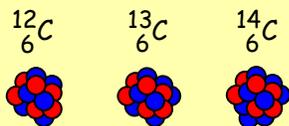


# Il radiocarbonio (o $^{14}\text{C}$ )

## Che cosa è

È uno degli isotopi naturali del carbonio, insieme a  $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$ .



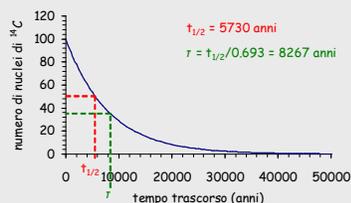
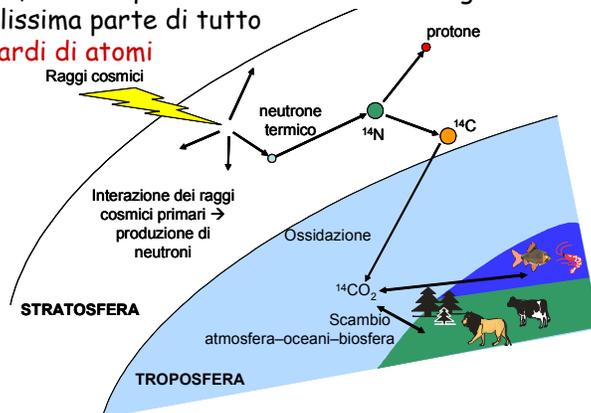
Tutti i nuclei di carbonio hanno lo stesso numero di protoni ( $Z=6$ ) ma possono avere un diverso numero di neutroni, ovvero una diversa massa ( $A=12 \rightarrow 6$  neutroni,  $A=13 \rightarrow 7$  neutroni,  $A=14 \rightarrow 8$  neutroni).

## Dove si trova

Il  $^{14}\text{C}$  si trova in atmosfera, nelle acque e in tutta la materia organica. Costituisce solo una piccolissima parte di tutto il carbonio: **ogni 1000 miliardi di atomi di  $^{12}\text{C}$  c'è 1 atomo di  $^{14}\text{C}$ .**

- ✗  $^{14}\text{C}/\text{C}_{\text{totale}} \sim 10^{-12}$
- ✗  $^{12}\text{C}/\text{C}_{\text{totale}} \sim 99\%$
- ✗  $^{13}\text{C}/\text{C}_{\text{totale}} \sim 1\%$

Si forma negli strati alti dell'atmosfera e, una volta ossidatosi a formare  $\text{CO}_2$ , entra a far parte del ciclo del carbonio.



Come diminuisce il numero di nuclei di  $^{14}\text{C}$  in funzione del tempo

## Il $^{14}\text{C}$ è radioattivo

Il nucleo di  $^{14}\text{C}$  non è stabile, ma decade emettendo un elettrone (radiazione  $\beta^-$ ) e una particella neutra (antineutrino), trasformandosi così in un nucleo di  $^{14}\text{N}$ .

In un serbatoio chiuso e isolato rispetto all'esterno, il numero di nuclei di  $^{14}\text{C}$  diminuisce, seguendo un andamento di tipo esponenziale: dopo 5730 anni (tempo di dimezzamento) i nuclei saranno la metà.

## Perché usare il $^{14}\text{C}$ per la datazione

- ✗ Finché vivente, ogni organismo che fa parte della biosfera ha una concentrazione atomica  $^{14}\text{R} = ^{14}\text{C}/\text{C}_{\text{totale}}$  in equilibrio con quella atmosferica ( $\sim 10^{-12}$ ).
- ✗ Dall'istante della morte dell'organismo, la materia di cui è composto non "scambia" più con la biosfera: dal punto di vista del bilancio di  $^{14}\text{C}$ , il sistema diviene "chiuso".
- ✗ Il numero di atomi di  $^{14}\text{C}$  - e quindi la concentrazione,  $^{14}\text{R}$  - diminuisce secondo la legge del decadimento radioattivo



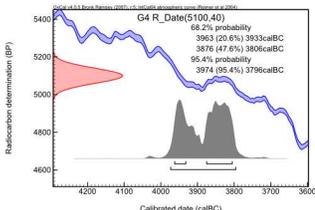
Si definisce l'età convenzionale di radiocarbonio  $t_{rc}$ :

$$t_{rc} = \tau \ln \left( \frac{^{14}\text{R}_0}{^{14}\text{R}(t)} \right)$$

- ✗ si conoscono  $\tau$  (=8033 anni=vita media di Libby) e  $^{14}\text{R}_0$  (=concentrazione in atmosfera all'equilibrio).
- ✗ si misura la concentrazione residua  $^{14}\text{R}(t)$ .
- ✗ si determina  $t_{rc}$ , che è espressa in anni BP (BP=Before Present=1950).

**Che incertezza sperimentale ci possiamo aspettare sull'età di radiocarbonio misurata?** Le incertezze tipiche sono dell'ordine di  $\pm 40$  anni.

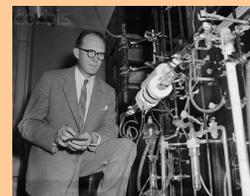
**L'età convenzionale di radiocarbonio corrisponde all'età vera di un campione?** In realtà, le ipotesi alla base della formulazione del metodo sono vere solo in prima approssimazione e quindi è necessaria un'operazione di calibrazione per mettere in corrispondenza l'età misurata con l'età vera più probabile.



Un esempio di calibrazione dell'età convenzionale misurata

**Il risultato di una datazione è sempre un intervallo (o più) di età probabili, mai un numero "secco".**

Nel 1960, Willard Libby è stato insignito del Premio Nobel per la Chimica per "...his method of age determination of materials of biological origin by use of carbon-14 as a measurer of time".



## Cosa si può datare

Legno - carbone - tessuti (lana, lino, seta...) - ossa - semi - carbonati come conchiglie - ...

## Quali sono i limiti di età?

Tipicamente si possono datare reperti fino a circa 50000 anni fa; la curva di calibrazione riconosciuta come ufficiale si estende però, almeno ad oggi, fino a circa 26000 anni fa. Per alcuni effetti legati all'attività umana che hanno portato ad una profonda variazione della concentrazione di  $^{14}\text{C}$  in atmosfera, si dichiarano semplicemente moderni campioni che siano di un qualunque periodo dopo il 1650 circa.

## È importante ricordare che ...

si data sempre il momento della morte dell'organismo dal quale è ricavato il materiale, non, per esempio, quando un dato materiale è utilizzato in un manufatto.

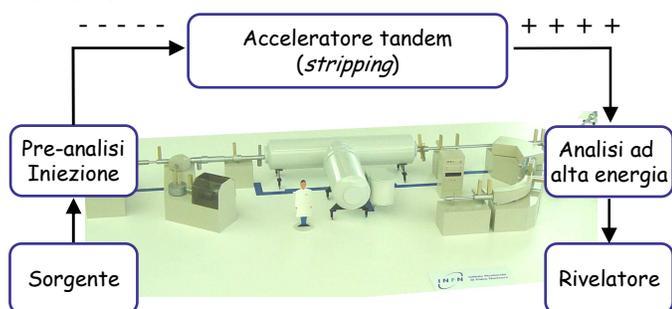
# Il radiocarbonio (o $^{14}\text{C}$ )

Come si può misurare  $^{14}\text{R}(t)$  ovvero "contare" il numero di nuclei di  $^{14}\text{C}$ ?

Il principio che si utilizza è quello della **spettrometria di massa**: filtri magnetici e/o elettrostatici permettono di separare particelle cariche (ioni) secondo le loro masse. Per esempio, all'interno di un campo magnetico, ioni di uguale energia e uguale stato di carica sono deflessi secondo traiettorie diverse che dipendono proprio dalla loro massa ( $\leftarrow$  forza di Lorentz) e possono quindi essere separati.

## Perché la Spettrometria di Massa con Acceleratore (AMS)?

La risoluzione di uno spettrometro di massa tradizionale, ovvero la capacità di separare ioni che hanno masse molto simili fra di loro, non è sufficiente nel caso di una misura di radiocarbonio. Esistono infatti delle particelle, detti isobari, che hanno lo stesso numero di massa del  $^{14}\text{C}$ : elementi come  $^{14}\text{N}$ , molecole come  $^{12}\text{CH}_2$  e  $^{13}\text{CH}$ .



✗ **Sorgente**: dal campione solido da datare si estraggono ioni di carbonio (carica -1) che formano il fascio da accelerare, separare e contare. **E' eliminato l'isobaro  $^{14}\text{N}$ .**

✗ **Pre-analisi, iniezione**: sono utilizzati un filtro elettrostatico e un magnete in modo da selezionare ioni con fissate carica e energia e iniettare in sequenza le diverse masse 12, 13 e 14.

✗ **Acceleratore**: è un tandem, ovvero un acceleratore elettrostatico nel quale le particelle cariche acquistano energia attraversando una data differenza di potenziale; a metà del percorso, tramite un meccanismo che si chiama stripping, le particelle del fascio perdono elettroni diventando ioni positivi: **sono soppressi gli isobari molecolari  $^{12}\text{CH}_2$  e  $^{13}\text{CH}$  (si rompono).**

✗ **Analisi ad alta energia**: ancora tramite un magnete e un filtro elettrostatico sono selezionati solo gli ioni di  $^{14}\text{C}$  di una data carica e energia; si misurano anche  $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$  della stessa energia e carica.

✗ **Rivelatore**: si contano (finalmente!) solo gli ioni di  $^{14}\text{C}$ .

## Una misura AMS non può esistere senza una opportuna preparazione dei campioni

In sorgente, infatti, non si può mettere un frammento di osso o di legno così come arrivano in laboratorio. Inoltre, tutti materiali da datare potrebbero aver subito contaminazioni da carbonio esterno che devono essere eliminate.

✗ I campioni sono trattati con procedure chimiche per eliminare possibili contaminazioni e isolare la frazione organica più adatta alla misura.

✗ I campioni così pre-trattati sono bruciati per estrarre solo il carbonio da tutta la materia organica sotto forma di  $\text{CO}_2$ .

✗ La  $\text{CO}_2$  gassosa è convertita a grafite solida  $\rightarrow$  **in sorgente sono inserite pastiglie di grafite.**



## Quali sono le masse tipiche dei campioni in misure AMS?

Tipicamente, considerando campioni da preparare:

- ✗ Legno: 50 mg
- ✗ Carbone: 10 - 50 mg
- ✗ Tessuti: 20 - 50 mg
- ✗ Ossa: 500 - 1000 mg
- ✗ Conchiglie: 50 - 100 mg

## Radiocarbonio e AMS al Labec

- ✗ La Croce di Rosano
- ✗ Le reliquie di San Francesco
- ✗ Il Papiro di Artemidoro

✗ Gli scavi archeologici di Populonia - Baratti

Quando si parla di datazioni, non sempre tuttavia si "scoprono" casi famosi: molte sono le collaborazioni con archeologi, geologi e storici dell'arte su problemi che aiutano a ricostruire la storia passata ma che possono apparire meno oscuri al grande pubblico.

## Per saperne di più (in inglese...):

- ✗ <http://www.c14dating.com>: un sito con tutte le informazioni sul metodo di datazione ed una ricca bibliografia
- ✗ <http://nobelprize.org>: il sito ufficiale dei premi Nobel, dove si può leggere il seminario tenuto da W. Libby in occasione della consegna del premio per la Chimica
- ✗ <http://www.radiocarbon.org>: il sito del periodico che raccoglie la maggior parte delle pubblicazioni della comunità scientifica internazionale