

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.

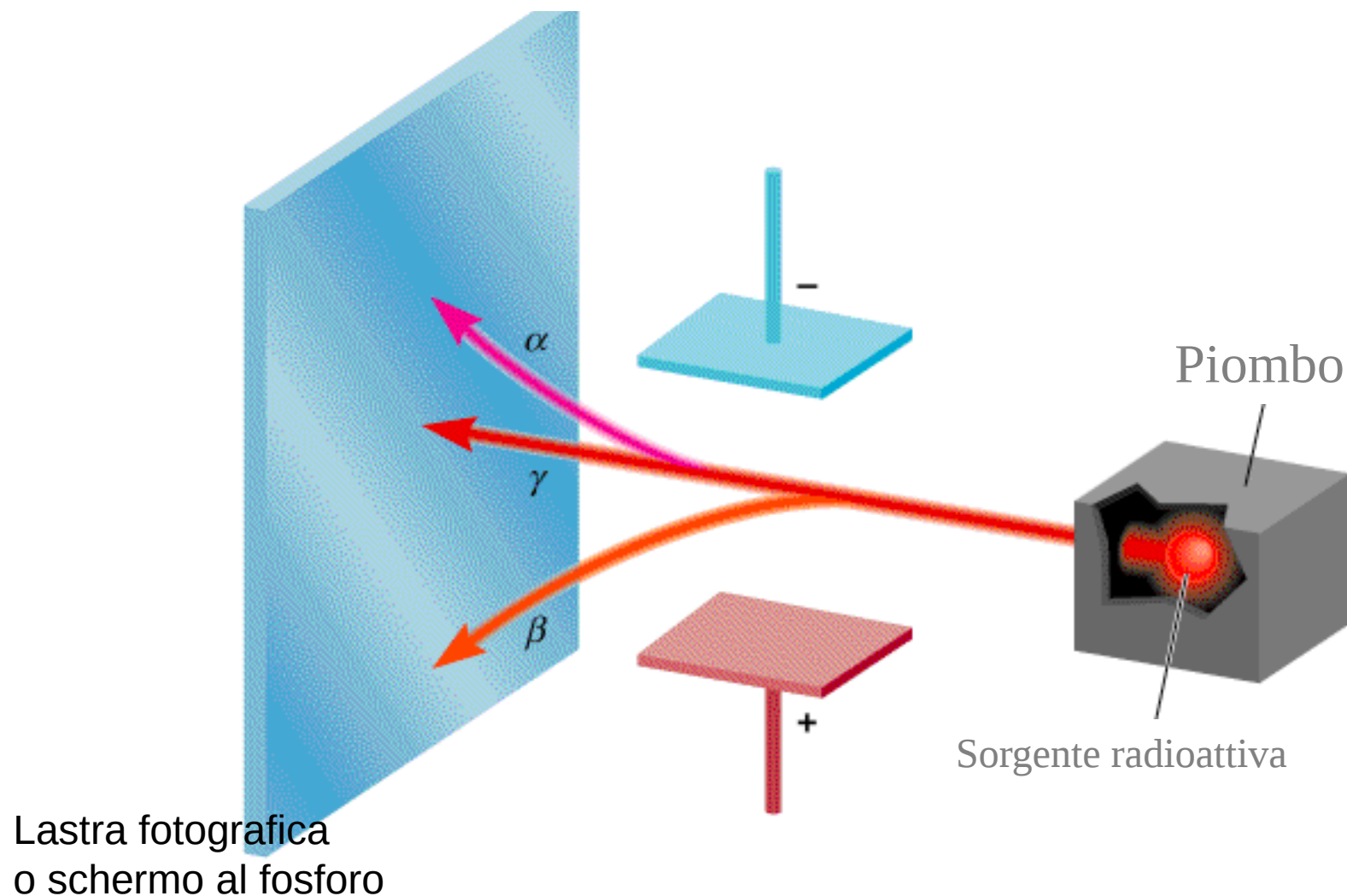
*Se il **figlio** è **stabile**, il processo di decadimento è terminato.*

*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



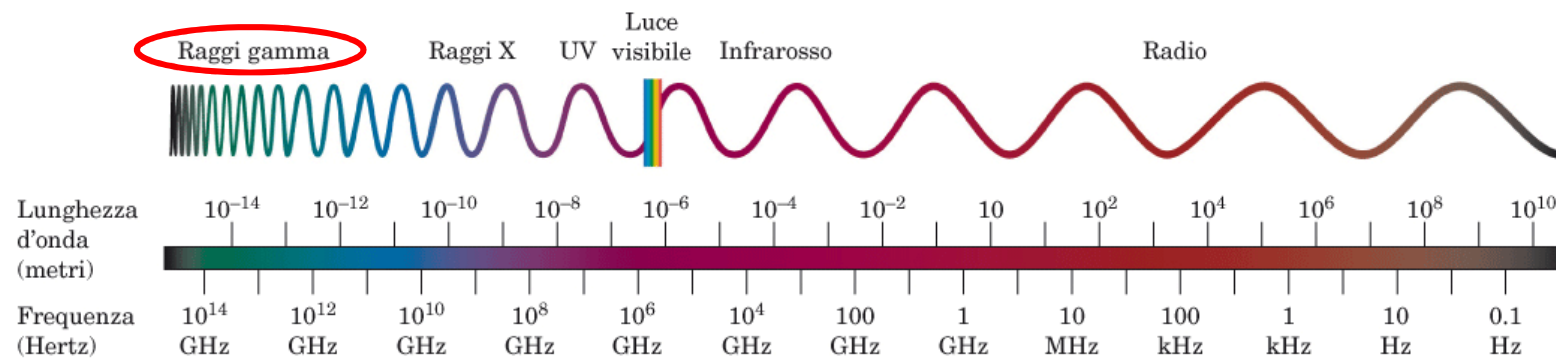


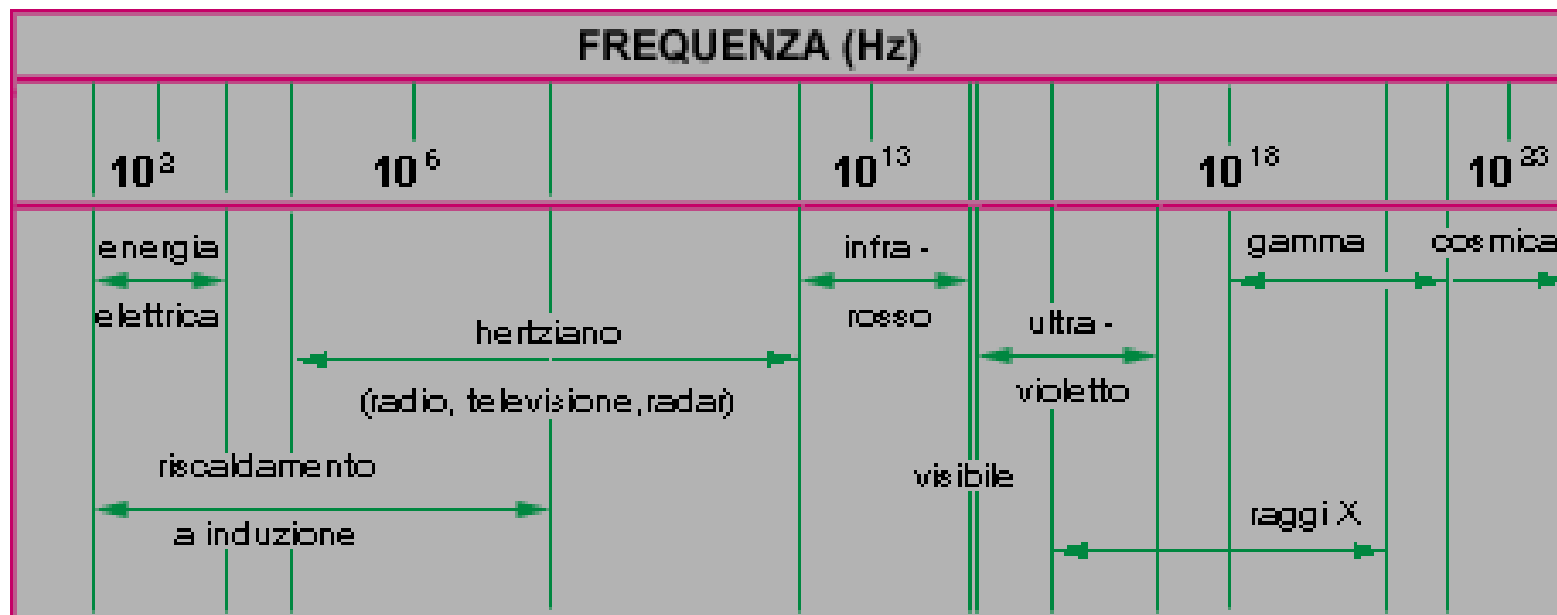
FIGURA 10.3 Lo spettro elettromagnetico.

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

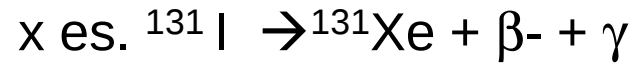


Bettelheim, Brown, Campbell, Farrell
Chimica e propedeutica biochimica
 Edises

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



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

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

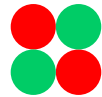
beta e gamma sotto i 3 MeV

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

RADIAZIONI CORPUSCOLARI

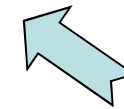
- PARTICELLE α** : 2 protoni e 2 neutroni, sotto forma di un nucleo di Elio (He)

(decadimento alfa)



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

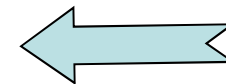
NEUTRONE $\rightarrow$ PROTONE + *negatrone* + anti-neutrino



Decadimento naturale

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

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



Decadimento x lo + artificiale

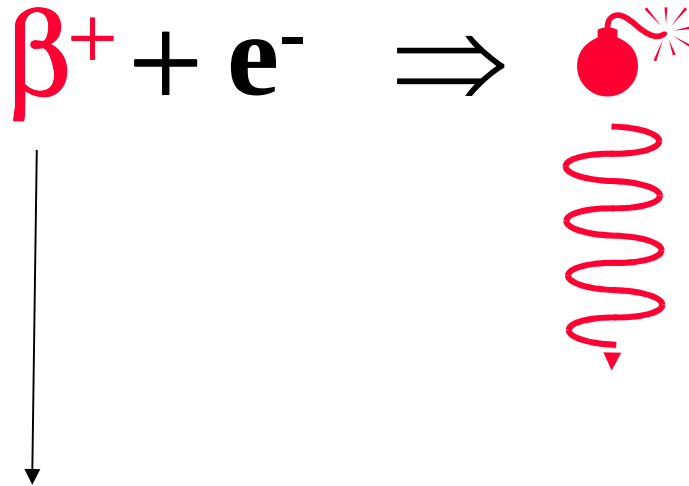
Neutrino e anti-neutrino

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 $\rightarrow$ Z cala di 1



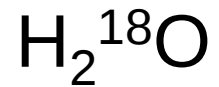
0.511 MeV fotone

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}C per studiare le patologie cerebrali, altro emettitore β^+ è il ^{18}F

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



CATTURA ELETTRONICA

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

x es. ^{125}I

Protone + e $\rightarrow$ N + raggi X

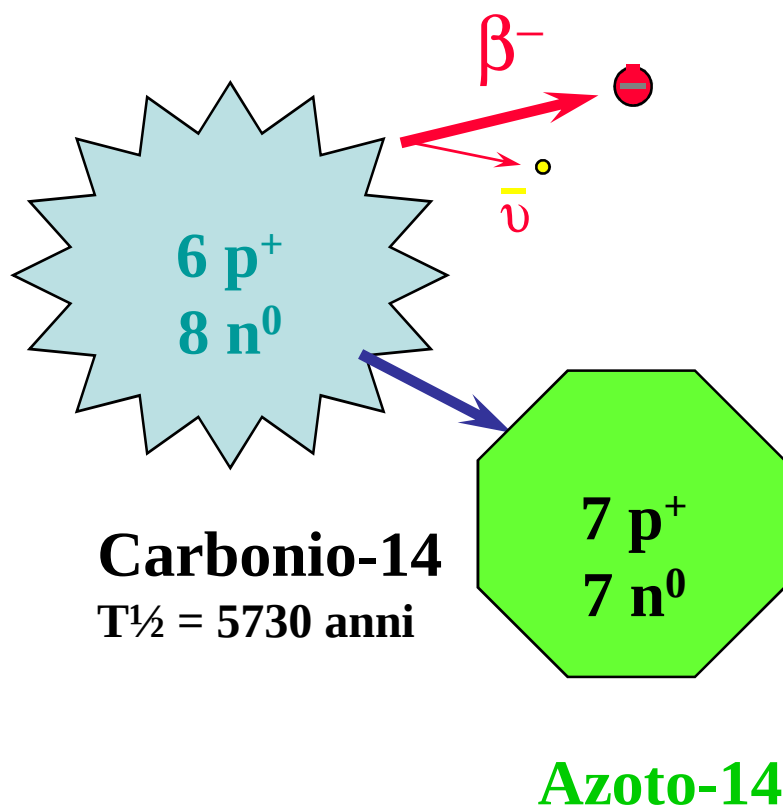
o ^7Be

Protone + e $\rightarrow$ N + raggi γ

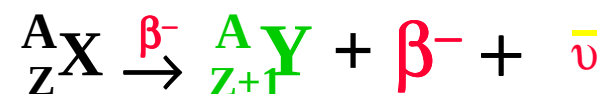
I Raggi X vengono emessi quando vi è redistribuzione degli e del mantello esterno in modo tale che l'orbitale 1s viene riempito con un e proveniente da orbitali più esterni

Decadimento Beta- β^-

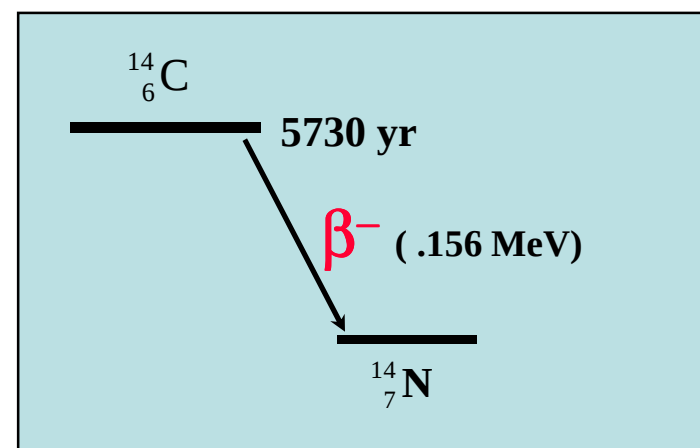
Processo



Equazione di decadimento



Schema di decadimento

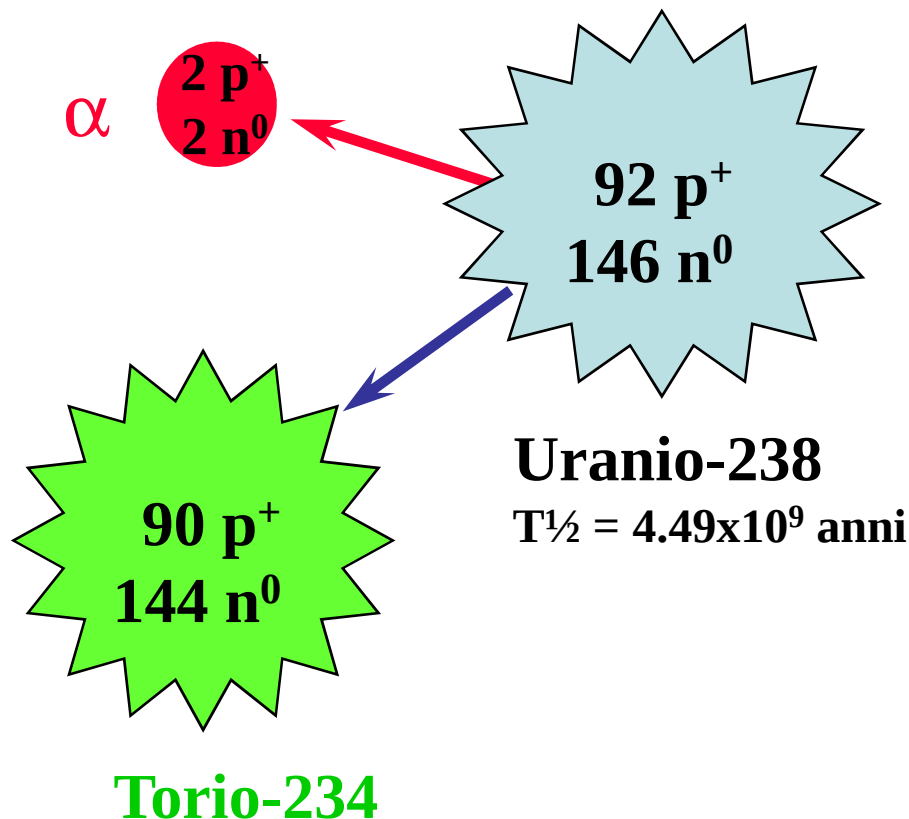


Anche ${}^3\text{H}$, ${}^{35}\text{S}$ e ${}^{32}\text{P}$

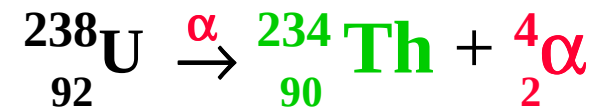
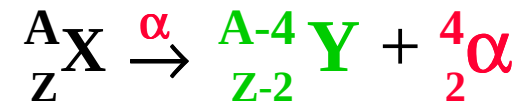
Decadimento Alfa α

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)

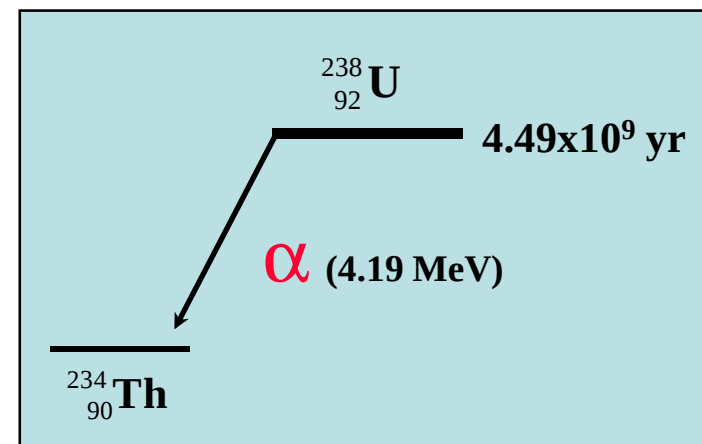
Processo

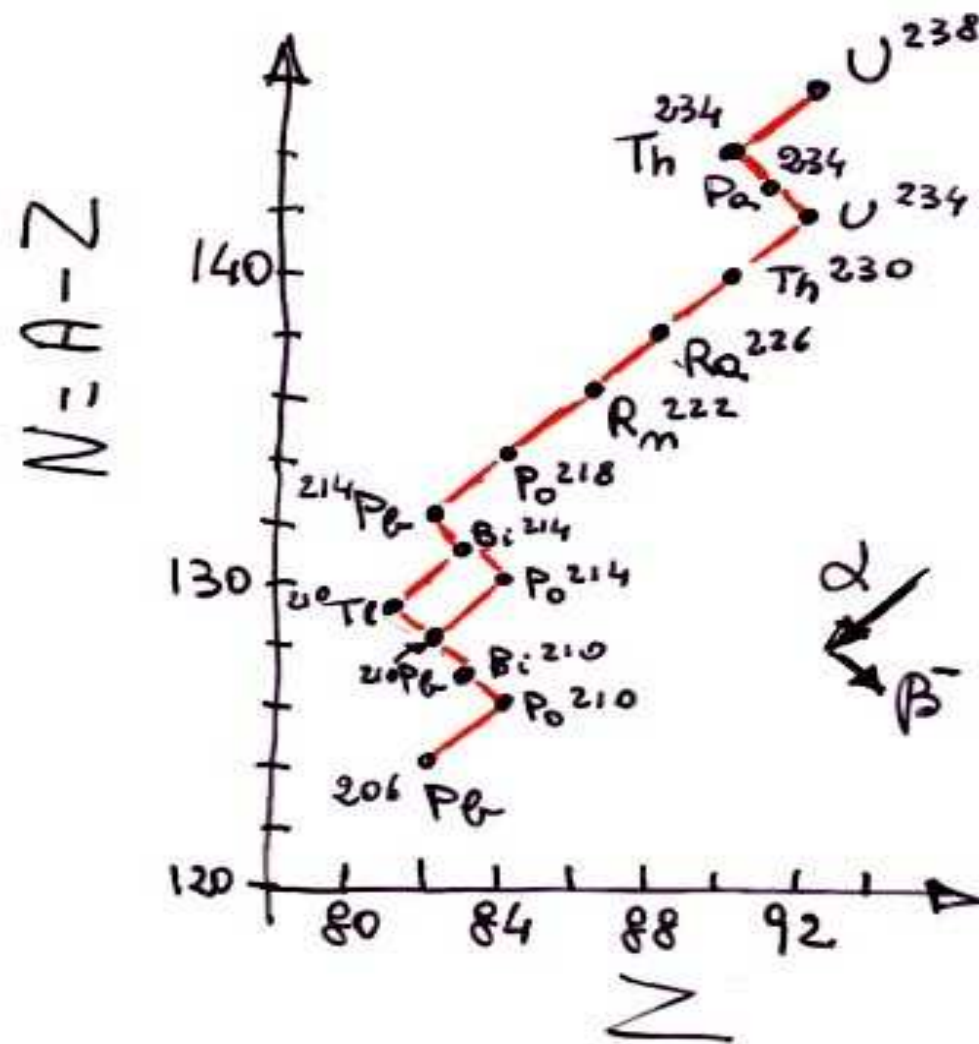


Equazione di decadimento



schema di decadimento





LA FAMIGLIA RADIOAT TIVA DEL $\text{Ra} - 226$

Altri processi di emissione di radiazione

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

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

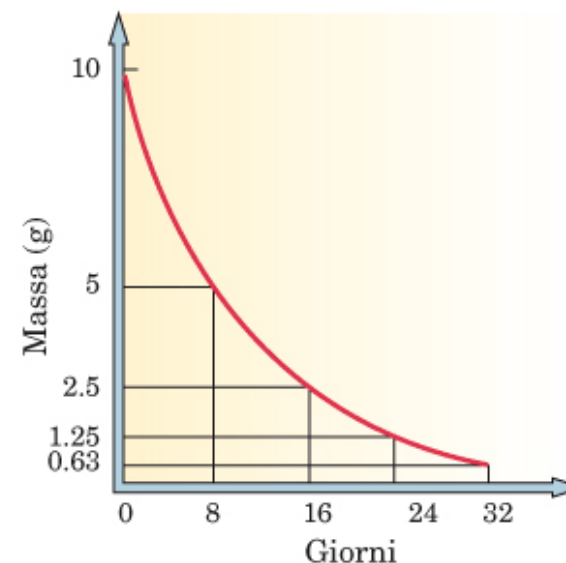


TABELLA 10.2 Tempi di dimezzamento di alcuni nuclei radioattivi

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

GURA 10.4 La curva di decadimento dello iodio-131.

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

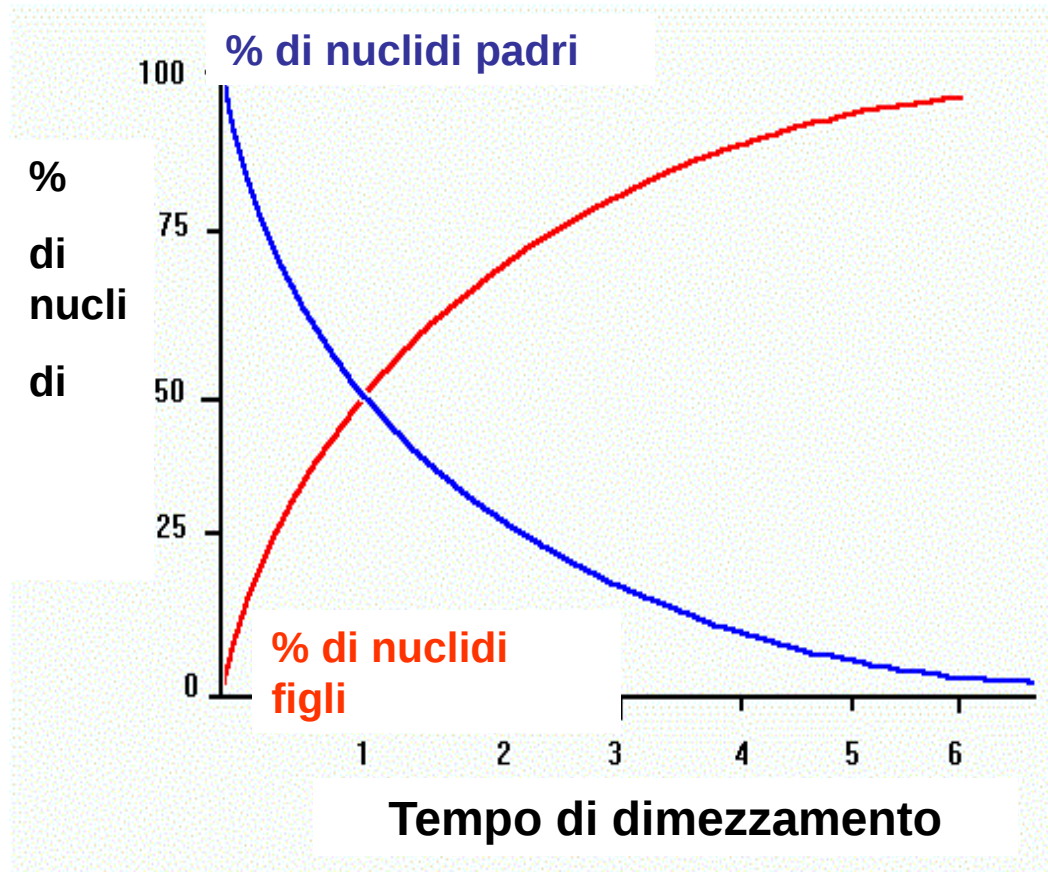


Bettelheim, Brown, Campbell, & Associates
Chimica e propedeutica bioc
EdiSES

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
$^{81\text{m}}_{36}\text{Kr}$	Cripton-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
$^{99\text{m}}_{43}\text{Tc}$	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

Tempo di dimezzamento radioattivo



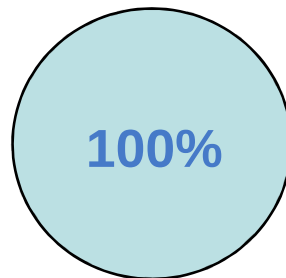
La radioattività ci fornisce una metodica per misurare l'età degli oggetti semplicemente con il conteggio dei nuclidi padri e figli presenti nel campione. Campioni "giovani" conterranno molti padri e pochi figli, a differenza di campioni "vecchi" che, invece, avranno pochi nuclidi padri e molti figli. 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)

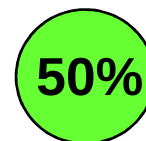
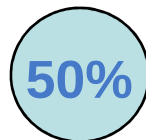
Polonio (^{218}Po)

$t=0$

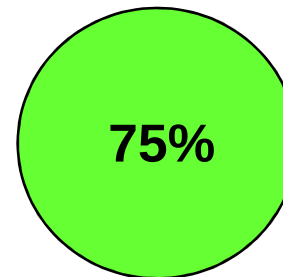


0%

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



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

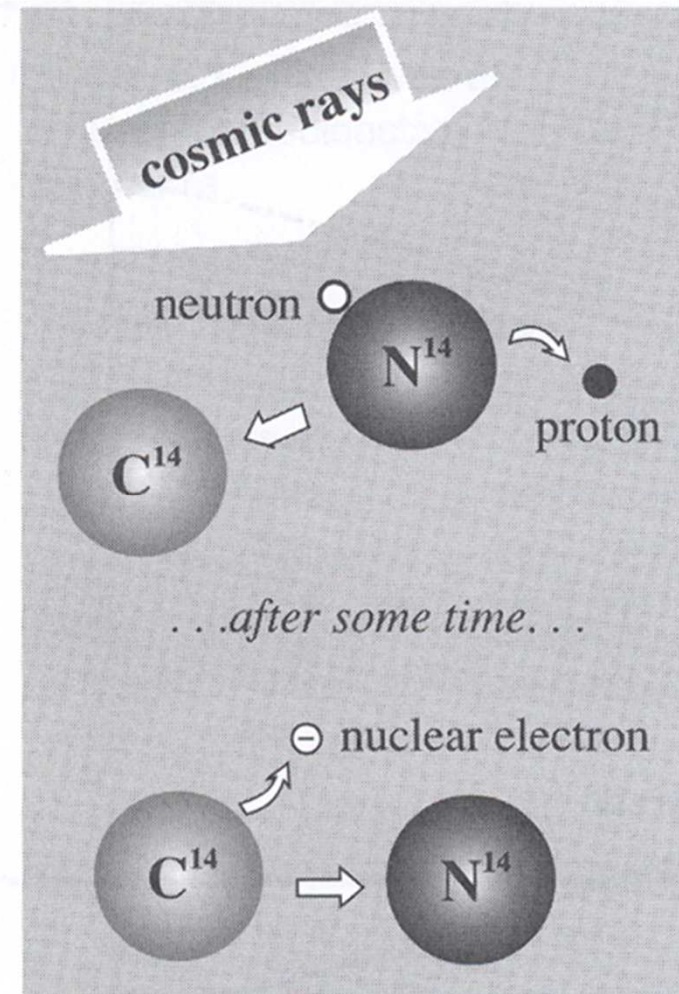


Riodatazione

<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 cessando 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.



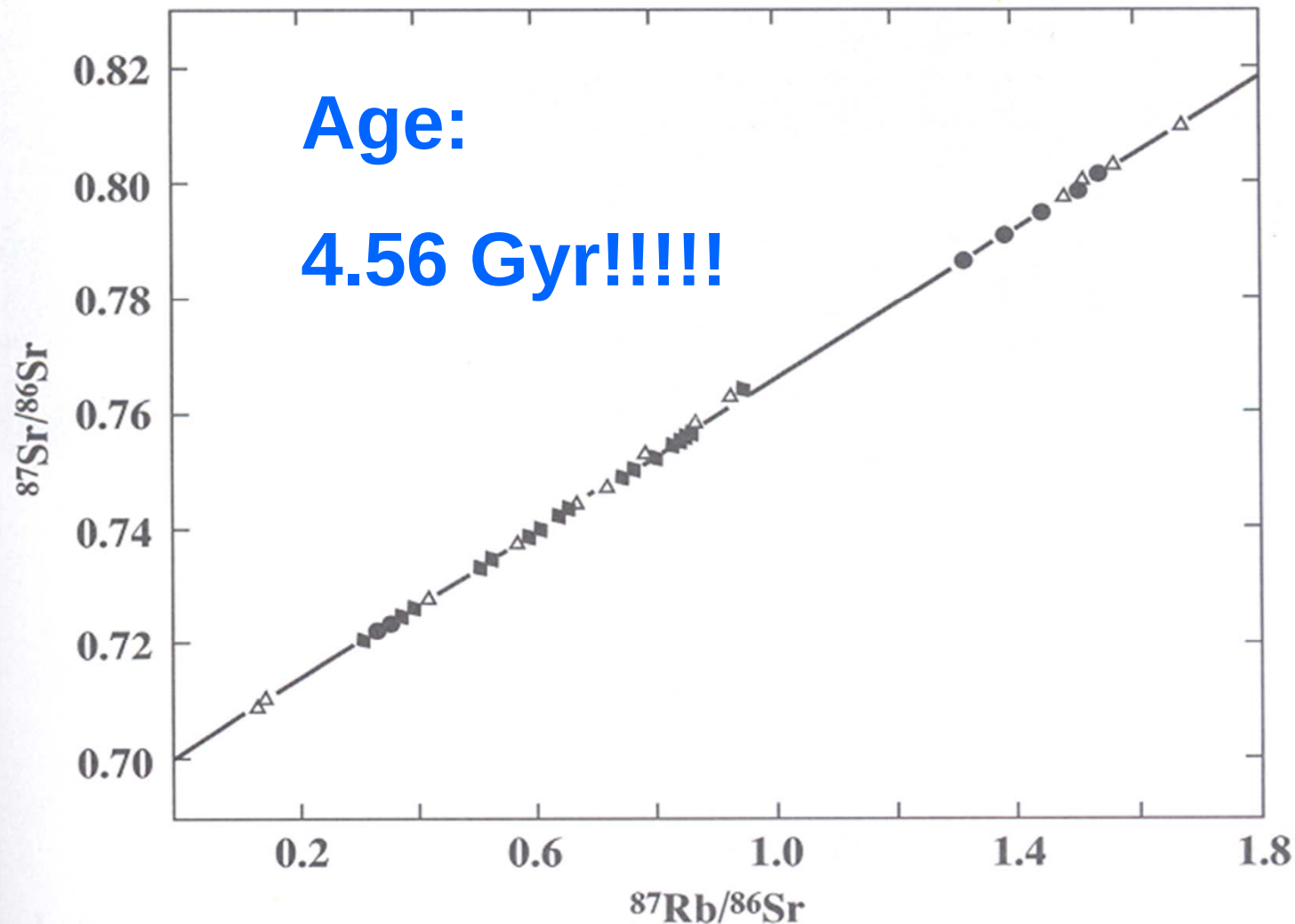
Età < 70,000 anni

15/12/2015

Principi fisici alla base della
formazione delle immagini
"radiochimiche"

19

Il più "vecchio" meteorite



Ionizzazione di un atomo

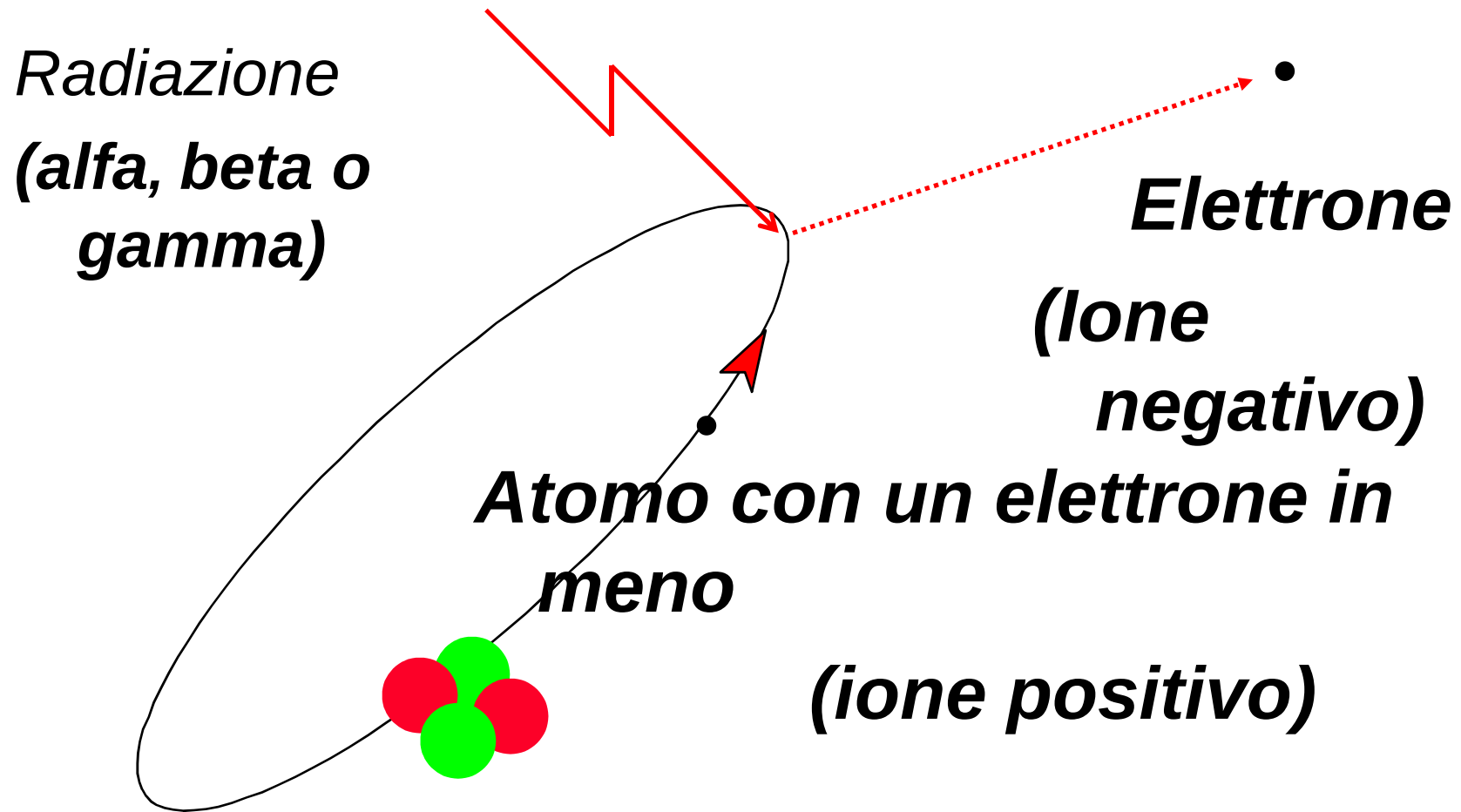
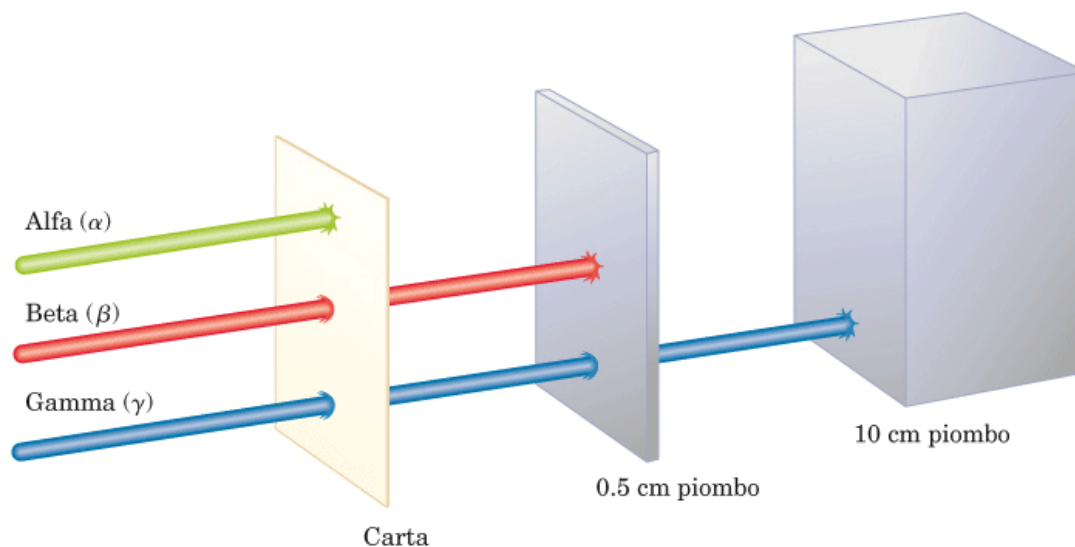


FIGURA 10.6 Penetrazione di emissioni radioattive. Le particelle alfa con carica +2 e massa 4 interagiscono fortemente con la materia, ma hanno minore potere penetrante. Esse sono fermate da più fogli di carta sovrapposti. Le particelle beta, con massa minore e una carica più bassa delle particelle alfa, 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.



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

Radiazione

**Potere
ionizzante**

**Potere
penetrante**

**Percorso
in aria**

α

altissimo

bassissimo

qualche cm

β

alto

basso

qualche mt

γ

bassissimo

altissimo

qualche Km

1

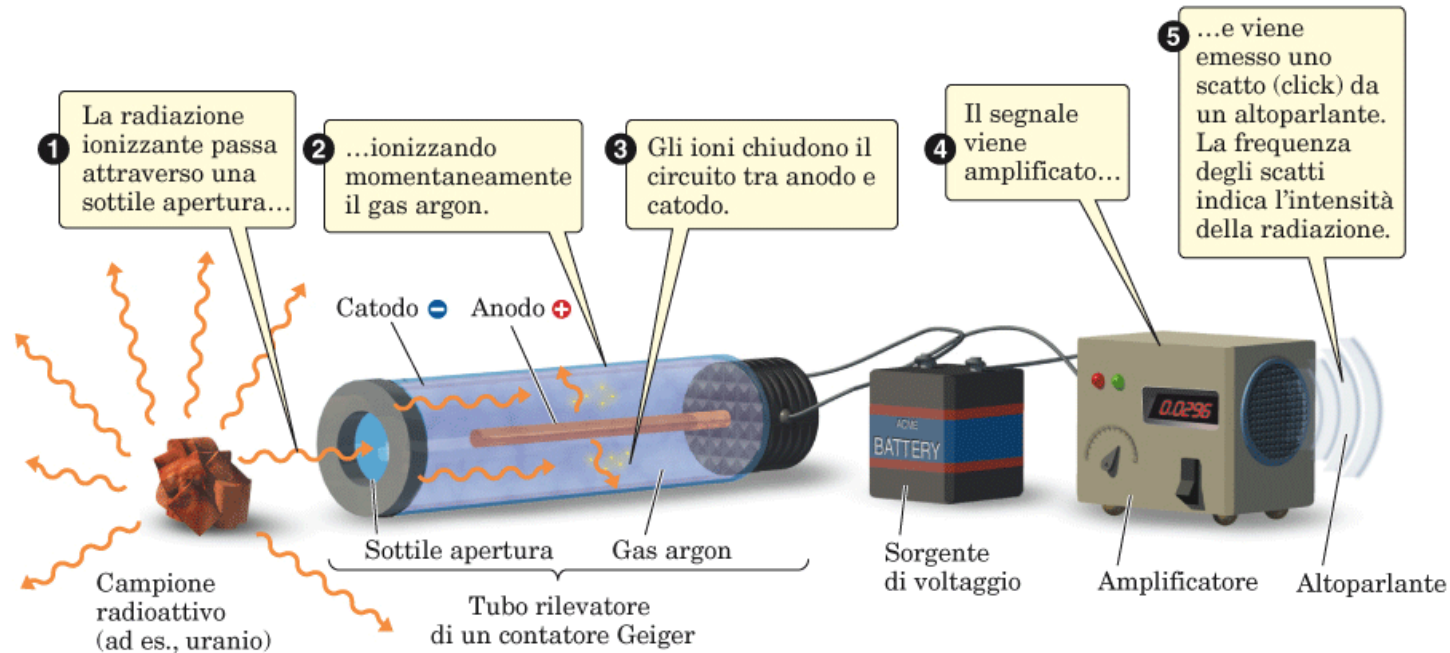


FIGURA 10.5 Rappresentazione schematica del contatore Geiger-Müller.



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 Ra puro)**

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

15/12/2015

"Principi fisici alla base della
formazione delle immagini
radiologiche"

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, cioè ai Joule dissipati in un chilogrammo di tessuto biologico = **Gray (Gy)**



energia assorbita

1 Sv (Sievert) = dose di radiazione che determina un assorbimento di E nell'uomo pari a 1 Gray di raggi X

1 Gy = 1Sv di raggi X

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)

Per legge la max dose che può essere assorbita da un operatore esposto alle radiazioni = 50 mSv/anno

Vi sono anche limiti per le persone comuni di esposizione medica alle R. di 1 mSv/anno

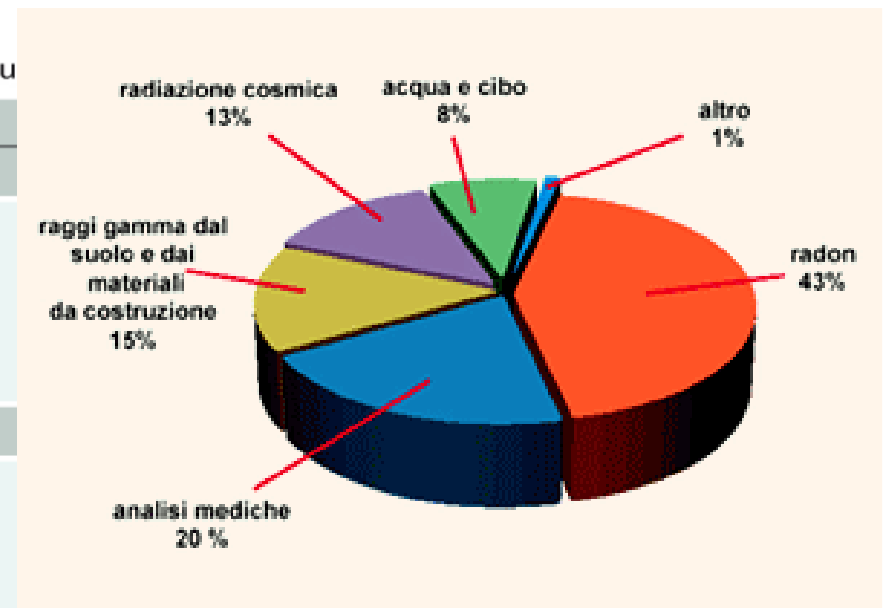
ABELLA 10.4 Esposizione media alle radiazioni provenienti da sorgenti comuni

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	
Raggi X usati a scopo medico ^a	39
Medicina nucleare	14
Prodotti di consumo	10
Impianti nucleari per la generazione di energia	0.5
Altro	<u>1.5</u>
Totale	65
Somma complessiva	359 ^b

^aProcedure 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.

^bLo 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 "innescare" 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

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

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**

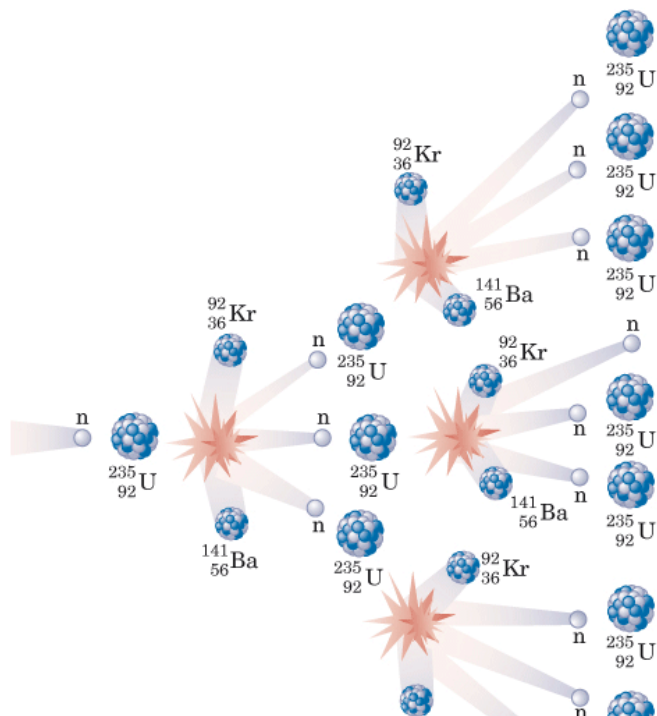


FIGURA 10.10 Diagramma schematico di un impianto di generazione di energia nucleare.

3ettelheim, Brown, Campbell, F
Chimica e propedeutica bioch
EdiSES

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

