

**Figura 22.1**

Un nucleo atomico può essere disegnato come un insieme di protoni (in rosa) e neutroni (in grigio). I protoni si respingono elettrostaticamente l'un l'altro, tuttavia il nucleo è tenuto insieme dalla intensa forza che agisce tra tutte le particelle.

# CHIMICA NUCLEARE

protoni: } nucleoni  
neutroni: }

Protoni: carica positiva +1

Neutroni: carica nulla

Tenuti insieme dalle interazioni FORTE

Ma i protoni si respingono per interazione  
Coulombiana

⇒ Nucleo stabile se  $Z$  non è troppo alto

$Z > 83$  nuclei instabili



## ESPERIMENTO DI RUTHERFORD

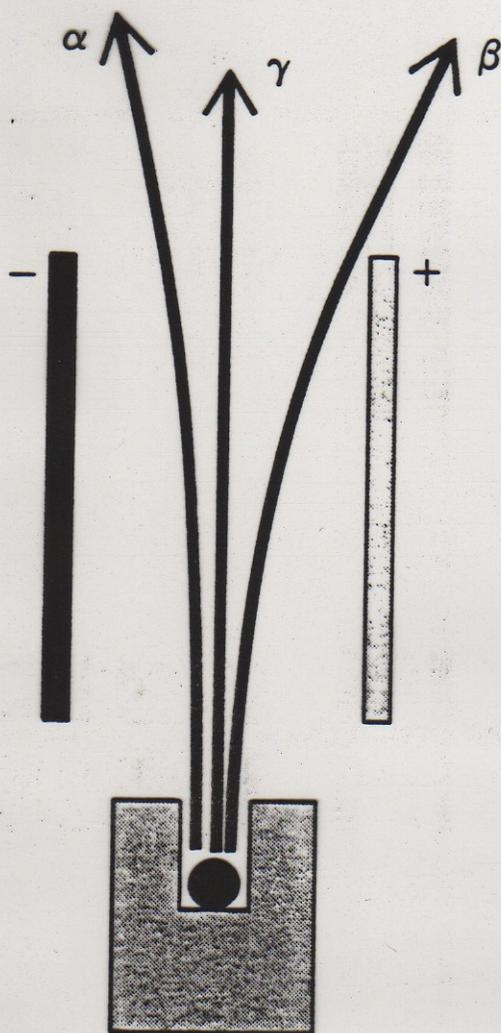
Radiattività: radiazioni emesse dai nuclei

$\alpha$	tipiche nuclei pesanti
$\beta$	" " leggeri
$\gamma$	

$\alpha$	alt. rate	carica negativa
$\beta$	"	" positiva
$\gamma$	imp. turbate	

Dal rapporto  $\frac{\text{carica}}{\text{massa}}$

$\alpha$	$\Rightarrow$	nuclei di He	${}^4_2\text{He}^{2+}$	
$\beta$	$\Rightarrow$	elettroni	${}^0_{-1}\text{e}$	
$\gamma$	$\Rightarrow$	fotoni	alta energia.	$\lambda \sim 1 \mu\text{m}$

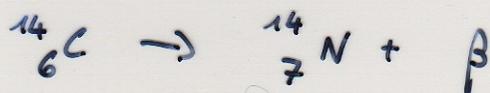


**Figura 22.3**

Gli effetti di un campo elettrico su una radiazione nucleare: la deflessione identifica le radiazioni  $\alpha$  come cariche positivamente, le radiazioni  $\beta$  come cariche negativamente e le radiazioni  $\gamma$  come prive di carica elettrica.

## DISINTEGRAZIONI NUCLEARI

Nucleo instabile  $\rightarrow$  nucleo di massa minore



## TRASMUTAZIONI NUCLEARI

Spesso le radiazioni  $\alpha$  e  $\beta$  sono accompagnate da radiazioni  $\gamma$  poiché la disintegrazione lascia il nuovo nucleo che si forma in uno stato ad alta energia.

$$\Delta E = h\nu \quad \text{transizione nucleare}$$

Emissioni di altre particelle:

positroni:

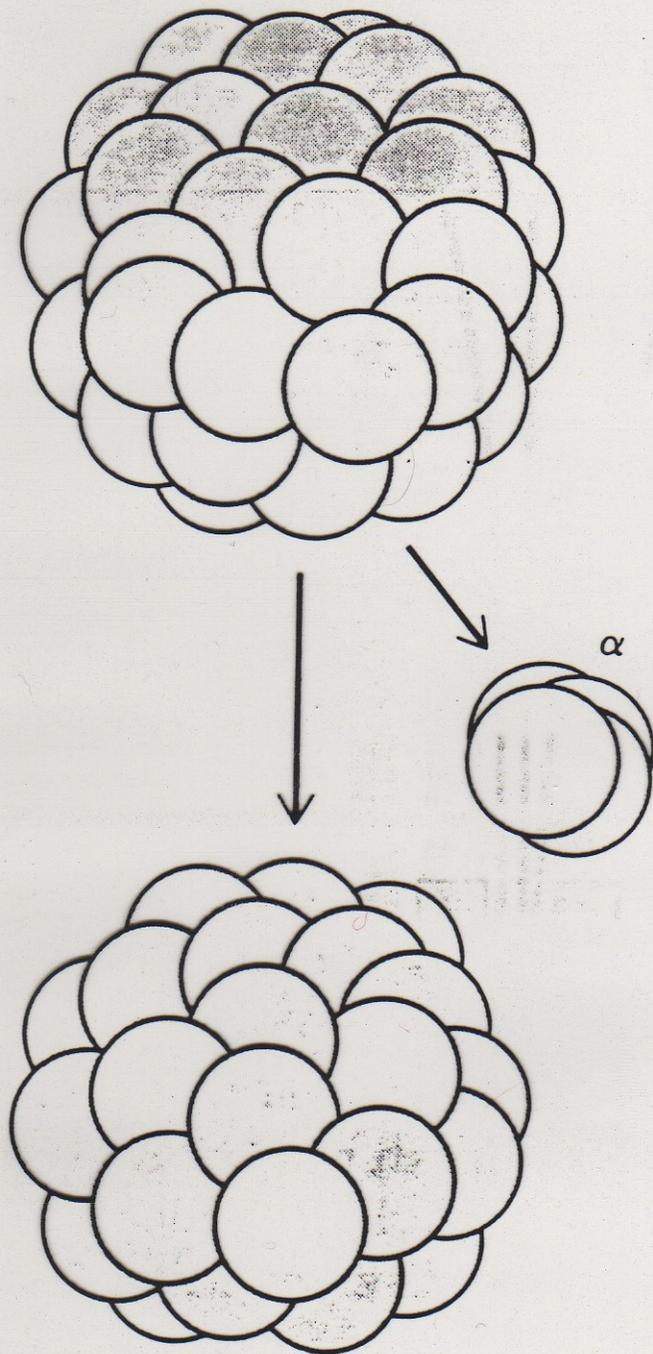
 $\beta^+$  $0$  $1e$ 

protoni:

 $1$  $1p$ 

neutroni:

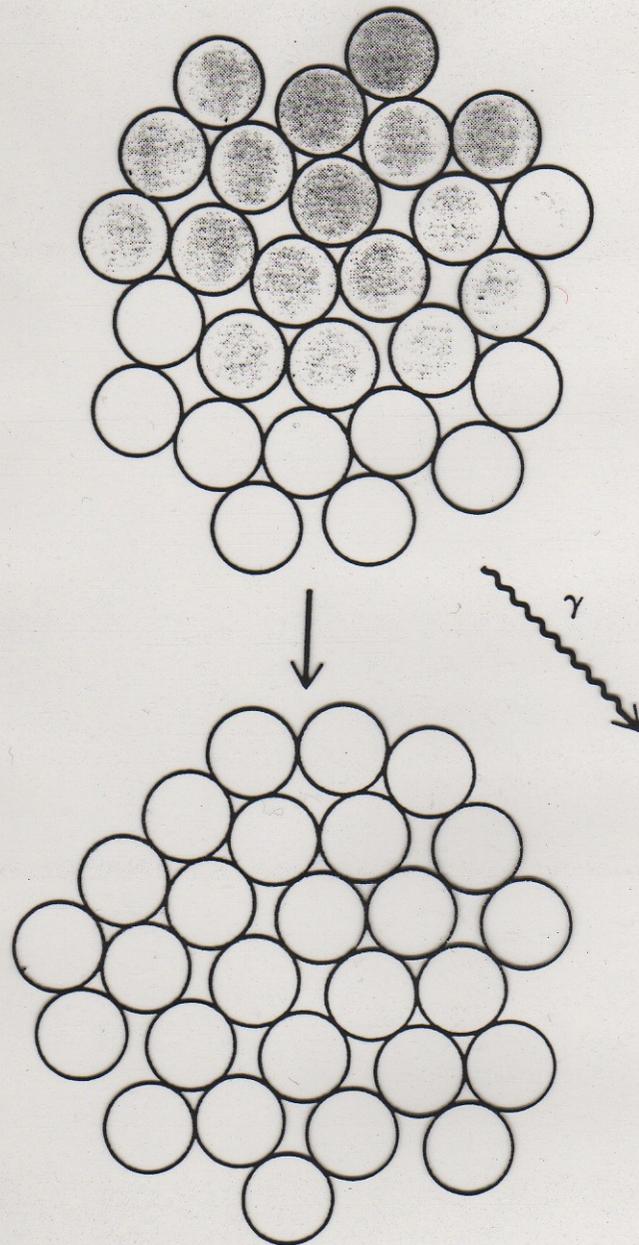
 $1$  $0n$



**Figura 22.4**

Nel processo della disintegrazione nucleare un nucleo espelle una particella (in questo caso una particella  $\alpha$ ) diventando un nuovo nucleo.

Disposizione ad alto contenuto di energia



Disposizione a basso contenuto di energia

**Figura 22.5**

Una disintegrazione nucleare può produrre un nuovo nucleo i cui nucleoni si trovano in una condizione a elevato contenuto di energia; quando si dispongono in una condizione di minore contenuto energetico, emettono l'eccesso di energia sotto forma di fotoni di raggi  $\gamma$ .

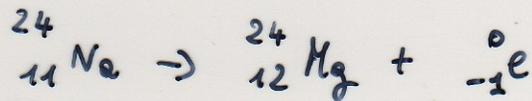
## DISINTEGRAZIONE $\alpha$

$$\begin{aligned} Z &\rightarrow Z - 2 \\ A &\rightarrow A - 4 \end{aligned}$$



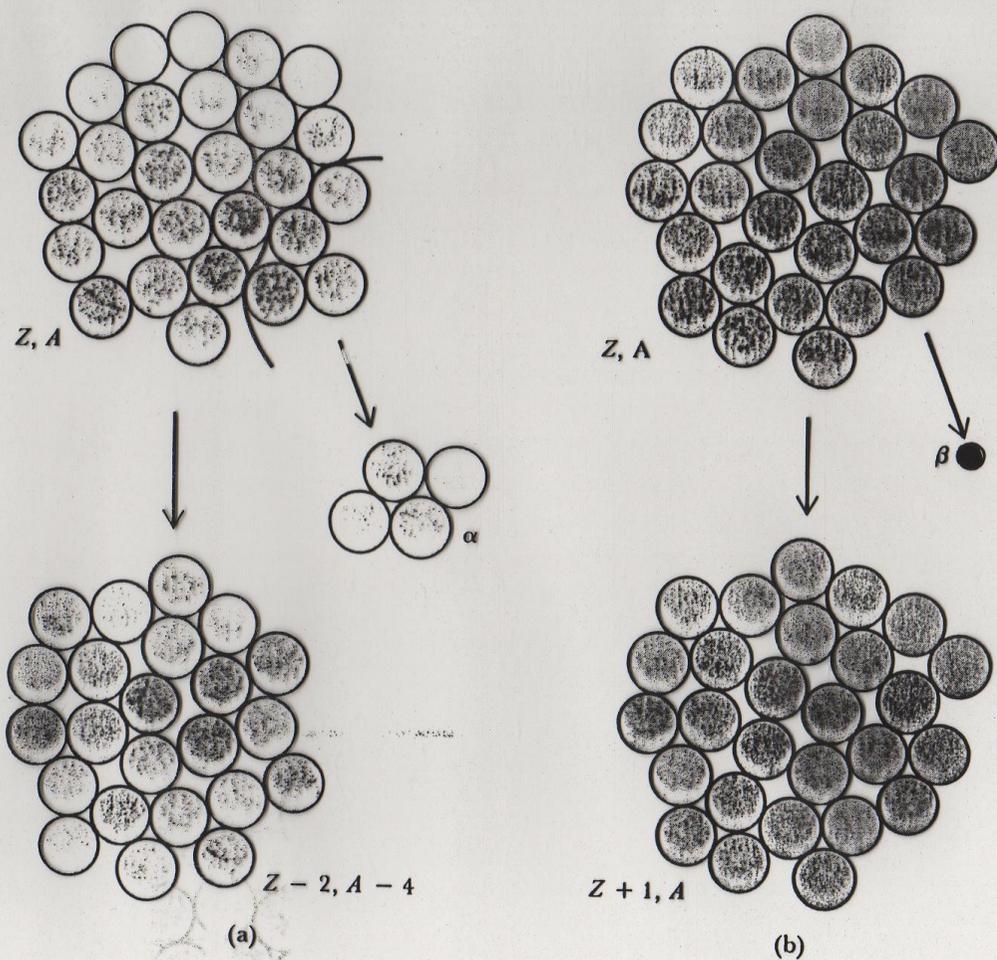
## DISINTEGRAZIONE $\beta$

Un neutrone si trasforma in un protone



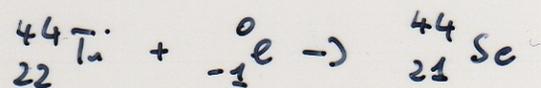
**Figura 22.6**

(a) Quando un nucleo espelle una particella  $\alpha$ , il numero atomico dell'atomo diminuisce di 4 unità.  
(b) Quando viene emessa una particella  $\beta$ , il numero atomico aumenta di 1 unità mentre il numero di massa resta invariato. I cerchi rosa rappresentano protoni, quelli grigi i neutroni.



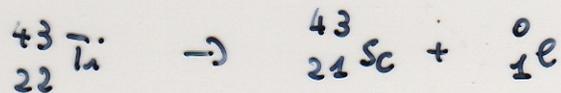
## CATTURA ELETTRONICA

Un protone si combina con un elettrone  
per dare un neutrone



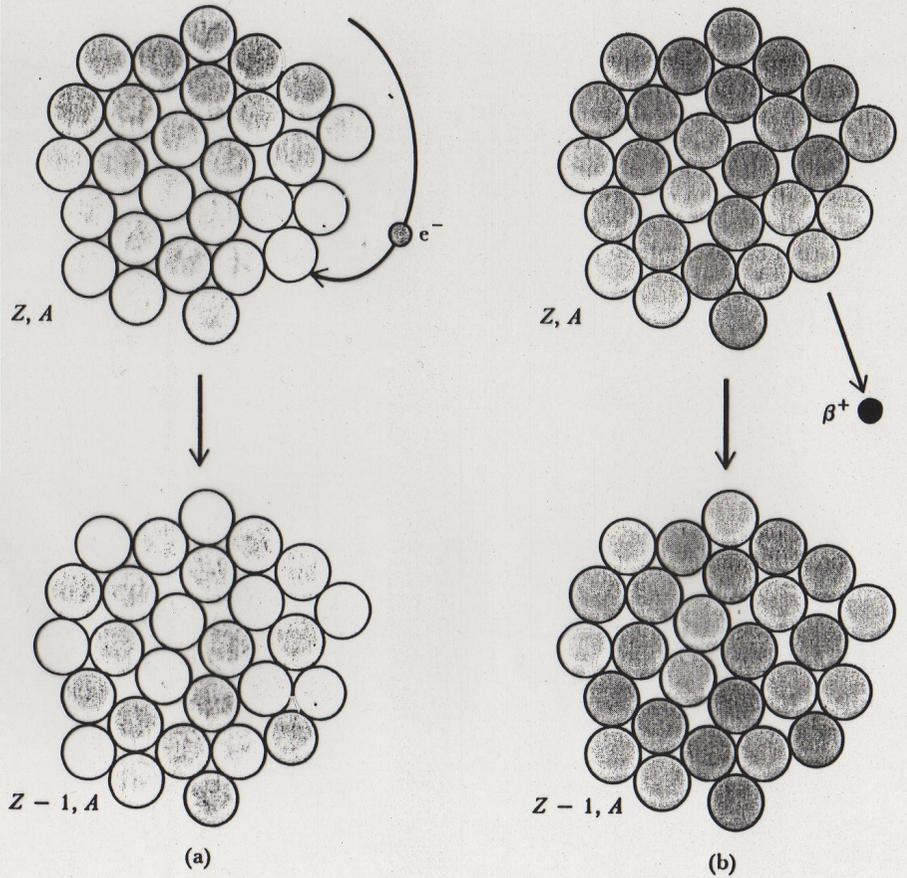
## EMISSIONE DI POSITRONI

Un protone diventa un neutrone



**Figura 22.7**

(a) Nel processo della cattura elettronica, un nucleo cattura uno dei nuclei circostanti; questo ha come conseguenza la trasformazione in neutrone di uno dei protoni e quindi la diminuzione di 1 unità di  $Z$  mentre il numero di massa resta invariato. (b) Il medesimo risultato può essere ottenuto nell'emissione positronica, in cui un protone si libera della sua carica positiva diventando un neutrone.



Nuclei stabili: compresi in una banda di stabilità.

Al di fuori  $\Rightarrow$  nuclei radioattivi

Z basso ( $< 20$ )  $A \sim 2Z$

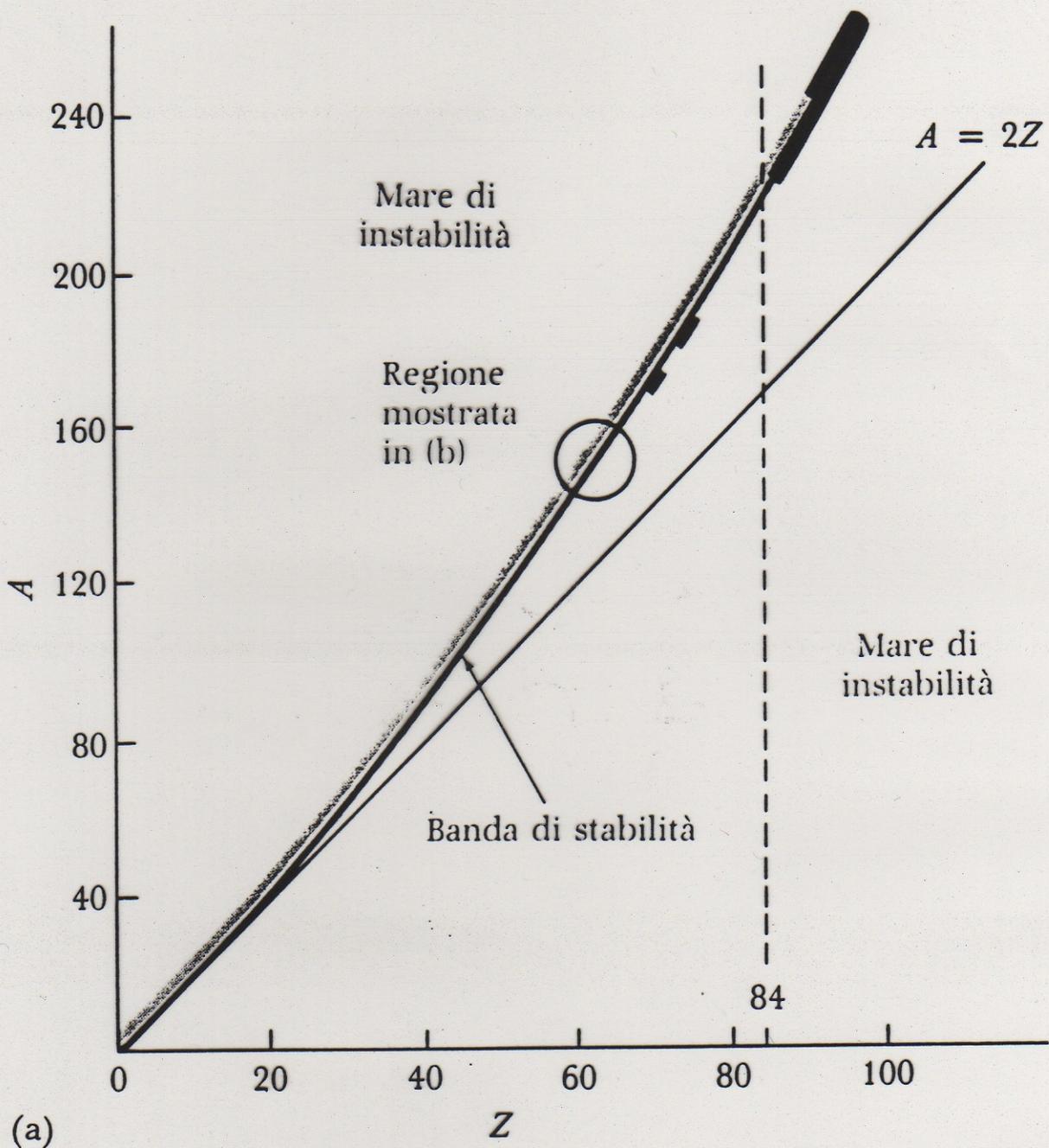
Z alto  $A > 2Z$

Nuclei al di sopra della banda di stabilità  
 $\Rightarrow$  troppi neutroni



Al di sotto della banda  $\Rightarrow$  troppi protoni





$Z > 83$

nuclei instabili (troppi protoni)

Decadimento  $\alpha$  ed emissioni di neutroni e protoni

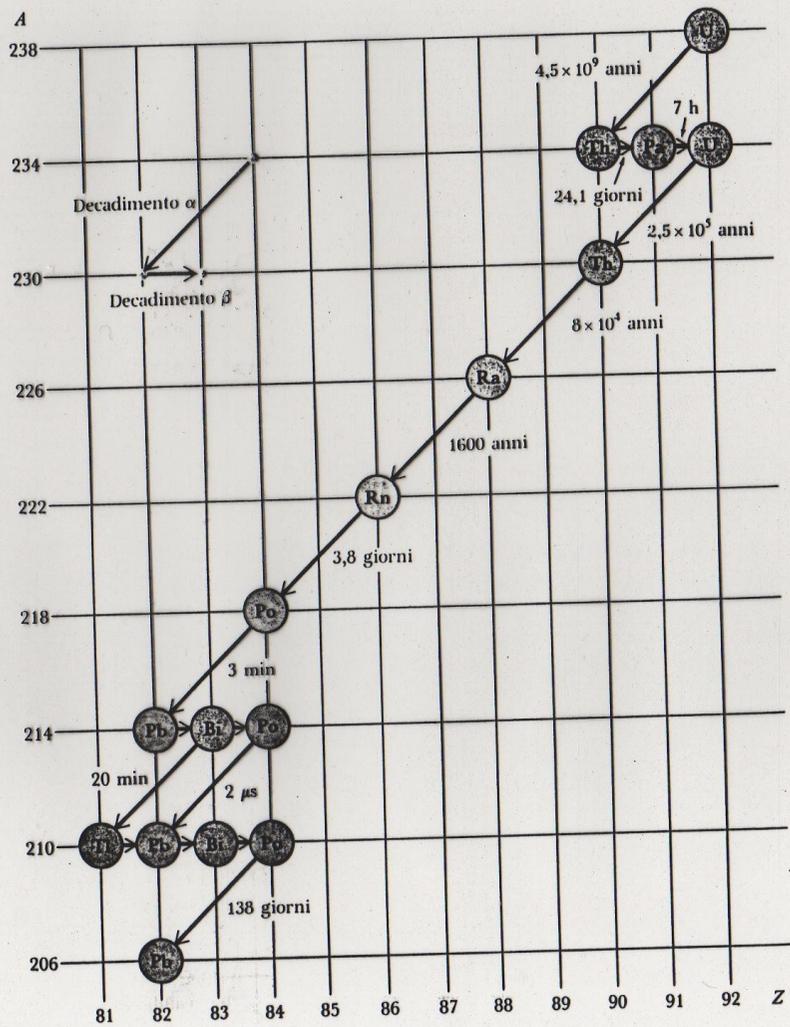
serie di decadimenti che porta a un isotopo stabile (con  $Z < 83$ ) . . . il solito Pb ( $Z = 82$ )

3 serie radioattive

U-238  $\rightarrow$  Pb-206

U-235  $\rightarrow$  Pb-207

Th-232  $\rightarrow$  Pb-208.



**Figura 22.9**

La serie dell'uranio-238. I tempi riportati sono quelli delle semivite dei nuclidi (come spiegato nel Paragrafo 22.6).

RADIO ATTIVITA' : responsabile di danni biologici.

## MISURA DELLA RADIOATTIVITA'

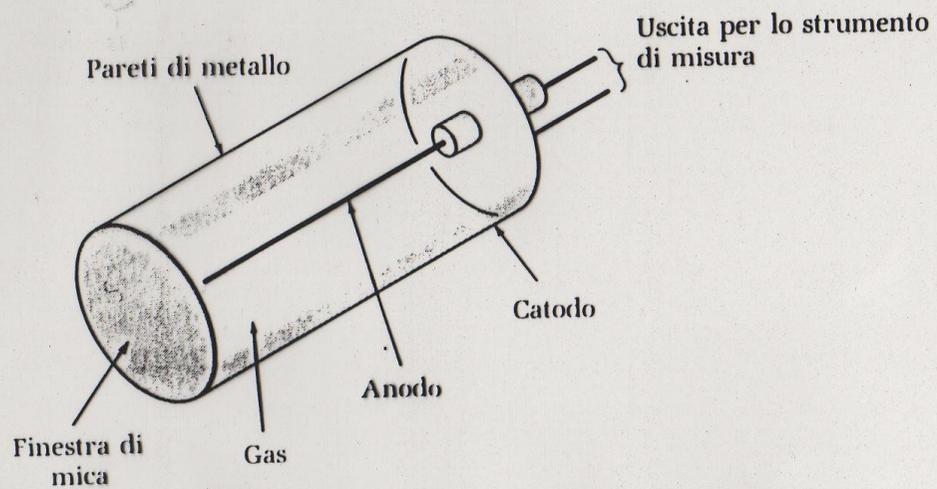
- Contatore Geiger : cilindro con gas a bassa P che viene ionizzato dalla radiazione.  
=> corrente fra gli elettrodi.

- Contatore a scintillazione: materiale che assorbe la radiazione e rillette luce che viene poi rivelata in modo convenzionale (pellicola fotografica).

$\alpha$	massa + carica	basso potere penetrante
	dannoso	
$\beta$	carica	potere penetrante medio
$\gamma$		alto potere penetrante
	dannoso	

**Figura 22.11**

Il rivelatore (detector) di un contatore Geiger consiste in un gas (tipicamente argon insieme a tracce di vapori di etanolo, oppure neon insieme a tracce di vapori di bromo) chiuso in un contenitore; tra le pareti e un filo metallico posto al centro, esiste una elevata differenza di potenziale (da 500 a 1200 V). Quando una radiazione ionizza il gas, una corrente elettrica passa tra gli elettrodi (pareti e filo).



**Tabella 22.1** Radiazioni nucleari

Radiazione	Commenti	Particella*	Esempio
$\alpha$	Non penetranti ma pericolose Velocità: < 10% di $c^{**}$	Nuclei di elio-4 ${}^4_2\text{He}^{2+}$ , ${}^4_2\alpha$ , $\alpha$	${}^{286}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + \alpha$
$\beta$	Moderatamente penetranti Velocità: < 90% di $c$	Elettroni $-{}^0_1e$ , $\beta^-$ , $\beta$	${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + \beta$
$\gamma$	Molto penetranti; spesso accompagnano l'emissione di altre radiazioni Velocità: $c$	Fotoni	${}^{60}\text{Co}^\dagger \rightarrow {}^{60}\text{Co} + \gamma$
$\beta^+$	Moderatamente penetranti Velocità: < 90% di $c$	Positroni ${}^0_1e$ , $\beta^+$	${}^{22}_{11}\text{Na} \rightarrow {}^{22}_{10}\text{Ne} + \beta^+$
$p$	Potere di penetrazione da basso a moderato Velocità: < 10% di $c$	Protoni ${}^1_1\text{H}^+$ , ${}^1_1p$ , $p$	${}^{53}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{52}_{26}\text{Fe} + p$
$n$	Molto penetranti Velocità: < 10% di $c$	Neutroni ${}^0_1n$ , $n$	${}^{137}_{53} \rightarrow {}^{136}_{53} + n$

\* Per ogni particella sono riportati più simboli; spesso è sufficiente usare quello più semplice (riportato sulla destra).

\*\*  $c$  è la velocità della luce nel vuoto.

† Lo stato di un nucleo eccitato energeticamente.

## ATTIVITA' DI UNA SORGENTE RADIOATTIVA

⇒ numero di disintegrazioni per secondo

$$1 \text{ g Ra-226} \quad 3.7 \cdot 10^{10} \text{ disinteg. s}^{-1}$$

⇒ Curie (Ci)

## DOSE DI RADIOATTIVITA'

⇒ energia depositata in un campione (Rad)

1 rad = quantità di radiazione che deposita  $10^{-2}$  J di energia in un kg.

Danni ⇒ dipendono dal tipo di radiazione

α danni 20 volte maggiori di β e γ.

Q : efficacia biologica relativa

$$\alpha, \beta \quad Q = 1$$

$$\alpha \quad Q = 20$$

**Tabella 22.2** Unità di radiazione

Proprietà	Unità		Definizione
	Nome	Simbolo	
Attività	Curie	Ci	$3,7 \times 10^{10}$ disintegrazioni per secondo
	Becquerel	Bq	1 disintegrazione per secondo (1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq)
Dose assorbita	Dose assorbita di radiazioni	rad	$10^{-2}$ J/kg
	Gray	Gy	1 J/kg (1 Gy = 100 rad)
Dose equivalente	Equivalente roentgen per l'uomo	rem	$Q \times \text{rad}^*$
	Sievert	Sv	100 rem

\*  $Q$  è l'efficacia biologica relativa della radiazione. Normalmente  $Q = 1$  per le radiazioni  $x$ ,  $\gamma$  e  $\beta$  mentre  $Q = 20$  per le radiazioni  $\alpha$  e i neutroni veloci. Un ulteriore fattore di 5 (cioè  $5 \times Q$ ) viene utilizzato in certi casi per il tessuto osseo.

## DOSE EQUIVALENTE (rem)

$$\text{dose equivalente (rem)} =$$

$$= Q \times \text{dose assorbita (rad)}$$

## VELOCITA' DI DISINTEGRAZIONE

nucleo precursore  $\rightarrow$  nucleo prodotto + radiazione

Processo unimolecolare  $\Rightarrow$  cinetica 1° ordine

$$r = kN$$



Cost. di decadimento

$N =$  num. di nuclei

$$\ln \frac{N}{N_0} = -kt$$

decadimento esponenziale

$\tau_{1/2}$  tempo di semivita (o di dimezzamento)

**Tabella 22.4 Tempo di semivita e attività di alcuni nuclidi**

<i>Nuclide</i>	<i>Semivita <math>t_{1/2}</math></i>	<i>Attività, Ci/g</i>
Trizio	12,3 anni	$9,7 \times 10^3$
Carbonio-14	$5,73 \times 10^3$ anni	4,4
Carbonio-15	2,4 s	$3,0 \times 10^{11}$
Potassio-40	$1,26 \times 10^9$ anni	$7,1 \times 10^{-6}$
Cobalto-60	5,26 anni	$1,1 \times 10^3$
Stronzio-90	28,1 anni	$1,4 \times 10^2$
Iodio-131	8,05 giorni	$1,2 \times 10^5$
Radio-226	$1,60 \times 10^3$ anni	1,00
Uranio-235	$7,1 \times 10^8$ anni	$2,1 \times 10^{-6}$
Uranio-238	$4,5 \times 10^9$ anni	$3,5 \times 10^{-7}$
Fermio-244	3,3 ms	$1,4 \times 10^{13}$

$$t_{1/2} = \frac{0.69}{\lambda}$$

La velocità di disintegrazione è indipendente dallo stato fisico del campione e dalla T.

$^{14}\text{C}$   $\Rightarrow$  datazione con Radio Carbonio.