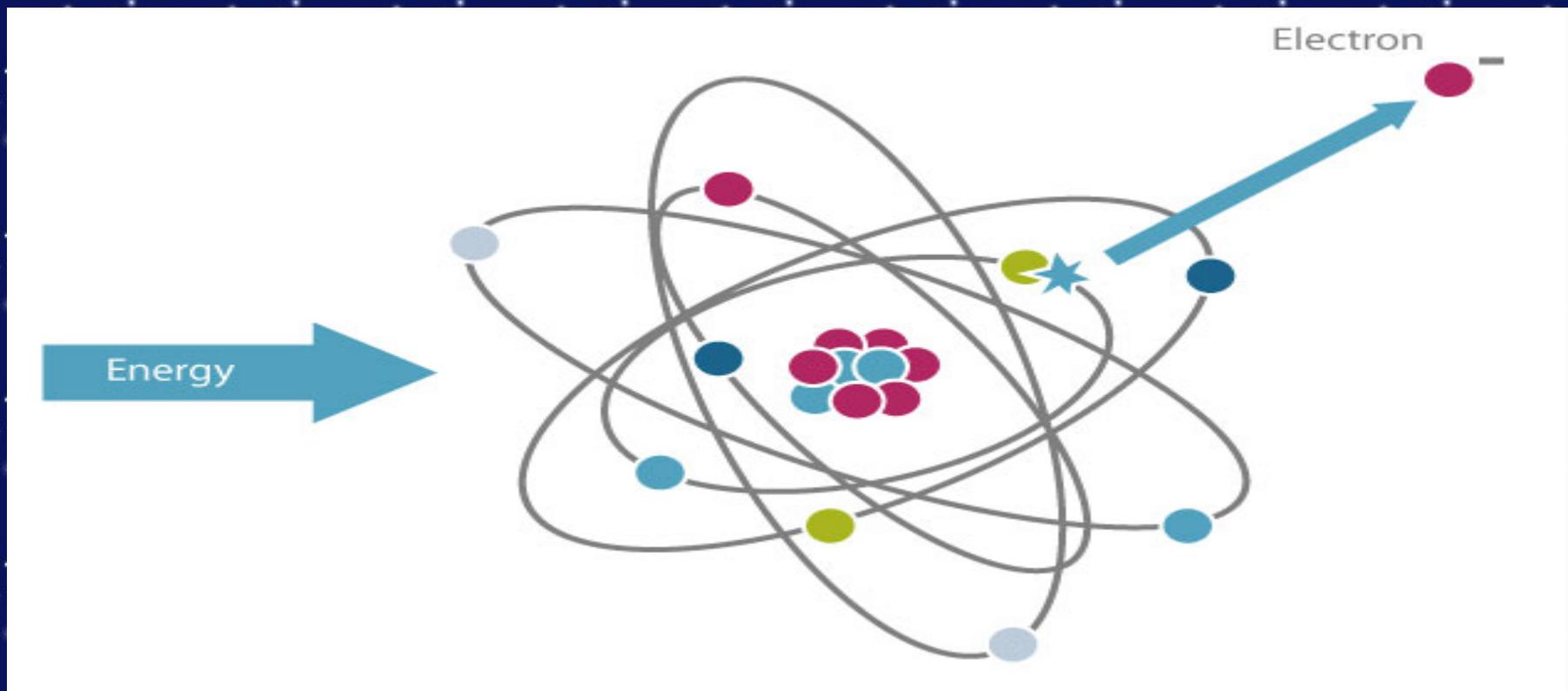


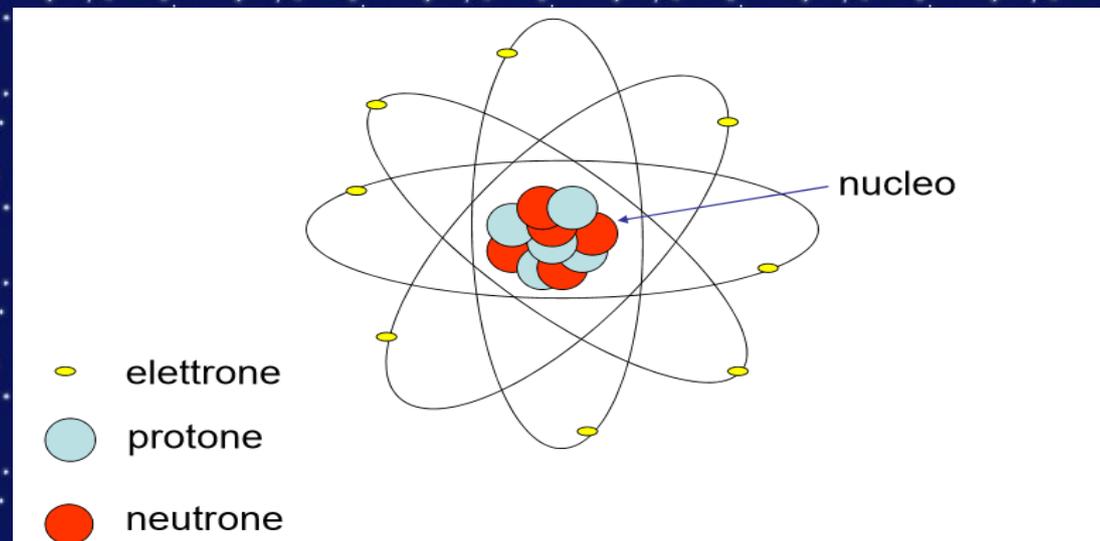
# LE RADIAZIONI IONIZZANTI



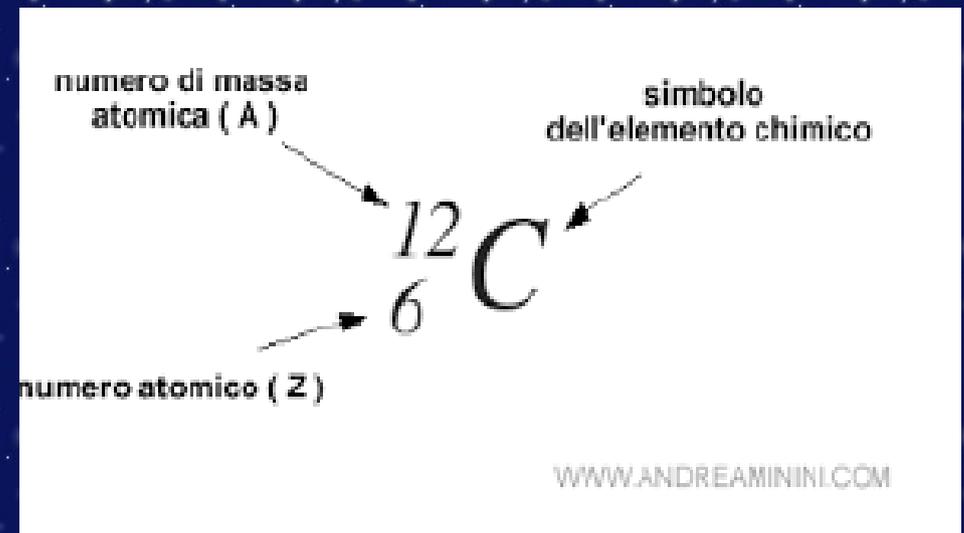
31 OTTOBRE 2018 LORENZA DIONISI

# Ripassiamo insieme: L'ATOMO

È la più piccola particella di un elemento che non subisce alterazioni nelle trasformazioni chimiche, ma che può subire trasformazioni fisiche quali eccitazione, disintegrazione, fissione, ecc.: si compone di un **nucleo** in cui sono concentrate particelle cariche positivamente (**protoni**) e particelle elettricamente neutre (**neutroni**), attorno al quale ruotano particelle cariche negativamente (**elettroni**) disposte su livelli energetici distinti; il numero dei protoni (numero atomico), diverso per ogni elemento, è uguale a quello degli elettroni, cosicché l'atomo risulta elettricamente neutro.



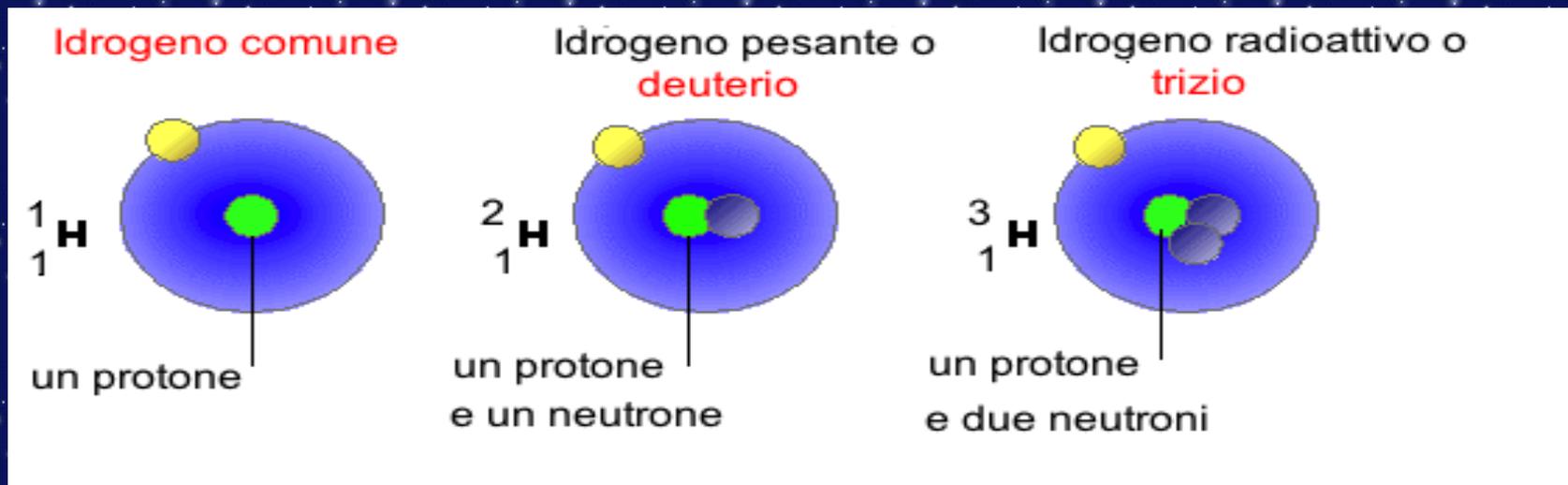
- Numero di protoni (e di elettroni) =  
**NUMERO ATOMICO (Z)**
- Numero di protoni+numero di neutroni=  
**NUMERO DI MASSA (A)**



Il numero di neutroni nel nucleo può essere variabile



## ISOTOPI

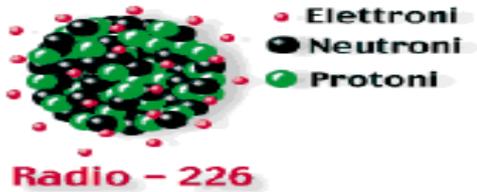


Gli isotopi possono essere:

- **STABILI**
- **INSTABILI**

# Decadimento Radioattivo

## Il decadimento nucleare



Se il numero dei neutroni e dei protoni del nucleo è ben bilanciato l'atomo è stabile

Se vi è uno sbilanciamento nel numero dei neutroni e dei protoni l'atomo è instabile e tende a **decadere**, cioè a modificare il loro numero trasformandosi in un nuovo atomo e comunque ad emettere energia

Massa dei protoni + Massa dei neutroni > Massa dell'atomo  
La differenza ( $\Delta m$  = difetto di massa) è trasformata in energia:

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

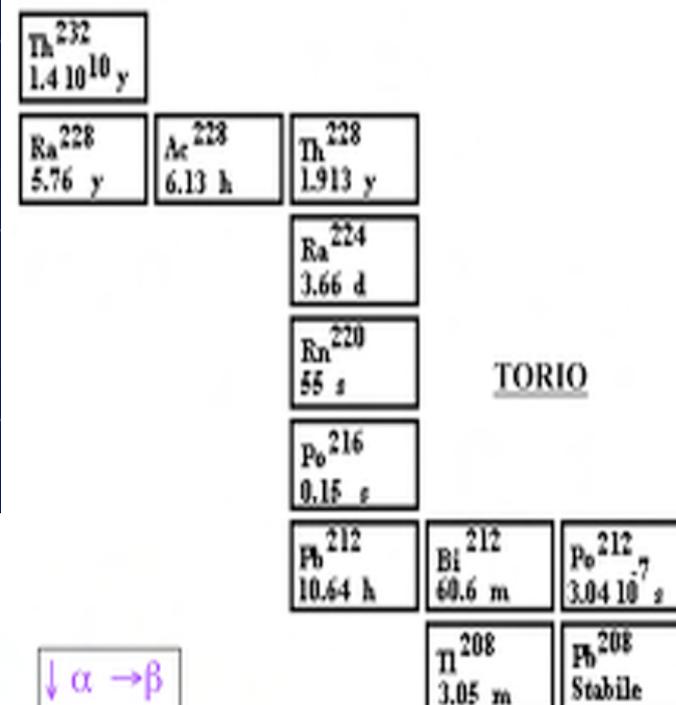
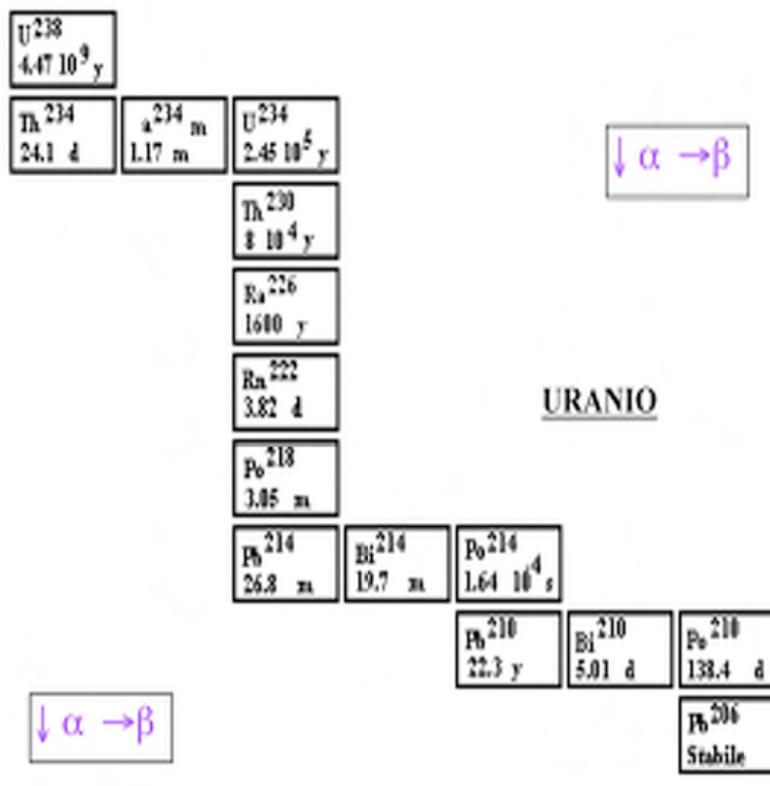
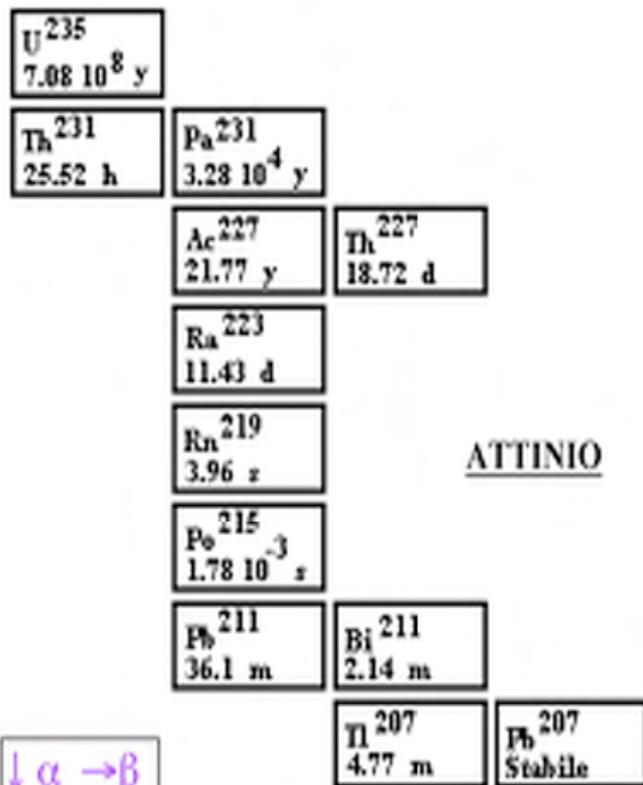
Gli isotopi presenti in natura sono quasi tutti stabili. Tuttavia, alcuni isotopi naturali, e quasi tutti gli isotopi artificiali, presentano nuclei instabili a causa di un eccesso di protoni e/o di neutroni. Tale instabilità provoca la trasformazione spontanea in altri isotopi, e questa trasformazione si accompagna con l'emissione di particelle. Questi isotopi sono detti isotopi radioattivi, o anche radioisotopi o 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**.

# Famiglie Radioattive Naturali ed Artificiali

- SERIE DELL'URANIO
- SERIE DEL TORIO
- SERIE DELL'ATTINIO
- SERIE DEL NETTUNIO



- Gli isotopi presenti in natura **sono quasi tutti stabili**:  
l'idrogeno, il boro, il carbonio, l'azoto, l'ossigeno e lo  
zolfo, chiamati anche isotopi leggeri e **potassio 40**

- Gli isotopi artificiali vengono prodotti nei reattori  
nucleari o in laboratorio.

Esistono molte centinaia di isotopi artificiali **tutti  
instabili**:

il cobalto-60 (27 protoni, 33 neutroni), usato in  
radioterapia, il plutonio-239 (94 protoni, 145 neutroni),  
usato come combustibile nelle centrali nucleari, il  
**cesio-137 e 134, iodio 131**

Il decadimento può completarsi in tempi assai brevi o molto lunghi.

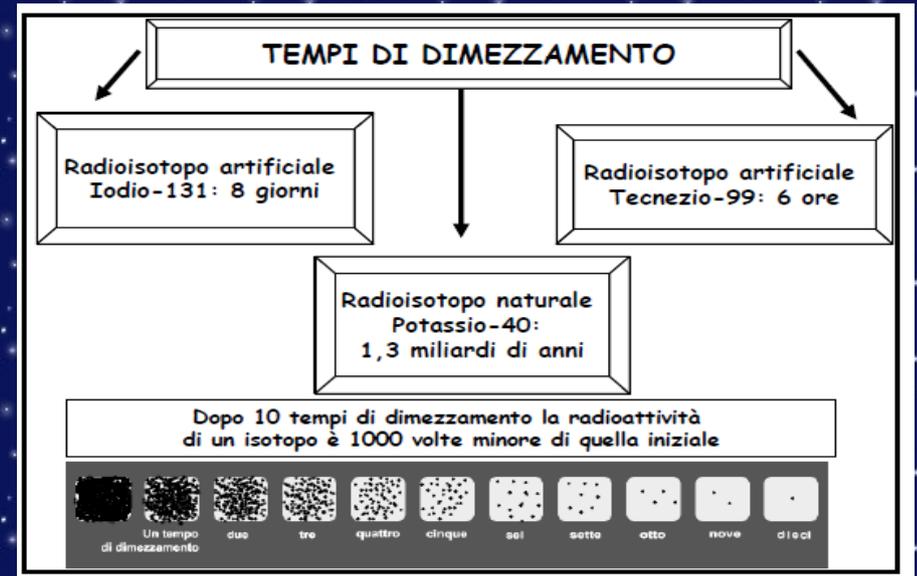
La misura di tale tempo è detta

## TEMPO DI DIMEZZAMENTO o TEMPO DI VITA MEDIA

cioè il tempo alla fine del quale la metà degli atomi radioattivi inizialmente presenti ha subito una trasformazione spontanea.

La possibilità che un materiale radioattivo diventi innocuo dipende dal "tempo di dimezzamento": questo valore definisce **l'intervallo di tempo entro cui la metà degli atomi di una sostanza decade.**

In caso di contaminazione radioattiva, dell'ambiente o di un organismo, diventa importante conoscere anche il tempo di dimezzamento effettivo, ovvero l'intervallo di tempo entro cui i radioisotopi vengono eliminati, attraverso processi metabolici, chimici o fisici, prima ancora di decadere.



Sorgente	Tempo di dimezzamento - $\tau_{1/2}$
Argon 41	1,8 ore
Cobalto 60	5,27 anni
Cesio 137	30,2 anni
Potassio 40	1.300.000.000 anni

# LE RADIAZIONI

## Generalità

Con il termine **radiazione** si descrivono fenomeni molto diversi fra loro:

- Emissione di luce da una lampada
- Emissione di calore da una fiamma
- Particelle elementari da un acceleratore o da una sorgente radiattiva

Tutte queste emissioni trasportano energia nello spazio

Questa energia viene ceduta quando la radiazione è assorbita nella materia

# LE RADIAZIONI

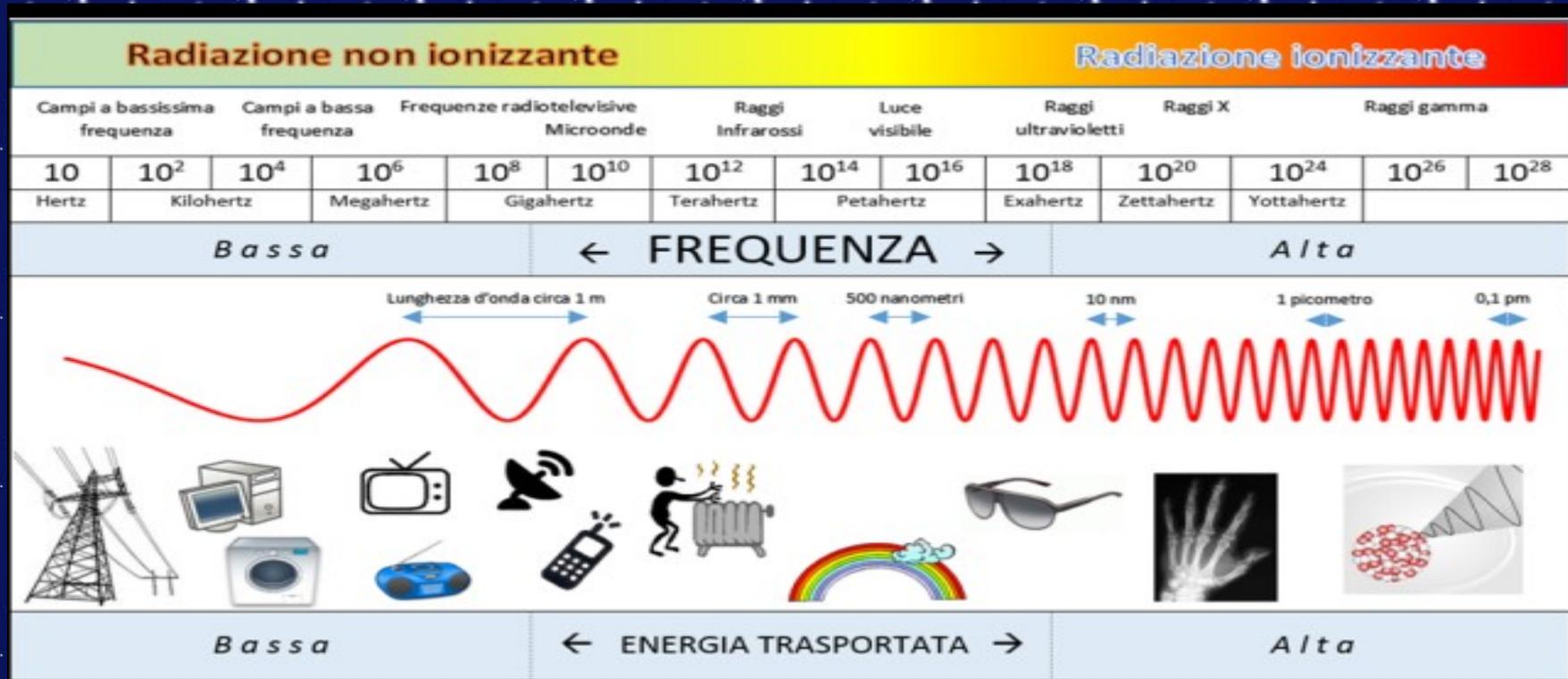
Il termine "radiazione" può essere riferito ad una serie di avvenimenti molto complessi e differenti fra loro, sia per natura che per effetti sull'uomo.

In generale indica il **fenomeno per cui dalla materia viene emessa energia** sotto forma di particelle o di onde elettromagnetiche, **che si propagano nello spazio circostante andando a interagire o meno con cose e persone che trovano sul loro passaggio**. Una prima distinzione può essere fatta in base agli effetti che provocano le radiazioni sulla materia con la quale vanno ad impattare.

Su questa base si può fare una distinzione fra:

- **radiazioni ionizzanti**
- **radiazioni non ionizzanti**

L'insieme di tutte le onde elettromagnetiche, classificate in base alla loro frequenza, costituisce lo spettro elettromagnetico



Lo spettro può essere diviso in due sezioni, a seconda che le onde siano dotate o meno di energia sufficiente a ionizzare gli atomi della materia con la quale interagiscono

## RADIAZIONI IONIZZANTI

Le radiazioni ionizzanti sono dotate di un potere altamente penetrante, che permette loro di ionizzare la materia e cioè di riuscire a separare gli elettroni dagli atomi che incontrano nel loro percorso. Di conseguenza gli atomi perdono la loro neutralità (che consiste nell'aver un uguale numero di protoni e di elettroni) e si caricano elettricamente. La ionizzazione può causare negli organismi viventi fenomeni chimici che portano a lesioni osservabili sia a livello cellulare che dell'organismo, con conseguenti alterazioni funzionali e morfologiche, fino alla morte delle cellule o alla loro radicale trasformazione.

L'energia delle radiazioni si misura in eV

Particelle corpuscolari

alfa

beta

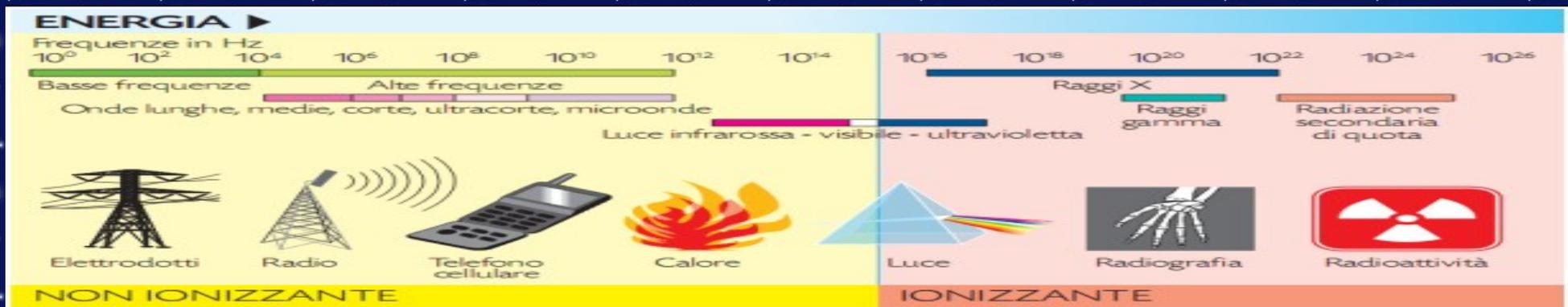
Protoni

Neutroni

Onde elettromagnetiche

Raggi X

Raggi gamma



## RADIAZIONI NON IONIZZANTI

Le radiazioni non ionizzanti sono forme di radiazioni elettromagnetiche - comunemente chiamate campi elettromagnetici - che, al contrario delle radiazioni ionizzanti, non possiedono l'energia sufficiente per modificare le componenti della materia e degli esseri viventi (atomi, molecole).

La terra, l'atmosfera e il sole da sempre generano un fondo elettromagnetico naturale, al quale si sono aggiunti, come conseguenza del progresso tecnologico, i campi prodotti dalle sorgenti legate all'attività antropica, campi che hanno provocato un notevole innalzamento di tale fondo naturale. Gli esseri viventi hanno da sempre convissuto con tali radiazioni, evolvendosi in modo da adattarsi ad esse, proteggersi o utilizzare al meglio questi agenti fisici. La componente principale di quelle che vengono definite radiazioni non ionizzanti è costituita dalle **onde elettromagnetiche** comprese nell'arco di frequenza 20-300 GHz<sup>3</sup>. I campi elettromagnetici si propagano come onde (onde elettromagnetiche) che si differenziano sulla base della frequenza. Le onde elettromagnetiche possono quindi essere classificate in base ad essa.

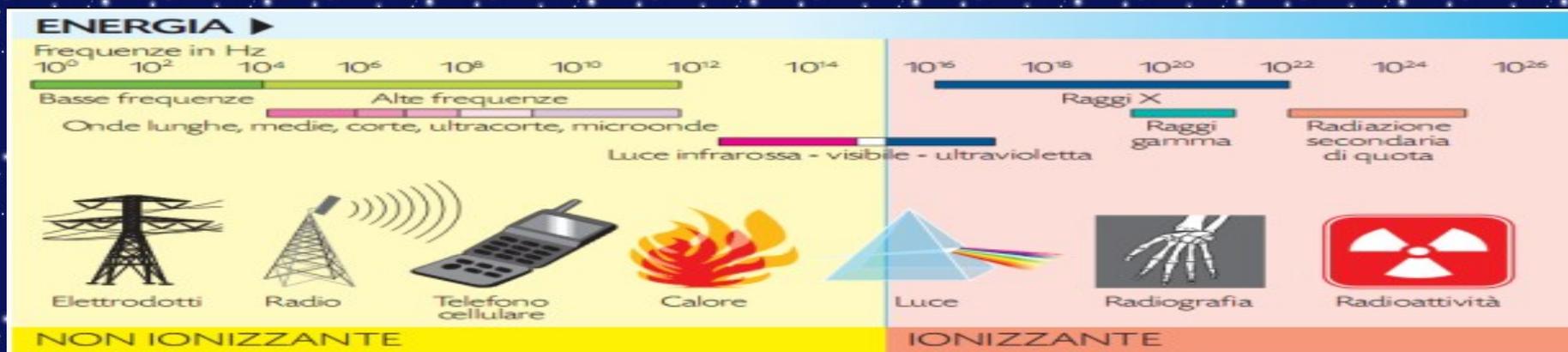
Onde radio

Microonde

Raggi infrarossi

Raggi ultravioletti

Luce visibile

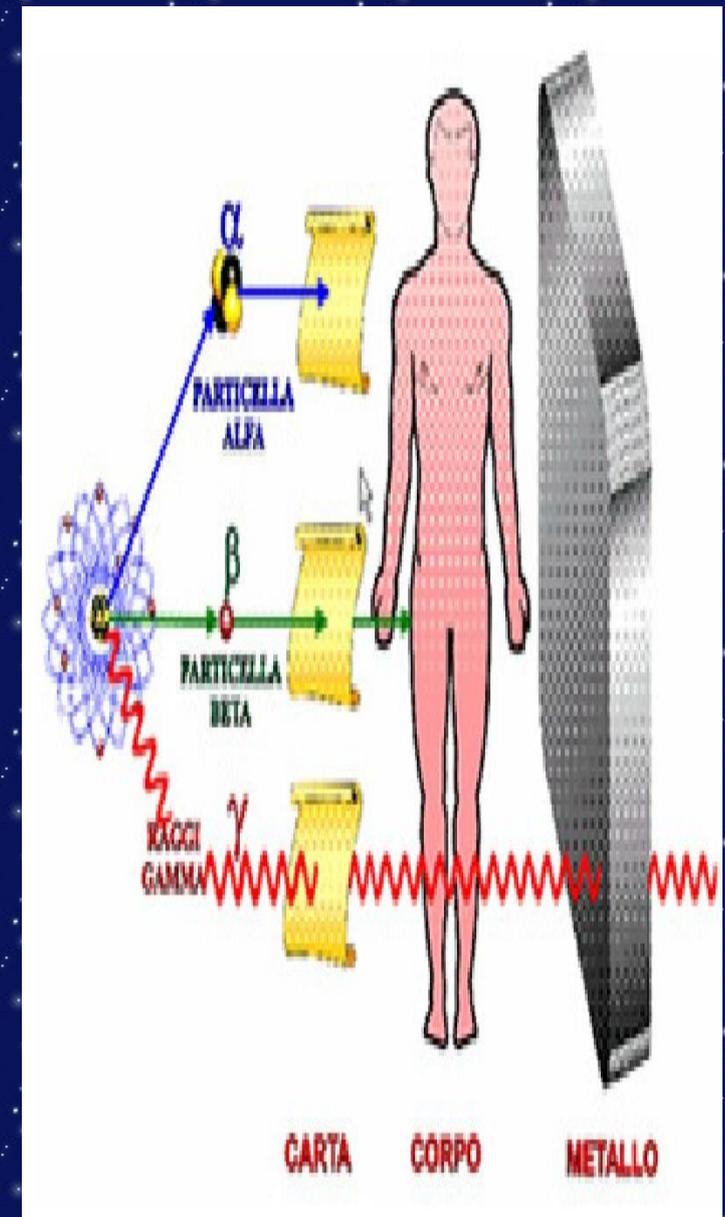


# Le Radiazioni ed il loro potere di penetrazione

Il meccanismo, attraverso il quale avviene la cessione d'energia, è noto come **interazione tra radiazione e materia**.

Ogni tipologia di radiazione ionizzante ha specifiche proprietà fisiche e si manifesta con particolari comportamenti quando interagisce con la materia circostante. Queste proprietà la distinguono dalle altre, in particolare ogni tipo di radiazione / particella ha un potere di penetrazione caratteristico e rilascia una predeterminata quantità di energia quando incontra durante il suo percorso differenti materiali.

Nel caso degli esseri viventi, l'interazione con la radioattività può portare a un danneggiamento delle cellule. Nella maggior parte dei casi il danno, quando l'intensità delle radiazioni è modesta ed il tempo di esposizione ridotto, viene riparato dall'organismo, mentre in caso di forti esposizioni per tempi rilevanti le cellule interessate possono risultare seriamente compromesse, con conseguenze nefaste sulla salute degli individui fatalmente esposti.



# Particelle alfa

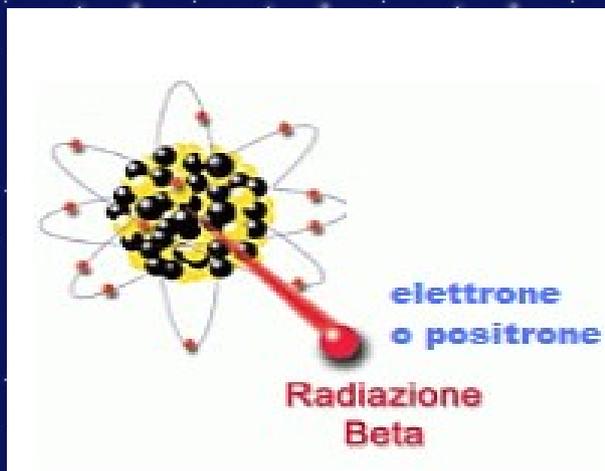


- Le **particelle alfa** sono una forma di **radiazione corpuscolare altamente ionizzante** e con un **basso potere di penetrazione**. I raggi alfa, a causa della loro carica elettrica, interagiscono fortemente con la materia e vengono facilmente assorbiti dai materiali e possono viaggiare solo per pochi centimetri nell'aria.
- Possono essere assorbiti dagli strati più esterni della pelle umana e così generalmente non sono pericolosi per la vita a meno che la sorgente non venga inalata o ingerita. In questo caso i danni sarebbero invece maggiori di quelli causati da qualsiasi altra radiazione ionizzante. Es. il polonio-210



# Particelle beta

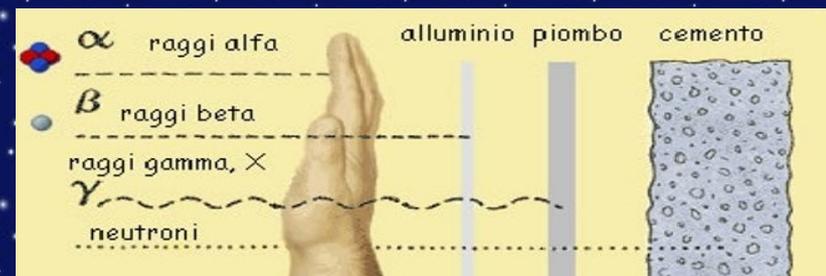
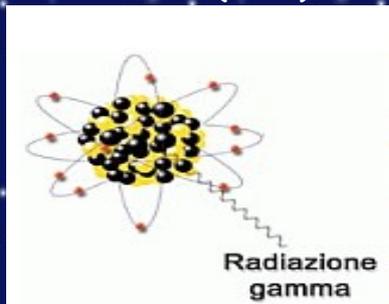
- Le particelle beta sono **elettroni ad alta velocità** emessi dai nuclei degli atomi. Queste particelle sono molto più piccole delle particelle alfa e possono penetrare fino a 1-2 centimetri di acqua o di tessuto umano.
- Le particelle beta sono emesse da vari elementi radioattivi. Esse possono essere fermate da un foglio di alluminio di alcuni millimetri di spessore. L'interazione delle particelle beta con la materia ha generalmente un raggio d'azione dieci volte superiore e un potere ionizzante pari a un decimo rispetto all'interazione delle particelle alfa. Vengono bloccate completamente da pochi millimetri di alluminio.
- Es. il cannone elettronico dei tubi catodici usati nei televisori può essere considerato una sorgente di radiazione beta, che viene fermata dai fosfori posti all'interno del tubo per creare la luce.



# Raggi X e Raggi gamma

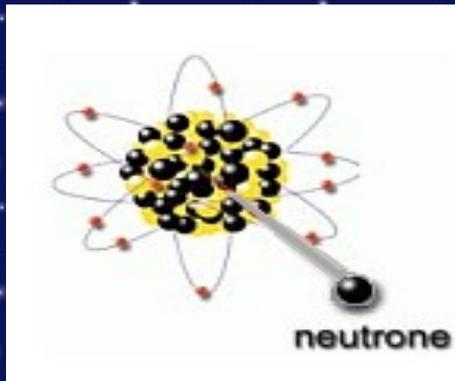
- I raggi X e i raggi gamma, come la luce, rappresentano l'energia trasmessa attraverso un'onda elettromagnetica senza movimento di materiale, così come il calore e la luce del fuoco o del sole viaggia nello spazio. Al contrario delle radiazioni alfa e beta, le radiazioni gamma sono **molto penetranti** e per bloccarle occorrono rilevanti spessori di materiali ad elevata densità come il piombo.
- Non hanno massa, quindi sono costituite esclusivamente da una radiazione di tipo elettromagnetico che viene emessa dal nucleo di un elemento instabile durante il suo processo di decadimento. È per questo motivo che sono altamente penetranti.
- Possono percorrere diverse centinaia di metri in aria, attraversano facilmente il corpo umano, causando un grave deterioramento nel DNA delle cellule di cui è composto. Possono essere fermate solamente da alcuni centimetri di piombo, o alcuni decimetri di cemento.

Ad esempio il cesio 137 ( $Cs-137$ ) decade nel bario 137 che però si troverà ancora in uno stato eccitato definito metastabile ( $Ba-137m$ ). Quest'ultimo poi si trasforma in uno stato più stabile ( $Ba-137$ ) attraverso emissione di energia sotto forma di una radiazione ondulatoria di tipo gamma. Le energie delle radiazioni gamma possono essere nel range di alcune decine di migliaia di elettronvolt (keV) fino a circa due megaelettronvolt (2MeV)



# Neutroni e Protoni

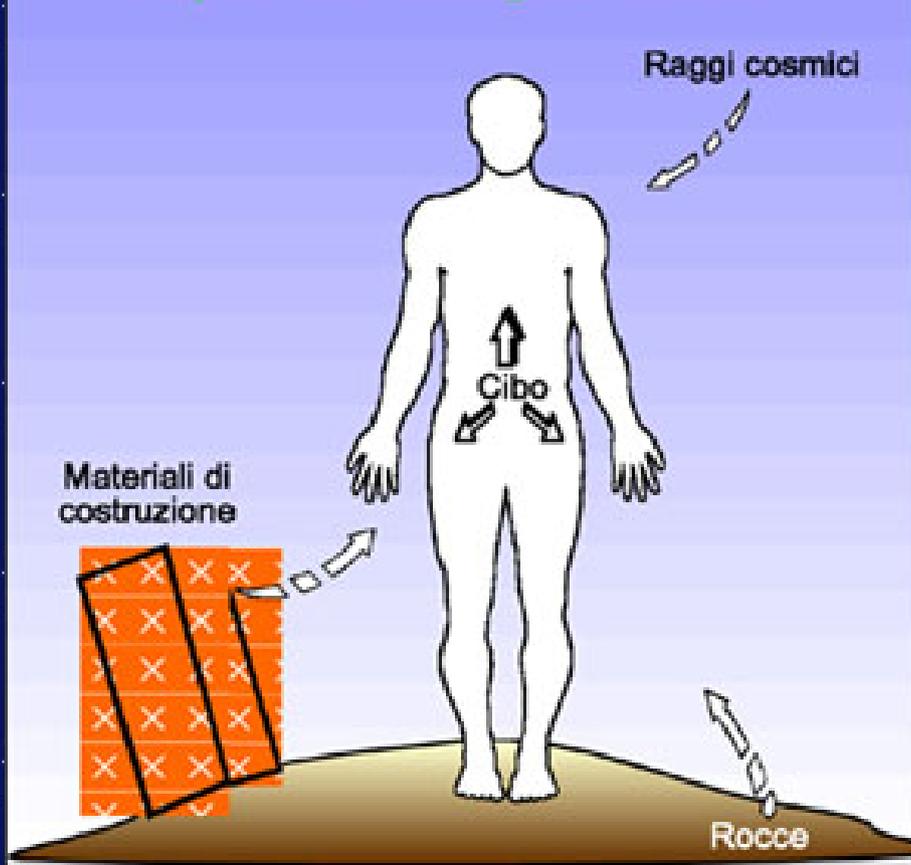
- I neutroni con i protoni, sono delle particelle pesanti che costituiscono il nucleo degli atomi e sono ancora più penetranti.
- Le più importanti sorgenti artificiali di neutroni sono costituite dai reattori nucleari che sfruttano la fissione nucleare per spaccare il nucleo degli atomi rilasciando neutroni e grandi quantità di energia. Le energie dei neutroni all'interno dei reattori variano da meno di 0,1 elettronvolt (eV) fino a circa 10 MeV.
- L'assenza di carica elettrica dà ai neutroni un elevato potere di penetrazione della materia dipendente dalla loro energia. In natura i neutroni sono presenti per effetto delle interazioni nucleari delle particelle o radiazioni presenti nel cosmo con l'atmosfera
- L'acqua ed il cemento sono tra gli schermi più comunemente usati contro la radiazione proveniente dal nocciolo di un reattore nucleare.



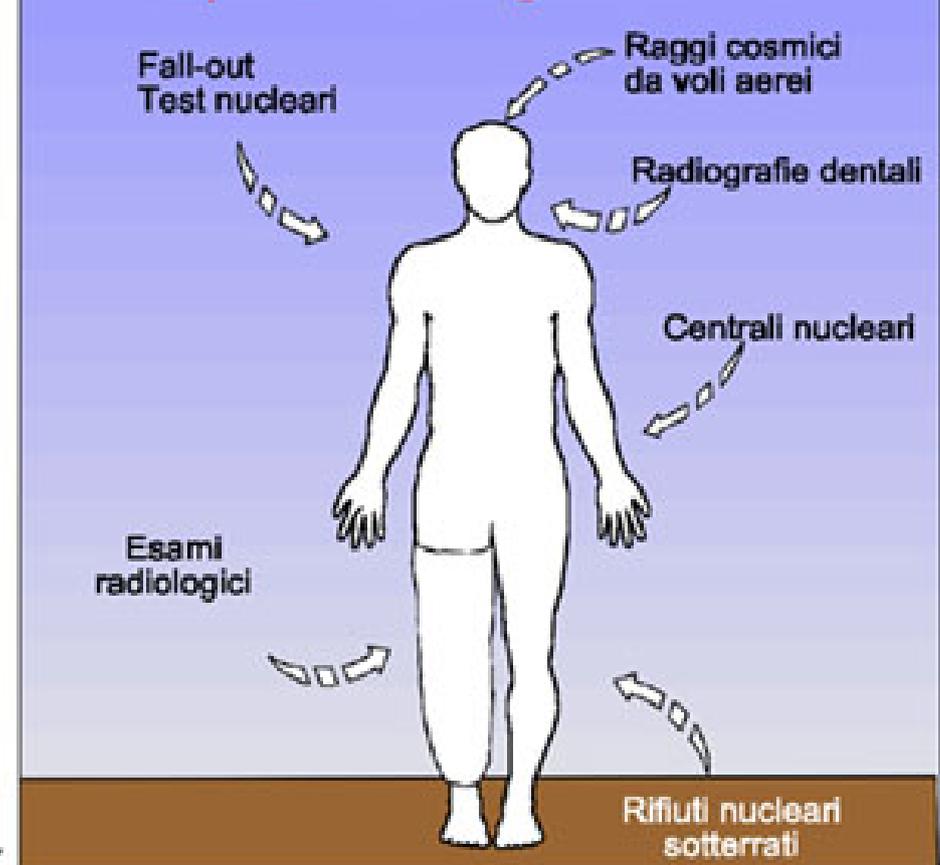
# LE SORGENTI DELLE RADIAZIONI

Le sorgenti di radiazioni si possono dividere in due grandi categorie:

## Esposizione a Sorgenti Naturali



## Esposizione a Sorgenti Artificiali



# Sorgenti Naturali

sono di gran lunga la fonte principale di radiazioni a cui è sottoposta la popolazione

## Le sorgenti naturali di radiazioni

- ❑ **Raggi cosmici:** provengono dallo spazio (supernovae) – costituiti da particelle di vario tipo e con differenti energie. Possono dare dosi significative a chi effettua frequenti voli ad alta quota

### ❑ Radionuclidi naturali

Primordiali: esistenti dalla formazione della terra e ancora presenti per il loro lunghissimo tempo di dimezzamento (U-238, U-235, Th-232 e loro figli, K-40)

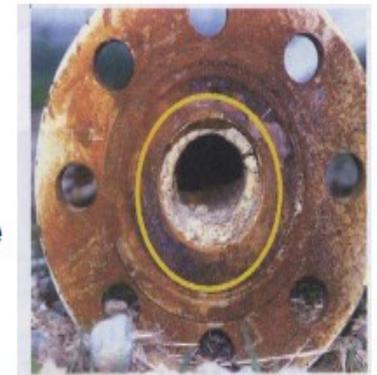
Cosmogenici: prodotti dalla interazione dei raggi cosmici con l'atmosfera (C-14, Be-7, H-3)

## Dove si trovano i radionuclidi naturali?

- ❑ Nel terreno, nelle rocce, nel magma
- ❑ Nell'aria
- ❑ Nel corpo degli esseri viventi
- ❑ Negli alimenti
- ❑ .....
- ❑ Concentrati in alcuni tipi di materiali a seguito di lavorazioni  
(**NORM:** Naturally Occurring Radionuclide Materials)

### Esempi di NORM:

- ❑ residui della produzione di fertilizzanti fosfatici o di acido fosforico
- ❑ polveri prodotte dalle acciaierie
- ❑ incrostazioni nelle tubazioni nell'estrazione e raffinazione di petrolio e gas



“Bombardano” continuamente la terra e hanno vite medie molto lunghe (maggiore delle migliaia di anni)

# Sorgenti Artificiali

sono prodotte dall'uomo per innumerevoli applicazioni: settore medico, settore industriale, produzione di energia, ricerca scientifica e tecnologica, settore ambientale, geologia, archeologia, settore della sicurezza etc.

Le **sorgenti radiogene** sono apparecchiature in grado di **generare radiazioni ionizzanti**, tipicamente raggi X.

Sfruttano l'accelerazione delle particelle cariche (elettroni, protoni, ecc.) al fine di produrre fasci molto intensi di queste particelle ionizzanti. Analogamente ad una lampadina che emette luce solamente quando è accesa, le macchine radiogene emettono radiazioni solo quando sono in funzione.

Le **sorgenti radioattive** sono dei materiali, naturali od artificiali, che per la loro natura di elementi (nuclei atomici) instabili tendono a stabilizzarsi, ovvero ad emettere energia, sotto forma "di radiazione (alfa, beta, gamma, etc... ) Sono 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.

# Sorgenti di radiazioni ionizzanti

Tipologia	Carattere	Esempi di applicazioni	Rischio
Macchine radiogene	Artificiale	Diagnostica medica	Esposizione esterna
Sostanze radioattive	Naturale	Ricerca su cavie (traccianti)	Esposizione, inalazione e ingestione
Acceleratori	Artificiale	Radiodiagnostica e radioterapia	Esposizione esterna

# Radiazione di fondo



**La radioattività non é stata inventata ma scoperta dall'uomo!**

Gli esseri viventi, dalla loro apparizione sulla Terra, sono immersi in un vero e proprio bagno di radioattività.

Siamo esposti alla **radiazione di fondo** (naturale ed artificiale) dovuta ai raggi cosmici, alle sostanze radioattive naturali presenti sulla Terra e ai materiali radioattivi prodotti dall'uomo e immessi nell' ambiente. Il contributo di dose dovuto a questa radiazione varia da luogo a luogo, dall' altitudine, dalla composizione del suolo ecc.

Un chilogrammo di granito ha una radioattività naturale di circa 1000 Becquerel.



Un litro di latte ha una radioattività naturale di circa 80 Becquerel.



Un litro di acqua di mare ha una radioattività naturale di circa 10 Becquerel.



Un individuo di 70 kg ha una radioattività dell'ordine di 8000 Becquerel, causata dalla presenza, nel corpo umano, di isotopi radioattivi naturali (in gran parte, potassio-40)



# Qualche definizione...

## **Irradiazione esterna:**

la sorgente della radiazione resta all'esterno del corpo umano

## **Irradiazione interna:**

la sorgente viene introdotta nell'organismo (definita anche come **contaminazione interna**)

## **Sorgente non sigillata:**

Le sorgenti non sigillate (spesso come soluzione o sospensione liquida) vengono impiegate in genere come traccianti radioattivi, o per analisi radiochimiche e di laboratorio. Gli isotopi sono a contatto diretto con l'aria dell'ambiente in cui si lavora, per cui il rischio di contatto di ingestione o inalazione è elevato e pertanto l'uso dei dispositivi di protezione è fondamentale.

## **Sorgente sigillata:**

sorgente formata da materie radioattive solidamente incorporate in materie solide e inattive, o sigillate in un involucro inattivo, che presenti una resistenza sufficiente per evitare, in condizioni normali d'impiego, dispersione di materie radioattive superiore ai valori stabiliti dalle norme di buona tecnica applicabili.

# La radioattività nel nostro laboratorio

Cosa facciamo???

**RICERCA DI RADIONUCLIDI IN MATRICI ALIMENTARI ATTRAVERSO IL SISTEMA DI SPETTROMETRIA GAMMA:**

- POS CCR 018-019 NOR

**DOSAGGI ORMONALI IN MATRICI SIERICHE ATTRAVERSO KIT RADIOIMMUNOLOGICI E CONTATORI GAMMA-COUNTER per I-125:**

- Progesterone, Testosterone, T3, T4, FT4, Cortisolo

**RICERCA DI ALIMENTI IRRAGGIATI ATTRAVERSO L'APPARECCHIATURA DI LUMINESCENZA FOTOSTIMOLATA (PSL) E RISONANZA PARAMAGNETICA ELETTRONICA (EPR)**

- POS CCR 002 NOR
- POS CCR 007 NOR

# La radioattività nel nostro laboratorio

## RICERCA DI RADIONUCLIDI IN MATRICI ALIMENTARI ATRRAVERSO IL SISTEMA DI SPETTROMETRIA GAMMA:

- POS CCR 018-019 NOR

La spettrometria gamma ad alta risoluzione con rivelatori al germanio iperpuro (HPGe da High Purity Germanium) è una tecnica analitica non distruttiva che permette l'identificazione e la quantificazione simultanea di centinaia di radionuclidi, sia naturali sia artificiali, tramite semplici trattamenti - costituiti essenzialmente da operazioni di omogeneizzazione e concentrazione - dei campioni sottoposti a prova.

Si tratta di radionuclidi artificiali immessi nell'ambiente, per esempio durante la verifica del funzionamento di armi nucleari, incidenti causati da reattori nucleari (Chernobyl & Fukushima), dalle scorie di fissione rilasciate nell'ambiente o dall'industria di riprocessamento:  **$^{137}\text{Cs}$** ,  **$^{134}\text{Cs}$** ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  **$^{131}\text{I}$** ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Zr}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ; altri provengono da fonti antropogeniche legate all'industria e alla medicina:  **$^{152}\text{Eu}$** ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{60}\text{Co}$

# K-40

- È uno dei più importanti radionuclidi primordiali profondamente distribuito nella crosta terrestre ed è presente in quantità misurabili nei materiali da costruzione.
- Il decadimento del  $^{40}\text{K}$  è seguito dall' emissione di un fotone gamma di energia 1460 KeV, la cui rivelazione permette di identificare la presenza in un campione e di quantificare il contenuto.
- In ciascun essere vivente infatti il potassio è anche presente. Un uomo di 70 Kg contiene circa 140g di potassio distribuito nei muscoli e nelle ossa (le ossa hanno una concentrazione di quasi 17mg, che corrisponde ad una attività di 4.4 KBq di  $^{40}\text{K}$ )

# Cs-137

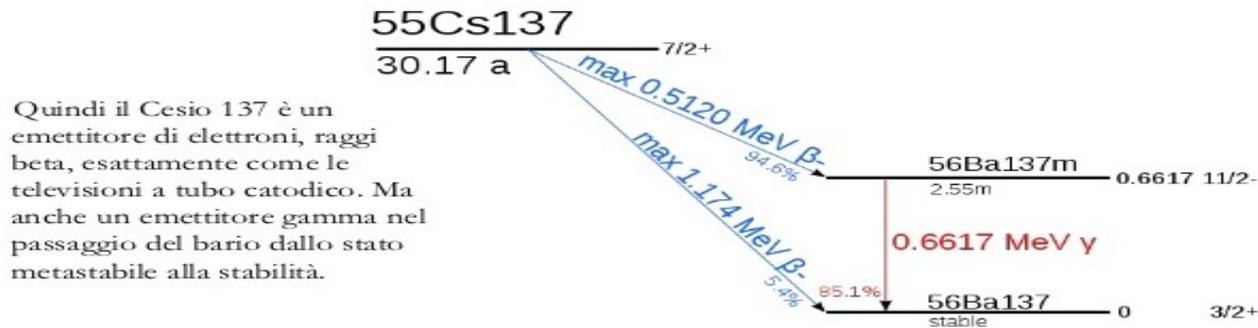
- Il cesio-137 ( $^{137}\text{Cs}$ , Cs-137) è un isotopo radioattivo del metallo alcalino cesio che si forma principalmente come un sottoprodotto della fissione nucleare dell'uranio, specialmente nel reattore nucleare a fissione.

## Il decadimento del Cesio137

Il Cesio 137 tende a decadere, per emissione di un elettrone (raggi beta) in Bario 137.

Il Cesio 137 ha una emi-vita di **30,17 anni**.

In sintesi quindi, dati 1000 atomi di Cesio 137 al tempo  $t_0$ , dopo 30,17 anni troveremo che 500 atomi saranno ancora nella situazione iniziale mentre 500 saranno decaduti in Bario che avrà lo stesso numero atomico 137 del Cesio Originale ma in cui un protone si è trasformato in neutrone. Nell'esempio si evidenzia come, in realtà, il processo di decadimento avvenga in due modalità alternative.



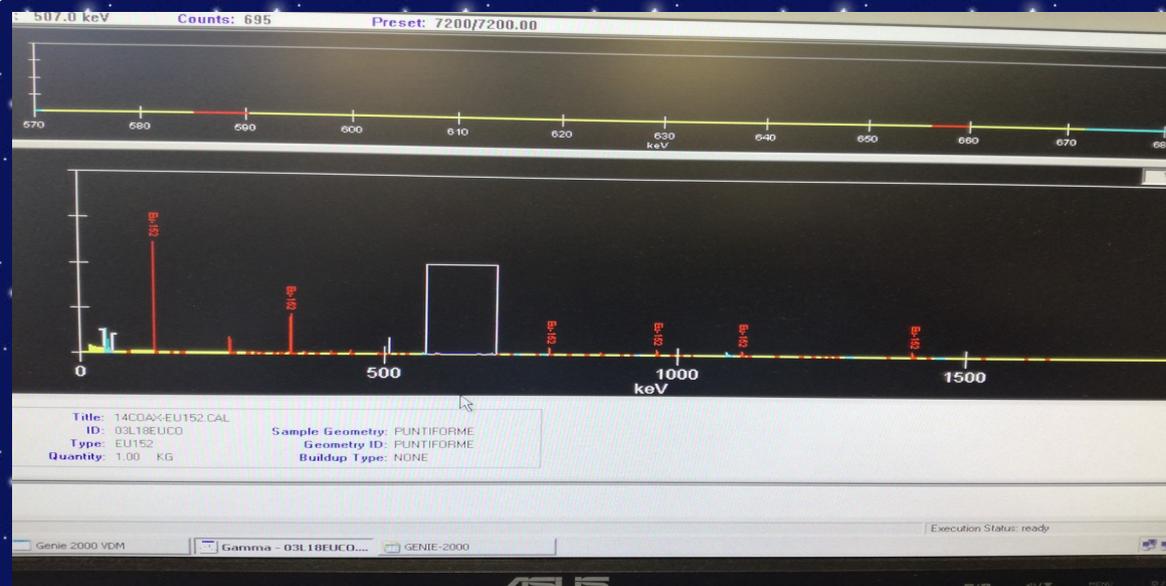
- L'energia del fotone prodotto dal Ba-137m è di 662 keV. Questi fotoni possono essere utili per l'irraggiamento degli alimenti e nella radioterapia del cancro.
- L'ingestione accidentale del cesio-137 può essere trattata con il colorante blu di Prussia che si lega a esso chimicamente accelerando la sua espulsione dal corpo.

# I-131

- Lo iodio-131 ( $^{131}\text{I}$ ) è un radioisotopo importante dello iodio.
- La sua emivita di decadimento radioattivo è di circa 8 giorni.
- I suoi utilizzi sono principalmente nell'ambito medico e farmaceutico.
- Rappresenta però anche un pericolo radioattivo in quanto è uno dei prodotti principali della fissione dell'uranio, del plutonio e indirettamente del torio.
- Costituisce uno dei principali fattori di rischio per la salute risultante dalle esplosioni nucleari

# EU-152

- È una sorgente sigillata
- Definita sorgente puntiforme
- Utilizzata per la taratura in efficienza ed in energia del sistema di Spettrometria Gamma
- E' un radionuclide con emissioni multiple (ricopre sullo spettro tutto l'intervallo delle energie di interesse)



# La radioattività nel nostro laboratorio

DOSAGGI ORMONALI IN MATRICI SIERICHE ATTRAVERSO KIT RADIOIMMUNOLOGICI E CONTATORI GAMMA-COUNTER per I-125:

- Progesterone, Testosterone, T3, T4, FT4, Cortisolo

## I-125

- Sorgente non sigillata
- Principale isotopo utilizzato nel RIA per il dosaggio degli ormoni
- Dosaggi radioimmunologici in cui lo I-125 marca l'antigene
- Emette radiazioni gamma
- Tempo di dimezzamento: 60 giorni.



# La radioattività nel nostro laboratorio

RICERCA DI ALIMENTI IRRAGGIATI ATTRAVERSO L'APPARECCHIATURA DI LUMINESCENZA FOTOSTIMOLATA (PSL) E RISONANZA PARAMAGNETICA ELETTRONICA (EPR)

- POS CCR 002 NOR e POS CCR 007 NOR
- Metodi utilizzati per valutare l'eventuale trattamento con radiazioni ionizzanti subito dagli alimenti ai fini conservativi
- Tale trattamento quando applicato con procedure corrette è ritenuto sicuro ed è previsto l'obbligo di etichettatura
- Gli alimenti da irraggiare sono posti su un nastro trasportatore e fatti passare sotto un fascio di radiazioni (raggi gamma) sprigionate da sorgente radioattiva, come il Cobalto 60 o più raramente il Cesio 137, o da un generatore di elettroni. Visto il basso livello energetico delle radiazioni in gioco, il processo induce un aumento trascurabile della temperatura e non causa alcuna reazione nucleare negli alimenti, che non divengono quindi a loro volta radioattivi. Negli impianti le placche di Cobalto-60 sono conservate protette da spesse pareti di calcestruzzo, sotto metri di acqua, da cui vengono fatte uscire solo al momento dell'utilizzazione.

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE!!!**