



La protezione dalle radiazioni ionizzanti:
principi fisici e radiobiologici, normativa e
procedure interne

Paolo Prati
EQ della Sezione INFN di Genova

Genova, 9 novembre 2016

"Zoologia" delle radiazioni ionizzanti

Le radiazioni in grado di ionizzare un atomo sono molte ma raggruppabili in tre categorie:

- 1) Particelle con carica elettrica (elettroni, protoni, ioni in genere)
 - 2) Particelle senza carica elettrica (neutroni)
 - 3) Radiazione elettromagnetica (raggi X, raggi gamma)
-

Sorgenti di radiazioni

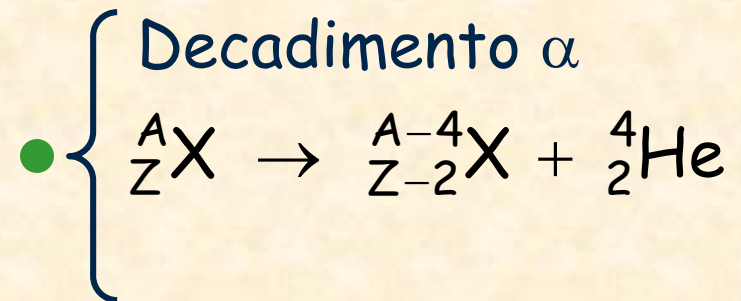
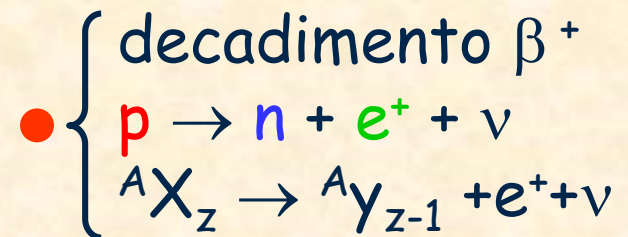
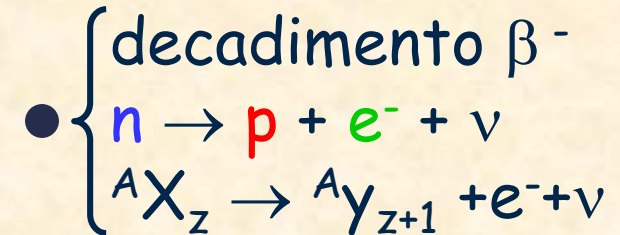
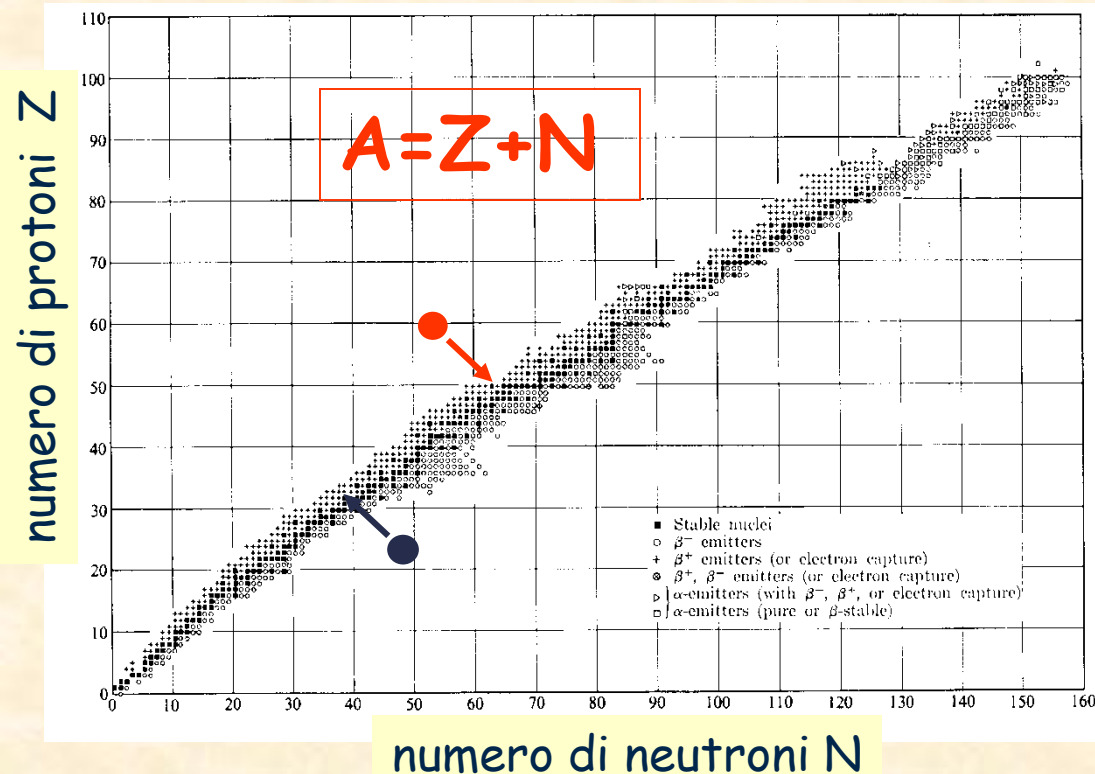
Conviene distinguere tra sorgenti radioattive ed apparecchiature radiogene

Sorgenti radioattive: composti solidi, liquidi o gassosi che contengono isotopi radioattivi e che emettono continuamente particelle alfa o elettroni o raggi x o raggi gamma o neutroni.

Apparecchiature radiogene: strumenti che, quando in funzione, possono produrre raggi x, γ , elettroni, ioni e anche neutroni (tubi a raggi X, acceleratori, etc)

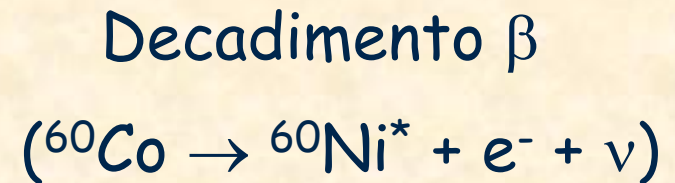
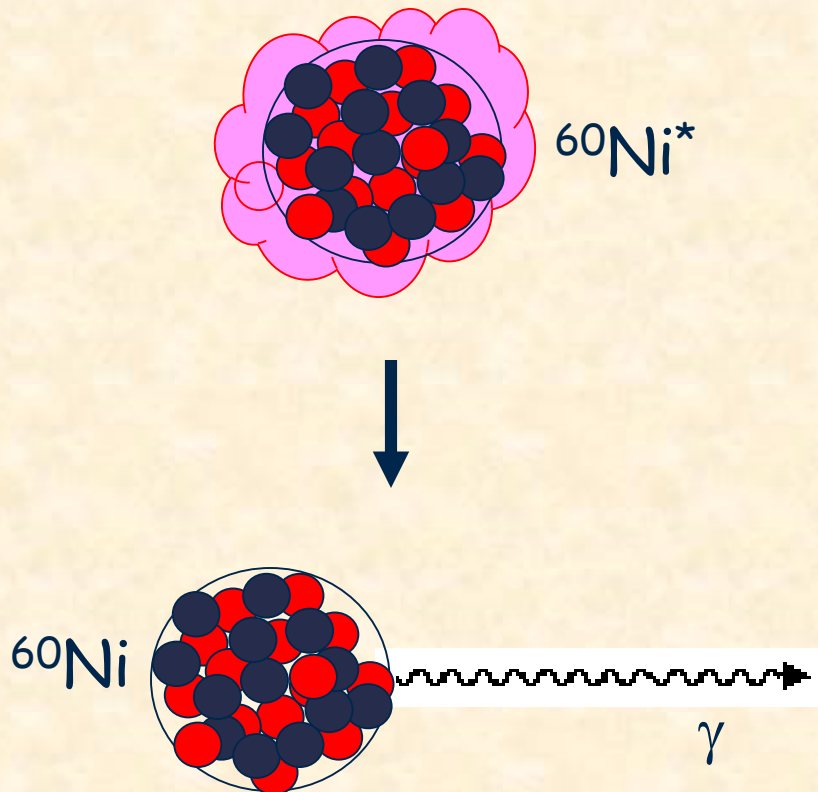
I decadimenti radioattivi

Processi in cui un nucleo instabile cambia configurazione emettendo particelle

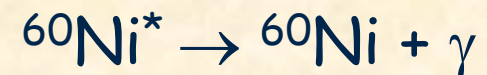


La diseccitazione gamma

Molto frequentemente il nucleo "figlio" viene creato in un stato eccitato e si diseccita emettendo radiazione gamma



Emissione γ



Sorgenti radioattive

Per un corretto utilizzo di sostanze radioattive è fondamentale la conoscenza del

TIPO DI RADIAZIONE emessa,

della **ATTIVITA'**

e della **VITA MEDIA.**

Attività di una sorgente radioattiva

La quantità di atomi radioattivi in una sorgente è legata ad una grandezza chiamata:

ATTIVITA' = A = numero di atomi che si disintegrano in un secondo

Si misura in Becquerel (Bq) = 1 disintegrazione al secondo.

In passato si misurava in Curie (Ci) = $3.7 \cdot 10^{10}$ di decadimenti al secondo

L'attività diminuisce nel tempo con un tempo di dimezzamento tipico per ogni sostanza radioattiva

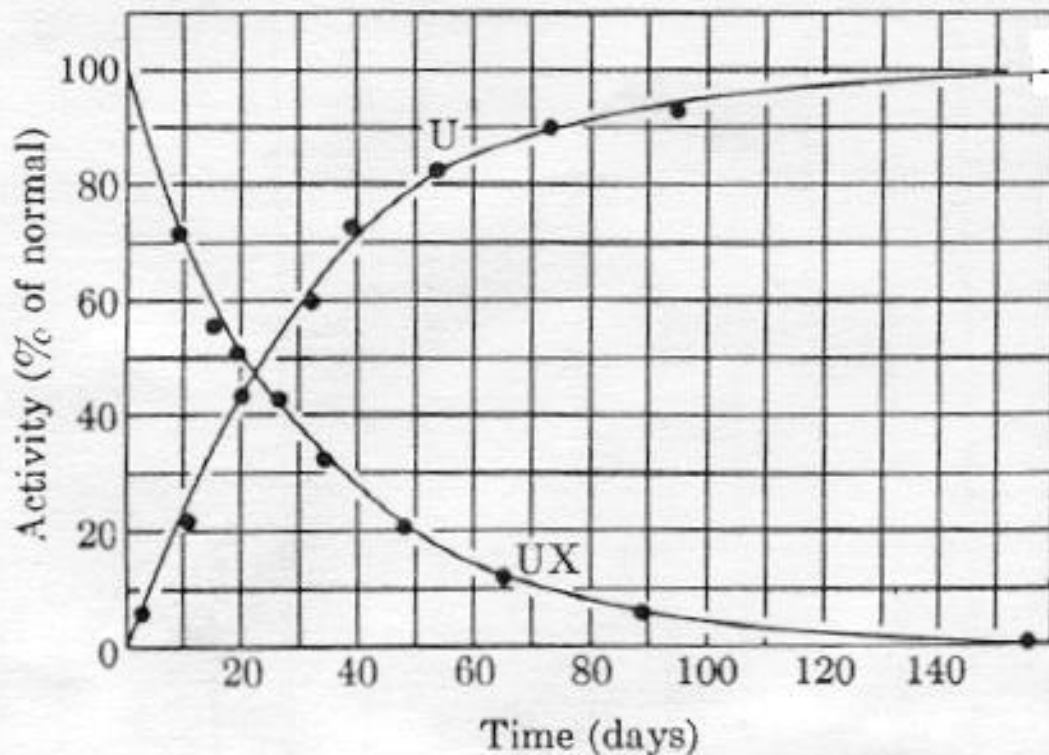
La legge del decadimento radioattivo

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

Si definisce vita media (τ) il tempo in cui l'attività si dimezza, cioè

$$A(\tau_{1/2}) = 0.5 A_0$$

$$\tau_{1/2} = 0.693 \tau$$



Alcuni casi tipici

ISOTOPO	RAD. EMESSA	$\tau_{1/2}$
^{60}Co	elettroni e gamma	5.27 anni
^3H	elettroni	12.3 anni
^{137}Cs	elettroni e gamma	30 anni
^{15}O	elettroni e gamma	123 secondi

Un concetto importante

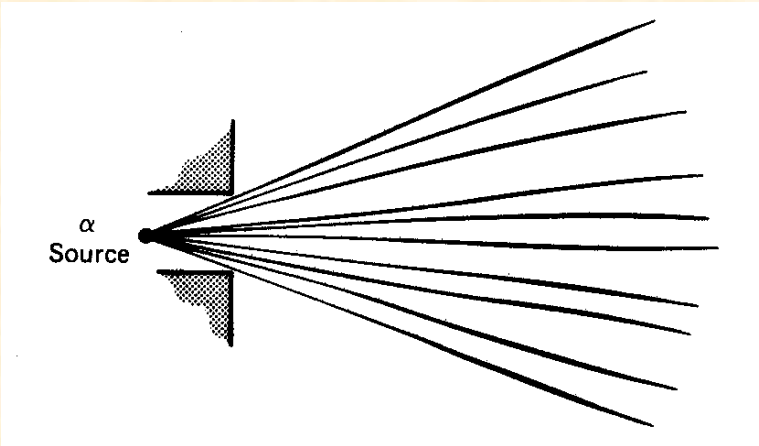
La vita media ha importanti conseguenze sulla radioprotezione:

A parità di Attività iniziale:

una sorgente a vita media lunga emette radiazioni (ed è quindi potenzialmente pericolosa) per molto tempo.

Una sorgente a vita media breve si esaurisce rapidamente ma "concentra" l'emissione di radiazione in un tempo breve con possibilità di produrre danni rilevanti anche per esposizioni limitate nel tempo.

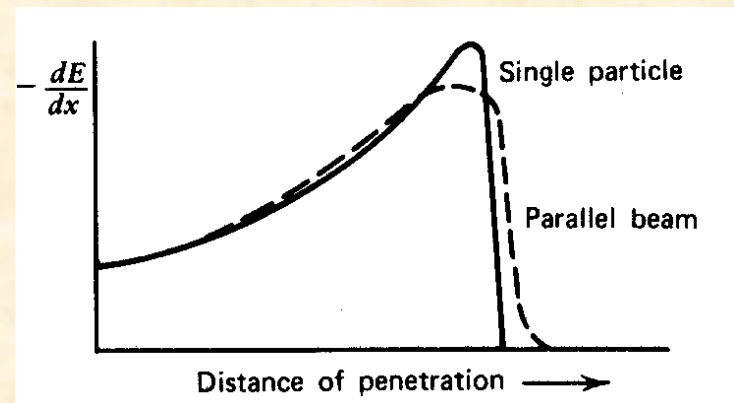
Particelle alfa ed altri ioni...



Possono essere emessi da sostanze radioattive o dagli acceleratori per radioterapia...

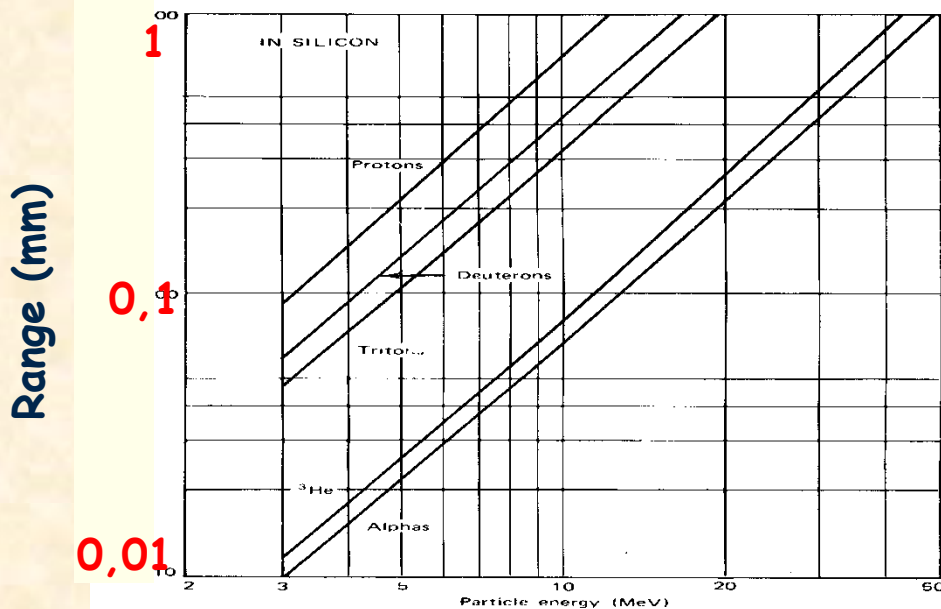
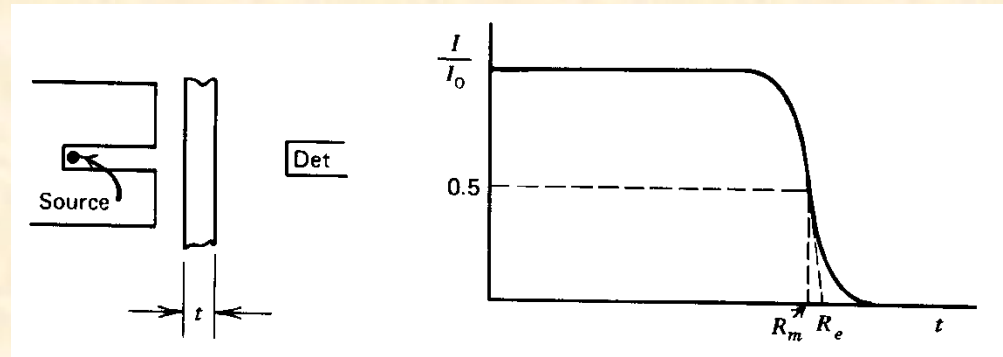
Attraversando un materiale seguono una traiettoria rettilinea ($m_p \sim 2000 m_e$) perdendo la loro energia cinetica (e quindi ionizzando gli atomi) lungo tutto il percorso.

La perdita di energia è max. quando la particella è quasi ferma



...

Si può quindi definire uno spessore di materiale (range) sufficiente a bloccare tutte le particelle di una data energia



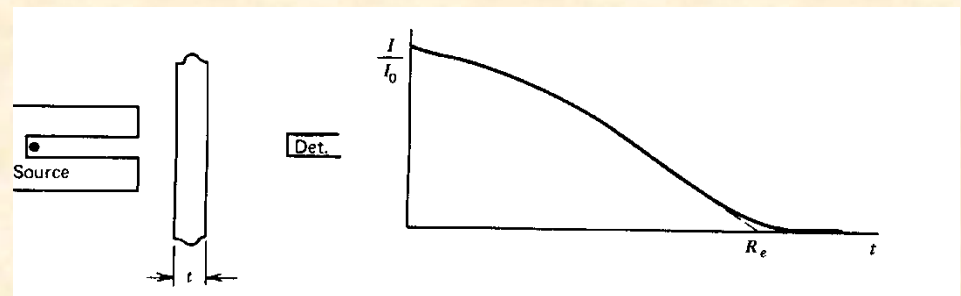
Questo tipo di radiazioni ha range molto breve:

SONO MOLTO FACILI DA SCHERMARE

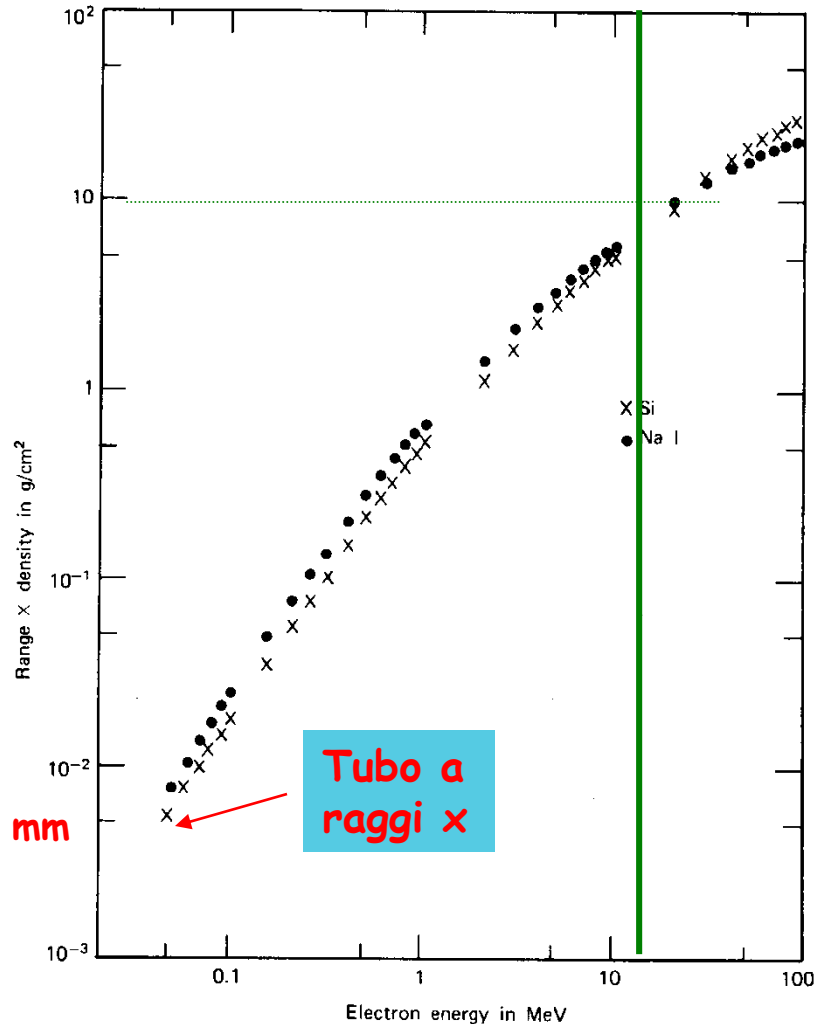
in genere bastano pochi mm di materiale

Elettroni...

Possono essere prodotti da sostanze radioattive, da acceleratori ma anche da tubi per raggi x. Attraversando un materiale perdono energia con una sequenza continua di urti ma, poiché sono molto leggeri seguono una traiettoria casuale e non è possibile definire con precisione un range come per le particelle cariche più pesanti. Inoltre gli elettroni irradiano, cioè producono x e gamma



...



Circa 0,1 mm

Tubo a raggi x

Anche in questo caso comunque gli spessori di materiale attraversati sono relativamente brevi: elettroni da circa 20 MeV sono assorbiti in circa 10 cm di acqua, le particelle β vengono fermate in 1-2 cm di acqua.

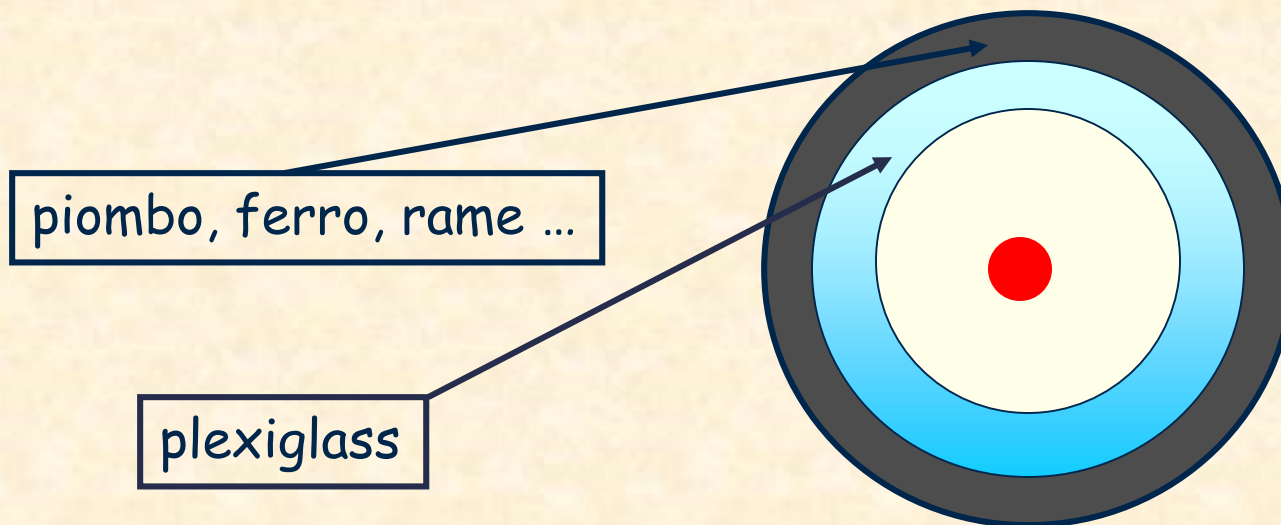
Schermature particelle cariche

α : nessun problema

β : conviene usare materiali leggeri

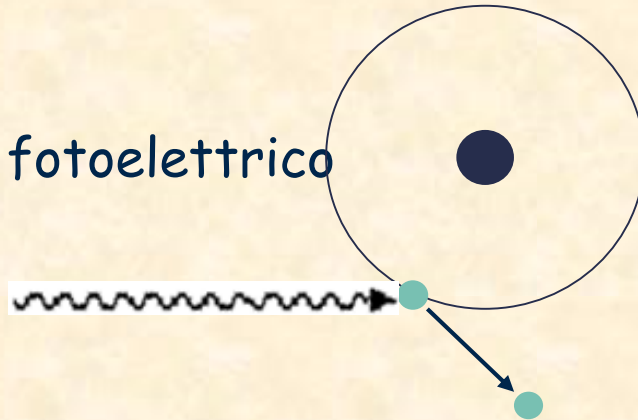
$$\frac{S_{\text{rad}}}{S_{\text{ion}}} = \frac{ZE}{800}$$

in questo modo si riduce la produzione di fotoni

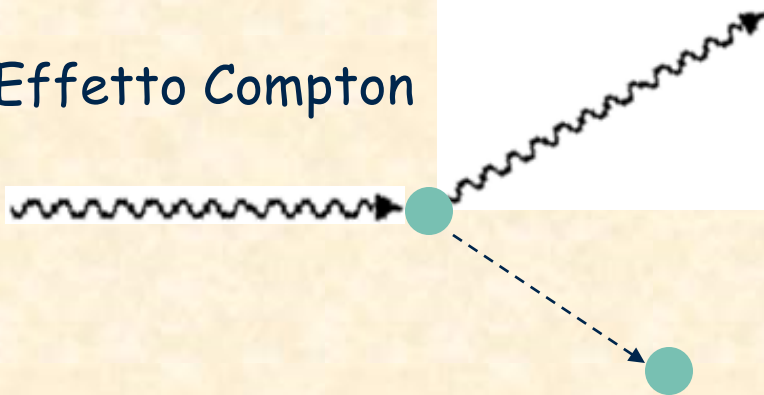


Interazione radiazione gamma (fotoni) - materia

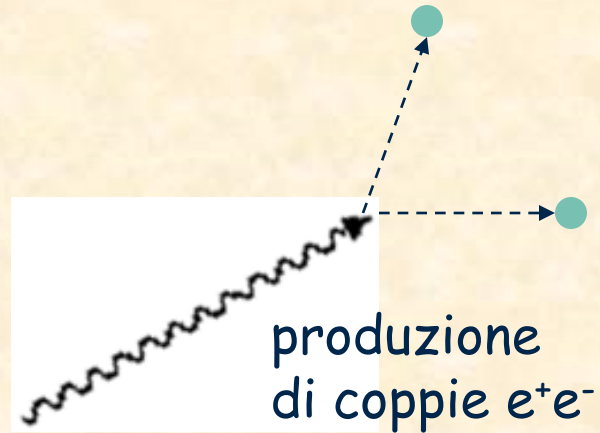
Effetto fotoelettrico



Effetto Compton



produzione
di coppie e^+e^-



Schermature fotoni (X e γ)

probab. interazione $\propto \begin{cases} Z^5 \text{ (fotoelettrico)} \\ Z \text{ (Compton)} \\ Z^2 \text{ (prod. coppie)} \end{cases} \rightarrow \begin{matrix} \text{Piombo} \\ \text{Calcestruzzo} \end{matrix}$

μ = coefficiente di attenuazione/assorbimento \leftrightarrow Sez. d'urto totale

$$N(x) = N_0 e^{-\mu x}$$

$\lambda = 1/\mu =$ libero cammino medio

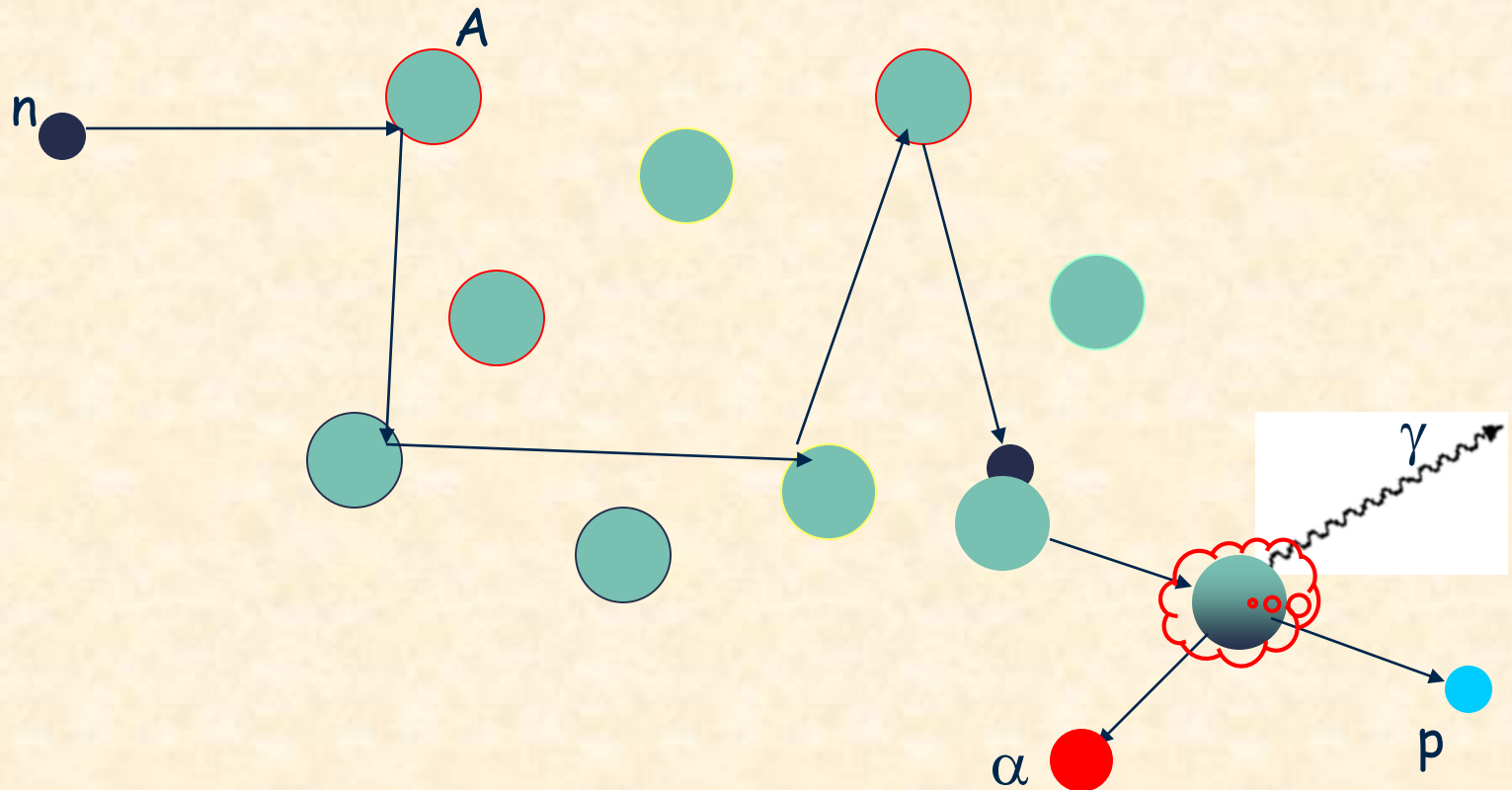


Qualche gamma passa sempre... qualunque sia lo spessore attraversato

Interazione neutroni - materia

$q = 0 \rightarrow$ solo interazioni nucleari

diffusione - rallentamento - cattura



Schermature neutroni

Σ = sezione d'urto macroscopica

$$N(x) = N_0 e^{-\Sigma x}$$

La massima perdita energia si ha quando: $m_A \approx m_n$ (scattering elastico)



materiali idrogenati
materiali leggeri



calcestruzzo o paraffina
"borata", "litiata"

Esposizione a sorgenti radioattive

Si distingue tra irradiazione esterna e contaminazione interna.

Nel primo caso si intende l'esposizione alle radiazioni emesse dalla sorgente senza contatto tra la persona esposta e la sorgente.

Nel secondo caso la sostanza radioattiva può depositarsi sulla pelle o venire inalata e/o ingerita restando depositata nell'organismo → particolari problemi/cura con l'uso di sorgenti NON sigillate

Come ci si protegge ?

Sostanzialmente in quattro modi:

1. Mantenendo la maggior distanza possibile tra sorgente radioattiva ed operatore (il numero di radiazioni che mi può investire diminuisce quadraticamente con la distanza)
 2. Minimizzando i tempi di esposizione alla sorgente radioattiva
 3. Schermando le radiazioni con "pareti" di materiale opportuno (piombo e calcestruzzo, solitamente)
 4. Seguendo le disposizioni dell'Esperto Qualificato
-

Macchine radiogene

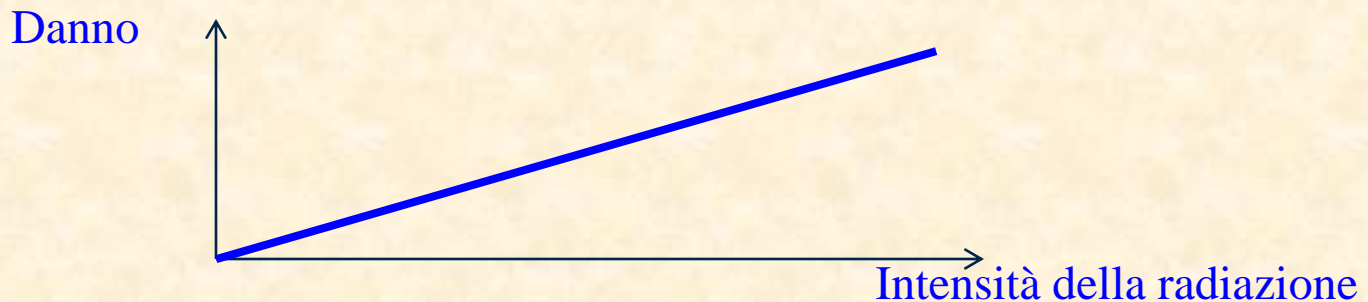
Sono sostanzialmente i tubi a raggi X e gli acceleratori di particelle

Tre informazioni essenziali:

1. Quando sono "spente" non emettono radiazioni (SALVO ATTIVAZIONE DEI MATERIALI)
 2. Quando sono "accese" producono flussi di radiazioni molto intensi e in direzioni ben precise: non basta stare distanti...bisogna evitare di sostare nella direzione del flusso.
 3. Possono dare solo irradiazione esterna
-

La dosimetria

Ogni singola radiazione che colpisce un organismo biologico provoca alterazioni a livello cellulare e quindi un danno. Le conoscenze attuali portano a ritenere che il danno aumenti linearmente con l'intensità della radiazione che investe un organismo senza alcuna soglia minima:



Ma come si misura il danno potenziale ?

La DOSE

Il danno biologico si identifica (in prima approssimazione) con una grandezza che si chiama

DOSE = D = energia dissipata da radiazioni ionizzanti per unità di massa

e si misura in Gray:

1Gray = 1 Gy = 1 Joule per chilogrammo.

In passato si usava un'unità di misura diversa (che molto spesso ancora compare su tabelle e strumenti) e cioè il rad: **1 rad = 0.01 Gy**

La Dose Equivalente

Il danno biologico è proporzionale alla dose solo in alcuni casi, infatti tipi di radiazione diversi dissipano la loro energia in volumi più o meno grandi producendo danni a livello microscopico, a parità quindi di energia dissipata, minori o maggiori.

Per questo motivo si moltiplica la dose per un numero, maggiore o uguale ad 1, (detto **FATTORE DI QUALITA', Q**) che cambia a seconda del tipo di radiazione.

Si ottiene così una nuova grandezza, detta DOSE EQUIVALENTE, che si ritiene sia realmente proporzionale al danno biologico.

...

Il principio della "linearità senza soglia" porta a limitare, in qualunque attività, l'esposizione alle radiazioni al livello minimo possibile (principio ALARA)

Oggi si conoscono i livelli di esposizione che con certezza portano a patologie gravi (DE letale ~ 2 Sv). Si conosce anche (ma con maggiori margini di incertezza) la probabilità che esposizioni a piccole quantità di radiazione possano far insorgere nel tempo diversi tipi di patologie.

La legislazione della radioprotezione fissa regole per evitare i danni certi e limitare quelli probabili entro livelli di «accettabilità» → OdG: probabilità di evento grave 10^{-4} e 10^{-6} rispettivamente per lavoratori esposti e popolazione.

...

Quindi:

$$\text{Dose Equivalente} = DE = D \times Q$$

e si misura in Sievert

1 Sv = 1 Joule per chilogrammo (Q non ha dimensioni)

Prima si usava, per misurare DE, il rem: 1 rem = 0.01 Sv.

Attenzione: per raggi X, raggi gamma ed elettroni $Q=1$ quindi $DE=D$: Dose e Dose Equivalente coincidono. Invece Q è maggiore di 1 per neutroni ($Q= 5-20$), protoni ($Q=5$) e particelle alfa ($Q=20$)

Limiti di dose (in Italia e nel mondo)

Popolazione: $DE < 1 \text{ mSv/anno}$

Categoria B: $DE < 6 \text{ mSv/anno}$

Lavoratori esposti

Categoria A: $DE < 100 \text{ mSv in 5 anni}$
 $DE < 20 \text{ mSv/anno}$



Zona **CONTROLLATA**: dove è possibile assorbire una $DE > 6 \text{ mSv/anno}$

Zona **SORVEGLIATA**: dove è possibile assorbire una $DE > 1 \text{ mSv/anno}$

Un esempio

Sorgente ^{60}Co da 100 μCi
esposizione continua per 1 anno
alla distanza di 1.5 m } DE = 1 mSv/anno

Per confronto:

Fondo naturale: 1.5 mSv/anno

Impiego sanitario: 1 mSv/anno

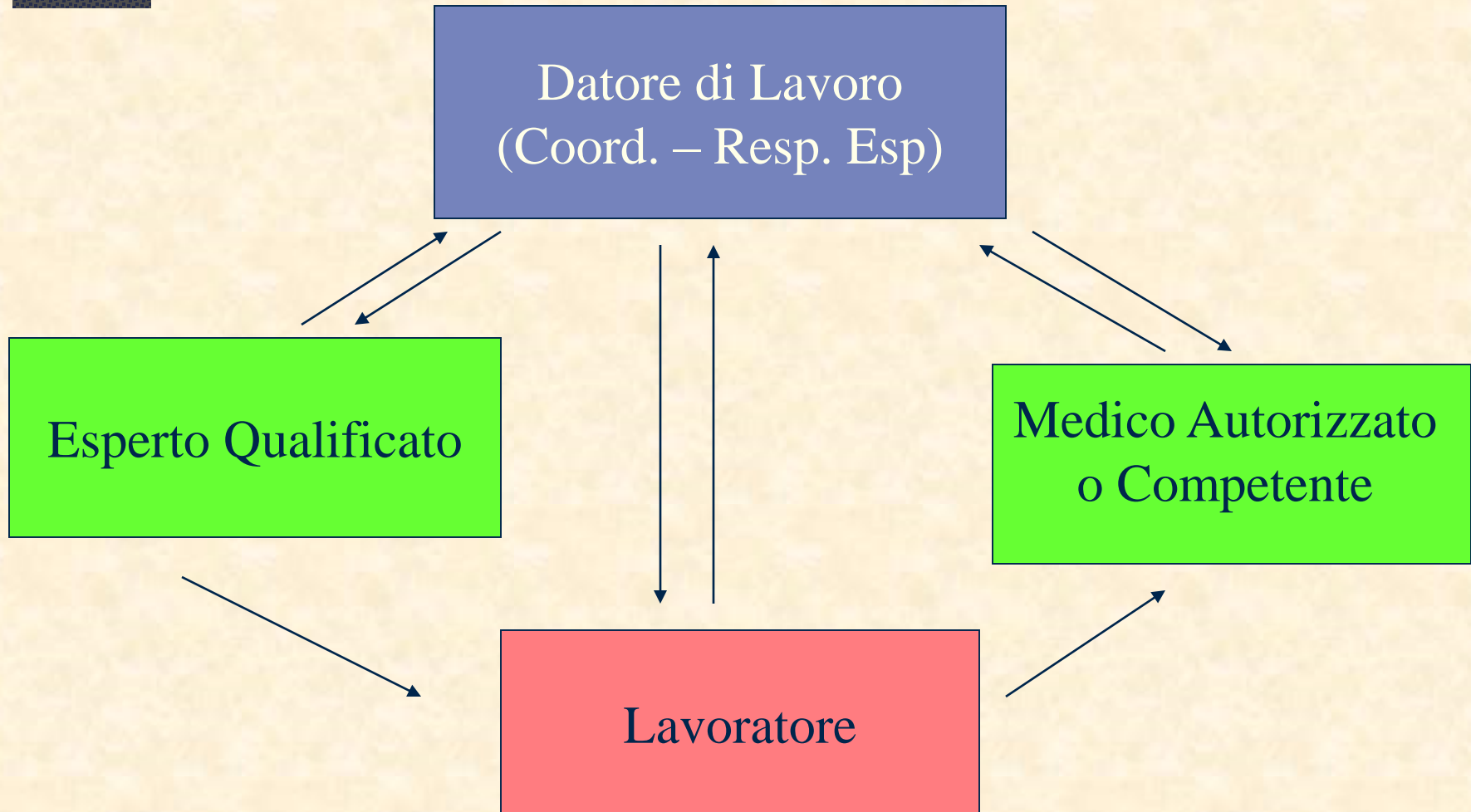
probab. danno somatico "grave"

$5 \cdot 10^{-2}$ per Sv \equiv $5 \cdot 10^{-5}$ per mSv

probab. danno genetico

$1,3 \cdot 10^{-2}$ per Sv \equiv $1,3 \cdot 10^{-5}$ per mSv

La Legge: DM 230/95 e 240/01



Principali compiti dell'Esperto Qualificato

Effettuare la delimitazione delle zone controllate e sorvegliate

Classificare il personale esposto

Eseguire i progetti radioprotezionistici

Effettuare i controlli sui dispositivi di sicurezza

Effettuare i controlli dosimetrici nei luoghi di lavoro

Valutare la dose assorbita dai lavoratori

Istituire i documenti di radioprotezione (registri e schede dosimetriche)

Una conseguenza pratica/organizzativa

Il Datore di lavoro non può esporre un lavoratore alle radiazioni senza l'OK preventivo del medico autorizzato/competente.

Per ogni nuovo dipendente e/o collaboratore ma anche per ogni nuova attività che comporti l'esposizione alle radiazioni il Coord. o il Resp. Esperimento compila la scheda di radioprotezione.

Sulla base di queste informazioni l'EQ provvede alla classificazione del lavoratore.

Se la classificazione è in cat. A o B, il Direttore invia il lavoratore alla visita medica e solo dopo aver ricevuto l'OK dal Medico Autorizzato dà il consenso all'inizio dell'attività prevista.

Per questo motivo l'Amministrazione non accetta premessi di viaggio per nuovi dip e/o coll. finchè l'intera procedura non si è conclusa.

I rischi in Sezione

1

- ⌘ Sorgenti radioattive: al momento quasi solo sorgenti sigillate (no contaminazione interna) conservate prevalentemente nel Deposito sorgenti al PFO ed utilizzate saltuariamente in alcuni laboratori. L'attività complessiva é assolutamente modesta. E' molto importante, per diminuire i rischi in caso di incendio, che dopo l'uso le sorgenti tornino nel Deposito che é l'unica Zona Controllata in Sezione.
- ⌘ **Giacomo Ottonello** preposto alla gestione delle sorgenti (conservazione e consegna agli utenti, unico autorizzato ad entrare nel Deposito sorgenti)
- ⌘ Le prescrizioni dell'EQ sono affisse sulle porte di tutti i locali "autorizzati" all'uso delle sorgenti

I rischi in Sezione

2

- # Sorgenti di neutroni del tipo Am-Be e ^{252}Cf utilizzate esclusivamente nel bunker al PFO che è classificato Zona Sorvegliata
- # Neutroni emessi $\sim 10^4 \text{ s}^{-1}$ \rightarrow a 1 metro l'intensità di dose è $\sim 0.1 \mu\text{Sv/h}$ \rightarrow per esposizione continua (2000 h) $D = 0.2 \mu\text{Sv}$ (1/5 del limite per la popolazione....)
- # Il tempo di utilizzo è di poche ore al mese tuttavia l'EQ ha prescritto che le sorgenti possono essere usate solo nel bunker ed altre persone possono essere ammesse alla zona adiacente solo con portone chiuso. Una luce **rossa** segnala la presenza di persone e/o delle sorgenti nel bunker stesso.

- ✦ Al PF3, laboratorio L302, è presente un sistema portatile per analisi in fluorescenza X: in sostanza si usa un tubo a raggi X "aperto" che produce un fascio di alcuni mm di sezione. Autorizzati all'uso: [Prati](#), [Massabò](#)
- ✦ L'EQ ha verificato che ad una distanza maggiore di **2 m** dal tubo stesso l'intensità di Dose è compatibile con il limite per la popolazione. L'area a meno di 2 m dal tubo è classificata Zona Sorvegliata: con tubo in funzione ne é vietato l'accesso.
- ✦ Appareti con tubo a raggi X di gruppo 1 ([C. Gemme](#), [E. Robutti](#)): nessun rischio grazie al sistema di interlock nativo delle macchine e/o predisposto in sala di misura

I rischi in altri Laboratori

- ⌘ Sono sostanzialmente legati all'esposizione a materiali attivati dai fasci (l'accesso ai punti misura non è consentito con fascio acceso...), é possibile anche l'esposizione a neutroni.
 - ⌘ Ad oggi l'EQ valuta pari a zero la dose annualmente assorbita dal personale esposto (cat. B) in Sezione e la classificazione quindi è solo in ragione delle possibili esposizioni in altri laboratori. Negli ultimi 20 anni le dosi "esterne" sono state praticamente sempre **ZERO** !
 - ⌘ Quindi... continuare ad attenersi scrupolosamente alle indicazioni di radioprotezione adottate da ciascun Laboratorio.
-

In conclusione...

- Informarsi sempre sul tipo di sorgente di radiazione utilizzata
 - Limitare l'esposizione al minimo
 - Seguire scrupolosamente le disposizioni dell'EQ per l'uso e la conservazione delle sostanze radioattive e delle macchine radiogene specie quando si opera in altri laboratori
 - Comunicare immediatamente al medico autorizzato qualunque cambio significativo della salute (in particolare lo stato di gravidanza)
-

Insomma...



NO



SI

