

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.

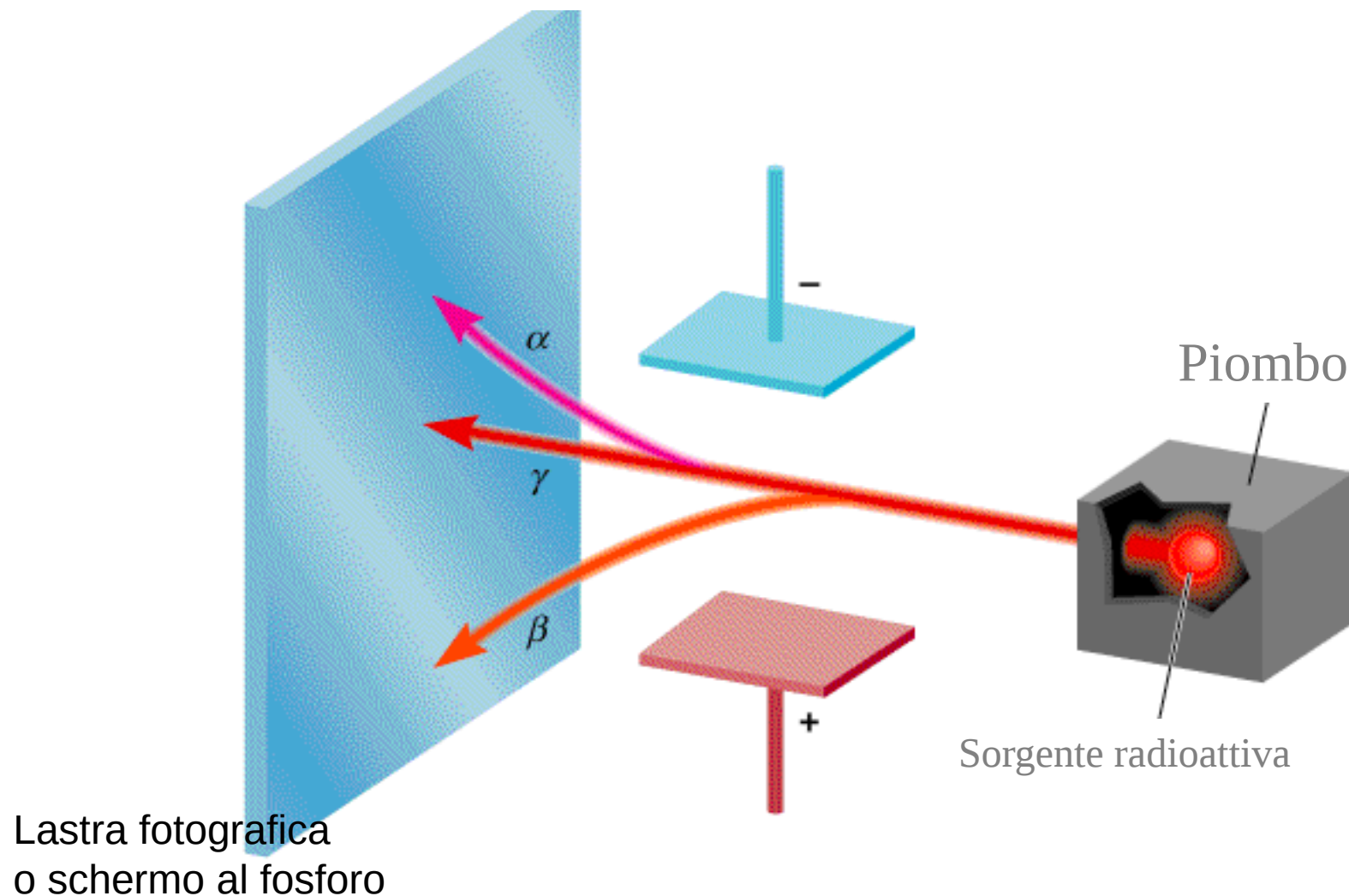
*Se il **figlio** è **stabile**, il processo di decadimento è terminato.*

*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



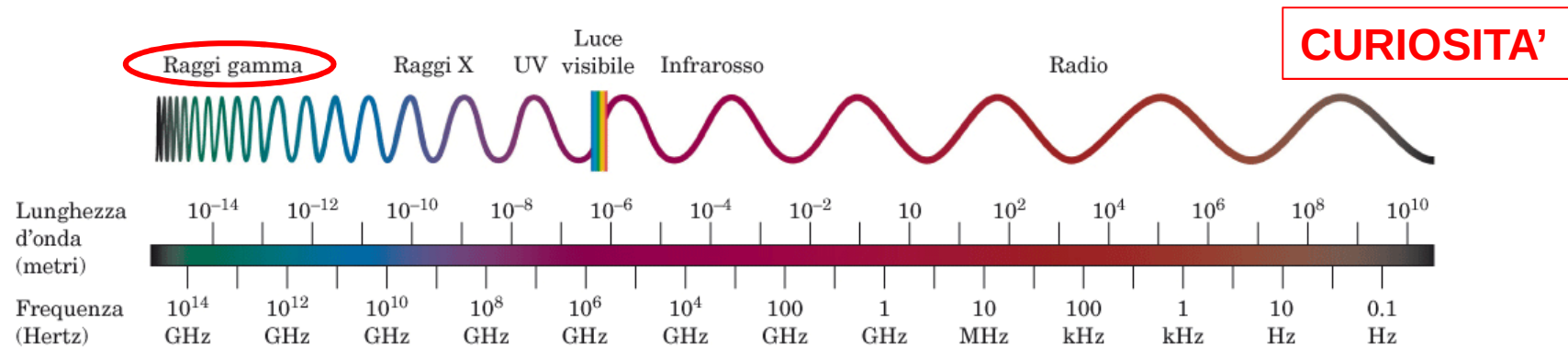


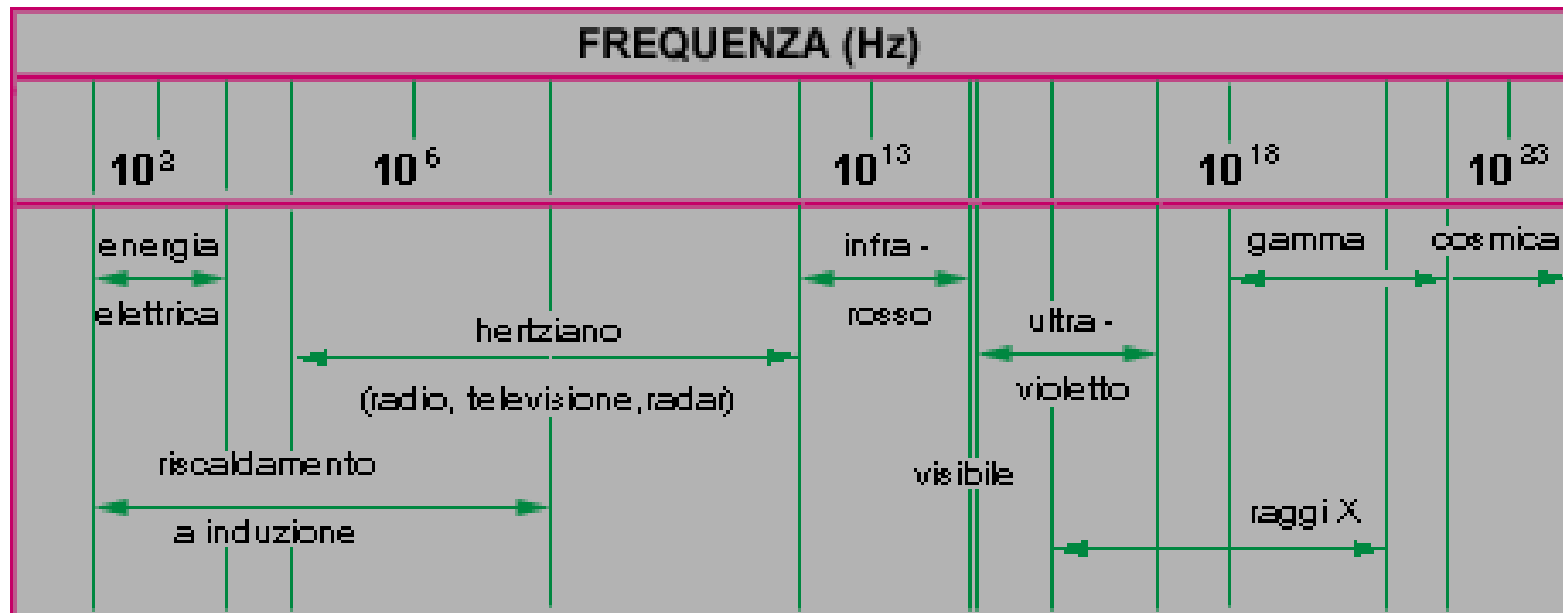
FIGURA 10.3 Lo spettro elettromagnetico.

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

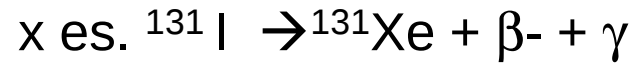


Bettelheim, Brown, Campbell, Farrell
Chimica e propedeutica biochimica
Edises

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



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

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

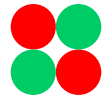
beta e gamma sotto i 4 MeV

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

RADIAZIONI CORPUSCOLARI

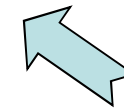
2) **PARTICELLE α** : 2 protoni e 2 neutroni, sotto forma di un nucleo di Elio (He)

(decadimento alfa)



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

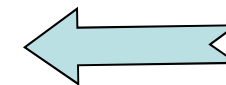
NEUTRONE $\rightarrow$ PROTONE + *negatrone* + anti-neutrino



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

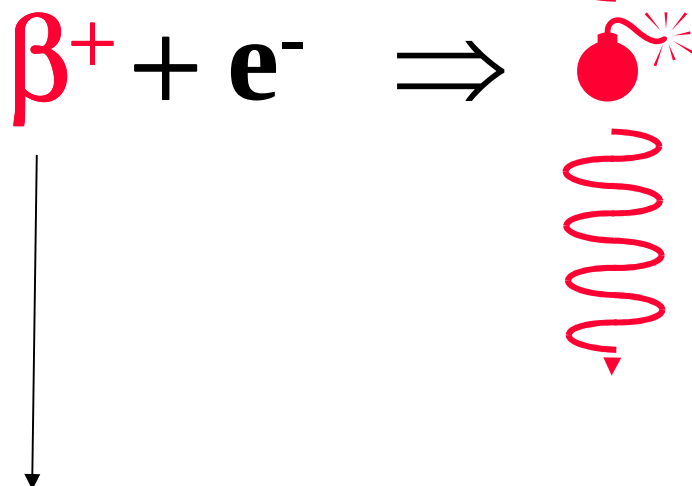
Neutrino e anti-neutrino

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 $\rightarrow$ Z cala di 1



0.511 MeV fotone

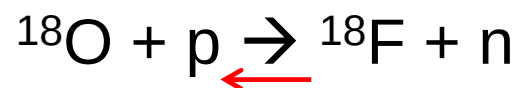
0.511 MeV fotone

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**



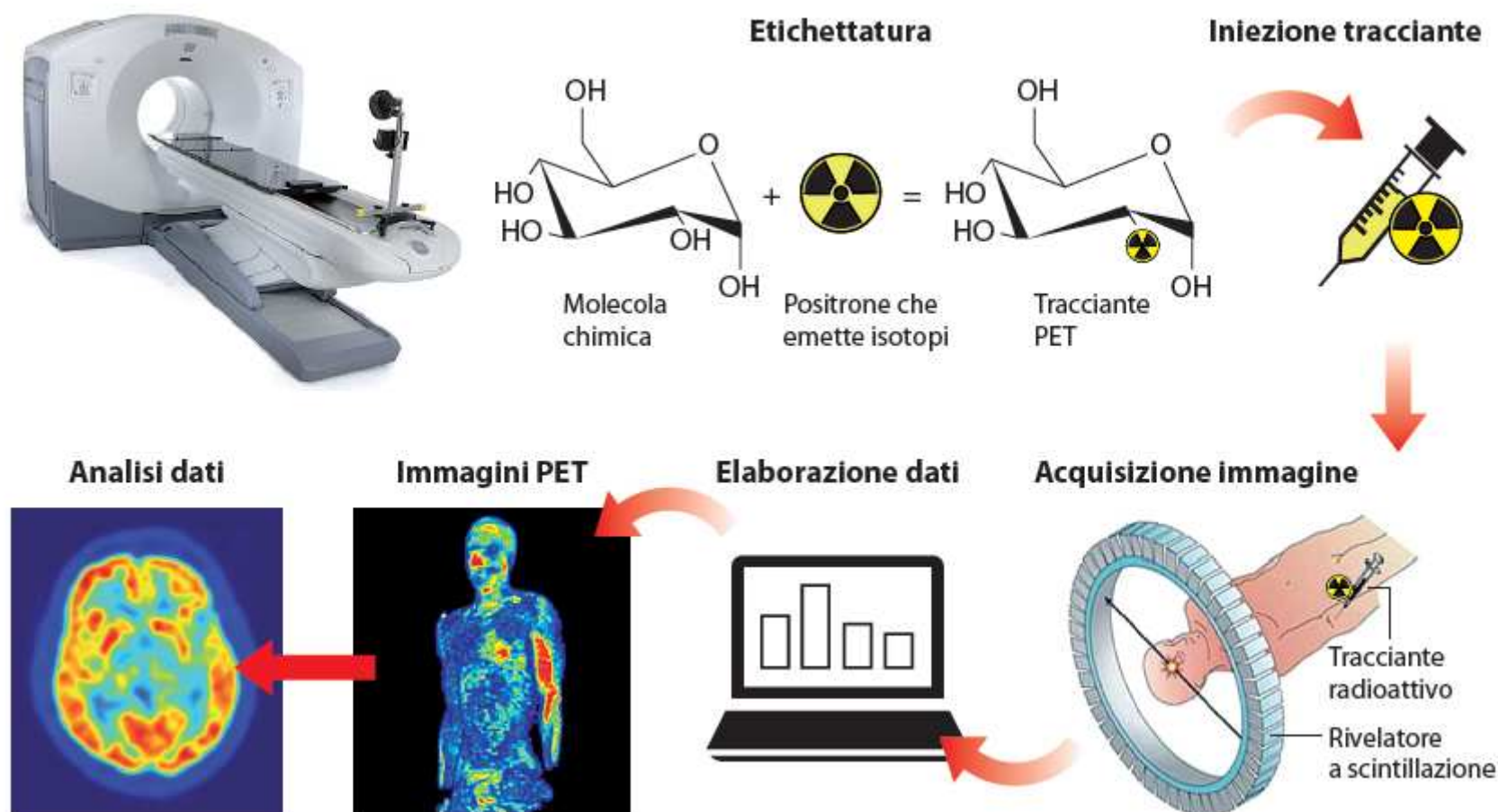
La PET (tomografia a emissione di positroni) usa il ${}^{11}\text{C}$ per studiare le patologie cerebrali, altro emettitore β^+ è il ${}^{18}\text{F}$

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

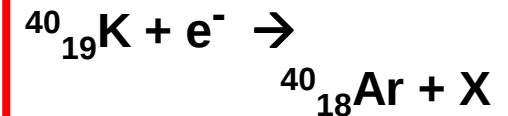
x es. ^{125}I

Protone + e $\rightarrow$ N + raggi X

o ^7Be

Protone + e $\rightarrow$ N + raggi γ

Anche



Il ^{40}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

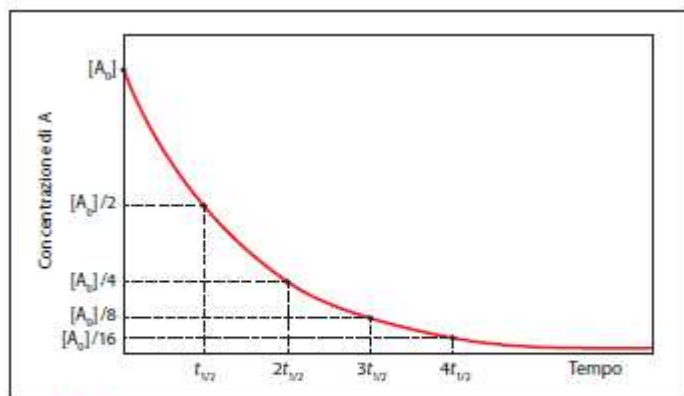


FIGURA 8.3 Grafico che rappresenta la dipendenza della concentrazione del reagente in funzione del tempo evidenziando i relativi tempi di dimezzamento: dopo un tempo pari a $t_{1/2}$ la concentrazione del reagente sarà dimezzata, dopo un tempo pari a $2t_{1/2}$ ne rimarrà un quarto, seguendo così un 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 $k = 0,693 / t \text{ di dimezzamento}$

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

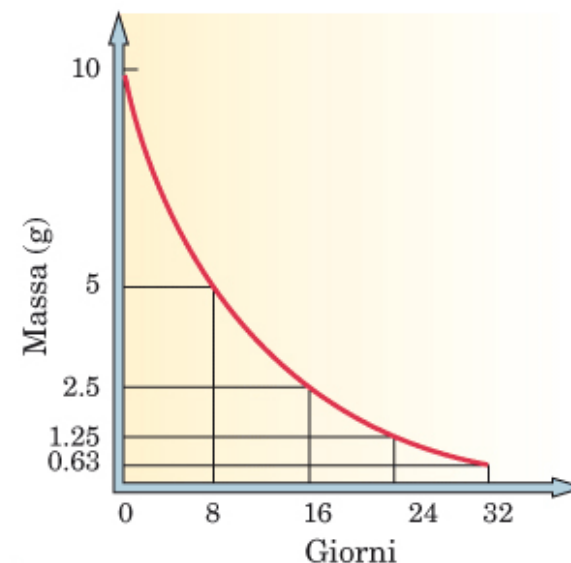


TABELLA 10.2 Tempi di dimezzamento di alcuni nuclei radioattivi

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	${}^{40}_{19}\text{K}$	1.28×10^9 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.

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



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

CURIOSITA'

TABELLA 10.5 Alcuni isotopi radioattivi utili in diagnostica per immagini

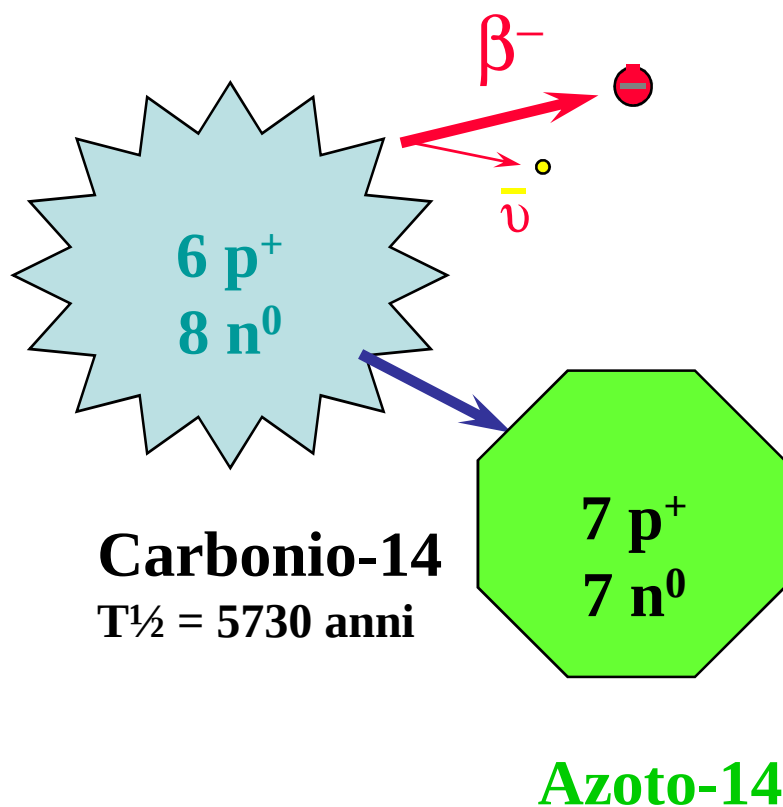
	Isotopo	Tipo di decadimento	Emivita	Uso in diagnostica medica
$^{11}_6\text{C}$	Carbonio-11	β^+, γ	20.3 m	Scansione del cervello per tracciare il metabolismo del glucosio
$^{18}_9\text{F}$	Fluoro-18	β^+, γ	109 m	Scansione del cervello per tracciare il metabolismo del glucosio
$^{32}_{15}\text{P}$	Fosforo-32	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
$^{81\text{m}}_{36}\text{Kr}$	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
$^{99\text{m}}_{43}\text{Tc}$	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

C'è poi la radioterapia

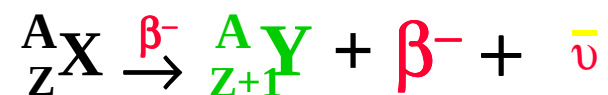


Decadimento Beta- β^-

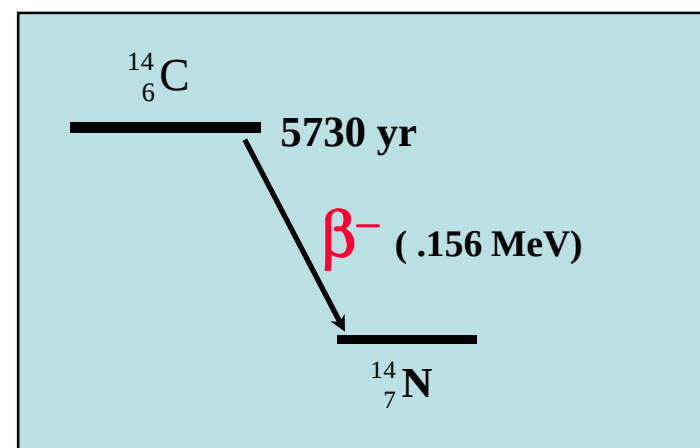
Processo



Equazione di decadimento



Schema di decadimento

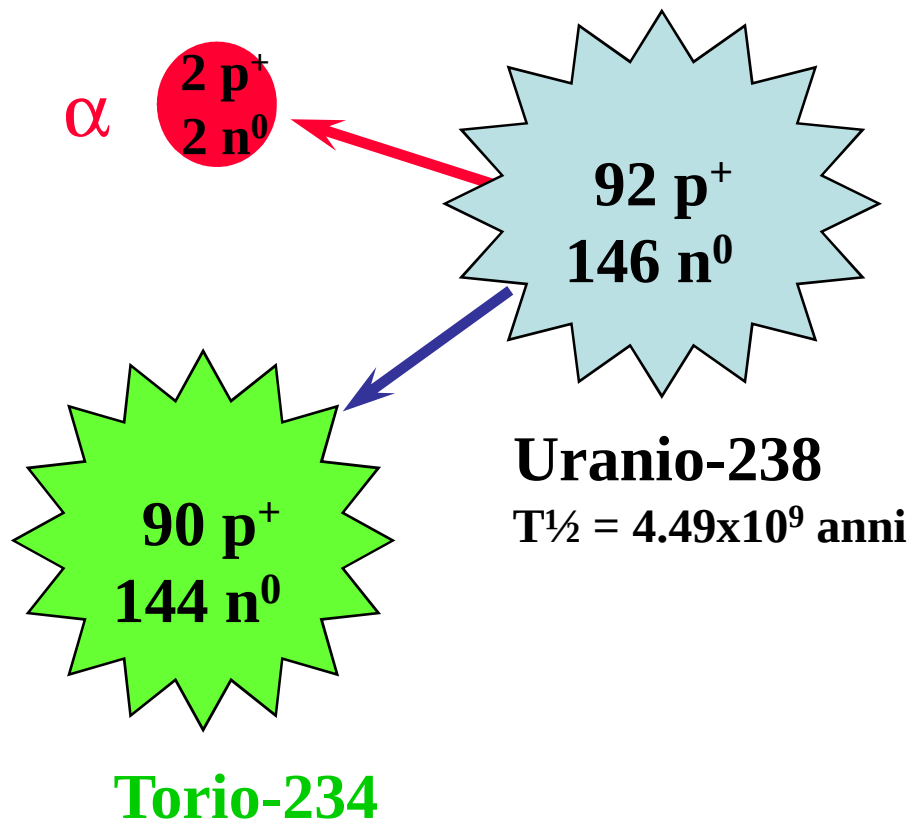


Anche ${}^3\text{H}$, ${}^{35}\text{S}$ e ${}^{32}\text{P}$

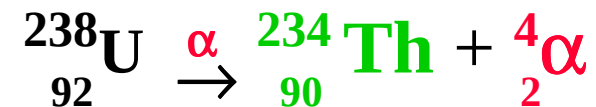
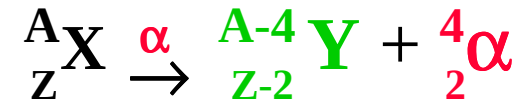
Decadimento Alfa α

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)

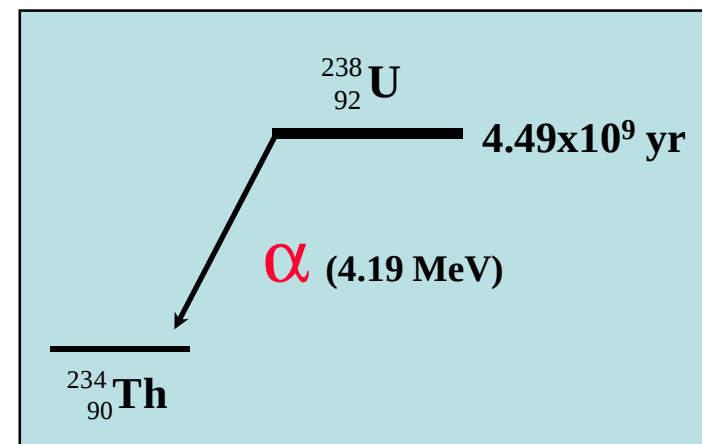
Processo



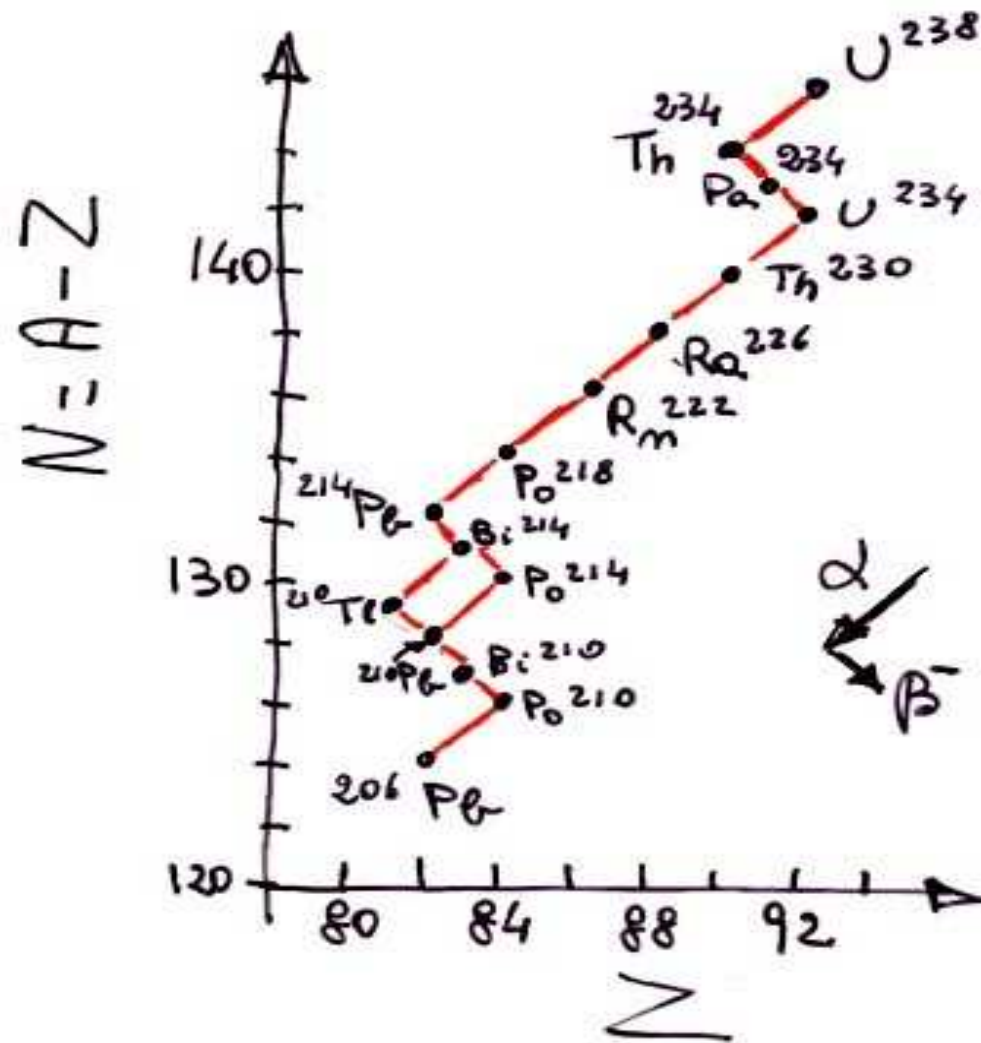
Equazione di decadimento



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

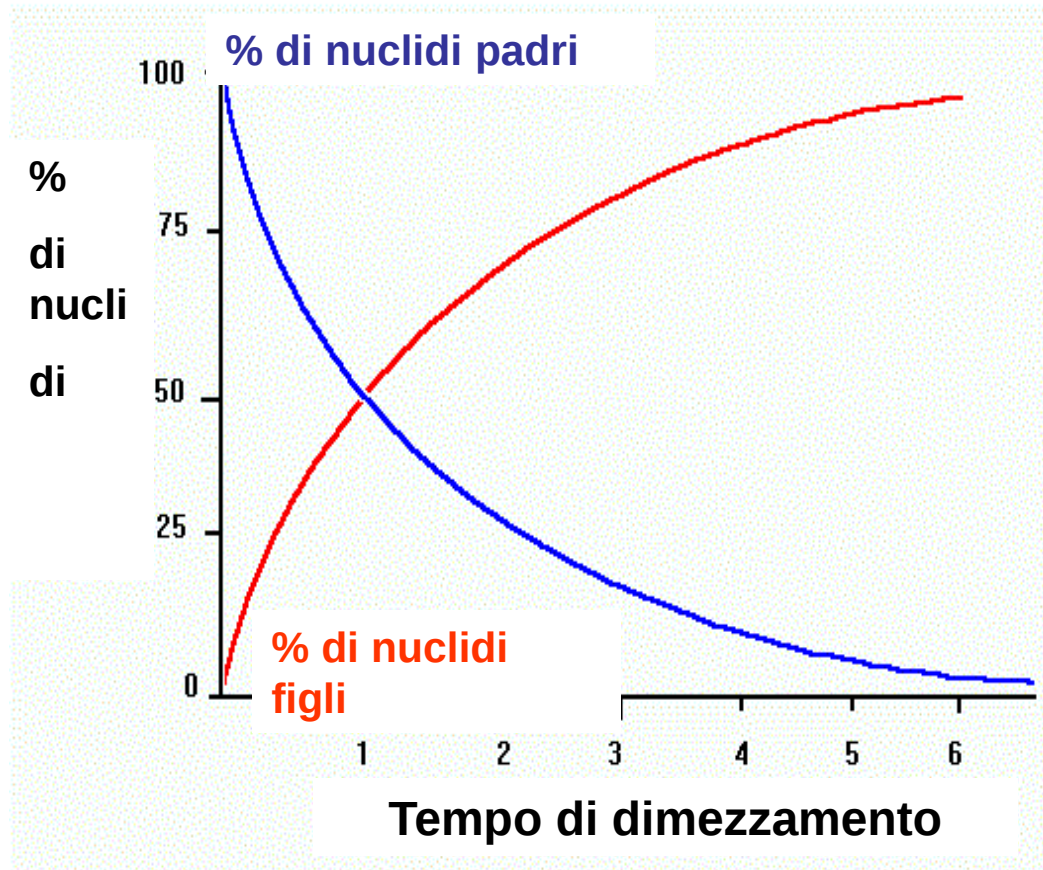
L'ECCITAZIONE consiste nel passaggio di elettroni a uno stato energetico più alto con successivo ritorno allo stato fondamentale e contemporanea emissione di luce → fenomeno della luminescenza e fluorescenza



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%

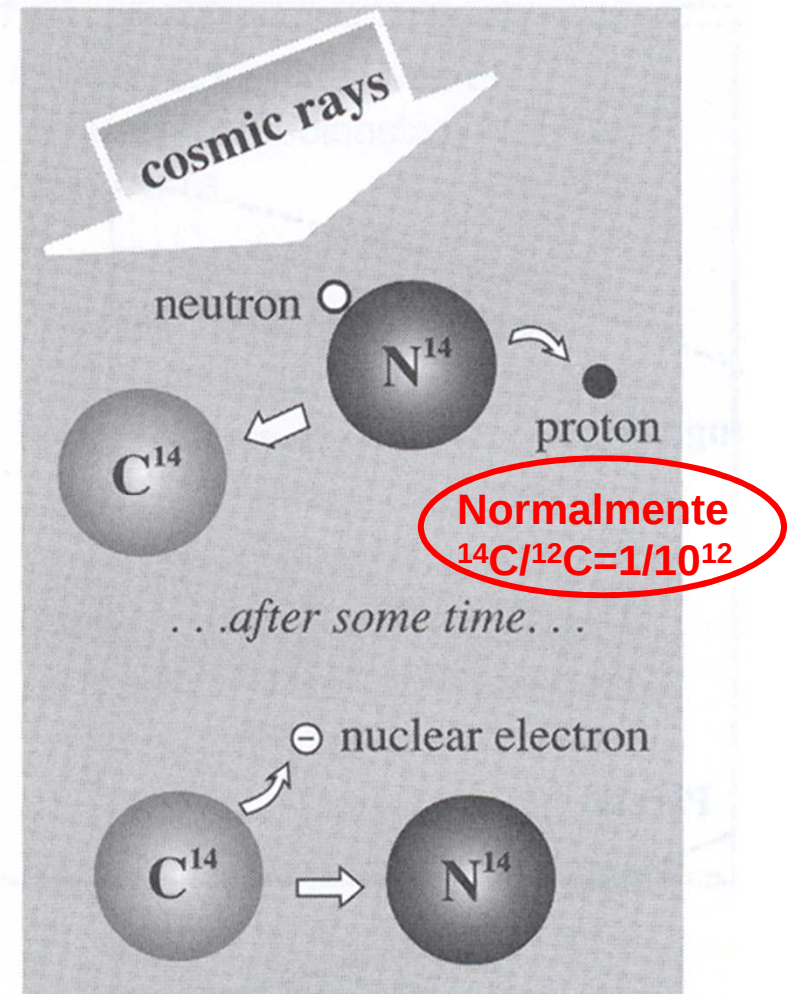
75%

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

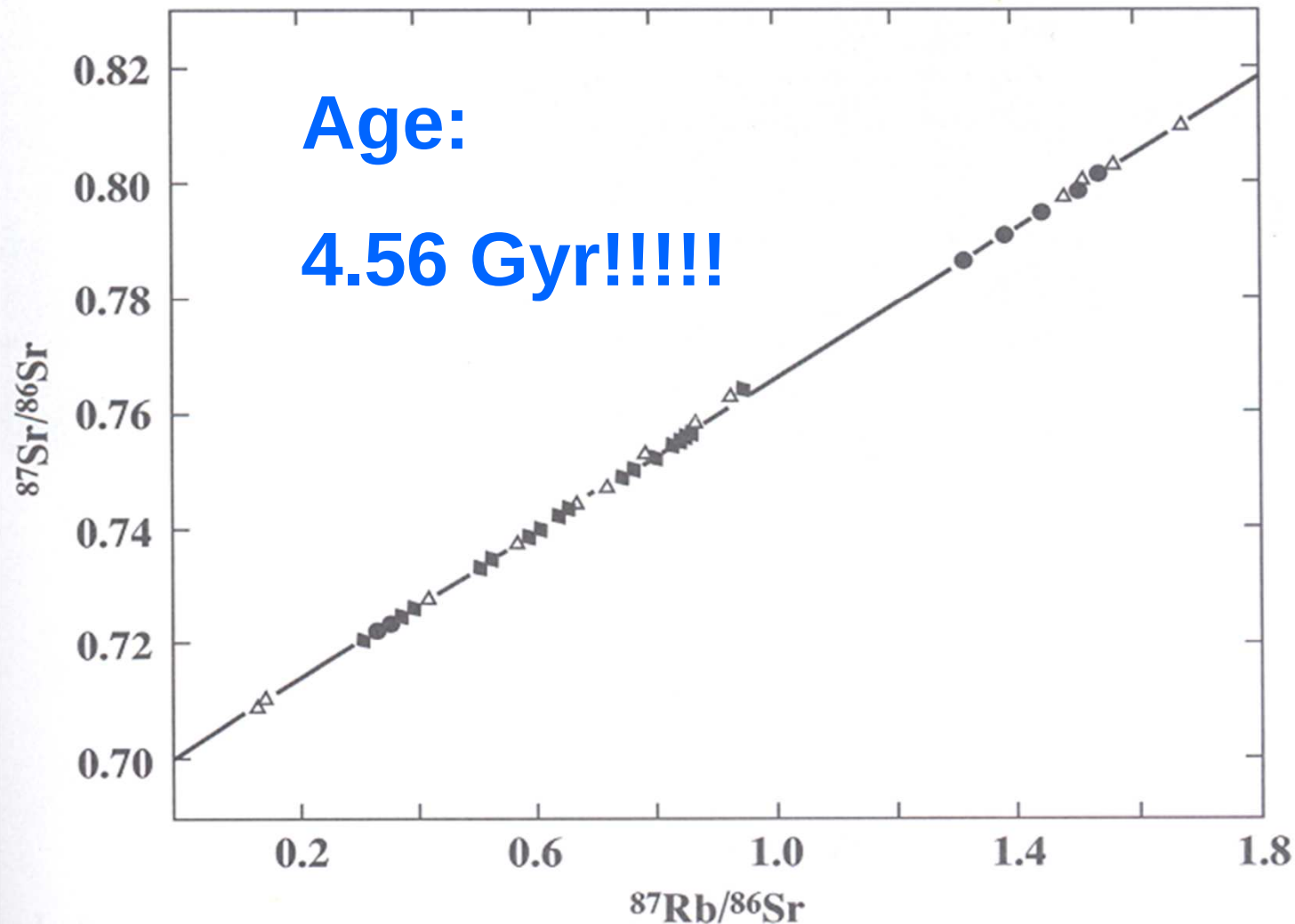
Età < 70,000 anni

CURIOSITA'

13/11/2018

Principi fisici alla base della
formazione delle immagini
radiologiche

Il più "vecchio" meteorite



Ionizzazione di un atomo

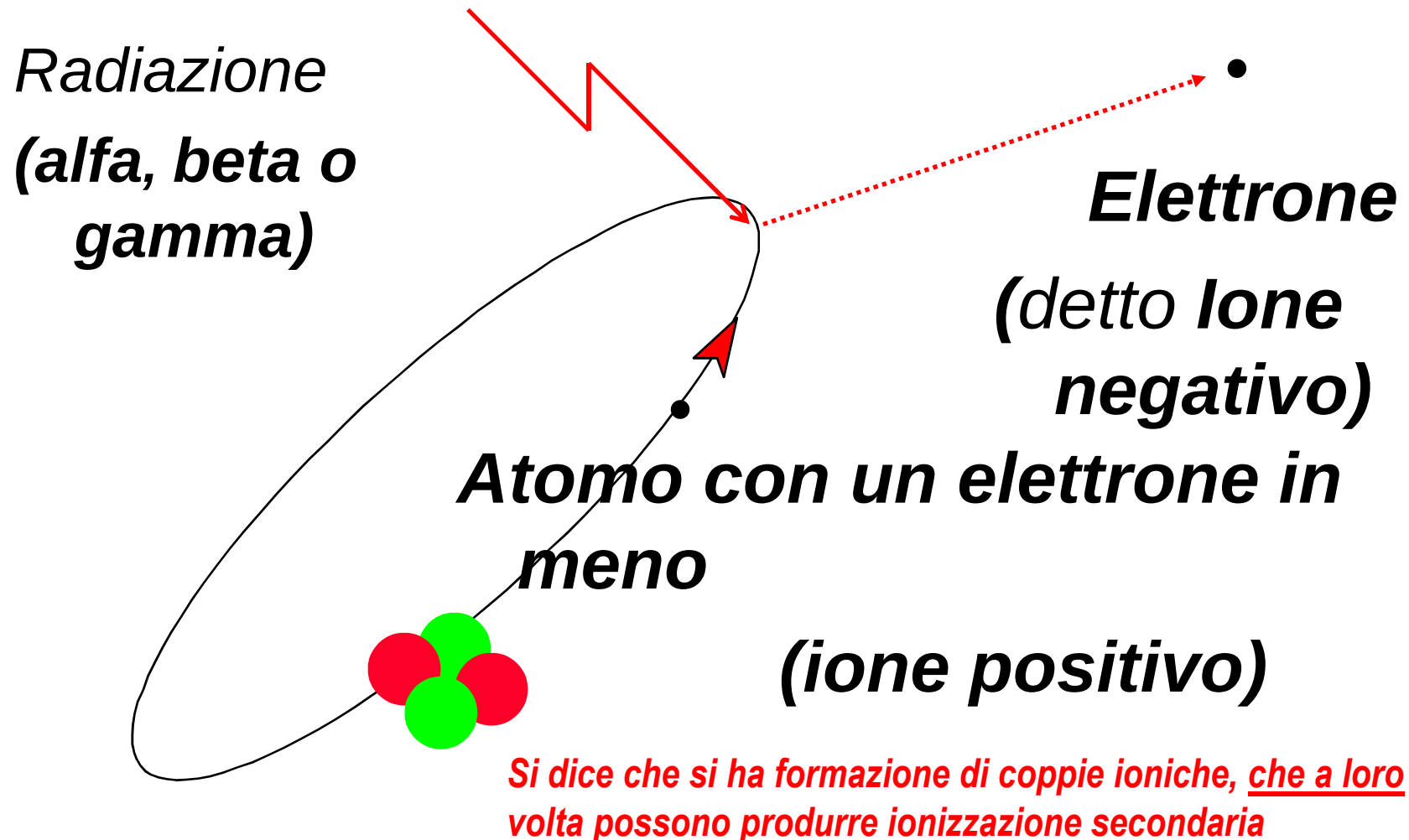
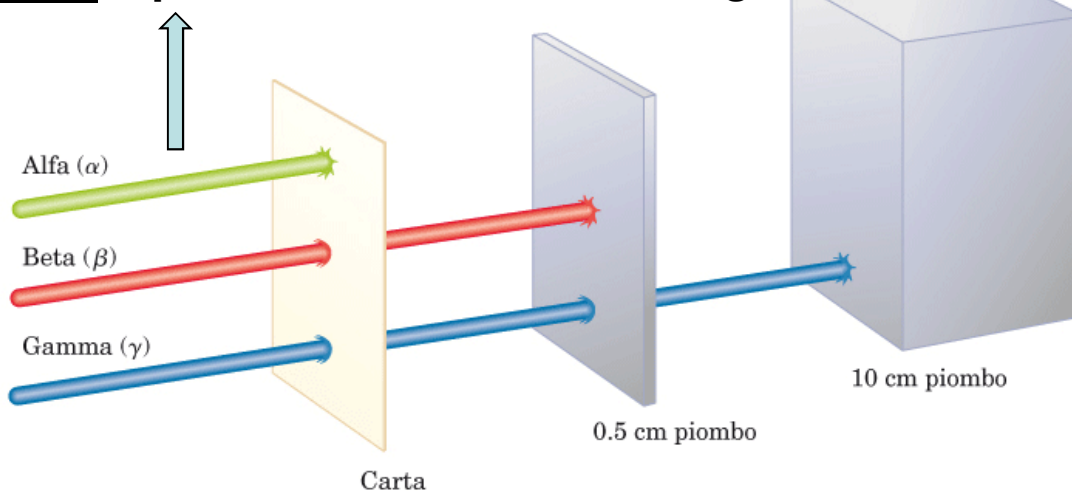


FIGURA 10.6 Penetrazione di emissioni radioattive. Le particelle alfa con carica +2 e massa 4 interagiscono fortemente con la materia, ma hanno minore potere penetrante. Esse sono fermate da più fogli di carta sovrapposti. Le particelle beta, con massa minore e una carica più bassa delle particelle alfa,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

α

altissimo

bassissimo

qualche cm

β^-

alto

basso

qualche mt

γ, X

bassissimo

altissimo

qualche Km

METODI DI MISURAZIONE RADIOATTIVITA'

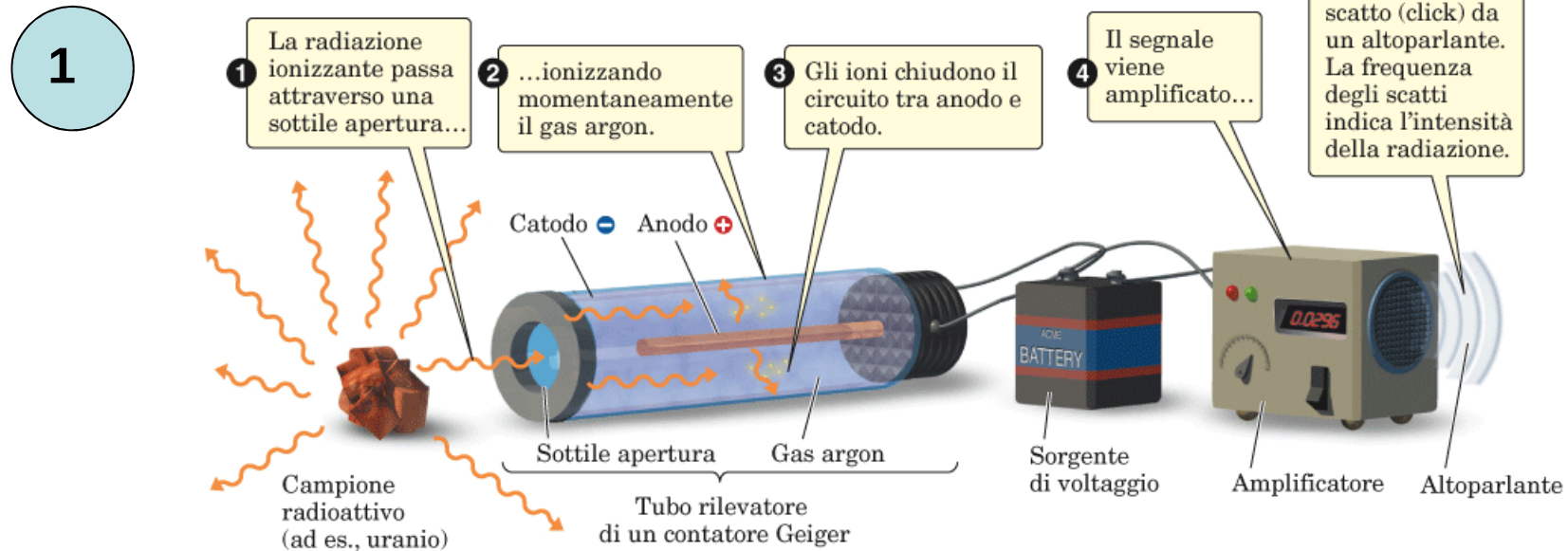


FIGURA 10.5 Rappresentazione schematica del contatore Geiger-Müller.



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 ^{226}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, 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)



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) = $1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$



= 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 β e γ
=20 per le radiazioni α

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

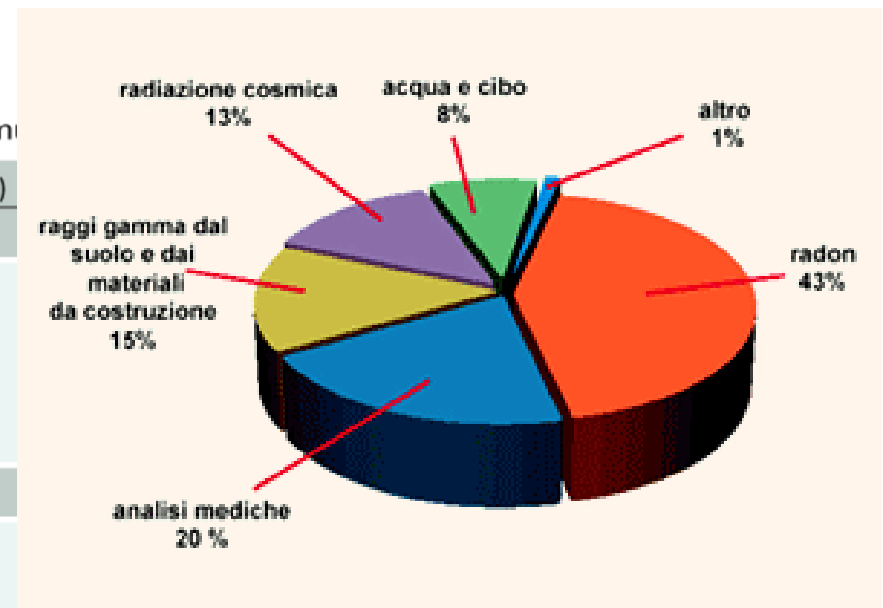
TABELLA 10.4 Esposizione media alle radiazioni provenienti da sorgenti comuni

Sorgente	Dose (mrem/anno)
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 "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'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

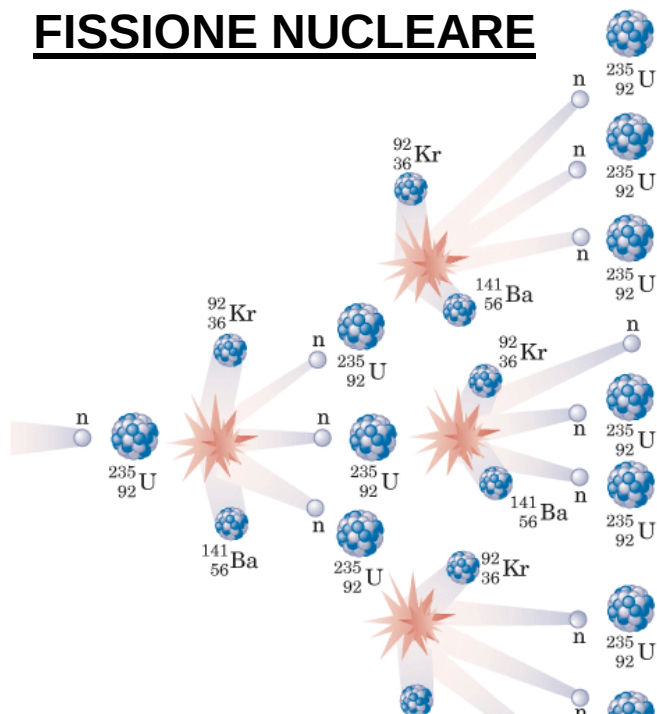


FIGURA 10.10 Diagramma schematico di un impianto di generazione di energia nucleare.

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.

LA FUSIONE NUCLEARE AVVIENE NEL SOLE

CURIOSITA'

Schema di reattore nucleare

