



Storia (in breve) della Terra

(NASA's Earth Observatory)



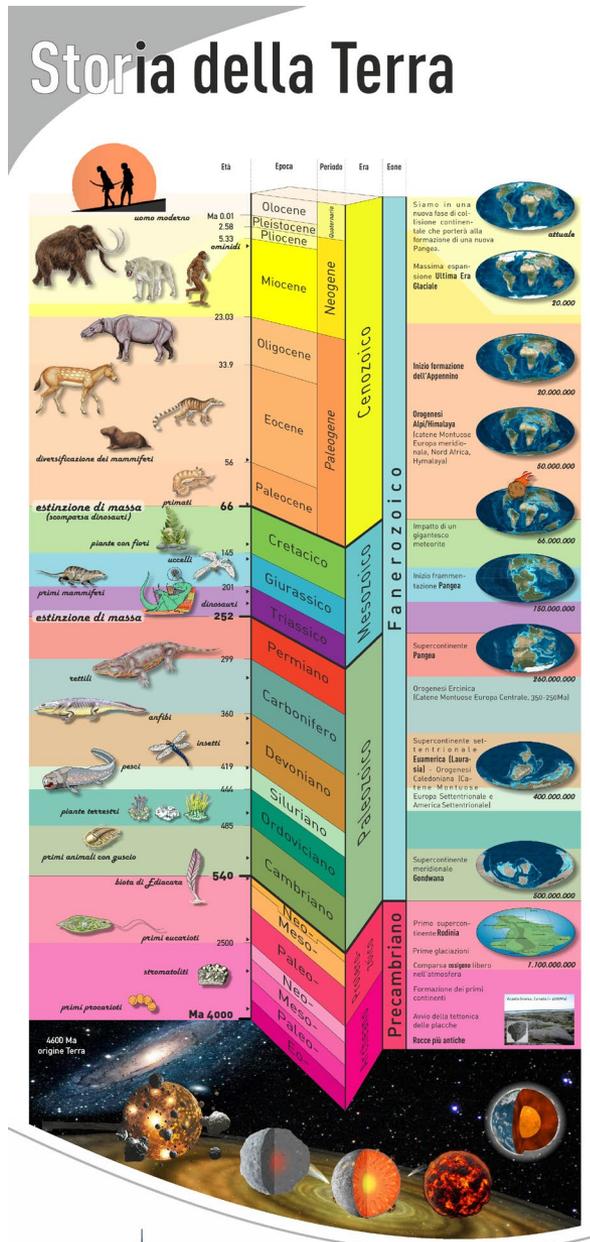
“Storia della Terra” è il poster realizzato presso la sezione INGV di Pisa che racconta i 4,6 miliardi di anni di storia del nostro pianeta e degli organismi viventi (piante e animali) che lo hanno abitato e lo abitano oggi.

Al centro del poster è rappresentato lo scorrere del tempo con una colonna che riproduce la Scala dei Tempi Geologici.

Sulla colonna di destra compaiono le tappe principali della storia geologica.

Sulla sinistra abbiamo illustrato i momenti salienti della storia della vita sul nostro pianeta

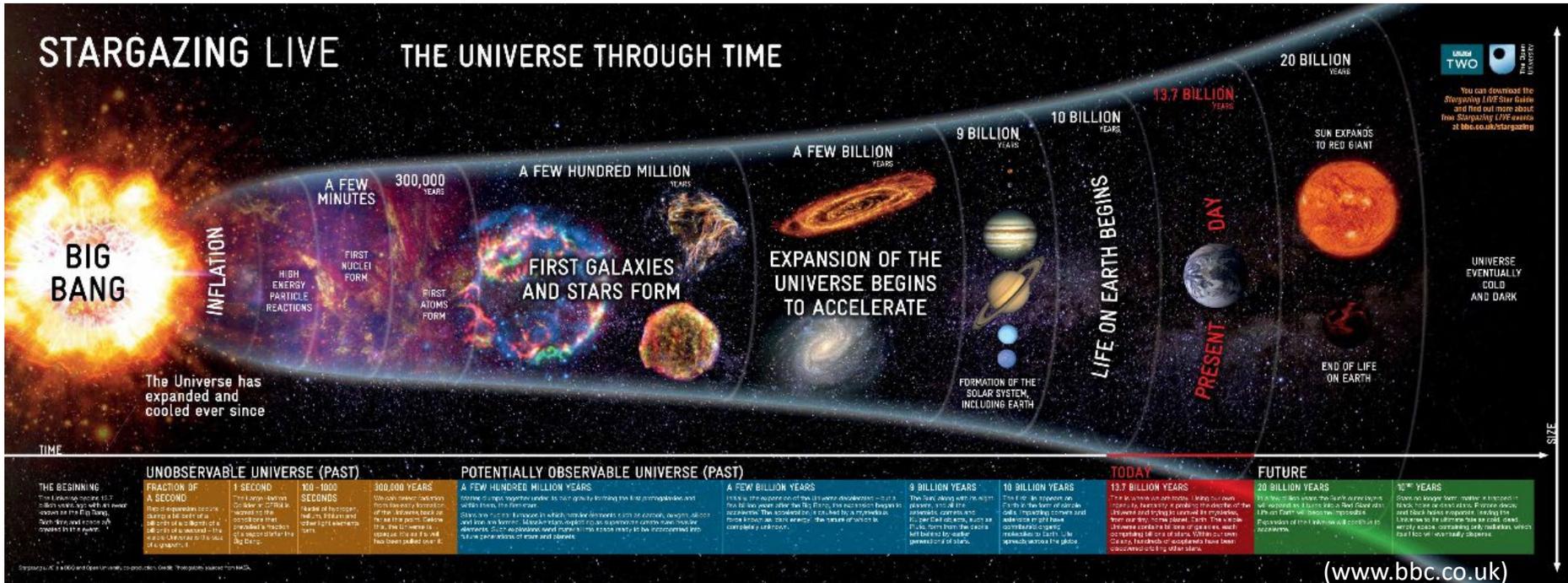
Antonio Cascella (acquisizione dati e testi), INGV (Pisa)
 Patrizia Pantani (elaborazione grafica), INGV (Pisa)
 Scala dei tempi (International Commission on Stratigraphy, www.stratigraphy.org);
 Paleogeografia da Earth Hystory , www.scotese.com



IL BIG BANG

TUTTO COMINCIA CON UNA GRANDE ESPLOSIONE

13,7 miliardi di anni fa



Evoluzione dell'Universo nel Tempo



4,6 miliardi di anni fa *nasce* il nostro Pianeta

La storia del Pianeta Terra ebbe inizio con la formazione dell'intero sistema solare avvenuta circa 4.6 miliardi di anni fa, a partire dalla condensazione della materia di una nebulosa fatta di polveri e gas (idrogeno ed elio).



(www.lescienze.it)



4,6 miliardi di anni fa *nasce* il nostro Pianeta

Molto probabilmente fu il passaggio e/o l'esplosione di una stella molto vicina a provocare il collasso della nebulosa



(www.eso.org)



4,6 miliardi di anni fa *nasce* il nostro Pianeta

La nebulosa iniziò a ruotare su sé stessa sino ad assumere la tipica forma a disco, mentre i gas e le polveri si condensavano.

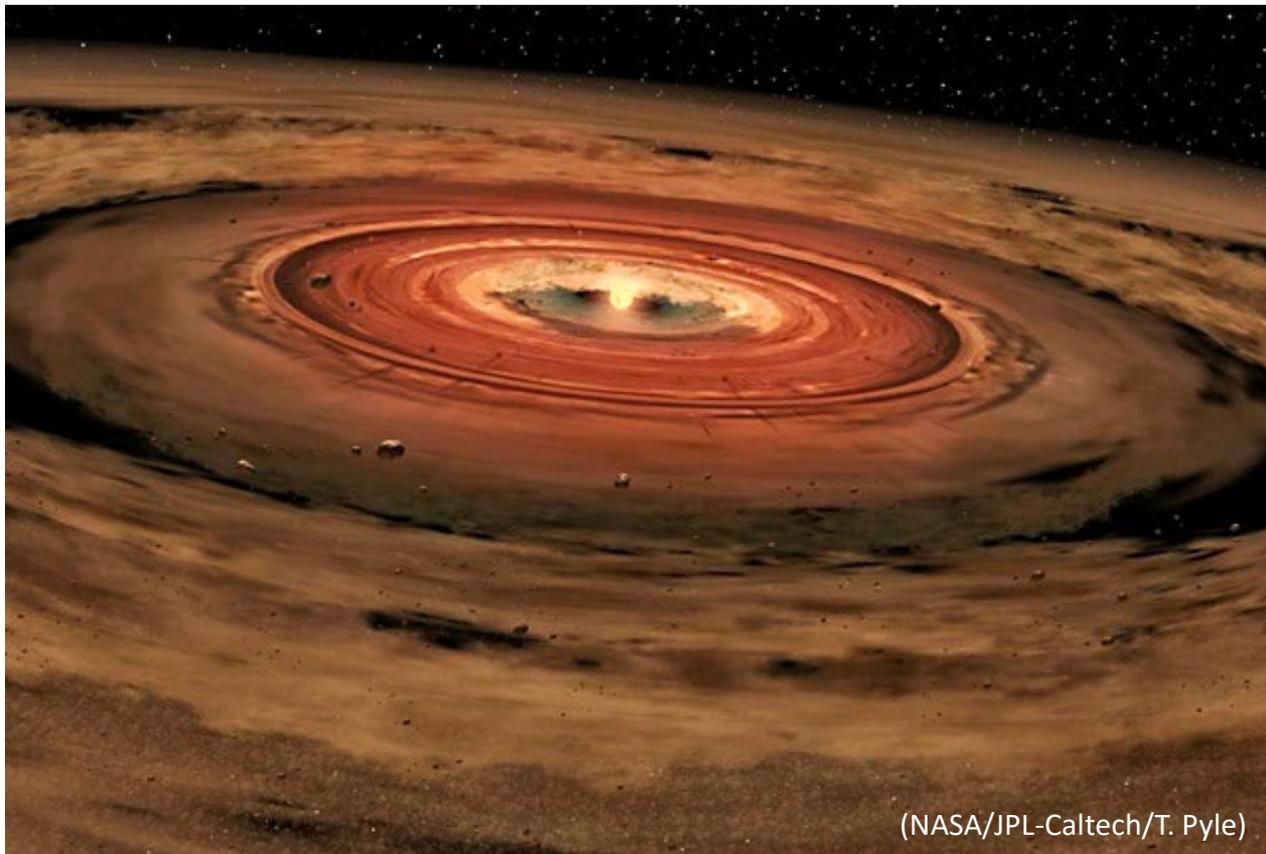


(www.apod.nasa.gov)



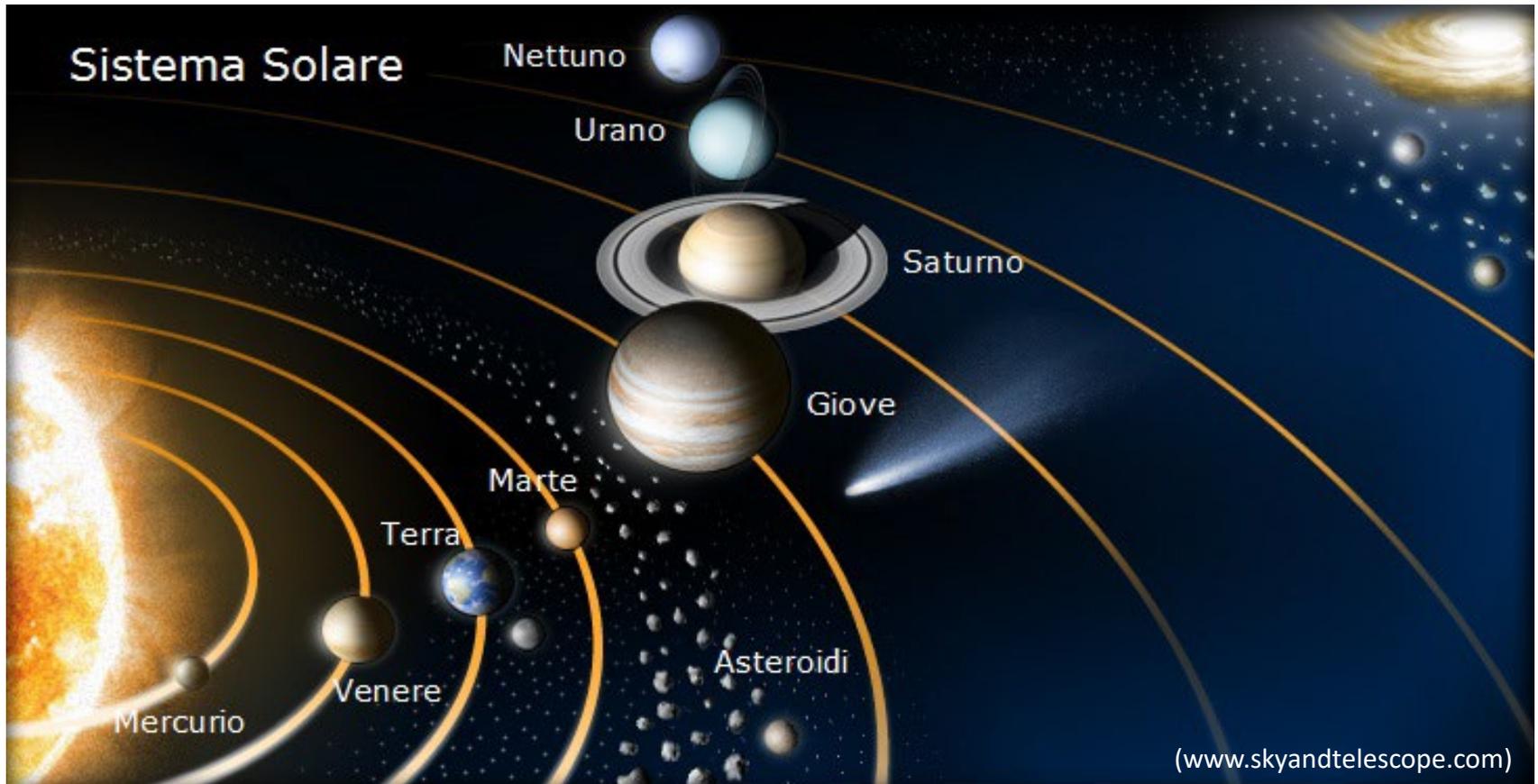
Si forma il sistema solare

La maggior parte della massa, si condensò al centro del disco e diventò sempre più calda fino a trasformarsi in Sole. Nelle aree più esterne, l'aggregazione dei frammenti di materia condensata (**planetesimi**) formò i **protopianeti**.



Il sistema solare

In poche decine di milioni di anni i protopianeti si trasformarono da aggregati di materia primordiale a corpi con una struttura sempre più simile a quella attuale dando vita al **sistema solare**.



La zona di abitabilità

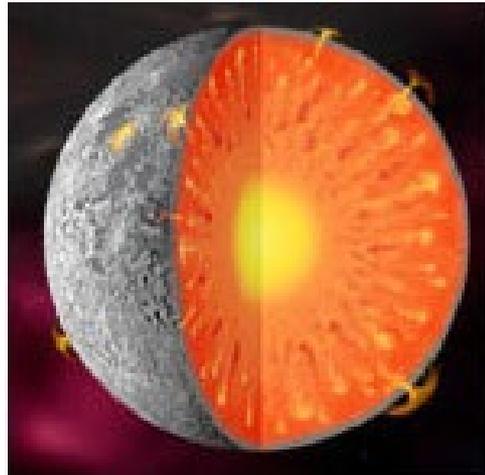
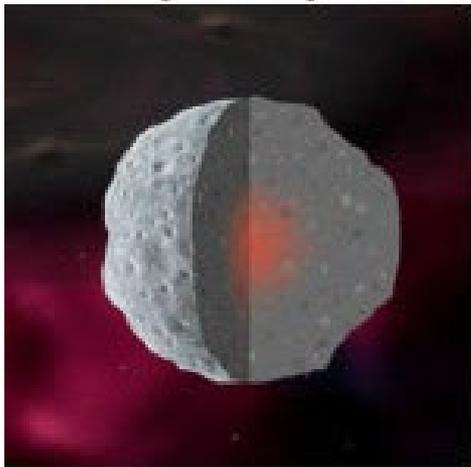
Mentre il pianeta Terra prendeva forma, aggregando il materiale primordiale che ruotava intorno al neonato Sole, si collocava in una posizione eccezionale – la **zona di abitabilità**



La Terra si trasforma

Al tempo della sua formazione il protopianeta si presentava come un insieme indifferenziato di materiali rocciosi, e la sua superficie spazzata dal vento solare e colpita da una moltitudine di asteroidi doveva essere simile a quella arida della Luna.

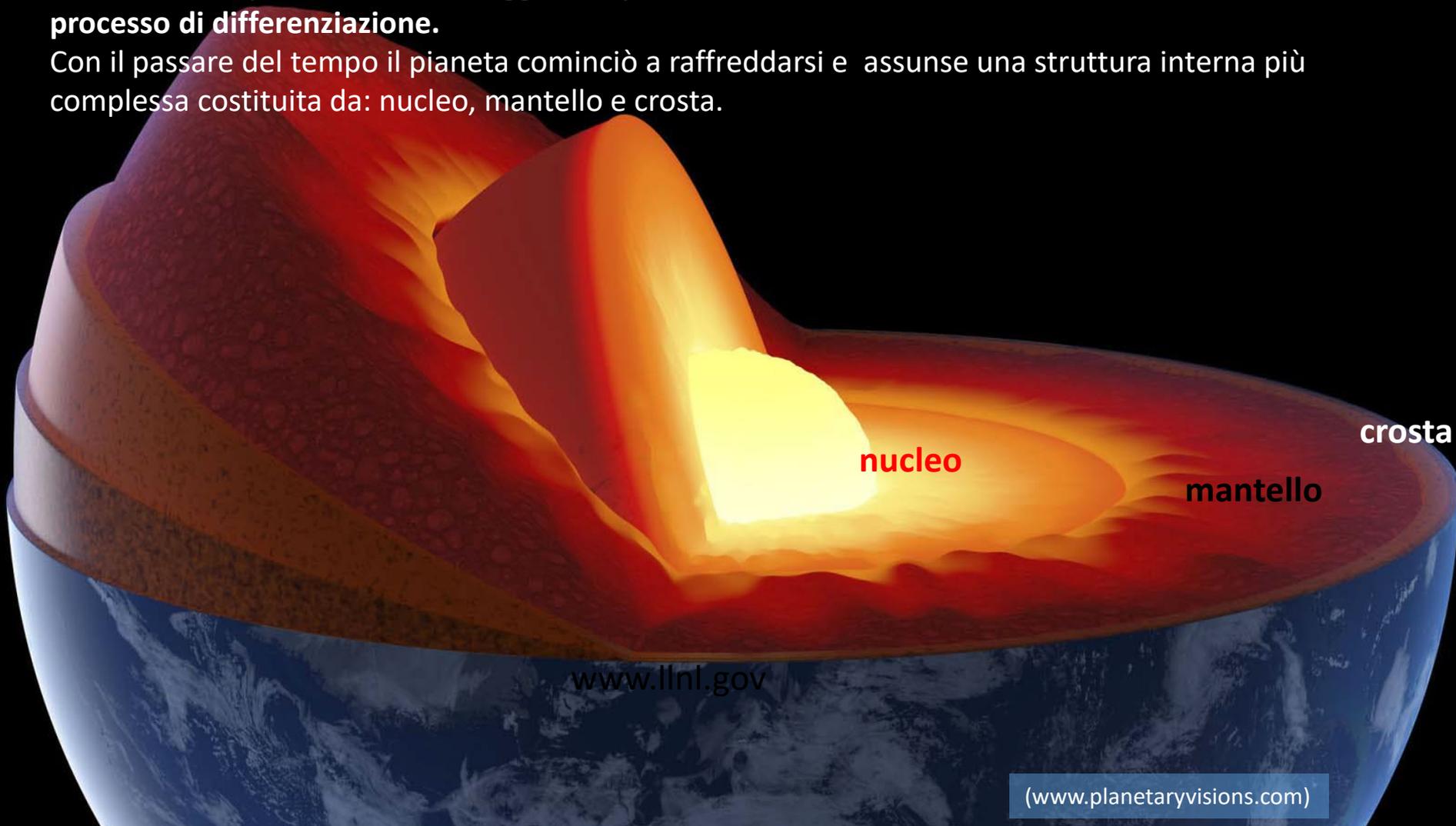
In breve tempo, il protopianeta Terra cominciò a riscaldarsi fino a diventare un corpo di magma incandescente per il calore sviluppato dalla combinazione di tre processi (decadimento radioattivo; compattazione del pianeta; impatto di asteroidi).



La Terra si trasforma

Quando la temperatura interna raggiunse quella di fusione del ferro (circa 2000°C), iniziò il **processo di differenziazione**.

Con il passare del tempo il pianeta cominciò a raffreddarsi e assunse una struttura interna più complessa costituita da: **nucleo, mantello e crosta**.



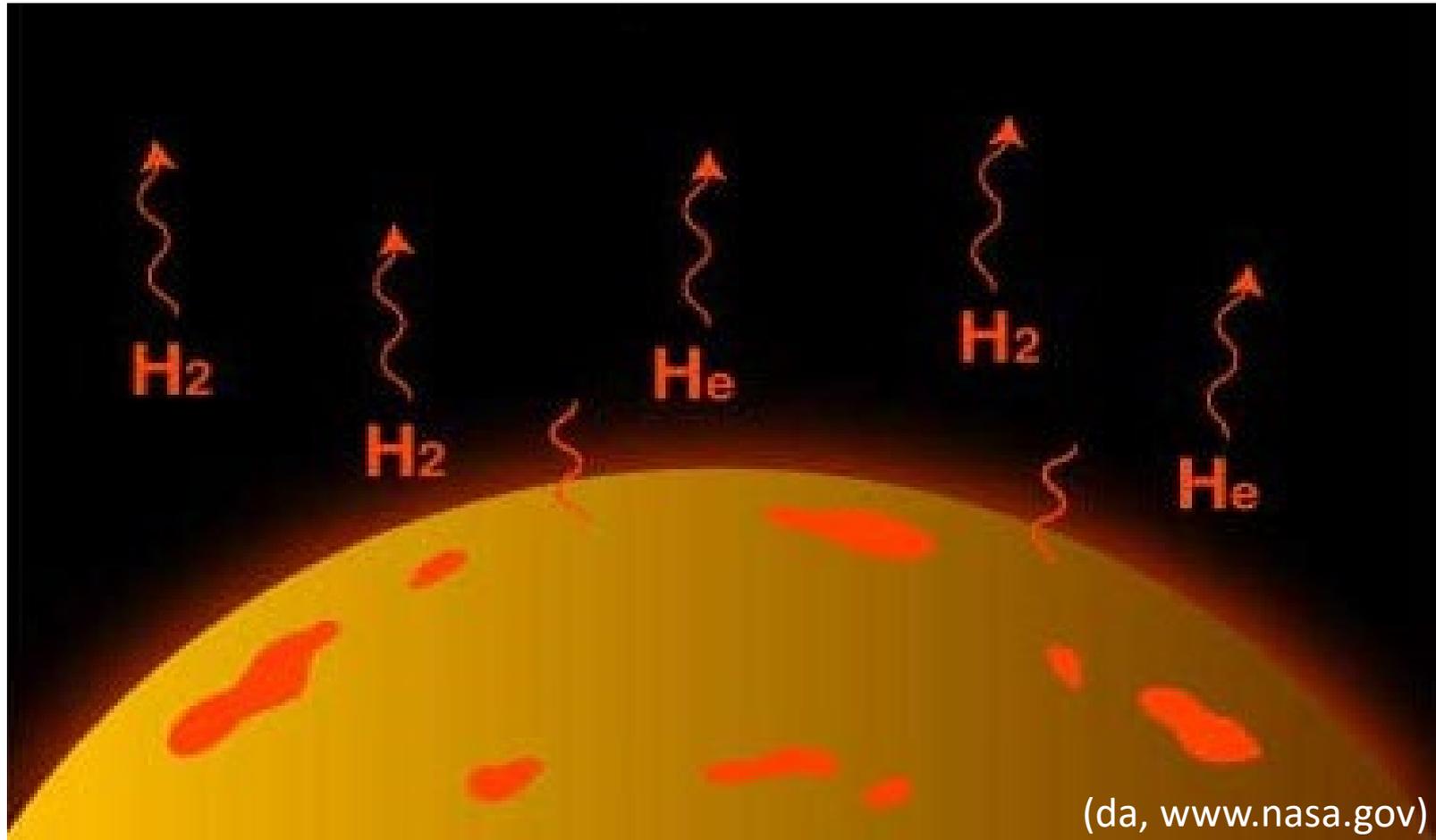
www.llnl.gov

www.planetaryvisions.com



La formazione dell'atmosfera

La prima atmosfera era probabilmente costituita da un sottile strato di Idrogeno (H_2) ed Elio (He), gas presenti nella nebulosa primordiale.



La formazione dell'atmosfera

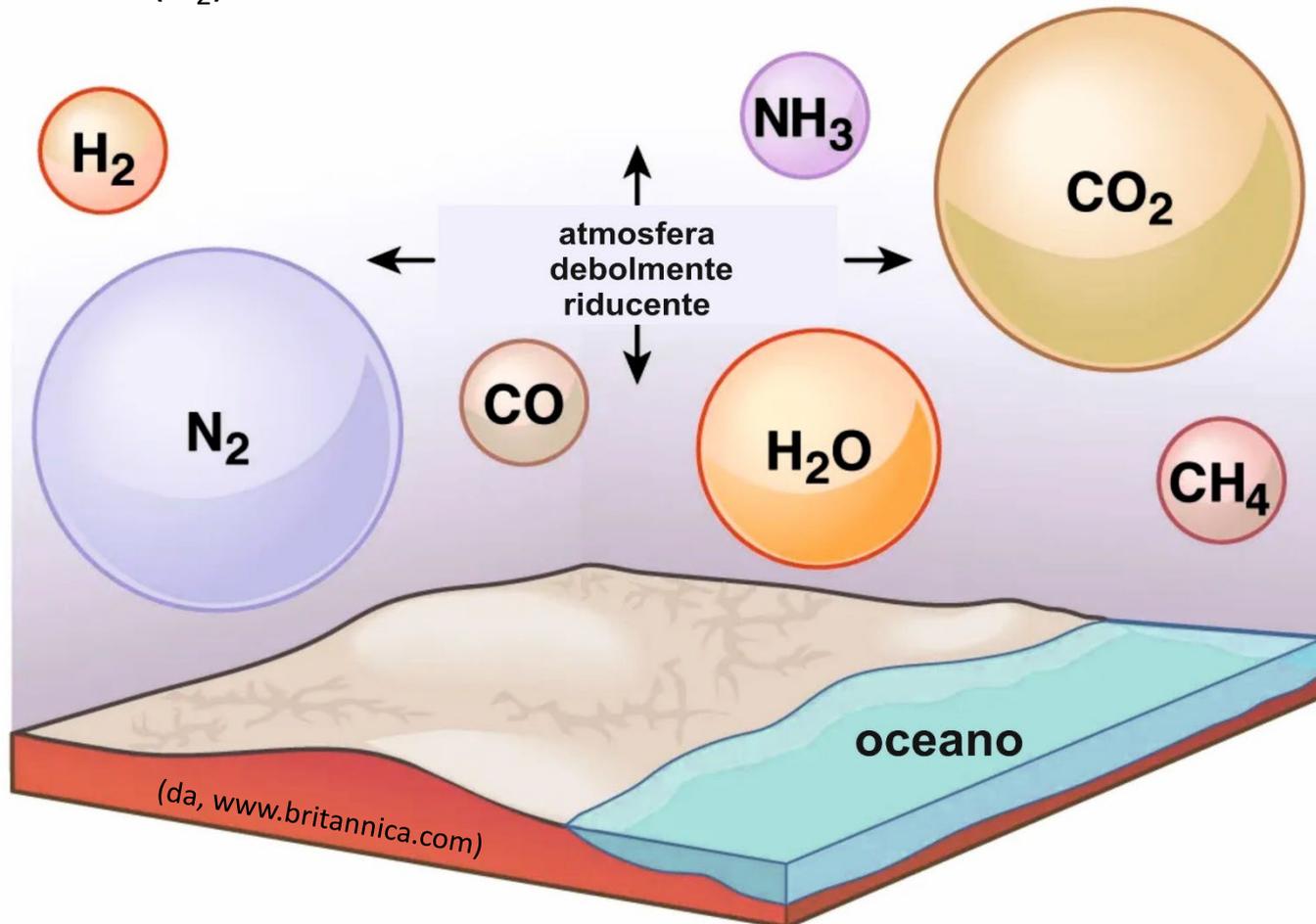
La Terra cominciò a liberare i gas formati e intrappolati al suo interno, attraverso un'intensa attività vulcanica.



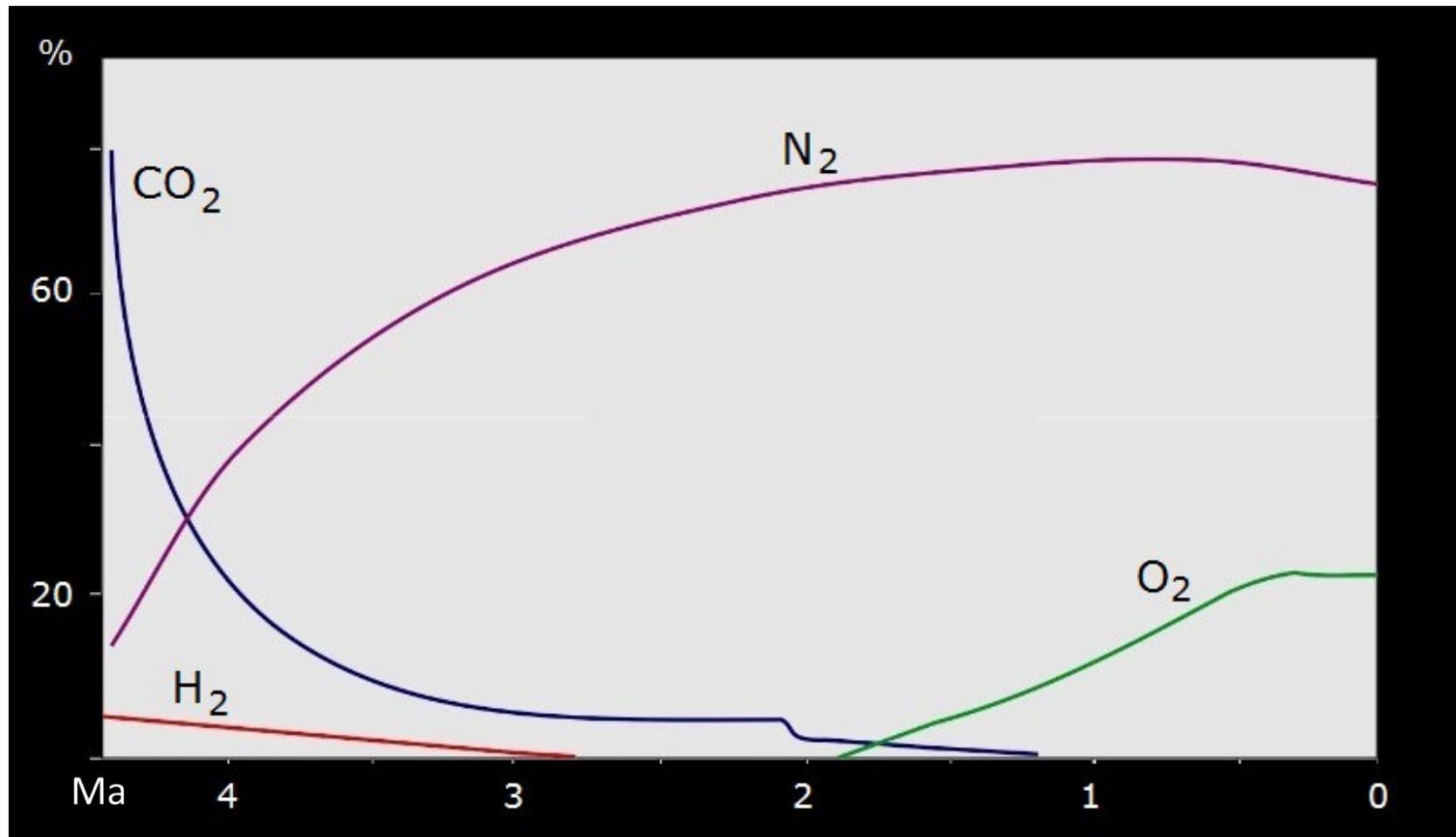
La formazione dell'atmosfera

L'attività vulcanica liberò molti gas: idrogeno (H_2), vapore acqueo (H_2O), anidride carbonica (CO_2), azoto (N_2) e anidride solforosa (SO_2).

La combinazione di questi gas, sotto l'azione delle radiazioni solari ultraviolette, sintetizzò metano (CH_4) e ammoniaca (NH_3), creando una "seconda" **atmosfera anossica** priva di ossigeno libero (O_2).



Variazione dei Gas in atmosfera nel tempo geologico



La formazione dell'acqua – il pianeta blu

La Terra è il solo pianeta che conosciamo ad avere acqua allo stato liquido sulla sua superficie. L'acqua ricopre il 71% della superficie della Terra ed è alla base di tutte le forme di vita conosciute, uomo compreso. Diverse ipotesi sono state formulate per spiegare l'origine dell'acqua, tra di loro più o meno compatibili.



La formazione dell'acqua - 1

La teoria più diffusa sostiene che l'acqua si sia formata in seguito alla condensazione del vapore acqueo liberato nell'atmosfera dall'attività vulcanica.

(www.nasa.gov)



La formazione dell'acqua - 2

Secondo alcuni studiosi, una percentuale dell'acqua presente negli oceani potrebbe essere arrivata dallo spazio, portata dalle comete. I nuclei delle comete possono contenere migliaia di miliardi di tonnellate d'acqua. Tuttavia, la composizione isotopica di questa sarebbe diversa da quella dell'acqua presente sulla terra.

Cometa Hale - Bopp

(www.nrao.edu)



La formazione dell'acqua - 3



La possibile presenza dell'acqua sul nostro Pianeta sin dalla sua formazione, sarebbe supportata dalla similitudine tra la composizione chimica di lave basaltiche, provenienti da zone del mantello inferiore, e quella delle **Condriti Carboniose**. Queste sono meteoriti primitive contenenti acqua che hanno una composizione simile a quella della nebulosa primordiale.

Meteorite Vesta

(www.nasa.gov)



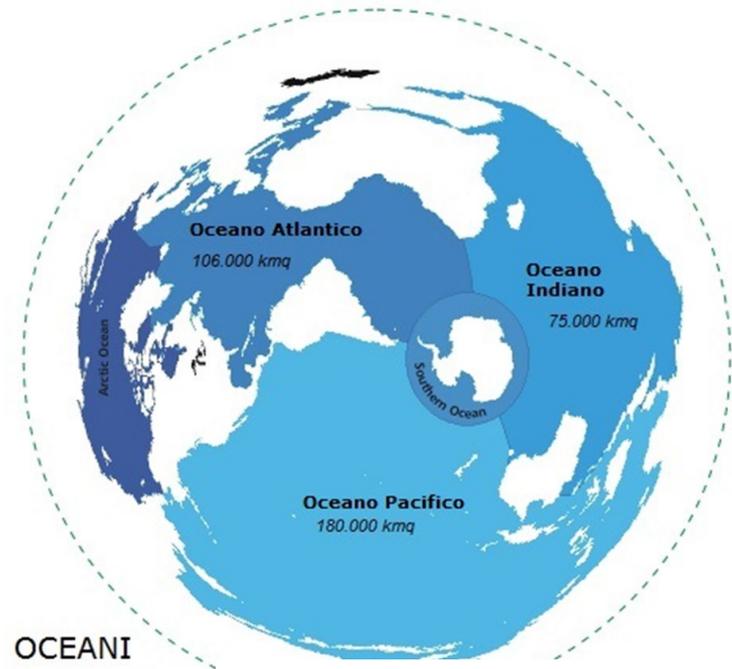
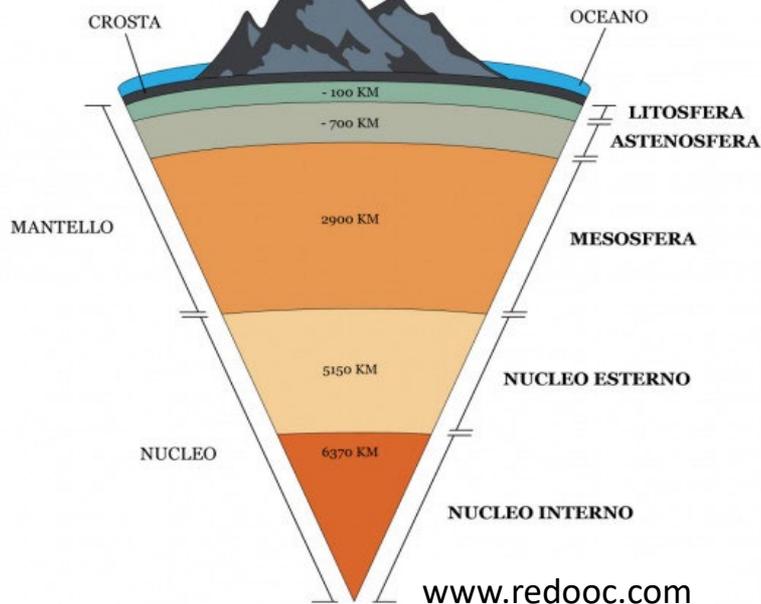
Un po' di numeri della Terra

Diametro: 12,756 km
Pressione atmosferica: 1014 millibar
Temperatura superficiale: 13,85° Celsius

Atmosfera: 77% azoto
21% ossigeno
1% argon, vapore acqueo
ozono e anidride carbonica



Struttura interna della Terra



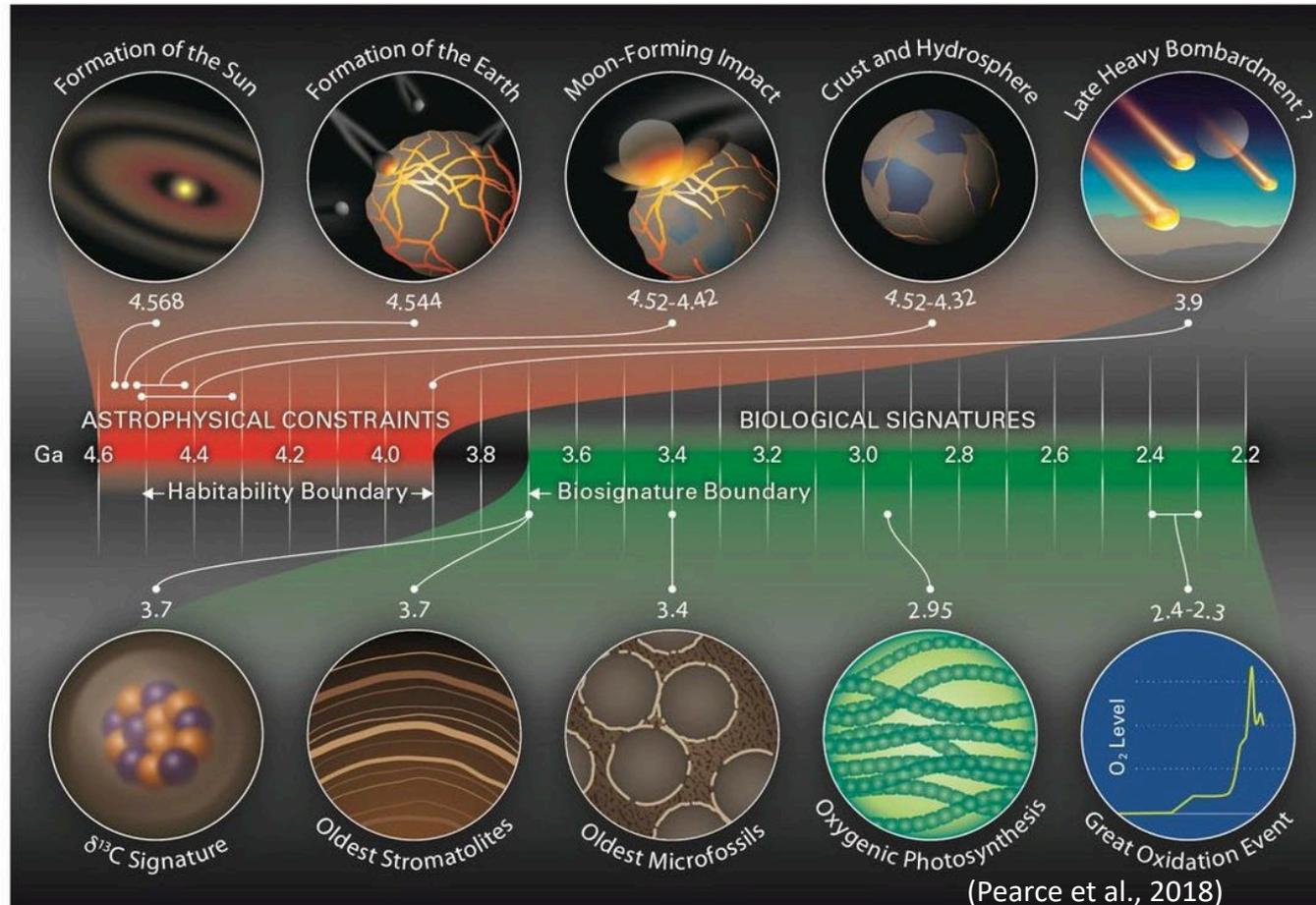
OCEANI
ATTUALI

www.it.wikipedia.org



Quando compare la Vita sulla Terra ?

Studi sulla formazione dei pianeti, di geologia, paleontologia e biologia consentono di circoscrivere la comparsa della vita tra il momento in cui la Terra diventò abitabile, a circa 4,5 o 3,9 miliardi di anni, e l'età delle prime tracce che la vita lasciò nelle rocce sedimentarie circa 3,7 miliardi di anni fa.



La Terra Adeana (~4,6 – 4,0 Ma)

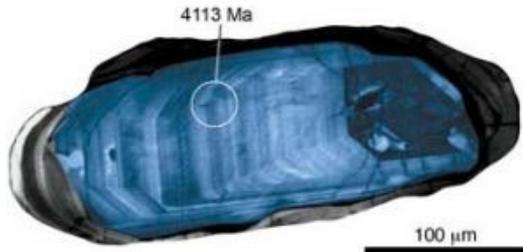
Un intervallo di tempo (~ 4.6-4.0 Ma), un eone della Scala dei Tempi Geologici, che i geologi hanno chiamato informalmente Adeano (dal greco Ade, "Inferi") ritenendo che a quel tempo, a causa di un continuo bombardamento di asteroidi, la giovane Terra fosse più simile all'inferno: un oceano di magma e fuoco avvolto da una spessa atmosfera ricca di vapore irrespirabile.



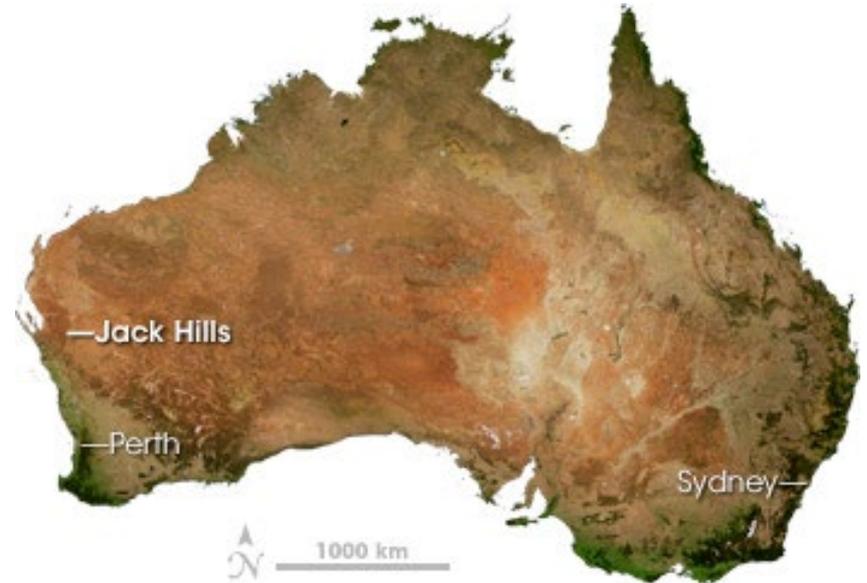
(SwRI/Simone Marchi, Dan Durda)



Una giovane Terra abitabile?



Zircone ritrovato nelle rocce delle Jack Hills nell'Australia occidentale (NASA/Goddard Image Lab)



Che la situazione potesse essere proprio così ce lo dice quel poco che resta della Terra Adeana. Infatti, la composizione chimica di una manciata di microscopici zirconi di più di 4 miliardi di anni fa, rinvenuti in rocce sedimentarie di 3,7 miliardi di anni, affioranti in Australia Occidentale, confermerebbe la presenza di un Oceano Adeano e di massicci di crosta continentale, già 4,3 miliardi di anni fa.



Le probabili tracce di vita più antiche

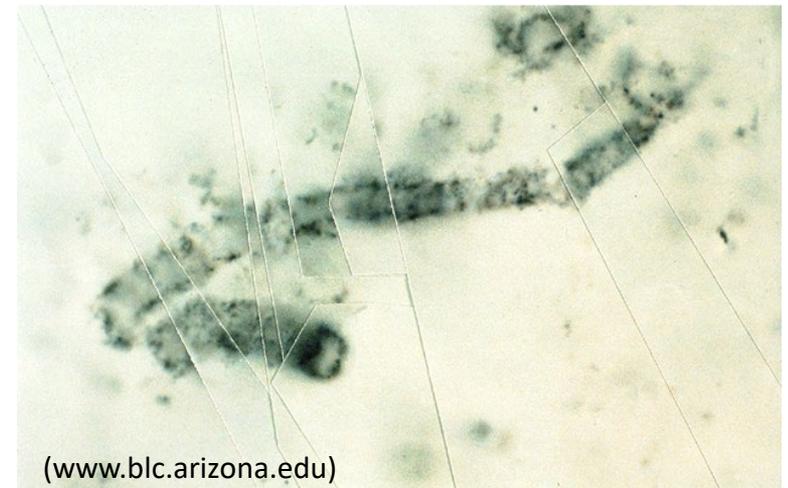


probabili Stromatoliti di 3,7 Ma

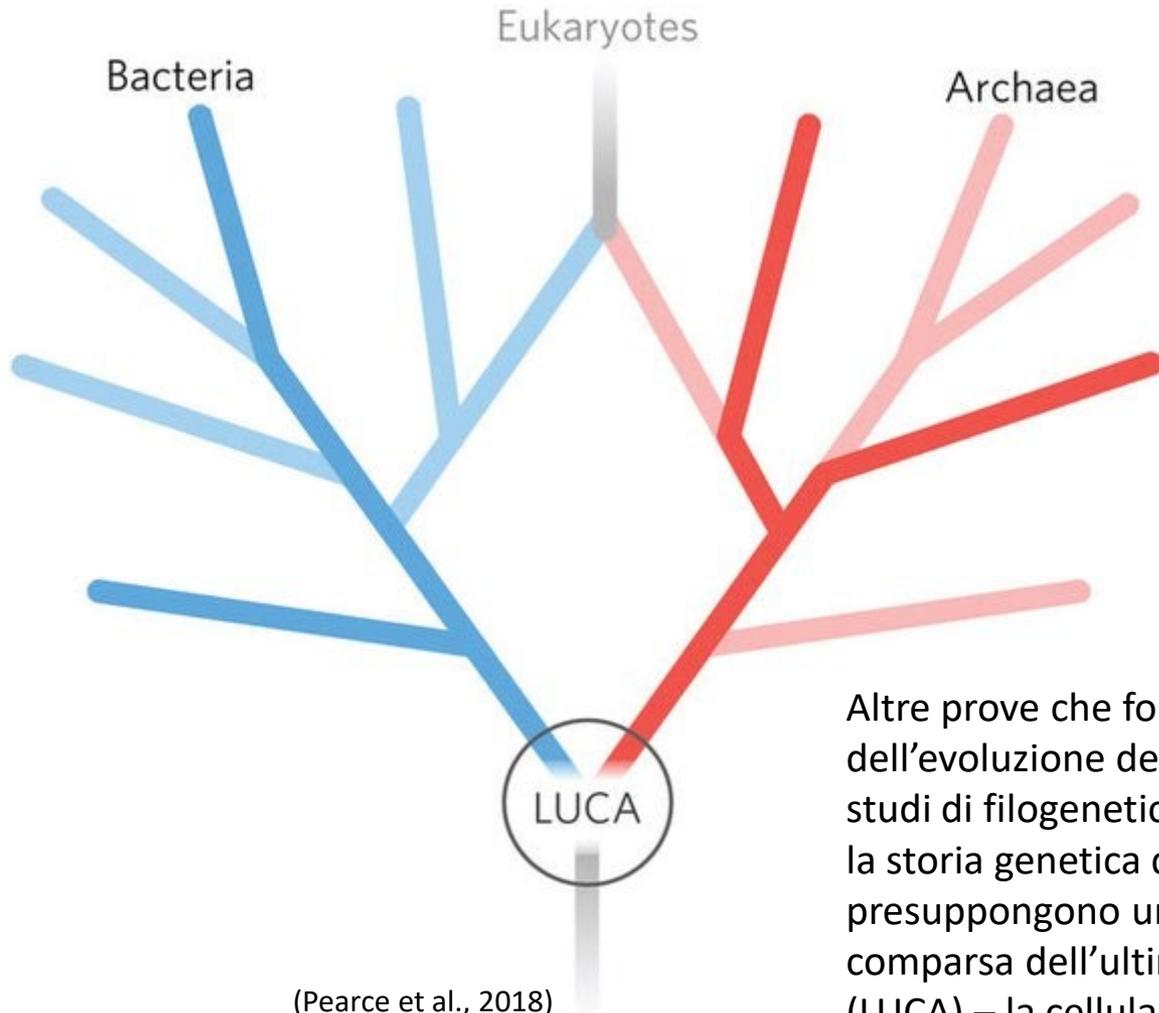
In altri casi sono globuli di grafite e granuli di pirite la cui composizione chimica, in particolare i rapporti degli isotopi del carbonio e dello zolfo in essi misurati, ha fatto ipotizzare l'esistenza di diversi microrganismi in grado di svolgere attività organica, probabilmente metanogenesi e fotosintesi, 3,7 miliardi di anni fa.

In un caso si tratta di strutture di accrezione simili alle **Stromatoliti**, create da tappeti microalgali di microrganismi come i Cianobatteri.

Probabile fossile di procariote di circa 3.5 miliardi di anni fa



LUCA (Last Universal Common Ancestor) - ultimo antenato comune universale (4,29 Ma)



(Pearce et al., 2018)

Altre prove che forniscono informazioni sui i primi passi dell'evoluzione della vita sul Pianeta, provengono da studi di filogenetica. Questi studi, ripercorrendo a ritroso la storia genetica degli organismi viventi, presuppongono un'età di 4,29 miliardi di anni per la comparsa dell'ultimo antenato comune universale (LUCA) – la cellula o il gruppo di cellule da cui discendono tutte le cellule moderne.

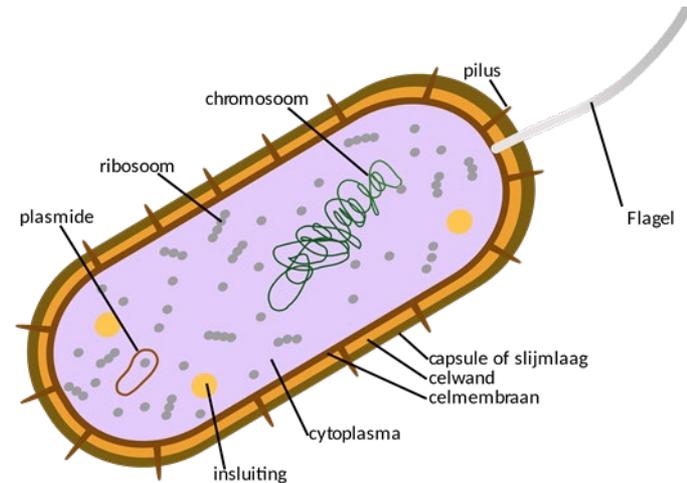


I Primi «Terrestri» - I PROCARIOTI

PROCARIOTI (Batteri, Archea)

- cellule prive di nucleo
- **Anaerobici**, vivevano senza ossigeno.
- **Eterotrofi**, non erano in grado di produrre sostanze nutritive.
- **Autotrofi**, erano in grado di produrre cibo.

Quando: ? - 3.7 miliardi di anni fa



Cellula procariota



batteri dello yogurt

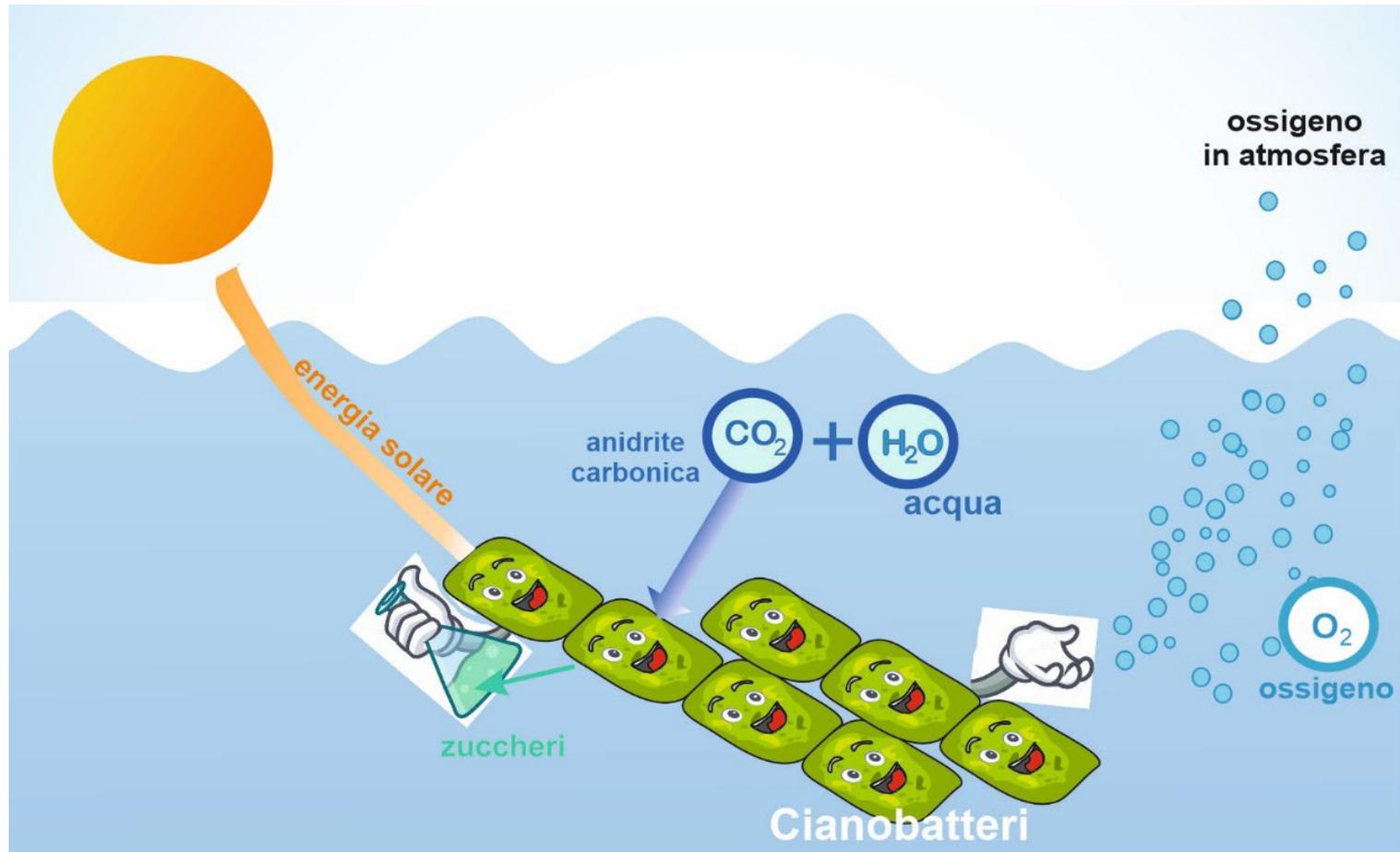
Dove: All'inizio, il cibo preferito dei batteri era l'idrogeno (H) disponibile in grande quantità vicino alle «bocche» vulcaniche sottomarine.

bocche vulcaniche sottomarine

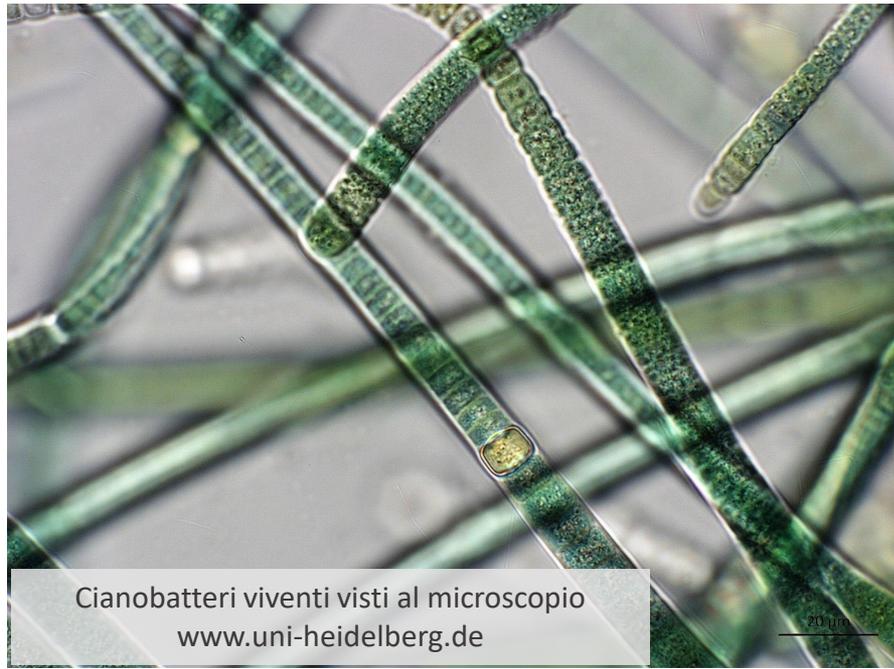
(webspaces.clarkson.edu)



Probabilmente già 3,7 miliardi di anni fa, i **Cianobatteri** rendono l'ossigeno disponibile per gli altri organismi attraverso la **fotosintesi**



Cianobatteri



Cianobatteri viventi visti al microscopio
www.uni-heidelberg.de

Stromatoliti



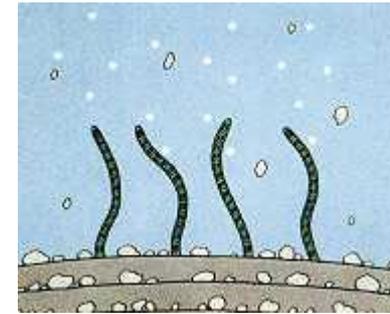
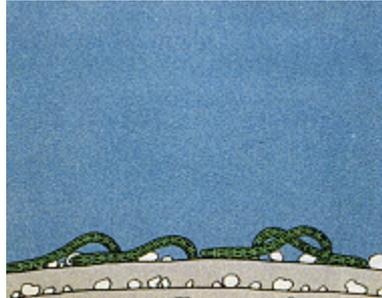
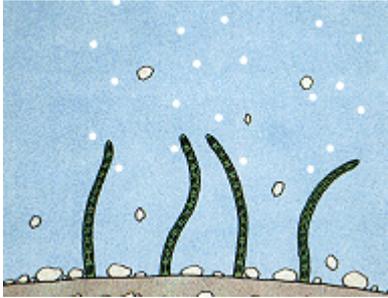
Stromatolite attuale (www.unsw.edu.au)



Stromatolite fossile (www.ottawagatineageoheritage.ca)



Come si formano le Stromatoliti



(www.stromatolites.weebly.com)

Le stromatoliti si formano per intrappolamento di sedimento (stromatoliti marine) e/o precipitazione di calcite (stromatoliti non marine) nella mucillagine prodotta da cianobatteri. In entrambi i casi, dopo che il primo tappeto algale viene completamente coperto dal sedimento, o dalla calcite, impedendo ai cianobatteri di eseguire la fotosintesi, questi penetrano attraverso il materiale e colonizzano la superficie per formare un nuovo strato di alghe sulla parte superiore. Nel tempo, questo processo accumula strati che causano l'aumento delle dimensioni della stromatolite.

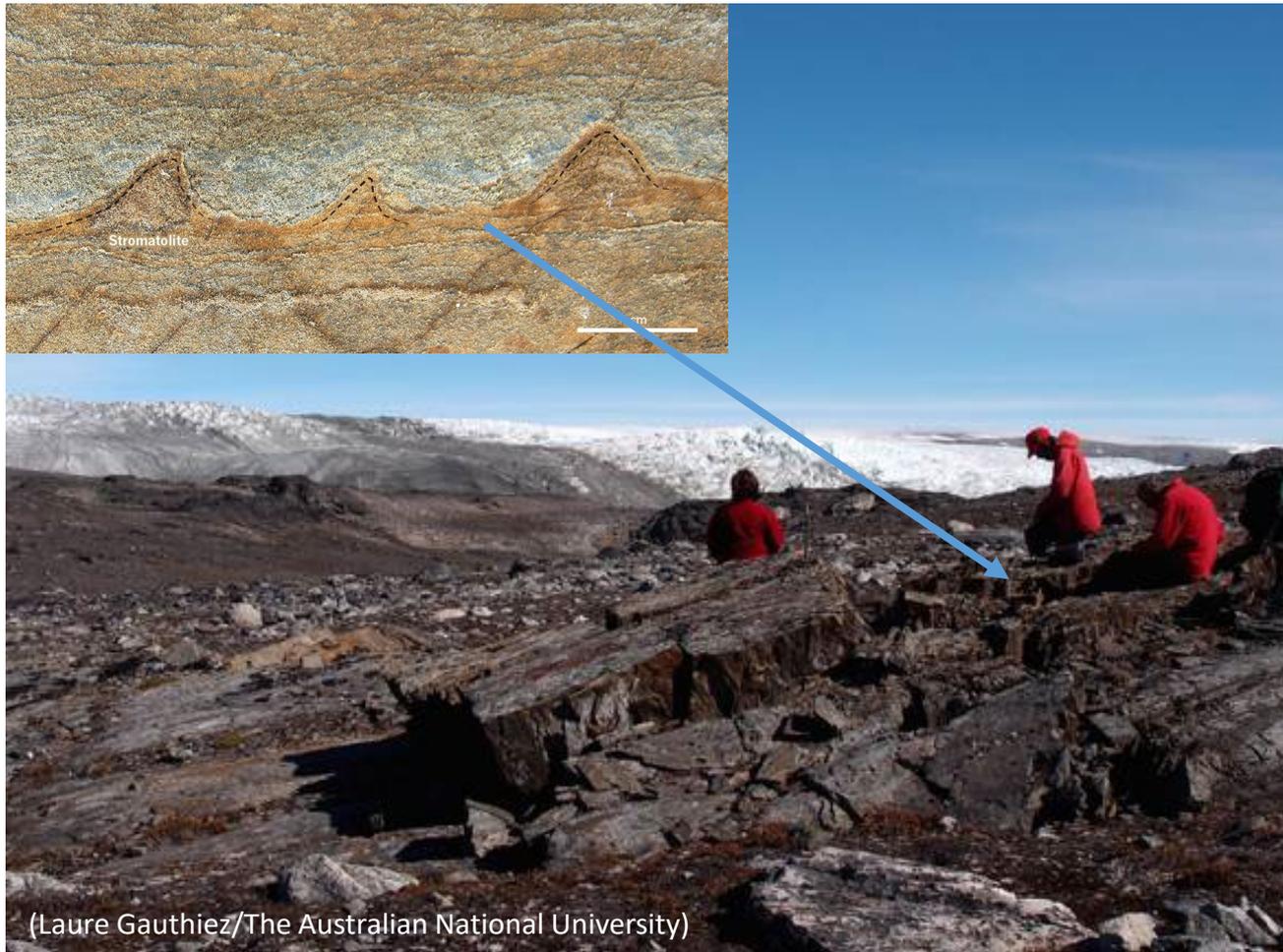
Il risultato è una struttura a strati in cui i batteri risiedono in cima ripetendo il processo di accrescimento più e più volte.



(Adam Maloof)



Groenlandia, affioramenti in cui sono state trovate le probabili tracce di vita più antiche (3,7 Ma)



(Laure Gauthiez/The Australian National University)



Le formazioni di ferro a bande



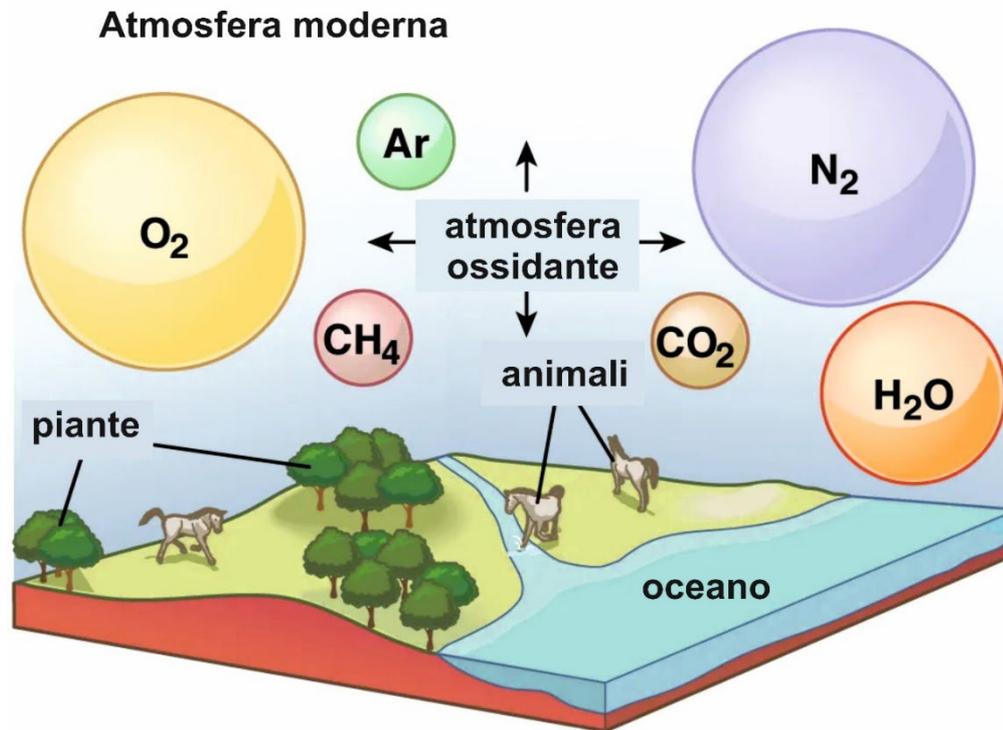
Formazioni di ferro a bande precambriane, Australia



Il Grande Evento di Ossigenazione

Great Oxygenation Event (circa 2,4 Ma fa)

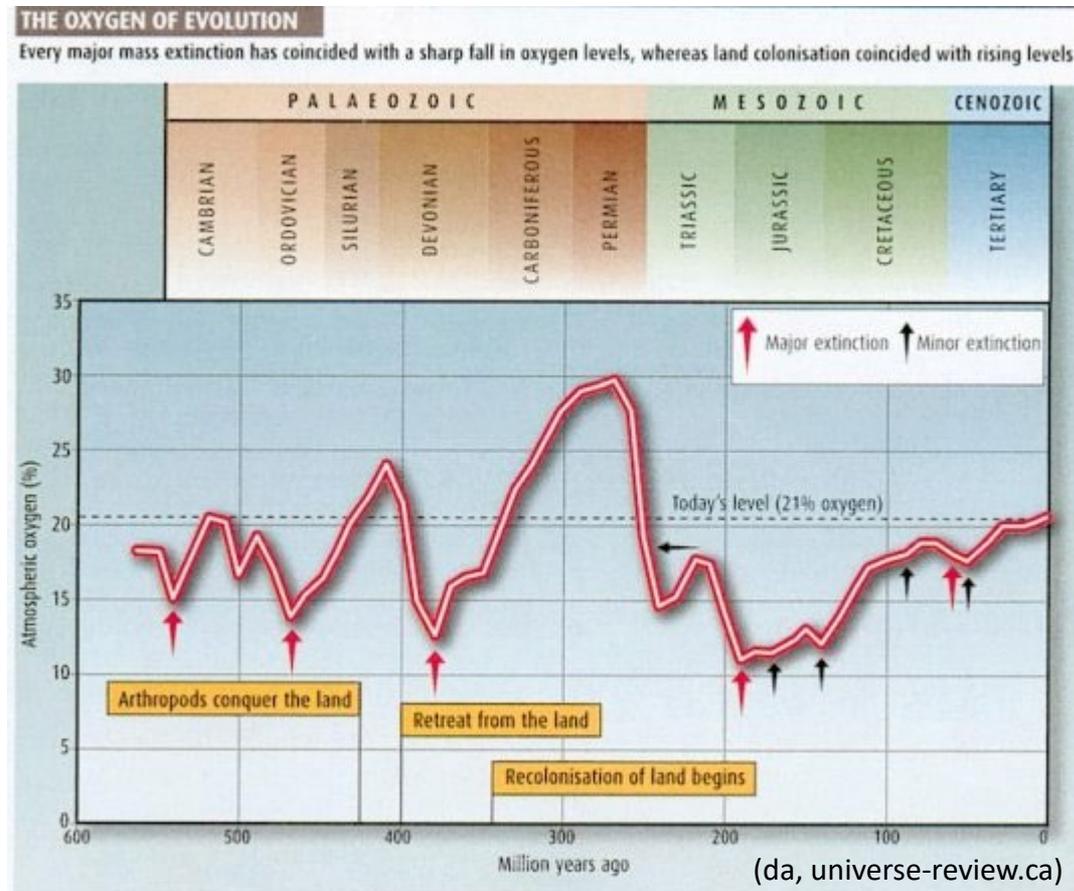
...fotosintesi e cambiamenti geologici permetteranno pian piano all'ossigeno di accumularsi in atmosfera - il grande evento di ossigenazione, avvenuto circa 2,4 miliardi di anni fa, trasformò la vita e l'ambiente sulla Terra...



© Encyclopædia Britannica, Inc.



Variazione della concentrazione dell'ossigeno libero in atmosfera negli ultimi 600 milioni di anni...

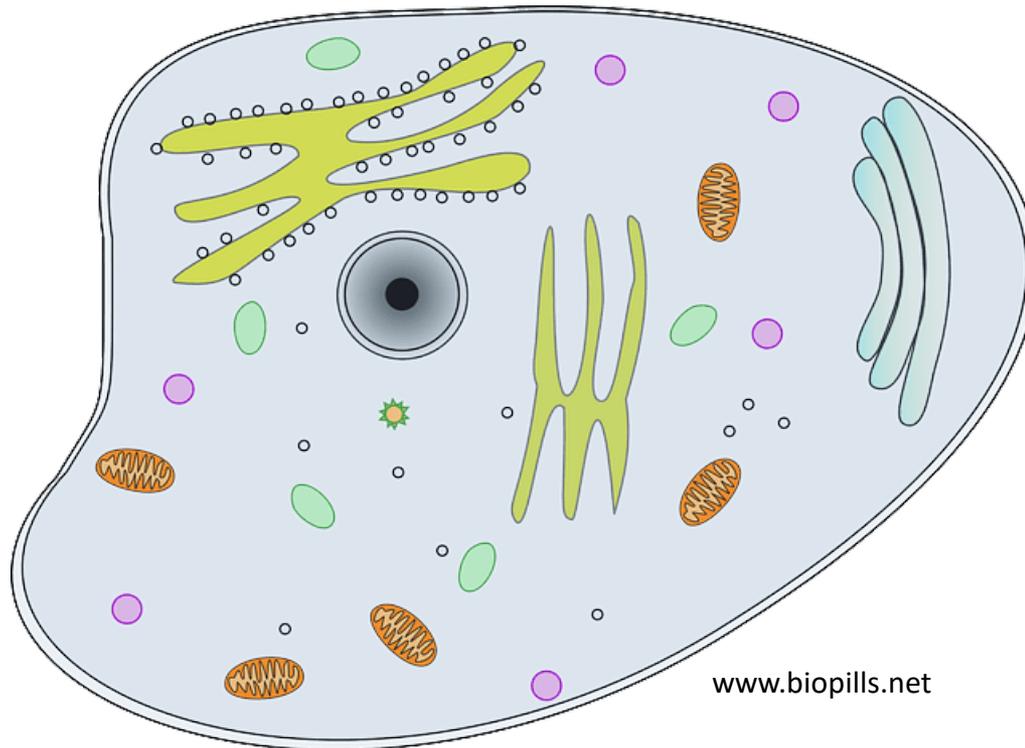


L'ossigeno sembra essere stato una delle forze trainanti l'evoluzione. Bassi livelli di ossigeno hanno coinciso con tutte le estinzioni di massa, mentre la colonizzazione delle terre si sono verificate con alti livelli.



GLI EUCARIOTI

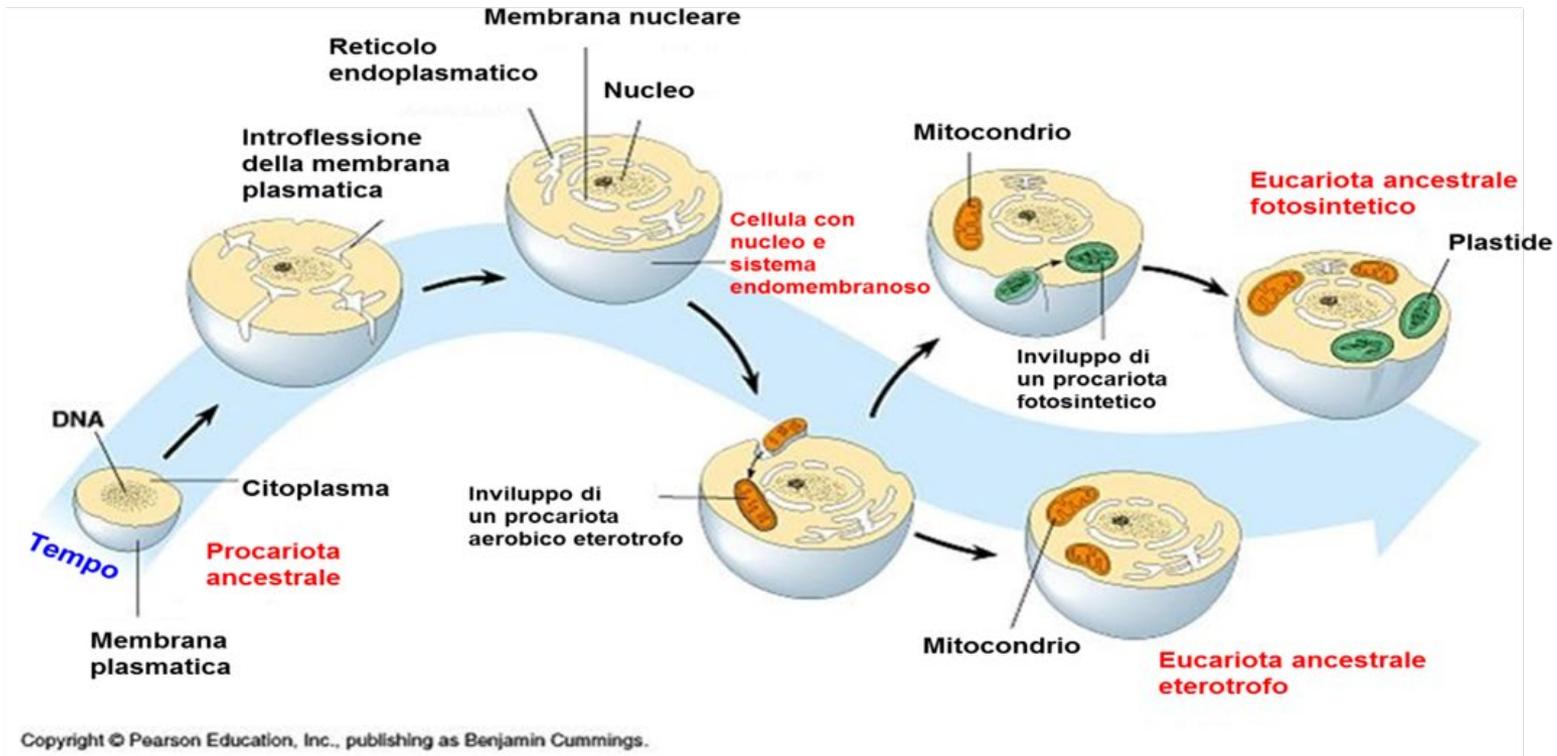
Cellula munita di un nucleo ben definito e organelli (mitocondri, plastidi)
La loro comparsa è data per il momento a circa 2,2 miliardi di anni fa.
La nascita di questi organismi più complessi è avvenuta per ENDOSIMBIOSI.
Eucarioti sono i vegetali, funghi e animali



www.biopills.net



ENDOSIMBIOSI (VITA INSIEME)



PRERCAMBRIANO: 4600 – 540 ma

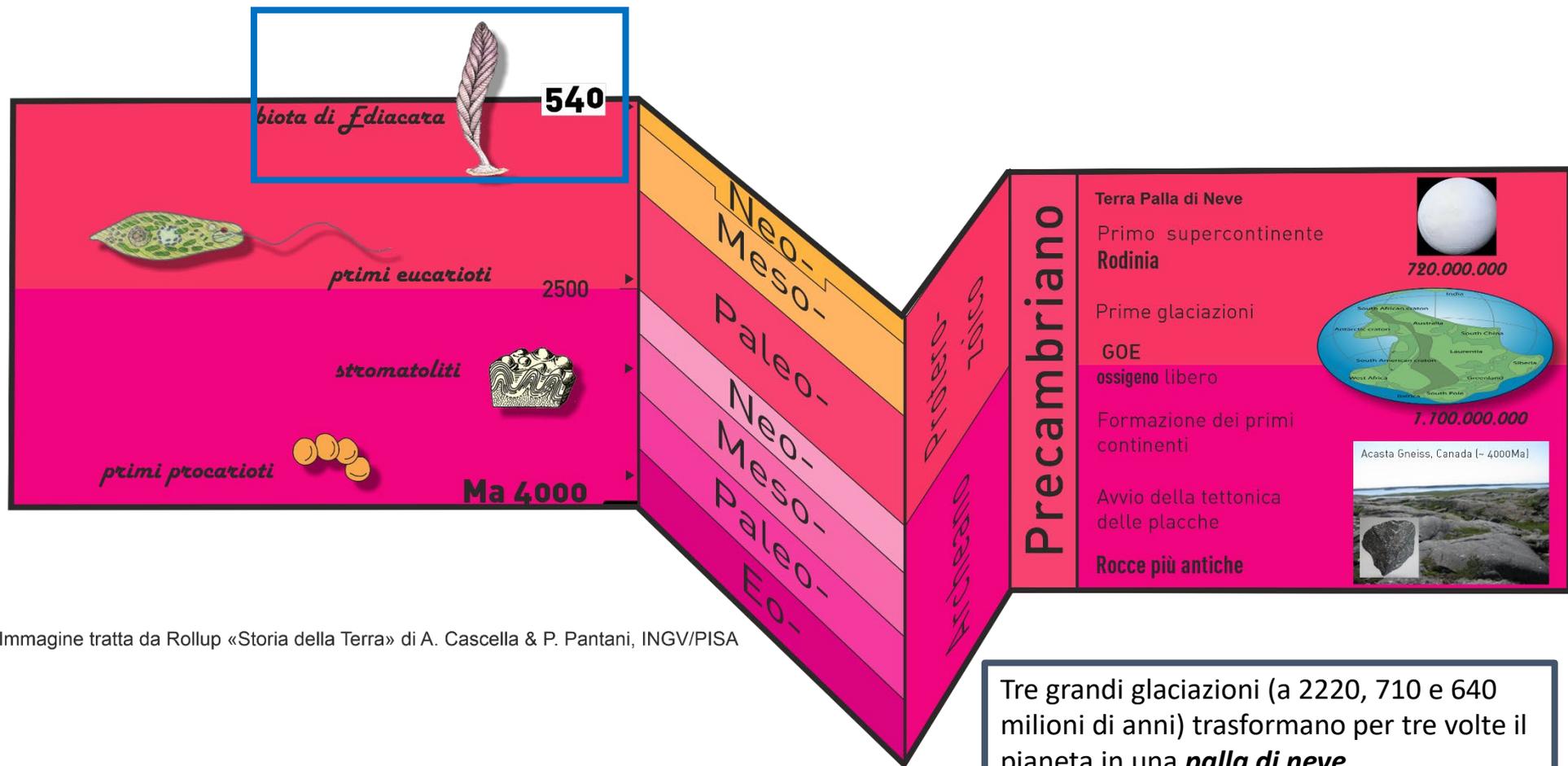


Immagine tratta da Rollup «Storia della Terra» di A. Cascella & P. Pantani, INGV/PISA

La comparsa dei primi organismi pluricellulari, macroscopici e morfologicamente complessi nel tardo Precambriano (~580–540 milioni di anni fa) fu l'inizio di una delle transizioni biologiche più importanti nella storia della Terra.

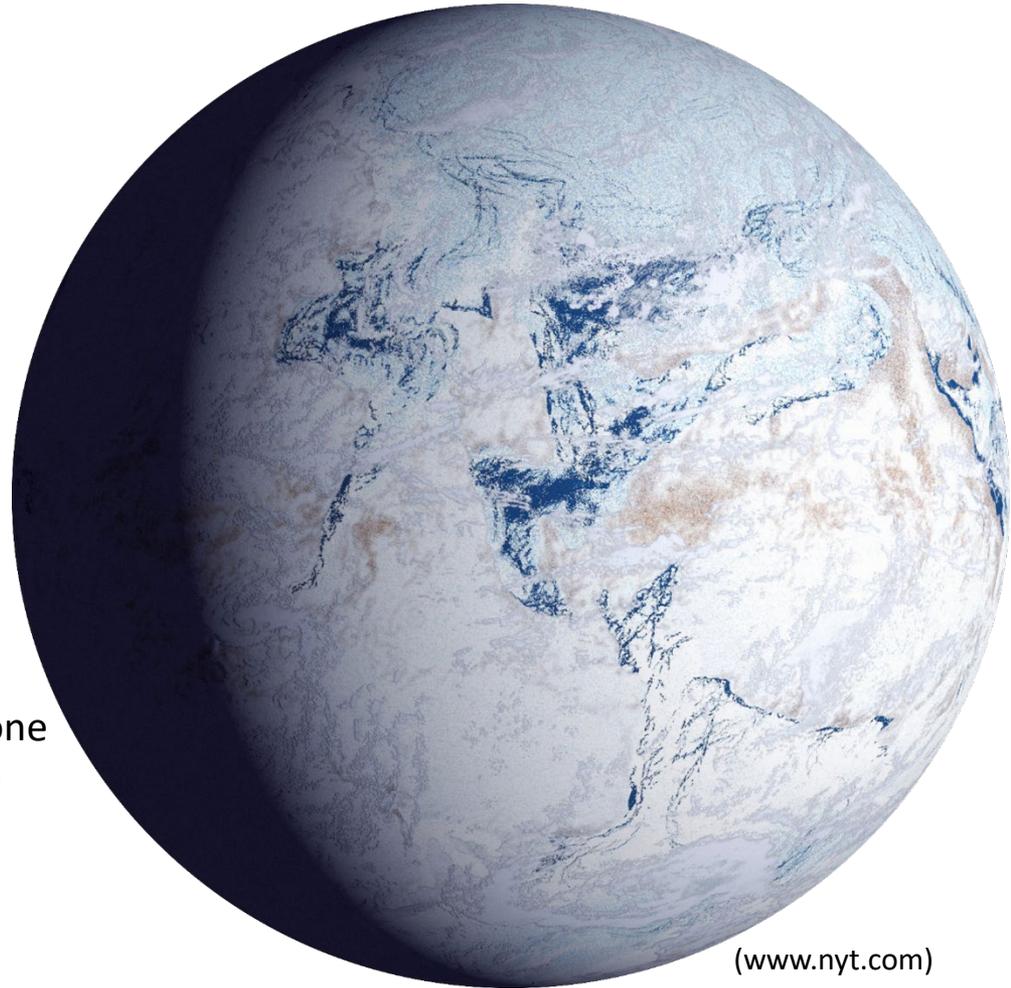


Terra Palla di Neve- Snowball Earth

In tre momenti del Precambriano il pianeta Terra è coperto di ghiaccio da polo a polo per lunghi periodi: a circa 2220, 710 e 640 milioni di anni

Snowball Earth - descrive il clima globale più freddo immaginabile: un pianeta coperto da ghiaccio glaciale da un polo all'altro. La temperatura media globale sarebbe di circa -50°C perché la maggior parte della radiazione solare verrebbe riflessa nello spazio dalla superficie ghiacciata (**albedo**).

Cosa ha causato le Palle di Neve?
Forse un abbassamento dei gas serra (CO_2) atmosferici a livelli quasi attuali attraverso l'erosione delle rocce, quando il Sole era considerevolmente più debole del presente.



(www.nyt.com)

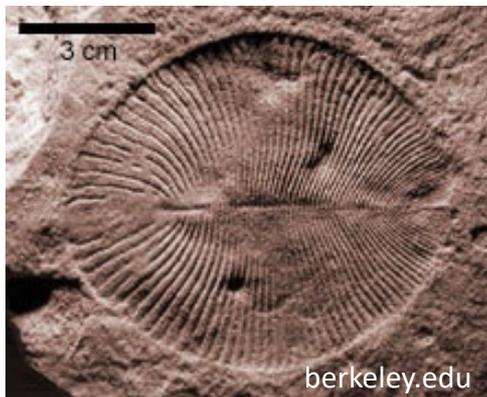


Il Biota di EDIACARA – 540-580 milioni di anni fa

Il primo esperimento di vita complessa multicellulare



Il sito fossile australiano, le Colline di Ediacara, dove furono scoperte per la prima volta i fossili di misteriose creature multicellulari.



In genere, si tratta di impronte e calchi di organismi semplici, senza evidenze di caratteri anatomici particolari.



Il Biota di EDIACARA – nel Mondo

Dopo i primi ritrovamenti nelle colline di Ediacara, in Australia, i fossili sono stati rinvenuti in rocce coeve in molte altre località del mondo. Questi ritrovamenti hanno fornito informazioni sulle abitudini di vita delle bizzarre creature. Alcuni, con tratti simili a funghi, vivevano nei mari profondi. Altri, che ricordano gli artropodi, vivevano in ambienti marini poco profondi.



PALEOZOICO (540-252 ma)

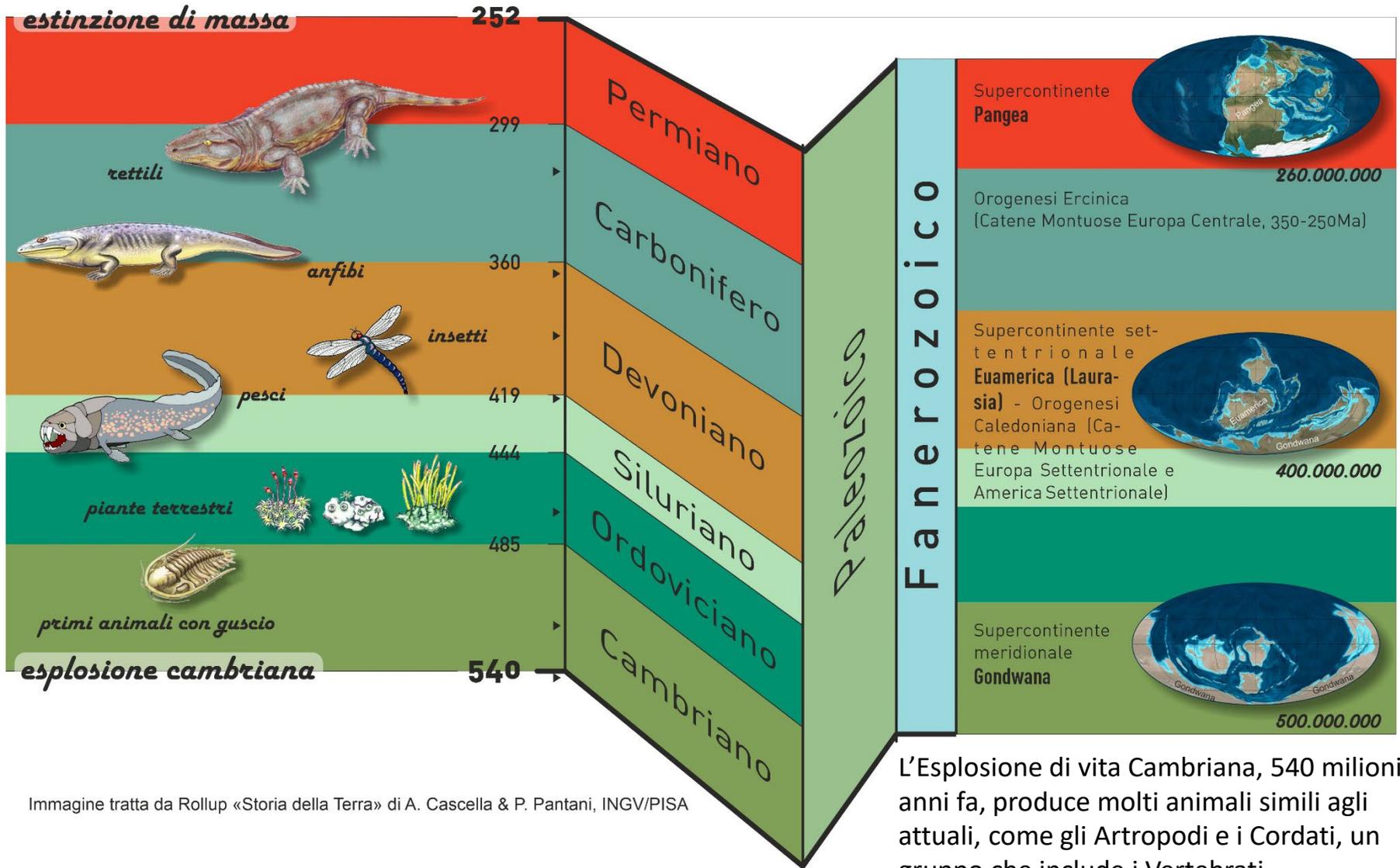
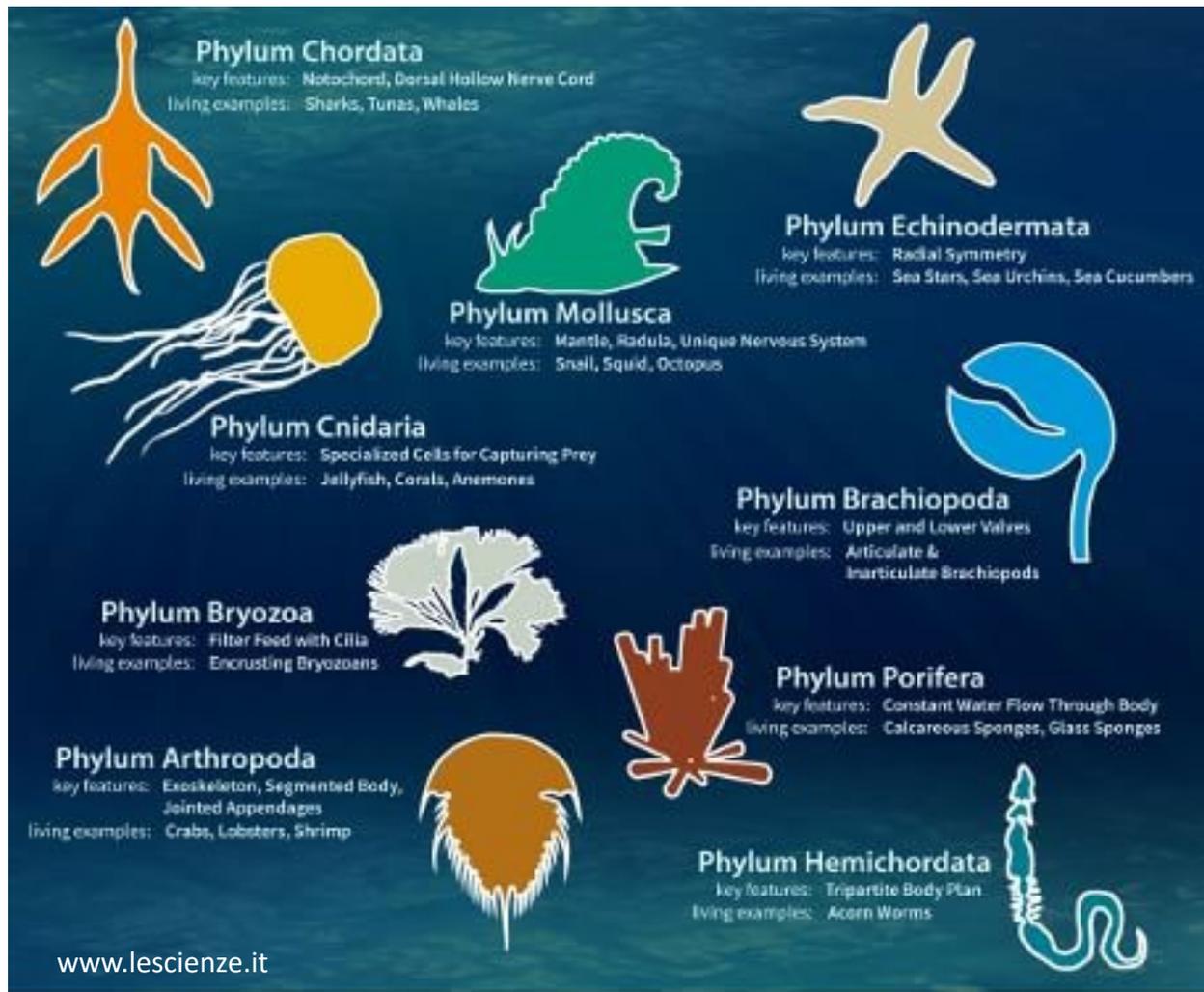


Immagine tratta da Rollup «Storia della Terra» di A. Cascella & P. Pantani, INGV/PISA

L'Esplosione di vita Cambriana, 540 milioni di anni fa, produce molti animali simili agli attuali, come gli Artropodi e i Cordati, un gruppo che include i Vertebrati. Si formano i supercontinenti **Gondwana** e **Laurasia** che si fonderanno nella **Pangea** alla fine del Paleozoico.



L'Esplosione di vita Cambriana, 540 milioni di anni fa



Durante l'esplosione cambriana appaiono nuove forme di organismi marini a cui sono riconducibili tutti gli animali marini attuali.



Mesozoico (252-66 Ma)

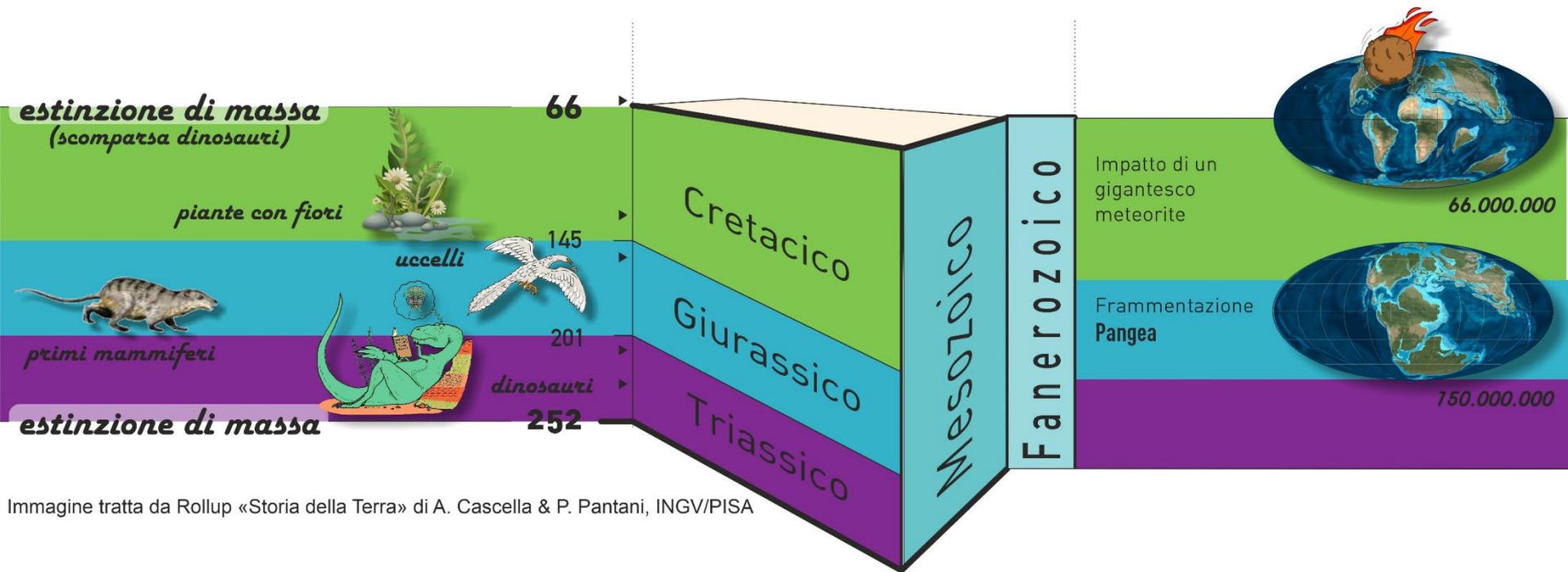


Immagine tratta da Rollup «Storia della Terra» di A. Cascella & P. Pantani, INGV/PISA

Il clima globale continua ad essere caldo e gli ecosistemi si riprendono lentamente dalla crisi di fine Permiano. 220 milioni di anni fa compaiono i primi mammiferi, che per il momento trascorreranno la loro esistenza sgambettando all'ombra dei grandi rettili. Ci vorranno ancora 150 milioni di anni prima di avere il pianeta a loro disposizione.

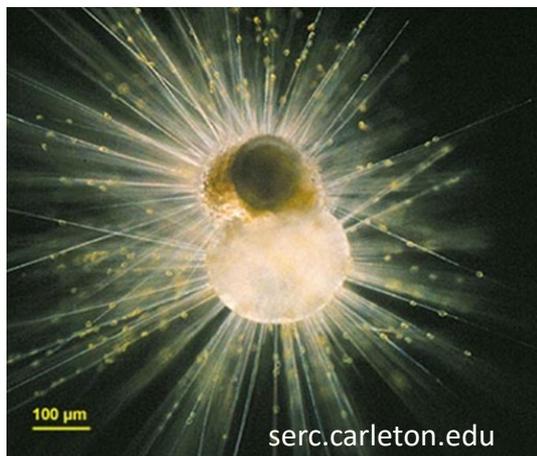
Dal Giurassico superiore la Pangea inizia a frammentarsi. Si formano i grandi oceani moderni.

Alla fine del Mesozoico un enorme meteorite si abbatte sulla terra.



Microrganismi planctonici

Durante l'età dei **dinosauri**, negli oceani, insieme alle Ammoniti, proliferavano **microrganismi planctonici** (foraminiferi e nannoplancton calcareo). Questi avevano (e hanno) gusci calcarei che dopo la morte dell'organismo si accumulavano sul fondo del mare a formare i fanghi oceanici, che con il passare del tempo si sarebbero trasformati in roccia (**litificazione**). Uno spettacolare esempio sono le Bianche Scogliere di Dover, situate lungo la costa meridionale della Gran Bretagna, formatesi per l'accumulo di gusci di nannoplancton calcareo e foraminiferi.



Foraminiferi

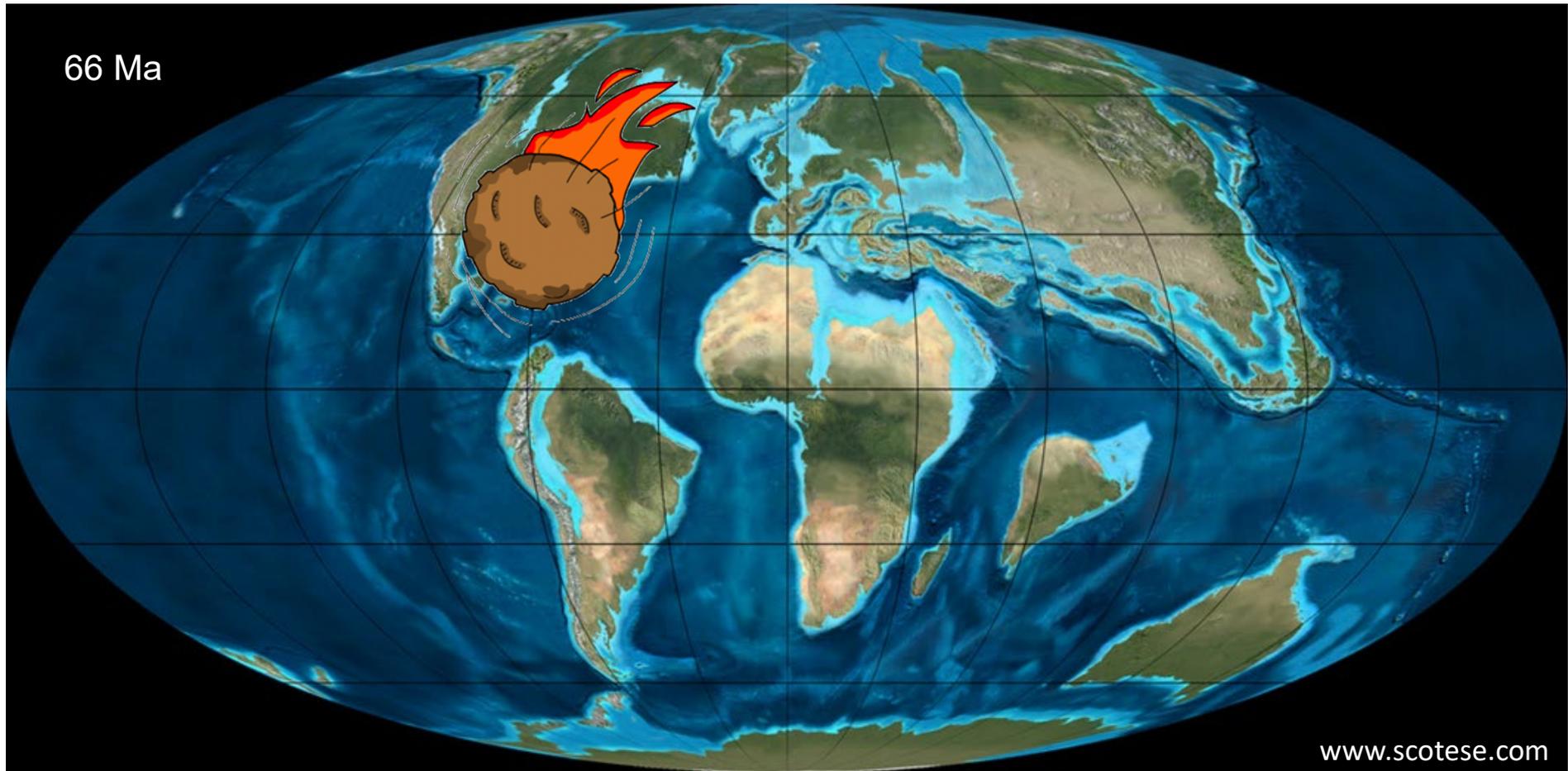


Nannoplancton calcareo



Impatto di un gigantesco meteorite

66 Ma



www.scotese.com



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

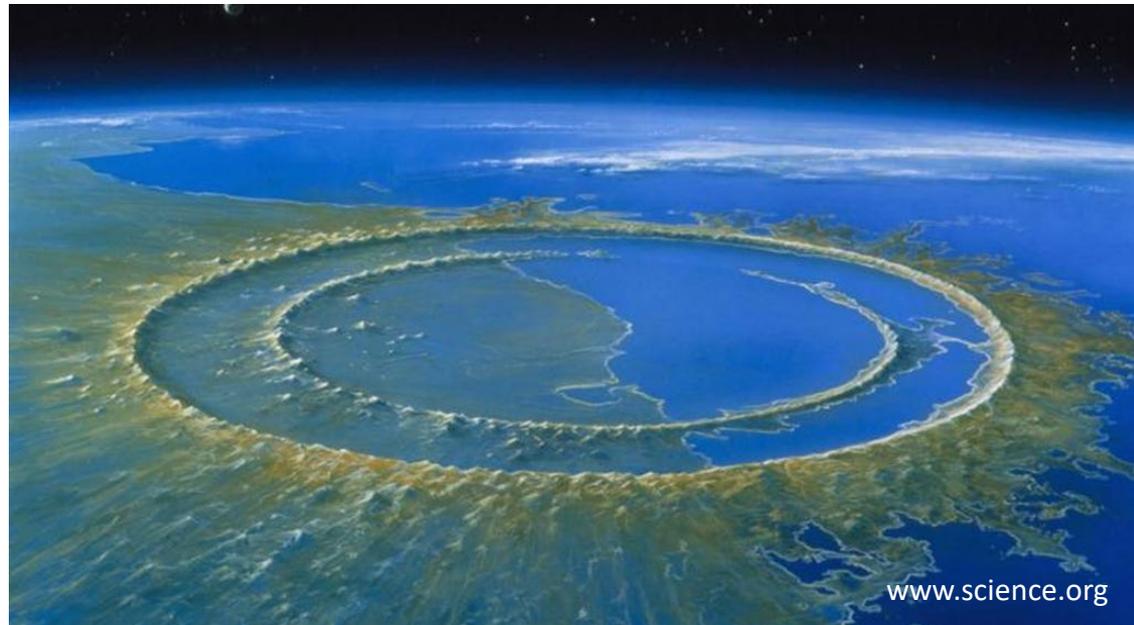
antonio.cascella@ingv.it

Estinzione dei Dinosauri-66 milioni di anni fa

- **66 ma** – Un asteroide largo circa 10 km colpì la Terra, in un'area dell'attuale golfo del Messico. La *nuvola* di detriti e ceneri formatasi in seguito all'impatto, avrebbe oscurato la luce del sole e provocato importanti cambiamenti climatici. Il pianeta sperimentò così la sua quinta e per ora ultima estinzione di massa. Furono cancellate quasi l'80% delle specie viventi, marine e terrestri. I **dinosauri** furono le vittime più famose.



Jennifer Morgan: From lava to life

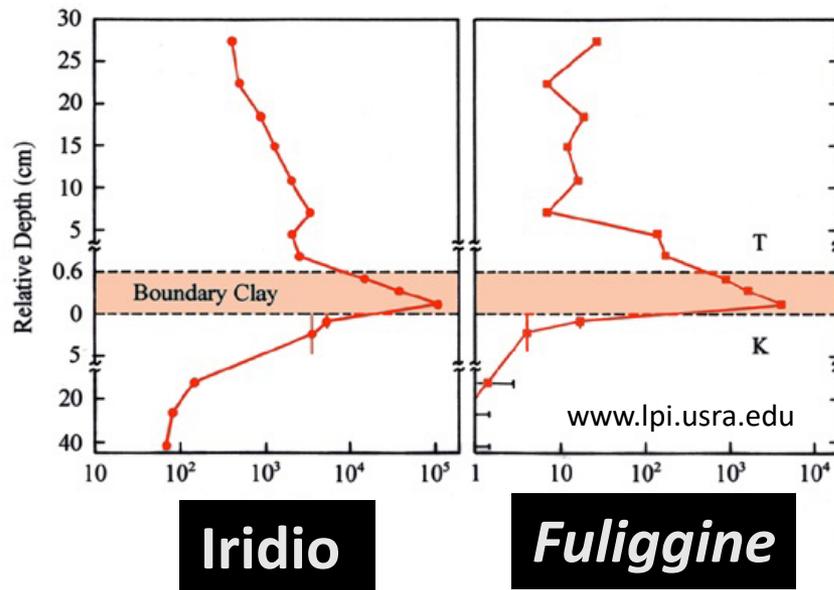


Evidenza geologica dell'impatto del meteorite...

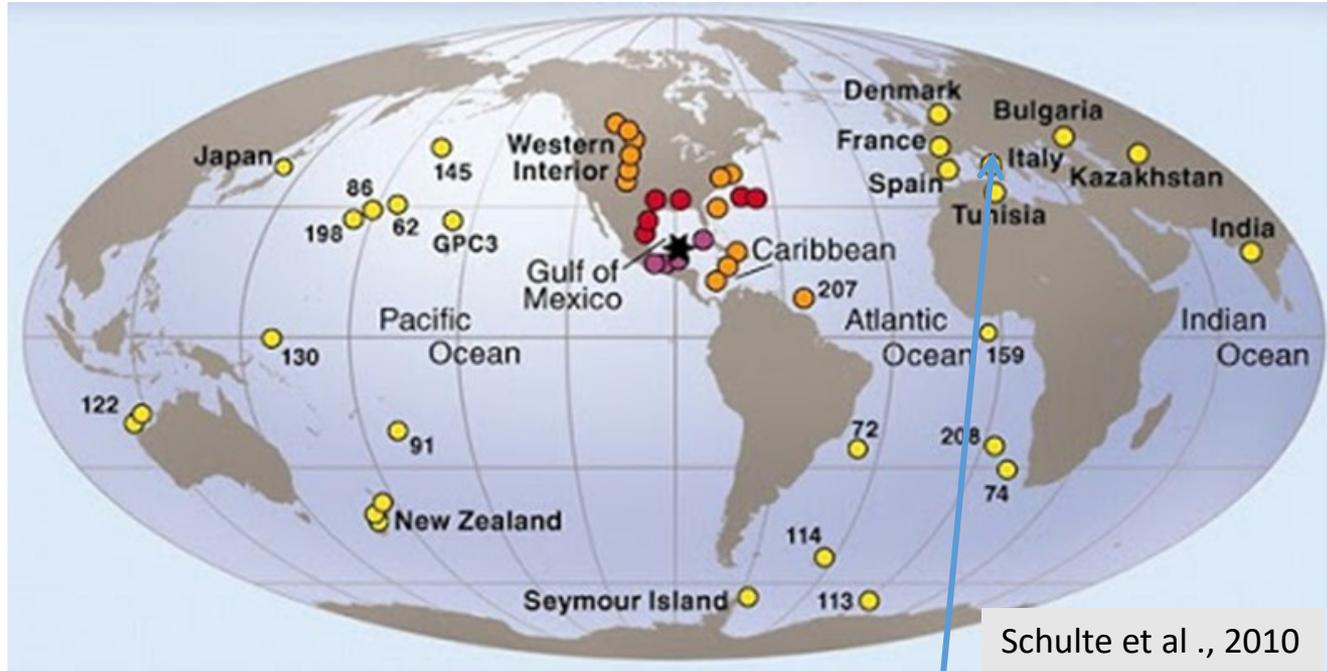
... è costituita da un **livello ricco di iridio metallico** che si trova nelle rocce depositate, 66 milioni di anni fa, al passaggio tra il Cretaceo e il Terziario (K-T).

Perché l'iridio?

L'iridio è molto raro nei sedimenti della Terra. La quantità misurata nelle rocce del K-T è simile a quella che si trova nelle meteoriti. Da qui la teoria per cui quell'iridio sia stato sparso in tutto il mondo da una nuvola di detriti formata dopo l'impatto di un asteroide sulla superficie della Terra.



Il livello di Iridio – nel Mondo

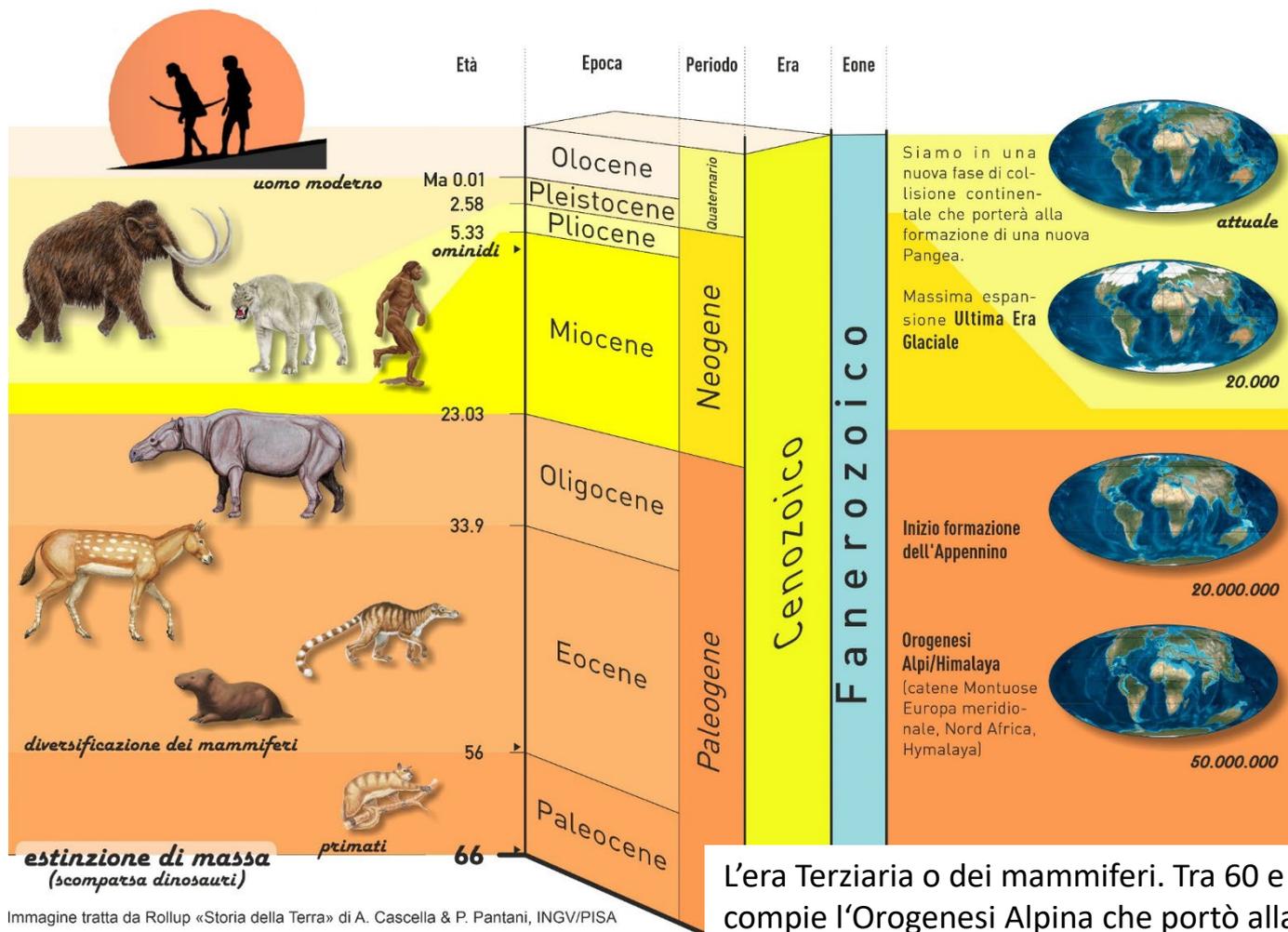


Distanza dal cratere

- lontano
- intermedio
- vicino
- molto vicino
- ★ cratere



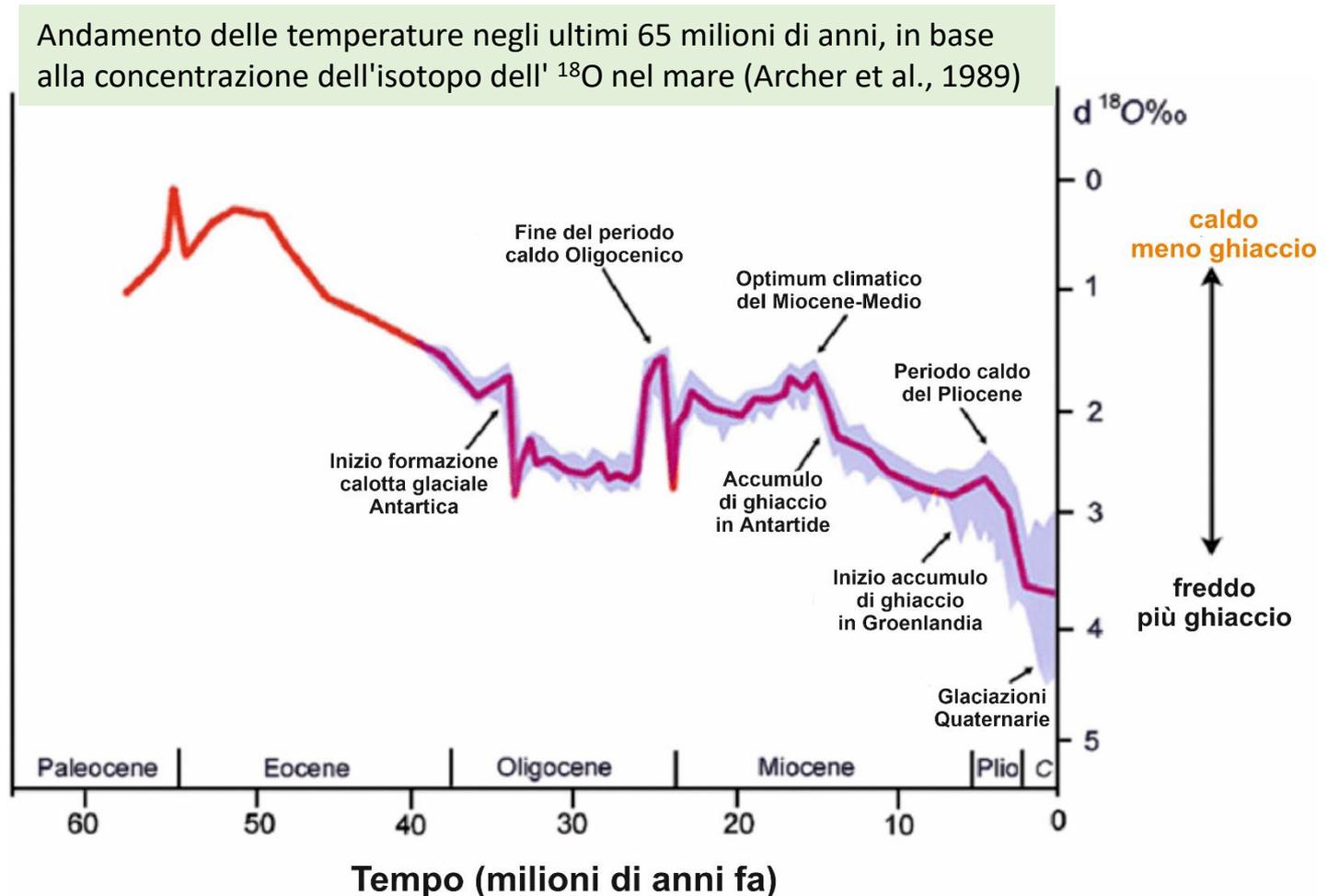
Cenozoico (66-0 Ma)



L'era Terziaria o dei mammiferi. Tra 60 e 40 milioni di anni si compie l'Orogenesi Alpina che portò alla formazione delle Alpi, Carpazi, fino all'Himalaya. Intorno a 20 milioni di anni fa, comincia la formazione dell'Appennino. I mammiferi, occupano le nicchie ecologiche rimaste libere dalla scomparsa dei rettili e si differenziano in molte famiglie, tra cui i marsupiali e i placentati.

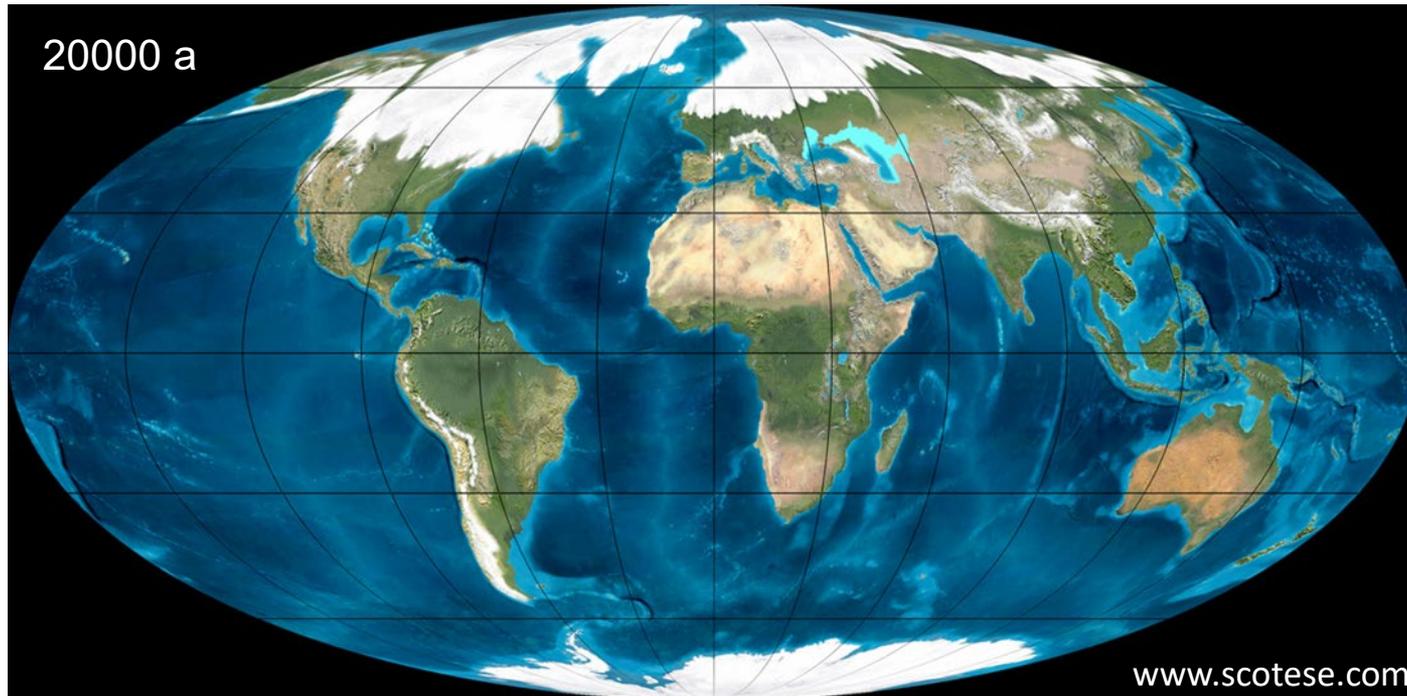


Il clima sulla Terra durante i primi 15 milioni di anni del Cenozoico era uniformemente caldo, e molto più caldo di ora. A partire da circa 50 milioni di anni, il clima intraprese la via del raffreddamento e della differenziazione che, attraverso qualche momento più caldo, culminerà nelle **ere glaciali** del Quaternario (tra 2,6 milioni e 11700 anni fa).



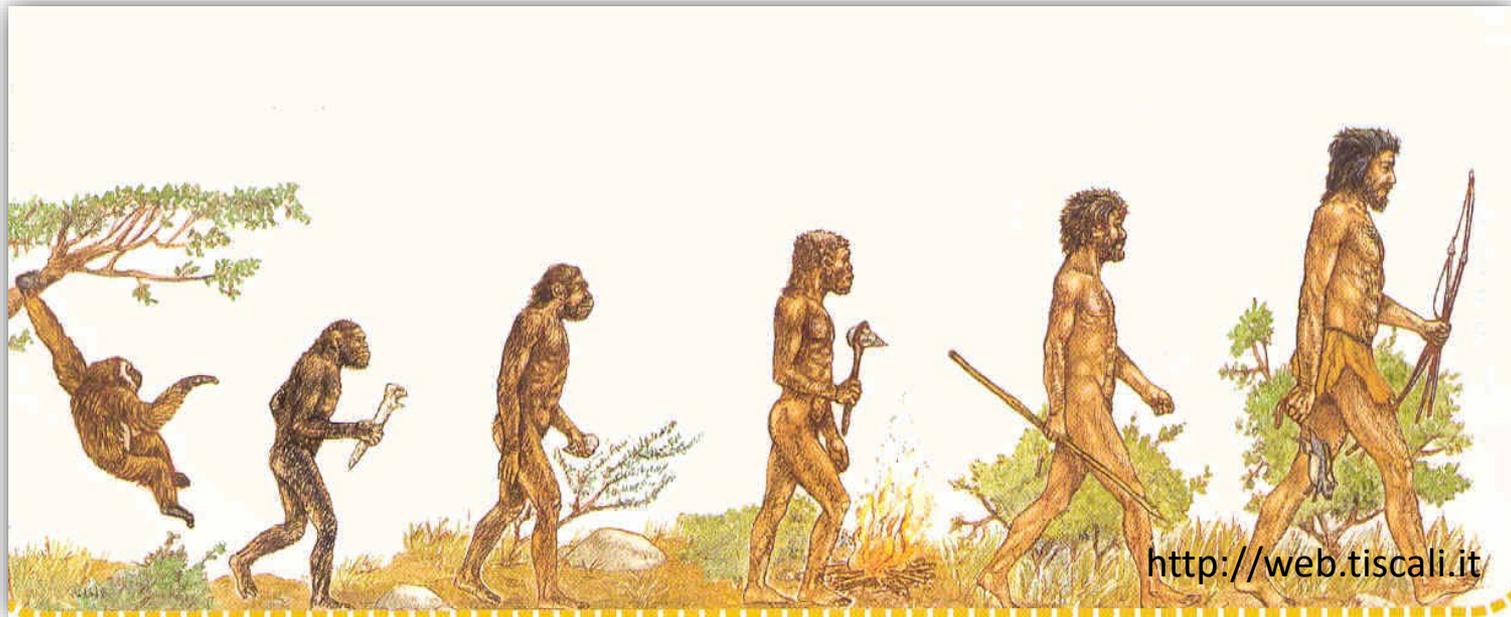
Nell'ultimo milione di anni, il clima oscilla con regolarità tra periodi freddi glaciali e interglaciali caldi con intervalli di circa 100,000 anni secondo le variazioni dall'orbita terrestre che rendono le estati più fredde o più calde alle alte latitudini settentrionali.

Massima espansione ultima Era Glaciale 20000 anni fa

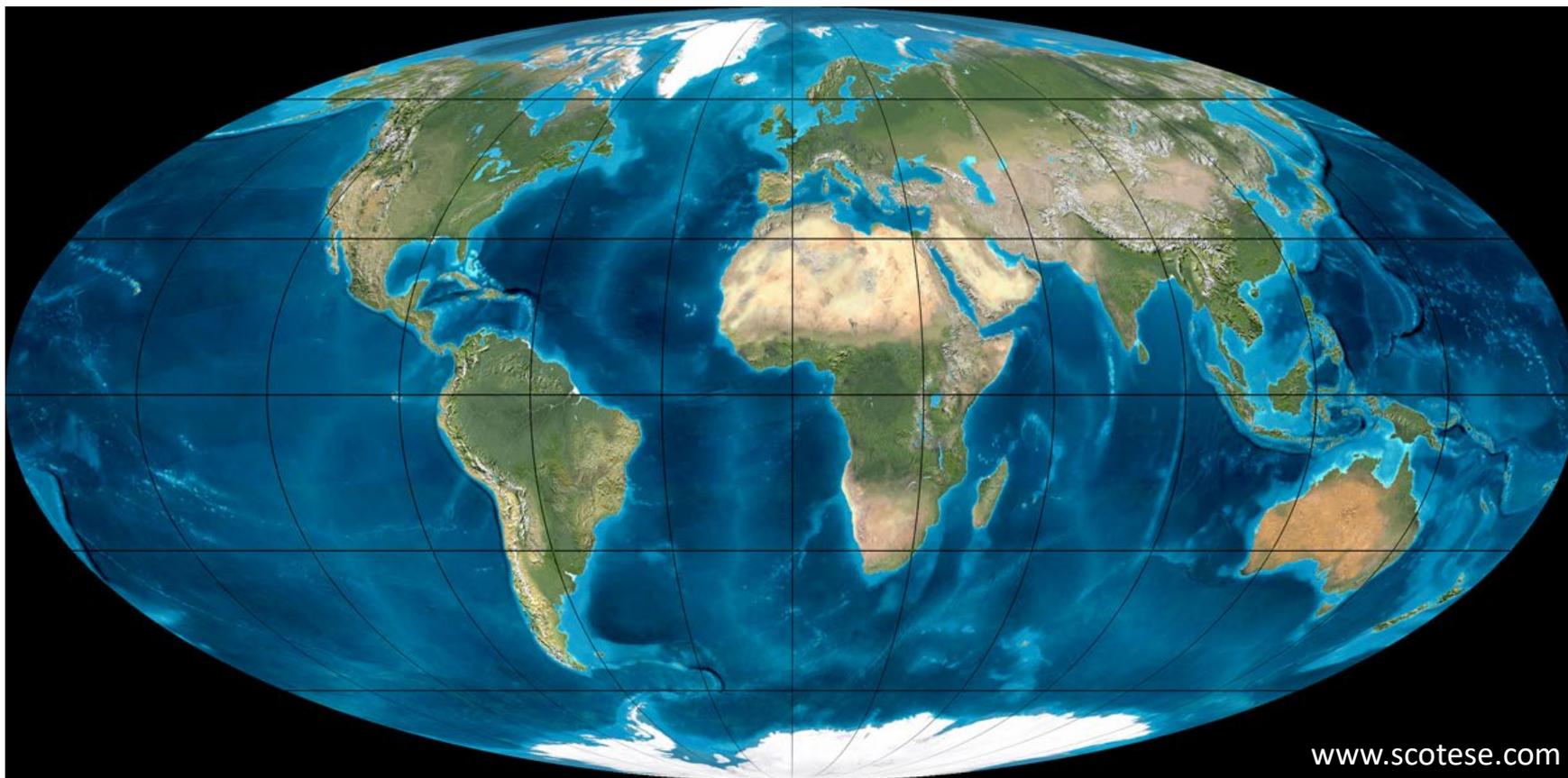


E NOI?

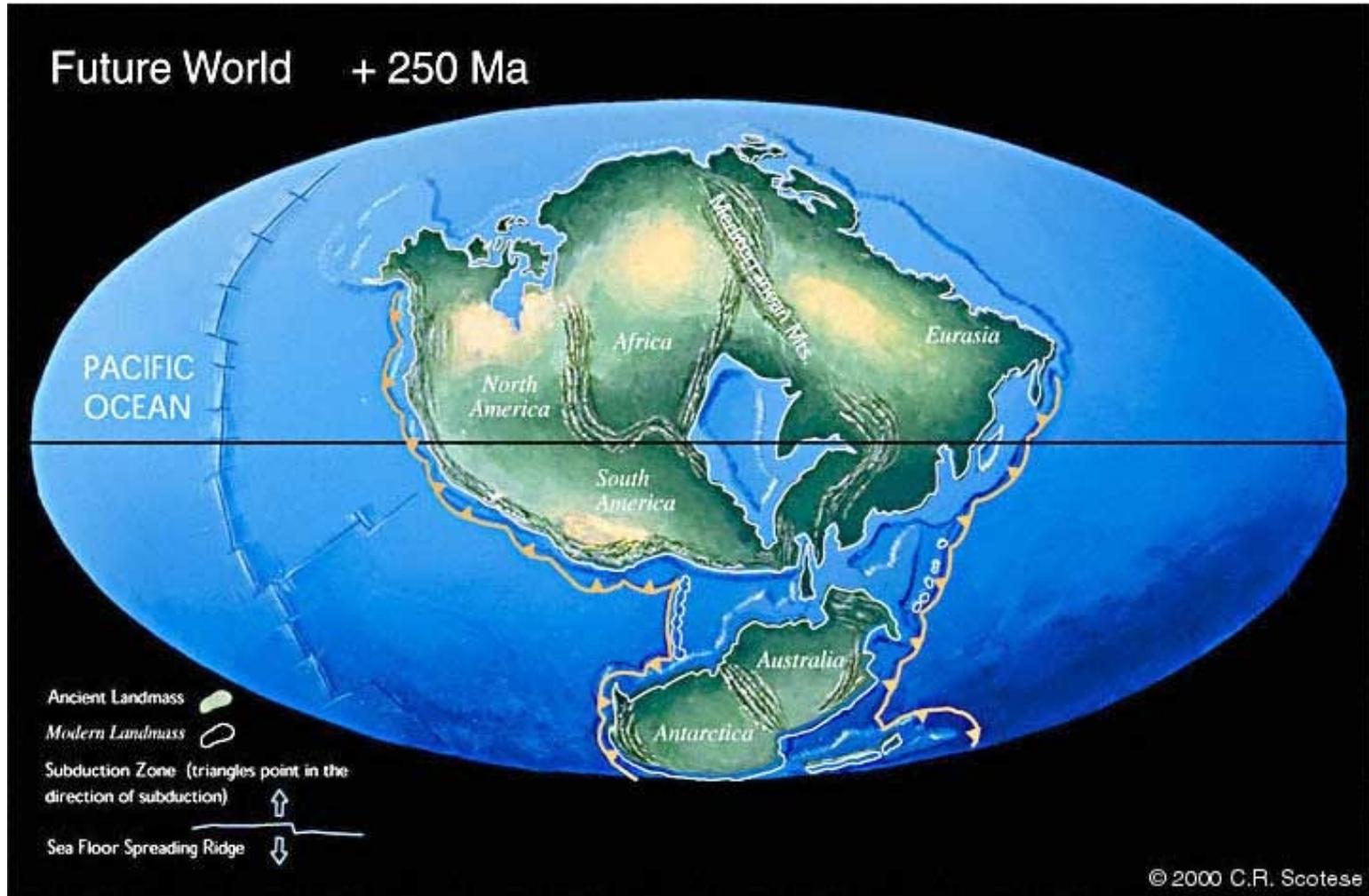
- **7 ma** – Il nostro ramo evolutivo, i primi ominidi *Sahelantropus tchadensis*, si stacca da quello delle altre scimmie.
- **2,5 ma** – I primi membri del genere *Homo*, si evolvono in Africa (*Homo erectus*, *H. habilis*, *H. rudolfensis*)
- **0,8 – 0,3 ma** – evoluzione di *Homo sapiens*. 300.000 anni è l'età del fossile più antico di *Homo sapiens* ritrovato in Marocco.



Il Presente (0 milioni di anni)



Il Futuro (tra 250 milioni di anni) Una nuova PANGEA



GRAZIE...

