



Scuola di Ingegneria Industriale e dell'Informazione
Insegnamento di **Chimica Generale**
083424 - CCS *CHI* e *MAT*

 POLITECNICO DI MILANO



Chimica Nucleare (cap. 23)

Prof. Attilio Citterio

Dipartimento CMIC "Giulio Natta"

<http://iscamap.chem.polimi.it/citterio/it/education/general-chemistry-lessons/>



Radioattività e Processi Nucleari:

- Notazione Isotopica
- Radioattività
- Tempo di dimezzamento
- Energia Nucleare
- Unità e misure delle radiazioni
- Usi dei Radioisotopi
- Effetti delle radiazione sulla salute



Tabella Periodica degli Elementi

| IA | IIA | IIIB | IVB | VB | VIB | VII B | VIII (Transizione) | IB | IIB | IIIA | IVA | VA | VIA | VIIA | VIII | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 H 1.008 | | | | | | | | | | | | | | | 2 He 4.003 | | |
| 3 Li 6.939 | 4 Be 9.012 | | | | | | | | | 5 B 10.81 | 6 C 12.011 | 7 N 14.007 | 8 O 15.999 | 9 F 18.998 | 10 Ne 20.179 | | |
| 11 Na 22.99 | 12 Mg 24.31 | | | | | | | | | 13 Al 26.981 | 14 Si 28.09 | 15 P 30.97 | 16 S 32.06 | 17 Cl 35.45 | 18 Ar 39.95 | | |
| 19 K 39.10 | 20 Ca 40.08 | 21 Sc 44.96 | 22 Ti 47.90 | 23 V 50.94 | 24 Cr 52.00 | 25 Mn 54.94 | 26 Fe 55.85 | 27 Co 58.93 | 28 Ni 58.71 | 29 Cu 63.54 | 30 Zn 63.37 | 31 Ga 69.72 | 32 Ge 72.59 | 33 As 74.92 | 34 Se 78.96 | 35 Br 79.91 | 36 Kr 83.80 |
| 37 Rb 85.47 | 38 Sr 87.62 | 39 Y 88.91 | 40 Zr 91.22 | 41 Nb 92.91 | 42 Mo 95.94 | 43 Tc 98 | 44 Ru 101.07 | 45 Rh 102.91 | 46 Pd 106.4 | 47 Ag 107.87 | 48 Cd 112.4 | 49 In 114.82 | 50 Sn 118.69 | 51 Sb 121.5 | 52 Te 127.6 | 53 I 126.90 | 54 Xe 131.29 |
| 55 Cs 132.90 | 56 Ba 137.34 | 57 La 138.91 | 72 Hf 178.49 | 73 Ta 180.95 | 74 W 183.85 | 75 Re 186.2 | 76 Os 190.2 | 77 Ir 192.2 | 78 Pt 195.09 | 79 Au 196.97 | 80 Hg 200.59 | 81 Tl 204.37 | 82 Pb 207.2 | 83 Bi 208.98 | 84 Po 209 | 85 At 210 | 86 Rn 222 |
| 87 Fr 223 | 88 Ra 226 | 89 Ac 227 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 58 Ce 140.12 | 59 Pr 140.91 | 60 Nd 144.24 | 61 Pm 147 | 62 Sm 150.35 | 63 Eu 151.96 | 64 Gd 157.25 | 65 Tb 158.9 | 66 Dy 162.5 | 67 Ho 164.93 | 68 Er 167.26 | 69 Tm 168.94 | 70 Yb 173.04 | 71 Lu 174.97 | |
| | | | 90 Th 232.04 | 91 Pa 231.04 | 92 U 238.03 | 93 Np 237 | 94 Pu 242 | 95 Am 243 | 96 Cm 247 | 97 Bk 247 | 98 Cf 251 | 99 Es 254 | 100 Fm 253 | 101 Md 256 | 102 No 254 | 103 Lw 257 | |



Notazione di Atomi e Molecole

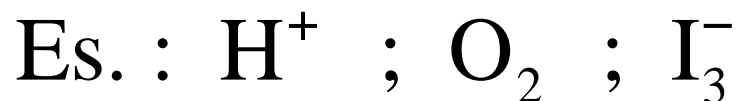
- Notazione elementare (elementi chimici)
 - Simbolo
 - cariche elettriche possedute (in alto a destra)
 - numero di atomi legati chimicamente (in basso a destra)
- Notazione isotopica (nuclidi)
 - Simbolo
 - numero nucleoni [protoni + neutroni] (in alto a sinistra, A)
 - numero elettroni = numero protoni (in basso a sinistra, Z)
- Notazione completa
 - l'insieme delle precedenti



Cariche elettriche (elettroni in più o meno rispetto all'atomo neutro, in cui N° Elettroni = N° Protoni)



Numero di atomi uguali aggregati in molecole con legami chimici



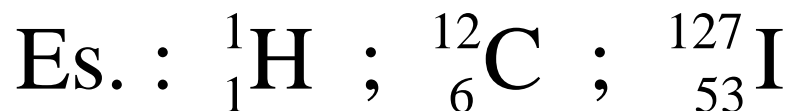


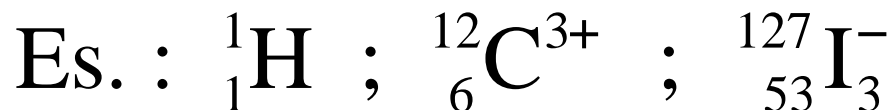
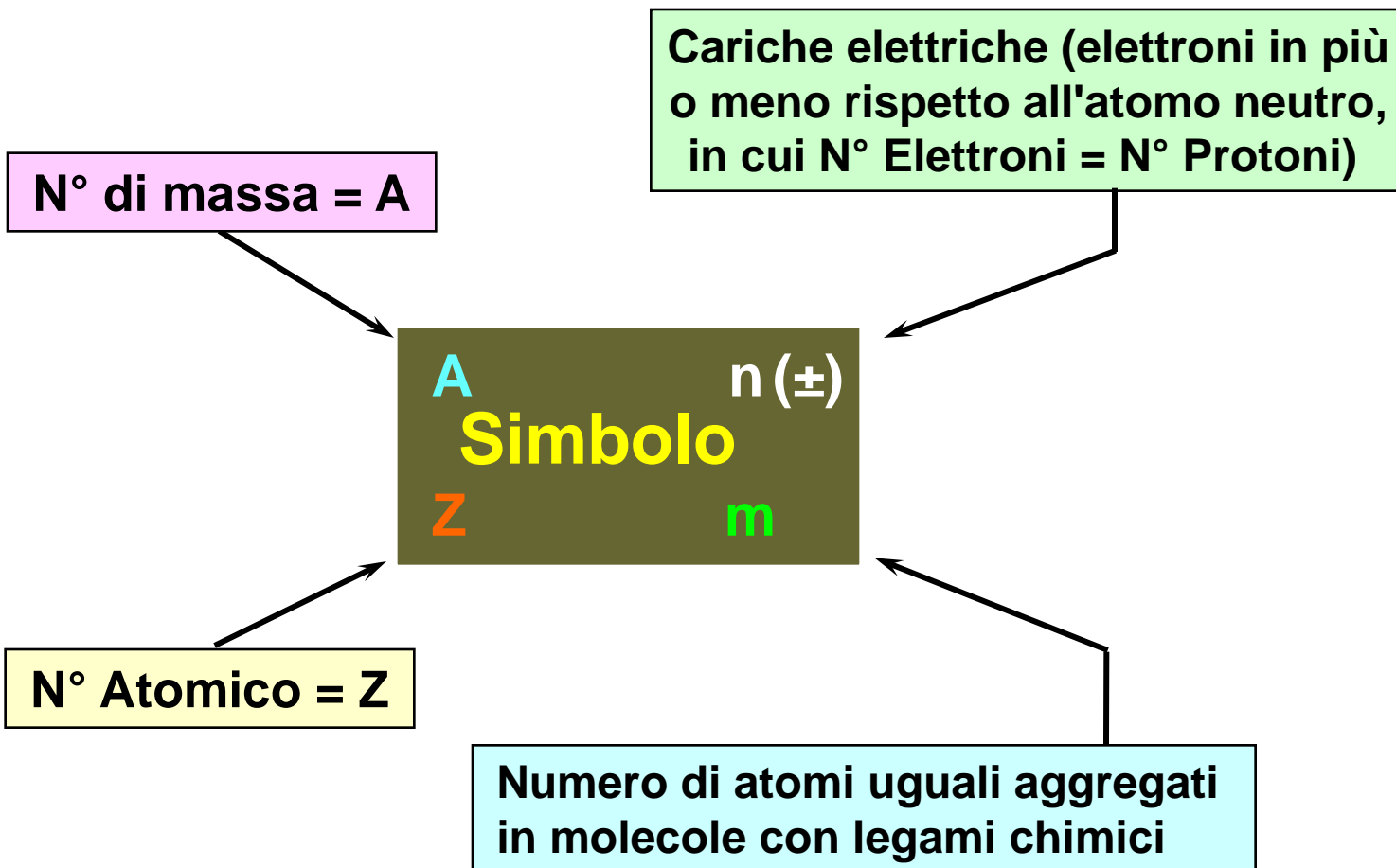
Classificazione e Notazione di Atomi (Notazione Isotopica)

N° di massa = **A** = N° protoni + N° neutroni

A
Simbolo
Z

N° Atomico = **Z** = N° protoni = N° elettroni







Radioattività

Il processo per cui degli atomi instabili emettono particelle ad alta energia (o raggi) spontaneamente dai loro nuclei.

Osservata per la prima volta da Becquerel nel 1896.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| H | | | | | | | | | | | | | | | | He | |
| Li | Be | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne |
| Na | Mg | | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe |
| Cs | Ba | La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| Fr | Ra | Ac | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | |
| | | | Th | Pa | U | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr |

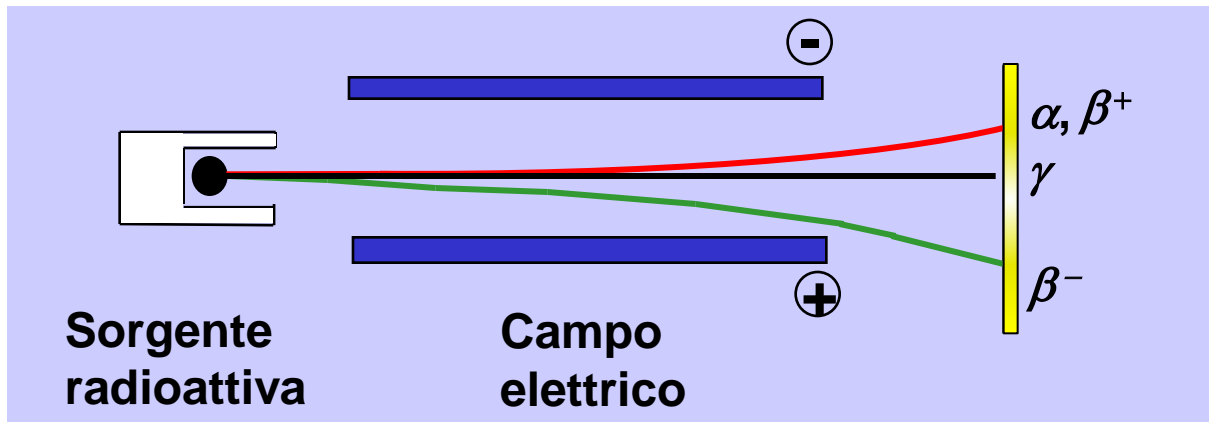
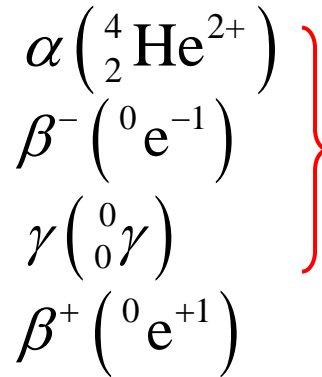
**Elementi
radioattivi**

**Elementi
artificiali**



Principali tipi di radioattività:

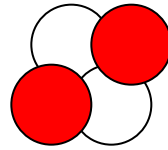
- emissioni alfa
- emissioni beta
- emissioni gamma
- emissione di positroni
- cattura elettronica (assorbimento e^- interno da parte del nucleo)





Emissione Alfa (α)

Una particella alfa è un **nucleo di elio**



E' emessa quando un nucleo è troppo grosso.

**E' emessa con una notevole quantità di energia:
 $v = \sim 10\%$ della velocità della luce.**



Emissione Beta (β^- e β^+)

${}^0_{-1}\beta$ Un elettrone emesso dal nucleo.

- Si verifica quando il nucleo ha troppi neutroni

${}^0_{+1}\beta$ Un positrone emesso dal nucleo.

- Elettrone positivo (antimateria)
- Si verifica quando il nucleo ha troppi protoni

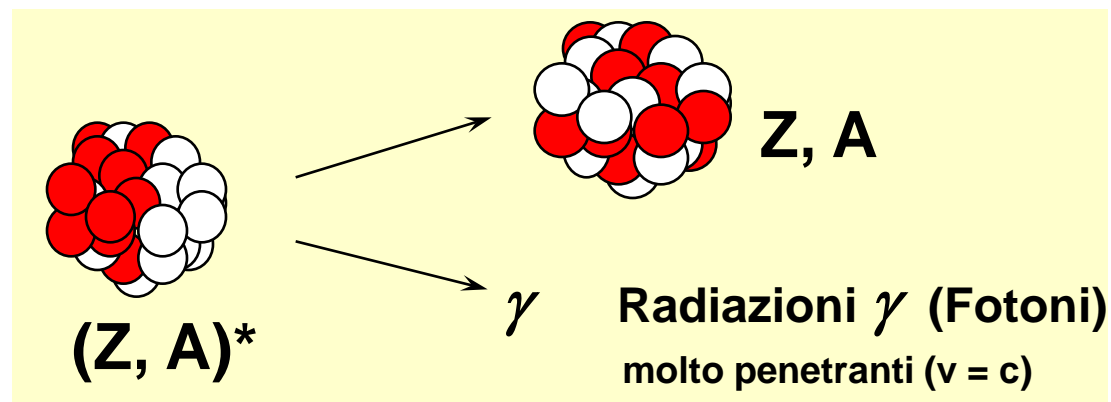
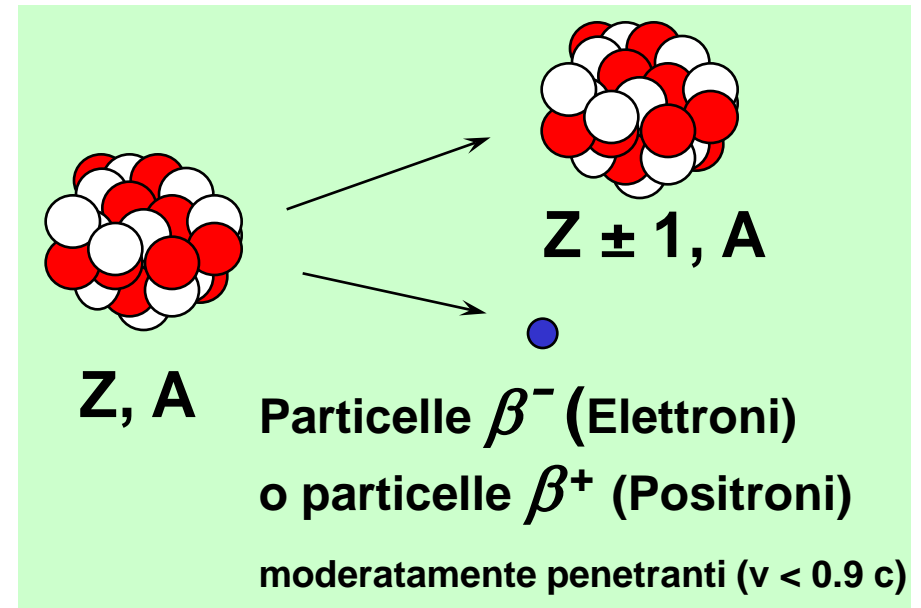
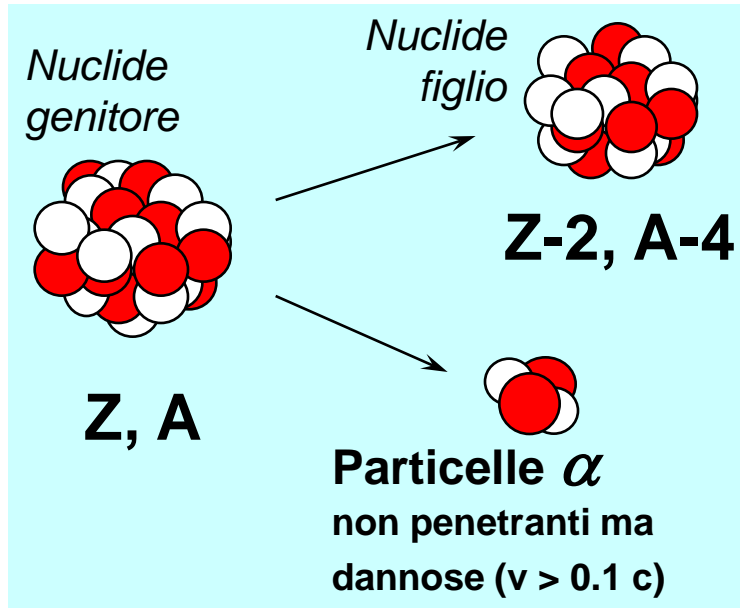
Particelle ad alta energia (~ 90% della velocità luce)



Emissione di fotoni ad alta energia:

- simile ai raggi X
- tipicamente emessi assieme ad altri tipi di particelle nel decadimento nucleare
- provocano estesi danni ai tessuti biologici
- si muovono alla velocità della luce

Confronto tra Decadimenti Radioattivi





Cosa Provoca il Decadimento Atomico

Alcuni atomi sono meno stabili di altri (vedi nucleogenesi) e, dato il tempo intercorso, gli atomi a vita media minore di 10^8 anni sono decaduti formando nuclei stabili.

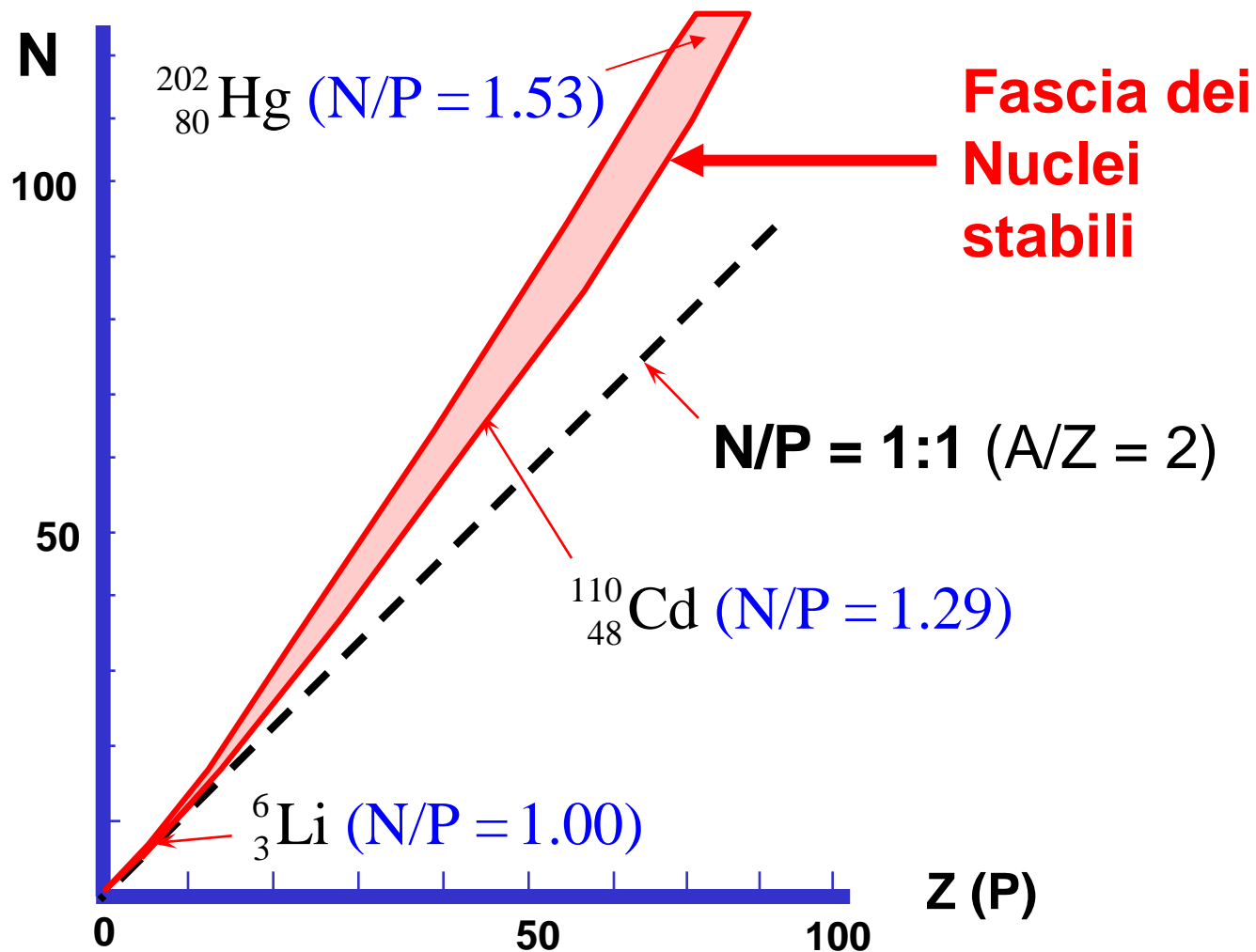
Un isotopo radioattivo decade formando altri nuclei fino a raggiungerne uno più stabile.

Decade (**decadimenti naturali**) eliminando:

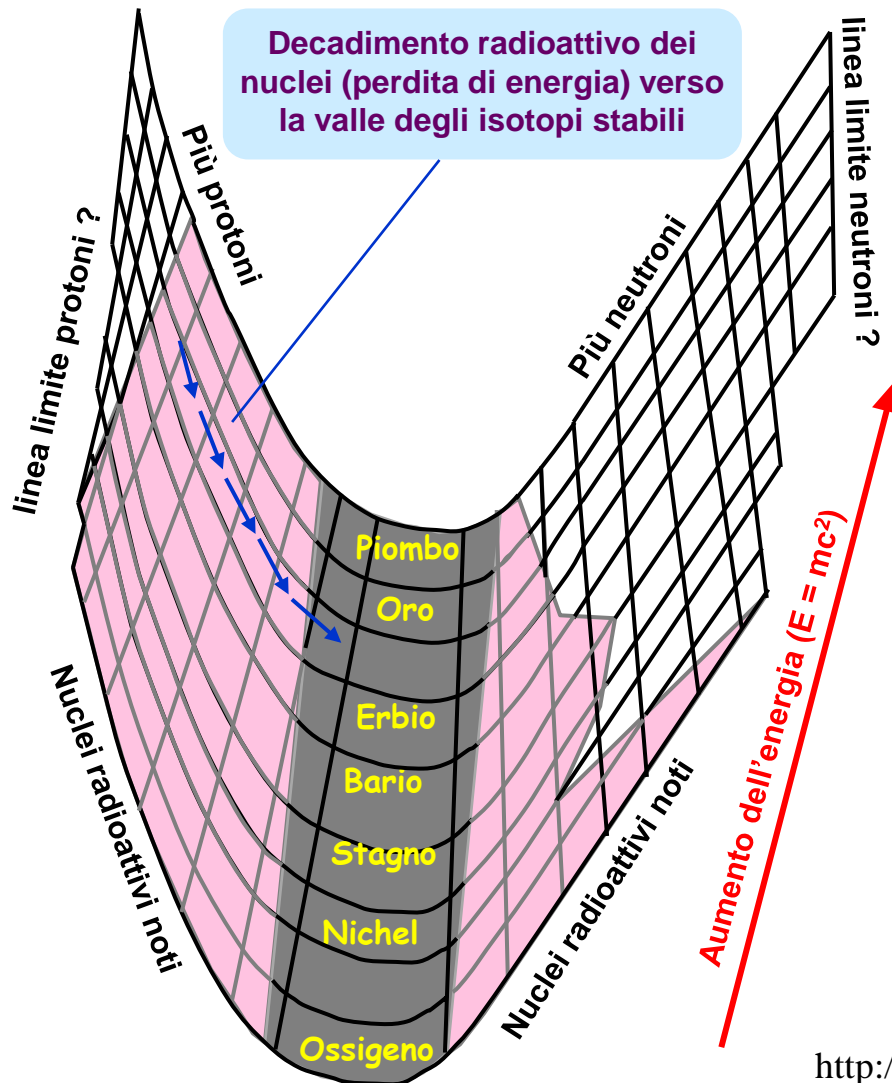
- massa (particelle alfa)
- carica (particelle beta)
- energia (raggi gamma)

Esistono altri tipi di decadimenti, ma non si verificano sulla terra.

Andamento della Stabilità Nucleare (1)



Andamento della Stabilità Nucleare (2)



<http://www.phy.ornl.gov/hribf/science/abc/>



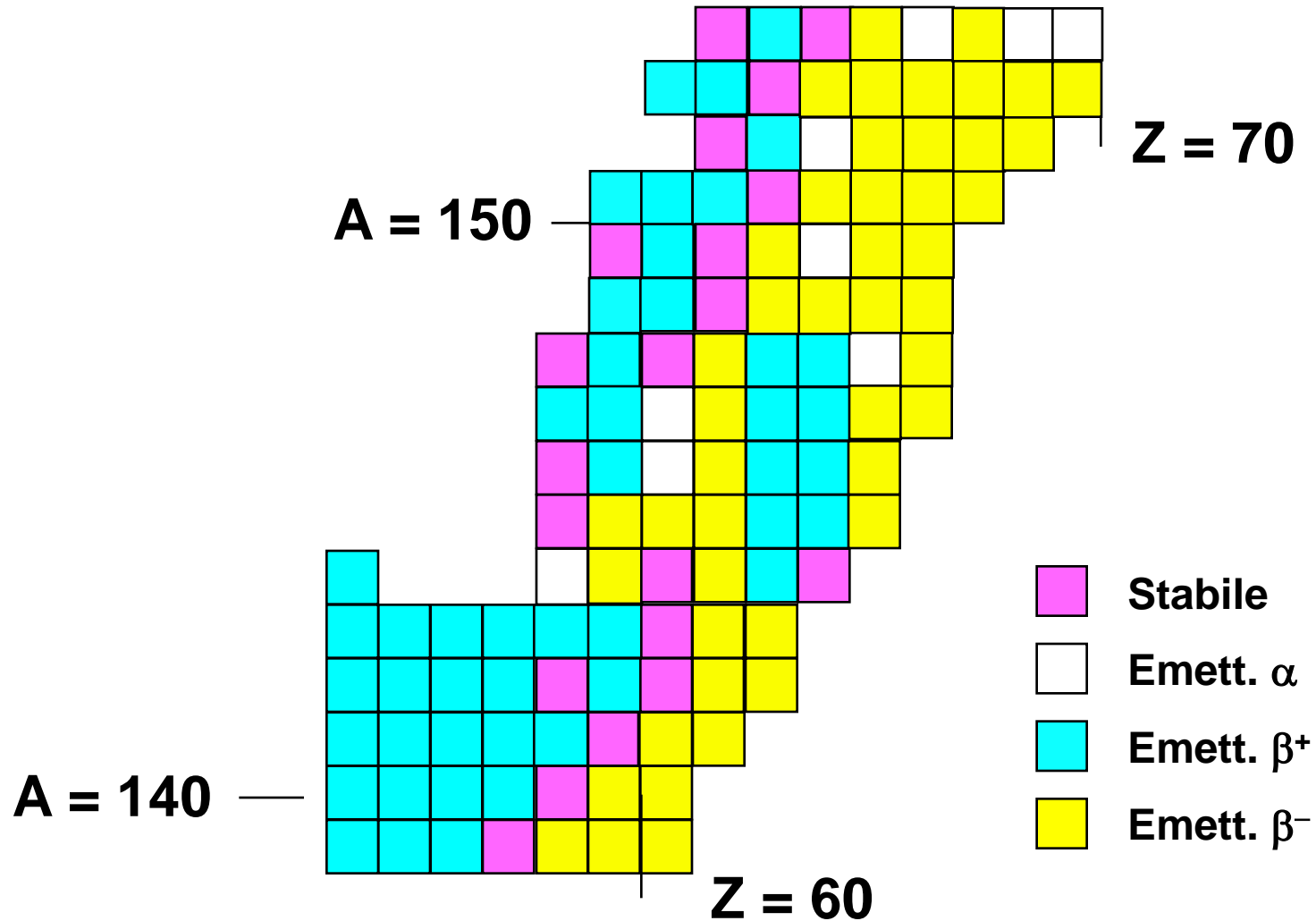
Andamento della Stabilità Nucleare (2)

| | | | | |
|------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| <u>p</u> → | <u>1</u> | <u>2</u> | | |
| <u>n</u> ↓ | <u>H</u> | <u>He</u> | <u>3</u> | <u>4</u> |
| 0 | ¹ <u>H</u> | ² <u>He</u> | ³ <u>Li</u> | ⁴ <u>Be</u> |
| 1 | ² <u>D</u> | ³ <u>He</u> | ⁴ Li | ⁵ Be |
| 2 | ³ <u>T</u> | ⁴ <u>He</u> | ⁵ Li | ⁶ Be |
| 3 | ⁴ <u>H</u> | ⁵ <u>He</u> | ⁶ Li | ⁷ Be |
| 4 | ⁵ <u>H</u> | ⁶ <u>He</u> | ⁷ Li | ⁸ Be |
| 5 | ⁶ <u>H</u> | ⁷ <u>He</u> | ⁸ Li | ⁹ Be |
| 6 | ⁷ <u>H</u> | ⁸ <u>He</u> | ⁹ Li | ¹⁰ Be |
| | 7 | ⁹ <u>He</u> | ¹⁰ Li | ¹¹ Be |
| | 8 | ¹⁰ <u>He</u> | ¹¹ Li | ¹² Be |

| | |
|-------------------|-----------------------------|
| ¹⁴⁵ Gd | Instabile |
| ¹⁴⁶ Gd | 1-10 <u>giorni</u> |
| ¹⁴⁹ Gd | 10-100 giorni |
| ¹⁵³ Gd | 100 giorni - 10 <u>anni</u> |
| ¹⁴⁸ Gd | 10-10,000 anni |
| ¹⁵⁰ Gd | >10,000 anni |
| ¹⁵² Gd | Naturale <u>radioattivo</u> |
| ¹⁵⁸ Gd | Stabile |



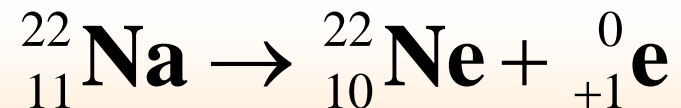
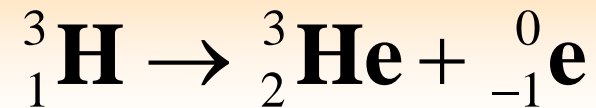
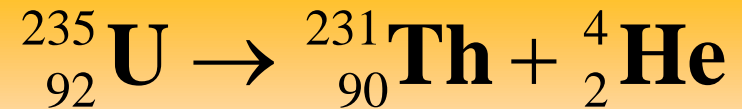
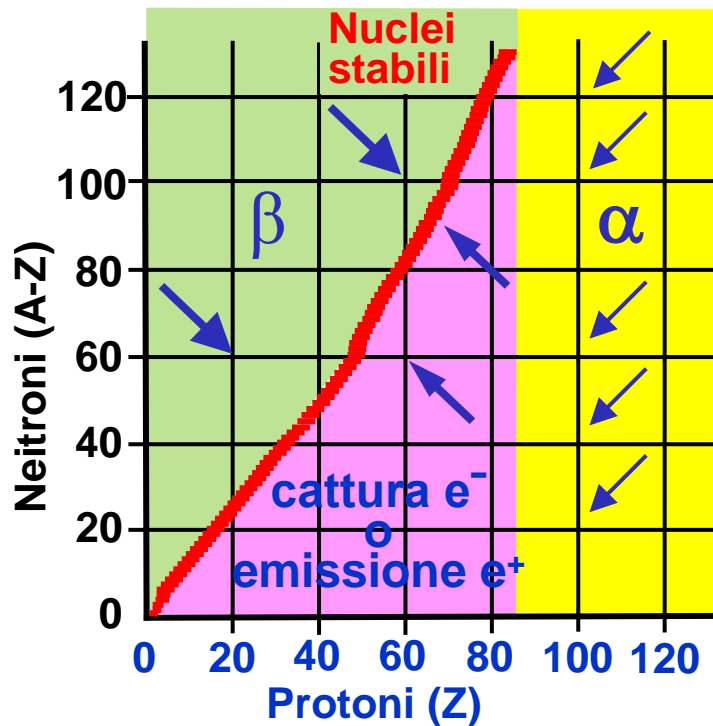
Andamento della Stabilità Nucleare (3)



Decadimento Nucleare

■ Perché i nuclidi decadono...

- Hanno bisogno di un rapporto stabile neutroni su protoni



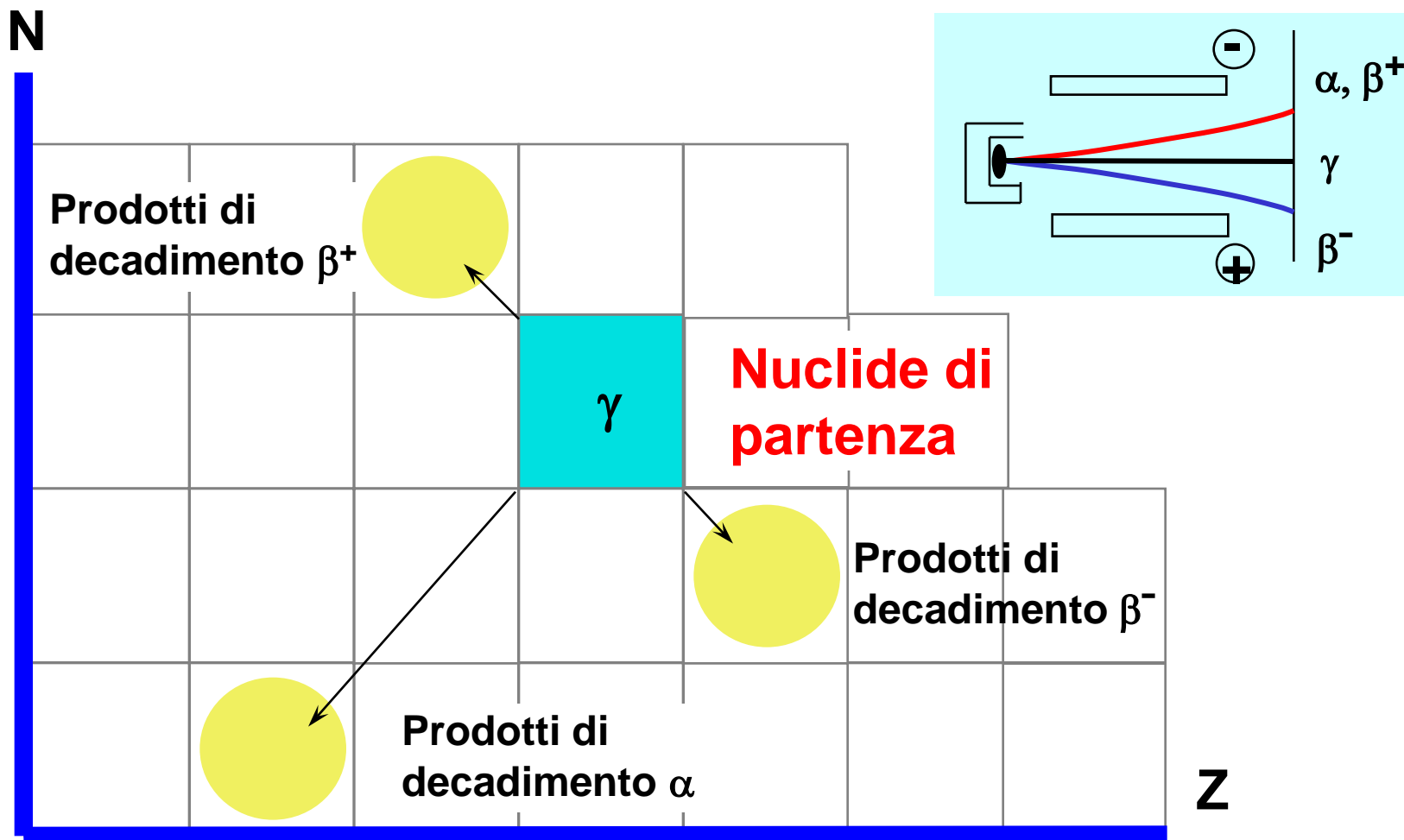


Stabilità Nucleare

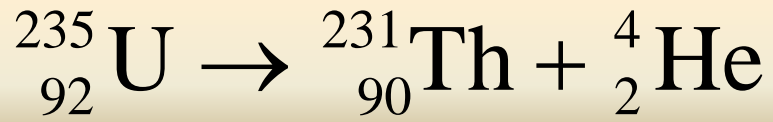
- Circa 160 nuclidi stabili hanno un numero pari di protoni e un numero pari di neutroni.
- Circa 50 nuclidi stabili hanno un numero pari di protoni e un numero dispari di neutroni.
- Circa 50 nuclidi stabili hanno un numero dispari di protoni e un numero pari di neutroni
- Solo quattro nuclidi stabili hanno un numero dispari di protoni ed un numero dispari di neutroni.
- I numeri magici di protoni o neutroni per la stabilità nucleare sono 2, 8, 20, 28, 50, 82, e 126.



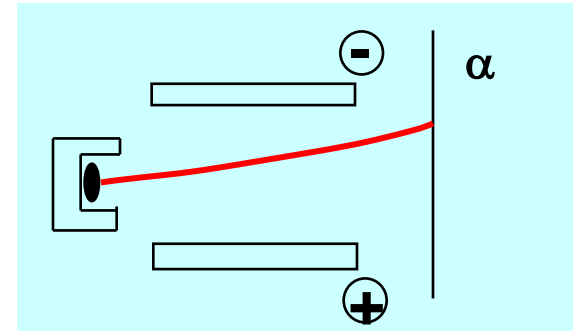
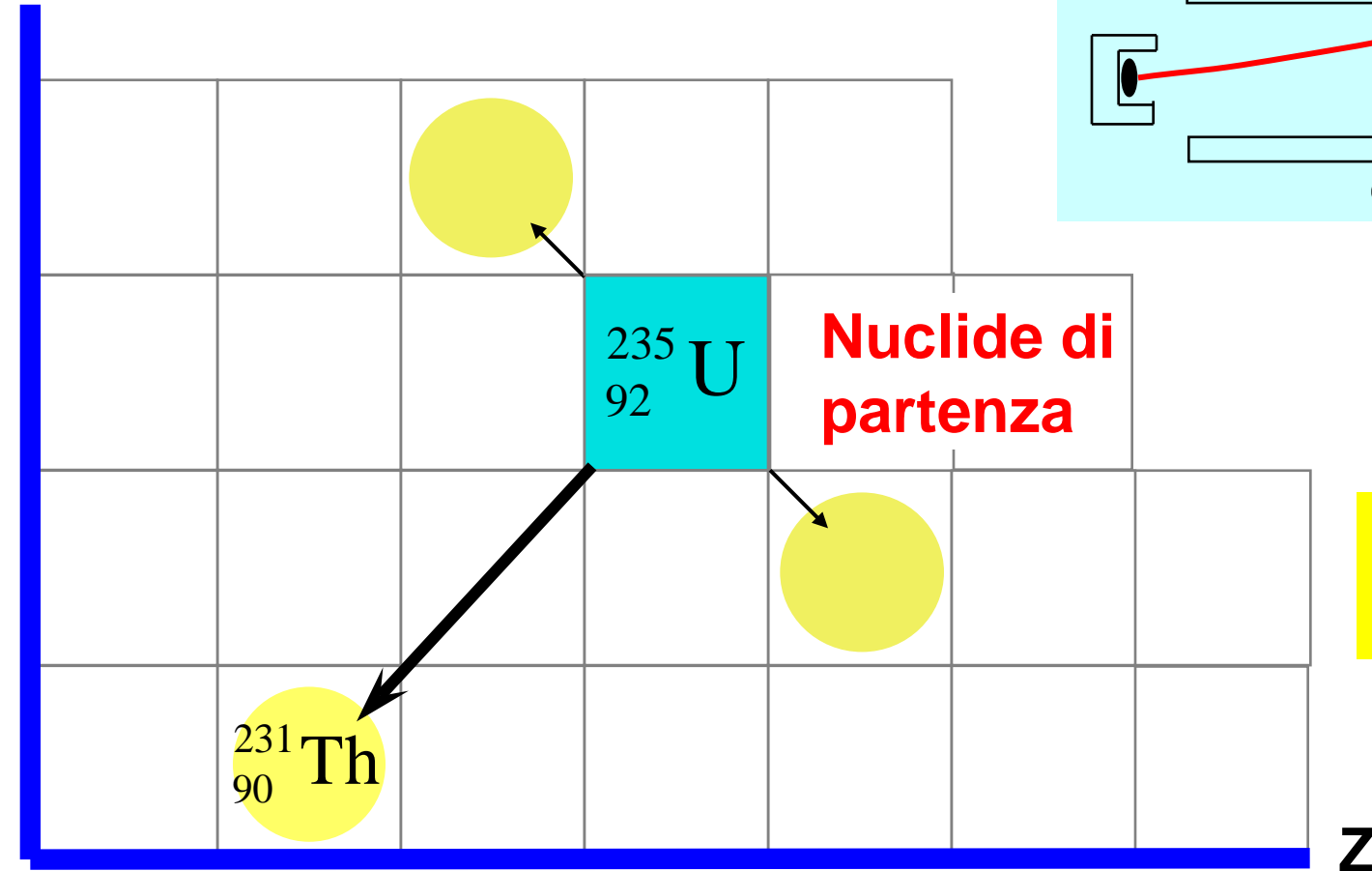
Prodotti di Decadimento Radioattivo



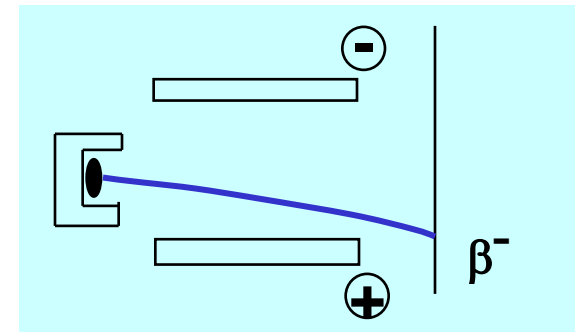
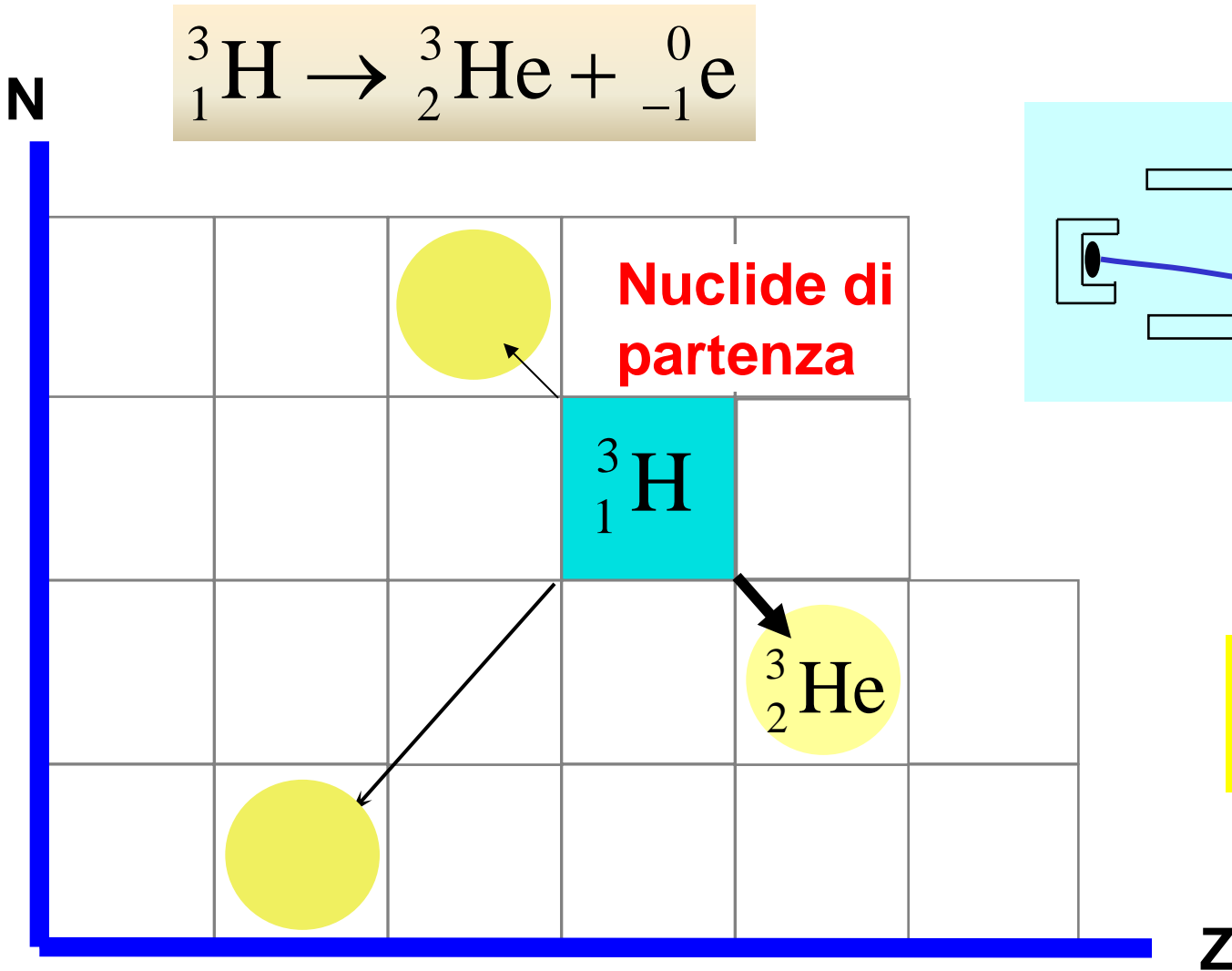
Esempio di Decadimento Alfa (α)



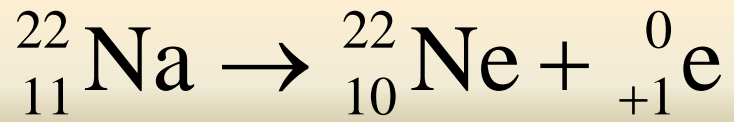
N



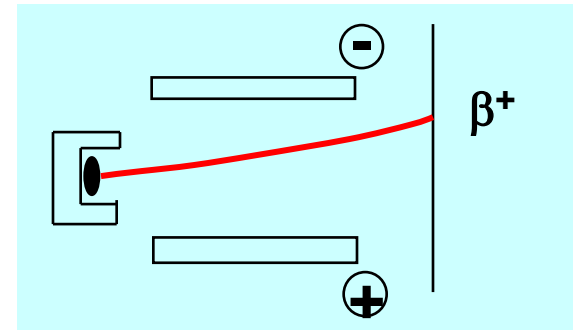
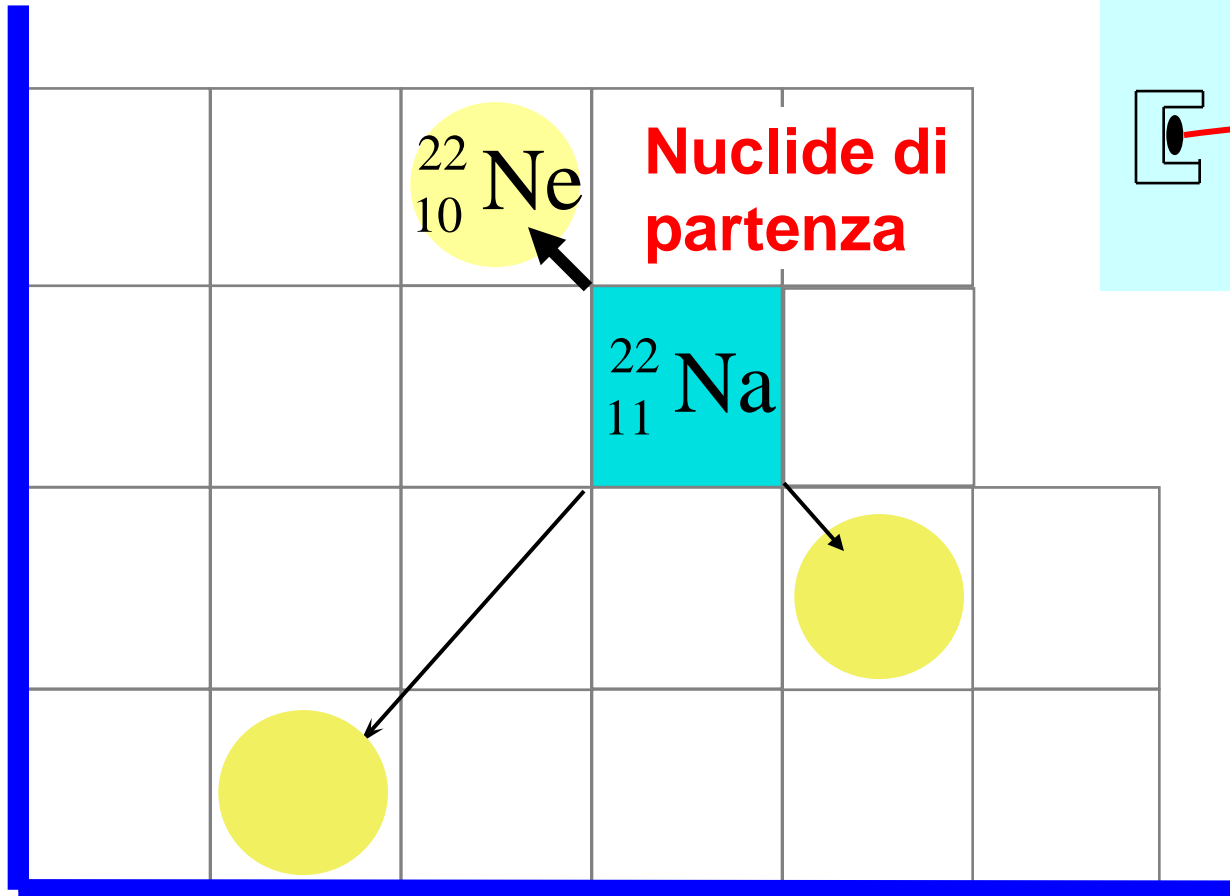
Esempio di Decadimento Beta - (β^-)



Esempio di Decadimento Beta⁺ (β⁺)



N

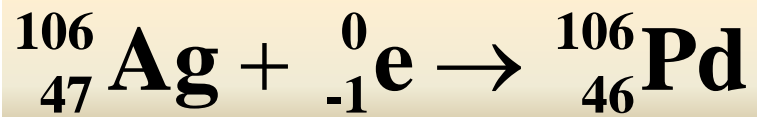


A
Z - 1

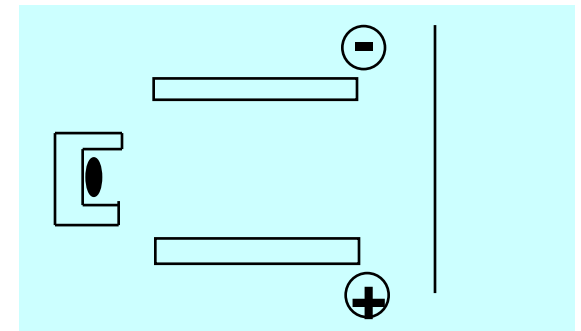
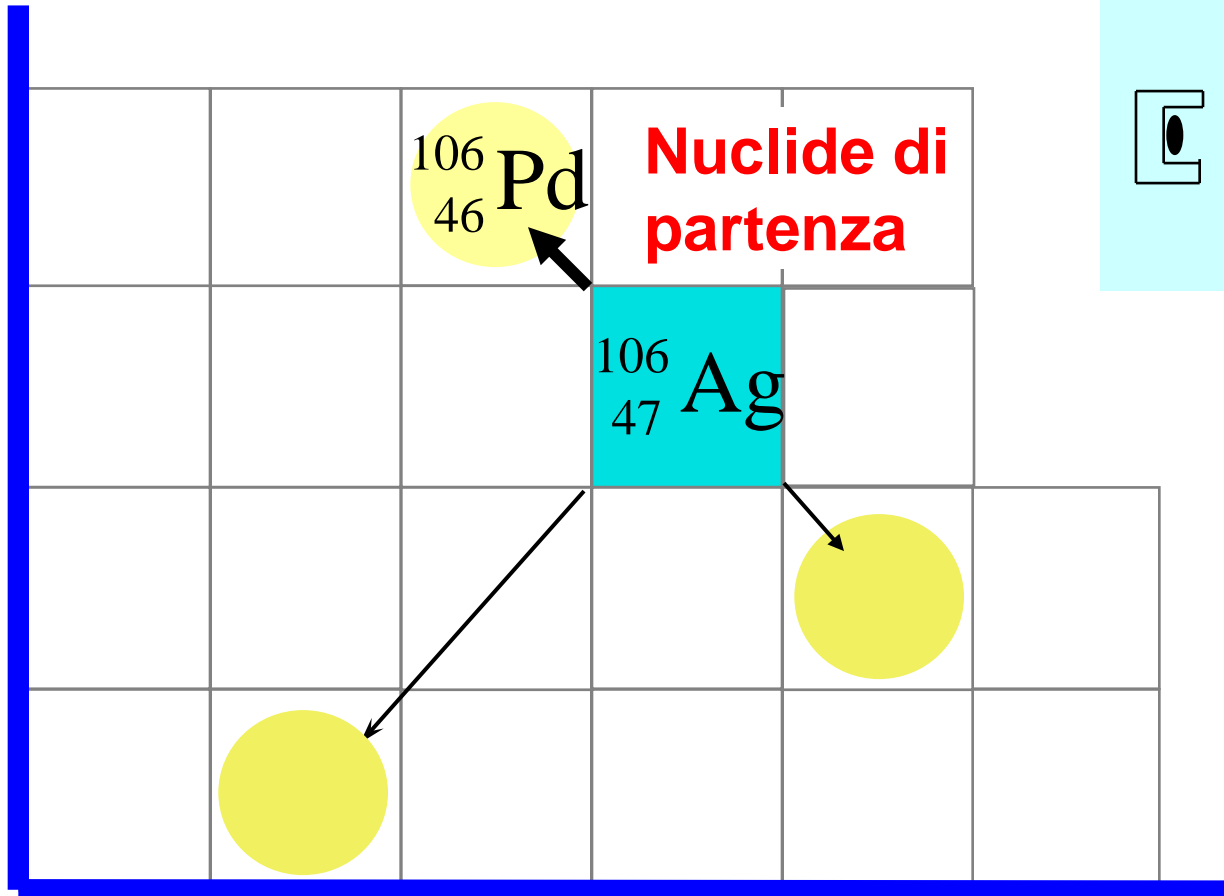
Z



Cattura Elettronica



N



$$\begin{matrix} A \\ Z - 1 \end{matrix}$$

Z



Un campione di metallo è stato esposto ad un materiale contenente iodio radioattivo. Cosa succede allo iodio?



Questa equazione è bilanciata?

Si deve controllare se la massa e la carica sono le stesse su entrambi i membri.



Massa:

| | |
|------------------|------------------|
| 53 protoni | 54 protoni |
| 78 neutroni | 77 neutroni |
| <hr/> | |
| 131 massa totale | 131 massa totale |

Carica:

| | |
|----------------------|--------------------------|
| +53 cariche, protoni | +54 cariche, protoni |
| | -1 carica da β^{-} |
| <hr/> | |
| +53 cariche totali | +53 cariche totali |

E' bilanciata!



Radioattività Naturale ed Artificiale

Radioattività Naturale

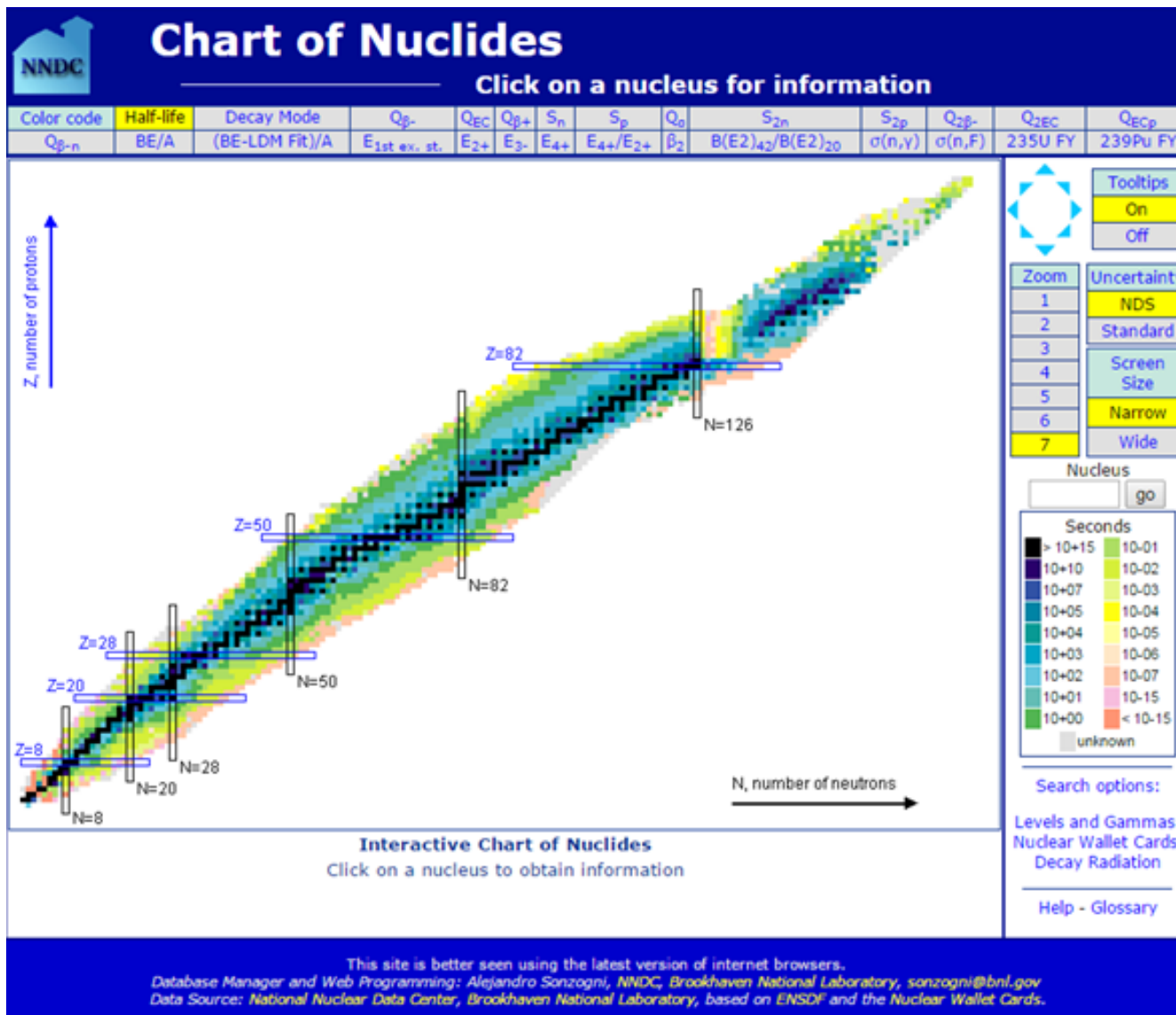
- Isotopi esistenti sulla terra che, a seguito della modalità di formazione del nostro pianeta, hanno vita media elevata e non sono ancora riusciti a decadere completamente. (per es. [Uranio](#))
- Isotopi prodotti dai raggi cosmici provenienti dal sole che sono catturati da atomi stabili dell'atmosfera terrestre. (per es. [Carbonio-14](#))

Radioattività Artificiale

- Isotopi ottenuti in reazioni nucleari per fissione o fusione di nuclei. [Tecnezio, Plutonio e tutti i transuranici](#)
- Si producono usando ciclotroni, acceleratori lineari, ecc..



Tabella dei Nuclidi (<http://www.nndc.bnl.gov/chart/>)





Tempo di Dimezzamento

Il tempo richiesto per la scomparsa del 50% di un materiale radioattivo.

$$t_{1/2}$$

- Il decadimento segue una cinetica del 1° ordine.
- Ogni isotopo radioattivo possiede un suo tipico tempo di dimezzamento.
- I tempi di dimezzamento variano da millisecondi (10^{-3}) a miliardi (10^9) di anni.

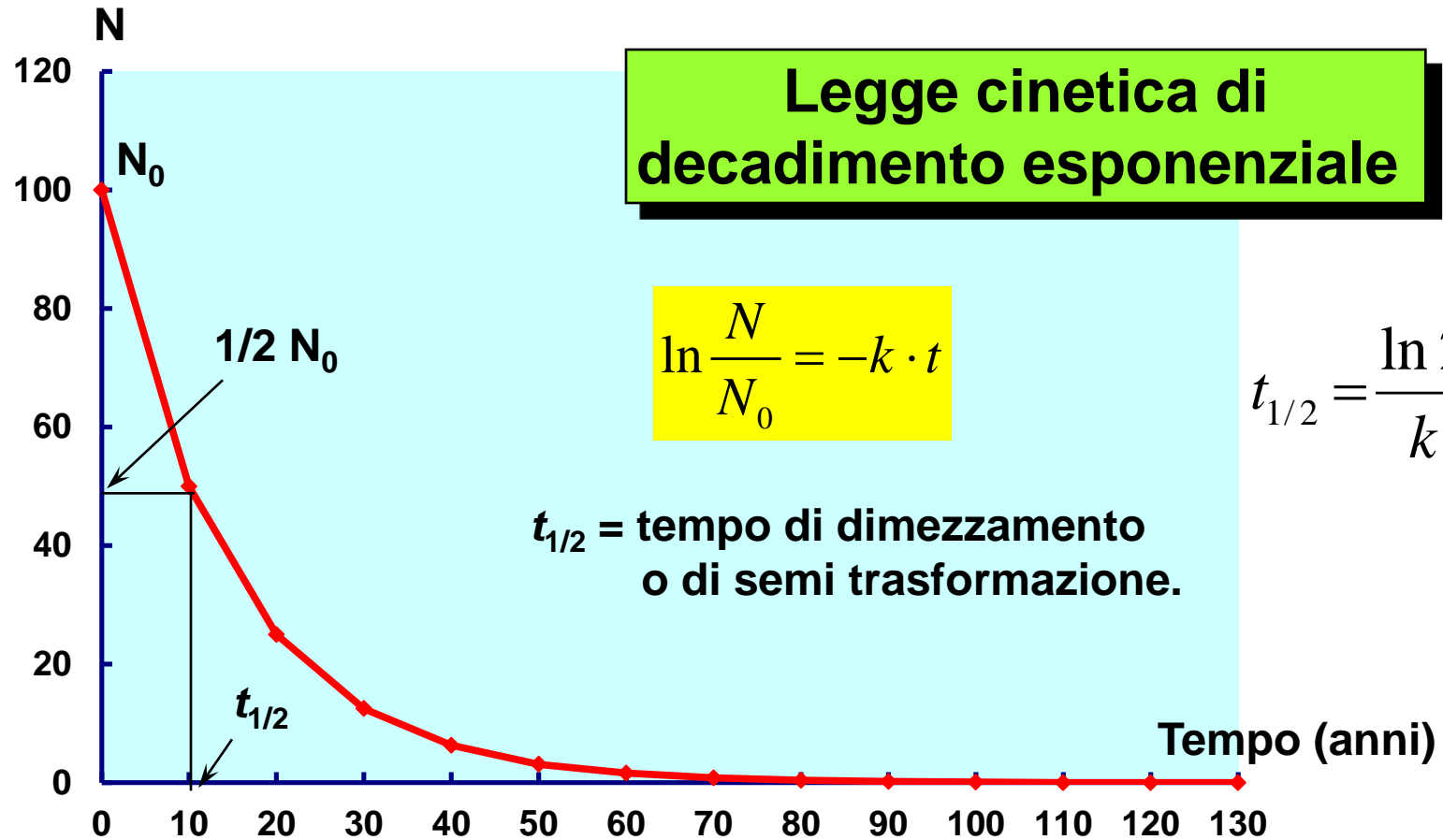


Esempi di Tempi di Dimezzamento

| Isotopo | Tempo di dimez. | Usi |
|---------------------|---|--------------------------------------|
| Carbonio-14 | 5715 anni | Datazione di oggetti |
| Cobalto-60 | 5.271 anni | Trattamento del cancro |
| Ferro-59 | 44.496 giorni | Tracciante, vita media globuli rossi |
| Idrogeno-3 | 12.26 anni | Tracciante biochimico |
| Iodio-131 | 8.040 giorni | Tracciante, funzionalità tiroide |
| Potassio-40 | 1.25×10^9 anni | Datazione delle rocce |
| Sodio-24 | 14.659 ore | Tracciante, sistema cardiovascolare |
| Uranio-238 | 4.51×10^9 anni | Datazione delle rocce |
| Uranio-235 | 7.00×10^8 anni | |
| Plutonio-239 | 2.40×10^4 anni | |

Cinetica di Decadimento e $t_{1/2}$

per $t_{1/2} = 10$ anni





Il tempo di dimezzamento del ^{63}Ni è di 100 anni. Se si hanno 100 g di ^{63}Ni quanto ne rimarrà dopo 200 anni?

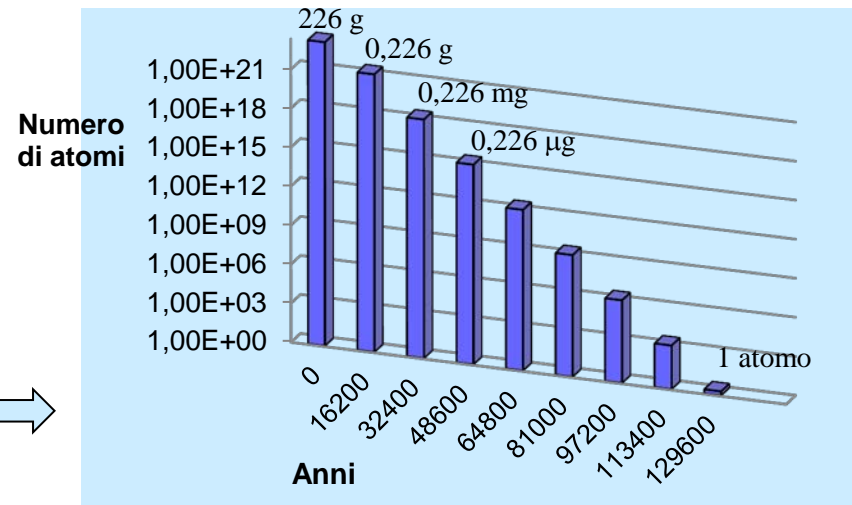
Si può dedurlo dalla semplice formula:

$$\text{Quantità residua} = \frac{\text{Quantità di partenza}}{2^n}$$

Per due $t_{1/2}$ sarà:
 $100 \text{ g} / 2^2 = 25 \text{ grammi}$

(1/1000 in 10 $t_{1/2}$)

Decadimento un campione di
226 g (1 mole) di Radio-240.
($t_{1/2} = 1620$ anni) \Rightarrow





Quantità residua di ^{63}Ni

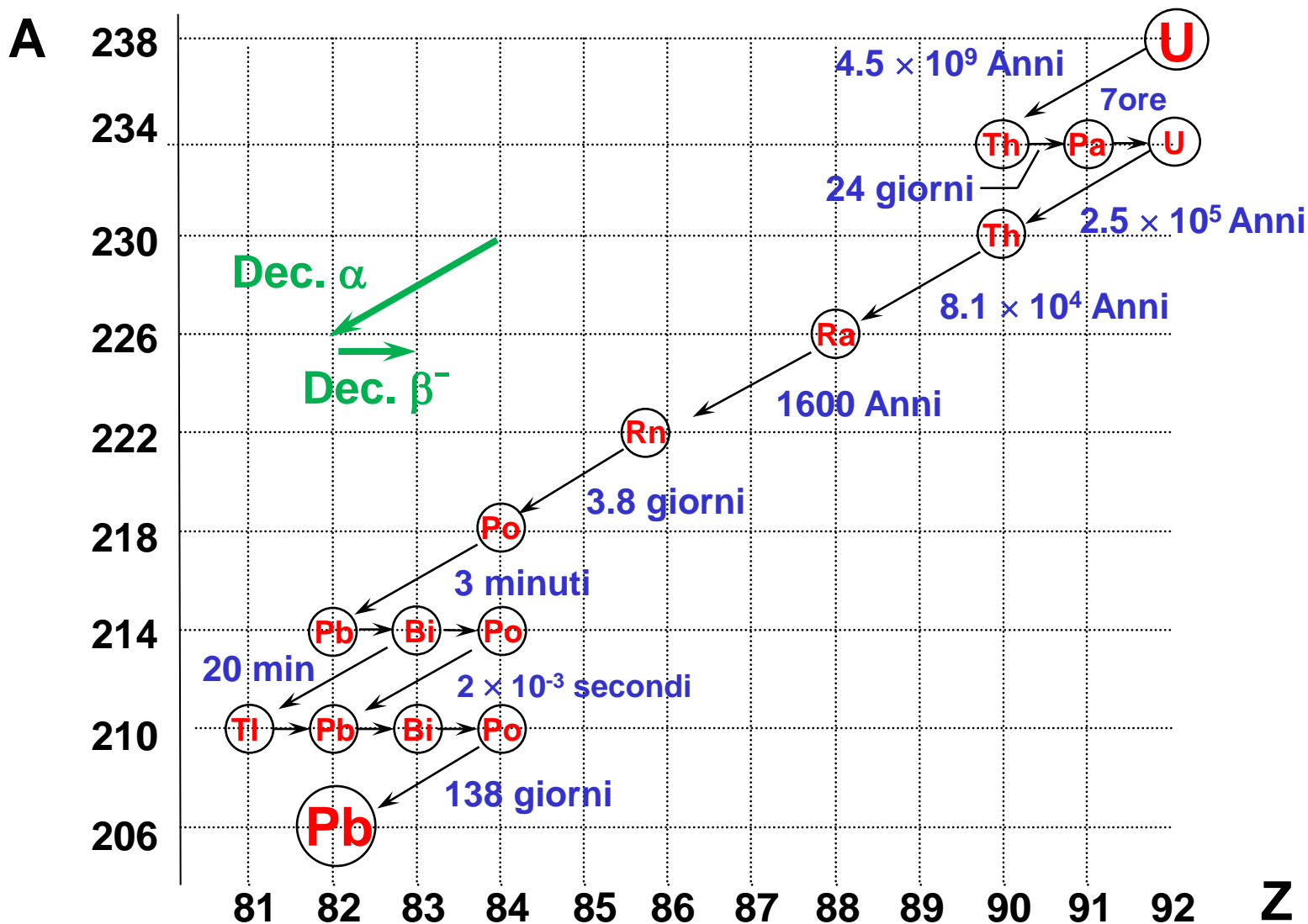
| $n \times t_{1/2}$ | grammi residui | tempo, <i>anni</i> |
|--------------------|----------------|--------------------|
| 0 | 100 | 0 |
| 1 | 50 | 100 |
| 2 | 25 | 200 |
| 3 | 12.5 | 300 |
| 4 | 6.25 | 400 |
| | | |
| 10 | 0.0977 | 1000 |

Il decadimento richiede molto tempo (1/1000 in 10 $t_{1/2}$)

^{63}Ni viene utilizzato nei rivelatori di fumo.



Catena del Decadimento Radioattivo dell'Uranio-238

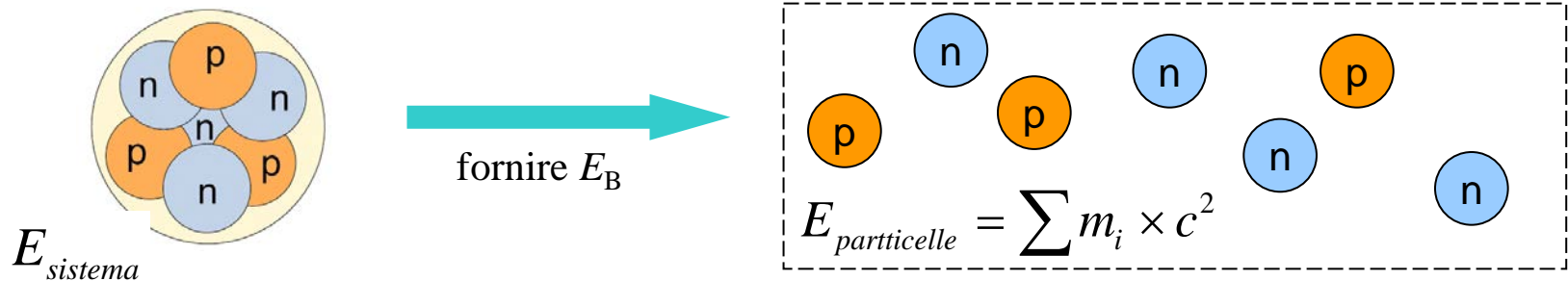




Energia Nucleare

Energia di Legame delle particelle nucleari

- Misura la stabilità raggiunta quando protoni e neutroni si aggregano per formare un nucleo
- L'aggregazione porta a perdita di massa che si trasforma in energia.



$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

$$\Delta m = \left[(\text{massa di tutte le particelle costituenti l'atomo}) - (\text{massa dell'atomo}) \right] \times c^2$$

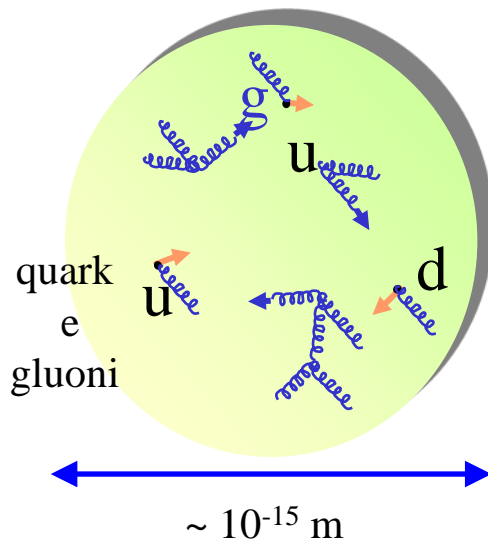
L'equazione è generale per valutare l'energia prodotta per qualsiasi perdita di massa. Così: $1 \text{ u} = 931.49 \text{ MeV}/c^2$



«Forza Forte»

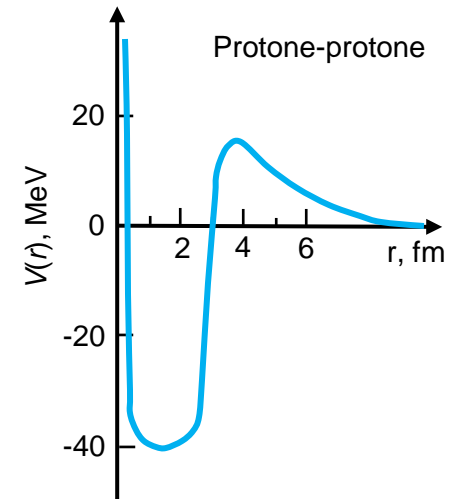
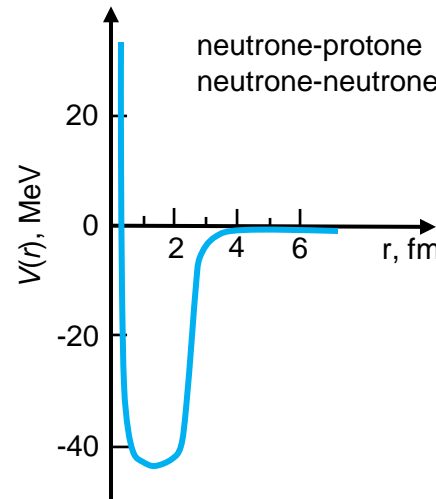
Interazione forte:

- lega i protoni a protoni, i neutroni a neutroni, e i protoni ai neutroni con circa la stessa forza
- non influenza certi altri tipi di particelle (specificamente gli elettroni)
- si sviluppa a **corto-raggio** (dell'ordine ~ 2 fm). I nucleoni separati da distanze superiori non esercitano tra loro forze intense.



Dimensioni dei quark
= $\sim 10^{-18}$ m

La spiegazione di queste osservazioni ha portato al *modello dei quark* di nucleoni. I nucleoni sono la combinazione di quark, particelle *neutre a forte-interazione* (come un atomo elettricamente neutro). Due nucleoni interagiscono solo se abbastanza vicini da determinare distanze tra le varie coppie di quark significativamente differenti.





Si può recuperare energia dai nuclei atomici in due modi:

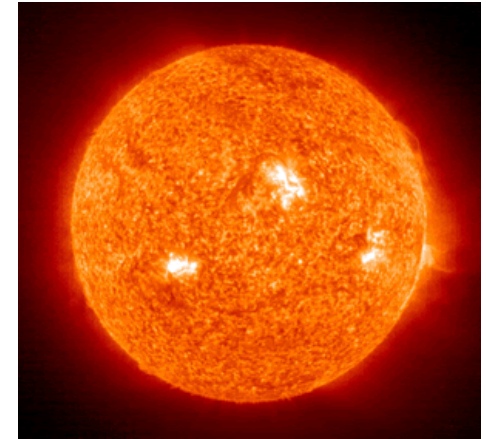
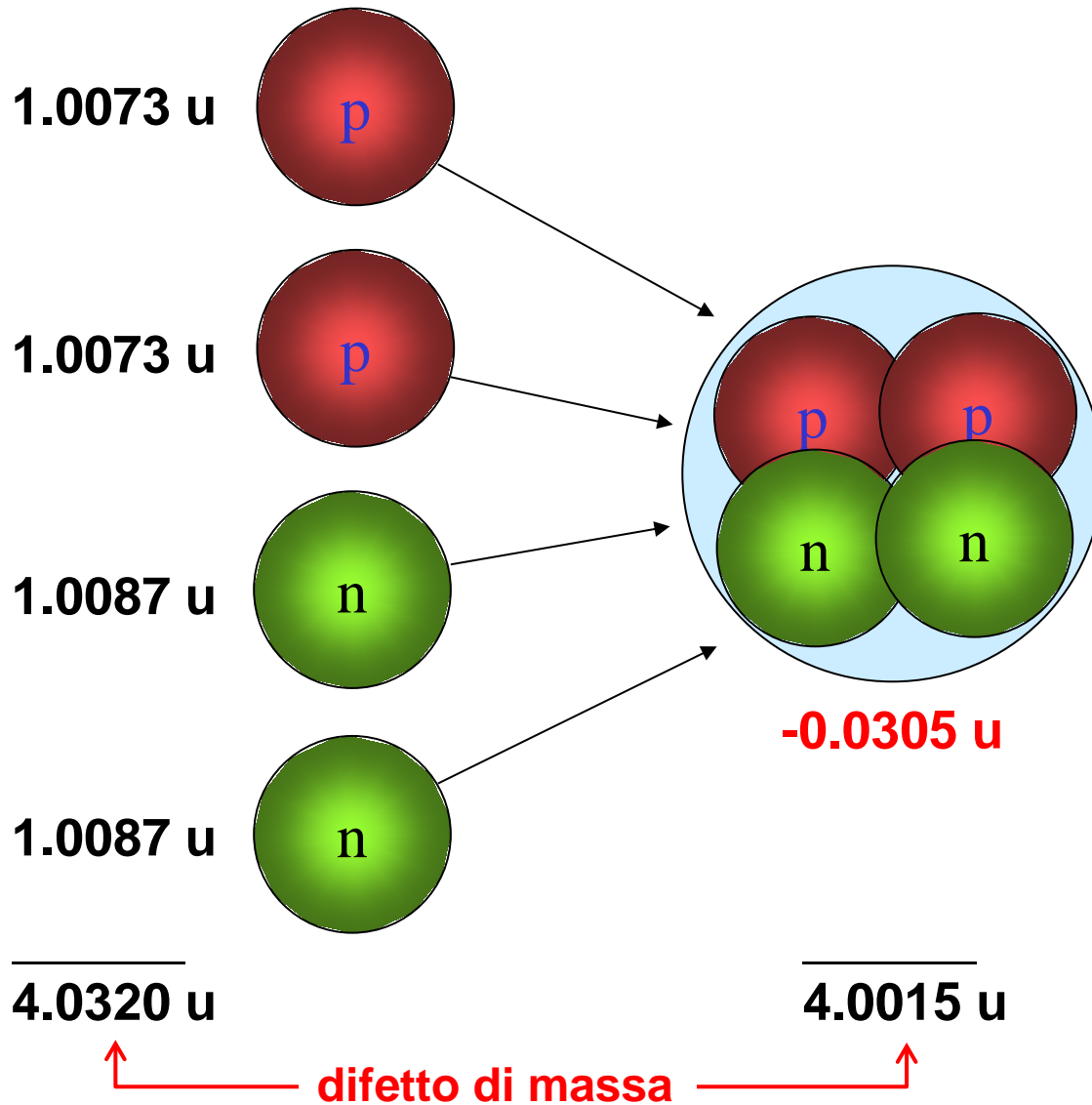
Fissione: frammentazione di atomi

- Fornisce energia se il nucleo è grosso
- Quelli più piccoli sono più stabili
- Si usa nei reattori nucleari attuali

Fusione: aggregazione di atomi

- Fornisce energia se il nucleo è piccolo
- Quelli più pesanti sono più stabili
- E' il motore del sole e delle stelle.

Energia di Legame Nucleare per l'Elío

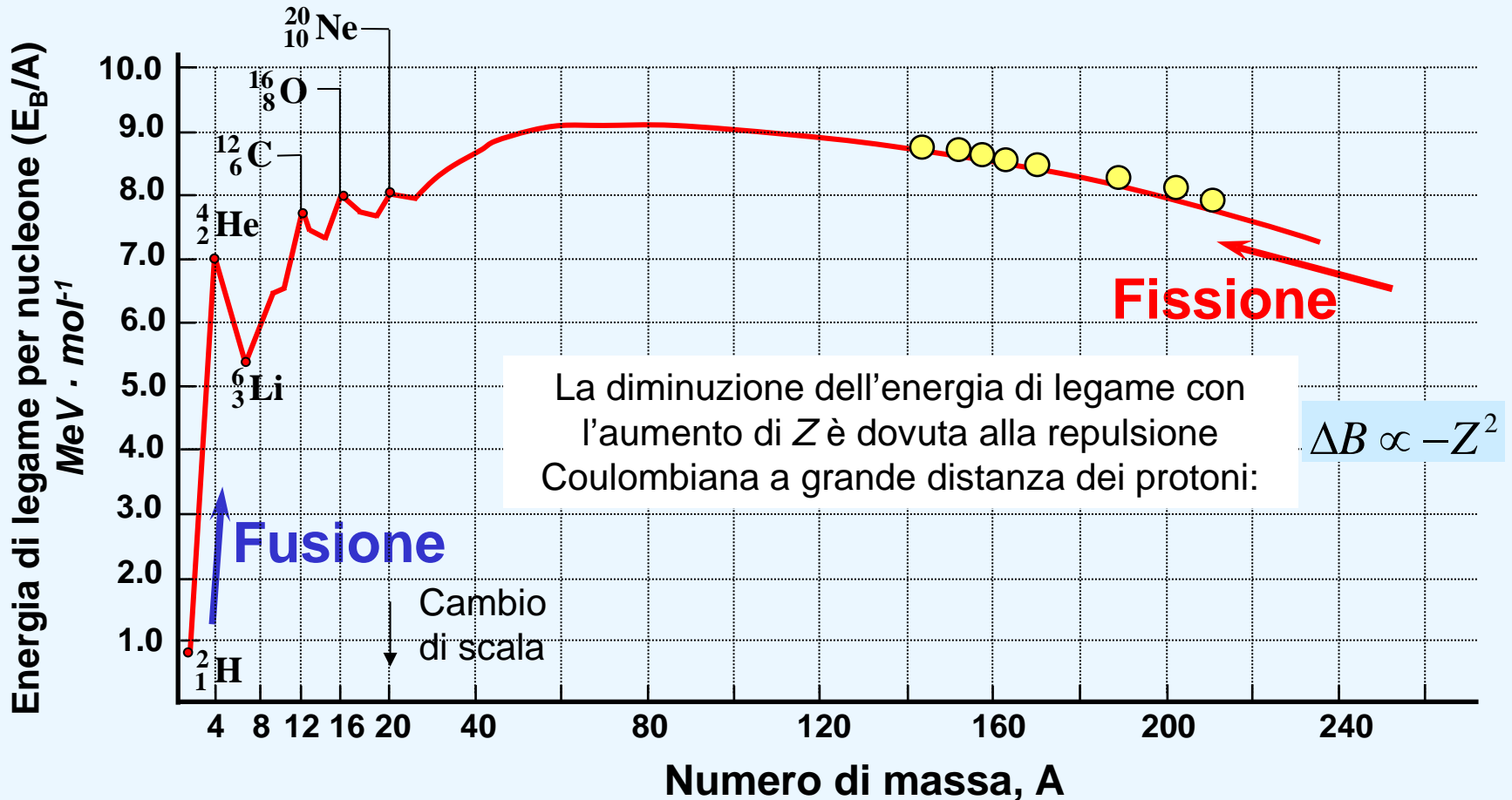


La principale fonte di energia del sole



Stabilità dei Nuclei

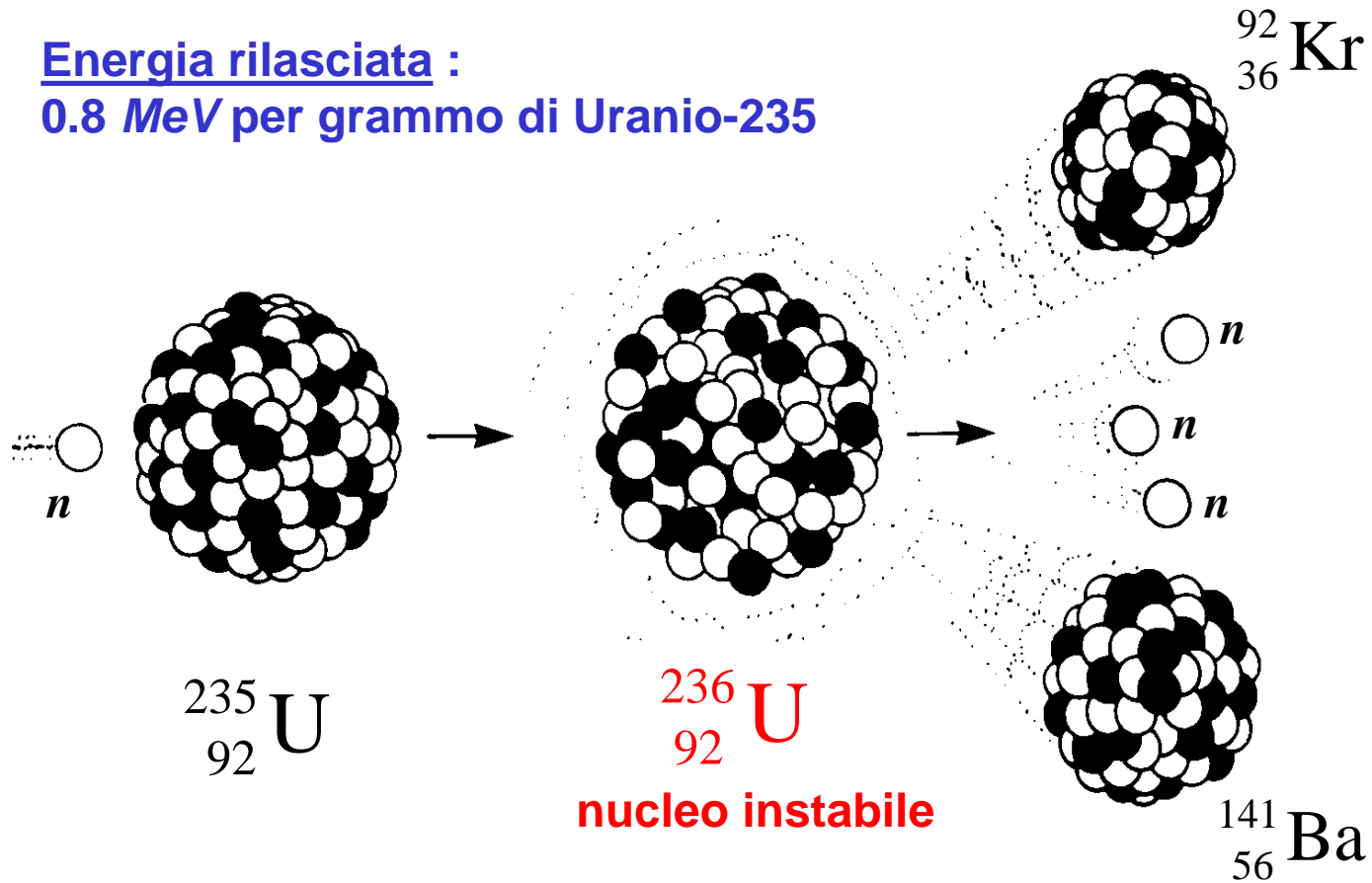
A causa del carattere di corto raggio dell'interazione forte, l'energia d'interazione per nucleone si satura all'aumento di Z a circa $\sim (Z/2)(\# \text{ delle coppie vicine})$.





Fissione Nucleare

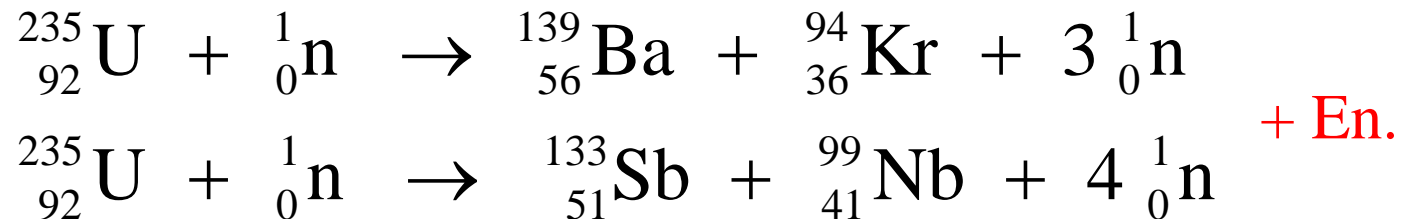
Energia rilasciata :
0.8 MeV per grammo di Uranio-235





Energia Prodotta dalla Fissione

L'Uranio-235 viene usato come "combustibile" in reattori a fusione secondo le reazioni:



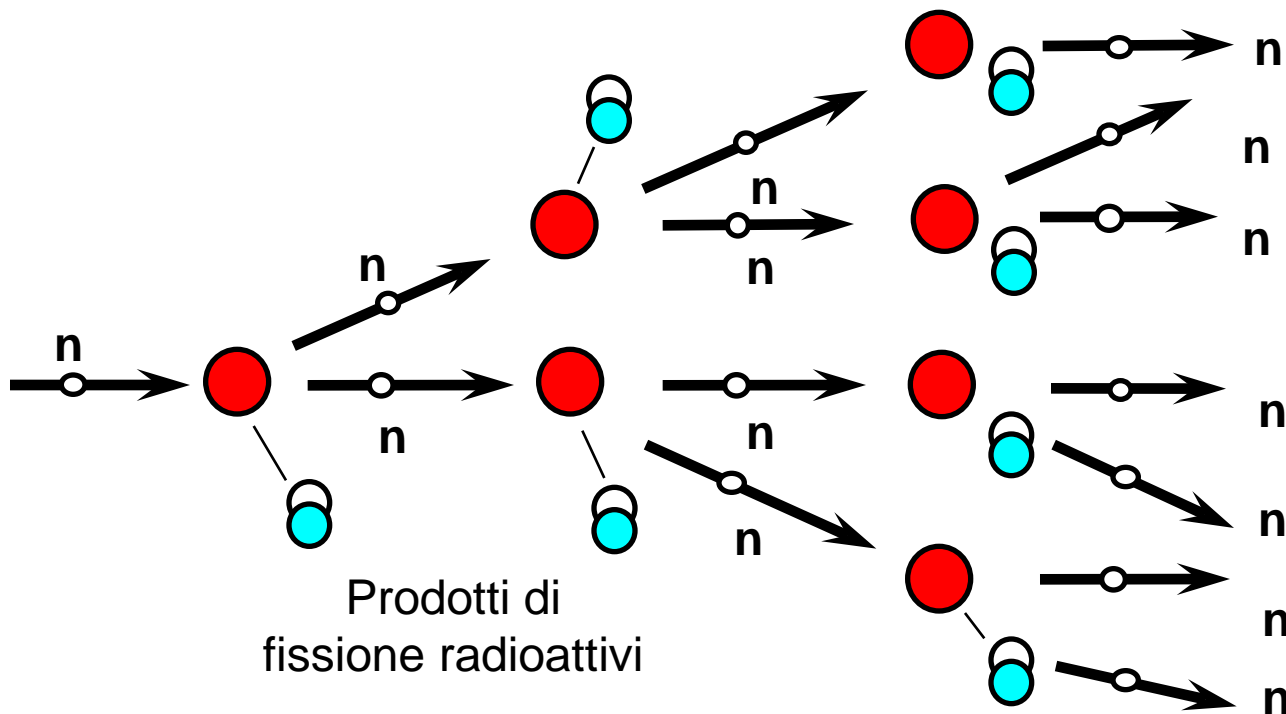
L'energia prodotta da un atomo è circa un milione di elettronvolt (eV).

- **100 g di ${}^{235}\text{U}$ producono una quantità di energia pari a quella rilasciata da 80 trilioni di tonnellate di tritolo.**



Processi a Catena

Si instaurano quando i neutroni prodotti sono superiori a quelli decomposti o sfuggiti (i neutroni iniziano e sostengono la catena).



La massa critica del materiale fissile per cui si auto-sostiene il processo è di 5-15 Kg nel caso del Plutonio. Altri materiali fissili impiegati come combustibili in centrali nucleari: U-235 e U-233.



Reazione critica

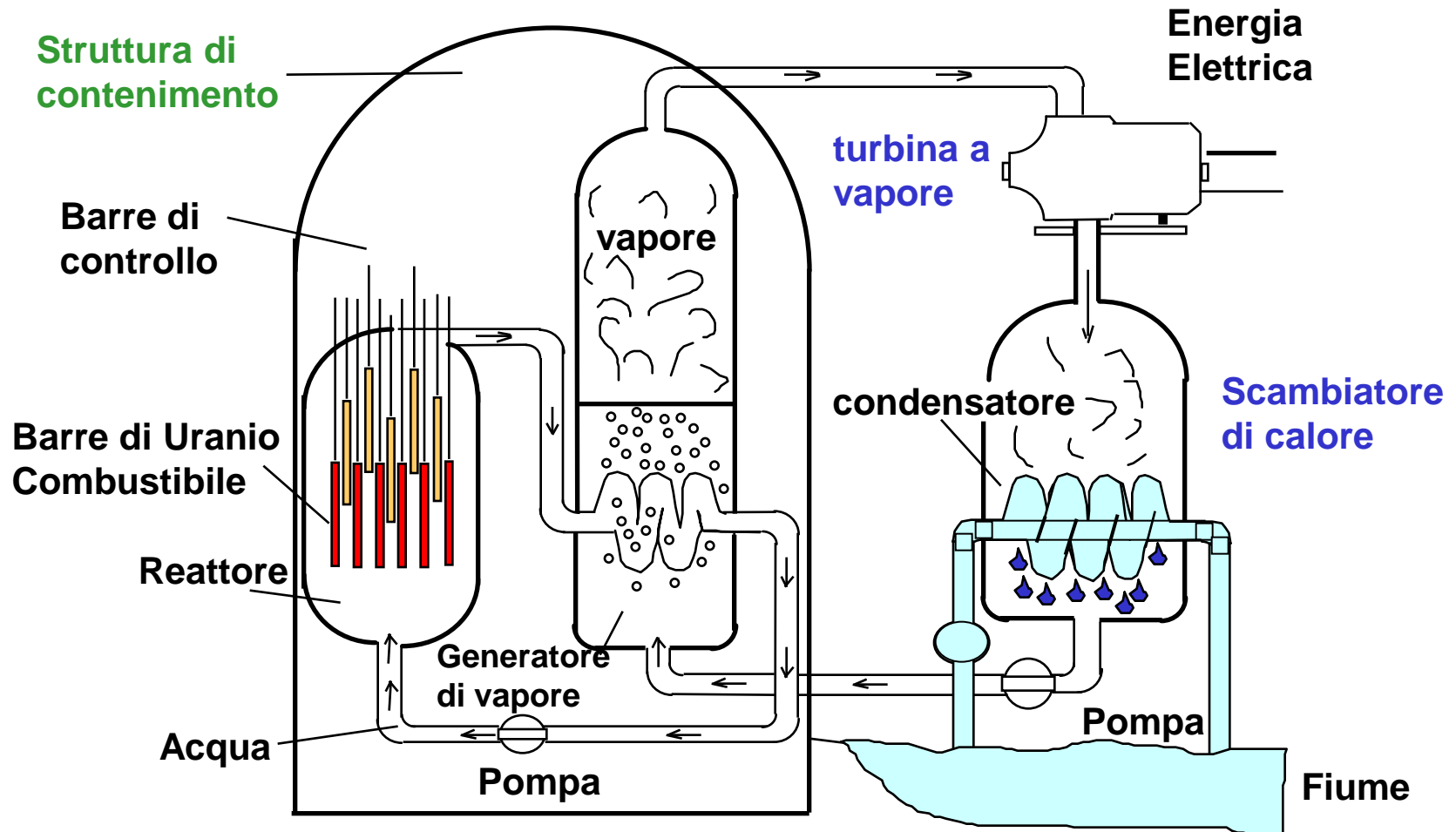
- Quando si verificano fissioni in numero tale da mantenere attiva la catena
 - Centrali nucleari

Reazione supercritica

- Quando si produce un eccesso di neutroni e la velocità del processo tende a aumentare.
 - Bombe nucleari



Reattori per Fissioni Nucleari

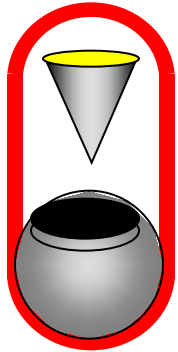




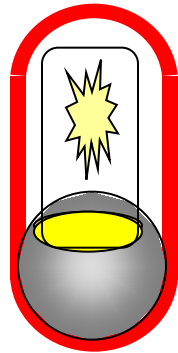
Tipi di Reattori Nucleari

Ne esistono di vari tipi in dipendenza degli anni di costruzione.

- Reattori ad acqua normale
usano l'acqua normale (H_2O) come moderatore di neutroni e U_2O_3 come combustibile (^{235}U)
- Reattori ad acqua pesante
usano acqua deuterata (D_2O) come moderatore e U_2O_3 come combustibile (U naturale)
- Reattori Breeder (autofertilizzanti)
usano miscele di ^{235}U , ^{238}U e ^{239}Pu come combustibile, trasformando ^{238}U in ^{239}Pu .



Si usa un esplosivo convenzionale per aggregare due porzioni di U-235.



Si raggiunge così la massa critica che innesca l'esplosione.



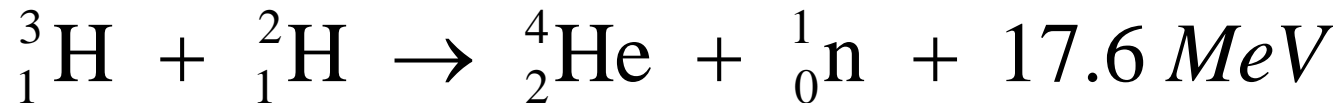


Energia dalla Fusione

Come si vedrà nel capitolo sulla nucleogenesi, anche dalla fusione di atomi si ottiene energia.

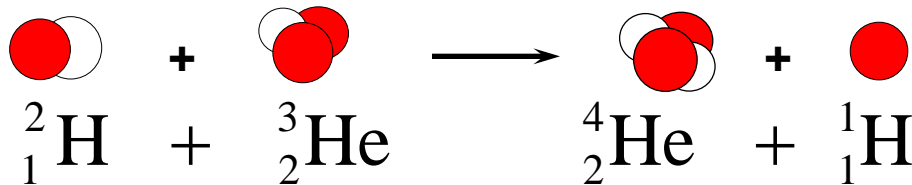
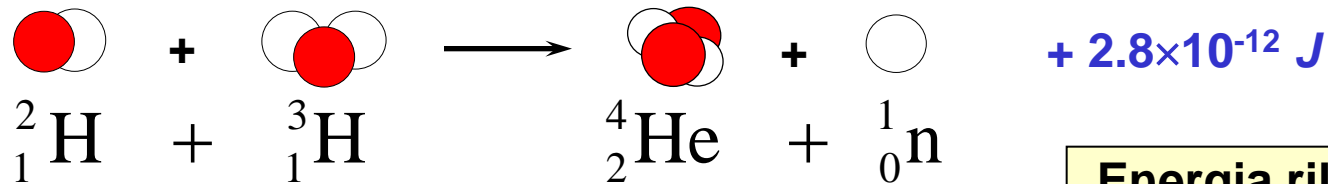
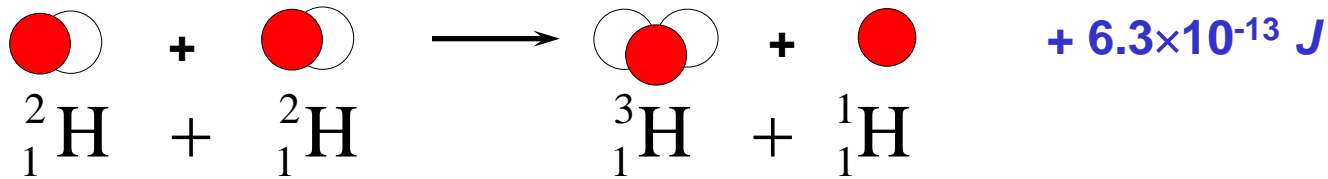
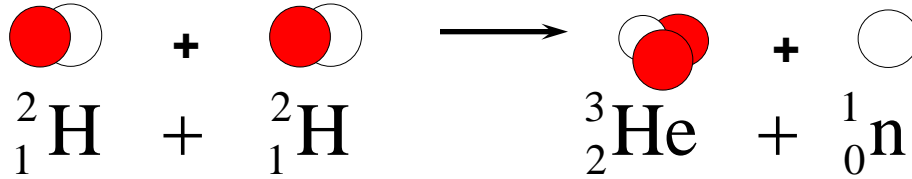
Nel sole i nuclei di idrogeno si fondono a produrre elio.

Sulla terra si sta tentando di fondere due isotopi dell'idrogeno per ottenere elio, un processo più facile della fusione dell'idrogeno ^1H .



Quando si riuscirà, sarà a disposizione un combustibile probabilmente meno pericoloso di quello impiegato nelle attuali centrali nucleari.

Fusione del Deuterio



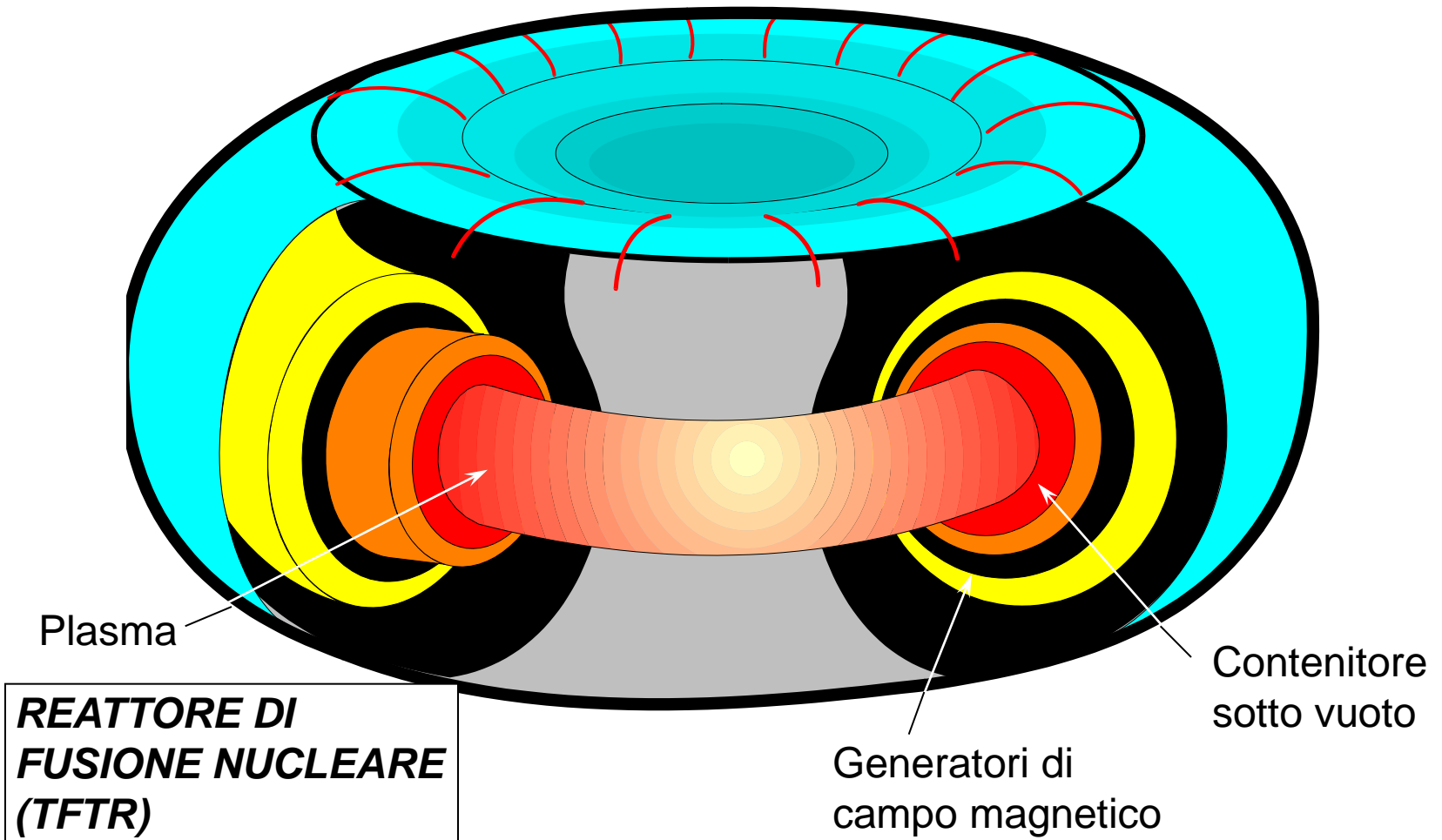
Energia rilasciata :
 $3 \times 10^8 \text{ kJ}$ per
 grammo di Deuterio
 $= 10^9 \text{ kW}\cdot\text{h}$



← **Reazione complessiva**



Schema di Reattore per Fusione Nucleare





Datazione con Radioisotopi

Ne esistono due tipi principali:

- Geocronologia:
 - Si interessa degli isotopi ad alti tempi di dimezzamento per datare i minerali.
- Datazione al carbonio
 - Usa l'isotopo radioattivo carbonio-14 per datare organismi biologici morti.

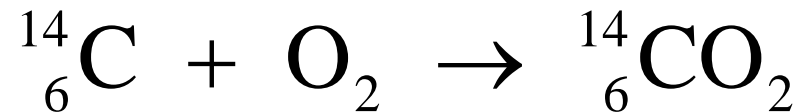


Datazione al Carbonio

Il carbonio-14 è generato in modo costante negli strati alti dell'atmosfera terrestre dal Sole.



Gli atomi così prodotti si combinano velocemente con l'ossigeno per dare CO₂.



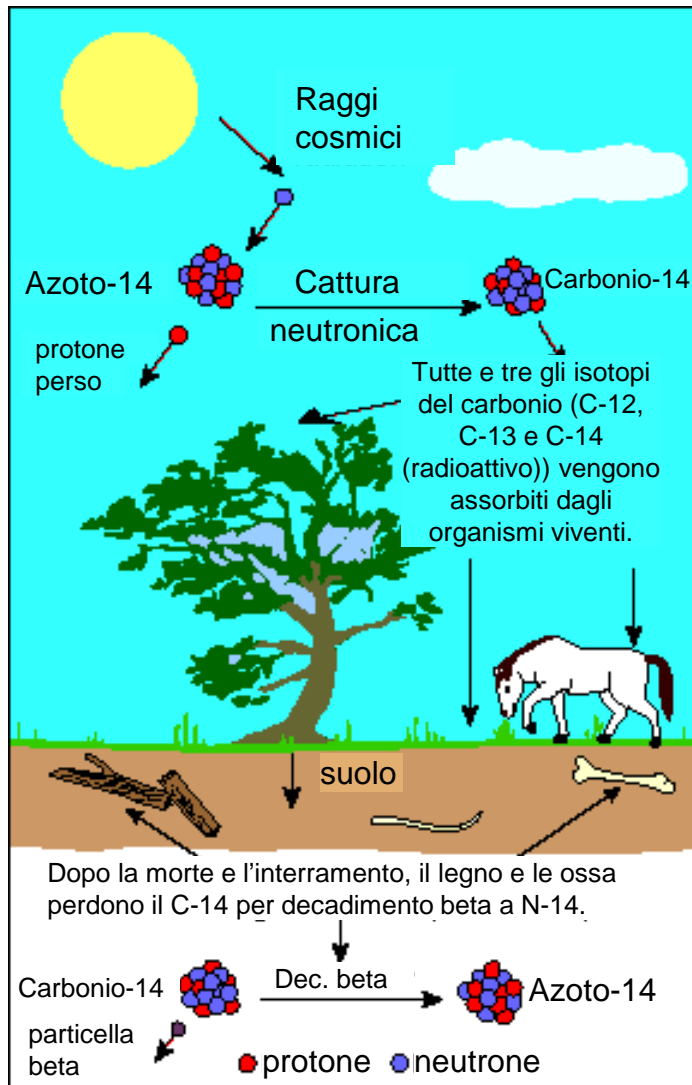


Datazione al Carbonio

Le piante e le alghe fissano la CO_2 mediante la fotosintesi clorofilliana in zuccheri e proteine. Queste sono il cibo di animali erbivori, a loro volta mangiati da quelli carnivori (catena alimentare).

- Alla loro morte, il ^{14}C degli esseri viventi decade con $t_{1/2}$ di 5715 anni
- Sulla base della quantità residua di ^{14}C si può stabilire la data di morte del campione
- Il metodo è valido nell'intervallo di tempo 1000-50000 anni
- Il metodo è ottimale per datare i manufatti umani.

Datazione al Radiocarbonio



Il metodo della datazione al radiocarbonio fu sviluppato nel 1940 da Willard F. Libby e colleghi all'Università di Chicago. Successivamente si sviluppò nel più potente metodo di datazione di manufatti ed eventi geologici del tardo Pleistocene ed Olocene di circa 50,000 anni di età. Il metodo del radiocarbonio si applica in molti e diversi campi scientifici, inclusa l'archeologia, la geologia, l'oceanografia, l'idrologia, la scienza dell'atmosfera, e la paleoclimatologia. Libby ricevette il Premio Nobel per la Chimica nel 1960.



Analizzando le figure precedenti rispondere alle seguenti domande:

1. Il numero di massa atomica (somma di protoni e neutroni nel nucleo di un atomo) per N-14 e C-14 è lo stesso. Quanti protoni possiede l'N-14 e quanti il C-14?

- a. 14 ciascuno
- b. 7 e 7
- c. 6 e 8
- d. 7 e 6
- e. 8 e 6

2. C-14 si forma dall'interazione dei raggi cosmici con N-14 per _____ e C-14 ritorna a N-14 per _____

- a. decadimento beta e cattura neutronica
- b. perdita di elettrone e cattura elettronica
- c. cattura neutronica e decadimento beta
- d. cattura protonica in entrambi i casi
- e. non si sa



Altre Applicazioni di Radioisotopi

Molte sorgenti radioattive trovano applicazioni in medicina e in altri settori scientifici.

Esempi significativi sono:

- Trattamento del cancro
- Traccianti
- “Imaging”
- Metodi non distruttivi di indagini sui materiali.
- Identificazioni strutturali
- Meccanismi di reazione



Terapia del cancro:

- ❖ Le radiazioni sono in grado sia di produrre che di curare il cancro.
- ❖ Le radiazioni provocano la rottura delle molecole nelle cellule (ionizzazione)
- ❖ I danni più gravi si realizzano quando è interessato il DNA
- ❖ L'effetto è più spiccato su cellule in rapida crescita.



Cancro: Caratterizzato da una crescita rapida e fuori controllo di cellule.

Le radiazioni danneggiano di più le cellule cancerose che quelle sane.

Esempi

Perdita di capelli. I capelli costituiscono un tessuto in rapida crescita, molto sensibile alle radiazioni

Midollo osseo. Un altro tessuto facilmente coinvolto nei radiotrattamenti



Esempi di Trattamenti con Radioisotopi

Bombardamento esterno

- ^{60}Co - si espone l'area interessata ai raggi γ .

Impianto

- ^{182}Ta - usato come spira, trattamento dell'occhio.
- ^{137}Cs - usato in un catetere espandibile nel trattamento della vescica.

Terapia interstiziale

- ^{196}Au - iniettato direttamente nel tumore.

Irraggiamento interno

- ^{131}I - per ingestione nel trattamento della tiroide.



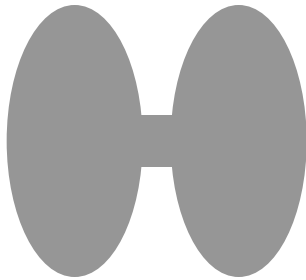
Traccianti Nucleari

- Le tecniche di misurazione delle radiazioni sono **MOLTO** sensibili.
- Si può introdurre una piccola quantità di un materiale radioattivo e stabilire dove si distribuisce (in un corpo, in un fiume, ecc.)
 - Tracciante
- Molto usato per valutare piccole quantità di composti in un organismo vivente
 - **Test Radioimmunologici**

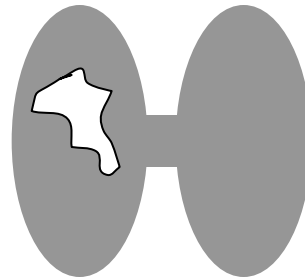


Esempio di Tracciante

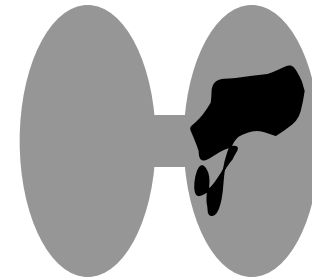
Lo **iodio-131** è usato per valutare la funzionalità della tiroide.



Tiroide
normale



Tumore
benigno



Cancro



^{99}Tc

- Rivela i tessuti necrotici del cuore.
- Valuta la funzione renale.

^{201}Tl

- Usato per valutare il flusso sanguigno nel cuore.

Molti altri radioisotopi sono utilizzati associati con la "imaging" CT e MRI.

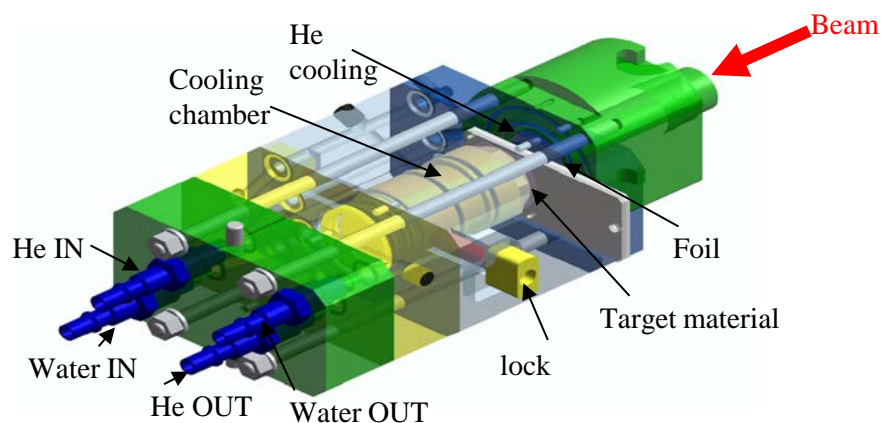
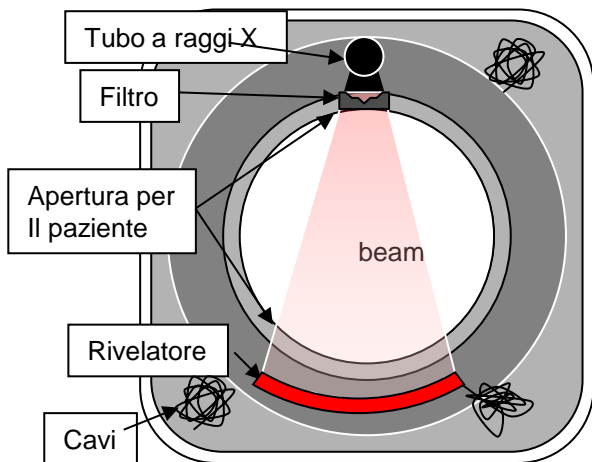
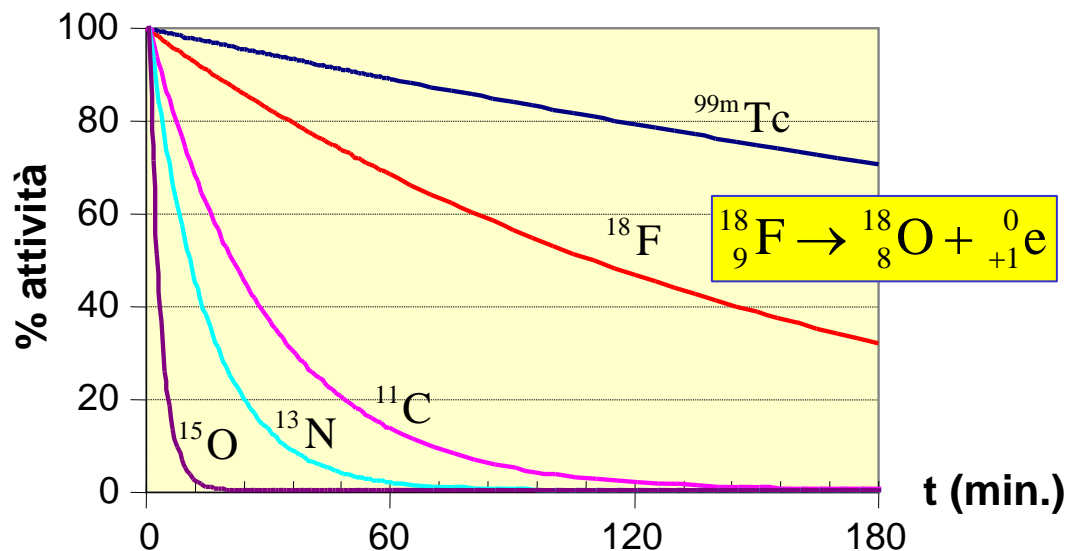
- Variano in funzione dell'organo da testare.



PET = Positron Emission Tomography

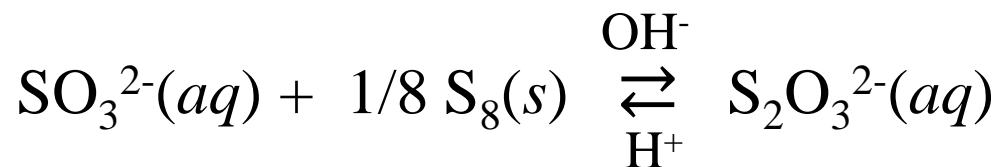
Principi

- Usa la tecnica di “annihilation coincidence detection” (ACD)
- Acquisizione simultanea di 45 sezioni su una distanza di 16 cm
- Basata sul Fluoro-18 fluorodeossiglucosio (FDG)



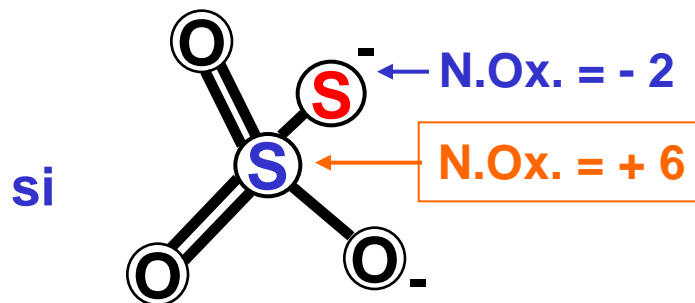
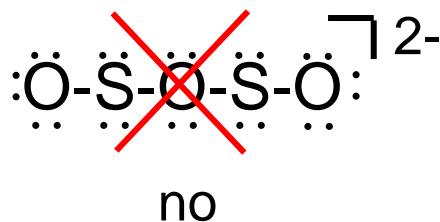
Determinazioni Strutturali (p. es. $S_2O_3^{2-}$)

Equilibrio di preparazione dello ione tiosolfato:



Utilizzando zolfo contenente l'isotopo radioattivo S-35, uno dei due atomi di zolfo viene "marcato".

Poiché tutto lo zolfo per trattamento acido di $S_2O_3^{2-}$ si ritrova nello zolfo precipitato, si conclude che la struttura non è simmetrica (*S in stati di ossidazione diversi*).

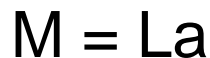




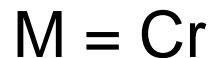
La marcatura con adatti isotopi si usa in sistemi chimici o biologici per indagini meccanicistiche:

- sequenza di trasformazione di un composto in altri (catene metaboliche es. CO₂ - zucchero)
- cinetica di scambio di un legante ([ML_n])
- effetto isotopico (H/D)
- struttura di intermedi di reazione

Esempio



$$k = 10^8 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$



$$k = 10^{-6} \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$



Esposizione alle Radiazioni e Salute

Fattori che influenzano il grado di esposizione:

- Entità del tempo di dimezzamento
 - Gli isotopi che decadono più rapidamente sono più pericolosi.
- Schermi
 - Forniscono una protezione bloccando la radiazione.
- Tipo di radiazione
 - Alcuni tipi sono peggiori di altri (es. γ).
- Area esposta
 - L'esposizione delle mani è meno dannosa di quella delle ovaie.



Schermi per Radiazioni

Particelle alfa

Bloccate da 1 cm di aria.

Particelle beta

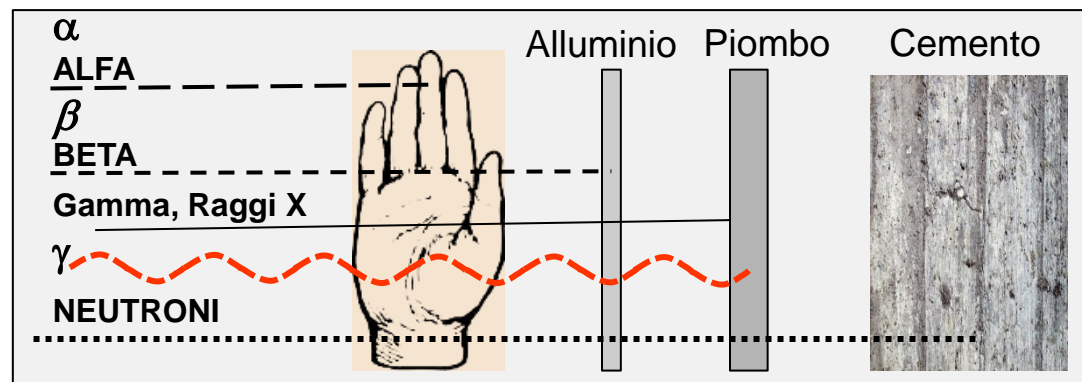
Bloccate da 1 mm di alluminio.

Raggi gamma

Le più penetranti. Richiedono cemento e piombo per protezione.

Raggi X

Simili ai raggi gamma, ma meno penetranti.





Altri Fattori

- Distanza dalla sorgente della radiazione

L'intensità diminuisce con la distanza.

Se l'esposizione ad 1 metro è di 100 rem, sarà di

50 rem a 2 metri

25 rem a 4 metri

- Tempo di esposizione

Gli effetti sono cumulativi



- **Materiale radioattivo all'interno di una cellula vivente :**
 - Decadimento radioattivo
 - Normale decadimento biologico
- **Isotopo iodio-125**
 - Emivita non-biologica: 60 giorni
 - Emivita biologica: 38 giorni
- **Isotopo carbonio-14**
 - Emivita: 5715 anni (essenzialmente costante nel corso della vita di un individuo.
 - Datazione al Carbonio



Monitoraggio delle Radiazioni

Esposizione alle radiazioni

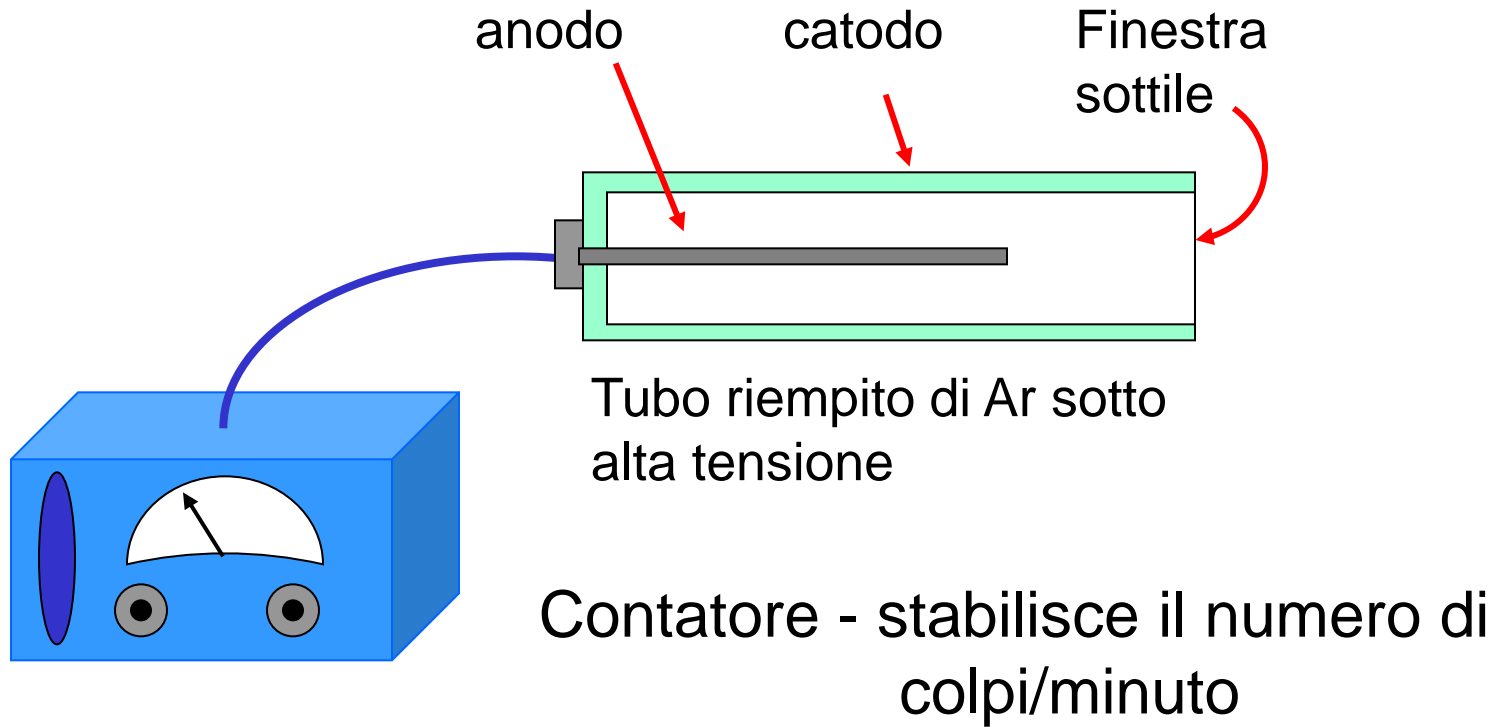
- Misura dell'esposizione in "sicurezza"
- Requisiti di sicurezza (normati da leggi)

Misura dell'esposizione

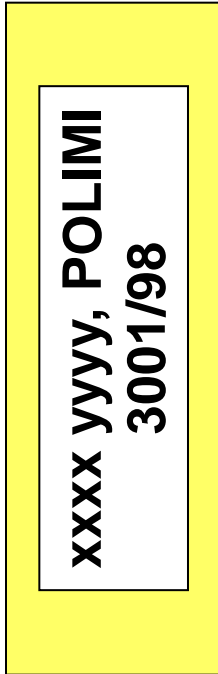
- "Imaging" fotografico
- "Imaging" computerizzato
- Contatore Geiger
- Rivelatori a pellicola film

Camere a nebbia

- Una scia luminosa viene prodotta quando le particelle attraversano un vapore.



Valido per monitorare aree o zone ad alta emissione.



Ogni badge contiene una striscia di pellicola che è sensibile all'esposizione alle radiazioni.

E' di varie forme in funzione dell'area da monitorare.

Valida solo per radiazioni gamma e X.



Unità di Radiazione

- curie La quantità di materiale radioattivo che produce $3.7 \cdot 10^{10}$ disintegrazioni/secondo
- roentgen misura gli ioni che la radiazione produce
- Raggi X
 - Raggi gamma
- rad dose di radiazione assorbita, tiene conto del tipo di radiazione
- rem rad equivalente per l'uomo, usato per descrivere il danno biologico.

Limite di Esposizione (EPA):

0.125 rem ogni tre mesi (0.5 rem in un anno)



Esposizione Normale/Anno *

| | |
|------------------------------|------------------|
| • Raggi cosmici ¹ | 0.039 rem |
| • Raggi gamma terrestri | 0.046 rem |
| • Interno corpo umano | 0.023 rem |
| • Radon ² | 0.130 rem |
| • Reattori nucleari | <u>0.010 rem</u> |
| Totale 0.248 rem | |

¹ aumenta con la quota, i piloti di aereo ricevono altri 0.0005 rem per ora di volo.

² dipende dalla localizzazione sul territorio.

* Relazione 1993 del "United Nations Committee on the Effects of Atomic Radiation"



Effetti della Radiazioni sulla Salute

Ricadono in due classi generali:

Danni somatici

- cronici (cancro)
- acuti (sindrome da radiazione)

Danni genetici

- Altera il materiale genetico.
- Può portare a mutazioni nella prole



- **A breve termine** (*somatici, massivi, diretti*)
 - Le cellule a crescita più rapida sono più sensibili alle radiazioni ionizzanti
 - Cellule del midollo osseo (cellule produttrici dei componenti del sangue)
 - Ovaie, testicoli, cristallino dell'occhio
 - Cellule cancerose che crescono più velocemente delle cellule normali e per questo si ricorre ai trattamenti con radiazioni
 - Gli effetti sono
 - Arrossamento della pelle, diminuzione dei linfociti del sangue, nausea, vomito, perdita dei capelli, emorragie, e morte.
- **A lungo termine** (*cronici, bassa dose, indiretti*)
 - Danni ai cromosomi (DNA) - cancro



Sindrome Acuta da Radiazione

LD₅₀ per l'uomo è di 400-500 rads.

| Livelli, rem | Effetti osservati |
|--------------|--|
| sotto i 100 | Nessun segno di sindrome. |
| 100-500 | 50 % di sopravvivenza perdita di capelli tassi ematici alterati. |
| 500-700 | Oltre agli effetti sopra riportati, distruzione midollo spinale perdita piastrine, RBC e WBC (36 d). |
| 900-1200 | Vomito, diarrea. Infezioni (10 d). |
| 5000 | Inoltre, ustioni di terzo grado (3 d). |
| 12000 | Perita di fluidi. Morte in 36 ore. |



Cause della Morte da Radiazione

