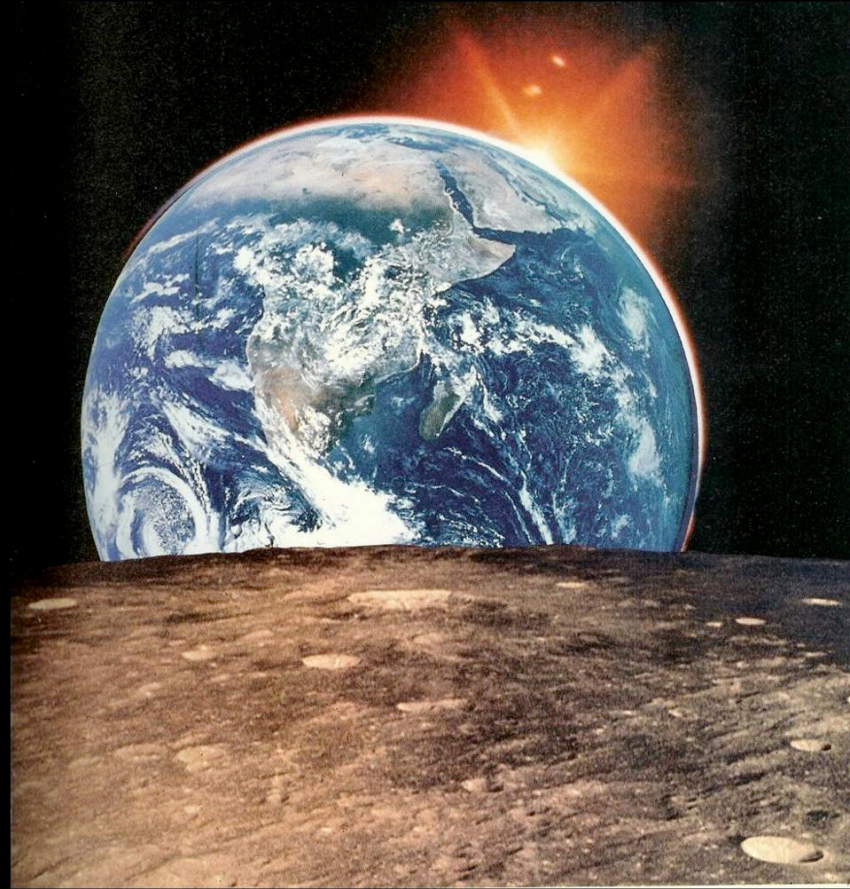


**L'evoluzione del Pianeta Terra
negli ultimi quattro miliardi di anni
ed il ruolo della biosfera.**



Bruno D'Argenio

Dip. Scienze della Terra, Università Federico II di Napoli

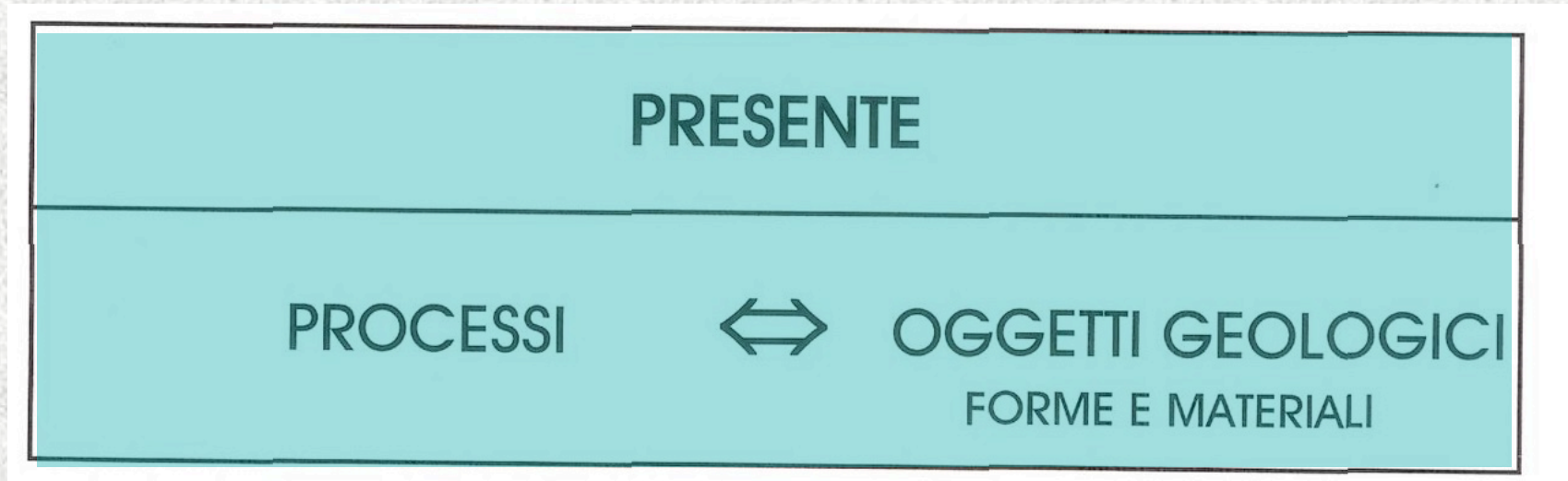
Istituto per l'Ambiente Marino Costiero (CNR) Napoli



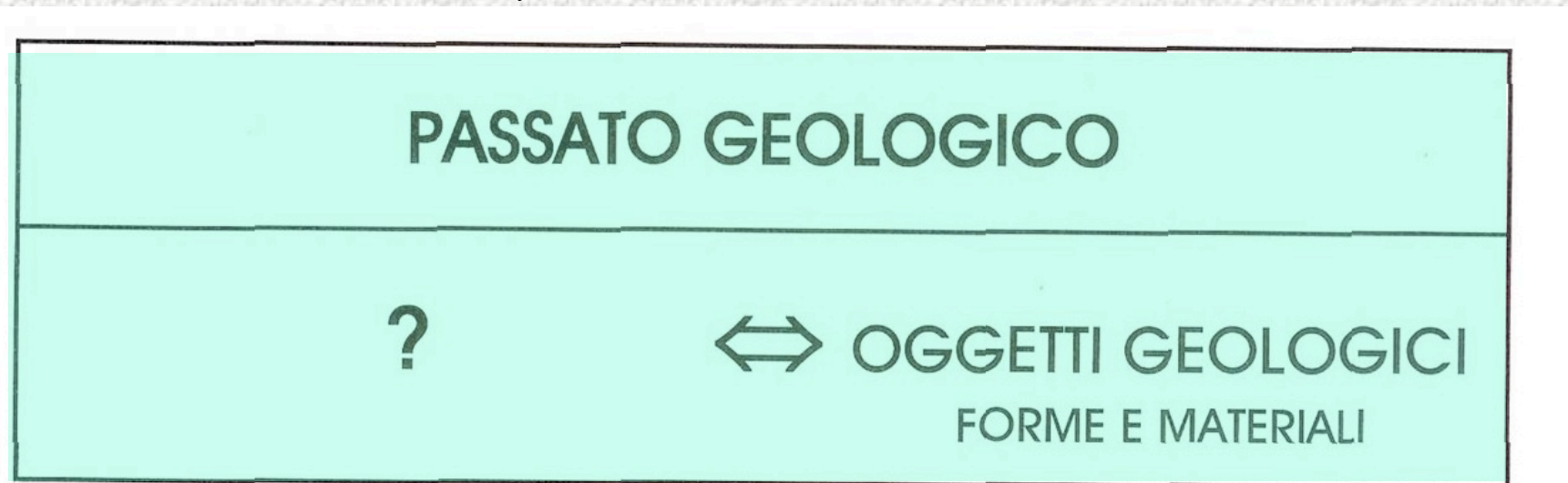
La Terra è parte del Sistema Solare ed è andata evolvendosi con esso.

La sua storia - come quella degli altri pianeti del Sistema - si ricostruisce dalle rocce, dalle loro strutture e dai loro rapporti di giacitura.

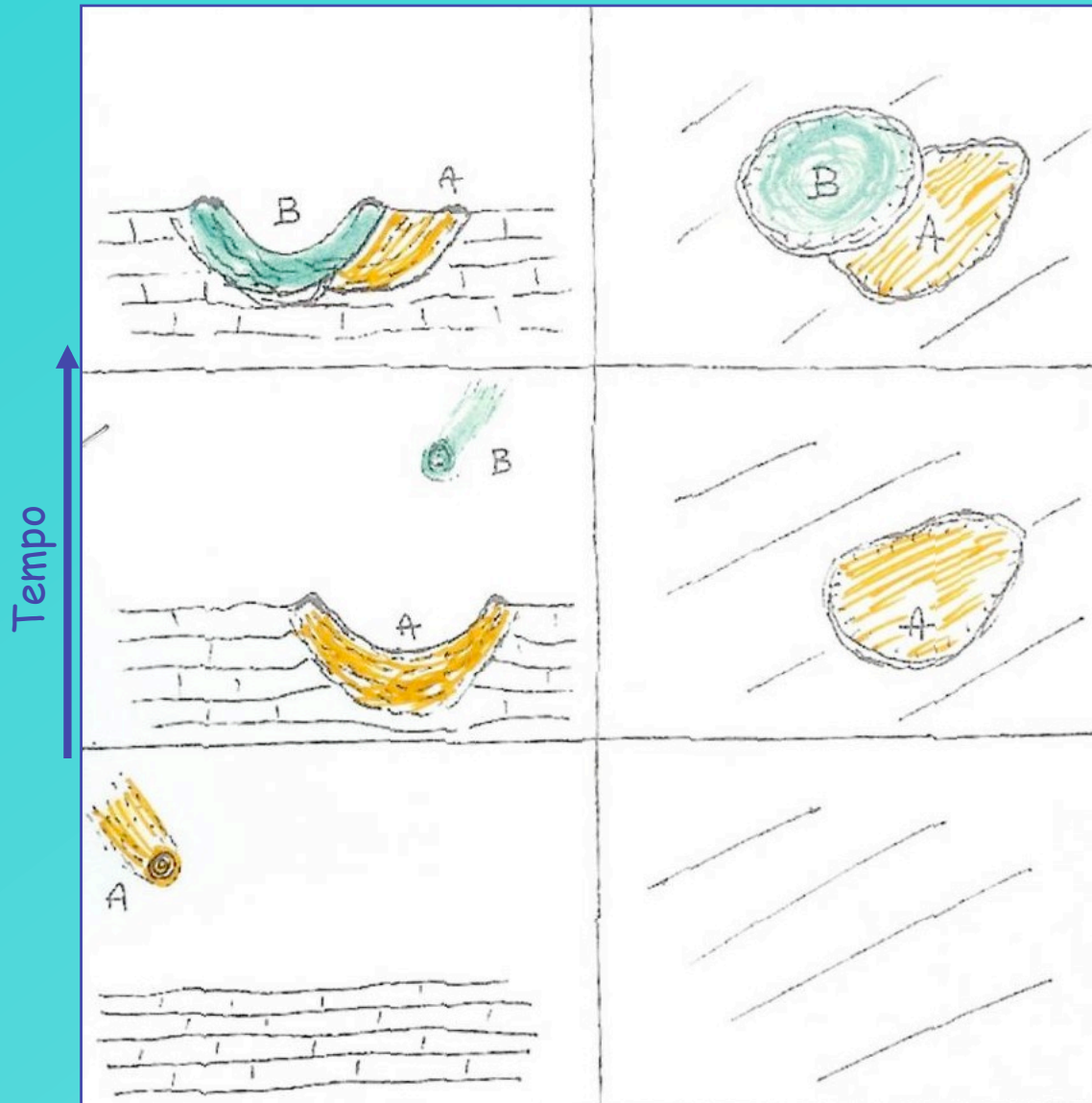
Nel ricostruire la storia della Terra, bisogna ricordare che oggi vediamo i processi svolgersi (ad esempio una frana) e lasciare tracce (un cumulo di frana).



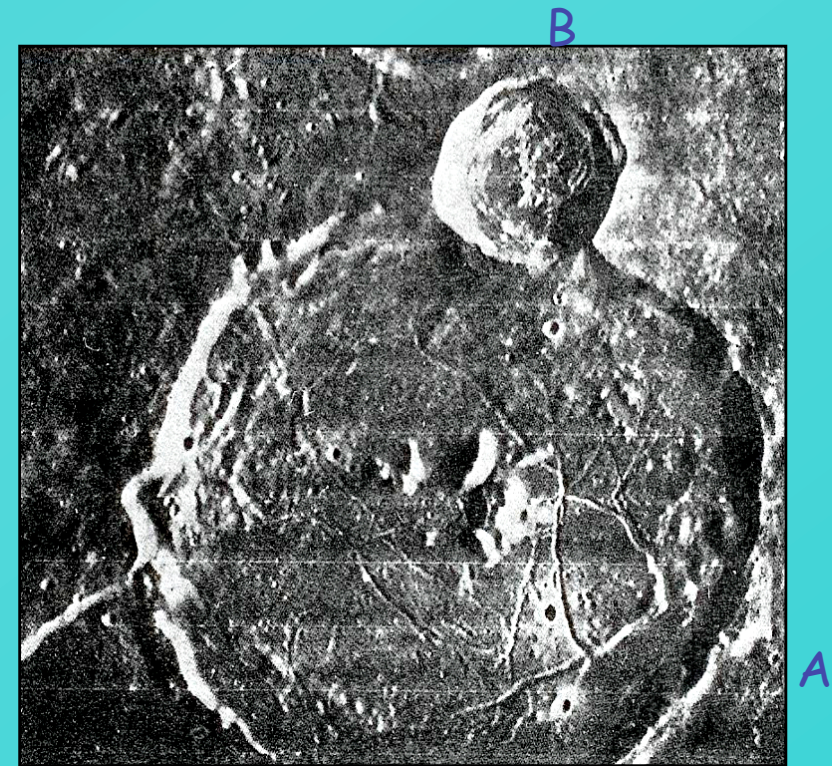
Invece del passato ci rimangono solo "oggetti" geologici (vediamo cioè il cumulo di frana ma non il franamento)



Per mettere ordine nelle successioni di eventi-oggetti geologici possiamo usare un criterio di sovrapposizione (più antico → più recente).



Crateri = A è più antico di B



Il cratere Gassendi, del diametro di 110 km, con fondo fratturato, situato sul margine settentrionale del Mare Humorum. (NASA Lunar Orbiter V 178 M).

La scala dei tempi geologici

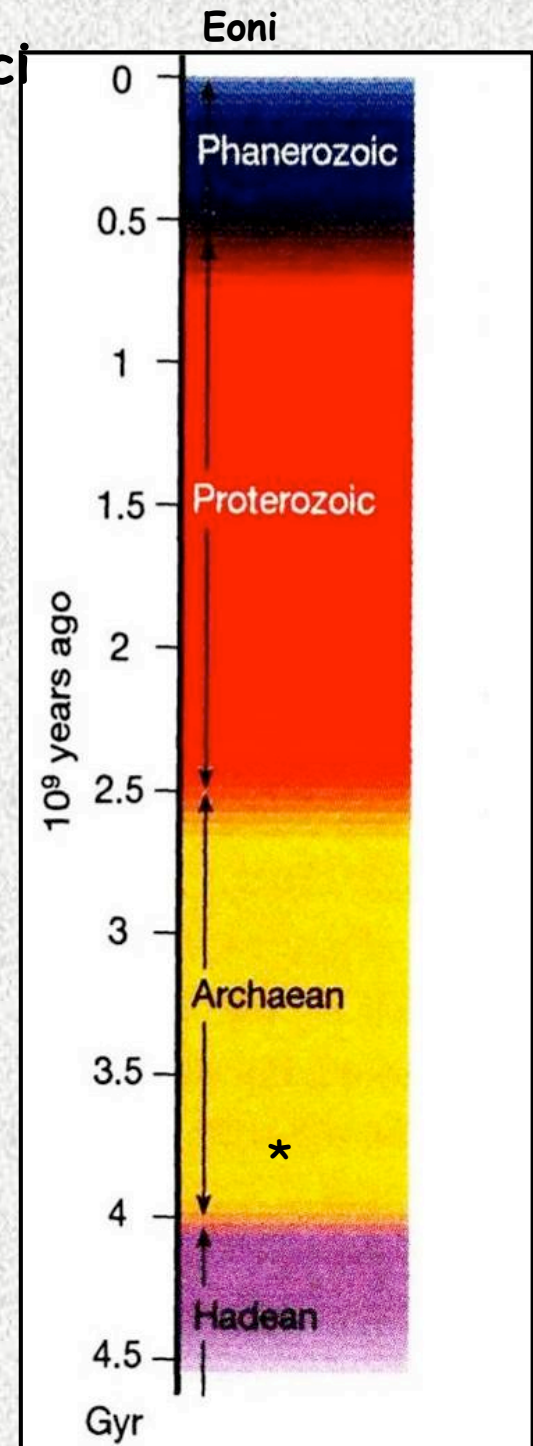
Un'altra tecnica di datazione usa metodi basati sul decadimento radioattivo di alcuni elementi contenuti nei cristalli che formano le rocce i cui "tempi di dimezzamento" sono noti e che ci consentono di datare in anni (di regola in milioni di anni) le tappe della storia geologica del nostro pianeta (cronologia numerica).

E la vita?

Se consideriamo le maggiori suddivisioni del tempo geologico (Eoni), rileviamo che organismi procarioti (unicellulari privi di nucleo) sono documentabili indirettamente dall'inizio dell'Archeano (almeno 3850 Ma), mentre quelli di tipo eucariotico (uni- o pluricellulari con nucleo) sono documentabili tra la fine dell'Archeano e il Proterozoico.

Eucarioti funzionalmente analoghi a quelli oggi videnti, sono noti solo dalla fine del Proterozoico (ca. 650- 700 Ma.)

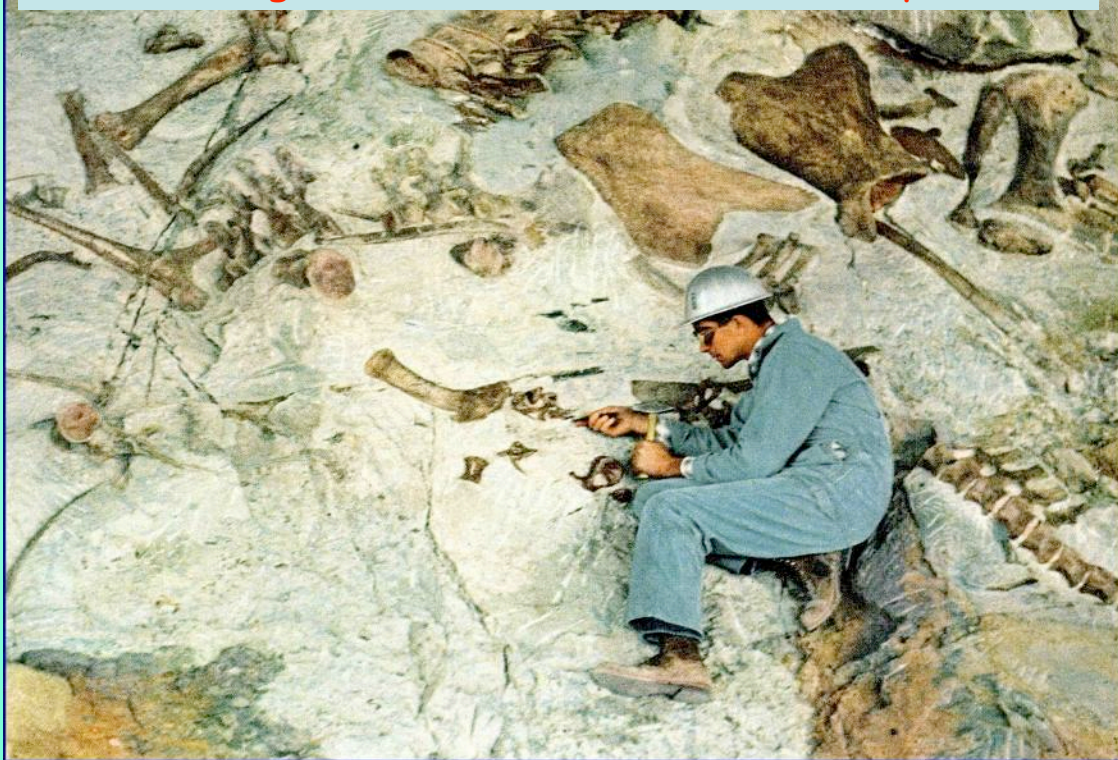
* Prima evidenza (indiretta) di vita



Datazioni relative.

I fossili, resti di organismi che si sono andati evolvendo nel tempo geologico e tracce della loro attività, sono utilizzati per datare le rocce che li contengono. Essi suggeriscono solo un'età relativa (più antico di..., più recente di...) e sono utilizzabili per gli ultimi 500 milioni di anni circa (Fanerozoico), formando la base per la suddivisione di questo intervallo (Ere, Periodi, ecc.).

Resti di un grande rettile del Cretacico superiore

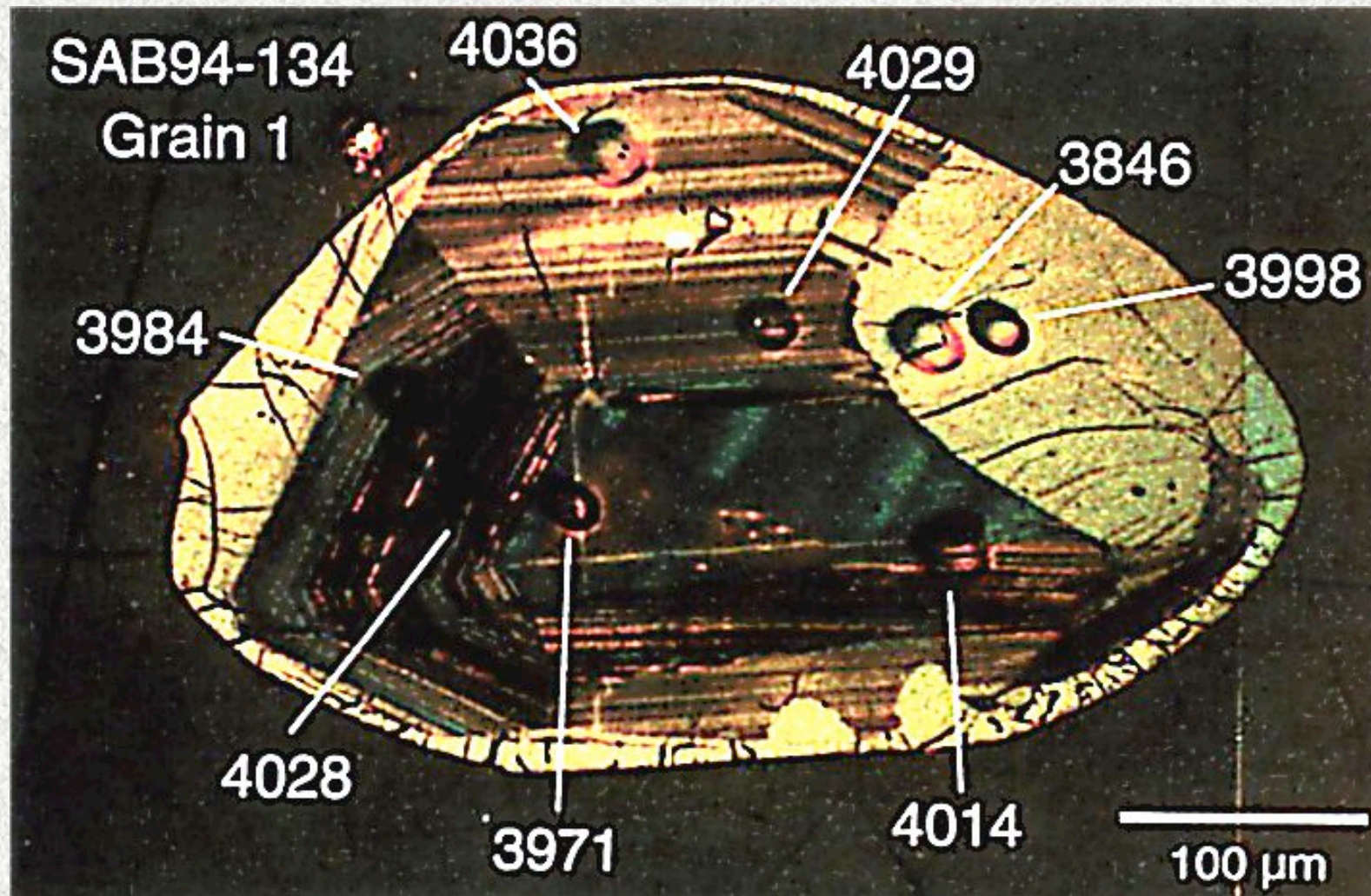


Orme di due dinosauri a passeggio sulle rive di un mare di 65 Ma or sono



Questo è il classico metodo paleontologico basato sulla evoluzione darwiniana che segue di fatto un percorso irripetibile (anche in questo caso abbiamo una successione di eventi più che la misura del tempo geologico espresso in anni).

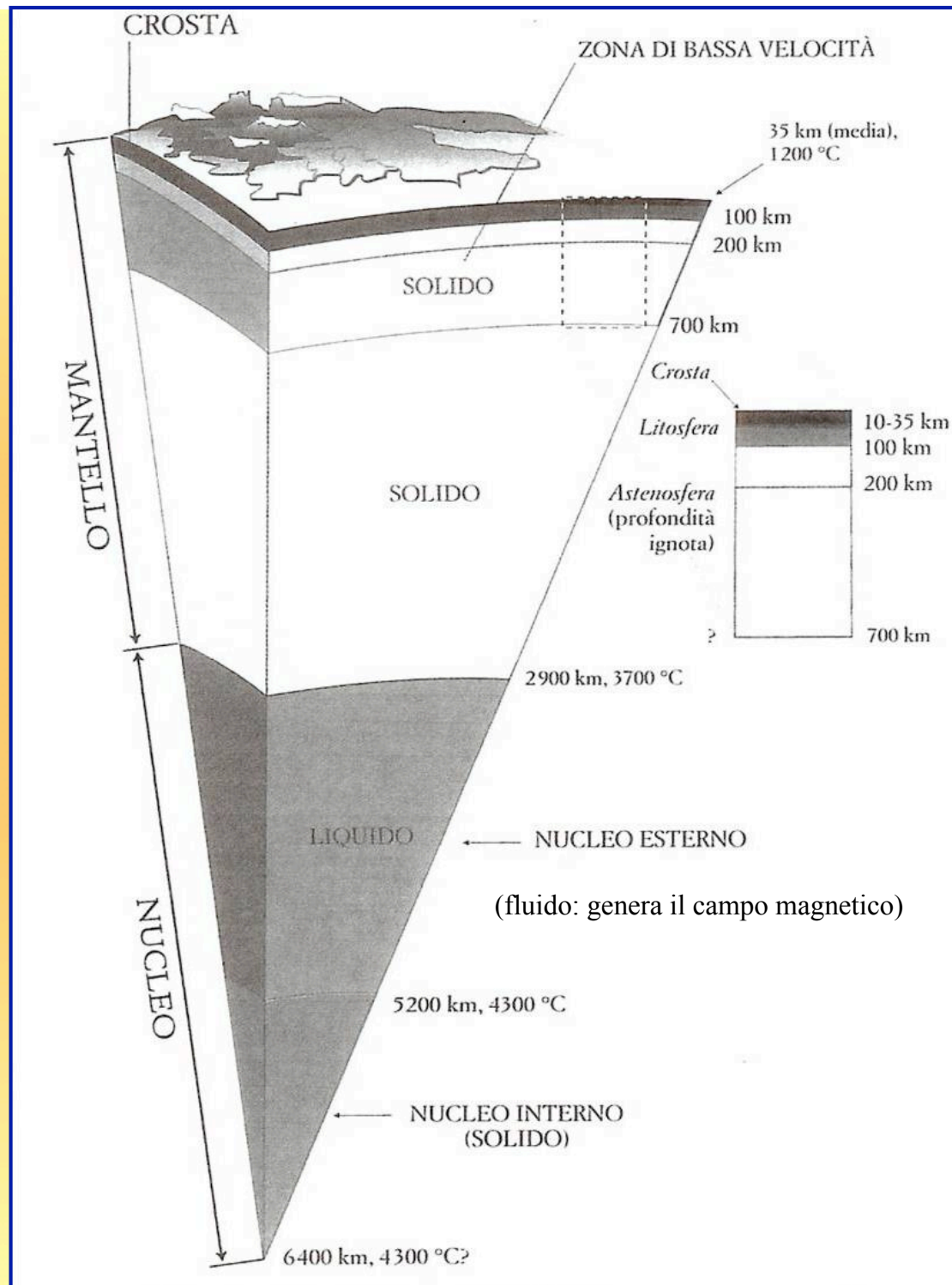
Possiamo ricostruire il percorso evolutivo del nostro pianeta in alcune tappe di diversa durata, a partire da circa 4 miliardi di anni or sono quando si segregarono i più antichi minerali di età nota.



Cristallo di zirconio estratto da arenaria metamorfica di 4.03 Ma. (Canada). L'età del cristallo è più antica di quella della roccia che lo conteneva e suggerisce processi sedimentari simili agli attuali. I numeri si riferiscono all'età del cristallo basata sul rapporto $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ed espressa in milioni di anni.

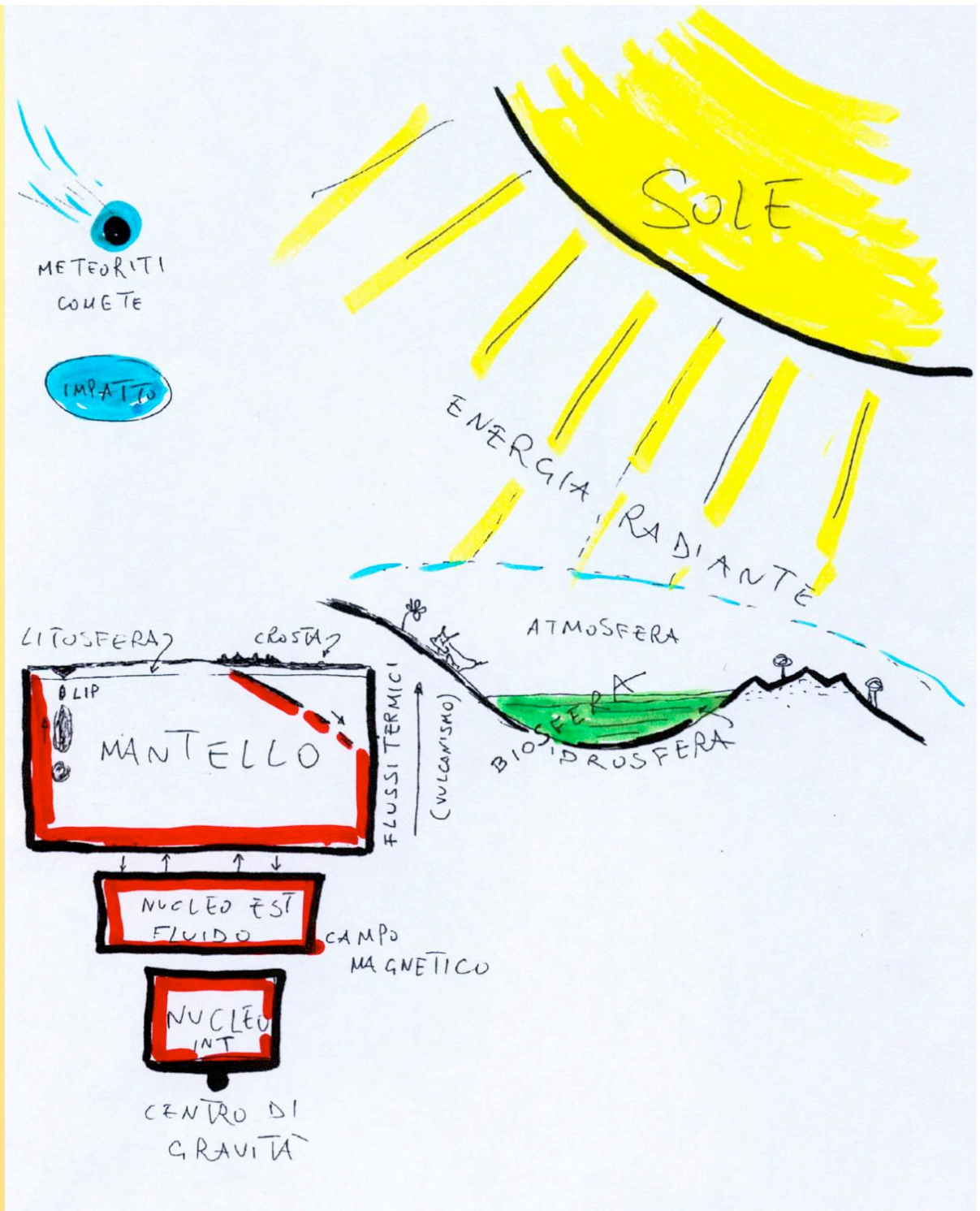
Quali sono le caratteristiche essenziali della Terra oggi, a circa 4.500 milioni di anni dalla sua formazione?

La struttura attuale del nostro pianeta è caratterizzata da due parti principali: un nucleo (interno solido, esterno fluido) ed un mantello (solido) che ha nelle parti sommitali una zona che si comporta come un fluido molto viscoso sormontato dalla litosfera (che include la crosta).



La crosta è sormontata, ed in parte permeata, da un involucro fluido (idrosfera + atmosfera).

Questo involucro contiene la complessa struttura dei viventi, la biosfera.



La Terra attuale ha un diametro di circa 12000 km, una densità di 5,50 e un volume di circa $1000 \cdot 10^9 \text{ km}^3$. In confronto la biosfera ha una densità di $\sim 1,00$ e un volume di poche migliaia di km^3 .



La storia della Terra si divide in intervalli di diversa durata

Adeano 4500- 4000 Ma

Stadio "pre-geologico"

Non conosciamo rocce di questa età, ma da evidenze indirette, possiamo dedurre alcuni processi di grande importanza che hanno caratterizzato questo intervallo:

- Impatto con un corpo delle dimensioni di Marte che ha dato origine alla Luna
- Collisioni con grandi meteoriti e ripetute fusioni della crosta,
- Impatti cometari che, assieme alla degassazione del mantello, hanno prodotto l'idrosfera e l'atmosfera.



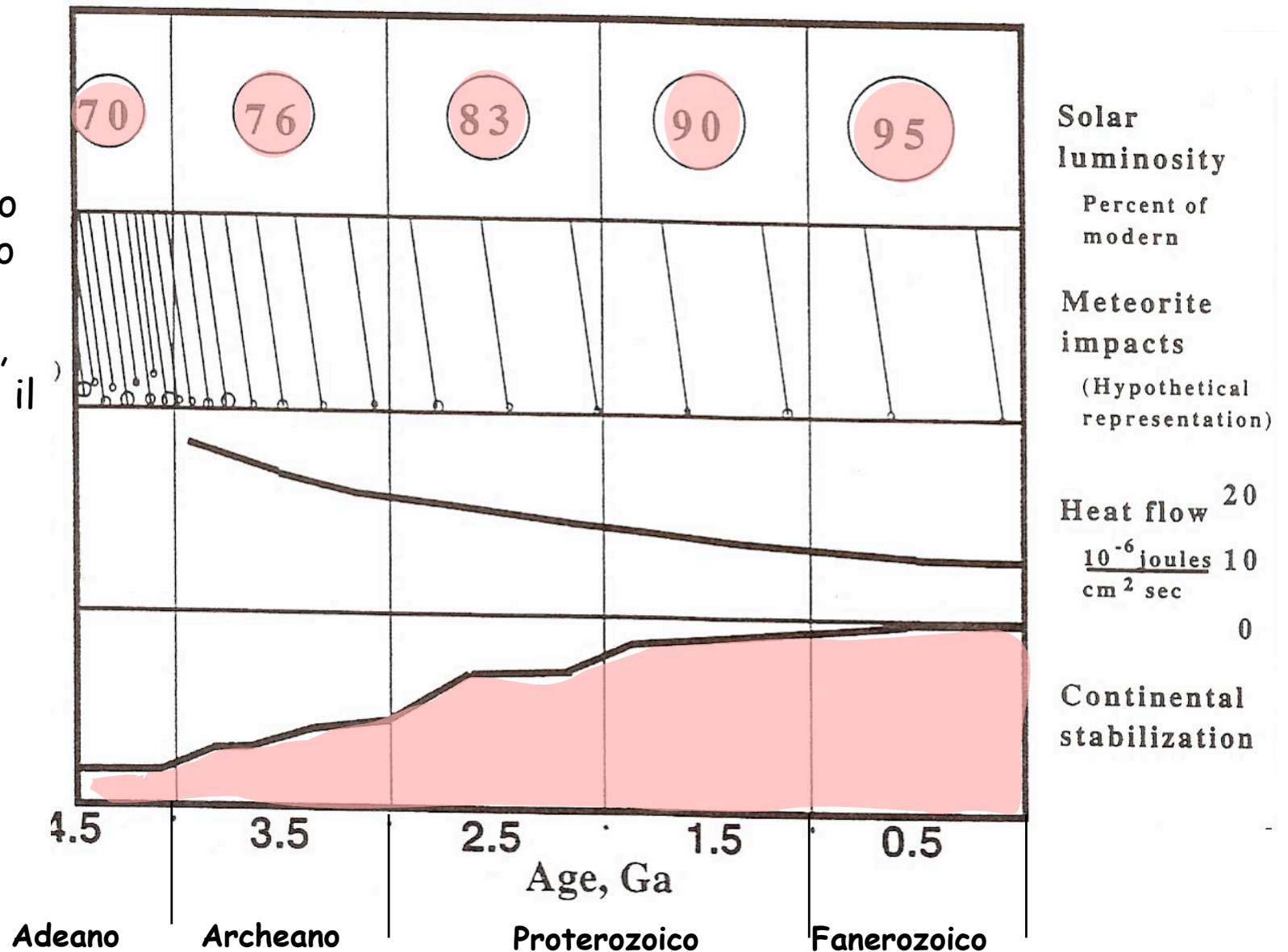
Cometa West



Il passato della Terra è registrato grazie all'involucro esterno fluido (idrosfera + atmosfera) che ha reso il nostro pianeta da circa 4 miliardi di anni geologicamente attivo ed abitabile.

Cambiamenti di lungo periodo

La Terra nel tempo geologico ha attraversato fasi di grandi trasformazioni, insieme a tutto il sistema solare.



From Des Marais: evolution of biogeochemical carbon cycle

Archeano (da 4000 a 2500 Ma)

- Differenziazione crostale : verso una crosta meno densa per arricchimento in minerali ricchi in silice (quarzo, feldspati)
- Prime evidenze di vita (in acque già ricche di sali)
- La "sottrazione" biogena di CO_2 (che si è andata accumulando sotto forma di grandi ammassi di calcari (carbonato di calcio) e dolomie (carbonato di calcio e magnesio) soprattutto attraverso le stromatoliti, comunità batteriche calcificanti

Stromatoliti, Warrawoona, North Pole, Australia

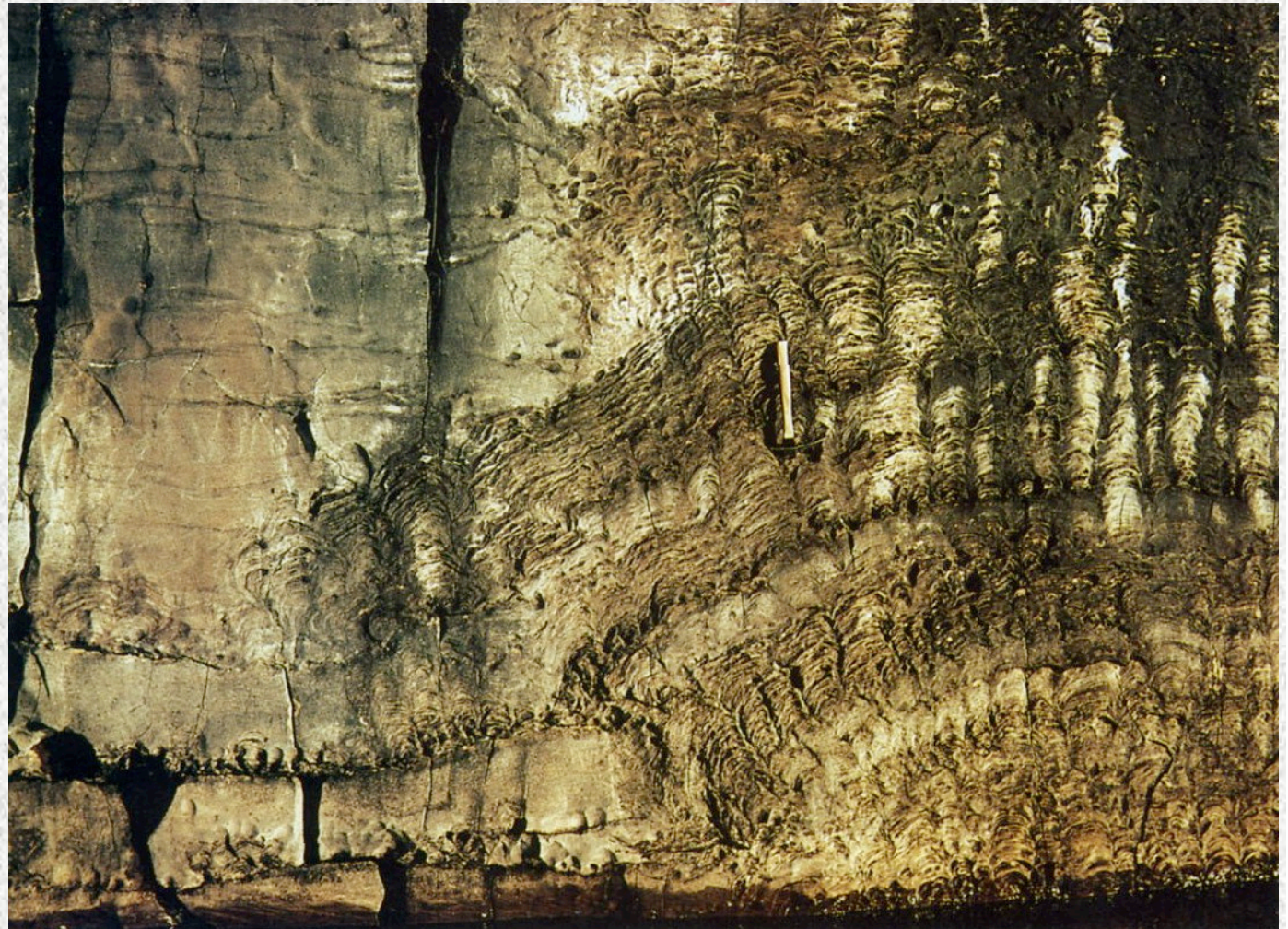


Alla fine dell'Archeano (circa 2700 Ma) le stromatoliti formavano ammassi superiori ai 500 m di spessore (Canada, Steep-Rock Form.).

Archeano (da 4000 a 2500 Ma)

- Fotosintesi e ruolo dei cianobatteri (nasce la cooperazione tra i procarioti)

- Verso la "rivoluzione dell'ossigeno" : raggiungimento del Punto di Pasteur (1% di O_2), l'atmosfera diviene lentamente ossidante, i microbi anaerobi sono confinati nel sottosuolo e sul fondo dei bacini



Grandi depositi ferriferi (BIF o Banded Iron Formations)

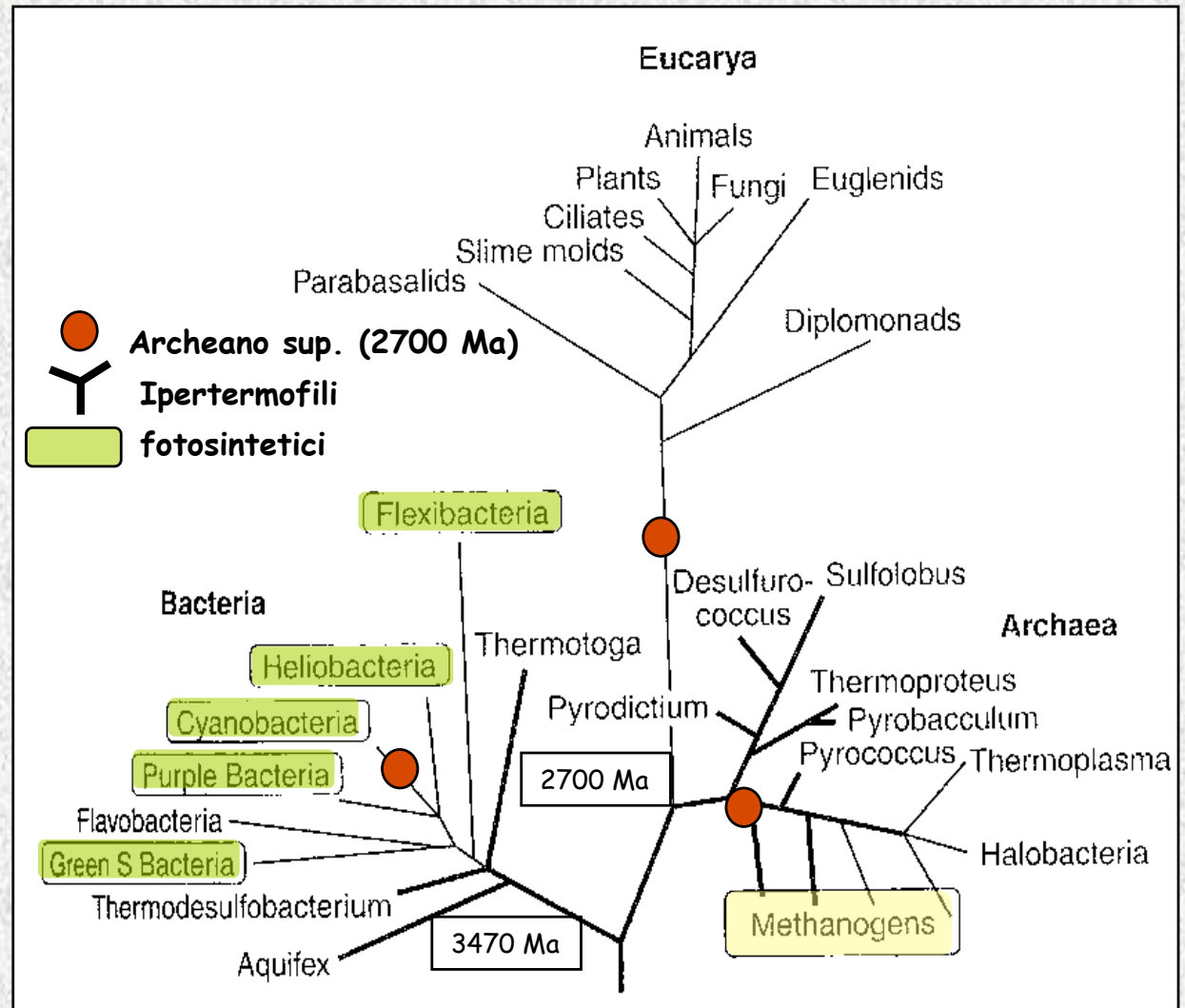
Prime catene di montagne/tettonica delle zolle ancestrale



A mountain of iron. This landscape in western Australia is carved out of a massive deposit of 2.5-billion-year-old iron formation. BIF (Banded Iron Formation)

Dal punto di vista biologico l'Archeano vede la diffusione ubiquitaria della vita (indirettamente rilevabile già in rocce con quasi 4000 milioni di anni come dimostrano i rapporti tra gli isotopi del carbonio).

Gli Archea si diversificano dai batteri prima di 3.500 ka mentre gli Eucarya (a cui anche noi apparteniamo, insieme a piante e funghi) si differenziano dagli Archea intorno a 2700 Ma.



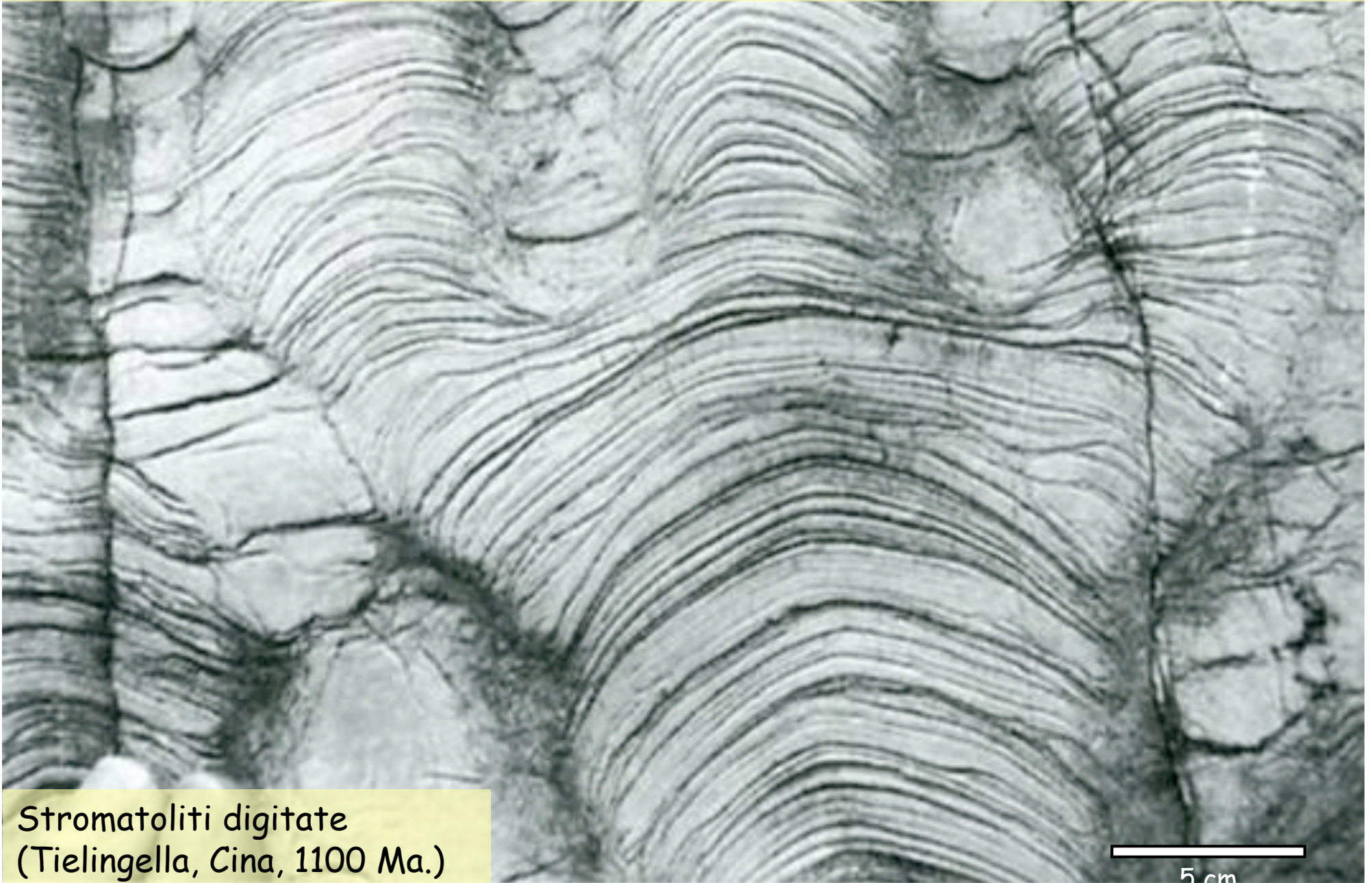
The Tree of Life, a depiction of the genealogical relationships of living organisms, based on sequence comparisons of genes that code for RNA. Note the three principal branches, made up of Bacteria, Archea and Eucarya. Branch lengths indicate degree of difference among gene sequences; because genes can evolve at different rates, however, this does not necessarily translate into time.



Proterozoico (da 2500 a 542 Ma)

- Atmosfera ossidante
- Masse continentali meno dense che "galleggiano" sul mantello e, risultando più rilevate, creano profondità oceaniche crescenti.
- Ripetuti processi di deriva dei continenti e orogenesi
- Primi metazoi (Ediacara). Glaciazione del Proterozoico terminale.
- Continua l'aumento di ossigeno atmosferico.

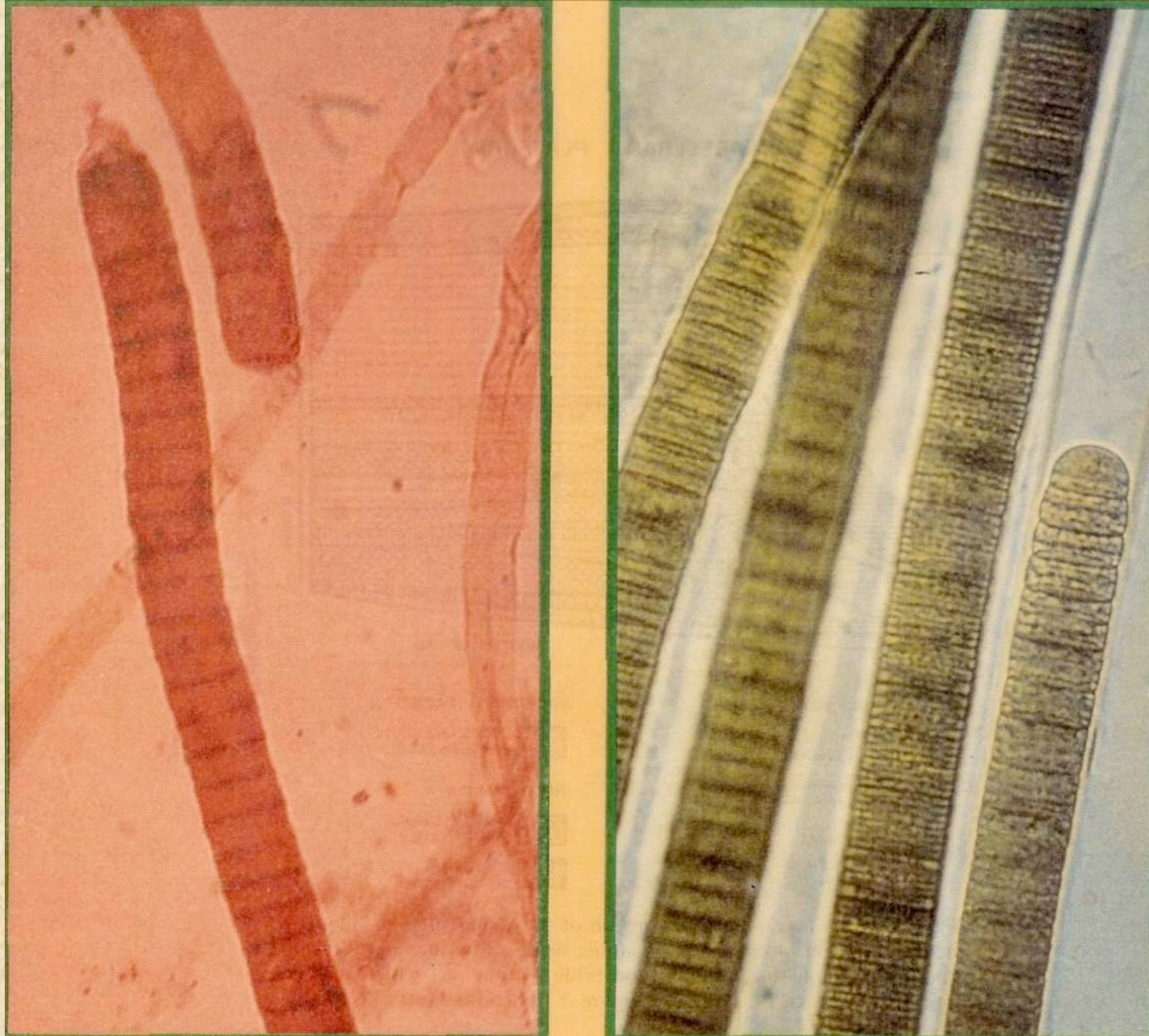
Dall'inizio della sua storia - e largamente ancor oggi - la Terra è stata dominata dai microbi procarioti (batteri, archea) e dal tardo Proterozoico anche da microbi eucarioti (funghi, alghe).



Stromatoliti digitate
(Tielingella, Cina, 1100 Ma.)

5 cm

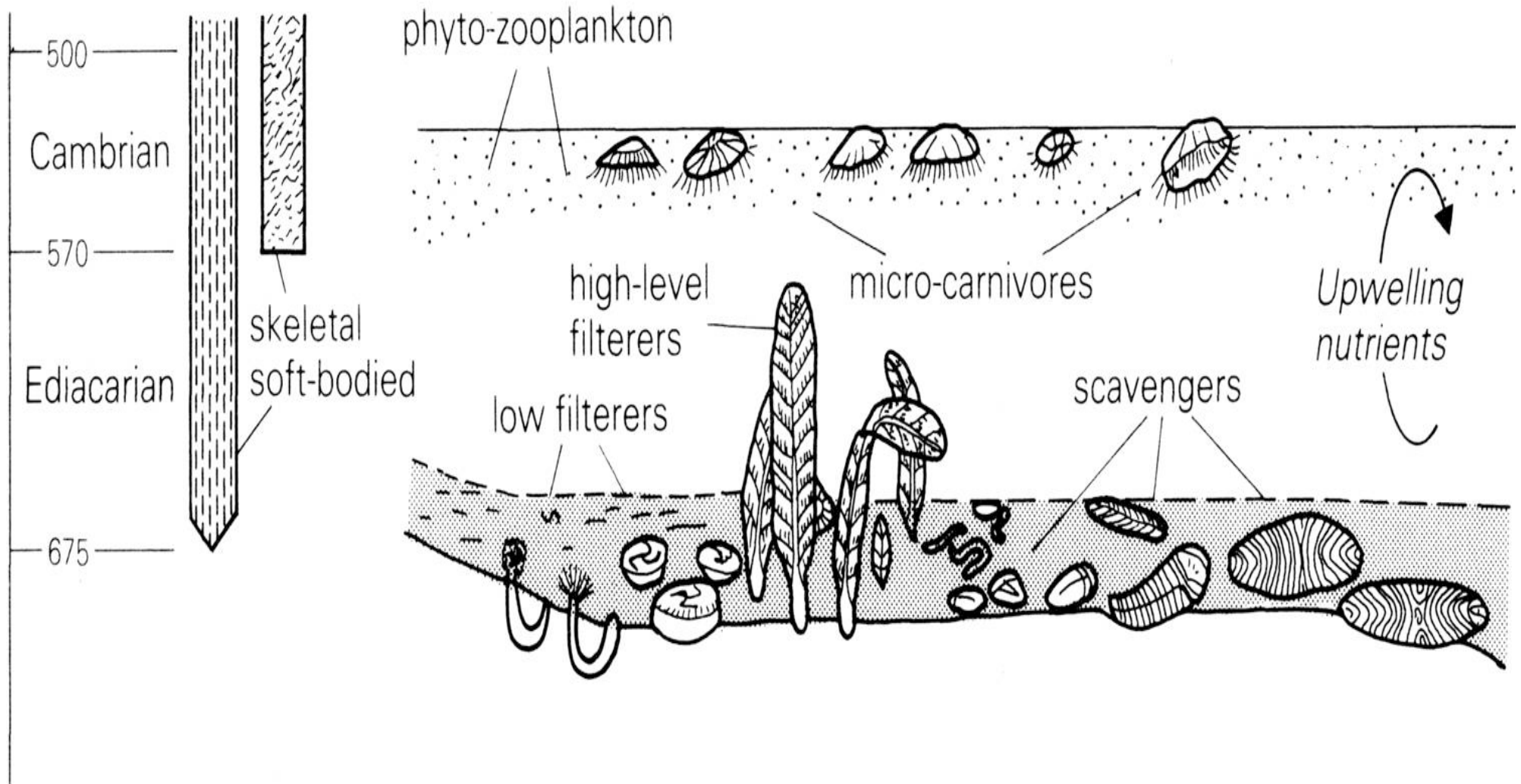
Procarioti del tardo Proterozoico e viventi



Paleolyngbya (950Ma)

Lyngbya (Present)

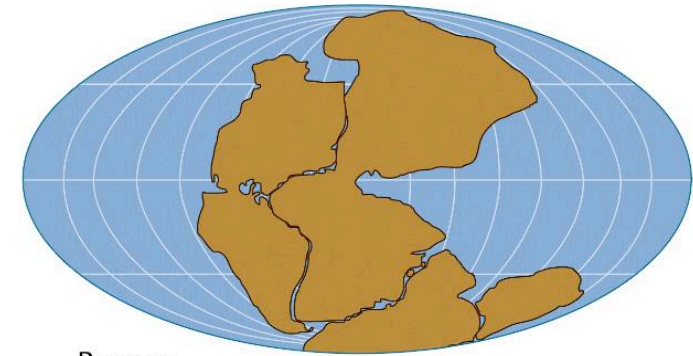
I primi metazoi compaiono circa 700 milioni di anni fa ("fauna" di Ediacara, Australia). Sono organismi pluricellulari privi di scheletro minerale, filtratori o limivori che non lasciano apparentemente discendenti. Possiamo forse considerare la loro scomparsa come la prima estinzione di massa.



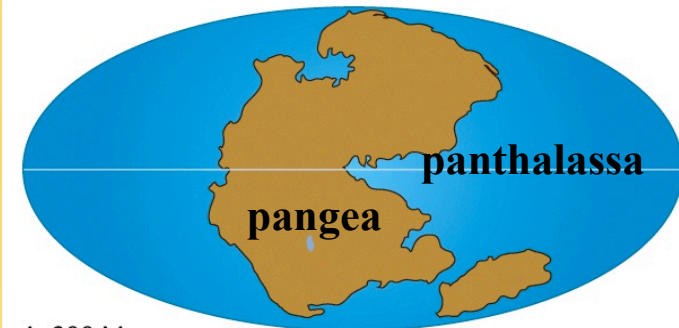
The Ediacarian soft-bodied metazoan community (courtesy of Paul Copper).

Paleozoico e Mesozoico (da 542 a 65,5 Ma)

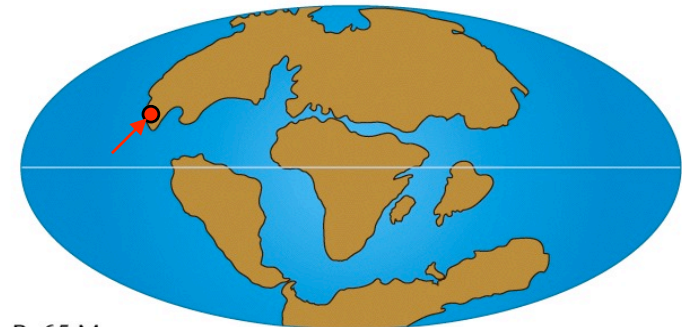
- Orogenesi Caledonica- Ercinica e inizio orogenesi Alpina
- Max altezza livello medio mari (anche oltre 100 m sopra il livello attuale)
- Climi caldi e un paio di glaciazioni significative
- La più grande estinzione di massa del Fanerozoico (al limite Paleozoico/ Mesozoico)
- Collisione di Cixcolub (Yukatan) e grande estinzione di massa al limite Mesozoico- Terziario (📍)



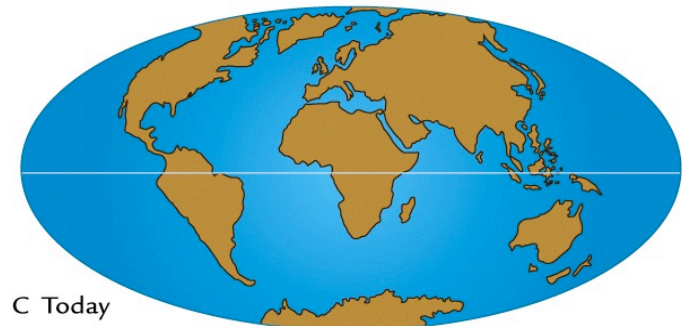
A Pangaea



A 200 Myr ago



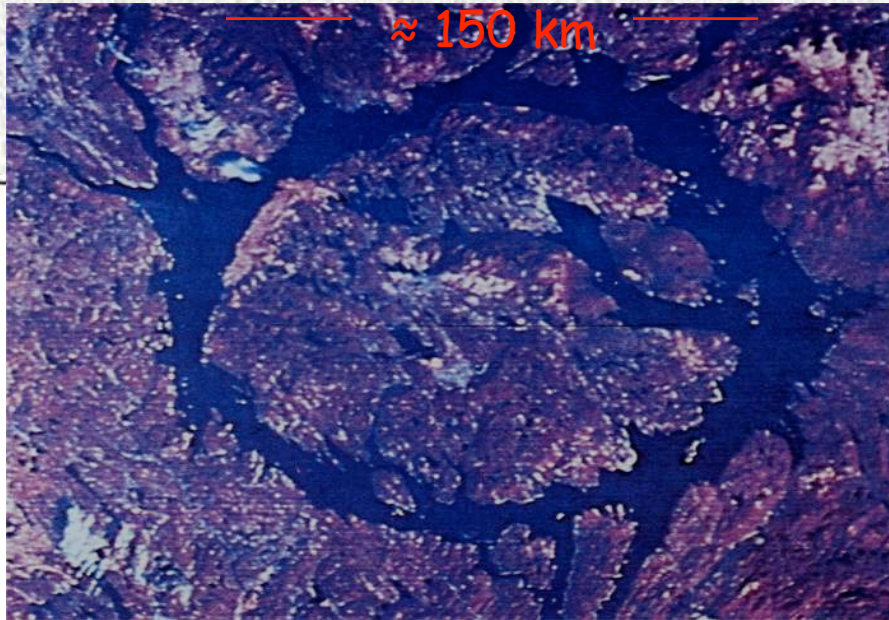
B 65 Myr ago



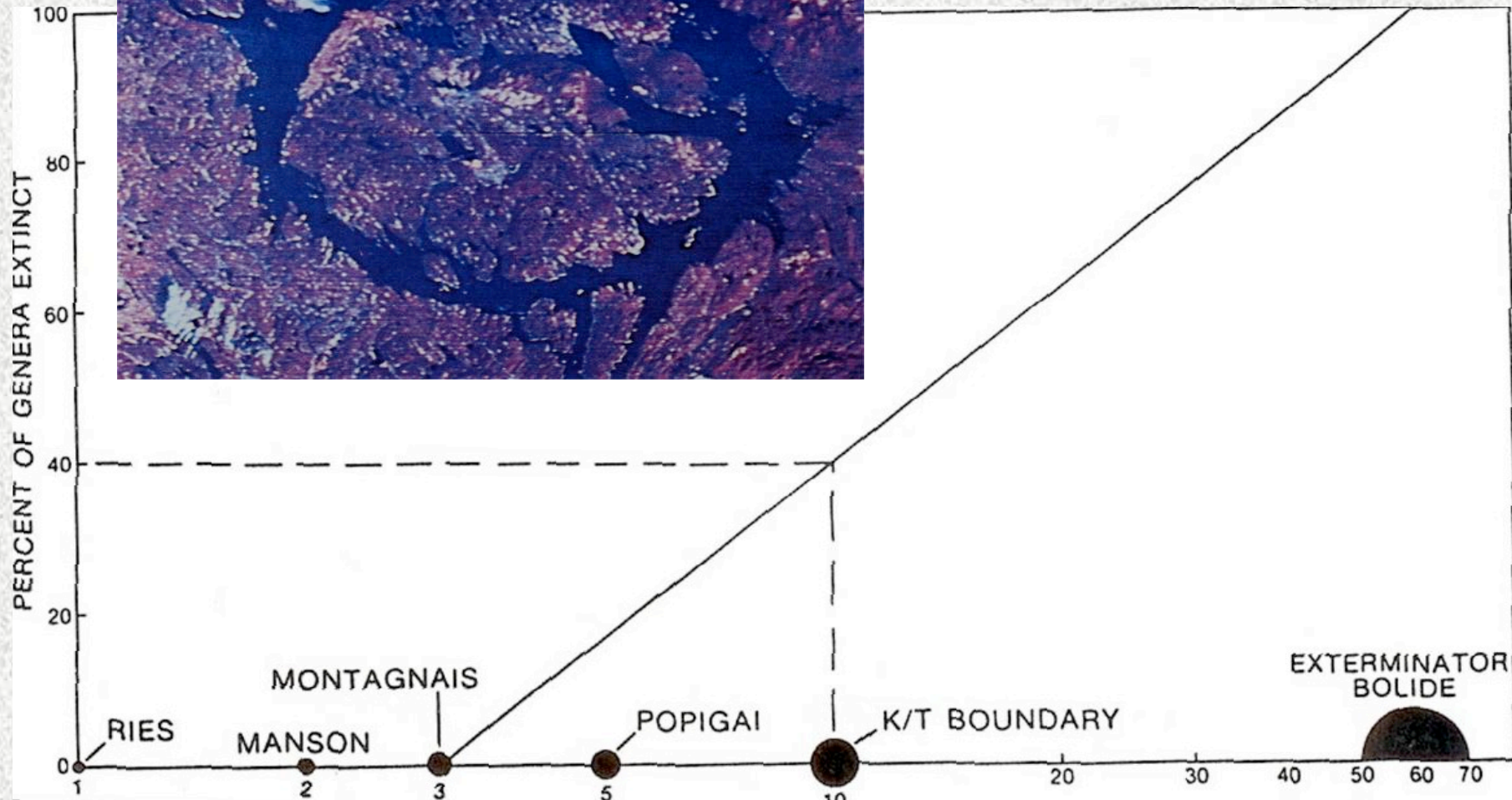
C Today



Nel Mesozoico si verifica la messa in posto di grandi espandimenti basaltici con milioni di km³ di magma messi in posto e immissioni di grandi quantità di CO₂ in atmosfera con conseguente effetto serra ed estinzioni di massa



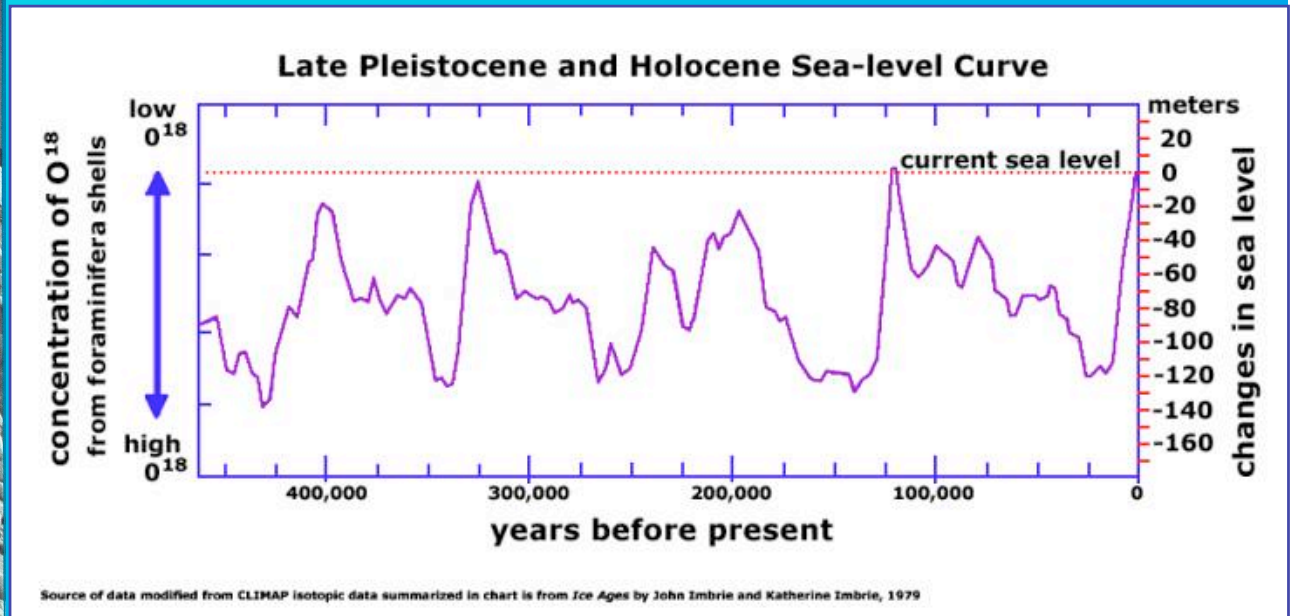
Il cratere da impatto di Manicouagan, Canada, età stimata 200 Ma. circa, diametro 100 km



Curva ipotetica delle estinzioni di massa legate a impatto di asteroidi. Il diametro degli asteroidi è plottato contro la percentuale di organismi viventi sterminabili. La soglia minima per l'estinzione è rappresentata da un corpo di 3 km di diametro, la soglia di estinzione totale degli organismi viventi corrispondenti all'impatto di un asteroide di 60 km di diametro.

Terziario e Quaternario (da 65,5 Ma a 20.000 anni or sono)

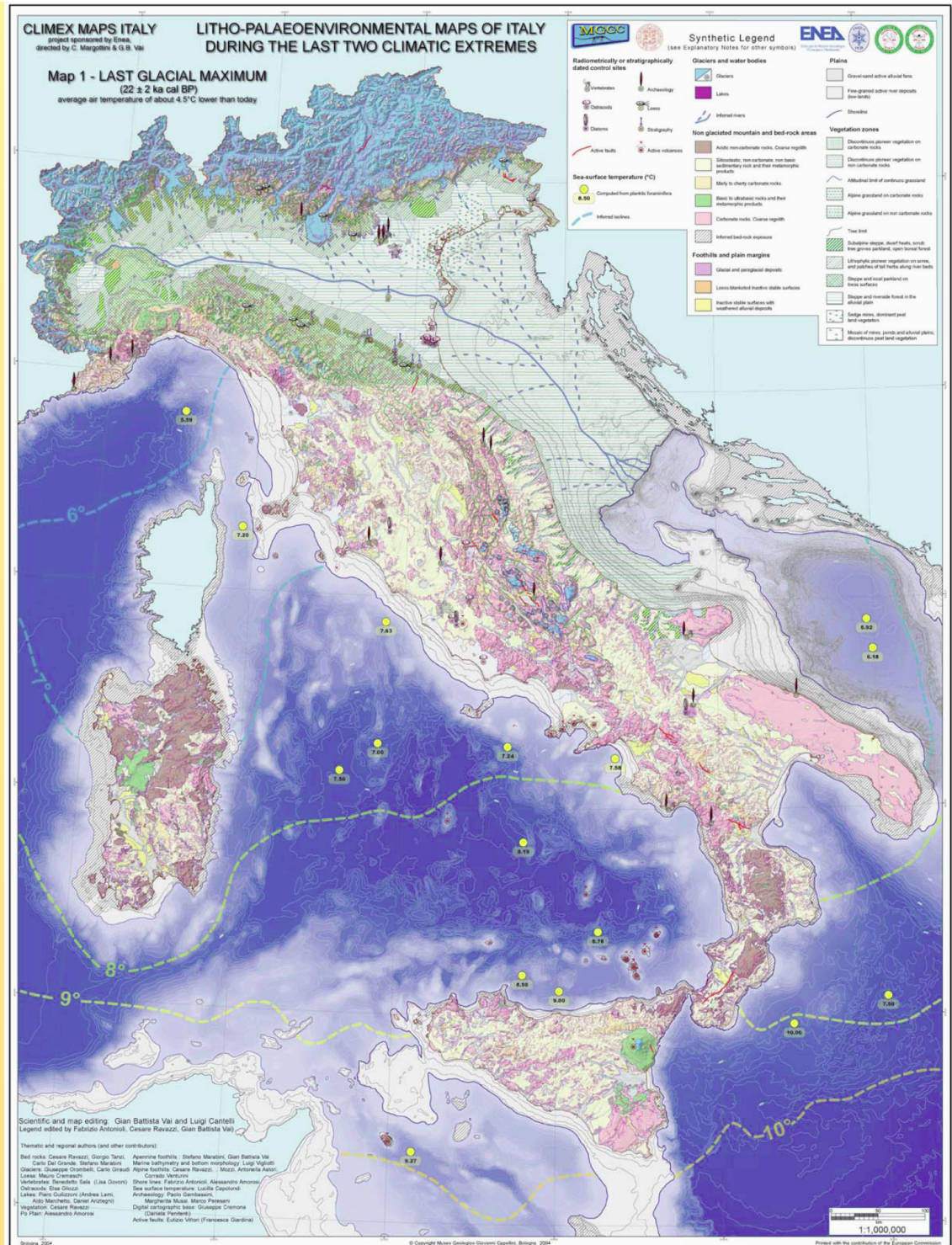
- Climi caldi. A partire da circa 30 - 35 Ma inizia la formazione di calotte glaciali e loro periodica fusione con forti oscillazioni del livello del mare (escursioni superiori anche ai 150 metri).
- Massimo sviluppo della orogenesi alpina (si sollevano le Alpi, l'Appennino, l'Himalaya).

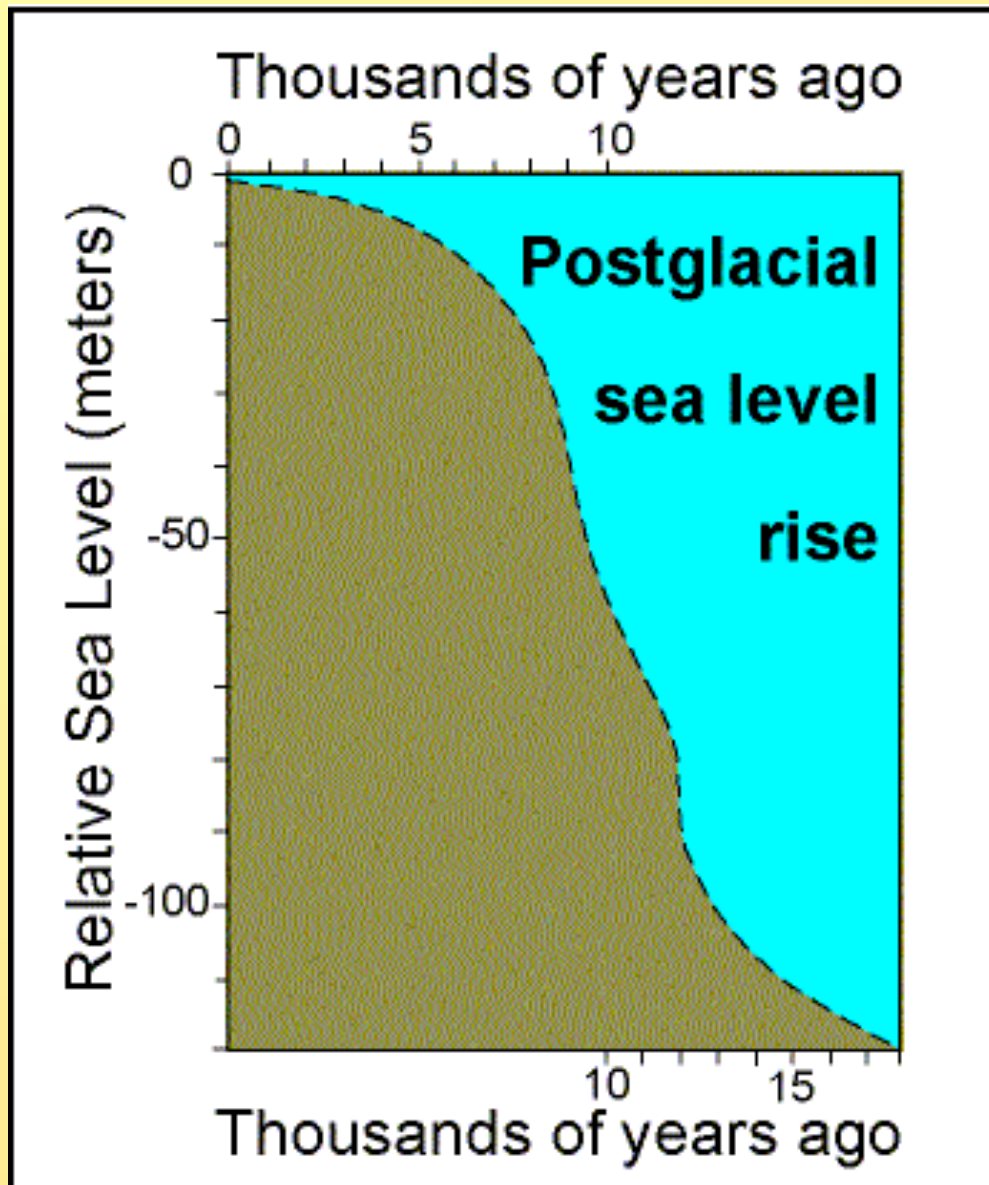


Oscillazioni climatiche degli ultimi 450 mila anni e relative variazioni del livello medio dei mari

Pleistocene terminale/ Olocene (da 20.000 anni al presente)

- situazione orografica e oceanografica simile al presente. Grandi calotte glaciali, climi freddi, livello medio dei mari di circa 120 metri più basso dell'attuale





- tra 18.000 e 6.000 anni or sono seguono grandi processi di arretramento per il crollo della calotta glaciale artica (di cui rimane oggi la sola Groenlandia) e conseguente sollevamento del livello medio del mare.

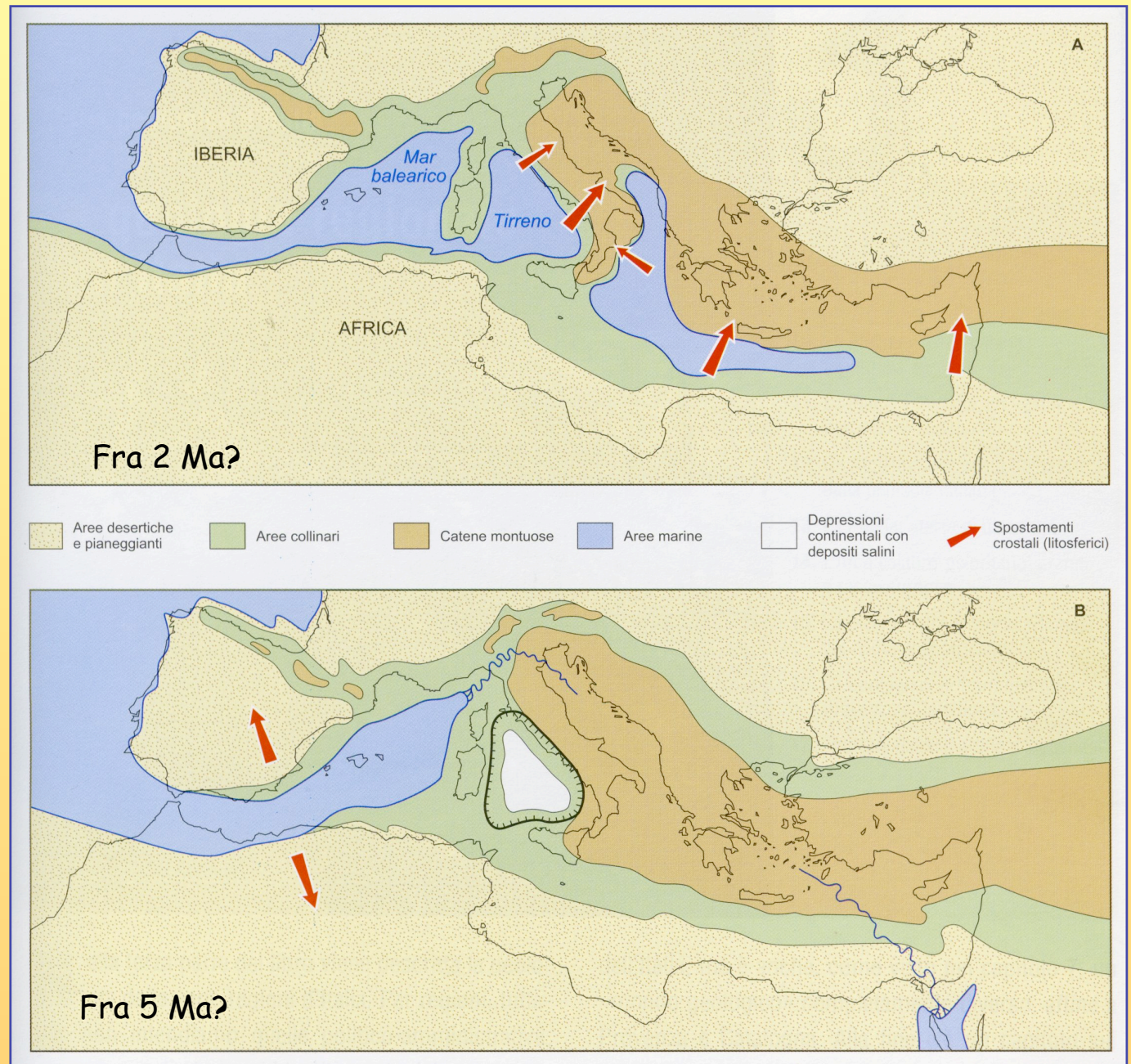
Ricordiamo comunque che l'impatto antropico non è recente ma ha origine oltre 6000 anni or sono (con lo sviluppo dell'agricoltura) e ha subito forti accelerazioni nelle ultime centinaia di anni.



Quale futuro?

E' difficile che l'impatto antropico riesca ad influire con modifiche "definitive" sui trend evolutivi della Terra come pianeta.

E' possibile che modifiche "temporanee" (ordine di grandezza tra migliaia e decine di migliaia di anni) provochino estinzioni di massa (come quella di fatto ora in atto), prodromi di nuovi impulsi evolutivi della biosfera.



In conclusione

In circa 4 miliardi di anni le estinzioni di massa e le crisi di biodiversità non hanno mai interrotto il corso degli eventi biologici. Ciò offre elementi di meditazione su come e perché la vita, nonostante abbia dovuto affrontare un mondo sempre ostile, non si sia finora estinta sul nostro pianeta.

