



**Area Previsione e Monitoraggio Ambientale**

**Torino, 20-9-2006**

# **Definizione di Sistema Climatico** **(atmosfera, idrosfera, biosfera, criosfera, litosfera)**



**Corso-Laboratorio di Educazione Ambientale**

**Modulo "Il Cambiamento Climatico"**

**Dott. Giovanni Paesano**



## Che cos'è il clima

*Per capire i cambiamenti climatici è necessario innanzitutto capire che cos'è il clima e come funziona il “sistema climatico”.*

*Il sistema climatico è un insieme di sottosistemi concatenati tra di loro attraverso complessi scambi di energia e materia.*

*Solo partendo dalla conoscenza di questo “sistema climatico”, sarà possibile investigare sui cambiamenti climatici.*



## Clima e Tempo meteorologico

- **Tempo (weather):** stato istantaneo dell'atmosfera, descritto in termini di alcune variabili quali temperatura, umidità, nuvolosità, precipitazione, velocità e direzione del vento.

Ha una dinamica giornaliera o di medio-breve periodo. Le previsioni meteorologiche hanno un'affidabilità che decresce significativamente dopo 5 giorni.

- **Clima:** l'insieme delle condizioni medie del tempo di certe località, rispetto ad uno specifico intervallo temporale che è più lungo di quello del tempo meteorologico. In termini strettamente fisici si tratta di ***un aggregato medio degli stati interni di un sistema, associati con misure della sua variabilità per un determinato intervallo temporale e con la descrizione delle interazioni che intercorrono con l'esterno*** (Peixoto e Oort, 1984).

Ha una variabilità temporale e geografica molto più ampia, che deve essere valutata insieme ai fattori che lo governano.



## Clima e Tempo meteorologico

- **Tempo (weather)**: per una previsione meteorologica, si parte da uno stato iniziale (misura dei dati osservati al presente) e, trascurando le condizioni al contorno (ad es. se siamo in Estate o in Inverno?!), le equazioni diranno come il sistema evolverà nei giorni successivi,

*ad es. dove andrà domani il sistema nuvoloso che oggi è presente al largo delle coste atlantiche del Portogallo?*

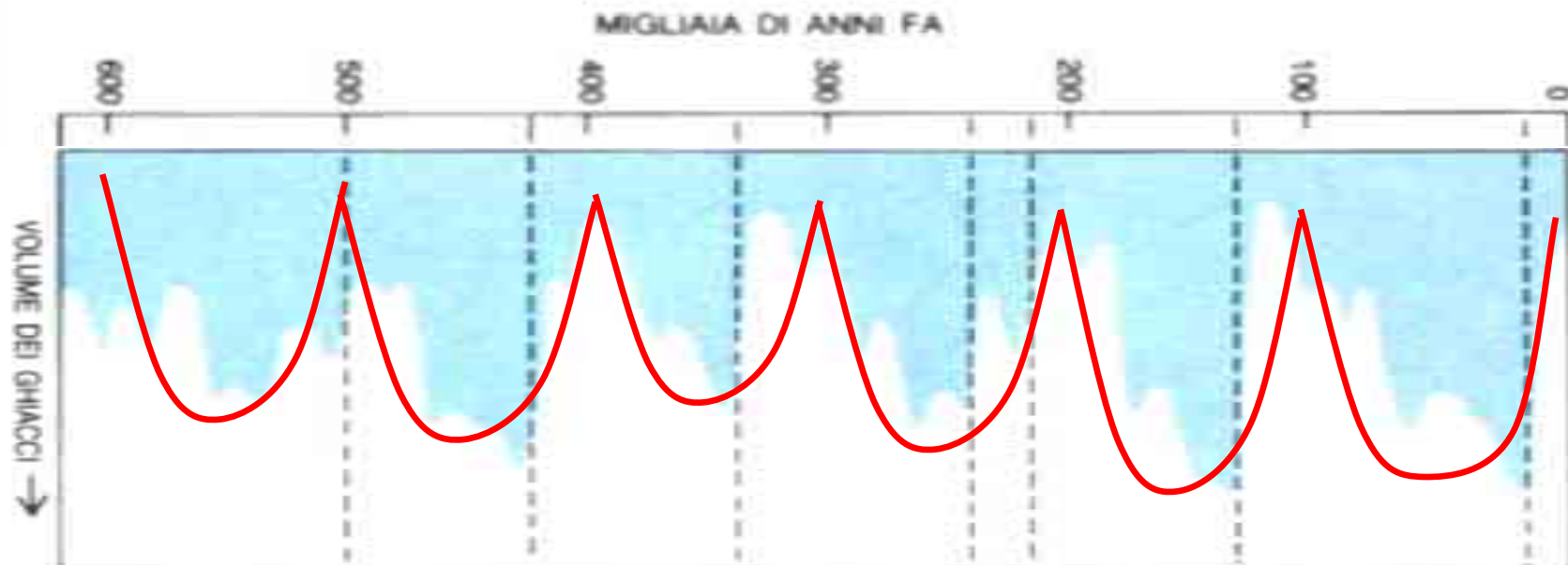




## Clima e Tempo meteorologico

- **Clima:** per una previsione climatologica, si guarda uno stato medio su un lungo periodo (NON una semplice misura dei dati osservati solo oggi!) e si considerano le condizioni al contorno.

*Ad es. per studiare il clima terrestre degli ultimi 1'000 anni, considererò lo stato dei ghiacci terrestri costante, come una condizione al contorno stabile, visto che l'intervallo delle glaciazioni è molto più lungo (circa 100'000 anni e l'ultima glaciazione è datata circa 14'000-15'000 anni fa)*





# Sistema Climatico

## CLIMA TERRESTRE

- **ATMOSFERA:** lo strato di gas che circonda la superficie terrestre.
- **IDROSFERA:** l'insieme di tutta l'acqua allo stato liquido che si trova sulla terra (oceani, mari, laghi, fiumi e acqua sotterranea).
- **BIOSFERA:** la totalità degli esseri viventi presenti sulla Terra, compreso l'uomo e la materia organica non ancora decomposta.
- **CRIOSFERA:** tutte le masse di ghiaccio e gli accumuli di neve della Terra.
- **LITOSFERA:** tutte le terre emerse, più il fondo degli oceani e i primi strati dell'interno del pianeta.

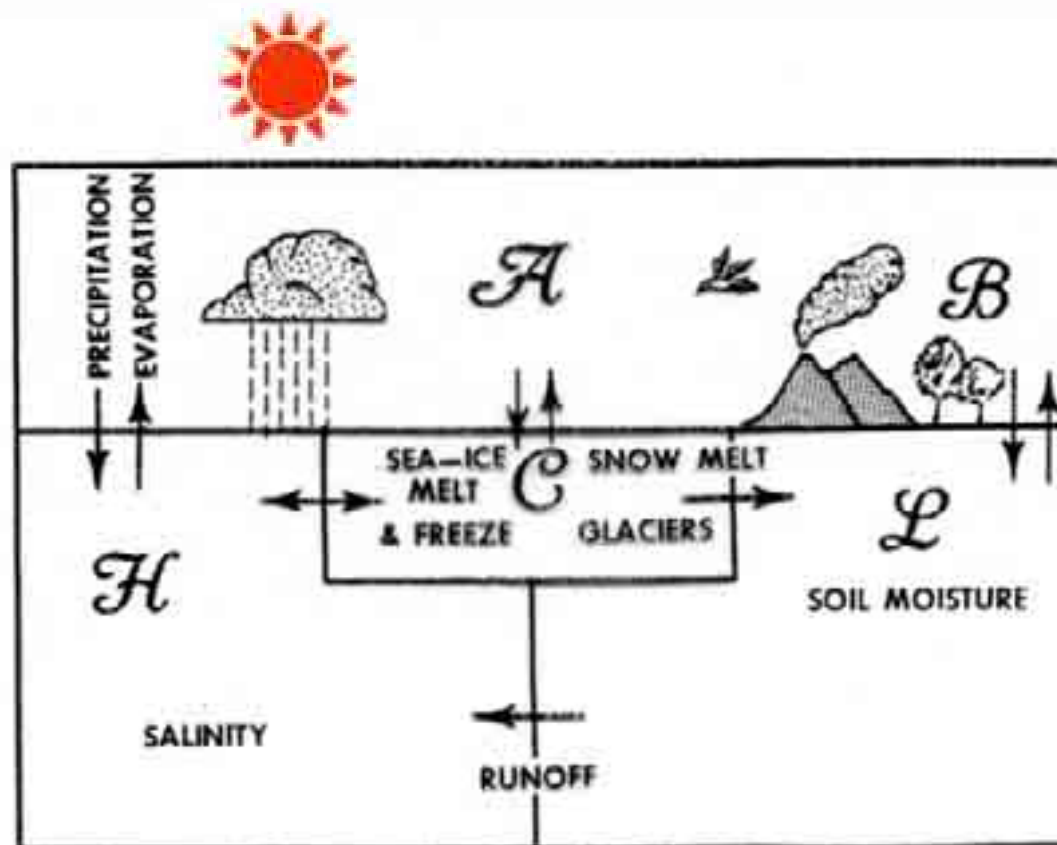




## Sistema Climatico

### CLIMA TERRESTRE

- A: ATMOSFERA
- H: IDROSFERA
- B: BIOSFERA
- C: CRIOSFERA
- L: LITOSFERA

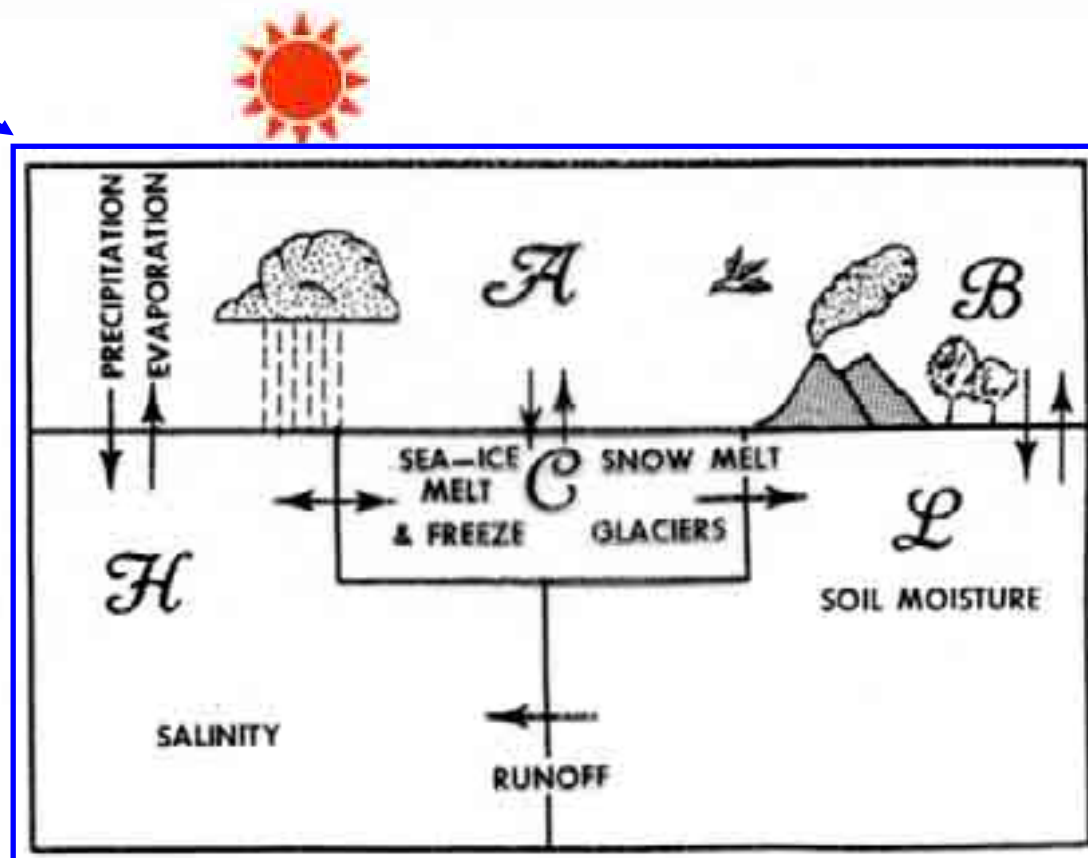




## Sistema Climatico

Sistema chiuso con l'esterno (con lo spazio interstellare) per scambio di materia,

ma aperto per scambio di *energia* (con la radiazione solare).

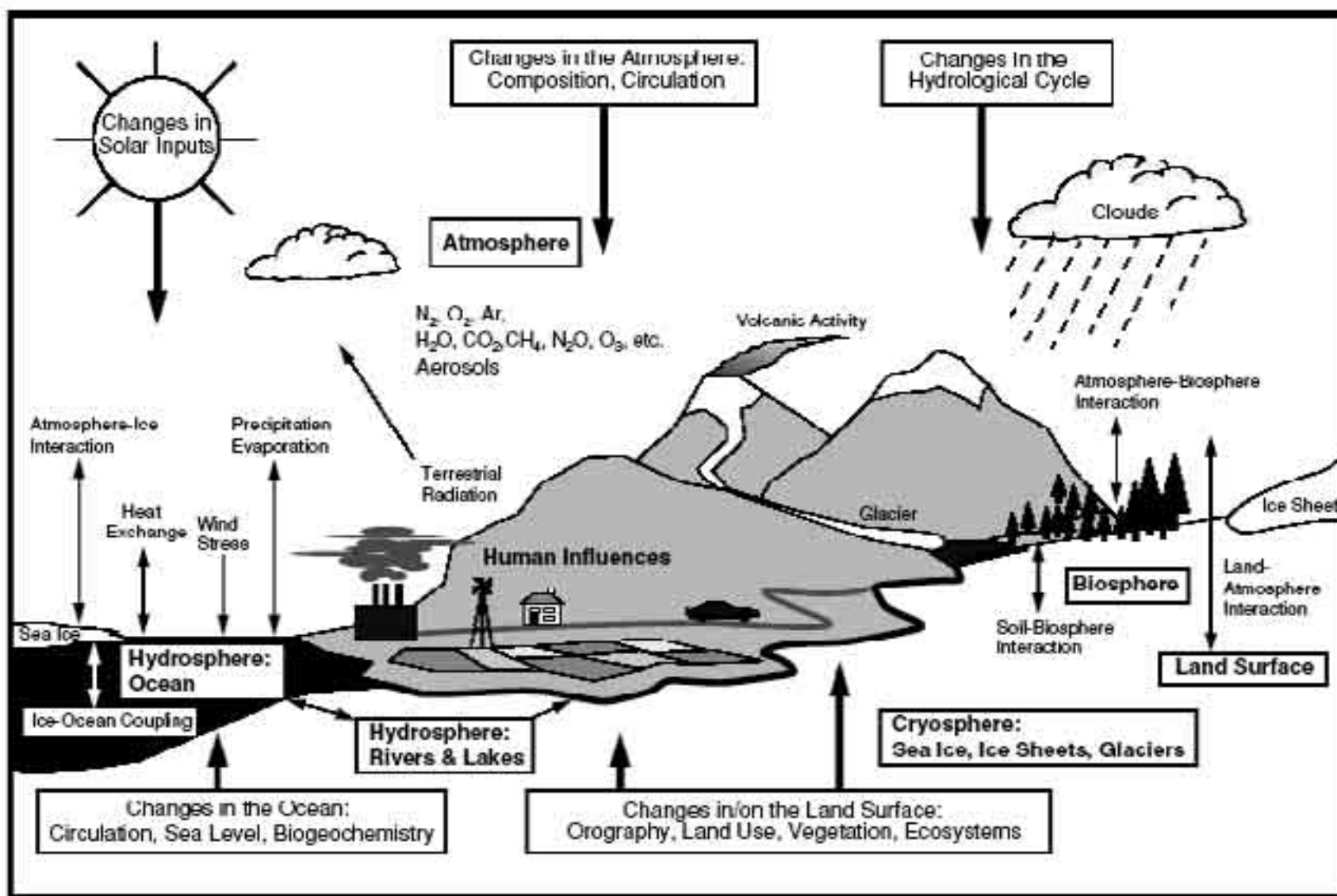








## Sistema Climatico





## Cicli positivi

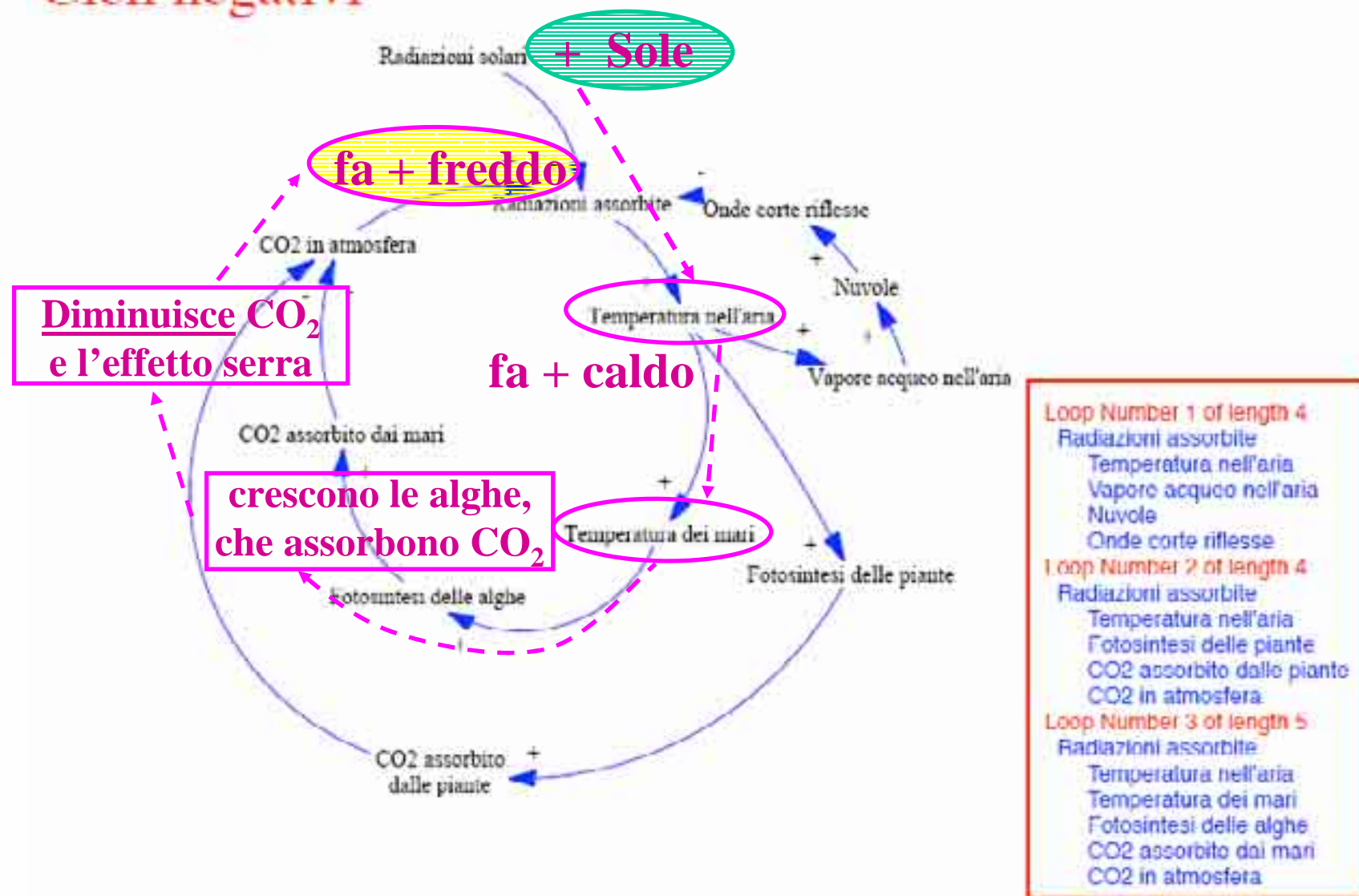
meno Sole



- Loop Number 1 of length 3**
- Radiazioni assorbite
  - Temperatura nell'aria
  - Vapore acqueo nell'aria
  - Onde lunghe assorbite dal vapore acqueo
- Loop Number 2 of length 3**
- Radiazioni assorbite
  - Temperatura nell'aria
  - Ghiacci perenni
  - Radiazioni riflesse dai ghiacci
- Loop Number 3 of length 4**
- Radiazioni assorbite
  - Temperatura nell'aria
  - Ghiacci perenni
  - CH4 nel Ghiaccio
  - CH4 nell'atmosfera



## Cicli negativi



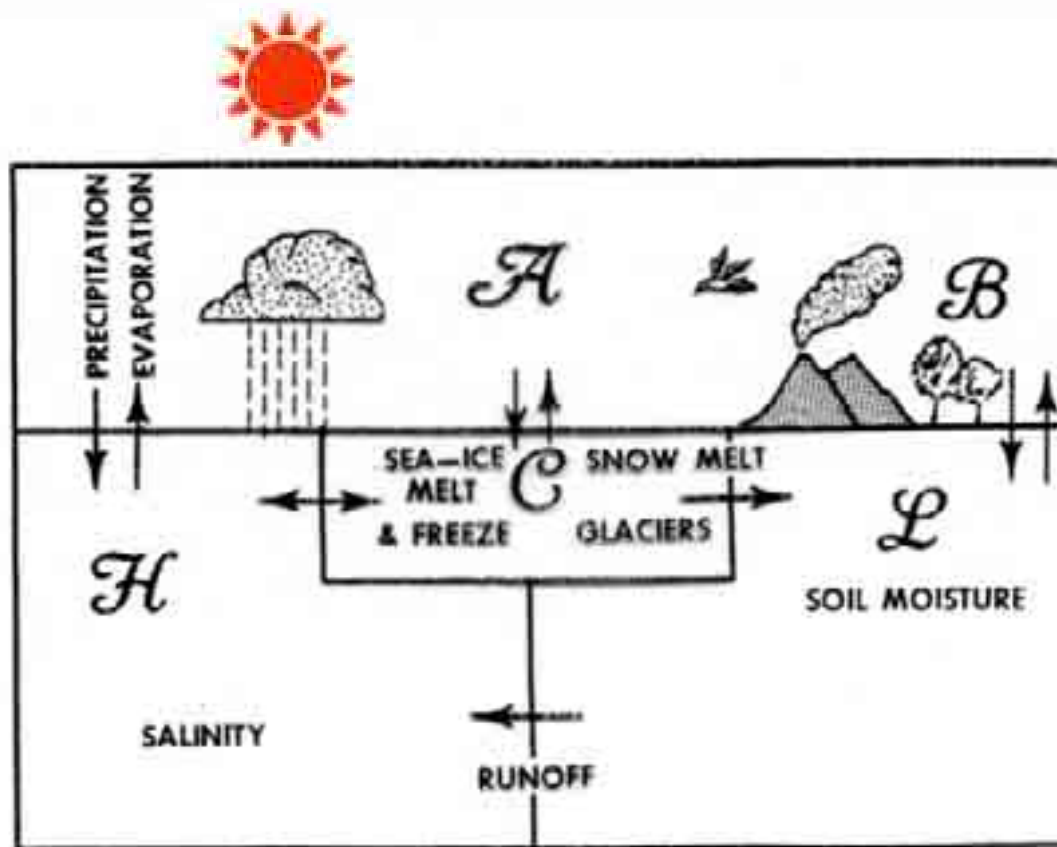




## Sistema Climatico: l'Atmosfera

CLIMA TERRESTRE

- **A: ATMOSFERA**
- H: IDROSFERA
- B: BIOSFERA
- C: CRIOSFERA
- L: LITOSFERA

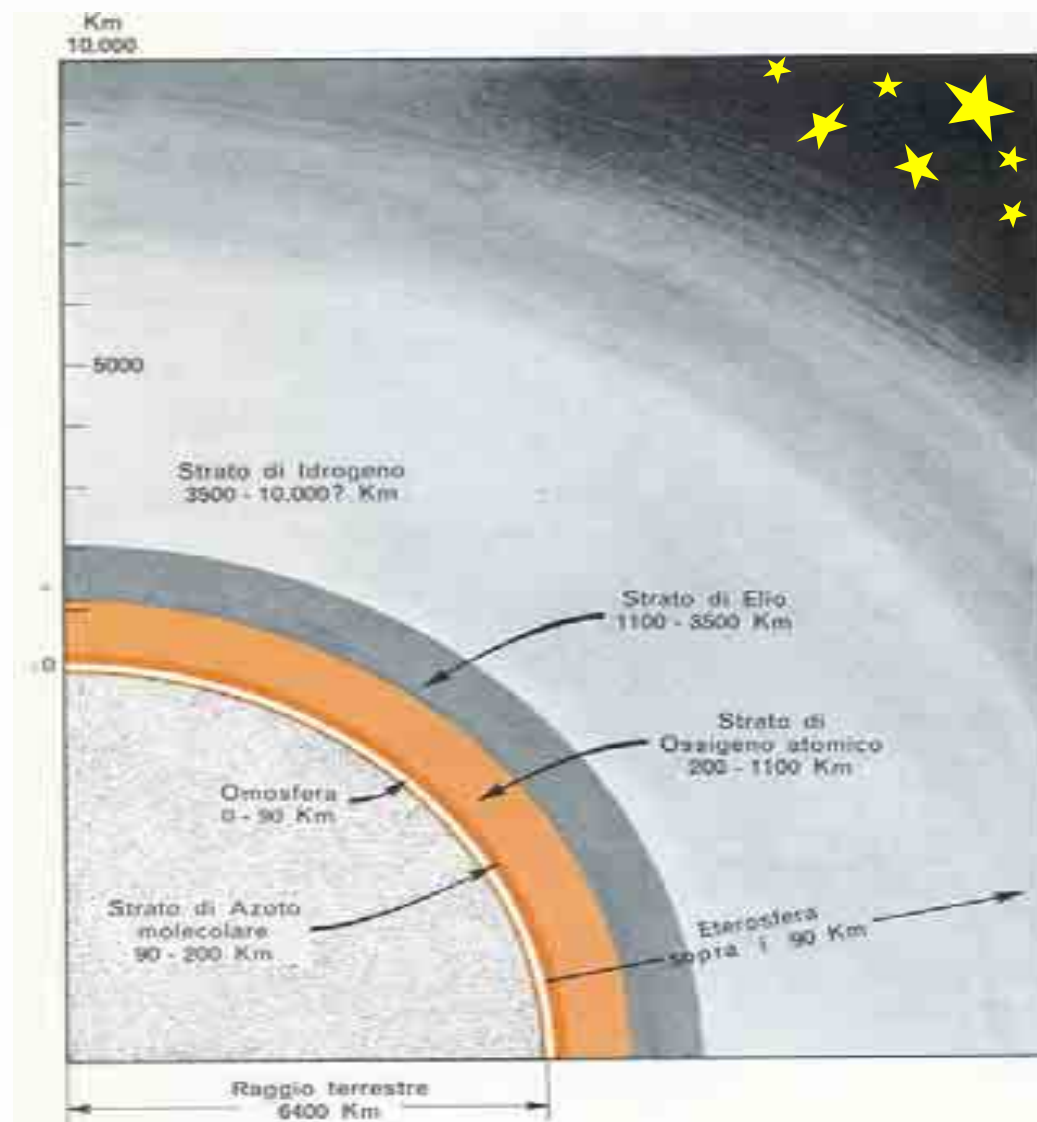




# Atmosfera

## Quanto è alto il cielo sopra le nostre teste?

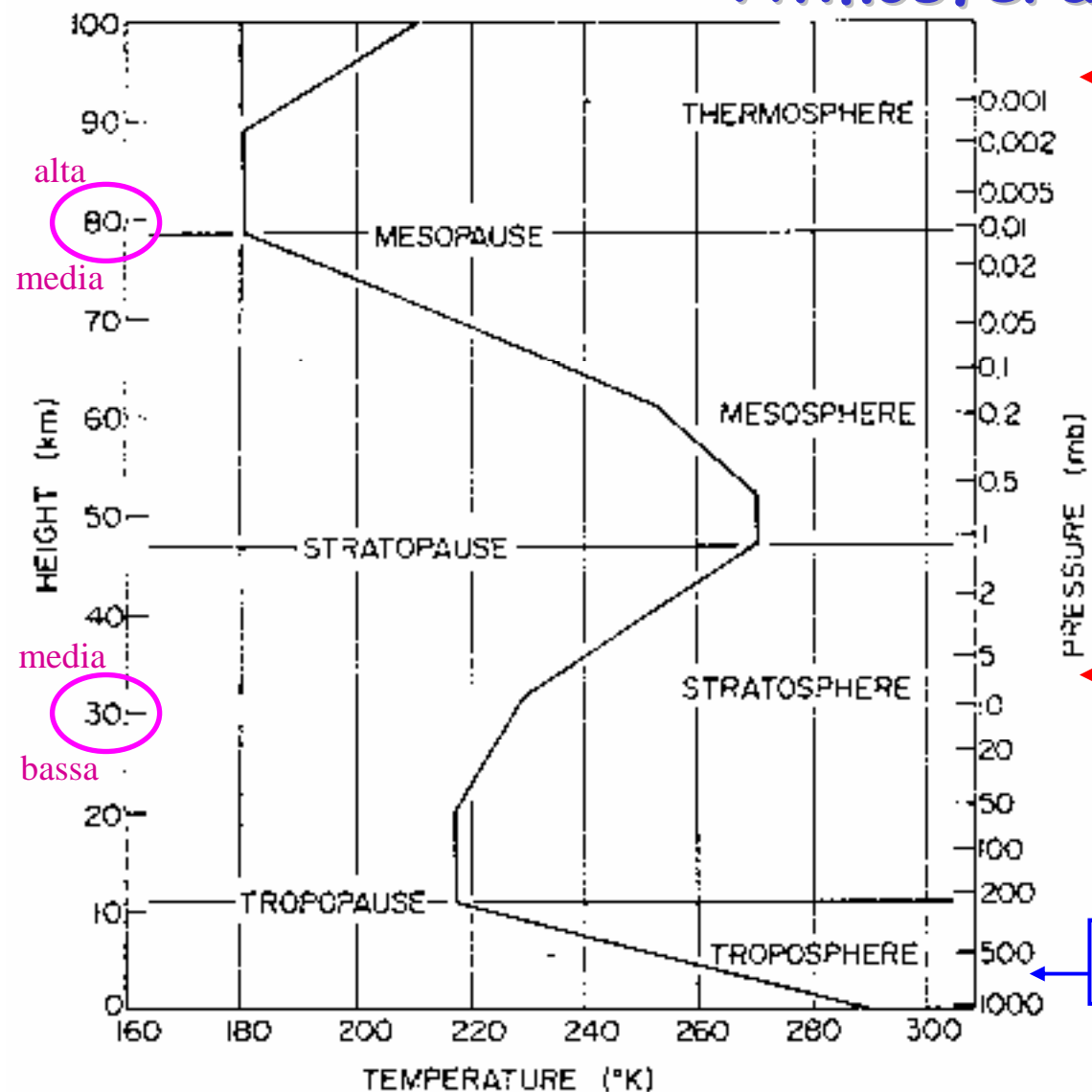
Ecco uno spaccato della nostra atmosfera:  
la parte che ci interessa, ovvero dove accadono tutti i fenomeni meteorologici (*troposfera*), è così sottile, rispetto all'intera atmosfera, che praticamente non si vede, perché ha uno spessore piccolissimo: circa 10 Km.







# Atmosfera



la temperatura torna a salire per l'assorbimento della radiazione solare da parte dell'ossigeno

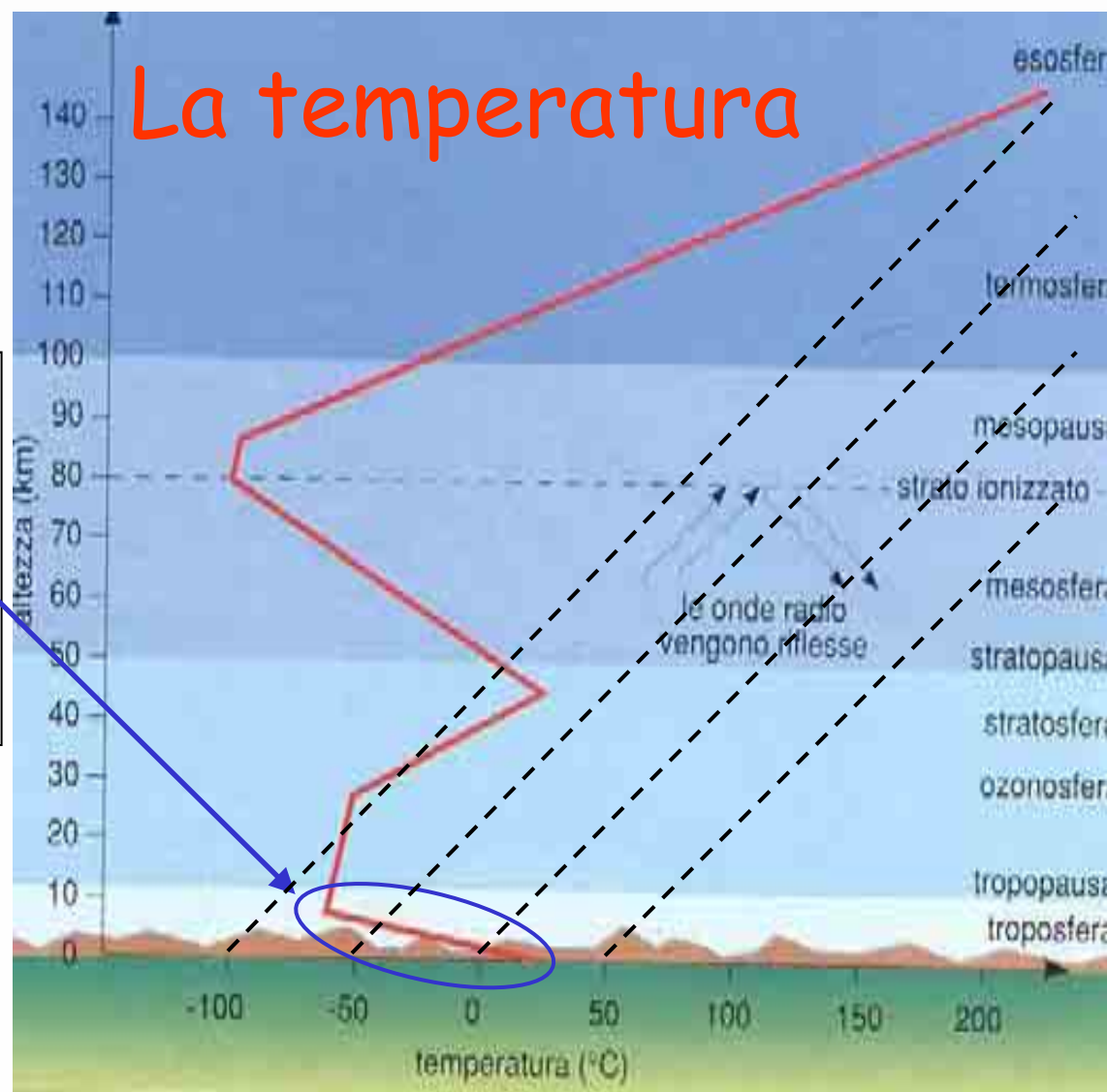
la temperatura sale per l'assorbimento della radiazione solare da parte dell'ozono stratosferico

la temperatura diminuisce di  $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$



## Atmosfera

La temperatura dell'aria  
**varia con la quota:**  
nei primi 10 Km (troposfera)  
**la temperatura diminuisce,**  
poi riprende a crescere  
in stratosfera.





# Atmosfera

Struttura verticale dell'atmosfera:

altitudine ↑	<b>Termosfera</b> (o ionosfera)	Situata ad oltre 80 km di altezza, contiene particelle di gas ionizzate o dissociate, è ionizzata e quasi completamente rarefatta
	<b>Mesosfera</b>	Raggiunge un'altezza di 45-50 km e la luce solare scinde le molecole
	<b>Stratosfera</b>	Si trova ad un'altezza di 30 km ed è caratterizzata dalla formazione e dall'accumulo di ozono
	<b>Troposfera</b>	Ha uno spessore di circa 10 km, caratterizzata dalla presenza degli organismi viventi e sede dei diversi fenomeni climatici e meteorologici, è caratterizzata dalla presenza di gran parte delle nuvole e da intensi moti d'aria



# Atmosfera

## Composizione chimica dell'atmosfera:

sotto la mesopausa  
la miscela di gas è costante;

tuttavia l'acqua è presente  
perlopiù nella troposfera,

mentre l'ozono passa da  
**0,02** p.p.m. in troposfera  
a **8** p.p.m. in stratosfera.

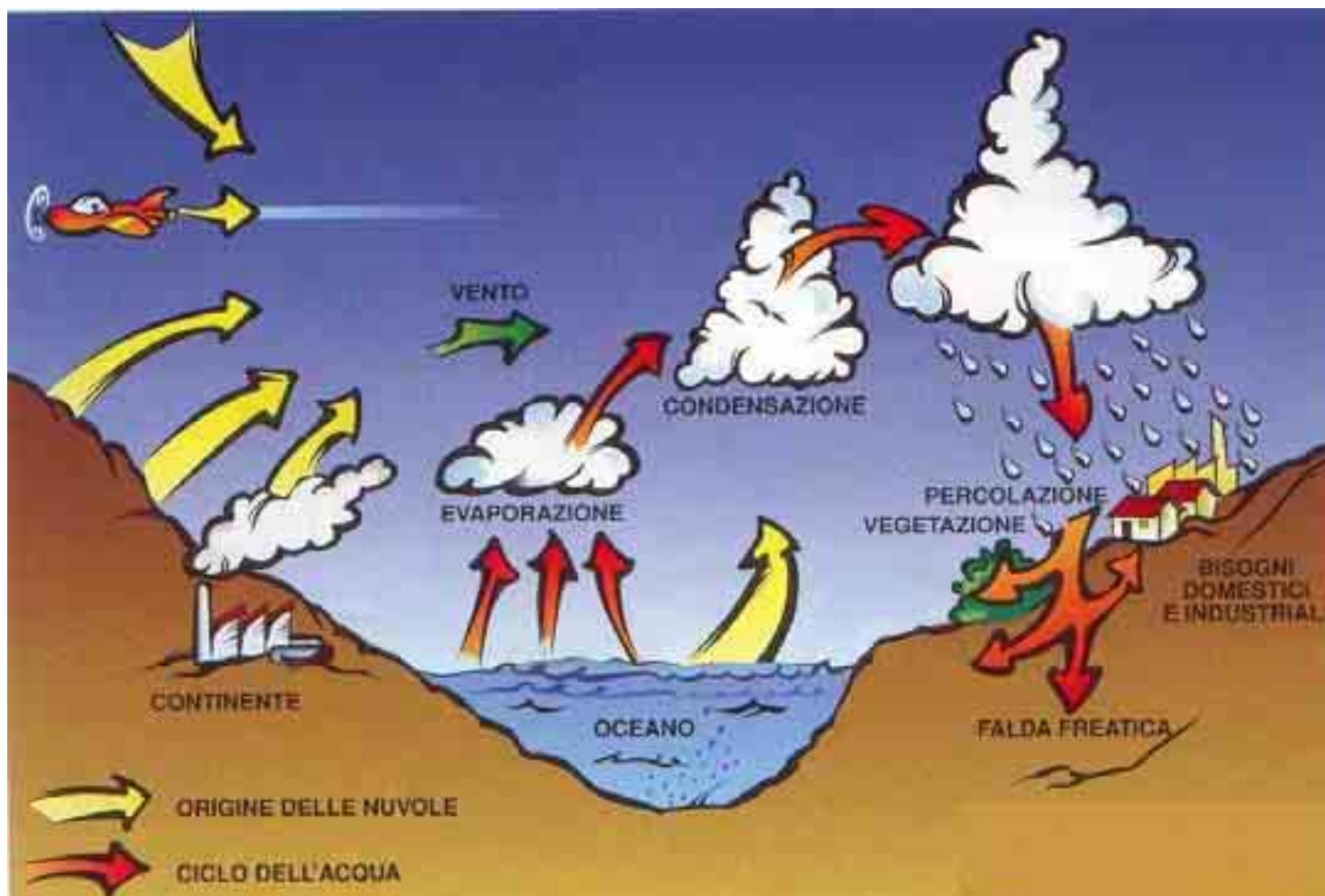
Gas permanenti	% volume
Azoto	78
Ossigeno	20.9
Argon	0.93
Anidride carbonica	0.03

Gas variabili	Quota
Ozono	25-70 km
Vapor d'acqua	Fino a 15 km
Pulviscolo	nei primi km



# Atmosfera

Il ciclo dell'acqua nell'atmosfera (le nuvole, la pioggia)







## Atmosfera

L'atmosfera è il sottosistema maggiormente variabile  
nel tempo e nello spazio

Regione	Dimensione	Tempi	Processi
Microscala	Da alcuni cm a qualche km	Da 1 sec a qualche ora	Fenomeni di natura turbolenta del PBL
Mesoscala	Da 1 a 1000 km	Da qualche ora ad 1 settimana	Processi legati ad influenza orografica e trasporto di energia da micro a macroscale
Macroscale (scala sinottica)	> 1000 km	> 1 settimana	Processi su scala continentale o planetaria

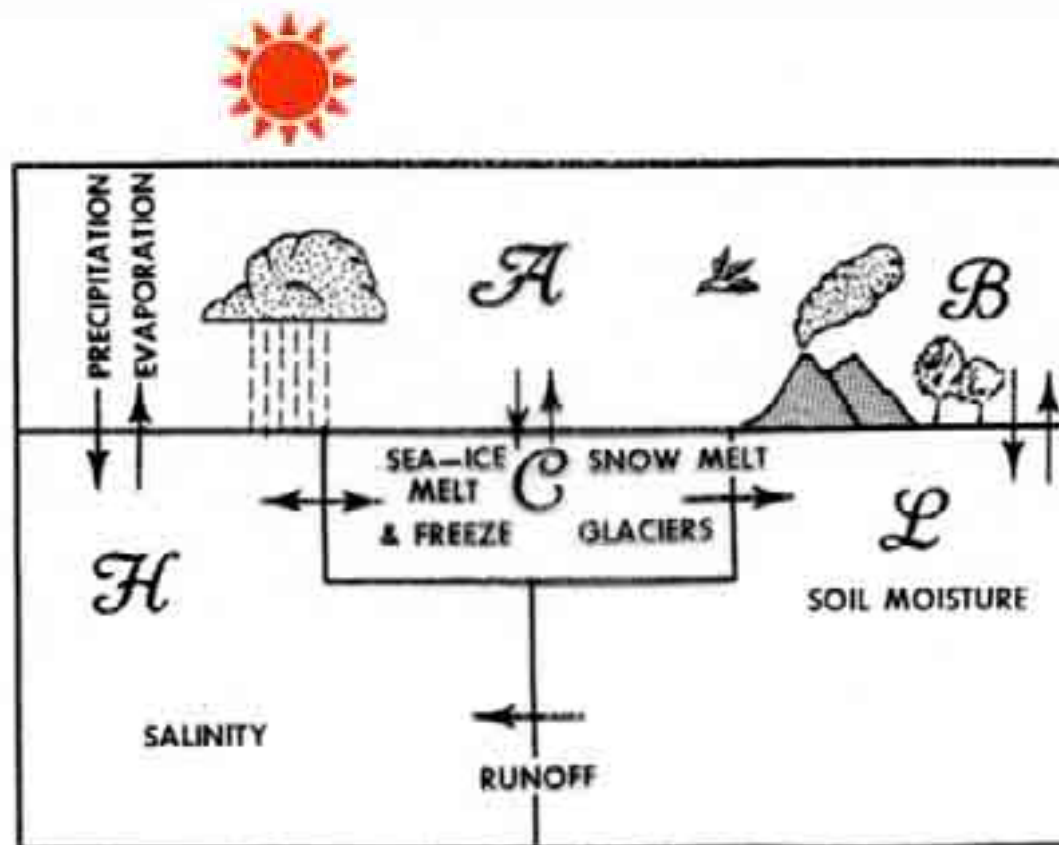




## Sistema Climatico: l'Idrosfera

CLIMA TERRESTRE

- A: ATMOSFERA
- **H: IDROSFERA**
- B: BIOSFERA
- C: CRIOSFERA
- L: LITOSFERA

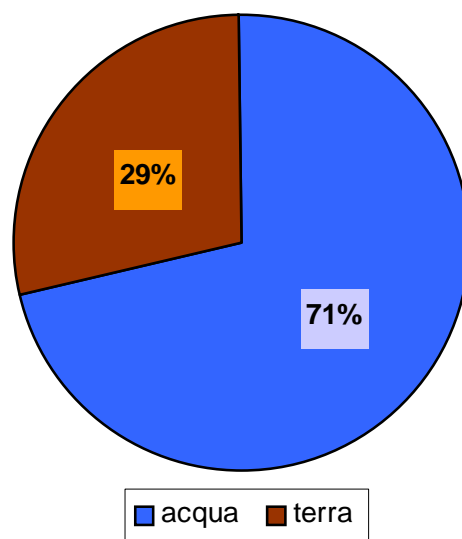




## Idrosfera

L'insieme di tutta l'acqua in fase liquida, che si trova sulla Terra, copre il 71% della superficie terrestre con:

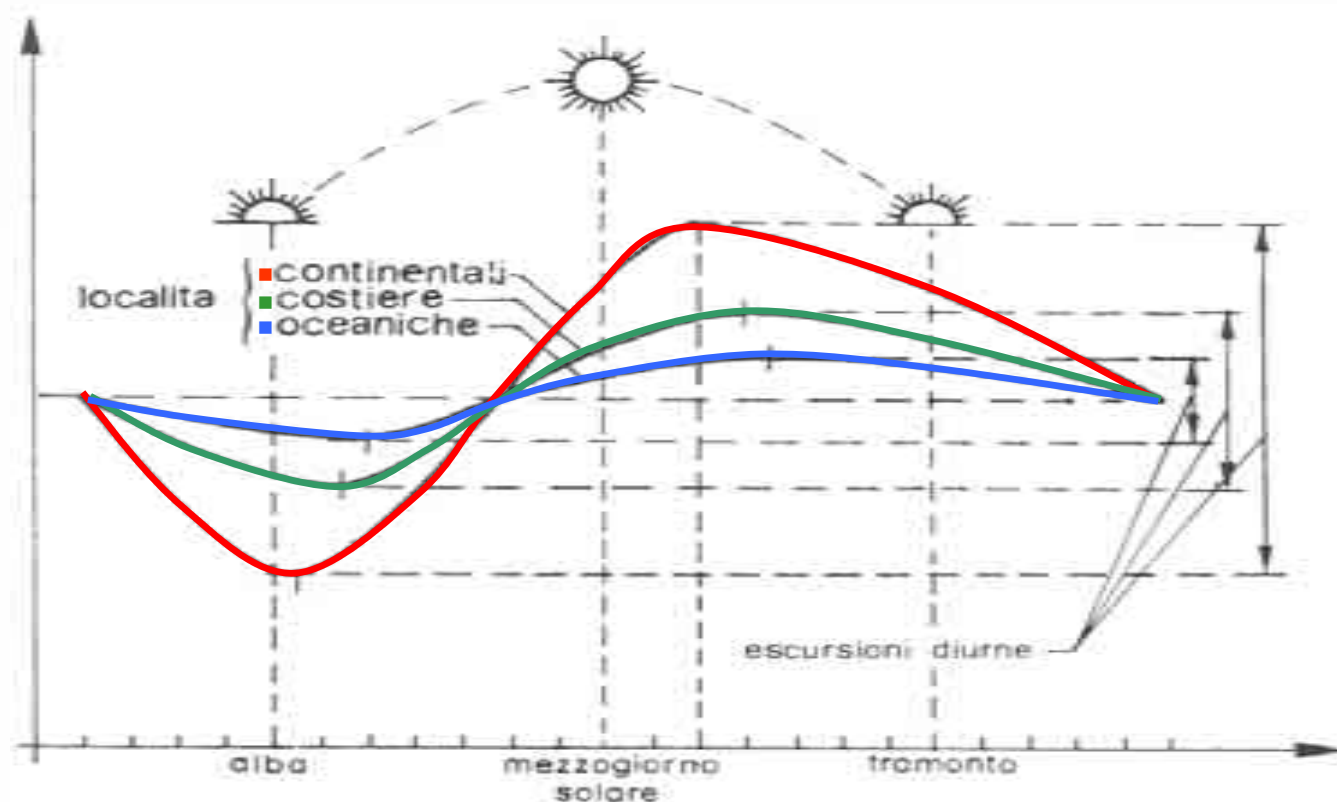
oceani, mari, laghi, fiumi e acqua sotterranea.





## Idrosfera

L'alta capacità termica dell'acqua (1,35 milioni di km<sup>3</sup> di oceani)  
agisce da regolatore della temperatura superficiale terrestre



**Variazione della temperatura nell'arco del giorno,  
in relazione al moto del sole, dipendendo dalla tipologia del luogo**

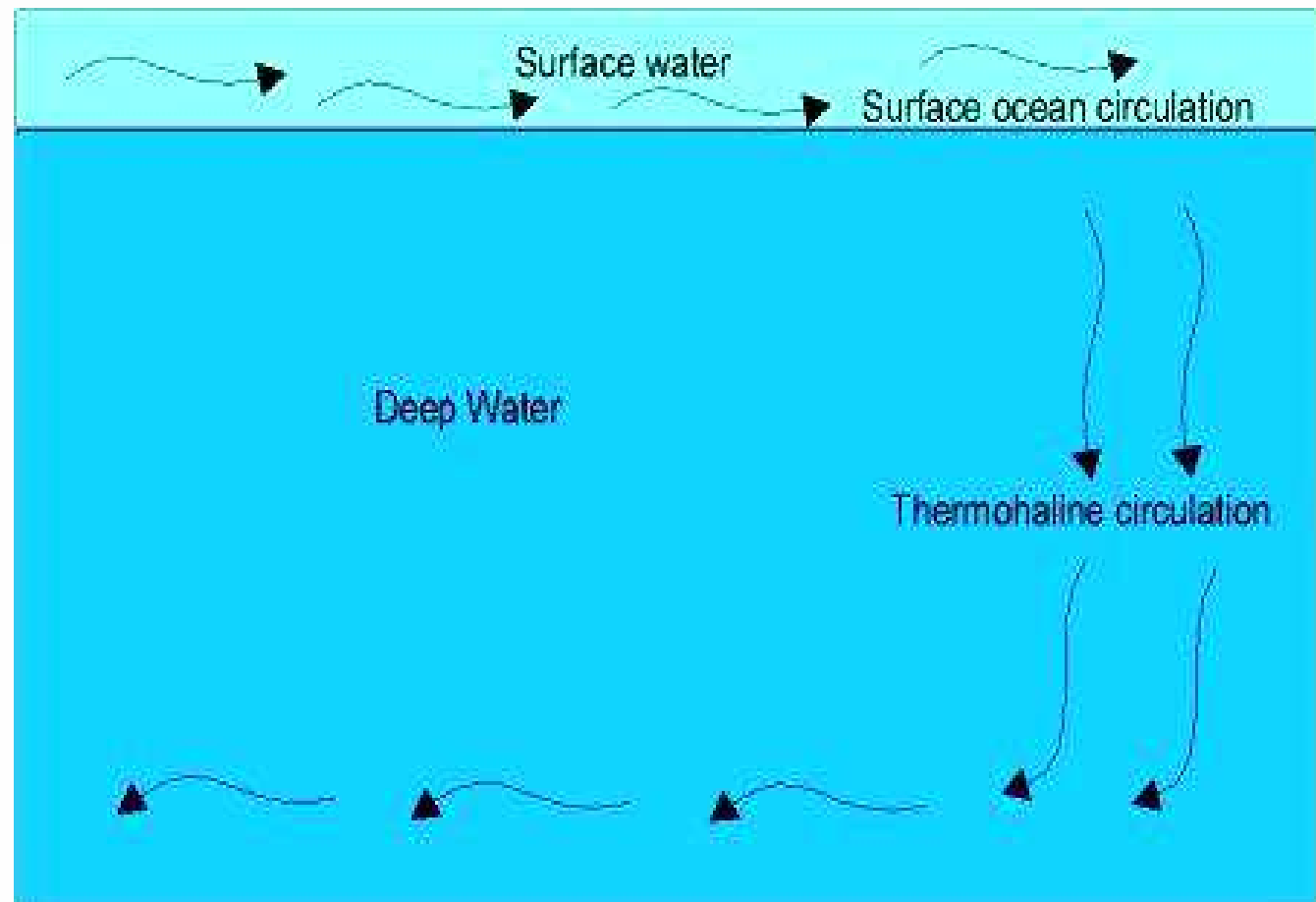


## Idrosfera

La circolazione (*materia*) e il trasferimento di calore (*energia*) negli oceani

Variabilità più  
veloce  
(settimane e  
mesi);

Variabilità più  
lenta  
(secoli o  
millenni).

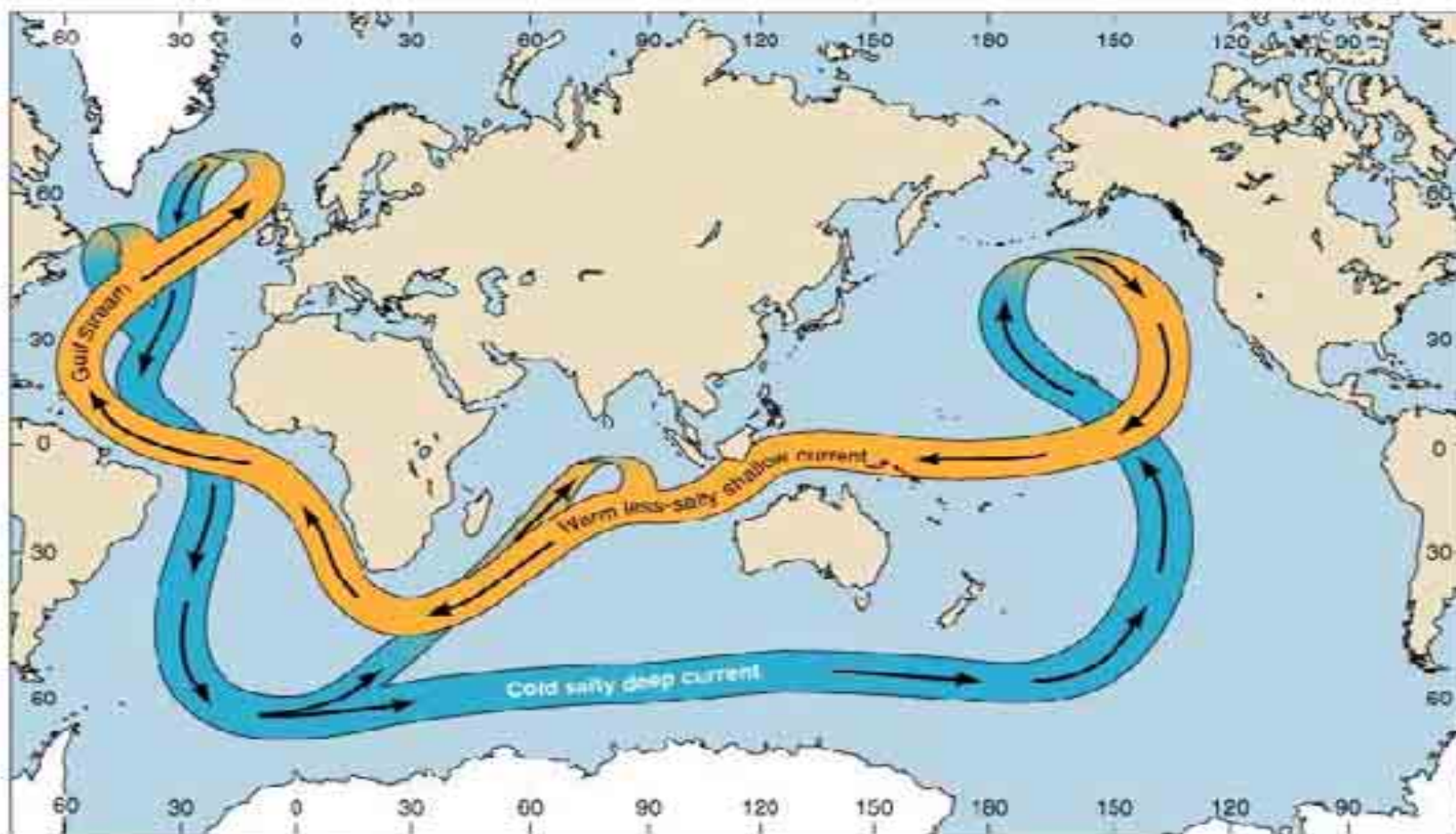






## Idrosfera

La circolazione (*materia*) e il trasferimento di calore (*energia*) negli oceani

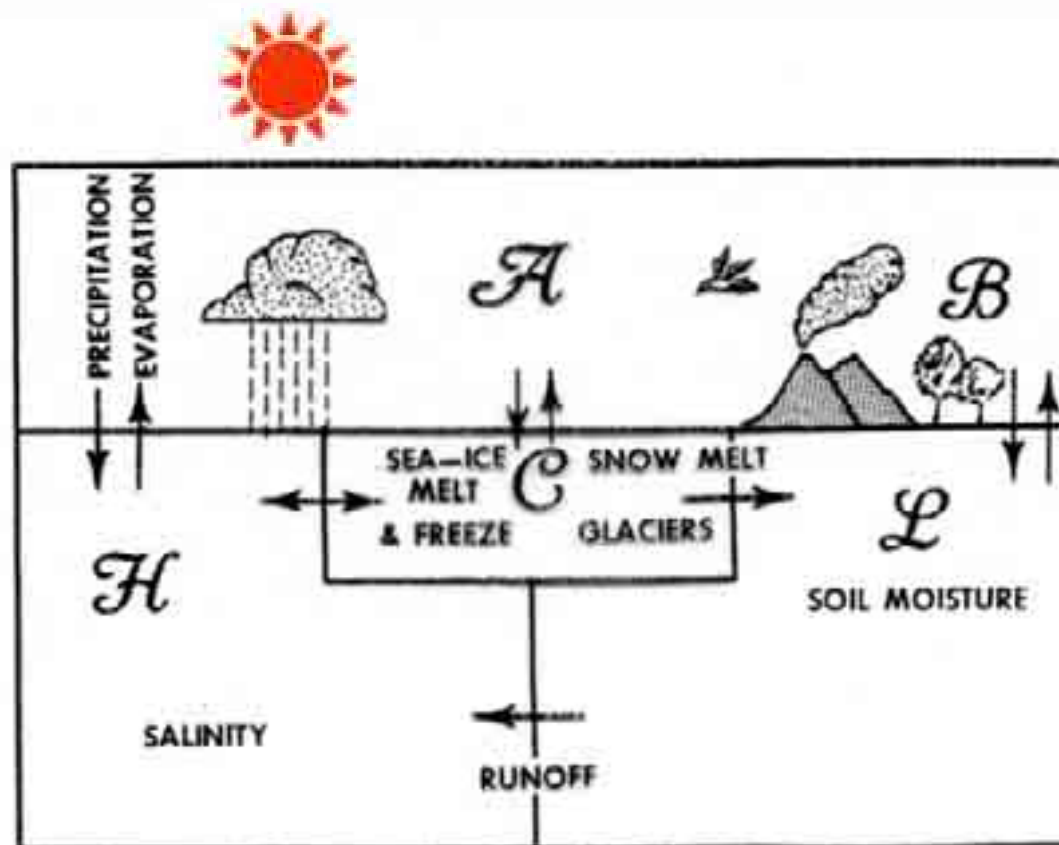
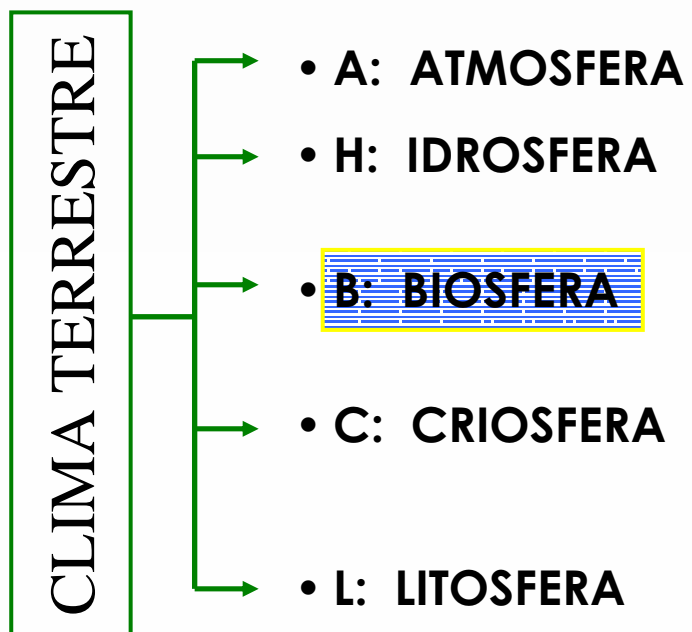


Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

**Durata del ciclo: 1'000 anni**



## Sistema Climatico: la Biosfera







## Biosfera

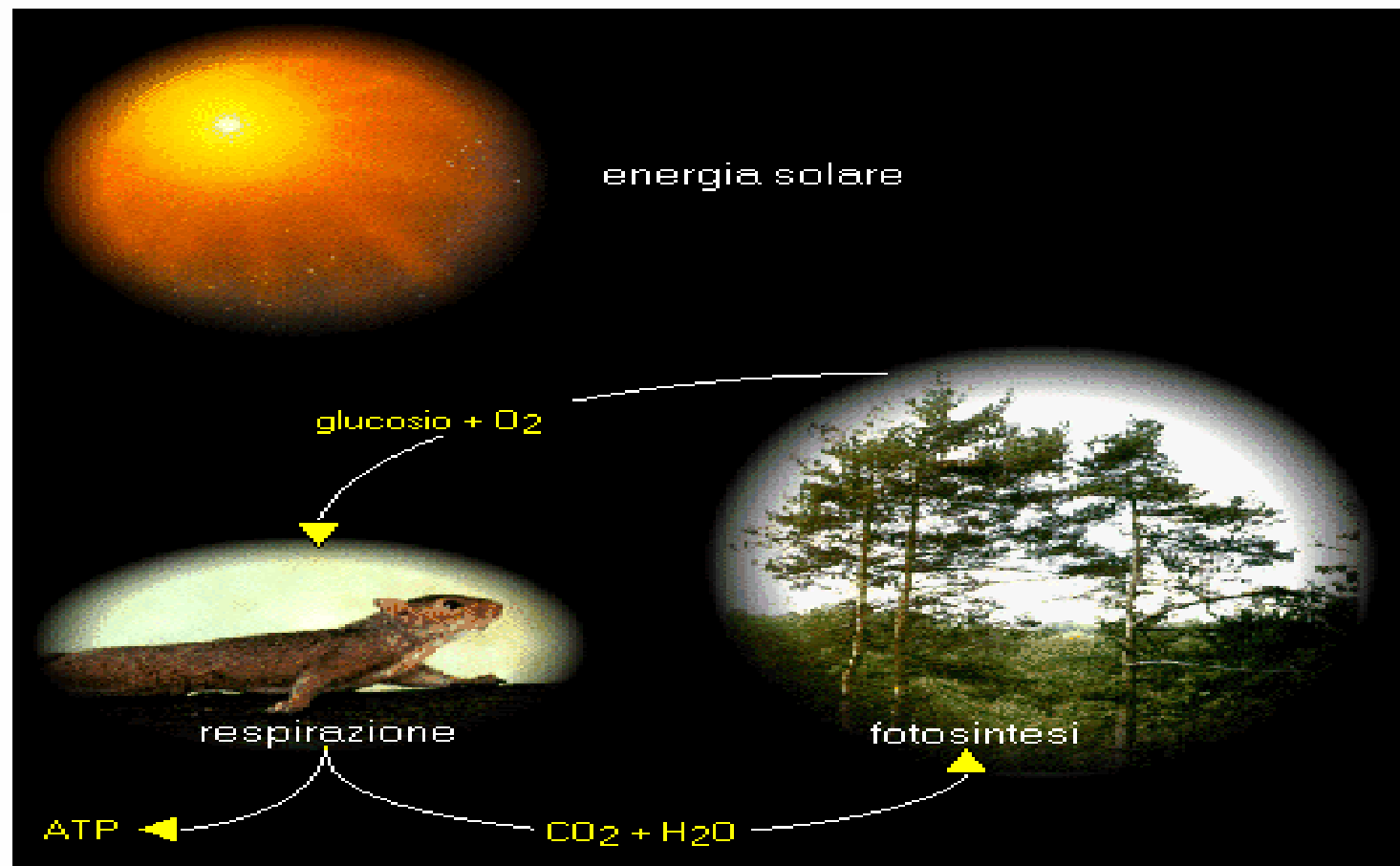
Comprende la totalità degli esseri viventi presenti sulla Terra, incluso l'uomo e la materia organica non ancora decomposta.

Se le rocce terrestri più antiche sono datate 4,5 miliardi di anni fa,  
la vita è comparsa circa 3,8 miliardi di anni fa;  
con essa, le reazioni chimiche (**processi di fotosintesi e respirazione,**  
**ciclo del carbonio** con la precipitazione del carbonato, etc.)  
hanno contribuito a modificare la composizione chimica  
dell'atmosfera (oggi più ricca di O<sub>2</sub> libero,  
rispetto ai primordi del pianeta).



# Biosfera

## Il ciclo BIOLOGICO del carbonio

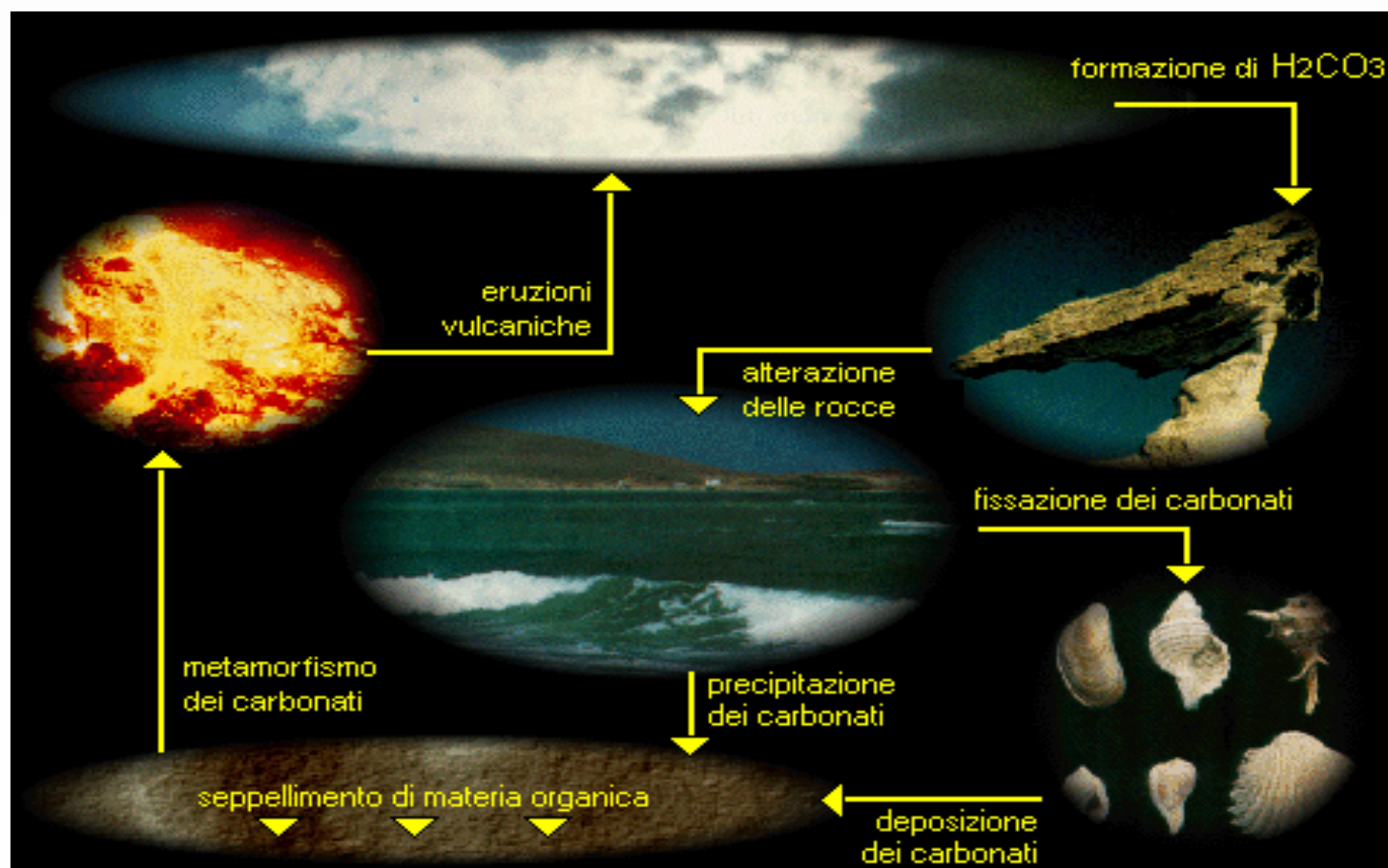


*Flora e Fauna*



# Biosfera

## Il ciclo GEOCHIMICO del carbonio



*Coinvolgendo  
anche la  
Litosfera !*



## Biosfera

Le sue **interazioni** con gli altri componenti del sistema climatico si esplicano attraverso:

- l'estrazione o l'emissione di gas necessari alle reazioni chimiche della vita ( $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  per respirazione e fotosintesi),
- e con un contributo all'albedo superficiale e all'umidità (flora)

perché.....



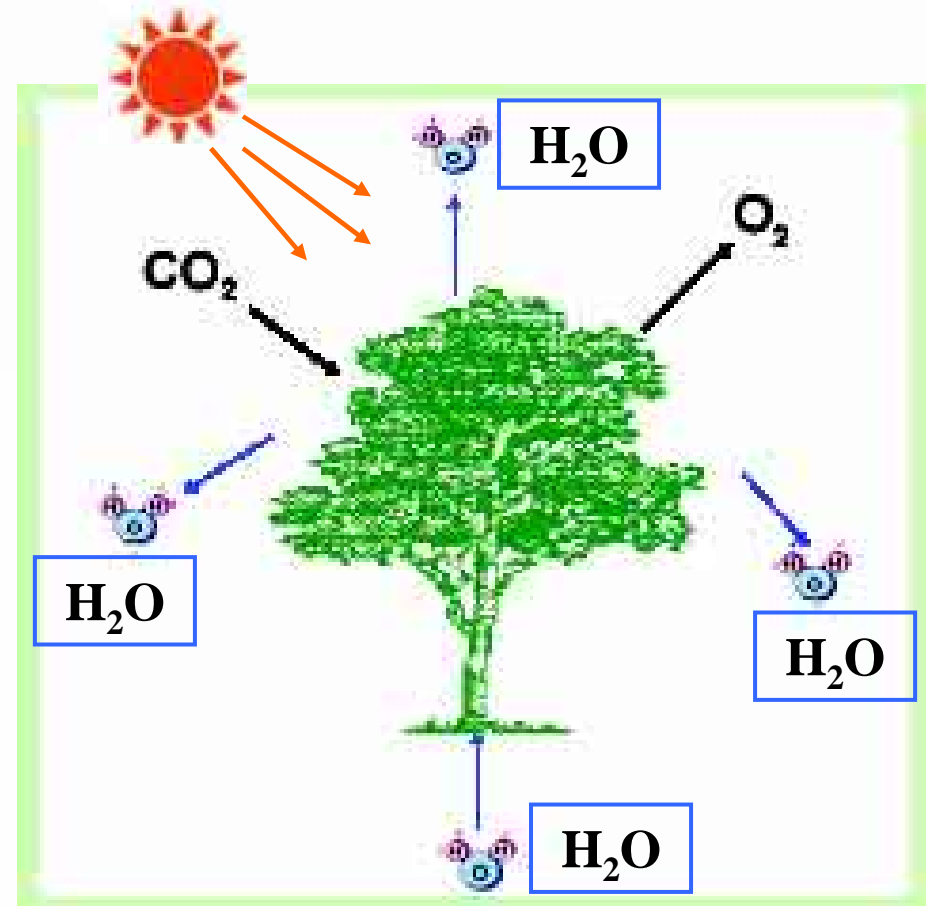
## Biosfera

.....

Gli alberi tramite la fotosintesi assorbono  $\text{CO}_2$  e cedono  $\text{O}_2$ .

Inoltre essi assorbono acqua dal terreno e la trasferiscono all'atmosfera sotto forma di vapore attraverso le foglie.

Al contrario dei ghiacci, la vegetazione non ha un'albedo riflettente, ma anzi assorbe molta energia solare.







## Biosfera

È strutturata in modo gerarchico tramite la catena alimentare, suddivisa in vari ecosistemi.



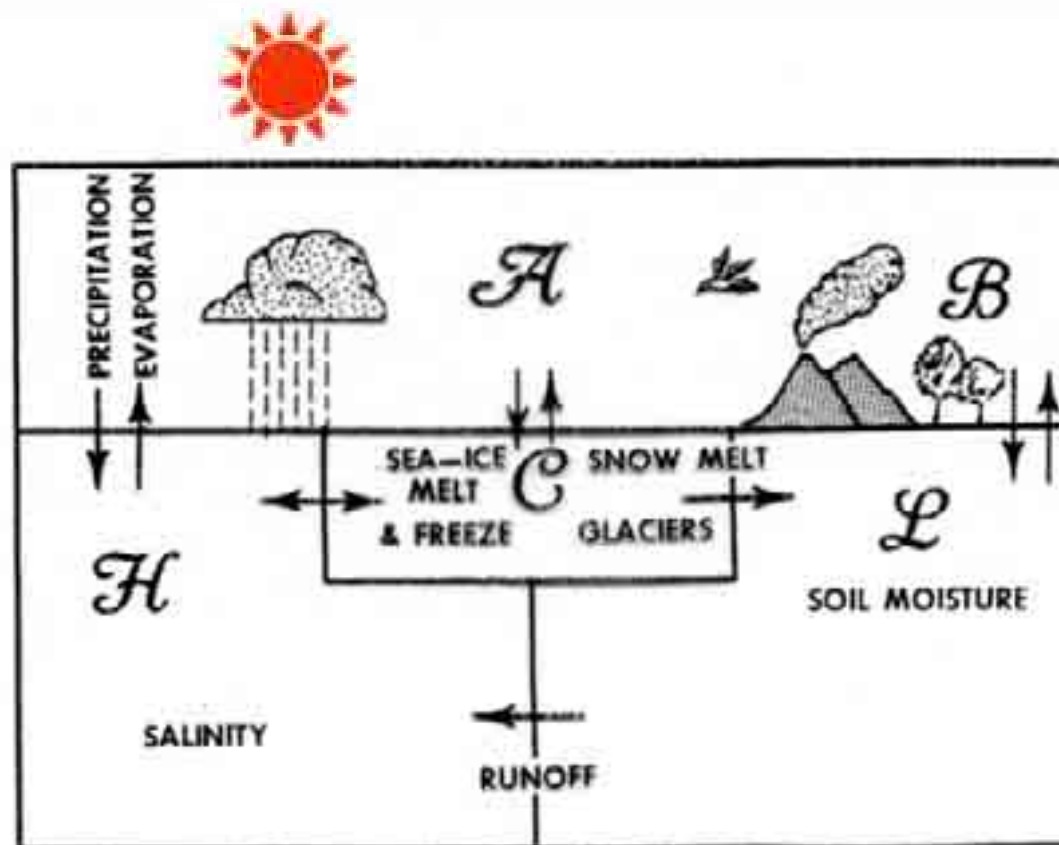
È il sottosistema più sensibile (e vulnerabile)  
ai cambiamenti climatici.



## Sistema Climatico: la Criosfera

CLIMA TERRESTRE

- A: ATMOSFERA
- H: IDROSFERA
- B: BIOSFERA
- C: CRIOSFERA
- L: LITOSFERA





## Criosfera

Comprende tutte le masse di ghiaccio e gli accumuli di neve della Terra, ossia gli estesi territori ghiacciati della Groenlandia e dell'Antartide, i ghiacciai continentali e le coperture nevose stagionali sui continenti e di ghiaccio sui mari (ghiacci polari).





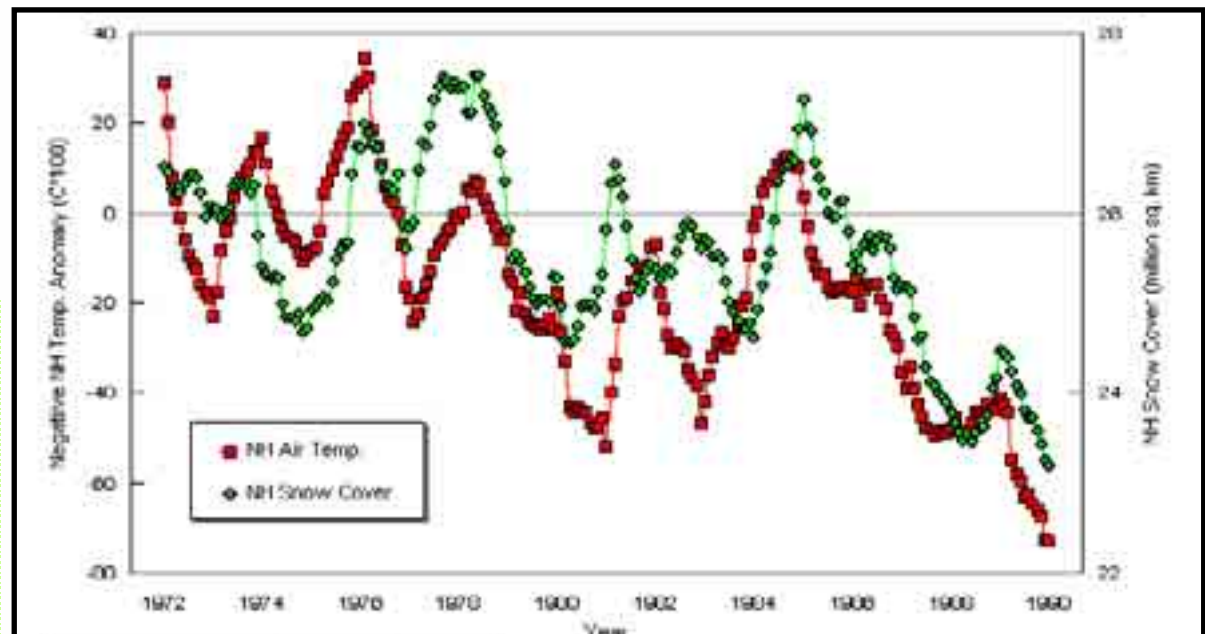
## Criosfera

L'importanza della criosfera, all'interno del sistema climatico, risiede nel fatto che il trasferimento di energia da una superficie verso l'esterno cambia in modo radicale se tale superficie è coperta da neve e ghiaccio:

la sua riflettività (albedo) cresce, riducendo l'assorbimento di energia da parte della superficie  
(feedback positivo)...

**Variazione della temperatura  
(graficata al negativo!)  
e della copertura nevosa  
negli ultimi 25 anni:**

la neve diminuisce in parallelo  
all'aumento della temperatura

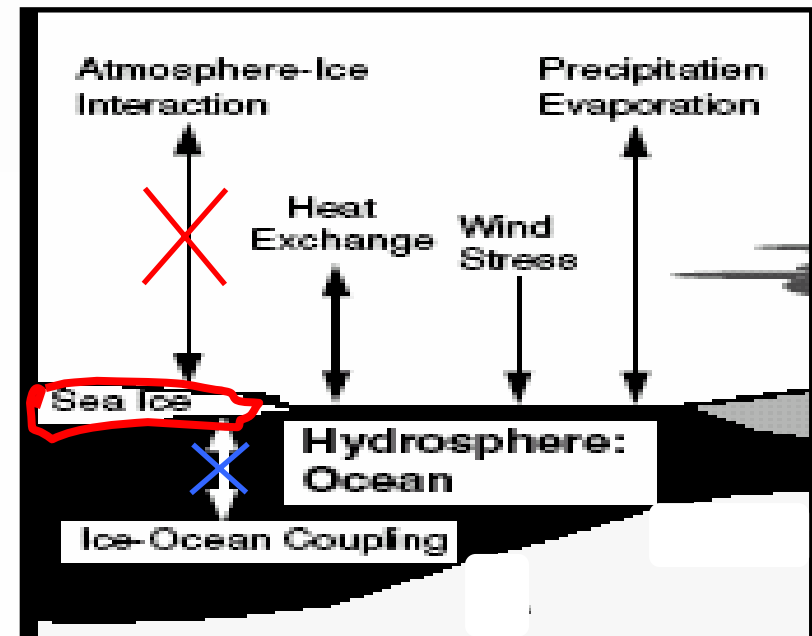






## Criosfera

...o, nel caso di ghiacci marini, il trasferimento di calore dall'oceano all'atmosfera, nonché tutte le interazioni (scambio di momento tramite il vento) tra atmosfera e primi strati marini, risultano concretamente ridotte quando la superficie marina è coperta da ghiaccio.







## Criosfera

Inoltre l'evoluzione (formazione e fusione di ghiacci marini) è in grado (tramite la modificazione della salinità del mare) di modificare drasticamente la circolazione oceanica fino a scala globale, su tempi che coinvolgono migliaia di anni.



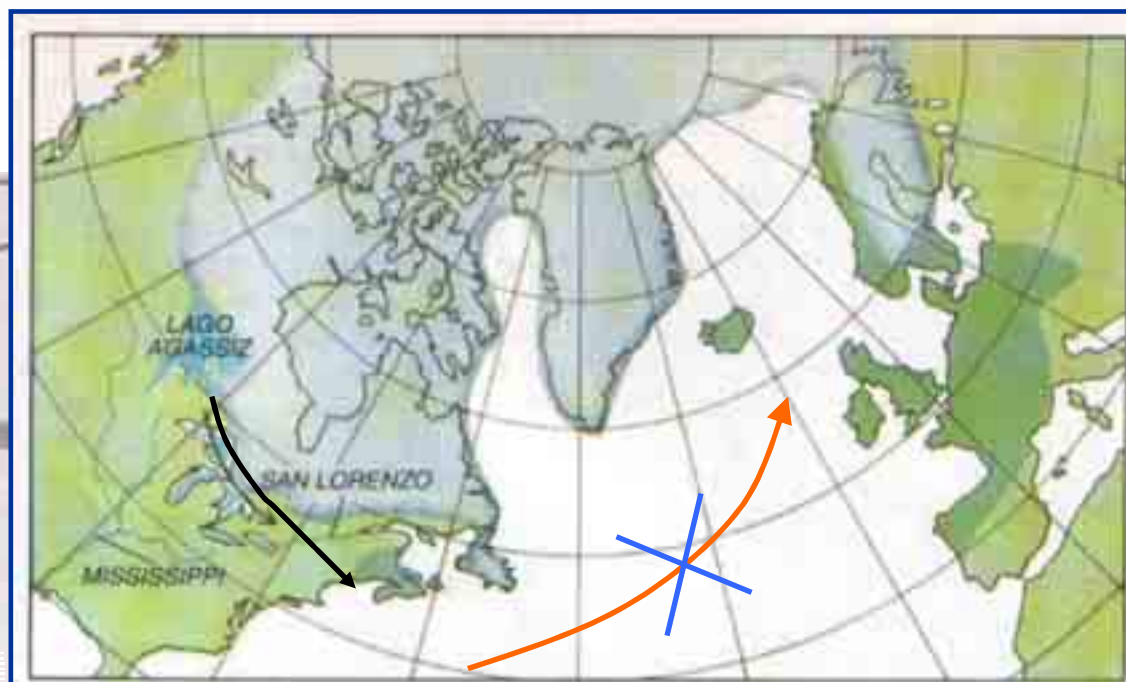
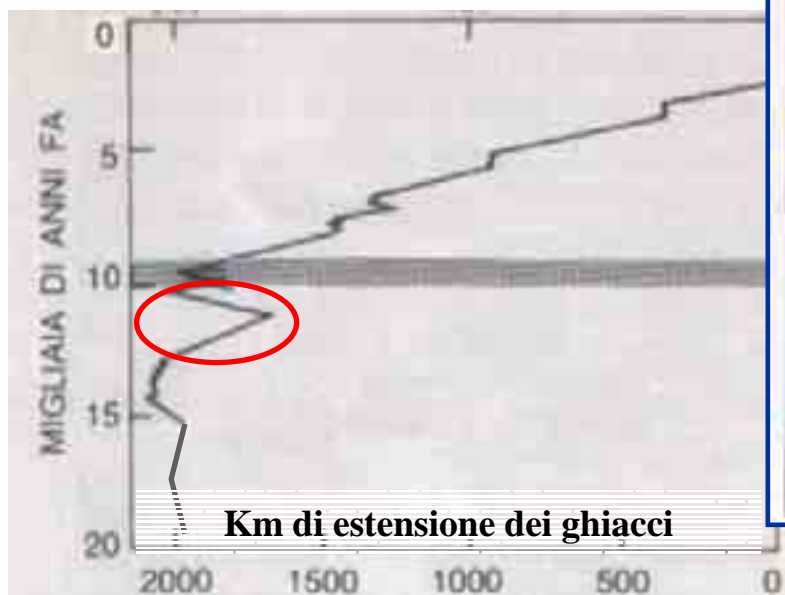
*Un esempio.....*



## Criosfera

.....

Circa 3'000 anni dopo la fine dell'ultima glaciazione (14'500 anni fa), cioè 11'000 anni fa, l'Europa settentrionale subì una nuova glaciazione (di "breve" durata: circa 1'000 anni), perché lo scioglimento dei ghiacci del nord America interruppe la corrente del Golfo del Messico verso il nord Atlantico!

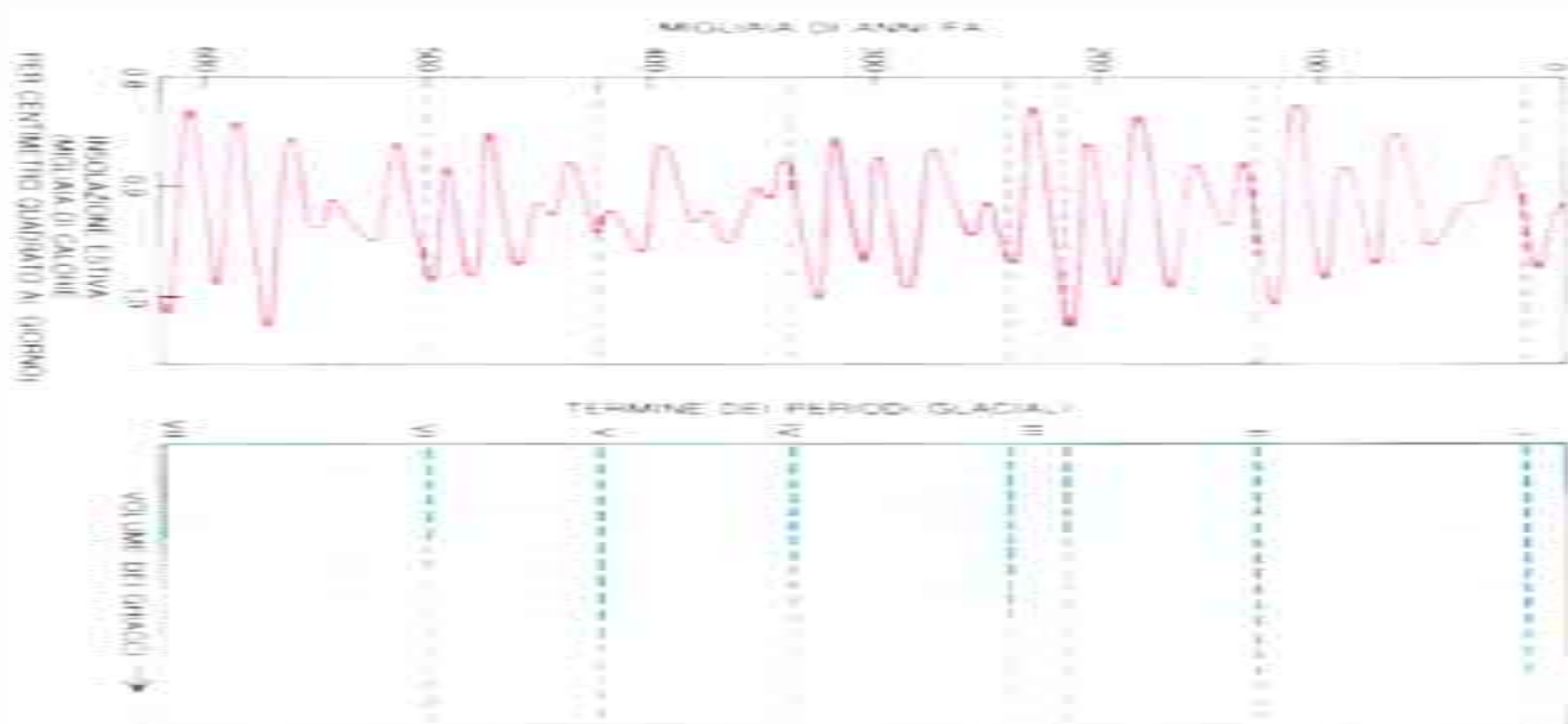


(Glaciazione del "Dryas recente")



## Criosfera

Le variazioni NON stagionali di ghiacci polari e ghiacciai continentali, sono quelle che svolgono un ruolo essenziale nei cambiamenti ambientali provocati nei periodi di glaciazione (scala temporale di migliaia di anni).

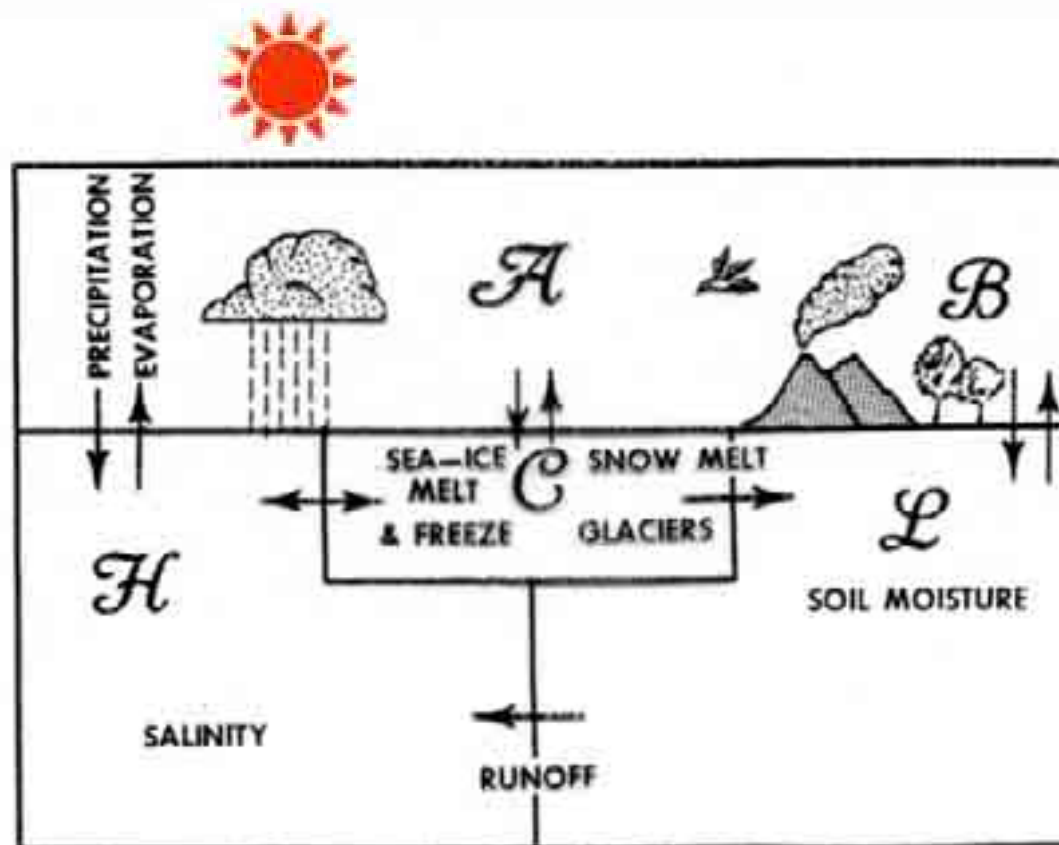




## Sistema Climatico: la Litosfera

CLIMA TERRESTRE

- A: ATMOSFERA
- H: IDROSFERA
- B: BIOSFERA
- C: CRIOSFERA
- L: LITOSFERA



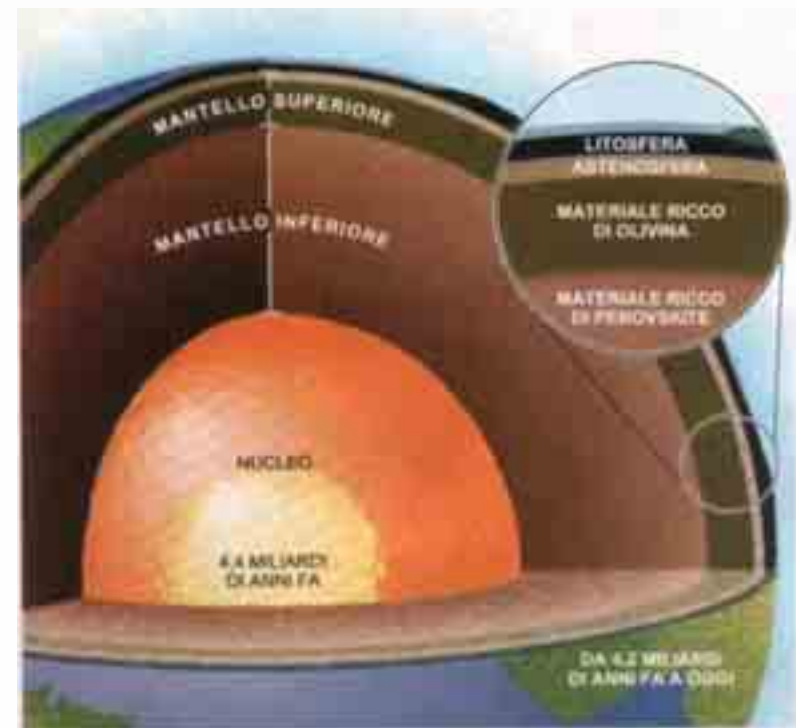




## Litosfera

È la crosta terrestre, che riunisce tutte le terre emerse più il fondo degli oceani e i primi strati dell'interno del pianeta.

Il 99% della Terra è composto da ossigeno, ferro, silicio e magnesio; la sua parte interna appare stratificata sia chimicamente che meccanicamente (sotto la litosfera c'è l'astenosfera e quindi il mantello e il nucleo della Terra).

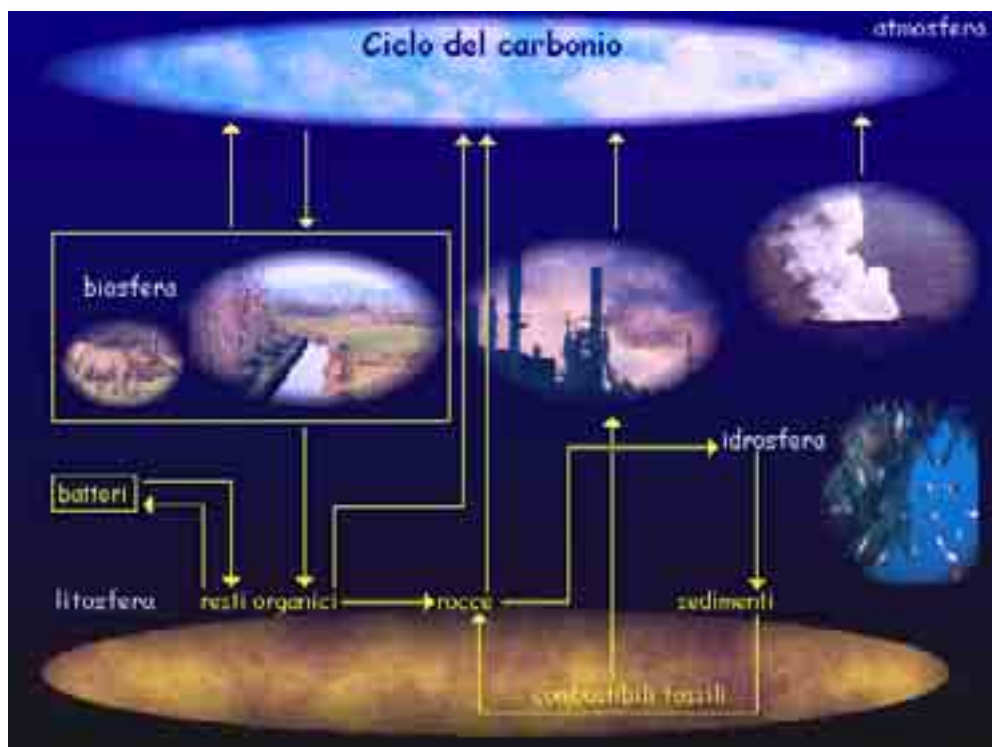
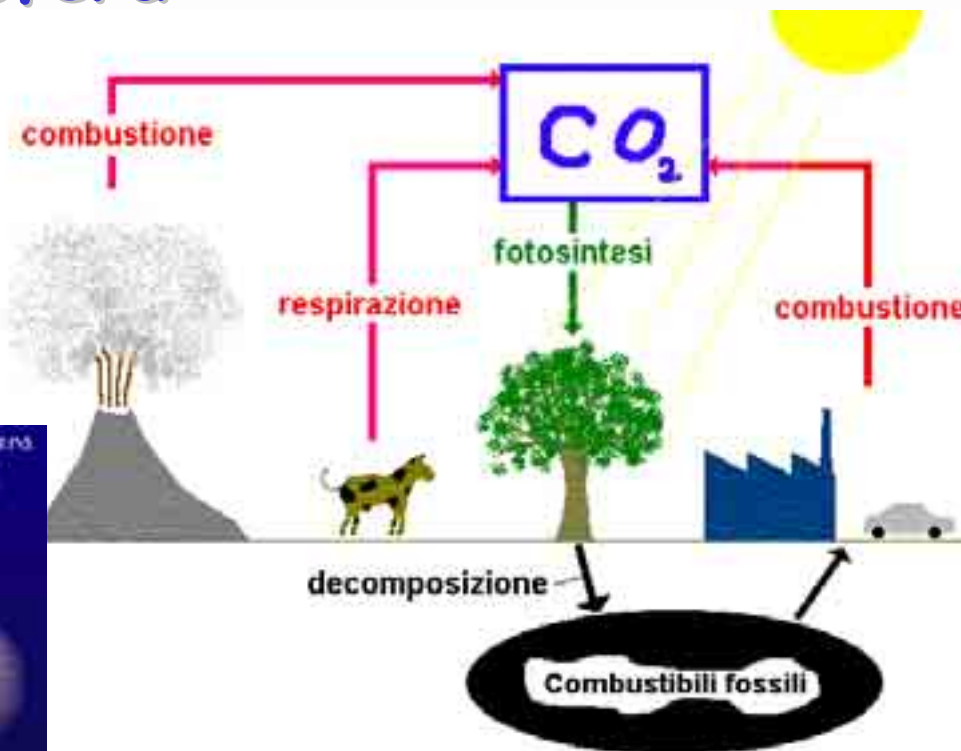






## Litosfera

Le sue **interazioni** con il “sistema clima” si intrecciano con tutte le altre componenti climatiche ...



... attraverso il complesso ciclo geochimico del carbonio.



# Litosfera

Le interazioni della litosfera col sistema climatico:

## *Vulcanismo*

*Le grandi emissioni vulcaniche di polveri ed aerosol riducono la radiazione solare incidente, provocando un raffreddamento terrestre.*

*Le grandi emissioni vulcaniche di gas serra ne provocano, invece, un riscaldamento, che spesso è controbilanciato dal raffreddamento concomitante...*

## *Orogenesi*

*Il processo che origina montagne e catene montuose e che si estende su tempi dell'ordine di decine e centinaia di milioni di anni. Modifica la circolazione delle correnti aeree, l'albedo della superficie terrestre ed i meccanismi di feedback climatici.*

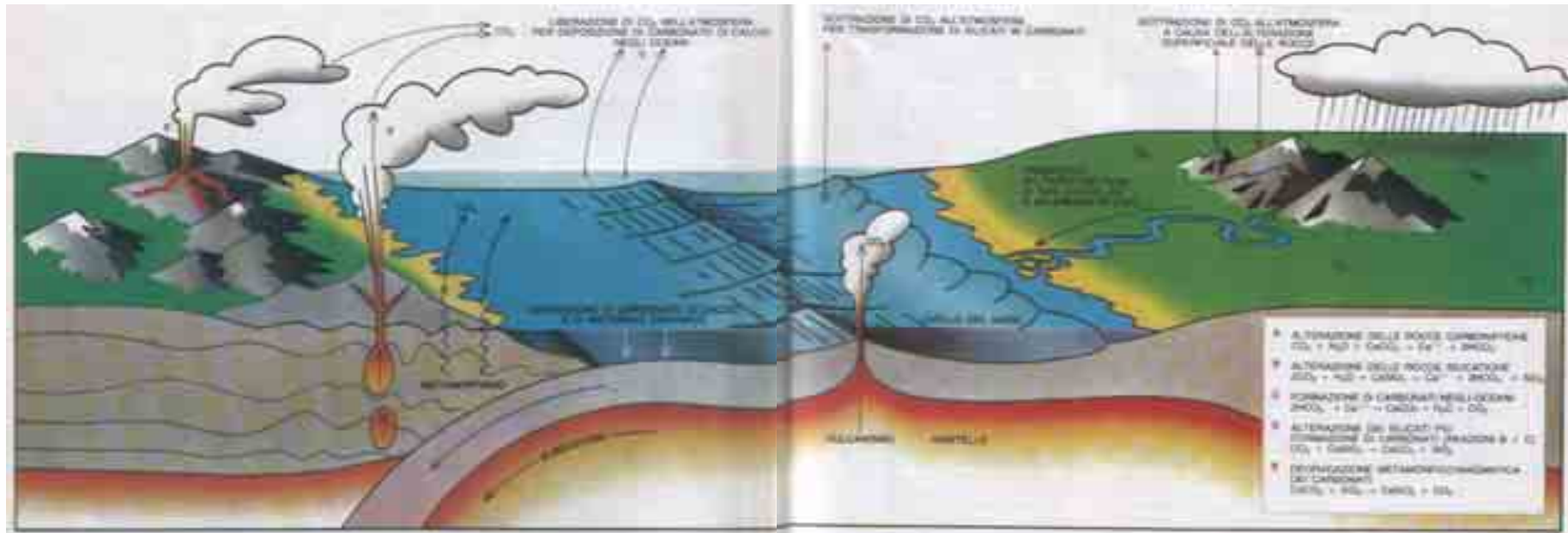
## *Epirogenesi*

*Il processo che origina la deriva orizzontale e i movimenti verticali delle zolle continentali. Tali movimenti modificano l'albedo planetaria, la circolazione oceanica ed il trasporto di calore tra equatore e poli.*



## Litosfera

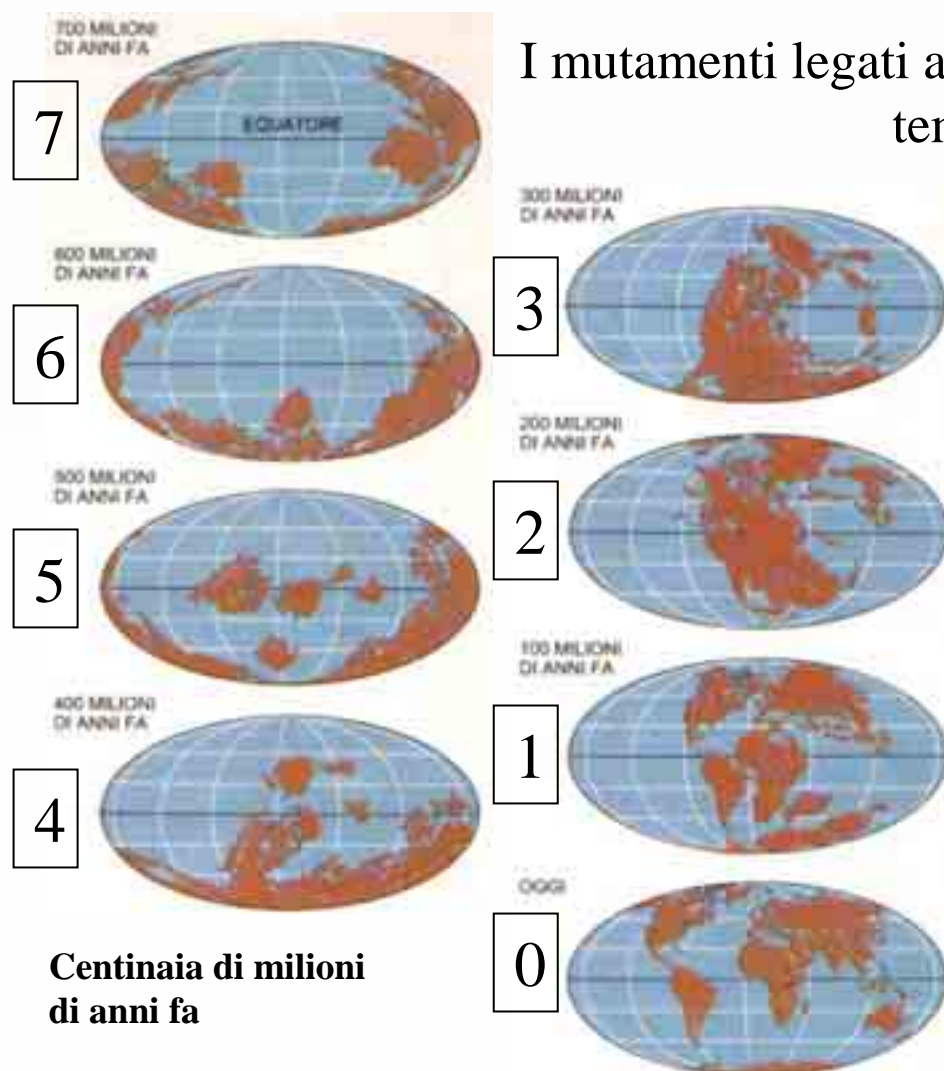
Le sue **interazioni** con l'atmosfera sono essenzialmente classificabili in scambio di calore e momento angolare, dissipazione dell'energia dei moti delle masse d'aria attraverso l'attrito con l'orografia del pianeta e soprattutto scambio di materia sotto forma di aerosol, tramite eruzioni vulcaniche. Tali eventi, oltre a provocare un cambiamento nel bilancio radiativo atmosferico, possono innescare una serie di feedback tali da comportare evidenti mutamenti climatici su scala spaziale regionale (e in parte globale) negli anni immediatamente successivi alle eruzioni.







## Litosfera



Così, in prima approssimazione, escludendo i movimenti tellurici e di deriva dei continenti, la litosfera si può considerare come un aspetto permanente del clima rappresentando un buon esempio di condizione al contorno.



## Sistema Climatico

La variabilità temporale delle 5 componenti del clima terrestre:

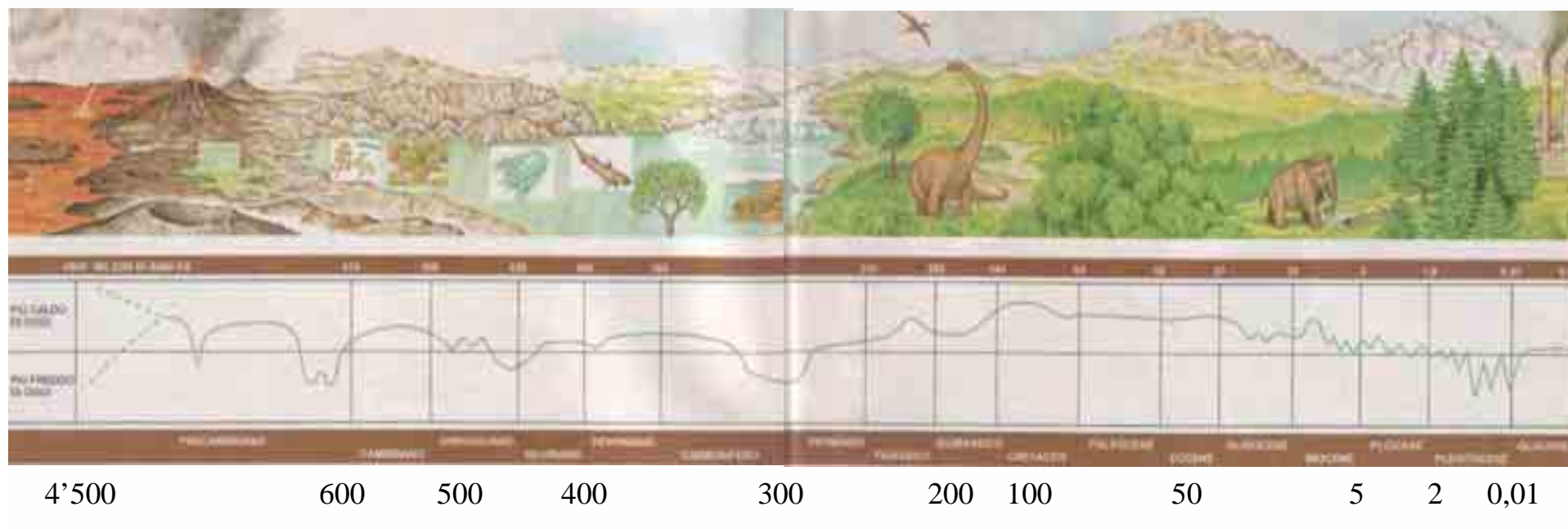
COMPONENTI CLIMATICHE	SCALE TEMPORALI DI VARIAZIONE
• <b>ATMOSFERA:</b> parte gassosa	→ da giorno a giorno
• <b>BIOSFERA:</b> flora, fauna, uomo	→ varie scale temporali
• <b>CRIOSFERA:</b> ghiacciai, poli	→ centinaia e migliaia di anni
• <b>IDROSFERA:</b> oceani, laghi	→ decenni a centinaia di anni
• <b>LITOSFERA:</b> crosta terrestre	→ decine e centinaia di milioni di anni





# Sistema Climatico

La variabilità del clima terrestre nella storia della Terra



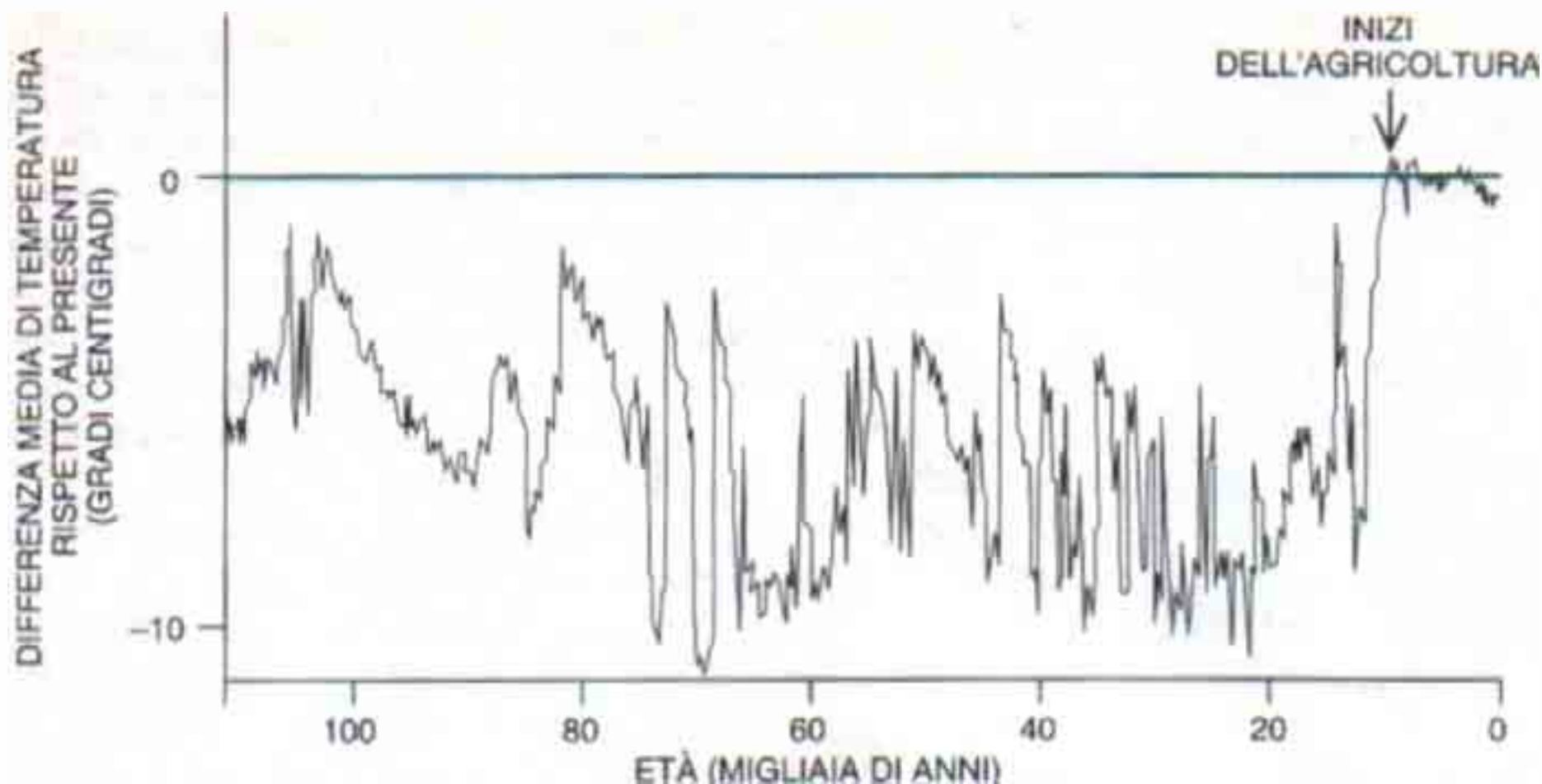
milioni di anni fa

**Solo da 10'000 anni a questa parte si è raggiunto un equilibrio stabile per il clima del pianeta**



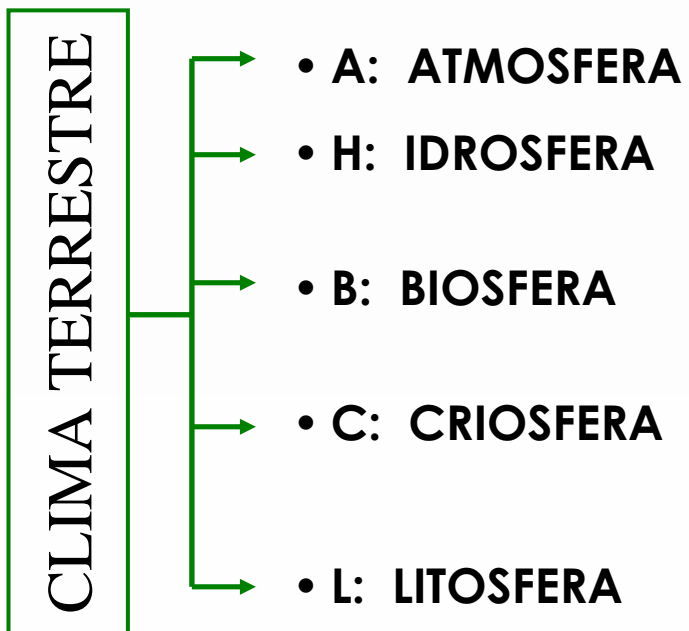
## Sistema Climatico

La variabilità del clima terrestre nella storia della Terra





## Sistema Climatico



*Ma cosa agisce sul clima della Terra? ...*

*(appuntamento a dopo la pausa caffè!)*