



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Il CEDAD dispone di un acceleratore di particelle con tensione massima di accelerazione di 3 MV (Tandetron HVEE Mod.4130 HC) dotato di sei linee di fascio per:

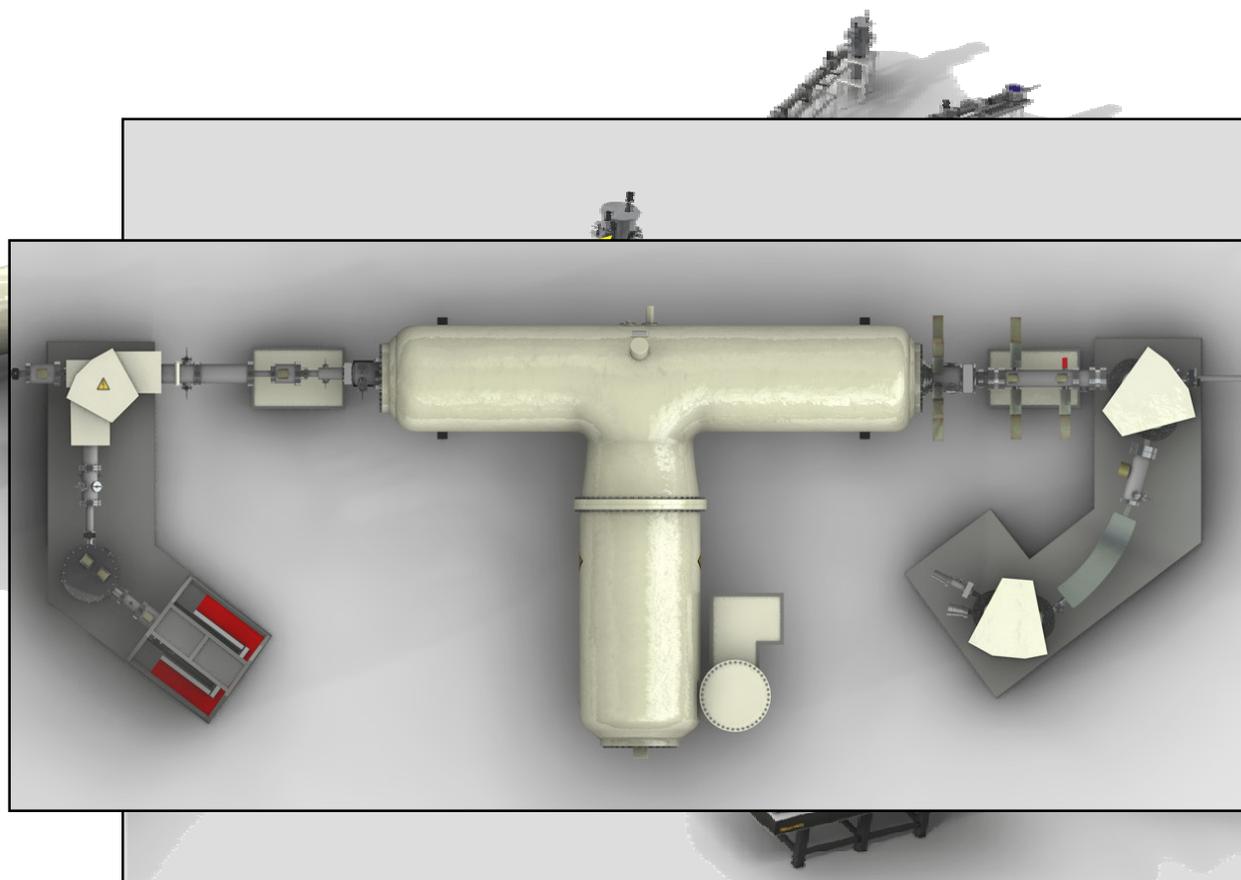
Spettrometria AMS

Impiantazione ionica

RBS/Channeling

IBA - fascio esterno

Microfascio





UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Il CEDAD è un Centro di ricerca multidisciplinare dove si studiano gli aspetti fondamentali e le applicazioni in vari campi di ricerca tra cui:

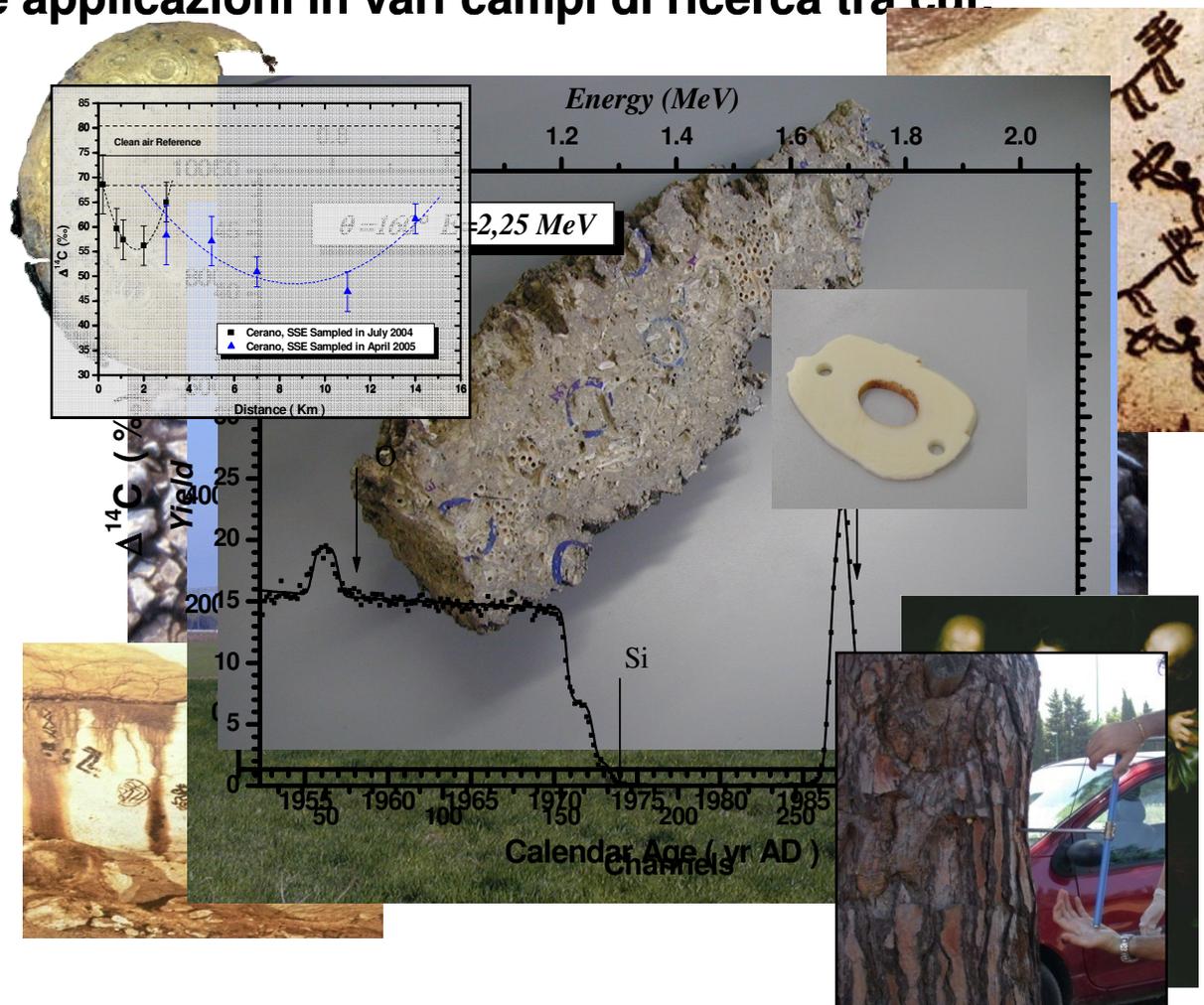
Beni Culturali

Scienze ambientali

Scienze forensi

Scienze della terra e
biologiche

Scienza dei materiali



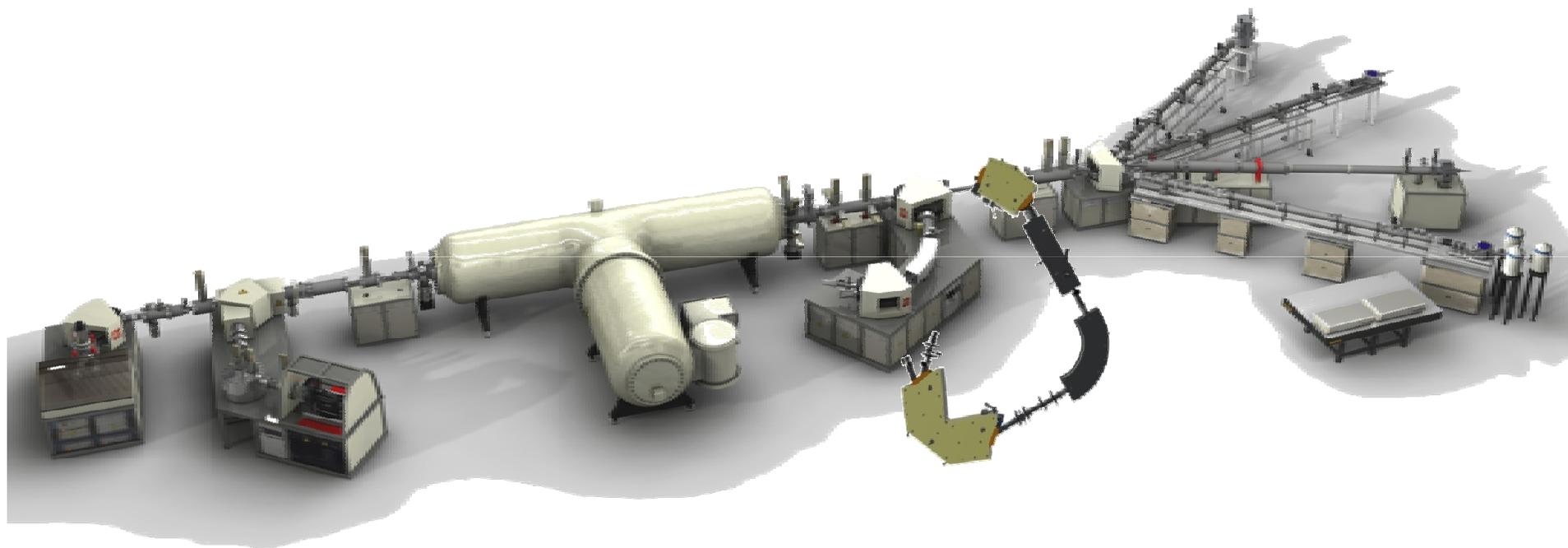


**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Una nuova linea di fascio per la misura di isotopi rari tra cui ^{10}Be , ^{26}Al , ^{129}I è in fase di installazione



**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



CEDAD
Centro di Datazione e Diagnostica

RCS

CORRIERE DELLA SERA

CORRIERE DEL MEZZOGIORNO

www.corriere.it

LECCE E PUGLIA

lecce@corriere.it

10

Brindisi

Giovedì 21 Febbraio 2008 Corriere del Mezzogiorno

Scienza La società universitaria si rafforza, sarà tra le prime al mondo

**Nuovo record per il Cedad:
indietro per milioni di anni**

Investimenti sul Centro di datazione diagnostica

Grazie al progetto del ministero e ai fondi Ue verranno utilizzati altri radiosotopi in grado di perfezionare le ricerche

BRINDISI — Passerà da un raggio d'azione di gomola anni, alla capacità di identificare ed analizzare reperti di ere geologiche lontane centinaia di milioni di anni. Tandem, il laboratorio del Centro di datazione e diagnostica (Cedad) dell'Università del Salento, con una decisione presa due giorni fa dal Ministero dell'Università e della Ricerca, diventerà uno dei poli mondiali più importanti delle investigazioni sull'età e la struttura della materia.

Finanziamenti arriveranno anche dall'Unione europea. L'acceleratore di particelle installato nella sede del Cedad, alla Cittadella della Ricerca di Brindisi, avrà una seta linea che utilizzerà per l'analisi dei reperti non più il solo carbonio 14, ma altri radioisotopi che hanno processi di decadimento infinitamente più prolungati: il berillio 10, l'alluminio 26, il cloro 36, il calcio 41 e lo iodio 129, che saranno impiegati in campi che vanno dall'archeologia subacquea, all'aerodinamica, alle scienze biomediche, alla salvaguardia nucleare e a tutte le applicazioni relative all'ambiente. Il plutonio 239 e 240, l'uranio 235 e lo stesso iodio 129 invece servono a misurare i livelli di rilascio e dispersione nell'aria, nell'acqua e nella biosfera

dei prodotti degli impianti nucleari. L'operazione è collegata ad un progetto messo a punto negli ultimi anni, Iba-Archaeoys, spiega il direttore del Cedad, il professor Lucio Calcagnile, 45 anni, fisico della struttura e tra i maggiori esperti internazionali di analisi con l'impiego dei fasci di particelle. Il progetto è di fatto una ricerca industriale che deve risolvere l'esigenza di tecnologie innovative da applicare all'archeologia navale e subacquea, ma in gene-

La scheda

Dal 2003 il Cedad, centro di datazione e diagnostica, è una società di servizi che ha capo all'Università del Salento. Opera dal 2003 con la tecnologia della spettrografia di massa con acceleratore. Fino ad oggi ha analizzato tremila campioni nei settori dell'archeologia, della medicina forense, dei beni culturali, delle scienze della terra. È diretto dal professor Lucio Calcagnile

rale all'archeologia delle acque. I partner sono, oltre al Cedad, il consorzio Cetma con la sua divisione di ingegneria informatica, che opera sempre in Cittadella della Ricerca; l'Inea di Frascati, la società Remed srl, incaricata di realizzare un Rov, un robot sottomarino; la Galore Progetti srl e la Iba srl; l'Inoa (Istituto nazionale dell'ottica applicata) e le Università di Bologna e del Salento. Se è più immediata la comprensione delle applicazioni in campo archeologico subac-



Il laboratorio del Cedad con l'acceleratore di particelle

queo e navale della radiodattazione, va spiegato invece che con la nuova linea di Tandem, lo spettrometro di massa con acceleratore

(Ams) permetterà di analizzare la circolazione delle correnti marine, che come è noto influenzano anche i fenomeni meteorologici. Negli

anni permessa di analizzare il carbonio 14, apre scenari nuovi per lo studio dell'erosione (le modificazioni della superficie terrestre), per la datazione di depositi geologici e di fenomeni come frane ed erosioni. Si potrà addirittura ricostruire con esattezza il palinoclima, attraverso la variazione nei secoli delle concentrazioni dei radiosotopi stessi, le fluttuazioni dei raggi cosmici, dell'attività solare e del magnetismo terrestre. Il manometro più adatto per gli usi civili invece è il calcio 41. Ma non solo per lo studio e la datazione dei reperti può servire anche a sviluppare farmaci contro l'osteoporosi.

Marcello Oriandini

» **I misteri investigati** Dalla Lupa capitolina a Pico della Mirandola

Così il radiocarbonio «corregge» la storia

BRINDISI — Con quell'acceleratore, Lucio Calcagnile Giacobbe Quarta (gemma campolina esaminata dalla fine del 2000 ad oggi, alcuni reperti dall'altra parte del mondo), hanno destabilizzato i cumuli di congetture, «perché la radiodattazione è una scienza che si presta a smentite», e così tanti vmenati diventano non santi dopo che un farmaceutico delle loro parti è passato da una delle linee di Tandem ed è stato bombardato con fasci di particelle. È una tecnica non distruttiva solo per i reperti: in quanto alle correnti radicate, molto meno.



Il professor Lucio Calcagnile

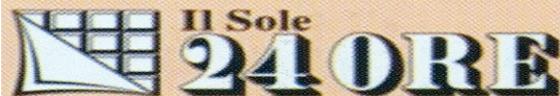
personali ed artistiche in cui l'assassino non è sempre il maggiolino, ma forse addirittura un figlio di Lorenzo, Piero de Medici. Resta in sospeso (ma sarà per poco, secondo il professor Calcagnile) la vicenda della Lupa Capitolina.

Con 15 esperimenti sui campioni concessi dalla Soprintendenza di Roma, il Cedad un'opinione precisa ce l'hanno da un pezzo, ma cercano la certezza inconfutabile, che neutralizza la confusione accademica tra chi sostiene l'origine etrusca della statua, e chi la colloca nel Medioevo. Si stanno effettuando nuovi

problemi radiologici, proprio per chiudersi la partita. Terzo mondo ai misteri di Firenze, Poliziano muore tra il 28 e il 29 settembre 1494. Pico il 17 novembre successivo per entrambi, felici misteriose, dolori lancinanti. Si pensa all'epidemia di sifilide dal decimo febbraio che colpì l'Europa tra il 1495 ed il 1496. Ma le concentrazioni di arsenico rilevate nel laboratorio brindisino aprono nuovi scenari. A proposito di 1495.

Ma non fu Colombo a importarla nel 1493 al rientro dalla America. O, quanto meno, un tipo di sifilide in Europa c'era già. Lo «dice» lo scheletro di un uomo vissuto tra il 1490 ed il 1495 e sepolto nel castello di Rocca Vecchia, nel Salento. Si accumulò di sifilide, molto prima che Colombo nascesse (1451). Lo hanno scoperto Calcagnile e Quarta.

M. O.



**Ricerca. Il Cedad dell'Università
Decolla a Brindisi
il superlaboratorio
che data i reperti**

Marcello Oriandini

La radiodattazione con il carbonio 14 diventa utile anche ai cantieri delle grandi opere, facendo risparmiare sui tempi di stopp quando le macchine si imbattono in siti di potenziale interesse storico ed archeologico. Succede di questi tempi, che il Centro di datazione e diagnostica (Cedad) della Cittadella della Ricerca, a pochi chilometri da Brindisi, riceva con una certa frequenza reperti inviati dalle imprese che stanno realizzando il percorso della Tav, e che richiedono risposte nel giro di 48-72 ore.

Nel grande laboratorio del Cedad, di fatto un'azienda di

CARATURA INTERNAZIONALE
La struttura sarà leader in Europa insieme a Oxford nell'uso delle tecniche con il carbonio 14

anni, il berillio 10, l'alluminio 26, il cloro 36, il calcio 41, lo iodio 129, il plutonio 239 e 240, l'uranio 235 permetteranno al direttore del Cedad, il fisico Lucio Calcagnile, ed al suo staff di dieci ricercatori, tra i quali il suo assistente Giacobbe Quarta, di indagare sui reperti e materiali di ere geologiche lontanissime, teoricamente sino alle origini del pianeta.

Il Cedad diventerà così, assieme al centro di radiodattazione di Oxford, il primo in Europa e tra i primi al mondo nel settore. Il potenziamento della capacità di impiego di Tandem rientra nel progetto Iba Archaeoys, che impegna anche le università di Bologna e Catania, l'Inea di Frascati, il Consorzio Cetma per l'ingegneria informatica (Cittadella della Ricerca di Brindisi), le società Remed, Gelone Progetti e Ais, e l'Inoa (Istituto nazionale dell'ottica applicata). Iba Archaeoys è un progetto di ricerca industriale. Remed dovrà realizzare un robot sottomarino innovativo applicato non solo all'archeologia subac-

servizi dell'Università del Salento-Facoltà di Ingegneria, con clienti anche esteri che vanno dalle Soprintendenze, ai soggetti di medicina forense, all'industria, funziona Tandem, un acceleratore di particelle applicato alla spettrografia dei materiali con grande flessibilità di impiego e dotato di cinque linee di analisi con varie metodologie. Presto se ne aggiungerà una sesta, grazie a finanziamenti del Politecnico dell'Unione europea, che impiegherà radiosotopi di "portata" infinitamente più vasta del carbonio 14, che ha un raggio d'azione di circa gomola anni. Grazie a tempi di decadimento di parecchi milioni di

anni, il berillio 10, l'alluminio 26, il cloro 36, il calcio 41, lo iodio 129, il plutonio 239 e 240, l'uranio 235 permetteranno al direttore del Cedad, il fisico Lucio Calcagnile, ed al suo staff di dieci ricercatori, tra i quali il suo assistente Giacobbe Quarta, di indagare sui reperti e materiali di ere geologiche lontanissime, teoricamente sino alle origini del pianeta.

Ma Cedad sta diventando famoso in questi ultimi periodi per le indagini sulle cause della morte di Pico della Mirandola e del Poliziano, per la radiodattazione della Lupa Capitolina, e lo sarà nell'immediato futuro per altre indagini ancora avvolte da mistero. Dalla fine del 2000 ad oggi, con Tandem sono stati analizzati 9000 campioni.



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Ted Litherland al 30^{mo} anniversario della conferenza AMS-11
Roma, Settembre 2008



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO

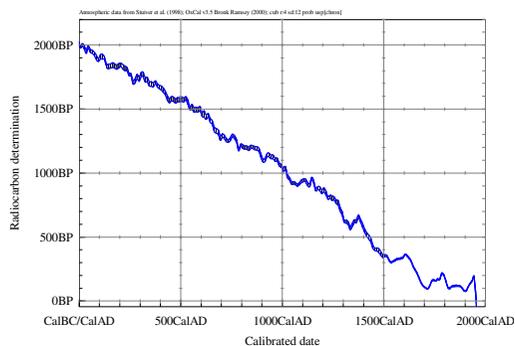


ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

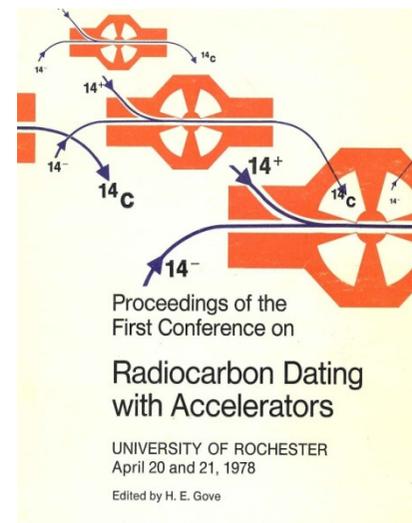


La prima rivoluzione del radiocarbonio 1952-1960



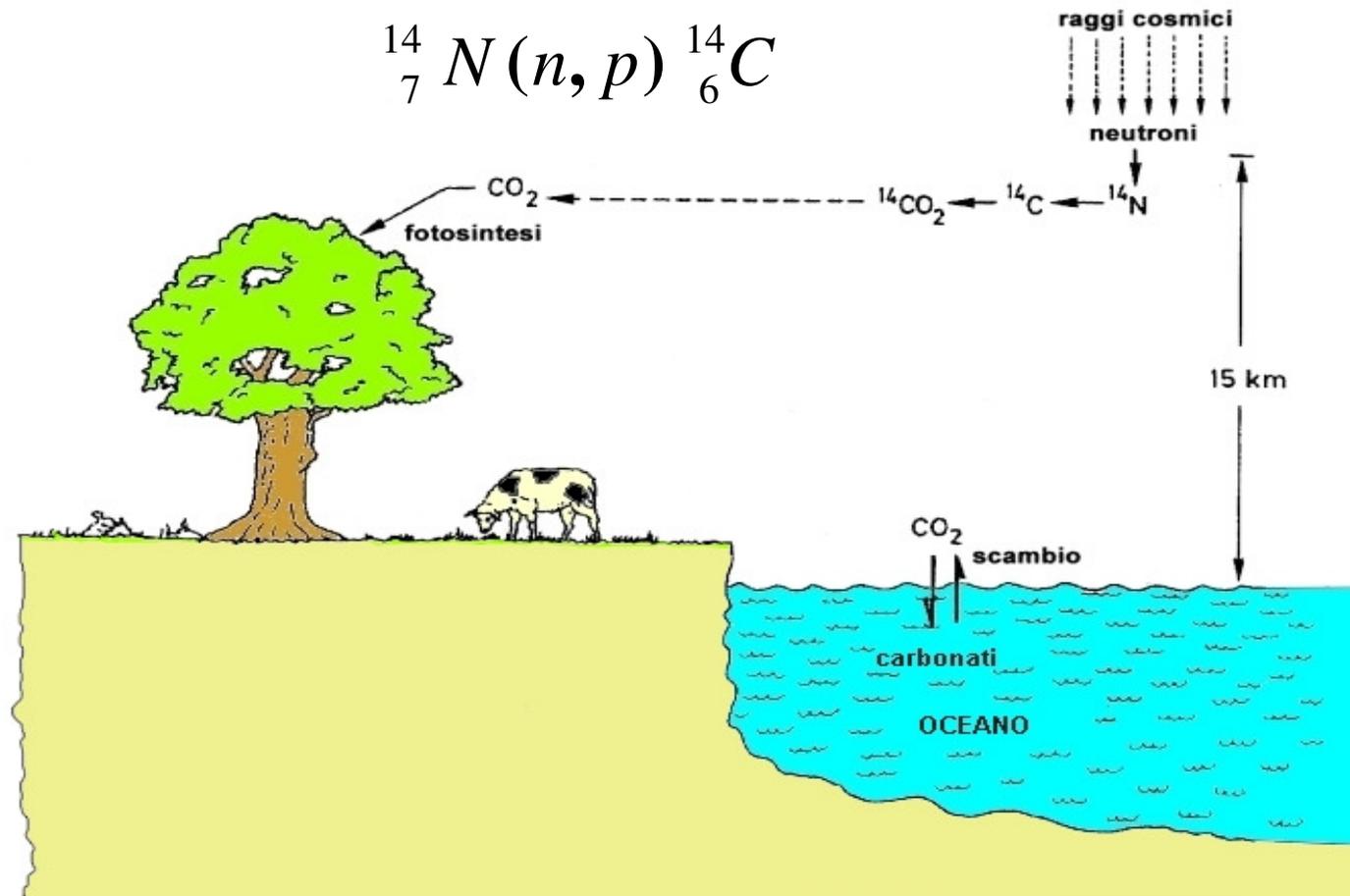
La seconda rivoluzione del radiocarbonio 1960-1977

La terza rivoluzione del radiocarbonio 1977-





FONDAMENTI DEL METODO DEL RADIOCARBONIO





UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



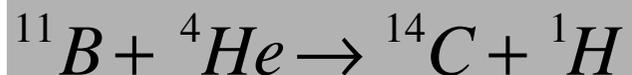
ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



MECCANISMI NATURALI DI FORMAZIONE DEL RADIOCARBONIO

Esistono diverse **reazioni nucleari** che portano alla produzione del radiocarbonio:



Lo stesso Libby aveva riconosciuto il primo meccanismo come quello più importante.



**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

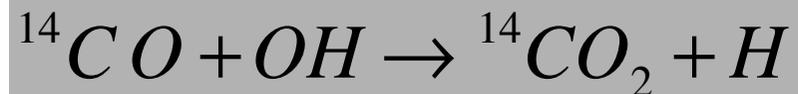


OSSIDAZIONE

Il radiocarbonio viene immediatamente ossidato a ^{14}CO risiedendo nell'atmosfera in questa forma per 2-6 mesi



Il monossido di carbonio viene quindi ulteriormente ossidato a $^{14}\text{CO}_2$ dal radicale ossidrile OH^\cdot molto raro ma estremamente reattivo



La $^{14}\text{CO}_2$ risiede nell'atmosfera per 6-8 anni miscelandosi alla $^{13}\text{CO}_2$ e alla $^{12}\text{CO}_2$ e progressivamente entra nelle diverse "riserve" terrestri come la biosfera e l'idrosfera.



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



CENNI STORICI

1930-1931: Viene dimostrato che la sezione d'urto di assorbimento di neutroni da parte dell'azoto è molto alta.

1934: F.N.D. Kurie (Yale University) bombardando target di azoto con neutroni veloci scopre che viene emessa una particella, per la prima volta viene ipotizzata l'esistenza del ^{14}C .

1936: Viene dimostrato che la reazione corretta è $^{14}_7\text{N} (n, p) ^{14}_6\text{C}$

1939: C.G. e D.D. Montgomery ipotizzano che il ^{14}C si possa produrre anche in natura per effetto dei raggi cosmici.

1940: S. Korff scopre che i neutroni sono effettivamente prodotti nell'alta atmosfera dai raggi cosmici.



**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



1946: W.Libby riprende le ricerche sulla presenza di ^{14}C in natura.

1947: Anderson dimostra la presenza di ^{14}C nel gas di fogna.

1949: Anderson e Libby datano campioni archeologici di età nota.

1958 : De Vries mette in evidenza che tra il 1500 ed il 1700 AD la concentrazione di radiocarbonio nell'atmosfera era stata di circa il 2% superiore al suo valore nel XIX secolo ed attribuisce questo a variazioni climatiche.

1959: Si dimostra che l'età al radiocarbonio di reperti egizi di età storicamente certa (III millennio BC) risulta più giovane di alcune centinaia di anni. Si introduce il concetto di calibrazione delle datazioni al radiocarbonio.

1977: Viene effettuata la prima misura di radiocarbonio con la tecnica della spettrometria di massa con acceleratore AMS.



**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



IL PREMIO NOBEL A LIBBY

Per lo sviluppo del metodo del radiocarbonio W.Libby fu insignito nel 1960 del premio Nobel per la Chimica





UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



*K*ungliga Svenska Vetenskaps-
akademien har vid sin samman-
komst den 3 november 1960 i enlig-
het med föreskrifterna i det av
ALFRED NOBEL
den 27 november 1895 upprättade
testamentet beslutat att överlämna
det pris som detta år bortgives för
den viktigaste kemiska upptäckt
eller förbättring till
WILLARD F. LIBBY
för hans upptäckt av kol-14 som
tidmätare inom arkeologi, geologi,
geofysik m. fl. vetenskaper.
Stockholm den 10 december 1960/

Nuttil Rindblom
Akademiens ordförande

Leila Lindby
Akademiens sekreterare



“At its meeting of November 3, 1960, the Royal Swedish Academy of Science has decided, in conformity with the terms of the November 27, 1895 will of Alfred Nobel, to award the prize to be given this year for the most important chemical discovery or improvement to **Willard F. Libby for his method to use Carbon-14 for age determinations in archaeology, geology, geophysics and other branches of science.**”

Seldom has a single discovery in chemistry had such an an impact on the thinking of so many fields of human endeavor. Seldom has a single discovery generated such wide public interest.

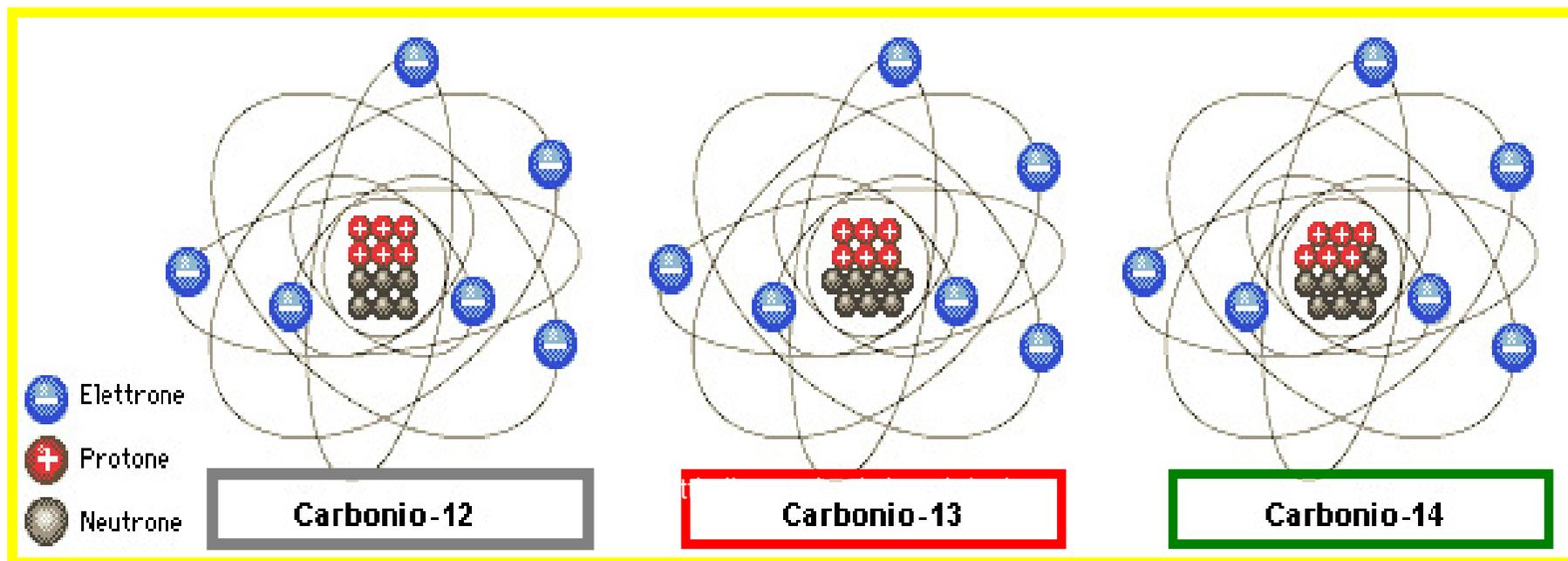


UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



$$\frac{^{14}\text{C}}{^{13}\text{C}} = 10^{-10}$$

$$\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}} = 10^{-12}$$



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



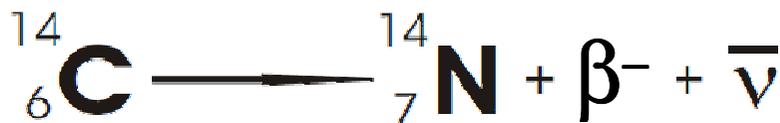
ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

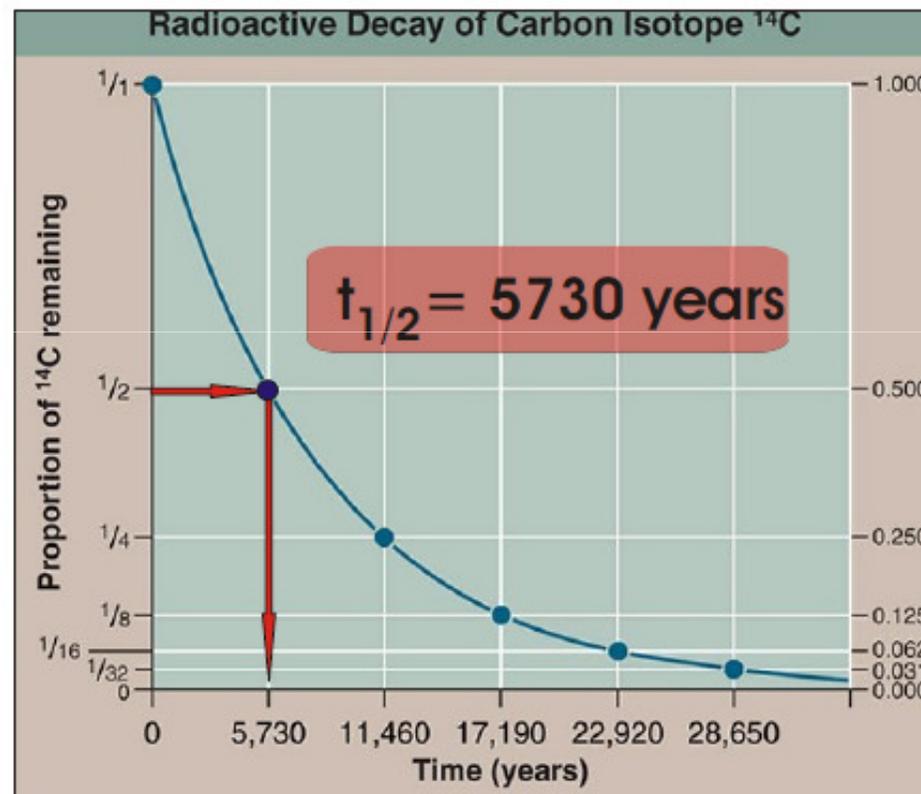


Quando gli scambi con l'ambiente cessano a causa della morte dell'organismo la concentrazione di ^{14}C comincia a diminuire secondo la legge del decadimento radioattivo con un tempo di dimezzamento di 5730 anni.

THE RADIOCARBON DECAY



$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$



La misura del ^{14}C residuo nei campioni consente di determinare il tempo trascorso dalla morte



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



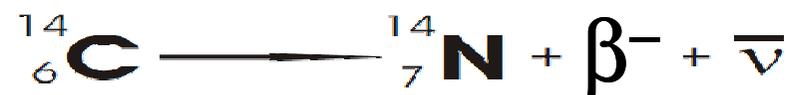
ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



IL DECADIMENTO RADIOATTIVO DEL ^{14}C

Il **radiocarbonio** decade secondo la reazione nucleare:



$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Se indichiamo con **N (t)** il numero di atomi di radiocarbonio presenti in un campione al generico tempo **t** e **A** il numero di disintegrazioni al secondo risulta:

$$A = \lambda N(t)$$

λ viene detta **costante di decadimento radioattivo** e rappresenta
la **probabilità che un atomo decada nell'unità di tempo**



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Ma per definizione di A (atomi di radiocarbonio che decadono nell'unità di tempo risulta):

$$A = - \frac{d N(t)}{d t}$$



$$d N(t) = - A dt$$

Ma poiché era:

Si ha:

$$A = \lambda N(t)$$

$$d N(t) = - \lambda N dt$$



$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



IL TEMPO DI DIMEZZAMENTO

Il tempo di dimezzamento è l'intervallo di tempo che deve trascorrere affinché il numero di atomi di carbonio si riduca alla metà del valore iniziale.

$$N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$$

$$N(t_{1/2}) = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{N_0}{2}$$

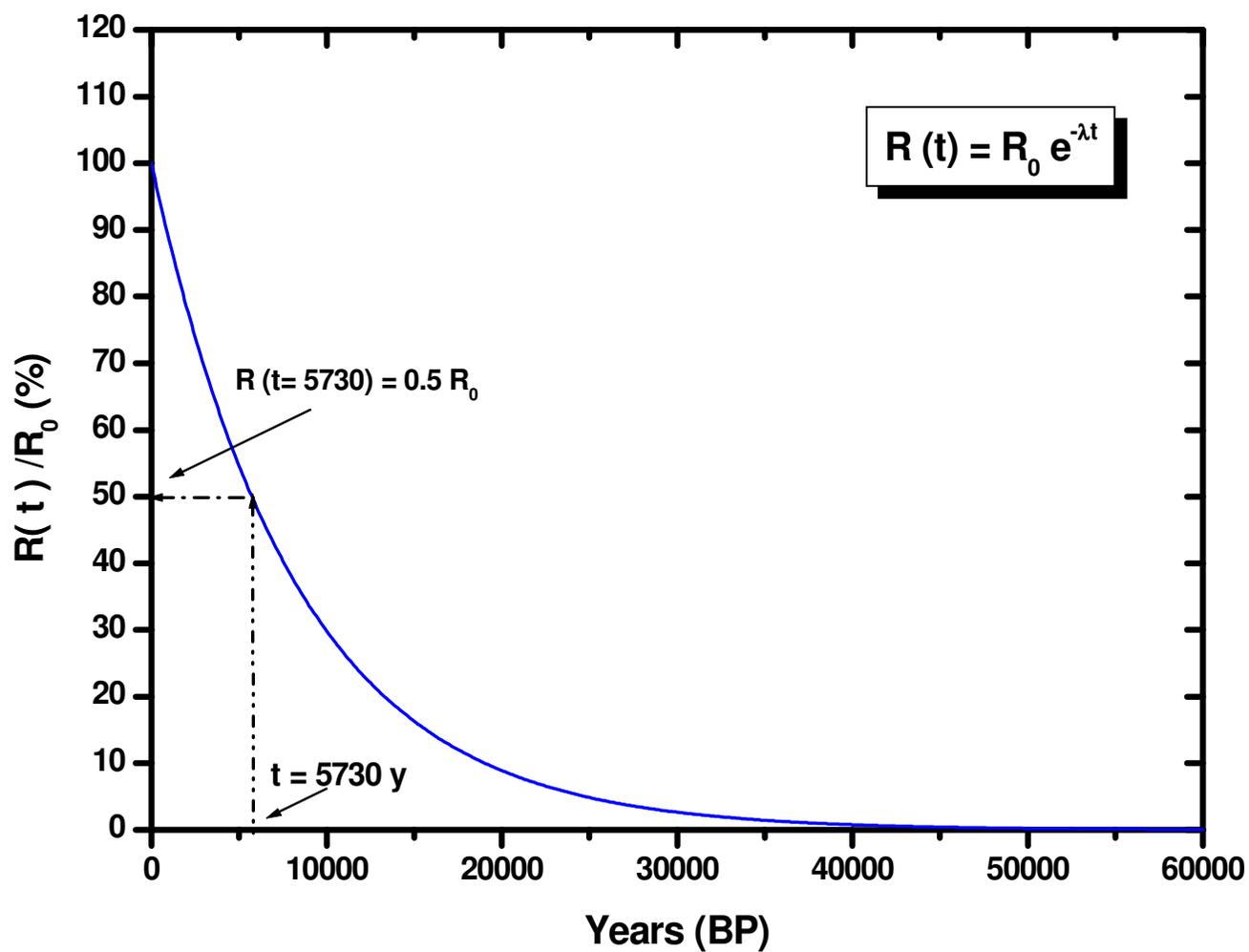
$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

Tempo di dimezzamento di Libby: 5568 anni

Tempo di dimezzamento corretto: 5730 anni



LA LEGGE DI DECADIMENTO



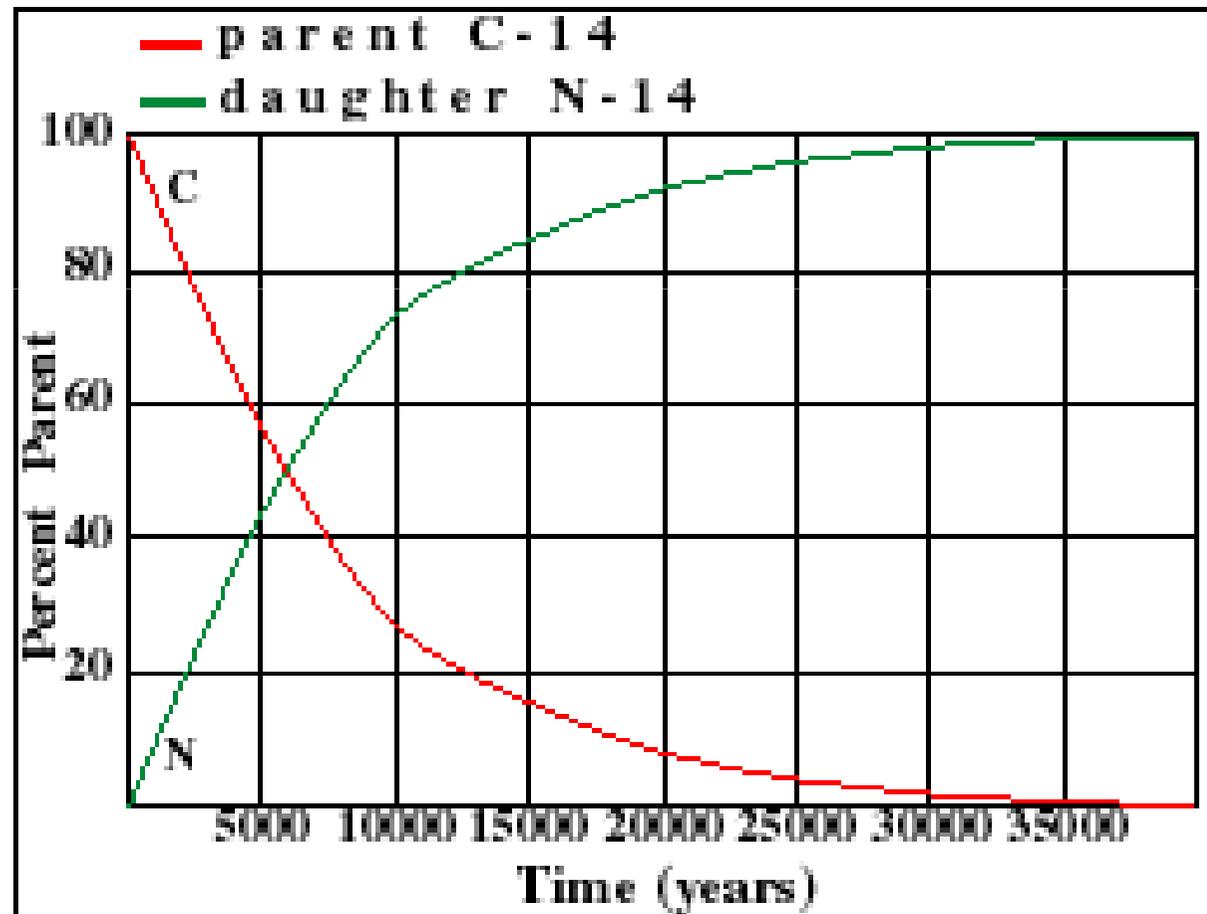


UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale





**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



EQUILIBRIO DINAMICO E FRAZIONAMENTO ISOTOPICO



**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



IL CICLO DEL CARBONIO: approccio quantitativo

La concentrazione di radiocarbonio in un qualsiasi organismo vivente dipende da:

L' apporto di radiocarbonio dalla riserva attraverso la catena alimentare o la fotosintesi.

Il rilascio di radiocarbonio nella riserva a causa dei processi vitali;

Il decadimento radioattivo naturale del radiocarbonio.



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

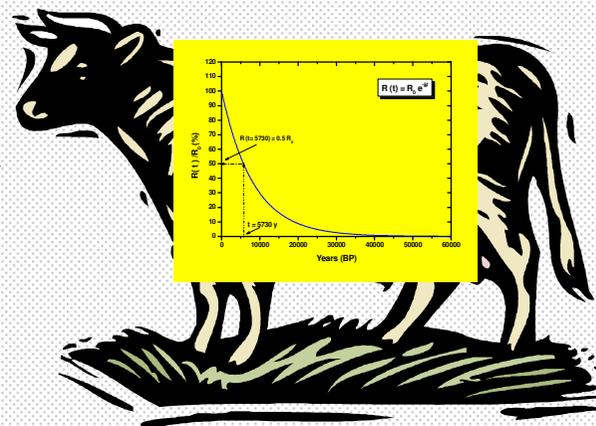
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



IL CICLO DEL CARBONIO: schema

Riserva di ^{14}C

Apporto di
radiocarbonio



Rilascio di
radiocarbonio



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



IL CICLO DEL CARBONIO: equazione di bilancio

Se indichiamo con $N(t)$ il numero di atomi di radiocarbonio presenti nell'organismo vivente al tempo t risulta:

$$\left(\frac{dN}{dt}\right) = \left(\frac{dN}{dt}\right)_{\text{apporto}} + \left(\frac{dN}{dt}\right)_{\text{rilascio}} + \left(\frac{dN}{dt}\right)_{\text{decadimento}}$$

La combinazione dei tre processi definisce come varia nel tempo il numero di atomi di carbonio nel sistema vivente.



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



L'APPORTO DI RADIOCARBONIO DALLA RISERVA

Se indichiamo con:

$R_r(t)$ la concentrazione di radiocarbonio nella riserva al tempo t ;

dm la massa che l'organismo riceve dalla riserva nel tempo dt ;

f il rapporto tra la concentrazione di radiocarbonio nell'organismo vivente e nella sua riserva;

$$\left(\frac{dN}{dt} \right)_{\text{apporto}} = f R_r \frac{dm}{dt}$$

f è il FATTORE DI FRAZIONAMENTO ISOTOPICO



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



IL RILASCIO DI RADIOCARBONIO NELLA RISERVA

Se indichiamo con:

$R(t)$ la concentrazione di radiocarbonio nell'organismo vivente al tempo t ;

dm la massa che l'organismo cede alla riserva nel tempo dt

Il numero $N(t)$ di atomi di radiocarbonio che l'organismo cede alla riserva nel tempo dt sarà dato da:

$$\left(\frac{dN}{dt} \right)_{\text{rilascio}} = -R(t) \frac{dm}{dt}$$



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



IL DECADIMENTO RADIOATTIVO

Il numero $N(t)$ di atomi di radiocarbonio che nell'organismo decadono nel tempo dt può essere ricavato dalla legge di decadimento radioattivo:

$$\left(\frac{dN}{dt} \right)_{\text{decadimento}} = -\lambda N(t)$$



L'EQUAZIONE DI BILANCIO

Sostituendo le espressioni trovate in precedenza nell'equazione di bilancio si ottiene:

$$\frac{dN}{dt} = f R_r \frac{dm}{dt} - R(t) \frac{dm}{dt} - \lambda N(t)$$

Apporto dalla riserva

Rilascio nella riserva

Decadimento Radioattivo

Se indichiamo con r la velocità di scambio di massa:

$$r = \frac{dm}{dt}$$

Ed essendo:

$$R(t) = \frac{N(t)}{m}$$

L'equazione di bilancio diventa:

$$\frac{dN}{dt} = f R_r r - \left(\frac{r}{m} + \lambda \right) N(t)$$



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



L'EQUAZIONE DI BILANCIO:soluzione

Quindi il problema da risolvere è trovare come varia N in funzione del tempo sapendo che all'istante iniziale il suo valore era N_0 .

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN}{dt} = f r R_r - \left(\frac{r}{m} + \lambda \right) N(t) \\ N(t = 0) = N_0 \end{array} \right.$$

E' possibile dimostrare che la soluzione matematica è:

$$N(t) = \frac{f r R_r}{\lambda'} + \left(N_0 - \frac{f r R_r}{\lambda'} \right) e^{-\lambda' t}$$

Dove si è posto:

$$\lambda' = \frac{r}{m} + \lambda$$



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



L'EQUAZIONE DI BILANCIO: ipotesi semplificative

Il termine r/m è dato da:

$$\frac{r}{m} = \frac{dm}{dt} \cdot \frac{1}{m} = \frac{dm}{m} \frac{1}{dt}$$

Rappresenta la percentuale di massa che viene scambiata nell'unità di tempo. Tipicamente è dell'ordine dell'1% al giorno.

Inoltre i fenomeni di scambio di massa sono molto più rapidi dei fenomeni di decadimento radioattivo. Quindi:

$$\lambda' = \frac{r}{m} + \lambda \cong \frac{r}{m}$$

L'equazione di scambio diventa allora:

$$N(t) = fR_r m + (N_0 - fR_r m) e^{-\frac{r}{m}t}$$



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



L'EQUAZIONE DI BILANCIO: ipotesi semplificative

Per tempi sufficientemente lunghi:

$$t \gg \frac{m}{r}$$

L'equazione di scambio diventa:

$$N(t) = fR_r m$$

Ovvero:

$$\frac{N(t)}{m} = R(t) = fR_r$$



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



L'EQUAZIONE DI BILANCIO: CONCLUSIONI

L'equazione di bilancio consente allora di affermare che tra un organismo vivente e la sua riserva di radiocarbonio si stabilisce una condizione di equilibrio dinamico per cui la concentrazione di ^{14}C rimane costante.

$$\frac{N(t)}{m} = R(t) = fR_r$$

Inoltre tale concentrazione è funzione di:

Concentrazione di radiocarbonio nella riserva;

Effetti di frazionamento.



**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



PRINCIPIO DI DATAZIONE

Quando sopraggiunge la morte dell'organismo non vi è più né apporto dalla riserva né rilascio verso di essa e quindi la concentrazione di radiocarbonio nell'organismo decresce con la nota legge esponenziale di decadimento:

$$R(t) = R_0 e^{-\lambda t}$$

Ma dalla legge di bilancio segue:

$$R(t) = f R_{r0} e^{-\lambda t}$$

Dove R_{r0} indica la concentrazione di radiocarbonio nella riserva al tempo $t=0$.



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



PRINCIPIO DI DATAZIONE

Quindi è possibile calcolare il tempo passato dalla morte:

$$t = -\frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{R(t)}{f R_{r0}} \right)$$

Si parla di età convenzionale al radiocarbonio - **Radiocarbon Age** - espressa in anni BP (Before the Present) quando:

Si assume come valore del tempo di dimezzamento il valore ipotizzato da Libby (5568 anni)

Si suppone che R_{r0} sia costante e pari al suo valore moderno;

Si assume come anno di riferimento il 1950.



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



LA RADIOCARBON AGE

**QUINDI UNA DATAZIONE CONVENZIONALE AL RADIOCARBONIO ESPRESSA IN ANNI
BP NON E' UNA DATA STORICA PERCHE':**

II TEMPO DI DIMEZZAMENTO DI LIBBY NON E' QUELLO CORRETTO;

R_{r0} NON E' COSTANTE MA E' VARIATO ANCHE IN MODO SIGNIFICATIVO NEL PASSATO;

IL PRESENTE NON E' IL 1950!



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



LE DIVERSE “RISERVE” DI RADIOCARBONIO

Dall'equazione di bilancio consegue che la datazione di un qualsiasi organismo dipende dalla concentrazione di radiocarbonio nella riserva con cui l'organismo stesso ha interagito nel corso della propria vita.

A tale proposito possiamo distinguere tra:

Organismi in equilibrio con l'atmosfera;

Organismi in equilibrio con il mare o gli oceani;

Organismi in equilibrio con altre riserve (ambienti vulcanici, organismi che interagiscono con più riserve di radiocarbonio)



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



IL FRAZIONAMENTO ISOTOPICO

La concentrazione di radiocarbonio in un organismo vivente è in genere leggermente diversa da quella nella sua riserva di radiocarbonio.

Questo fenomeno viene detto frazionamento isotopico ed è dovuto al fatto che nei processi biochimici che regolano lo scambio organismo-riserva un isotopo può essere assorbito più facilmente di un altro.

Nel processo di fotosintesi, ad esempio, il ^{12}C viene assorbito più facilmente del ^{14}C .

La concentrazione di radiocarbonio in una pianta è di circa il 3-4 % inferiore a quella atmosferica.

Questo porta ad un errore nell'età di 240-320 anni!



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



IL FRAZIONAMENTO ISOTOPICO : il termine $\delta^{13}\text{C}$

Convenzionalmente il frazionamento isotopico per il ^{13}C viene espresso introducendo il termine $\delta^{13}\text{C}$:

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}\right)_{\text{campione}} - \left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}\right)_{\text{PDB}}}{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}\right)_{\text{PDB}}} \cdot 1000$$

Il termine $\delta^{13}\text{C}$ rappresenta la differenza in parti per mille tra il rapporto $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ nel campione ed in uno standard assunto come riferimento

(PDB: Pee Dee Belemnite, sono formazioni dolomitiche del cretaceo nella Carolina del Sud, USA).



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



IL FRAZIONAMENTO ISOTOPICO : il termine $\delta^{14}\text{C}$

Sperimentalmente si è verificato che l'effetto di frazionamento per il ^{14}C è **doppio** rispetto a quella misurata per il ^{13}C .

$$\delta^{14}\text{C} = 2 \cdot \delta^{13}\text{C}$$

Quindi tutte le datazioni al radiocarbonio vanno corrette per tenere conto di questo effetto di frazionamento utilizzando la formula di Stuiver e Polach:

$$\left(\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}\right)_{\text{corrected}} = \left(\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}\right)_{\text{uncorrected}} \left[\frac{1 - \frac{25}{1000}}{1 + \frac{\delta^{13}\text{C}_{\text{sample}}}{1000}} \right]^2$$



**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



IL TERMINE $\delta^{14}\text{C}$: valori tipici

Il termine $\delta^{13}\text{C}$ può essere misurato o con uno spettrometro convenzionale o on line con il sistema AMS

Materiale	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Legno, Carbone	-25 ± 3
Collagene delle ossa	-20 ± 2
Acido Ossalico I	-19.40
Acido Ossalico II	-17.68
Saccarosio IAEA	-10.80
Piante Terrestri	-17 ± 2
Piante Marine	-12 ± 2
Anidride carbonica atmosferica	-9 ± 2
Carbonati non marini	-5 ± 5
Carbonati marini	0 ± 3