



**Informazione e Formazione
dei lavoratori ai sensi dell'art. 111 del D.lgs. 101/20**

Renata Leanza
rleanza@lns.infn.it

Cosa sono le radiazioni?

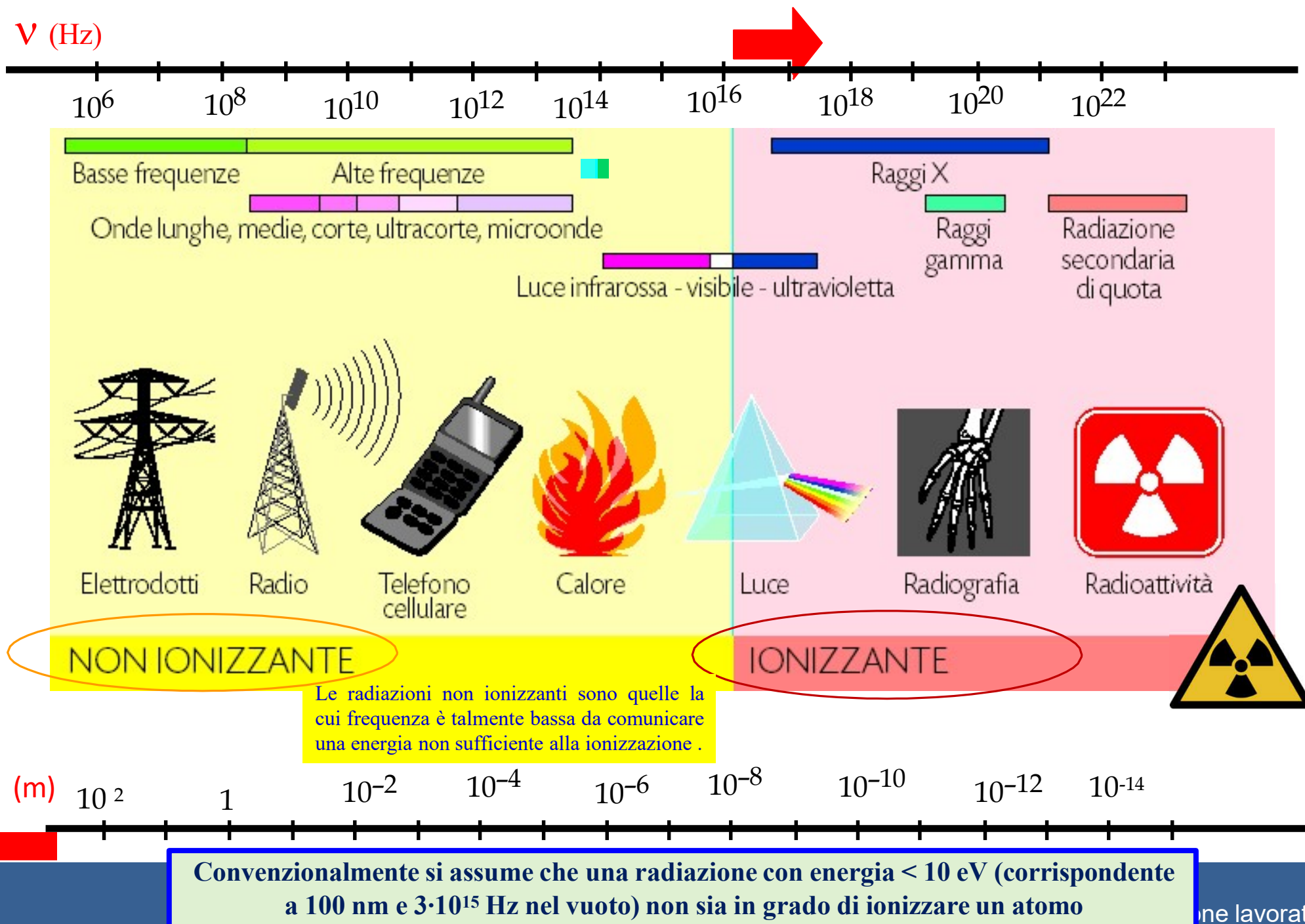
Il termine radiazione viene usato per descrivere **fenomeni fisici** apparentemente diversi tra loro quali:

- luce e il calore perfettamente percepibili dai nostri sensi
- radiazione elettromagnetica del tutto invisibile e impercettibile.

Caratteristica comune a tutti i tipi di radiazione è la **cessione di energia alla materia attraversata.**

La classificazione delle onde elettromagnetiche secondo la loro frequenza:

Lo spettro elettromagnetico ...



Le radiazioni ionizzanti



- Onde elettromagnetiche e particelle di aventi un'energia tali da produrre il fenomeno fisico della ionizzazione: processo per il quale un atomo o una molecola neutra può perdere (o acquistare) elettroni, dando luogo a particelle che prendono il nome di IONI
- Essa avviene se la quantità di energia fornita è maggiore dell'energia di legame dell'elettrone soppiantato.



- **Radiazioni corpuscolari:** Radiazioni costituite da particelle o atomi (es. α , neutroni)

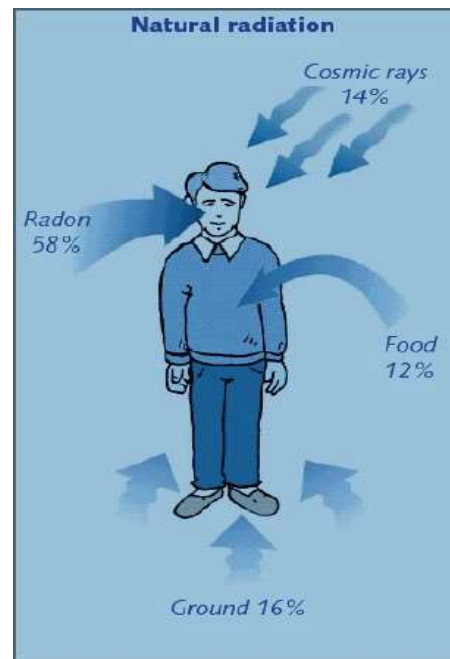
- **Radiazioni elettromagnetiche:** Radiazioni costituite da onde elettromagnetiche (es. raggi X, γ)

Nei tessuti biologici, gli ioni generati dalle radiazioni ionizzanti possono avere influenza sui normali processi biologici.

Il meccanismo della ionizzazione può provocare nei tessuti alterazioni genetiche e tumori

Da dove provengono le radiazioni ionizzanti?

In Natura....



Radioattività

Primordiali: atomi che esistono da sempre come gli elementi delle serie radioattive dell' U-238, dell'U-235 e del Th-232 la cui concentrazione (nel suolo e nelle rocce) varia fortemente da luogo a luogo in base alla conformazione geologica delle diverse aree e il K-40 prodotti nelle stelle quando è nato l'universo

Cosmogenici: prodotti nell'atmosfera per effetto dell'interazione della radiazione cosmica con le molecole d'aria come il C-14 e il H-3 che vengono introdotti nel corpo umano attraverso la catena alimentare.

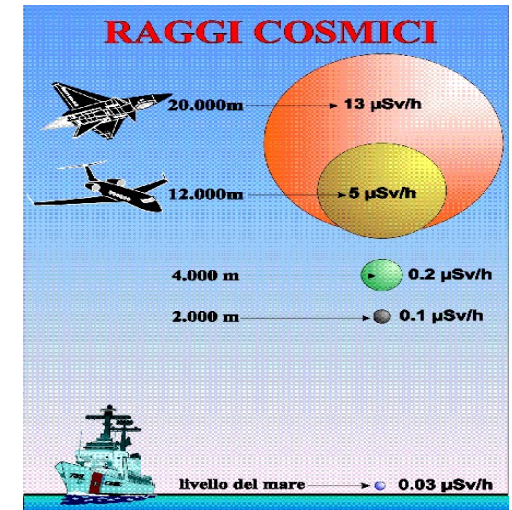
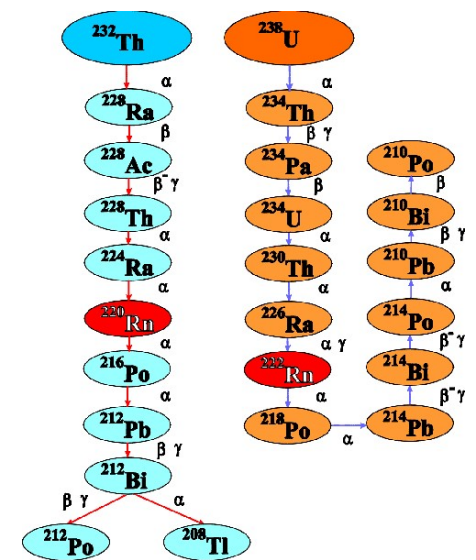
Tra questi abbiamo **protoni, alfa, nuclei pesanti**, che provengono, per la maggior parte, dal profondo spazio interstellare e sono costituiti principalmente da particelle cariche positivamente. C'è anche una **componente solare che trae origine dalle esplosioni nucleari sul sole** e consiste essenzialmente di protoni.

L'interazione con l'atmosfera terrestre comporta l'emissione di **numerosi prodotti secondari**, tra questi quelli che arrivano al livello del mare sono mesoni, elettroni, fotoni, neutroni e protoni

Ai poli il contributo di dose dovuto ai raggi cosmici è maggiore rispetto alle zone equatoriali, in quanto il campo magnetico della terra devia la radiazione

Principale fonte di esposizione alle radiazioni per la popolazione:

In Italia ad esempio la dose efficace media valutata per la popolazione è di circa 3mSv/anno, ma varia notevolmente da regione a regione. Ci sono aree geografiche dove il fondo naturale è significativamente più alto della media mondiale (2mSv/anno). Fra queste aree Ramsar (sono sorgenti termali dove la radioattività dell'acqua è di 260 mSv/anno ovvero 0,03 mSv/ora) in Iran, Guarapari in Brasile, Kerala in India, e Yangjiang in Cina.



DOSI AMBIENTALI (valori annui in mSv)



Radioattività Naturale

Radon (Rn-222) e **toron** (Rn-220), cioè di gas (7,5 volte più pesanti dell'aria) appartenenti alle famiglie dell'uranio e del torio. Il contributo maggiore alla dose assorbita deriva dal radon e principalmente dalla sua **inalazione in luoghi chiusi**, esso può essere emanato dalle rocce, dai suoli e da materiali da costruzione di origine naturale. Lo troviamo nelle rocce, nel suolo, nei materiali da costruzione, nelle falde acquifere.

All'aperto si diluisce e si disperde, negli ambienti chiusi si accumula raggiungendo elevate concentrazioni.

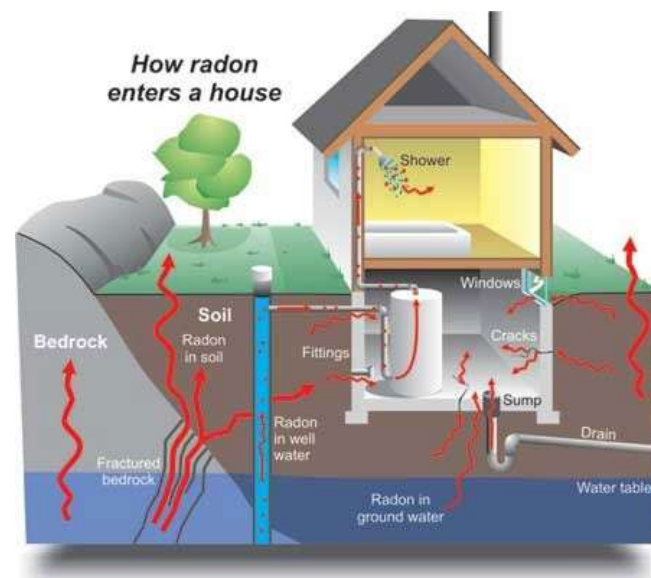
Principale fonte di tumori ai polmoni.

Esempi di interventi di risanamento

1: Riduzione del radon dall'aria interna

2: Ventilazione/miscelazione con aria esterna

3: riduzione dell'ingresso di radon



Radioattività nelle acque: dovuta sia alle piogge che trasportano le sostanze radioattive dell'aria, sia alle acque di drenaggio che convogliano nei bacini idrici sostanze radioattive presenti nelle rocce e nel suolo. Significativamente radioattive sono le acque calde solfuree negli impianti termali.

La Radiazione naturale è detta radiazione di fondo:

E' l'insieme delle radiazioni emesse nei decadimenti nucleari per la presenza della radioattività naturale e di quelle di origine cosmica .

Essa è costituita da:

- radiazioni corpuscolate (particelle α e β) con carica elettrica, quindi direttamente ionizzanti
- radiazioni indirettamente ionizzanti, con massa (i neutroni) e senza massa (γ).

Si aggiungono a tutto ciò quelle radiazioni che vengono prodotte dall'uomo artificialmente (come ad es. i raggiX)

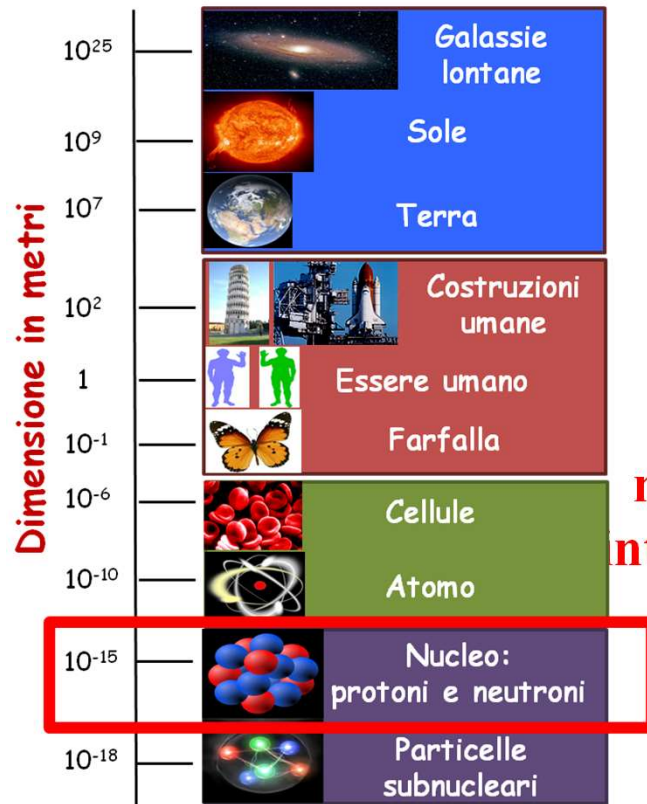
Radiazione artificiale

Radiazioni che vengono prodotte dall'uomo artificialmente (come ad es. i raggiX) diffuse in particolare con lo sviluppo delle nuove tecnologie degli ultimi 60-70 anni.

Il fenomeno della radioattività può essere indotto artificialmente in nuclei stabili attraverso reazioni nucleari: urto di una particella con un atomo della materia in cui la **particella incidente viene assorbita, l'atomo colpito passa in uno stadio eccitato o ionizzato ritornando in un tempo più o meno lungo allo stadio fondamentale emettendo "raggi" o particelle e cambiando in genere natura diventando radioattiva.**

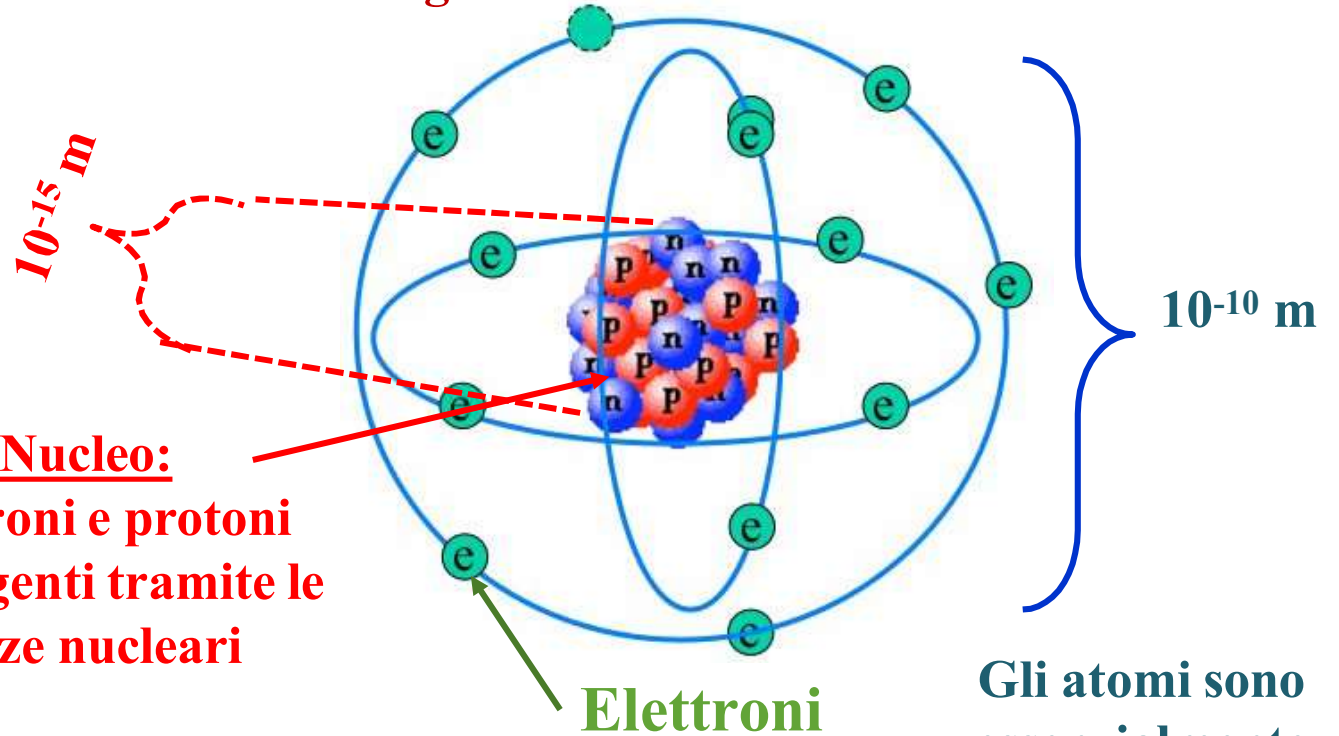
Come è fatto l'atomo?

I protoni ed i neutroni sono chiamati genericamente nucleoni.



Nucleo:
neutroni e protoni
interagenti tramite le
forze nucleari

$$R_{\text{atomo}} = 100.000 \cdot R_{\text{nucleo}}$$



Proprietà dei tre costituenti fondamentali dell'atomo			
PARTICELLA	SIMBOLO	CARICA	MASSA
protone	p	+ 1,6022·10 ⁻¹⁹ C	1,6726·10 ⁻²⁷ kg
elettrone	e	- 1,6022·10 ⁻¹⁹ C	9,109534·10 ⁻³¹ kg
neutrone	n	nulla	1,6749·10 ⁻²⁷ kg

Se l'atomo avesse le dimensioni di uno stadio, il volume del suo nucleo sarebbe confrontabile con quello di una piccola biglia

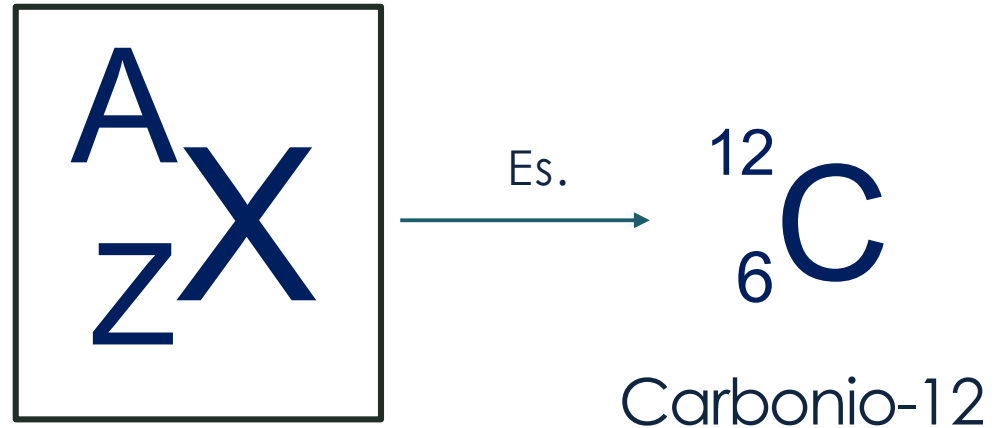


L'atomo

Nucleo: costituito da un determinato numero di protoni e di neutroni

Quello che cambia da un elemento all'altro è il numero dei protoni (e quindi degli elettroni) e dei neutroni che l'atomo contiene.

Esso viene indicato con



X indica l'elemento chimico;

- **Z** : numero atomico del nucleo = numero di protoni nel nucleo;
- **A** : numero di massa del nucleo = numero totale di protoni e neutroni

$$\rightarrow A = Z + N.$$

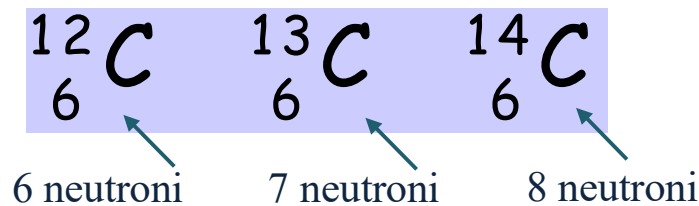
- **N** : numero di neutroni nel nucleo;
 $\rightarrow A - Z = N$

TAVOLA PERIODICA DI MENDELEEV																		18				
1																	2					
1	H																	He				
2	Li	Be															B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar				
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
6	Cs	Ba	57 - 71	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
7	Fr	Ra	89 - 103	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
																		18				
</																						

Cosa è un isotopo?

Mentre il numero di **protoni** di un elemento chimico è **fisso** il numero di **neutroni** può essere **variabile**.
In questo caso parliamo di “isotopi” di un elemento chimico.

ISOTOPI: atomi aventi fra loro uguale numero di protoni (n° atomico Z) e differente numero di neutroni, quindi differente n° di massa (A). Gli isotopi dello stesso elemento hanno quindi identiche proprietà chimiche ma diverse caratteristiche fisiche.



Isotopi (=Z)

In natura circa 280 isotopi

Alcuni elementi hanno un isotopo (es. oro, 79 p, 118 n) altri molti isotopi (es. stagno ne ha 10, 50 p, tra 62 e 74 n)

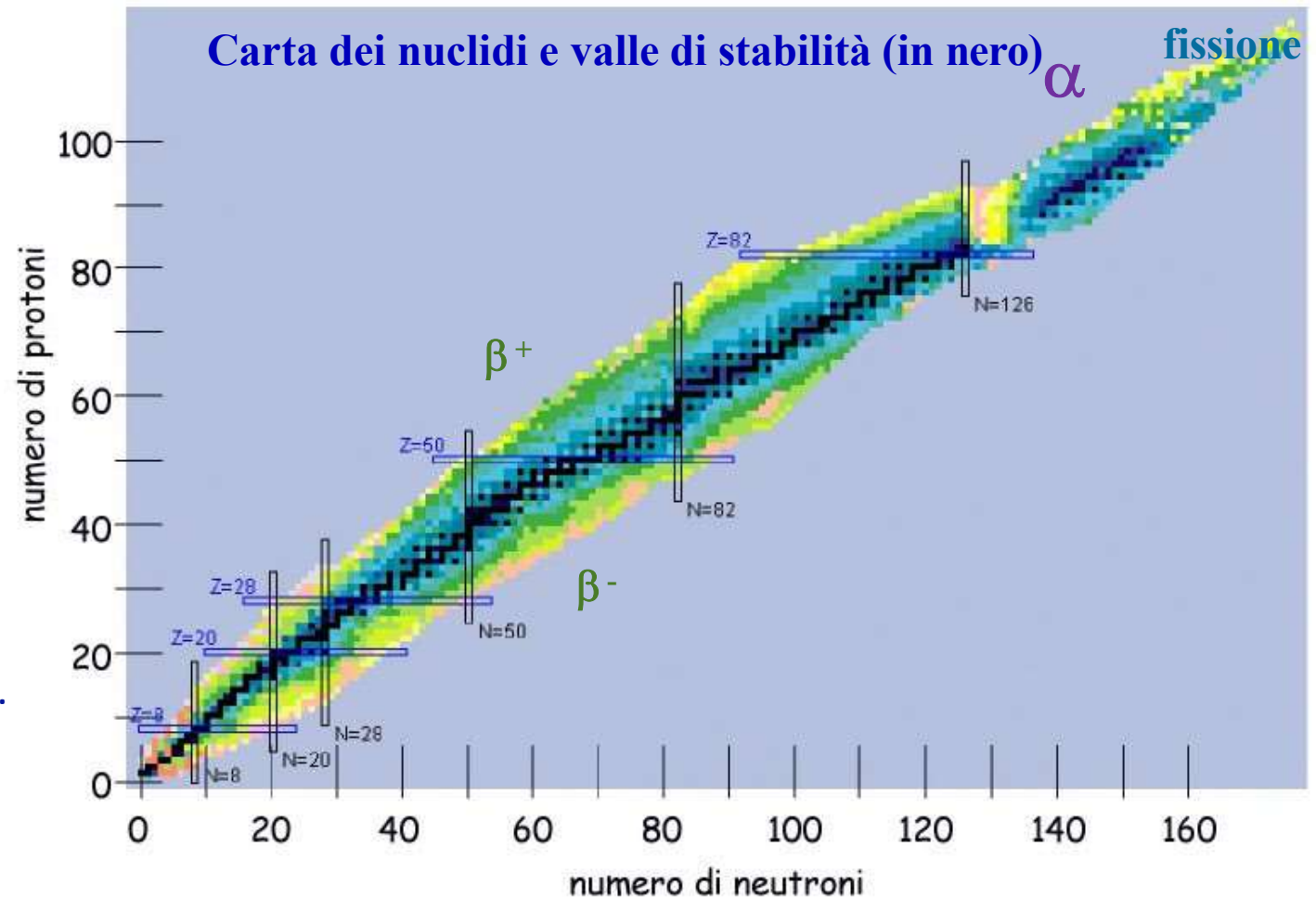
Gli isotopi presenti in natura sono quasi tutti stabili. Tuttavia, alcuni isotopi naturali, e quasi tutti gli isotopi artificiali, presentano nuclei instabili, a causa di un eccesso di protoni e/o di neutroni.

Corso di formazione in Radioprotezione

Tavola di Segrè: nuclei e isotopi.

Isotopi ($=Z \neq A$)

Gli isotopi dello stesso elemento hanno identiche proprietà chimiche ma diverse caratteristiche fisiche.



I nuclei che si trovano fuori dalla valle di stabilità si trasformano per raggiungerla nell'intento di arrivare una configurazione per loro energeticamente più conveniente.

I nuclei degli elementi pesanti, per esempio, per bilanciare la repulsione coulombiana tra i protoni (tutte cariche dello stesso segno), che tenderebbe a disgregarli, hanno bisogno di un maggior numero di neutroni come 'collante'. I nuclei leggeri, invece, hanno la configurazione di massima stabilità a $Z=N$.

Radioattività

Un insieme di processi fisico-nucleari attraverso i quali alcuni nuclei atomici *instabili* o *radioattivi* (radionuclidi) decadono (trasmutano), in un certo lasso di tempo detto **tempo di decadimento**.

Tempo di Decadimento: tempo medio che occorre aspettare per avere una trasformazione e può essere estremamente breve o estremamente lungo. Esso viene detto “**vita media**” del radioisotopo e può variare da frazioni di secondo a miliardi di anni (per esempio, il K-40 ha una vita media di 1.8 miliardi di anni).

Decadimento radioattivo

Tale **instabilità** **provoca** la trasformazione spontanea di un isotopo in altri isotopi, e questa trasformazione si accompagna con **l'emissione di particelle o radiazione e.m.** Questi isotopi sono detti **isotopi radioattivi**, o anche **radioisotopi** o anche, **radionuclidi**.

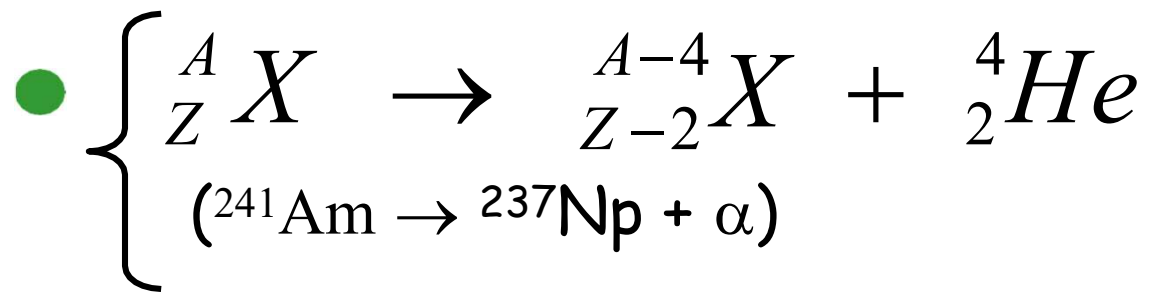
La trasformazione di un atomo radioattivo porta alla produzione di un altro atomo, che può essere anch'esso radioattivo oppure stabile.

Essa è chiamata **disintegrazione o decadimento radioattivo**.

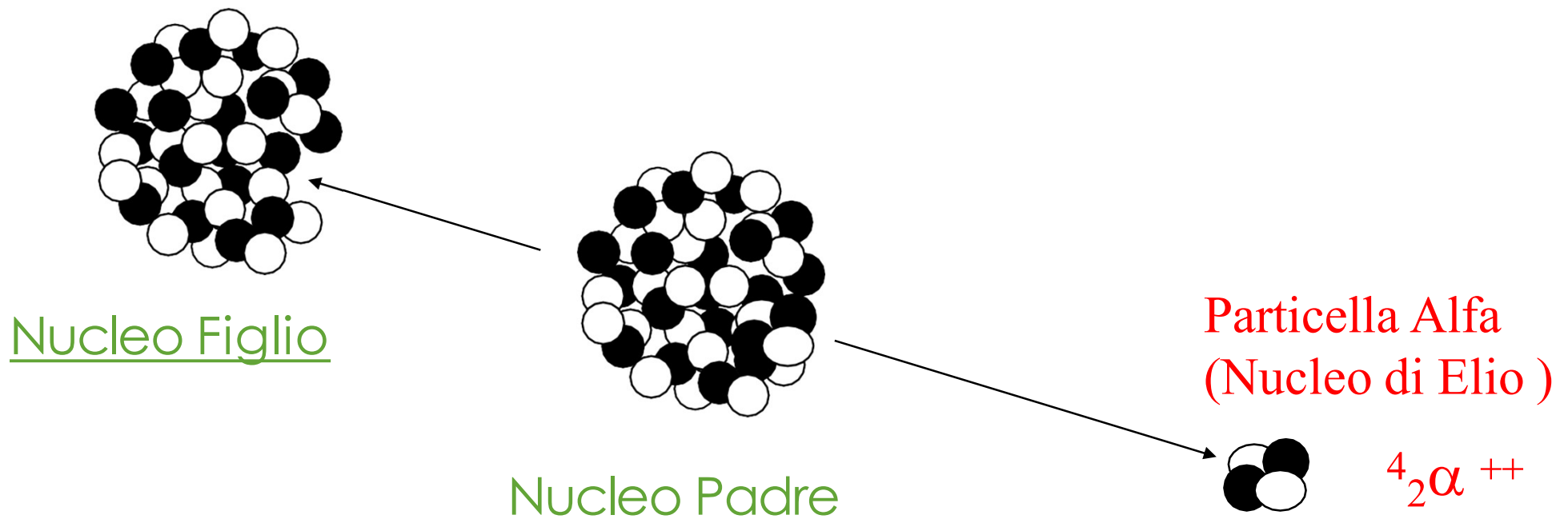
L'unità di misura della radioattività è il **becquerel** (Bq).

1 Bq corrisponde a **1 disintegrazione al secondo**.

Decadimento α



Il decadimento alfa interessa principalmente i nuclei pesanti ($Z > 82$) e deficitari di neutroni



Sono nuclei di elio ${}^4_2\text{He}$ carichi positivamente con Z (numero atomico) = 2 e A (numero di massa) = 4; le particelle alfa hanno scarso potere penetrante (sono facilmente fermate da un foglio di carta oppure dallo strato esterno della pelle) e sono di solito emesse da nuclei di metalli pesanti (con elevato numero di massa).

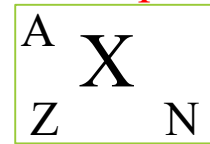
Decadimento β^-



Decadimento β^+



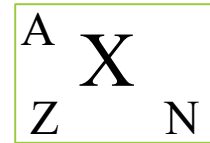
Nucleo padre



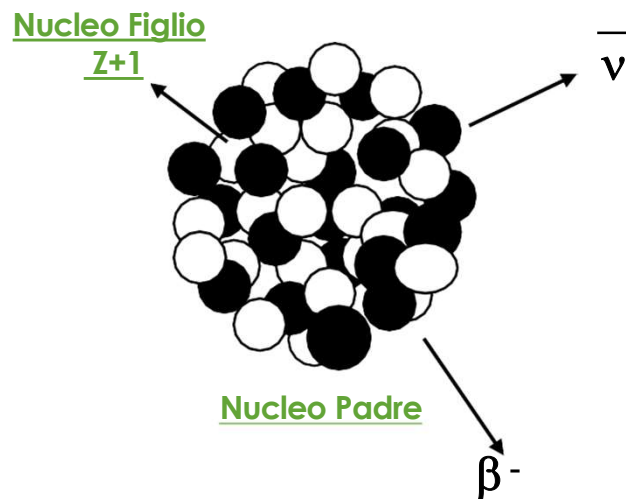
Nucleo figlio



eccesso di neutroni



eccesso di protoni

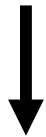


Sono costituite da elettroni ad alta velocità ed hanno un discreto potere penetrante, essendo in grado di attraversare sottili lamine di piombo. E' stato dimostrato che le particelle beta sono elettroni "sparati" dal nucleo dell'atomo a seguito di questa trasformazione:

Decadimento γ : Diseccitazione elettromagnetica

La diseccitazione e.m. non comporta alcuna variazione nel numero di neutroni e protoni del nucleo: è associato ad una 'riorganizzazione' del nucleo stesso in seguito alla quale esso emette la sua energia in eccesso sotto forma di radiazione elettromagnetica .

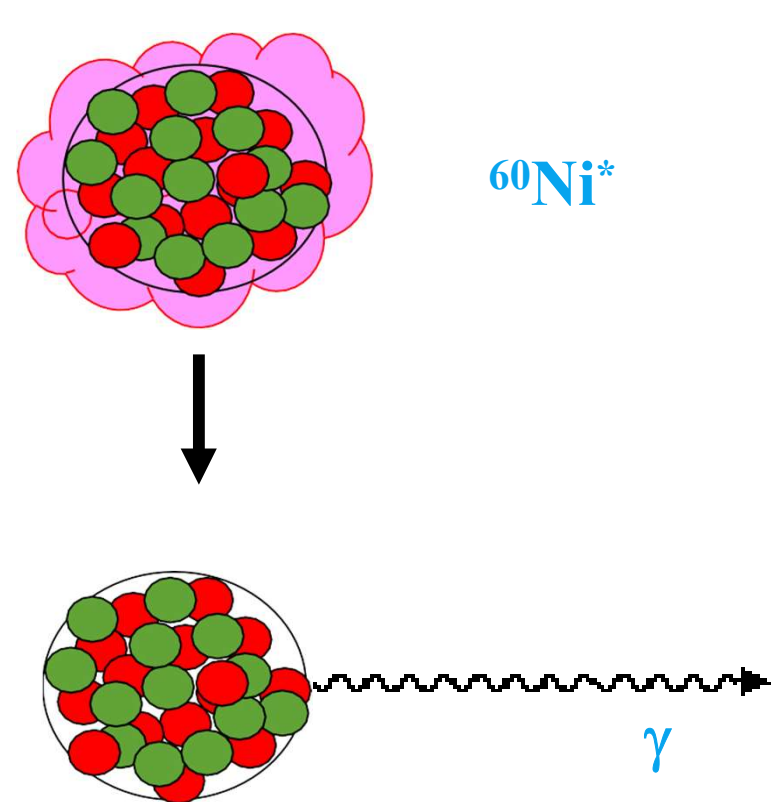
Esempio



Emissione γ



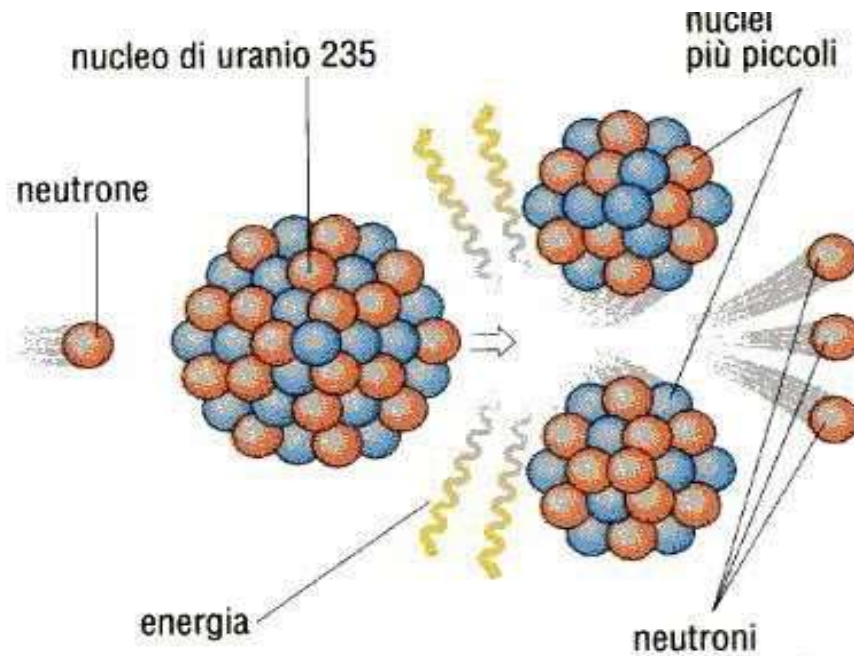
${}^{60}\text{Ni}$



Non ha natura corpuscolare ma sono radiazioni elettromagnetiche il cui potere penetrante è di gran lunga maggiore delle altre radiazioni (soltanto materiali ad alta densità quali il piombo sono in grado di fermarli). Esse hanno la capacità di distruggere i legami chimici pertanto costituiscono il principale pericolo quando si lavora con i materiali radioattivi.

Fissione

La fissione solo per alcuni nuclei molto pesanti (Es. il Californio- 252).



Classificazione delle interazioni secondo l'energia dei neutroni:
freddi ($E \sim \text{meV}$), termici ($E \leq 0.01 \text{ eV}$), epitermici ($E \leq 100 \text{ keV}$), veloci ($E \sim \text{MeV}$)

Non avendo carica elettrica, essi non sentono l'effetto della nube elettronica e neppure del campo coulombiano del nucleo: la loro interazione con la materia è totalmente 'nucleare', qualunque sia la loro energia. Cioè il neutrone interagisce con la materia (e trasferisce ad essa la sua energia) solo tramite 'reazioni' nucleari. Se i prodotti di queste reazioni sono delle particelle cariche (secondari carichi), esse inizieranno a impartire energia al mezzo.

COME INTERAGISCE LA RADIAZIONE CON LA MATERIA?

- **Radiazioni direttamente ionizzanti:** Radiazioni corpuscolari elettricamente cariche che ionizzano direttamente la materia che attraversano: α , β
- **Radiazioni indirettamente ionizzanti:** Radiazioni corpuscolari elettricamente neutre o radiazioni elettromagnetiche che nell'interazione con la materia che attraversano producono dei secondari carichi i quali, a loro volta, ionizzano la materia: raggi X, γ , neutroni

Radiazioni direttamente ionizzanti

Particelle cariche

Le particelle cariche perdono energia sostanzialmente in due processi:

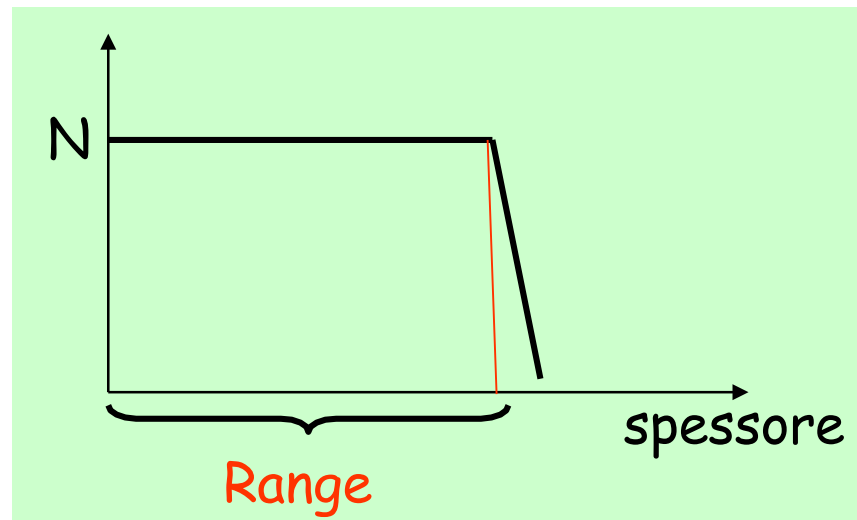
- 1) Collisioni anelastiche con la materia: **urti** con gli **elettroni** o con i **nuclei** degli atomi che la costituiscono, causando un **trasferimento di energia cinetica** (perdita di energia della particella e ionizzazione o eccitazione degli atomi del materiale)
- 2) Irraggiamento: radiazione di frenamento (bremsstrahlung).

Range delle particelle cariche

Range: (o percorso) distanza media percorsa dalla radiazione incidente nella materia **prima di perdere completamente la propria energia e arrestarsi.**

In generale, indica la capacità di penetrare a fondo nella materia.

Dipende dall'energia della particella (e dal mezzo). È ovviamente tanto più alto quanto maggiore è l'energia (una particella si ferma quando esaurisce la propria energia).



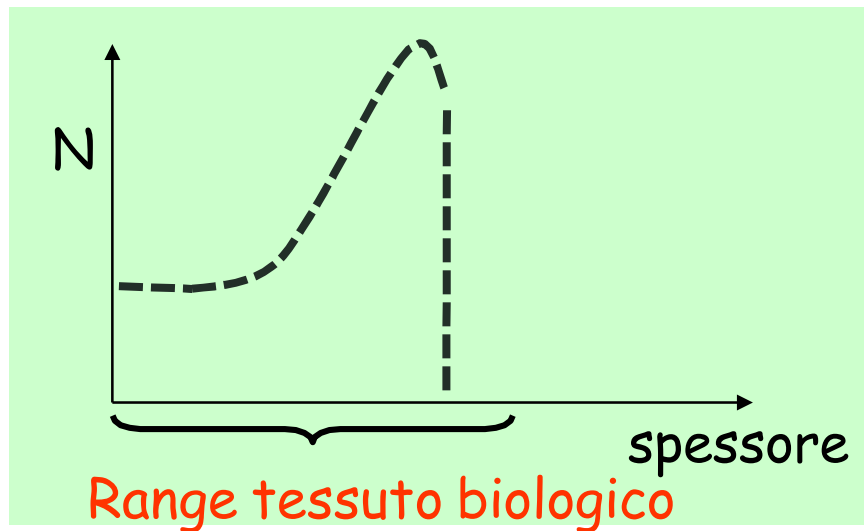
Le radiazioni alfa

Essendo dotate di carica elettrica, le particelle α interagiscono DIRETTAMENTE.
L'elevata massa (circa 8000 masse elettroniche) fa sì che il loro percorso sia rettilineo.

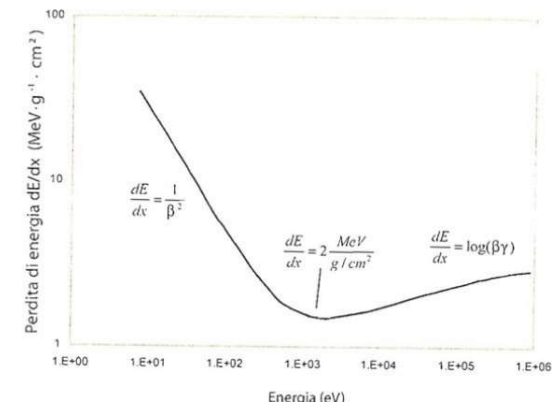
Range alfa: { qualche cm aria
 $\approx \mu\text{m}$ di tessuto biologico

NON possono penetrare lo strato corneo della pelle (vengono arrestate in pochi centimetri d'aria e in pochi μm di tessuto biologico), ma sorgenti interne al corpo producono un notevole danno biologico.

NON costituiscono problema per irraggiamento esterno



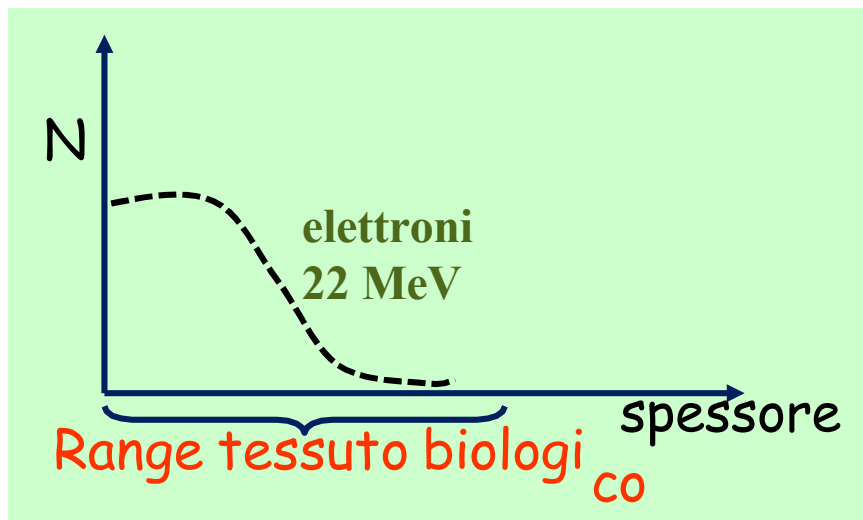
Depositano la loro energia a fine del loro percorso:
Beth & Bloch



Le radiazioni beta

Interagiscono DIRETTAMENTE con la materia. Il loro percorso in un mezzo è estremamente frastagliato (a zig-zag) a causa delle innumerevoli diffusioni (rimbalzi) con gli elettroni orbitali degli atomi del mezzo.

Range elettroni: $\left\{ \begin{array}{l} \approx \text{m aria} \\ \leq 1 \text{ mm metallo (Pb)} \\ \approx \text{mm tessuti biologico} \end{array} \right.$



I beta da sorgenti esterne al corpo (Energia > 70 keV) possono essere importanti per il rischio alla pelle.

L'introduzione nel corpo di materiali β emettitori può essere pericolosa ma molto meno di quella degli α emettitori.

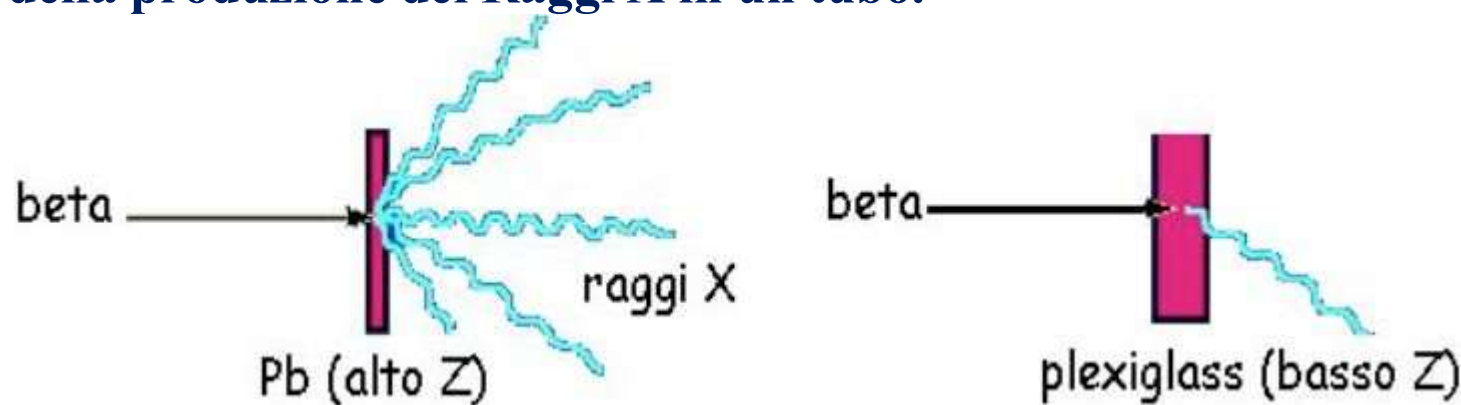
Conviene usare materiali leggeri per fermarli per evitare la radiazione di bremsstrahlung

Interazione radiazione-materia particelle cariche : irraggiamento

Processo importante per gli elettroni. In Fisica classica, a ogni urto, gli elettroni prodotti possono venire fortemente deviati dalla repulsione coulombiana degli elettroni atomici, subendo successive accelerazioni in seguito alle quali perdendo notevoli quantità di energia che può essere irraggiata: trasferimento di energia mediante emissione di radiazioni elettromagnetiche sotto forma di fotoni, sempre minore o al limite uguale all'energia degli elettroni incidenti. Si parlerà di radiazione di frenamento (bremsstrahlung).

Il bremsstrahlung “converte” una radiazione poco penetrante (elettroni) in una fortemente penetrante (fotoni).

L'importanza di questo fenomeno aumenta all'aumentare dello Z . Questo fenomeno è alla base della produzione dei Raggi X in un tubo.



I due tipi di perdita di energia, per ionizzazione e per Irraggiamento coesistono per gli elettroni

Radiazioni indirettamente ionizzanti

Fotoni

I fotoni non hanno né carica né massa. Essi trasferiscono la loro energia al mezzo in processi il cui risultato è la messa in moto di secondari carichi (elettroni e positroni), che poi, a loro volta ionizzeranno il mezzo. Per questo sono detti radiazioni indirettamente ionizzanti.

I fotoni interagiscono con la materia attraverso tre effetti:

- EFFETTO FOTOELETTRICO
- EFFETTO COMPTON
- PRODUZIONE DI COPPIE

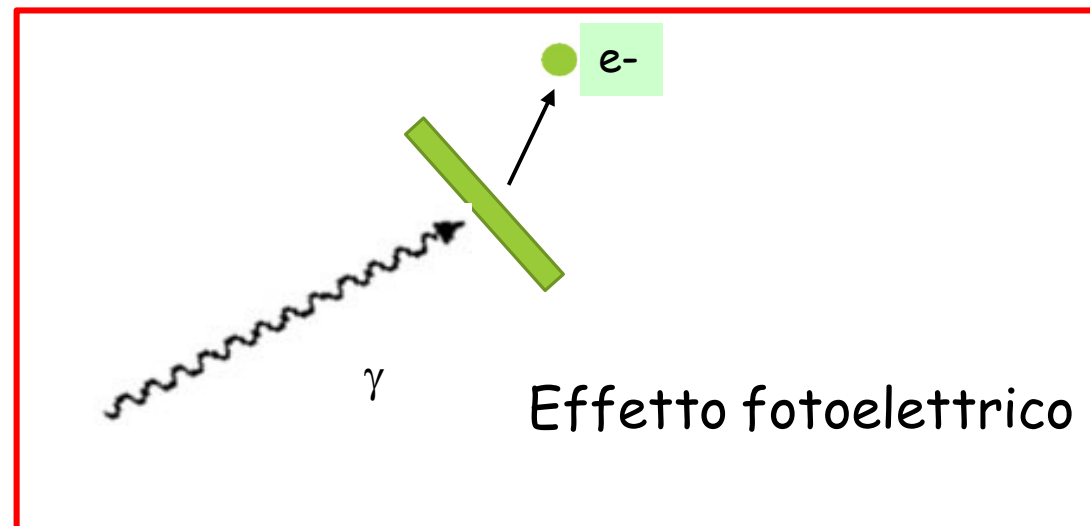
Interazione radiazione materia: L'effetto fotoelettrico

E' predominante nell'interazione dei fotoni con la materia alle basse energie (importante fino a circa 0.5 MeV);

L'effetto fotoelettrico avviene quando un fotone X o γ , interagendo con un atomo (elettrone legato), cede completamente la sua energia espellendo un elettrone.

Il fotoelettrone acquista un'energia cinetica uguale alla differenza tra l'energia del fotone incidente e la sua energia di legame.

$$E_{e-} = h\nu - E_{\text{legame}}$$

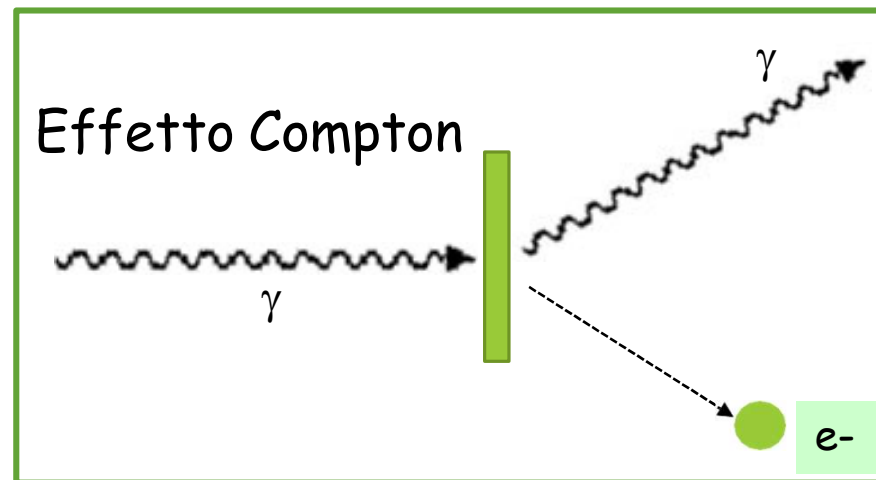


Interazione radiazione materia: L'effetto Compton

L'effetto Compton (predominante intorno al MeV) ha luogo quando l'energia del quanto incidente è molto più elevata dell'energia (fra gli 0,5 ed i 3,5 MeV) di legame dell'elettrone con il quale interagisce e che può essere considerato libero.

Il fenomeno può essere descritto come un urto elastico tra due particelle.

Il quanto incidente cede, quindi, solo una parte della sua energia all'elettrone e prosegue il suo cammino.



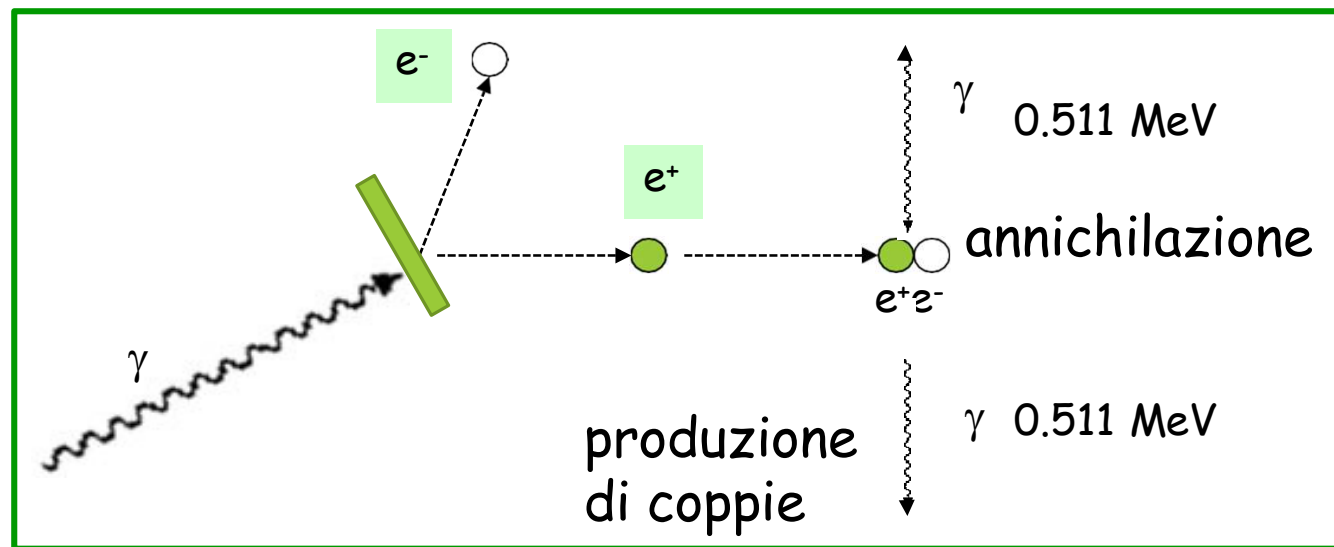
L'effetto compton può avvenire con e^- liberi

Interazione radiazione materia: produzione di coppie

Il processo di produzione di coppie (sopra al MeV e specialmente tra 5 e 10 MeV) comporta la trasformazione di un fotone in una coppia elettrone-positrone. Anche qui occorre il terzo corpo, in genere il nucleo atomico, per la conservazione dell'energia e della quantità di moto.

Il positrone emesso durante la reazione sono soggetti a rallentamento e si ricombinano con un elettrone emettendo due fotoni in direzioni opposte (90°), ciascuna con energia pari a $0,511 \text{ MeV}$.

Tali fotoni possono essere riassorbiti per effetto fotoelettrico o Compton.



Interazione radiazione materia: Fotoni

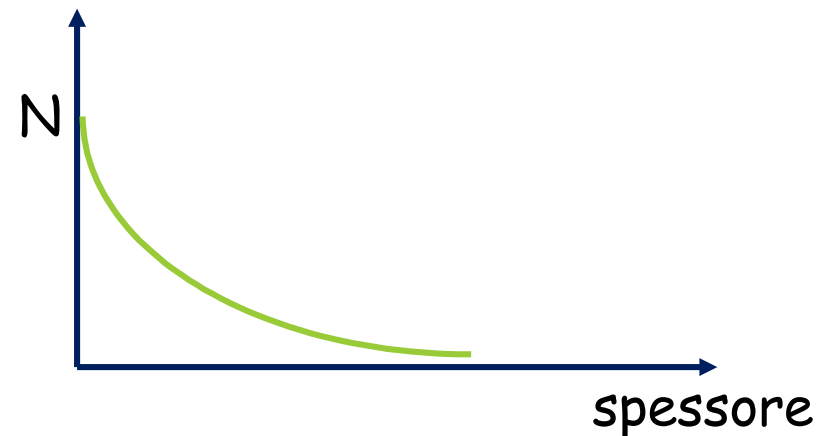
- L' interazione dei raggi X e γ è di tipo statistico: il processo di 'liberazione' dei secondari carichi, che dà inizio all'effettiva cessione di energia, anche per energia del fotone fissata, può avvenire a qualsiasi profondità nel mezzo.
- L'attenuazione di un fascio di fotoni è descritta da una legge di tipo esponenziale che dipende dallo spessore attraversato:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

μ = coefficiente di attenuazione/assorbimento

x = spessore del materiale

N.B.: anche per spessori infinitamente grandi esiste, una probabilità diversa da zero che il fotone non venga assorbito.



La radiazione X e γ

I raggi X e γ sono molto più penetranti dei raggi α e β . Soltanto materiali ad alta densità quali il piombo sono in grado di fermarli.

La pericolosità dei raggi X e γ , specialmente nel caso di irraggiamento esterno, è strettamente connessa con l'elevata capacità di penetrazione che essi hanno nei vari materiali, tessuti viventi compresi.

Radiazioni indirettamente ionizzanti

Neutroni

I neutroni, essendo neutri, come gli X e i γ non ionizzano direttamente ma la loro interazione con la materia può generare particelle α , β , γ che a loro volta producono ionizzazione.

Sono molto penetranti e sono fermati per urti successivi.

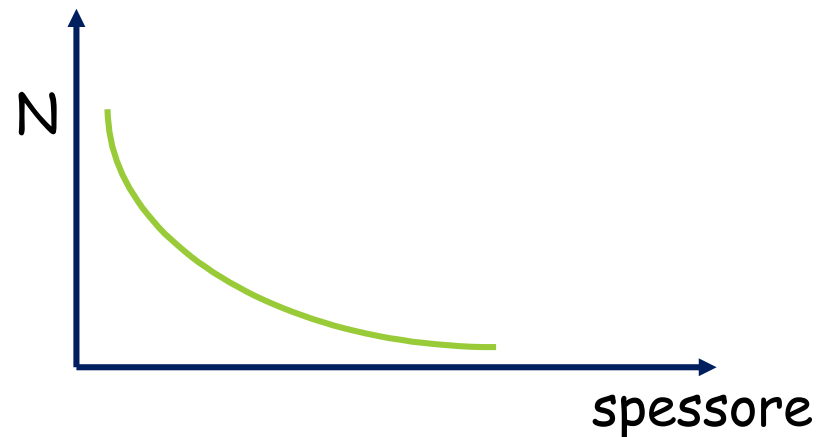
Anche per i neutroni, come per i γ , quindi, siamo di fronte a dei processi di tipo statistico: l'attenuazione si può assimilare ad un esponenziale (anche per spessori infinitamente grandi esiste, in teoria, una probabilità diversa da zero che il neutrone non venga assorbito).

L'attenuazione dei neutroni è tanto più grande tanto più leggeri sono i mezzi usati per l'attenuazione (acqua, paraffina, polietilene e calcestruzzo in spessori più o meno grandi).

$$I(x) = I_0 e^{-\Sigma x}$$

Σ = sezione d'urto massiccia

x = spessore del materiale



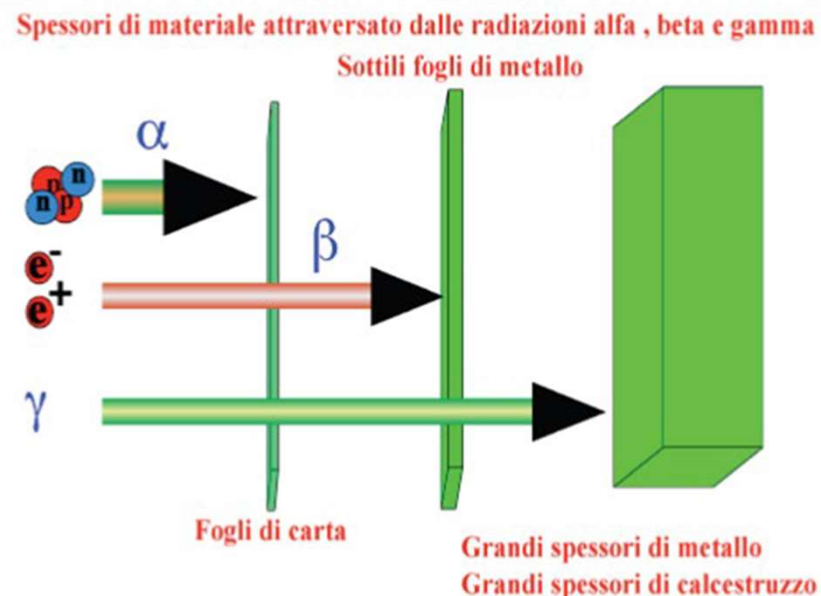
Capacità di penetrazione

I tre tipi di raggi hanno una diversa capacità penetrante dei corpi solidi:

- **raggi alfa** possono essere fermati senza troppa difficoltà da un foglio di carta, quindi molto pericolose se inalate o ingerite
- **raggi beta** possono essere fermati da un foglio di alluminio o di plastica, sono quindi più penetranti dei raggi alfa
- **raggi gamma** sono difficilmente ostacolati addirittura da un muro di cemento o piombo, possono percorrere fino a centinaia di metri in aria.

Proprio per questa differenza di penetrazione dei corpi solidi i **vari raggi vengono usati in medicina** a scopo diagnostico o curativo

Es. dei tumori: a seconda della profondità a cui si trova il tumore potremmo irradiarlo di fotoni, protoni o carbone e in ognuno di questi casi avremmo risultati diversi, come vediamo nel grafico sotto riportato.



Chi si occupa di garantire un uso appropriato delle radiazioni ionizzanti e la protezione da esse?

RADIOPROTEZIONE:

Disciplina autonoma che si occupa della protezione delle persone e dell'ambiente rispetto ai rischi nocivi potenzialmente derivanti dall'esposizione a sorgenti di radiazioni ionizzanti.

Si basa su concetti di fisica (interazione radiazione-materia), di biologia (effetti delle radiazioni a livello cellulare) e di anatomofisiologia (per le conseguenze degli effetti)

SCOPO DELLA RADIOPROTEZIONE:

ridurre i rischi (evitare totalmente i danni deterministici e limitare la probabilità di accadimento degli effetti stocastici)

La radioprotezione si basa su 3 PRINCIPI:

1. **Giustificazione:** Nuovi tipi o nuove categorie di pratiche che comportano un'esposizione alle radiazioni ionizzanti **devono essere giustificati**, anteriormente alla loro prima adozione o approvazione, dai loro vantaggi economici, sociali o di altro tipo rispetto al detrimento sanitario che ne può derivare.
2. **Ottimizzazione:** 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 (1965)
3. **Limiti di Dose:** La somma delle dosi derivanti da tutte le pratiche non deve superare i limiti di dose stabiliti per i lavoratori esposti, gli apprendisti, gli studenti e gli individui della popolazione.

I tre principi sono applicati in sequenza: si passa cioè al secondo quando si sia verificato il primo, e al terzo quando si sia verificato anche il secondo.

ATTUAZIONE DELLA RADIOPROTEZIONE: LA LEGISLATURA

- **Raccomandazioni Internazionali** (ICRP , ICRU)
- **Legislazione internazionale**
- (direttive CEE: EURATOM 80/836, 84/467, 92/3, 96/29, ecc.)
- **Legislazione italiana**
- Leggi nazionali e regionali, sentenze della corte costituzionale e di cassazione (D.Lgs.101/2020, ecc.)
- **Circolari Ministeriali**
- **Regolamentazione tecnica emanata dagli organismi di vigilanza** (guide tecniche ANPA, SSN, ecc.) relativi ad impiego, detenzione, trasporto ecc, (Ministeri competenti: Attività Produttive, Salute, Lavoro, Interno, Trasporti, Ambiente, ecc.)
- **Norme costruttive e di buona tecnica** (norme UNI, CEI, ISO)
- **Rapporti e pubblicazioni Internazionali** (organismi internazionali: NCRP , IAEA, UNSCEAR, ecc.)
- Autorizzazioni di singoli impianti con prescrizioni operative (autorità competenti)
- Norme interne (datore di lavoro, E.R.)

Legislazione Italiana

Entrata in vigore in data 27 agosto 2020

La legge attualmente in vigore in Italia per la protezione e l'impiego delle radiazioni ionizzanti è il **DECRETO LEGISLATIVO n. 101/2020**

Abroga: D.Lgs230/95 e smi, D.Lgs187/2000, D.Lgs52/2007 e Decreto del MISE 28/09/2011

Il decreto stabilisce le norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti e riordina la normativa di settore, disciplinando:

- la **protezione sanitaria** delle persone soggette ad esposizione alle radiazioni ionizzanti (esposizioni professionali, esposizioni per finalità mediche, esposizioni ambientali);
- la sicurezza degli **impianti**, delle **installazioni nucleari** e delle **materie radioattive**;
- la **gestione dei rifiuti radioattivi**;

Gli ambiti di applicabilità del Dlg.s 101/2020 sono riportati all'art. Art. 2

ESPERTO DI RADIOPROTEZIONE

Figura professionale che si occupa della radioprotezione

Persona, incaricata dal datore di lavoro che possiede le cognizioni, la formazione e l'esperienza necessarie in materia (adempimenti di cui all'art.130 del Dlg.s 101/20), per mezzo del quale il datore di lavoro assicura la sorveglianza fisica dei lavoratori esposti (art.128-comma1 del Dlg.s 101/20).

- Abilitazione degli esperti di radioprotezione (Art.129 del D.Lgs 101/2020)
- Assiste il datore di lavoro nella definizione dei programmi di formazione e aggiornamento dei lavoratori (Comma 1 lett. g-7 del Dlg.s 101/20)

Cosa fa l'esperto di radioprotezione?

Gli **obblighi in capo all'esperto di radioprotezione (art.130)**, nell'esercizio della sorveglianza fisica **per conto del datore di lavoro**:

- effettua la **valutazione Preventiva** di cui all'articolo 109 e fornisce indicazioni al datore di lavoro sull'attuazione dei compiti di cui al comma 6 del predetto articolo a esclusione di quelli di cui alle lettere e) e g);
- effettua **l'esame e la verifica delle attrezzature, dei dispositivi di protezione e dei mezzi di misura**, e in particolare: procede **all'esame preventivo e rilascia il relativo benestare** (della sorveglianza fisica della radioprotezione) dei progetti di installazioni che comportano rischi di esposizione, dell'ubicazione delle medesime all'interno dello stabilimento in relazione a tali rischi, nonché delle modifiche alle installazioni che implicano rilevanti trasformazioni delle condizioni, delle caratteristiche di sicurezza, dei dispositivi d'allarme, dell'uso o della tipologia delle sorgenti; effettua la **prima verifica, di nuove installazioni** e delle eventuali modifiche apportate alle stesse; esegue la **verifica periodica** dell'efficacia dei dispositivi, delle procedure di radioprotezione e delle buone condizioni di funzionamento degli strumenti di misurazione;
- effettua **una sorveglianza ambientale di radioprotezione nelle zone controllate e sorvegliate**, e, ove appropriato, nelle zone con esse confinanti;
- Sorveglianza sullo smaltimento dei materiali che soddisfano le condizioni di allontanamento ai sensi del art.54

Cosa fa l'esperto di radioprotezione?

- Procede alla **valutazione delle dosi** individuali, ambientali e per la popolazione(ad un lavoratore classificato esposto che entra in zona controllata gli viene sempre assegnato un dosimetro personale)
- Verifica che il personale impieghi in maniera corretta gli strumenti e i mezzi di misura e svolga le attività delegate secondo le procedure definite
- Assiste**, nell'ambito delle proprie competenze, **il datore di lavoro** nella predisposizione dei programmi di sorveglianza individuale (dosimetria individuale), nella predisposizione del programma di **monitoraggio ambientale**, nella predisposizione delle procedure per la **gestione di rifiuti radioattivi**, nella pianificazione e risposta nelle **situazioni di emergenza**, nella definizione dei programmi di **formazione dei lavoratori**, nell'individuazione delle condizioni di lavoro delle lavoratrici in stato di gravidanza.
- Inoltre, **comunica** per iscritto al medico autorizzato, almeno ogni sei mesi, le valutazioni delle dosi ricevute o impegnate dai lavoratori di categoria A e, con periodicità almeno annuale, quelle relative agli altri lavoratori esposti
- Partecipa alle riunioni periodiche previste dal D.lgs. n.81
- Comunica al datore di lavoro (art.131): l'individuazione e classificazione delle aree, la classificazione dei lavoratori, le valutazioni delle dosi ricevute e impegnate e tutti i provvedimenti necessari per assicurare la sorveglianza fisica.
- Tiene aggiornata tutta la documentazione inerente la sorveglianza fisica, le schede dosimetriche e il registro di radioprotezione (art.132)

Altre figure professionali si occupano della radioprotezione?

Medico autorizzato: medico responsabile della sorveglianza sanitaria (art.134) dei lavoratori esposti, la cui qualificazione e specializzazione sono riconosciute secondo le procedure e le modalità stabilite nel presente decreto;

Si occupa delle visite mediche preventive e dell'idoneità, visite mediche periodiche e idoneità, visite mediche straordinarie (Art.135 e 136)

Come si misura la radioattività?

$$\boxed{\text{Attività}} \longrightarrow \boxed{A(t) = \frac{dN(t)}{dt} = \lambda * N(t)}$$

Quanti nuclei della nostra sorgente decadono in un secondo

Becquerel [Bq]=1 disintegrazione al secondo

Legge di decadimento

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

λ costante di decadimento radioattivo: la probabilità che quel particolare processo di decadimento abbia luogo nell'unità di tempo

Tempo di dimezzamento: intervallo di tempo $\tau_{1/2}$ dopo il quale la metà dei nuclei originali N_0 è decaduta.

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda \tau_{1/2}}$$

da cui

$$\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = 0,693 * T \text{ (sec)}$$

La concentrazione di radioattività in un solido si misura in genere in Becquerel per unità di massa (Bq / g)

La concentrazione di radioattività in un liquido, in aria o in altro gas si misura in genere in Becquerel per unità di volume

Grandezze Dosimetriche

Dose assorbita D

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

Esprime l'energia deposita nell'interazione della radiazione con la materia, nella unità di massa

L'unità di misura è il **gray (Gy)**, 1 gray = 1 Joule/kg

Kerma: $K = dE_{tr} / dm$

E_{tr} è l'energia cinetica delle particelle cariche prodotte da radiazioni indirette. Ionizzanti

L'unità di misura è il **gray (Gy)**, 1 gray = 1 Joule/kg

Grandezze Radioprotezionistiche

QUANTIFICANO IL RISCHIO

Definite dall'ICRP - **non sono direttamente misurabili**, sono valori medi e servono a tenere conto dei diversi tipi di radiazione incidenti su un medesimo tessuto e delle diverse risposte dei vari organi su cui incide la radiazione. Vengono determinate misurando il valore di una grandezza fisica e moltiplicandolo per un appropriato coefficiente di conversione.

Dose equivalente, H_T

Dose efficace, E

Dose equivalente, H_T

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

Dose assorbita nel tessuto o nell'organo T dovuta alla radiazione R: unità di misura nel SI: **Sievert (Sv)**

Rischio associato all'esposizione a una particolare radiazione
(permette, di confrontare i rischi derivanti dall'esposizione a tipi di radiazione diversi).

Fattori di ponderazione w_R per le radiazioni di tipo ed energia R

Tipo ed intervallo di energia	Fattore di peso per la radiazione, w_R
Fotoni, tutte le energie	1
Elettroni e muoni, tutte le energie	1
Neutroni, energia < 10 keV	5
10 keV - 100 keV	10
> 100 keV - 2 MeV	20
> 2 MeV - 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protoni, tranne quelli di rinculo, energia > 2 MeV	5
Particelle alfa, frammenti di fissione, nuclei pesanti	20

La diversa pericolosità delle radiazioni incidenti, viene esplicitata mediante il **fattore di ponderazione delle radiazioni, w_R** che tiene conto dell'efficacia biologica relativa (rapporto tra le dosi di due diverse radiazioni per produrre lo stesso effetto biologico) della particolare radiazione rispetto a quella di riferimento (fotoni), cui viene assegnato per definizione un valore uguale a 1.

Rateo di Dose Equivalente: è la dose assorbita per unità di tempo unità di misura nel SI: Sv/s; più utilizzata nella pratica è il: $\mu\text{Sv/h}$

Dose efficace, E

Somma delle dosi equivalenti pesate in tutti i tessuti e organi del corpo causate da esposizione interna ed esterna

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

risposta dei vari organi o tessuti irraggiati.

Fattori di ponderazione w_T per i tessuti T

Tessuto o organo	Fattore di peso per i tessuti, w_T
Gonadi	0,20
Midollo osseo (rosso)	0,12
Colon	0,12
Polmone	0,12
Stomaco	0,12
Vescica	0,05
Mammella	0,05
Fegato	0,05
Esofago	0,05
Tiroide	0,05
Cute	0,01
Superfici ossee	0,01
Altri tessuti	0,05

Per tener conto della **radiosensibilità dei diversi organi e tessuti del corpo umano** per gli effetti stocastici, è stato introdotto il concetto di dose efficace E come somma delle dosi equivalenti medie nei diversi organi e tessuti ciascuna moltiplicata per il fattore di ponderazione w_T . La somma è 1 poiché si pesa il rischio stocastico associato al singolo organo o tessuto su il rischio associato al corpo intero irraggiato uniformemente

Grandezze Operative

Il valore delle grandezze radioprotezionistiche può esser determinato solo da calcoli, supportati dai valori tabulati di w_T e di w_R .

Occorrono grandezze misurabili sperimentalmente che abbiano una relazione inequivocabile con le grandezze in cui sono stabiliti i limiti di esposizione dell'uomo, le grandezze radioprotezionistiche.

Una grandezza dosimetrica è:

misurabile, e applicabile per qualsiasi tipo di radiazioni e non richiedere che, quando se ne fornisce il valore, sia specificato anche il tipo di radiazioni, ne' l'organo a rischio;

fornisce direttamente una stima cautelativa (potremmo dire anche conservativa), ma non una eccessiva sovrastima, della grandezza protezionistica di riferimento (H_T o E).

Definite dall'ICRU – sono utilizzate per il monitoraggio ambientale e personale. Esse danno una stima delle quantità dosimetriche e sono riferite ad un punto specifico. CAMPO ALLINEATO ED ESPANSO (distribuzione spettrale ed energetica uguale in tutti i punti e fluenza Unidirezionale)

GRANDEZZE OPERATIVE

si basa sulla grandezza **Equivalente di Dose** (introdotta con ICRP 26) la cui definizione è

$$H = Q \cdot D \text{ [Sv]}$$

Q fattore di qualità in quel punto, determinato dal tipo e dall'energia delle particelle cariche che attraversano un piccolo elemento di volume in quel punto ed è funzione del LET (n.ro di ionizzazioni prodotte)

Sfera ICRU: fantoccio sferico in campo allineato ed espanso (fluenza spettrale ed energetica uguale in tutti i punti e fluenza unidirezionale), allo scopo di riprodurre le caratteristiche del corpo umano. È costituito da materiale tessuto equivalente (assorbe l'energia come assorbirebbe il tessuto), densità 1g/cm³, diametro 30 cm.

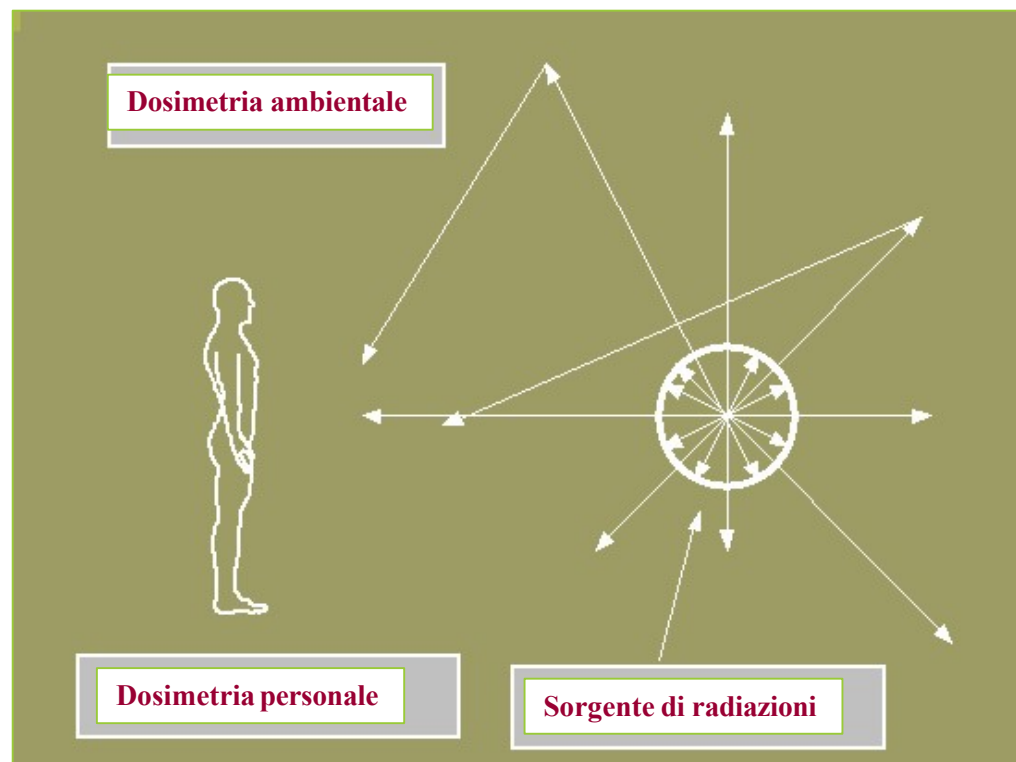
Chi stabilisce i valori dei coefficienti *Q*? Questo è il compito della International Commission on Radiological Protection (ICRP), che pubblica revisioni periodiche dei valori di *Q* per i diversi tipi di radiazioni ionizzanti noti

GRANDEZZE OPERATIVE

In presenza di una sorgente di radiazioni la dosimetria nel campo della radioprotezione va effettuata tramite due operazioni fondamentali:

monitoraggio ambientale → Dosimetria Ambientale

monitoraggio individuale → Dosimetria Personale



GRANDEZZE OPERATIVE

Nel **monitoraggio ambientale**:

Equivalente di dose ambientale, $H^*(d)$ è una grandezza che in base alla sua definizione ha come unità di misura il sievert (Sv) e fornisce una **stima ragionevole della dose efficace, E** , la grandezza con cui si esprimono i limiti di dose in radioprotezione. Si riferisce a radiazioni fortemente penetranti.

La radiazione ambientale non ha una direzione privilegiata, né la possiede l'individuo che si muove nel campo di radiazione.

È definita come l'Equivalente di Dose che sarebbe prodotto dal corrispondente campo allineato ed espanso nella sfera ICRU (centrata nel punto di interesse) alla profondità di 10 mm lungo il raggio.

Equivalente di dose direzionale $H'(d, \alpha)$ è una grandezza dosimetrica che si utilizza per avere una stima della dose efficace E nel monitoraggio ambientale di radiazioni debolmente penetranti (fotoni con $E < 15$ keV, radiazioni β con $E < 2$ MeV).

L'equivalente di dose direzionale $H'(d, \alpha)$ in un punto in un campo di radiazione è l'equivalente di dose che sarebbe prodotto dal corrispondente campo espanso nella sfera ICRU alla profondità d su un raggio della sfera situato in una direzione α specificata. Anche questa grandezza si misura in sievert (Sv), e tipicamente d è 0.07 mm se ci si riferisce alla pelle, oppure 3 mm se ci si riferisce all'occhio (cristallino). Quindi misuriamo $H'(0.07, \alpha)$ o $H'(3, \alpha)$ per il monitoraggio di area per radiazione debolmente penetrante.

GRANDEZZE OPERATIVE

Nel **monitoraggio individuale**:

l'Equivalente di Dose Personale $H_p(d)$ definita come l'Equivalente di Dose in tessuto ICRU (molle) a una opportuna profondità d , al disotto di uno specificato punto del corpo umano (dove il dosimetro è indossato). È la grandezza usata per gli strumenti che vengono indossati dalla persona.

Le profondità raccomandate per l'Equivalente di Dose Personale sono:

- 10 mm $H_p(10)$ per la stima della dose efficace
- 0.07 mm $H_p(0,07)$ (profondità dello strato germinativo della cute) per la stima della dose equivalente alla pelle e alle estremità.
- Per il caso speciale del cristallino era stata indicata la profondità di 3 mm.

La dosimetria individuale da esposizione esterna è effettuata con dosimetri personali indossati sul corpo, aspetto che è considerato nella definizione della grandezza operativa, e il cui valore è determinato dalla situazione di irradiazione in prossimità del punto in cui il dosimetro è indossato, pertanto tale grandezza è direttamente correlata alle esposizioni che la persona ha effettivamente subito e non (come per il monitoraggio ambientale) a quelle che avrebbero potuto o potrebbero subire (persona che si trova in un campo di radiazione reale).

GRANDEZZE OPERATIVE

Irradiazione interna → la sorgente di radiazioni è localizzata all'interno del corpo a seguito di inalazione o ingestione.

In questo caso l'irraggiamento si protrarrà fin quando il radionuclide introdotto è presente nel corpo.

Per questa trattazione vanno introdotti i concetti di:

- **Dose impegnata:** dose ricevuta da un certo organo o tessuto in un determinato periodo di tempo in seguito all'introduzione di uno o più radionuclidi
- **Dose equivalente impegnata:** integrale rispetto al tempo dell'intensità di dose equivalente in un certo organo o tessuto che sarà ricevuta da un individuo, in quel organo o tessuto in seguito all'introduzione di uno o più radionuclidi
- **Dose Efficace Impegnata:** somma delle dosi equivalenti impegnate nei diversi organi o tessuti $H_T(t)$ risultanti dall'introduzione di uno o più radionuclidi, ciascuna moltiplicata per il fattore di ponderazione del tessuto w_T

$$E(\tau) = \sum_T w_T H_T(\tau)$$

Effetti biologici dell'interazione delle radiazioni ionizzanti

Cosa succede quando la radiazione interagisce con il tessuto vivente?

Effetto Indiretto

Poiché la materia biologica è costituita per il **70 % da acqua**, il tipo di reazioni che si producono al seguito del rilascio di energia da parte della radiazione elettromagnetica che interagisce con essa, sono in generale:

1) La radiazione ionizza la molecola di acqua, si produce quindi un elettrone e una molecola carica +



2) L'elettrone e^- quando viene catturato da un'altra molecola d'acqua, trasformandola in una molecola a carica negativa.



3) Né l' H_2O^+ , né l' H_2O^- sono stabili e ciascuno si dissocia a formare uno ione e un radicale libero.



Gli ioni H^+ e OH^- si ricombinano per formare una molecola di acqua mentre **i radicali liberi** agiscono sulle altre molecole che si trovano nella soluzione acquosa creando **composti chimici** non presenti in precedenza.

- **Fattori Chimici**
(Effetto Ossigeno)

I radicali liberi (H e OH), in assenza di O₂ e di biomolecole, interagiscono tra loro secondo tutte le possibili combinazioni formando “prodotti molecolari”: H₂O, H₂ e H₂O₂

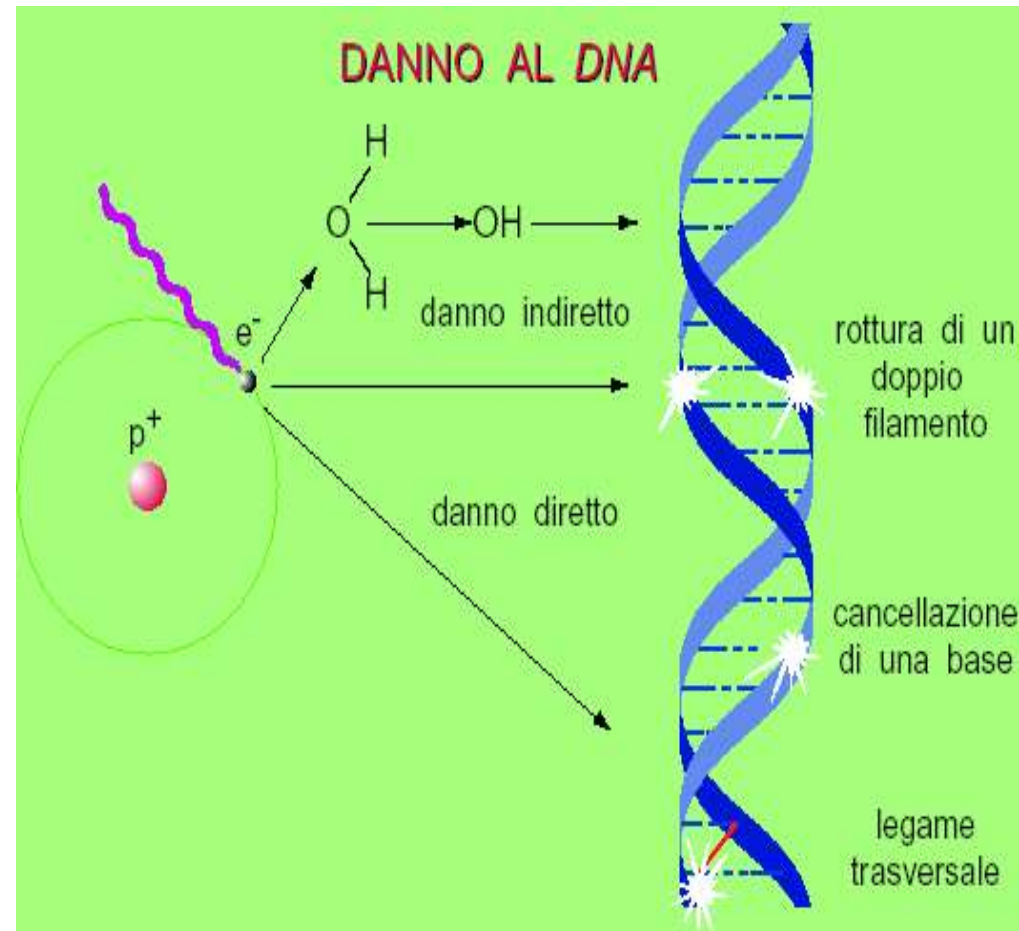
Se nel mezzo irradiato è presente, in **sufficiente concentrazione**, O₂, questo, per l'elevata elettroaffinità, **catturerà radicali H** dando luogo alla formazione del radicale HO₂ (idroperossido) che è in grado di sottrarre elettroni alle biomolecole ossidandole e di **costituire con esse perossidi organici di elevata tossicità**.

Ciò spiega come nei substrati biologici l'effetto indotto a parità di radiazione, **sia circa 2-3 volte maggiore in presenza di O₂**.

Molti dei composti chimici che si vengono così a creare sono biologicamente dannosi a livello del DNA (interazione con lipidi, proteine e zuccheri)

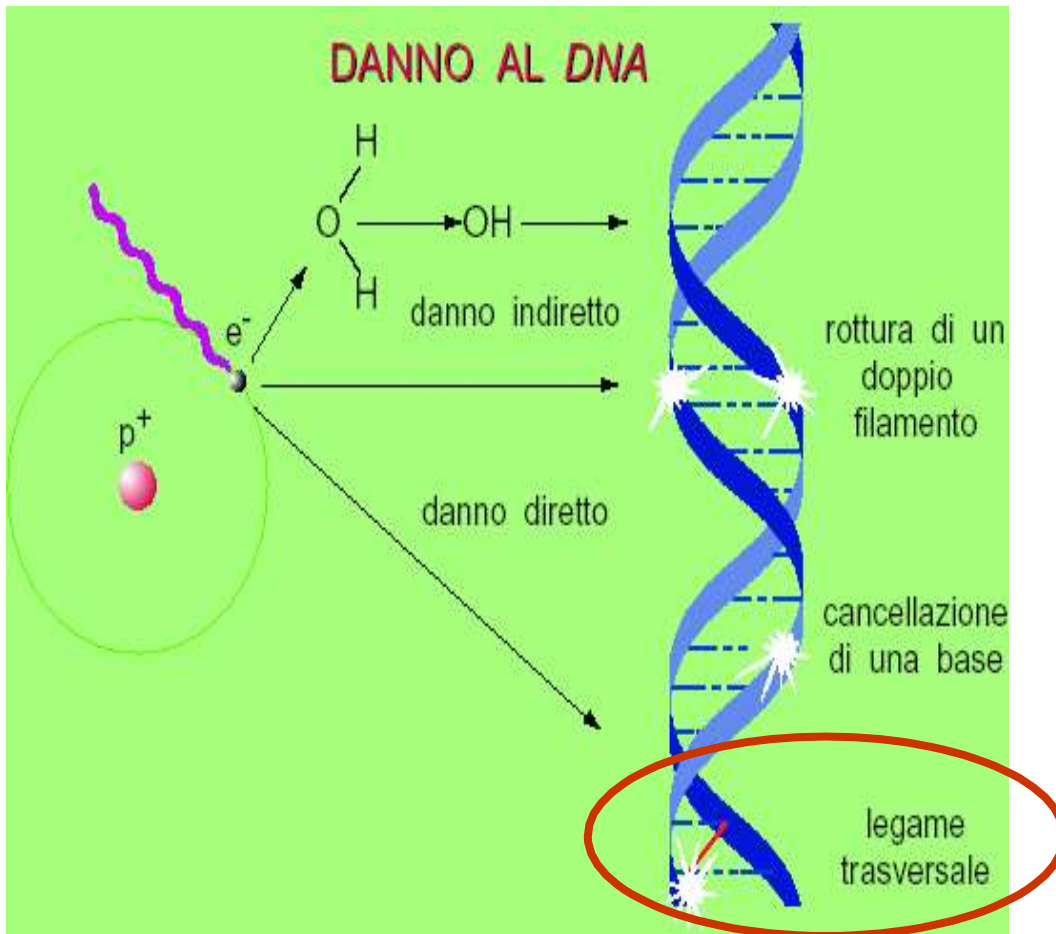
- **Danno al DNA**
(Effetto Diretto)

I principali tipi di danno al DNA sono 3



Rottura di una singola catena

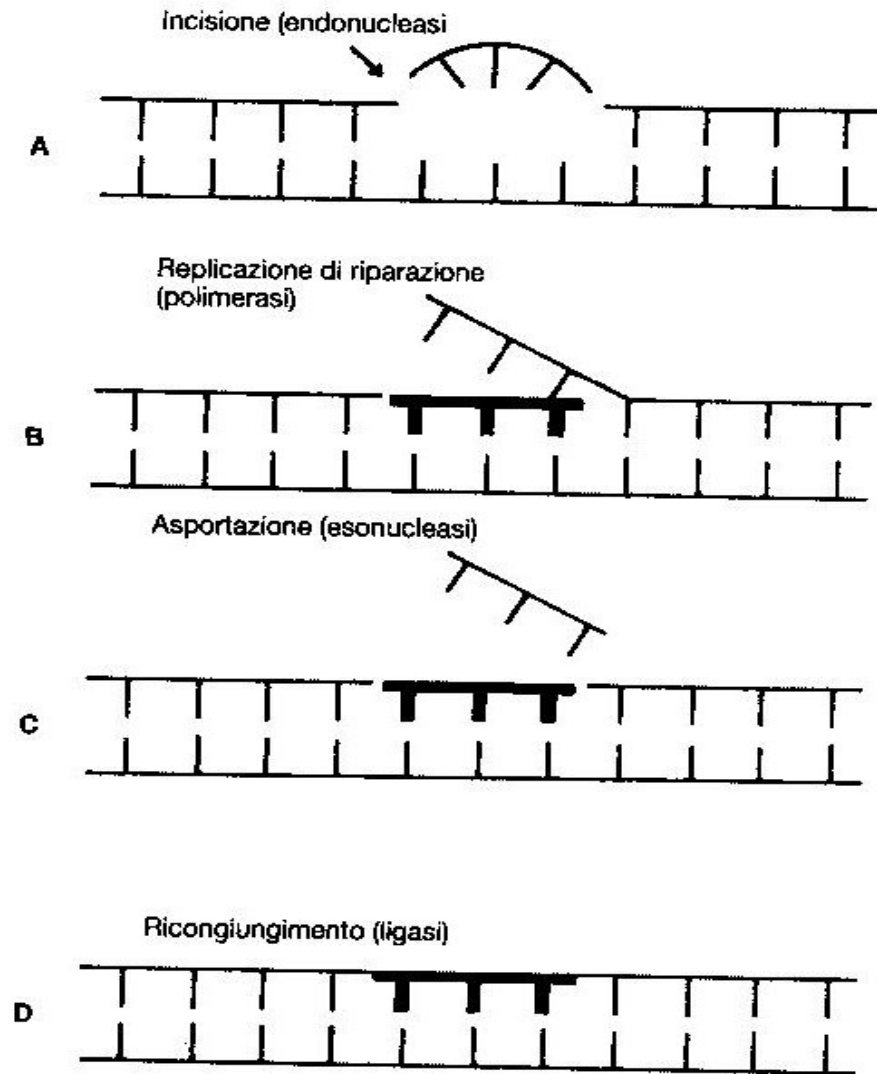
Si ha una rottura di una singola catena quando ad un danno delle due catene corrisponde la catena complementare intatta nella parte opposta.



E' stata dimostrata che **non esiste una dose soglia all'effetto delle radiazioni ionizzanti** ma, per quanto piccola, qualsiasi dose può dare un danno.

Rottura di una singola catena

Si ha una rottura di una singola catena quando ad un danno delle due catene corrisponde la catena complementare intatta nella parte opposta.



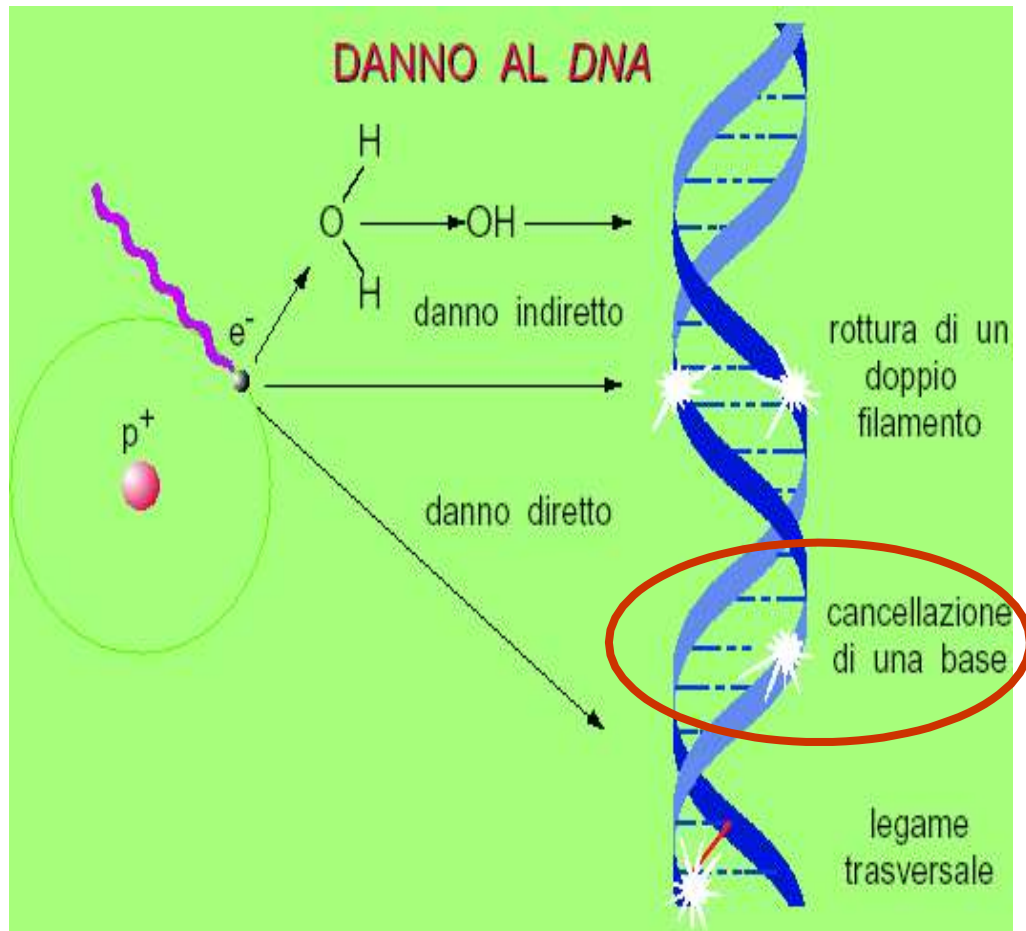
E' stata dimostrata che **non esiste una dose soglia all'effetto delle radiazioni ionizzanti** ma, per quanto piccola, qualsiasi dose può dare un danno.

Questo tipo di danno **può essere riparato** senza ulteriori conseguenze. Il meccanismo di riparazione è piuttosto semplice: viene asportato il tratto di catena contenente la rottura e viene ricostruito impiegando la catena integra come riferimento ed infine ricollegato con un enzima denominato ligasi, al filamento principale

Cancellazione di una base

1 - ADENINA
2 - GUANINA
3 - TIMINA
4 - CITOSINA

I principali tipi di danno al DNA sono 3

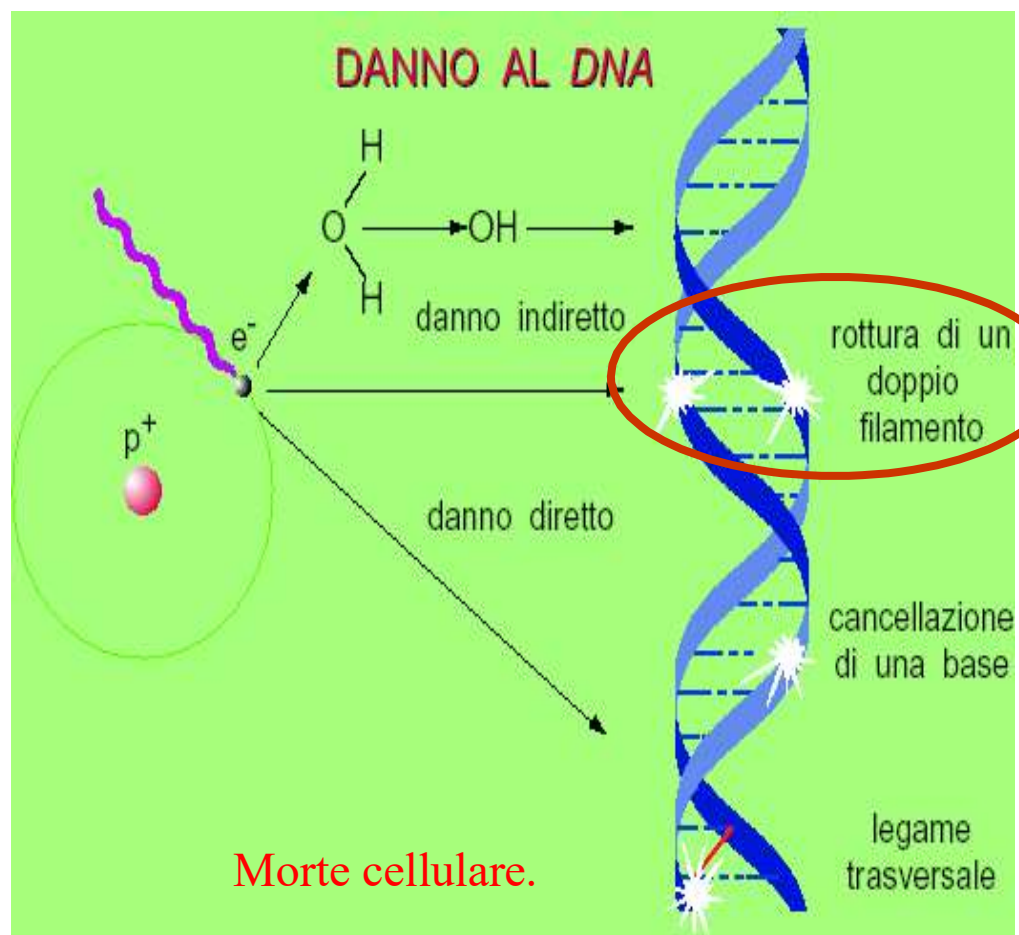


- Ha una correlazione lineare con la dose
- Insorge attraverso l'interazione con i radicali liberi acquosi come l' $OH\cdot$
- Nelle **cellule di un mammifero** è più frequente della singola rottura

Riparazione per asportazione come nel caso di rottura singola

Rotture di doppia catena

Si ha rottura di doppia catena quando due rotture su singole catene adiacenti provocano il **distacco di una parte del DNA**.



Si può avere per un **singolo evento ionizzante**, che interessa le due catene contemporaneamente o per la concomitanza di **due diversi eventi che**, casualmente, interessano due punti prossimi di due catene della stessa macromolecola.

La **rottura contemporanea** si ha soprattutto con le radiazioni ad alta densità di ionizzazione;

La doppia rottura **casuale** si ha quando una radiazione produce la seconda rottura prima che la prima sia stata riparata.

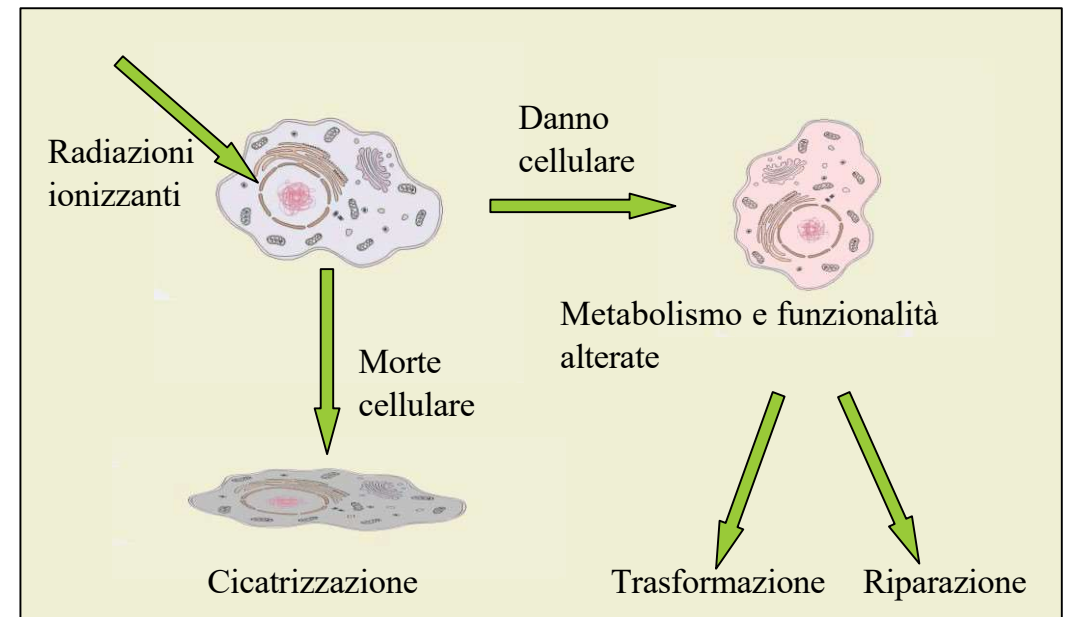
E' **impossibile una riparazione** con il codice genetico originario eccetto che il frammento distaccato si ricombini spontaneamente (vengono riparate da enzimi riparatori specifici.).



Possibili Effetti Cellulari

Una cellula colpita direttamente dalla radiazione può o morire o essere danneggiata.

- **Danno cellulare:** interazione con la membrana cellulare che ne comporta un'alterazione ovvero incapacità di scambi elettrolitici e alta permeabilità. Anche i lisosomi possono essere colpiti i quali possono rilasciare i propri enzimi provocando la morte della cellula.



SCOPO DELLA RADIOPROTEZIONE:

ridurre i rischi

- **evitare totalmente i danni deterministici**
- **limitare la probabilità di accadimento degli effetti stocastici**

COME SI CLASSIFICANO I DANNI?

Effetti delle radiazioni ionizzanti sull'uomo

DETERMINISTICI:

si manifestano su tutti coloro che sono stati esposti a dosi superiori ad una certa soglia (sotto la quale non si verifica mai)

Immediati (giorni o settimane)



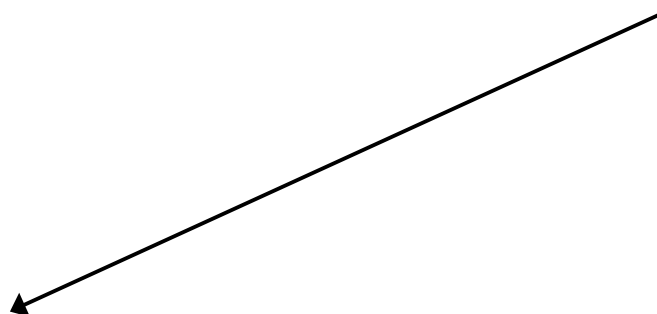
SOMATICI:

si manifestano sull'individuo irraggiato

STOCASTICI:

si manifestano in modo probabilistico e non presentano una dose soglia

tardivi (anni o decenni).



GENETICI:

si manifestano sulla progenie degli esposti

DETERMINISTICI

Immediati (giorni o settimane)

SOMATICI:

si manifestano sull'individuo irraggiato

(Es. Radiodermite, infertilità, cataratta, sindrome acuta da irradiazione)

si manifestano su tutti coloro che sono stati esposti a dosi superiori ad una certa soglia
(sotto la quale non si verifica mai)

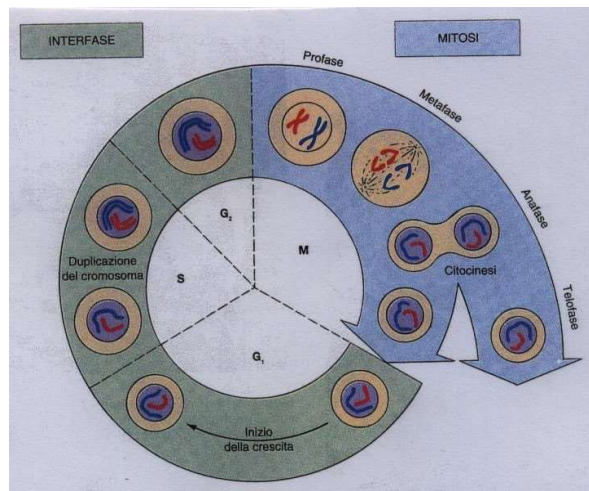
- Sindrome del sistema nervoso $>100\text{Gy}$ morte entro 48 ore,
- sindrome tratto gastrointestinale (morte cellule della mucosa) dopo 2 settimane $>10-100\text{Gy}$,
- midollo osseo $>2-10\text{Gy}$
- infertilità $>4\text{ Gy}$ (a dosi più basse infertilità temporanea),
- cataratta $>8\text{Gy}$ basso LET e 5 Gy esposizione unica,
- necrosi $>25\text{Gy}$ e a dosi inferiori eritemi $6-8\text{ Gy}$ e depilazioni $3-5\text{Gy}$

SONO CARATTERIZZATI DA 4 FATTORI:

- **Al crescere della dose aumenta la gravità**
- **rateo di dose:** effetto biologico sarà tanto maggiore quanto minore è l'intervallo di tempo in cui questa viene assorbita. Dosi diluite nel tempo recupero da parte del tessuto o dell'organismo.
- **Radiosensibilità**
- **LET**

DETERMINISTICI RADIOSENSIBILITA'

Dipende dalla fase nella quale si trova la cellula all'interno del ciclo cellulare. : le cellule immature e le cellule in stato attivo di suddivisione sono più sensibili. In particolare, **le cellule staminali presentano un'elevata radiosensibilità** dovuta al basso grado di differenziazione. Le cellule sono più sensibili a subire un danno durante il **periodo mitotico** quando viene **duplicato il DNA** e i cromosomi. Questo comporta che gli apparati nei quali è più frequentemente la **mitosi**, come ad esempio il midollo osseo, i testicoli, le ovaie e le pareti interne dell'intestino, sono più sensibili alla radiazione rispetto a quelle che si duplicano più raramente, come quelle dell'apparato nervoso, del cervello, dei muscoli e delle ossa.



E l'effetto biologico è tanto maggiore quanto più la cellula è vicina al compartimento staminale

Regola generale di Bergonie e Tribondeau: **Le cellule più radiosensibili sono quelle che hanno la più alta frequenza di duplicazione.**

DETERMINISTICI

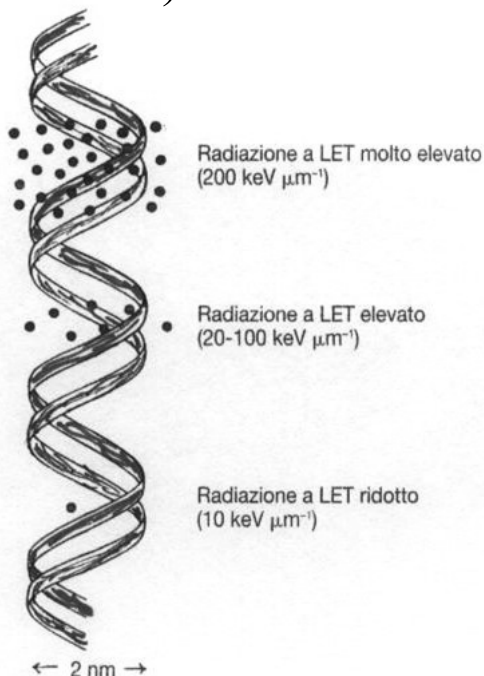
Qualità della radiazione (LET)

I diversi tipi di radiazioni presentano gli stessi effetti biologici ?

La probabilità di danno dei vari tipi di radiazioni, pur producendo effetti analoghi sulla materia vivente, differiscono per efficacia: **l'effetto radiobiologico non dipende soltanto dalla dose assorbita, ma anche dalla distribuzione spaziale dei processi di ionizzazione lungo il percorso** delle particelle ionizzanti primarie e secondarie, OVVERO dipende dal

Linear Energy Transfer (LET) = dE / dx

rapidità con cui questa perde energia lungo il proprio percorso (inversamente proporzionale al quadrato della velocità della particella e proporzionale al quadrato della sua carica).



L'entità dell'effetto biologico aumenta all'aumentare del LET: Particella di **elevata carica** elettrica che attraversa la materia con **bassa velocità** (protoni, particelle cariche pesanti) avrà un **elevato LET**, pertanto potrà produrre un **maggior danno biologico** rispetto ad una particella a basso LET (raggi X, gamma e gli elettroni) data l'**elevata densità di ionizzazione lungo la traccia**.

Inoltre le radiazioni ad alto LET producono maggiori danni biologici poiché **una maggiore densità di ionizzazione può provocare più rotture contemporanee sulla molecola del DNA**

STOCASTICI

tardivi (anni o decenni).

si manifestano in modo
probabilistico e non presentano
una dose soglia

SOMATICI:

si manifestano sull'individuo irraggiato
(Tumori e Leucemie)

GENETICI:

si manifestano sulla progenie degli esposti
(Mutazioni genetiche e aberrazioni cromosomiche)

- Al crescere della dose aumenta la probabilità di insorgenza ma non la gravità (*legge del tutto o niente*).
- Aspecifici: non sono tipici delle radiazioni ionizzanti.

STOCASTICI

Modello della Linearità Senza Soglia

Si assume che l'effetto cancerogeno delle radiazioni ionizzanti sia dovuto principalmente al **danneggiamento diretto del DNA** nucleare ed in particolare all'induzione di rotture di doppia catena.

Ipotizza che:

- la probabilità che una lesione del DNA induca il cancro è indipendente dalla presenza di altre lesioni nella stessa cellula o in cellule vicine
- esiste una probabilità non nulla che una rottura di doppia catena venga mal riparata e possa indurre il cancro

Il modello è compatibile con i dati epidemiologici e fornisce il vantaggio di consentire la **somma delle dosi** relative a sorgenti diverse, non vi è alcun meccanismo di recupero o riparo biologico alla radiazioni. (Assunzioni Conservative)

Come l'uomo può essere esposto alle radiazioni ionizzanti?

In due modi....

- per **esposizione esterna (irraggiamento)** che avviene quando l'individuo si trova sulla traiettoria delle radiazioni emesse da una sorgente radioattiva situata all'esterno dell'organismo
 - totale (*al corpo intero*) quando tutte le parti del corpo sono esposte contemporaneamente ed omogeneamente ad un determinato campo di radiazioni.
 - parziale (*mani, piedi, occhi, ecc.*) quando sono esposte solo alcune parti del corpo
- **per esposizione interna (contaminazione) (organi critici)** che si verifica quando la sorgente radioattiva si trova all'interno dell'organismo,
 - inalazione (*vapori, gas, pulviscolo*)
 - ingestione (*materiali solidi o liquidi*)
 - ferite cutanee
 - assorbimento transcutaneo (*trizio, iodio, cesio*)

L'esposizione esterna cessa quando l'individuo si allontana dalla sorgente ovvero vengono interposti opportuni schermi.

L'esposizione interna cessa quando i radioisotopi respirati o ingeriti o introdotti attraverso ferite sono completamente rimossi dall'organismo (ad esempio: con l'urina, le feci, ecc.).

Elementi fondamentali per la protezione

TEMPO: trascorrere meno tempo possibile vicino alla sorgente, in quanto il danno biologico è correlato con l'accumulo di dose

DISTANZA: aumentare il più possibile la distanza fra sorgente e personale, in quanto la dose di una sorgente puntiforme diminuisce con il quadrato della distanza :

$$D_1 r_1^2 = D_2 r_2^2$$

dove D_1 è l'intensità di dose alla distanza r_1 dalla sorgente e D_2 è l'intensità di dose alla distanza r_2 dalla sorgente (esempio: passando dalla distanza di 1 m a quella di 2 m, l'intensità di dose si riduce di un fattore 4)

MEZZI DI PROTEZIONE: utilizzare i mezzi di protezione come *pinzette*, *manipolatori*, ecc.

COMPORTAMENTO: seguire le istruzioni impartite (norme impartite dagli esperti in materia) ed adottare tutte le misure dettate dal buon senso

Classificazione dei Lavoratori

Art. 133 «... sono suscettibili di superare in un anno solare uno dei seguenti valori...»

LAVORATORE ESPOSTO:

Superiori a uno o più dei limiti

Dose efficace: 1mSv/anno solare

Dose equivalente:

- Cristallino 15 mSv/anno solare
- Pelle e estremità 50 mSv/anno solare

LAVORATORE NON ESPOSTO:

Stessi Limiti esposizione popolazione

Dose efficace: 1mSv/anno solare

Dose equivalente:

- Cristallino 15 mSv/anno solare
- Pelle e estremità 50 mSv/anno solare



Suscettibili di superare

- Dose efficace: 6mSv/ anno solare
- Dose equivalente:
 - Cristallino 15 mSv/anno solare
 - Pelle e estremità 150mSv/anno solare

Suscettibili di superare

- Dose efficace: 1mSv/ anno solare
- Dose equivalente:
 - Cristallino 15 mSv/anno solare
 - Pelle e estremità 150mSv/anno solare

Un lavoratore classificato esposto è un qualunque lavoratore che è sottoposto a un'esposizione sul lavoro derivante da pratiche contemplate dal Dlg.s 101/20 che può ricevere dosi superiori ad uno dei limiti imposti per la popolazione, che deve essere formato e che deve essere ritenuto idoneo

Classificazione delle aree di lavoro (Art. 133)

Art. 133 «... sono suscettibili di superare in un anno solazione uno dei seguenti valori...»

Zona classificata: ambiente di lavoro sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione contro le radiazioni ionizzanti, in cui si verifica la potenzialità di superamento di uno dei limiti in tabella:

Ogni area di lavoro in cui, sulla base delle valutazioni compiuti dall'esperto di radioprotezione ai sensi del paragrafo 5 dell'Allegato XXII, sussiste per i lavoratori in essa operanti il rischio di superamento di uno qualsiasi dei valori di cui al precedente comma 3, è classificata **Zona Controllata**.

Ogni area di lavoro in cui, sulla base delle valutazioni compiuti dall'esperto di radioprotezione ai sensi del paragrafo 5 dell'Allegato XXII, sussiste per i lavoratori in essa operanti il rischio di superamento di uno dei limiti di dose fissati per gli individui della popolazione dall'articolo 146 comma 7, ma che non debba essere classificata Zona Controllata, è classificata **Zona Sorvegliata**.

Quando in un'area non sussiste il rischio di superamento dei limiti di dose fissati per le persone del pubblico, è classificata **Zona di libero accesso**.

RIEPILOGO	Limiti di dose per zona (mSv/anno solare)	
	CONTROLLATA	SORVEGLIATA
DOSE EFFICACE	6	1
DOSE EQUIVALENTE	15	15
	150	50
	150	50
Cristallino		
Pelle		
Estremità		

Limite di dose (Art. 146)

I limiti di dose per **i lavoratori esposti** sono stabiliti in:

20 mSv dose efficace in un anno solare;

dose equivalente in un anno solare:

- 1) **20 mSv** per il cristallino;
- 2) **500 mSv** per la pelle; tale limite si applica alla dose media, su qualsiasi superficie di 1 cm², indipendentemente dalla superficie esposta;
- 3) **500 mSv** per le estremità.

I limiti di dose per gli **apprendisti e per gli studenti** sono stabiliti in relazione alla suddivisione dei medesimi in ragione dell'età e del tipo di attività lavorativa o di studio, nel modo seguente:

Per gli apprendisti e studenti di **età non inferiore a 18 anni**, i limiti di dose efficace e di dose equivalente, sono uguali ai limiti fissati per i lavoratori esposti;

Per gli apprendisti e gli studenti di **età inferiore a 16 anni**, i limiti annuali di dose efficace e di dose equivalente per particolari organi o tessuti sono uguali alla metà di quelli stabiliti al comma 7, per gli individui della popolazione; per detti soggetti, inoltre, la dose ricevuta per ogni singola esposizione correlata alla loro attività non può superare un ventesimo dei limiti annuali di cui allo stesso comma 7.

Per gli apprendisti e studenti di **età compresa tra 16 e 18 anni**, i limiti di esposizione sono stabiliti in:

- 1) 6 mSv di dose efficace per anno solare;
- 2) limiti di dose equivalente in un anno solare:
 - 15 mSv per il cristallino;
 - 150 mSv per la pelle; tale limite si applica alla dose media, su qualsiasi superficie di 1 cm² indipendentemente dalla superficie esposta;
 - 150 mSv per le estremità;

Limite di dose (Art. 146)

I limiti di dose per i lavoratori che, in relazione alle proprie occupazioni, sono considerati, lavoratori non esposti, nonché per i lavoratori autonomi e dipendenti da terzi, sono, con riferimento all'attività lavorativa di tali soggetti, pari ai corrispondenti limiti fissati nel comma 7, per gli individui della popolazione.

Comma 7: I limiti di esposizione per **gli individui della popolazione** sono stabiliti in:

- **1 mSv** di dose efficace per anno solare;
limiti di dose equivalente in un anno solare:
- **15 mSv** per il cristallino;
- **50 mSv** per la pelle, calcolato in media su 1 cm² di pelle, indipendentemente dalla superficie esposta.

Obblighi dei lavoratori (Art. 118)

Ogni lavoratore si prende cura della propria salute e sicurezza e di quella delle altre **persone** presenti sul luogo di lavoro, su cui ricadono gli effetti delle sue azioni od omissioni, conformemente alla sua formazione, alle istruzioni e ai mezzi forniti dal datore di lavoro. I lavoratori contribuiscono all'adempimento degli **obblighi** previsti a tutela della salute e sicurezza sui luoghi di lavoro, osservando le disposizioni e le istruzioni impartite dal datore di lavoro, dai dirigenti e dai preposti, ai fini della **protezione collettiva e individuale**. A tal proposito sono tenuti ad protezione e di sorveglianza dosimetrica utilizzare i dispositivi di sicurezza, di forniti dal datore di lavoro; segnalano immediatamente l'insufficienza o il mancato funzionamento di tali dispositivi nonché le eventuali condizioni di pericolo di cui vengono a conoscenza; si sottopongono alla **sorveglianza sanitaria (annuale cat.B e semestrale cat.A)** ai sensi del presente decreto; partecipano ai **programmi di formazione** e di addestramento organizzati dal datore di lavoro.

Per le lavoratrici

Ai sensi del DECRETO LEGISLATIVO 26 marzo 2001, n. 151

Art. 8. Esposizione a radiazioni ionizzanti

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

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

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

Art. 7. Lavori vietati

E' vietato adibire le lavoratrici ... ai lavori pericolosi, faticosi ed insalubri ... indicati ... nell'allegato A

- Allegato A: elenco dei lavori faticosi, pericolosi e insalubri di cui all'art. 7

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

Laboratori Nazionali Del Sud

SERVIZIO DI RADIOPROTEZIONE dei L.N.S.

- **collabora** con gli **Esperti di radioprotezione** per gli adempimenti e le attribuzioni relativi alla **sorveglianza fisica** della radioprotezione;
- gestisce e mantiene in efficienza i **sistemi di sicurezza e controllo accessi** per la radioprotezione del personale e di monitoraggio delle radiazioni ambientali;
- cura la **dosimetria personale** dei lavoratori esposti alle radiazioni ionizzanti;
- effettua **le rilevazioni ambientali**, verifica i livelli di **attivazione dei materiali** e **misura le dosi** al personale;
- **assiste la direzione dei L.N.S.** per gli adempimenti di legge connessi all'uso, acquisizione e trasporto di sorgenti radioattive e dispositivi radiogeni;
- **custodisce le sorgenti radioattive** dei L.N.S., ne cura la detenzione, la circolazione, l'acquisto ed il trasporto, nonché il rispetto delle norme e delle procedure di impiego sia all'interno che all'esterno dei L.N.S.;
- **collabora**, per quanto di competenza, con il **Servizio di Prevenzione e Protezione**

Sorgenti di radiazioni ionizzanti ai LN.

- ❖ **Radiazione temporanea**, presente solo a fascio acceso. (X, γ e neutroni)
- ❖ **Radiazione residua** presente anche quando il fascio è spento
 - **Materiali attivati** dai fasci accelerati o dalle radiazioni neutroniche, (β , γ)
 - **Sorgenti radioattive**, di calibrazione o irraggiamento (X, α , β , γ , o neutroni)
- Iniettori, Sorgenti ECR ed altre sorgenti a plasma.
 - *Radiazioni X (temporanea)*
- Acceleratori (tandem e CS)
 - *Neutroni e gamma (temporanea)*
 - *Beta e gamma (residua solo dal CS, deflettori ...)*
 - *Gamma, sorgente di irraggiamento tandem Cs 137*
 - *Radiazioni X (cavità RF, temporanea-schermata)*
- Linee di fascio, target sperimentali, diagnostica, stripper, magneti, ecc.
 - *Beta e gamma (residua)*
- Tubi a raggi X, *Radiazioni X (temporanea)*

Sorgenti di radiazioni ionizzanti ai LNS

Sorgenti radioattive

SORGENTI SIGILLATE: formate da materie radioattive solidamente **incorporate in materie solide** e di fatto inattive o **incapsulate in un'involucro inattivo rigido** (solitamente di acciaio o materiale plastico) che presentano una resistenza sufficiente per evitare, in condizioni normali di impiego, dispersione di materie radioattive (contaminazione).

Il tipo di capsula e le prove di robustezza che vengono fatte sulle singole sorgenti sono definite da norme standardizzate e dipendono dal radionuclide, dal tipo di sorgente e dallo scopo di impiego.

SORGENTI NON SIGILLATE: : formate da materie radioattive utilizzate nello stato fisico in cui si trovano (generalmente polveri, liquidi o gas) senza **nessun incapsulamento** e per le quali, quindi, **non può essere esclusa la dispersione.**

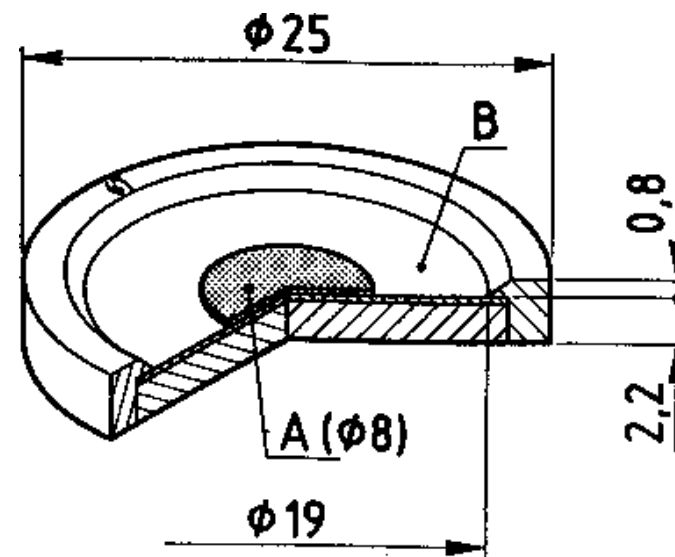
Sorgenti alfa

Vengono spesso usate per calibrazione di strumenti

Le radiazioni α sono poco penetranti e quindi il materiale attivo deve essere poco schermato dall'involucro o addirittura con una parte che sia a diretto contatto con l'esterno. Generalmente esse sono a forma di disco con il materiale attivo elettrodepositato su di una superficie di acciaio.

Alcune sono ricoperte da un sottilissimo strato di materiale inattivo: mylar, kapton, nichel, oro, argento, ecc...

ATTENZIONE: VIETATO SMONTARLE DAL SUPPORTO!!!



Sorgenti alfa

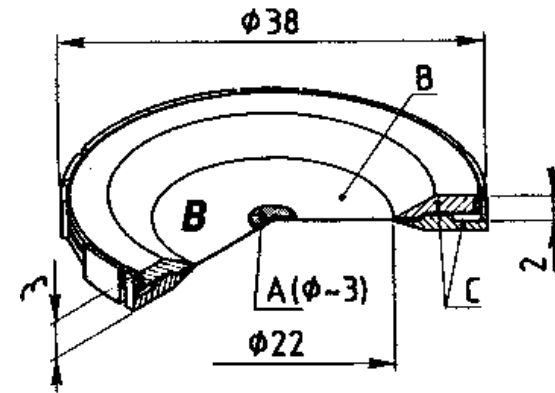


Sorgente ALFA

- a) E' classificata zona controllata solo l'area occupata dalla sorgente stessa, non è necessario classificare ulteriori zone perché le radiazioni alfa sono fermate in pochi cm di aria.
- b) E' assolutamente vietato applicare nastri adesivi o colle sulla sorgente.
- c) E' assolutamente vietato toccare anche attraverso l'impiego di pinzette la zona centrale nel quale è depositata la sorgente. Il contatto con questa parte potrebbe dar luogo a contaminazione, quindi è assolutamente vietato il contatto con le mani nude.
- d) E' assolutamente vietato poggiare la sorgente con la parte attiva a contatto con il piano di lavoro.
- e) E' obbligatorio effettuare periodici controlli di contaminazione nei luoghi in cui la sorgente viene normalmente utilizzata.

Sorgenti Beta

Anche queste sorgenti, essendo le radiazioni poco penetranti, hanno una finestra sottile da cui fuoriescono le radiazioni. Il materiale radioattivo è quasi sempre ricoperto da un sottile strato inattivo. Spesso il radionuclide è contenuto fra due fogli sottili per permettere la rivelazione delle radiazioni a 180°.



Sorgenti Beta



Sorgente BETA

- a) E' assolutamente vietato applicare nastri adesivi o colle sulla sorgente.
- b) E assolutamente vietato toccare la sorgente con le mani sul lato emittente. Qualora accidentalmente ciò accadesse deve esserne data immediata comunicazione al servizio di Radioprotezione e all'Esperto Qualificato in quanto basterebbero pochi secondi di contatto affinché la dose ricevuta dalla pelle, nel punto di contatto, superi i limiti consentiti dalla legge.
- c) L'uso della sorgente deve essere effettuato su di un tavolo da lavoro non metallico in modo da non avere radiazione di frenamento.
- d) La sorgente non può essere lasciata incustodita quando non è schermata nel contenitore.
- e) La sorgente deve essere sempre bene individuata dal cartello fornito insieme ad essa.

Sorgenti Gamma

le radiazioni γ sono molto penetranti e quindi il materiale attivo può essere racchiuso in capsule di plastica o di acciaio le cui caratteristiche dipendono dall'attività della sorgente e dalle condizioni operative a cui essa sarà sottoposta durante l'impiego.

Es. 1: il materiale attivo è assorbito in un grano di diametro di circa 1 mm, incorporato in una capsula di plastica trasparente. Il grano è visibile e posizionato al centro della capsula.

Grano attivo



Sorgenti Gamma



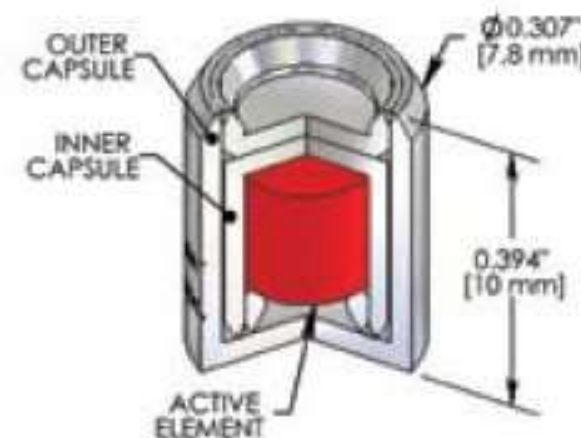
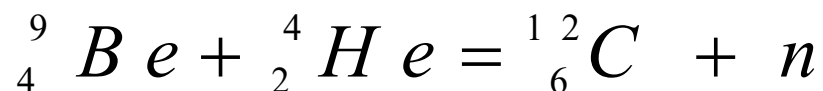
Sorgente GAMMA

- a) E' assolutamente vietato applicare nastri adesivi o colle sulla sorgente.
- b) Le sorgenti gamma sigillate di attività inferiore ai 37 kBq danno luogo a 30 cm di distanza ad una dose non superiore a quella del fondo naturale; per cui fermo restando quanto precedentemente indicato, è garantita una adeguata sicurezza tenendosi ad una distanza maggiore di 30 cm dalla sorgente stessa.
- c) Per le sorgenti gamma sigillate di attività superiore ai 37 kBq ed inferiore ai 200 kBq viene definita Zona Controllata l'area entro il raggio di 25 cm da ciascuna sorgente e Zona Sorvegliata entro il raggio di 50 cm.
- d) Per le sorgenti gamma sigillate di attività superiore ai 200 kBq ed inferiore ai 500 kBq viene definita Zona Controllata l'area entro il raggio di 50 cm da ciascuna sorgente e Zona Sorvegliata entro il raggio di 100 cm.

Sorgenti Neutroni

Solo alcuni elementi di elevato numero atomico (transuranici) durante il decadimento danno luogo a **fissione spontanea** con emissione di neutroni, di essi il **californio-252** è impiegato per produrre sorgenti.

Altre sorgenti sono realizzate **mescolando in polveri** finemente suddivise dei nuclidi α **emittenti** come il Ra-226, Po-210, Pu-239, Am-241 **con altre sostanze bersaglio di basso peso atomico** come il Be, Li, Na, F sfruttando la reazione (α , n). Ad esempio per una sorgente di **Am241-Be9** la reazione sarà:



ATTENZIONE LE SORGENTI NON POSSONO ESSERE
LASCIATE INCUSTODITE QUANDO NON SONO USATE!!!!

RIPORLE NELL'APPOSITO ARMADIO QUANDO NON SONO
USATE

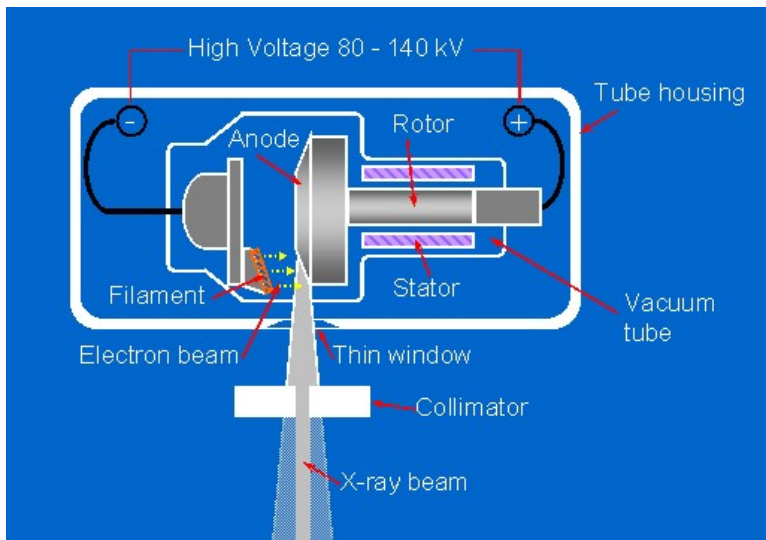
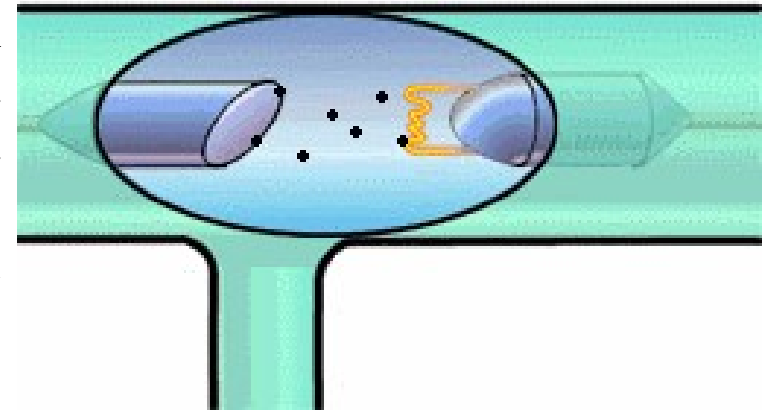
DURANTE IL SUO USO BISOGNA
SEGNALARE LA PRESENZA DELLA
SORGENTE CON APPOSITO CARTELLO

MACCHINE RADIOGENE

Apparecchi che accelerano particelle elementari cariche, che interagendo su opportuni bersagli producono i fasci di radiazione

Come vengono prodotti i raggi X nelle applicazioni mediche ???

Tubi a raggi X, costituito da un'ampolla di vetro in cui è fatto un vuoto spinto all'interno della quale vi è il **catodo** è costituito da un filamento di tungsteno e in cui vengono emessi elettroni di alta energia e raccolti dall' **anodo in** tungsteno. L'energia degli elettroni all'anodo viene convertita in **radiazione di bremsstrahlung**.



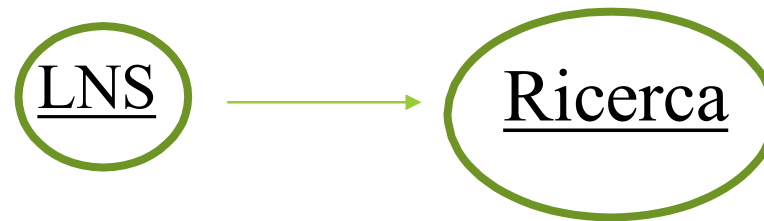
Il valore di alta tensione (kVp) determina l'energia degli elettroni e quindi la capacità di penetrazione dei raggi X emessi.

Il valore della corrente del filamento (mA) determina la quantità di radiazione X emessa.

Tungsteno: $Z=74$ e punto di fusione 3370°C

Quando la Macchina è spenta non vengono emesse radiazioni!!

IMPIEGHI DELLE MACCHINE RADIOGENE



Industria

Gammagrafia e radiografia: controllo dei bagagli aeroportuali, ecc,

Medicina

Diagnostica:

radiografie (tubi raggi X)

TAC (tomografia assiale computerizzata)

PET (tomografia ad emissione di positroni)

Terapia:

acceleratori di elettroni

acceleratori di adroni (protoni, carbonio, ecc.)

SEGNALETICA



Simbolo generico



Simbolo specifico



Simbolo specifico

NORME GENERALI

- **E' vietato:**
 - ✓ **rimuovere, spostare o modificare i dispositivi, le apparecchiature, i cartelli di segnalazione** relativi alla protezione dalle radiazioni senza preventiva approvazione dell'E. R. o del Servizio di Radioprotezione. Uguale divieto vale per le **schermature**, sia fisse che mobili, o per quanto altro attenga alla sicurezza radiologica.
 - ✓ Le manutenzioni o interventi non ordinari, che potrebbero comportare una rilevante esposizione alle radiazioni ionizzanti dei lavoratori o coinvolgano sostanze radioattive o materiali attivati, dovranno essere preventivamente concordate con il Servizio di Radioprotezione al fine di valutare il rischio e ridurre l'esposizione.

Il personale dei LNS nominato referente o responsabile del procedimento di un contratto o accordo stipulato con una ditta esterna che impiega proprio personale all'interno dei LNS è tenuto a mettere a conoscenza la ditta del documento di informazione e norme sui rischi da radiazioni ionizzanti per i lavoratori esterni che operano ai LNS, predisposto dal Servizio di Radioprotezione.

MATERIALI ATTIVATI E SETUP SPERIMENTALI

1. **Dispositivi che hanno intercettato il fascio o sottoposti a forti campi di radiazione neutronica:** manipolazione o rimozione solo previa verifica dei livelli di attivazione e di dose da parte del Servizio di Radioprotezione.
2. Gli oggetti che presentano attivazione possono essere rimossi solo dal personale autorizzato
3. Gli oggetti che presentano radioattività di qualunque livello non possono essere portati fuori dalle zone controllate senza il consenso del Servizio di Radioprotezione.
4. L' allontanamento dai LNS o lo smaltimento di qualunque materiale che abbia intercettato il fascio può avvenire solo con il consenso del Servizio di Radioprotezione.
5. I bersagli sottili irraggiati che potrebbero comportare rischi di contaminazione. In tali casi è prescritto l'uso di pinzette e guanti monouso, da raccogliere in busta e consegnare al Servizio di Radioprotezione alla fine del lavoro
6. Per ridurre, ove possibile, i livelli di attivazione è opportuno che i porta-target ed i supporti che possono venire a contatto con il fascio accelerato siano in alluminio. E' preferibile evitare leghe che contengano elementi più pesanti come ad esempio il ferro, il rame ecc. che se

MATERIALI ATTIVATI E SETUP SPERIMENTALI

1. Per gli esperimenti in cui il percorso finale del fascio è in aria valgono le seguenti norme:

- **Gli oggetti o dispositivi che intercettano il fascio** lungo il percorso in aria **devono essere ben puliti** da sporcizia e polvere, al fine di evitare che lo sporco si attivi e comporti rischi di contaminazione.
- **Misurare la presenza di attivazione sugli oggetti colpiti dal fascio prima di manipolarli o avvicinarsi. Attendere sempre alcuni minuti dallo stop del fascio prima di avvicinarsi ad un dispositivo attivo**, ciò al fine di far decadere i radionuclidi a bassissimo tempo di dimezzamento.
- Posizionare sempre in modo stabile nel punto finale del percorso in aria, un **beam stopper** di spessore superiore al range del fascio su detto materiale. Il beam stopper deve essere sempre presente anche se il fascio si spegne completamente su altri apparati posizionati prima di esso. Al posto di tale schermo potrà essere posizionato un altro beam stopper standard o appositamente costruito, purché il suo utilizzo sia concordato con il Servizio di Radioprotezione.
- **Richiedere l'assegnazione ed usare sempre i dosimetri per le estremità nei casi di manipolazione di materiali attivati.**
- L'uso di **fantocci ad acqua** è permesso solo per misure di **brevissima durata** e per **dosi al fantoccio non superiori a poche decine di Gy**. Può essere usata solo acqua demineralizzata. Utilizzare sempre i guanti e non versare l'acqua nello scarico senza che sia stata verificata l'assenza di attivazione
- La **manutenzione degli elementi installati** sulle linee di fascio che possano presentare tracce di attivazione o contaminazione da radionuclidi (faraday cup, valvole da vuoto, diaframmi, pompe da vuoto e i loro filtri, visori di fascio, quarzi, allumine, target vari, magneti di deviazione, quadrupoli, steerer, ecc.) deve avvenire previo benestare del Servizio di Radioprotezione. In particolare **la spedizione** a ditte esterne di tale materiale deve essere sempre autorizzata dal Servizio di Radioprotezione.
- E' **vietato effettuare operazioni di radiochimica** sui materiali irraggiati senza la preventiva autorizzazione dell'Esperto Qualificato.

SISTEMA DI SICUREZZE PER LA RADIOPROTEZIONE

MODALITA' OPERATIVE, Per ciascuna sala sono individuati tre stati

Ingresso libero: L'accesso è consentito senza limitazioni a tutti. Le serrature sono sbloccate e le porte possono essere aperte a spinta. All'esterno sono illuminate le scritte "INGRESSO LIBERO". Tutti gli altri elementi sono spenti ed il sistema non abilita l'accensione del fascio.

Ingresso controllato: L'accesso è consentito solo al personale autorizzato. Le porte sono bloccate dalle elettroserrature ed alcune possono essere aperte solo se è presentata davanti ad un lettore una scheda personale abilitata, viene così registrato l'ingresso e l'uscita di ciascun lavoratore ed il relativo tempo di permanenza. L'apertura accidentale (manuale) di una porta genera allarme. Per inserire questo stato è necessario evacuare la sala ed eseguire preliminarmente una ronda cerca uomo. All'esterno di ogni porta è illuminata la scritta "INGRESSO CONTROLLATO". In assenza di allarme il sistema abilita l'invio del fascio nelle sale adiacenti, ma non nella stessa sala.

Ingresso vietato: L'accesso è interdetto a tutti e la presentazione di una scheda non apre le porte, che sono bloccate dalle elettroserrature e la loro eventuale apertura accidentale (manuale) genera sempre allarme. All'interno sono accese le luci gialle rotative; i pulsanti di emergenza sono abilitati ed una pressione su di essi genera allarme; all'esterno di ogni porta è illuminata la scritta "INGRESSO VIETATO". Il sistema abilita l'invio del fascio nella sala.

SISTEMA DI SICUREZZE PER LA RADIOPROTEZIONE

STATO DI ALLARME

Lo stato di allarme toglie tutte le abilitazioni al fascio e rimane attivo fino a quando non sono state rimosse le cause che lo hanno generato (porta richiusa, pulsante di emergenza ripristinato, ecc.) ed è stato rifatto un nuovo giro di ronda.

Esso è segnalato con dei lampeggiatori e sirene locali e segnalazioni acustiche e luminose in sala controllo e sui computer. Le segnalazioni acustiche si resettano quando l'operatore esegue un reset, il quale agisce solo se le cause sono state rimosse, mentre quelle luminose cessano automaticamente solo quando cessa lo stato di allarme, cioè dopo la riesecuzione della ronda.

Tutti i passaggi fra i diversi stati operativi possono essere eseguiti solo da operatori autorizzati dotati di password personale di accesso ai computer.

SISTEMA DI SICUREZZE PER LA RADIOPROTEZIONE

FASI DI RONDA

1. L'operazione di avvio viene richiesta da consolle, coperta da password personale;
2. All'avvio parte una segnalazione acustica locale di evacuazione ed si accendono le lampade di ingresso vietato;
3. Successivamente un'operatore di turno ispeziona visivamente la sala interessata percorrendo tutto il perimetro e premendo dei pulsanti nella giusta sequenza e nel tempo prestabilito. Durante il giro le porte vengono bloccate per impedire ulteriori accessi.
4. A ronda conclusa correttamente viene inserito automaticamente lo stato richiesto e generato un segnale di abilitazione.
5. Se la ronda non viene conclusa correttamente il sistema ritorna allo stato in cui si trovava precedentemente

COSTITUZIONE DEL SISTEMA DI SICUREZZE ED ELEMENTI FONDAMENTALI:

- sistema di supervisione composto da una rete riservata di computer su cui sono installati dei programmi dedicati che consentono di eseguire le principali operazioni solo se in possesso delle password di accesso;
- elettronica di sala che gestisce singolarmente le sicurezze di ciascuna area o di aree adiacenti aventi le sicurezze in comune;
- pannello sinottico per visualizzare in sala controllo tutti gli stati delle sicurezze;
- dispositivi e sensori di campo:
 - lettori di schede, che consentono l'accesso solo a chi ha una scheda abilitata;
 - elettroserrature che consentono l'apertura esterna delle porte solo dopo la presentazione di scheda magnetica ed impediscono l'apertura accidentale;
 - sensori reed o fine corsa per rilevare l'apertura di ciascuna porta;
 - pulsanti di ronda, dislocati lungo tutto il perimetro delle aree, che obbligano gli operatori che devono evacuare l'area a visionare tutti i luoghi accessibili;
 - pulsanti di emergenza a ripristino manuale che, se premuti dopo l'avviamento dell'impianto, bloccano immediatamente il fascio e generano allarme;
 - lampeggiatori e sirene che segnalano lo stato operativo delle aree e gli allarmi;
 - semafori luminosi con scritte di diverso colore posti davanti a ciascuna porta che segnalano lo stato operativo della sala.

Strumenti per valutare le dosi ambientali e individuali

- Dosimetri ambientali- Rivelatori fissi e portatili
- Dosimetri personali

SISTEMI DI MONITORAGGIO DELLE RADIAZIONI AMBIENTALI

Rete di monitoraggio con stazioni fisse (neutroni e gamma) dislocate in quasi tutti i locali occupati dal personale

funzioni:

- Rivelare le radiazioni ambientali misurando i livelli delle grandezze che indicano il rischio biologico associato alla loro esposizione (rateo di equivalente di dose [Sv/h]).
- visualizzare in un ambiente permanentemente occupato (sala controllo) i valori misurati
- confrontare i valori misurati con dei livelli di allarme e segnalare otticamente ed acusticamente il superamento degli stessi.
- Registrare i valori misurati (ogni 2 minuti) e consentire sia la loro visualizzazione con grafici e tabelle che l'analisi dei dati, nonché la visualizzazione e registrazione degli allarmi,

RIVELATORI FISSI DEI LNS: segnale di preallarme che indica il superamento della soglia impostata per lo stato di “ingresso libero” nella sala



Sistemi portatili

insieme di monitori portatili, ciascuno con caratteristiche diverse, capaci di rivelare differenti tipi di radiazioni (α , β , χ , γ , neutroni) a varie energie ed adattabili a differenti situazioni operative (misure ambiente, su superfici, misure a distanza o a contatto, ecc): geiger mueller, camere a ionizzazione, contatori proporzionali, Scintillatori, ecc.

Sistemi di spettrometria gamma, beta, neutroni, raggi X

rivelatori per misure ad elevata sensibilità per misure di spettri ed individuazione di radionuclidi

Sistemi per misure di contaminazione

rivelatori fissi o portatili per misure di contaminazione mani/piedi, vestiti, superfici, contaminazione dell'aria.

Sistemi di dosimetria personale

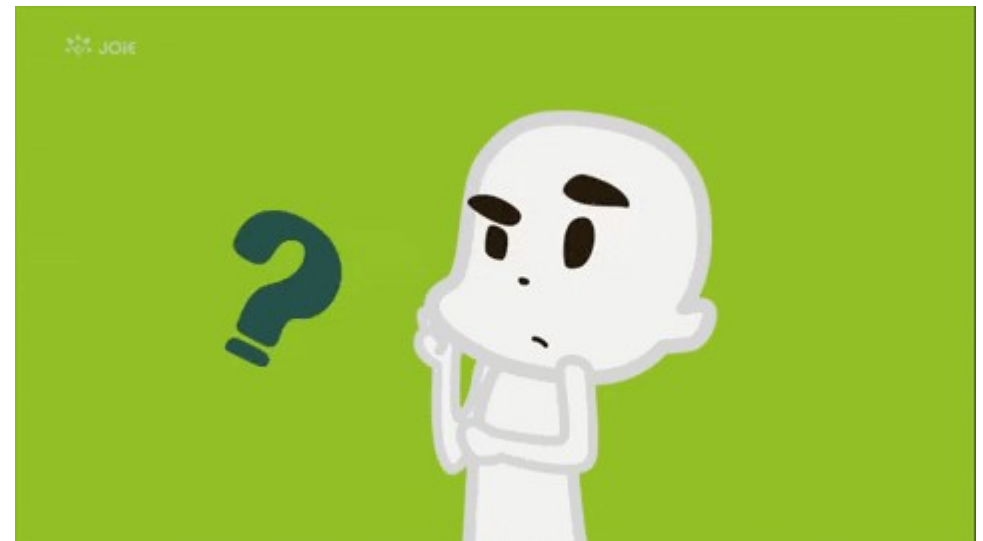
rivelatori portatili di piccole dimensioni (tascabili) per il corpo intero o per le estremità (obbligatori solo per i lavoratori esposti)

DOSIMETRI PERSONALI

I dosimetri possono essere indossati in qualsiasi modo?



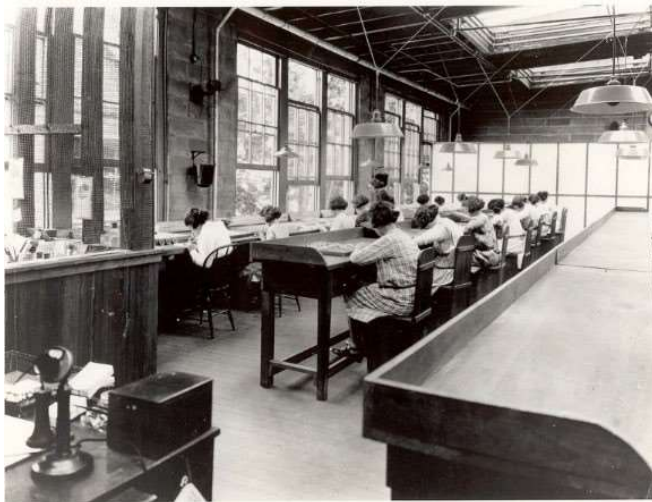
Curiosando...



La radioattività era di moda...in alcuni prodotti comuni



Radithor, inventato nel 1918: due isotopi del radio (radio-226 e 228) disciolti in mezza oncia di acqua distillata promettevano di curare oltre 150 malattie “endocrinologiche”, tra cui la debolezza e l’impotenza.



Le **ragazze del radio** furono un gruppo di operaie che subirono un grave avvelenamento da radiazioni di radio, contenuto nella vernice radioluminescente utilizzata come pittura per quadranti nella fabbrica di orologi della United States Radium Corporation intorno al 1917

La radioattività era di moda...in alcuni prodotti comuni



I **rivelatori di fumo** a ionizzazione sono stati impiegati per decenni al fine di proteggere gli edifici dagli incendi. Il loro principio di funzionamento si basa sulla ionizzazione dell'aria attraverso una sostanza radioattiva, l'americio-241 (Am-241). L'isotopo è racchiuso nel rilevatore di fumo e non rappresenta un rischio reale, a meno che non separi il rilevatore di fumo e mangi o inali la fonte radioattiva. Secondo uno studio, questi rivelatori emettono 0,16 $\mu\text{Gy/h}$.



Lampade elettriche a incandescenza: usavano il kripton come riempimento della lampada per emettere luce fluorescente (contenente meno di 15 nCi di Krypton-85, un emettitore beta e gamma con un'emivita di 10,4 anni). L'isotopo radioattivo non è un problema a meno che la lampadina non si rompa. Pure in questo caso, la tossicità di altre sostanze chimiche supera in genere qualsiasi rischio legato alla radioattività.



Considerazioni finali



...Allora un esposto a radiazioni ionizzanti rischia più degli altri lavoratori?

Riduzione media della durata di vita dovuta ad incidenti in diverse attività lavorative (fonte Health Physics, 61-3, 1991)

Attività Lavorativa	Riduzione media della durata della vita (giorni)
Commercio	27
Industria manifatturiera	40
Servizi	27
Trasporti	160
Agricoltura	320
Costruzioni	227
Valore Medio	60
Esposizioni alle radiazioni (5mSv/anno)	40

Dosi nelle applicazioni mediche ???

Diagnostica:

radiografie (tubi raggi X)
TAC (tomografia assiale computerizzata)
PET (tomografia ad emissione di positroni)

Terapia:

acceleratori di elettroni
acceleratori di adroni (protoni, carbonio, ecc.)

DOSI e ESAMI RADIOLOGICI

(Padovani et al., Fisica in Med, 1: 59-70, 2003)

tipo di esame, Anno 2000	Dose efficace, mSv/esame
Aniografia neurologica	4,09
Angiografia coronarica	8,60
Angiografia periferica	12,40
TC testa	2,14
TC Torace	9,49
TC Pelvi	10,01
TC addome	15,04
Radiol. Interventist. Cardiologica	14,10
Radiol. Interventist. periferica	21,60

DOSI e ESAMI RADIOLOGICI

(Padovani et al., Fisica in Med, 1: 59-70, 2003)

tipo di esame, 2000	Dose efficace, mSv/es.
Radiografia al torace	0,13
Cranio	0,05
Rachide lombo-sacrale	0,27
Mammografia	0,50
Addome	0,65
Pelvi	0,79
Rachide lombare	0,81
Tratto gastroint. Superiore	3,60
Urografia	4,00
Tratto gastroint. Inferiore	6,40

DOSI e MEDICINA NUCLEARE

(Padovani et al., Fisica in Med, 1: 59-70, 2003)

tipo di esame, 2000	Isotopo	Dose eff, mSv
Scint.surrenal.corticale	¹³¹ I-NP59	81,5
Sc.miocard.per fusione	²⁰¹ Tl-clor.	28,4
Captazione Tiroidea	¹³¹ I-iodur.	26,6
Sc.tracc.immunologici	^{99m} Tc	10,7
Tomosc.colebr. SPET	^{99m} Tc-ECD	9,6
Scint.ossea o articol.	^{99m} Tc-dif.	4,7
St. scitn.di neoplasie	¹³¹ I-MIBG	5,1
St.scint.neoplasie	¹¹¹ In-octr	8,0
Scintigr. renale	^{99m} Tc-DM	1,4
Sc.linfatica e linfoghan	^{99m} Tc-coll	0,7

...Allora un esposto a radiazioni ionizzanti rischia più degli altri lavoratori?

Riduzione media della durata della vita associata a varie cause di tipo non lavorativo. (fonte Health Physics, 36-6, 1979 e 61-3, 1991)

Causa	Riduzione
Abuso di Alcool	4000
Essere Celibe, vedovo o divorziato	3500
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
Esposizione lavorativa alle radiazioni (5 mSv/anno)	40
Cadute	28
Esposizione alle radiazioni di individui della popolazione (1 mSv/anno)	18
Esami RX-diagnostici	6
Caffè	6

LA FORMAZIONE SARA' CONCLUSA SOLO DOPO
AVER RISPOSTO ALLE DOMANDE RIPORTATE NEL
QUESTIONARIO DI VERIFICA (DA RIVEDERE CON IL
RESPONSABILE DEL SERVIZIO DI
RADIOPROTEZIONE)

Grazie per l'attenzione