

# La radioattività e la datazione al radio-carbonio

## La radioattività

La radioattività è un fenomeno naturale provocato dai nuclei atomici di alcuni elementi che, essendo instabili, si trasformano in altri, emettendo particelle ed energia radiante, ossia radiazioni.

Alla fine dell'Ottocento Henry Becquerel e i coniugi Pierre e Marie Curie, premi Nobel per la Fisica nel 1903, scoprirono la radioattività studiando il comportamento di alcuni minerali (uranio, radio, polonio) capaci di impressionare lastre fotografiche, che una volta sviluppate presentavano delle macchie scure.

In ogni atomo, dei circa 90 elementi naturali, il numero dei protoni  $Z$  (numero atomico) è fisso, mentre il numero dei neutroni può variare: in questo caso parliamo di **isotopi**. La somma dei protoni e dei neutroni presenti nel nucleo (nucleoni), cioè il numero di massa  $A$ , cambia da un isotopo all'altro. Il ferro, per esempio, presenta quattro isotopi, tutti con 26 protoni, ma con un numero di neutroni compreso tra 28 e 32.

Gli isotopi si identificano con il simbolo dell'elemento, indicando in alto a sinistra il numero di massa: per esempio, il carbonio ha tre isotopi, il  $^{12}\text{C}$  (carbonio-12, che rappresenta il 98,9%), il  $^{13}\text{C}$  (carbonio-13, che rappresenta l'1,1%) e il  $^{14}\text{C}$  (carbonio-14, presente solo in tracce).

Oggi sono stati prodotti in laboratorio un gran numero di **isotopi artificiali**, come il cobalto-60, usato in radioterapia, e il plutonio-239, usato come combustibile nelle centrali nucleari. Alcuni isotopi naturali (pochi) e quasi tutti gli isotopi artificiali sono instabili, perché i loro nuclei presentano un eccesso di protoni e/o neutroni: questi isotopi radioattivi sono detti anche **radionuclidi** o **radioisotopi**.

La stabilità dei nuclei dipende dal numero atomico  $Z$  e dal rapporto tra il numero dei protoni  $Z$  e quello dei neutroni  $N$ :

- se il numero atomico  $Z$  è compreso tra 1 e 20, i nuclei sono stabili quando  $Z = N$ ;
- se  $Z$  è maggiore di 20, sono stabili quando  $N > Z$ , cioè quando il numero di neutroni è maggiore di quello dei protoni;
- se  $Z > 84$  i nuclei sono sempre instabili e radioattivi.

Il nucleo di un isotopo radioattivo, essendo instabile, tende a trasformarsi **spontaneamente** nel nucleo di un elemento diverso (fino a diventare un nucleo stabile), emettendo particelle ed energia radiante: tale processo è detto disintegrazione o **decadimento radioattivo**.

Per esempio, il nucleo dell'uranio-238 si disintegra spontaneamente trasformandosi in piombo-206, un nuclide stabile.

La radioattività è il processo legato all'emissione di radiazioni. Ogni isotopo radioattivo è caratterizzato da una sua **emivita**, che è il tempo necessario perché la metà degli atomi di un campione puro dell'isotopo decadano (ossia si trasformino) in un altro elemento.

L'emivita o tempo di dimezzamento varia da frazioni di secondi a miliardi di anni: il fermio-255 (elemento transuranico artificiale, numero atomico  $Z = 100$ ) si dimezza in circa 3 ore, mentre il potassio-40 ha una emivita di circa 1,8 miliardi di anni.

L'unità di misura della radioattività è il **becquerel** Bq (1 Bq corrisponde a 1 disintegrazione al secondo) ma più spesso si usa uno dei suoi multipli, come il kilobecquerel (1 kBq =  $10^3$  Bq), il Megabecquerel (1 MBq =  $10^6$  Bq) e il Giga-becquerel (1 GBq =  $10^9$  Bq).



■ Henry Becquerel.



■ I coniugi Pierre e Marie Curie.

In precedenza veniva usato il **curie** (Ci), che equivaleva alla quantità di radioattività presente in un grammo di radio. Questa unità è molto più grande del Bq, perché in un grammo di radio avvengono 37 miliardi di disintegrazioni al secondo, perciò:

$$1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq} = 37 \text{ miliardi di Bq}$$

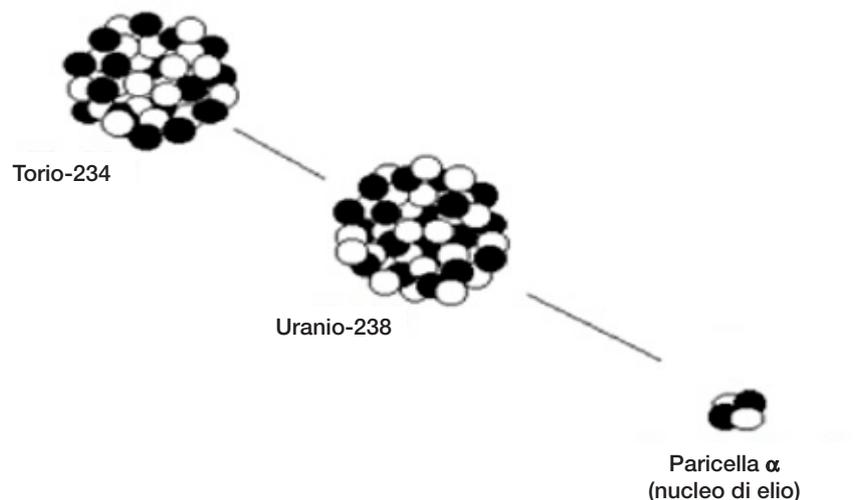
Il decadimento radioattivo può avvenire con modalità diverse (indicate col nome generico di radiazioni) a seconda del tipo di particella emessa durante tale processo, seguendo la **legge del decadimento radioattivo**, secondo la quale:

**Il tempo di dimezzamento è il tempo necessario per ridurre, spontaneamente, alla metà (ossia dimezzare) la quantità di un isotopo radioattivo presente in un campione.**

I tre tipi principali di decadimento, che rilasciano tre tipi diversi di radioattività, sono: decadimento alfa, decadimento beta e decadimento gamma.

## Decadimento $\alpha$

Durante il decadimento  $\alpha$  (alfa) vengono emesse **radiazioni  $\alpha$**  (le particelle  $\alpha$  sono nuclei di elio formati da due protoni e due neutroni), con una conseguente riduzione di due unità del numero atomico e di quattro unità della massa atomica (decadimento dell'uranio-238 in torio-234). Tale decadimento è tipico dei nuclei più pesanti (uranio), perché la particella  $\alpha$  ha un difetto di massa molto elevato, che provoca la liberazione di enormi quantità di energia e la conseguente stabilizzazione. Le radiazioni  $\alpha$  sono poco penetranti e vengono bloccate anche da un semplice foglio di carta.



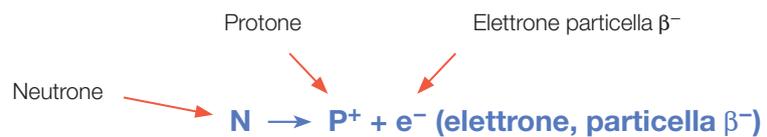
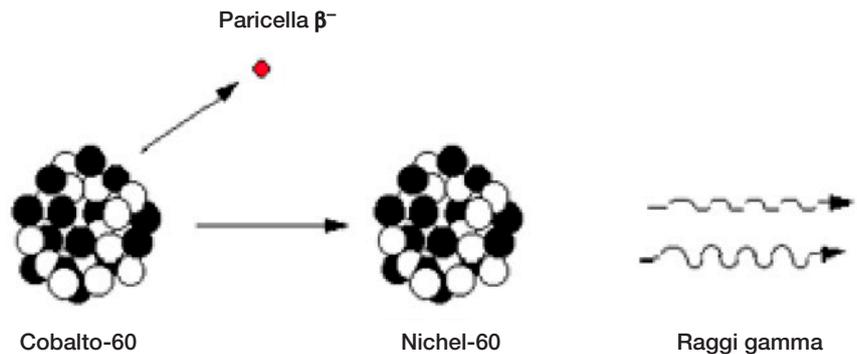
■ Il decadimento alfa dell'uranio-238.

## Decadimento $\beta$

Le radiazioni  $\beta$  (beta) sono più penetranti di quelle alfa ma, comunque, non riescono a oltrepassare piccoli spessori metallici (per esempio di alluminio), anche di pochi millimetri. Durante il decadimento  $\beta$ , che si osserva quando il rapporto tra neutroni e protoni è superiore all'unità ( $N/Z > 1$ ), viene emessa una **radiazione  $\beta$**  (raggi  $\beta$ ), cioè elettroni veloci. Se un neutrone (costituito dall'associazione di un

protone di un elettrone), disintegrandosi, origina un protone ed espelle l'elettrone (elettroni veloci  $\beta^-$ ), la massa atomica resterà praticamente costante, mentre il numero atomico aumenterà di un'unità, per il protone che è stato generato nel decadimento. Un esempio di decadimento  $\beta$  è quello del cobalto-60 in nichel-60: il cobalto ha numero atomico  $Z = 27$  e il nichel ha  $Z = 28$ . Un altro esempio di decadimento  $\beta$  è quello del tritio,  ${}^3\text{H}$ , a elio-3,  ${}^3\text{He}$ .

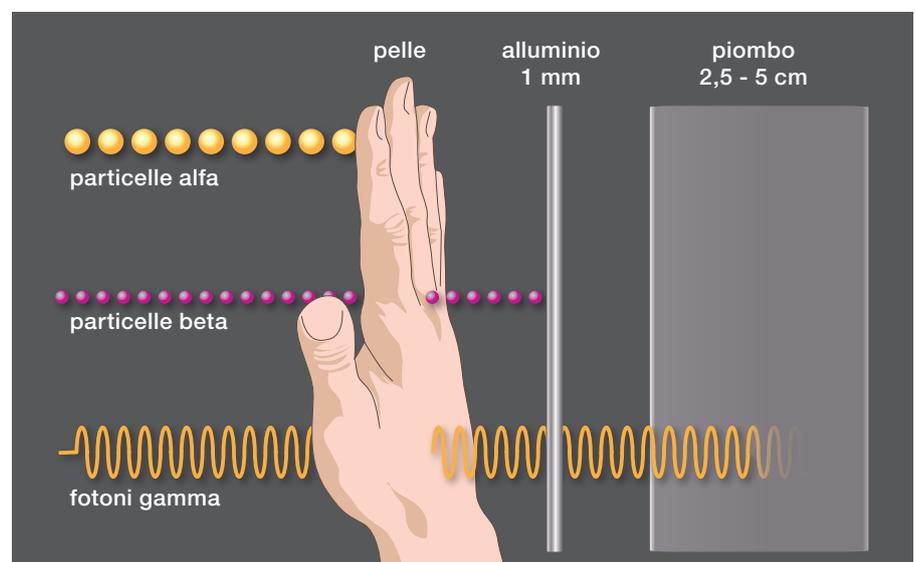
■ Il decadimento beta provocherà il successivo decadimento gamma del nucleo eccitato.



### Decadimento $\gamma$

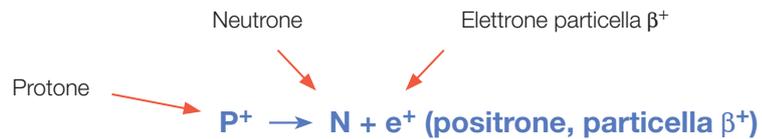
Il decadimento  $\gamma$  (gamma) non comporta alcun cambiamento, né della massa atomica né del numero atomico, essendo la **radiazione  $\gamma$**  una radiazione elettromagnetica, puramente energetica. Le radiazioni gamma sono emissioni di pacchetti di energia (fotoni), che vengono liberati dal nucleo di un isotopo, dopo un'emissione alfa o beta. Essa è molto più penetrante, rispetto alle radiazioni  $\alpha$  e  $\beta$ , e può essere bloccata solo da schermi di piombo a elevata densità, con uno spessore di 2,5-5 cm.

■ Penetrazione delle particelle  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ .



Esistono anche altri tipi di decadimento. Quando, per esempio, il rapporto tra neutroni e protoni è minore dell'unità, un protone tende a trasformarsi in un neutrone emettendo un positrone ( $e^+$ ) che ha massa trascurabile e carica positiva.

In questo caso (decadimento  $\beta^+$ ) si ottiene un nuclide con un numero atomico  $Z$  in meno ( $Z - 1$ ), perché scompare un protone, ma con un numero di massa invariato, perché il protone si è trasformato in un neutrone.



### La datazione radiometrica. Il metodo del carbonio-14, $^{14}\text{C}$

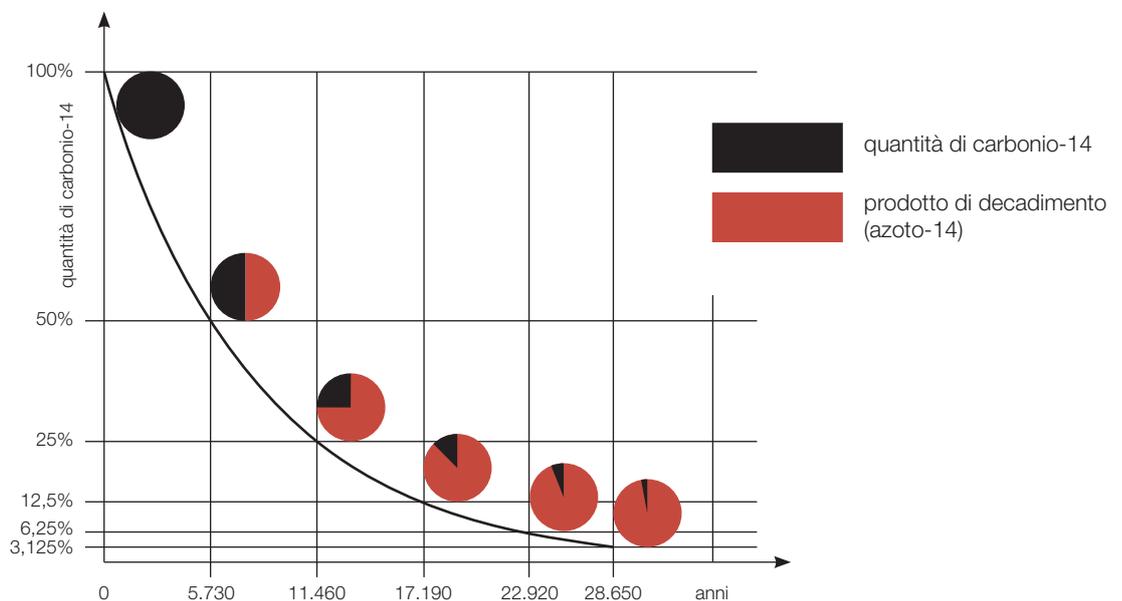
Il carbonio-14, isotopo radioattivo del carbonio scoperto nel 1940 da S. Ruben e M. Kamen, è continuamente prodotto negli strati alti della troposfera e nella stratosfera per l'assorbimento di un neutrone (liberato da altri atomi in seguito a collisioni con i raggi cosmici, particelle ad alta energia, provenienti dallo spazio esterno) da parte di un atomo di azoto (numero atomico  $Z = 7$  e numero di massa  $A = 14$ ); l'assorbimento del neutrone causa l'espulsione di un protone, per cui il numero atomico si riduce di 1 e il nucleo dell'atomo di azoto diventa un nucleo di carbonio, con numero di massa 14:



Il carbonio  $^{14}\text{C}$ , presente nell'atmosfera in piccole quantità (1 millimiliardesimo di tutto il carbonio terrestre), viene assorbito dagli organismi attraverso i prodotti della fotosintesi e, nell'organismo vivo, il suo rapporto con l'isotopo  $^{12}\text{C}$ , non radioattivo e decisamente molto più abbondante, rimane costante grazie al ricambio continuo.

Con la morte dell'organismo, la quantità del  $^{14}\text{C}$  si riduce progressivamente, dimezzandosi in 5730 anni, con l'emissione di radiazioni  $\beta$ , e trasformandosi in azoto ( $^{14}\text{N}$ ).

■ Grafico dei tempi di decadimento del carbonio-14.



Il metodo del  $^{14}\text{C}$ , basato sulla misura del tempo di dimezzamento, permette di datare un qualsiasi reperto archeologico, geologico, idrogeologico, con un'età non superiore ai 60.000 anni (e non inferiore ai 200 anni) misurando l'emissione  $\beta$  e, confrontandola con un reperto attuale, di stabilire dal numero di dimezzamenti l'età del reperto stesso.

Il potassio-40,  $^{40}\text{K}$ , che ha, come detto in precedenza, un'emivita (tempo di dimezzamento) superiore al miliardo di anni, si utilizza per reperti più antichi e per le rocce.

La datazione delle rocce richiede l'utilizzo di radionuclidi con tempi di dimezzamento molto lunghi, come U-238, U-235, Th-232, K-40, Rb-87 come indicato nella tabella seguente:

Elemento progenitore	Tempo di dimezzamento (in anni)	Elemento figlio
Carbonio-14	5730	Azoto-14
Uranio-235	723 milioni	Piombo-207
Potassio-40	1300 milioni	Argon-40
Uranio-238	4510 milioni	Piombo-206
Torio-232	13900 milioni	Piombo-208

Il dimezzamento dell'uranio-238 in piombo-206 ha reso possibile stimare l'età della roccia più antica presente sulla Terra (granito della Groenlandia:  $3,7 \times 10^9$  anni) e la stessa età della Terra,  $4,6 \times 10^9$  anni.