

# Alla ricerca del tempo perduto

## Decadimento radioattivo e datazione al carbonio-14

di Lucia Liccioli

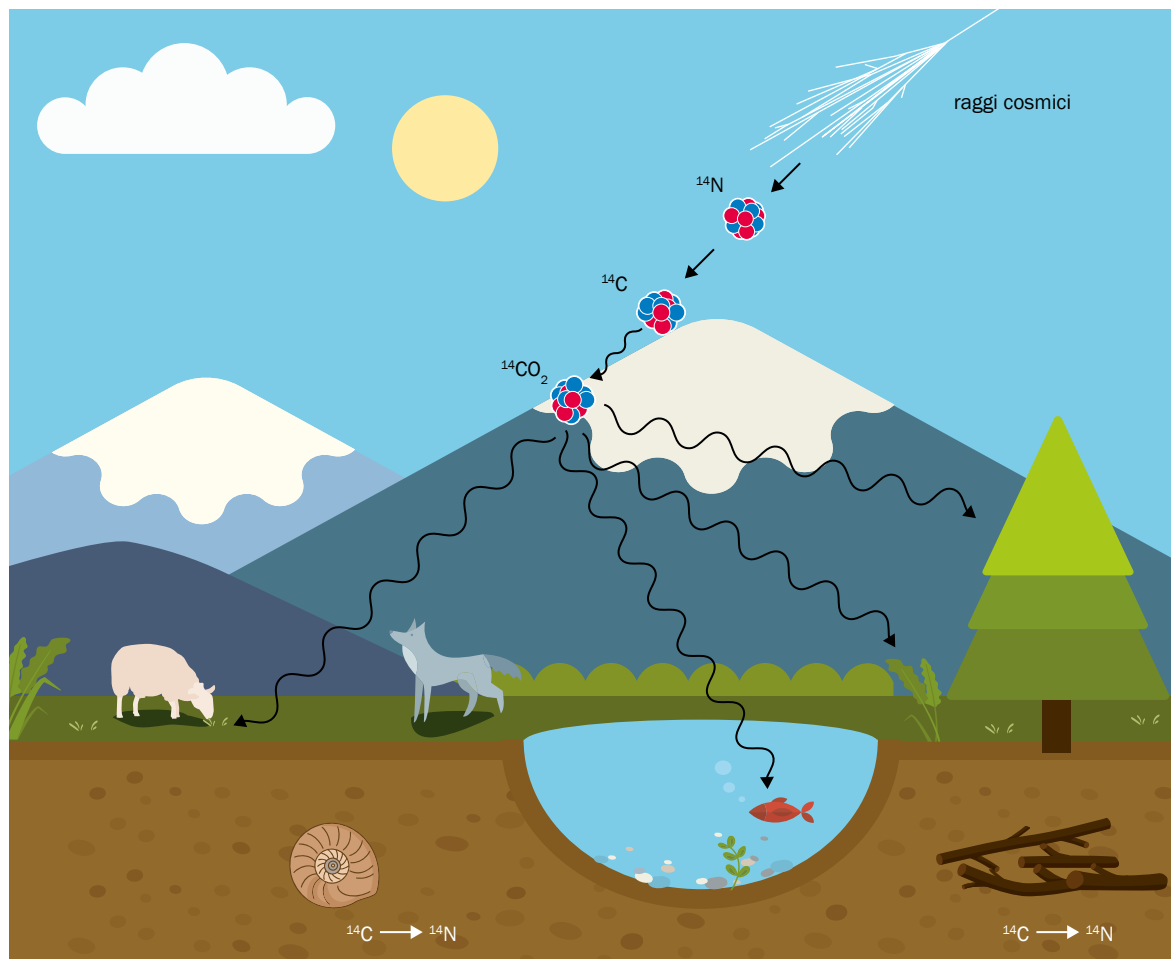


a.  
Anelli di accrescimento in una porzione di tronco di quercia raccolto sul monte Amiata: ogni anello corrisponde a un anno in cui viene "registrata" la concentrazione di carbonio-14.

Per secoli la cronologia del passato umano è stata affidata esclusivamente all'attribuzione stilistica da parte degli storici dell'arte, alla stratigrafia elaborata dagli archeologi oppure a riferimenti incrociati con cronache e genealogie: strumenti tutto sommato fragili. Un valido supporto può essere rappresentato dalle discipline scientifiche, che, ormai da molti anni, si sono progressivamente integrate in ogni settore della società. In particolare, nel caso si voglia stimare l'età di un reperto di origine organica, uno dei metodi più utilizzati è quello della datazione con il carbonio-14 ( $^{14}\text{C}$ ), un isotopo radioattivo del carbonio. Negli anni '40 del 1900, il chimico statunitense Willard Libby comprese che il carbonio-14 poteva essere sfruttato come un orologio naturale. È grazie a questa sua intuizione che possiamo datare, in modo scientifico, reperti di origine organica e non, una scoperta che ha rivoluzionato discipline come l'archeologia e la storia dell'arte, per la quale Libby venne insignito del premio Nobel per la chimica nel 1960. Il carbonio è presente in natura sotto forma di tre isotopi, due dei quali stabili, carbonio-12 (circa 98,9% di abbondanza isotopica) e carbonio-13 (circa 1,1%), mentre il terzo è un isotopo radioattivo, il carbonio-14. Il radiocarbonio si forma in alta atmosfera dall'interazione di neutroni, prodotti secondari dei raggi cosmici, con nuclei di azoto (vd. fig. b.). Dopo la formazione, il carbonio-14 si combina rapidamente con l'ossigeno formando l'anidride carbonica-14 ( $^{14}\text{CO}_2$ ). L'anidride carbonica in atmosfera entra a far parte del ciclo del carbonio diffondendosi nel suolo, nei mari e nella biosfera, attraverso, in primo luogo, il processo di fotosintesi clorofilliana e poi attraverso la catena alimentare, in tutti gli esseri viventi. In natura si raggiunge una condizione di equilibrio fra la continua formazione di radiocarbonio e il suo decadimento, facendo sì che la concentrazione in atmosfera e in tutti gli organismi viventi si possa considerare costante. Al momento della morte di ogni organismo, lo scambio con l'ambiente esterno si interrompe. Se non esistono altri meccanismi di formazione o di assunzione del carbonio, si può quindi considerare l'organismo come un sistema chiuso: mentre il numero di atomi di carbonio-12 rimane costante, quello di carbonio-14 comincia a decadere, secondo la legge del decadimento radioattivo, emettendo un elettrone e una particella neutra (l'antineutrino), con un tempo di dimezzamento di 5700 anni.

Il tempo trascorso dalla morte di un organismo, determinato tramite la relazione tra concentrazione residua di radiocarbonio e decadimento temporale, è definito “età radiocarbonica convenzionale”. Tale valore viene calcolato assumendo due parametri standard: la concentrazione iniziale di carbonio-14 presente in atmosfera nel 1950, anno scelto come riferimento, e la cosiddetta “vita media di Libby”, pari a 8033 anni, calcolata da Libby assumendo come tempo di dimezzamento del radiocarbonio 5568 anni, un valore leggermente diverso da quello conosciuto oggi (5700 anni). L’età convenzionale di radiocarbonio si esprime tipicamente in “anni BP” (*before present*), considerando come “*present*” proprio il 1950. Tale età non corrisponde però all’età reale del campione, in quanto il calcolo si fonda su ipotesi, che risultano valide solo in prima approssimazione. Tuttavia, con opportune correzioni è possibile superare i limiti di queste assunzioni e ricavare, a partire dall’età convenzionale, una stima più accurata dell’età reale del campione datato attraverso una curva di calibrazione, riconosciuta dalla comunità internazionale. In linea di principio è quindi possibile datare tutti quei materiali che sono appartenuti a un organismo vivente come un animale (ossa, lana, pergamena, seta) o a un organismo vegetale (legno, carbone, semi, lino, cotone). In realtà, la datazione con

il radiocarbonio si può applicare anche a materiali inorganici artificiali, come la “biacca” (un pigmento bianco a base di carbonato di piombo) o alle malte antiche, materiali che “fanno presa” sfruttando l’anidride carbonica presente nell’aria. Nel caso delle malte, ad esempio, il componente inorganico databile al radiocarbonio è la calcite, che si forma dalla reazione dell’idrossido di calcio con l’anidride carbonica atmosferica ( $\text{CO}_2$ ) durante la presa del materiale. Risulta quindi fondamentale la fase di preparazione dei campioni, in modo da garantire l’affidabilità delle misure. Prima dell’analisi, il materiale deve essere accuratamente pulito e trattato per eliminare eventuali contaminazioni, che possono essere di origine moderna o antica, come residui di carbonati, humus o materiali usati durante i restauri, che potrebbero alterare il contenuto di carbonio e quindi falsare l’età misurata. A seconda della natura del campione (legno, ossa, carbone, tessuti, ecc.), vengono applicati metodi specifici di pre-trattamento chimico e fisico, finalizzati a isolare la frazione di carbonio più rappresentativa del momento in cui il materiale ha cessato i suoi scambi con l’esterno. Le tecniche tipicamente impiegate per la misura del radiocarbonio sono due: la misura dell’attività radioattiva e il conteggio degli atomi di carbonio-14. Poiché la misura del radiocarbonio è comunque invasiva e distruttiva, è necessario



**b.** I raggi cosmici entrano in atmosfera e interagiscono con gli atomi, creando neutroni energetici. Quando un neutrone colpisce un atomo di azoto, questo si trasforma in carbonio-14 che, insieme all’ossigeno, crea anidride carbonica-14. Il carbonio-14 contenuto nell’anidride carbonica viene assorbito dagli alberi e dalle piante attraverso la fotosintesi e gli animali assumono il carbonio-14 mangiando le piante. Finché un organismo è vivo, la percentuale di carbonio-14 nel suo corpo resta pari a quello dell’atmosfera. Quando l’organismo muore, smette di assorbire nuovo carbonio-14 e quello presente inizia a decadere lentamente, trasformandosi di nuovo in azoto. Misurando quanto carbonio-14 è rimasto nei resti organici, si può calcolare quanto tempo è passato dalla morte e quindi determinarne l’età.



c. Sala sperimentale del LABEC (Laboratorio di Tecniche Nucleari per l'Ambiente e i Beni Culturali di INFN Firenze e UniFI), dove è installato un acceleratore elettrostatico da 3MeV con il quale vengono effettuate misure di spettrometria di massa con acceleratore (AMS) per la misura della concentrazione di carbonio-14.

che la massa da prelevare sia quanto più piccola possibile, trattandosi molto spesso di campioni provenienti dal campo dei beni culturali.

Il metodo del conteggio radioattivo, utilizzato già da Libby, si basa sulla misura delle particelle emesse nel decadimento. Misurando il numero di emissioni, si determina l'attività, ovvero il numero di decadimenti nell'unità di tempo. Gli svantaggi principali di questa tecnica sono legati alla bassa attività del carbonio-14: sono quindi necessari tempi di misura molto lunghi o, in alternativa, campioni di grossa massa per ottenere basse incertezze sperimentali. L'altra possibilità è quella di misurare direttamente il numero di atomi di radiocarbonio, discriminando questo isotopo dagli isotopi stabili del carbonio in base alla diversa massa.

Una tecnica che permette la discriminazione in massa degli atomi è la "spettrometria di massa". Il principio è quello di separare ioni con la stessa energia e lo stesso stato di carica a seconda delle diverse deflessioni subite in un campo magnetico in funzione della loro massa. Con la spettrometria di massa

tradizionale, la cui massima sensibilità è dell'ordine di una parte su  $10^{10}$ , non è però possibile discriminare il carbonio-14 dalle interferenze isobariche che si presentano. In una misura di radiocarbonio le principali interferenze sono l'isotopo 14 dell'azoto (il più abbondante in atmosfera), e gli isobari molecolari, che si hanno quando il carbonio-13 si lega a un atomo di idrogeno ( $^{13}\text{CH}$ ) o il carbonio-12 si lega a due atomi di idrogeno ( $^{12}\text{CH}_2$ ).

Negli anni '70 del secolo scorso, fu messa a punto una tecnica di spettrometria di massa, chiamata "spettrometria di massa con acceleratore" (Accelerator Mass Spectrometry, AMS), molto più sensibile di quella tradizionale, accoppiando filtri di tipo elettrostatico e magnetico all'uso di un acceleratore elettrostatico. Con questa tecnica si riescono ad abbassare i limiti di sensibilità fino a  $10^{-15}$ . Ad oggi, è possibile datare reperti risalenti al massimo a circa 50.000 anni fa, perché il numero di atomi di carbonio-14 residui in campioni più antichi è troppo basso per essere rivelato con le attuali tecniche di misura.

#### Biografia

**Lucia Liccioli** è laureata in scienze per la conservazione e il restauro e ha conseguito un dottorato in chimica all'Università di Firenze. Lavora presso il laboratorio LABEC di Firenze, dove si occupa principalmente di preparazione dei campioni e della misura del carbonio-14 con tecnica di spettrometria di massa con acceleratore (AMS).