

corso di
ASTROBIOLOGIA
lezione 5

Modulo prof. Paola Di Donato
paola.didonato@uniparthenope.it

L'ORIGINE DELLA VITA

ARGOMENTI

- Lo sviluppo dei microrganismi
- Gli ambienti originari della vita
- Cronologia della vita

- Lo sviluppo dei microrganismi

Le forme di vita che oggi popolano il nostro pianeta si sono verosimilmente originate da organismi unicellulari.

Il metabolismo delle cellule primordiali si è adattato alle condizioni della Terra primordiale inducendone a sua volta modificazioni significative (per esempio nella composizione atmosferica).

Le mutate condizioni ambientali della Terra hanno così selezionato le forme di vita che oggi sono predominanti.

- **Lo sviluppo dei microrganismi**

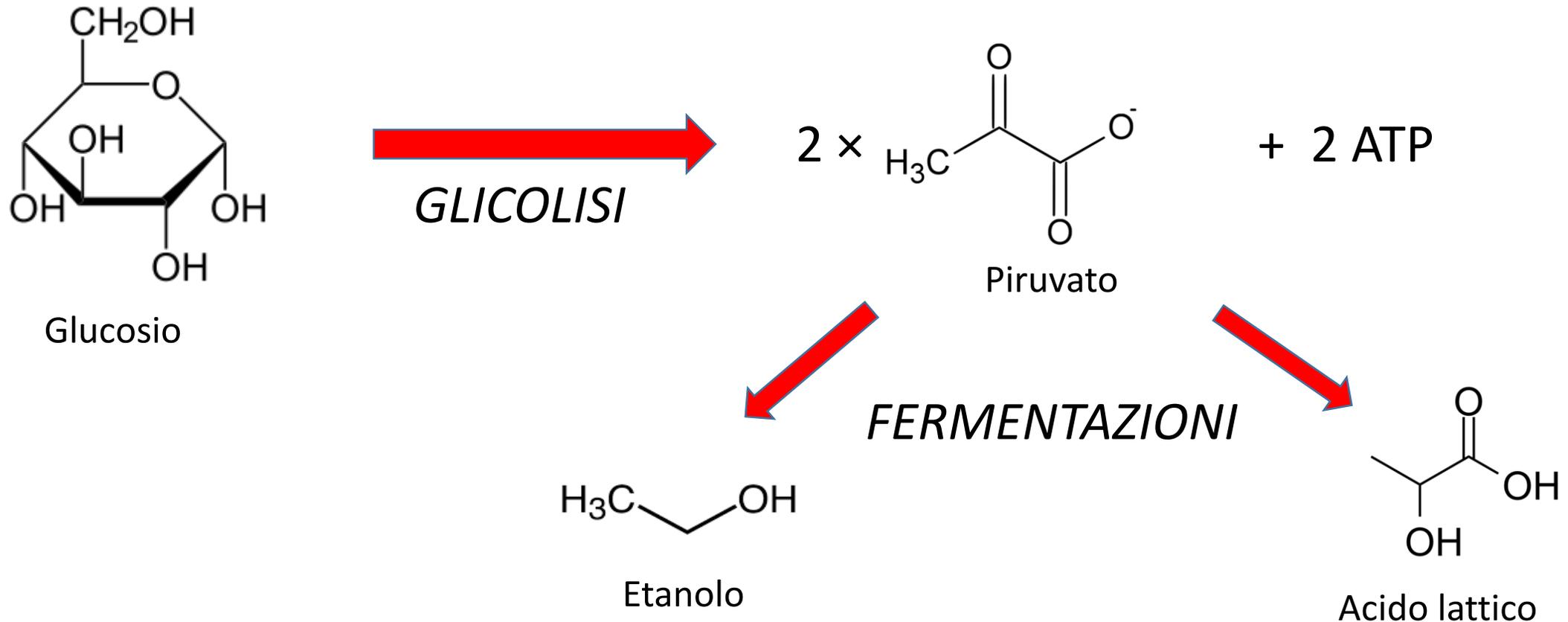
Le caratteristiche dei microorganismi che hanno popolato la Terra ai suoi primordi, possono essere postulate sulla base della biochimica delle cellule che ci è nota oggi.

Il metabolismo delle cellule primordiali si è sviluppato in condizioni anaerobiche, poi si è evoluto per adattarsi ad una atmosfera ricca di ossigeno come quella attuale.

Il metabolismo energetico, anche nelle cellule attuali, prevede una fase iniziale che è anaerobica (glicolisi), per ottenere energia a partire dai nutrienti.

- Lo sviluppo dei microrganismi

Il metabolismo energetico, anche nelle cellule attuali, prevede una fase iniziale che è anaerobica (glicolisi), per ottenere energia a partire dai nutrienti.



- Lo sviluppo dei microrganismi

In presenza di ossigeno tuttavia la resa energetica del metabolismo è superiore, probabilmente per tale motivo questo metabolismo è emerso e si è affermato

Energia totale ottenibile dal glucosio in assenza di ossigeno

Processo	Prodotto formato nella via	Molecole di ATP prodotte
Glicolisi	2 NADH (citosol) 2 ATP	3 o 5* 2
Ossidazione del piruvato (2 per molecola di glucosio)	2 NADH (mitocondrio)	5
Ossidazione di acetil-CoA nel ciclo di Krebs (2 per molecola di glucosio)	6 NADH (mitocondrio) 2 FADH₂ 2 ATP (GTP)	15 3 2
Resa totale per molecola di glucosio		30 o 32



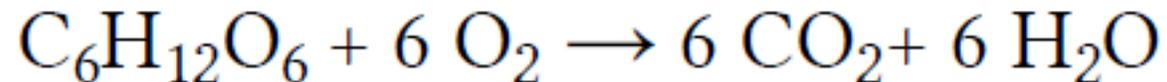
- Lo sviluppo dei microrganismi

In presenza di ossigeno la resa energetica del metabolismo è superiore: qual è l'origine di tale molecola?

FOTOSINTESI CLOROFILLIANA



OSSIDAZIONE COMPLETA DEL GLUCOSIO



- **Lo sviluppo dei microrganismi**

La comparsa della clorofilla ha consentito di usare l'energia luminosa che arriva sulla superficie terrestre mediante la fotosintesi.

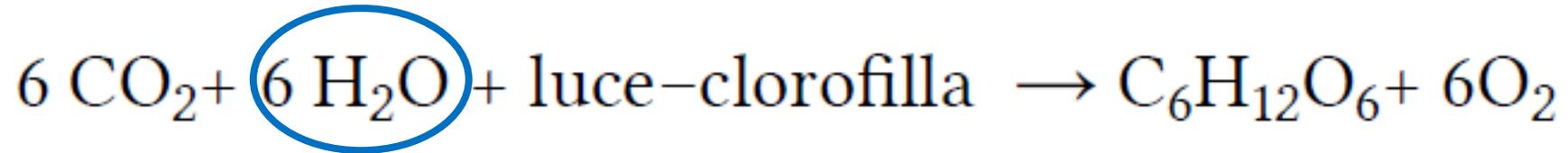
Il processo fotosintetico ha portato alla produzione sia di glucosio che di ossigeno: la comparsa di quest'ultimo ha frenato i processi biologici anaerobici, bandendoli in buona parte dall'atmosfera e dagli ambienti aerei.

Tutto ciò ha comportato una modifica del metabolismo delle forme di vita primordiali facendo affermare la respirazione come processo per produrre energia.

- Lo sviluppo dei microrganismi

Il processo di fotosintesi richiede però la presenza dell'acqua:

FOTOSINTESI CLOROFILLIANA (OSSIGENICA)

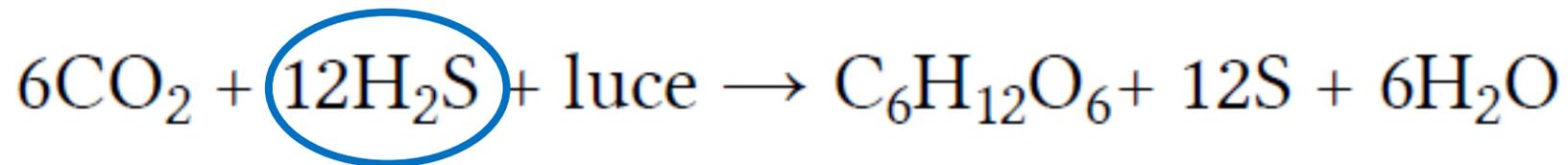


Prima che l'acqua fosse presente in quantità tali da consentire tale attività metabolica, in che modo poteva procedere il metabolismo?

- Lo sviluppo dei microrganismi

Negli anni '30 vengono scoperti i solfobatteri ovvero batteri che usano acido solfidrico come fonte di idrogeno per produrre acqua, e anidride carbonica come fonte di carbonio per produrre glucosio:

FOTOSINTESI ANOSSIGENICA



- Lo sviluppo dei microrganismi

I processi fotosintetici hanno verosimilmente sottratto CO₂ dall'atmosfera terrestre primordiale, sequestrandola sotto forma di carboidrati o altri composti organici immagazzinati nelle prime forme di vita.

Le prime forme di vita tramite il proprio metabolismo o mediante processi di decomposizione hanno ceduto il carbonio così immagazzinato al suolo.

In tal modo la vita emergente ha modificato la Terra ovvero cambiandone la composizione chimica atmosferica.

- Lo sviluppo dei microrganismi

Grazie alle forme di vita fotosintetiche la composizione chimica dell'atmosfera terrestre è variata nel corso della sua evoluzione in modo significativo: difatti la CO_2 è passato dal 95% allo 0,03% mentre l' O_2 è aumentato fino all'attuale 21%.

La % di O_2 in atmosfera è autoregolata per garantire al sopravvivenza degli organismi che sarebbero danneggiati da un suo eccessivo aumento, d'altro canto una sua diminuzione provocherebbe un aumento di anidride carbonica che stimolerebbe il processo fotosintetico e quindi nuova produzione di ossigeno.

Per quanto concerne invece l' N_2 , che è il maggior costituente della nostra atmosfera, esso si è originato dalle emissioni vulcaniche.

- Lo sviluppo dei microrganismi

Il metabolismo ossigenico ha probabilmente contribuito a selezionare le forme di vita che hanno preso il sopravvento della Terra .

Un altro importante componente dell'atmosfera ovvero l'ozono (O_3) è stato prodotto a partire dalla molecola di O_2 per azione dei raggi UV.

In tal modo si è creato uno schermo protettivo contro le radiazioni ultraviolette che probabilmente ha inibito le forme di vita che traevano energia da tali radiazioni favorendo invece quelle basate su altri processi metabolici, quali ad esempio la respirazione cellulare.

- Lo sviluppo dei microrganismi

Il metabolismo ossigenico ha probabilmente contribuito a selezionare le forme di vita che hanno preso il sopravvento della Terra .

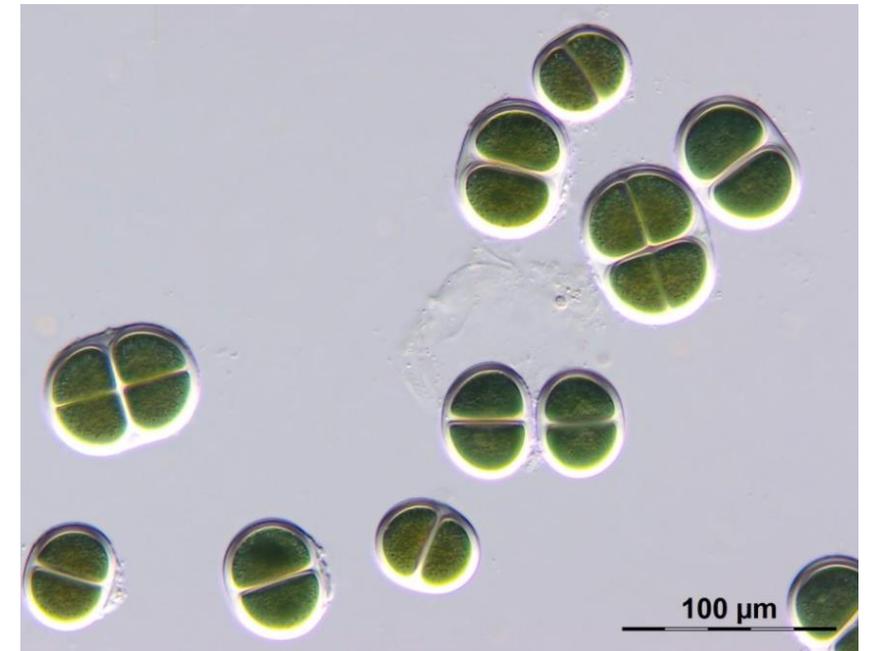
Ma quali potrebbero essere state le forme di vita che hanno dato inizio a tale trasformazione?

Un candidato possibile sono i CIANOBATTERI in quanto in grado di dare luogo a processi fotosintetici anche con bassi livelli di luce ed in condizioni ambientali estreme e variegata, ovvero sul fondo degli oceani e nei suoli, in acqua sia dolce che salata, in presenza o assenza di ossigeno.

- Lo sviluppo dei microrganismi

I Cianobatteri sono organismi procariotici che si ritiene abbiano sviluppato per primi l'apparato metabolico per la realizzazione della fotosintesi ossigenica.

La loro inclusione, per endosimbiosi, in organismi più complessi, avrebbe dato origine agli organismi fotosintetici eucariotici, da cui si sono sviluppate alghe e piante superiori.



Cianobatteri Chroococcales

- Gli ambienti originari della vita

Quali sono stati i processi da cui si è originata la vita? In che modo i processi fotosintetici oppure quelli ipotizzati da Miller, potrebbero essersi affermati?

A tal proposito la discussione prende in considerazione due teorie, ovvero una che pone l'origine delle molecole ingredienti della vita al di fuori del nostro pianeta (Panspermia chimica) e l'altra che invece ipotizza che tali molecole si siano originate sulla terra in ambienti ben determinati (Ambienti protetti).

- **Gli ambienti originari della vita: Panspermia chimica**

Secondo tale ipotesi, i cosiddetti ingredienti della vita si sarebbero originati nello spazio come confermato dalla presenza di amminoacidi, basi azotate et cetera in meteoriti e condriti.

In particolare i metalli presenti nelle meteoriti potrebbero aver inglobato le molecole organiche proteggendole e depositandole in tal modo sulla Terra.

Sia le molecole organiche che l'acqua che ha poi costituito gli oceani, avrebbero dunque raggiunto la superficie della Terra trasportate dai meteoriti.

- **Gli ambienti originari della vita: Ambienti protetti**

Tale ipotesi si basa sulla assunzione che la vita si sia originata in sorgenti idrotermali presenti sulla Terra, ovvero ambienti caldi e ricchi di sostanze riducenti ed acqua.

In tali ambienti, grazie all'azione delle radiazioni UV e di scariche elettriche, avrebbe potuto aver luogo una chimica come quella ipotizzata da Miller e avrebbero dunque potuto formarsi le prime molecole costituenti essenziali della vita cellulare.

- La cronologia della vita

Le ipotesi fatte sulle caratteristiche delle prime forme di vita ci hanno portato a delineare la successione degli eventi mediante i quali la vita è comparsa sulla Terra.

Ma dal punto di vista cronologico, come e dove possiamo collocare tali eventi nel corso della evoluzione della Terra?

Uno strumento utile è rappresentato dalla misura del rapporto isotopico del carbonio ovvero il rapporto $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$: il metabolismo cellulare seleziona l'isotopo più leggero per cui in presenza di attività biologica tale rapporto tende a diminuire.

Il valore del rapporto $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ può essere usato come indizio della presenza di forme di vita.

- La cronologia della vita

Valori di riferimento del rapporto isotopico del carbonio $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

Cosmo

$R = \sim 50/1000 (\sim 50\text{‰})$

Sistemi biologici (piante)

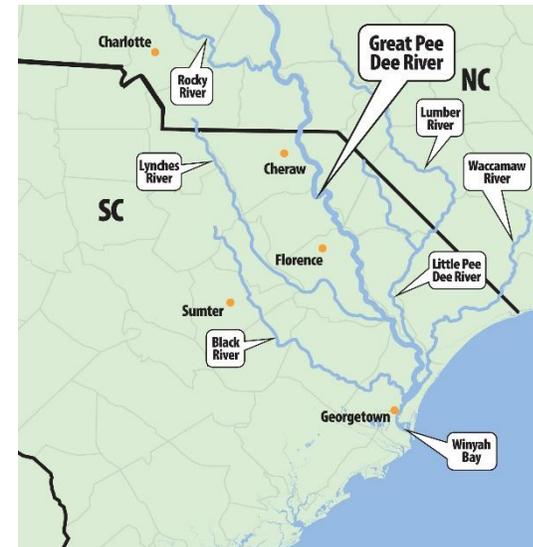
$R = \sim 11/1000 (\sim 11\text{‰})$

VPDB (Vienna Pee Dee Belemnite)

$R = \sim 11,237\text{‰}$

- La cronologia della vita

Pee Dee Belemnite (PDB) campione di belemnite risalente al Cretaceo, rinvenuta nella formazione Peedee nella Carolina del Sud (USA): è stato usato come standard per le misure dell'abbondanza isotopica del carbonio a partire dagli anni '50. Il campione originale non è più disponibile.



- La cronologia della vita

Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB): attualmente si usa come riferimento un materiale carbonatico (NBS 19) proposto negli anni '80 e adottato a Vienna dall'Agencia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA).

Tale campione ha un valore di + 1,95% rispetto al PDB. $R_{VPDB} = \sim 11,237\text{‰}$

Datazione come differenza in millesimi rispetto al valore R_{VPDB} :

$$\delta C^{13} [\text{‰}] = 1000 \times (R/R_{VPDB} - 1)$$

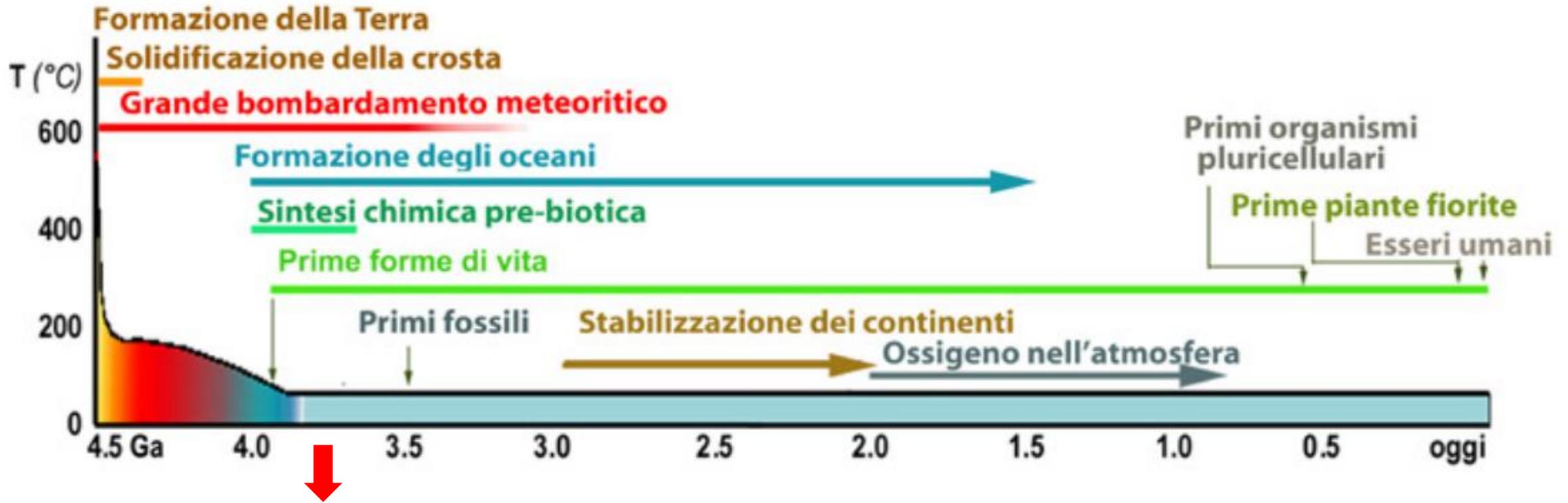
- La cronologia della vita

Sorgente	δC^{13} [‰]
<i>Stelle 1,5 M_☉ (valore teorico)</i>	3000 – 3900
<i>Condriti carbonacee</i>	25 – 75
VPDB standard	0
CO ₃ marina	0
CO ₂ del terreno	-5
CO ₂ atmosferico	-9
Erba in zona arida	-13
<i>Meteorite marziana ALH84001</i>	-15
Organismi e piante marine	-16
Legno fossile, carbone di legna	-24
Massimo valore nelle piante (riso, patate)	-33
Metano in zone anaerobiche	fino a -60

Valori approssimati del δC^{13} (in millesimi) nelle stelle, nelle meteoriti, sulla superficie terrestre e negli organismi viventi.

In corsivo sono indicati gli oggetti extraterrestri.

- La cronologia della vita

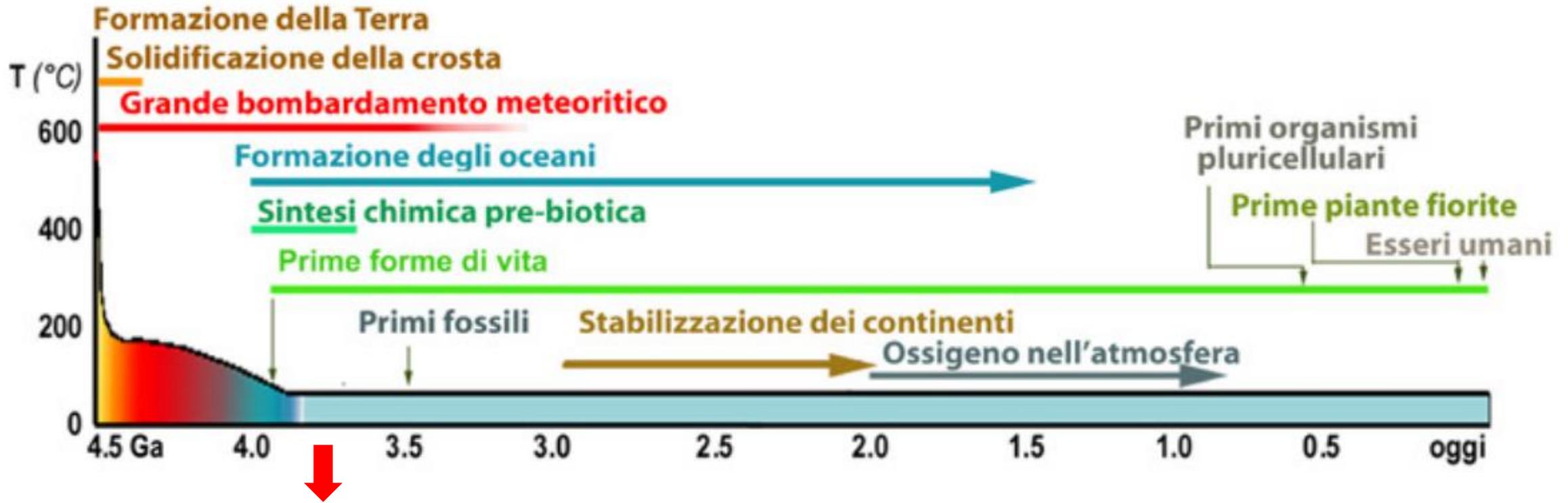


ROCCE SEDIMENTARIE

- nell'isola di Akilia, Groenlandia, con età di 3,83 Ga e $\delta C^{13} = -37\text{‰}$
- Pilbara (Australia), con un'età di 3,5–3,4 Ga e con $\delta C^{13} \sim -26\text{‰}$

Questi valori, se corretti, indicano che le prime tracce di arricchimento di carbonio organico sono databili a prima di **3,95 miliardi di anni fa**.

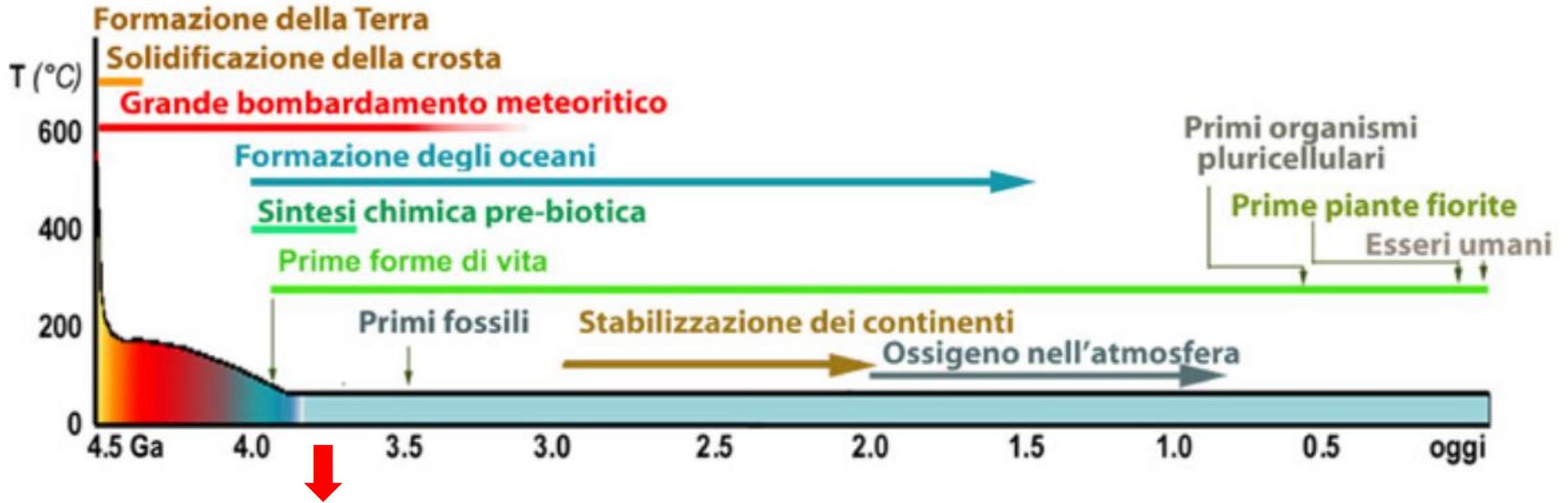
- La cronologia della vita



ROCCE SEDIMENTARIE

Questi risultati suggeriscono che la Terra nata caldissima, a centinaia di gradi, si è raffreddata progressivamente bombardata da enormi impatti mentre i gas contenuti nel suo interno sono arrivati in superficie attraverso i vulcani.

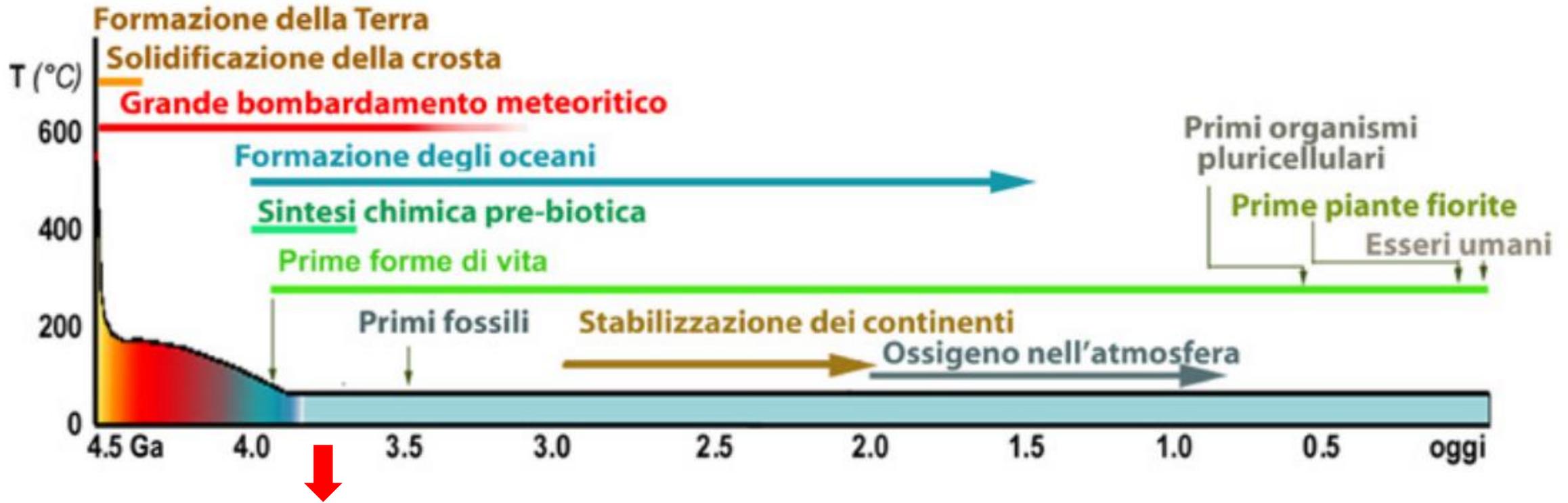
- La cronologia della vita



ROCCE SEDIMENTARIE

Il vapor acqueo ha dato luogo alle piogge che hanno trasportato sabbie negli oceani, dove hanno iniziato a formarsi quelle che oggi sono le rocce sedimentarie. In base alle datazioni radiometriche, questo sarebbe avvenuto circa ~3,95 Ga fa.

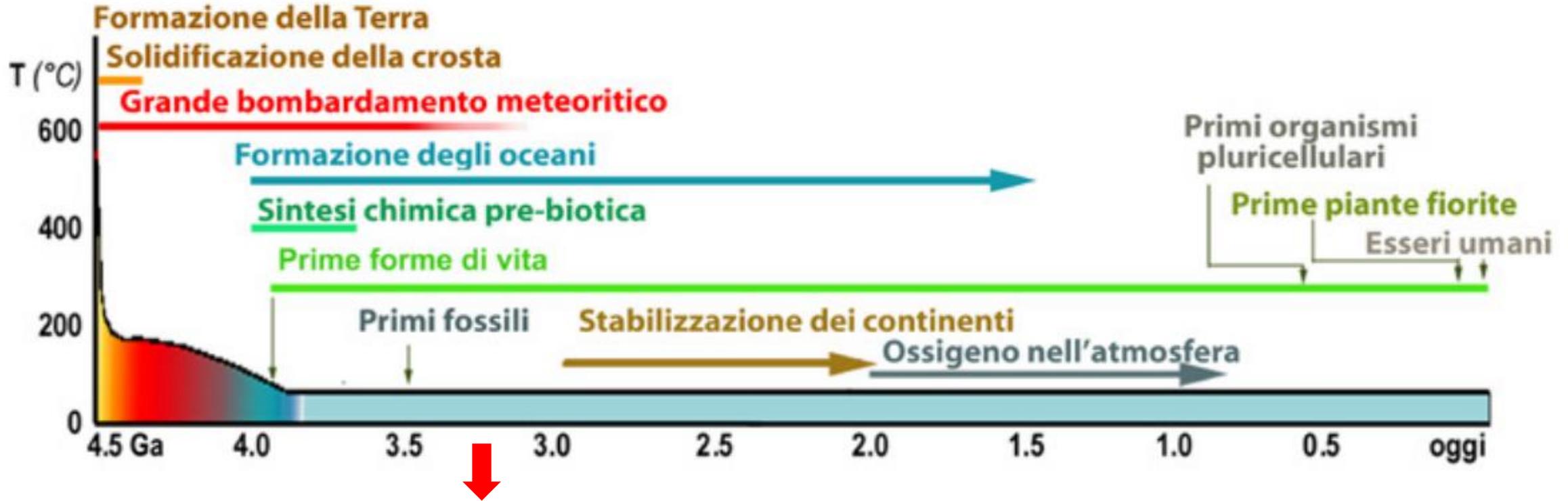
- La cronologia della vita



ROCCE SEDIMENTARIE

Se in contemporanea alla formazione degli oceani, creati dall'acqua bollente e sterile dei vulcani, sono comparse delle forme di vita che hanno prodotto il valore di δC^{13} misurato oggi, può voler dire che la vita si è sviluppata subito, non appena ci sono state le giuste condizioni per il suo sviluppo

- La cronologia della vita



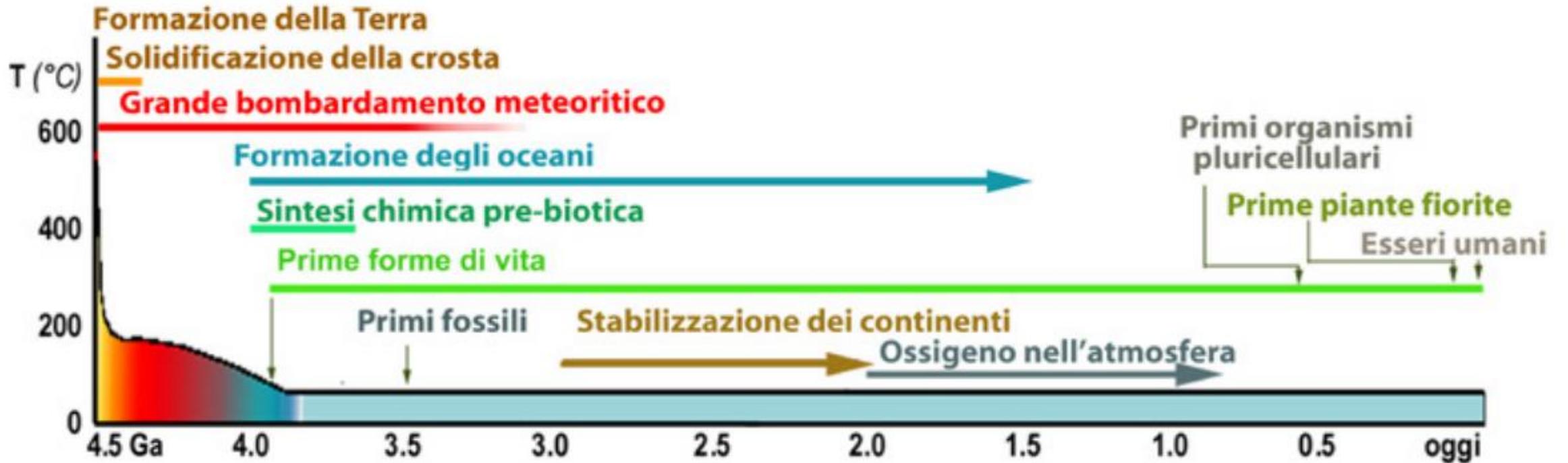
BATTERI FOSSILI con valore δC^{13} varia da -30 a -42,4 ‰ rispetto al PDB.

- Pilbara (Australia) databili 3,47 e 3,45 Ga

- Barberton Mountains, in Sud Africa, in rocce databili tra 3,1 e 3,2 Ga.

Questi fossili sono residui di singole cellule e gruppi disposti in filamenti, alcuni dei quali assomigliano ai cianobatteri attuali.

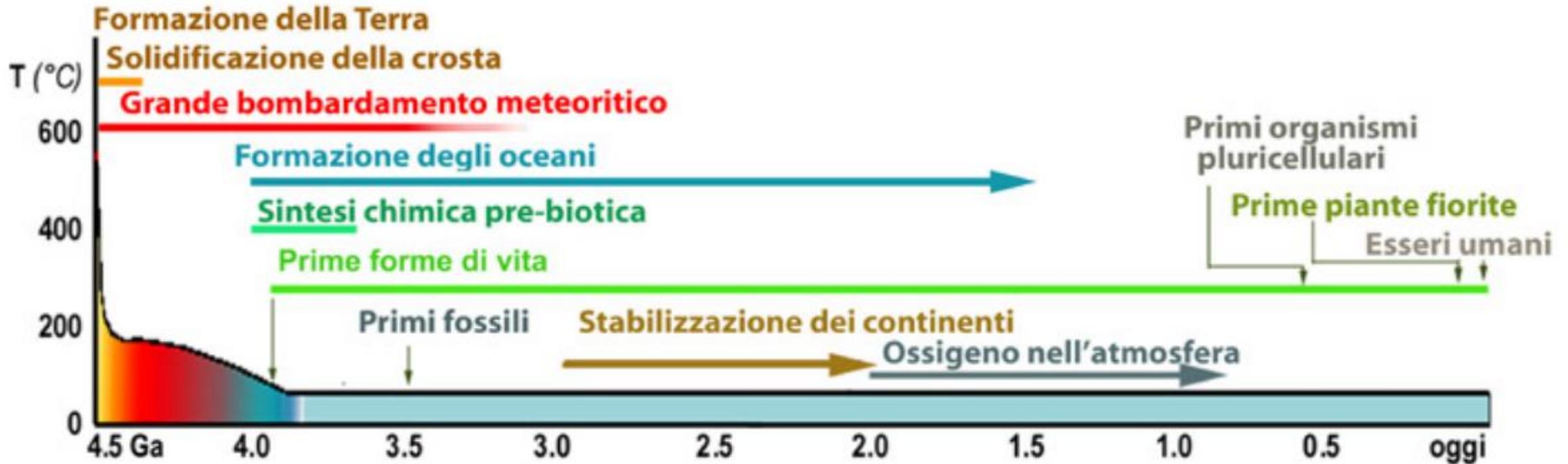
- La cronologia della vita



2,5 Ga

I mari anossici iniziano ad assorbire ossigeno

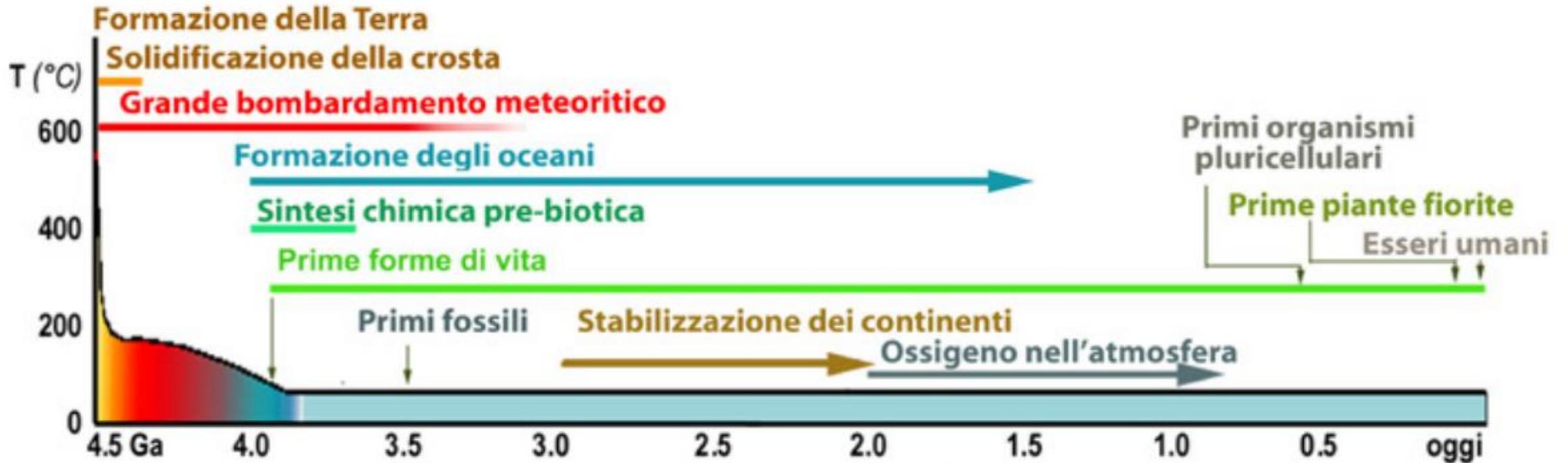
- La cronologia della vita



2.0 Ga

Great Oxidation Event, o Catastrofe dell'ossigeno: forte ossigenazione dell'atmosfera probabilmente causata dalla comparsa della fotosintesi ossigenica

- La cronologia della vita



1,9Ga- 850Ma

Comparsa dello strato di ozono che intrappola l'O₂ in atmosfera