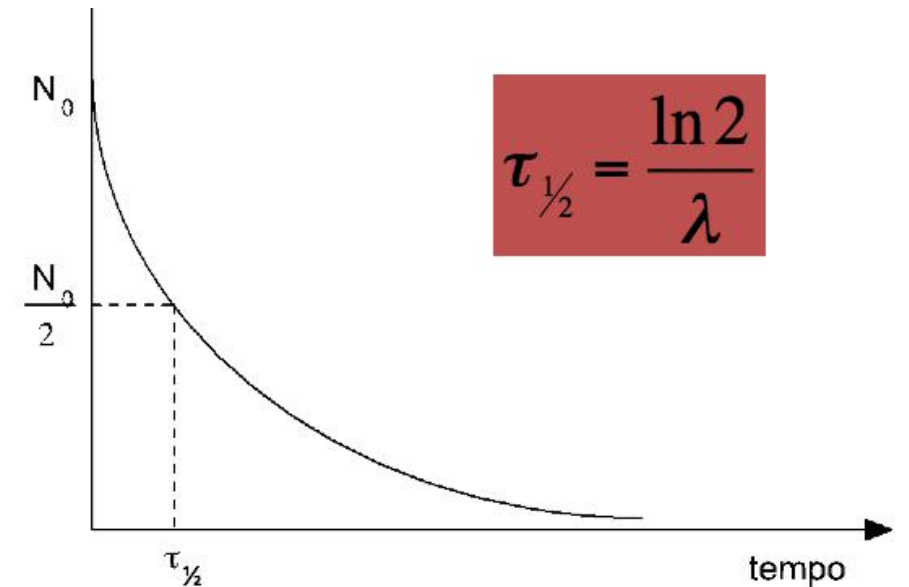
La legge che regola la cinetica di decadimento degli atomi radioattivi è di tipo esponenziale:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

La quantità  $\lambda N$ , esprime la **velocità di disintegrazione** di una quantità determinata di una data sostanza radioattiva ( $-dN/dt$ ) ed è chiamata **Attività**:

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

**Tempo di Dimezzamento:**  
Tempo necessario ad un dato numero di atomi radioattivi ( $N_0$ ) per dimezzarsi ( $N_0/2$ )



## 2 - CINETICA DI DECADIMENTO

L'Unità di misura Storica dell'Attività è rappresentata dal Curie ed è definita come segue:

**1 Curie = quantitativo di  $^{226}\text{Ra}$  contenuto in 1 grammo di materia**

Ma nel sistema internazionale si utilizza il Becquerel definito come segue:

**1 Becquerel = numero di disintegrazioni che avvengono nell'unità di tempo**

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

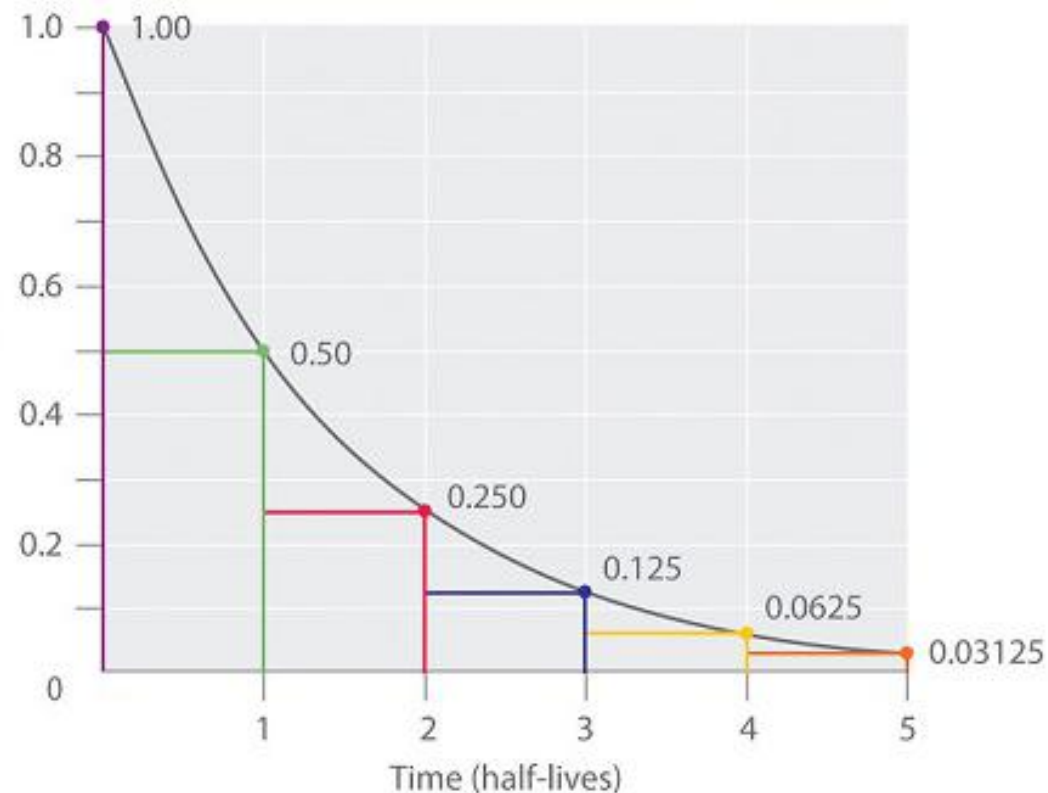




## 2 - CINETICA DI DECADIMENTO

Ogni Radionuclide oltre ad avere una propria Modalità di Decadimento ha una sua Cinetica di Decadimento rappresentata proprio da un **diverso Tempo di Dimezzamento**.

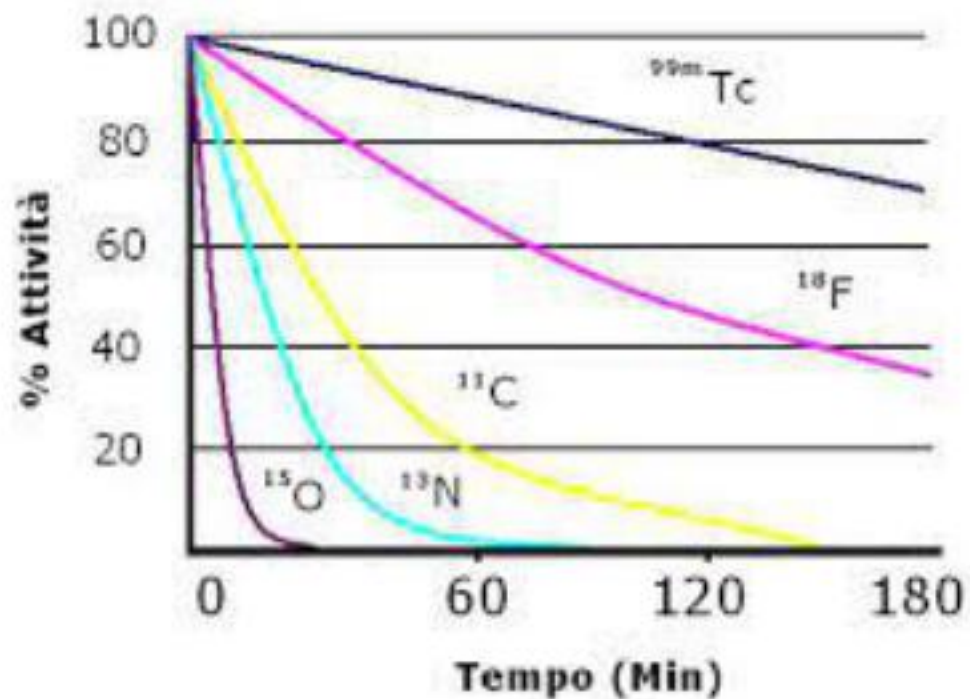
Normalmente dopo 5 – 6 Tempo di Dimezzamento l'Attività presente si può considerare quasi completamente decaduta.



## 2 - CINETICA DI DECADIMENTO

Ogni Radionuclide oltre ad avere una propria Modalità di Decadimento ha una sua Cinetica di Decadimento rappresentata proprio da un **diverso Tempo di Dimezzamento**.

<i>Tempi di dimezzamento di alcuni nuclidi</i>		
Nuclide	$T$	Decadimento
Uranio 238	$4.5 \times 10^9$ anni	$\alpha, \gamma$
Carbonio 14	5730 anni	$\beta$
Radio 226	1600 anni	$\alpha, \gamma$
Stronzio 90	28.5 anni	$\beta, \gamma$
Cobalto 60	5.3 anni	$\beta, \gamma$
Iodio 131	8 giorni	$\beta, \gamma$
Bario 141	18.3 min	$\beta, \gamma$
Polonio 218	3.0 min	$\beta, \gamma$
Kripton 92	1.8 s	$\beta, \gamma$
Polonio 214	$1.64 \times 10^{-4}$ s	$\alpha, \gamma$



# La Radioattività

---

## Non tutto è dannoso....

Una delle applicazioni dei radionuclidi è quella della datazione di reperti archeologici !

Per la datazione di eventi recenti si utilizza la datazione con  $^{14}\text{C}$ , un radionuclide che viene prodotto costantemente nell'atmosfera: ha un **tempo di dimezzamento di 5.730 anni** e decade ad azoto-14 con emissioni beta.

Il rapporto nell'atmosfera tra  $^{14}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$  è costante e pari a  $1,3 \times 10^{-12}$ .

Durante la **fotosintesi** le piante utilizzano  $\text{CO}_2$ , una parte della quale è costituita da  $^{14}\text{C}$ , e la utilizzano per sintetizzare molti composti del carbonio che poi vengono trasferiti, attraverso la catena alimentare, agli altri animali



## Le Famiglie Radioattive

Tre radionuclidi con **tempo di dimezzamento confrontabile con quello della terra** decrescono originando dei nuclei instabili che decadono a loro volta, creando, in questo modo, delle catene radioattive (Radionuclidi Primordiali):

Queste catene sono:

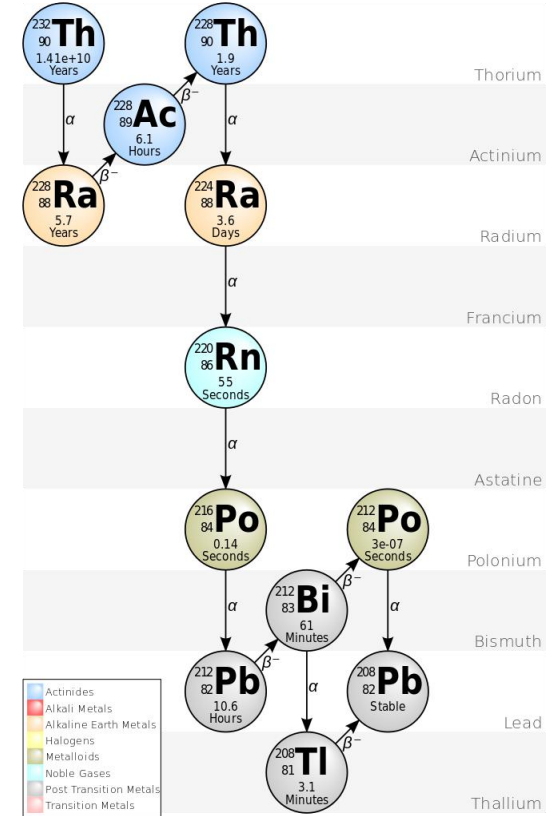
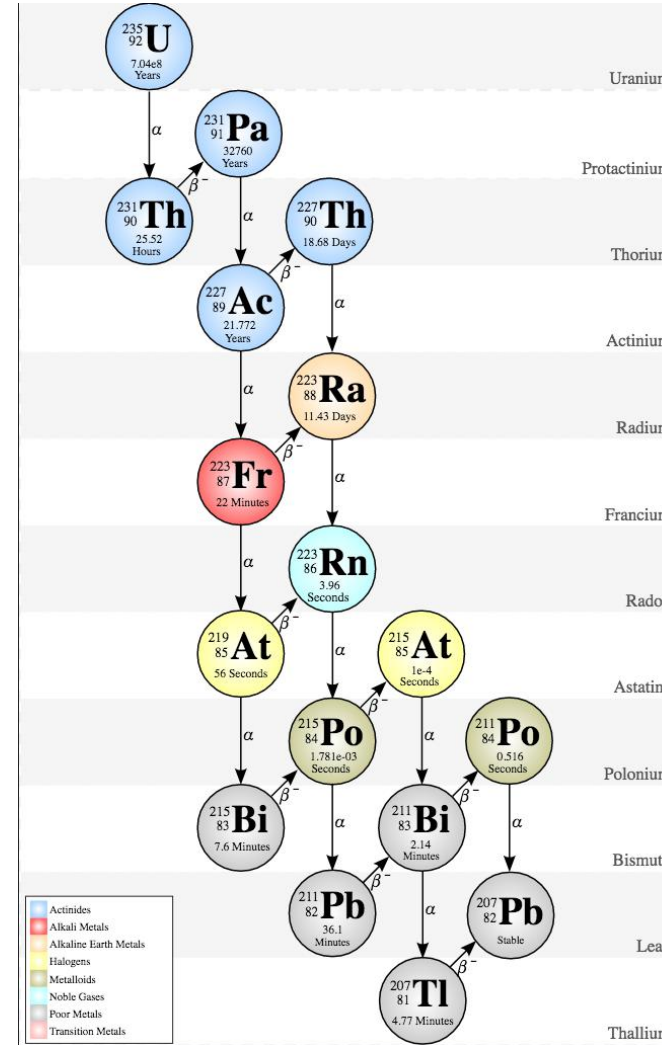
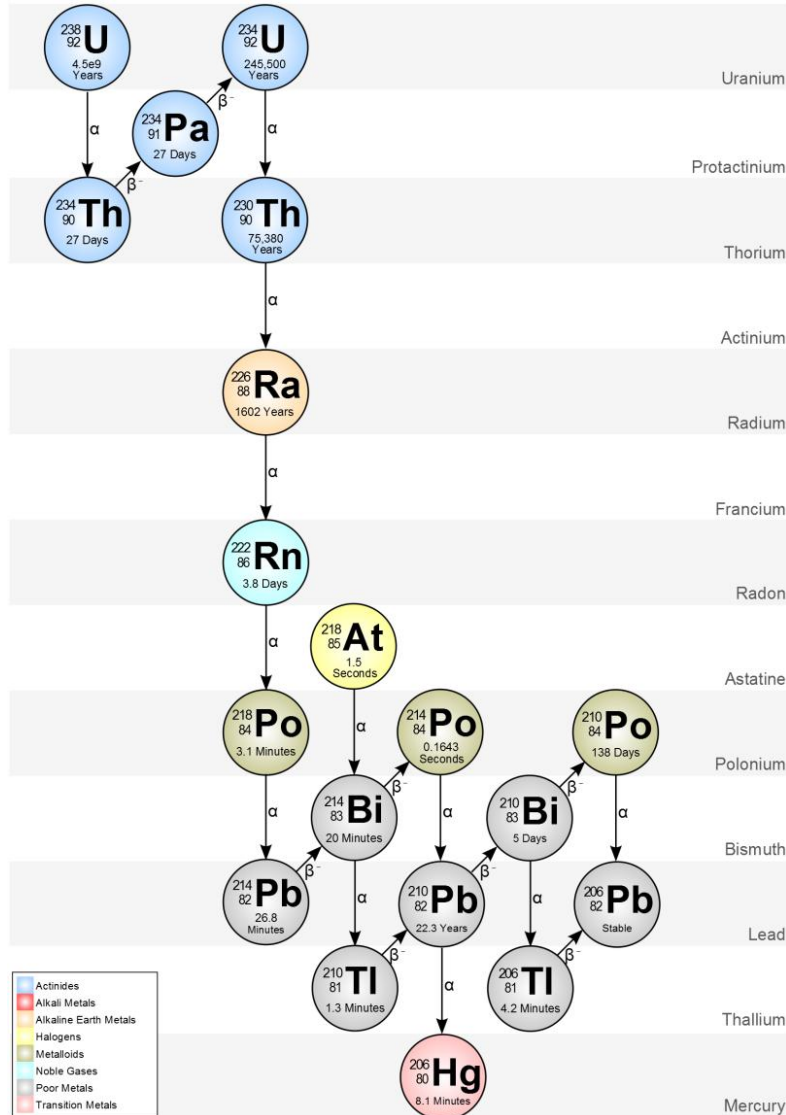
- **Famiglia dell' Urano-238** (abbondanza isotopica = 99.28%)  $\tau = 4,49 \times 10^9$  anni
- **Famiglia del Torio-232** (abbondanza isotopica = 100%)  $\tau = 1,04 \times 10^{10}$  anni
- **Famiglia dell' Uranio-235** (abbondanza isotopica = 0.72%)  $\tau = 7.1 \times 10^8$  anni

# La Radioattività

## Le Famiglie Radioattive

Uranio-238

Radon  
→

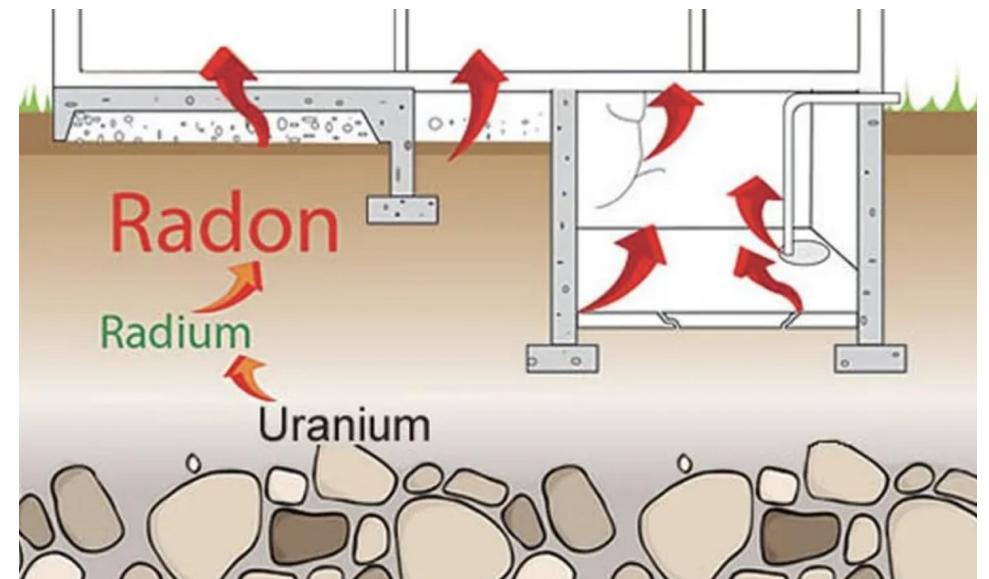


# La Radioattività

## Il Radon

**Il Radon è un gas radioattivo** inodore, incolore ed insapore che deriva dalla catena di decadimento dell'Uranio-238.

La caratteristica del Radon è legata al fatto che i radionuclidi precedenti nella catena radioattiva sono tutti allo stato solido fino al **Radio-226**, che a sua volta decade in **Radon-222** che si trova in natura **allo stato gassoso** per cui può **fuoriuscire dai materiali che lo contengono penetrando all'interno degli edifici**. Per questo vedremo che il Gas Radon deve essere monitorato.



## Interazione con la materia

## Principali modalità di interazione con la materia

### 1 - Interazione delle Particelle cariche:

- Particelle Alfa
- Elettroni

### 2 - Interazione delle Onde Elettromagnetiche: i Fotoni

- L'Effetto Fotoelettrico
- L'Effetto Compton
- La Creazione di Coppie

### 3 - Interazione dei Neutroni

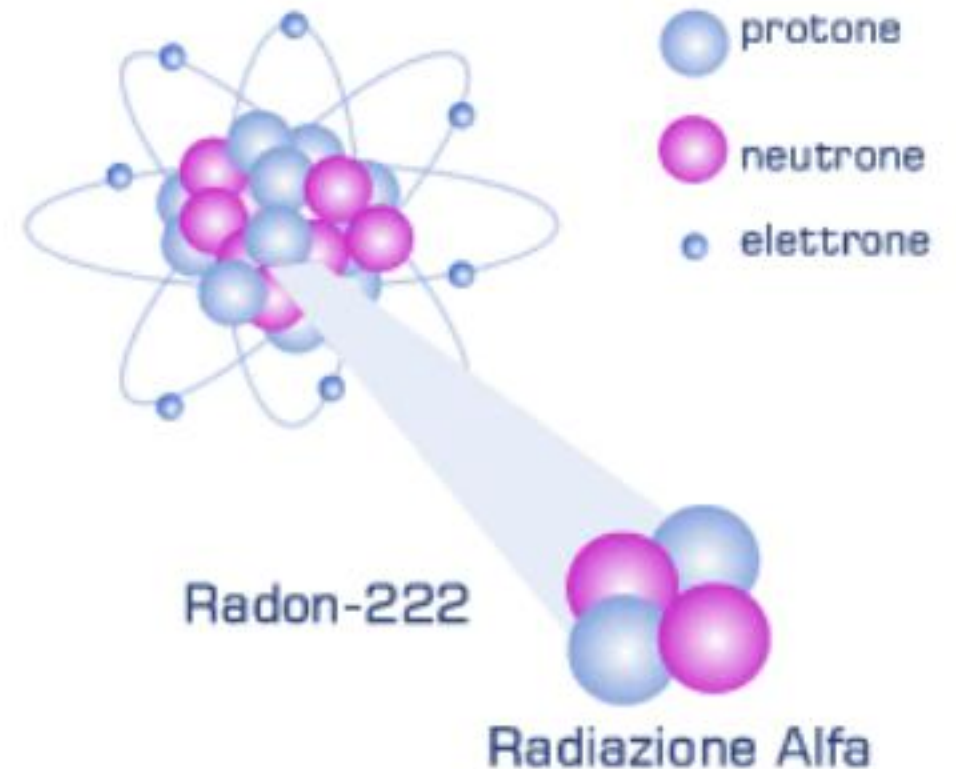


## Le Particelle Alfa

Sono prodotte dal decadimento degli atomi radioattivi e fuoriescono dal loro nucleo.

Sono composte da due neutroni e due protoni, per cui hanno una carica netta positiva data dalla presenza dei protoni.

In pratica è come se fossero un nucleo di Elio, senza la nube degli elettroni che lo circonda.

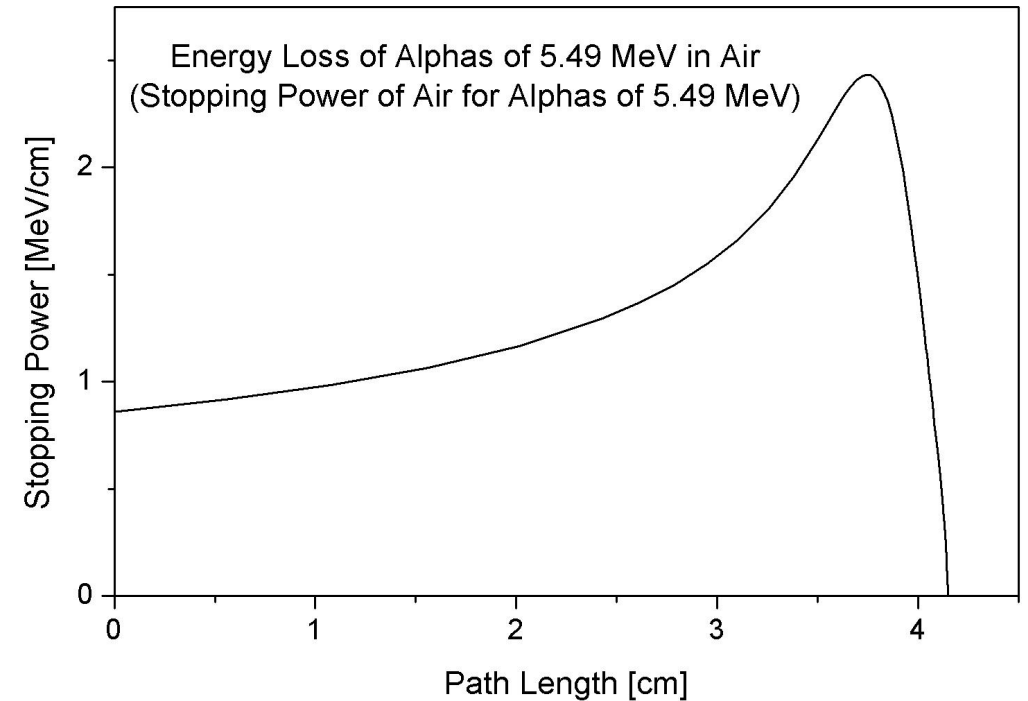


## Le Particelle Alfa

La loro capacità di interazione con la materia è caratterizzata da una perdita di energia dapprima molto bassa, che però aumenta con l'approfondarsi della particella all'interno del mezzo con cui interagisce.

Questo fenomeno di maggior perdita di energia va incontro ad un picco – noto come

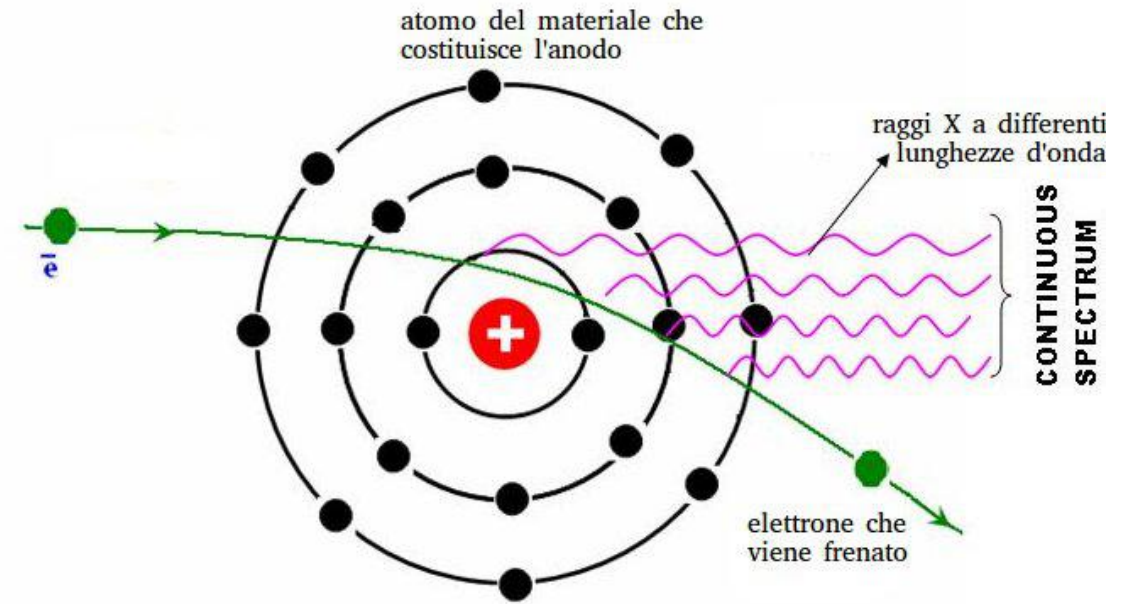
**Picco di Bragg** – per poi andare rapidamente a zero e perdendo tutta l'energia cinetica di cui la particella era dotata.



## Gli Elettroni

Normalmente chiamati anche **Particelle Beta** sono caratterizzati da una metodica di interazione che prende il nome di **Effetto Bremsstrahlung** (effetto di frenamento), caratterizzato da uno **spettro continuo** cui si associano **picchi caratteristici**.

Ogni volta che una particella carica varia la propria accelerazione (centripeta) perde energia per effetto di frenamento con la produzione di Raggi X, in tutte le direzioni e di tutte le lunghezze d'onda.

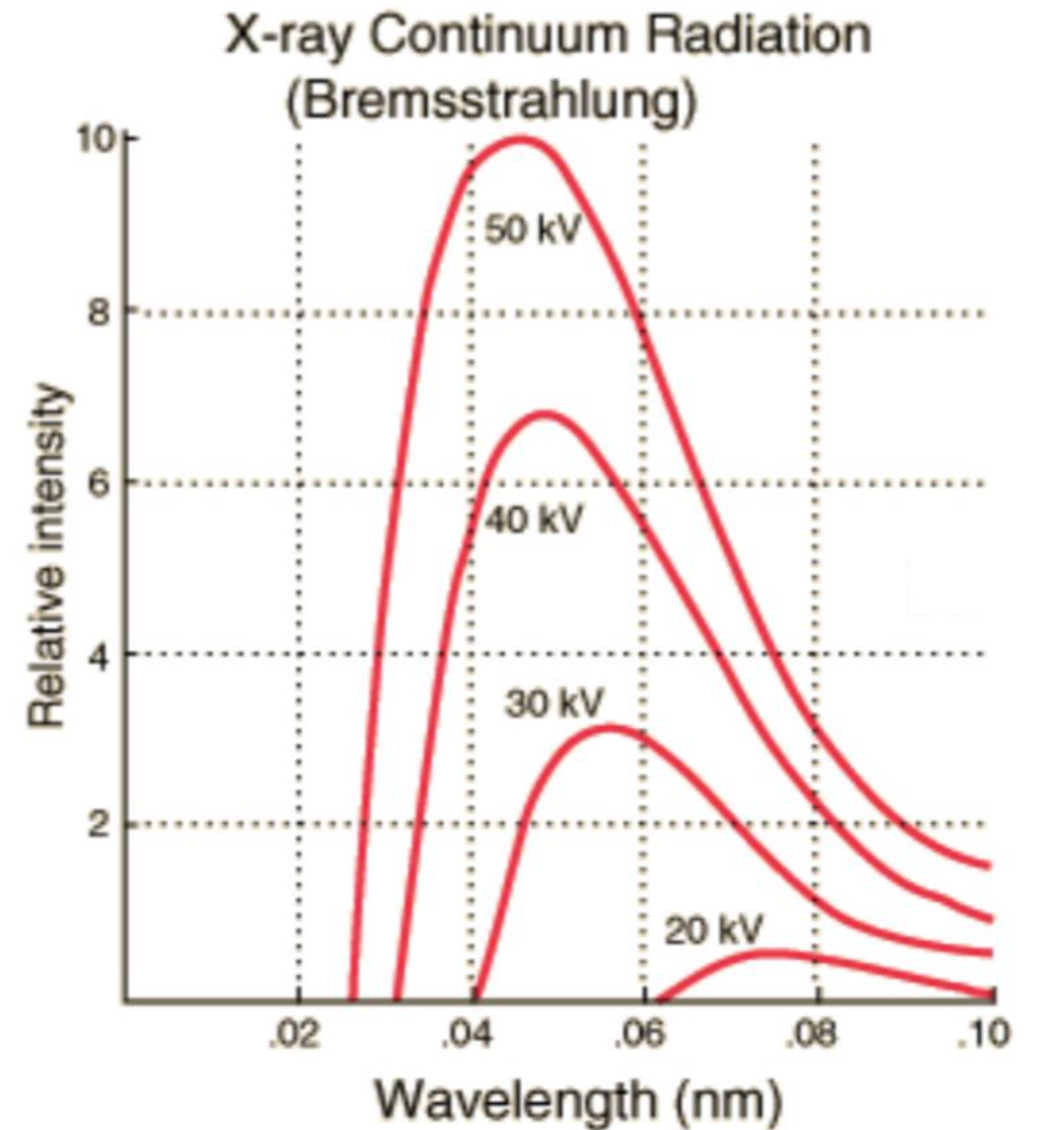


# Interazione con la materia

## Gli Elettroni

Se ipotizziamo di avere un elettrone sottoposto ad una accelerazione per mezzo di una differenza di potenziale che perde improvvisamente tutta la sua energia per Effetto Bremsstrahlung produrrà un Raggio X di energia massima pari a:

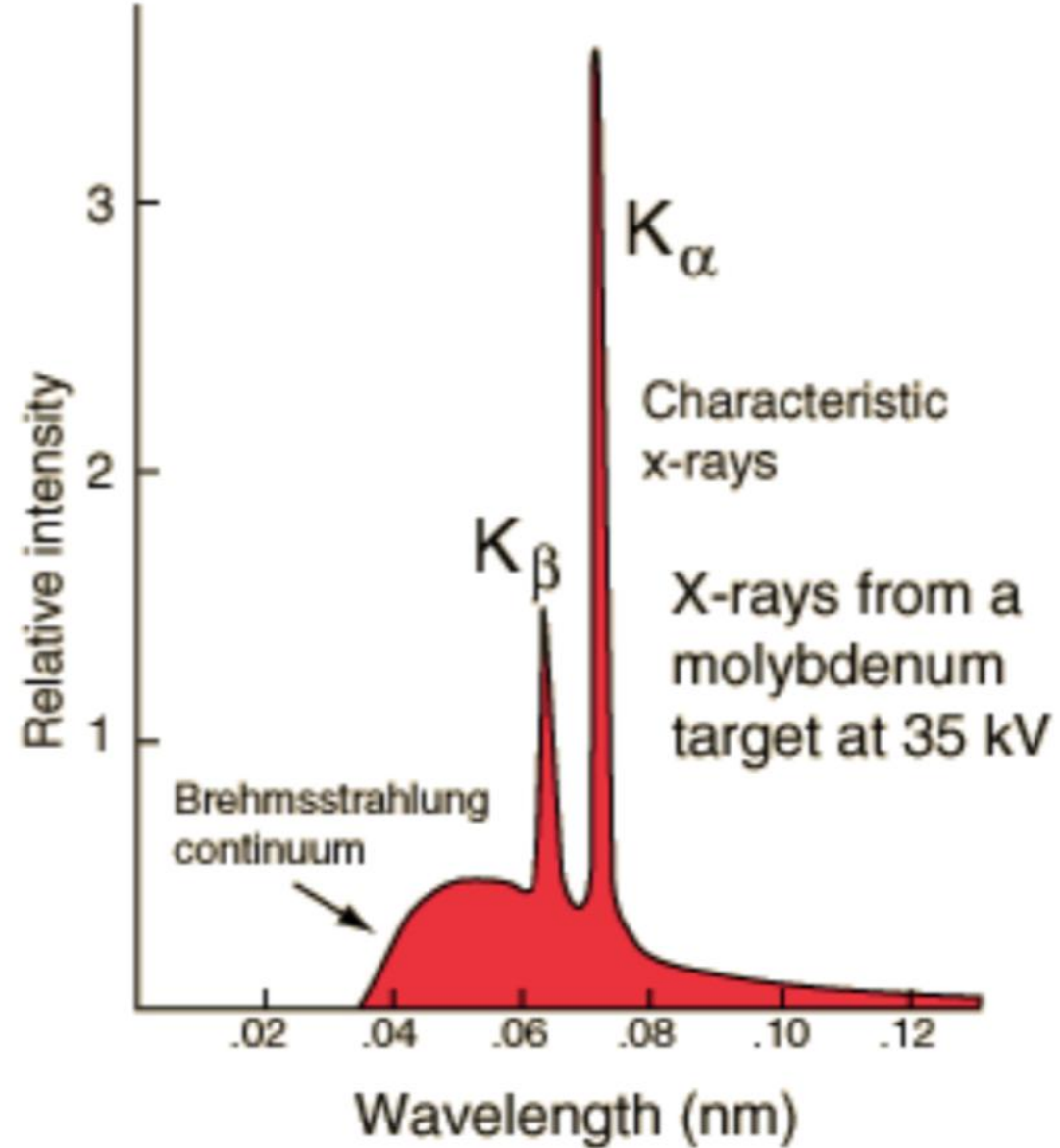
$$E_{R_x} = h\nu_{max} = h \frac{c}{\lambda_{min}}$$



# Interazione con la materia

## Gli Elettroni

Qualora l'elettrone dovesse colpire uno degli elettroni della materia con cui interagisce, scalzerebbe quest'ultimo e si avrebbe una produzione di Rx associati ai salti quantici fatti dagli elettroni che si trovano sugli orbitali più esterni verso l'orbitale libero per il principio di minimizzazione dell'energia, così da avere dei picchi associati alla produzione di Rx con spettro continuo.



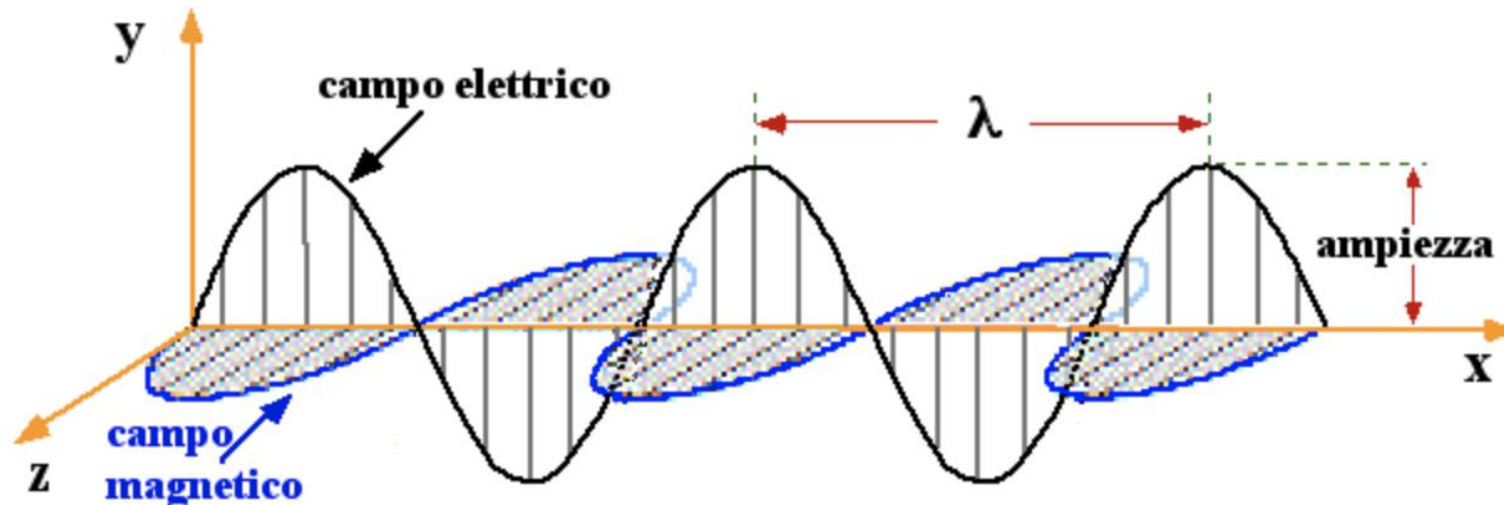
## Le Onde Elettromagnetiche

Le Onde Elettromagnetiche sono delle onde composte da **campo elettrico e campo magnetico variabili** che si propagano secondo la direzione del **Vettore di Pointing**.

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu}$$

Con:  $H$  = campo magnetico nella materia

$\mu$  = permeabilità magnetica





## Le Onde Elettromagnetiche

In generale la propagazione di un'onda elettromagnetica nello spazio è caratterizzata da una funzione d'onda:

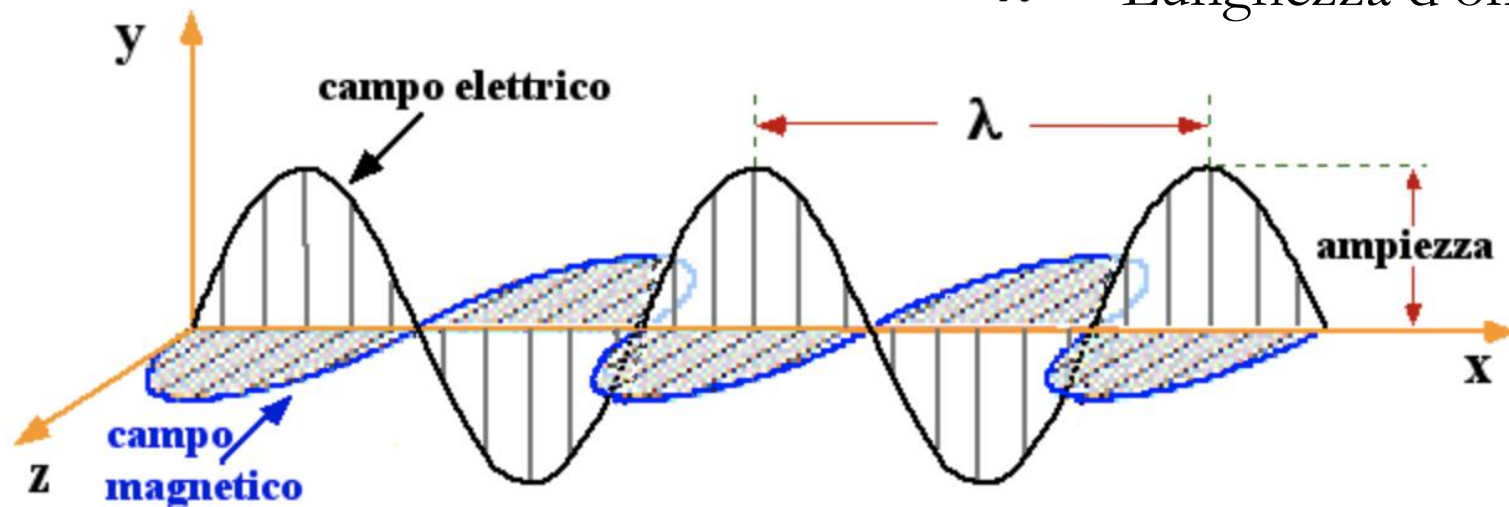
$$\Psi(x,t) = A \cdot e^{\pm j\omega t + kt}$$

$A$  = Ampiezza dell'onda

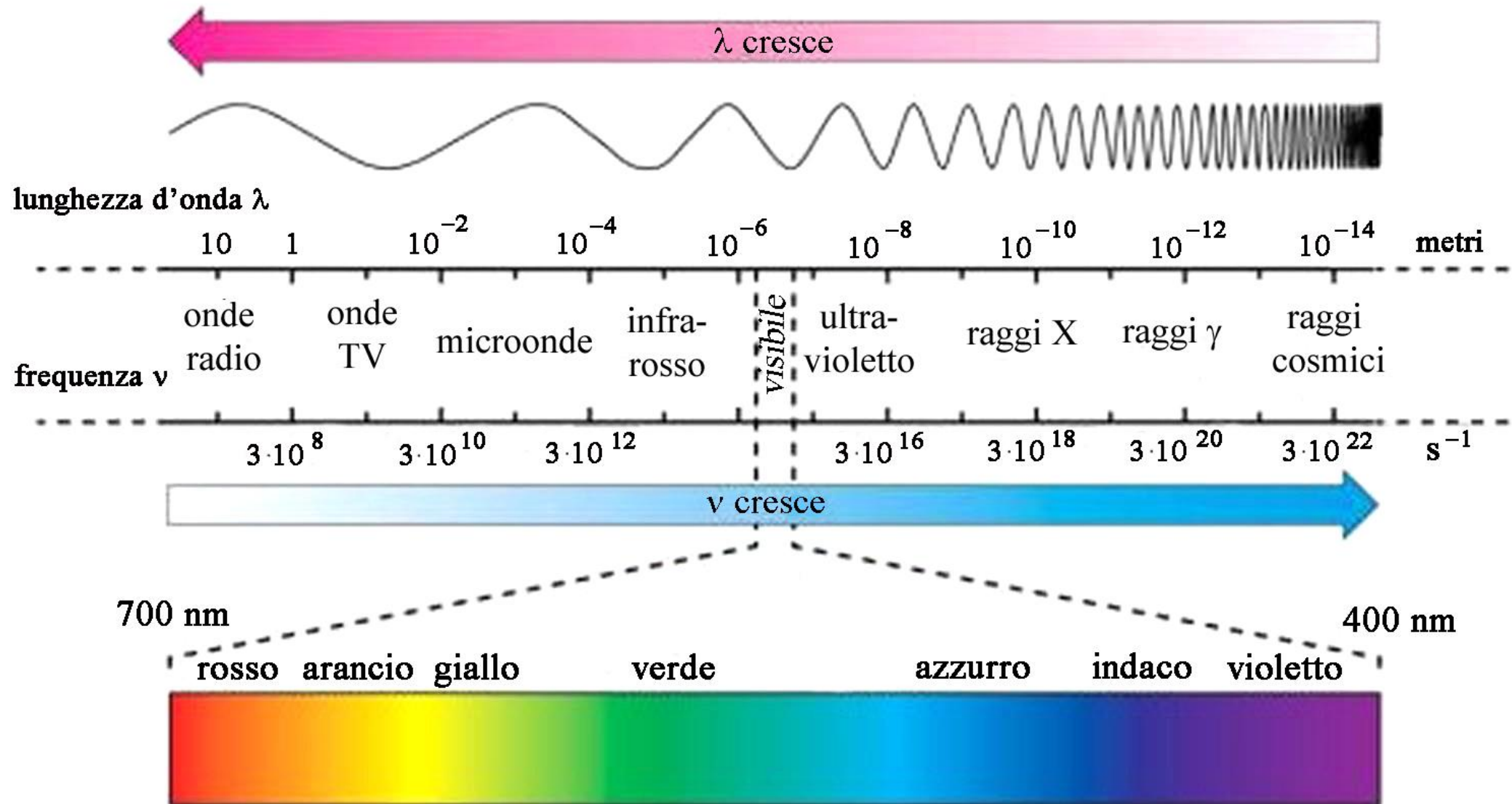
Con:  $\omega$  = Frequenza angolare

$K$  = Vettore d'onda della radiazione

$\lambda$  = Lunghezza d'onda della radiazione



## Le Onde Elettromagnetiche





## Le Onde Elettromagnetiche

Le principali grandezze che legano le suddette grandezze sono:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \omega = 2\pi\nu$$

$\omega$  = frequenza di oscillazione

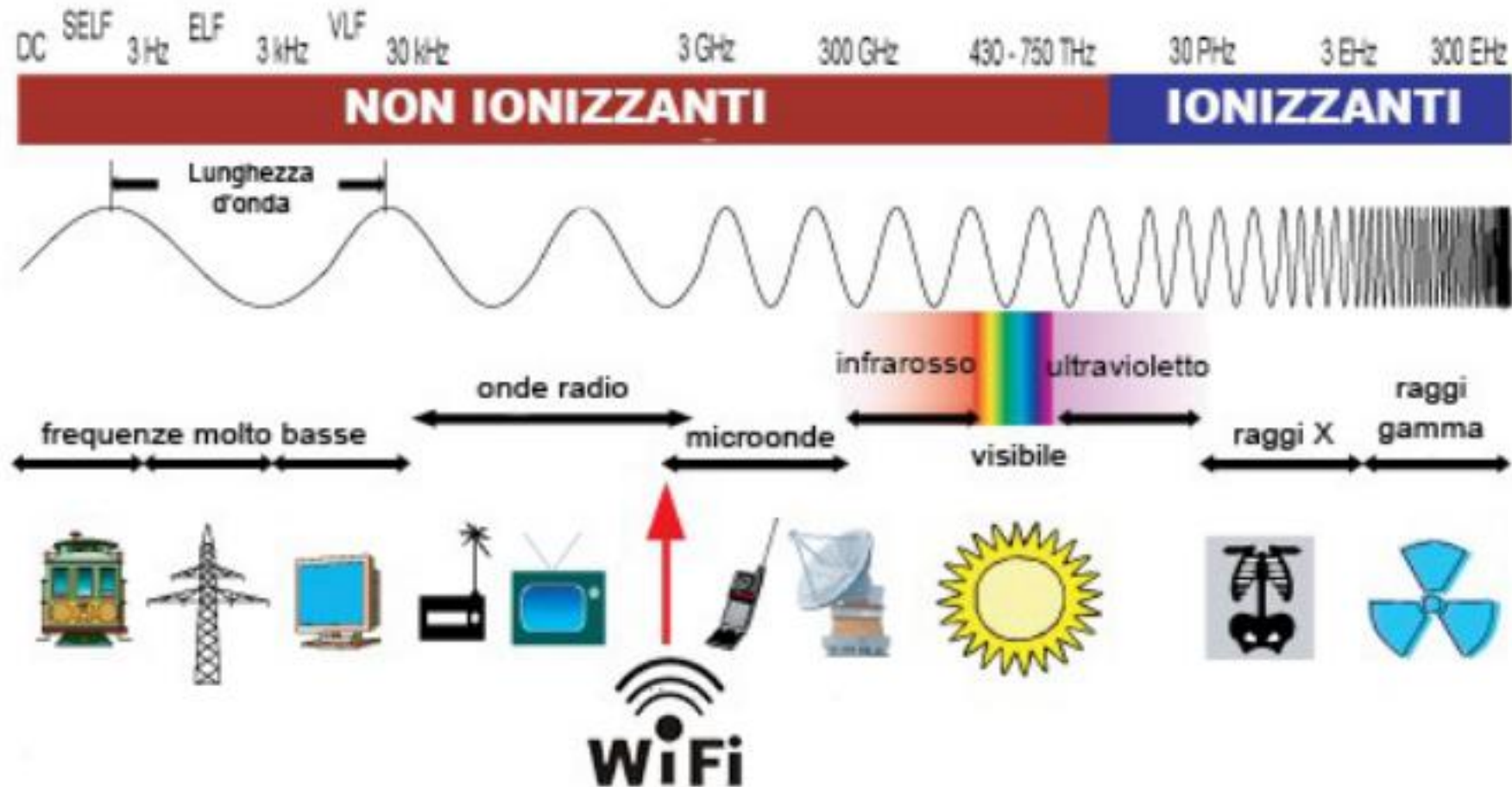
La frequenza di oscillazione è a sua volta legata alla lunghezza d'onda della relazione della velocità della propagazione della radiazione nel vuoto ( $c \approx 3 \cdot 10^8$  m/s) tramite l'equazione:

$$\lambda\nu = c$$

Mentre la relazione che lega l'energia alla frequenza tramite la costante di Planck è:

$$E = h\nu$$

## Lo Spettro Elettromagnetico



Convenzionalmente si definiscono ionizzanti le onde elettromagnetiche che hanno

$$\lambda < 100 \text{ nm}$$

Ovvero:

$$E > 12,40 \text{ eV}$$

## Le Onde Elettromagnetiche: I fotoni

Planck ipotizzò che le radiazioni elettromagnetiche trasportano energia in un modo discontinuo e sotto forma di **Quanti** di una precisa **Energia**, proporzionale alla **Frequenza** della radiazione, chiamati **FOTONI**

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

Formalmente distinguiamo tra:

- **Raggi X**
  - Prodotti da **transizioni degli e<sup>-</sup>** degli orbitali legati all'atomo
  - **Bremsstrahlung**
- **Raggi Gamma**
  - Emessi da **nuclei atomici radioattivi** congiuntamente a particelle
  - **Conversione Interna**

## Le Onde Elettromagnetiche: L'Effetto Fotoelettrico

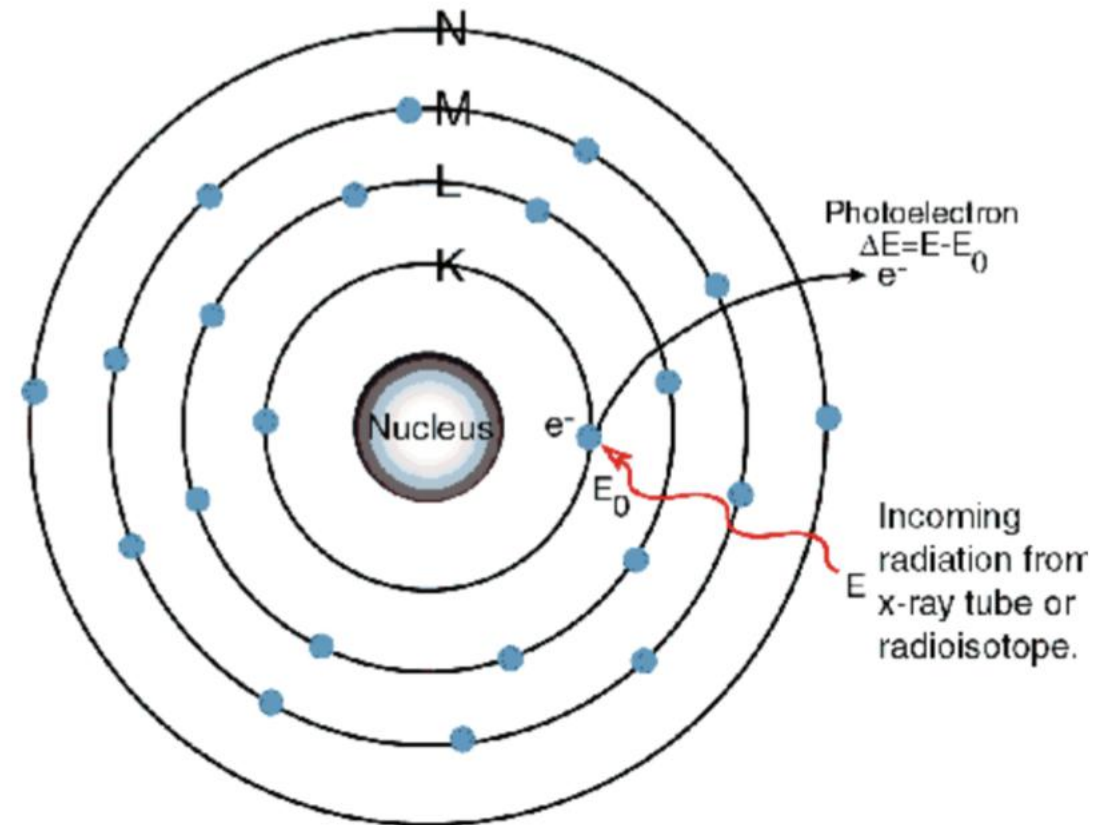
L'Effetto Fotoelettrico rappresenta l'emissione di elettroni da una superficie solitamente metallica, quando questa viene colpita da una radiazione elettromagnetica con una certa frequenza. Pertanto avremo che:

- 1) Sopraggiunge un fotone
- 2) Interagisce con un  $e^-$  orbitale
- 3) Fuoriuscita dell'  $e^-$  con Energia Cinetica

$$E_C = E - E_0$$

$E_0$  è stabilito dalla Legge di Moseley ed è pari a:

$$E_0 = \varphi \approx 13,6 \frac{Z - C_x}{n^2} = [eV]$$



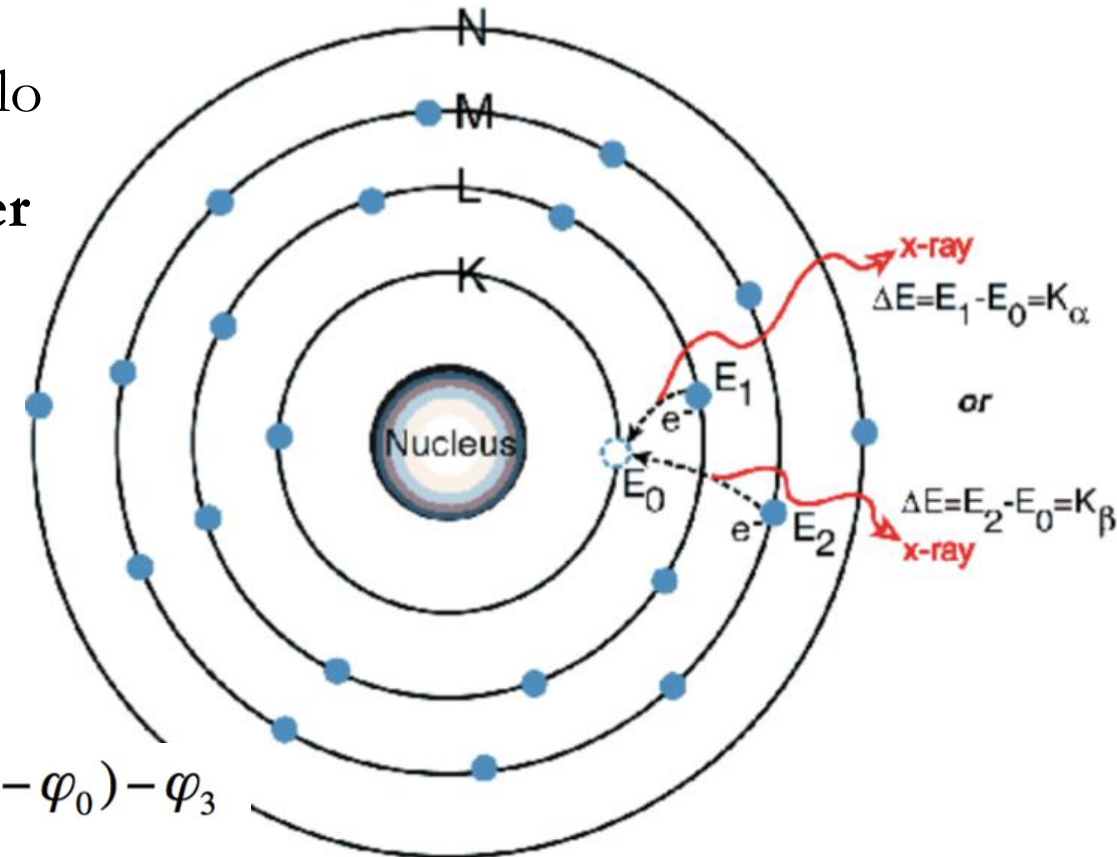
## Le Onde Elettromagnetiche: L'Effetto Fotoelettrico

Se l'interazione riguarda i livelli più profondi, cioè i primi orbitali atomici c'è un riarrangiamento di  $e^-$  con emissione di Raggi X di **Fluorescenza**

Se i Rx così prodotti colpiscono un nuovo  $e^-$  facendolo fuoriuscire questo prende il nome di **Elettrone Auger**

Ovvero:

- 1) Ipotizziamo che sia l' $e^-$  del livello 2 a occupare il livello che si è liberato su 0
- 2) Il Rx prodotto potrà scalzare un  $e^-$  sul livello 3
- 3) L' $e^-$  avrà una Energia Cinetica  $E_C = h\nu - E_3 = (\varphi_2 - \varphi_0) - \varphi_3$



## Le Onde Elettromagnetiche: L'Effetto Fotoelettrico

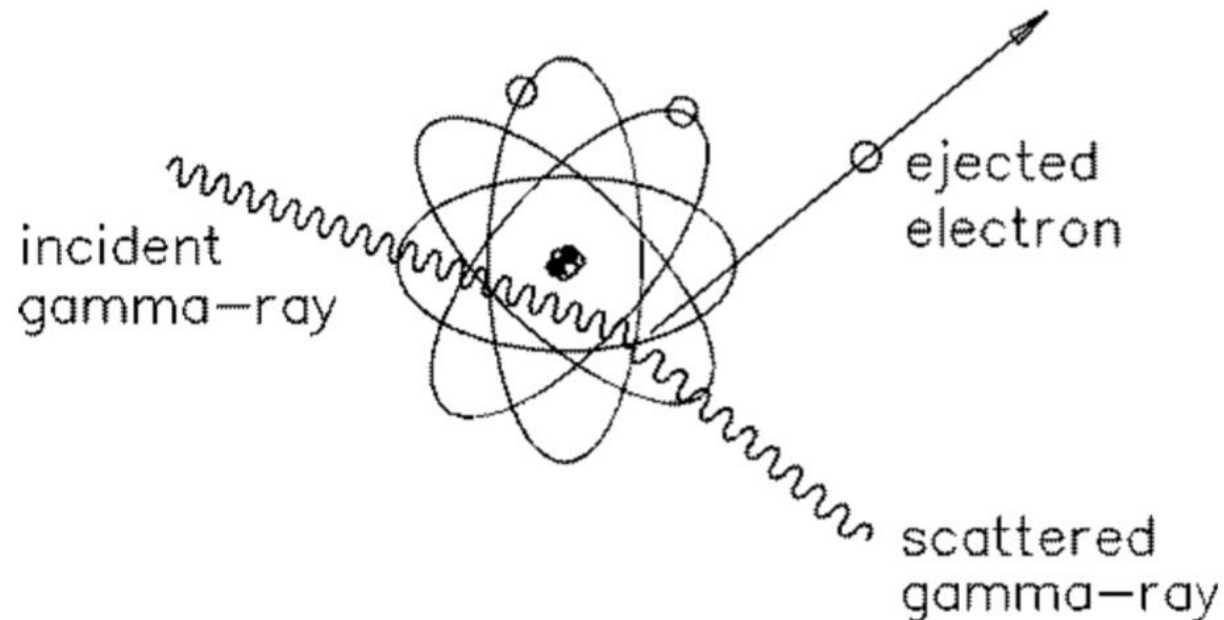
- L'Effetto Fotoelettrico è un effetto di **Assorbimento**
- E' **predominante a basse energie  $E < 0,5 \text{ MeV}$**
- La probabilità **cresce al crescere di  $Z$  ( $\approx Z^5$ )**

Seppure per elementi pesanti resta predominante fino a 4 MeV

- Avviene più probabilmente con gli  $e^-$  del livello K (80%)

## Le Onde Elettromagnetiche: L'Effetto Compton

L'Effetto Compton rappresenta una modalità di diffusione elastica di un fotone su un elettrone atomico. La probabilità maggiore che il fenomeno si verifichi si ha con gli elettroni dei livelli esterni che, vista la bassa energia di legame, possono essere ben approssimato ad elettroni liberi.





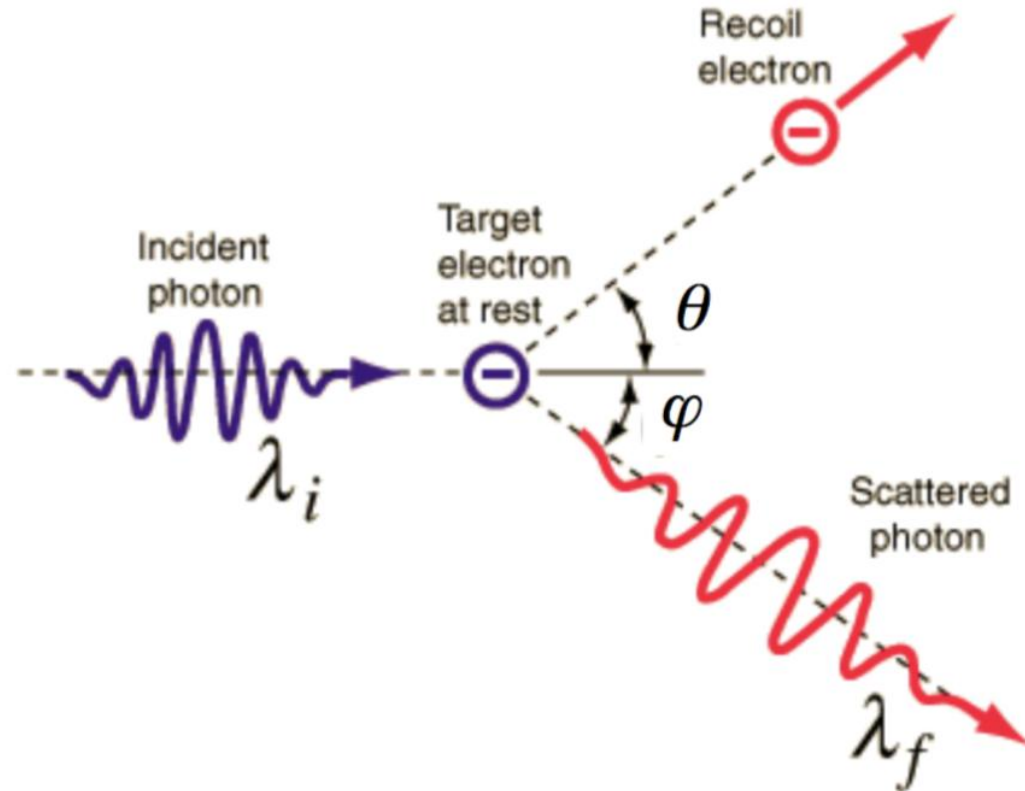
## Le Onde Elettromagnetiche: L'Effetto Compton

Il fotone incidente con Energia  $E_I$  viene diffuso con una energia paria:

$$E_{\gamma_f} = \frac{E_{\gamma_i}}{1 + \left( \frac{E_{\gamma_i}}{m_e c^2} \right) (1 - \cos(\varphi))}$$

Dove:

$\varphi$  = Angolo di diffusione

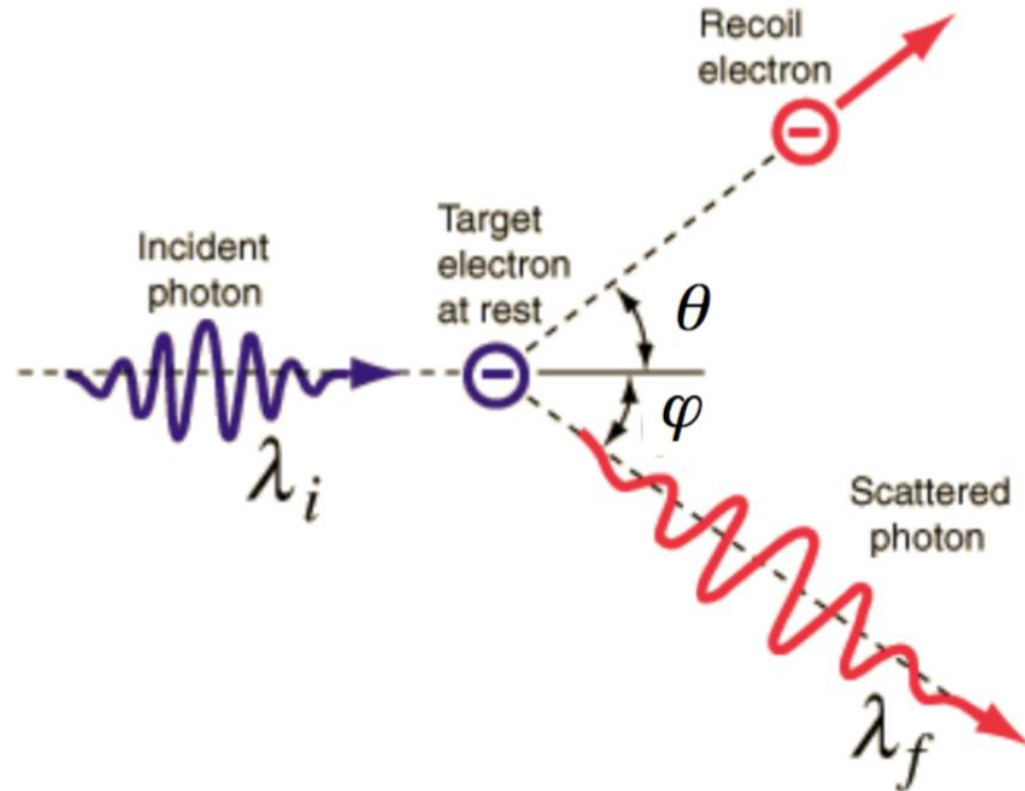




## Le Onde Elettromagnetiche: L'Effetto Compton

L'elettrone acquisisce una Energia Cinetica pari a:

$$E_{C_{e^-}} = \frac{E_{\gamma_i}^2}{E_{\gamma_i}^2 + \left( \frac{m_e c^2}{1 - \cos(\varphi)} \right)} - \varphi =$$
$$= E_{\gamma_i} - E_{\gamma_f} - \varphi$$



## Le Onde Elettromagnetiche: L'Effetto Compton

- L'Effetto Compton è un effetto di **Diffusione Elastica**
- E' **predominante a medie energie**  $0,8 \text{ MeV} < E < 4 \text{ MeV}$
- La probabilità **cresce al crescere di Z** ( $\approx Z/E$ )
- Il **valore massimo di un e<sup>-</sup> Compton** si ha quando il fotone è retrodiffuso

$$E_{C_{e^-}} = E_{\gamma_i} - E_{\gamma_f} \Big|_{\theta=180^\circ} = 0,0242(1 - \cos\theta) \Big|_{\theta=180^\circ} = 0,0482 \text{ MeV}$$

- La frazione diffusa dall'Effetto Compton può andare a **Rafforzare il fascio** nella direzione di attenuazione (**Effetto di Build-Up**)

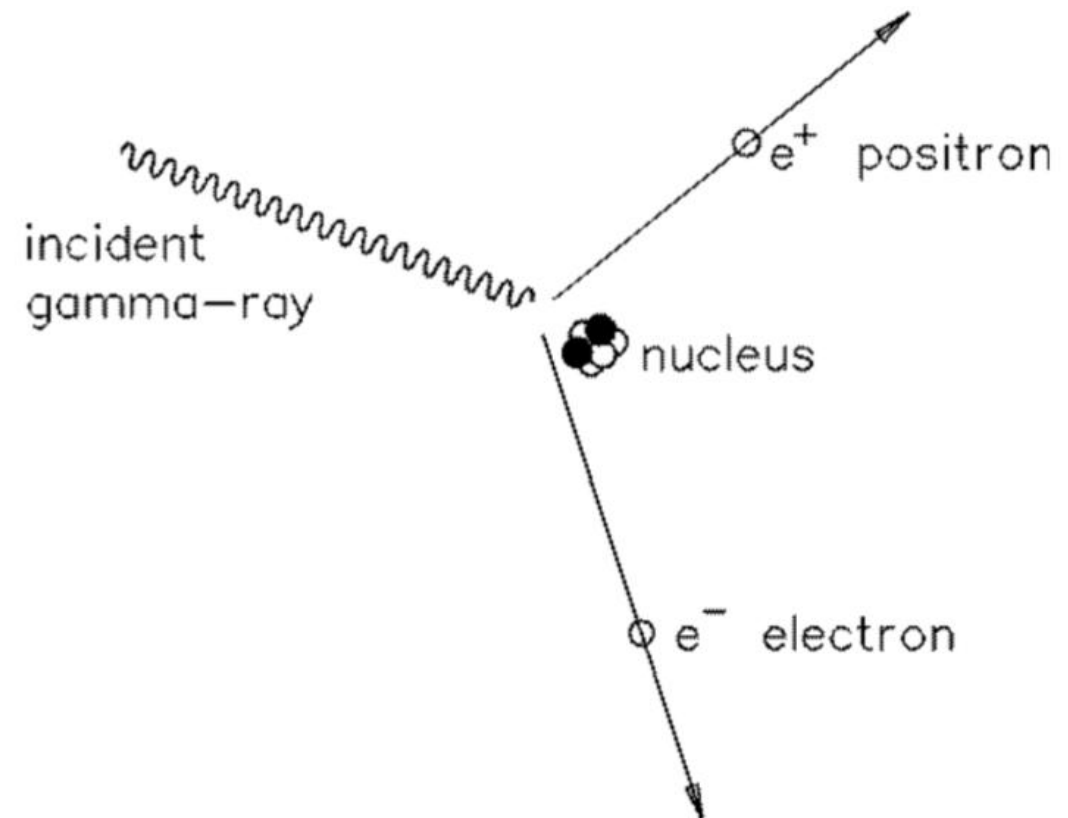
## Le Onde Elettromagnetiche: La Creazione di Coppie

La **Produzione di Coppie** o **Creazione di Coppie Elettrone-Positrone** è un processo di assorbimento in cui un fotone interagisce con la materia convertendo la sua energia in materia ( $e^-$ ) e antimateria ( $e^+$ ).

La relazione di Einstein  $E=mc^2$  ci dice che il processo è a soglia con **Energia**

**Minima pari a 1,022 MeV**

$$\begin{aligned} E_{C_{e^+}} + E_{C_{e^-}} &= E_{\gamma} - 2m_e c^2 = \\ &= h\nu - 1,02 \text{ MeV} \end{aligned}$$



## Le Onde Elettromagnetiche: La Creazione di Coppie

- L'Effetto Compton è un effetto di **Assorbimento**
- E' **predominante a alte energie  $E > 5 \text{ MeV}$**
- La probabilità **cresce al crescere di  $Z$  ( $\approx Z^2$ )**
- La produzione è a soglia con **energia minima del fotone incidente pari a  $1,022 \text{ MeV}$**
- Il Positrone prodotto va incontro ad **ANNICHILAZIONE** con il primo elettrone libero che trova producendo **due fotoni antiparalleli di energia pari a  $0,511 \text{ MeV}$**

## Le Onde Elettromagnetiche: probabilità di interazioni

Energia del fotone	Fotoelettrico	Compton	Coppie	
10 keV	95%	5%	0%	
25 keV	60%	40%	0%	mammografia
60 keV	20%	80%	0%	
120 keV	5%	95%	0%	diagnostica
4 MeV	1%	70%	30%	
10 MeV	0,001%	60%	40%	radioterapia
24 MeV	0,0000001%	10%	90%	

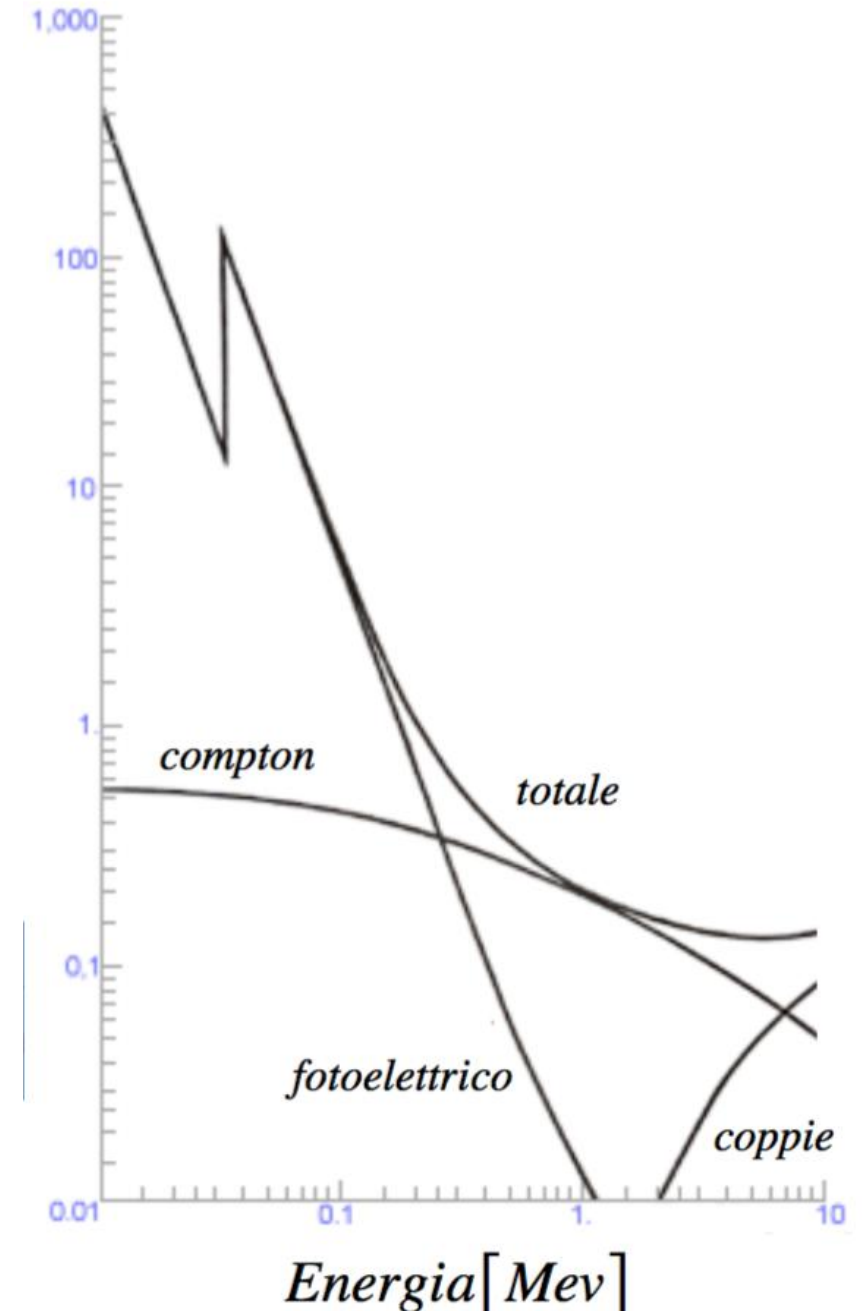
# Interazione con la materia

## La Sezione d'Urto

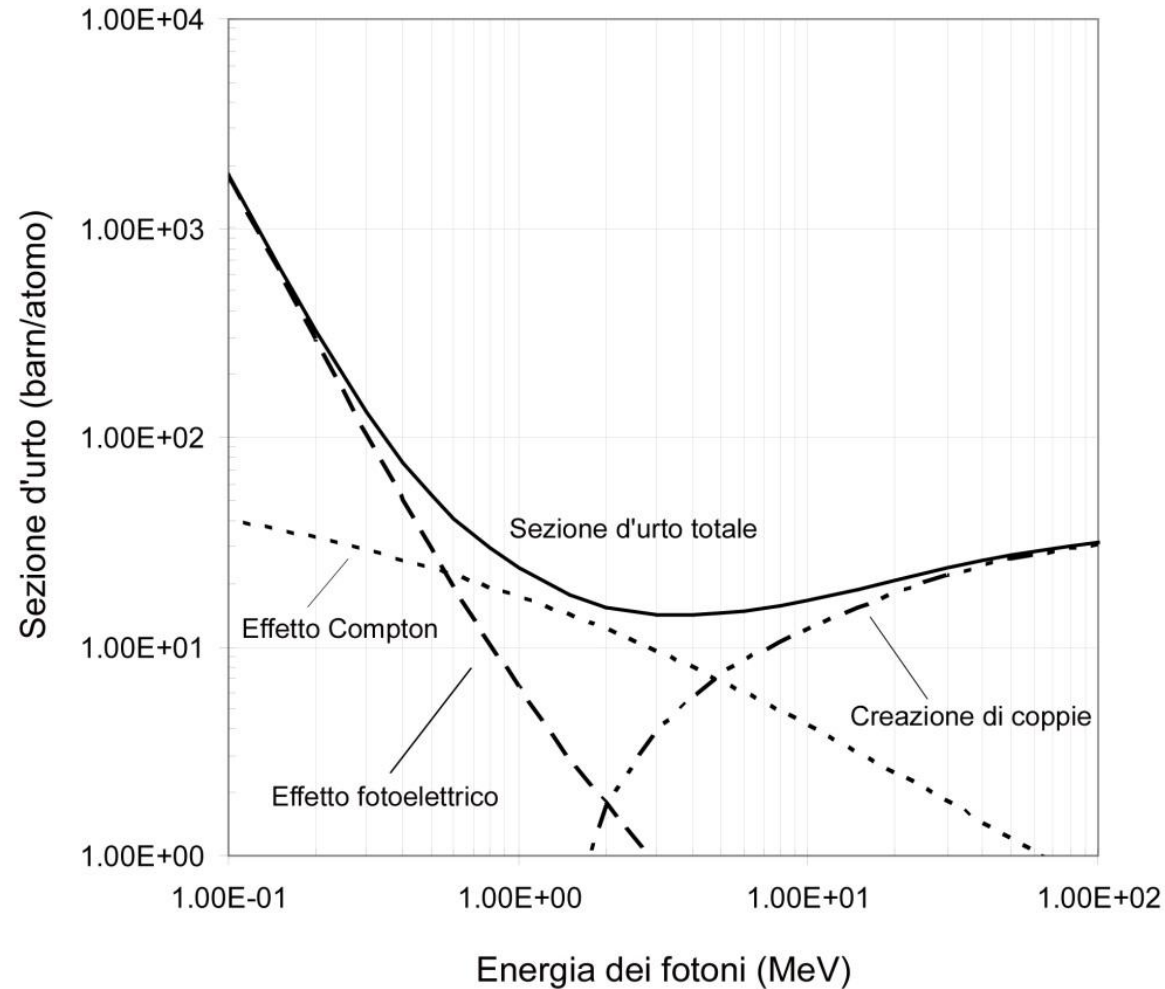
L'involuppo dei 3 effetti da l'andamento della probabilità di interazione con la materia

Il parametro che descrive la probabilità di interazione con la materia prende il nome di SEZIONE D'URTO ed è pari alla somma delle probabilità che il singolo tipo di evento si verifichi per una data energia.

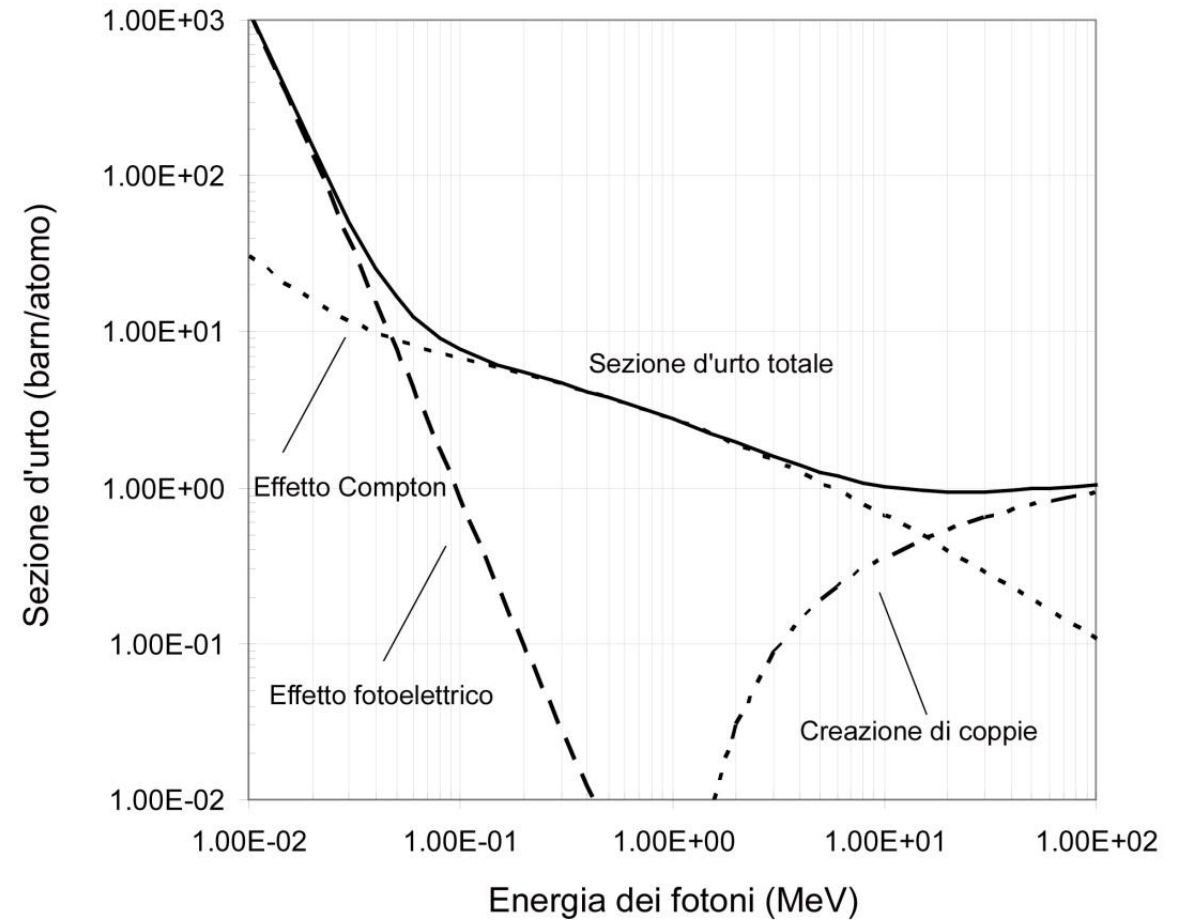
$$\sigma_{tot} = \sigma_{fot} + \sigma_{com} + \sigma_{cop}$$



## La Sezione d'Urto è funzione del materiale



Sezione d'urto su piombo ( $Z=82$ ).



Sezione d'urto su alluminio ( $Z=13$ ).

## I neutroni

- **Neutroni Relativistici**

$$E > 10 \text{ MeV}$$

- **Neutroni Veloci**

$$10 \text{ keV} < E < 10 \text{ MeV}$$

- **Neutroni Intermedi (o di risonanza)**

$$0,5 \text{ eV} < E < 10 \text{ keV}$$

- **Neutroni Termici**

$$E = 0,025 \text{ eV}$$

Neutroni rallentati in modo da essere in equilibrio termico con la materia, hanno velocità comparabile alle molecole dei gas.



## I neutroni: modalità di interazione con la materia

### 1. Reazioni Nucleari per neutroni relativistici

- Per  $9 < E < 20$  Mev predominante la reazione  $(n,2n)$
- Ad Energie maggiori di verificano fenomeni complessi come la Demolizione del nucleo, con conseguente emissione di frammenti.

### 2. Diffusione Elastica e Anelastica per Neutroni Veloci

Non avendo carica i neutroni non interagiscono con il campo elettrico dei nuclei, quindi possono avvicinarsi causando interazioni considerabili come **urti**.

- **Elastici:** quando si conserva l'energia cinetica del sistema (es:  $n \longrightarrow {}^1\text{H}$ )
- **Anelastici:** quando l'Energia cinetica de sistema neutrone-nucleo non si conserva

## I neutroni: modalità di interazione con la materia

### 3. Assorbimento per Risonanza dei Neutroni Intermedi

Quando il neutrone ha energia esattamente uguale a quella di uno dei livelli energetici nucleari della sostanza assorbente. La probabilità di essere assorbito dal nucleo è molto maggiore rispetto ad un neutrone con energia leggermente più alta o più bassa.

### 4. Cattura neutronica per Neutroni Termici

Quando l'energia è dell'ordine delle energie termiche il neutrone può essere catturato dal nucleo. C'è la formazione di un nucleo composto, che quindi possiede un eccesso di energia che sarà liberato con emissione di Gamma, di un Protone e di una Alfa.

**Reazione (n,  $\gamma$ )**

**Reazione (n, p)**

Nel caso di nuclei leggeri

**Reazione (n,  $\alpha$ )**

Nel caso di Boro e Litio

## I neutroni

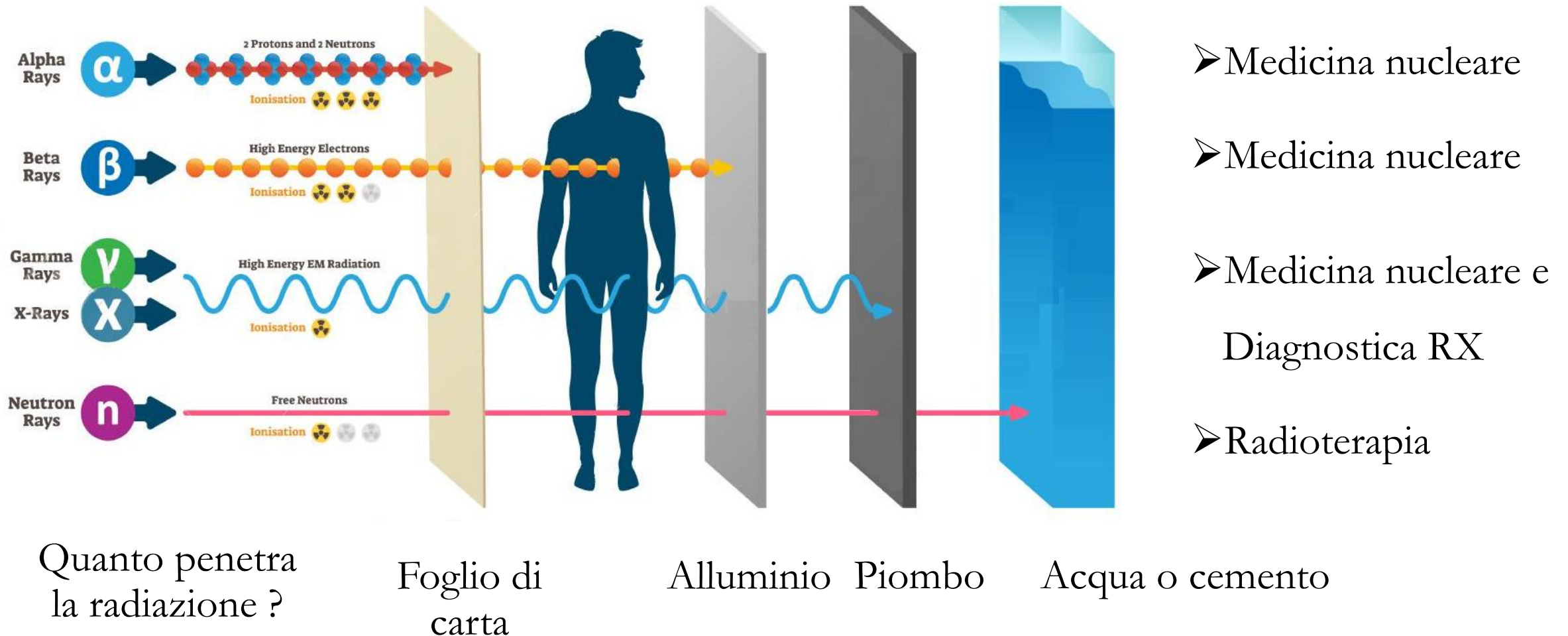
I neutroni veloci e relativistici per energie inferiori a 30 MeV sono biologicamente molto rilevanti dal momento che il **corpo umano è composto per circa 2/3 da Idrogeno.**

Difatti nell'interazione con l'idrogeno l'**energia persa da un neutrone è all'incirca pari a 2/3 dell'energia del neutrone** stesso con conseguenti reazioni:



A ciò si aggiunge l'effetto derivante dalla radiazione emessa dagli ulteriori materiali colpiti dai campi neutronici con conseguente **Attivazione dei materiali !**

## Tipologia de radiazione e potere di penetrazione



# Apparecchiature RX

# Apparecchiature RX

## Schema di principio di una sala contenente un'apparecchiatura Rx

1 – Tubo Generatore di Raggi X

Cuffia

Anodo – Catodo ( filamento )

Olio

Dispositivi limitatori

2 – Alimentazione

3 – Tavolo di Comando

Tensione ( $kV_p$ )

Corrente del tubo (mA)

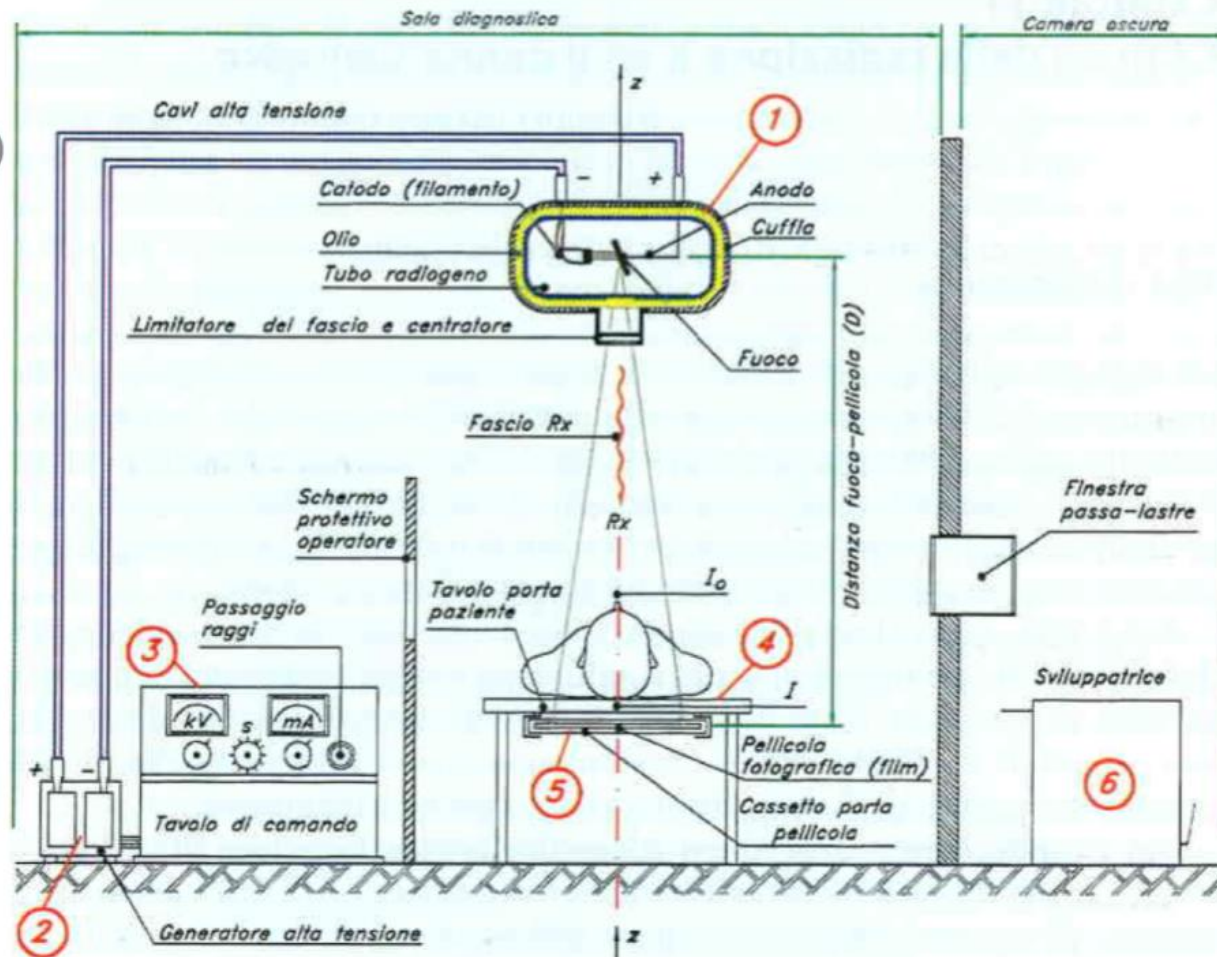
Tempo di Esposizione (s)

4 – Tavolo porta paziente

5 – Rilevatore di radiazioni

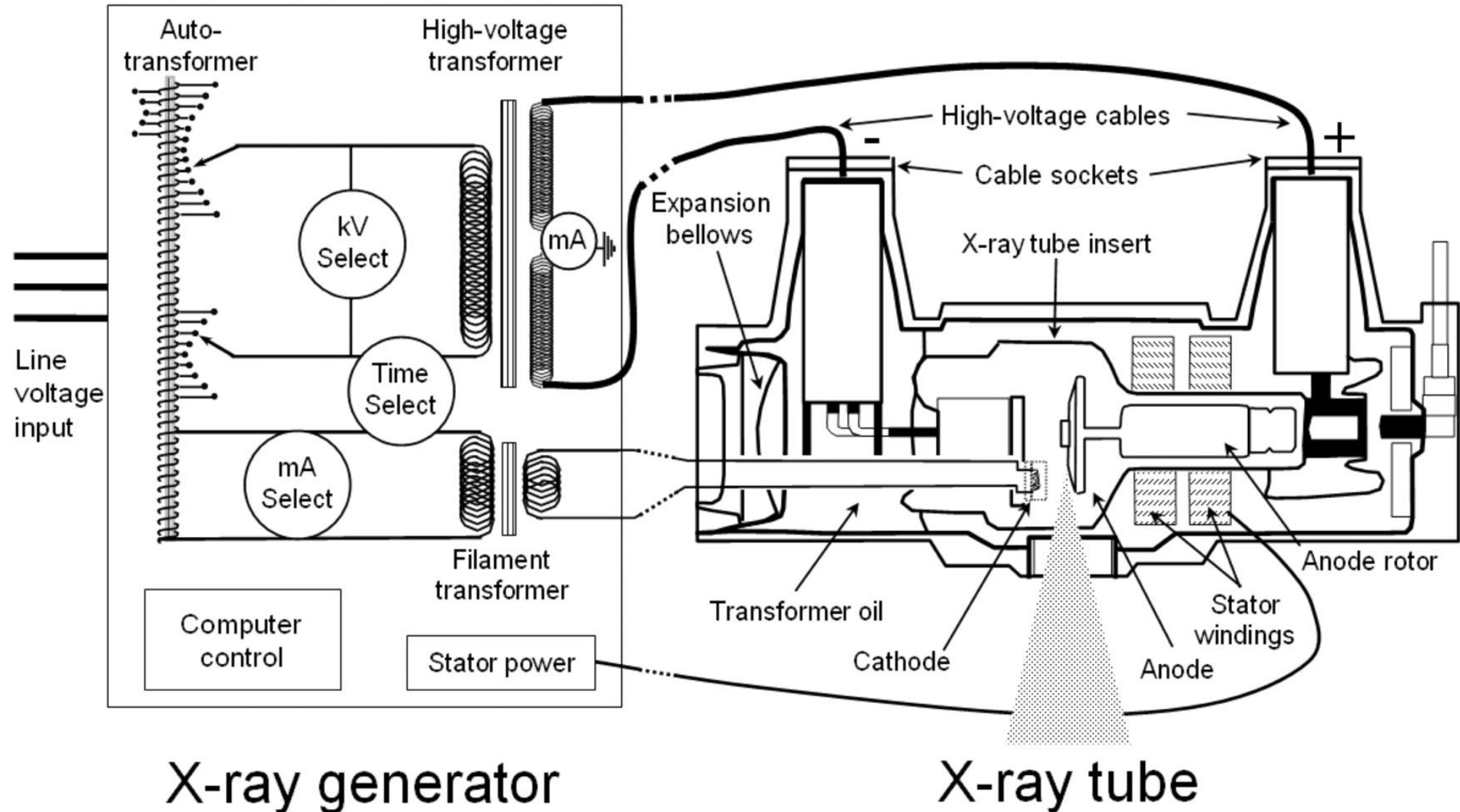
Pellicola fotografica

6 – Sviluppatrice



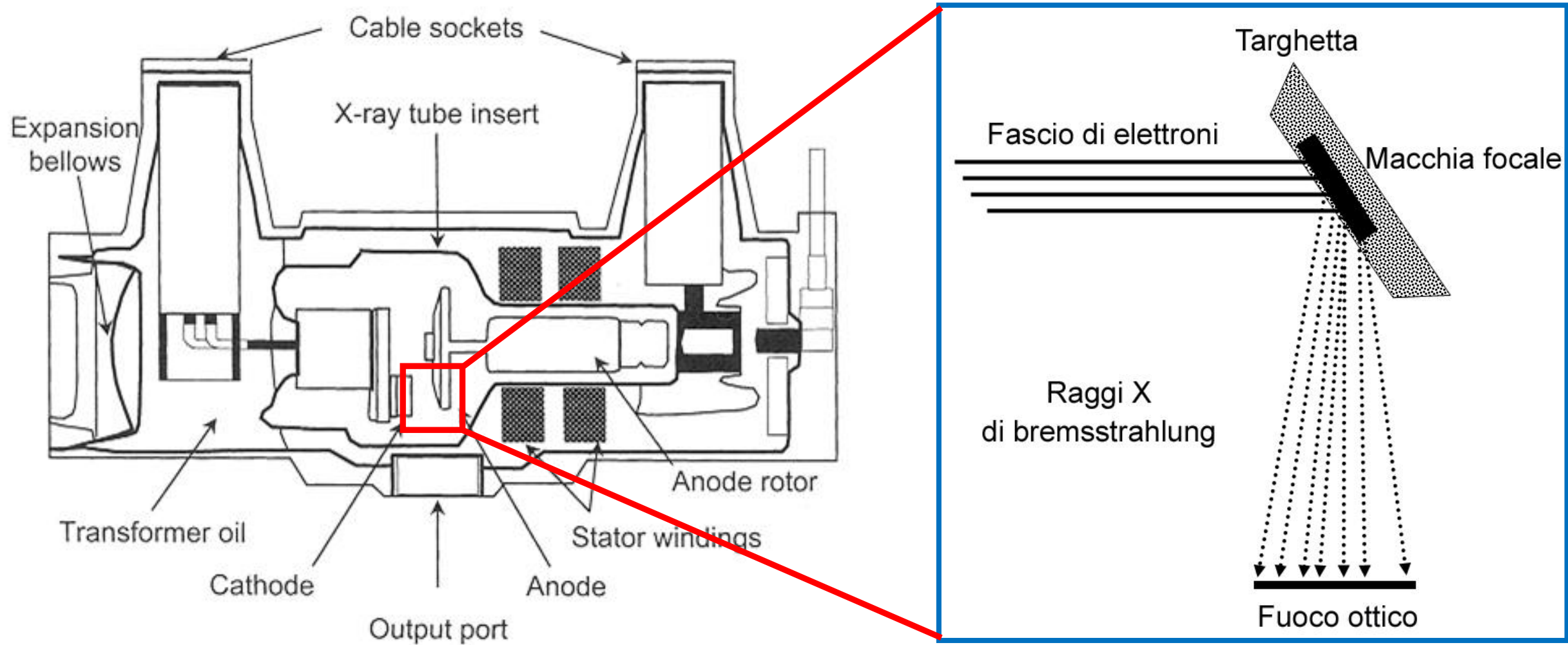
# Apparecchiature RX

## Schema di principio di una apparecchiatura Rx



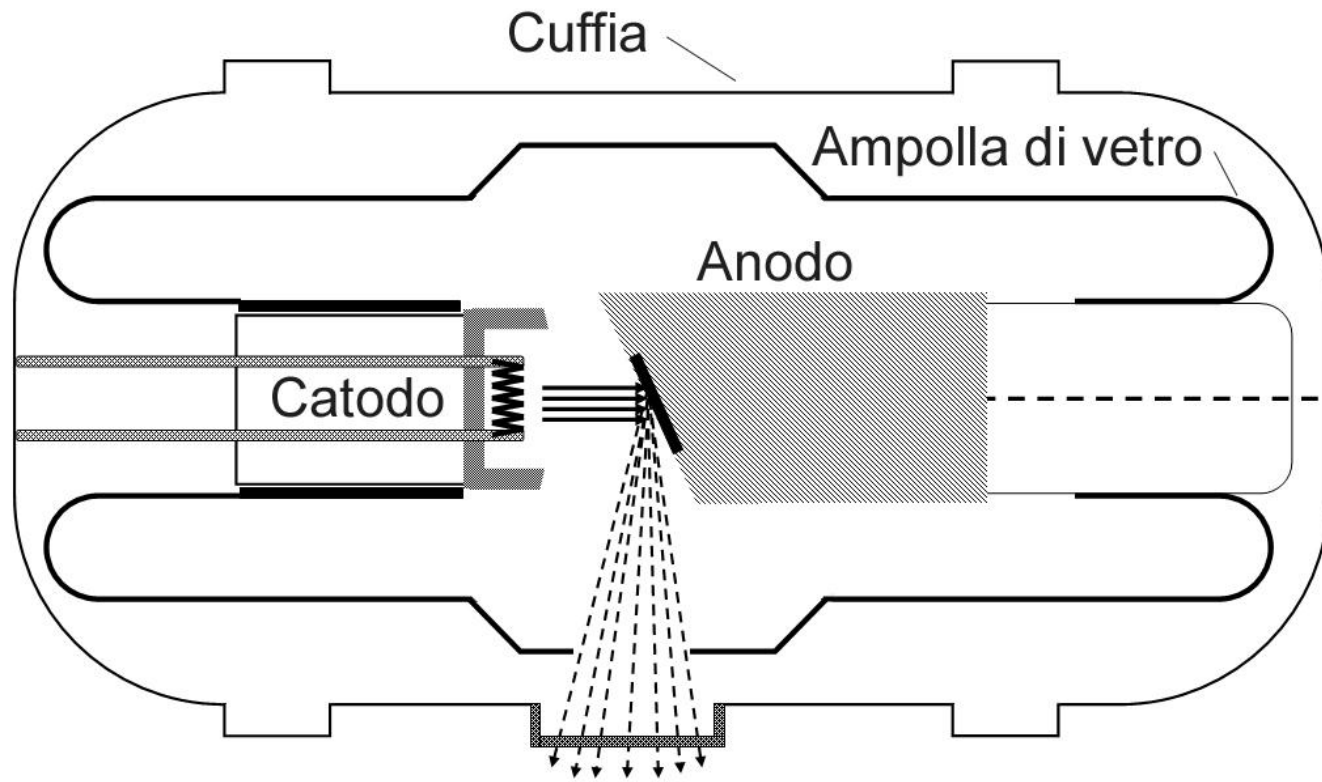


## Produzione dei Raggi X

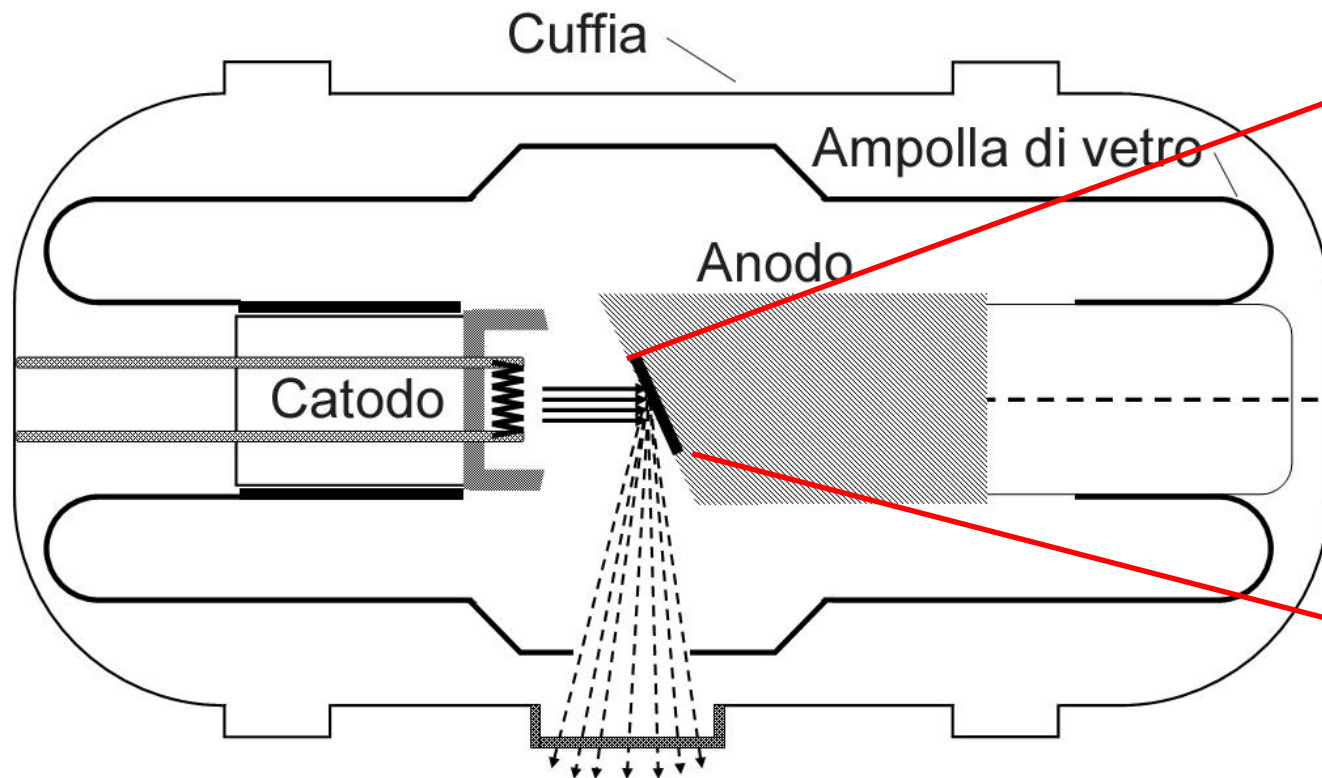




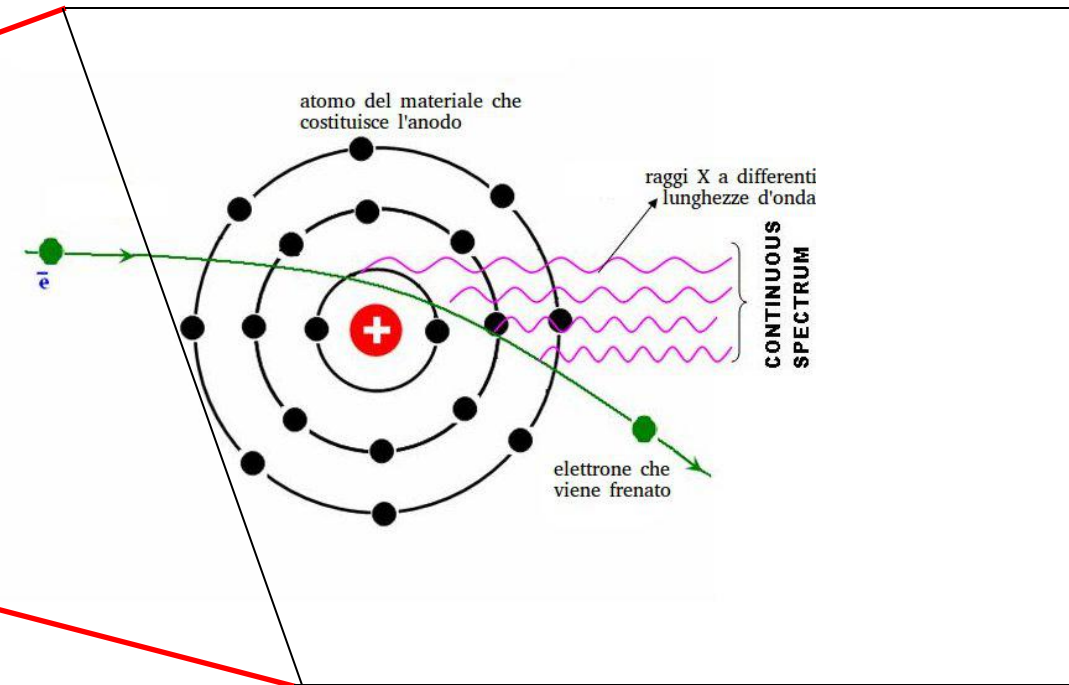
## Elementi costituenti del Tubo Rx



## Principio di funzionamento del Tubo Rx



## Ingrandimento dell'Anodo



Per un fascio di elettroni che incide su un bersaglio di un certo spessore la frazione  $F$  dell'energia iniziale che viene convertita in Rx è approssimativamente pari a:  $F \sim 7 \cdot 10^{-4} Z E_C$

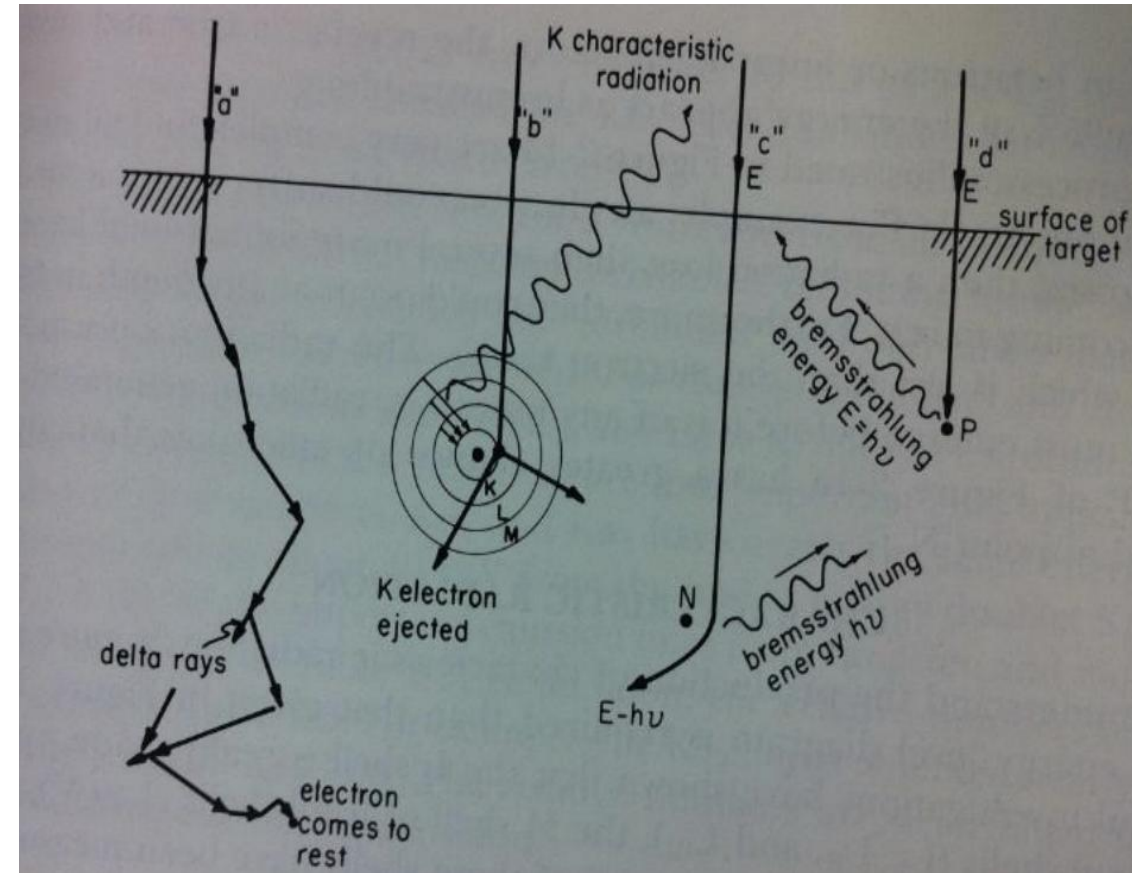
## Possibili interazioni dell'elettrone sull'Anodo

a) l'elettrone perde progressivamente energia per eventi di ionizzazione (ed eccitazione) senza irradiare (collisioni). Per energie di circa 100 keV rappresenta il **99% di conversione energetica**.

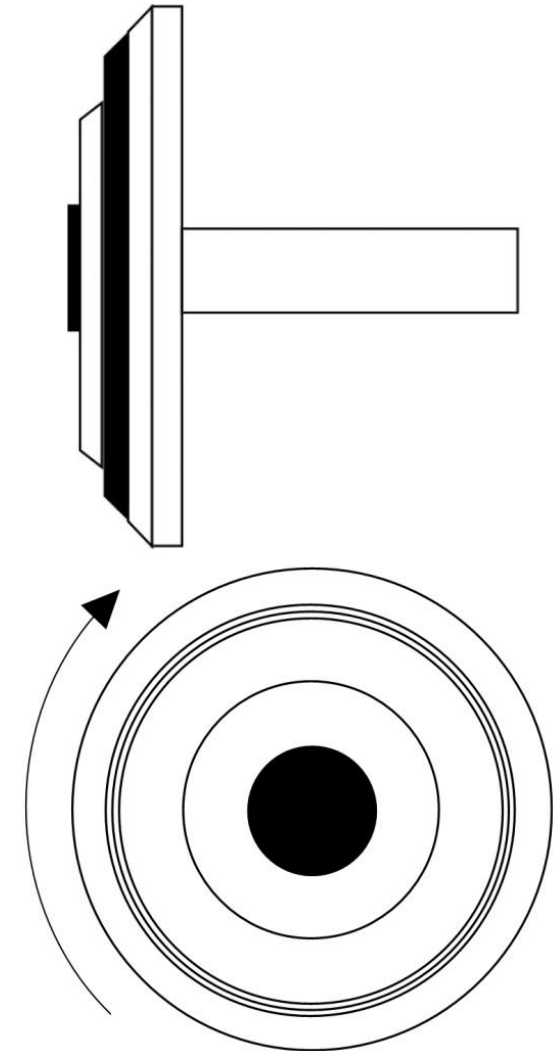
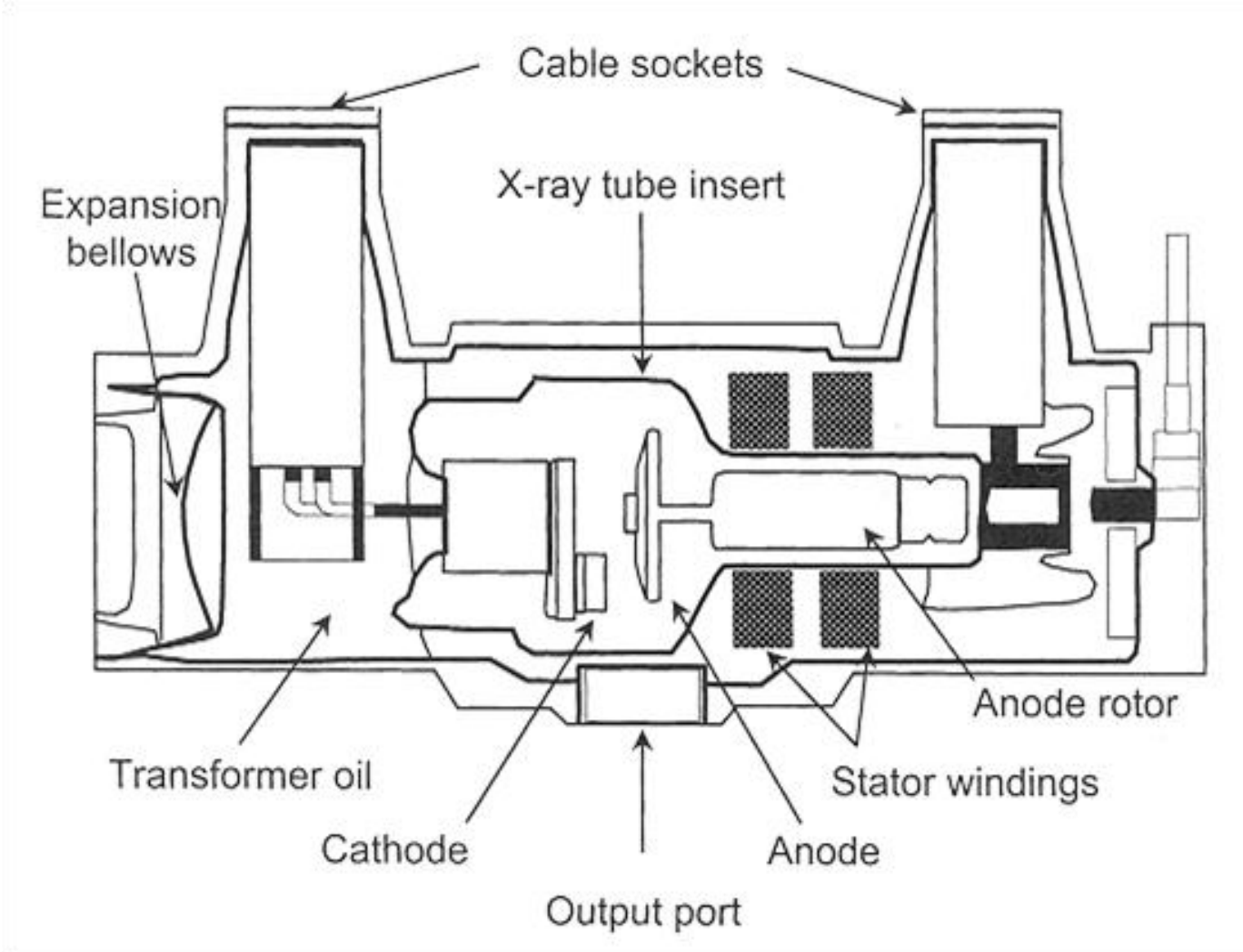
b) L'elettrone interagisce con un elettrone del livello K del tungsteno (60 keV)

c) L'elettrone subisce frenamento per effetto **Bremsstrahlung**

d) L'evento raro in cui l'elettrone viene arrestato dal nucleo per impatto diretto emettendo un singolo fotone di energia massima pari a  $(e \times V)$



## La composizione dell' Anodo Rotante

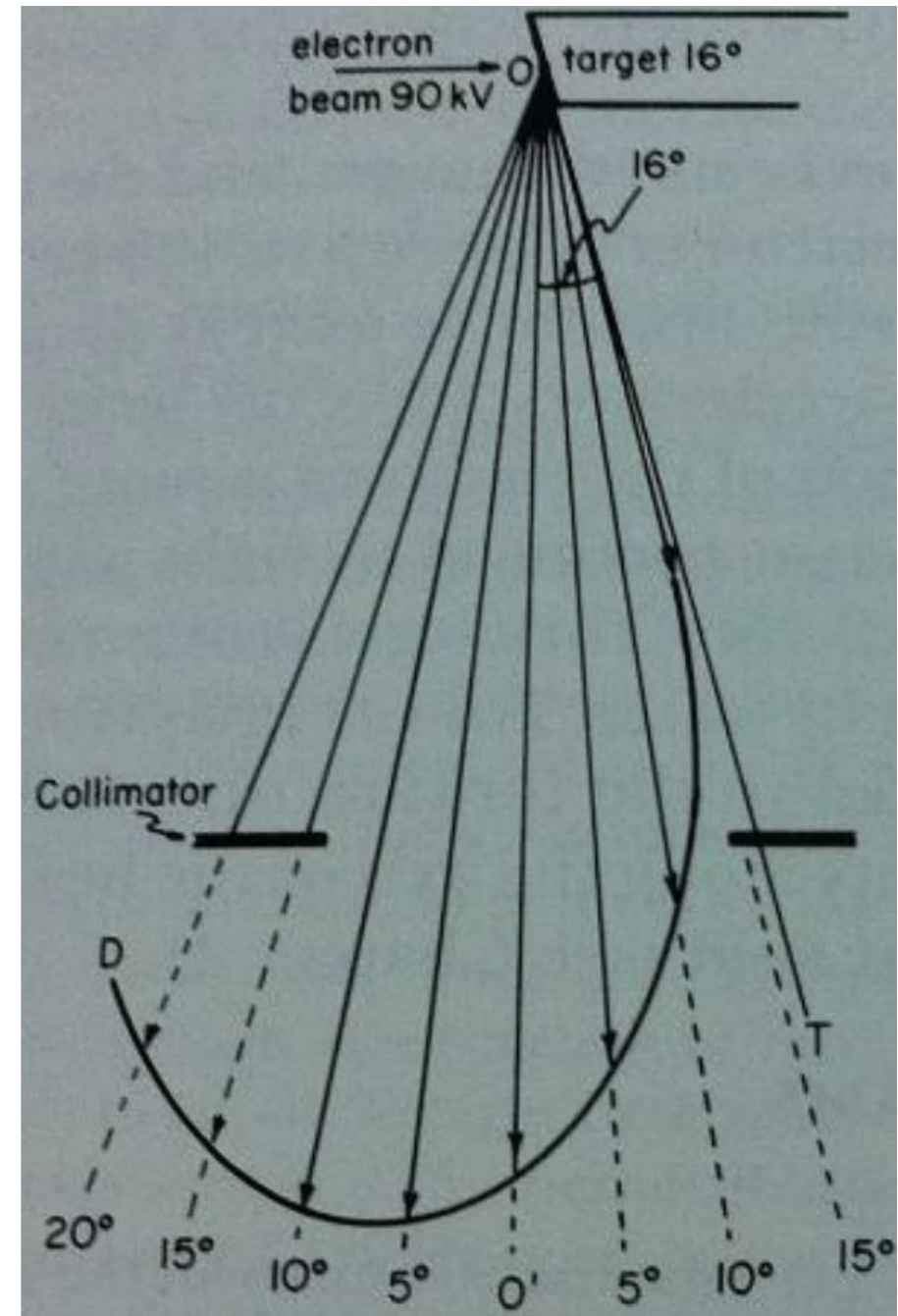




# Apparecchiature RX

## La distribuzione dei Rx

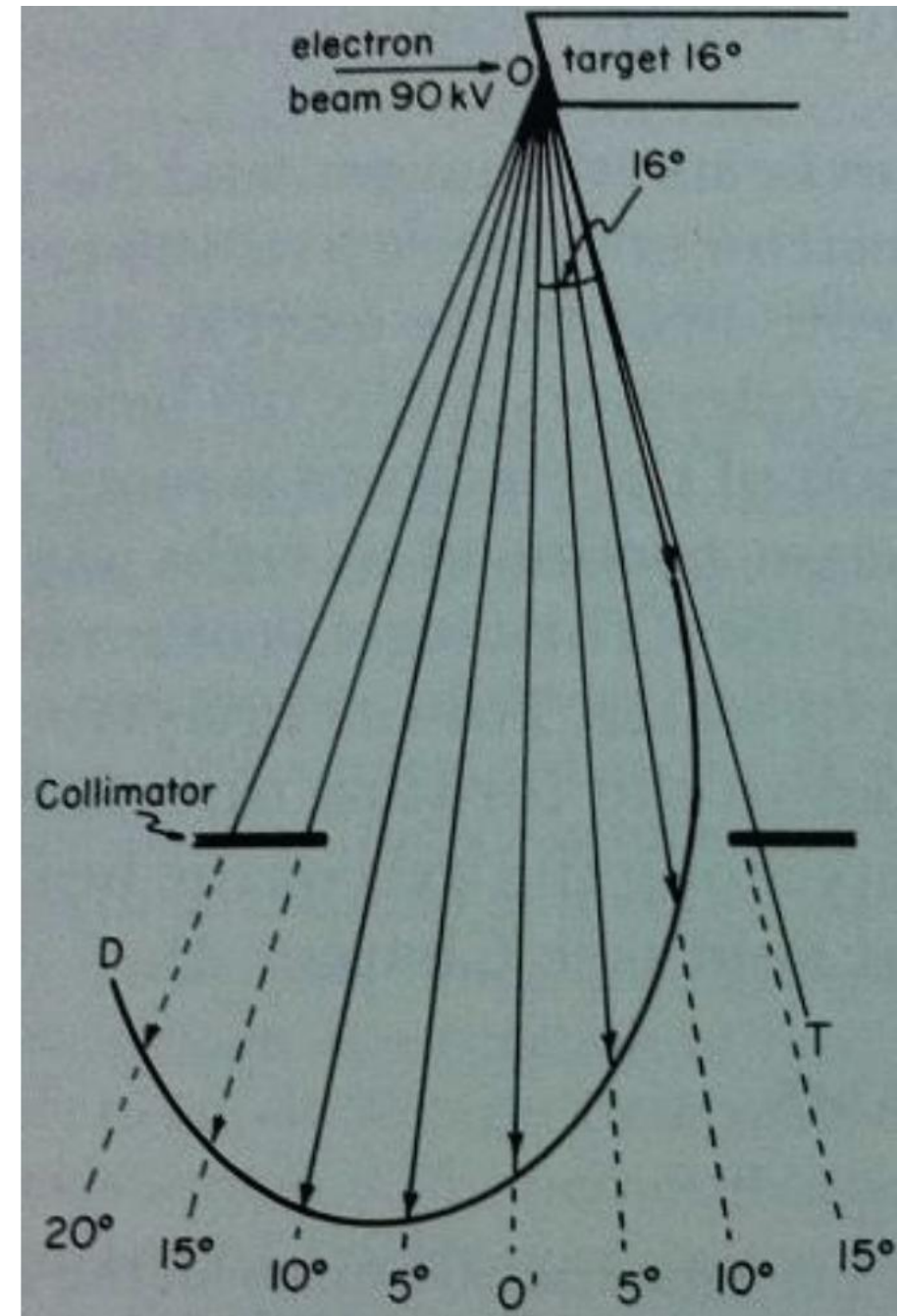
- In un **target SPESSE** l'elettrone viene deviato senza che vi siano direzioni privilegiate, per cui la distribuzione angolare dei fotoni prodotti diventa, per grandi numeri, teoricamente isotropa.
- Tuttavia gran parte della radiazione 'in avanti' viene assorbita dal target che quindi limita l'angolo di emissione a quello del target stesso.



# Apparecchiature RX

## La distribuzione dei Rx

- Il diagramma polare mostra che per tubi di diagnostica con target di  $16^\circ$  la massima intensità, rispetto alla direzione perpendicolare al fascio elettronico, si ha per angoli da  $5^\circ$  a  $10^\circ$  verso il catodo per poi diminuire lentamente per angoli maggiori e più rapidamente nella direzione dell'anodo (**effetto HELL**)
- Il sistema di collimazione e la cuffia di contenimento del tubo limitano il fascio a un cono di  $12^\circ$  che tuttavia ha un effetto hell del 30% (componente più penetrante)

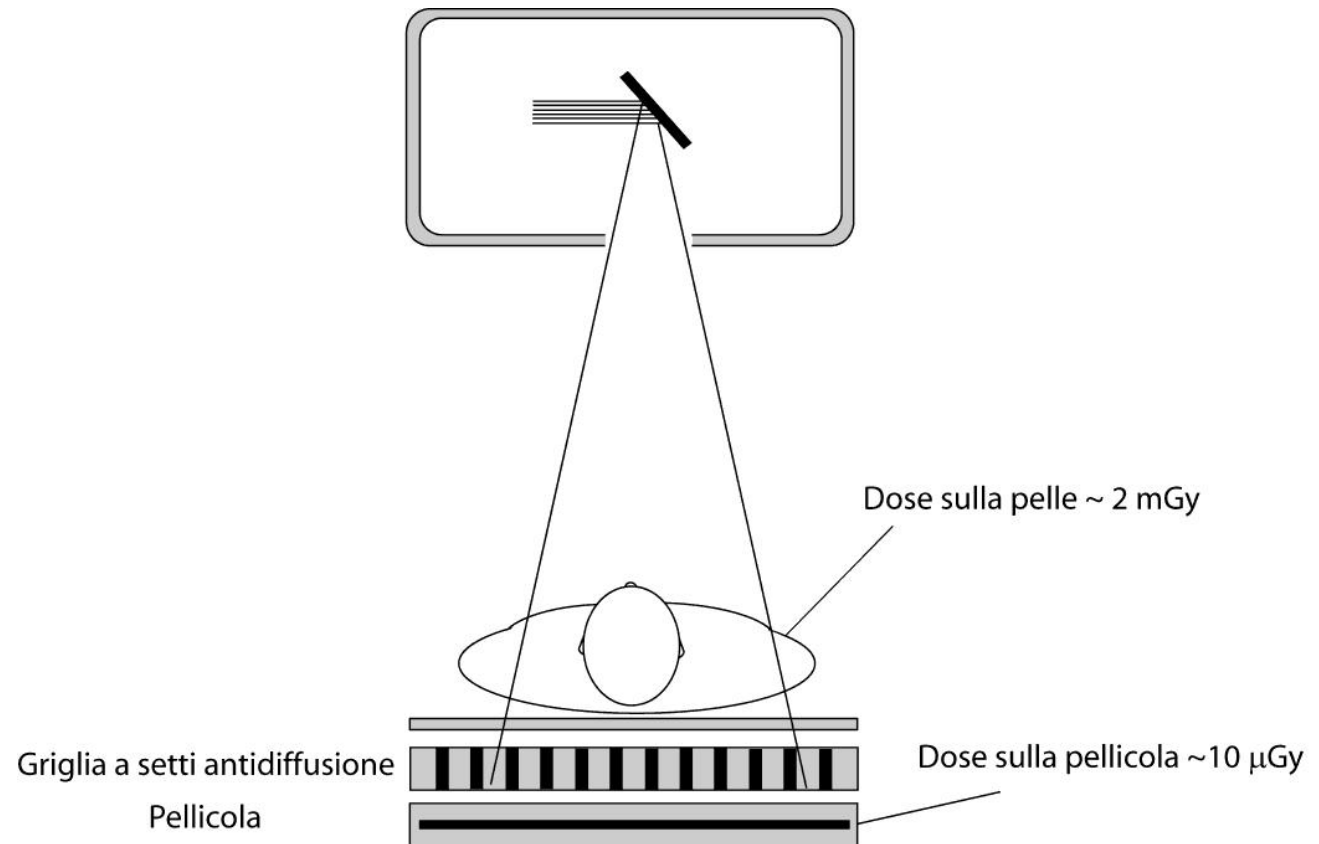


# Apparecchiature RX

## La produzione dell'immagine radiologica

I parametri fondamentali per ogni apparecchiatura RX sono:

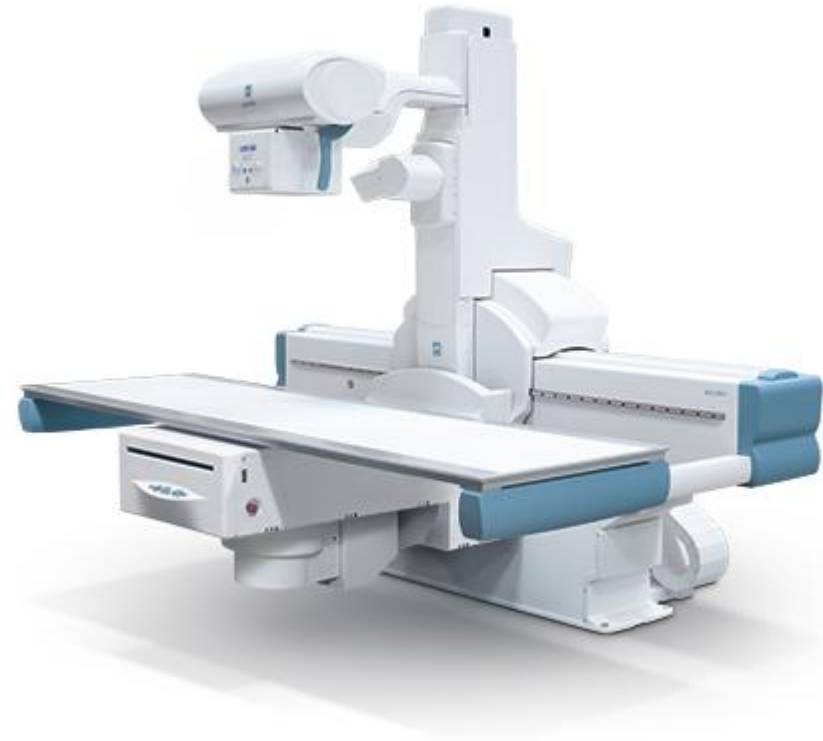
- Kilovolt [kV]
- MilliAmpere [mA]
- Tempo [s]



## La produzione dell'immagine radiologica

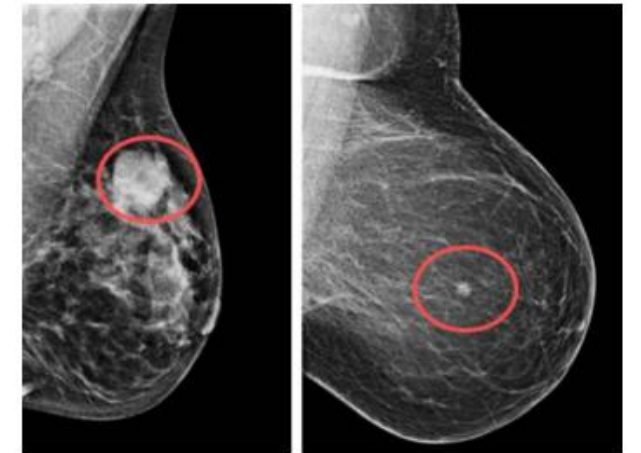
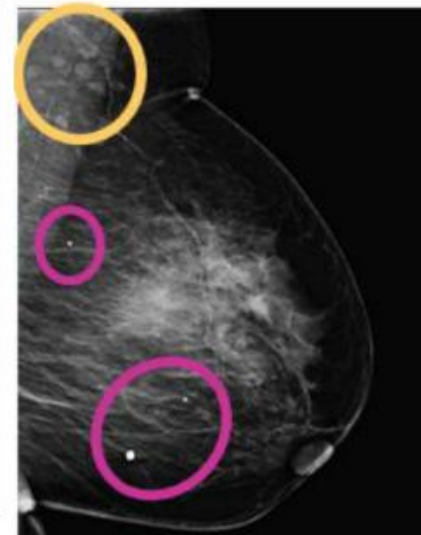
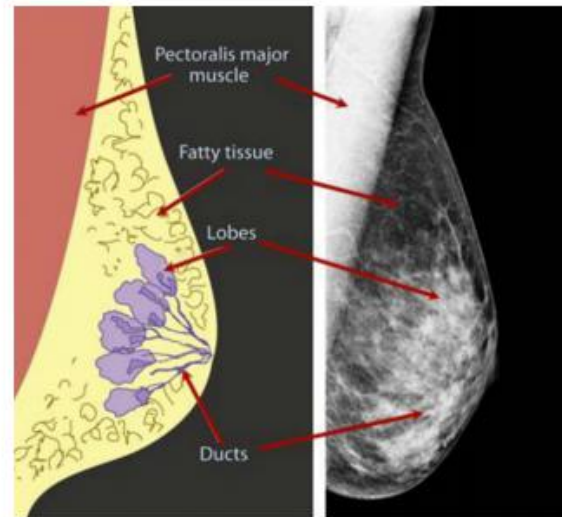
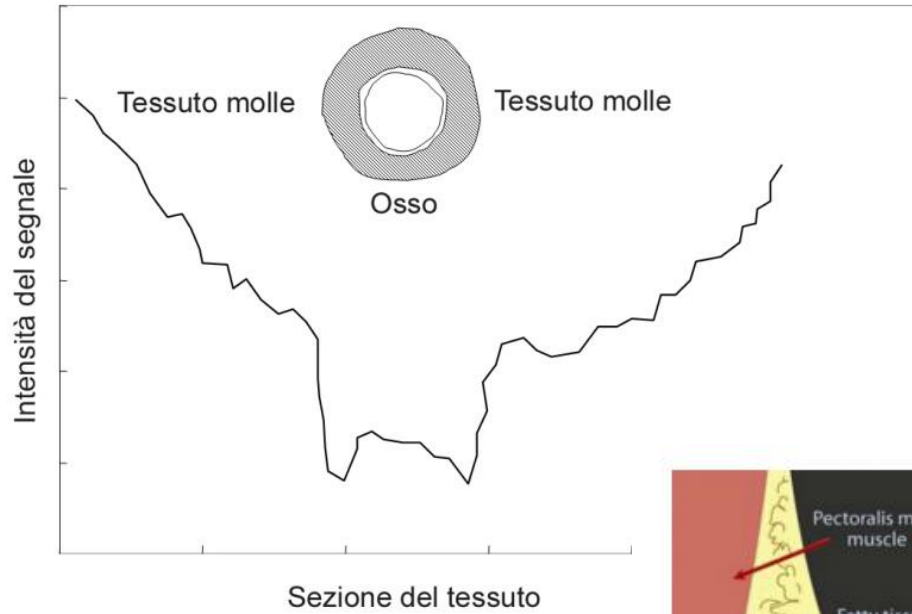
Le principali modalità di erogazione per produrre una immagine sono:

- Grafia  $[\uparrow \text{mA} - \downarrow \text{s}]$
- Scopia  $[\uparrow \text{s} - \downarrow \text{mA}]$





## La produzione dell'immagine radiologica

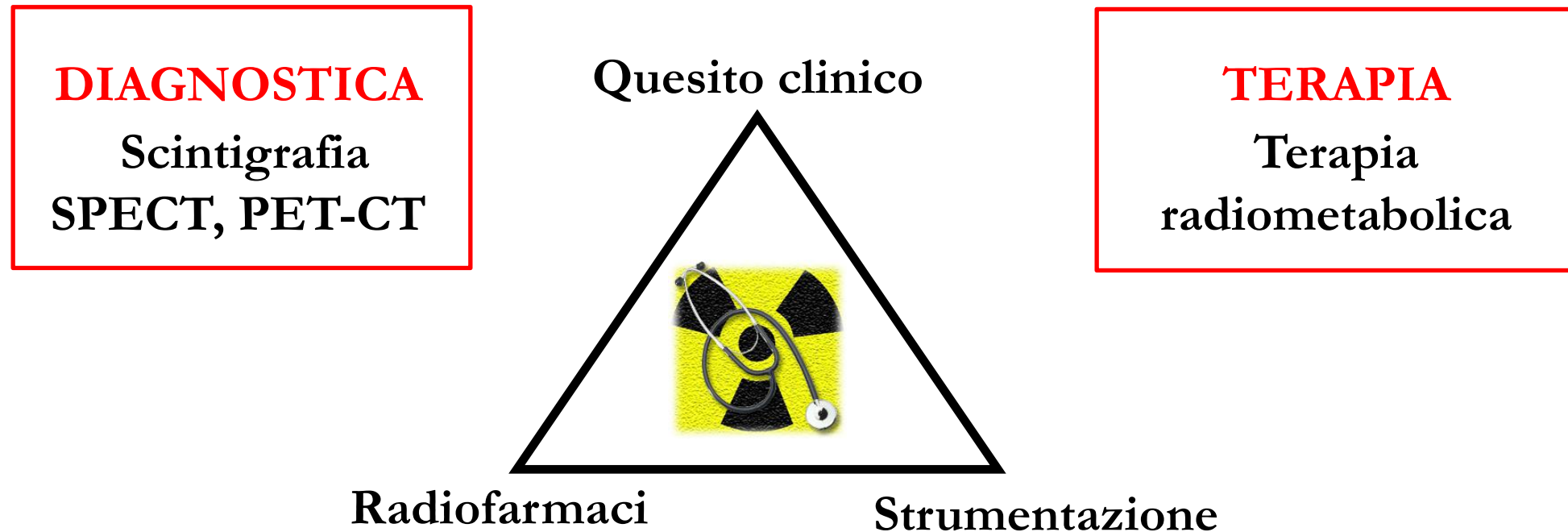


Cyst

Carcinoma

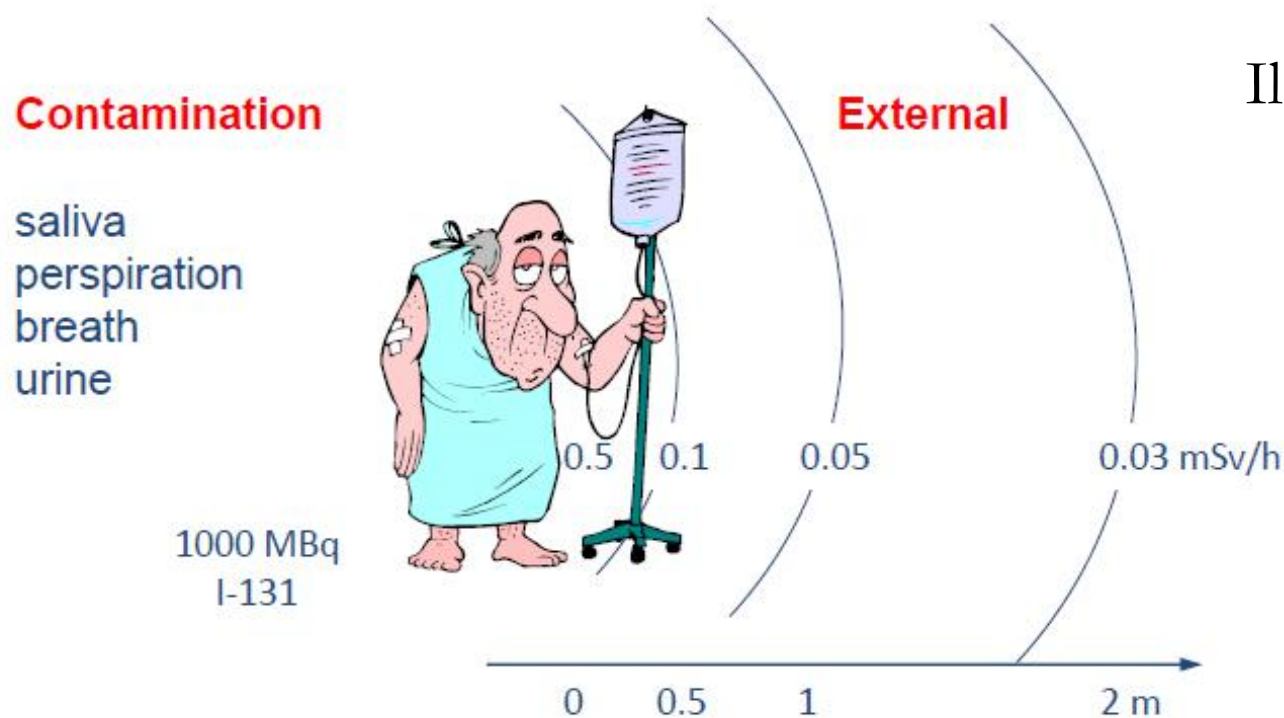
## La medicina nucleare

Viene somministrato al paziente un **radiofarmaco (radionuclide + vettore)** al fine di avere una informazione funzionale di un organo o un distretto, oppure l'ablazione di un tessuto/organo.



## La medicina nucleare

Le apparecchiature come Gamma Camera e PET **non sono emettitori di radiazioni**, se non sono associate ad una TC, in quanto la sorgente che emette è il paziente!

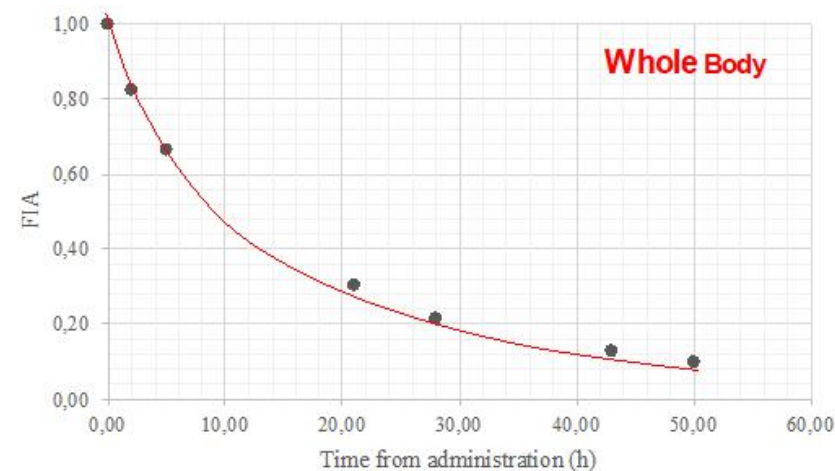
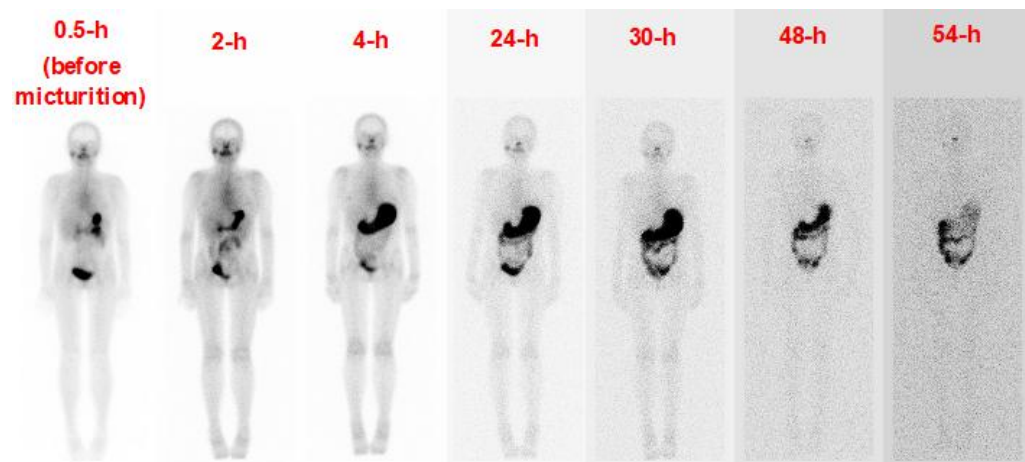


Il paziente iniettato:

- Irradia (si comporta come una sorgente)
- Respira (contaminazione dell'aria)
- Suda (contaminazione di superfici)
- Potrebbe avere malori  
(contaminazione ambienti e superfici)

## La medicina nucleare

Il radiofarmaco andrà a depositarsi nel distretto di interesse dopo un certo tempo.

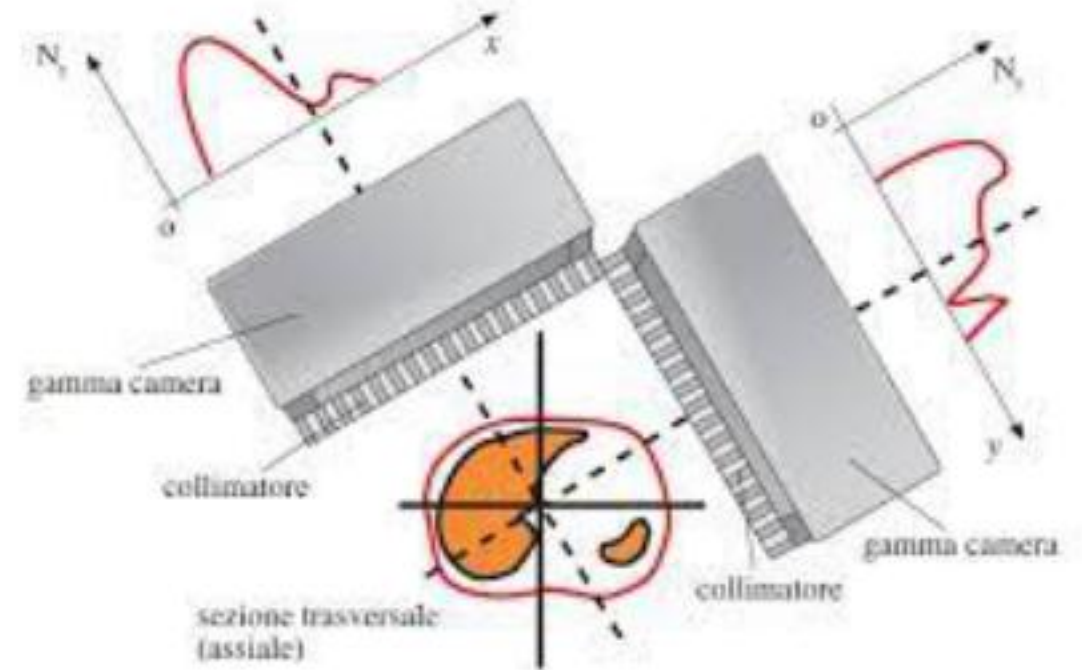


Durante la permanenza all'interno della medicina nucleare del paziente va posta massima attenzione dal momento che:

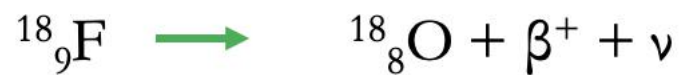
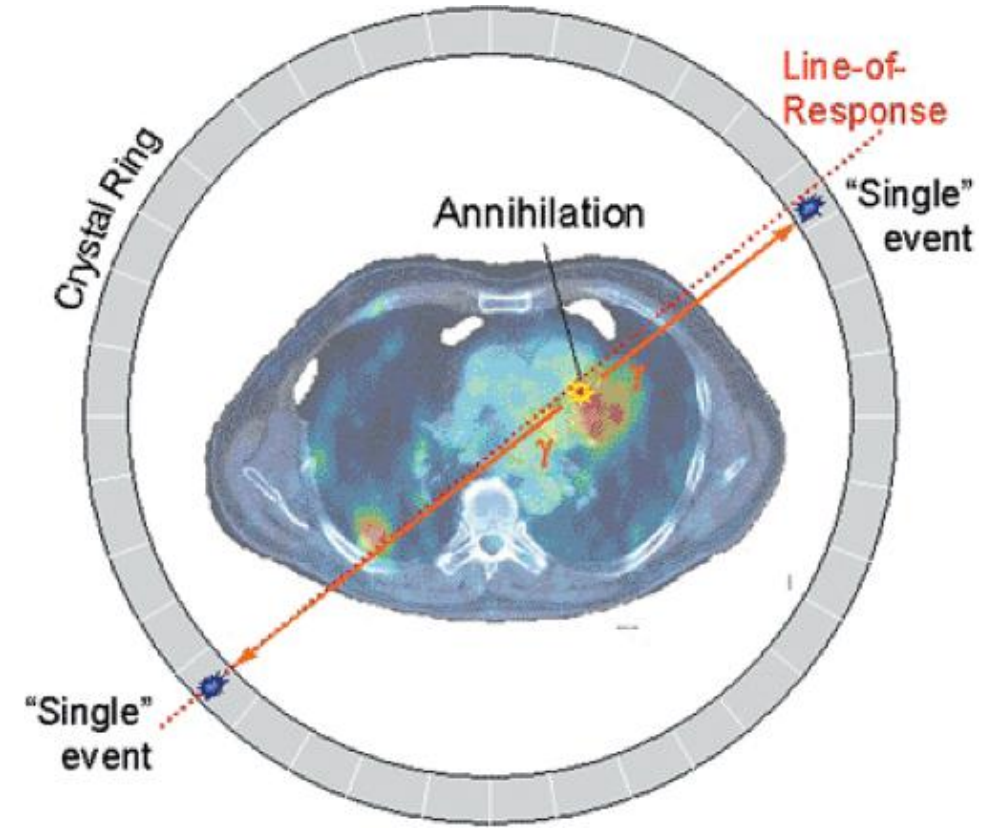
- Tutto ciò che il paziente produce (liquidi e umori) è potenzialmente contaminato
- Le minzioni devono essere raccolte nelle vasche di decadimento tramite WC caldo
- Devono essere fornite istruzioni apposite da seguire all'uscita del reparto



## Apparecchiature SPECT/Gamma Camera (O GC/CT)



## Apparecchiature PET (o PET/CT)



fotone  $\gamma$  (511 KeV)  $\longleftarrow \dots \dots \dots \beta^{+} (+ e^{-}) \dots \dots \dots \longrightarrow$  fotone  $\gamma$  (511 keV)  
(annichilazione)

## Radiometabolica

(1/2)

- Viene somministrato al paziente un quantitativo di radiofarmaco ritenuto sufficiente per uccidere le cellule di un organo bersaglio.
- Sfrutta l'uptake selettivo di alcuni tessuti verso alcune sostanze (i.e. Tiroide-Iodio).
- Spesso i **quantitativi di radionuclide** sono talmente **elevati** che il paziente deve rimanere in degenza protetta, ovvero all'interno di una stanza schermata con raccolta delle deiezioni, per un periodo di tempo variabile da 1 a 5 giorni  
(Es: Radiometabolica con Lutezio)

## Radiometabolica

(2/2)

- Senza la degenza protetta il paziente sarebbe «pericoloso» per la popolazione in quanto sottoporrebbe ad una dose indebita.
- Le dosi assorbite possono essere elevate sia per l'organo bersaglio che per i **tessuti sani**.  
**(side effects)**
- Deve essere, quindi, effettuata la dosimetria del paziente da parte di uno Specialista in Fisica Sanitaria (art 160 punto 2 lettera e, 165 punto 11).



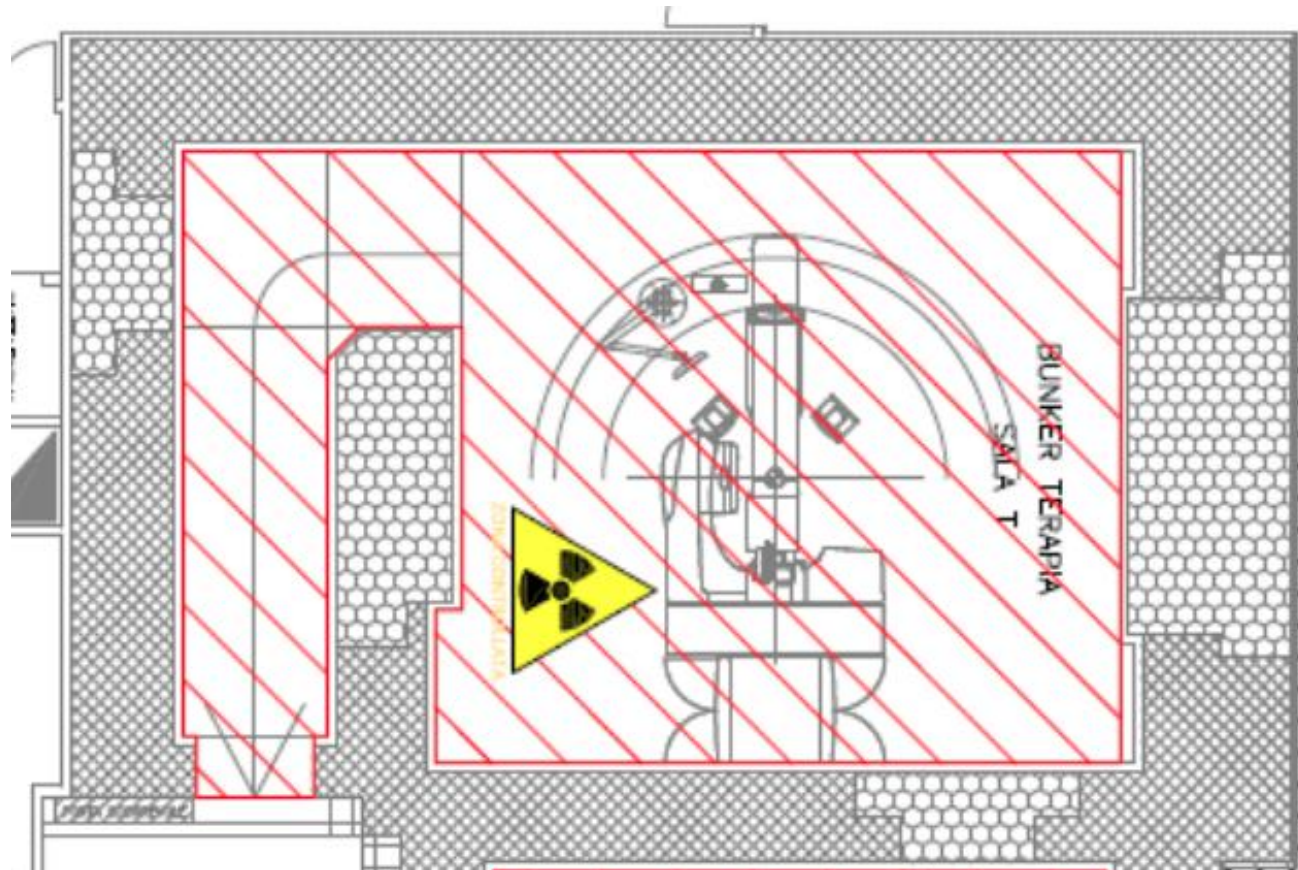
## Radioterapia a fasci esterni

- Fotoni ad alta energia vengono prodotte con macchine acceleratrici denominate **LINAC**.
- L'energia delle particelle prodotte è talmente elevata che necessitano di un **bunker** con pareti molto spesse per poter essere utilizzate.
- La finalità è quella di andare a rilasciare un quantitativo «preciso» di dose in un volume bersaglio, salvaguardando i tessuti sani.

# Radioterapia

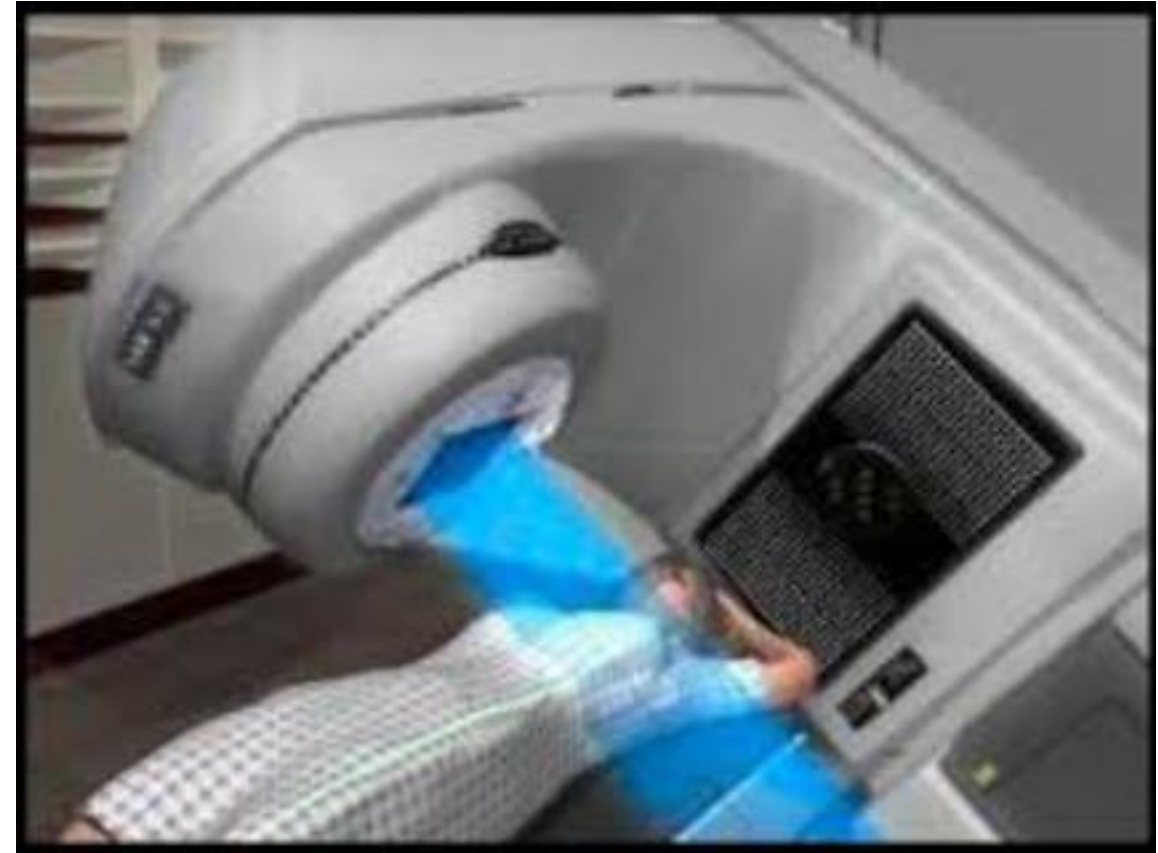
## Radioterapia a fasci esterni

Esempio di Bunker e di porta di accesso al Bunker



# Radioterapia

## Radioterapia a fasci esterni



## Radioterapia a fasci esterni

A partire dalle energie di 10 MV può attivarsi:

- La testata (la radioattività emessa è molto debole)
- L'+  $^{41}\text{Ar}$  partendo dal  $^{40}\text{Ar}$  naturalmente presente in aria per cattura di neutroni termici prodotti dalla testata
- Altre componenti dell'aria tramite attivazione da fotoni come di seguito riportato

**Table 1.** Photoactivation characteristics of the more abundant isotopes of nitrogen, carbon and oxygen (IAEA 2000).

Isotope	Isotopic abundance (%)	$(\gamma, n)$ threshold (MeV)	Products of the $(\gamma, n)$ reaction		
			Radioisotopes	Decay	Half-life (s)
$^{14}\text{N}$	99.63	10.55	$^{13}\text{N}$	$\beta^+$	598
$^{16}\text{O}$	99.76	15.66	$^{15}\text{O}$	$\beta^+$	122
$^{12}\text{C}$	98.89	18.72	$^{11}\text{C}$	$\beta^+$	1223

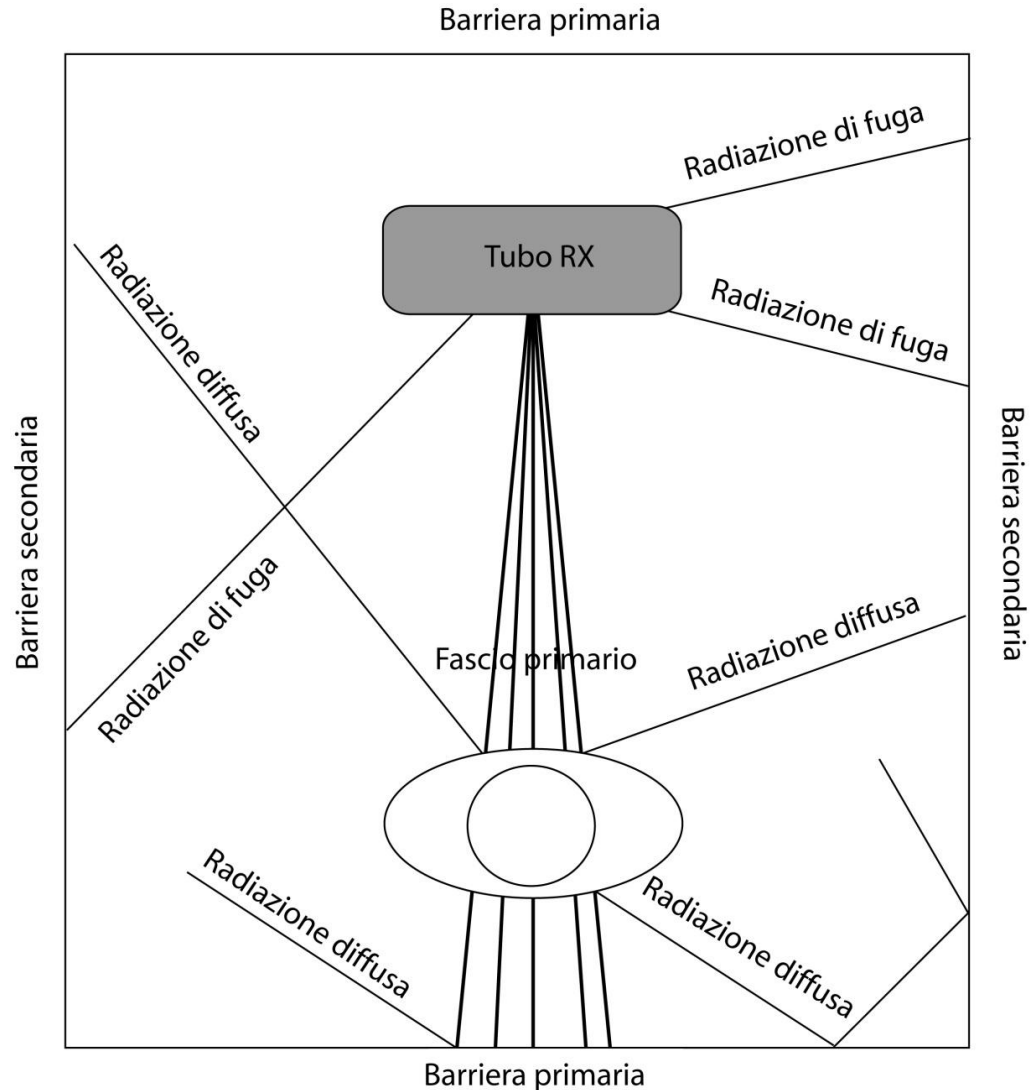


## Radioterapia a fasci esterni

- **La produzione di radioattività in aria può essere consistente.**
- Ne consegue che dopo l'utilizzo di fasci ad alta energia è opportuno attendere un tempo nell'ordine di almeno 60 secondi, oppure la completa apertura della porta del bunker poiché nel complesso ha una durata simile.
- Questo poiché si sfrutta che nell'ambiente sono presenti **dei ricambi di aria che variano da 6 a 12 Volumi/ora.**
- Ciò, unito al tempo di dimezzamento di questi radioisotopi permette l'ingresso dell'operatore in sicurezza riducendo al minimo la dose da inalazione.
- Inoltre, molto spesso i campi ad alte energie usano poche unità monitor di erogazione!

# **Le Schermature**

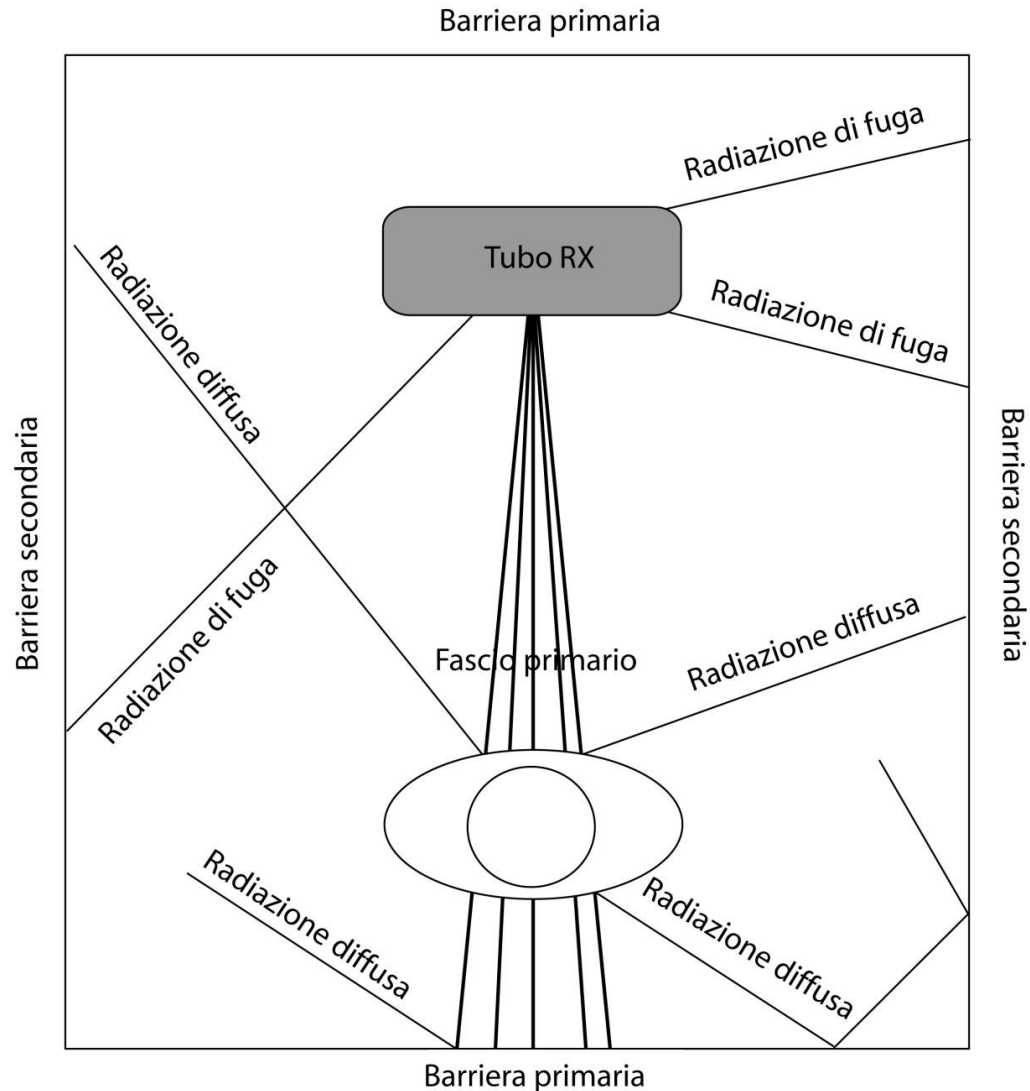
## Il Fascio Primario



Per **fascio primario** si intende il fascio di radiazione X emergente dalla finestra della macchina radiogena dopo aver subito le dovute filtrazioni da parte della cuffia e della guaina protettiva o dopo un eventuale collimatore. La direzione di emissione è ovviamente stabilita dall'inclinazione dell'anodo rispetto al fascio di elettroni provenienti dal catodo.

**Il fascio primario rappresenta quindi la fonte di rischio più elevata per quanto riguarda l'irraggiamento esterno.**

## La Radiazione Secondaria

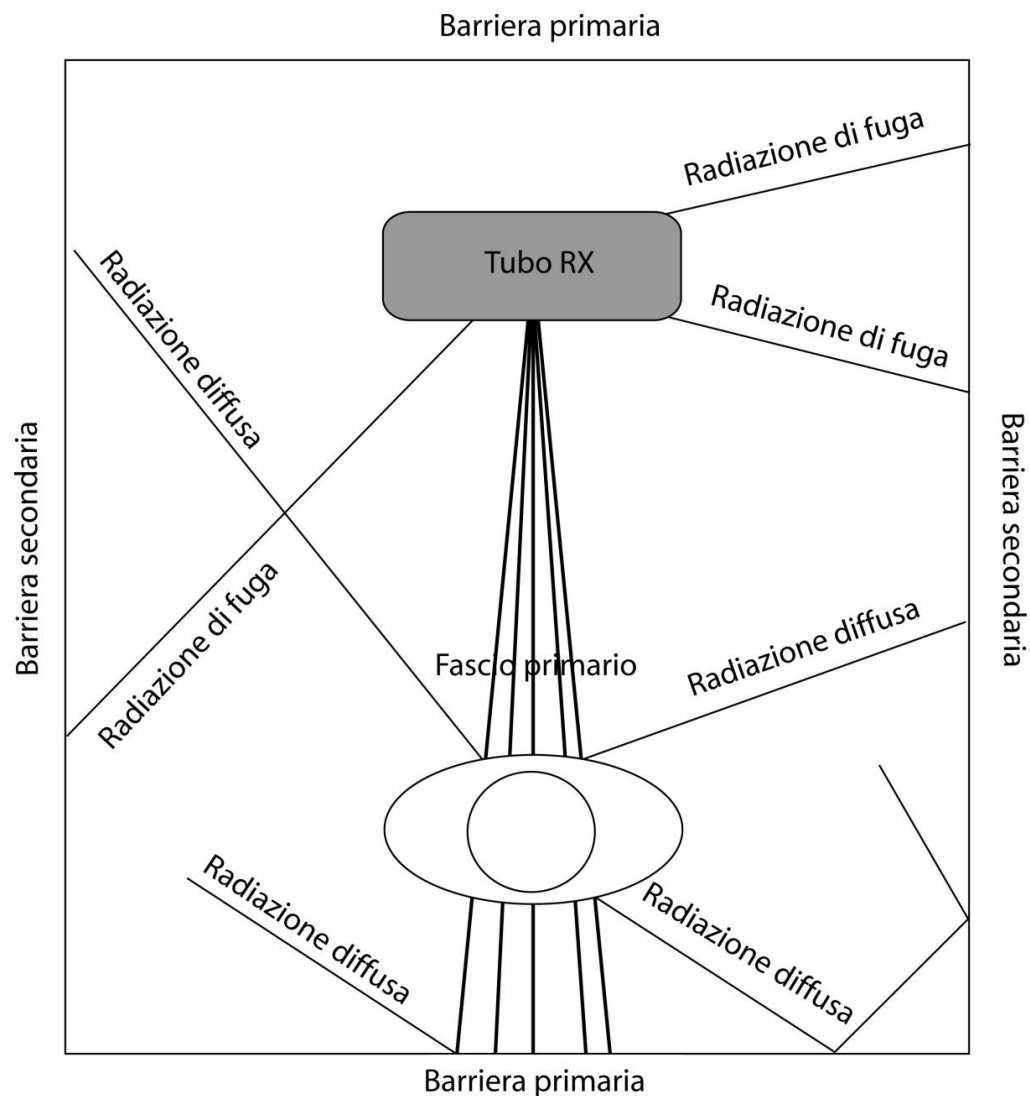


### RADIAZIONE DIFFUSA:

Quando il fascio primario investe il paziente o l'oggetto da radiografare interagisce con esso principalmente per effetto fotoelettrico e per effetto Compton. La radiazione primaria può quindi subire diffusioni all'entrata, all'interno e all'uscita del corpo esposto al fascio X generando un campo di radiazione diffusa distribuito in tutte le direzioni e dalle caratteristiche topografiche dipendenti dalla geometria di irraggiamento, dalle dimensioni del corpo radiografato e dai parametri della macchina radiogena



## La Radiazione Secondaria



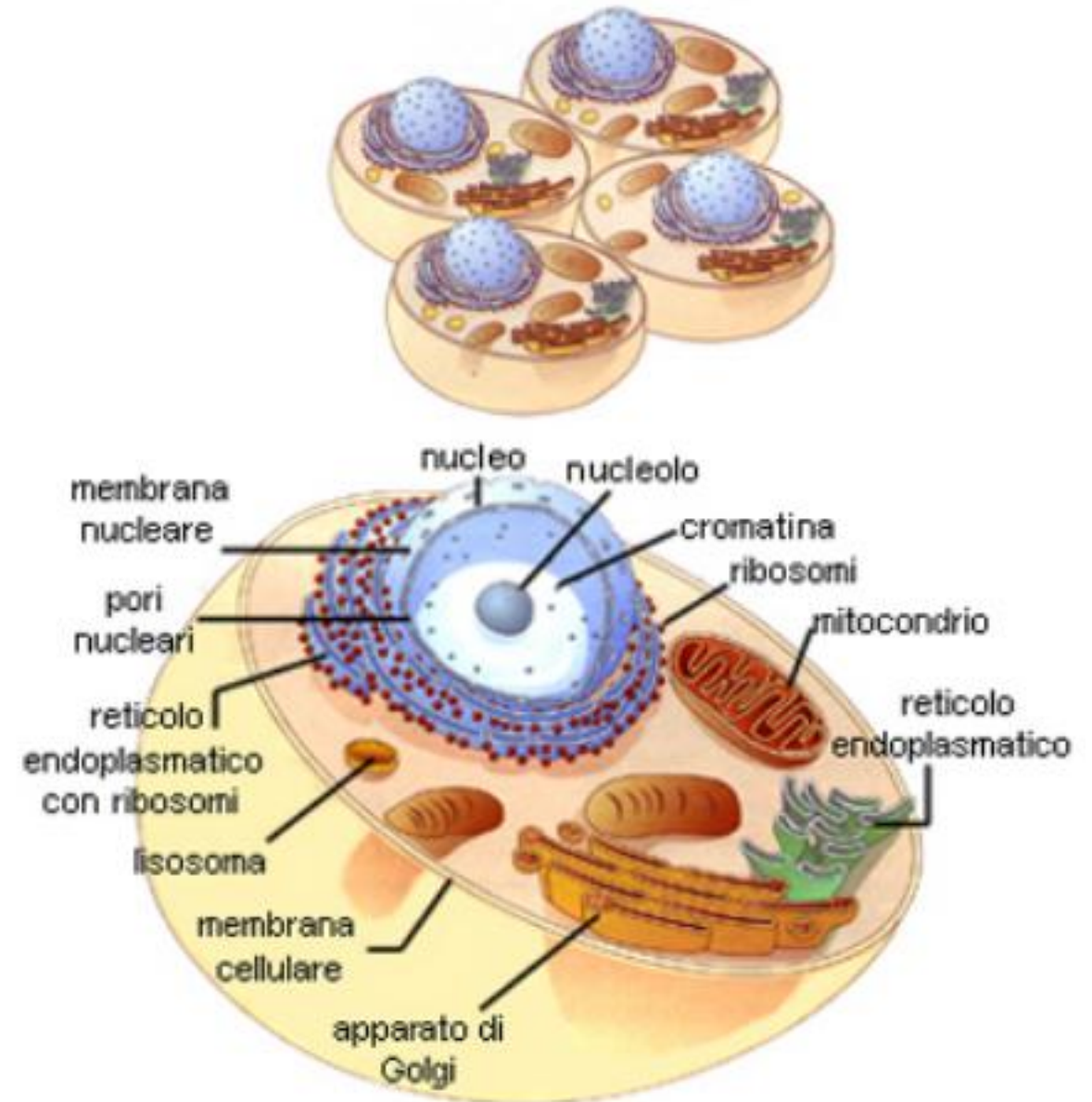
### RADIAZIONE DI FUGA:

quando il fascio di elettroni interagisce sulla targhetta anodica oltre al fascio primario, emesso in una direzione privilegiata, viene generato un campo di radiazione tutte le direzioni che dà origine a radiazione parassita. Per ridurre l'intensità di tale radiazione, e limitare quindi l'emissione a un fascio utile, i tubi radiogeni vengono racchiusi all'interno di apposite cuffie o guaine protettive costituite da materiale X-assorbente. Per radiazione di fuga si intende la radiazione parassita che riesce comunque a emergere dalla cuffia durante l'emissione del fascio.

# **Biologia di Base**

# La Cellula

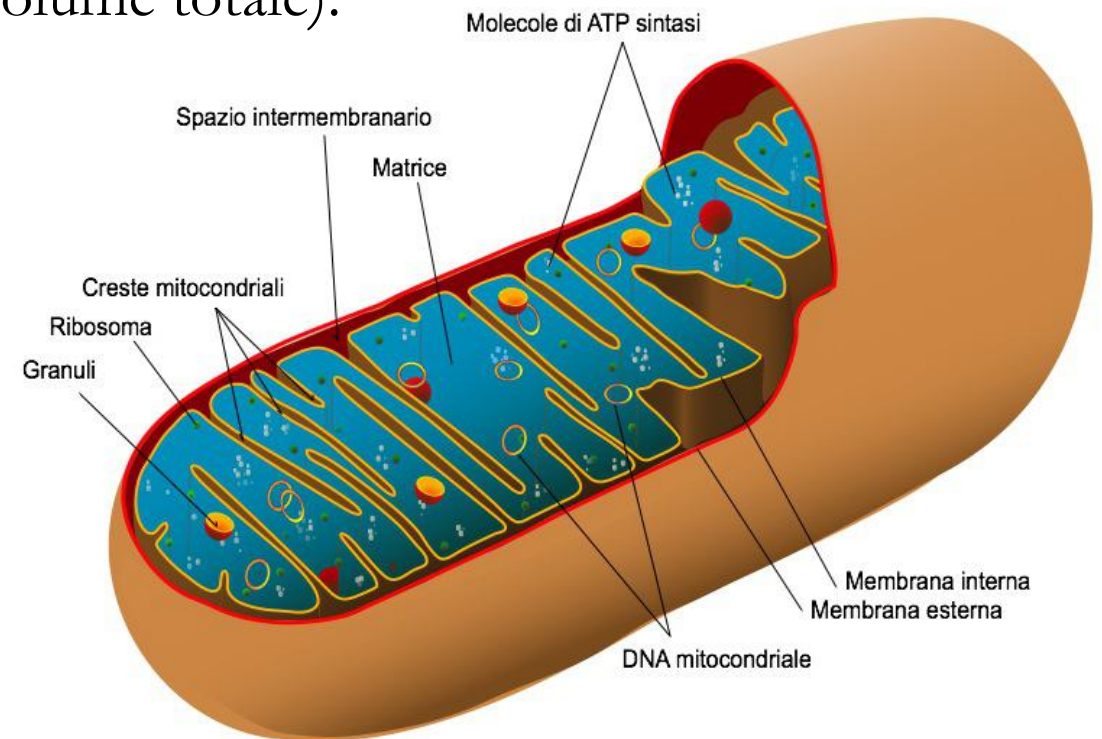
	Cellula animale tipica
<b>Organelli</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Nucleo</li><li>▪ Nucleolo (all'interno del nucleo)</li><li>▪ Reticolo endoplasmatico rugoso</li><li>▪ Reticolo endoplasmatico liscio</li><li>▪ Ribosomi</li><li>▪ Citoscheletro</li><li>▪ Apparato del Golgi</li><li>▪ Citoplasma</li><li>▪ Mitocondri</li><li>▪ Lisosomi</li><li>▪ Centrosomi</li><li>▪ Centrioli</li><li>▪ Vacuoli</li></ul>
<b>Strutture addizionali</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Membrana plasmatica</li><li>▪ Flagelli</li><li>▪ Ciglia</li></ul>



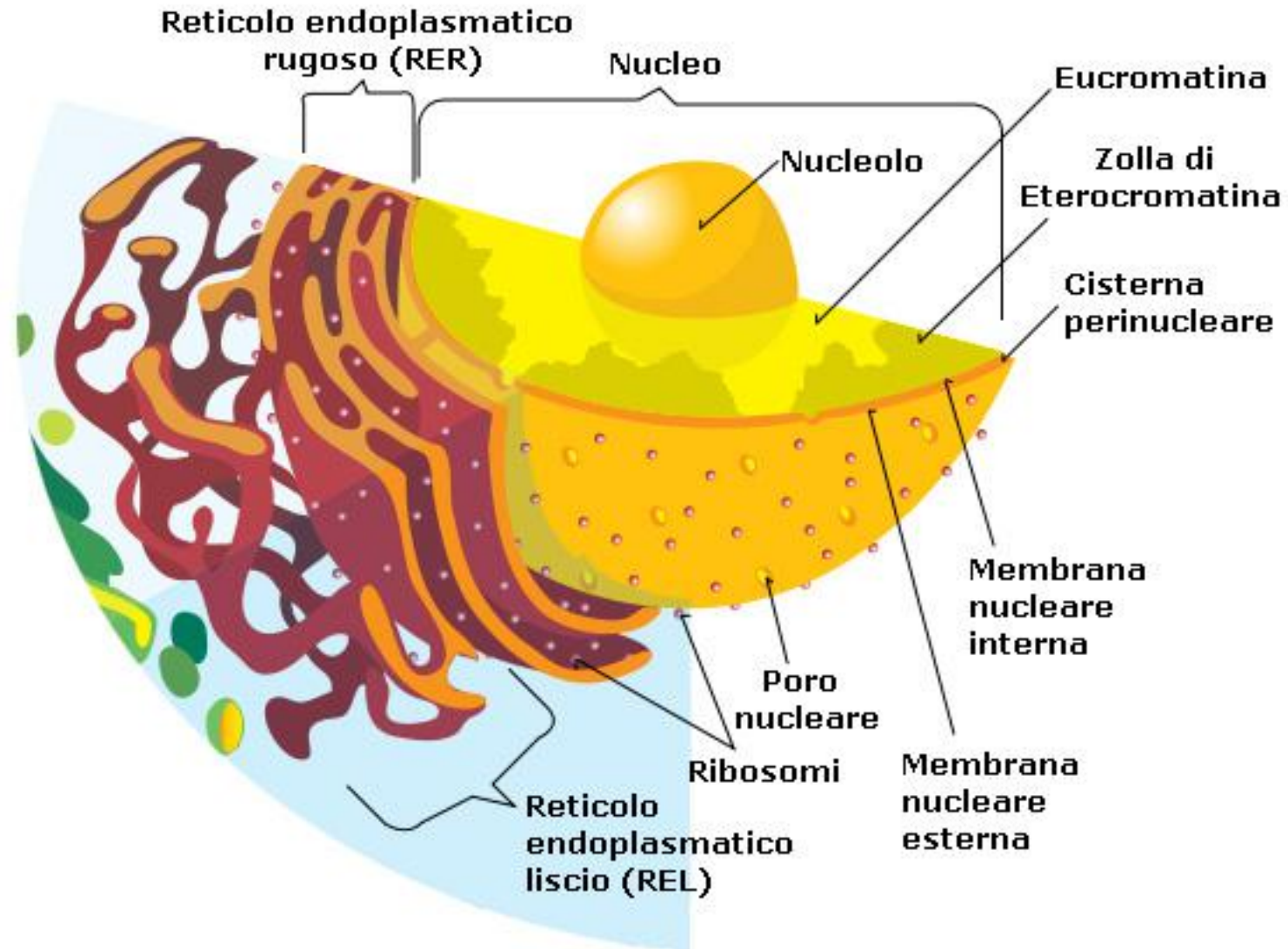
## I Mitochondri

I mitocondri possono essere considerati le centrali energetiche della cellula e sono presenti in quasi tutte le cellule eucariote in numero variabile (tipicamente ne sono presenti circa 2000 per cellula, rappresentandone circa un quinto del volume totale).

Si ricorda ai fini radioprotezionistiche che i **mitochondri sono dotati di proprio DNA** che viene sempre fornito dall'ovocellula



## Il Nucleo e il Nucleolo





## La Cromatina

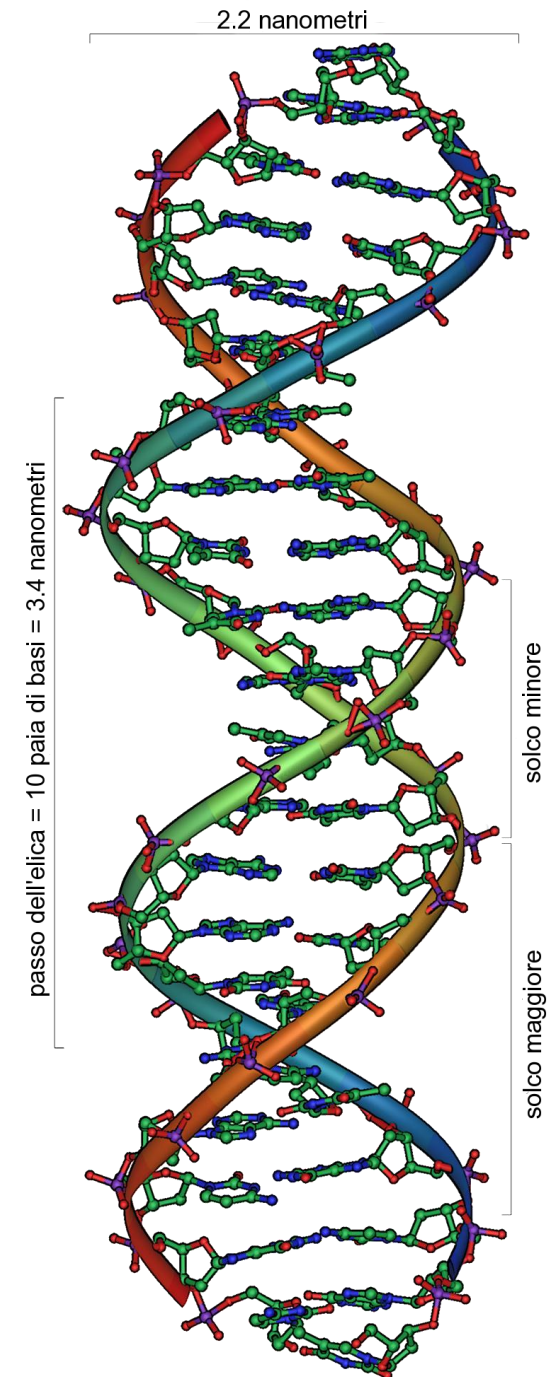
La Cromatina è composta da Acidi Nucleici responsabili della conservazione e trasmissione dell'informazione biologica negli esseri viventi.

Negli organismi viventi si trovano due tipi di acidi nucleici chiamati

### NUCLEOTIDI:

- DNA (acido desossiribonucleico)
- RNA (acido ribonucleico)

Si ricorda che nel DNA i due filamenti non si toccano ma sono raffrontati garantendo un accoppiamento sterico (Legami Idrogeno).



# La Cellula

## Il DNA

Il DNA (e l'RNA) è formato da :

### Base Azotata

puriniche : adenina (A) e guanina (G)

pirimidiniche : timina (T) e citosina (C)

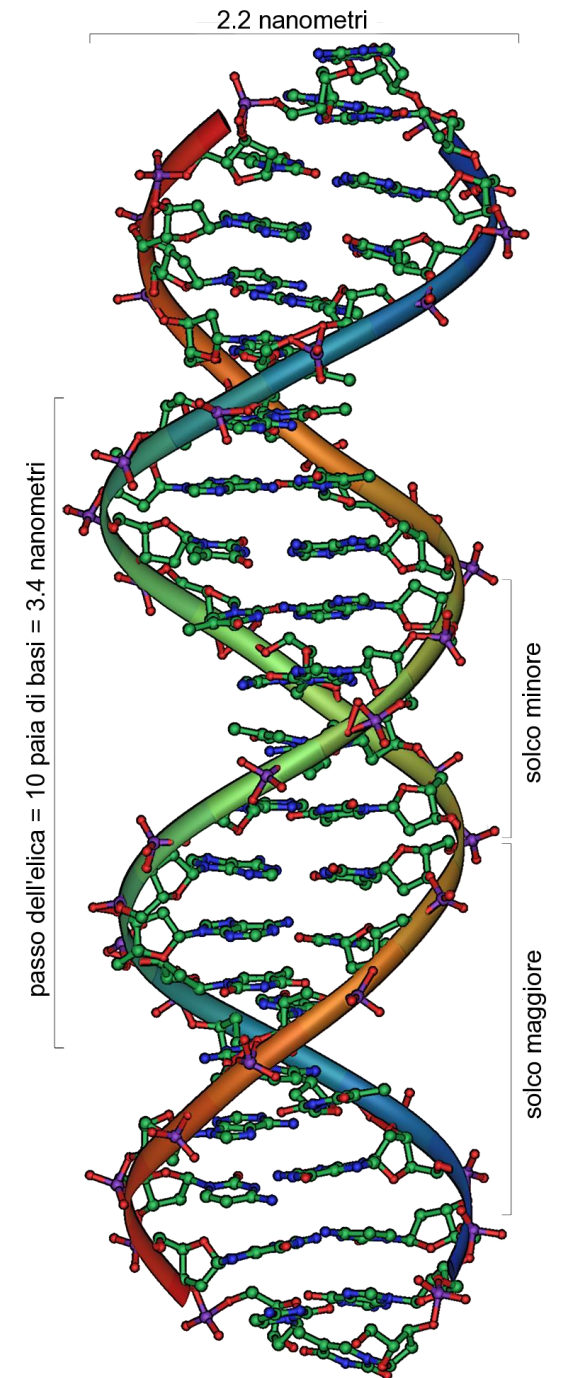
*uracile (U) per l'RNA*

### Zucchero

DNA : Deossiribosio

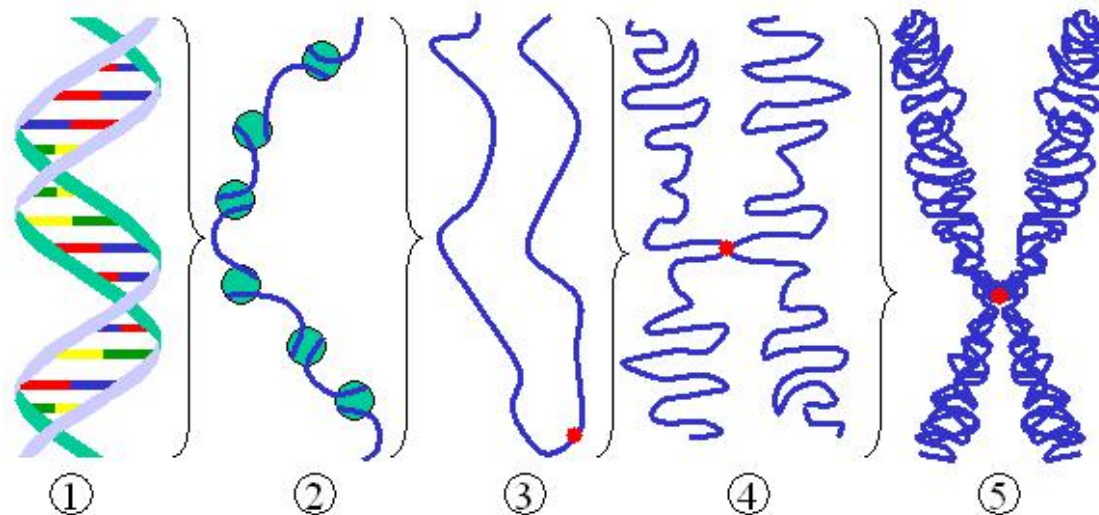
*(RNA : Ribosio)*

### Gruppo fosfato



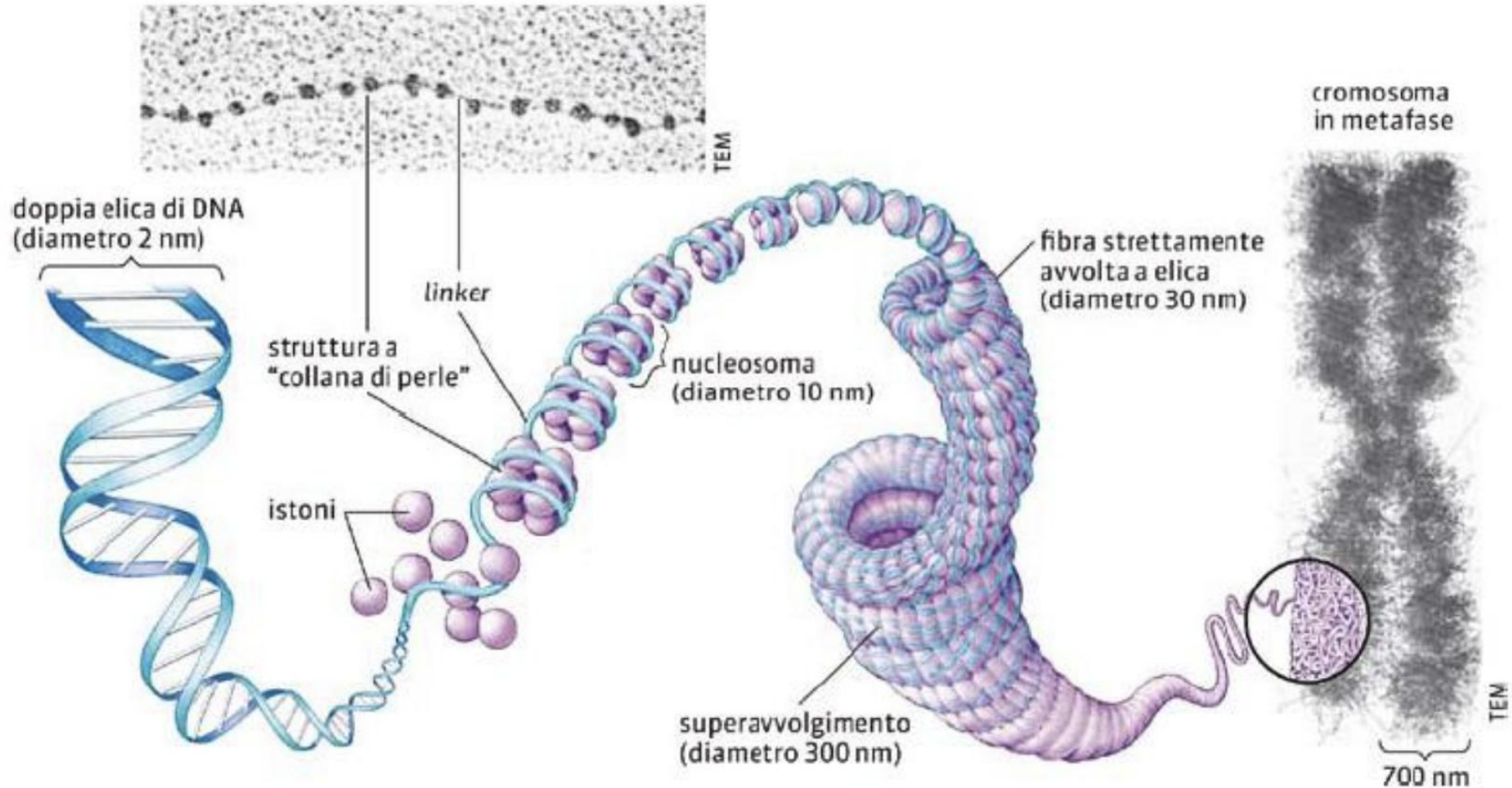
## Livelli di condensazione del DNA

1. DNA a doppia elica
2. Cromatina formata dalla Doppia elica avvolta attorno agli ISTONI
3. Cromatina condensata durante l' INTERFASE
4. Cromatina condensata durante la PROFASE (due copie di DNA)
5. Cromosoma durante la METAFASE





## Livelli di condensazione del DNA



# **Il Danno da Radiazioni**

## **Cause di Danno e Ristrutturazione del DNA**

**Danno Endogeno** causato dall'attacco di radicali reattivi dell'ossigeno derivanti da sottoprodotti del normale metabolismo cellulare (mutazioni spontanee).

**Danno Esogeno** causato da agenti esterni quali:

- 1 – Radiazioni ultraviolette provenienti dal sole (UVA, UVB e UVC)
- 2 – Radiazioni ionizzanti**
- 3 – Idrolisi o distruzione termica
- 4 – Tossine vegetali
- 5 – Mutageni chimici prodotti dall'uomo (Idrocarburi da fumo di sigarette)

## Cause di Danno e Ristrutturazione del DNA

Il danno endogeno coinvolge la struttura primaria piuttosto che la struttura secondaria della doppia elica. Esso può essere suddiviso in quattro classi:

1. **OSSIDAZIONE** di basi [es. 8-oxo-7,8-diidroguanina (8-oxoG)] e generazione di interruzioni nei filamenti di DNA ad opera di specie reattive dell'ossigeno,
2. **ANNICHILAZIONE** di basi (addizione di un gruppo alchilico ad una base come ad esempio CH<sub>3</sub> o CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>), con formazione, ad esempio, di 7-metilguanina
3. **IDROLISI** di basi, come la depurinazione e la depirimidinazione
4. **MISMATCH** (appaiamento errato) di basi, dovute ad una replicazione del DNA in cui la base scorretta è "cucita" nel filamento che formerà la nuova molecola di DNA.

## Danno da singolo filamento

Se solo uno dei due filamenti di un cromosoma presenta un difetto, l'altro filamento può essere usato come stampo per guidare la correzione del filamento danneggiato. Ci sono numerosi meccanismi di riparazione del DNA. Questi includono:

- **Reversione diretta del danno mediante vari meccanismi specializzati.**

Esempi sono la DNA-fotoliasi che rimuove i Dimeri fotoprodotti con struttura a Ciclobutano sulla Timina in presenza di luce visibile.

- **Meccanismi di riparazione per Excissione.**

Volti a rimuovere il Nucleotide danneggiato sostituendolo con un nucleotide non danneggiato complementare al nucleotide presente sull'altro filamento.

# Il Danno da Radiazioni

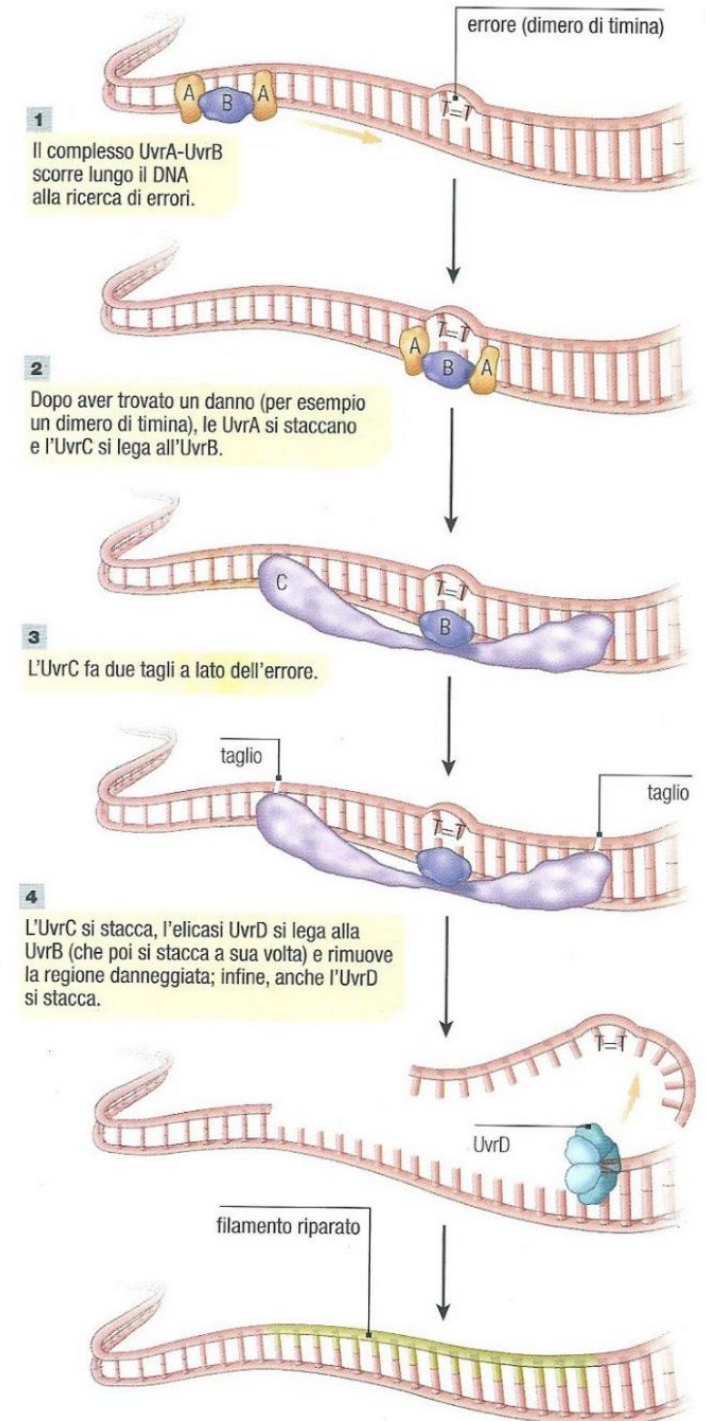
## Danno da singolo filamento

Esempio di riparazione per Excissione nell'Escherichia

Coli attraverso il gruppo **uvrABC**



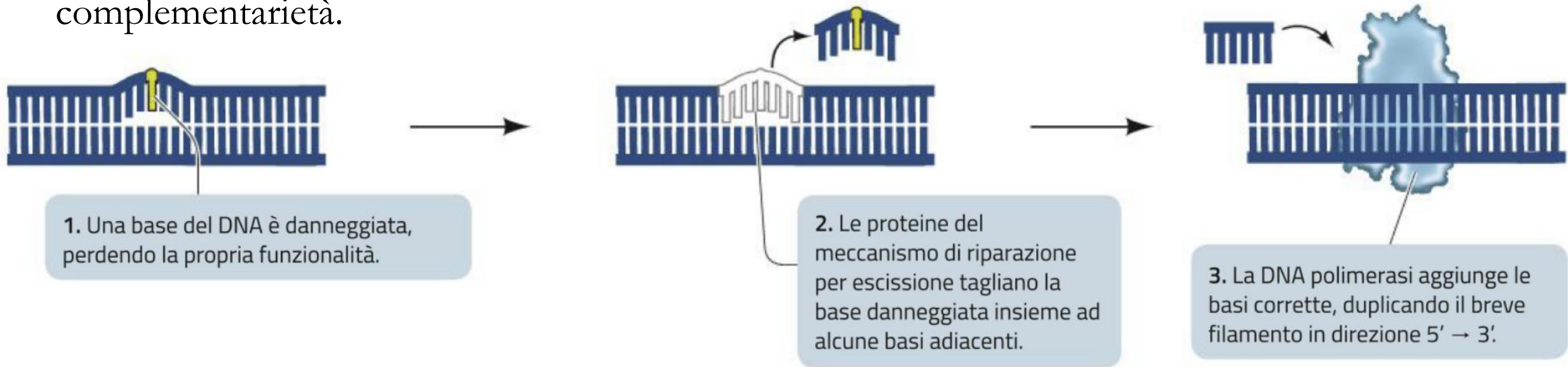
Riparazione del filamento danneggiato per  
complementarietà !



# Il Danno da Radiazioni

## Danno da singolo filamento

Nell'uomo è la proteina **DNA Polimerasi** che provvede alla correzione del DNA per complementarità.



**MA COSA ACCADE SE IL DANNO AVVIENE SUI DUE I FILAMENTI ?**



## Danno da doppio filamento

Un tipo particolarmente pericoloso di danno al DNA per le cellule in divisione è la **rottura di entrambi i filamenti della doppia elica**.

Esistono due meccanismi capaci di «**riparare**» questo danno.

- **Non-Homologous End-Joining** (saldatura delle estremità non omologhe)

Il meccanismo riunisce le due estremità della rottura in assenza di una sequenza che possa fungere da stampo. Tuttavia può esserci una perdita di sequenza durante questo processo e quindi tale riparo può essere mutagenico

## Danno da doppio filamento

Un tipo particolarmente pericoloso di danno al DNA per le cellule in divisione è la **rottura di entrambi i filamenti della doppia elica**.

Esistono due meccanismi capaci di «**riparare**» questo danno.

- **Ricombinazione** (o riparazione assistita da stampo, o ricombinazione omologa)

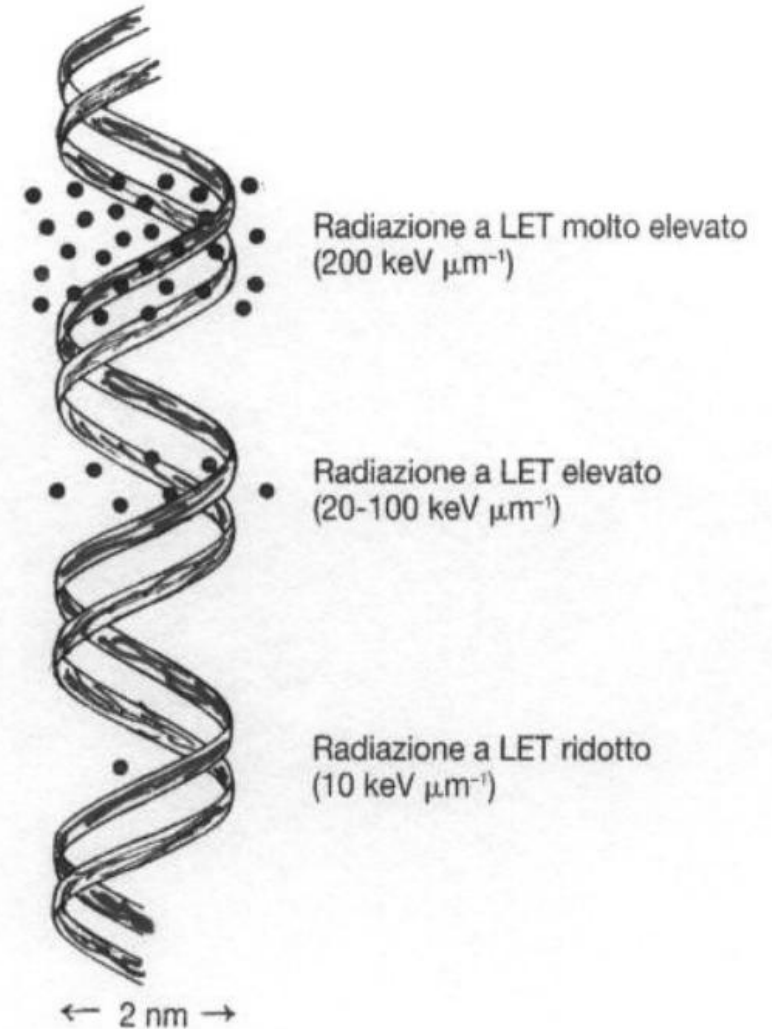
La riparazione per ricombinazione richiede la presenza di una sequenza identica (o quasi) che possa essere usata come stampo per la riparazione di una rottura. Il macchinario enzimatico responsabile per questo processo è praticamente identico al macchinario responsabile del Crossingover nelle cellule germinali durante la Meiosi.

# Il Danno da Radiazioni

## Danno da doppio filamento

Maggiore è il **LET (Linear Energy Transfer)** della radiazione, maggiore sarà la possibilità di generare danno ed in particolare **danno da doppio filamento**.

Nonostante i due meccanismi nel caso di danno da doppio filamento c'è il rischio di perdere informazione genetica !



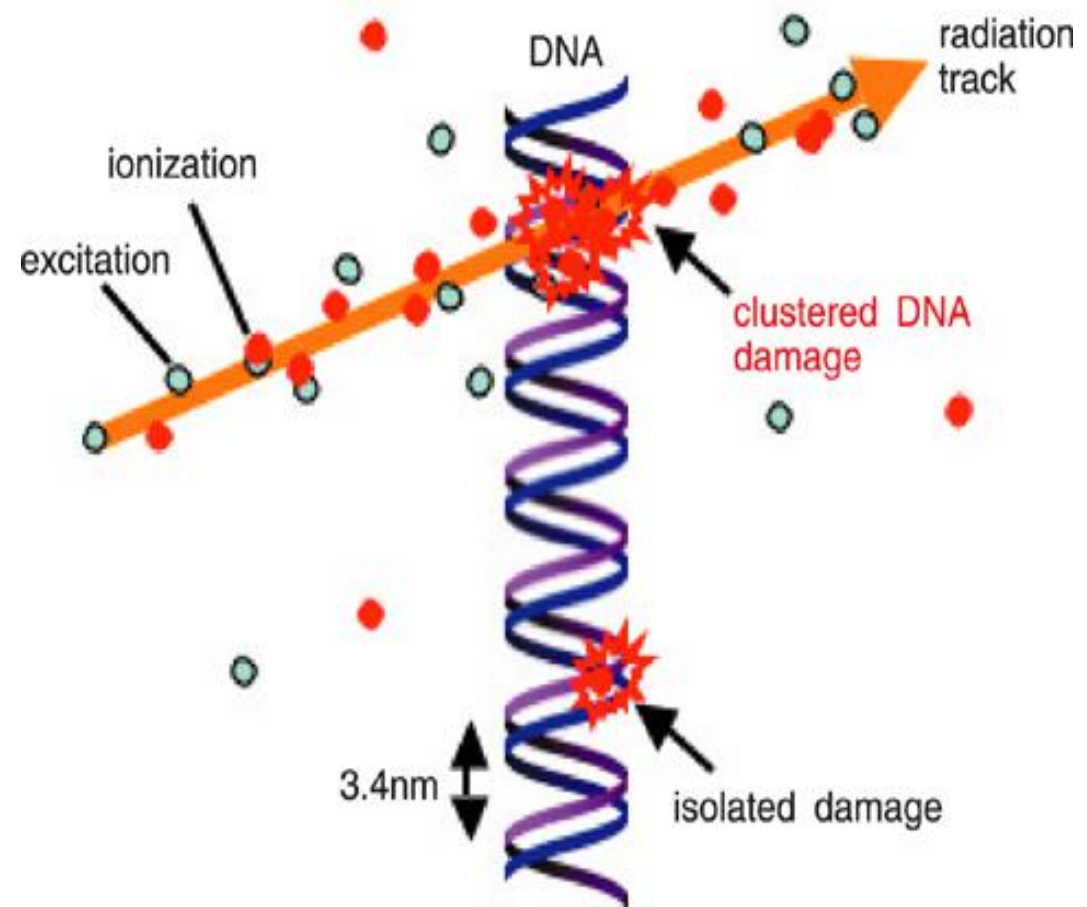
**Probabilità di danno  
al variare del LET**

# Il Danno da Radiazioni

## Danno al DNA

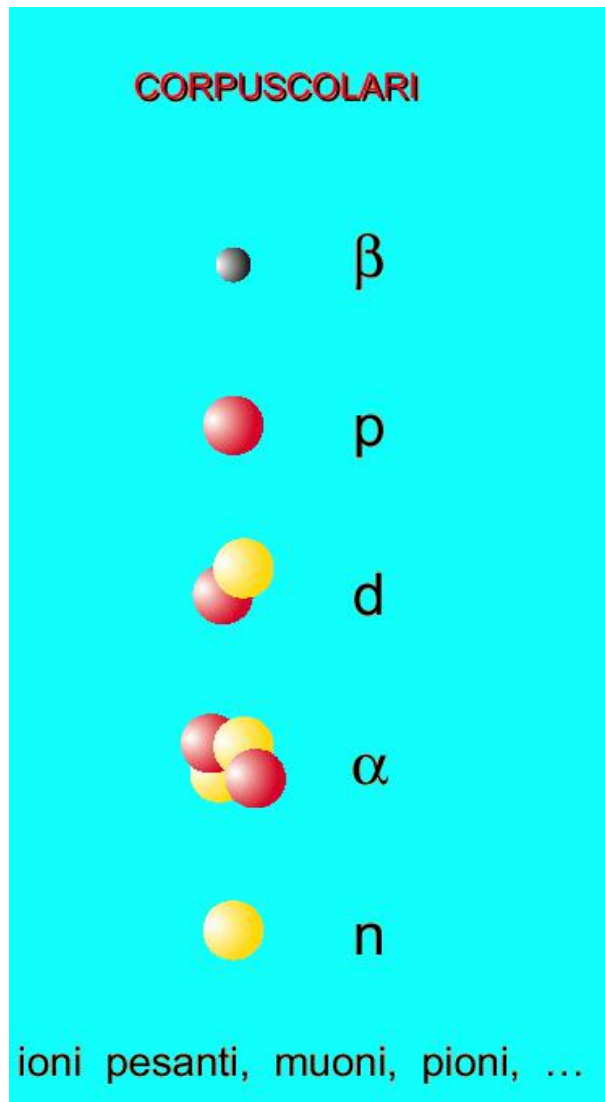
La quantità di danni prodotti può dipendere da diversi fattori quali:

- 1) **Tipologia di Particella**
- 2) **Energia**
- 3) **Stato di divisione cellulare**



# Il Danno da Radiazioni

Gli effetti dannosi delle radiazioni sono da attribuirsi a:



Convenzionalmente  
si definiscono  
ionizzanti le onde  
elettromagnetiche  
che hanno

$$\lambda < 100 \text{ nm}$$

Ovvero:

$$E > 12,40 \text{ eV}$$

# Il Danno da Radiazioni

---

**Gli effetti dannosi delle radiazioni sono da attribuirsi a:**

- Fotoni (tutte le energie)
- Elettroni e muoni (tutte le energie)
- Neutroni (in funzione dell'energia)
- Protoni
- Particelle alfa, frammenti di fissione, nuclei pesanti

1

1

5 - 20

5

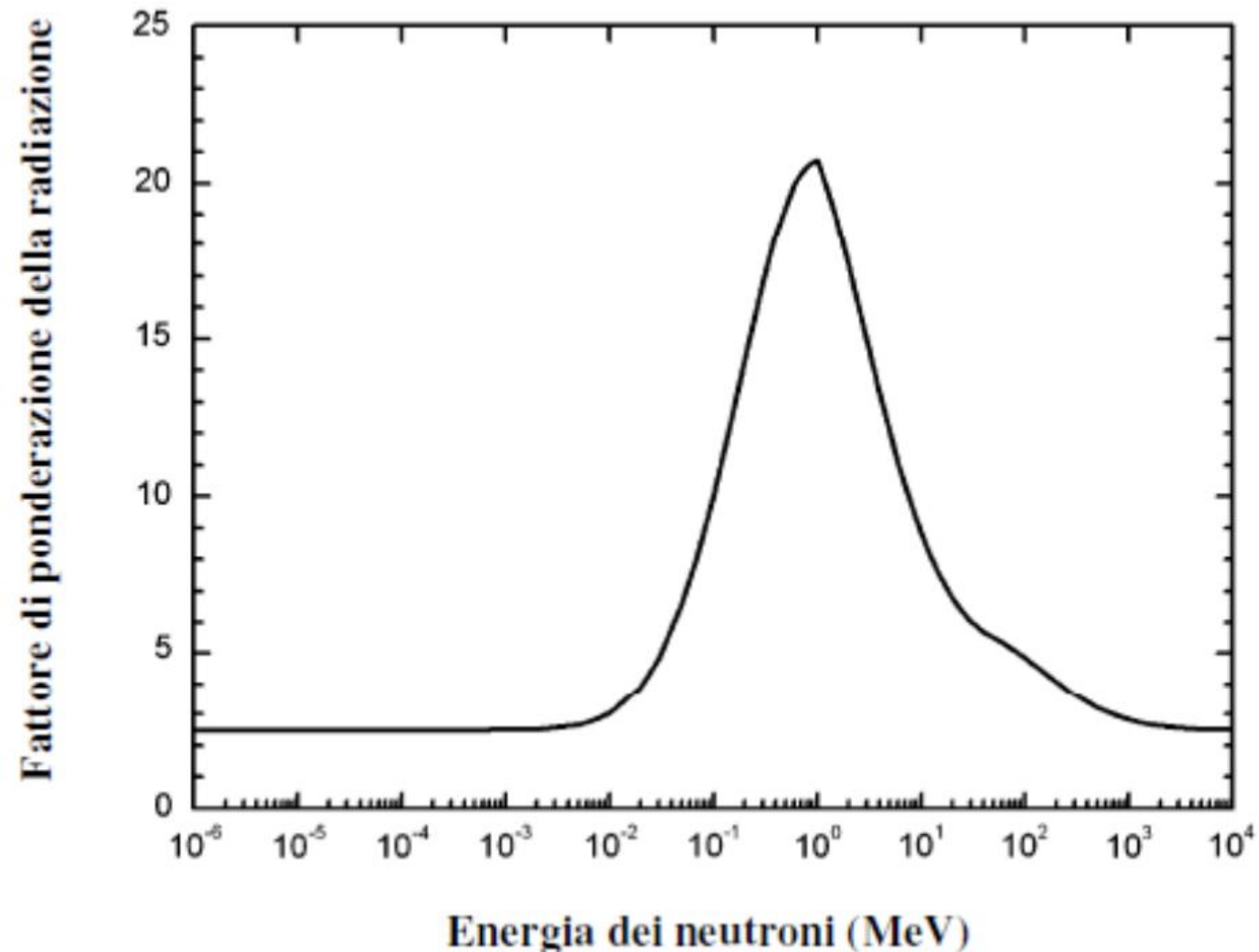
20

**Fattore di  
Ponderazione della  
Radiazione**

rappresenta la  
pericolosità della  
radiazione ed è  
caratteristico per ogni  
tipo di radiazione

# Il Danno da Radiazioni

Gli effetti dannosi delle radiazioni sono da attribuirsi a:



- **Neutroni Relativistici**  
 $E > 10 \text{ MeV}$
- **Neutroni Veloci**  
 $10 \text{ keV} < E < 10 \text{ MeV}$
- **Neutroni Intermedi (o di risonanza)**  
 $0,5 \text{ eV} < E < 10 \text{ keV}$
- **Neutroni Termici**  $E = 0,025 \text{ eV}$   
Neutroni rallentati in modo da essere in equilibrio termico con la materia, hanno velocità comparabile alle molecole dei gas.



## La Genesi del danno

(1/2)

Gli effetti biologici delle radiazioni si articolano e sviluppano in 4 fasi:

### 1 – Fase Fisica

Ionizzazione di molecole o atomi all'interno della cellula per effetto della radiazione

Le coppie di ioni così formate possono dare origine a altre ionizzazioni a catena generano così una “nube ionica”

#### Radiolisi dell'acqua:



## La Genesi del danno

(2/2)

### 2 – Fase Fisico - Chimica

Le molecole ionizzate tendono a **dissociarsi** con formazione di Radicali Liberi altamente reattivi



### 3 – Fase Chimica

Interazione chimica dei Radicali Liberi con Molecole o Proteine o DNA

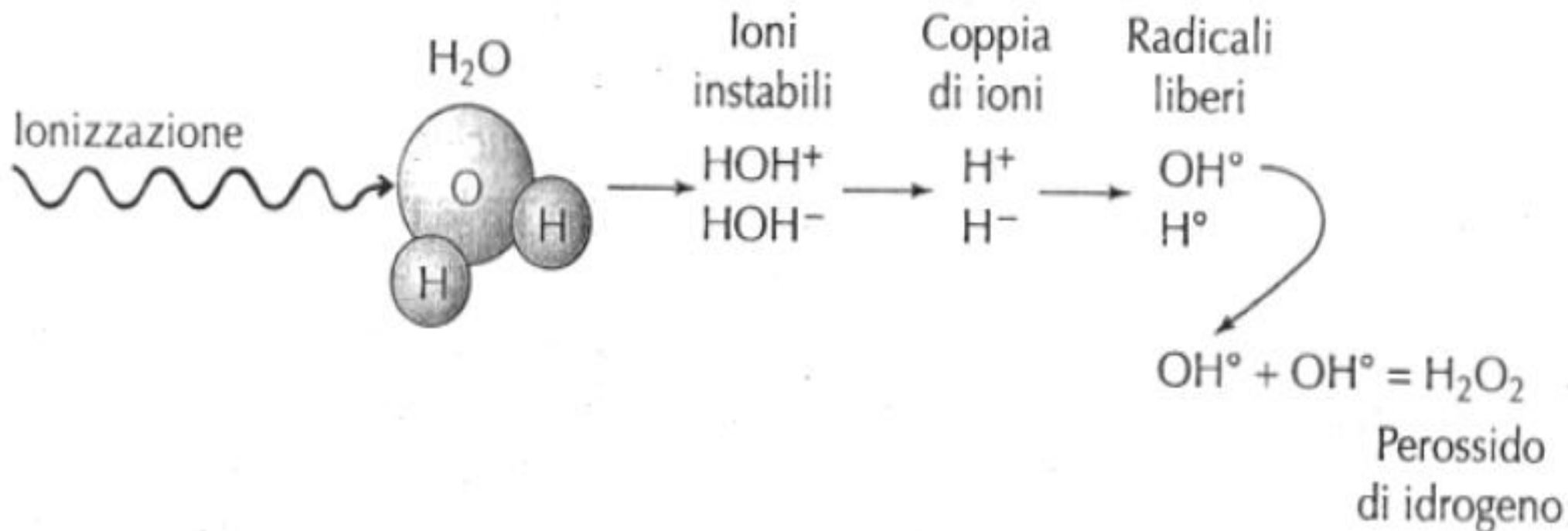
### 4 – Fase Biologica

Trasferimento delle modifiche chimiche ai sistemi biologici (Denaturazione Proteica)

Mutazione Genetica a causa del DNA danneggiato

# Il Danno da Radiazioni

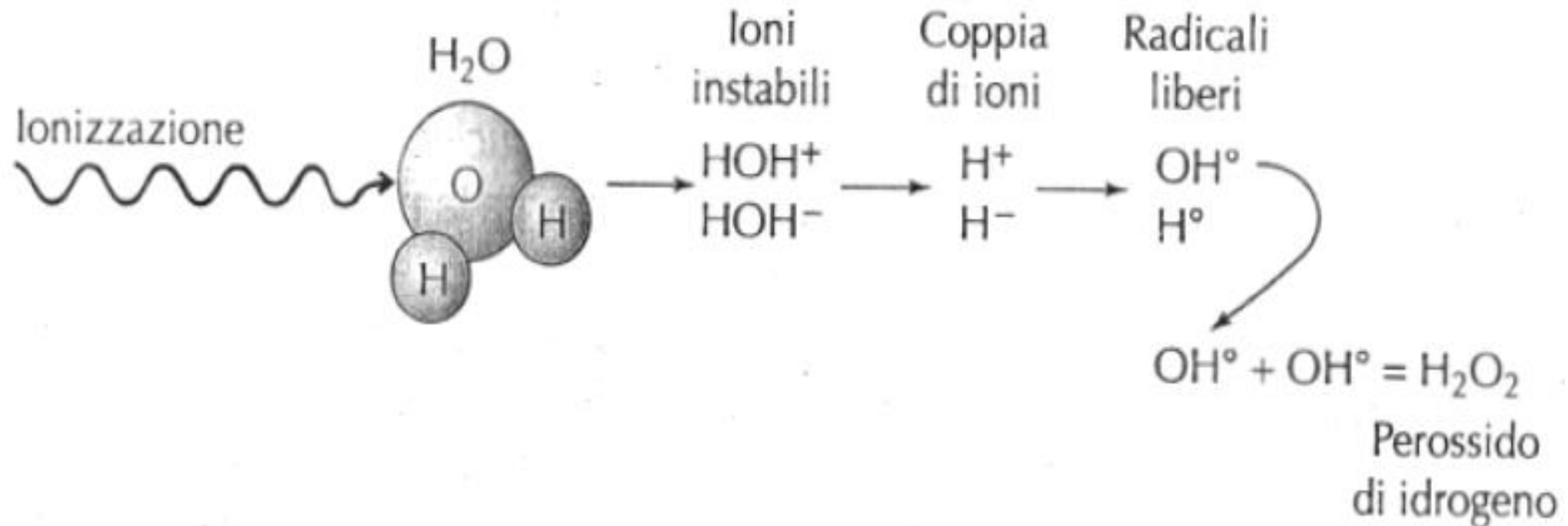
## La Genesi del danno – la produzione di radicali liberi



Quando i radicali liberi ( $H^\circ$  e  $OH^\circ$ ) agiscono sui composti organici (RH) diluiti in acqua, i loro effetti diventano gravi, in quanto si formano radicali liberi organici ( $R^\circ$ ).

# Il Danno da Radiazioni

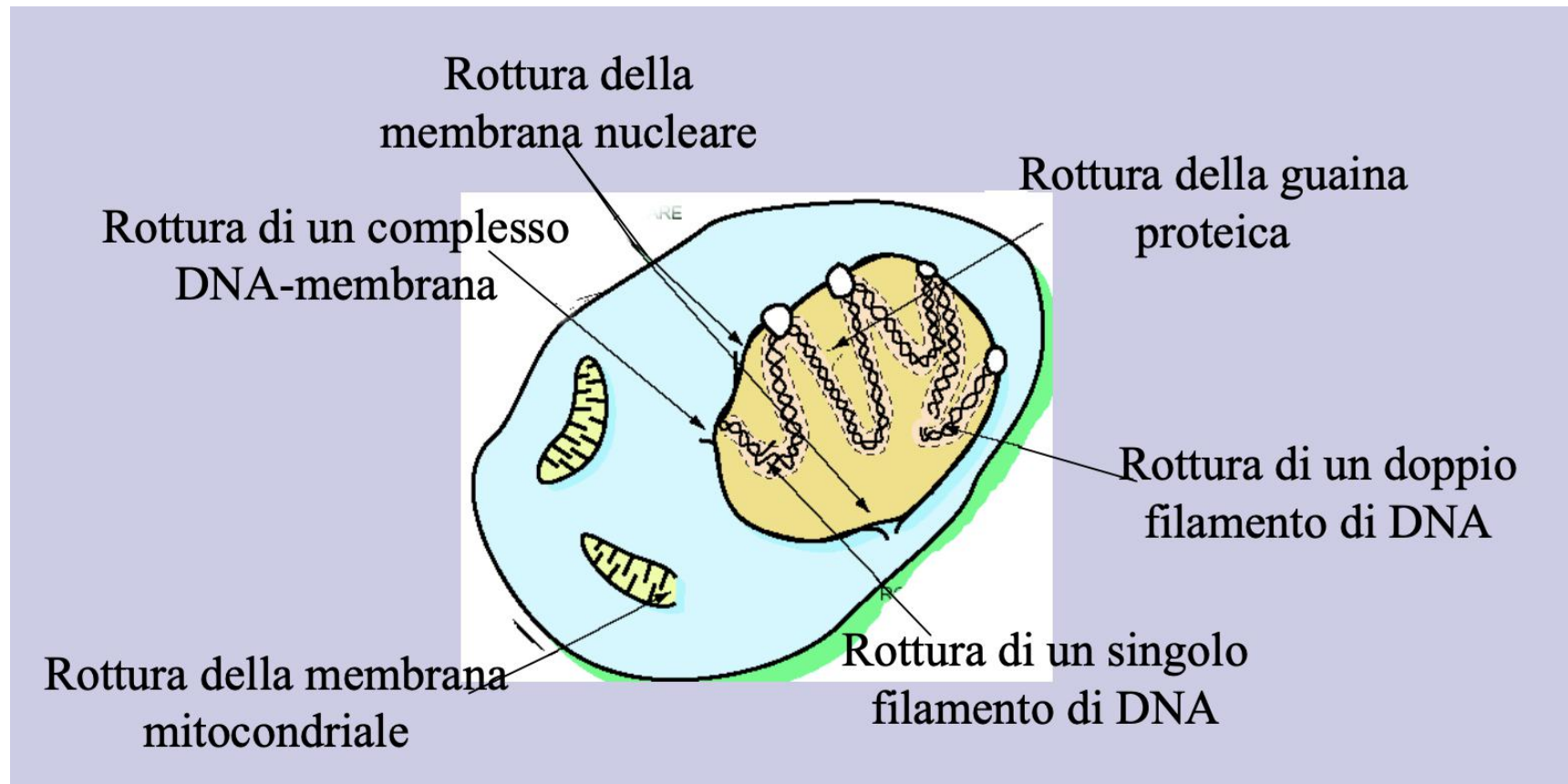
## La Genesi del danno – la produzione di radicali liberi



La formazione dei radicali liberi, essendo un processo chimico, può essere modificata da processi biologici. Per esempio, gli enzimi che distruggono i perossidi quali la **catalasi** o la **perossidasi**, riducendo la quantità di  $H_2O_2$  intracellulare, riducono anche l'entità di un eventuale danno biologico che altrimenti si produrrebbe.

## La Genesi del danno – le tipologie di danno

L'Azione diretta dei **Rx** oppure tramite i **Radicali liberi** può portare diverse tipologie di danno per la cellula:



## La Genesi del danno – le tipologie di danno

Ma...

**Il danno più grave alla cellula è a carico del materiale genetico nucleare (DNA).**

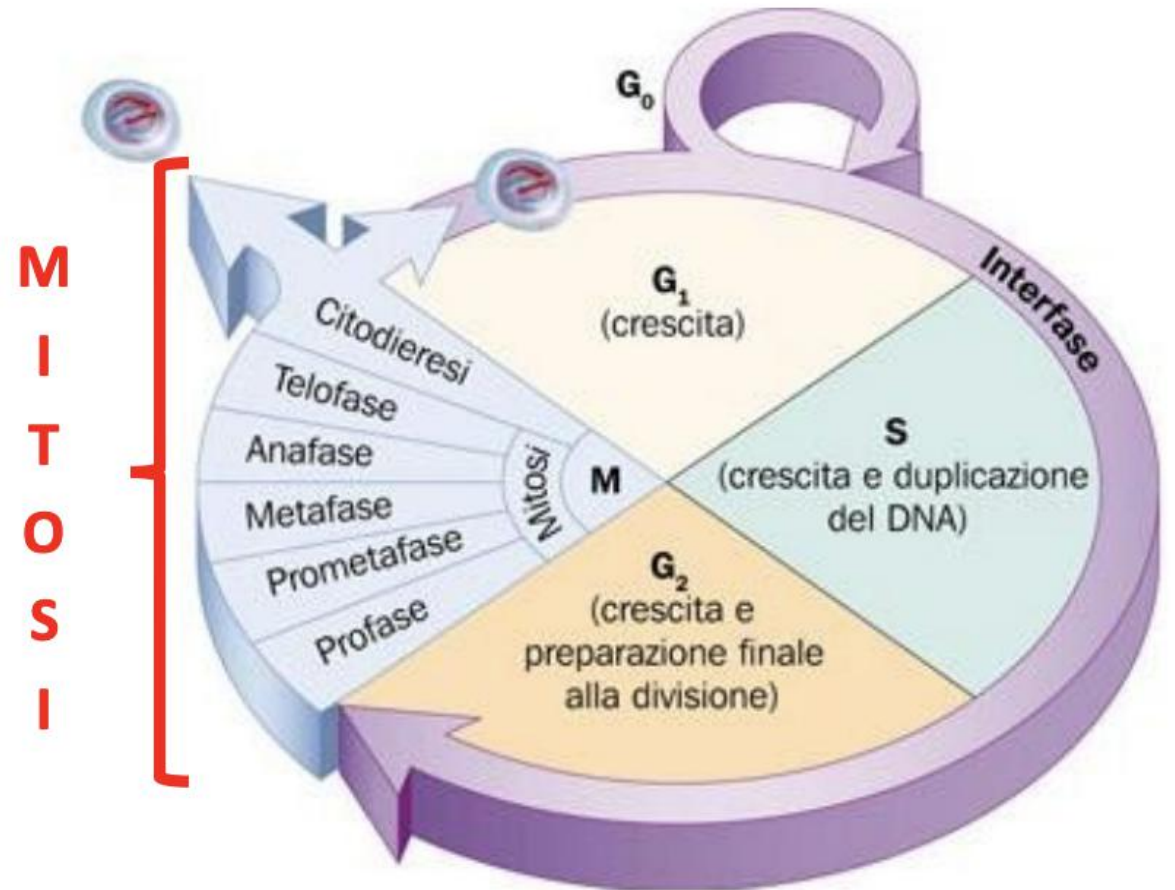
Alterazioni del DNA possono causare:

- 1) Morte istantanea della cellula con conseguente detrimento dell'organo di appartenenza.
- 2) Morte riproduttiva, la cellula non è più in grado di riprodursi.
- 3) Apoptosi, cioè morte programmata della cellula
- 4) **Induzione di processo neoplastico**

## Il Ciclo Cellulare

Il **ciclo cellulare** comprende quattro **fasi** sequenziali denominate G<sub>1</sub>, S, G<sub>2</sub> e M, oltre ad una fase **G<sub>0</sub>**.

La fase **G<sub>0</sub>** può essere permanente o transitoria indicando rispettivamente una cellula che non si divide più o che temporaneamente non si divide ma può essere attivata e rientrare in fase G<sub>1</sub>





# Il Danno da Radiazioni

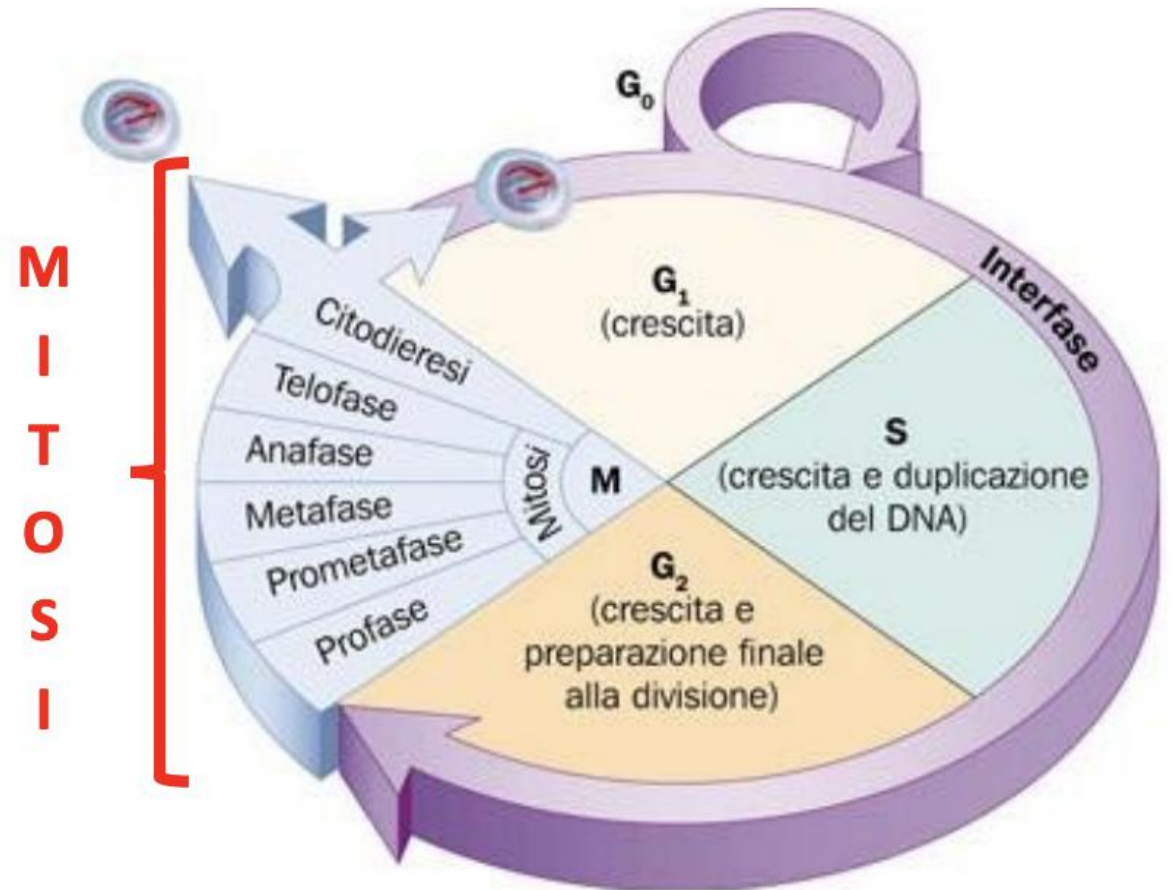
## I Geni Oncosoppressori

I **Geni Oncosoppressori** regolano la proliferazione delle cellule quando tradotti.

Gli eventi che portano le cellule normali alla trasformazione neoplastica sono determinati da mutazioni in due classi di geni:

- **protooncogeni**
- **oncosoppressori.**

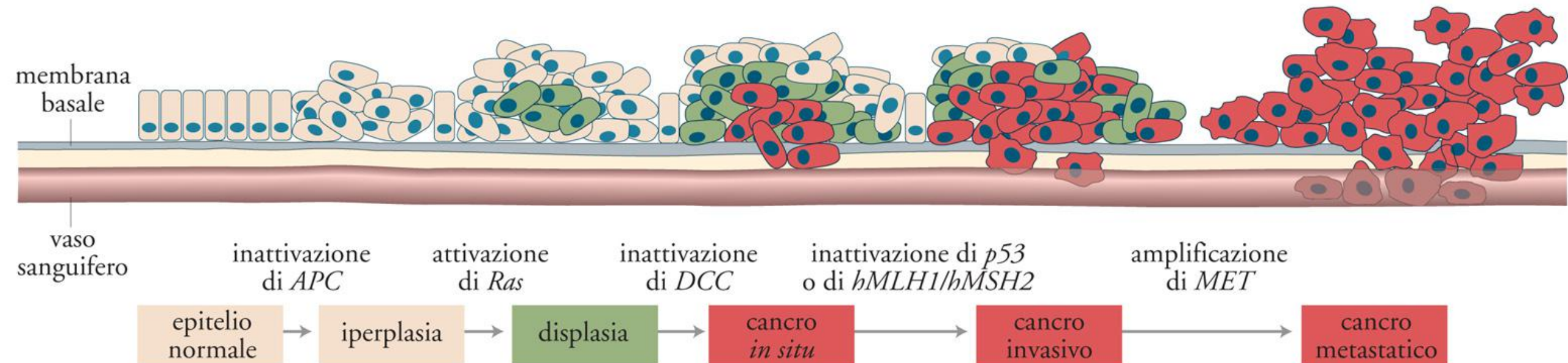
I protooncogeni favoriscono la crescita cellulare, mentre **gli antioncogeni la inibiscono.**



# Il Danno da Radiazioni

## La Genesi del Cancro

Il cancro è causato dall'accumulo di lesioni che colpiscono un numero limitato di geni: gli Oncosoppressori (geni che quando estrinsecati codificano proteine che mediano segnali negativi per la proliferazione cellulare).



# Il Danno da Radiazioni

## La Genesi del danno – le tempistiche

EVENTO	TEMPO
1) Interazione iniziale con la materia	$10^{-24} - 10^{-14}$ s
2) Stadio chimico – fisico deposito di energia alle strutture molecolari	$10^{-12} - 10^{-8}$ s
3) Danno a livello chimico radicali liberi, molecole eccitate	$10^{-7}$ s – ore
4) Danno a livello biomolecolare proteine, DNA, RNA	ms – ore
5) Danno a livello biologico (precoce) morte cellulare, morte dell'individuo	ore – settimane
6) Danno a livello biologico (tardivo) Induzione di neoplasie, effetti genetici	anni – secoli

# Il Danno da Radiazioni

## La Radiosensibilità e Radioresistenza degli organi

gonadi	0,20	
midollo osseo rosso	0,12	
milza	0,12	
colon	0,12	
polmoni	0,12	
stomaco	0,12	
vescica	0,05	
mammelle	0,05	
fegato	0,05	
esofago	0,05	
tiroide	0,05	
pelle		0,01
superficie ossea		0,01
rimanenti organi o tessuti	0,05	

### Fattore di Ponderazione Tissutale

rappresenta la frazione di detrimento da irradiazione dell'organo o tessuto T, rispetto al detrimento totale da irradiazione uniforme del corpo intero

## Le Grandezze Dosimetriche

### ➤ DOSE ASSORBITA

energia assorbita per unità di massa

La sua unità di misura è il **Gray (Gy)**

1 Gy = assorbimento di 1 J di energia radiante per kg di materia (1J/kg)

$$D = \frac{d E}{d m}$$

La dose assorbita  $D$ , misura la quantità di energia assorbita da un'unità di massa di un materiale qualunque sia esso inerte o biologico !

## Le Grandezze Dosimetriche

### ➤ DOSE EQUIVALENTE

Grandezza che misura il danno biologico a partire dalla Dose Assorbita ( $D$ ) tenuto conto del Fattore di Ponderazione della radiazione incidente ( $w_R$ )

La sua unità di misura è il **Sievert (Sv)**

$$H_T = \sum_R w_R D_R$$

La dose equivalente quantifica invece gli effetti biologici della radiazione sull'organismo dato che i diversi tipi di radiazione possono essere più o meno dannosi per l'organismo.

## Le Grandezze Dosimetriche

### ➤ DOSE EFFICACE

La Dose Efficace rappresenta la somma ponderata delle Dosi Equivalenti ( $H_T$ ) ai vari organi e tessuti tenuto conto della radiosensibilità e radioresistenza specifica dei vari organi e tessuti ( $w_T$ ).

La sua unità di misura è il **Sievert (Sv)**

$$E = \sum_T w_T H_T$$



## Le Grandezze Dosimetriche

**Dosi assorbite  
agli organi  
(gray)**

**Fattori di peso  
Della radiazione**

**Dosi equivalenti  
Agli organi  
(sievert)**

**Dose efficace  
(sievert)**

**Fattori di peso  
Per i tessuti**

## Le Grandezze Dosimetriche

### ➤ DOSE IMPEGNATA

Quando si parla di Dose Impegnata ci si riferisce ad una dose derivante dall'introduzione di uno o più radioisotopi all'interno dell'organismo (**INTAKE**) in caso di ingerito o inalato.

Si può a sua volta suddividere in:

- **Dose equivalente impegnata**
- **Dose efficace impegnata**

## Gli Effetti delle radiazioni

Gli effetti patologici dell'irradiazione possono essere raggruppati in 4 classi di differente caratteristiche cliniche e diverso significato sanitario :

- **Effetti Immediati** sull'individuo irradiato dovuti a morte cellulare
- **Effetti Tardivi** sull'individuo irradiato dovuti a modificazioni nelle cellule somatiche
- **Effetti Ereditari** Visibili sulla progenie dell'individuo irradiato dovuti a cambiamenti avvenuti nelle cellule germinali da danno diretto al DNA
- **Effetti da irradiazione dell'Embrione e del Feto**

## Gli Effetti delle radiazioni

Gli effetti patologici dell'irradiazione possono ulteriormente essere distinti in due macro categorie:

➤ **DANNO SOMATICO**

per gli effetti che si manifestano sullo stesso individuo irradiato

➤ **DANNO GENICO**

per gli effetti che si manifestano sulla discendenza del soggetto irradiato

# Il Danno da Radiazioni

## Gli Effetti delle radiazioni

Tipologia	Insorgenza	Effetto	Esempi
SOMATICI (individuo esposto)	Deterministici	Immediato	Infertilità
			SIA
	Stocastici	Tardivo	Cataratta
			Tumori solidi
		Leucemie	
GENETICI (progenie)	Stocastici	Ereditario	Aberrazioni cromosomiche
			Mutazioni geniche

# Il Danno da Radiazioni

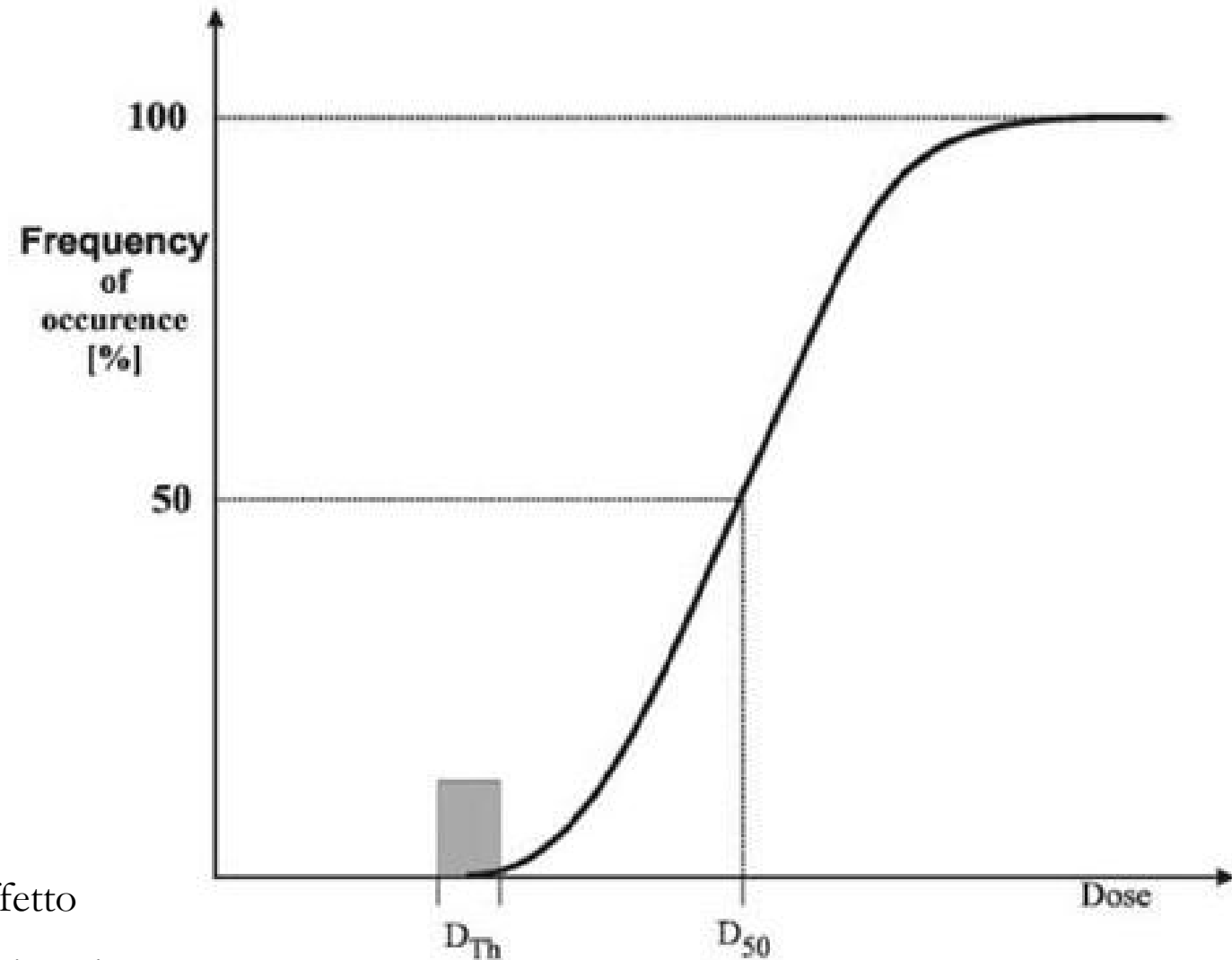
## Gli Effetti Immediati

La relazione tra la quantità di radiazione assorbita e l'incidenza degli effetti **DETERMINISTICI** è rappresentata da una sigmoide.

$F$  = Percentuale di insorgenza nella popolazione

$D_{th}$  = Valore minimo di radiazione che può indurre l'effetto

$D_{50}$  = Valore dopo il quale il 50% della popolazione registra l'evento



# Il Danno da Radiazioni

## Gli Effetti Immediati

Sono tipici di condizioni di irradiazione forte e di breve durata e riportano le seguenti caratteristiche :

- Si manifestano solo se è superato, in un dato intervallo di tempo, un determinato valore soglia che è caratteristico di ogni effetto (Effetti a Soglia)
- Colpiscono tutti coloro che sono irradiati con dosi superiori alla soglia
- Quasi tutti si manifestano al più entro qualche settimana dall'irradiazione
- Mostrano un aggravamento dei sintomi con il crescere dell'esposizione

### **EFFETTI DETERMINISTICI**

**ovvero non legati alla casualità, non stocastici**



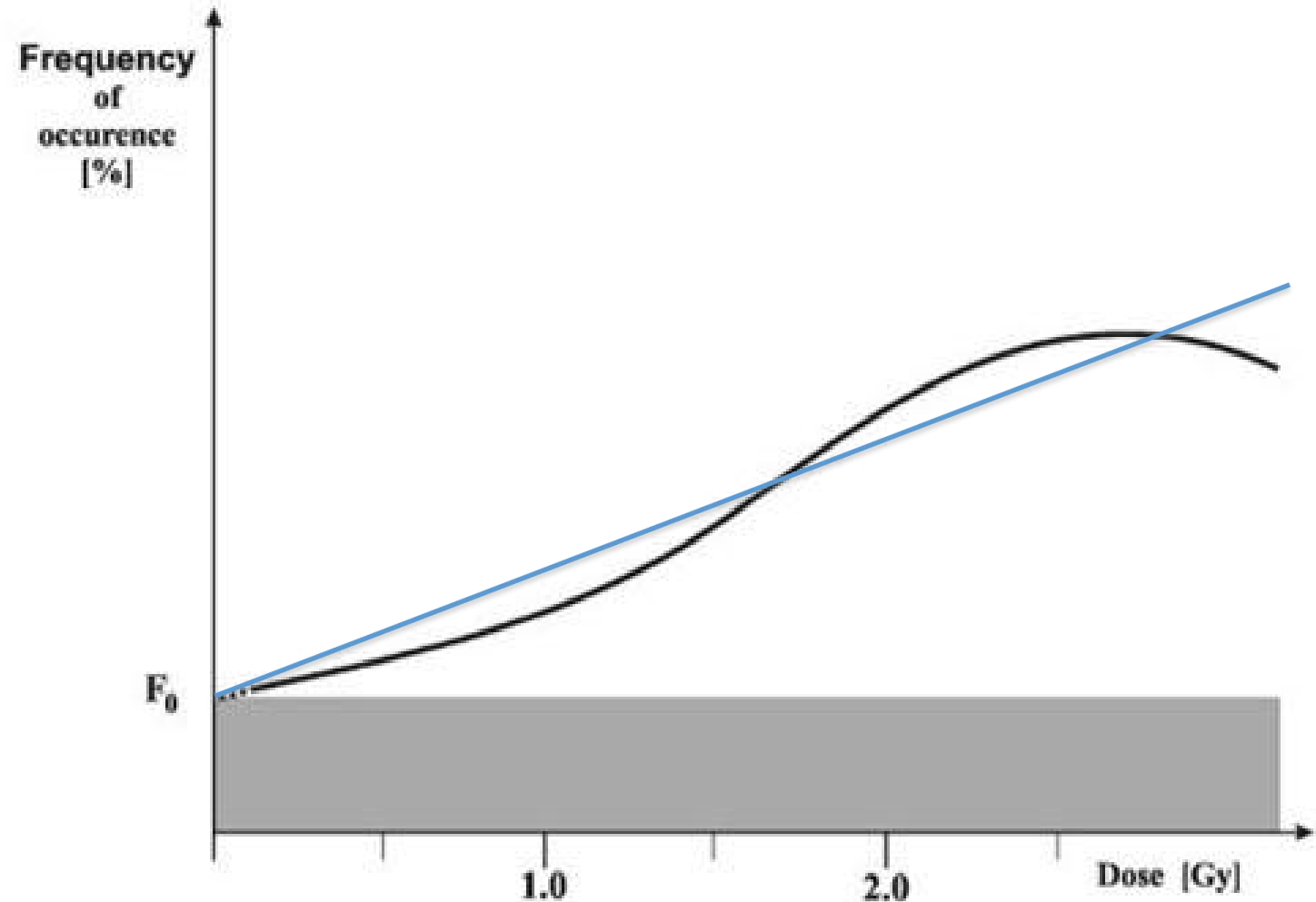
## **Gli Effetti Immediati – dipendono da 4 fattori:**

1. **Dose Assorbita** : Esiste una proporzionalità tra dose assorbita, frequenza di comparsa e severità dell'effetto biologico in una popolazione esposta
2. **Rateo di Dose** : Indicativo del Tempo durante il quale una certa dose è assorbita. A parità di dose l'entità dell'effetto biologico sarà tanto maggiore quanto minore sarà il tempo in cui è stata assorbita.
3. **Radiosensibilità specifica : Legge di Bergonie e Tribondeau**. Il danno biologico è maggiore nei tessuti e cellule che presentano una maggiore attività proliferativa.
4. **Qualità della RADIAZIONE : LET – Linear Energy Transfer**. L'entità dell'effetto aumenta all'aumentare del LET, cioè del numero di Ionizzazioni per unità di percorso.

# Il Danno da Radiazioni

## Gli Effetti Tardivi

La relazione tra la quantità di radiazione assorbita e l'incidenza degli effetti **STOCASTICI** è approssimabile ad una **RETTA**



$F_0$  = Valore minimo **ESTRAPOLATO** di possibile insorgenza

# Il Danno da Radiazioni

## Gli Effetti Tardivi

Sono tipici di condizioni di irradiazione prolungate e di bassa entità caratterizzate da :

1. Non richiede il superamento di un Valore Soglia per la comparsa. (Effetto senza Soglia)
2. Hanno frequenza di comparsa piccola o piccolissima. (Effetto Probabilistico)
3. La frequenza di comparsa è maggiore se le dosi ricevute sono più elevate.
4. Si manifesta dopo anni, talora decenni, dall'irradiazione. ( Effetto Tardivo )
5. Non mostra gradualità di manifestazione, ma è del tipo Tutto o Niente indipendentemente dalla quantità di radiazione. ( Effetto non Graduato )

### **EFFETTI STOCASTICI**

Ovvero legati alla casualità

# Il Danno da Radiazioni

## Effetti dannosi delle radiazioni

Consideriamo 5 gemelli  
perfettamente identici



- 1° gemello è isolato da ogni fonte radiogena e colpito da **1 solo Rx** in tutta la sua vita
- 2° gemello lavora presso Poste e prende la dose media della popolazione di **2,5 mSv/anno**
- 3° gemello lavora in Emodinamica e riceve in media **15 mSv/anno di dose addizionale**
- 4° gemello lavora in Medicina Nucleare e riceve **una dose accidentale di 80 mSv in 1 anno**
- 5° gemello lavora con un Ciclotrone e riceve **una dose accidentale di 1.480 mSv in un anno**

**COSA CAMBIA TRA I 5 GEMELLI ?**

## Danni Stocastici VS Danni Deterministici

Effetti	Dose soglia	Cosa è proporzionale alla dose?	Entità del Danno	Rapporto Causa/Effetto
Deterministici	SI	Il Danno	Specifico Relativo alla quantità e qualità della radiazione erogata	Generalmente certo
Stocastici	NO	Il Rischio	Aspecifico Tutto o nulla	Sempre incerto

## Esempi di danno

### **SINDROME DA IRRAGGIAMENTO ACUTO**

L'irradiazione totale corporea si verifica per 3 condizioni:

1. Esposizione ad una esplosione nucleare o accidentale (fase prodromica, periodo di latenza, periodo di evoluzione);
2. Esposizione a piccole dosi continue per ragioni professionali che possono indurre alterazioni della formula leucocitaria ed emorragie
3. Radioterapia nel condizionamento al trapianto di midollo osseo

## Esempi di danno

### EFFETTI PREVEDIBILI DELLE DOSI ACUTE DI RADIAZIONE ESTESE A TUTTO IL CORPO

DOSE ACUTA (Sv)	Effetti
0 + 0.5:	effetti non rilevabili, eccettuata la possibilità di piccoli mutamenti nel sangue.
0.8 + 1.2:	vomito e nausea, per circa un giorno, nel 5 o 10% del personale esposto; senso di stanchezza che però non limita fortemente la capacità lavorativa.
1.3 + 1.7:	vomito e nausea per un giorno, seguiti da altri sintomi del male da raggi, in circa il 25% del personale esposto.
1.8 + 2.2:	vomito e nausea per circa un giorno, seguiti da altri sintomi del male da raggi in circa il 50% del personale esposto; non si verificano decessi precoci.
2.7 + 3.3:	vomito e nausea nel primo giorno, seguiti da altri sintomi del male da raggi, in quasi tutto il personale esposto; circa il 20% di morti in due-sei settimane dopo l'esposizione; i sopravvissuti rimangono convalescenti per circa 6 mesi.
4.0 + 5.0:	vomito e nausea nel primo giorno, in tutto il personale esposto; circa il 50% di morti in un mese.
5.5 + 7.5:	vomito e nausea in tutto il personale entro 4 ore dall'esposizione, seguiti dagli altri sintomi del male da raggi; quasi il 100% di morti.
10:	vomito e nausea in tutto il personale esposto, entro una o due ore; probabilmente non ci saranno superstiti.
50:	inabilità immediata: tutte le persone colpite muoiono entro una settimana.



# Il Danno da Radiazioni

## Esempi di danno

### **SINDROME OSTEOMIDOLLARE**

Si osserva la scomparsa dei linfociti (subito dopo l'esposizione), poi dei granulociti neutrofili (2-3 gg), poi delle piastrine e degli eritrociti (Leucopenia e Piastrinopenia).

La Pan-irradiazione (irradiazione di tutto il corpo umano) è utilizzata nel condizionamento dei trapianti di Midollo Osseo

### **SINDROME del S.N.C**

Si osserva irritabilità, iperreattività, epilessia e coma.

La rapida modificazione della permeabilità dei vasi ematici provoca edema.

La sindrome è irreversibile ed il trattamento sintomatico

# Il Danno da Radiazioni

---

## Esempi di danno

### SINDROME INTESTINALE

Si osservano Infezioni Sistemiche da parte della flora intestinale causato dalla mancanza di epitelio di difesa, appiattimento dei villi, disepitelizzazione, alterazioni dei centri germinativi e delle cripte  
=> malassorbimento e diarrea

Il concomitante danno a livello del M.O. favorisce le infezioni

### CUTE

Eritema, iperpigmentazione, epidermolisi secca ed umida, Ulcerazione

Alterazione degli annessi cutanei (follicoli piliferi, ghiandole sebacee e sudoripare)

Atrofia cutanea (cute secca, anelastica, con fini teleangiectasie)



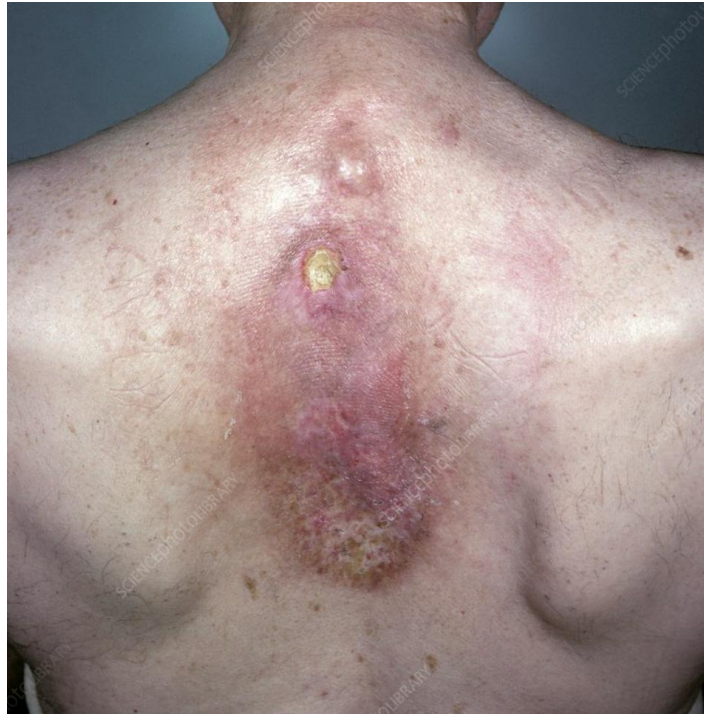
# Il Danno da Radiazioni

---

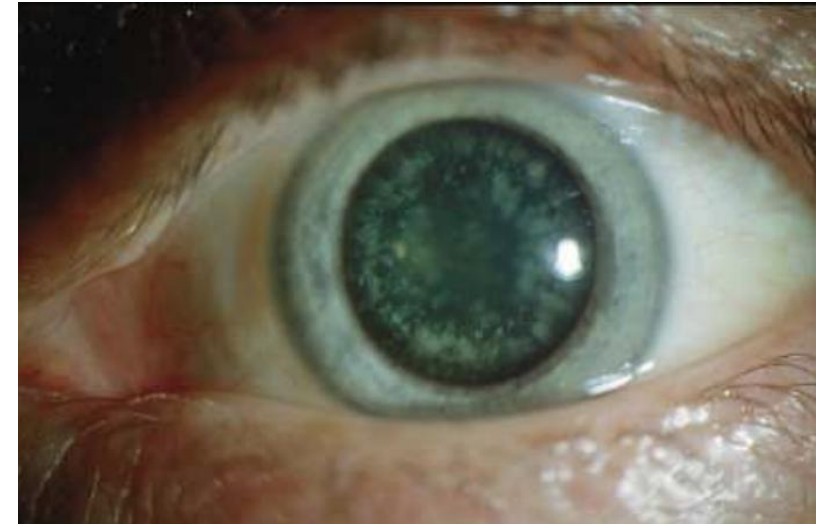
## Esempi di danno



**DERMATITE**



**RADIODERMITE**



**CATARATTA**

## Esempi di danno



- Paziente 53 anni - 141 kg
- 51.4 min fluoroscopia alta dose
- Dose pelle 22 Gy

- Paziente 49 anni
- 20 min fluoroscopia
- Braccio in ingresso al tubo



- Paziente 57 anni
- Tempo totale 6 ore
- Tempo fluoroscopia ignoto



# Il Danno da Radiazioni

## Effetti sull'Embrione e sul Feto

Gli effetti possono essere dovuti all'azione delle radiazioni sui tessuti embrionali o sugli organi fetali, oppure possono essere conseguenza di danni sulle cellule germinali dei genitori.



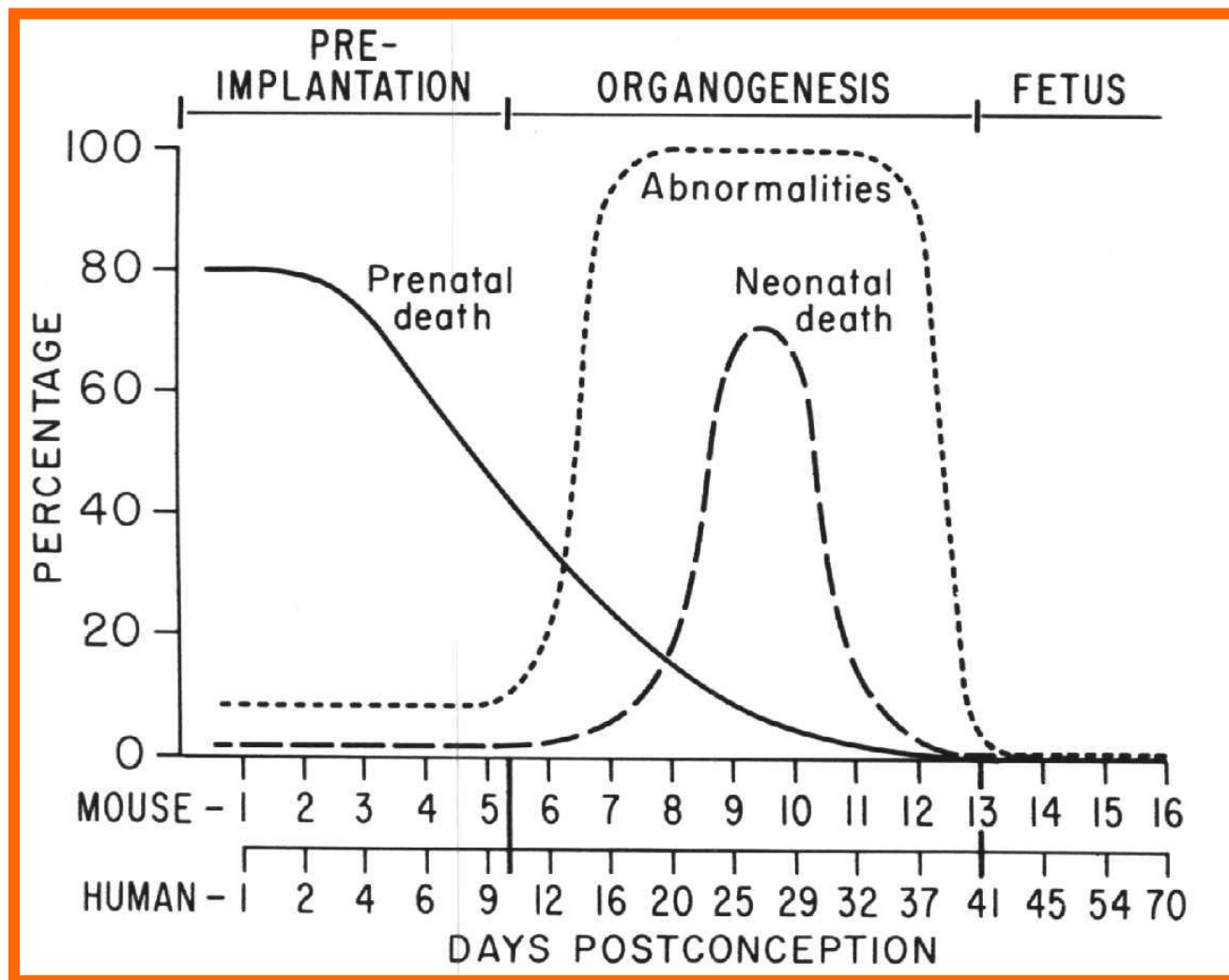
**Danni Genetici – indotti dell'ovocellula e nello spermatozoo che si manifestano con il concepimento**

Oppure

**Danni Somatici – prodotti sul feto dopo il concepimento**

## Effetti sull'Embrione e sul Feto

(1/3)



Andamento del danno SOMATICO

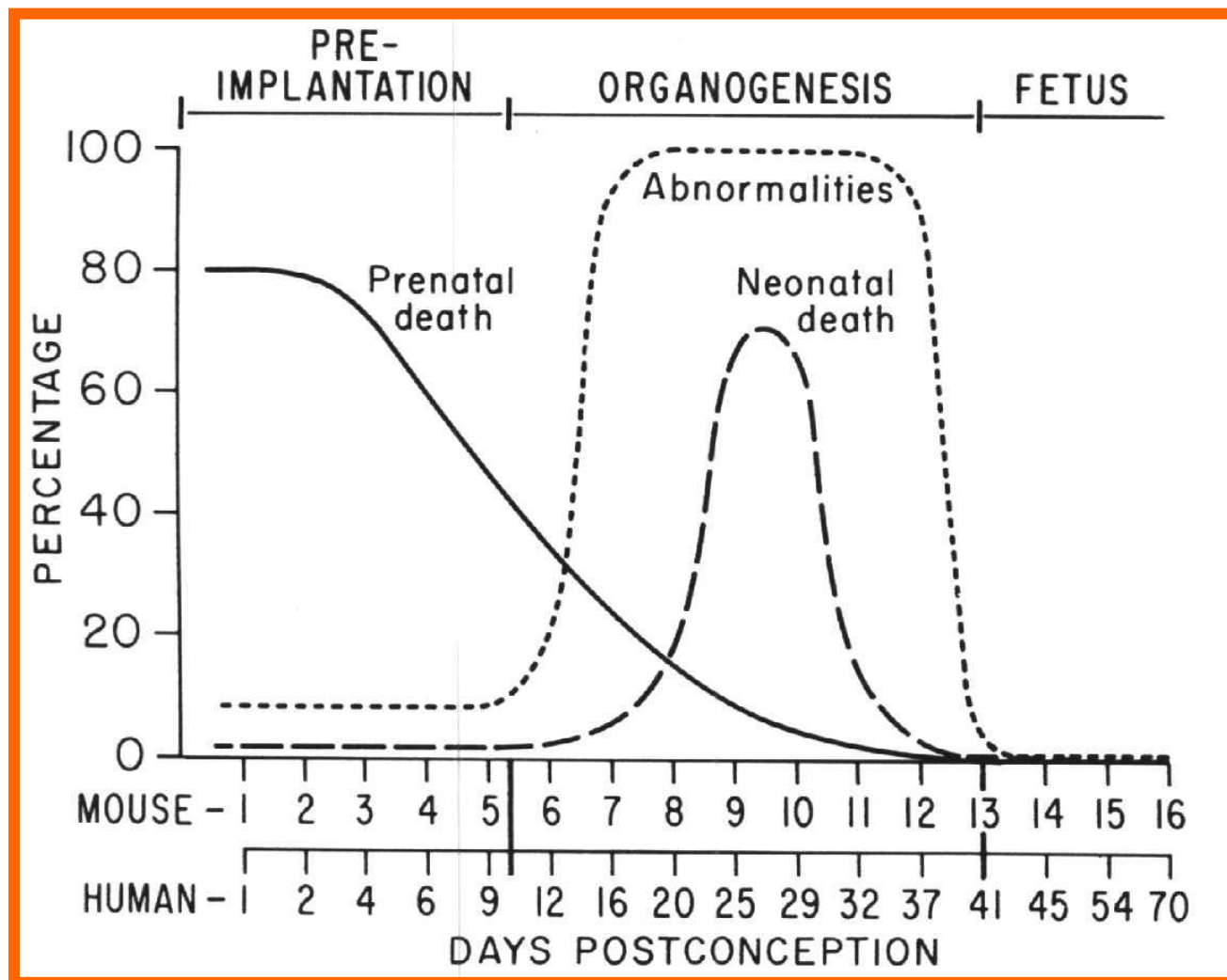
- Gli ABORTI prevalgono se l'irradiazione precede l'organogenesi
- Le MALFORMAZIONI prevalgono se l'irradiazione avviene durante l'organogenesi

Morfogenesi e Organogenesi:

9° giorno – 2° mese

## Effetti sull'Embrione e sul Feto

(2/3)

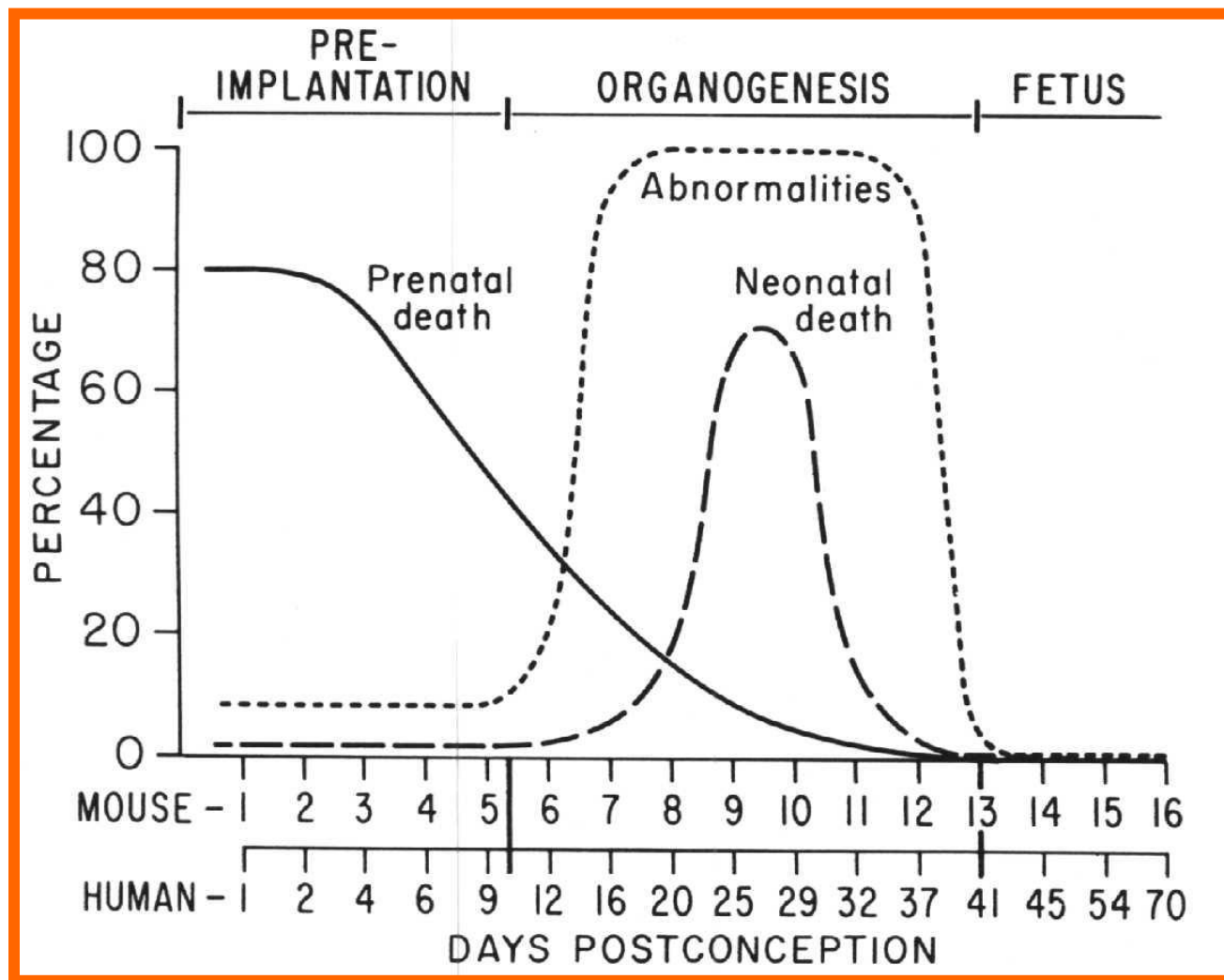


Per quanto concerne le lavoratrici radioesposte in gravidanza queste hanno l'obbligo **di comunicare al datore di lavoro** il loro stato e non devono essere esposte a radiazioni in ambito lavorativo durante la gravidanza **e nei 7 mesi dopo il parto.**



## Effetti sull'Embrione e sul Feto

(3/3)



Al rientro dalla gravidanza, anche superati i 7 mesi dal parto, queste non devono accedere nei luoghi dove i radionuclidi sono manipolati, trasportati o somministrati ai pazienti, che siano essi in degenza o meno, fintanto che la fase di allattamento non sia giunta al termine.

# **La Radioprotezione**

## Radioattività Naturale e Artificiale

### Dai fenomeni naturali...

- 1895: Roentgen → raggi X
- 1896: Becquerel → radioattività naturale
- 1898: Curie → elementi radioattivi
- 1899: Rutherford → radiazioni  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$



1905: Einstein  
→  $E=mc^2$



La massa è solo  
una forma di  
energia

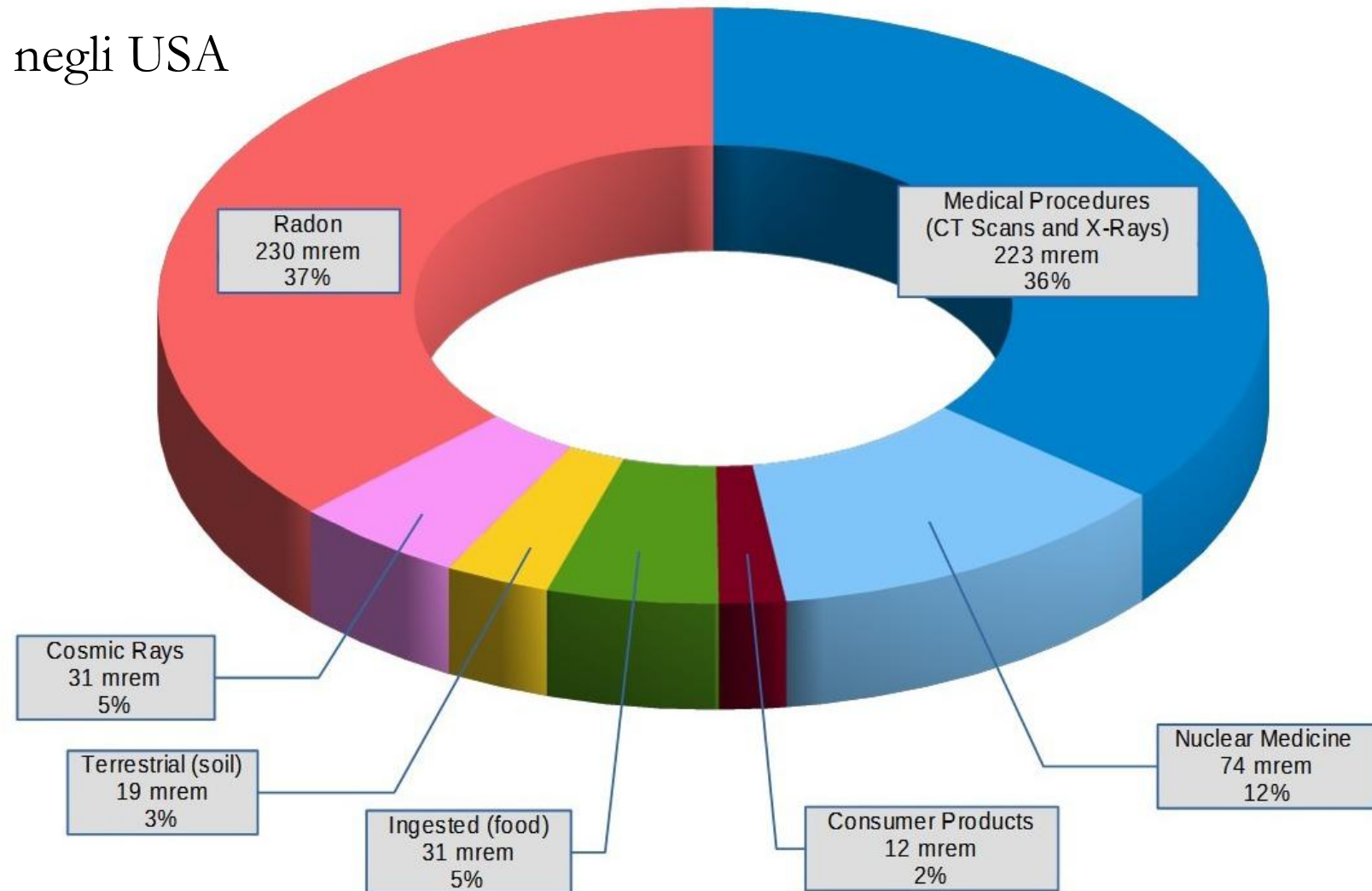
### ...ai fenomeni artificiali

- 1919: Rutherford → reazioni nucleari
- 1932: Chadwick → neutrone
- 1934: Curie → produzione di radioisotopi
- 1934: Fermi → neutroni lenti su uranio
- 1938: Hahn-Strassmann → fissione
- 1942: Fermi → reattore nucleare

## Radioattività Naturale e Artificiale

Sorgenti di radiazioni ionizzanti negli USA

(NCRP Report n. 160)

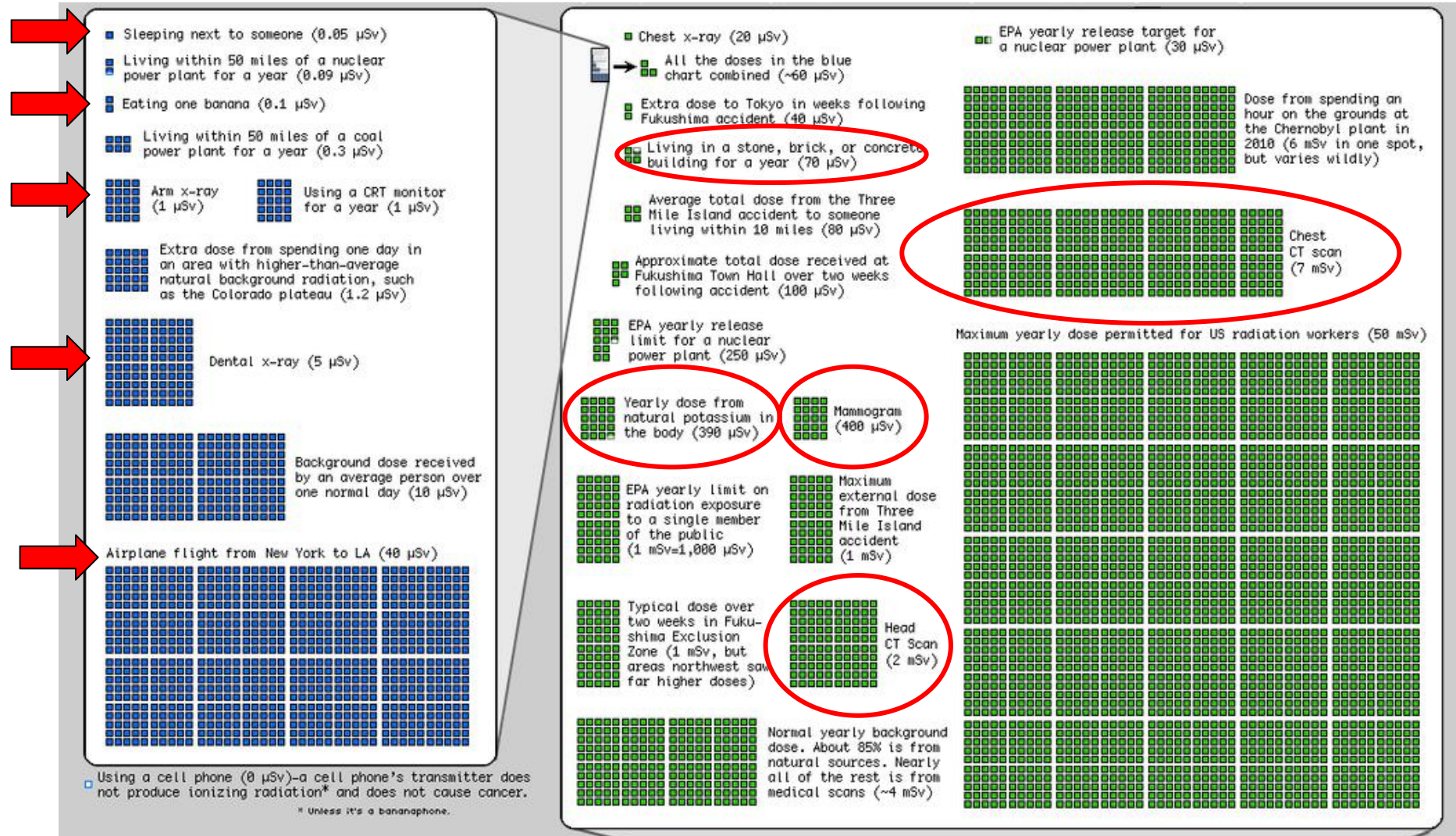


## Osservazioni sull'Effetto delle Radiazioni

Causa	Riduzione media della durata di vita ( giorni )	
Abuso di alcool	4000	
→ Essere celibe, vedovo o divorziato	3500	← 3500/365 ≈ ≈ 10 anni!
Fumo (1 pacchetto di sigarette/giorno)	2250	
→ Essere nubile, vedova o divorziata	1600	←
Essere sovrappeso ( + 20% )	1040	
Incidenti con veicoli a motore	207	
Alcool	130	
Incidenti in casa	74	
Fumo passivo	50	
<b>Esposizione lavorativa alle radiazioni (5 mSv/anno)</b>	<b>40</b>	
Cadute	28	
→ <b>Esposizione alle radiazioni di individui della popolazione (1 mSv/anno)</b>	<b>18</b>	←
Esami RX-diagnostici	6	
Caffè	6	

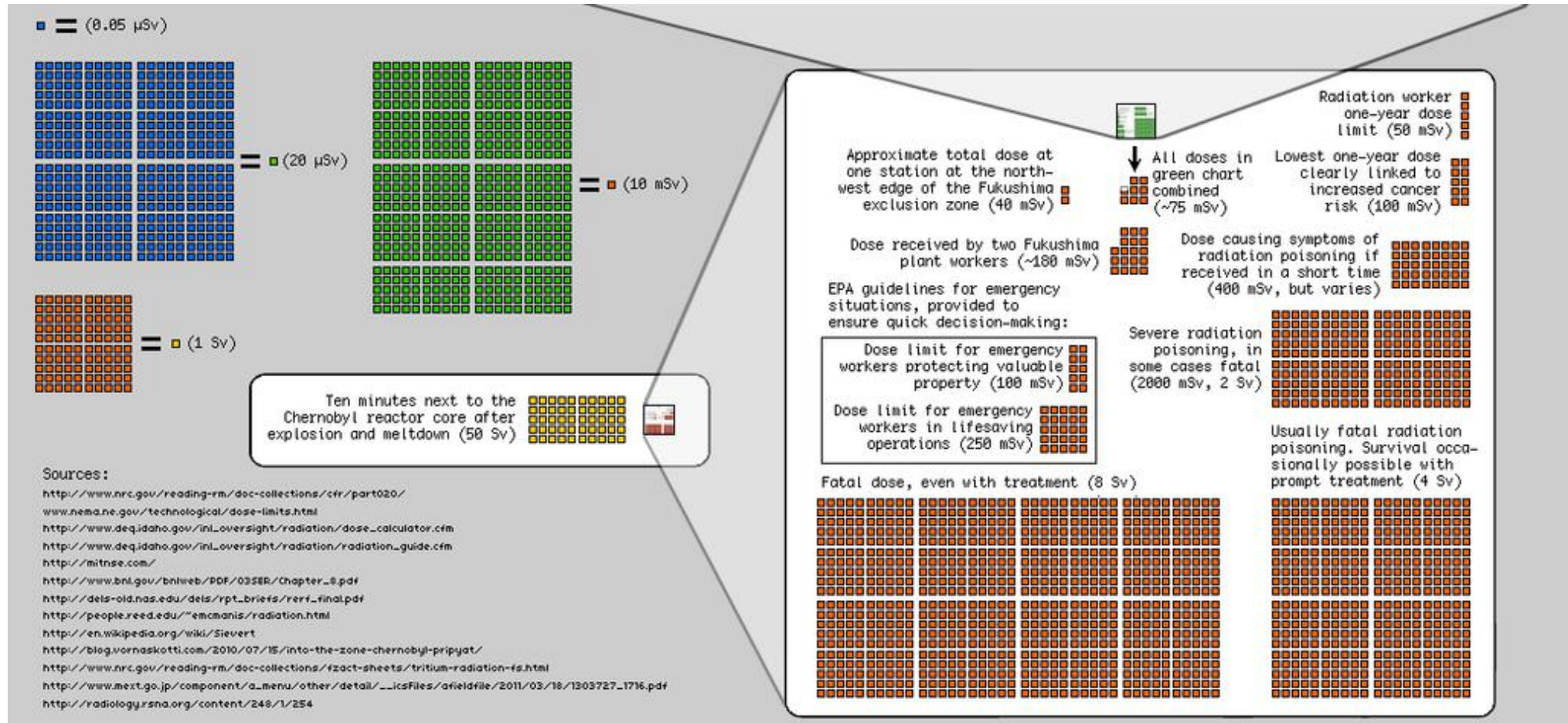


## Radioattività Naturale e Artificiale





## Radioattività Naturale e Artificiale





## Valore medio di Dose Efficace alla popolazione mondiale

<i>Sorgente</i>	<i>Irr. est.</i>	<i>Irr. int.</i>	<i>Totale</i>
Raggi cosmici			
Componente dirett. ionizz.	0,30		0,300
Neutroni	0,055		0,055
Radionuclidi cosmogenici		0,015	0,015
Radionuclidi primordiali			
$^{40}\text{K}$	0,15	0,18	0,330
$^{87}\text{Rb}$		0,006	0,006
$^{238}\text{U}$ (serie)	0,10	1,24	1,340
$^{232}\text{Th}$ (serie)	0,16	0,18	0,340
<b>Valore medio</b>	<b>0,8</b>	<b>1,6</b>	<b>2,4 mSv/anno</b>

## Valore medio di Dose Efficace alla popolazione in Italia

Statisticamente il valore minimo è nella regione della **Val D'Aosta** con un valore pari a **0,49 mSv/anno**

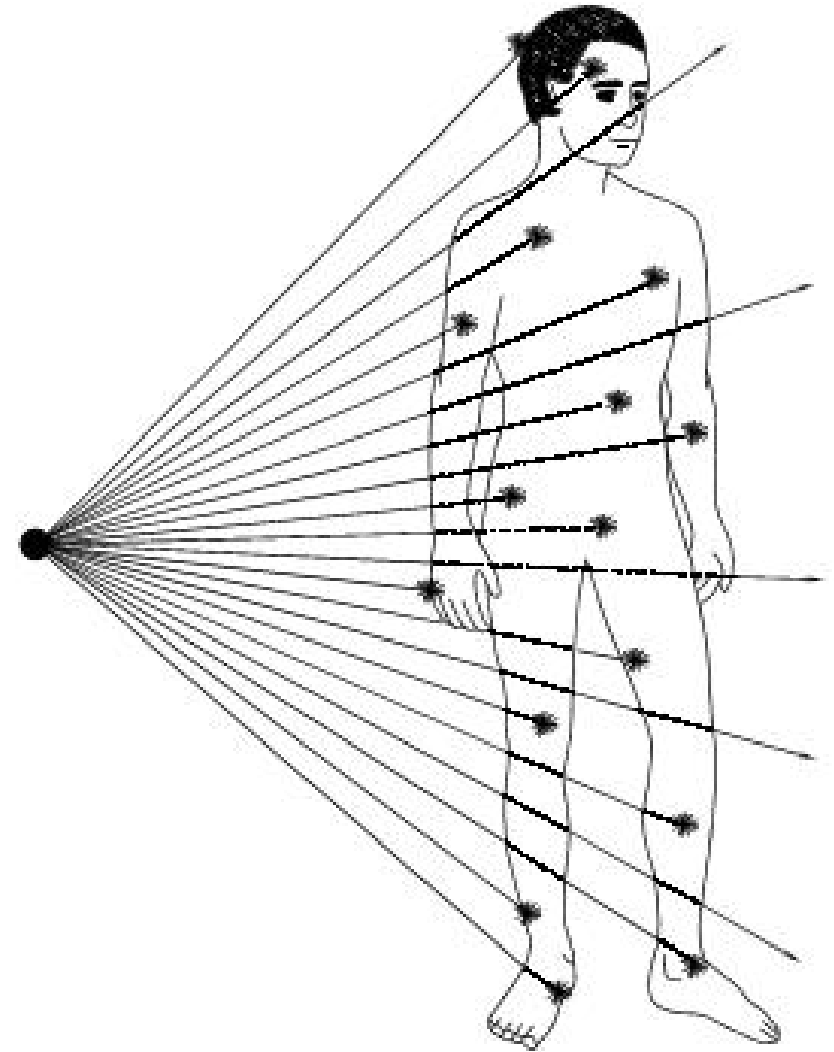


# La Radioprotezione

## La Radioprotezione e l'uomo

Di qualunque tipo sia la sorgente di radiazione, naturale e/o artificiale, qualunque sia l'entità della dose di radiazione (alta dose o bassa dose) ci sarà sempre un effetto biologico a livello dell'organismo esposto. Effetto che potrà generare o no un danno .

**Questo può essere considerato il principio base della radioprotezione**



# La Radioprotezione

---

## Che cos'è la Radioprotezione ?

La radioprotezione è una disciplina autonoma nata come 'campo applicativo' della **radiobiologia** cui è connessa.

La radioprotezione ha come "oggetto" la protezione dell'uomo e dell'ambiente dagli effetti nocivi delle radiazioni.

Essa si fonda su concetti di **fisica** (per quanto concerne le interazioni delle radiazioni con la materia a livello nucleare, atomico e molecolare), di **biologia** (per gli effetti di tali interazioni a livello cellulare) e di **anatomo-fisiologia** (per le conseguenze che tali effetti possono avere, a livello multi-cellulare, su tessuti, organi, apparati e sull'intero organismo) e si avvantaggia anche dall'utilizzo della **biotecnologia** e dell'**ingegneria**.

## Qual è l'oggetto della Radioprotezione ?

La radioprotezione si avvale poi dell'ausilio delle competenze che producono atti legislativi adeguati e normative adeguate.

La radioprotezione trova attuazione infatti, nella pratica, in un insieme di leggi, norme e procedure tese alla protezione da effetti nocivi :

- sui **lavoratori**, per quanto riguarda le esposizioni derivanti dall'attività lavorativa;
- sui **pazienti**, per quanto riguarda le esposizioni derivanti da esami diagnostici o terapie, in particolare con radiazioni ionizzanti;
- sulla **popolazione**, per quanto riguarda i tipi di esposizioni che possono interessarla;
- sull' **ambiente**, per gli effetti indotti sulla popolazione umana che vi risiede o vi lavora

Qual è lo scopo della Radioprotezione ?

**EVITARE** I DANNI DETERMINISTICI

e

**LIMITARE** ad una “probabilità sufficientemente bassa”

i DANNI STOCASTICI



## Tipologie di Esposizione

**LAVORATIVA:** Esposizione ricevuta nel corso e a causa di una attività lavorativa.

### **MEDICA:**

- esposizione di una persona come parte di un'indagine diagnostica o di un trattamento terapeutico.
- esposizione di volontari inseriti in un programma di ricerca biomedica.
- esposizione di persone non esposte per lavoro, ma che coscientemente e volontariamente assistono persone sotto terapia e diagnosi.

**DELLA POPOLAZIONE:** tutte le esposizioni che non sono lavorative o mediche.

## Principi cardine della Radioprotezione

### Principio di GIUSTIFICAZIONE

- Qualsiasi decisione che altera la situazione di esposizione alle radiazioni dovrebbe produrre più benefici che danni.
- Questo significa che andando ad introdurre una nuova sorgente o a ridurre l'esposizione esistente si dovrebbe avere un beneficio, per singoli individui o per la società, maggiore del detrimento causato.
- Le esposizioni mediche richiedono un approccio diverso e dettagliato.

## Principi cardine della Radioprotezione

### Principio di OTTIMIZZAZIONE

- La probabilità di esposizione, il numero di persone esposte, e l'ordine di grandezza delle rispettive dosi individuali, dovrebbero essere tenuti tanto bassi quanto ragionevolmente ottenibile, tenendo in considerazione fattori economici e sociali.
- Questo significa andare a massimizzare i margini del beneficio rispetto al danno e, al fine di evitare possibili inequità, introdurre restrizioni sulle dosi o sui rischi correlati ad una particolare sorgente. (vincoli e livelli di riferimento)

## Principi cardine della Radioprotezione

### Principio di LIMITAZIONE DELLE DOSI

- nessuna attività umana deve essere accolta a meno che la sua introduzione produca un beneficio netto e dimostrabile
- ogni esposizione alle radiazioni deve essere tenuta Tanto bassa quanto è ragionevolmente ottenibile in base a Considerazioni sociali ed economiche principio “**ALARA**”:

### *As Low As Reasonably Achievable*

- l'equivalente di dose ai singoli individui non deve superare i limiti raccomandati

## Principi cardine della Radioprotezione

### Conseguenzialità dell'applicazione dei principi

NB !! - I tre principi devono essere applicati in sequenza: si passa cioè al secondo quando si sia verificato il primo, e al terzo quando si sia verificato anche il secondo.



## Principi cardine della Radioprotezione

L'Applicazione dei tre principi avviene per tramite di un approccio usato per normalmente per affrontare anche tutti gli altri problemi che si presentano nella protezione occupazionale e dell'ambiente.

In particolare include le seguenti fasi:

1. *ricognizione*
2. *valutazione*
3. *controllo*

dei rischi da radiazioni

## Principi cardine della Radioprotezione

1. La **ricognizione** richiede familiarità con tutti i fattori fisici che possono portare all'esposizione alle radiazioni. Questo include la conoscenza di tutte le sorgenti di radiazioni presenti in un determinato ambiente, delle loro proprietà e delle modalità di che possono comportare l'esposizione dei lavoratori, della popolazione e dell'ambiente conseguente all'uso delle sorgenti.
2. La **valutazione** include calcoli, misure delle grandezze fisiche e/o radioprotezionistiche e confronto con standard riconosciuti ed autorizzati, al fine di ridurre l'esposizione e di realizzare ed attuare un sistema completo di protezione



## Principi cardine della Radioprotezione

3. Le misure di controllo per ridurre e limitare l'esposizione sono di due tipi:

- misure per prevenire la contaminazione da sostanze radioattive
- misure per proteggere l'organismo dall'irradiazione esterna

Tutte le misure di controllo includono:

➤ la realizzazione di sistemi di protezione:

- di natura ingegneristica, quindi progettuale, (schermature, sistemi di ventilazione, ecc)
- di natura organizzativa del lavoro (riduzione del tempo di esposizione, e aumento della Distanza dalla sorgente)

➤ l'uso di mezzi di protezione individuale (DPI), qualora necessari

## Gli Attori della Radioprotezione



## Gli Attori della Radioprotezione

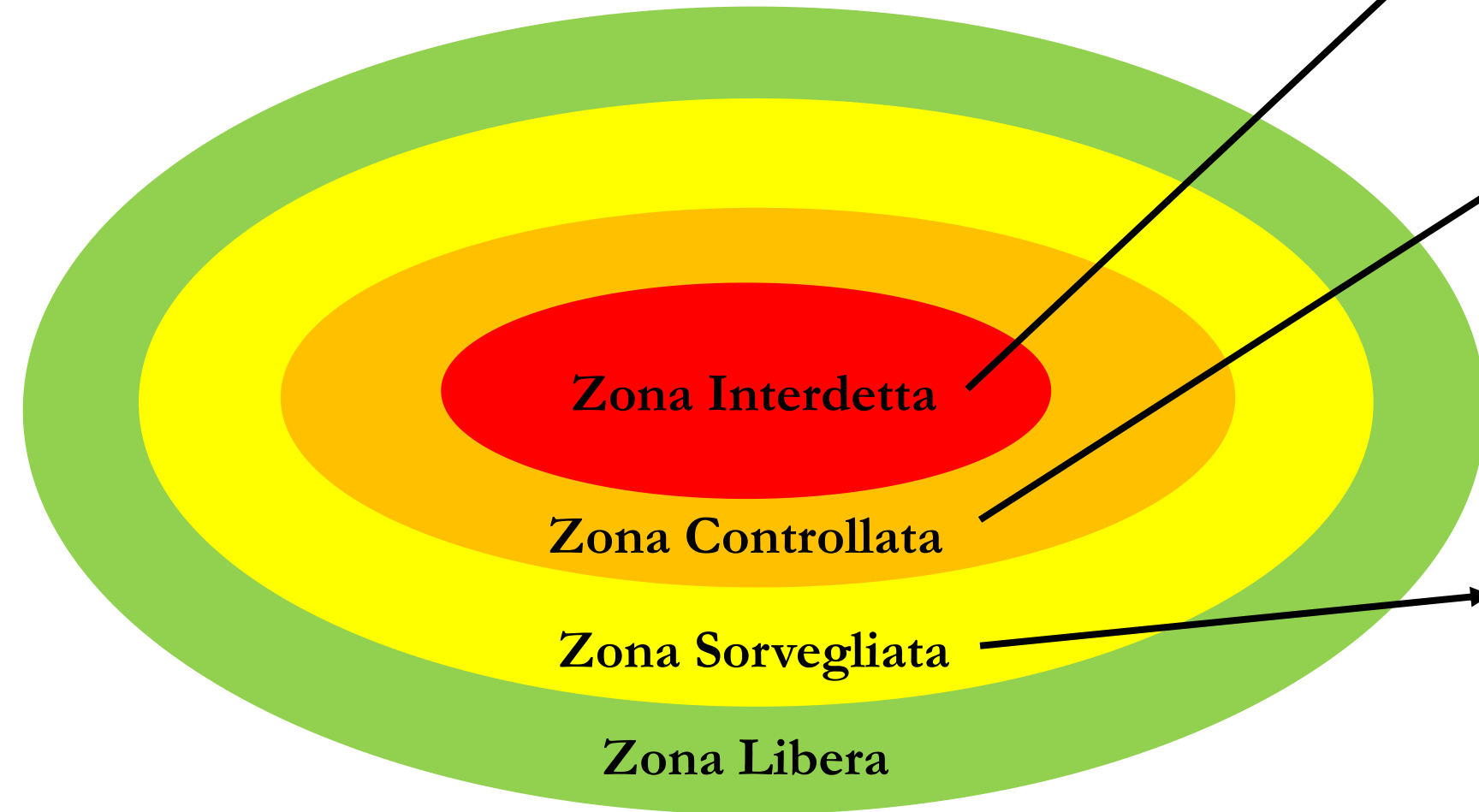


## La Classificazione Del Personale

Lavoratori	Dose Efficace	Dose Equivalente
Non Esposti	Corpo < 1 mSv/anno	Cristallino < 15 mSv/anno Arti e Pelle < 50 mSv/anno
Categoria B	Corpo < 6 mSv/anno	Cristallino < 15 mSv/anno Arti e Pelle < 150 mSv/anno
Categoria A	Corpo < 20 mSv/anno	Cristallino < 20 mSv/anno Arti e Pelle < 500 mSv/anno

# La Radioprotezione

## La Classificazione delle Aree



Zona Interdetta

Zona Controllata

Zona Sorvegliata

Zona Libera

Suscettibile di incorrere in una dose che supera i limiti di Categoria A

Suscettibile di incorrere in una dose che superare i livelli della Categoria B

Suscettibile di incorrere in una dose che supera i limiti dei lavoratori non esposti

## La Cartellonistica di classificazione delle Aree Classificate



ZONA SORVEGLIATA

Zona sorvegliata a rischio di irraggiamento



ZONA CONTROLLATA

Zona controllata a rischio di irraggiamento



ZONA SORVEGLIATA

zona sorvegliata a rischio di irraggiamento e contaminazione



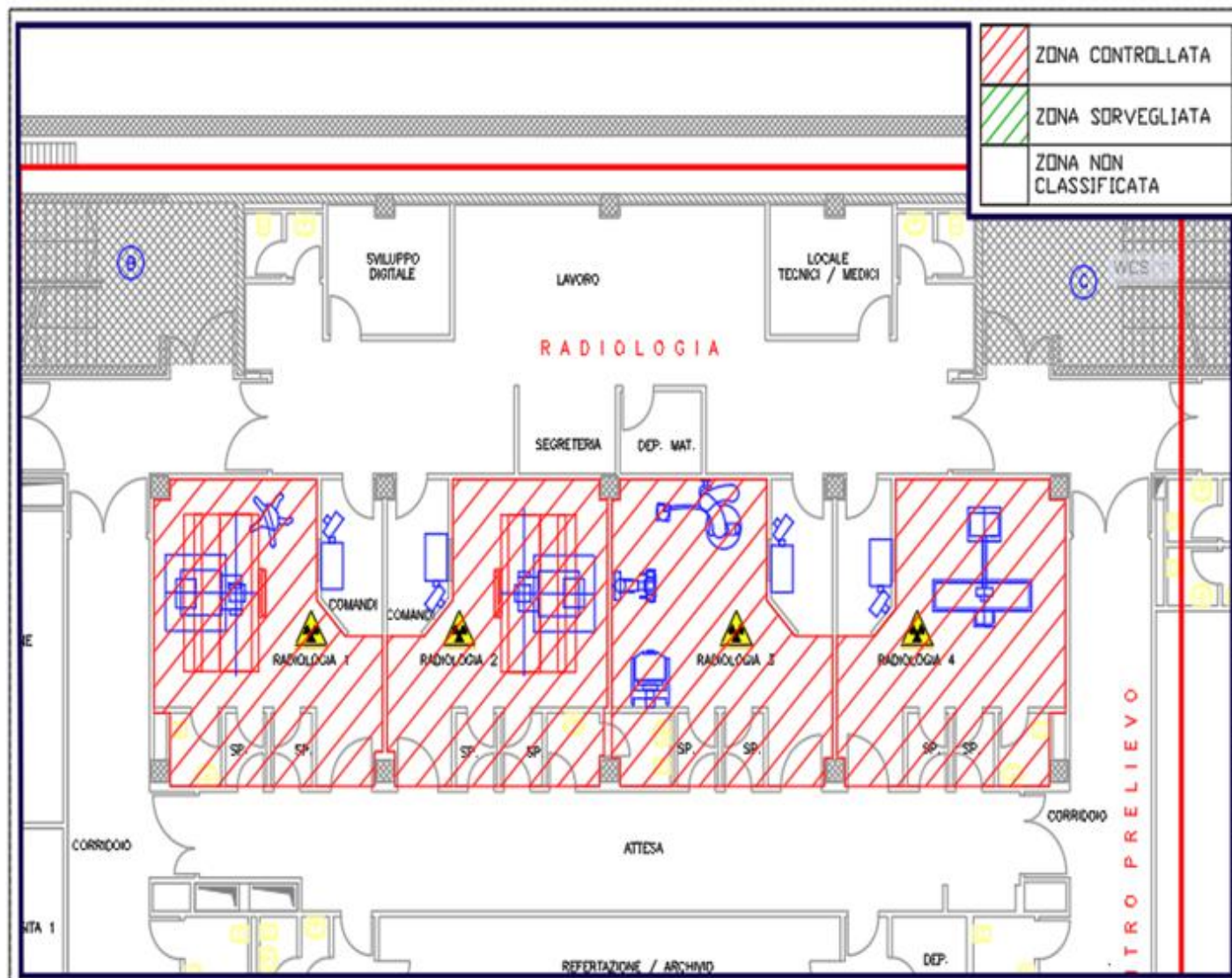
ZONA CONTROLLATA

VIETATO L'ACCESSO AL PERSONALE NON AUTORIZZATO  
E' OBBLIGATORIO L'USO DEL DOSIMETRO INDIVIDUALE

zona controllata a rischio di irraggiamento e contaminazione

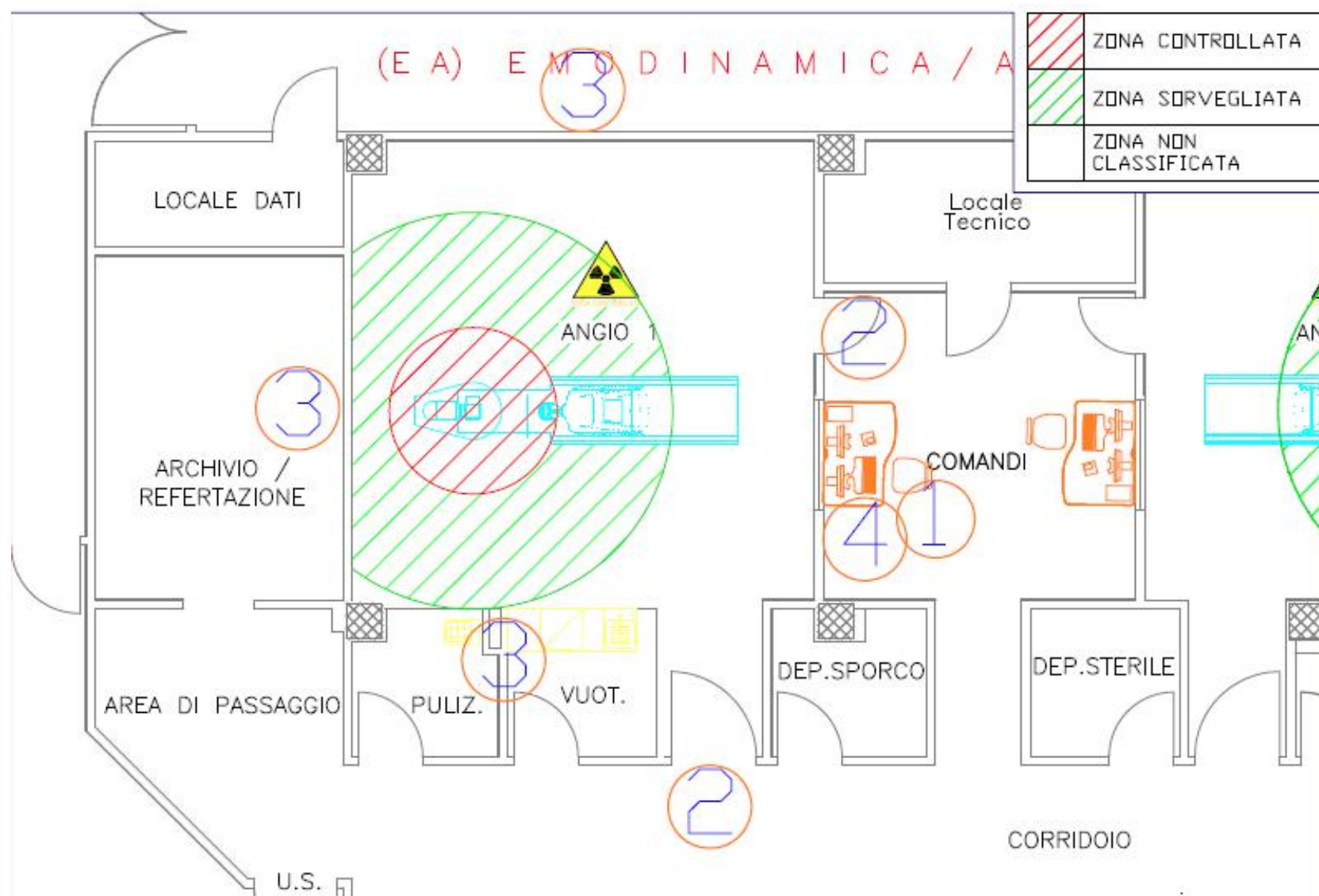


## Zone Controllate e Sorvegliate in Diagnostica Tradizionale





## Zone Controllate e Sorvegliate in Sala Operatoria



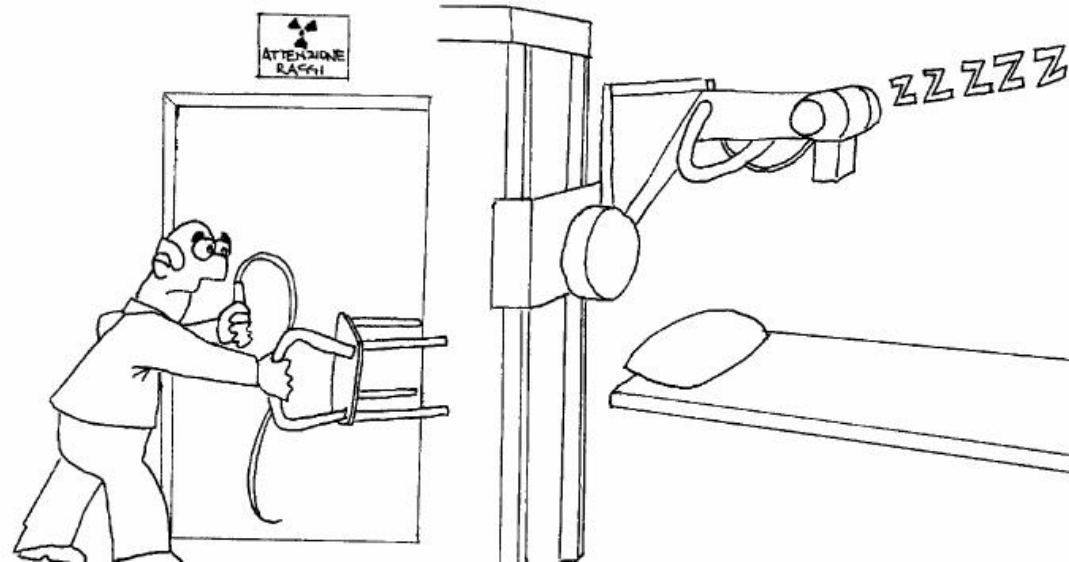
## La segnaletica luminosa delle Aree Classificate



# La Radioprotezione

---

**Importante:** I tubi a Raggi X di diagnostica per immagini diagnostici o di sala operatoria se disalimentati non sono pericolosi!



Ma non solo aree mediche....

Ciclotrone INFN Padova



Ad alte energie per effetto dell'Attivazione dei materiali persiste il rischio di esposizione a fonti radioattive (i materiali stessi che compongono le apparecchiature, gli elementi circostanti, le stese schermature).



# La Radioprotezione

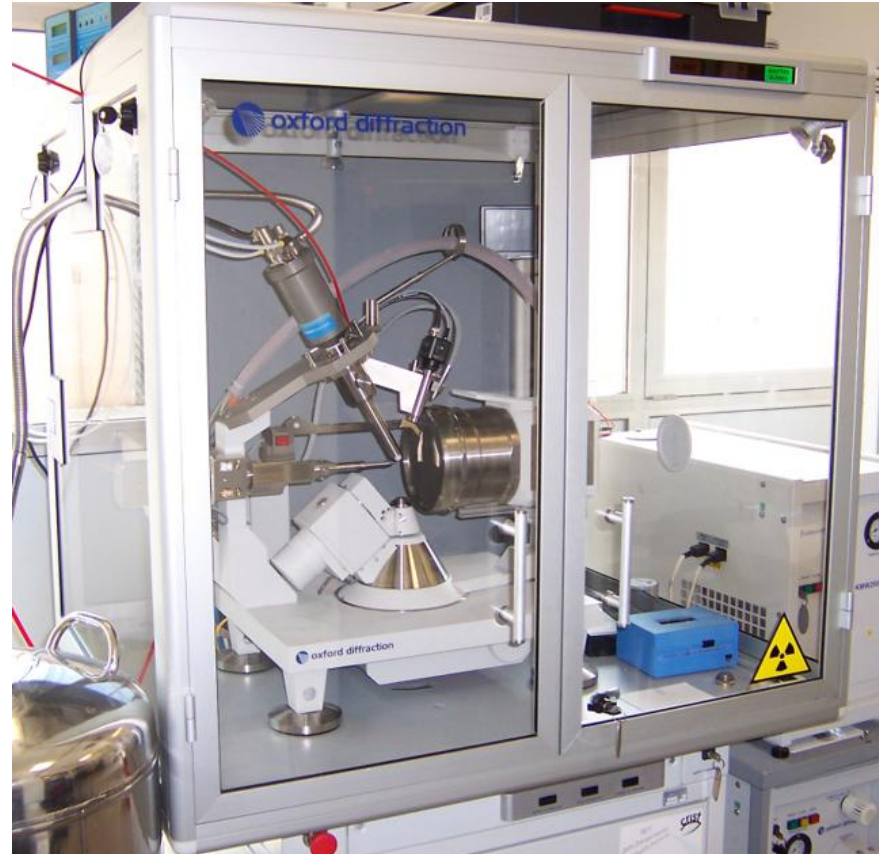
---

## Ricerca

Gascromatografo



Diffrattometro



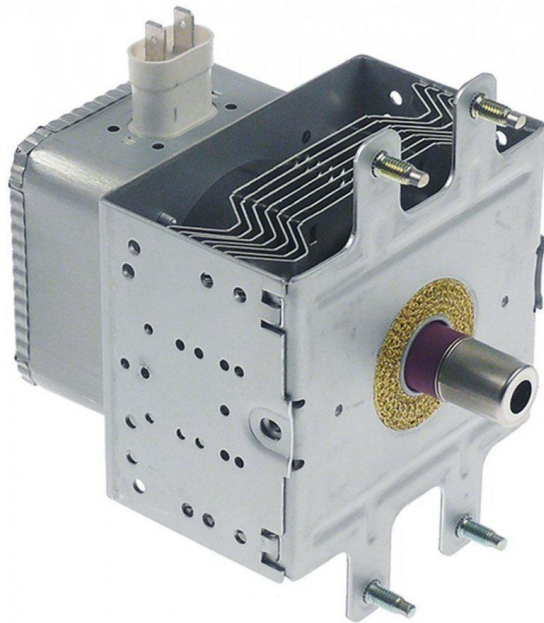
TEM



# La Radioprotezione

## Industria

### Magnetron



### Laminatoio

misurazione spessore con il Curio



### Impiantatore Ionico



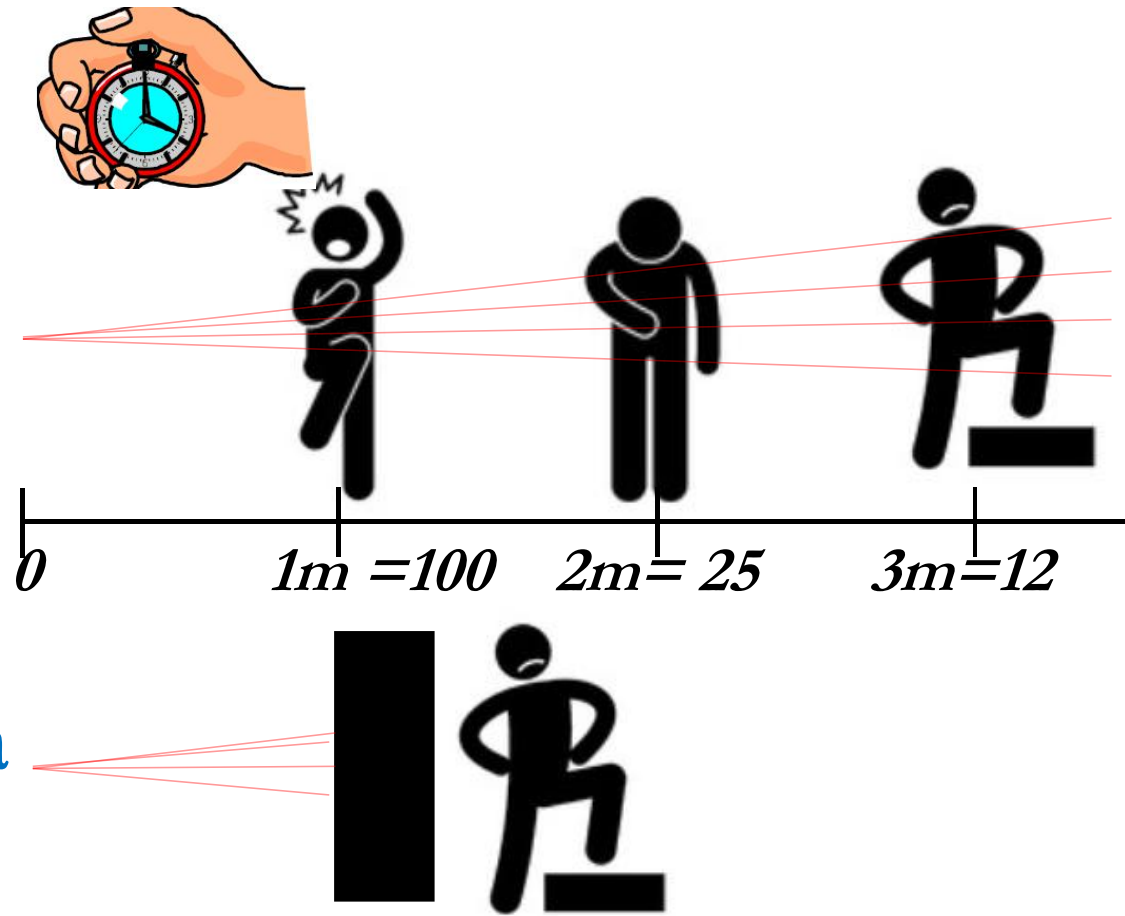
La regola dei tre parametri è valida per tutte le sorgenti

- **Tempo**

- **Distanza**

- **Schermatura**

- **+1 Bonus: FORMAZIONE!**



$$D_{(x)} = \frac{D_0}{x^2}$$



# **DPI - Dispositivi di Protezione Individuale**

## Definizione di Dispositivi di Protezione Individuale

**Art. 1 D.Lgs. 475/92:** si intendono per DPI i prodotti che hanno la funzione di salvaguardare la persona che l'indossi o comunque li porti con sé da rischi per la salute e la sicurezza”.

**Art. 74 D.Lgs 81/08:** qualsiasi attrezzatura destinata ad essere indossata e tenuta dal lavoratore allo scopo di proteggerlo contro uno o più rischi suscettibili di minacciarne la sicurezza o la salute durante il lavoro, nonché ogni complemento o accessorio destinato a tale scopo.



- Adeguati alle condizioni presenti sul luogo di lavoro
- Adeguati ai rischi da prevenire, senza comportare un rischio maggiore per il lavoratore
- Tener conto delle esigenze ergonomiche e della salute del lavoratore

## Categorie di appartenenza dei DPI

- 1° CATEGORIA:** DPI di progettazione semplice destinati a salvaguardare la persona da rischi di danni fisici di lieve entità. Nel progetto deve presupporre che la persona che usa il DPI abbia la possibilità di valutarne l'efficacia e di percepire, prima di riceverne pregiudizio, la progressiva verifica di effetti lesivi.
- 3° CATEGORIA:** DPI di progettazione complessa destinati a salvaguardare da rischi di morte o di lesioni gravi e di carattere permanente. Nel progetto deve presupporre che la persona che usa il DPI non abbia la possibilità di percepire tempestivamente la verifica istantanea di effetti lesivi.
- 2° CATEGORIA:** DPI che non rientrano nelle altre due categorie.

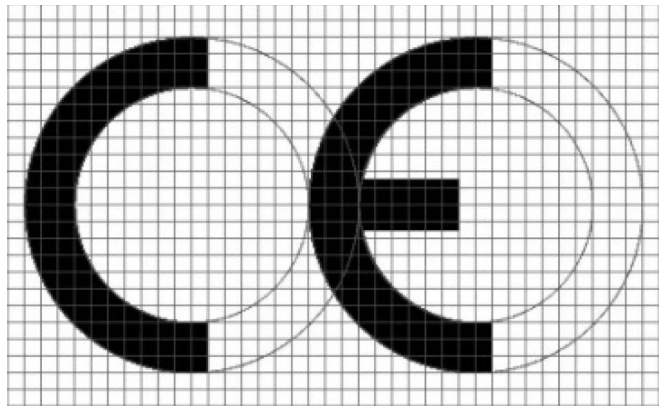
## DPI in Radioprotezione

DISPOSITIVI DI  
PROTEZIONE DALLE  
RADIAZIONI IONIZZANTI



### DPI DI III CATEGORIA

- Marchio CE;
- Controllo di qualità da parte di un organismo notificato;
- Informazione, formazione ed addestramento all'uso.



*The CE Conformity Marking*

## Principali tipologie di DPI in Radioprotezione



**CAMICI  
Anti-Rx**

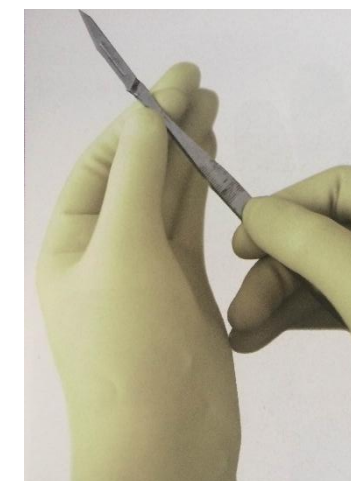
**COLLARI  
TIROIDEI  
Anti-Rx**



**OCCHIALI  
Anti-Rx**



**GUANTI  
Anti-Rx**



## Camici Anti-Rx

Si caratterizzano per 4 fattori:

1 – **Livello di protezione** in funzione dello spessore

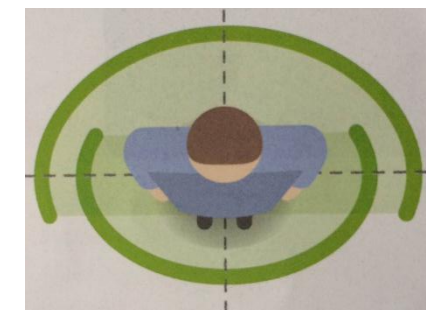
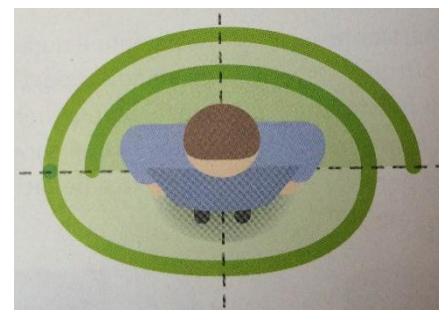
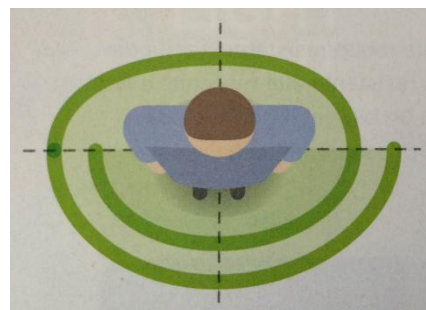
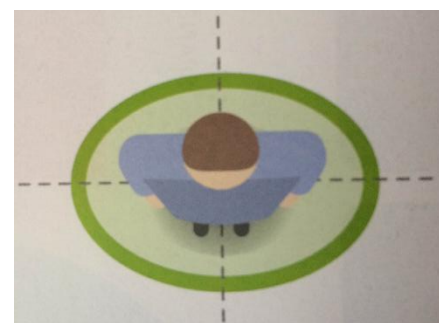
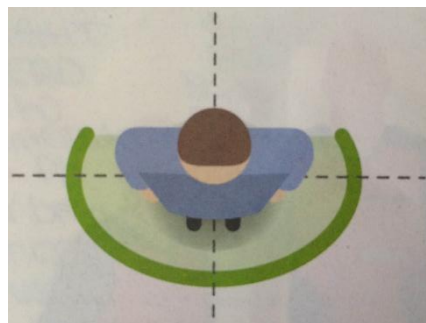
0.25 mmPb Eq

0.35 mmPb Eq

0.50 mmPb Eq



2 – **Tipologia di avvolgimento**





## Camici Anti-Rx

Si caratterizzano per 4 fattori:

**3 – Materiale protettivo**

Piombo

Misti

Senza-piombo

**4 – Modello**

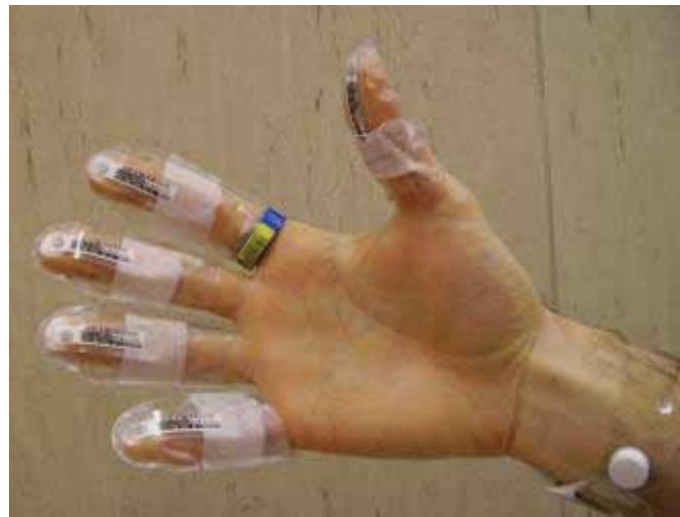


## Camici Anti-Rx – Obblighi del lavoratore

Il D.Lgs 81/08, art.78 stabilisce gli obblighi del lavoratore rispetto ai DPI:

- I Lavoratori si sottopongono al programma di formazione ed addestramento organizzato dal datore di lavoro;
- I lavoratori utilizzano i DPI messi a loro disposizione;
- I lavoratori provvedono alla cura dei DPI messi a loro disposizione e non vi apportano modifiche di propria iniziativa;
- I lavoratori segnalano immediatamente al datore di lavoro/dirigente/preposto qualsiasi difetto o inconveniente da essi rilevato nei DPI messi a loro disposizione.

## Tipologie di Dosimetro e loro uso



Ricordiamo che il  
Dosimetro al  
corpo intero va  
indossato **SOTTO**  
il camice Anti Rx



# **La normativa**

# A cosa serve un corpus normativo

Esempio di esame radiografico a inizio secolo:



Esempio di trattamento di pidocchi su minore a inizio secolo:





# A cosa serve un corpus normativo

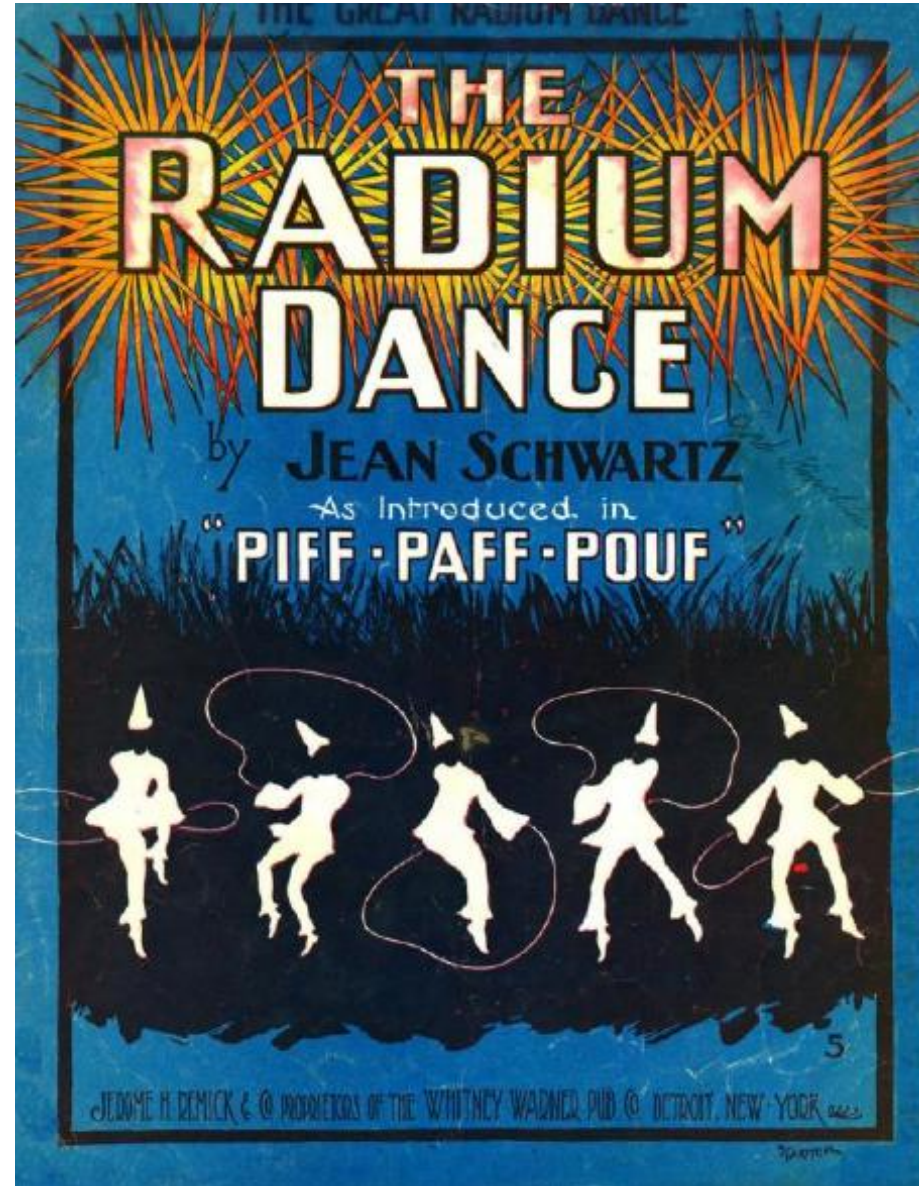
Esempi di beni di consumo comunemente venduti ad inizio secolo:





# A cosa serve un corpus normativo

Esempi di beni di consumo comunemente venduti ad inizio secolo



# A cosa serve un corpus normativo

Anche in Italia...

**FRONTE BRACCA**  
Acqua \* Radioattiva \* Litiosa \* Antiurica \* Anticatarrale

**ACQUA**  
Radiattiva (17 1/2 unità Moche)  
Batteriologicalmente pura

L'illustre Prof. S. MARAGLIANO  
Sanatore del Regno

la dichiara "di azione curativa superiore a tutte le congeneri, la migliore Acqua da tavola italiana pari alle più reputate straniere, Apollinaris, ecc."

Proprietà della Società Anonima Termale  
**FRONTE BRACCA**  
Borgo S. Caterina - BERGAMO

Concessionari principali:  
Ditta ANDREA TORRICELLI - Via Mercatino, 4, FIRENZE  
A. MANZONI & C. - MILANO, GENOVA, ROMA

**AMERINDO**

**Acqua Minerale Naturale AMERINDO**  
Acquasparta (Umbria)

...

L'uricemia, le coliche nefritiche, la renella, i calcoli, la gotta, l'artrite, si curano con l'insuperata  
**Acqua Amerino, radioattiva.**

Periodo migliore di cura in Sorgente Maggio-Ottobre.  
Delliziosa stazione climatica a 400 metri s. m.



Ricordiamo in america le  
**Radium Girls**

Per effetto del Radio contenuto nelle vernici radioluminescenti

# Il corpus normativo previgente

Il precedente corpus normativo che regolava la protezione radiologica per i **lavoratori** la **popolazione** e **l'ambiente** non ch  i **pazienti**   rappresentato dal:

## **D.Lgs. 17 marzo 1995, n.230**

con le modifiche ed integrazioni apportate dai:

- D. Lgs. 26 maggio 2000, n. 241
- D. Lgs. 26 maggio 2000 n. 187
- D. Lgs. 9 maggio 2001, n. 257
- Legge 1 marzo 2002, n.39
- D. Lgs. 4 marzo 2014, n.45

# Sintesi storica

---

- **Legge 31/12/1962 n. 1860** (1° atto normativo ancora in vigore) e suoi decreti applicativi: norma l'uso pacifico dell'energia nucleare.
- **D.P.R. 14 febbraio 1964 n. 185** e suoi decreti applicativi (in vigore in alcune parti fino al 31/12/2000) corpus organico che:
  - ha stabilito le norme per la sicurezza degli impianti e per la protezione dei lavoratori e della popolazione contro i rischi derivanti dall'uso dalle radiazioni ionizzanti.
  - ha introdotto un regime giuridico di denunce ed autorizzazioni per l'impiego delle radiazioni ionizzanti
  - ha introdotto anche un sistema di vigilanza sull'applicazione delle norme;

# Sintesi storica

---

- D.Lgs. 17 marzo 1995 n.230 (entrato in vigore il 1 gennaio 1996), va a sostituire integralmente il precedente DPR 187:
  - Recepisce le Direttive EURATOM emanate dal 1980 al 1992;
  - Introduce i concetti moderni della radioprotezione (principi di **giustificazione, ottimizzazione e limitazione delle dosi**);
  - Stabilisce le norme di radioprotezione per i **lavoratori**, la **popolazione**, **l'ambiente** e per la prima volta in Italia per i **pazienti**;



# Sintesi storica

---

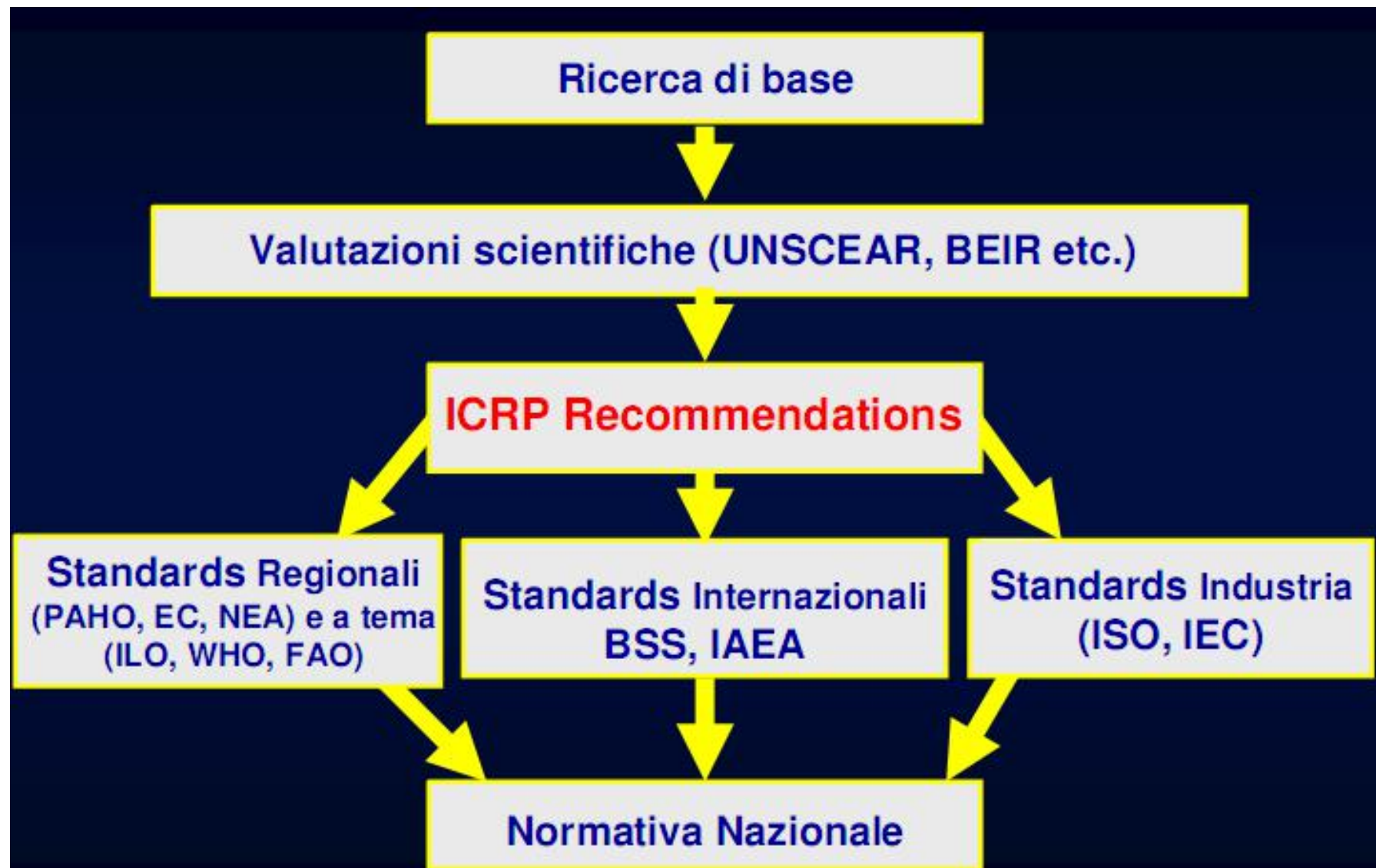
- **D.Lgs. 26 maggio 2000 n.241** (entrato in vigore il 1 gennaio 2001)
  - modifica ed integra il D.Lgs. 230/95
  - si applica solo ai lavoratori, alla popolazione ed all'ambiente, introducendo:
    1. i concetti di pratica e di intervento,
    2. la classificazione dei tipi di esposizione,
    3. l'estensione della protezione dei lavoratori anche per l'esposizione a sorgenti naturali sul posto di lavoro,
    4. la necessità di stimare le esposizioni potenziali,
    5. il passaggio della tutela della lavoratrice madre alla tutela del nascituro considerato individuo della popolazione.



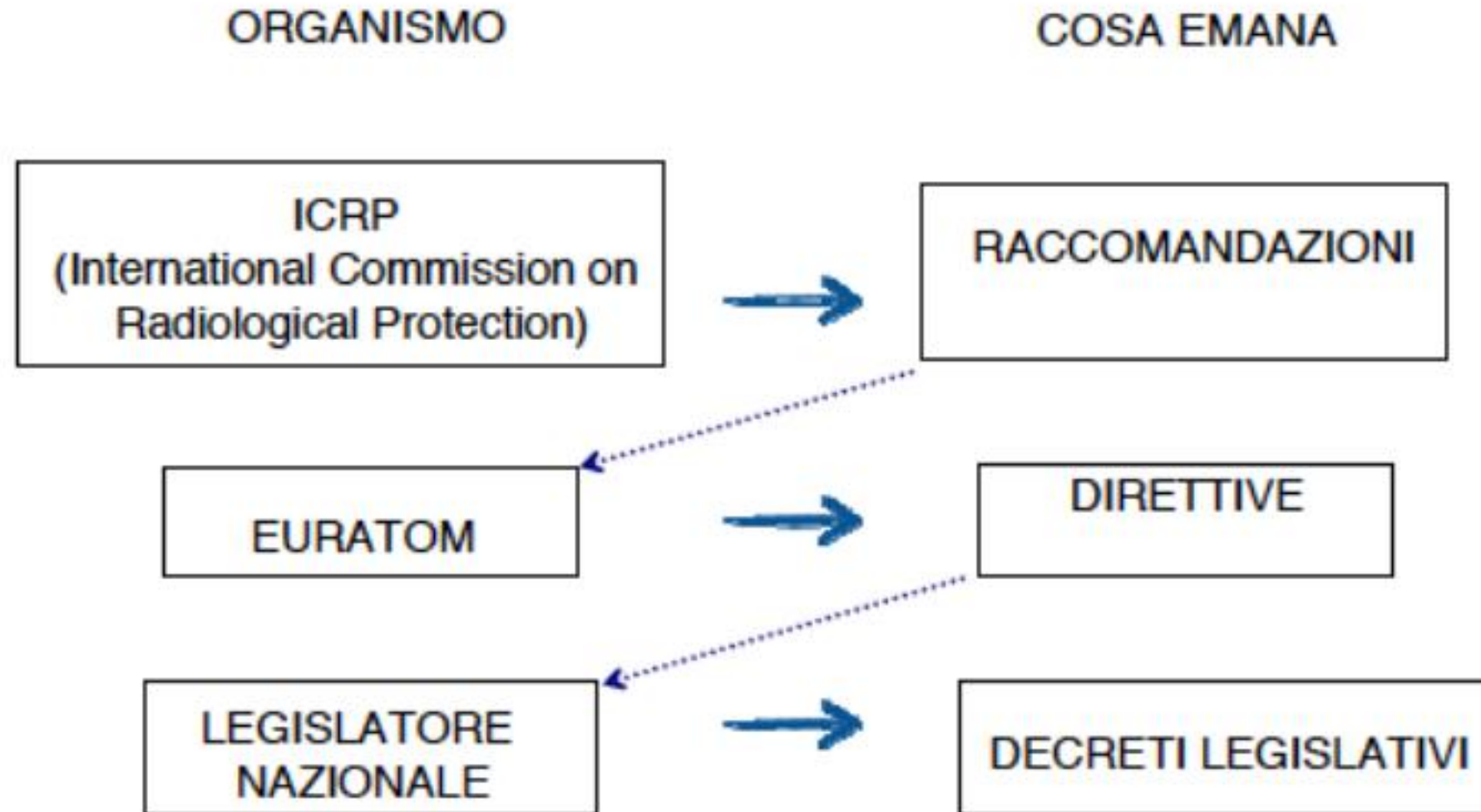
# Sintesi storica

- **D.Lgs. 26 maggio 2000 n.187** (entrato in vigore il 1 gennaio 2001):
  - stabilisce le norme per la radioprotezione dei **pazienti** (sostituendo integralmente il Capo IX, Sezione II del D.Lgs. 230/95).
- **D.Lgs. 9 maggio 2001 n.257** ha apportato alcune modifiche al D.Lgs. 241/2000
- **Legge 1 marzo 2002, n.39** ha modificato l'art. 108 del D.Lgs. 230/95, relativo alla ricerca scientifica clinica
- **D.Lgs. 4 marzo 2014, n. 45** Attuazione della direttiva 2011/70/EURATOM, che istituisce un quadro comunitario per la gestione responsabile e sicura del combustibile nucleare esaurito e dei rifiuti radioattivi.

# L'avanzamento normativo

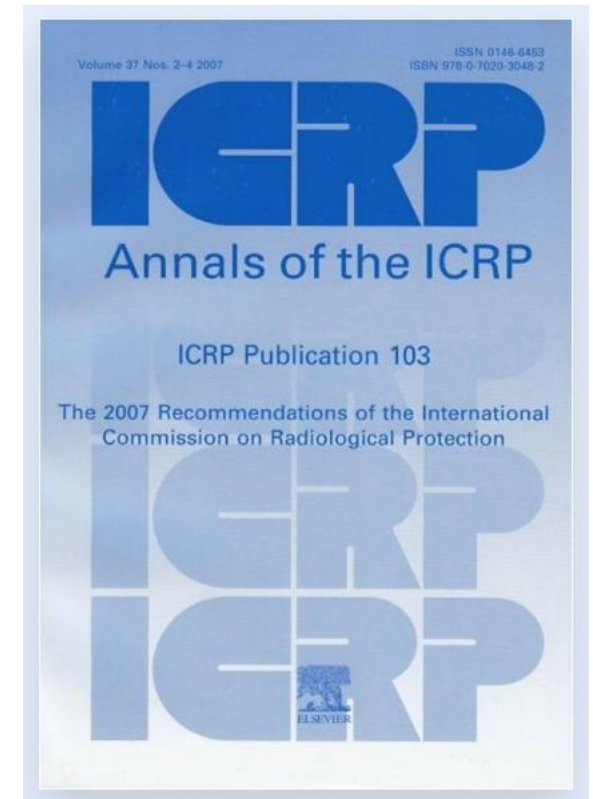


# L'avanzamento normativo



## Perché una nuova direttiva ?

Necessità di aggiornamento delle norme fondamentali in considerazione delle nuove raccomandazioni della **Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica (ICRP)**, in particolare quelle contenute nella pubblicazione n.103 dell'ICRP e revisione alla luce delle nuove acquisizioni scientifiche e dell'esperienza operativa recente pubblicata nel 2007.



# Gazzetta ufficiale dell'Unione europea

L 13



Edizione  
in lingua italiana

Legislazione

57° anno  
17 gennaio 2014

Sommario

II *Atti non legislativi*

DIRETTIVE

- ★ **Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio, del 5 dicembre 2013, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom** .....

# La Direttiva 2013/59/Euratom

## Entrata in vigore

Entrata in vigore La direttiva 2013/59/Euratom è stata pubblicata in Gazzetta il 17/1/2014 ed è entrata in vigore il **7/2/2014**

## Abrogazione delle precedenti direttive

Le direttive 89/618/Euratom, 90/641 /Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom saranno abrogate dal 6 febbraio 2018

Gli Stati membri devono **conformarsi alla direttiva entro il 6 febbraio 2018**



In verità dal 2007 anno in cui è stata pubblicata l'ICRP 103 ad oggi sono state pubblicate numerose altre linee guida arrivando fino alla pubblicazione all'**ICRP 152**.

In particolar **modo alcune di queste pubblicazioni hanno già superato l'ICRP 103 come ad esempio:**

- ICRP 149 – misure in Brachiterapia
- ICRP 132 – ha aggiornato le indicazioni sul Personale Navigante
- ICRP 126 - ha già aggiornato le indicazioni sul Radon
- ICRP 121 – ha aggiornatole indicazioni per la radiologia pediatrica ed interventistica
- ICRP 120 – ha aggiornato le indicazioni in Cardiologia
- ICRP 105 – ha aggiornato le indicazioni per la Radioprotezione in Medicina

# Il recepimento della 2013/59/Euratom

## Un iter complesso

Le attività di recepimento della direttiva 2013/59/EURATOM sono iniziate con la costituzione di un **Gruppo di Lavoro** coordinato dalla Direzione Generale Energia del MISE che ha avviato i lavori il 4 aprile 2014.

L'attività si è interrotta per decadenza della legge delega per poi riprendere con una nuova LEGGE 4 ottobre 2019, n. 117 Delega al Governo per il recepimento delle direttive europee e l'attuazione di altri atti dell'Unione europea - Legge di delegazione europea 2018. (19G00123) (GU n.245 del 18-10-2019)

# Il recepimento della 2013/59/Euratom

---

## Un iter complesso

La Legge Delega stabiliva all'Art. 20 alcuni principi da dover adottare nel recepimento:

- Emanazione di un nuovo testo normativo di **riassetto e semplificazione della disciplina** di cui al decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230, ovvero di un testo unico volto al riordino e all'armonizzazione della normativa di settore (*punto 1 lettera a*)
- **Mantenimento, ove già previste dalla normativa nazionale vigente, delle misure di protezione dei lavoratori e della popolazione più rigorose rispetto alle norme minime stabilite dalla direttiva 2013/59/Euratom** (*punto 1 lettera e*)

## Un iter complesso

La Legge Delega stabiliva all'Art. 20 alcuni principi da dover adottare nel recepimento:

- Provvedere alla **razionalizzazione e alla semplificazione dei procedimenti autorizzativi** (*punto 1 lettera b*)
- Provvedere alla revisione e alla **razionalizzazione dell'apparato sanzionatorio amministrativo e penale** al fine di definire sanzioni efficaci, proporzionate e dissuasive nonchè di conseguire una maggior efficacia nella prevenzione delle violazioni (*punto 1 lettera l*)

# Il recepimento della 2013/59/Euratom

---

## Un iter complesso

In generale dalla lettura completa della Legge Delega si desumeva chiaramente il principio per cui si doveva:

- Mantenere quanto aveva funzionato dalla precedente normativa
- Integrando i nuovi aspetti introdotti dall'Euratom
- **Senza introdurre nuovi adempimenti non previsti dall'Euratom**

## Convocazione del Consiglio dei Ministri n. 59

29 Luglio 2020

Il Consiglio dei Ministri, convocato in data odierna, alle ore 20.00, a Palazzo Chigi, esaminerà il seguente ordine del giorno:

- DECRETO-LEGGE: Misure urgenti connesse con la scadenza della dichiarazione di emergenza epidemiologica da COVID-19 deliberata il 31 gennaio 2020 (PRESIDENZA);
- DISEGNO DI LEGGE: Disposizioni per l'adempimento degli obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia all'Unione europea - LEGGE EUROPEA 2019 - 2020 (AFFARI EUROPEI);
- DECRETO LEGISLATIVO: Attuazione della direttiva 2013/59/EURATOM, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom - ESAME DEFINITIVO (AFFARI EUROPEI - SALUTE - SVILUPPO ECONOMICO - LAVORO - AMBIENTE);

Dopo 6 anni di attesa, Due Leggi Delega, un lunghissimo percorso burocratico, finalmente lo scorso **27/08/2020 è entrato in vigore il D.Lgs. 101/20** che recepisce la direttiva 2013/59/Euratom

**Oltre 2 anni il limite del 6/2/2018 !**



Ma.....

A valle dell'emanazione del Decreto la Commissione Europea ha aperto una ulteriore procedura di infrazione (n.2018/2044) a causa di criticità nel recepimento.

E' quindi stato necessario attuare un correttivo approvato il 22 novembre 2022 u.s. dal Consiglio del Ministri

## **NORME EUROPEE SULL'ESPOSIZIONE ALLE RADIAZIONI IONIZZANTI**

***Disposizioni integrative e correttive al decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101, di attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117 (decreto legislativo – esame definitivo)***

## Struttura del D.Lgs. 101/20

Il Decreto Legislativo rappresenta un **Testo Unico** in materia di Radioprotezione ed è composto da:

- **17 TITOLI**
- suddivisi in **245 Articoli**
- **35 Allegati**
- Per un totale di **348 pagine**

.....a fonte delle 80 pagine della Direttiva suddivis in 109 Articoli !

## TITOLI

- |                    |   |
|--------------------|---|
| <b>Titolo I</b>    | Campo di applicazione e principi generali di protezione dalla rad. ionizzanti             |
| <b>Titolo II</b>   | Definizioni   |
| <b>Titolo III</b>  | Autorità competenti e funzioni di vigilanza   |
| <b>Titolo IV</b>   | Sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti  |
| <b>Titolo V</b>    | Lavorazioni minerarie   |
| <b>Titolo VI</b>   | Regime giuridico per importazione, produzione, commercio, trasporto e detenzione          |
| <b>Titolo VII</b>  | Regime autorizzativo e disposizioni per i rifiuti radioattivi                             |
| <b>Titolo VIII</b> | Particolari disposizioni per sorgenti sigillate ad alta attività e per le sorgenti orfane |
| <b>Titolo IX</b>   | Impianti  |

## TITOLI

- Titolo X**      Sicurezza degli impianti nucleari e degli impianti di gestione del combustibile esaurito e dei rifiuti radioattivi
- Titolo XI**      Esposizione dei lavoratori
- Titolo XII**     Esposizione della popolazione
- Titolo XIII**   Esposizioni mediche
- Titolo XIV**     Preparazione e risposta alle emergenze
- Titolo XV**      Particolari situazioni di esposizione esistente
- Titolo XVI**     Apparato sanzionatorio
- Titolo XVII**    Disposizioni transitorie e finali

## Il «volume» del D.Lgs. 31 Luglio 2020 n. 101

➤ **17 TITOLI**

➤ suddivisi in **245 Articoli**

➤ **35 Allegati**

	<b>Divina Commedia</b>	<b>D.Lgs. 101/2020</b>	<b>DE 59/13</b>	<b>D.Lgs. 230/95</b>	<b>D.Lgs. 187/00</b>	<b>D. Lgs 81/08</b>
Caratteri	546.861	1.139.281	243.517	880.414	101.517	4.210.185
Tempo lettura	8h 54'	19h 7'	4h 7'	15h 27'	1h 43'	71h 7'
Pagine A4	214	462	99	371	41	1709

## ... e il D.Lgs. 81/08

Cambia l'interconnessione tra il **D.Lgs. 81/08 Testo Unico** in materia di **Salute e Sicurezza nei Luoghi di Lavoro** e la Radioprotezione.

In precedenza il D.Lgs. 81/08 semplicemente rimandava per gli aspetti relativi alla radioprotezione al D.Lgs. 230/95.

### Art. 180 comma 3

*La protezione dei lavoratori dalle radiazioni ionizzanti è disciplinata unicamente dal decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230, e sue successive modificazioni.*



## ... e il D.Lgs. 81/08

L'interconnessione tra il **D.Lgs. 81/08 Testo Unico** in materia di **Salute e Sicurezza nei Luoghi di Lavoro** e il nuovo D.Lgs. 101/20 è ora più forte a fronte di due articoli:

### Art. 2, comma 4

*Per quanto non diversamente previsto dal presente decreto si applicano le disposizioni del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81.*

### Art. 244

*L'articolo 180, comma 3, del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81 è sostituito dal seguente:  
«3. La protezione dei lavoratori dalle radiazioni ionizzanti è disciplinata, nel rispetto dei principi di cui al titolo I, dalle disposizioni speciali in materia».*

## Principali modifiche introdotte dal D.Lgs. 101 del 2020

*Il simbolo di pericolo nelle seguenti slide indica che c'è stata una modifica rispetto alla previgente legislazione*



## Esposizione dei Lavoratori



### Art. 108 - *Obblighi del datore di lavoro non delegabili*

*(D.Lgs. 81/08 Art. 16)*

1. I datori di lavoro per i quali trovano applicazione le disposizioni del presente decreto **non possono delegare** le seguenti attività:
  - a) **valutazione preventiva di cui all'articolo 109;**
  - b) **nomina dell'esperto di radioprotezione;**
  - c) **nomina del medico autorizzato.**
  
2. Qualora, fuori dai casi di cui al comma 1, si proceda a **delega di funzioni**, per la stessa trova applicazione quanto previsto dall'articolo 16 del D.Lgs. 81/08

## Efficacia della delega

Si ricordano che ai sensi dell'Art. 16 del D.Lgs. 81/08

Sotto il profilo *formale*, la delega:

- deve risultare da **atto scritto recante data certa**. Si evidenzia come non è necessario procedere attraverso procura notarile, risultando ad esempio sufficiente apporre sulla scrittura una marca temporale, idonea a conferire legalmente data e ora certa;
- deve essere **accettata dal delegato per iscritto**, così impedendo l'assunzione di deleghe non libere o non consapevoli. Stante la natura di atto bilaterale, in difetto di formale accettazione, continuerà ad essere garante solo il datore di lavoro;

## Efficacia della delega

### Si ricordano che ai sensi dell'Art. 16 del D.Lgs. 81/08

Sotto il profilo *formale*, la delega:

- deve essere **resa nota con adeguata e tempestiva pubblicità**. La norma non indica le modalità di divulgazione. Nel silenzio della legge, si ritiene che il conferimento di funzioni debba essere pubblicizzato all'interno del luogo di lavoro e all'esterno dell'impresa (ad esempio, tramite iscrizione nel registro delle imprese). Si evidenzia, tuttavia, che l'eventuale omessa o carente pubblicità è priva di effetti giuridici.

## Efficacia della delega

Si ricordano che ai sensi dell'Art. 16 del D.Lgs. 81/08

Sotto il profilo *sostanziale*, la delega:

- **il delegato possenga tutti i requisiti di professionalità ed esperienza richiesti dalla specifica natura delle funzioni delegate;**
- **la delega attribuisca al delegato tutti i poteri di organizzazione, gestione e controllo richiesti dalla specifica natura delle funzioni delegate;**
- **la delega attribuisca al delegato l'autonomia di spesa necessaria allo svolgimento delle funzioni delegate.**



## Esposizione dei Lavoratori

Art. 109 - *Obblighi dei datori di lavoro, dirigenti e preposti* (D.Lgs. 230/95 Art. 61)

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

## Esposizione dei Lavoratori

**Art. 109 - Obblighi dei datori di lavoro, dirigenti e preposti** *(D.Lgs. 230/95 Art. 61)*

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.

## Esposizione dei Lavoratori

*Sanzioni (DL, Dirigenti e prep.)*

*Art 211 punto 2:*

- Arresto da tre a sei mesi
- Da 5.000 ad 20.000 euro.

### Art. 109 - Obblighi dei datori di lavoro, dirigenti e preposti

*(D.Lgs. 230/95 Art. 61)*

[...]

6. Sulla base delle indicazioni della relazione di cui al comma 2, [...] **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 [...] 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 [...] e informano i lavoratori stessi in merito alla loro classificazione;

## Esposizione dei Lavoratori

*Sanzioni (DL, Dirigenti e prep.)*

*Art 211 punto 2:*

- Arresto da tre a sei mesi
- Da 5.000 ad 20.000 euro.

### Art. 109 - Obblighi dei datori di lavoro, dirigenti e preposti

*(D.Lgs. 230/95 Art. 61)*

- 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) ;

## Esposizione dei Lavoratori

*Sanzioni (DL, Dirigenti e prep.)*

*Art 211 punto 4:*

- Arresto da due a sei mesi
- Da 1.000 ad 5.000 euro

### Art. 109 - *Obblighi dei datori di lavoro, dirigenti e preposti*

*(D.Lgs. 230/95 Art. 61)*

- 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.

## Esposizione dei Lavoratori



Art. 109 - *Obblighi dei datori di lavoro, dirigenti e preposti*

*(D.Lgs. 230/95 Art. 61)*

[...]

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.

## Esposizione dei Lavoratori



*Sanzioni (DL, Dirigenti e prep.)  
Art 211 punto 2:*

- Arresto da tre a sei mesi
- Da 5.000 ad 20.000 euro.

Art. 110 - *Informazione e formazione dei dirigenti e dei preposti* (D.Lgs. 230/95 Art. 61)

Art. 111 - *Informazione e formazione dei lavoratori* (D.Lgs. 230/95 Art. 61)

- Si prevede una formazione specifica **ogni 3 anni** (*non più ogni 5*) per **Dirigenti e Preposti** che dovrà essere diversa a quella dei **Lavoratori** i quali potranno ricevere anche un **addestramento specifico**
- Tale formazione è **parificata alla formazione specifica di cui al D.Lgs. 81/08.**
- I corsi di formazione devono essere tenuti da personale che possiede la qualifica di **Formatore** ai sensi del DM 06/03/2013



## Esposizione dei Lavoratori



Art. 110 - *Informazione e formazione dei dirigenti e dei preposti* (D.Lgs. 230/95 Art. 61)

Art. 111 - *Informazione e formazione dei lavoratori* (D.Lgs. 230/95 Art. 61)

In verità l'articolo di legge approvato il 22/22/2022 u.s. modifica ulteriormente **questo aspetto** riportando la normativa in linea con il previgente D.Lgs. 230/95, ovvero stabilendo che la validità della formazione è di 5 anni !

## Esposizione dei Lavoratori



*Sanzioni (DL, Dirigenti e prep.)*

*Art 211 punto 2:*

- Arresto da tre a sei mesi
- Da 5.000 ad 20.000 euro.

### Art. 113 - Obblighi degli esercenti zone classificate che si avvalgono di lavoratori esterni

*(D.Lgs. 230/95 Art. 63)*

1. Gli esercenti una o più zone classificate, i quali si avvalgono di lavoratori esterni, sono tenuti ad assicurarne la tutela dai rischi derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, direttamente o mediante accordi contrattuali con il datore di lavoro da cui detti lavoratori dipendono, e rispondono degli aspetti della tutela che siano direttamente collegati con il tipo di zona classificata e di prestazione richiesta.

## Esposizione dei Lavoratori



*Sanzioni (DL, Dirigenti e prep.)*

*Art 211 punto 2:*

- Arresto da tre a sei mesi
- Da 5.000 ad 20.000 euro.

Art. 113 - *Obblighi degli esercenti zone classificate che si avvalgono di lavoratori esterni*  
*(D.Lgs. 230/95 Art. 63)*

2. Per ogni singolo lavoratore esterno che effettua prestazioni in zona classificata, l'esercente di tale zona tenuto a:

[...]

e) assicurarsi che il lavoratore esterno sia dotato dei **Dispositivi di Protezione Individuali**, ove necessari, e accertarsi del loro utilizzo;



**Se il lavoratore non ne dispone gli vanno forniti !**

## Esposizione dei Lavoratori



*Sanzioni (DL, Dirigenti e prep.)*

*Art 211 punto 2:*

- Arresto da tre a sei mesi
- Da 5.000 ad 20.000 euro.

Art. 113 - *Obblighi degli esercenti zone classificate che si avvalgono di lavoratori esterni*

*(D.Lgs. 230/95 Art. 63)*

2. Per ogni singolo lavoratore esterno che effettua prestazioni in zona classificata, l'esercente di tale zona tenuto a:

- f) assicurarsi che il lavoratore esterno sia dotato dei **mezzi di sorveglianza dosimetrica individuale** adeguati al tipo di prestazione, al loro utilizzo e che il lavoratore fruisca della **sorveglianza ambientale eventualmente necessaria;**



**Se il lavoratore non ne dispone gli vanno forniti dei Dosimetri a lettura diretta per il tempo di permanenza!**

## Esposizione dei Lavoratori



*Sanzioni (DL, Dirigenti e prep.)*

*Art 211 punto 2:*

- Arresto da tre a sei mesi
- Da 5.000 ad 20.000 euro.

*Art. 113 - Obblighi degli esercenti zone classificate che si avvalgono di lavoratori esterni*  
*(D.Lgs. 230/95 Art. 63)*

2. Per ogni singolo lavoratore esterno che effettua prestazioni in zona classificata, l'esercente di tale zona tenuto a:

[...]

l) definisce, di concerto con l'esercente delle zone classificate, il vincolo di dose da adottare in relazione alle attività da svolgersi;



Art. 7 comma 159) **Vincolo di dose:** vincolo fissato come margine superiore potenziale di una dose individuale, usato per definire la gamma di opzioni considerate nel processo di ottimizzazione per una data sorgente di radiazioni in una situazione di esposizione pianificata;

## Esposizione dei Lavoratori

### Art. 211 - Sanzioni penali relative al Titolo XI

*(D.Lgs. 230/95 Art. 139)*

La violazione degli obblighi e delle prescrizioni degli articolo riguardanti le attribuzioni del Datore di Lavoro variano da :

- un minimo di **1.000,00 fino a 90.000,00 euro**
- un minimo di **un mese fino a due anni di reclusione**

## Esposizione dei Lavoratori

### Art. 118 - Obblighi dei lavoratori

*(D.Lgs. 230/95 Art. 68)*

[...]

#### 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;



## Esposizione dei Lavoratori

### Art. 118 - *Obblighi dei lavoratori*

*(D.Lgs. 230/95 Art. 68)*

- 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;

## Esposizione dei Lavoratori

### Art. 118 - *Obblighi dei lavoratori*

*(D.Lgs. 230/95 Art. 68)*

- 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.

## Esposizione dei Lavoratori

### Art. 211 - Sanzioni penali relative al Titolo XI

*(D.Lgs. 230/95 Art. 139)*

La violazione degli obblighi e delle prescrizioni degli articolo riguardanti le attribuzioni del Lavoratore in relazione all'uso del **rispetto delle disposizioni** impartite dal Datore di Lavoro, all'**uso dei dei DPI** nonché all'**uso dei Dosimetri** è punita con:

- l'ammenda **150,00 fino a 500,00 euro**

## Esposizione dei Lavoratori



### Previggenti limiti di legge

*(D.Lgs. 230/95 Art. 96)*

Lavoratori	Dose Efficace	Dose Equivalente
Non Esposti	Corpo < 1 mSv/anno	Cristallino < 15 mSv/anno Arti e Pelle < 50 mSv/anno
Categoria B	Corpo < 6 mSv/anno	<b>Cristallino &lt; 45 mSv/anno</b> Arti e Pelle < 150 mSv/anno
Categoria A	Corpo < 20 mSv/anno	<b>Cristallino &lt; 150 mSv/anno</b> Arti e Pelle < 500 mSv/anno

## Esposizione dei Lavoratori



### Art. 113 – Limiti di dose

*(D.Lgs. 230/95 Art. 96)*

Lavoratori	Dose Efficace	Dose Equivalente
Non Esposti	Corpo < 1 mSv/anno	Cristallino < 15 mSv/anno Arti e Pelle < 50 mSv/anno
Categoria B	Corpo < 6 mSv/anno	<b>Cristallino &lt; 15 mSv/anno</b> ← Arti e Pelle < 150 mSv/anno
Categoria A	Corpo < 20 mSv/anno	<b>Cristallino &lt; 20 mSv/anno</b> ← Arti e Pelle < 500 mSv/anno

## Esposizione dei Lavoratori



### Conseguenze delle modifiche di Dose Equivalente al Cristallino

1. I Lavoratori in **Categoria A** hanno visto una diminuzione del loro limite da **150 mSv/anno a 20 mSv/anno solare**



Esiste una reale possibilità per alcune tipologie di lavoratori di incorrere nel superamento del limite con conseguente **segnalazione agli organi di vigilanza** (ISIN, ASL, ITL) e **allontanamento del personale dalla normale attività comportante esposizione !**

## Esposizione dei Lavoratori



### Conseguenze delle modifiche di Dose Equivalente al Cristallino

1. I Lavoratori in **Categoria A** hanno visto una diminuzione del loro limite da **150 mSv/anno a 20 mSv/anno solare**



Esiste la possibilità che i reparti con personale maggiormente esposto (Es: Radiologia Interventistica, Emodinamica, Vascolare) si vedano **ridurre le unità di personale afferenti con possibili blocchi dell'attività per insufficienza di addetti !**

---



## Esposizione dei Lavoratori



### Conseguenze delle modifiche di Dose Equivalente al Cristallino

2. I Lavoratori in **Categoria B** hanno visto una diminuzione del loro limite da 50 mSv/anno a 15 mSv/anno solare



Esiste una reale possibilità molti lavoratori che normalmente operavano in categoria B superino il limite e debbano essere **spostati in categoria A (con conseguente godimento di Indennità e Riposo e Biologico di 15 giorni)** e quindi possibile **mancanza di personale.**

## Esposizione dei Lavoratori



### Conseguenze delle modifiche di Dose Equivalente al Cristallino

*Da quando inizia l'anno solare per la Radioprotezione ?*

*Tutte le precedenti leggi, seppur promulgate nel corso dell'anno,  
sono sempre entrate in vigore il 1 gennaio dell'anno successivo.*

*Il D.Lgs. 101/20 è entrato in vigore il 27 agosto 2020 !*

## Segnalazione Incidenti



*Sanzioni (DL)*

*Art 211 punto 8:*

- Arresto da uno a due anni
- Da 45.000 ad 60.000 euro.

### Art. 142 – Segnalazione incidenti

Il datore di lavoro comunica, senza ritardo e comunque entro tre giorni, all'ISIN, all'Ispettorato territoriale del lavoro e agli organi del SSN, competenti per territorio, gli incidenti verificatisi nelle attività previste dall'articolo 2, nonché le esposizioni che abbiano comportato il superamento dei valori stabiliti ai sensi dell'articolo 146.

***Vale per tutti i limiti di dose!***

## Esposizione dei Lavoratori

### Art. 130 - *Attribuzioni dell'esperto di radioprotezione*

*(D.Lgs. 230/95 Art. 79)*

L'ex **Esperto Qualificato** ai sensi del precedente decreto guadagna un grado di abilitazione. Viene introdotto un grado dedicato all'ambito sanitario:

- Esperto di Radioprotezione di I Grado
- Esperto di Radioprotezione di II Grado
- **Esperto di Radioprotezione di III Grado Sanitario**
- Esperto di Radioprotezione di III Grado

## L'Esperto di Radioprotezione

Con il **Decreto del 9 agosto 2022** del Ministro del Lavoro di concerto con il Ministro della

Salute sono stati definiti i requisiti per divenire **Esperto di Radioprotezione**

### 1. per l'abilitazione di **PRIMO** grado:

- Almeno laurea triennale in fisica, o in chimica, o in chimica industriale o in ingegneria;
- Almeno master di I livello in materia di radiazioni ionizzanti;
- Tirocinio di almeno 20 giorni lavorativi sotto la guida di una EdR di grado pari o superiore

### 2. per l'abilitazione di **SECONDO** grado:

- Almeno laurea, vecchio ordinamento, magistrale o specialistica in fisica, o in chimica, o in chimica industriale o in ingegneria;
- Almeno master di II livello in materia di radiazioni ionizzanti o S.S. in fisica medica;
- Tirocinio di almeno 40 giorni lavorativi sotto la guida di una EdR di grado pari o superiore

## L'Esperto di Radioprotezione

Con il Decreto del 9 agosto 2022 del Ministro del Lavoro di concerto con il Ministro della Salute sono stati definiti i requisiti per divenire **Esperto di Radioprotezione**

### 3. per l'abilitazione di **TERZO SANITARIO** grado:

- Almeno laurea, vecchio ordinamento, magistrale o specialistica in fisica, o in chimica, o in chimica industriale o in ingegneria;
- Almeno master di II livello in materia di radiazioni ionizzanti o S.S. in fisica medica;
- Tirocinio di almeno 60 giorni lavorativi sotto la guida di una EdR di grado pari o superiore

### 4. per l'abilitazione di **TERZO** grado:

- Almeno laurea, vecchio ordinamento, magistrale o specialistica in fisica, o in chimica, o in chimica industriale o in ingegneria;
- Almeno master di II livello in materia di radiazioni ionizzanti
- Tirocinio di almeno 80 giorni lavorativi sotto la guida di una EdR di grado pari o superiore



TOR VERGATA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

Dipartimento di Fisica

[Contatti](#)

[Elenco Telefonico](#)

[Bandi e Avvisi](#)



RICERCA

DIDATTICA

SOCIETÀ

DIPARTIMENTO

[HOME](#) / [DIDATTICA](#) / [DOTTORATI E MASTER \(II LIVELLO\)](#) / [MASTER IN AGENTI FISICI E RADIOPROTEZIONE](#)

# MASTER IN AGENTI FISICI E RADIOPROTEZIONE





## Esposizione dei Lavoratori



### Art. 139 - *Attribuzioni del medico autorizzato*

*(D.Lgs. 230/95 Art. 89)*

In regime transitorio l'ex **Medico Competente** potrà continuare ad operare qualora già abbia svolto la sorveglianza sanitaria per lavoratori in categoria B fino al **26/08/2022**

Il **Medico Autorizzato** diverrà l'**unica figura incaricata della sorveglianza sanitaria** da radiazioni ionizzanti sia per lavoratori in categoria A che per i lavoratori in categoria B

## Esposizione mediche

Il Decreto rafforza i concetti di **GIUSTIFICAZIONE** e **OTTIMIZZAZIONE** delle **dosi erogate al paziente**, prevedendo il mantenimento delle misure di protezione già in vigore (Programma di garanzia di qualità, controlli di qualità sugli apparecchi radiologici, valutazione dosi ai pazienti, etc..), in capo al “**medico specialista**” (Radiologo responsabile) con l’avvalimento, laddove previsto, dello “**specialista in fisica medica**”, presentando tuttavia importanti novità migliorative

# La posizione del CNI



CONSIGLIO NAZIONALE  
DEGLI INGEGNERI



presso il  
Ministero della Giustizia

Al Ministro della Salute  
On. Roberto Speranza  
segreteria.ministro@sanita.it

Al Sottosegretario di Stato  
On. Pierpaolo Sileri  
sileri.ufficio@sanita.it

Al Direttore Direzione Generale alla  
Prevenzione Sanitaria  
Dott. Giovanni Rezza  
segr.dgprev@sanita.it

Al Direttore Direzione Generale delle  
Professioni Sanitarie e delle risorse umane del  
Servizio Sanitario Nazionale  
Dott.ssa Rossana Ugenti  
segreteria.dgrups@sanita.it

Al Ministro dell'Università  
Prof.ssa Cristina Messa  
segreteria.ministro@miur.it

Al Direttore Direzione Generale per lo studente,  
lo sviluppo e l'internazionalizzazione della  
formazione superiore  
Dott.ssa Maria Letizia Melina  
DGSINFS.segreteria@miur.it

Al Ministro della Giustizia  
Prof.ssa Marta Cartabia  
protocollo.gabinetto@giustizia.it

Al Ministro dello Sviluppo Economico  
On. Giancarlo Giorgetti  
segreteria.ministro@mise.gov.it

Al Sottosegretario di Stato  
On. Vincenzo Amendola  
segreteria.ministroaffarieuropei@governo.it

Al Segretario Generale  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Pres. Roberto Chiappa  
r.chiappa@palazzochigi.it

Al Capo del Dipartimento per gli Affari  
Giuridici e Legislativi  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Cons. Ermanno De Francisco  
e.defrancisco@palazzochigi.it

OGGETTO: **Problematiche in merito al D.Lgs. n. 101 del 2020 alla luce del D.M. 27 febbraio 2020 n. 60**

Con la presente richiesta si dà seguito alle precedenti comunicazioni già trasmesse in materia, nonché alla riunione del Tavolo di Confronto promosso dal Dipartimento per le politiche europee di concerto con i rappresentanti del Ministero della Salute, del Ministero dell'Università e Ricerca e del Ministero di Giustizia, del quale si riporta uno stralcio di verbale trasmesso in data giovedì 20 maggio 2021 ore 17:59 a mezzo mail:

[...omissis...]

*Il Ministero della salute, Direzione generale della prevenzione sanitaria, **ha confermato la propria disponibilità a valutare e a recepire le istanze del CNI** anche al fine di valutare e presentare eventuali proposte correttive del decreto di recepimento, previo necessario allineamento con la Direzione generale delle professioni sanitarie del medesimo Ministero, anch'essa rappresentata in riunione.*

[...omissis...]

*In chiusura, **tenuto conto delle risultanze della riunione, si è pertanto concluso che il coordinamento delle successive attività sarà svolto dal Ministero della salute**, con le modalità che questo riterrà più opportune, e con la collaborazione del Ministero dell'università e del Ministero della giustizia, nonché con il coinvolgimento dei rispettivi uffici legislativi che si raccorderanno con l'ufficio legislativo affari europei per eventuali proposte correttive del decreto n. 101/20.*

Alla luce di ciò si rileva che, ad oggi, nessun passo avanti è stato fatto per risolvere la situazione presentata dal Consiglio Nazionale degli Ingegneri al fine di armonizzare la disciplina in materia con quanto oggi avviene a livello comunitario.

Per questo si ribadisce la necessità di dover risolvere la grave sperequazione che oggi grava sugli Ingegneri Biomedici dal momento che con il recepimento del D.Lgs. n. 101 del 2020 sono state demandate competenze proprie anche dell'Ingegnere Biomedico al solo Specialista in Fisica Medica, così come definito dalla legislazione italiana, senza armonizzare di fatto le competenze delle due figure.

Si richiamano quindi le modifiche necessarie al **D.Lgs. n. 101 del 2020** al fine di armonizzare lo stesso alla situazione legislativa comunitaria:

**TITOLO II DEFINIZIONI - ART. 7 – Definizioni**

148) "specialista in fisica medica": laureato in fisica **o in ingegneria biomedica** in possesso del diploma di specializzazione in fisica medica o fisica sanitaria e,

CONSIGLIO NAZIONALE DEGLI INGEGNERI  
05/11/2021 U-mp/7898/2021





# La posizione del CNI



- Ingegnere iscritto al CertING ed Esperto di Radioprotezione di III Grado è equiparato al Fisico Medico (tranne per l'esecuzione dei piani di trattamento)

conseguentemente, delle cognizioni, formazione ed esperienze necessarie a operare o a esprimere pareri su questioni riguardanti la fisica delle radiazioni applicata alle esposizioni mediche;

**148-bis) Le attività proprie dello Specialista in Fisica Medica possono essere anche svolte, con la sola eccezione della stesura dei piani di trattamento radioterapici di cui all'Art.160 comma 2 lettera e, da un Ingegnere che sia iscritto all'elenco nazionale certificato degli Ingegneri Biomedici e Clinici nella sezione Tecnologie Biomediche ai sensi del D.M. 27 febbraio 2020, n. 60 e che sia Esperto di Radioprotezione di III Grado."**

Nonché le modifiche da dover apportare al D.M. del Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca di concerto con il Ministro della Salute del 04 febbraio 2015 n. 68 necessarie ai fini dell'adeguamento alla situazione legislativa comunitaria:

Allegato:

La Classe della **FISICA SANITARIA** comprende le seguenti tipologie:

Fisica Medica (accesso per i laureati magistrali in Fisica (Classe LM 17), ai laureati specialisti in Fisica (Classe 20/S) e ai laureati del vecchio ordinamento in Fisica; **accesso per i laureati magistrali in Ingegneria Biomedica (Classe LM 21), ai laureati specialisti in Ingegneria Biomedica (Classe 26/S) e ai laureati del vecchio ordinamento in Ingegneria con indirizzo in Biomedica.)**

**Qualora il candidato sia in possesso dei seguenti titoli conseguiti precedentemente all'entrata in vigore del D.Lgs. n. 101 del 2020 potrà accedere direttamente al III anno della scuola di specializzazione:**

- **Esperto di Radioprotezione di III Grado;**
- **Esperto Responsabile RM;**

All'uopo si ricorda che la clausola di salvaguardia inserita nel secondo capoverso del testo sopra riportato in merito all'iscrizione al III anno della scuola di specializzazione per i candidati in possesso del titolo di Esperto di Radioprotezione di III Grado è confermata dalla sentenza n. 4259/2020 pubblicata il 15/09/2020 della Prima Sezione Civile della corte d'Appello di Roma in ragione della quale gli Esperti di Radioprotezione possono di fatto svolgere i Controlli di Qualità sulle apparecchiature radiogene, ovverosia hanno già molte delle competenze che avrebbero dovuto altresì acquisire presso la Scuola di Specializzazione, ad eccezione dei soli "Piani di Trattamento Radioterapici".

Tutto ciò premesso, tenuto conto dei doveri di collaborazione tra istituzioni si auspica che le modifiche, così come formulate e discusse al Tavolo di Confronto promosso dal Dipartimento per le politiche europee di concerto trovino accoglimento nel primo veicolo legislativo utile.

In caso di mancato accoglimento delle istanze qui rappresentate, al fine di tutelare la figura professionale dell'Ingegnere Biomedico e le sue specifiche competenze, si intraprenderanno tutte le azioni interne e comunitarie, più adatte, volte ad affermare il diritto di stabilimento e la libera circolazione delle persone in Europa con particolare riferimento alla figura professionale interessata.

Cordiali saluti

IL CONSIGLIERE SEGRETARIO  
(Ing. Angelo Valsecchi)

IL PRESIDENTE  
(Ing. Armando Zambrano)

# La posizione del CNI



- Possibilità per l'Ingegnere Biomedico di accedere alla Scuola di Specializzazione in Fisica Medica
- L'accesso è possibile al III anno della scuola se l'Ingegnere è altresì:
  - Esperto di Radioprotezione di III Grado
  - Esperto Responsabile nella sicurezza RM.

conseguentemente, delle cognizioni, formazione ed esperienze necessarie a operare o a esprimere pareri su questioni riguardanti la fisica delle radiazioni applicata alle esposizioni mediche;

**148-bis) Le attività proprie dello Specialista in Fisica Medica possono essere anche svolte, con la sola eccezione della stesura dei piani di trattamento radioterapici di cui all'Art.160 comma 2 lettera e, da un Ingegnere che sia iscritto all'elenco nazionale certificato degli Ingegneri Biomedici e Clinici nella sezione Tecnologie Biomediche ai sensi del D.M. 27 febbraio 2020, n. 60 e che sia Esperto di Radioprotezione di III Grado."**

Nonché le modifiche da dover apportare al D.M. del Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca di concerto con il Ministro della Salute del 04 febbraio 2015 n. 68 necessarie ai fini dell'adeguamento alla situazione legislativa comunitaria:

Allegato:

La Classe della **FISICA SANITARIA** comprende le seguenti tipologie:

Fisica Medica (accesso per i laureati magistrali in Fisica (Classe LM 17), ai laureati specialisti in Fisica (Classe 20/S) e ai laureati del vecchio ordinamento in Fisica; **accesso per i laureati magistrali in Ingegneria Biomedica (Classe LM 21), ai laureati specialisti in Ingegneria Biomedica (Classe 26/S) e ai laureati del vecchio ordinamento in Ingegneria con indirizzo in Biomedica.)**

**Qualora il candidato sia in possesso dei seguenti titoli conseguiti precedentemente all'entrata in vigore del D.Lgs. n. 101 del 2020 potrà accedere direttamente al III anno della scuola di specializzazione:**

- **Esperto di Radioprotezione di III Grado;**
- **Esperto Responsabile RM;**

All'uopo si ricorda che la clausola di salvaguardia inserita nel secondo capoverso del testo sopra riportato in merito all'iscrizione al III anno della scuola di specializzazione per i candidati in possesso del titolo di Esperto di Radioprotezione di III Grado è confermata dalla sentenza n. 4259/2020 pubblicata il 15/09/2020 della Prima Sezione Civile della corte d'Appello di Roma in ragione della quale gli Esperti di Radioprotezione possono di fatto svolgere i Controlli di Qualità sulle apparecchiature radiogene, ovverosia hanno già molte delle competenze che avrebbero dovuto altresì acquisire presso la Scuola di Specializzazione, ad eccezione dei soli "Piani di Trattamento Radioterapici".

Tutto ciò premesso, tenuto conto dei doveri di collaborazione tra istituzioni si auspica che le modifiche, così come formulate e discusse al Tavolo di Confronto promosso dal Dipartimento per le politiche europee di concerto trovino accoglimento nel primo veicolo legislativo utile.

In caso di mancato accoglimento delle istanze qui rappresentate, al fine di tutelare la figura professionale dell'Ingegnere Biomedico e le sue specifiche competenze, si intraprenderanno tutte le azioni interne e comunitarie, più adatte, volte ad affermare il diritto di stabilimento e la libera circolazione delle persone in Europa con particolare riferimento alla figura professionale interessata.

Cordiali saluti

IL CONSIGLIERE SEGRETARIO  
(Ing. Angelo Valsecchi)

IL PRESIDENTE  
(Ing. Armando Zambrano)



## Ulteriori modifiche introdotte dal D.Lgs. 101 del 2020

## Nuove Installazioni



*Sanzioni (DL)*

*Art 207 punto 3:*

- Arresto da tre mesi ad un anno
- Da 10.000 ad 20.000 euro.

Le comunicazioni preventive di pratiche di cui all'art.22 D.Lgs. 230/95 e smi sono sostituite dalle NOTIFICHE di pratiche ai sensi dell'**art. 46 D.Lgs.101/20**, che, per le **apparecchiature radiologiche in campo medico vanno effettuate almeno 10 giorni prima l'inizio della pratica** (non più 30 giorni prima, vincolo che invece permane per tutte le altre sorgenti).

Resta invariata la necessità da parte dell'esercente di acquisire e **sottoscrivere** preventivamente, una relazione (ai sensi dell'art.109 comma 2) redatta e firmata dall'Esperto di Radioprotezione da allegare alla notifica di pratica.



## Regimi Autorizzatori

*Sanzioni (DL)*

*Art 208 punto 2 (N.O. cat. B):*

- Arresto da due a sei mesi
- Da 5.000 ad 30.000 euro.

Il regime autorizzatorio (di cui agli ex artt. 27, 28 e 29 D.Lgs 230/95 e ss.mm.ii.), ora è regolamentato ai sensi degli articoli 50, 51, 52 D.Lgs.101/20 e rimane pressoché invariato nelle procedure, ma prevede prescrizioni più restrittive in materia di gestione dei rifiuti radioattivi e analisi dei rischi.



Tutto ciò che rientra nell'ambito della **RICERCA** e **dell'INDUSTRIA** (ad eccezione dei microscopi elettronici di cui all'Art. 50 comma 9) sono divenuti soggetti a Regime Autorizzativo indipendentemente dal Energie e Attività presenti !



## Regimi Autorizzatori

*Sanzioni (DL)*

*Art 208 punto 2 (N.O. cat. B):*

- Arresto da due a sei mesi
- Da 5.000 ad 30.000 euro.

In verità l'articolato di legge approvato il 22/22/2022 u.s. modifica ulteriormente questo aspetto riportando la normativa in linea con il previgente D.Lgs. 230/95

*b) l'impiego di acceleratori, di generatori di radiazioni o di materie radioattive per radiografia industriale, per trattamento di prodotti e per ricerca, ferme restando le condizioni di cui al comma 1;*

Ovvero tornano ad essere esclusi dai Regimi Autorizzativi gli apparecchi che accelerano elettroni sopra a 200 Kev, sorgenti che producono più di  $10^4$  neutroni su tutto l'angolo solido o concentrazioni di materiali radioattivi superiori a quanto stabilito dal comma 1

## Regimi Autorizzatori

Livello 1

**Art. 46 - Notifica di pratica**

- Comunicazione 10 giorni ante installazione in sanità
- Comunicazione 30 giorni ante installazione in ricerca e industria

Livello 2

**Art. 50 – Nulla Osta per le pratiche soggette a radiazioni ionizzanti**

## Regimi Autorizzatori

- Livello 1      **Art. 46 - Notifica di pratica**
- Livello 2      **Art. 50 – Nulla Osta per le pratiche soggette a radiazioni ionizzanti**
- Livello 2.2    **Art 52 – Nulla Osta per le pratiche di categoria B**
- In sanità è rilasciato dalle autorità dalle autorità titolari del procedimento di autorizzazione
  - In Ricerca e Industria è rilasciato dal prefetto
- Livello 2.2    **Art 51 – Nulla Osta per le pratiche di categoria A**
- Rilasciato con Decreto dal MISE di concerto con i Ministeri dell’Ambiente, dell’Interno, del Lavoro, della Salute, acquisito il parere dell’ISIN e sentite le regioni competenti

## Gestione Rifiuti radioattivi



*Sanzioni (DL)*  
*Art 207 punto 3:*

- Arresto da uno a tre anni
- Da 30.000 a 150.000 euro.

Proprio in relazione alla gestione dei rifiuti radioattivi la novità principale introdotta dal decreto è che **ogni pratica** (sia soggetta a semplice notifica che a regime autorizzatorio) comportante la produzione di rifiuti radioattivi con possibilità di smaltimento in esenzione deve essere **AUTORIZZATA ALL'ALLONTAMENTO DEI RIFIUTI** ai sensi dell'art.54 del D.Lgs.101/20



Non esiste più il limite di 1 Bq/g per l'allontanamento in esenzione di cui alla previgente legislazione !

## Regimi transitori

- **2 anni** dall'entrata in vigore per la **richiesta di aggiornamento dei Nulla Osta** esistenti (Art. 235 comma 1 e 4) ai sensi degli artt. 50, 52 e 54 e All. XIV

**Pertanto entro il 27/08/2022 si doveva provvedere al rinnovo di tutti i Nulla Osta !**

Già trascorsi:

- **180 giorni** (Art. 234 comma 1) per la richiesta di **autorizzazione all'allontanamento in esenzione di rifiuti radioattivi** ai sensi dell'Art.54 e All. IX per le pratiche in essere con manipolazione di sorgenti non sigillate soggette a comunicazione preventiva di pratica ex Art.22 D.Lgs. 230/95 (es: laboratori RIA laboratori manipolazione radioisotopi per ricerca scientifica, etc.)
- **180 giorni** (Art. 234 comma 4) per la **registrazione alle Amministrazioni procedenti delle valutazioni di dose alla popolazione** per tutte le pratiche in essere soggette a comunicazione preventiva di pratica ex Art.22 D.Lgs. 230/95

## Registro Sorgenti



Come previsto dall'Art. 48 comma 1, l'Esercente è tenuto ad effettuare la registrazione delle sorgenti di radiazioni ionizzanti detenute, entro 10 giorni dall'inizio della detenzione o dalla data di cessazione delle stesse sul sito istituzionale dell'**ISIN** - Ispettorato nazionale per la sicurezza nucleare e la radioprotezione.



Ispettorato Nazionale per la  
Sicurezza Nucleare e la  
Radioprotezione



## Regime transitorio (oggi terminato)

Ai sensi dell'Art. 241 ISIN era tenuto a rendere operativo il sistema di registrazione dati entro 180 giorni dall'entrata in vigore del decreto dandone comunicazione in Gazzetta Ufficiale.

Per le sorgenti esistenti, ai sensi dell'Art.241 comma 2 i detentori erano tenuti a registrarle sul sito istituzionale entro 90 giorni dalla data di pubblicazione della comunicazione di cui sopra.

## Registro Sorgenti



Ispettorato Nazionale per la  
Sicurezza Nucleare e la  
Radioprotezione



Lunedì 22 Febbraio 2021

### **Da domani, avvio delle registrazioni a STRIMS (Sistema di Tracciabilità dei Rifiuti radioattivi, dei Materiali radioattivi e delle Sorgenti di radiazioni ionizzanti)**

A partire da martedì 23 febbraio 2021, gli operatori del settore potranno avviare la registrazione al sito dell'ISIN.

Il D.Lgs. 101/2020 prevede l'obbligo di registrazione al sito istituzionale dell'ISIN di tutti gli operatori del settore, ed in particolare di chiunque importa o produce a fini commerciali o, comunque, esercita commercio di materiali o sorgenti di radiazioni ionizzanti, chi effettua attività di intermediazione degli stessi, attività di detenzione di sorgenti di radiazioni ionizzanti, di trasporto di materiali radioattivi, di raccolta e trasporto di rifiuti radioattivi e tutti i soggetti che si occupano di gestione di rifiuti radioattivi.

STRIMS è stato realizzato da ISIN, nell'ambito di un accordo di collaborazione istituzionale con Unioncamere.

Il sistema è raggiungibile sia dal sito <https://strims.isinucleare.it> che dal sito istituzionale dell'ISIN <https://www.isinucleare.it/>.



[English](#)  

## Rifiuti Radioattivi



*Sanzioni (DL)*  
*Art 207 punto 3:*  
• Da 2.000 a 6.000 euro.

Come previsto dall'Art. 56 commi 5,6 e 8 , **l'Esercente detentore di rifiuti radioattivi prodotti da manipolazione di sorgenti non sigillate** (ad es: medicina nucleare “in vivo”, laboratorio RIA, laboratori di ricerca scientifica, etc...), che cede gli stessi a ditte terze autorizzate, **è tenuto a registrarsi sul sito istituzionale dell'ISIN indicando le informazioni relative alla tipologia di rifiuti** nonché ad effettuare opportuna comunicazione prima di ogni spedizione secondo modalità stabilite dall' Allegato XV.

## Rifiuti Radioattivi



Per le pratiche mediche comportanti la somministrazione di radiofarmaci a scopo diagnostico o terapeutico, l'esercente inoltra all'autorità che ha autorizzato l'allontanamento, agli organi del SSN e alle ARPA/APPA competenti per territorio nonché all'ISIN , un riepilogo annuale relativo ai materiali o rifiuti solidi o liquidi allontanati; inoltre al fine della relazione settennale di cui all'allegato XIV, registra il numero medio di pazienti trattati annualmente con radiofarmaci a scopo terapeutico e il valore medio di equivalente di dose ambientale misurati all'atto della dimissione dalla struttura nonché, nei casi applicabili, l'esito dell'ultima verifica dei livelli diagnostici di riferimento (LDR) di cui all'articolo 158.

## Registro Esposti



Come previsto dall'Art. 109 comma 9, l'Esercente è tenuto a trasmettere ai sensi i risultati delle valutazioni di dose effettuati dall'esperto di radioprotezione al Ministero del Lavoro ai fini del loro inserimento nell'archivio nazionale, da istituire entro 180 giorni dall'entrata in vigore del decreto (ai sensi dell' Art.126)

Permane l'obbligo per il Datore di Lavoro di informare il lavoratore esposto e il lavoratore sottoposto a dosimetria individuale circa i risultati delle valutazioni di dose effettuate dall'esperto di radioprotezione.

## Dosi agli Esposti



*Sanzioni (DL)*

*Art 207 punto 3:*

- Da tre a sei mesi
- Da 5.000 a 20.000 euro.

- Come previsto dall'Art. 109 comma 9, l'Esercente è tenuto a trasmettere ai sensi i risultati delle valutazioni di dose effettuati dall'esperto di radioprotezione al Ministero del Lavoro ai fini del loro inserimento nell'archivio nazionale, da istituire entro 180 giorni dall'entrata in vigore del decreto (ai sensi dell' Art.126)
- Permane l'obbligo per il Datore di Lavoro di informare il lavoratore esposto e il lavoratore sottoposto a dosimetria individuale circa i risultati delle valutazioni di dose effettuate dall'esperto di radioprotezione.

## Radon



*Sanzioni (DL)*

- Da un mese a 1 anno
- Da 2.000 ad 20.000 euro.

L'Esercente è tenuto ad effettuare una campagna di misura del Gas Radon entro 24 mesi dall'entrata in vigore del Decreto in tutti gli ambienti SOTTERRANEI con monitoraggio annuale nelle more della pubblicazione del Piano Nazionale Anti-Radon che indicherà gli ulteriori ambienti presso cui svolgere le misure.

Il Limite di concentrazione per gli ambienti di lavoro è passato da

500 Bq/m<sup>3</sup>



**300 Bq/m<sup>3</sup>**

**200 Bq/m<sup>3</sup> per le nuove costruzioni**



## Radon



Nel caso di superamento dei livelli di tenore di Radon imposti dal legislatore il Datore di Lavoro è tenuto ad attuare degli interventi coinvolgendo una figura specifica ovvero un: **Esperti in interventi di risanamento radon** (Ingegnere, Architetto o Geometra)

Qualora il tenore di radon non scenda al di sotto dei livelli di legge a seguito dell'intervento di bonifica il Datore di Lavoro è tenuto ad individuare un **Esperto di Radioprotezione** che effettui la valutazione di dose ai lavoratori.

## Radon



Previsioni introdotte dal correttivo:

### ART. 51

*(Modifiche all'allegato II del decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101)*

1. All'Allegato II del decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101, sono apportate le seguenti modificazioni:

a) alla Sezione I – esposizione al radon:

1) al paragrafo 2, la lettera a) è sostituita dalla seguente: “**abilitazione professionale per lo svolgimento di attività di progettazione di opere edili;**”;

2) al paragrafo 2, la lettera b) è sostituita dalla seguente: “*b) partecipazione a corsi di formazione dedicati, della durata di 60 ore, organizzati da enti pubblici, università, ordini professionali, su progettazione, attuazione, gestione e controllo degli interventi correttivi per la riduzione della concentrazione di attività di radon negli edifici. Tali corsi devono prevedere una verifica della formazione acquisita. Gli esperti in interventi di risanamento radon devono inoltre partecipare a corsi di aggiornamento, organizzati dai medesimi soggetti e di pari contenuto, da effettuarsi con cadenza triennale, della durata minima di 4 ore che possono essere ricompresi all'interno delle normali attività di aggiornamento professionale;*”;



### La proposta del CNI:

1. All'Allegato II del decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101, sono apportate le seguenti modificazioni:
  - a) alla Sezione I – esposizione al radon:
    - 1) al paragrafo 2, la lettera a) è sostituita dalla seguente: “abilitazione professionale per lo svolgimento di attività di progettazione di opere edili **o impiantistiche ed essere iscritto al relativo albo professionale;**”
    - 2) al paragrafo 2, la lettera b) è sostituita dalla seguente: “b) partecipazione a corsi di formazione ed aggiornamento dedicati, della durata di 60 ore, organizzati da enti pubblici, università, ordini professionali, su progettazione, attuazione, gestione e controllo degli interventi correttivi per la riduzione della concentrazione di attività di radon negli edifici. Tali corsi devono **essere tenuti per almeno metà del monte ore da Esperti di Radioprotezione con abilitazione almeno di secondo grado e devono** prevedere una verifica della formazione acquisita. L'aggiornamento, da effettuarsi con cadenza triennale, della durata minima di 4 ore può essere ricompreso all'interno delle normali attività di aggiornamento professionale previste **dai rispettivi albi professionali**”;

## Radon



CONSIGLIO NAZIONALE  
DEGLI INGEGNERI



La proposta del CNI:

3) al paragrafo 3, la lettera a) è sostituita dalla seguente: “Ai fini della misurazione della concentrazione media annua di attività di radon in aria, devono essere impiegati dispositivi di misurazione per un intero anno solare, mediante uno o più periodi di campionamento consecutivi, utilizzando metodiche di misura riferibili a norme tecniche nazionali o internazionali, **ovvero in casi speciali, misure istantanee in ragione della valutazione dell’Esperto di Radioprotezione incaricato.** Nell'ambito del Piano nazionale d'azione per il radon potranno essere definite ulteriori modalità di misurazione valide ai fini della determinazione della concentrazione media annua di attività di radon in aria.

**Sarà specifica competenza dell’Esperto di Radioprotezione incaricato con abilitazione almeno di secondo grado: la definizione della metodologia da adottare, fornendo altresì le indicazioni specifiche e l’individuazione dei punti per lo svolgimento della campagna di misura, nonché il calcolo della dose efficace sia ante che post intervento di risanamento, attraverso la redazione di un’apposita relazione illustrativa attestante il buon esito dell’intervento stesso.**

## Procedura operativa per la gestione del rischio Radon

### STEP 1

L'Esercente organizza una campagna di misurazione con **dosimetri passivi** avvalendosi di un **laboratorio accreditato**

### STEP 2

Nel caso di superamento dei livelli di tenore di Radon imposti dal legislatore il Datore di Lavoro è tenuto ad **attuare degli interventi di bonifica** coinvolgendo una figura specifica ovvero un: **Esperto in interventi di risanamento radon** (colui che ha una abilitazione professionale per lo svolgimento di attività di progettazione di opere edili)

## Procedura operativa per la gestione del rischio Radon

### STEP 3

Qualora il tenore di radon non scenda al di sotto dei livelli di legge a seguito dell'intervento di bonifica l'Esercente è tenuto ad individuare un **Esperto di Radioprotezione** che effettui la valutazione di dose ai lavoratori come previsto dall'Art. 17 comma 4 del D.Lgs. 101/20

*«Nel caso in cui i risultati della valutazione siano superiori ai valori indicati all'articolo 12, comma 1, lettera d) , l'esercente adotta i provvedimenti previsti dal Titolo XI, ad esclusione dell'articolo 109, commi 2, 3, 4,6, lettera f) , degli articoli 112, 113, 114 e 115, comma 1, dell'articolo 130, commi 2 e 3. e degli articoli 131, 132, 133, 134, 135, 138, 139.»*

## Procedura operativa per la gestione del rischio Radon

### STEP 4

In particolare l'**Esperto di Radioprotezione** sulla base delle risultanze ottenute dalla campagna di misure effettuata per l'intero anno solare post intervento di bonifica, redige una relazione e calcola ai sensi dell'**Art. 124 comma 10** del D.Lgs. 101/20 la:

- **Valutazione della dose ricevuta dal lavoratore**
- **La distribuzione della dose ricevuta agli organi (organo bersaglio **polmone**)**



## Procedura operativa per la gestione del rischio Radon

### STEP 5

Qualora dalle valutazioni di dose al lavoratore redatta dall'Esperto di Radioprotezione dovesse risultare un valore maggiore di 6 mSv/anno come stabilito all'**Art. 12 comma 1 lettera d)**, il lavoratore che opera nell'ufficio viene inviato a **Visita Straordinaria** con un Medico Autorizzato ai sensi dell'Art. 141 comma 2 del D.Lgs. 101/20.

## Procedura operativa per la gestione del rischio Radon

### STEP 6

Inoltre sempre ai sensi dell'Art. 124 comma 10 l'**Esperto di Radioprotezione** è tenuto ad effettuare la valutazione della **dose ricevuta all'individuo rappresentativo della popolazione.**

La relazione riportante le valutazioni di cui all'Art. 124 comma 10 **DEVE** essere inviata dal Datore di Lavoro **entro 3 giorni** gli organi di vigilanza ovvero:

- ISIN
- Ispettorato Territoriale del Lavoro
- Organi del SSN (ASL)

## **Ma...non tutto è così semplice quando si parla di Radon**

- 1) Nella bonifica radon non esiste una regola d'oro, ma esistono trucchi di cucina che uniti all'esperienza portano alla soluzione.
- 2) Non esistono situazioni standard, ma ogni caso ha peculiarità proprie (sovrintendenza su edifici storici, attacco a terra particolare, struttura addossata a montagne o rocce, composizione del sottosuolo...ecc).
- 3) Il tenore del gas Radon dovrebbe essere monitorato nel tempo. Eventi tellurici possono far aprire micro-faglie e fessurazioni che facilitano la risalita del gas.
- 4) Gli impianti vanno sempre sovradimensionati per poter sopperire ad eventuali imprevisti e progettati in maniera da poter operare sia in depressione che in sovrappressione

**Grazie per l'attenzione !**

Ing. Marco Martellucci

[martelluccimarco@gmail.com](mailto:martelluccimarco@gmail.com)