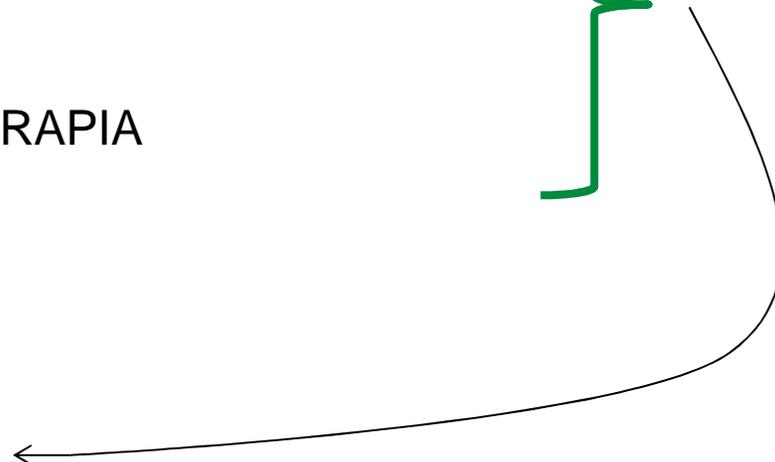


Alcuni elementi hanno quindi isotopi i cui nuclei hanno proprietà utili per alcune applicazioni mediche

in diagnostica si è vista la RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE

in diagnostica si usa anche la PET (TOMOGRAFIA A EMISSIONE DI POSITRONI) o altre emissioni radioattive

in terapia la RADIOTERAPIA



*In queste ultime applicazioni si rileva o si sfrutta l'emissione di radiazioni*

Il numero di protoni presenti in un atomo si chiama **numero atomico = Z** ogni elemento differisce per il numero Z

**ISOTOPI** atomi di uno stesso elemento ma con un  $\neq$  N° di neutroni  
x es.  $^{14}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$

l'H ha 3 isotopi:  $^1\text{H}$  prozio (il + abbondante)

$^2\text{H}$  deuterio (6000 volte – abbondante)

$^3\text{H}$  trizio (praticamente non esiste in natura ma viene prodotto artificialmente, è radioattivo)

La stabilità di un isotopo è determinata dal rapporto protoni/neutroni

Elementi a basso N° atomico sono stabili quando  $Z=N$

Elementi ad alto N° atomico sono stabili quando  $N>Z$

**RADIOISOTOPI** sono isotopi instabili che x stabilizzarsi, in seguito a variazioni della struttura del loro nucleo, emettono particelle e/o radiazioni elettromagnetiche (fenomeno chiamato **DECADIMENTO RADIOATTIVO**)

**SONO IN PREVALENZA PRODOTTI ARTIFICIALMENTE**

*Elementi molto pesanti ( $Z > 83$ ), la stabilità del nucleo non è mai del tutto raggiunta.*

## Decadimento radioattivo o disintegrazione

un processo di **trasformazione nucleare**, con liberazione di **energia nucleare**, di un **radionuclide padre**, in un **nuclide figlio o progenie**, il quale può essere a sua volta **stabile** o instabile.

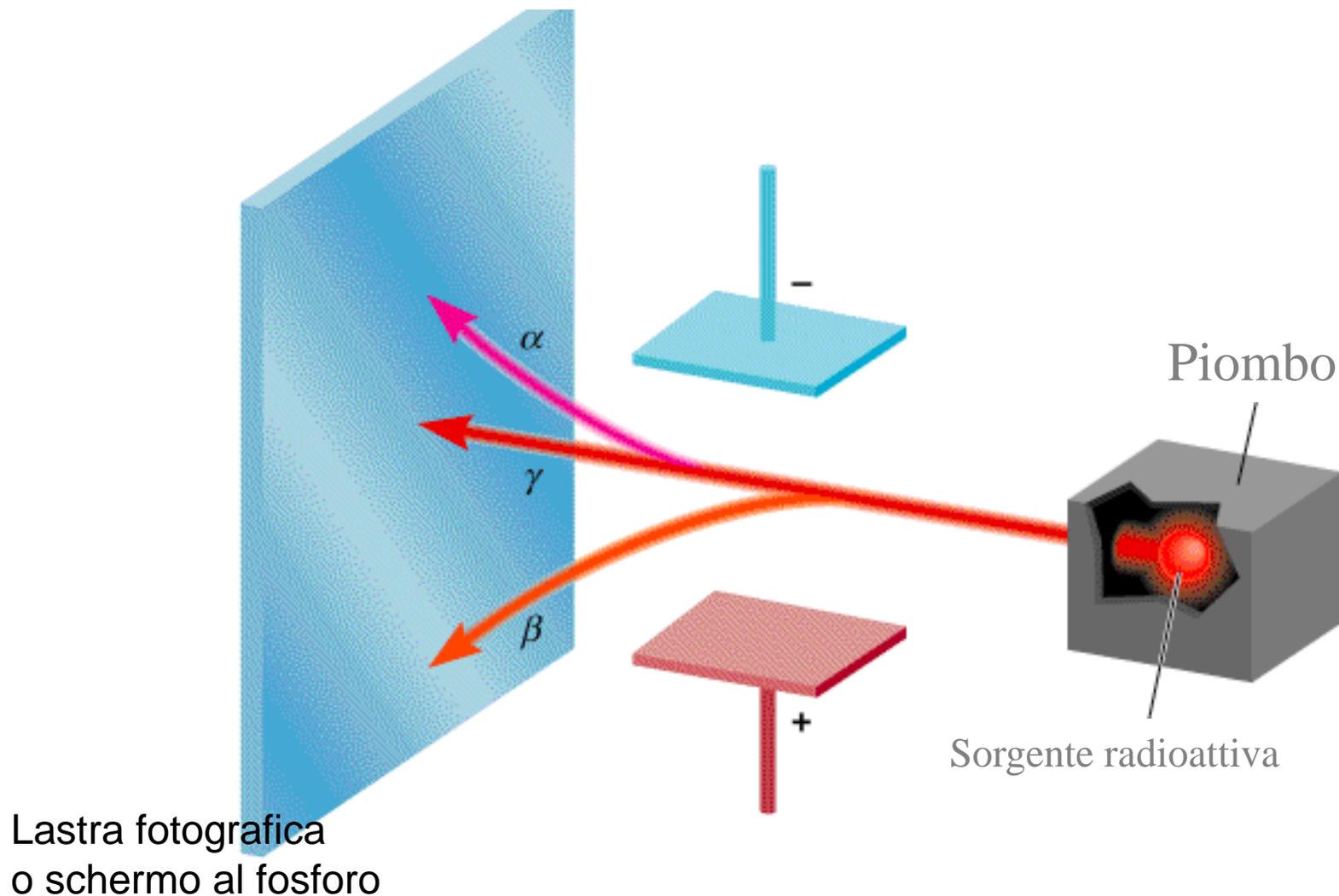
*Se il figlio è stabile, il processo di decadimento è terminato.*

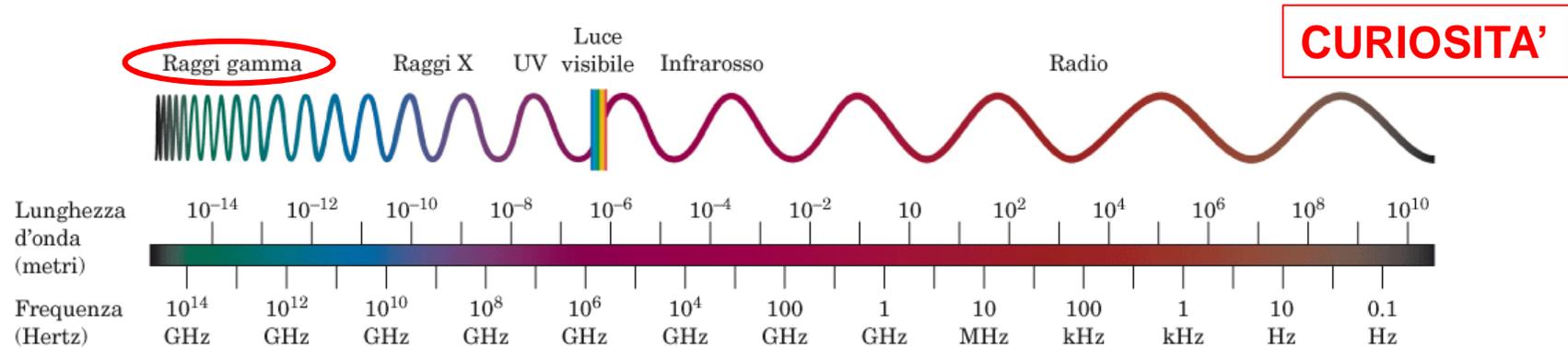
*Se anche il figlio è instabile, inizia un nuovo processo di decadimento che può anche essere **differente rispetto a quello del suo predecessore**.*

**TRASMUTAZIONE NUCLEARE** = processo con cui un elemento chimico per mezzo di reazioni nucleari viene trasformato in un altro

Se artificialmente, mediante bombardamento con particelle accelerate x es. da ciclotroni o sincrotroni.

# I tre tipi di radiazione emessa da una sostanza radioattiva naturale

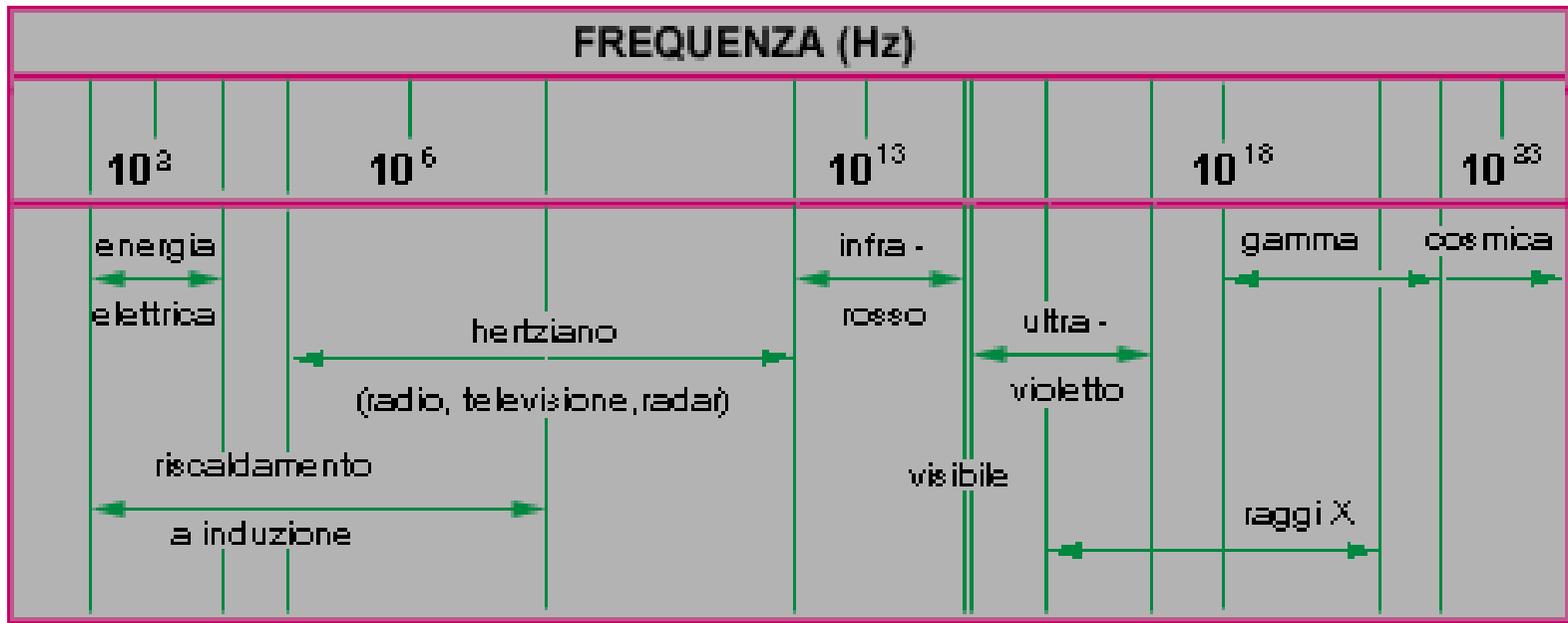




**FIGURA 10.3** Lo spettro elettromagnetico.

$$C = v\lambda \quad \text{dove } c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$E = h\nu \quad \text{dove } h = \text{cost. di Plank} = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J s}$$



1) Il decadimento mediante emissione di raggi  $\gamma$  si accompagna spesso a emissione anche di particelle  $\alpha$  e  $\beta$



Col decadimento viene emessa **energia**, che si esprime in eV

*1 ev = E acquisita da 1 e quando è accelerato da una ddp di 1 V*

*RADIOISOTOPI che emettono p. alfa hanno E di 4-8 MeV*

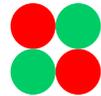
*beta e gamma sotto i 4 MeV*

$$\text{MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J} = 3,8 \times 10^{-14} \text{ cal}$$

# RADIAZIONI CORPUSCOLARI

2) **PARTICELLE  $\alpha$**  : 2 protoni e 2 neutroni, sotto forma di un nucleo di Elio  
(He)

(*decadimento alfa*)



3) **PARTICELLE  $\beta^-$**  o negatroni (elettroni di origine nucleare) •  
(*decadimento beta -*)

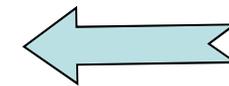
NEUTRONE  $\rightarrow$  PROTONE + *negatrone* + anti-neutrino



**Decadimento  
naturale**

4) **PARTICELLE  $\beta^+$**  o positroni •  
(*decadimento beta +*)

PROTONE  $\rightarrow$  NEUTRONE + *positrone* + neutrino



**Decadimento x lo  
+ artificiale**

**generalmente di elementi  
a basso numero atomico  
prodotti artificialmente**

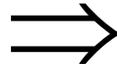
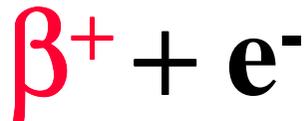
*Neutrino e anti-neutrino*

non hanno carica, hanno massa trascurabile e non interagiscono con la materia, ma hanno una certa quota di E

# Radiazione da annichilazione

**Origine:**

**nucleo deficitario di neutroni** → Z cala di 1



**0.511 MeV fotone**

**0.511 MeV fotone**

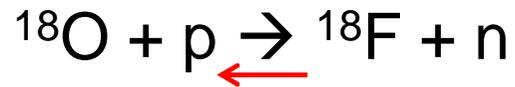


Particelle molto instabili, **una volta dissipata la loro energia interagiscono con gli e-** e **vengono annichiliti** cioè **la massa e l'E delle 2 particelle si trasformano in 2 raggi  $\gamma$  emessi a 180° l'uno rispetto all'altro**



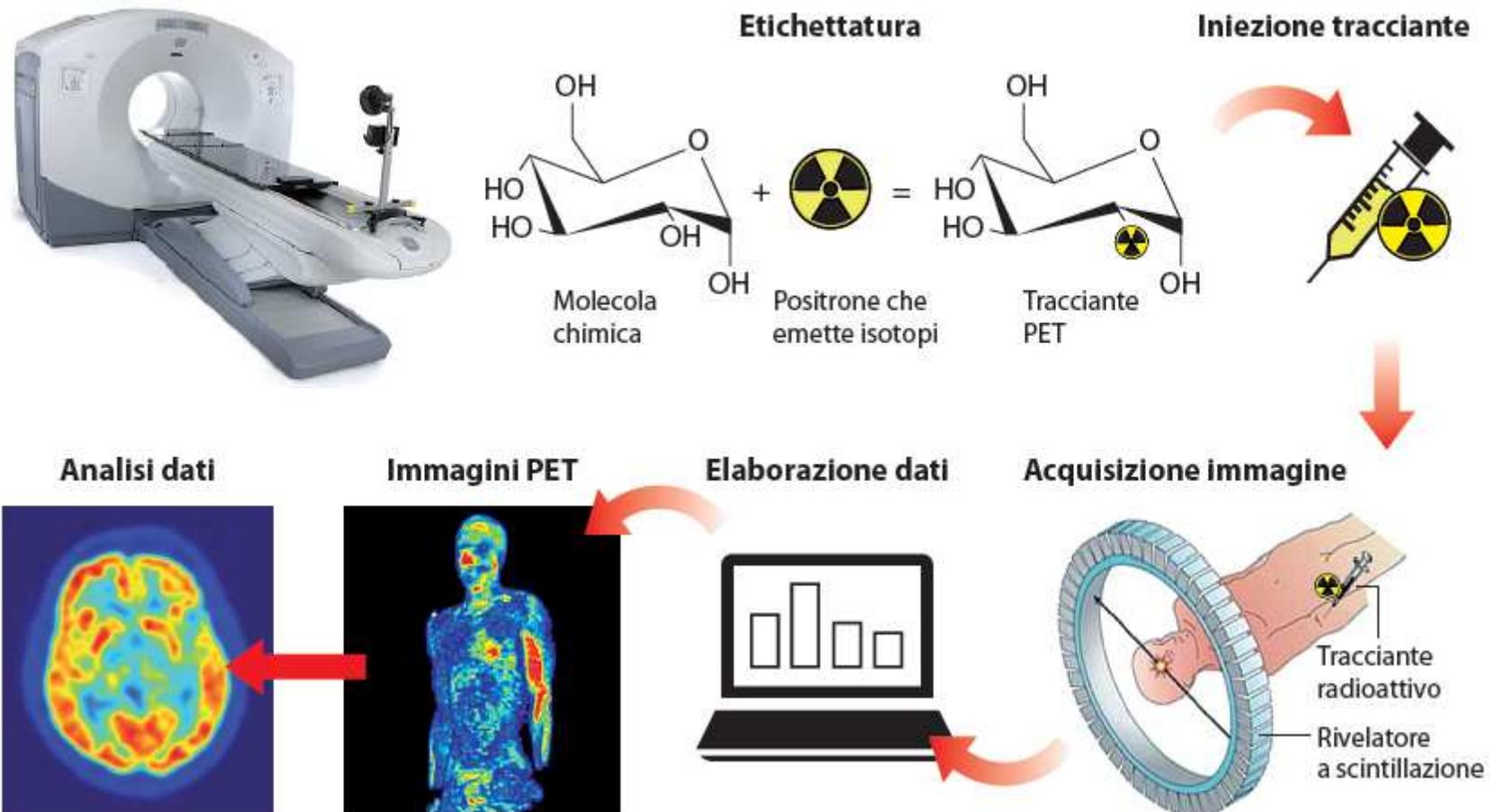
La PET (tomografia a emissione di positroni) usa il  ${}^{11}\text{C}$  per studiare le patologie cerebrali, altro emettitore  $\beta^+$  è il  ${}^{18}\text{F}$

Il  $^{18}\text{F}$  viene prodotto in un ciclotrone bombardando con protoni molecole di acqua  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  o altri composti (chiamati



**RADIOFARMACI)**

utilizzati in diagnostica o in terapia



## 5) CATTURA ELETTRONICA

spesso di elementi ad alto  $Z$  con nuclei deficitari di neutroni

Cattura K: cattura di un  $e$  dall'orbitale  $1s$

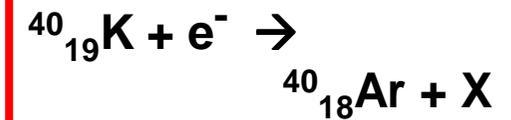
x es.  $^{125}\text{I}$

Protone +  $e \rightarrow \text{N} + \text{raggi X}$

o  $^7\text{Be}$

Protone +  $e \rightarrow \text{N} + \text{raggi } \gamma$

Anche



*Il  ${}^{40}\text{K}$  costituisce lo 0,01% della crosta terrestre ed è il responsabile della > parte della radiazione di origine naturale nelle specie viventi e nel suolo.*

I **Raggi X vengono emessi** quando vi è redistribuzione degli  $e$  del mantello esterno in modo tale che l'orbitale  $1s$  viene riempito con un  $e$  proveniente da orbitali più esterni

La velocità di disintegrazione dipende dalla concentrazione del radionuclide

Se si è in una condizione in cui vi è una proporzionalità diretta tra la V e la concentrazione di reagente

si può misurare il decadimento esponenziale del reagente, infatti il tempo in cui il reagente si dimezza è costante e quindi il decadimento è esponenziale

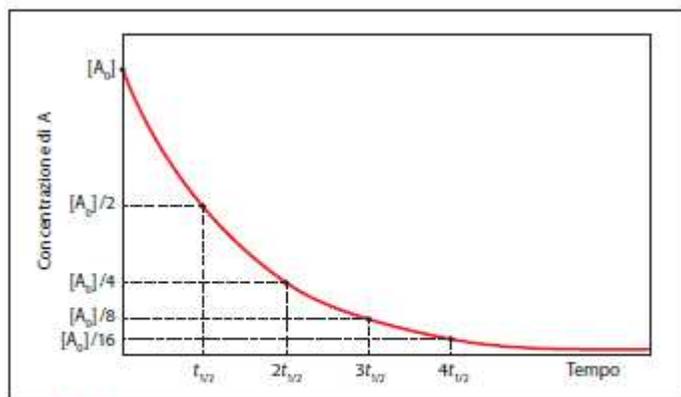


FIGURA 8.3 Grafico che rappresenta la dipendenza della concentrazione del reagente in funzione del tempo evidenziando i relativi tempi di dimezzamento: dopo un tempo pari a  $t_{1/2}$  la concentrazione del reagente sarà dimezzata, dopo un tempo pari a  $2t_{1/2}$  ne rimarrà un quarto, seguendo così un andamento esponenziale.

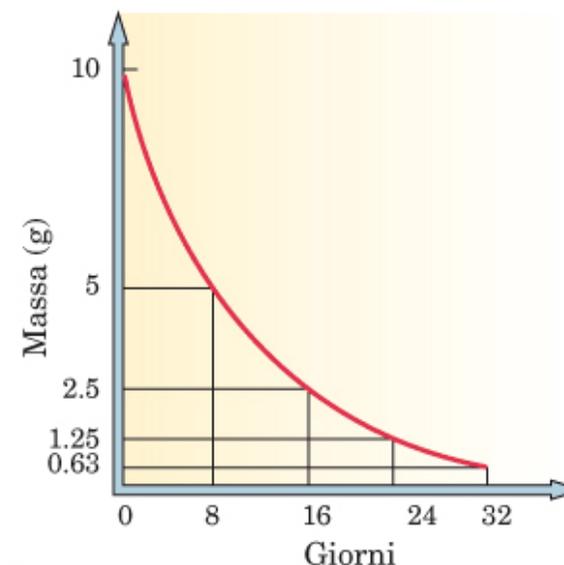
la cui equazione è  $[A_t] = [A_0] e^{-kt}$

se  $[A_t] = [A_0]/2$

$$[A_0]/2 = [A_0] e^{-kt} = 0,5 \quad e \quad -kt = \ln 0,5 = -0,693$$

da cui  $k = 0,693 / t$  di dimezzamento

Il decadimento radioattivo è esponenziale  
 e il **tempo di dimezzamento ( $t_{1/2}$  o emivita)** è  
 caratteristico di ogni isotopo



**TABELLA 10.2** Tempi di dimezzamento di alcuni nuclei radioattivi

Nome	Simbolo	Tempo di dimezzamento	Radiazione
Idrogeno-3 (trizio)	${}^3_1\text{H}$	12.26 anni	Beta
Carbonio-14	${}^{14}_6\text{C}$	5730 anni	Beta
Fosforo-28	${}^{28}_{15}\text{P}$	0.28 secondi	Positroni
Fosforo-32	${}^{32}_{15}\text{P}$	14.3 giorni	Beta
Potassio-40	${}^{40}_{19}\text{K}$	$1.28 \times 10^9$ anni	Beta + gamma
Scandio-42	${}^{42}_{21}\text{Sc}$	0.68 secondi	Positroni
Cobalto-60	${}^{60}_{27}\text{Co}$	5.2 anni	Gamma
Stronzio-90	${}^{90}_{38}\text{Sr}$	28.1 anni	Beta
Tecnezio-99m	${}^{99\text{m}}_{43}\text{Tc}$	6.0 ore	Gamma
Indio-116	${}^{116}_{49}\text{In}$	14 secondi	Beta
Iodio-131	${}^{131}_{53}\text{I}$	8 giorni	Beta + gamma
Mercurio-197	${}^{197}_{80}\text{Hg}$	65 ore	Gamma
Polonio-210	${}^{210}_{84}\text{Po}$	138 giorni	Alfa
Radon-205	${}^{205}_{86}\text{Rn}$	2.8 minuti	Alfa
Radon-222	${}^{222}_{86}\text{Rn}$	3.8 giorni	Alfa
Uranio-238	${}^{238}_{92}\text{U}$	$4 \times 10^9$ anni	Alfa

**GURA 10.4** La curva di decadimento dello iodio-131.

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



**Bettelheim, Brown, Campbell, & EdISES**  
**Chimica e propedeutica bioc**  
**EdISES**

**CURIOSITA'****TABELLA 10.5** Alcuni isotopi radioattivi utili in diagnostica per immagini

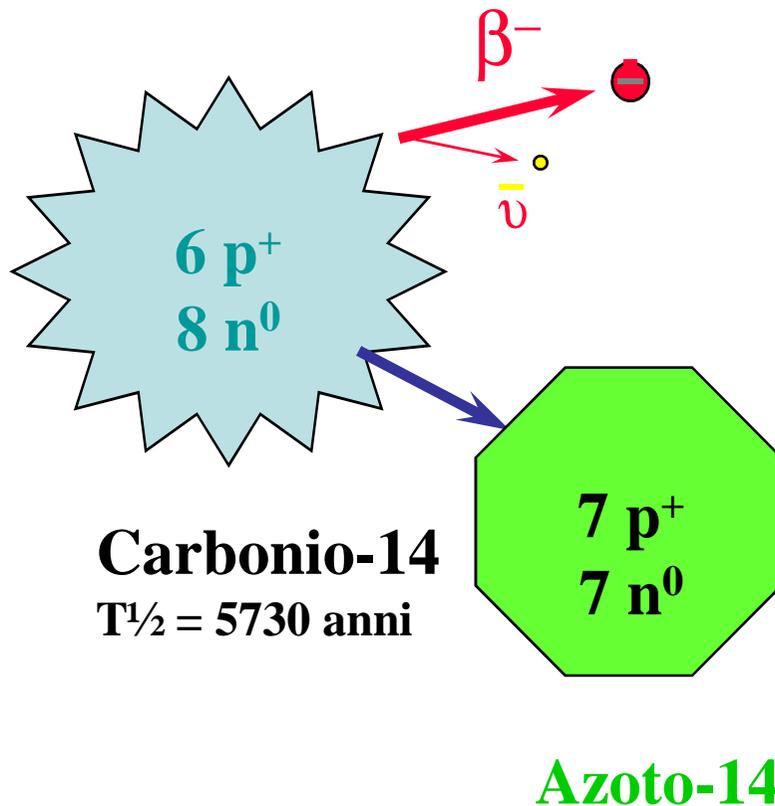
	<b>Isotopo</b>	<b>Tipo di decadimento</b>	<b>Emivita</b>	<b>Uso in diagnostica medica</b>
$^{11}_6\text{C}$	Carbonio-11	$\beta^+, \gamma$	20.3 m	Scansione del cervello per tracciare il metabolismo del glucosio
$^{18}_9\text{F}$	Fluoro-18	$\beta^+, \gamma$	109 m	Scansione del cervello per tracciare il metabolismo del glucosio
$^{32}_{15}\text{P}$	Fosforo-32	$\beta$	14.3 d	Diagnostica di tumori dell'occhio
$^{51}_{24}\text{Cr}$	Cromo-5	E.C., $\gamma$	27.7 d	Diagnosi di albinismo, immagini della milza e del tratto gastro-intestinale
$^{59}_{26}\text{Fe}$	Ferro-59	$\beta, \gamma$	44.5 d	Funzionamento del midollo osseo; diagnosi di anemie
$^{67}_{31}\text{Ga}$	Gallio-67	E.C., $\gamma$	78.3 h	Scansione del corpo completa per la diagnosi di tumori
$^{75}_{34}\text{Se}$	Selenio-75	E.C., $\gamma$	118 d	Scansione del pancreas
$^{81m}_{36}\text{Kr}$	Criptone-81m	$\gamma$	13.3 s	Scansione della ventilazione dei polmoni
$^{81}_{38}\text{Sr}$	Stronzio-81	$\beta$	22.2 m	Scansione per le patologie dell'osso, incluso il cancro
$^{99m}_{43}\text{Tc}$	Tecnezio-99m	$\gamma$	6.01 h	Scansioni di cervello, fegato, reni; diagnosi del muscolo cardiaco danneggiato
$^{131}_{53}\text{I}$	Iodio-131	$\beta, \gamma$	8.04 d	Diagnosi del malfunzionamento della tiroide
$^{197}_{80}\text{Hg}$	Mercurio-197	E.C., $\gamma$	64.1 h	Scansione dei reni
$^{201}_{81}\text{Tl}$	Tallio-20	E.C., $\gamma$	3.05 d	Scansione del cuore e test da sforzo

**C'è poi la radioterapia**

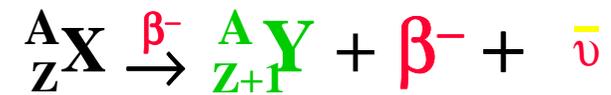


# Decadimento Beta<sup>-</sup> $\beta^-$

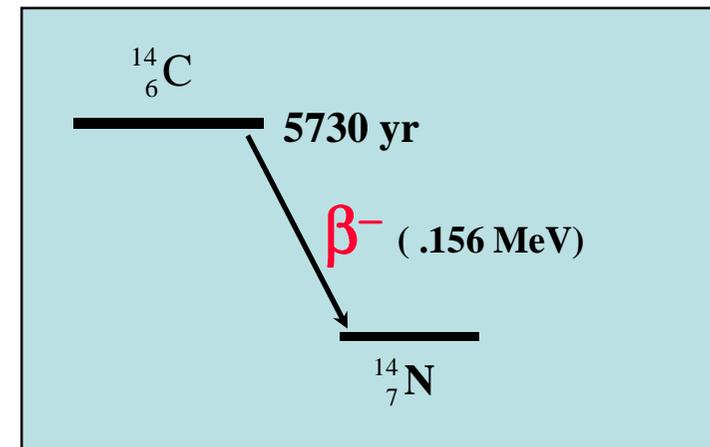
## Processo



## Equazione di decadimento



## Schema di decadimento

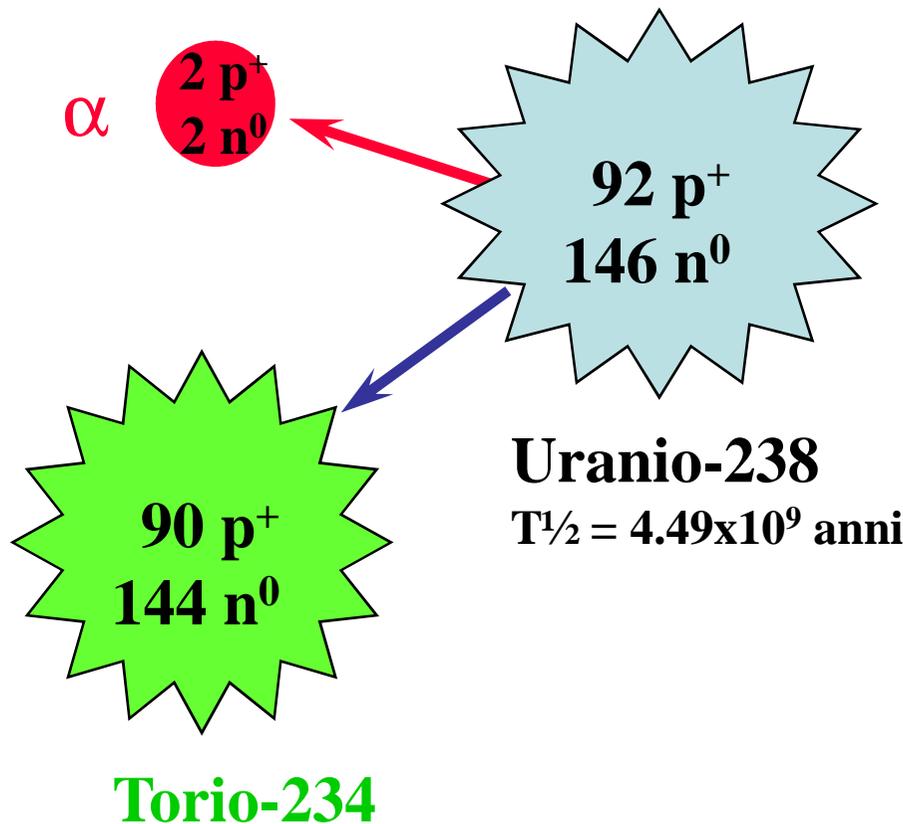


Anche  ${}^3\text{H}$ ,  ${}^{35}\text{S}$  e  ${}^{32}\text{P}$

# Decadimento Alfa $\alpha$

Riguarda isotopi di elementi ad alto Z (come  $^{226}\text{Ra}$ , che si trasforma in  $^{222}\text{Rn}$ , a sua volta radioattivo per cui si hanno serie di decadimenti e al termine si forma  $^{206}\text{Pb}$ )

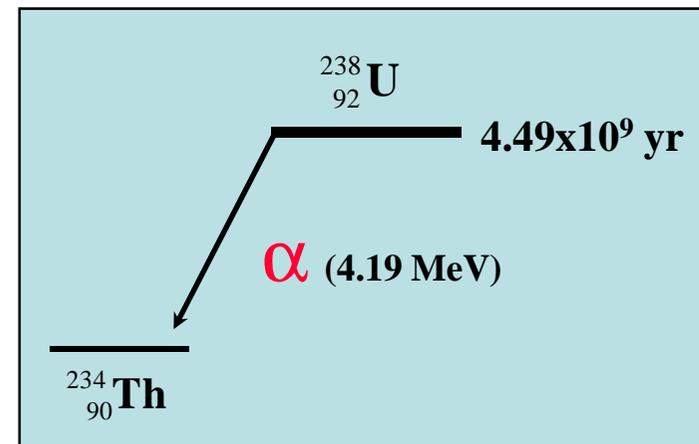
## Processo



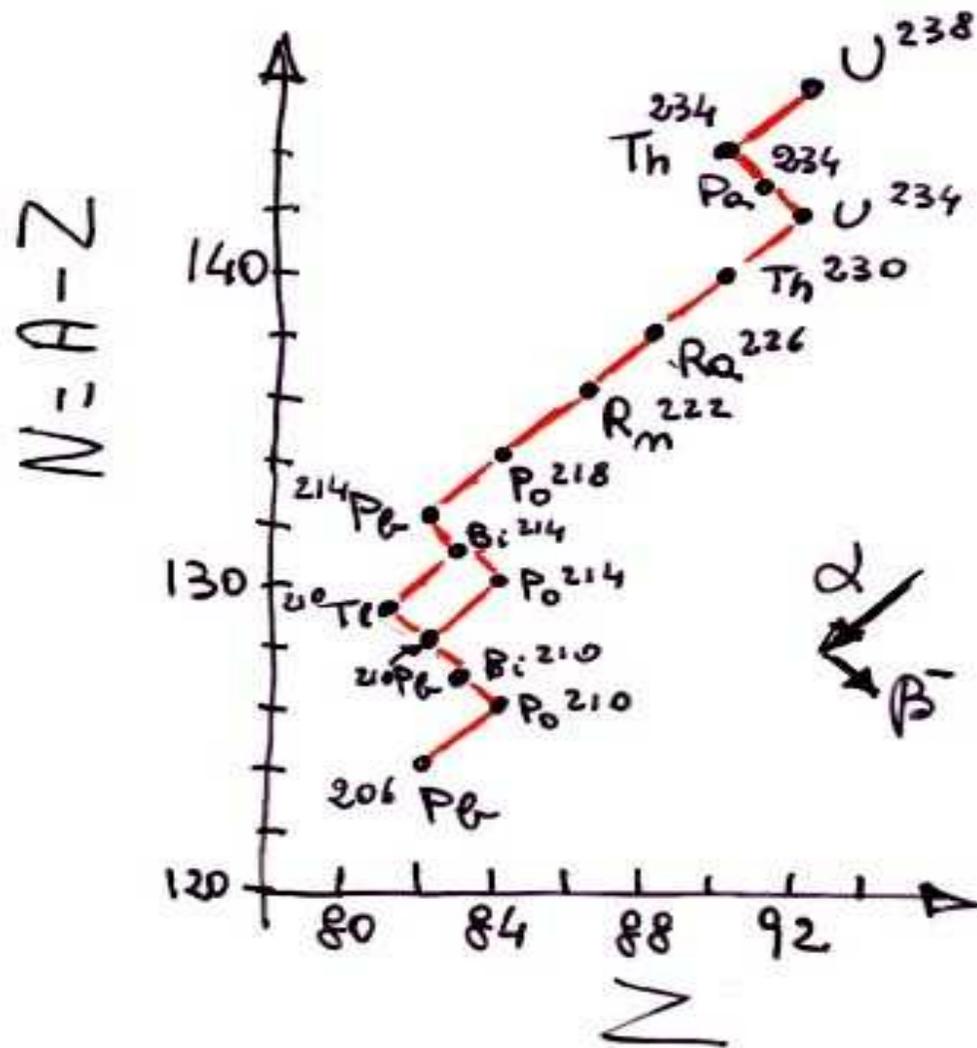
## Equazione di decadimento



## schema di decadimento



CURIOSITA'



# LA FAMIGLIA RADIOAT TIVA DEL Ra - 226

Le **lancette** sono **fluorescenti** perché vi è  $^{226}\text{Ra}$   
mescolato con solfuro di zinco, il quale viene  
eccitato dalle particelle alfa

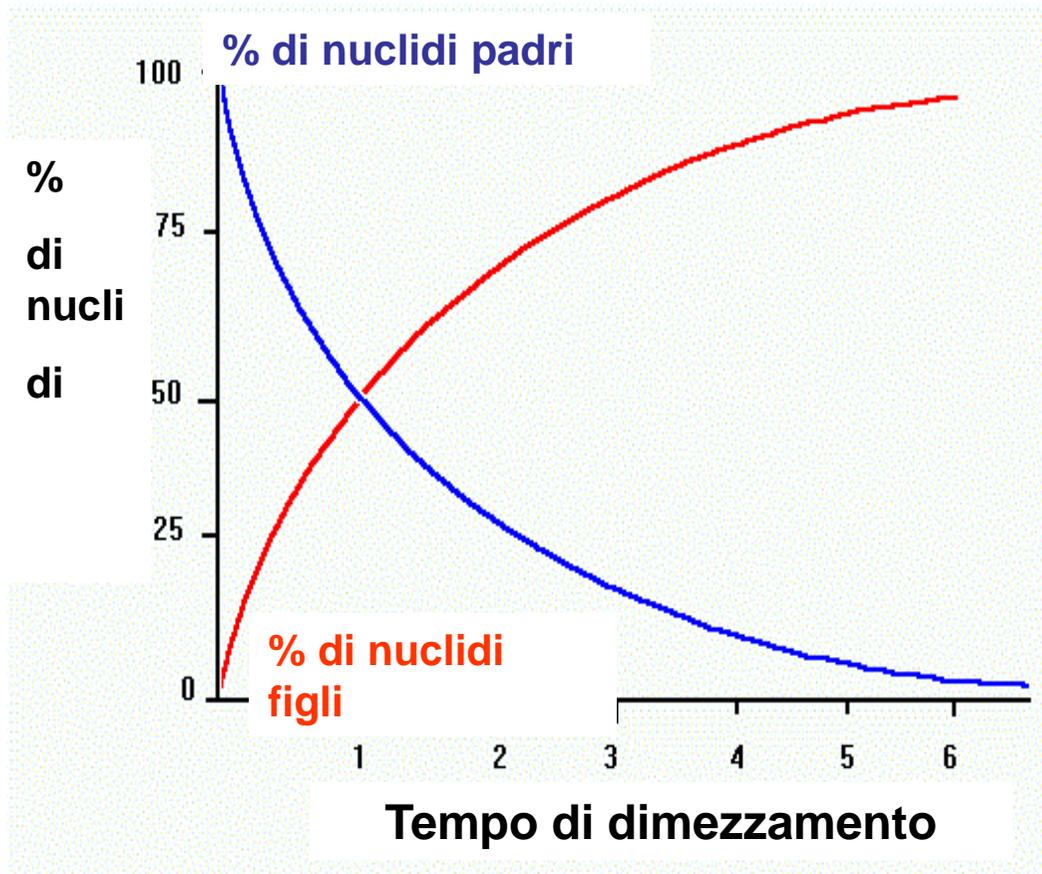
l'ECCITAZIONE consiste nel passaggio di elettroni  
a uno stato energetico più alto con successivo  
ritorno allo stato fondamentale e  
contemporanea emissione di luce → fenomeno della luminescenza e  
fluorescenza



# Altri processi di emissione di radiazione

- emissione di Neutroni
- emissione di Protoni
- fissione
- fusione
- e altri ... ..

# Tempo di dimezzamento radioattivo



La radioattività ci fornisce una metodica per misurare l'età degli oggetti semplicemente con il conteggio dei nuclidi padri e figli presenti nel campione. Campioni "giovani" conterranno molti padri e pochi figli, a differenza di campioni "vecchi" che, invece, avranno pochi nuclidi padri e molti figli. Questa tecnica nota sotto il nome di **radiodattazione** è utilizzata per datare "oggetti" terrestri con età comprese tra qualche migliaio di anni e miliardi di anni.

# ESEMPIO DI $T_{1/2}$

$T_{1/2} = 3.8 \text{ d}$  **Radon** ( $^{222}\text{Rn}$ )  
gas

**Polonio** ( $^{218}\text{Po}$ )  
solido

**Pericolosità  
del radon  
inspirato**

t=0

100%

0%

dopo  $1T_{1/2}$   
3.8 giorni

50%

50%

dopo  $2T_{1/2}$   
7.6 giorni

25%

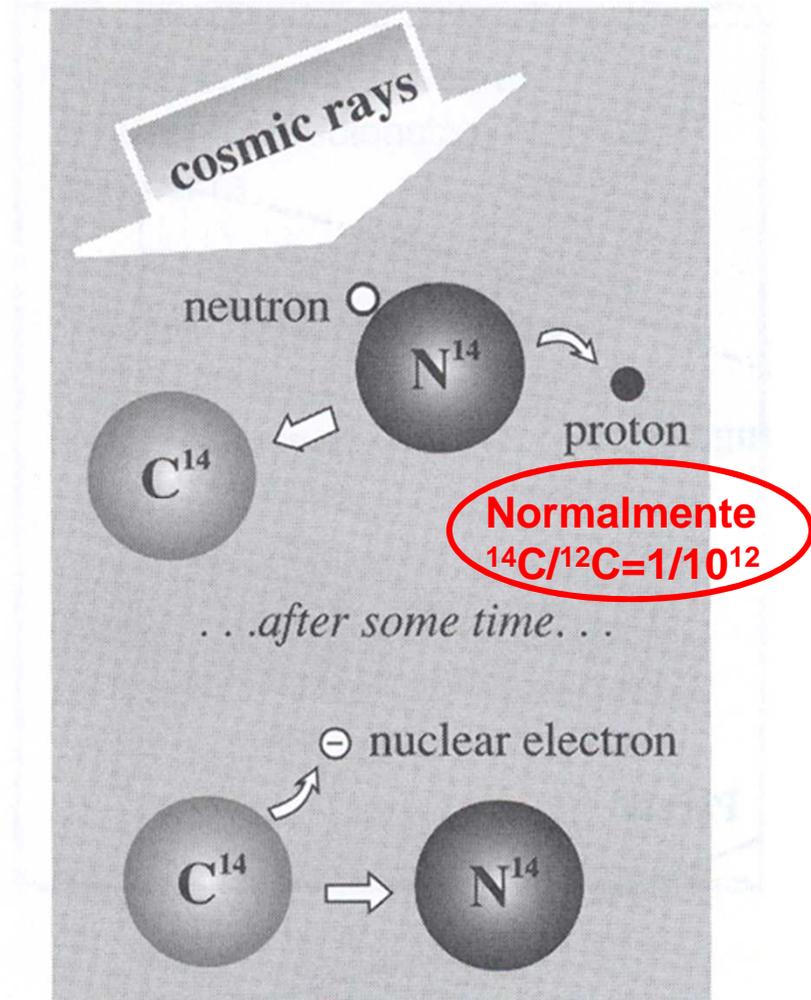
75%

# Radiodatazione

<u>Padre</u>	<u>Figlio</u>	<u>T<sub>1/2</sub></u>
Carbonio-14	Azoto-14	5,730 anni
Potassio-40	Argon-40	1.25 miliardi anni
Uranio-238	Piombo-206	4.5 miliardi anni
Thorio-232	Piombo-208	14 miliardi anni
Rubidio-87	Stronzio-87	48.8 miliardi anni
Samario-147	Neodimio-143	106 miliardi anni
Uranio-235	Piombo-207	704 miliardi anni

# Radiodatazione col Carbonio-14

1. I raggi cosmici (e- solari , p & n) entrano nell'atmosfera terrestre.
2. Urtano contro gli atomi dell'atmosfera espellendo neutroni energetici.
3. I neutroni a loro volta urtano contro N -14 (7p, 7n), producendo C-14 (6p,8n) e H (1p, 0n)
4. Gli esseri viventi assorbono continuamente C-14 (cioè come CO<sub>2</sub> durante la fotosintesi).
5. Quando l'animale o la pianta muoiono, cessano di assimilare C-14.
6. Il C-14 decade con un tempo di dimezzamento di 5730 anni.
7. Il rate di emissione di e- rivela l'età.



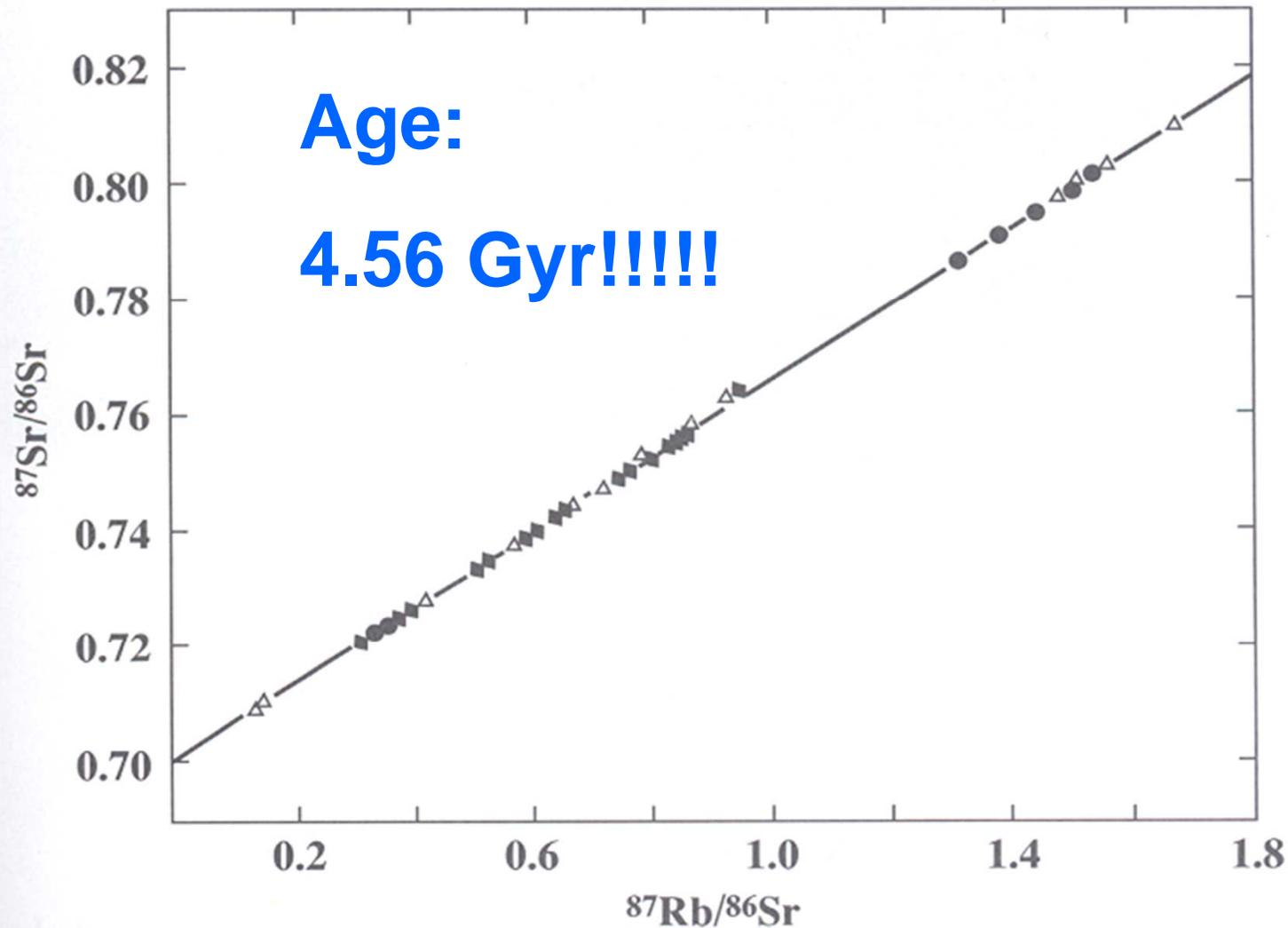
Età < 70,000 anni

**CURIOSITA'**

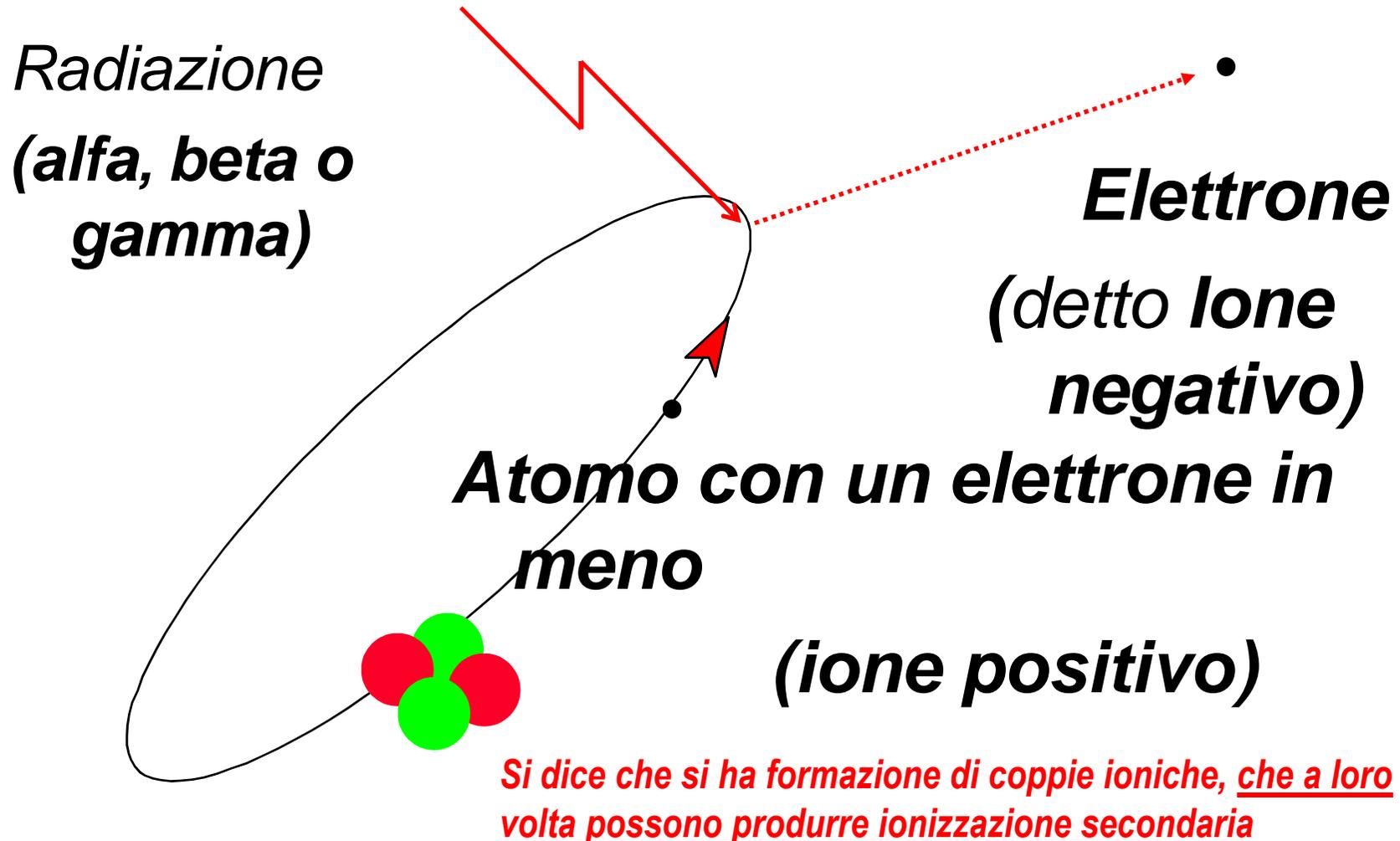
13/11/2018

Principi fisici alla base della  
formazione delle immagini  
"radiologiche"

# Il più "vecchio" meteorite

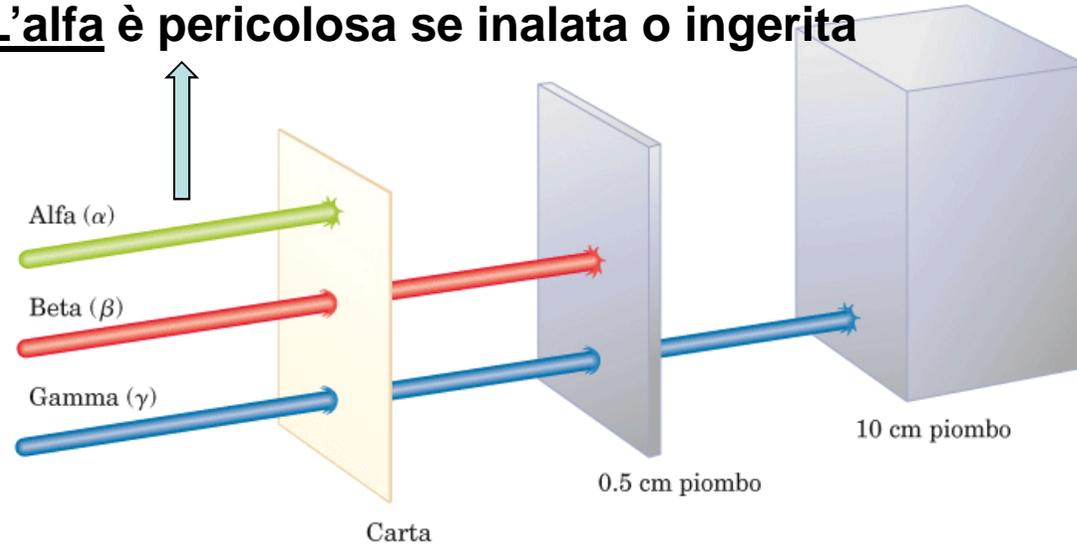


# Ionizzazione di un atomo



**FIGURA 10.6** Penetrazione di emissioni radioattive. Le particelle alfa con carica +2 e massa 4 una interagiscono fortemente con la materia, ma hanno minore potere penetrante. Esse sono fermate da più fogli di carta sovrapposti. Le particelle beta, con massa minore e una carica più bassa delle particelle alfa, interagiscono meno fortemente con la materia. Esse penetrano la carta facilmente, ma sono bloccate da uno strato di piombo spesso 0.5 cm. I raggi gamma, privi di massa e carica, hanno il maggiore potere penetrante. Per bloccarli sono necessari 10 cm di piombo.

**L'alfa è pericolosa se inalata o ingerita**



*l'energia persa da una particella carica è proporzionale al quadrato della carica*



Bettelheim, Brown, Campbell, Farrell  
**Chimica e propedeutica biochimica**  
 Edises

**Radiazione**

**Potere ionizzante**

**Potere penetrante (= range)**

**Percorso in aria**

$\alpha$

altissimo

bassissimo

qualche cm

$\beta^-$

alto

basso

qualche mt

$\gamma, X$

bassissimo

altissimo

qualche Km

## METODI DI MISURAZIONE RADIOATTIVITA'



**FIGURA 10.5** Rappresentazione schematica del contatore Geiger-Müller.



Bettelheim, Brown, Campbell, Farrell  
**Chimica e propedeutica biochimica**  
EdiSES

**2**

AUTORADIOGRAFIA, basato sulla capacità di impressionare una emulsione fotografica, come una lastra a raggi X

**3**

CONTATORI A SCINTILLAZIONE, vengono emesse radiazioni luminose in seguito a eccitazione di solidi o liquidi.

# Attività

---

Si misura in **Becquerel**, **Bq**, che  
rappresenta l'attività di una  
sorgente in cui si ha  
**1 disintegrazione per secondo!!!**  
**(dps)**

# Attività

---

Nel vecchio sistema di unità di misura l'attività veniva misurata in **Curie, Ci**, che rappresenta l'attività di una sorgente in cui si hanno **37 miliardi di disintegrazioni al secondo (1g di  $^{286}\text{Ra}$  puro)**

$$1 \text{ microCi} = 3,7 \times 10^4 \text{ dps}$$

# La misura del grado di esposizione alle radiazioni

---

- dipende dal **tipo di radiazioni nucleari** che attraversano la materia
- dipende dal **tipo di materia** che è **attraversata dalle radiazioni** (aria, materia in genere,

# DOSIMETRIA DELLE RADIAZIONI IN MEDICINA

la misura delle grandezze che consentono di calcolare il danno biologico dovuto all'esposizione (esterna o interna) ai diversi tipi di radiazioni ionizzanti.

**ROENTGEN (R)** u. di m. usata in radiologia x i raggi X e gamma

Intensità dei raggi che producono in 1 ml di aria 2 miliardi di coppie ioniche ( $2,58 \times 10^{-4}$  coulomb)  *energia trasmessa*

In prima approssimazione il danno biologico è proporzionale alla quantità di energia ceduta dalla radiazione per unità di massa, energia di 1 Joule assorbita da un Kg di tessuto biologico = **Gray (Gy) =  $1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$**   *energia assorbita*

= quantità di radiazione ionizzante che produce nell'uomo lo stesso effetto di 1

Roentgen, ***DIVERSA DA TESSUTO A TESSUTO*** (per i raggi X "blandi" 1 R dà 30 mGy nell'osso)

Per comparare i vari tipi di radiazione si è introdotto il concetto di

DOSE EQUIVALENTE la cui unità di misura nel SI è il

**Sv (Sievert) = Gy × 1 fattore che dipende dal tipo di radiazione**  
*(fattore di pericolosità)*

1 **Sv** = dose di radiazione che determina un assorbimento di E nell'uomo pari a 1

Gray di raggi X il fattore =1 per i raggi X e le radiazioni  $\beta$  e  $\gamma$   
=20 per le radiazioni  $\alpha$

Per la diversa sensibilità dei tessuti si è introdotta la DOSE EFFICACE

= DOSE EQUIVALENTE × il **fattore di ponderazione** specifico per i vari  
organi, per es. 0,05 per la tiroide

*Si stima che la max dose annuale assorbibile senza conseguenze (DMA) = 5 mSv/anno di cui circa 2 corrispondono alla radioattività naturale di fondo.*

Per legge la max dose che può essere assorbita da un operatore esposto alle radiazioni = 20 mSv/anno. Vi sono anche limiti per le persone comuni di esposizione medica alle R. di 1 mSv/anno

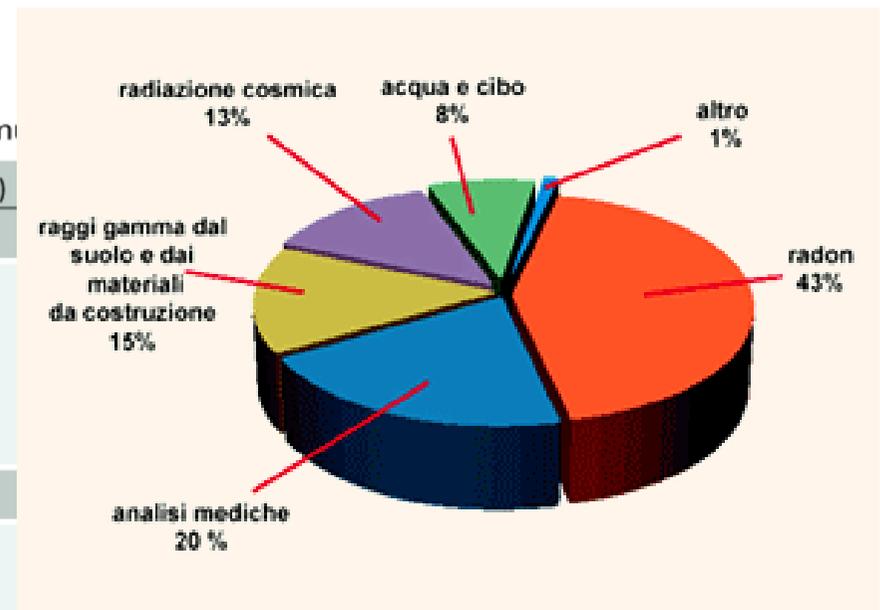
**TABELLA 10.4** Esposizione media alle radiazioni provenienti da sorgenti comuni

Sorgente	Dose (mrem/anno)
<b>Radiazioni di fondo</b>	
Raggi cosmici	27
Radiazioni terrestri (rocce, edifici)	28
Interno del corpo umano (K-40 e Ra 226 nelle ossa)	39
Radon nell'aria	<u>200</u>
Totale	294
<b>Radiazioni artificiali</b>	
Raggi X usati a scopo medico <sup>a</sup>	39
Medicina nucleare	14
Prodotti di consumo	10
Impianti nucleari per la generazione di energia	0.5
Altro	<u>1.5</u>
Totale	65
<b>Somma complessiva</b>	<b>359<sup>b</sup></b>

<sup>a</sup>Procedure mediche individuali possono esporre alcune parti del corpo a livelli molto più alti. Ad esempio, i raggi X al torace danno 27 mrem e una serie diagnostica GI dà 1970 mrem.

<sup>b</sup>Lo standard per la salute (governo degli Stati Uniti) indica 5000 mrem/anno come esposizione annuale permessa per i lavoratori. È stato suggerito di abbassare questo livello a 4000 mrem/anno, o anche meno, per ridurre il rischio di "innesco" di tumori anche a basso livello di radiazioni.

Fonte: Consiglio Nazionale per la Protezione dalle Radiazioni e Misura, NCRP Report No. 93 (1993).



**=3,59 mSv**

*Una volta al posto del gray si usava il rad e al posto del sievert il rem, che erano le attuali unità moltiplicate per 100*

## Protezione dalle radiazioni 118

# Linee guida di riferimento per la diagnostica mediante immagini

Testo revisionato da esperti  
rappresentanti la radiologia  
e la medicina nucleare europee

In collaborazione con il Royal College  
of Radiologists del Regno Unito

Procedura diagnostica	Dose efficace (mSv)	Equivalente a n. di radiografie toraciche	Periodo approssimativo di esposizione a equivalenti dosi di radiazioni naturali di fondo (1)
<i>Esami a raggi X:</i>			
Arti e articolazioni (ad eccezione dell'anca)	< 0,01	< 0,5	< 1,5 giorni
Torace (radiogramma unico PA)	0,02	1	3 giorni
Cranio	0,07	3,5	11 giorni
Colonna toracica	0,7	35	4 mesi
Colonna lombare	1,3	65	7 mesi
Anca	0,3	15	7 settimane
Bacino	0,7	35	4 mesi
Addome	1,0	50	6 mesi
Urografia	2,5	125	14 mesi
Esofago baritato	1,5	75	8 mesi
Prime vie dig.ti	3	150	16 mesi
Transito baritato	3	150	16 mesi
Clisma opaco	7	350	3,2 anni
TC encefalo	2,3	115	1 anno
TC torace	8	400	3,6 anni
TC addome o pelvi	10	500	4,5 anni

In realtà non vi è prova di una dose soglia sotto la quale il rischio si possa considerare nullo, **anche le dosi più modeste comportano un rischio minimo**, tenendo conto che le dosi assorbite agiscono in maniera cumulativa

## EFFETTI SULLA CELLULA

- mutageno sul DNA
- formazione di radicali liberi dalle molecole d'H<sub>2</sub>O, che a loro volta possono provocare danni (EFFETTO INDIRETTO)

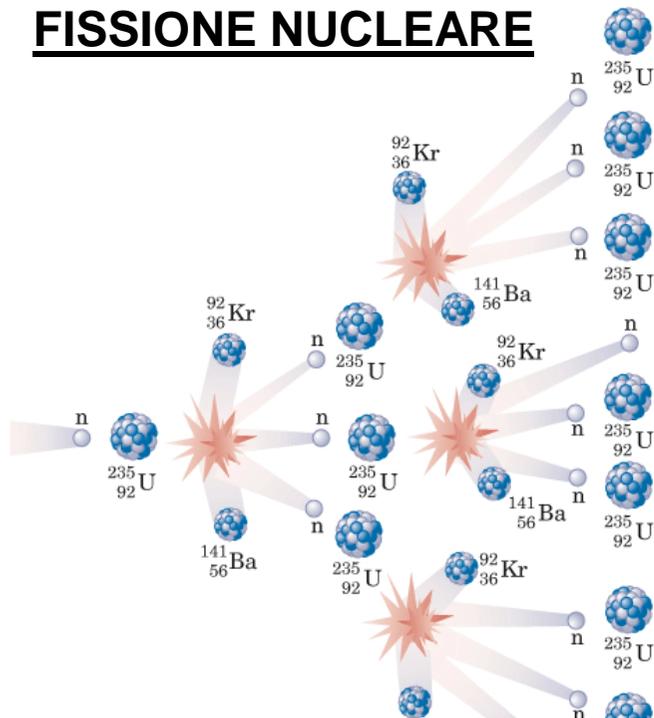
# Come ci si protegge ?

---

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**

# FISSIONE NUCLEARE



**FIGURA 10.9** Una reazione a catena inizia quando un neutrone collide con un nucleo di uranio-235.

# LA FUSIONE NUCLEARE AVVIENE NEL SOLE

**CURIOSITA'**

**FIGURA 10.10** Diagramma schematico di un impianto di generazione di energia nucleare.

*Bettelheim, Brown, Campbell, Fi*  
**Chimica e propedeutica bioch**  
 EdiSES

## Schema di reattore nucleare

