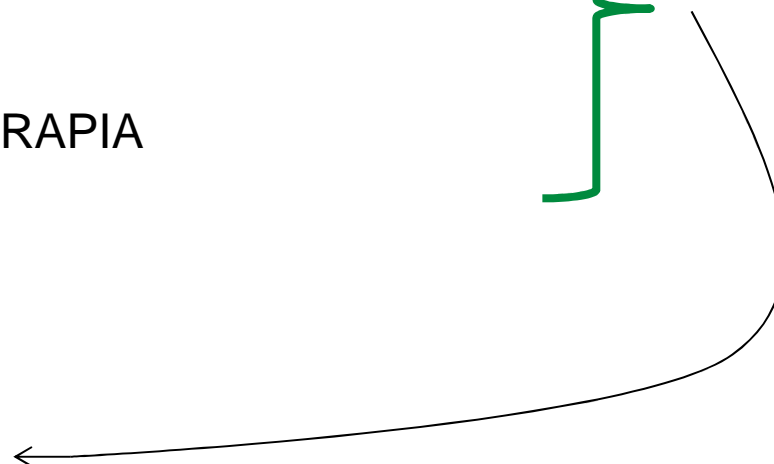


Alcuni elementi hanno isotopi i cui nuclei hanno proprietà utili per alcune applicazioni mediche

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}C e ^{12}C

l'H ha 3 isotopi: ^1H prozio (il + abbondante)

^2H deuterio (6000 volte – abbondante)

^3H 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.

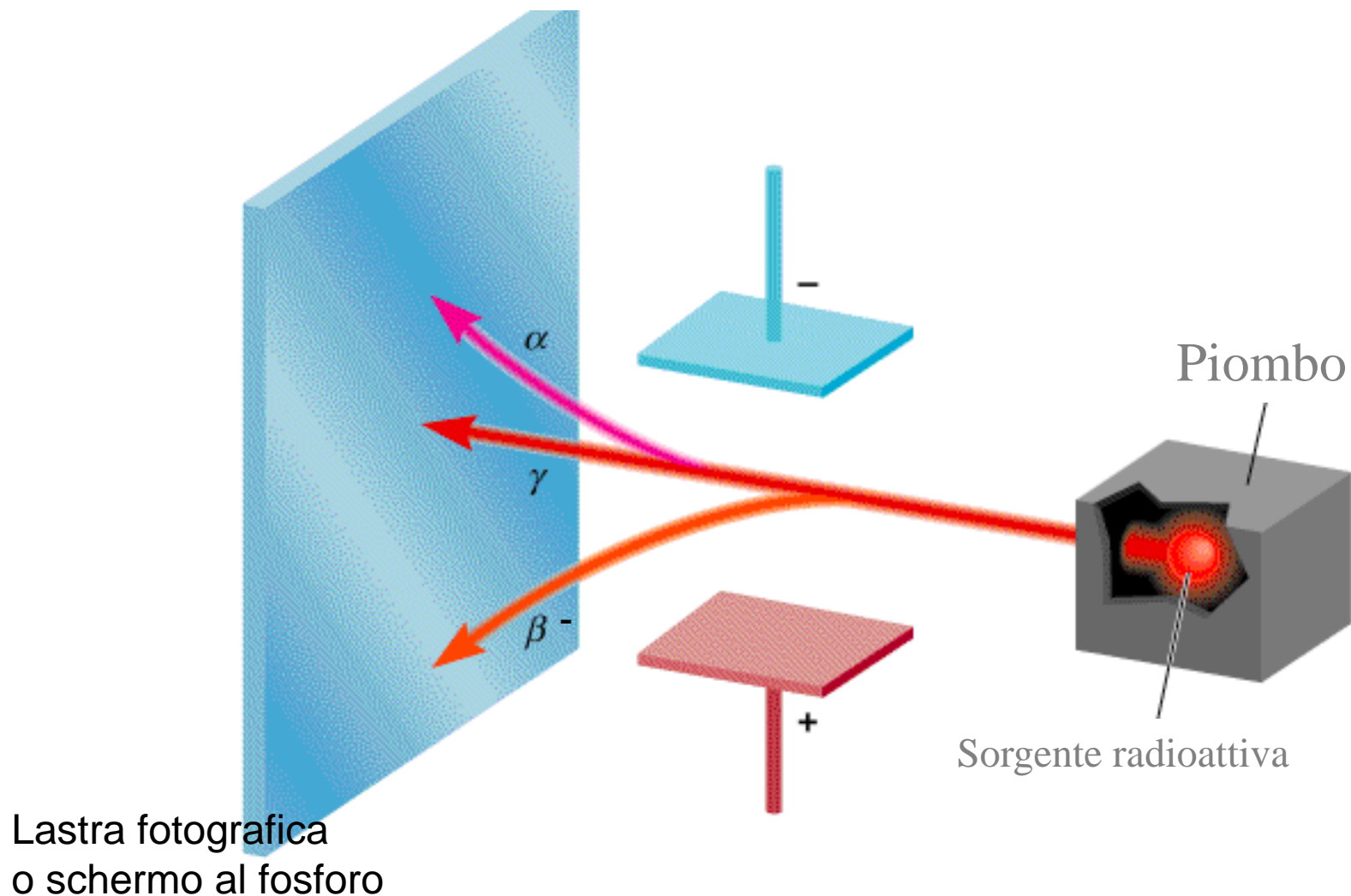
Se il figlio è stabile, il processo di decadimento è terminato.

*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



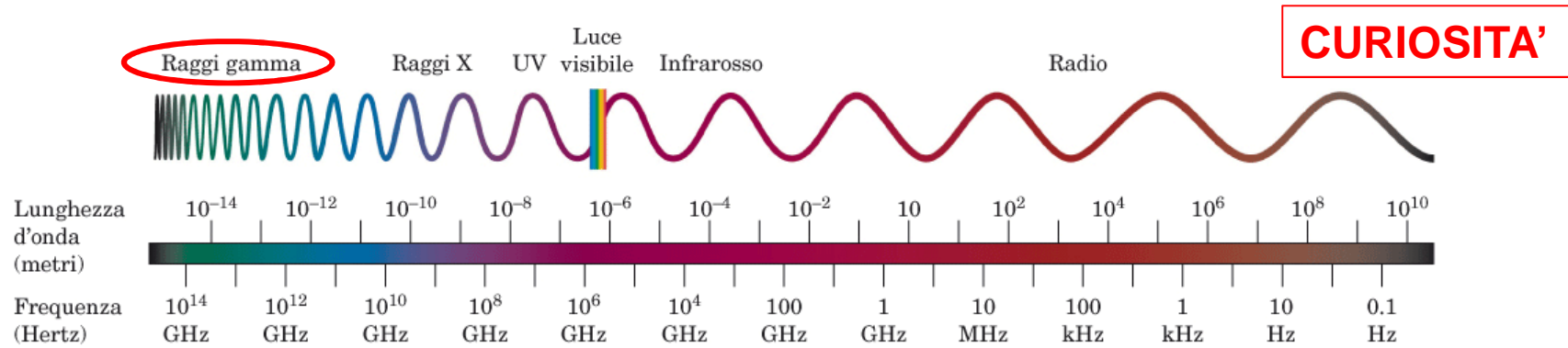


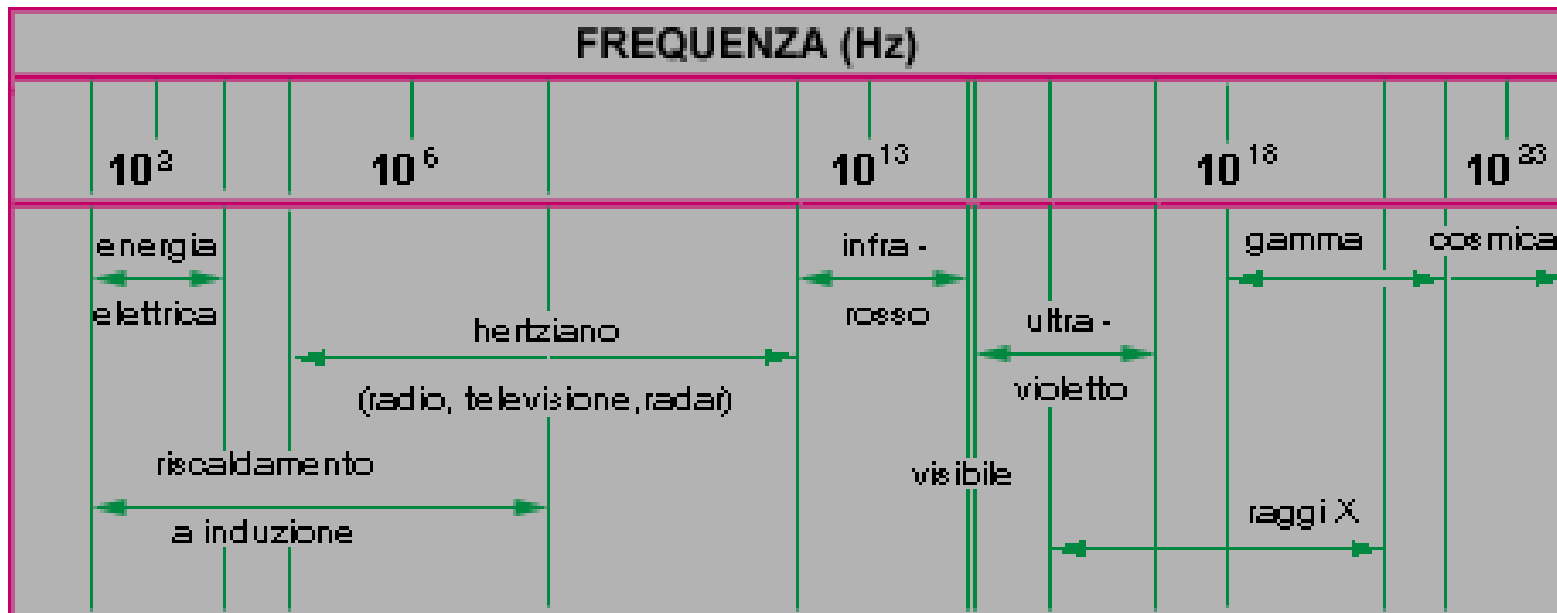
FIGURA 10.3 Lo spettro elettromagnetico.

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

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



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



1) Il decadimento mediante emissione di raggi γ si accompagna spesso a emissione anche di particelle α e β



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

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

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

beta e gamma sotto i 4 MeV

Una applicazione della radioattività

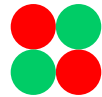
L'irradiazione, spesso raggi γ (per es. da cobalto-60 o cesio-137) è usata

per sterilizzare materiale e per la conservazione di alimenti

RADIAZIONI CORPUSCOLARI

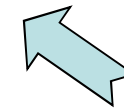
2) **PARTICELLE α** : 2 protoni e 2 neutroni, sotto forma di un nucleo di Elio
(He)

(*decadimento alfa*)



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

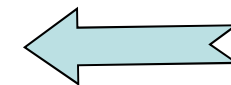
NEUTRONE \rightarrow PROTONE + *negatrone* + anti-neutrino



**Decadimento
naturale**

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

PROTONE \rightarrow NEUTRONE + *positrone* + neutrino



**Decadimento x lo
+ artificiale**

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

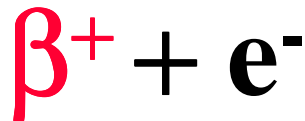
Neutrino e anti-neutrino

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

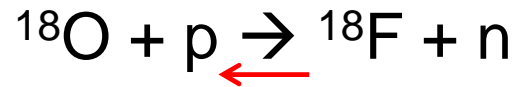


Particelle molto instabili, **una volta dissipata la loro energia interagiscono con gli e-** e **vengono annichiliti** cioè **la massa e l'E delle 2 particelle si trasformano in 2 raggi γ emessi a 180° l'uno rispetto all'altro**



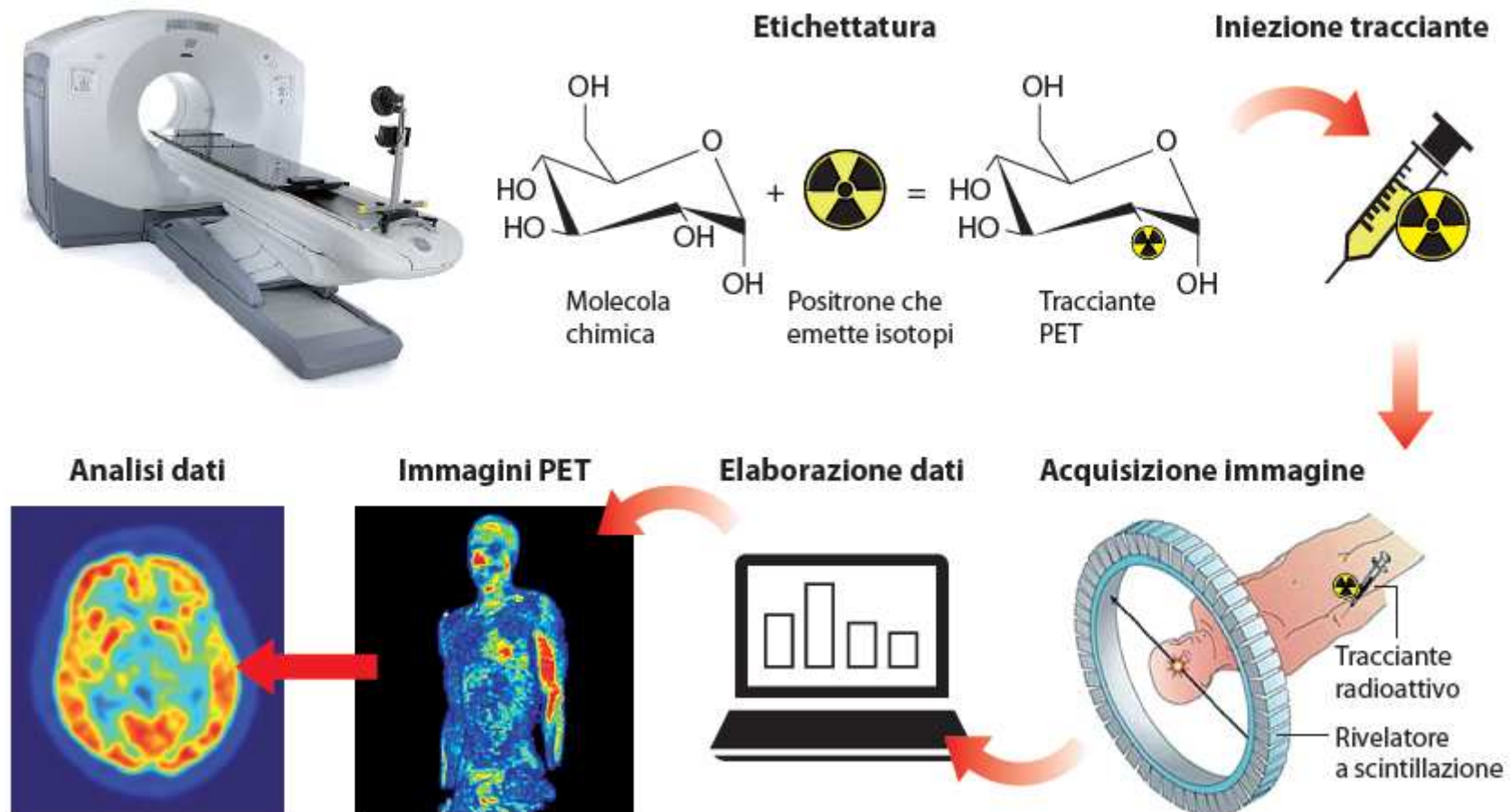
La PET (tomografia a emissione di positroni) usa il ${}^{11}\text{C}$ per studiare le patologie cerebrali, altro emettitore β^+ è il ${}^{18}\text{F}$

Il ^{18}F viene prodotto in un ciclotrone bombardando con protoni molecole di acqua H_2^{18}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 $1s$

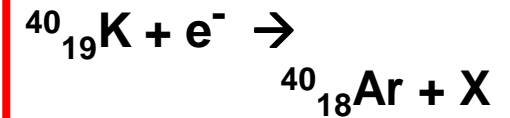
x es. ^{125}I

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

o ^7Be

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

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

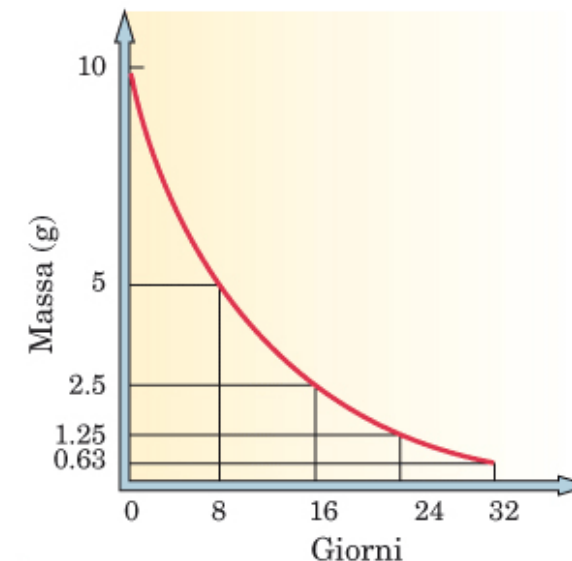


TABELLA 10.2 Tempi di dimezzamento di alcuni nuclei radioattivi

| 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 | ${}^{40}_{19}\text{K}$ | 1.28×10^9 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 | ${}^{99m}_{43}\text{Tc}$ | 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 | ${}^{238}_{92}\text{U}$ | 4×10^9 anni | Alfa |

GURA 10.4 La curva di decadimento dello iodio-131.

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

Emivita inglobata in questa costante

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

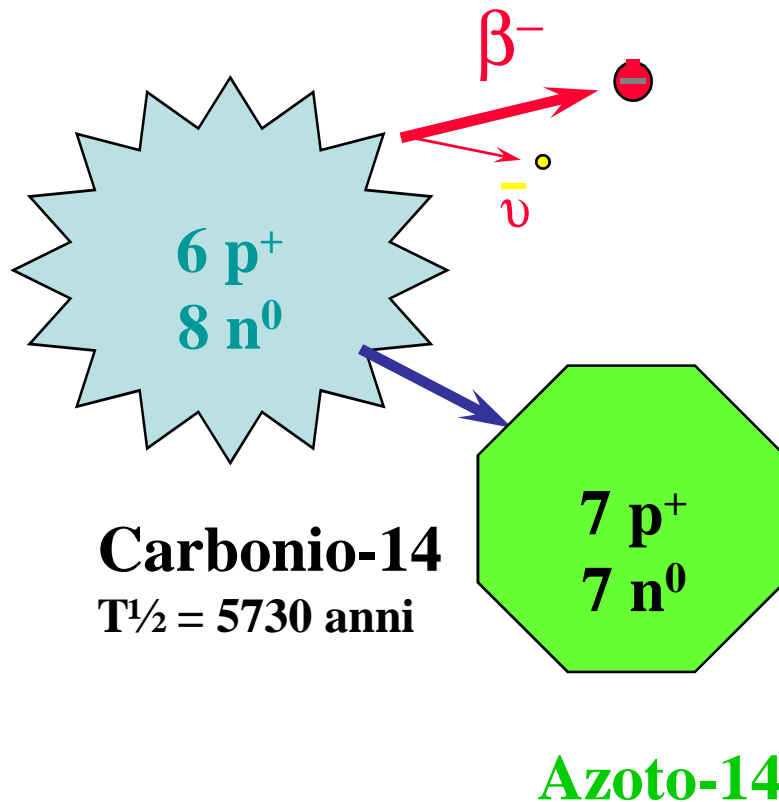
| | Isotopo | Tipo di decadimento | Emivita | Uso in diagnostica medica |
|------------------------|----------------|----------------------------|----------------|--|
| $^{11}_6\text{C}$ | Carbonio-11 | β^+ , γ | 20.3 m | Scansione del cervello per tracciare il metabolismo del glucosio |
| $^{18}_9\text{F}$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

C'è poi la radioterapia (per es. da cobalto-60)

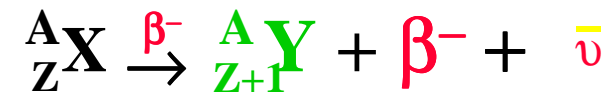


Decadimento Beta⁻ β^-

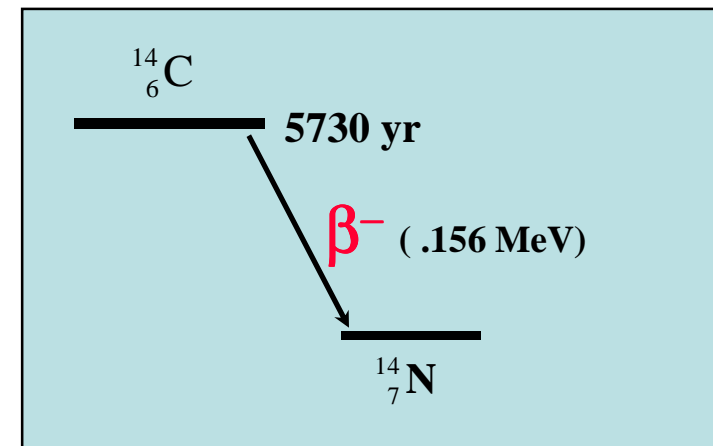
Processo



Equazione di decadimento



Schema di decadimento

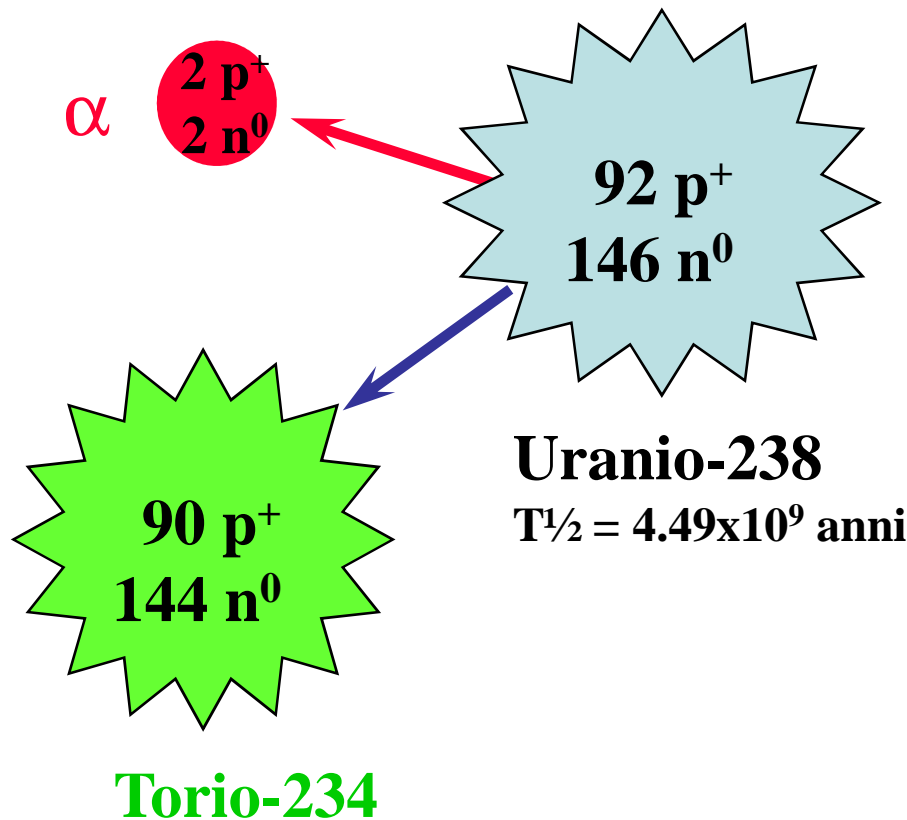


Anche ${}^3\text{H}$, ${}^{35}\text{S}$ e ${}^{32}\text{P}$

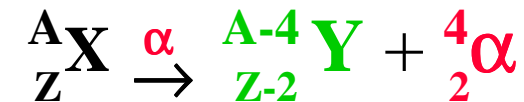
Decadimento Alfa α

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

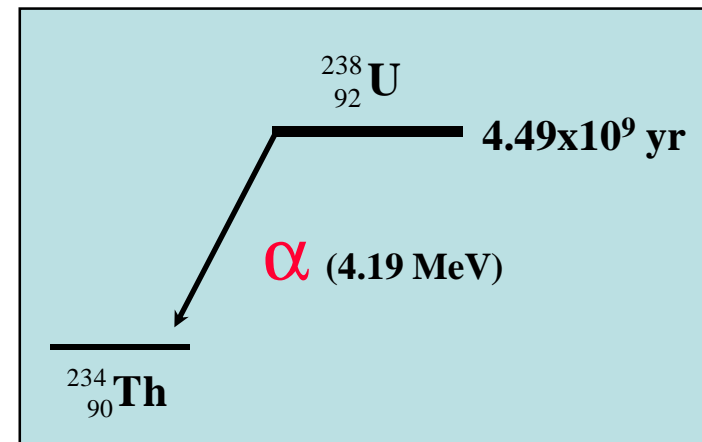
Processo



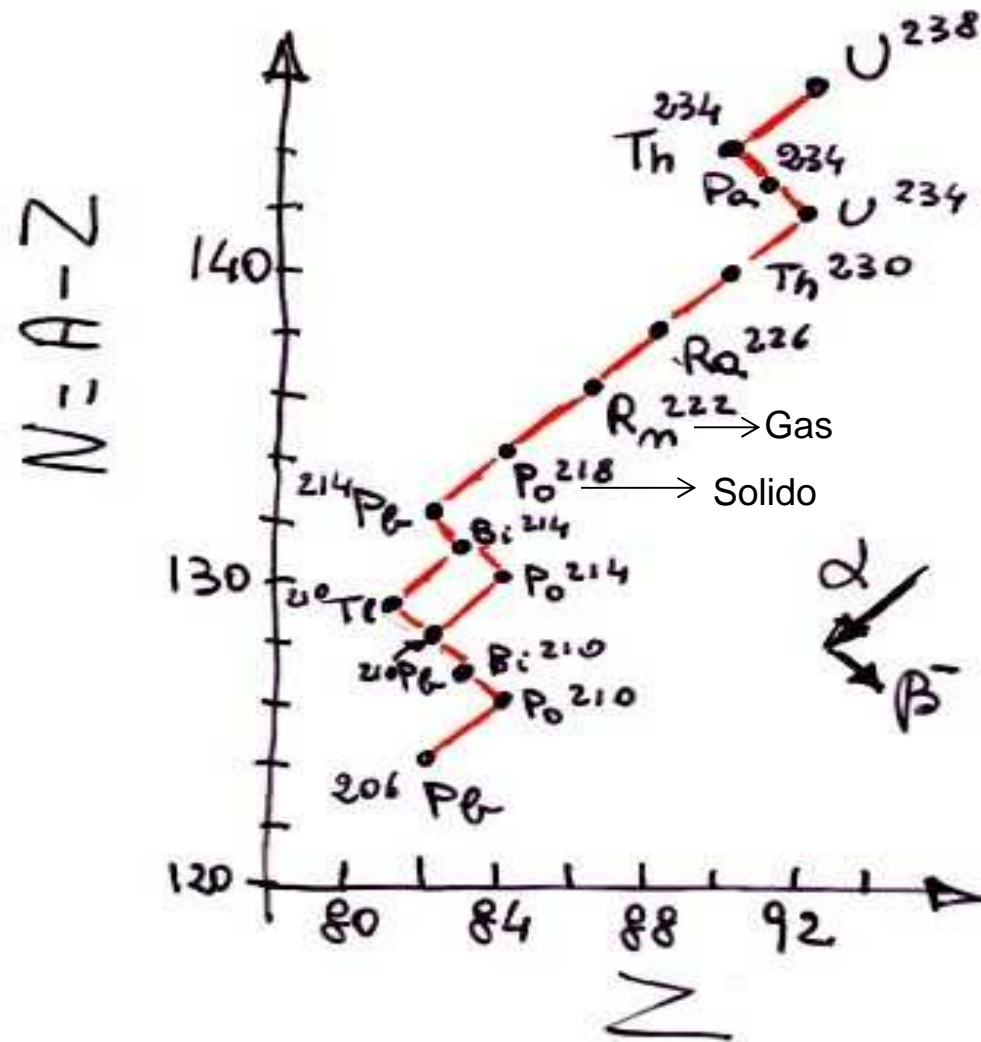
Equazione di decadimento



schema di decadimento



CURIOSITA'



LA FAMIGLIA RADIOAT TIVA DEL Ra - 226

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

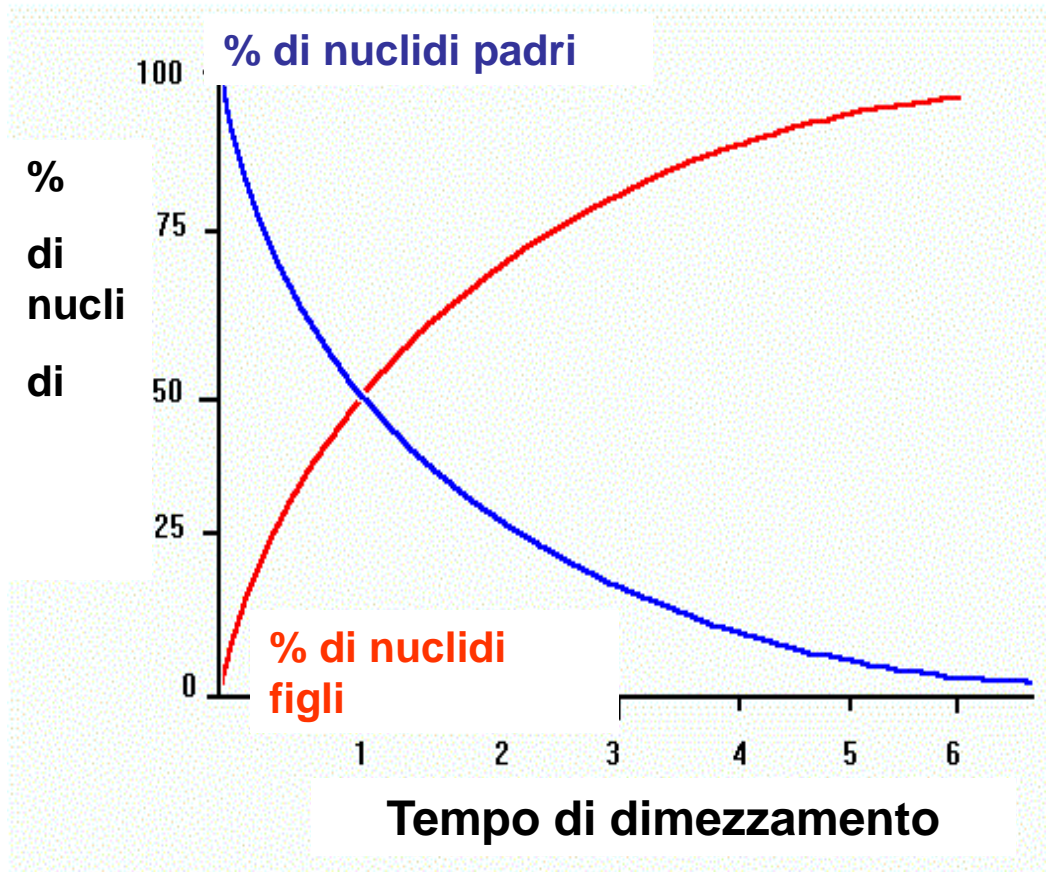
l'ECCITAZIONE consiste nel passaggio di elettroni
a uno stato energetico più alto con successivo
ritorno allo stato fondamentale e
contemporanea emissione di luce → fenomeno della luminescenza e
fluorescenza



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}Rn)
gas

Polonio (^{218}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%

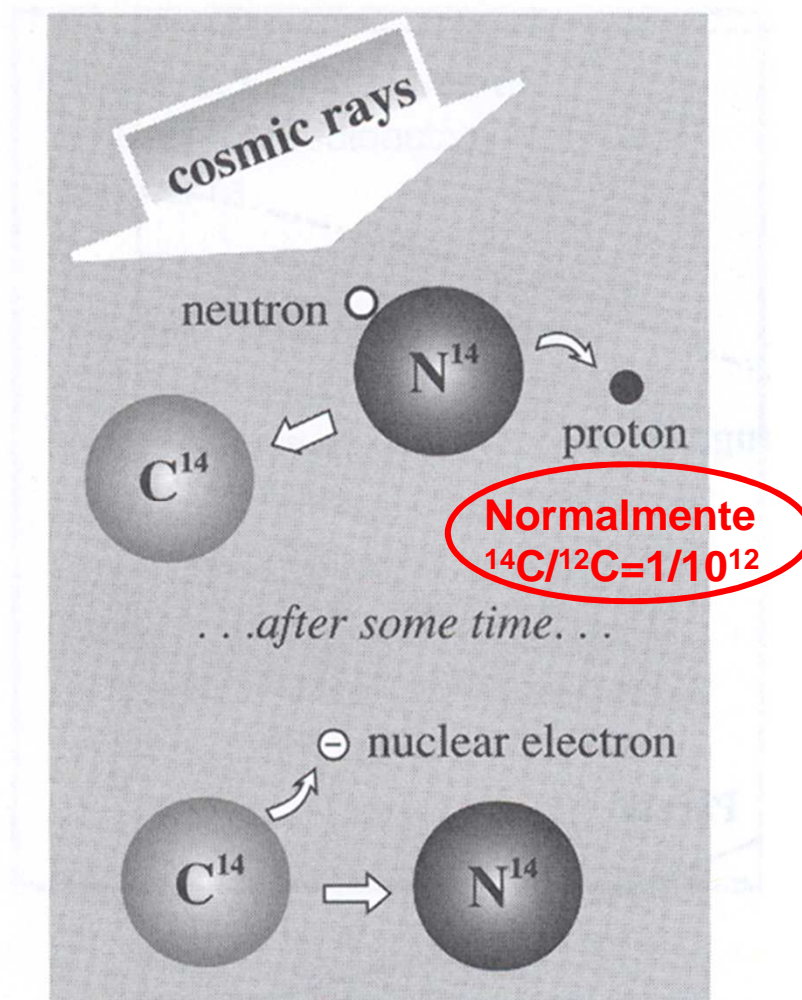
75%

Radiodatazione

| <u>Padre</u> | <u>Figlio</u> | <u>T_{1/2}</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 CO₂ 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.

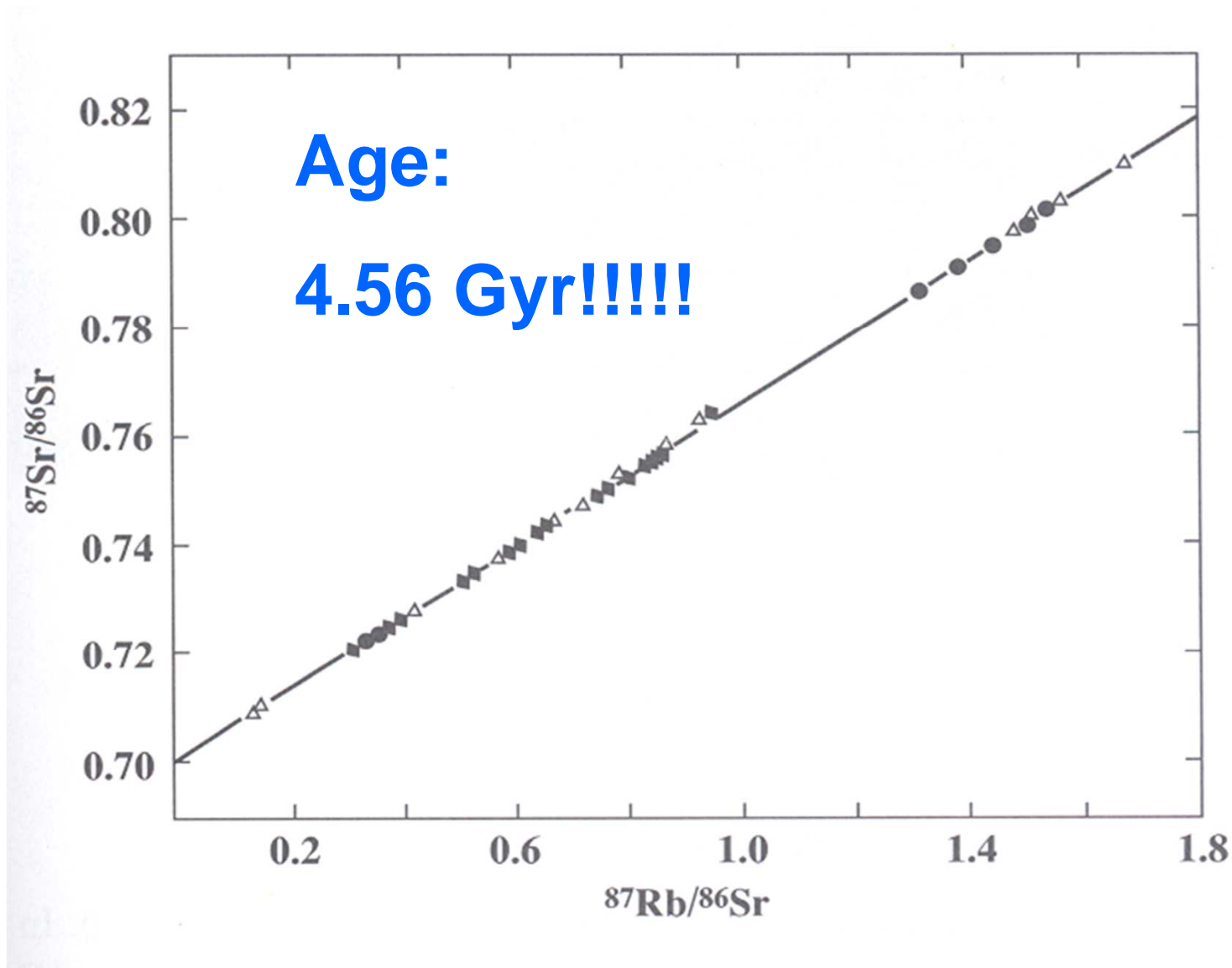


Normalmente
 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}=1/10^{12}$

Età < 70,000 anni

CURIOSITA'

Il più "vecchio" meteorite

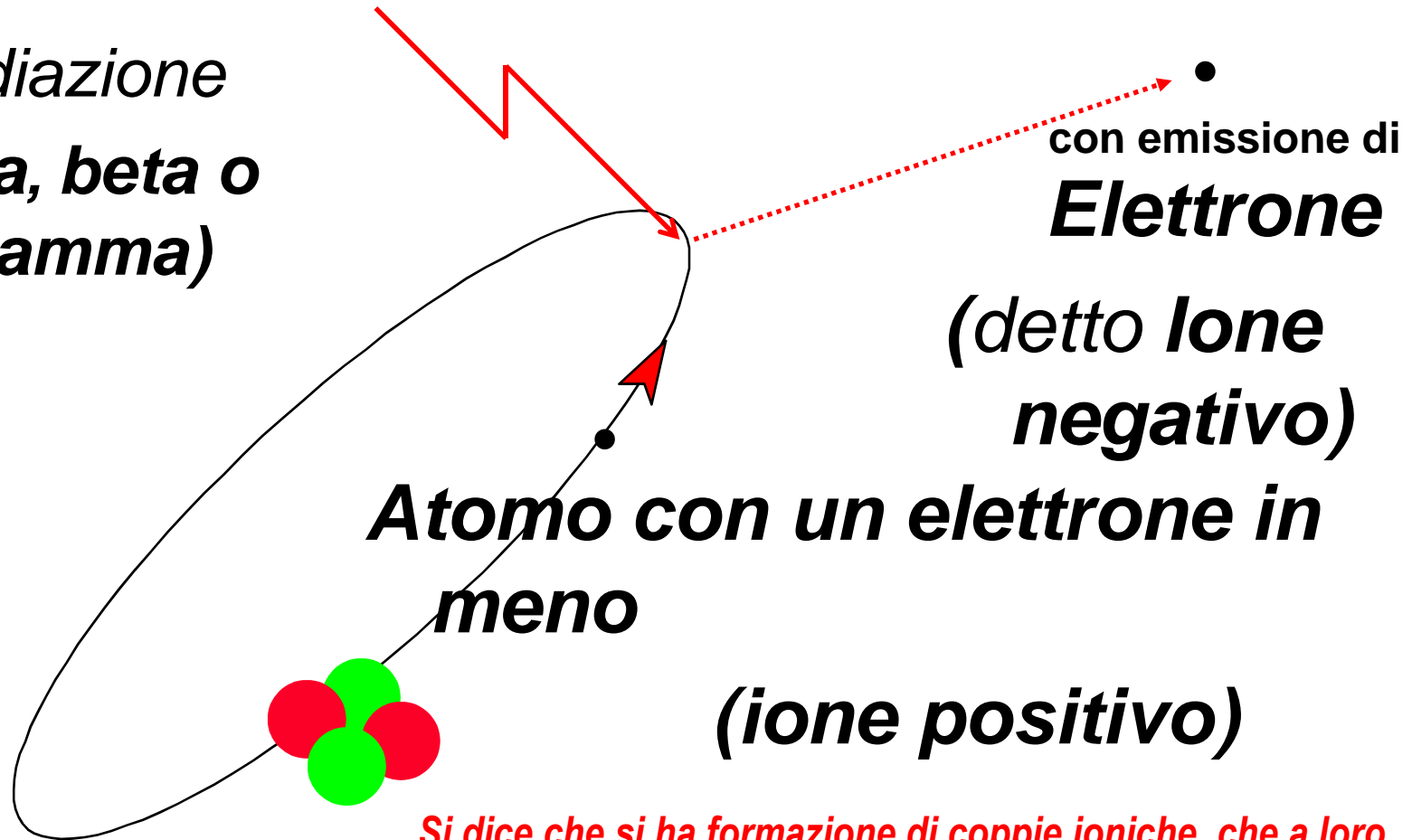


EFFETTI RADIAZIONI: eccitazione degli e-

ma anche

Ionizzazione di un atomo

*Radiazione
(alfa, beta o
gamma)*



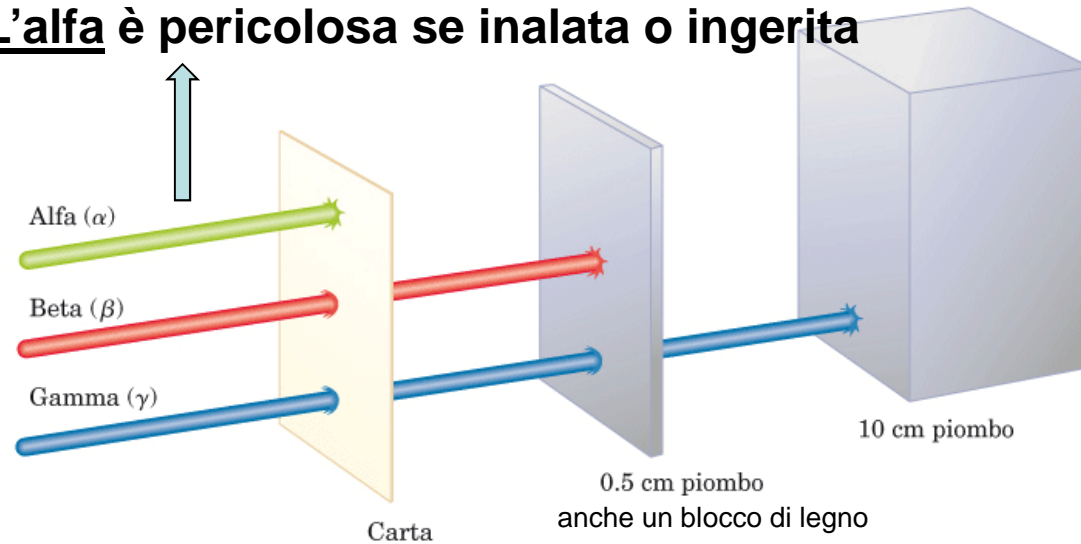
**Atomo con un elettrone in
meno**

(ione positivo)

Si dice che si ha formazione di coppie ioniche, che a loro volta possono produrre ionizzazione secondaria

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'intensità della radiazione cala col quadrato della distanza dalla sorgente e

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

Radiazione

Potere ionizzante

Potere penetrante (= range)

Percorso in aria

α

altissimo

bassissimo

qualche cm

β^-

alto

basso

qualche mt

γ, 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 ²⁸⁶Ra 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, corpo umano)

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 di raggi X e γ *Ma è diversa per i diversi tipi di radiazione*

(per es. per i raggi X "blandi" 1 R dà 30 mGy nell'osso)

E' anche diversa da tessuto a tessuto

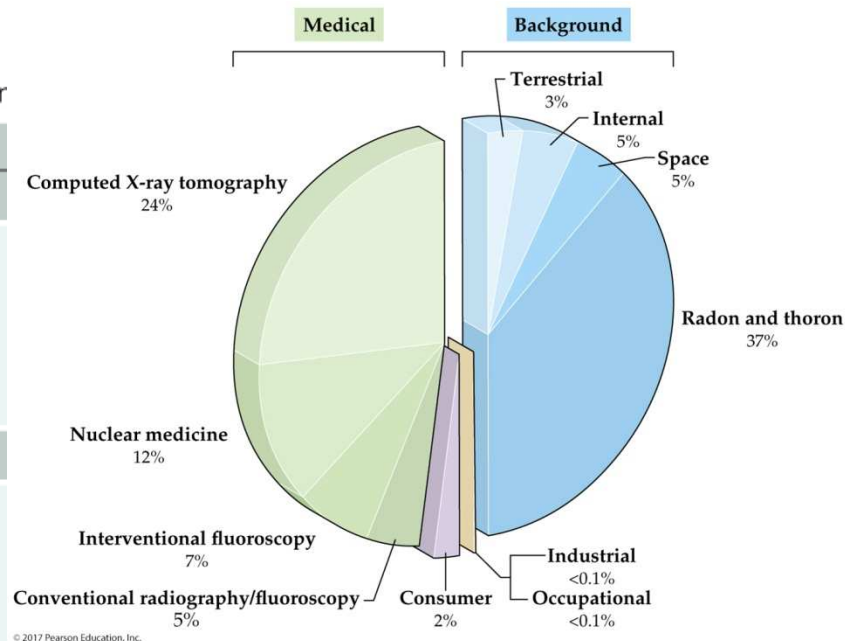


Si stima che la max dose annuale assorbibile senza conseguenze (DMA) = 5 mSv/anno di cui circa 2 corrispondono alla radioattività naturale di fondo.

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) |
|--|------------------|
| Radiazioni di fondo | |
| 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 |
| Radiazioni artificiali | |
| =2,94 mSv | |
| Raggi X usati a scopo medico ^a | |
| Medicina nucleare | |
| Prodotti di consumo | |
| Impianti nucleari per la generazione di energia | |
| Altro | |



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'H₂O, 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

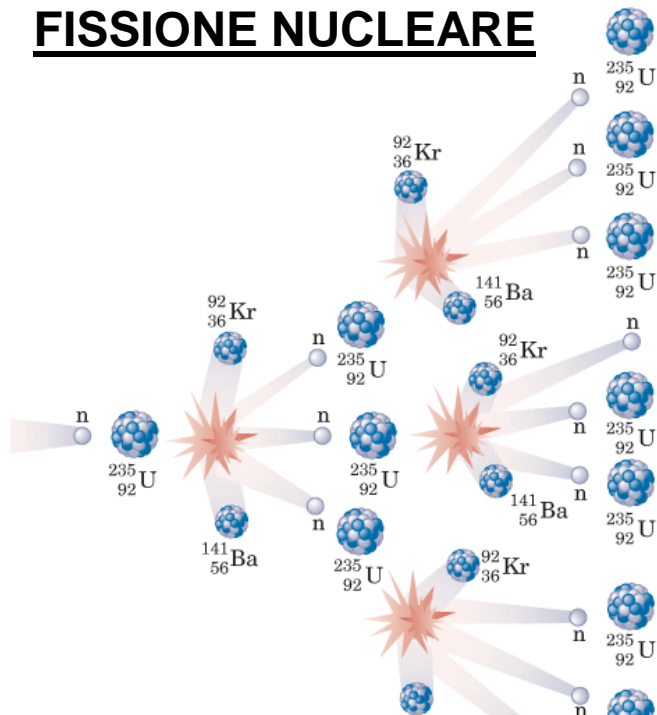


FIGURA 10.10 Diagramma schematico di un impianto di generazione di energia nucleare.

Zettelmheim, Brown, Campbell, Fi
Chimica e propedeutica bioch
EdiSES

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'

Schema di reattore nucleare

