

I proxy data

Ringraziamenti:

- AA.VV. (UniTo) - Lessico e Nuvole: le parole del cambiamento climatico – 2020
- C. Cassardo et al. - Temporalis e tornado – cap. 1, 2021 – Ed. AlphaTest

Alcune domande

- Perché studiare "il clima"? Come farlo? Che cosa ci insegna il passato?
- Come si studia il clima passato?
 - √ Che tipo di misure? Come dedurre le informazioni climatiche? Quanto sono precise?
- Come si studia il clima attuale?
 - √ Le principali tipologie di informazioni?
- Come si studia il clima future?
 - √ Che cos'è una previsione climatica? Che differenza c'è tra previsione e proiezione? Come dare le condizioni al contorno? Cosa ci dicono le proiezioni climatiche future?

Perché e come studiamo il clima passato?

- Per vedere le variazioni estreme
- Per trovare variazioni regolari (cicli), se ce ne sono
- Per comprendere il clima reale e cercare di stimare i cambiamenti futuri
- Per comprendere e prevedere i cambiamenti nel sistema climatico terrestre, abbiamo bisogno di una comprensione più completa del cambiamento alle scale stagionali/secolari
- Queste informazioni possono essere ottenute dai dati

Esistono diversi tipi di dati:



Le fonti dei dati

➤ Passato

- ✓ Passato recente - serie meteorologiche
- ✓ Passato lontano - 'dati proxy': fossili, carote di ghiaccio e sedimenti, anelli degli alberi, polline

➤ Presente

- ✓ Sensori su satelliti
- ✓ Sensori sulle torri

➤ Futuro

- ✓ Modelli numerici



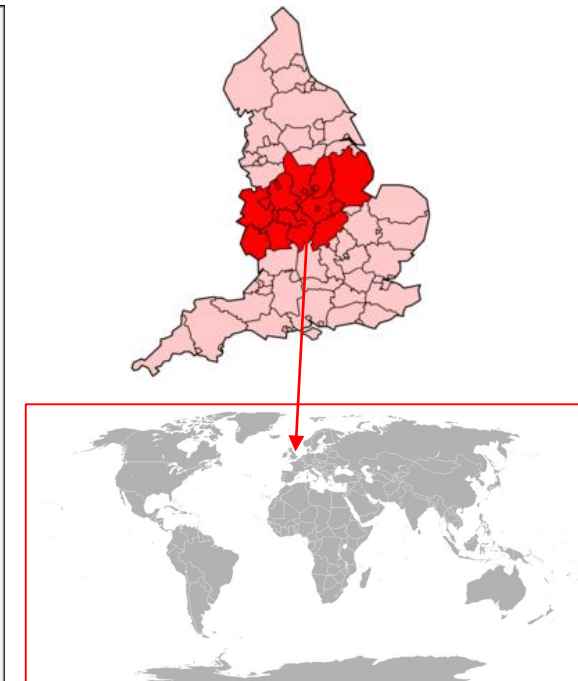
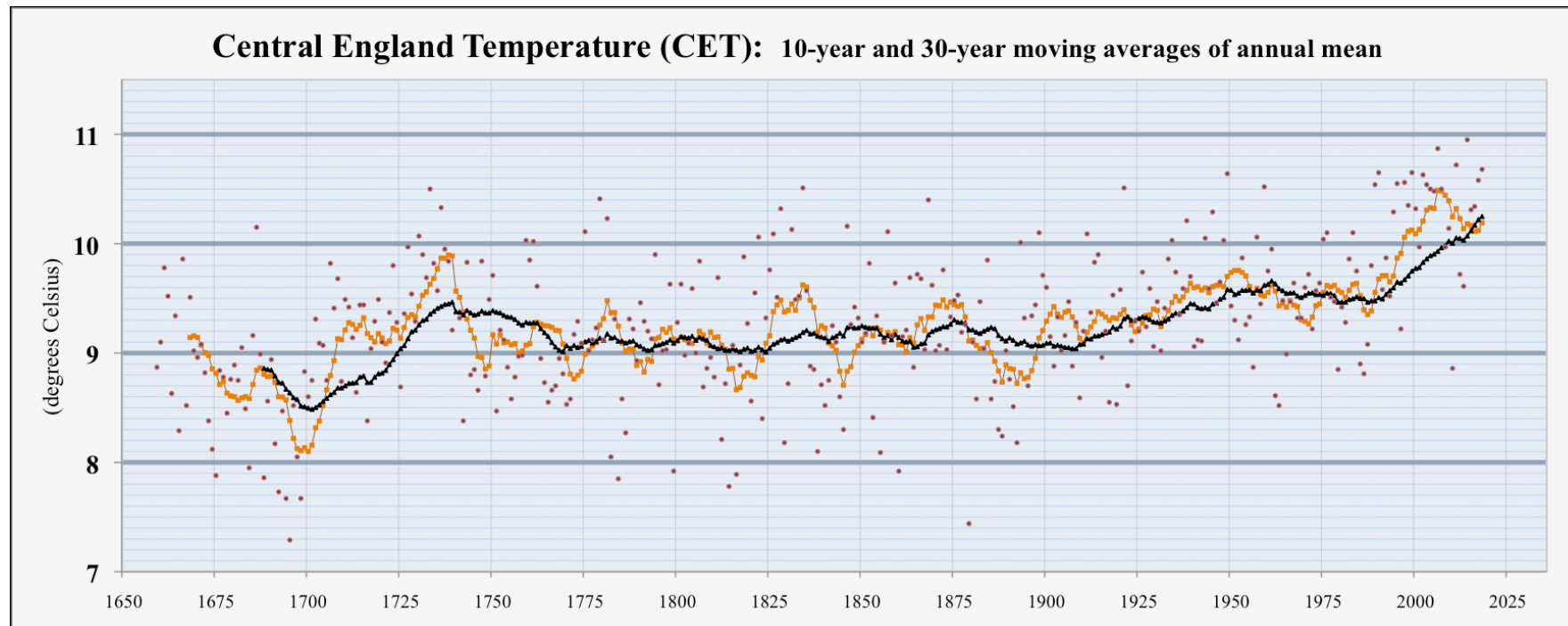
La temperatura: il dato principale

- Galileo inventò nel 1606 il termoscopio
- Negli anni seguenti, il termoscopio fu perfezionato da Galileo e dai suoi «amici» Santorio e Sagredo
 - ✓ Fu inclusa una scala numerica e fu inventato il termometro ad aria
- Intorno al 1630 furono sviluppati i termometri "riempiti di liquido", ma le scale termometriche furono stabilite solo nel XIX secolo da Fahrenheit e Celsius



Registrazioni strumentali

- Le misurazioni delle variabili meteorologiche sono abbastanza recenti (>1600)
- I record di temperatura > 200 y sono scarsi
 - √ CET, 1659; Berlino, 1700; de Bilt, 1706; Germantown, 1731; Milano, 1740; Torino, 1753 ...
- Dibattito sulla qualità dei dati ...
- Troppo poche stazioni: dati insufficienti per definire la temperatura media terrestre
- Le variazioni climatiche sono inferiori a qualsiasi altra variazione di temperatura, specie su periodi brevi



Documenti storici

- Resoconti scritti o orali di eventi passati
- Informazioni sulle inondazioni e sul livello dei fiume
- Arte (dipinti antichi o manufatti che mostrano piante o animali effettivamente non esistenti in quel luogo)
- Storia di antico sviluppo urbano e/o decadimento correlati ai cambiamenti climatici (Efeso, Maya, Inca, Isola di Pasqua, ...)



Limiti

- Informazioni registrate a volte soggettive, spesso imprecise, spesso limitate ad alcune aree geografiche
- Gli eventi estremi non rappresentano il clima

Paleoclimatologia e dati proxy

➤ Lo studio del clima passato

- ✓ Prima che gli esseri umani iniziassero a raccogliere dati strumentali
 - → prima di 140 anni fa
- ✓ Serie strumentali a scala globale non esistono

➤ Dati proxy

- ✓ Surrogato degli strumenti moderni in grado di dare dati utili per studiare il clima
 - Pro
 - È l'unica possibilità che abbiamo!
 - Contro
 - Errori maggiori
 - Necessità di diversi punti di campionamento, attenta calibrazione, ...

Dati paleoclimatici

NOAA Paleoclimatology

Climate Reconstructions

- Ice Core
- Paleofire (1871, 1845, 1823)
- Borehole
- Cave
- Model
- Lake
- Coral
- Tree-ring
- Historical (Temperature Deviation, Grape Harvest, Instrumental Record)
- Plant/Macros
- Insect
- Pollen

Tree rings:
Yearly records of variability in temperature and water

When seasons change:
Records of when trees flower and when lakes freeze

Ice Cores:
Yearly variations in volcanic ash, temperature as recorded by isotope ratios

Food!
Records of harvest production, celebrations, and the cost of food

Pollen:
Indicates what plants grew where. If we know their growing conditions, we can interpret climate of the area.

Artwork:
Paintings and photographs of people and places provide records of climate.

Ocean and lake sediments:
Records of plankton, isotopes, color, decomposition, etc.

Note: Use for summarizing. Print on transparency and share with overhead.

http://eo.ucar.edu/educators/ClimateDiscovery/LIA_lesson2_9.28.05.pdf

Archivi climatici (Proxy data)

➤ Sedimenti

- Rocce sedimentarie (miliardi di anni)
- Sedimenti oceanici (10 milioni di anni)
- Loess (milioni di anni)
- Morene (100 mila anni)
- Sedimenti lacustri (<~20.000 anni)

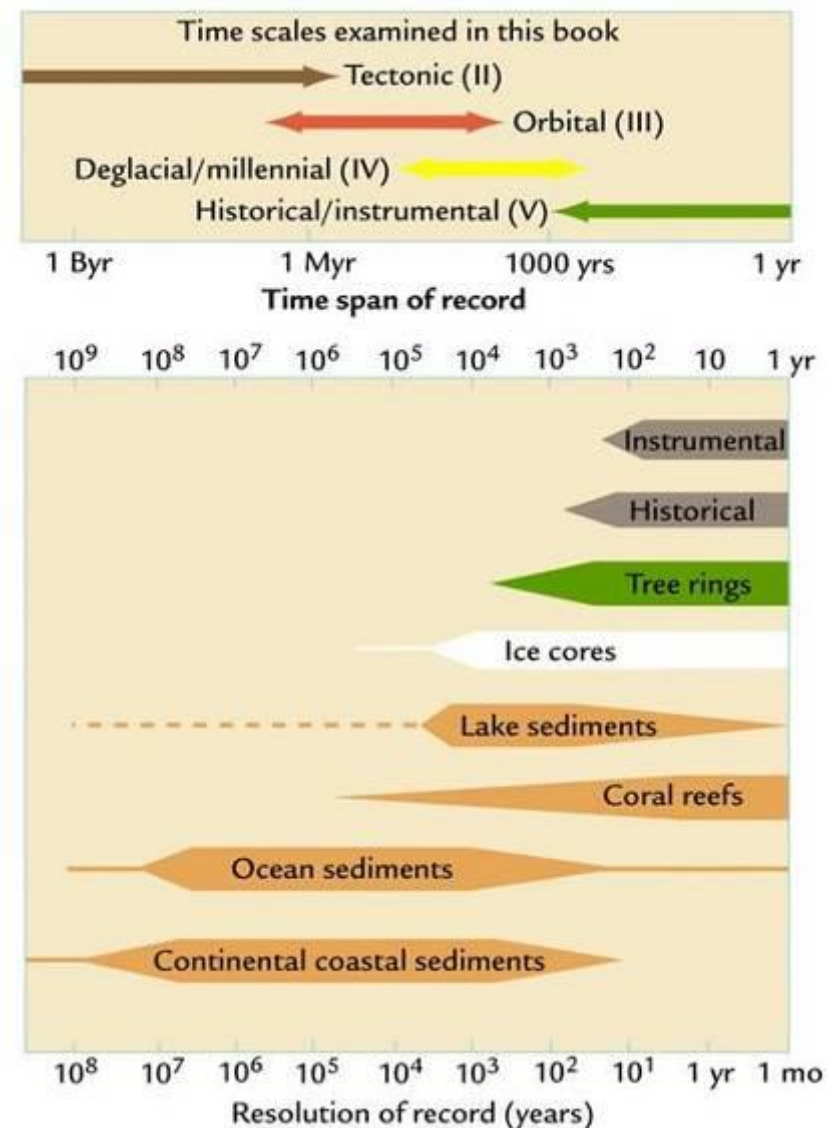
➤ Ghiaccio

➤ Coralli

➤ Anelli d'albero

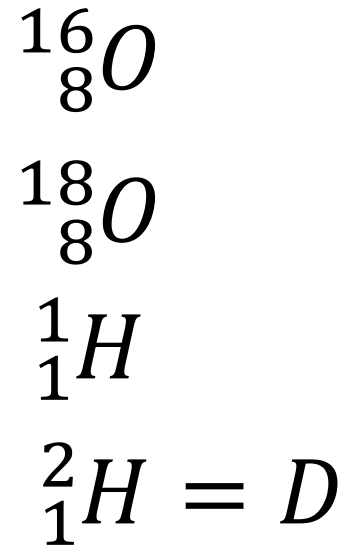
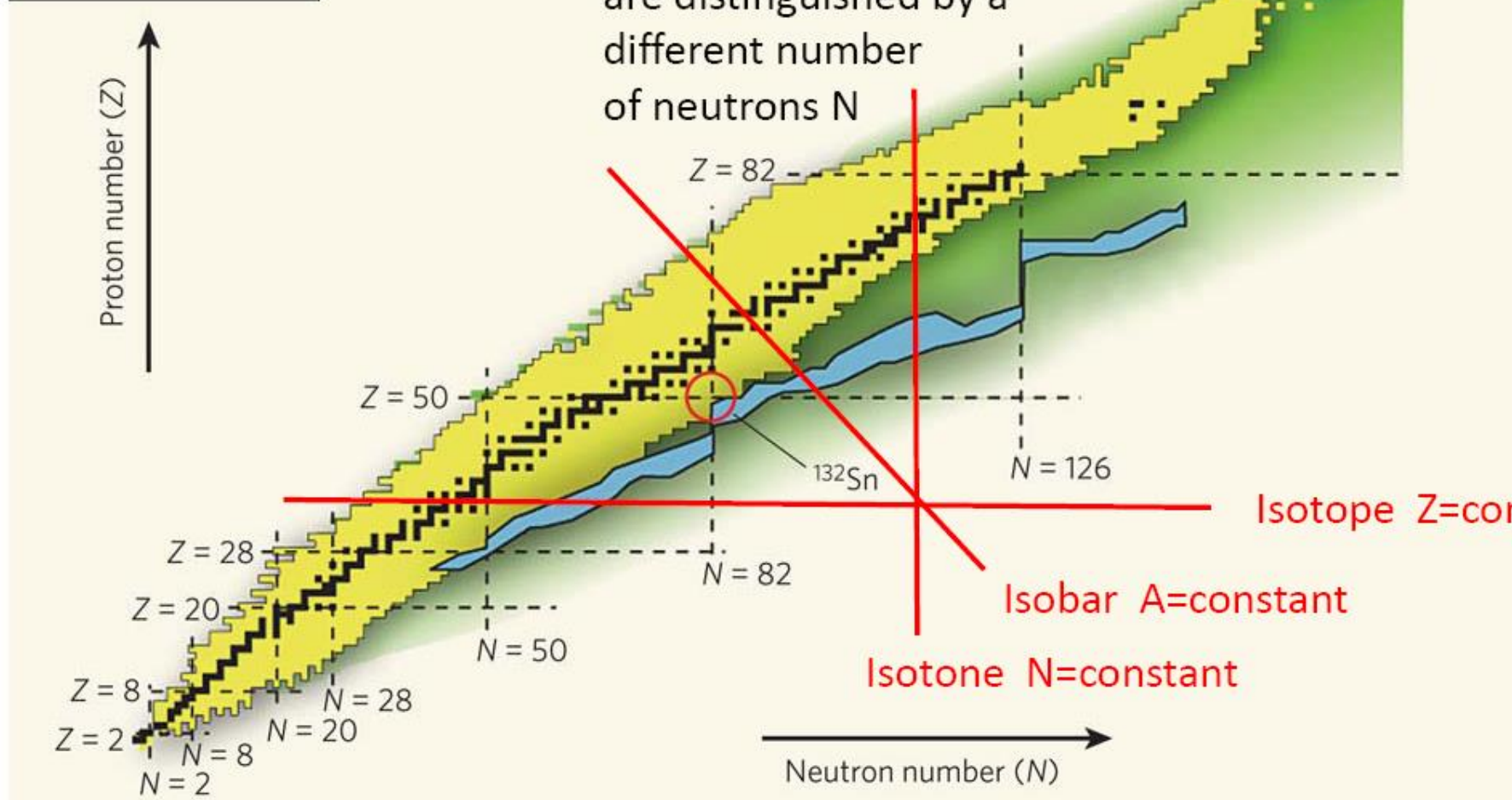
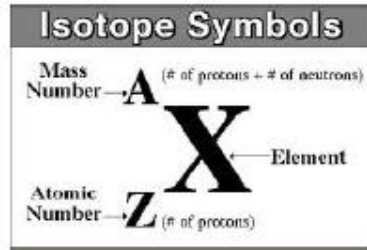
➤ Documenti storici

➤ Registreazioni strumentali



<http://earth.boisestate.edu/home/jenpierce/Earth%27s%20climate.htm>

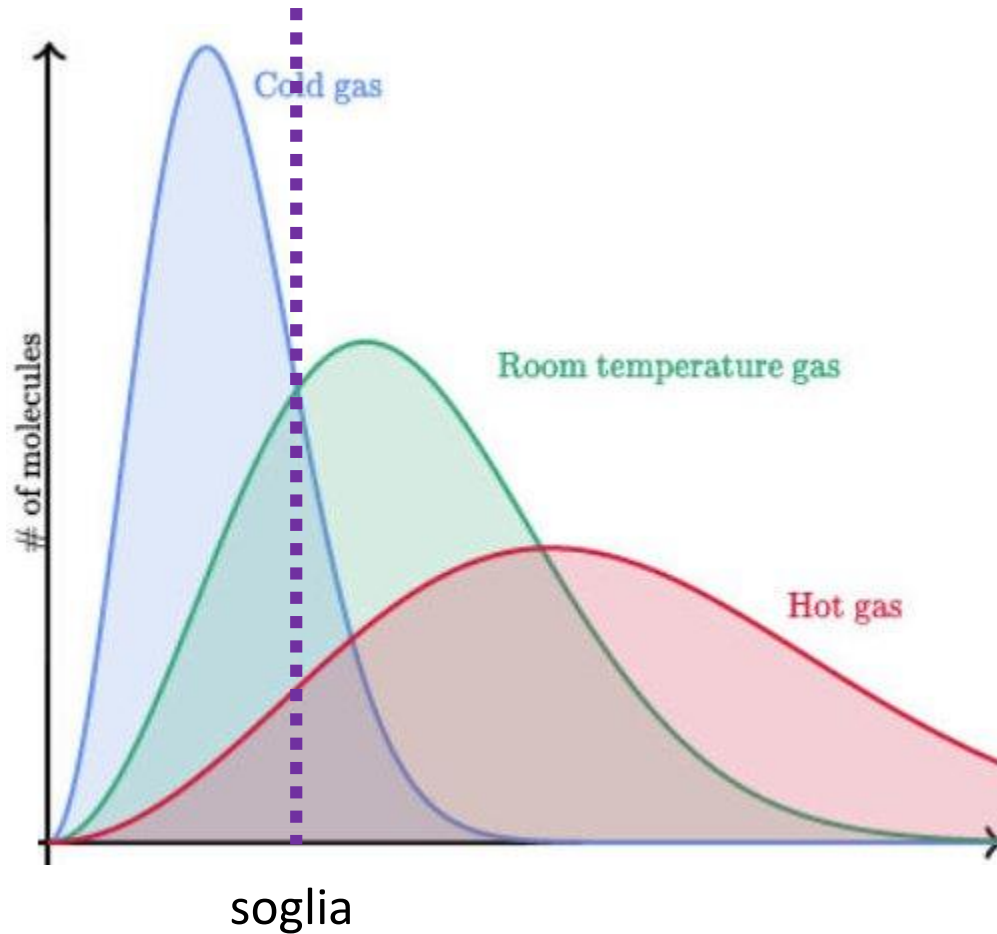
La carta degli isotopi



Gli isotopi dell'ossigeno

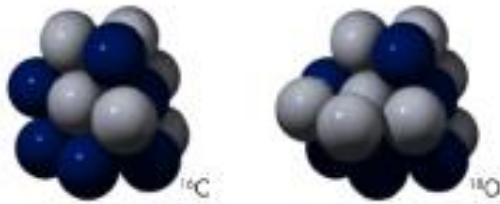
- La maggior parte dell'ossigeno (99,8%) contiene 8 protoni e 8 neutroni (^{16}O)
- Alcuni atomi di ossigeno (0,2%) contengono 8 protoni, 10 neutroni (^{18}O) – un isotopo pesante
- H_2^{16}O evapora più facilmente di H_2^{18}O : **perché?** [Vedi la prossima slide](#)
- Quindi, durante un periodo caldo, la quantità relativa di ^{18}O aumenta nelle acque oceaniche poiché sta evaporando più ^{16}O
- Guardare il rapporto tra ^{16}O e ^{18}O in passato può dare indizi sulle temperature globali

Perché H_2^{18}O evapora di più se fa più caldo?



[ritorna](#)

- La temperatura è una misura dell'energia cinetica media delle molecole
- A una temperatura maggiore la distribuzione delle velocità delle singole molecole si «allarga» e ci sono molte più molecole con velocità «alte»
- Diventa quindi più probabile che venga superata la soglia energetica corrispondente alla liberazione della molecola di acqua (processo di evaporazione) anche per H_2^{18}O



Spettrometro di massa

^{16}O 15.9949 99.76% Stable	^{17}O 16.9991 0.04% Stable	^{18}O 17.9991 0.20% Stable
--	---	---

$$M(^{18}\text{O}) = 17.99916 \text{ amu} \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 2.987860 \cdot 10^{-23} \text{ g}$$

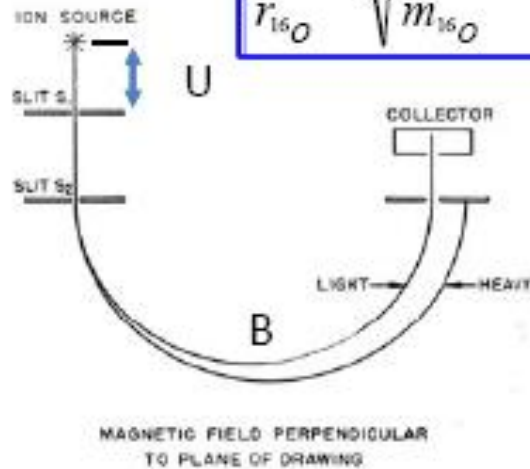
$$M(^{16}\text{O}) = 15.99493 \text{ amu} \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 2.655158 \cdot 10^{-23} \text{ g}$$

$$\Delta M = M(^{18}\text{O}) - M(^{16}\text{O}) = 3.327 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

$$F_{\text{Lorenz}} = m \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B} = \frac{m \cdot v^2}{r} = F_{\text{centrifugale}} \quad E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = q \cdot U$$

$$r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} \quad v = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot U}{m}} \Rightarrow r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot U}{m}} = C_{\text{separator}} \cdot \sqrt{\frac{m}{q}} \quad C_{\text{separator}} = \frac{\sqrt{2 \cdot U}}{B}$$


$$\frac{r_{^{18}\text{O}}}{r_{^{16}\text{O}}} = \sqrt{\frac{m_{^{18}\text{O}}}{m_{^{16}\text{O}}}} = 1.0608$$



Definizione di $\delta^{18}\text{O}$

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{[^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{sample}} - ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{standard}}]}{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{standard}}} * 1000$$

Standard = PeeDee Belemnite (PDB) (*)
SMOW (Std Mean Ocean Water)



Earth and Planetary Science Letters
Volume 31, Issue 3, August 1976, Pages 341-344



Absolute¹⁸O content of standard mean ocean water

P. Baertschi

Show more

+ Add to Mendeley Share Cite

[https://doi.org/10.1016/0012-821X\(76\)90115-1](https://doi.org/10.1016/0012-821X(76)90115-1) [Get rights and content](#)

Abstract

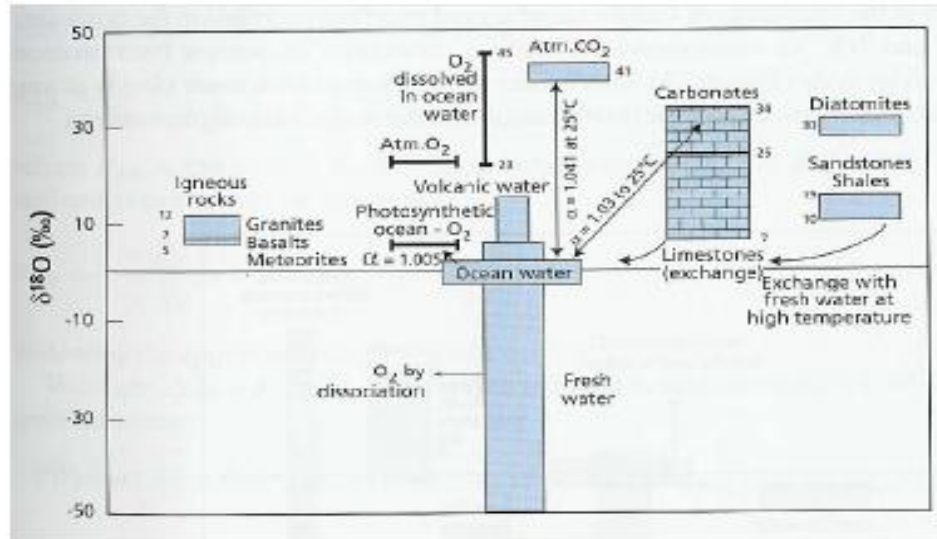
The absolute values of the $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratio (R_a) and the relative ^{18}O content (X_a) in SMOW have been determined by comparing SMOW mass spectrometrically with well-defined synthetic mixtures of pure D_2^{18}O and H_2^{18}O . The results are: $R_S = (2005.20 \pm 0.45) \times 10^{-6}$, $X_S = (2000.45 \pm 0.45) \times 10^{-6}$

(*) La Formazione Peedee è una formazione geologica nella Carolina del Nord e del Sud. Deposito marino, chiamato per le esposizioni lungo il Great Peedee River, conserva fossili di belemniti e foraminiferi risalenti al Cretaceo superiore. La formazione è nota per la presenza di Belemnitella americana, nota come Pee Dee Belemnite (PDB), uno standard di lunga data nella ricerca sugli isotopi di carbonio stabili.

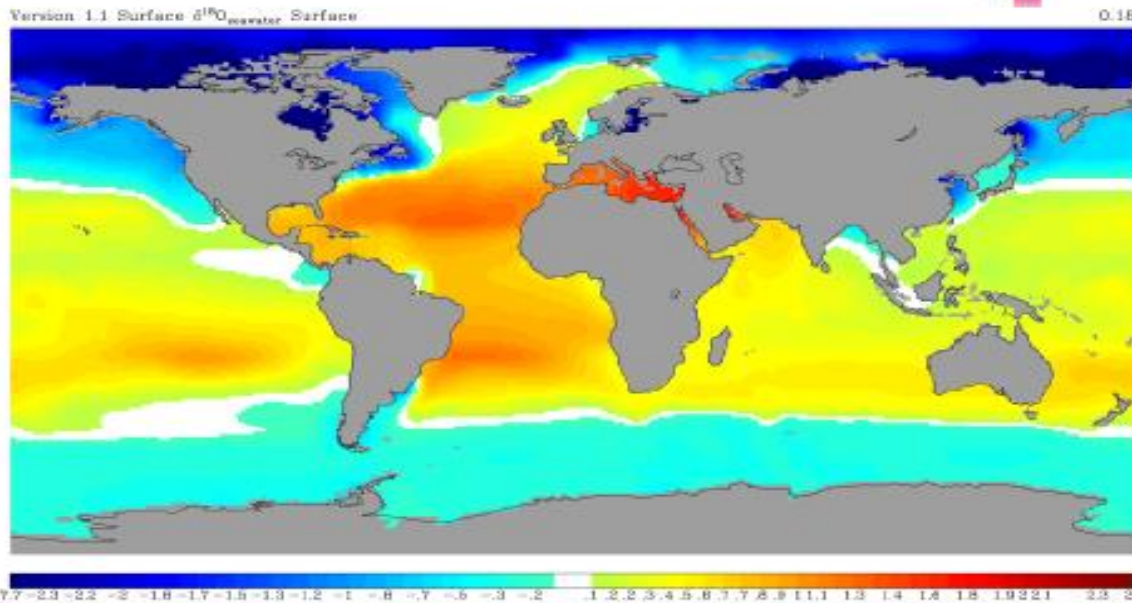


La distribuzione dell'¹⁸O

Isoscapes



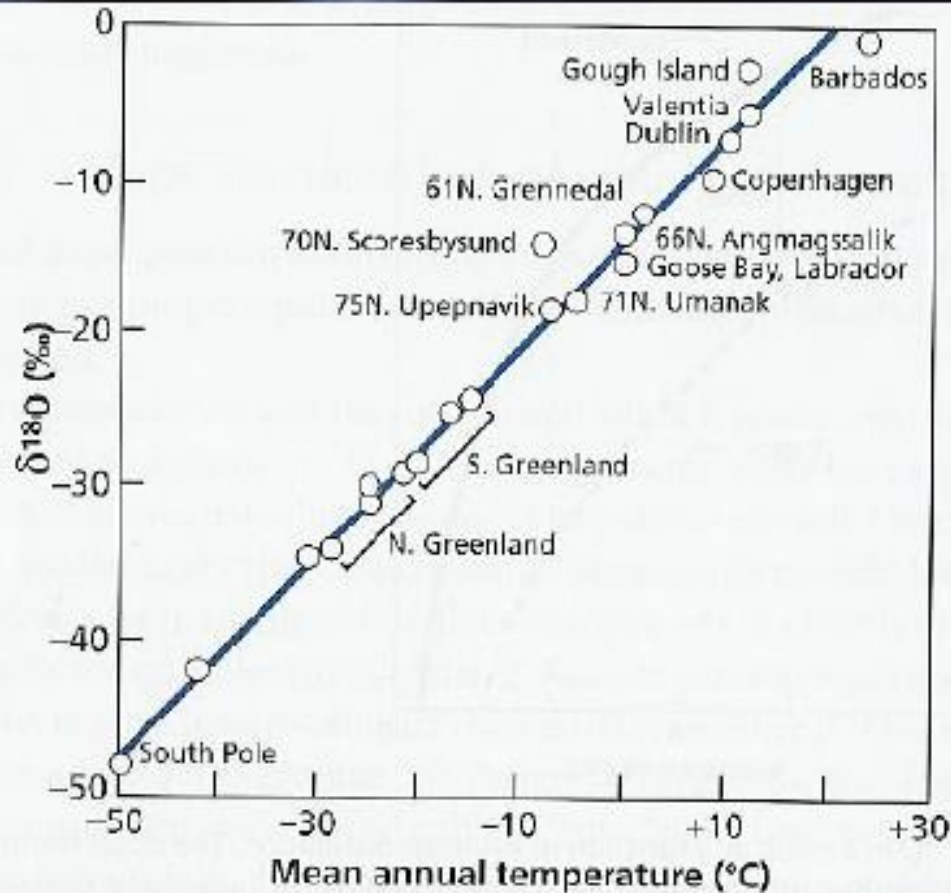
¹⁸O f(T)



An extensive data bank on the ¹⁸O isotope distribution has been developed worldwide. It is useful for a wide range of applications, ranging from hydrology to forensics, from plant ecology to meteorite analysis, and from geology to climate studies.

La correlazione tra ^{18}O e temperatura: molto buona

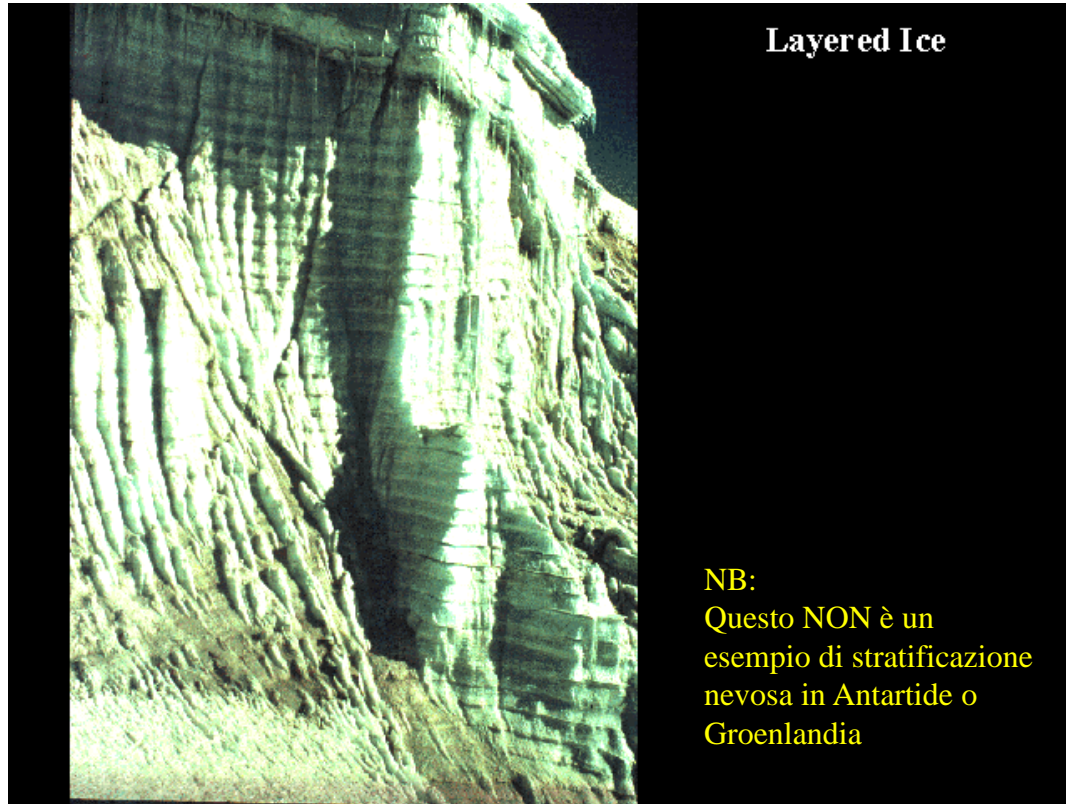
<http://www.gerhardriessbeck.de>



Temperature dependence of $\delta^{18}\text{O}$ in snow and rain is clearly demonstrated by numerous measurements at different locations worldwide, as lower the temperature as lower the ^{18}O content in snow. This introduces a perfect tool for determining temperature by the analysis of accumulated compressed snow layers in Arctic, Antarctic, or glacier environments.

$$\delta^{18}\text{O} \approx 0.675 \cdot T_{0_C} - 15$$

Analisi delle carote di ghiaccio

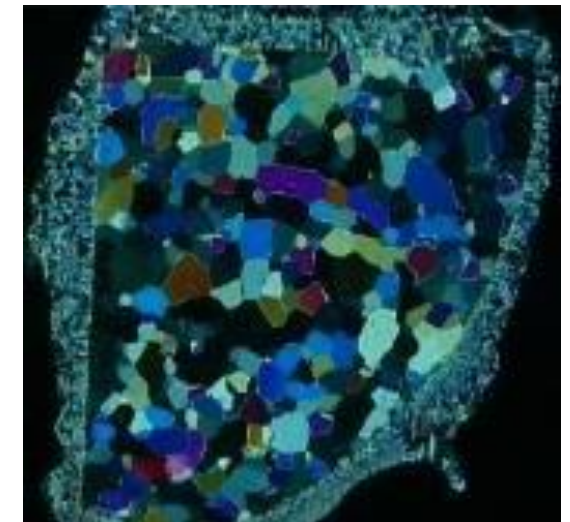


➤ Un altro metodo è l'analisi dei sedimenti oceanici o glaciali:

- ✓ La popolazione marina dipende dalla temperatura dell'acqua
- ✓ L'abbondanza di isotopi di ossigeno è correlata alla massa totale di ghiaccio (^{16}O evapora più facilmente di ^{18}O)
- ✓ Gli aerosol intrappolati nel ghiaccio conservano tracce della polvere e dei costituenti atmosferici del passato



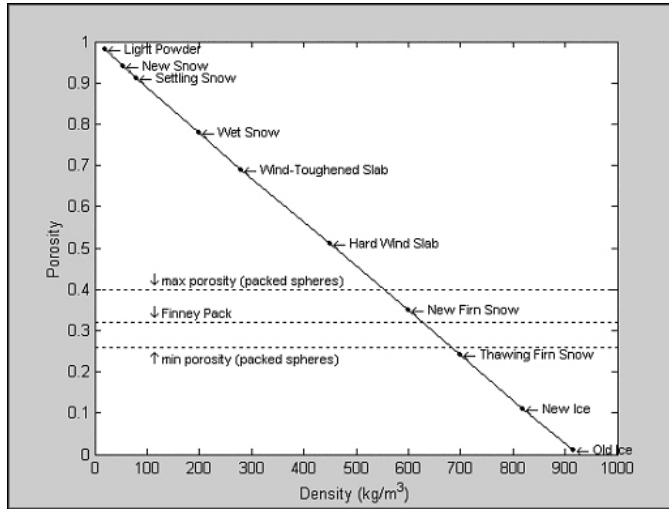
Carote di ghiaccio



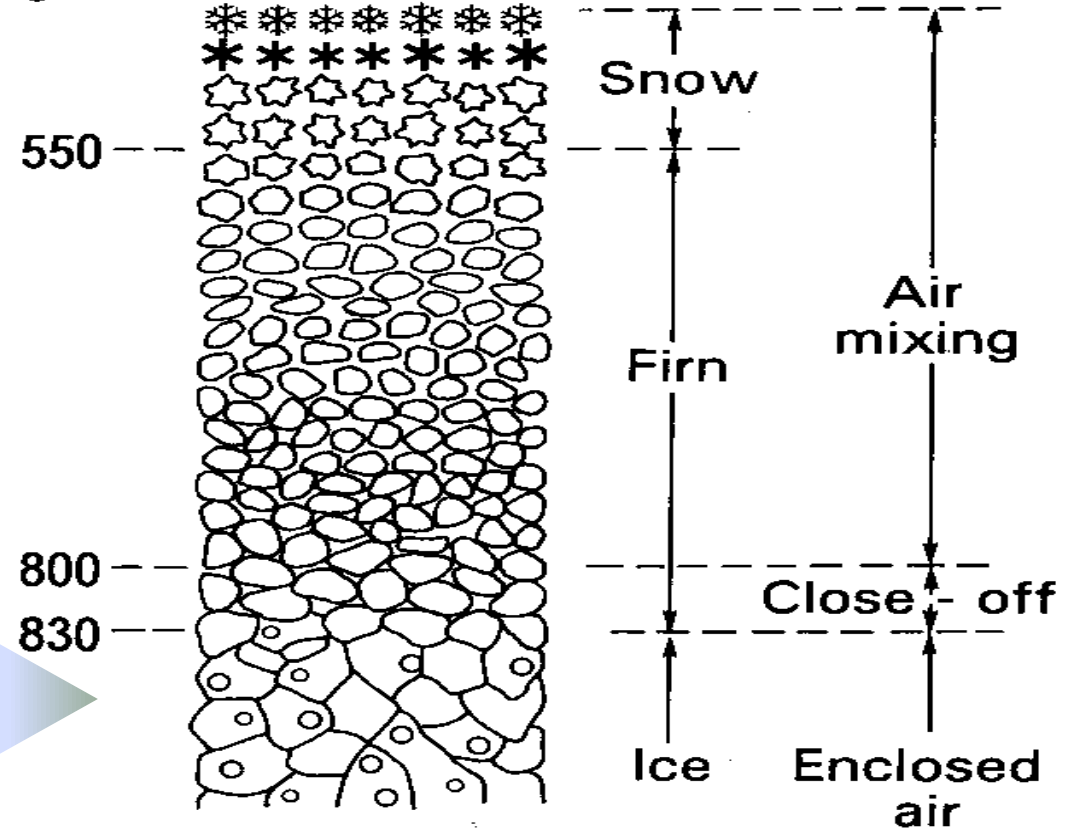
Archivi climatici



L'aria rimane intrappolata nei pori del ghiaccio



Density
(kg m⁻³)



Legrand, Jouzel and Raynaud (1995)

Perché solo ghiacciai polari?

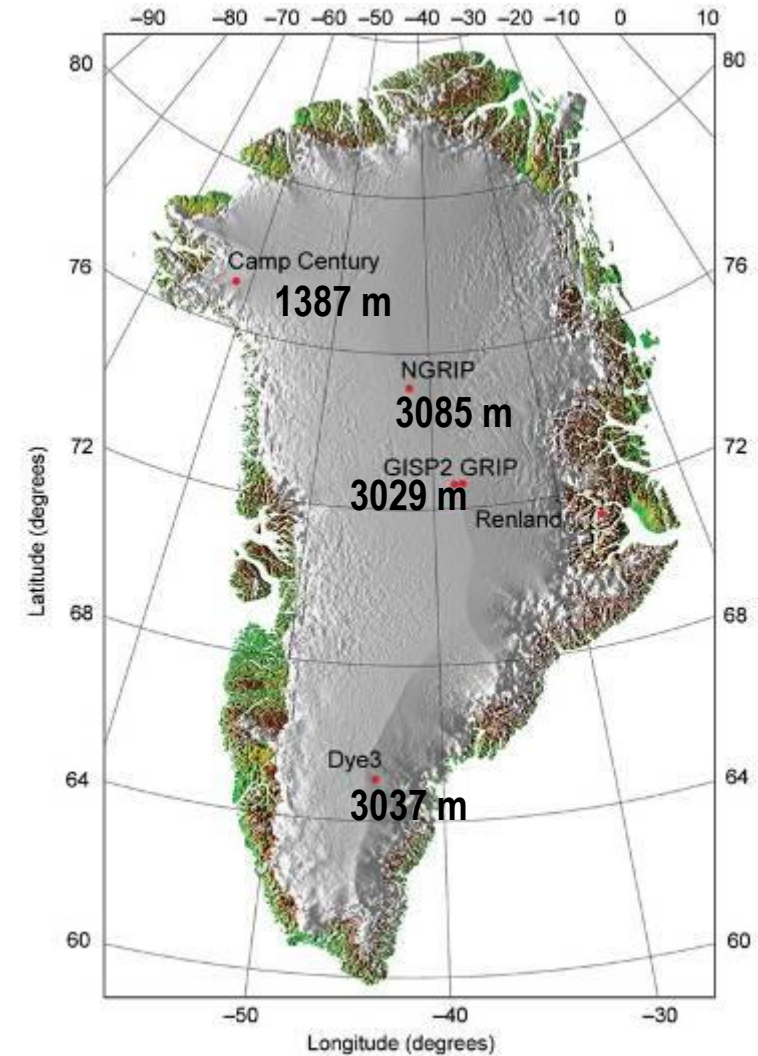
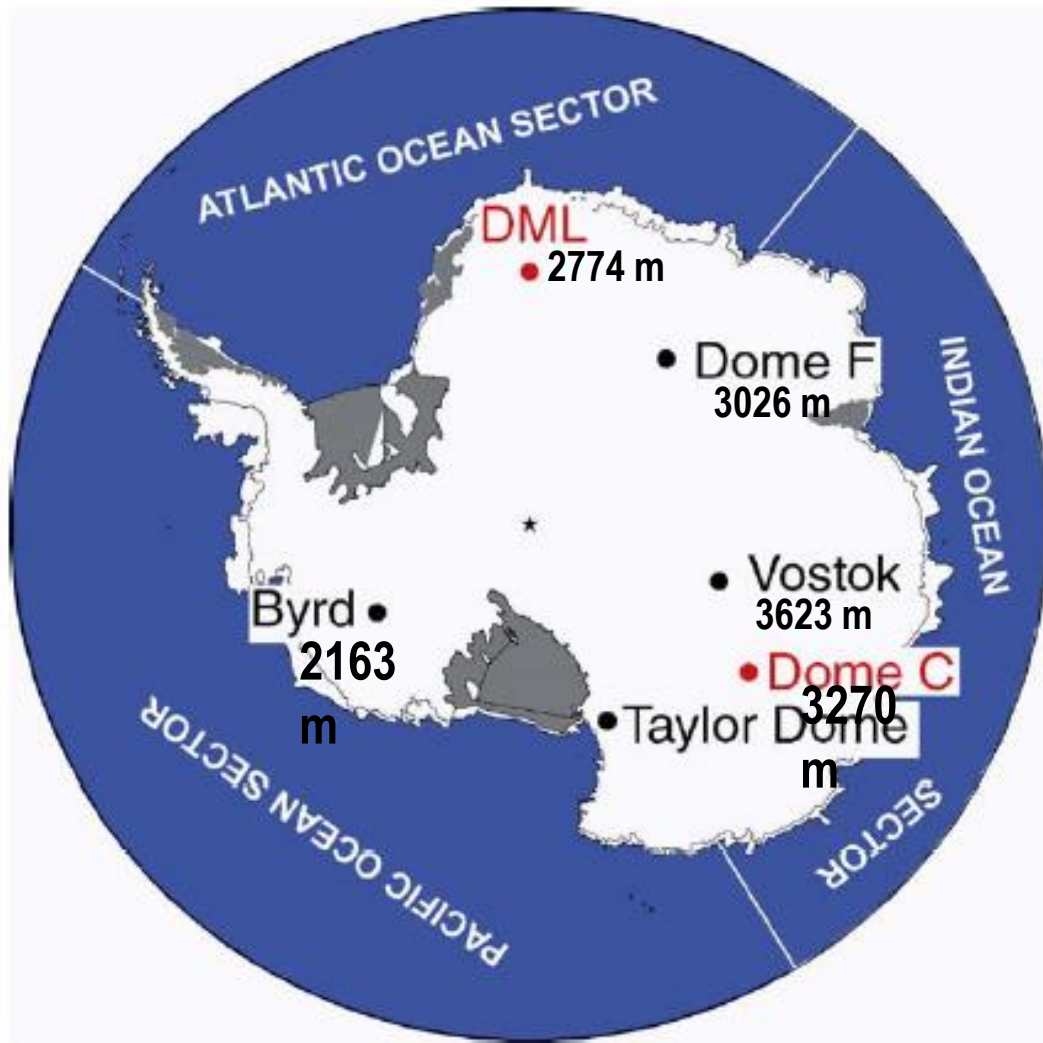


- ✓ Ghiaccio "freddo" a temperatura molto inferiore al punto di fusione
- ✓ Neve "fredda" accumulata per deposizione, mai fusa, trasformata in ghiaccio da compattazione e metamorfismo
- ✓ Il profilo termico verticale dipende da: temperatura della neve, tasso di accumulo, flusso geotermico
- ✓ Conservazione di molti segnali chimici e fisici originali acquisiti dalla neve nella massa d'aria in cui la neve ha avuto origine



- ✓ Composto da ghiaccio "caldo" (vicino al punto di fusione)
- ✓ Acqua presente in tutta la loro massa
- ✓ Profilo verticale isoterma, dovuto a diversi processi di fusione e ricongelamento, con rilascio di flusso di calore latente
- ✓ Segnali chimici e fisici acquisiti dalla neve nell'atmosfera cancellati o sovrapposti

Carote di ghiaccio profondo



Parametri e indicatori misurati

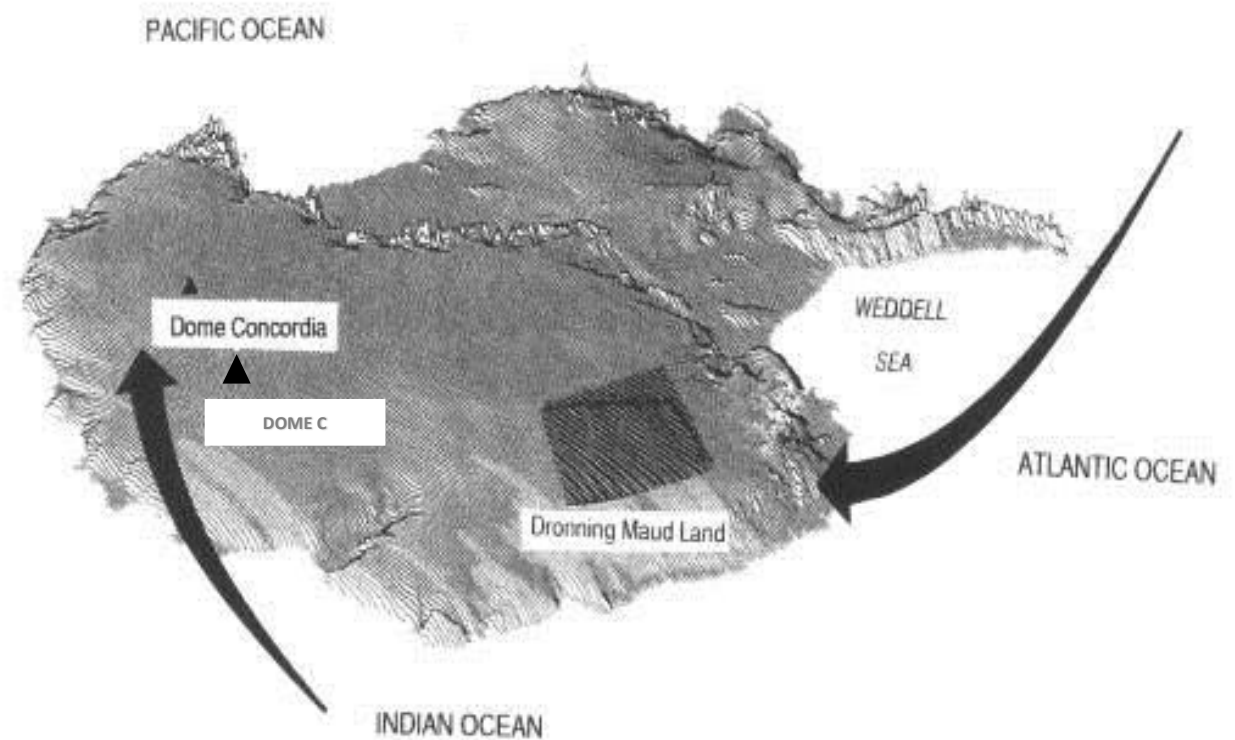
Temperatura	δD , $\delta^{18}O_{ice}$, profili di temperatura, ecc..
Accumulo	dD , $d^{18}O_{ice}$, ^{10}Be , Profondità dei livelli annuali
Aree fonti di umidità	Eccesso of D(Deuterio)
Aerosol: da fonti naturali prodotto da esseri umani	ECM, DEP, Al, Ca^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , polveri atmosferiche, picchi di acidità (ECM, DEP, SO_4^{2-}), polvere vulcanica SO_4^{2-} , NO_3^- , Pb, metalli in tracce, ricadute radioattive, composti organici
Circolazione atmosferica	Particolato atmosferico, Nd/Sr
Gas: naturale e prodotto dall'uomo	O_2 , N_2 , CO, CO_2 , CH_4 , N_2O , $d^{18}O_{atm}$

Progetto EPICA, finanziato dall'UE (10 nazioni dell'UE)

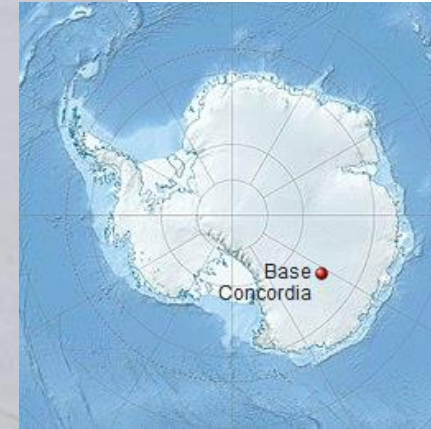


Perforazioni profonde effettuate in due aree della calotta glaciale dell'Antartide orientale:

- Cupola C
- Terra della Regina Maud



Il sito di Dome C



EPICA al Dome C, vicino alla base permanente italo-francese "Concordia Station" (3233 m), i cui parametri climatici sono:

$T_{\text{med}} \sim -55 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{\text{max}} \sim -20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

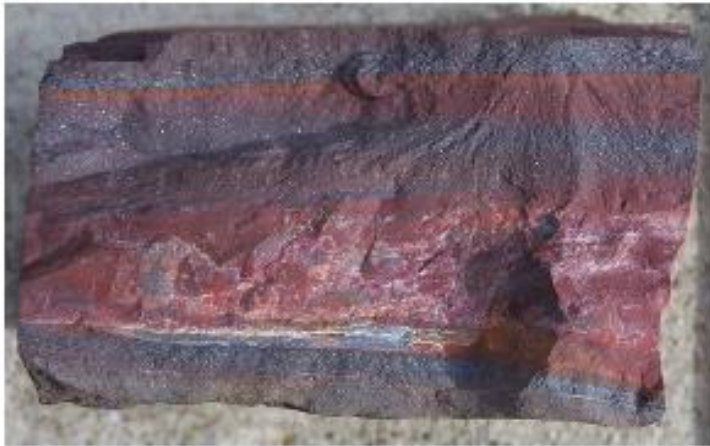
$T_{\text{min}} \sim -84 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Il sito di Dome C – uno sguardo più da vicino



Sedimenti oceanici

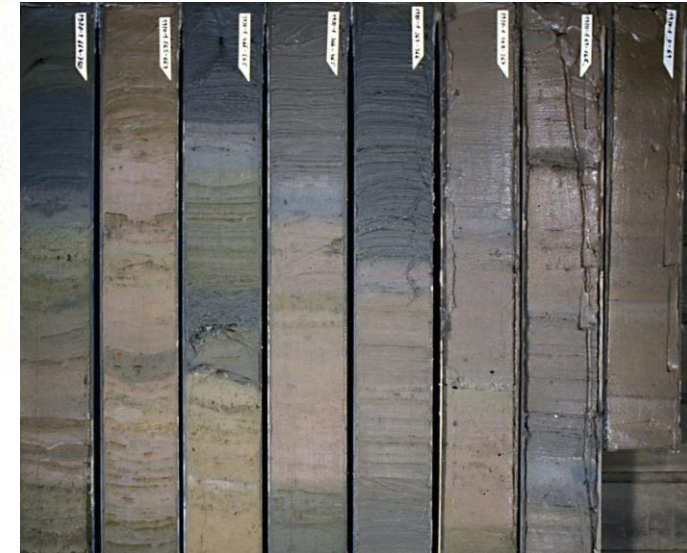
On longer paleoclimate timescales ocean sediment analysis, the analysis of lithified rocks from former ocean sediments and the analysis of fossils in terms of elemental and isotope distribution in sediments of fossil molecules such as CaCO_3 or other carbonates, SiO_2 or other oxides. For fossil material biological processes may have changed $\delta^{18}\text{O}$ fractionation during the uptake. This has to be corrected to determine ^{18}O ratio in former ocean water.



Rock with layers of iron oxide that was formed in Precambrian more than 500M years ago.



Mineralized fossil layer in sedimentary rock. Dating occurs through the analysis of long-lived radioactivity in the fossil material.



Carbonato di calcio

Se raccogliamo un guscio fatto di CaCO_3 , possiamo analizzare il rapporto $\text{O}^{18}:\text{O}^{16}$



- Lo standard con cui viene confrontato un campione è quello preparato dall'acqua dell'oceano o da uno standard fossile
- Valori di δO^{18} positivi significano che il campione è arricchito dall'isotopo O^{18} pesante
- Valori negativi di δO^{18} significano che c'è poco O^{18} (pesante)
- Questi valori possono essere correlati con le temperature oceaniche



Il CaCO₃ come paleotermometro

Temperature $\delta^{18}\text{O}$ fractionation relation in carbonates is expressed by a thermometric relation developed by Harold Urey and Brian Epstein:

$$T_{0_C} = 16.5 - 4.3 \cdot \left(\delta_{\text{CO}_3}^{18\text{O}} - \delta_{\text{H}_2\text{O}}^{18\text{O}} \right) + 0.13 \cdot \left(\delta_{\text{CO}_3}^{18\text{O}} - \delta_{\text{H}_2\text{O}}^{18\text{O}} \right)^2$$

simplified version is : $T_{0_C} = 16.5 - 4.3 \cdot \delta_{\text{CO}_3}^{18\text{O}}$

$$\delta_{\text{CO}_3}^{18\text{O}} = 1000 \cdot \left(\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{CO}_2, \text{CO}_3} - \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{CO}_2 \text{ standard}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{CO}_2 \text{ standard}}} \right)$$

1 unità di $\delta^{18}\text{O}$
corrisponde a $\sim 4,3$ °C

The accuracy of $\delta^{18}\text{O}$ measurements is 0.1‰, that translates into an uncertainty for the temperature of :

$$\Delta T = 4.3 \cdot \Delta \delta_{\text{CO}_3}^{18\text{O}} \approx 0.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

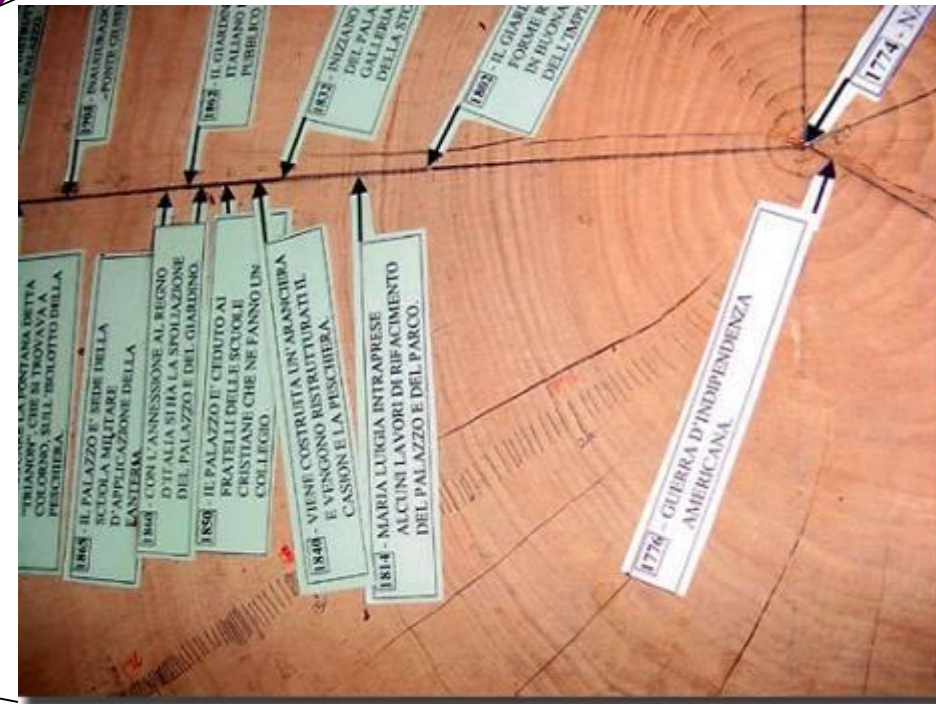
Il $\delta^{18}\text{O}$ nei coralli



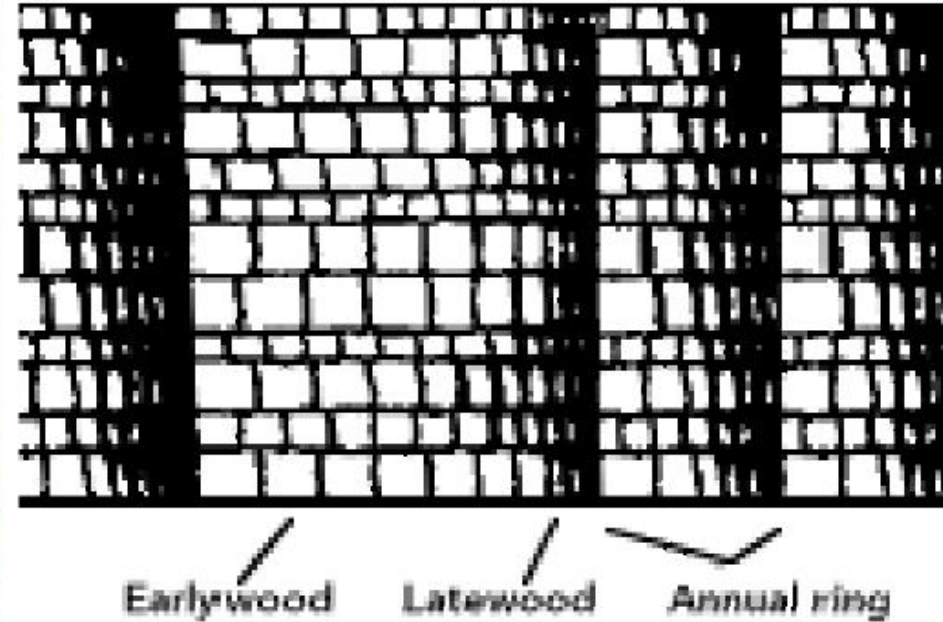
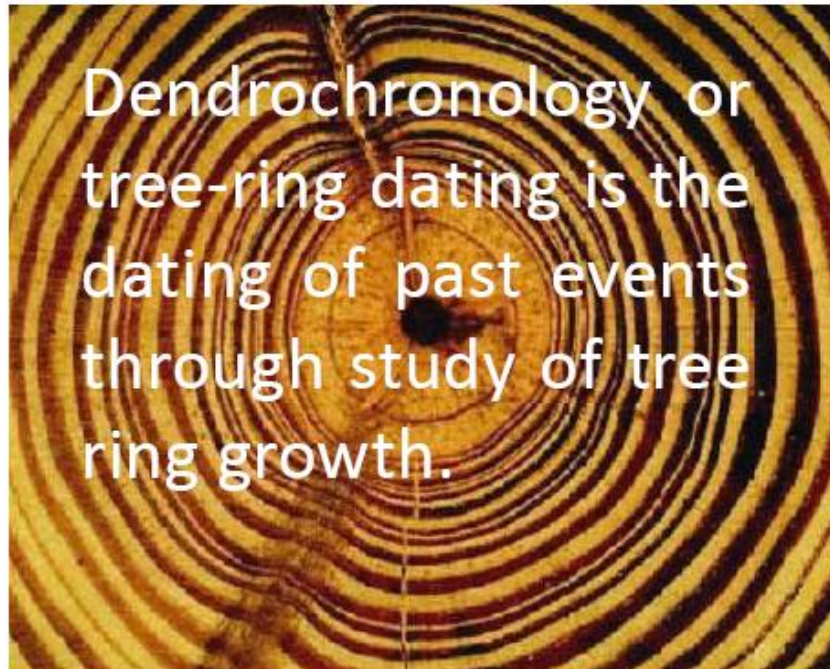
- Il valore di $\delta^{18}\text{O}$ nei coralli riflette i valori superficiali di temperatura e salinità
- Nelle regioni oceaniche in cui la salinità è costante, le variazioni nei coralli dipendono dalla temperatura superficiale
- Questa tecnica si può applicare in primis alle acque tropicali
- In regioni con forti precipitazioni o scarichi fluviali il $\delta^{18}\text{O}$ può essere usato per inferire i valori di salinità

Dendrocronologia

- La dendrocronologia (dal greco: *dendron* [δέενδρον]: albero; *khronos* [Χρόνος]: tempo) studia la sequenza di anelli delle piante
- Nei climi temperati l'alternanza di stagioni calde e fredde si riflette in una diversa produzione di legno:
 - ✓ nel legno primaverile le cellule sono più larghe e con pareti sottili
 - ✓ nel legno estivo-autunnale le cellule sono più strette e con pareti più spesse
- Così, nella sezione trasversale del tronco, cresce una serie di anelli concentrici



Dendrocronologia



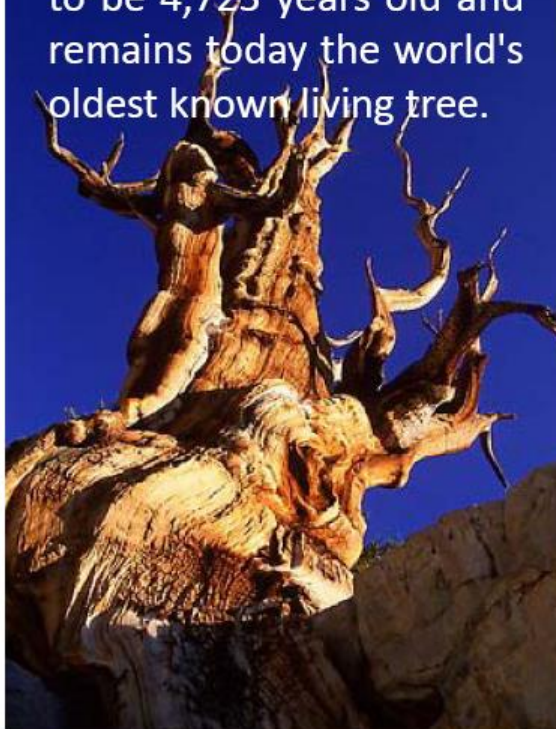
- Gli alberi che mostrano anelli sensibili (stretti) sono influenzati dal gradiente del pendio, suoli poveri o troppa poca umidità e condizioni climatiche
- Gli alberi che mostrano anelli compiacenti (larghi) hanno condizioni climatiche generalmente costanti come falda freatica alta, terreno buono o luoghi protetti



Dendrocronologia



"Methuselah" was found to be 4,723 years old and remains today the world's oldest known living tree.

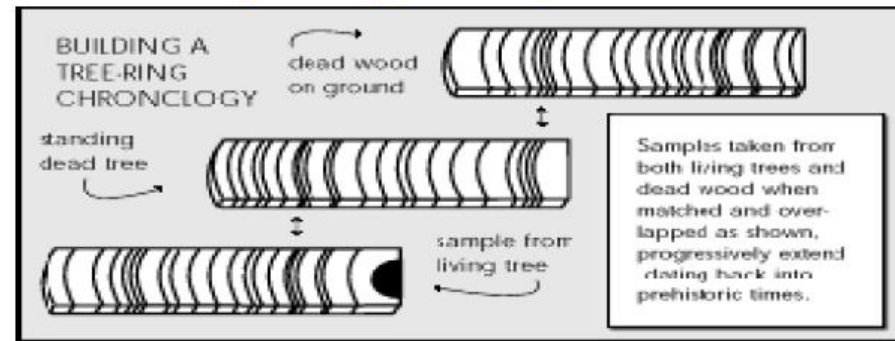


The oldest Trees

Dendrochronology drill set



Tree-ring dating ~7000 years backwards



Dendrocronologia

- La datazione incrociata consente l'estensione delle serie degli anelli degli alberi indietro nel tempo, utilizzando legno sia vivo che morto

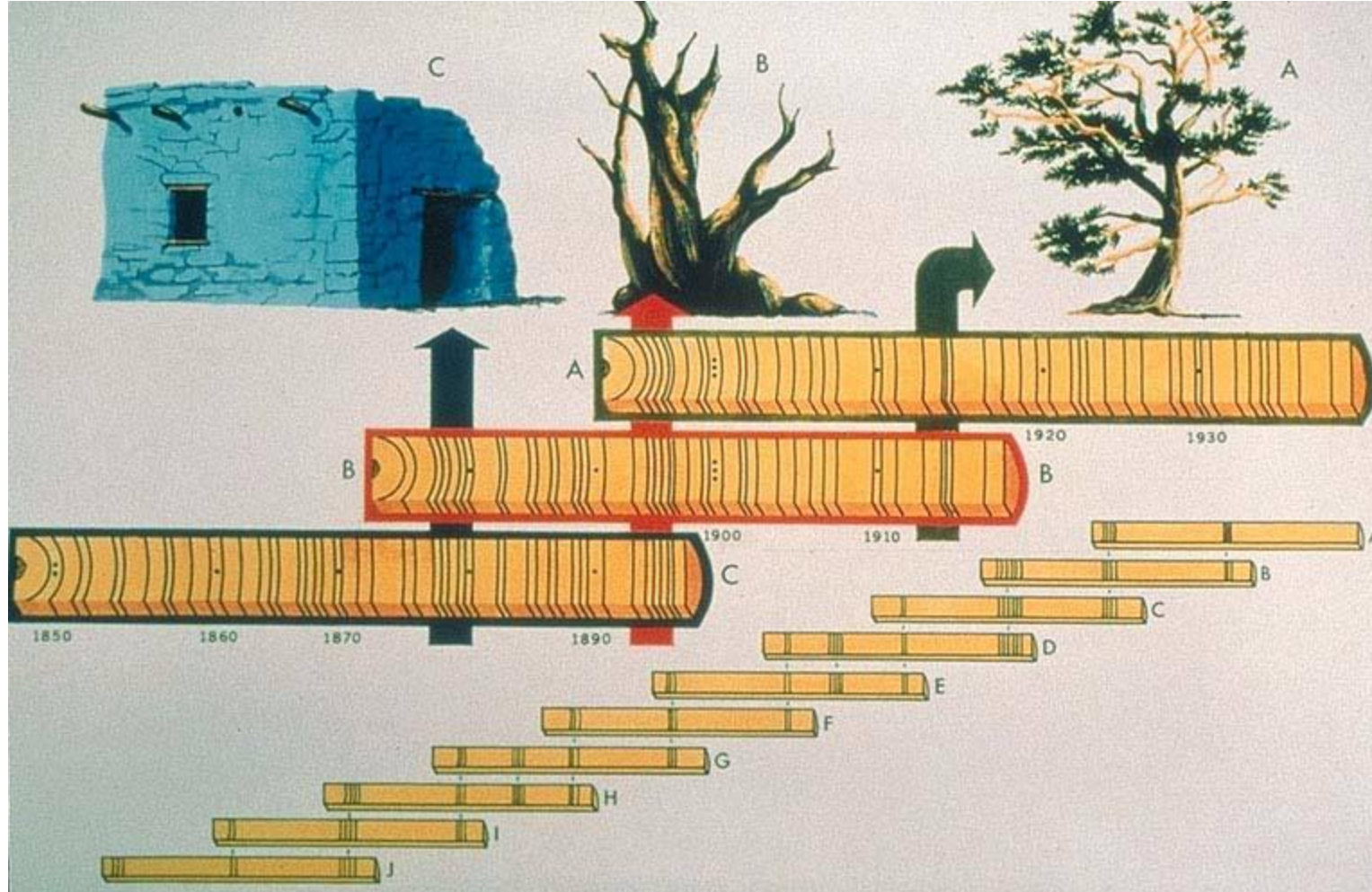
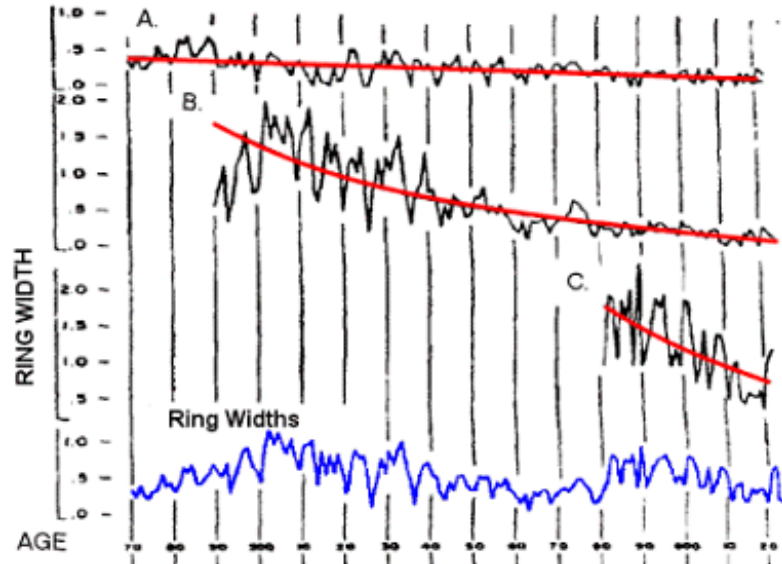
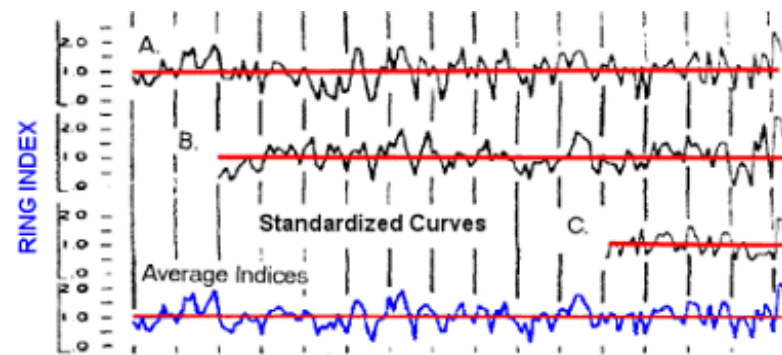
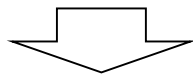


Image courtesy of LTRR (U. AZ)

Rimozione del trend dalla serie di larghezza degli anelli



Prima della rimozione del trend



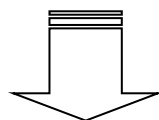
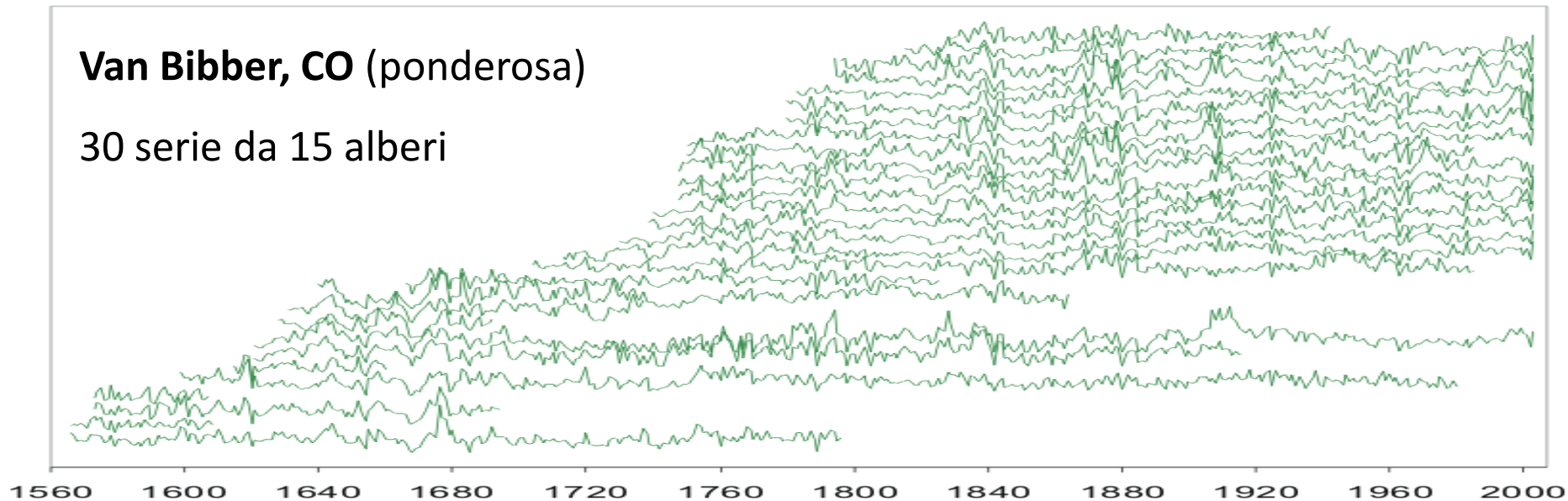
Dopo la rimozione del trend

- Le serie di larghezza dell'anello hanno in genere una tendenza al declino con il tempo a causa della geometria dell'albero
- Si tratta di rumore a bassa frequenza (cioè non climatico)
- Le serie di larghezza degli anelli vengono sottoposte a detrending con funzioni lineari, esponenziali o spline
- Queste serie standardizzate sono messe in relazione con la cronologia del sito

Costruzione dell'indice climatico

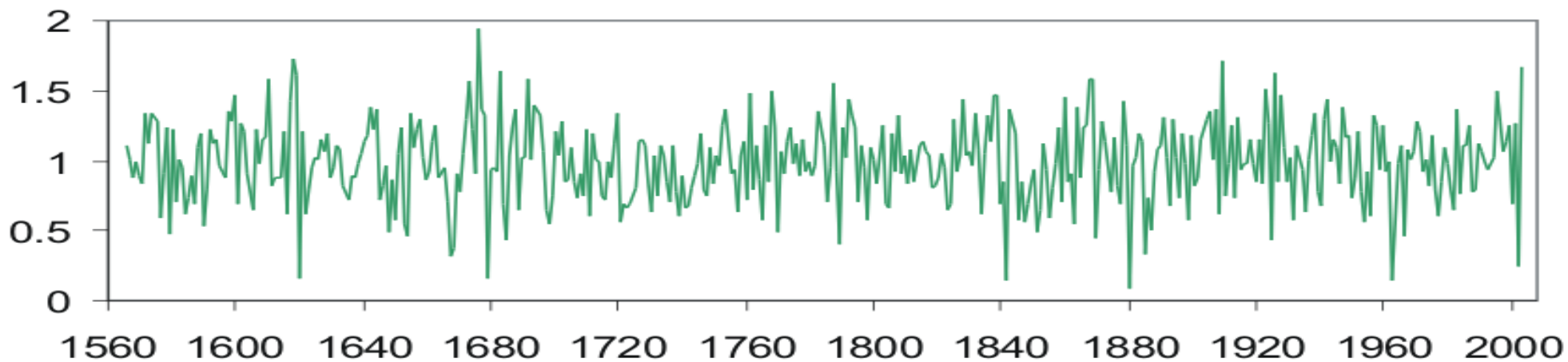
Van Bibber, CO (ponderosa)

30 serie da 15 alberi

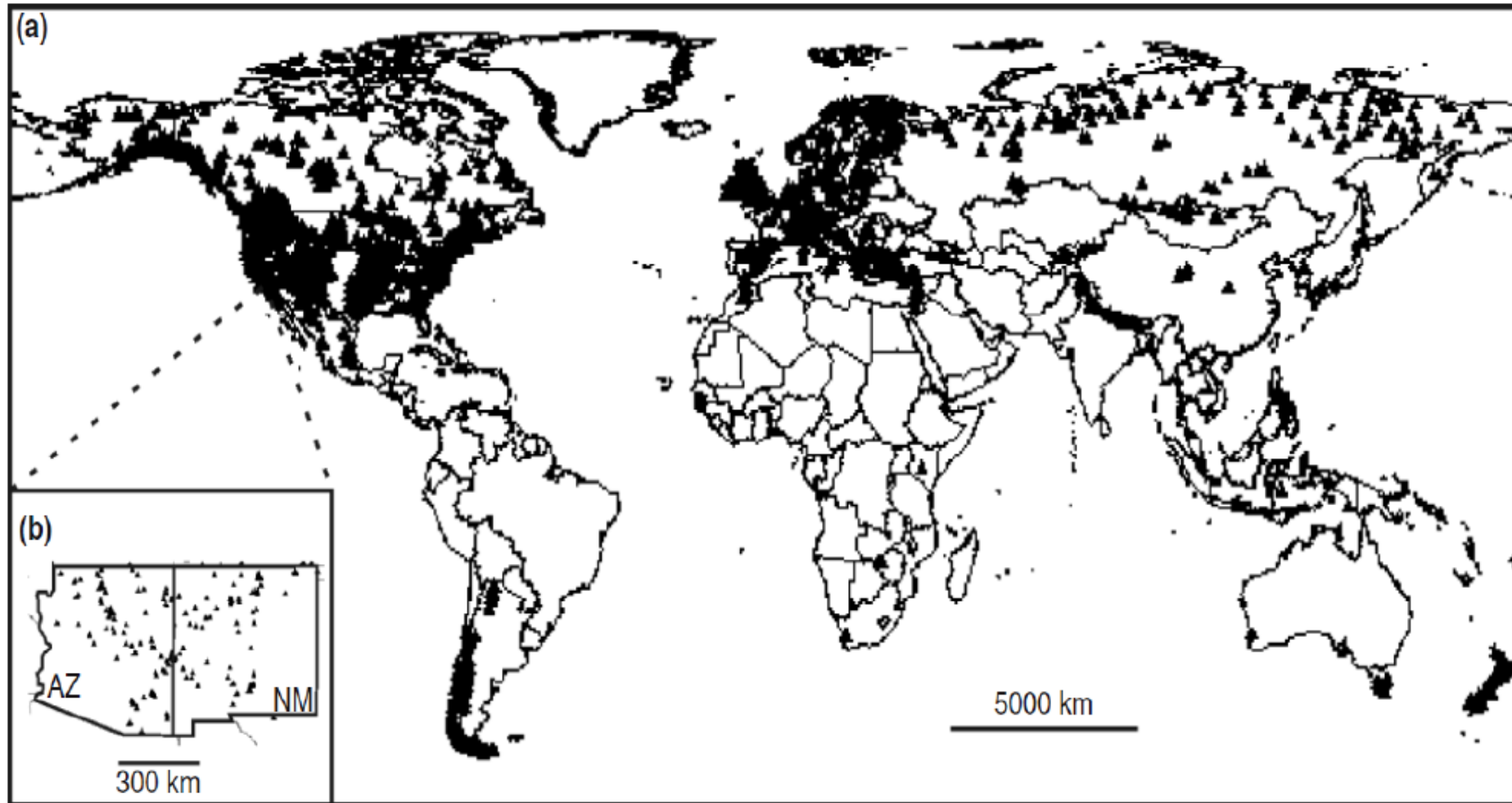


Media robusta

Indice di larghezza
degli anelli



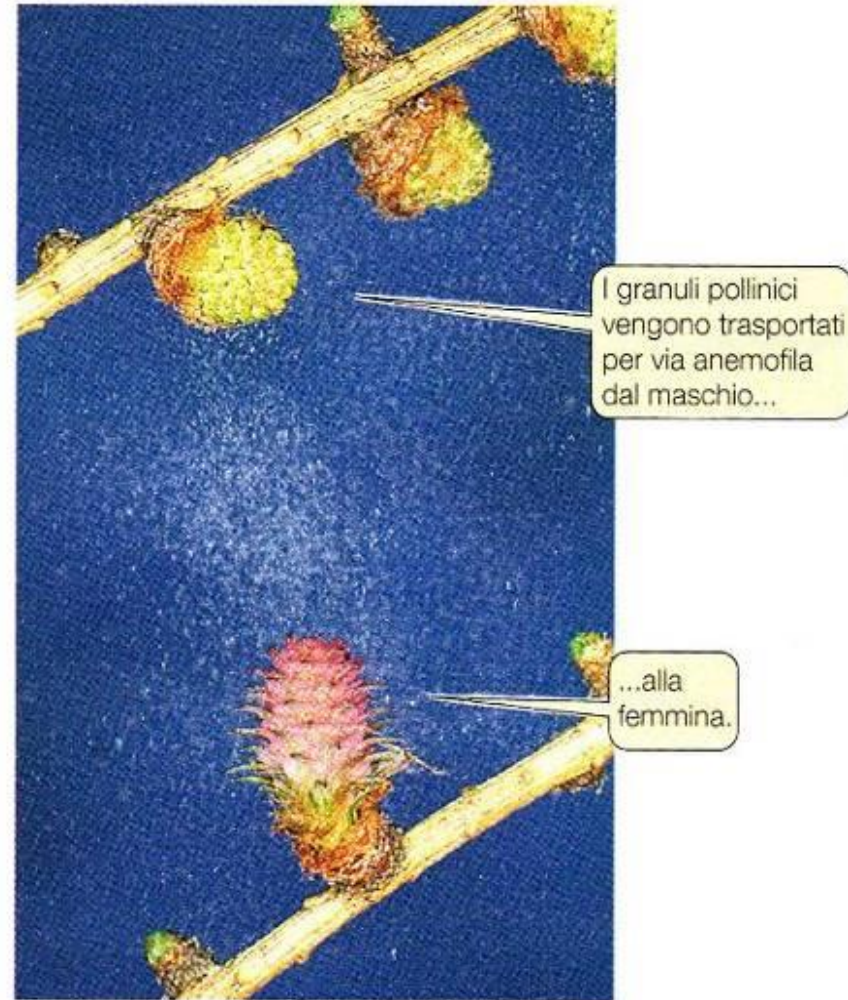
La mappa dei siti di dendrocronologia



Tree ring analysis can be coupled $\delta^{18}\text{O}$ isotope fractionation analysis for climate studies and with ^{14}C dating techniques to establish or verify the chronology!

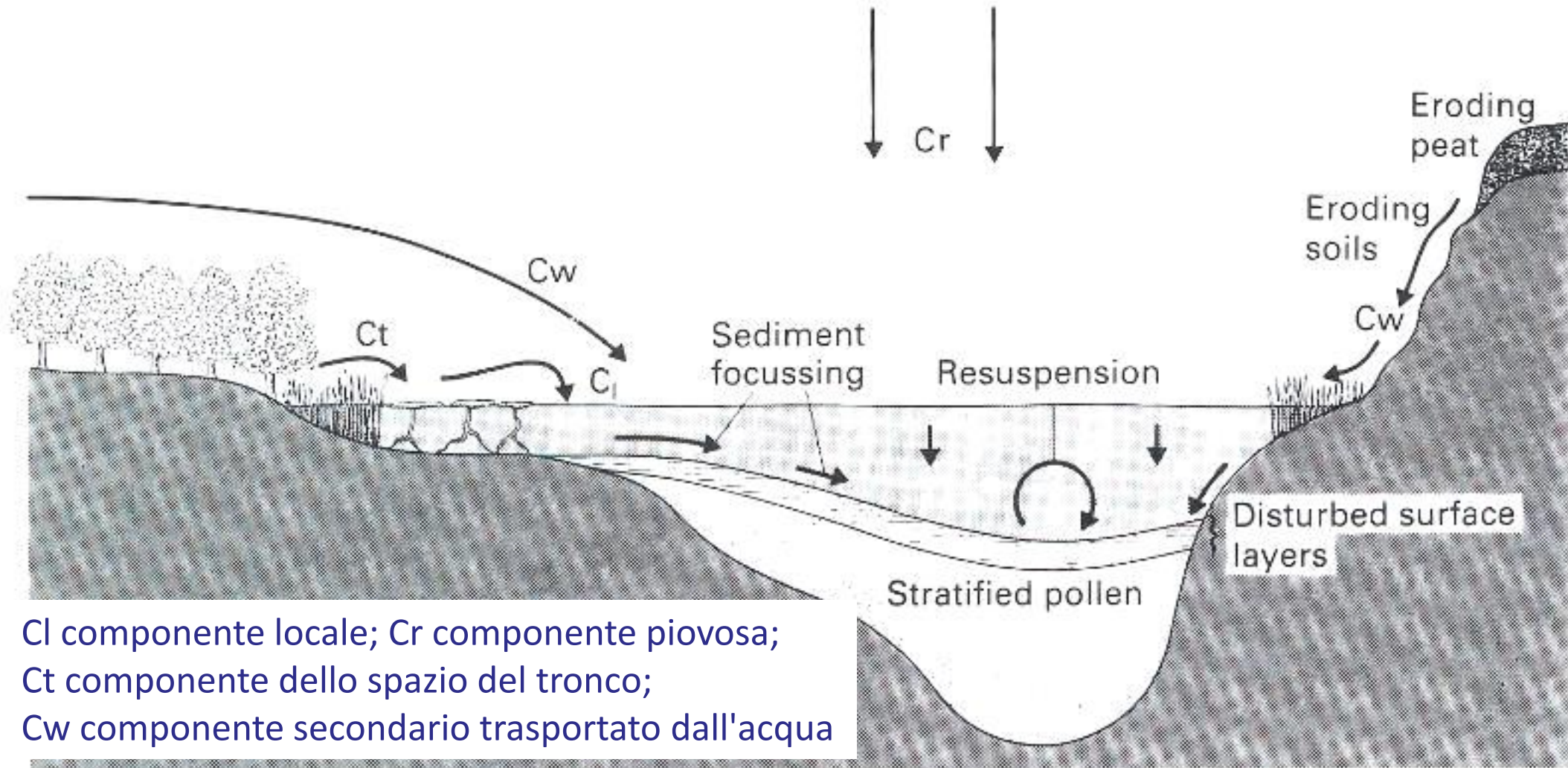
Pollini

- I grani di polline vengono rilasciati nell'aria a causa della rottura del contenitore del polline e vengono spostati passivamente dal vento verso gli organi femminili (dispersione anemofila)



Le gimnosperme presentano impollinazione anemofila. Per questa specie, i grani di polline costituiscono i gametofiti maschili

Pollini



Torbiera

Torbiera di Forno
(Baceno- Verbano Cusio Ossola)



Torbiera del Lago delle Streghe
(Baceno- Verbano Cusio Ossola)



Carotaggi nelle torbiere



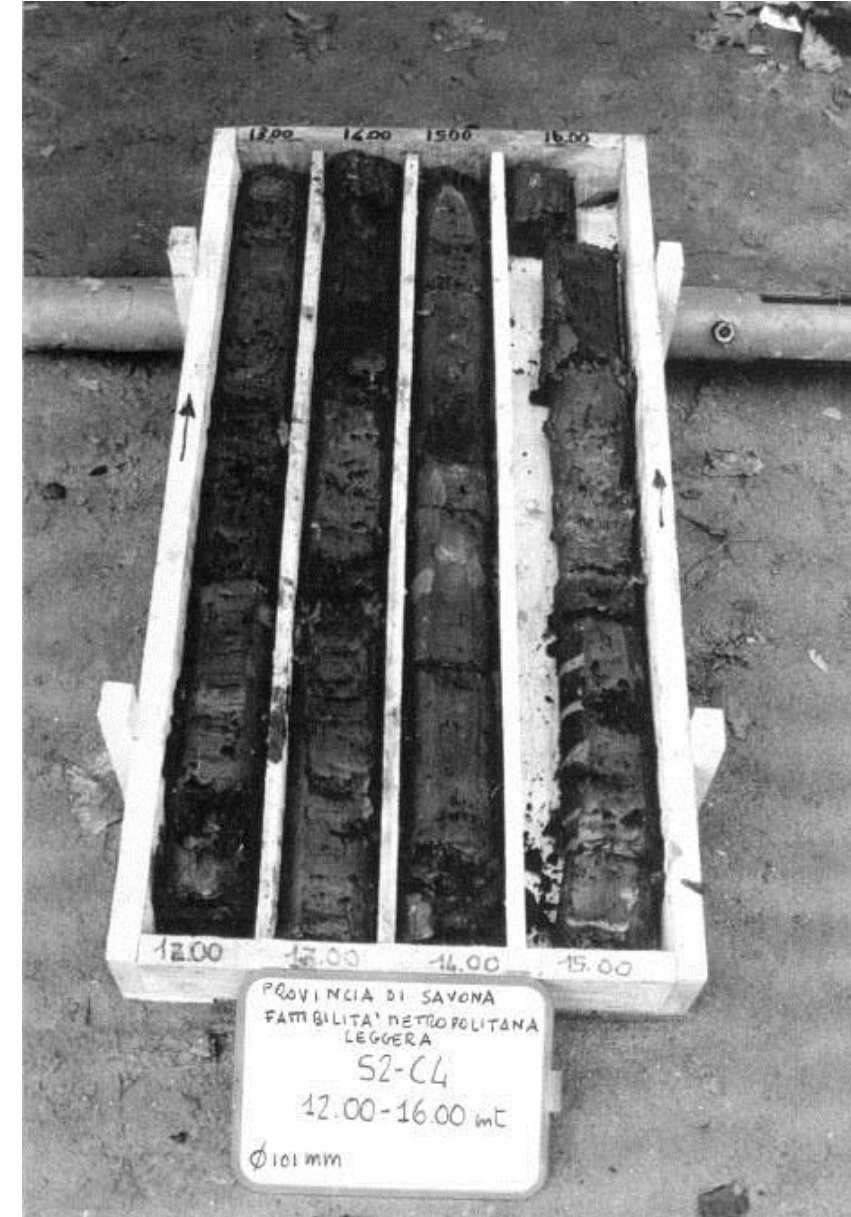
Lago Falin



Carotatore manuale, tipo russo



Torbiere La Coche, Valle di Susa



Conservazione di un nucleo sedimentario indisturbato

Profili pollinici

