Fisica nucleare e beni culturali Acceleratori di particelle al servizio degli storici e degli archeologi







# INFNIL

Laboratorio di Tecniche Nucleari per i Beni Culturali - Firenze



http://labec.fi.infn.it



## La facility del Tandetron al LABEC



#### Datazioni

Il metodo del <sup>14</sup>C è un grande contributo della fisica nucleare all'archeologia (e alla storia dell'arte)

Il principio su cui si basa il metodo è legato al decadimento radioattivo del <sup>14</sup>C

Tipicamente nucleari sono anche le tecniche di misura della concentrazione residua di <sup>14</sup>C, sia quella tradizionale che sfrutta il conteggio dei decadimenti β dell'isotopo, sia quella più moderna della spettrometria di massa con acceleratori (AMS)

## Gli isotopi del carbonio $^{12}C \approx 98.9\%$ $^{13}C \approx 1.1\%$

#### L'isotopo 14 è radioattivo



#### produzione del <sup>14</sup>C in atmosfera:

protoni cosmici su O, N nella <u>troposfera</u>  $\rightarrow$  reazioni (p,n)  $\rightarrow$  termalizzazione neutroni  $\rightarrow$  <sup>14</sup>N(n,p)<sup>14</sup>C [ $\sigma_{th} \approx 1$  barn]

rate di produzione <u>medio</u> di <sup>14</sup>C: 2.2 cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> massimo tra i 15 e i 18 Km <u>trascurabile a livello della superficie terrestre</u>

La concentrazione di <sup>14</sup>C (circa 10<sup>-12</sup> del totale di atomi di carbonio) resta pressoché <u>costante,</u> per effetto di un <u>equilibrio dinamico</u>

fra continua "produzione" da parte dei raggi cosmici e continua"scomparsa" per decadimento radioattivo



## Principio della datazione col $^{14}C$



## Datazioni <sup>14</sup>C – la ricalibrazione

• la concentrazione di partenza in passato <u>non è</u> sempre stata quella convenzionalmente assunta  $R_{0 conv}$ , dalla quale si deduce un valore altrettanto convenzionale  $t_{conv}$  per l'età (età convenzionale di radiocarbonio):

$$t_{conv} = \tau \ln \frac{R_{0\,conv}}{R(t)}$$

• con migliaia di misure effettuate su campioni di età misurata indipendentemente si è costruita una curva di *ricalibrazione* (età convenzionale vs. data vera) fino a quasi 50000 anni fa



Calibrated date (calBC)

## Ricalibrazione dalla *radiocarbon age* all'età vera



#### Ricalibrazione dalla *radiocarbon age* all'età vera – ultimi 2000 anni





#### Altro esempio (un caso "fortunato")

Atmospheric data from Reimer et al (2004);OxCal v3.10 Bronk Ramsey (2005); cub r:5 sd:12 prob usp[chron]



## la "Stradivarius gap"





## Misura della concentrazione di $^{14}C$

 $|dN/dt| = \lambda N$ 

metodo radiometrico

*misure delicate e difficili perché decadimento β puro* 

necessarie grandi quantità di campione(10÷100 g) e tempi di misura lunghi (ore o anche giorni) *Misura della concentrazione di*  ${}^{14}C$ *da misure di attività*  $\beta$  ( $|dN/dt| = \lambda N$ )

 $\tau = 8266 \pm 58$  anni  $\rightarrow \lambda = 1/\tau = (1.38 \pm 0.01) \cdot 10^{-8} h^{-1}$ 

1 mg di reperto organico "contemporaneo": → 0.4 mg di carbonio →  $(0.4 \cdot 10^{-3}/12) 6 \cdot 10^{23} = 2 \ 10^{19}$  atomi di C → 2.4 10<sup>7</sup> isotopi di <sup>14</sup>C

conteggio  $\beta$ :  $|dN/dt| = \lambda N \rightarrow$  soltanto 0.33 decadimenti/ora!

→ occorrono quantità cospicue di materiale, tempi lunghi di conteggio e tecniche molto delicate ed efficienti

## Misura della concentrazione di $^{14}C$

 $|dN/dt| = \lambda N$ 

metodo radiometrico

*misure delicate e difficili perché decadimento* β *puro* 

necessarie grandi quantità di campione(10÷100 g) e tempi di misura lunghi (ore o anche giorni) spettrometria di massa

la spettroscopia di massa "standard" non è sufficientemente sensibile per discriminare le masse 14 dovute al <sup>14</sup>C da quelle degli isobari interferenti (<sup>14</sup>N e molecole <sup>12</sup>CH<sub>2</sub> e <sup>13</sup>CH)



#### Misura della concentrazione di <sup>14</sup>C con AMS

Lo stripping al terminale elimina le interferenze di <sup>13</sup>CH e <sup>12</sup>CH<sub>2</sub>



negativi elimina l'interferenza del <sup>14</sup>N L'analisi finale degli ioni ad alta energia consente di eliminare eventuali interferenze residue

## Misura del <sup>14</sup>C con AMS

Sensibilità a concentrazioni fino a 10-15

→ sono databili reperti risalenti fino a oltre 50000 anni fa

massa del campione da "sacrificare" per la datazione dell'ordine dei mg

## Misura AMS della concentrazione di <sup>14</sup>C

1 mg di reperto organico "contemporaneo": → 0.4 mg di carbonio → 2.4 10<sup>7</sup> isotopi di <sup>14</sup>C

AMS (efficienza ≈1%):
> 10<sup>5</sup> conteggi (tempo di misura: 20-30 minuti)
(da confrontarsi con 0.33 decad./ora del conteggio β!!)

con 10<sup>5</sup> conteggi  $\rightarrow$  ( $\delta^{14}C$ )/14C < 0.3%  $\rightarrow$   $\delta t \approx 25a$ 

 $\rightarrow$  sono sufficienti quantità esigue di materiale











Il campione trattato viene bruciato  $(CO_2)$  e poi ridotto a grafite  $(CO_2 + 2H_2 \rightarrow 2H_2O + C)$ 









#### test nucleari in atmosfera

(prima del trattato di non proliferazione del 1968)

→ enorme aumento dei flussi di neutroni in atmosfera, e quindi anche del rate di produzione di  $^{14}C \rightarrow influenza$  sensibile, temporaneamente, anche sulla concentrazione globale  $[^{14}C]$  (fino al +100 %). Successivamente, il tasso di <sup>14</sup>C in atmosfera è diminuito, a causa della progressiva "diluizione" nell'enorme serbatoio delle acque terrestri, riavvicinandosi ai valori pre-esplosioni nucleari.

## Effetto esplosioni nucleari



#### Curva locale di bomb peak

