STORIA DEL CLIMA TERRESTRE
Parte prima: i primi 5 miliardi di anni

Le Alpi 20000 anni fa

Premessa

- Lo studio dei climi passati:
  - E’ basato sull’ analisi dei reperti fossili e della composizione isotopica
  - E’ storia: cose avvenute
  - In condizioni assai diverse dalle attuali
  - Il clima e’ l’ equilibrio risultante dallo scontro di forze contrastanti
  - L’ equilibrio e’ caotico, cioe’ imprevedibile
  - Condizioni di partenza simili sfociano in esiti diversi

Ci aiuta a comprendere fare un parallelo con l’ andamento della Borsa:

- Il prezzo (la Temperatura) e’ l’ equilibrio fra chi vuole acquistare e chi vuole vendere (cause di riscaldamento e di raffreddamento)
- Come a braccio di ferro, può apparire un equilibrio stabile
- Ma sia fattori interni che esterni possono rompere l’ equilibrio e spostarlo in modo catastrofico
- E’ possibile spiegare a posteriori, ma NON PREVEDERE

Paleoclimatologia

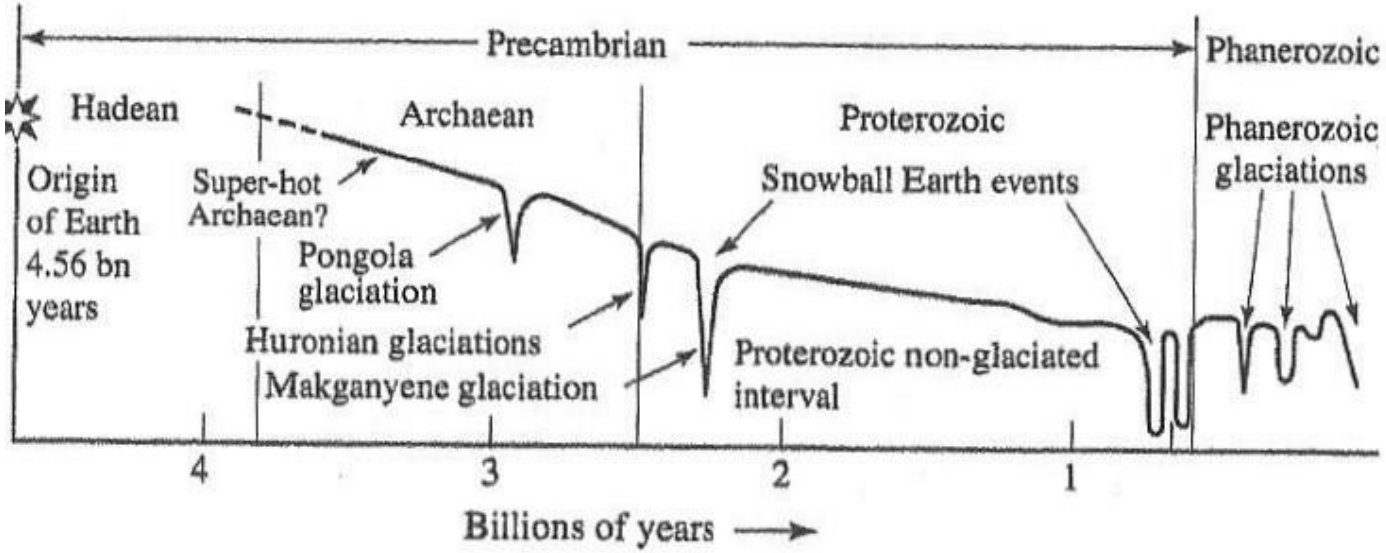
- Scienza nuova, esplosa negli ultimi 20 anni
- Grazie alla analisi microscopica dei fossili: Micropaleontologia
- Ai progressi nella precisione dei sistemi di frazionamento isotopico (ne vedremo l' utilità fondamentale)
- Da una visione statica del clima con lente variazioni nel corso di decine di milioni di anni
- Siamo passati a identificare continue variazioni su base anche solo secolare con escursioni drammatiche per tutto il corso della preistoria
- Ancora una volta simile all' indice di borsa

Clima instabile e variabile

- Solo in epoca storica:
  - Freddo 1200 a.C. crollo delle civiltà mediterranee
  - Caldo epoca romana: Africa granaio del mondo
  - Freddo alto-medievale: fame e pestilenze
  - Caldo Basso Medievale: Duecento secolo d'oro
  - Freddo del Trecento: carestie, sommosse, peste nera, crollo delle civiltà indiane (USA)
  - Minimo di Maunder o piccola era glaciale: in slitta sul Tamigi

Dalla creazione della Terra

- Oceani a 70°C
- Grandi glaciazioni
- Oscillazioni della temperatura superiori ai 100°C



. Earth climate from 4.56 billion years ago to present. The Earth's earliest ate state may, perhaps, have been super-warm. Icehouse climates began ng the Archaean. Long-term intervals of greenhouse climate were punc- d by glaciations in the early and late Proterozoic that may have been yball Earth events. The glaciations of the Phanerozoic were less extensive

Andamento climatico

Marker

- Biota: la sua composizione da indicazioni sulla temperatura
- Mix isotopico nei depositi: l’ abbondanza relativa degli isotopi indica la temperatura di deposito.
- Strati morenici, indizio di glaciazioni
- Storia molto frammentata e piena di Gap nei primi 4 miliardi di anni
- Precisione crescente nei tempi piu’ recenti

Prime osservazioni

- Viviamo in uno dei momenti piu’ freddi della vita della Terra.
- Le calotte polari sono un evento piuttosto raro : soprattutto ad entrambi i poli
- In generale la Terra tende ad un raffreddamento, nonostante il Sole aumenti il suo calore (+30% dalla formazione della Terra)
- Ci sono stati eoni ancora piu’ freddi
- E in prevalenza eoni molto piu’ caldi
- Come in borsa, il trend prima o poi si inverte

Equazione di equilibrio

- T equilibrio media della Terra
- Ts Temperatura del Sole
- α Albedo (riflettivita')
- Rs Raggio del sole
- a Distanza Terra-Sole

$$T_{eq} = T_s(1-\alpha)^{1/4}\sqrt{\frac{R_s}{2a}}$$

ALBEDO

- L’ albedo e’ il grado di riflessione dei raggi incidenti:
- Albedo uguale a 1 riflessione totale (specchio)
- Albedo uguale a 0 assorbimento totale (nero assoluto)

Superficie	Valore di albedo tipico
Asfalto fresco	0.04[2]
Oceano aperto	0.06[3]
Asfalto consunto	0.12[2]
Foresta di conifere (In estate)	0.08,[4] da 0.09 a 0.15
Latifoglie	0.15-0.18
Suolo libero	0.17[5]
Erba verde	0.25[5]
Sabbia del deserto	0.40[6]
Cemento fresco	0.55[5]
Ghiaccio oceanico	0.5–0.7[5]
Neve fresca	0.80–0.90[5]
Pianeta Terra	0,39

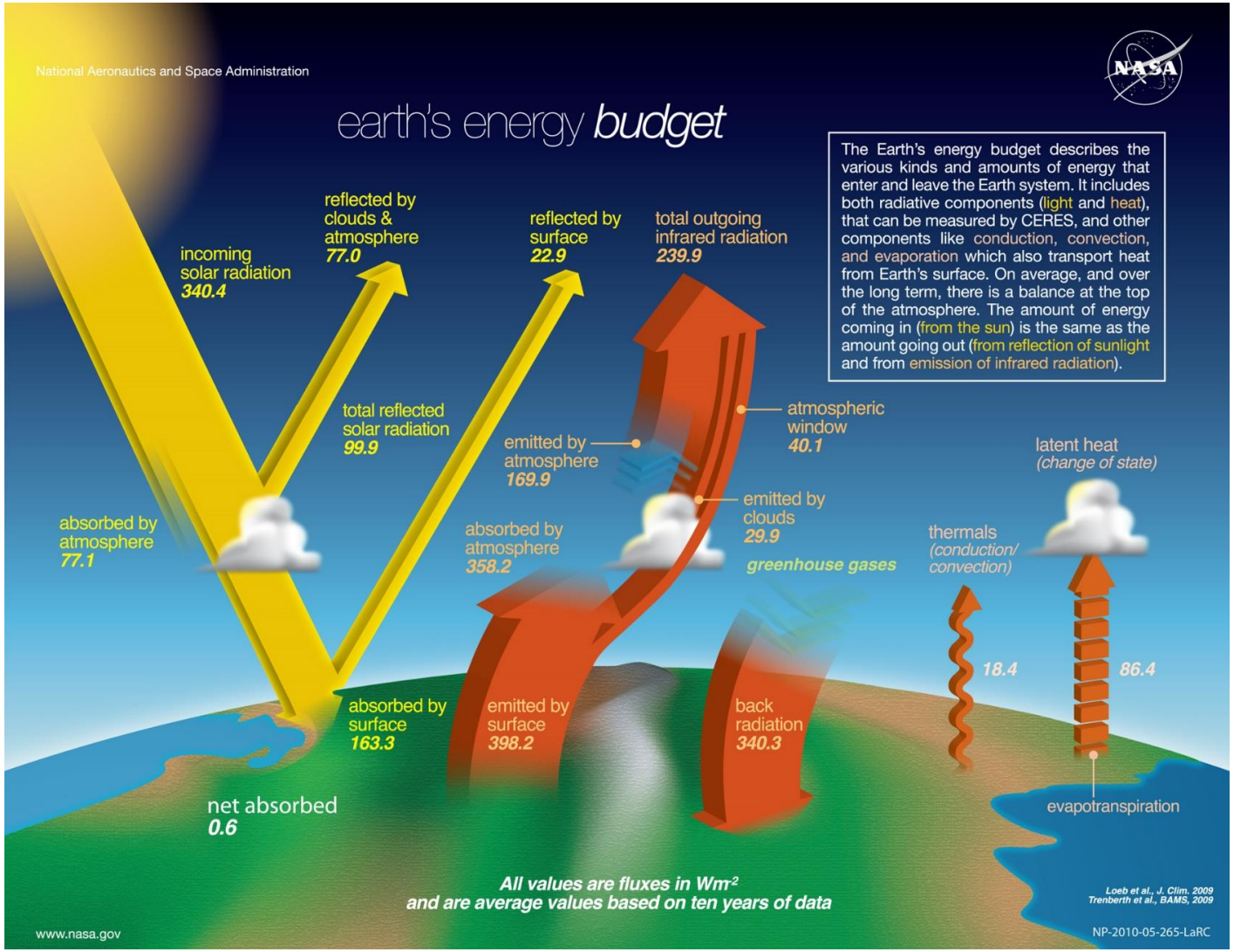
Alcune temperature di equilibrio senza atmosfera

- Terra nelle condizioni attuali circa -20C°.
- Luna -1C°
- Terra completamente ghiacciata -70C°
- Terra completamente nera +4C°
- Terra oceanica 0C°
- Misto terre selvagge e oceani -2C°
- **Contributo atmosfera 36K, cioe' acqua allo stato liquido cioe' vita**

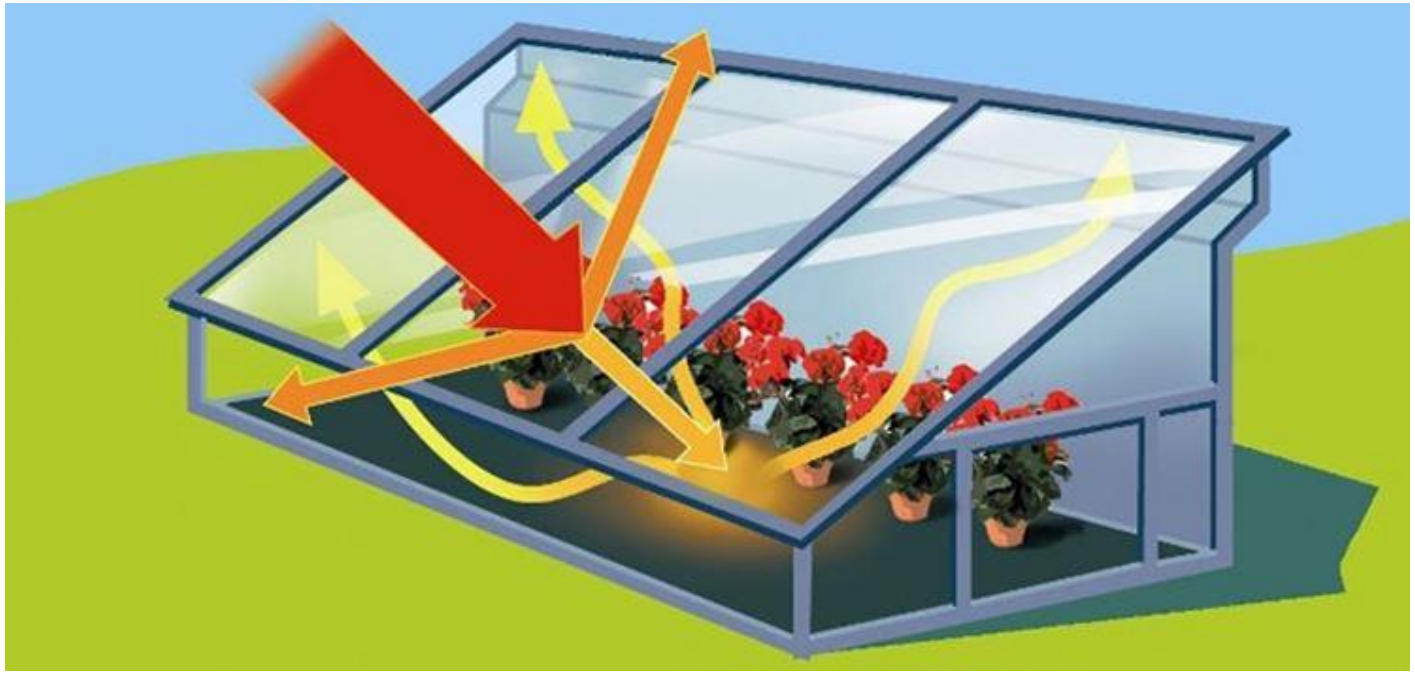
Fonti di riscaldamento

Tab. I Valori assoluti e relativi al Sole della potenza fornita al pianeta Terra da diverse sorgenti di energia, calcolati integrando il flusso di radiazione su tutta la superficie terrestre

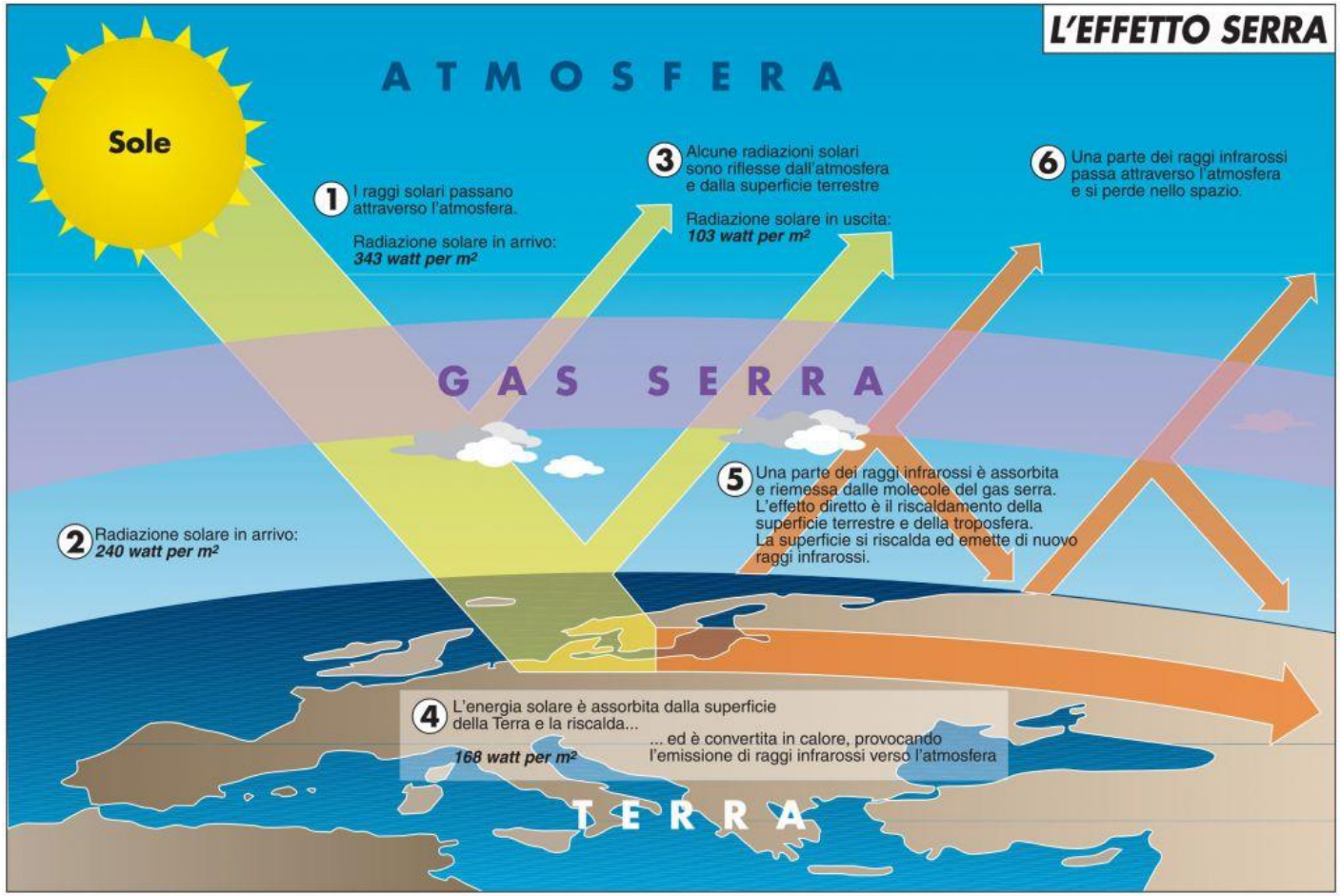
	Energia fornita alla Terra nell'unità di tempo	
Sorgente di energia	Valori assoluti di potenza (erg/s)	Valori in unità relative rispetto al Sole
Sole	$1{,}76\ 10^{24}$	1
Luna (piena)	$3{,}09\ 10^{19}$	$1{,}76\ 10^{-5}$
Fulmini	$1{,}60\ 10^{19}$	$9{,}09\ 10^{-6}$
Luce stellare	$2{,}61\ 10^{17}$	$1{,}48\ 10^{-7}$
Aurora boreale	$2{,}53\ 10^{17}$	$1{,}44\ 10^{-7}$
Raggi cosmici	$1{,}63\ 10^{17}$	$9{,}26\ 10^{-8}$
Luminosità del cielo notturno	$1{,}12\ 10^{17}$	$6{,}37\ 10^{-8}$



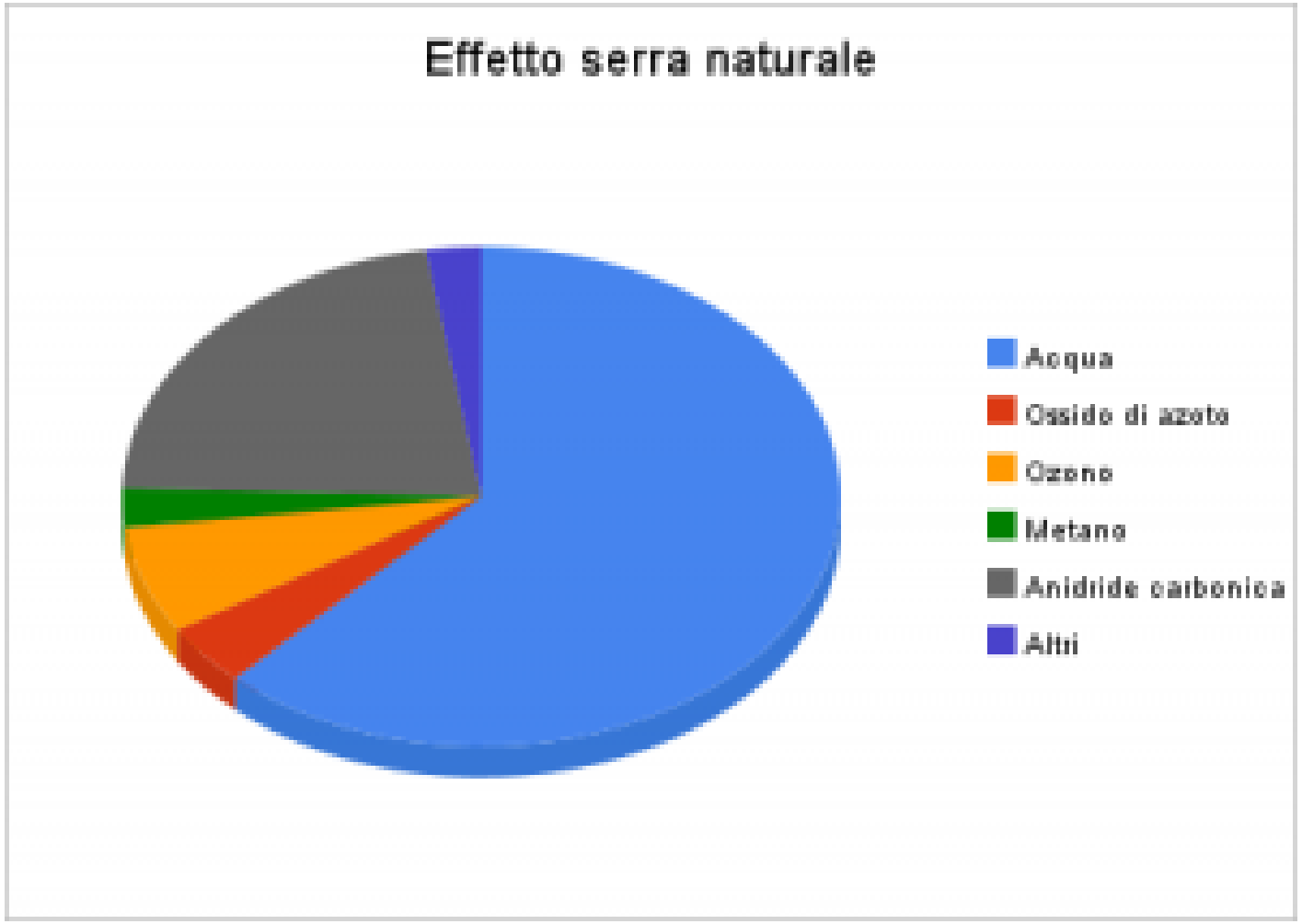
Fonti di calore e dispersione



Effetto serra

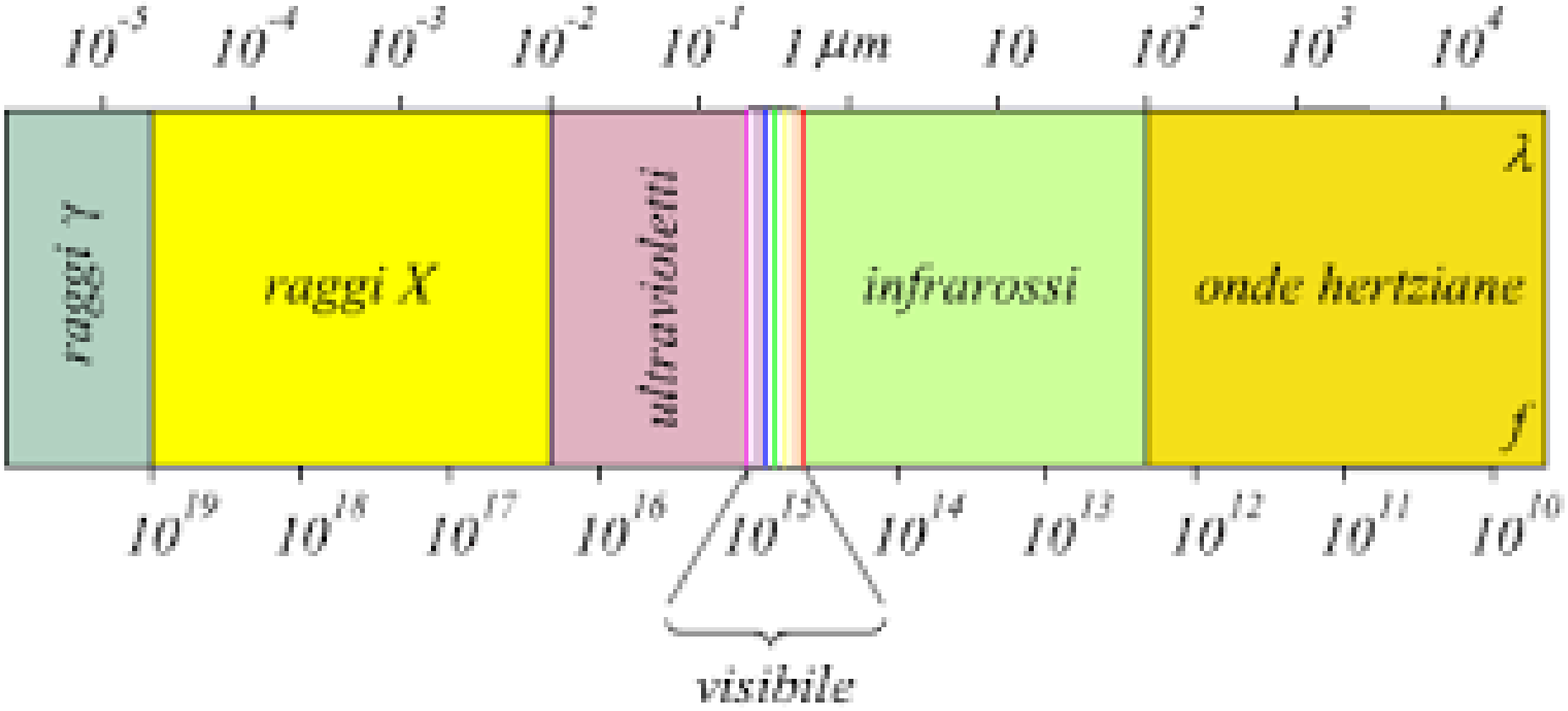


Per il pianeta Terra

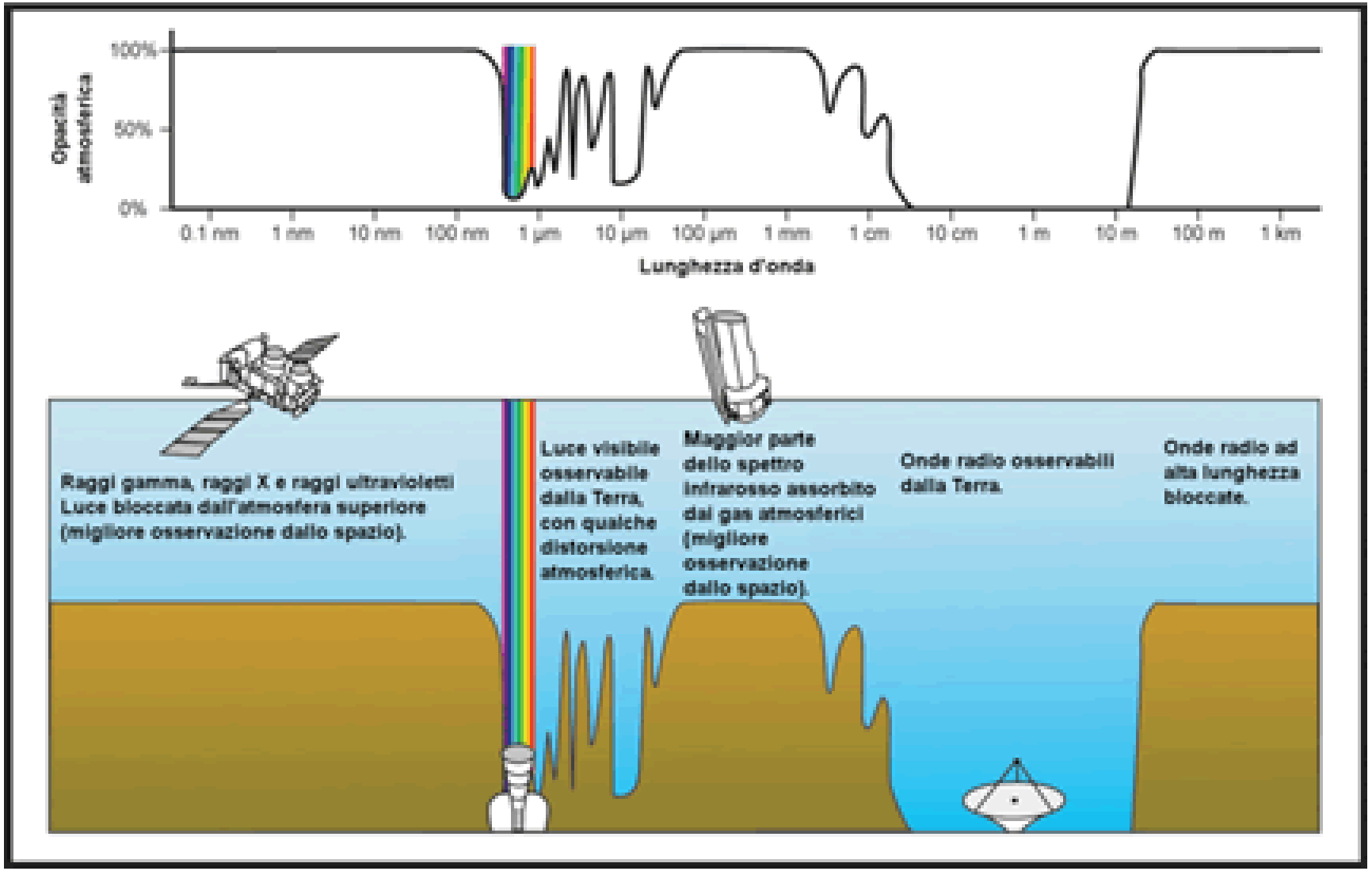


Quali sono i gas serra

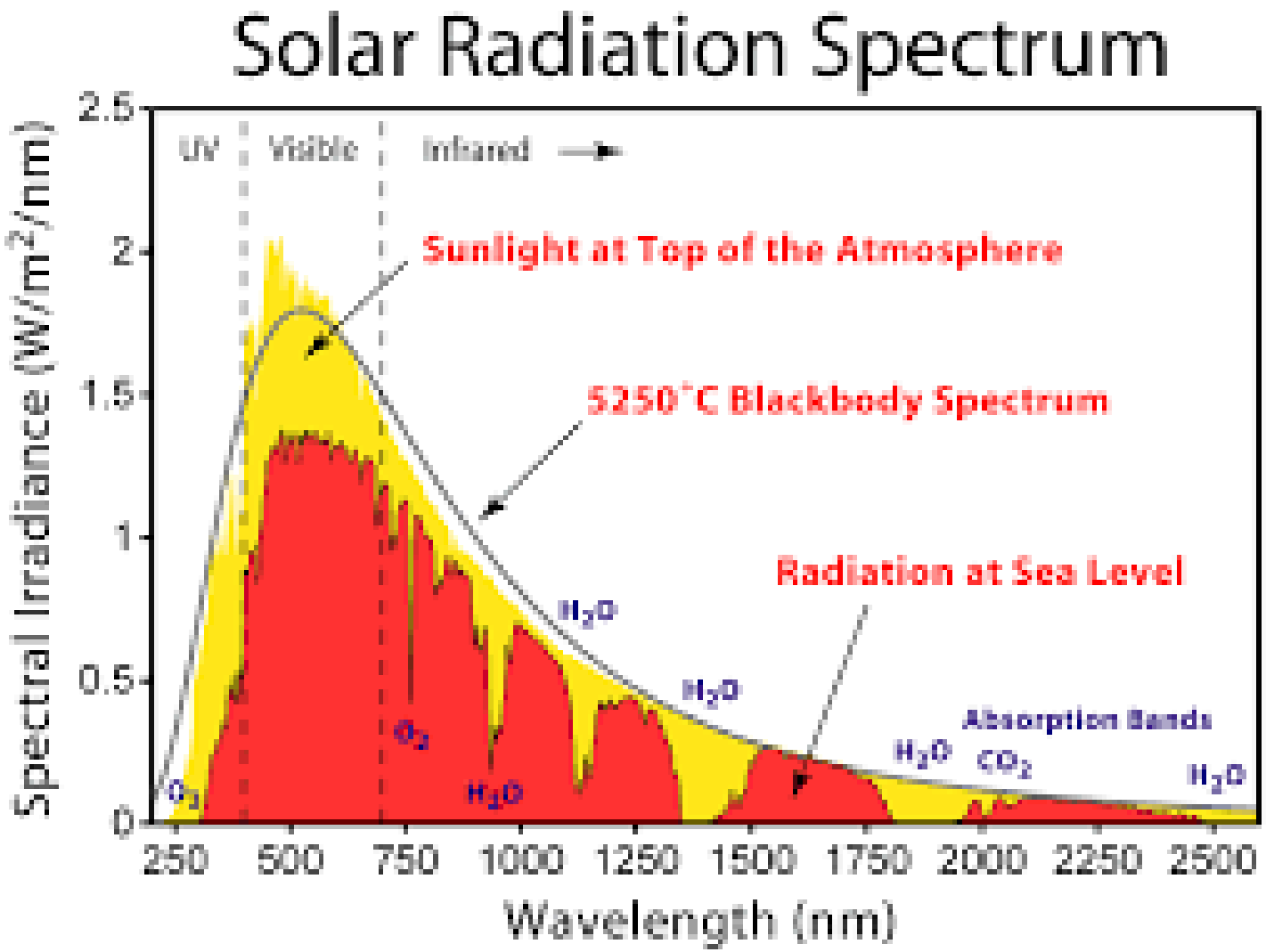
Bande di radiazione



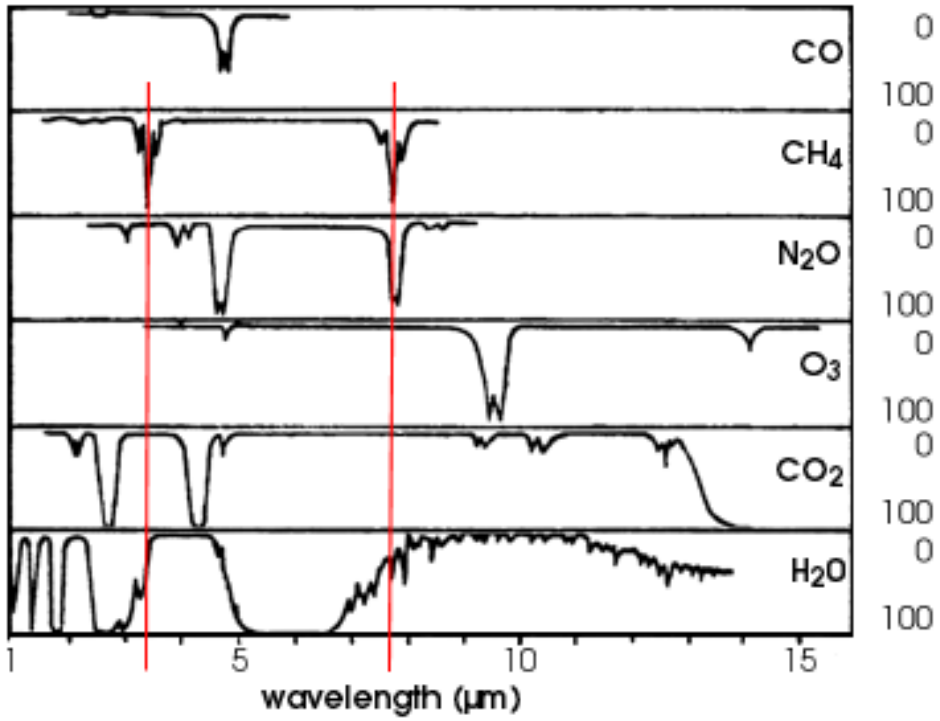
Effetto filtro dell’ atmosfera



Spettro risultante

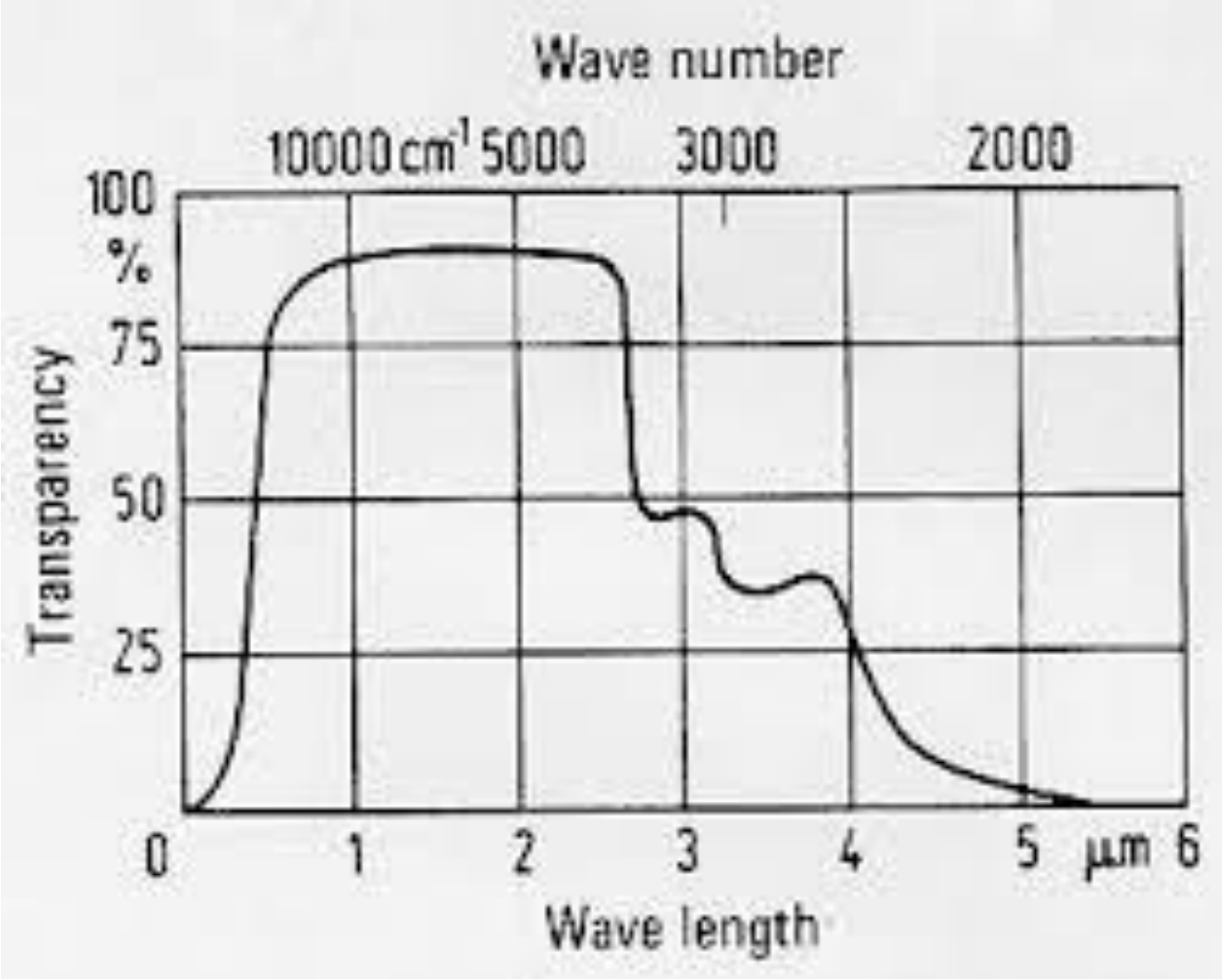


Filtro dei vari gas serra



The absorption percentage of radiation of gases found in Earth's atmosphere

Assorbimento del vetro



Effetto serra

- Angelo o Diavolo
- Senza effetto serra il Pianeta sarebbe sterile
- Oggi esso alza la temperatura del pianeta di 40°C, rispetto all’ equilibrio
- In passato passo’ i 100 gradi oltre l’ equilibrio.
- Ma in altri momenti sparì quasi del tutto e la Terra ghiacciò
- Qual ’e’ il giusto equilibrio?

Macro fattori di cambiamento climatico

- Formazione di supercontinenti e quantità di terre emerse
- Super eruzioni vulcaniche
- Ossigenazione dell’ atmosfera
- Presenza di terre emerse ai poli
- Velocità di circolazione degli oceani
- Velocita’ di ricircolo del Carbonio
- Variazioni di vegetazione o copertura nevosa

Ricerca di equilibrio

- Si sono creati due grandi centri di equilibrio profondamente diversi
- Come se esistesse un gigantesco switch che fa scivolare il clima in uno dei due crinali
- Un equilibrio caldo
- E uno freddo
- Senza situazioni intermedie tranne veloci transizioni e con saltuari picchi di supercaldo e di superfreddo.

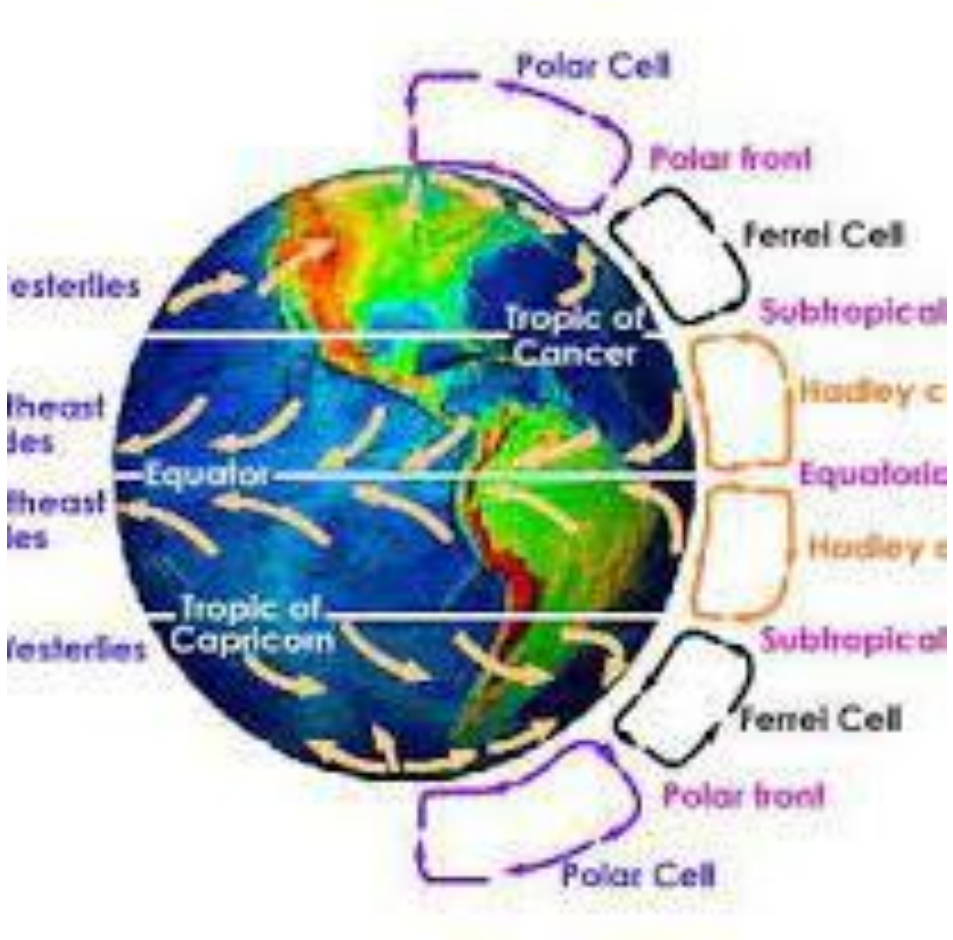
Terra super-calda

Caratteristiche della Terra tropicale

- Assenza di ghiacci
- Temperature assai uniformi: poli temperati
- Supercontinente lontano dai poli
- Bassa circolazione oceanica
- Anossia dei fondali marini (biosfera di sola superficie)
- Gusci di calcite
- Forse una sola cella di Hadley

Celle di Hadley

- Alternanza di zone secche e umide
- Scambio termico
- Ventilazione globale
- Forse una sola cella



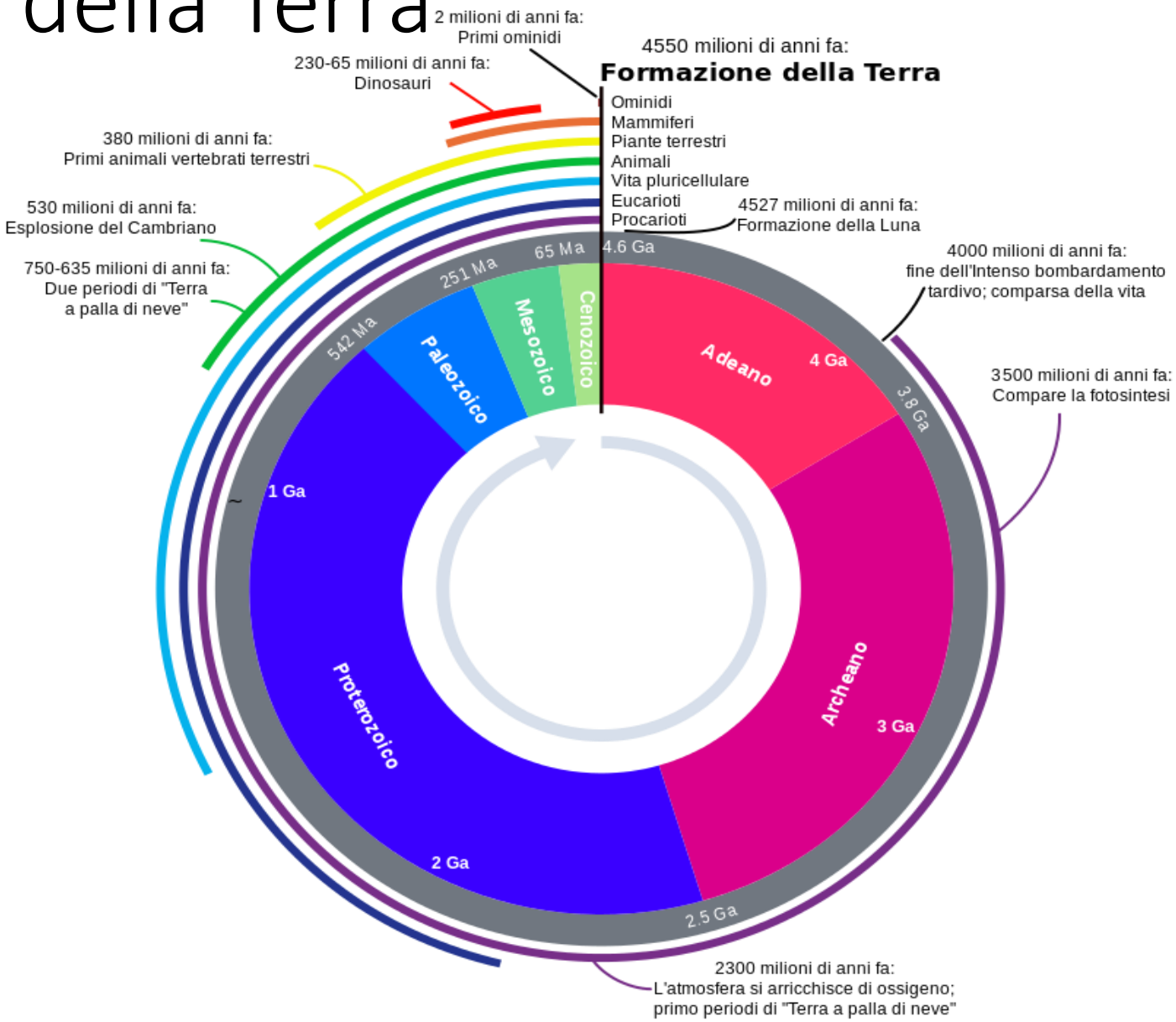
Terra super-fredda

- Ghiacci a entrambi I poli
- Continenti frazionati
- Oceani freddi e ossigenati
- Rimescolamento forte
- Erosione forte
- Livello marino basso

Noi dove siamo?

- Da 30 milioni di anni la Terra e’ entrata in equilibrio freddo
- Da 3 milioni di anni ripetute glaciazioni
- Noi siamo in una fase interglaciale non particolarmente calda
- Con veloci variazioni anche secolari
- Generalmente il freddo ho nuociuto all’ uomo assai piu’ del caldo
- E ora vediamo cosa e’ successo?

La storia della Terra

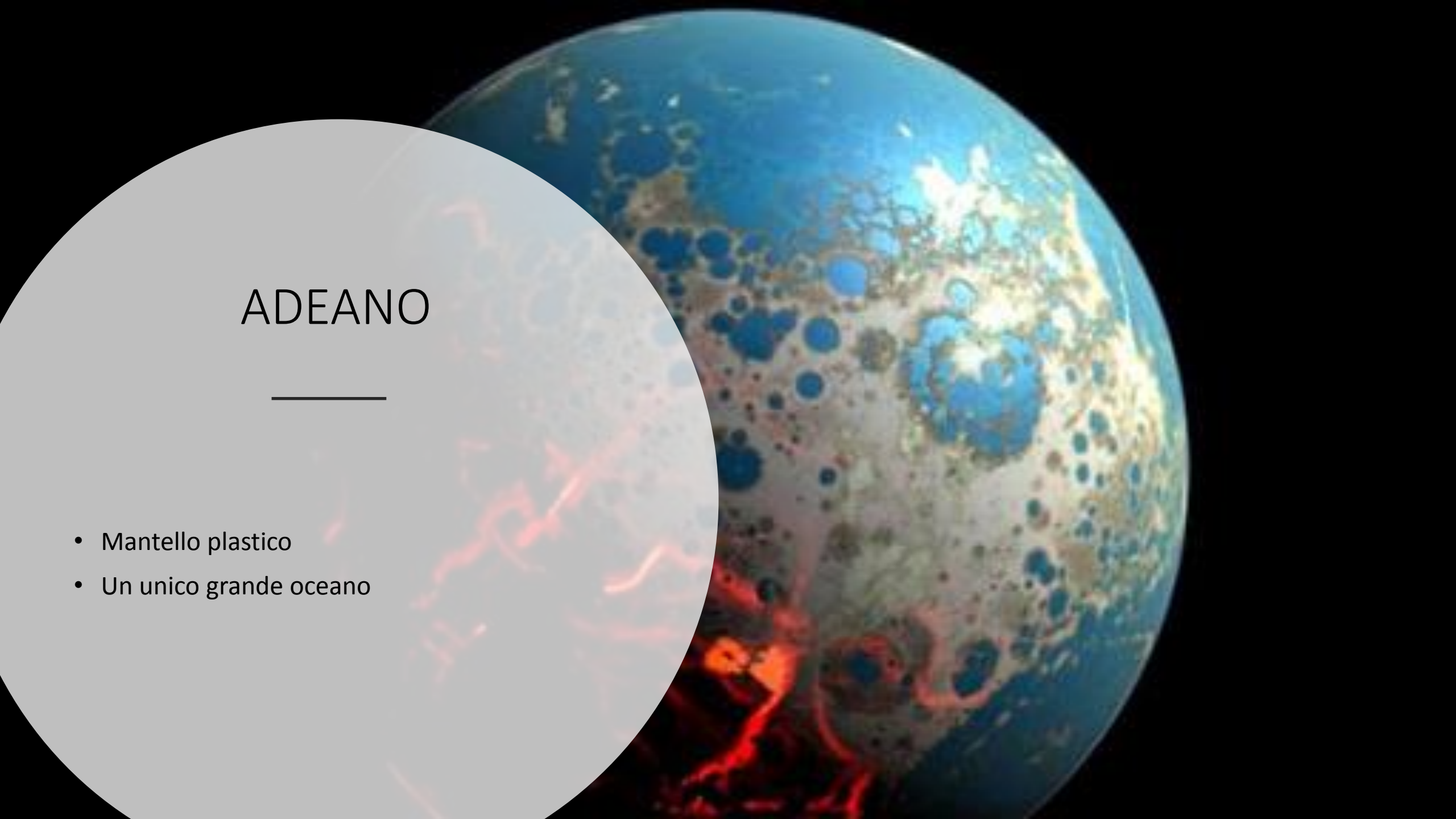


Il clima primigenio

- La Terra nell’ Adeano (4600-4000 milioni di anni fa)

ADEANO

- Mantello plastico
- Un unico grande oceano



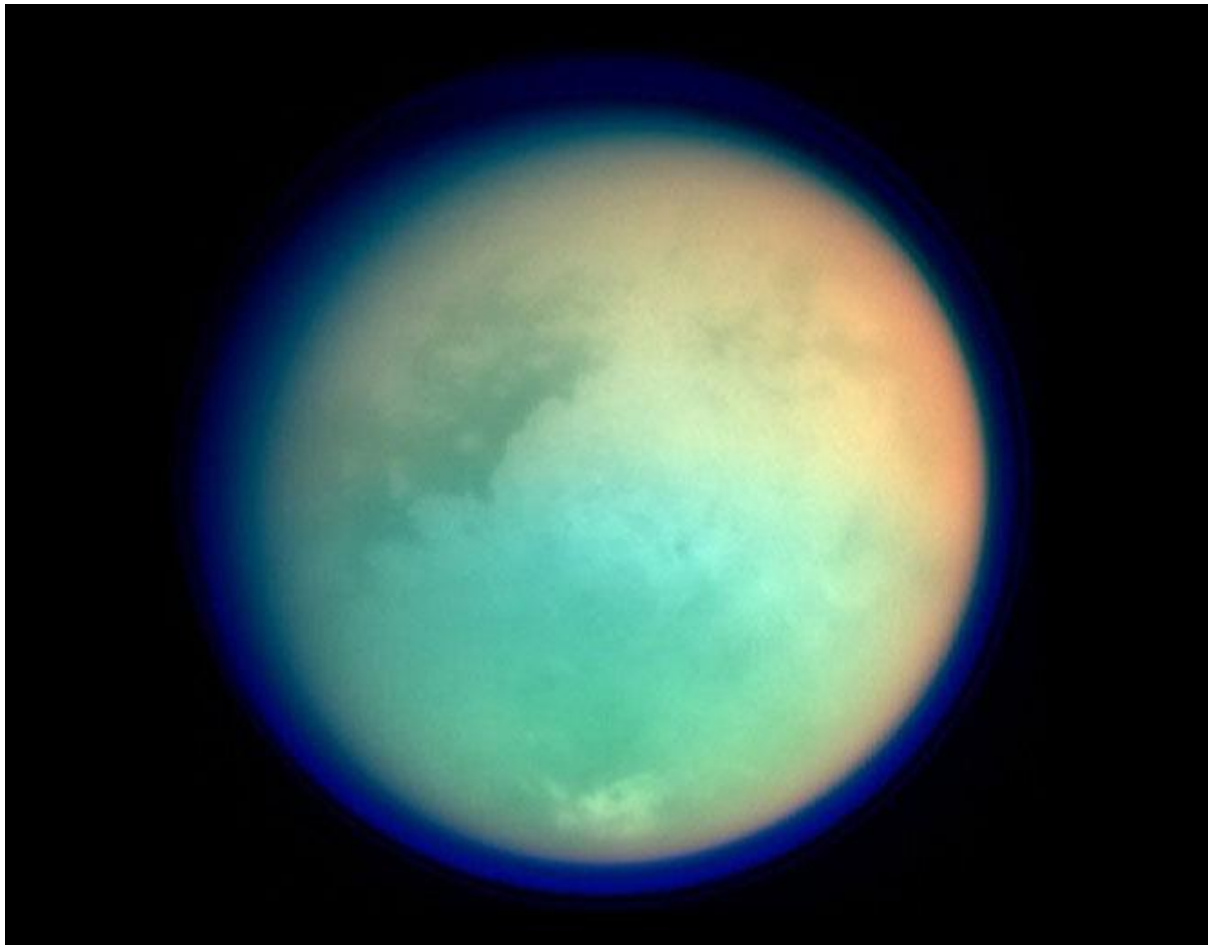
Storia degli Zirconi

- I resti più antichi:
- 4300 milioni di anni fa

Formati in camini vulcanici ricchi d’ acqua

Zirconi

La Terra nell’ archeano (4000-2500)

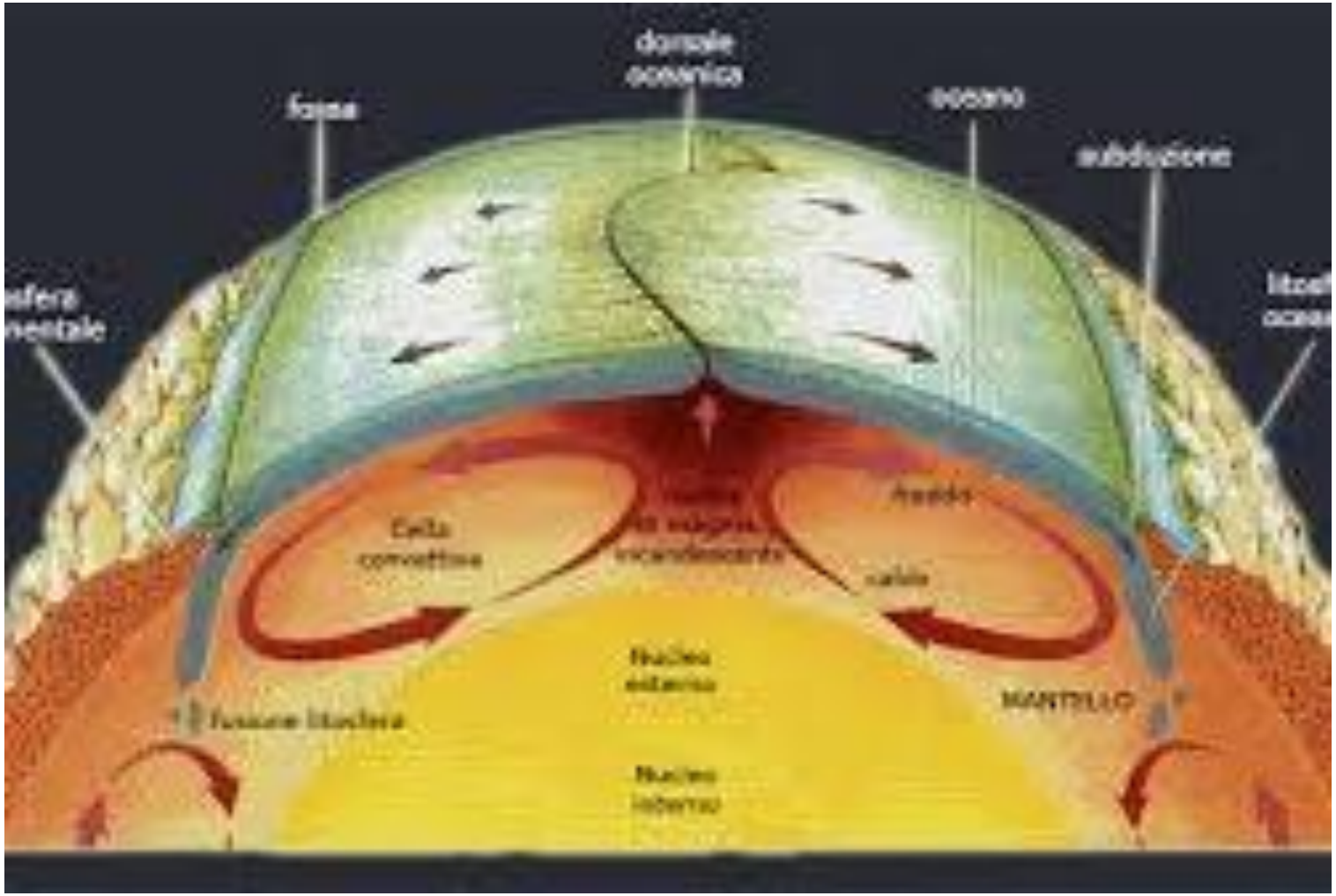


Nasce la vita

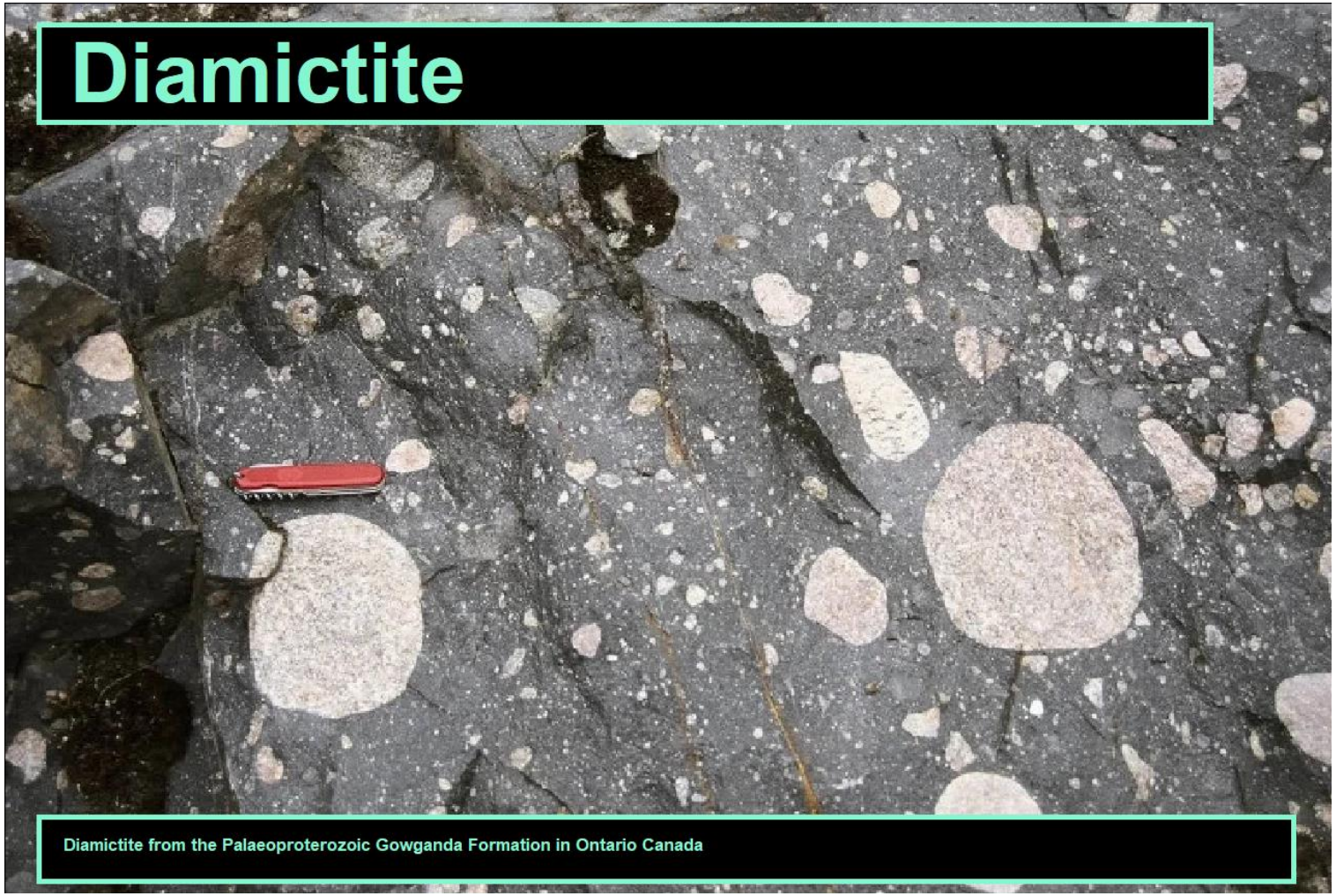
La vita lascia le prime tracce: gli stromatoliti

Batteri simili agli ipertermofili oceani caldi

Formazione dei continenti e tettonica a zolle

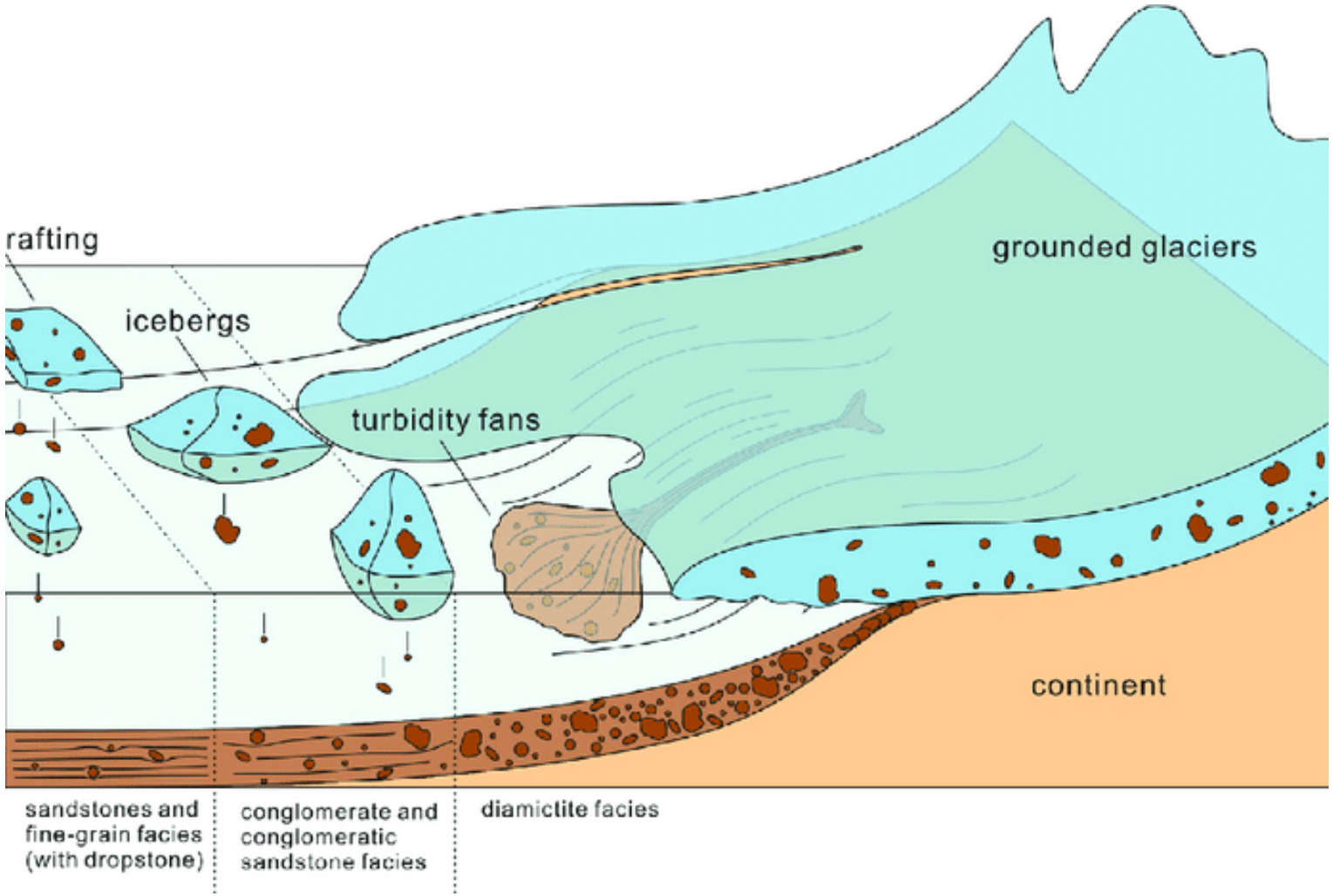


Tettonica a zolle



Pongola: la prima glaciazione (2900)

Marker delle glaciazioni



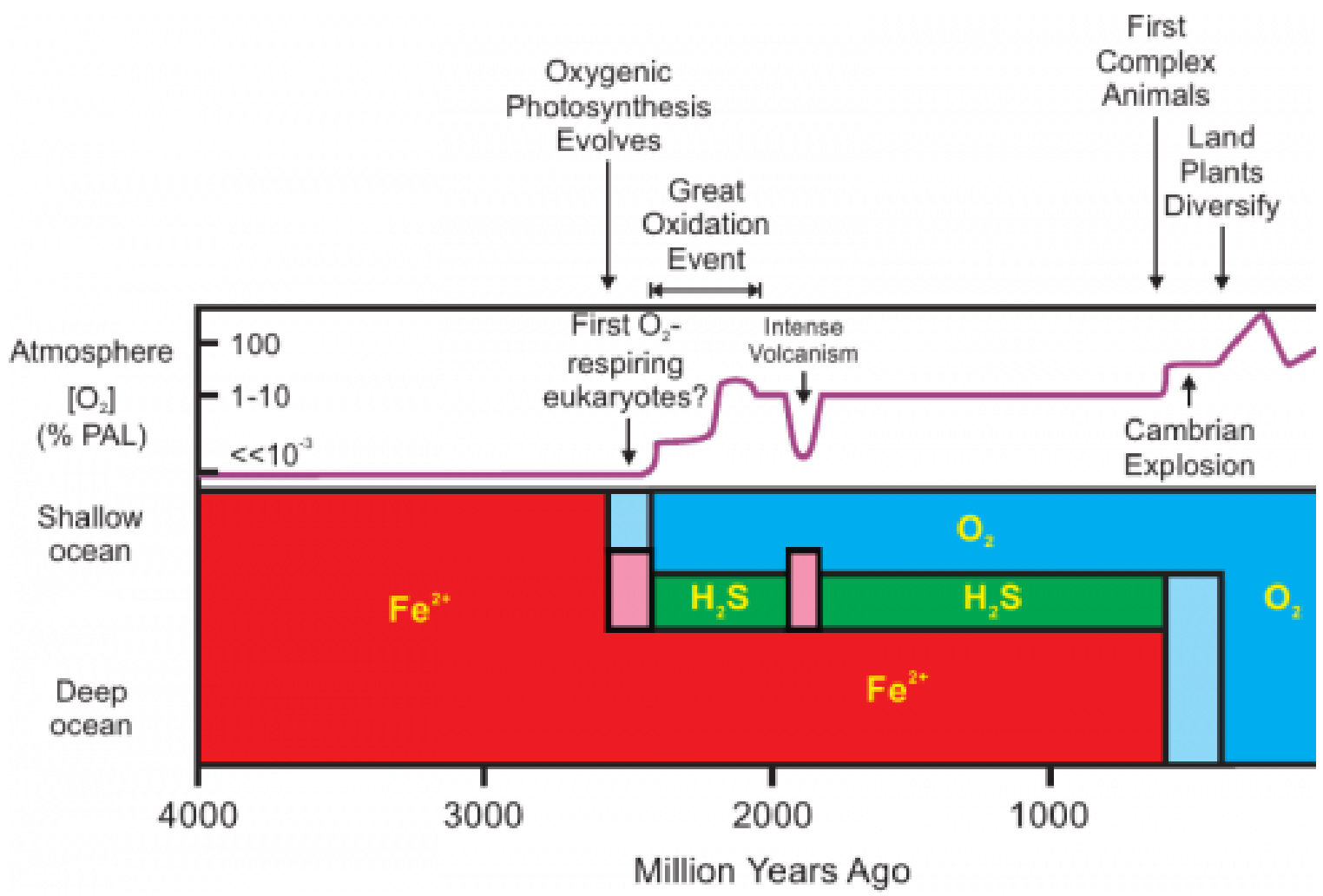
Proterozoico (2500-542)

- Periodo lunghissimo di apparente stasi
- Inizio e fine con due immani catastrofi ecologiche

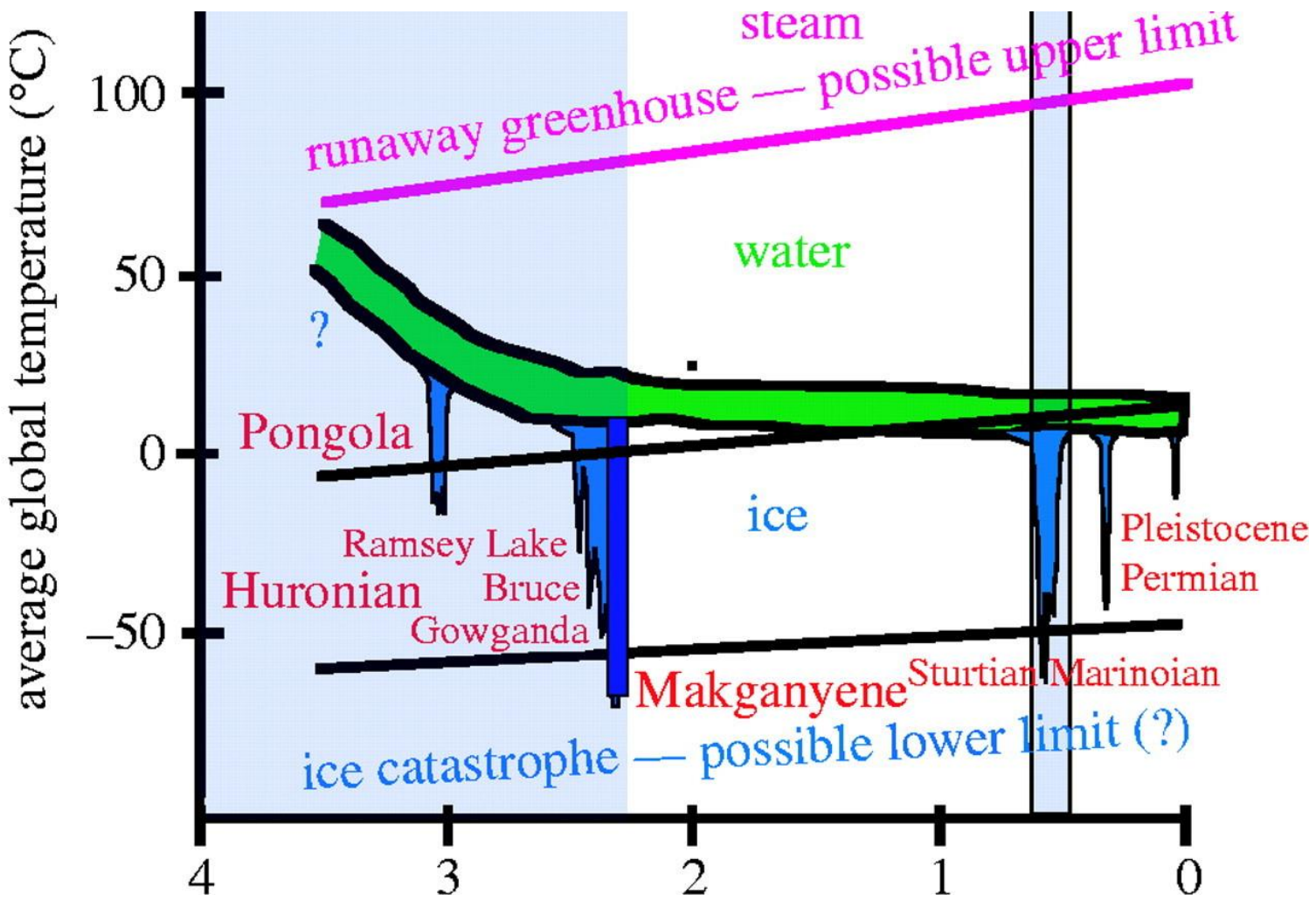
2500 milioni di anni fa : catastrofe dell’ ossigeno

- I batteri scoprono la fotosintesi clorofilliana
- Energia direttamente dal sole
- Consuma acqua e CO2 e produce Ossigeno
- L’ ossigeno non esiste in natura, e’ un prodotto della biosfera
- Distrugge molti gas serra

La catastrofe dell’ ossigeno Ossidazione di mare e terra: bif

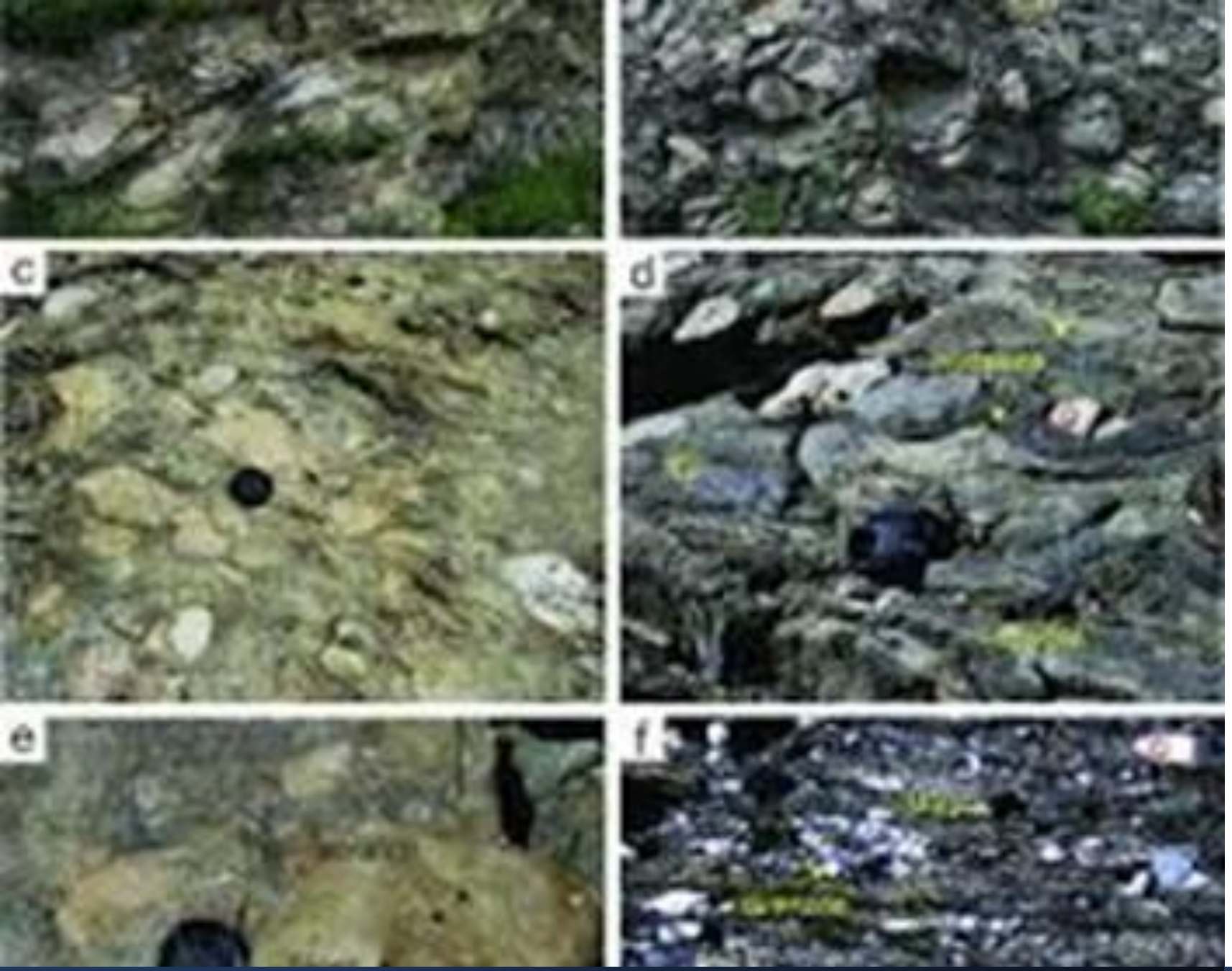


L’ andamento dell’ ossigeno nelle ere



Andamento climatico

La prima e piu’ grande glaciazione: la Huroniana (2.4 miliardi fa)



Glaciazioni globali

- Terra palla di neve
- Huroniana (2400 milioni di anni fa)
- Makganyene (2200)

Ciclo dei supercontinenti

Nome Formazione

Vaalbara 3,6

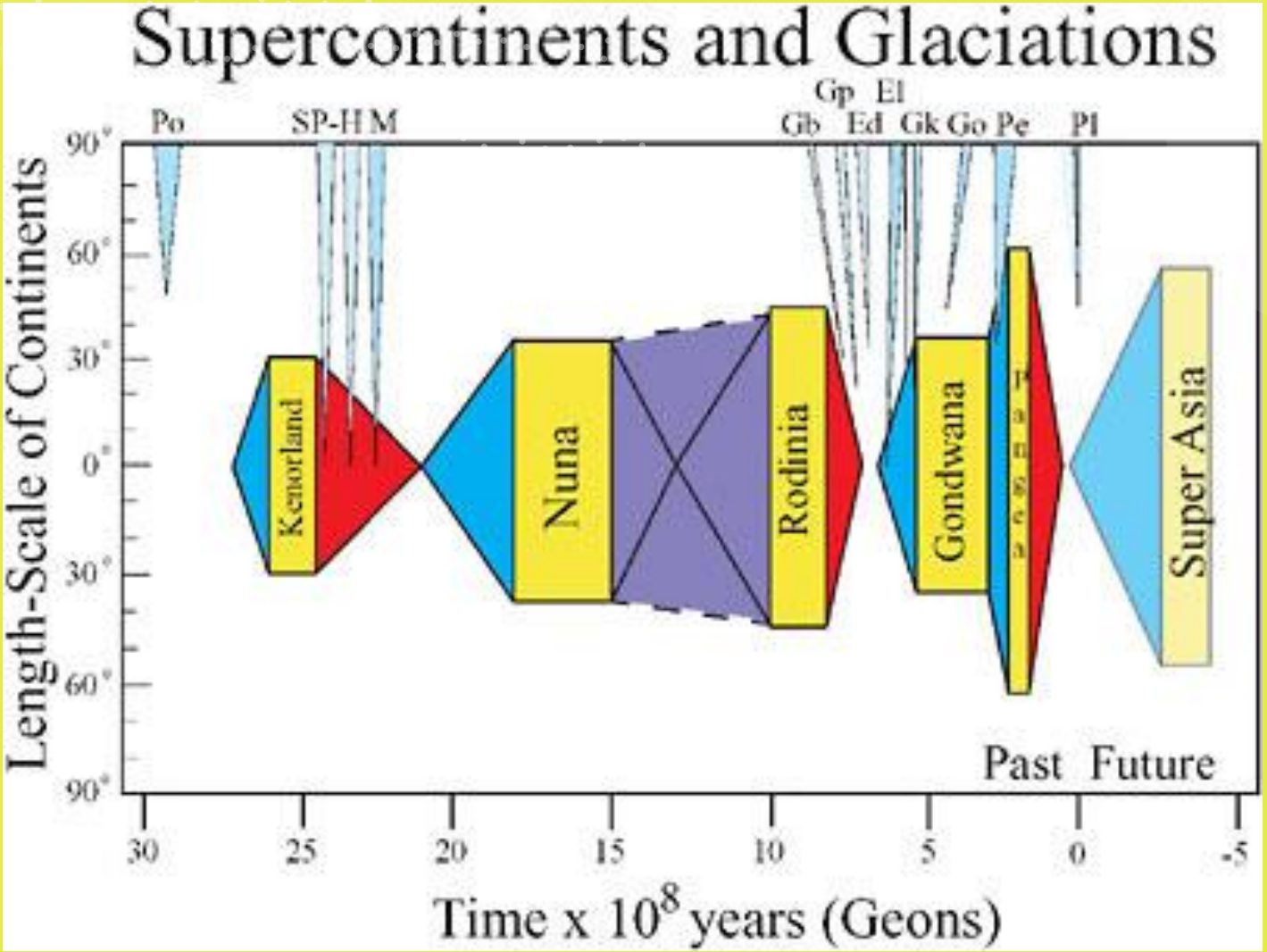
Kenorlandia 2,72

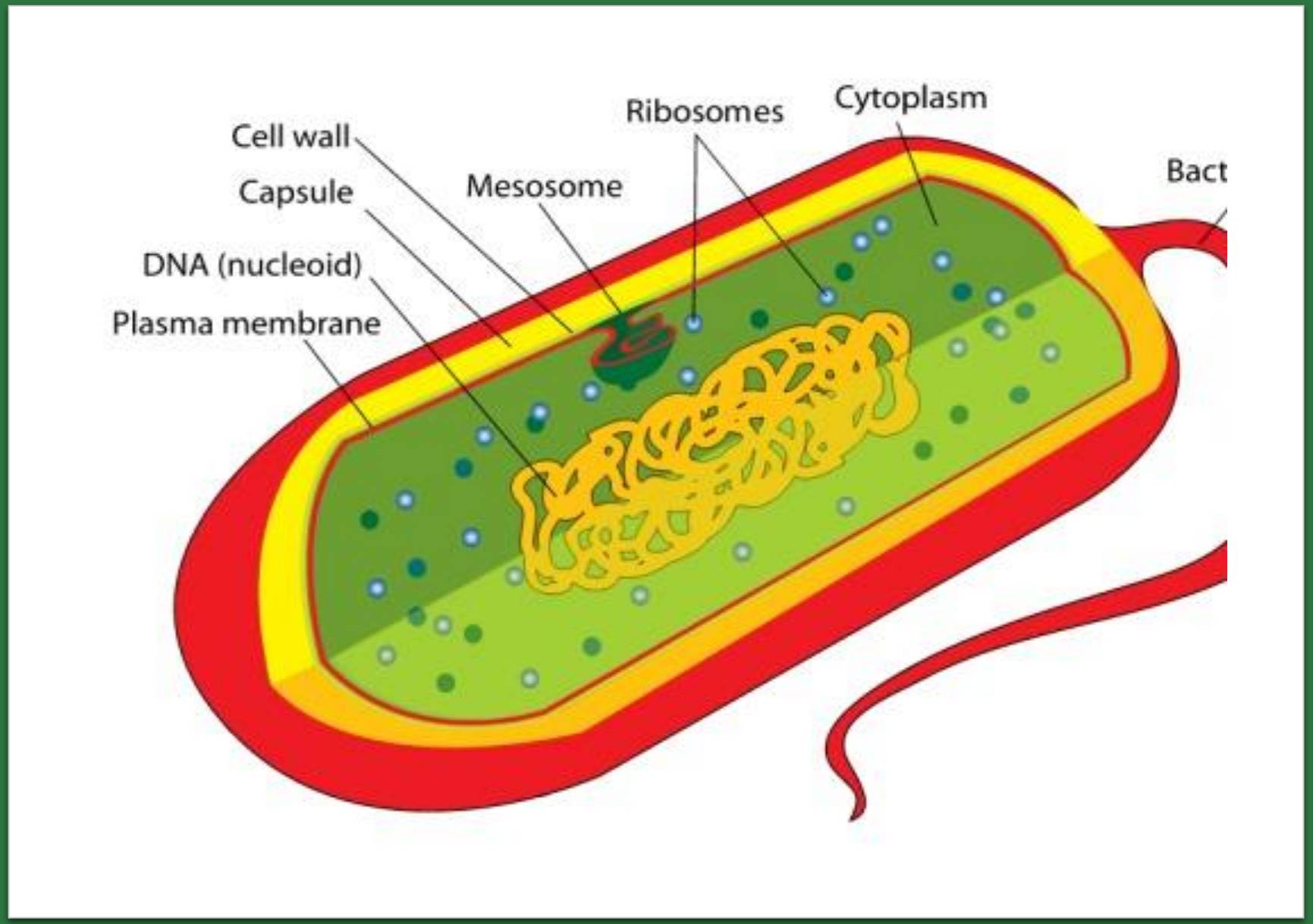
Columbia o Nuna 1,81

Rodinia 1,30

Pangea 0,30

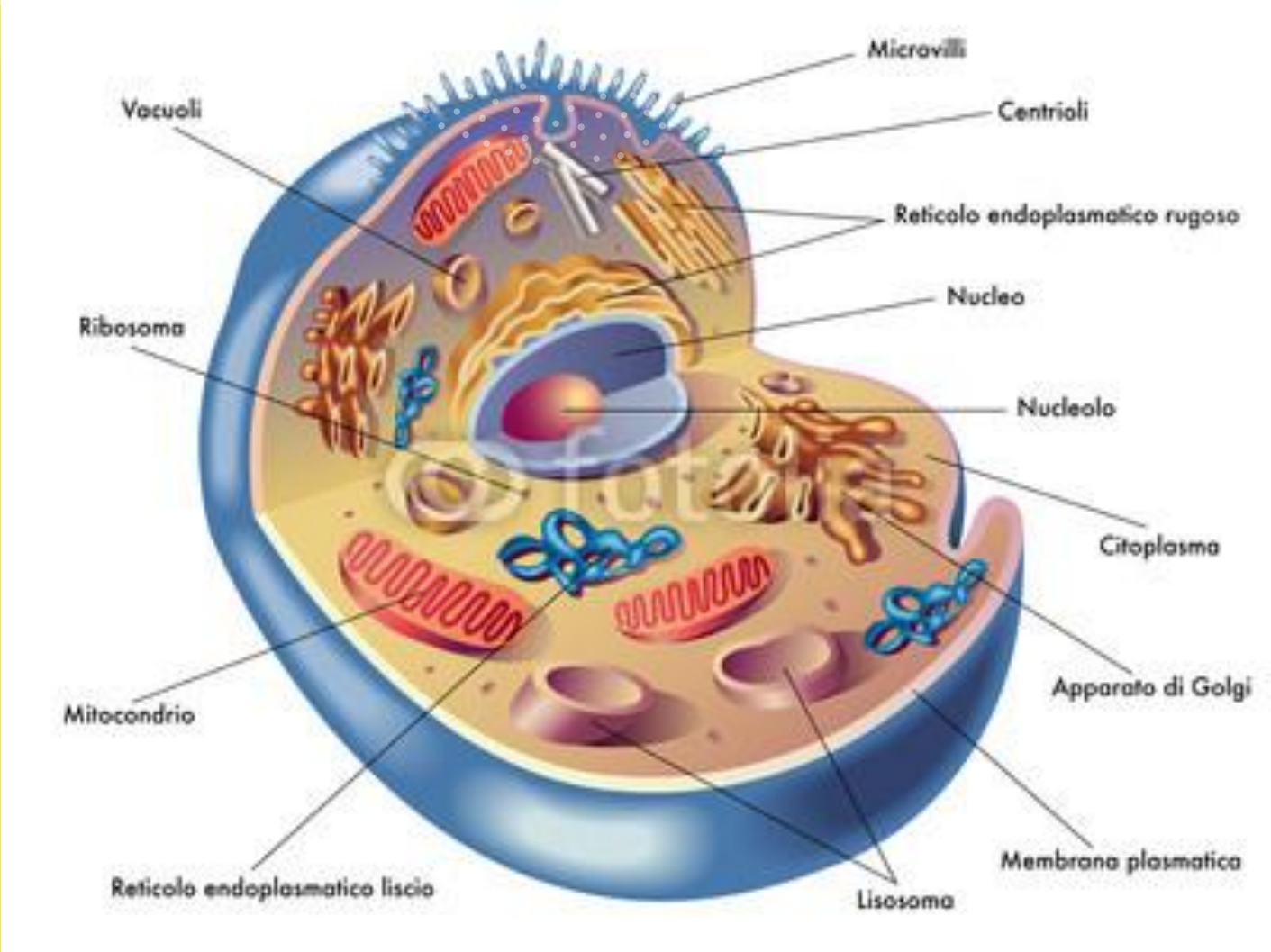
Ciclo dei supercontinenti





Rinascita della vita: dai procarioti…

...Agli eucarioti



Progresso fondamentale

- Specializzazione delle cellule e quindi predisposizione a organismi multicellulari
- Apertura alla riproduzione sessuale con cellule riceventi e cellule donanti
- Accelerazione drammatica della velocità di evoluzione
- Ma ……. Non tutto era pronto

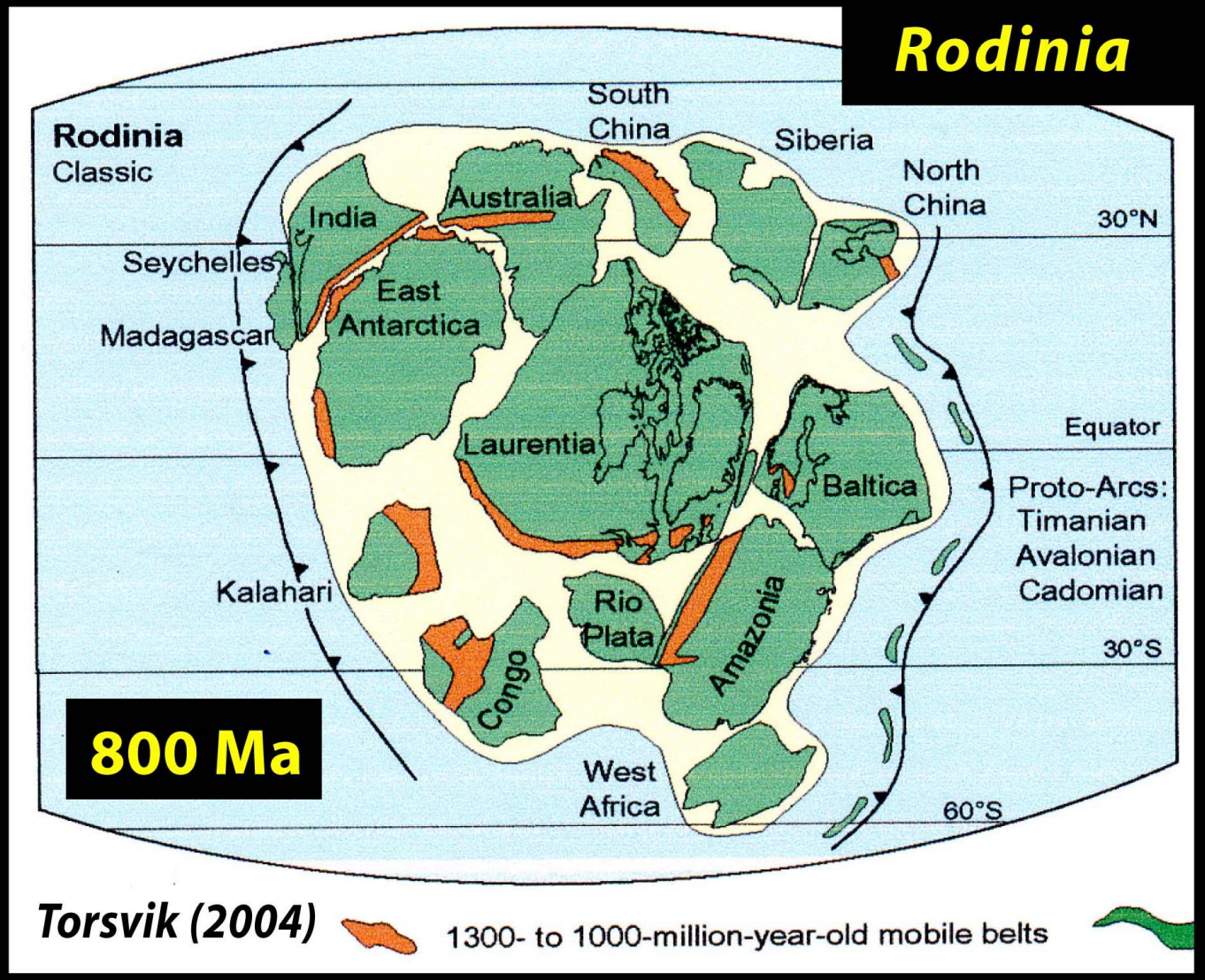
Columbia

South America
East Antarctica
Asia
North America
India
Australia
Siberia

Il boring billion

- Per un miliardo di anni tutto sembrò fermarsi
- Il primo grande supercontinente Columbia
- Niente mari bassi
- Mancanza del ferro per “digerire” l’ Azoto
- Eoni per sostituirlo con Molibdeno o Manganese
- Lenta ossigenazione degli abissi oceanici
- Habitat ristretto per gli eucarioti
- Columbia si spezza e nasce Rodinia

Rodinia


Rodinia
Rodinia
Classic
South
China
Siberia
North
China
Australia
India
30°N
Seychelles
East
Antarctica
Madagascar
Equator
Laurentia
Baltica
Proto-Arcs:
Timanian
Avalonian
Cadomian
Kalahari
Rio
Plata
Amazonia
30°S
Congo
800 Ma
West
Africa
60°S
Torsvik (2004)
1300- to 1000-million-year-old mobile belts

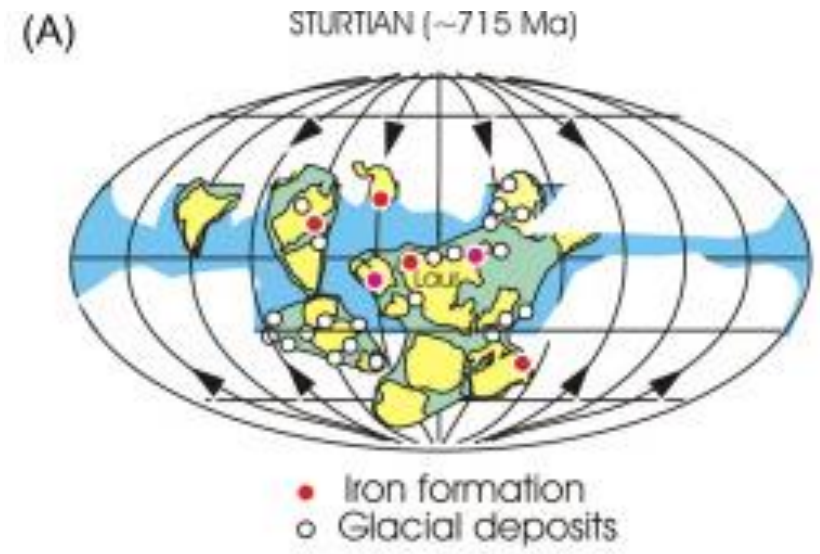
Rodinia si spezza

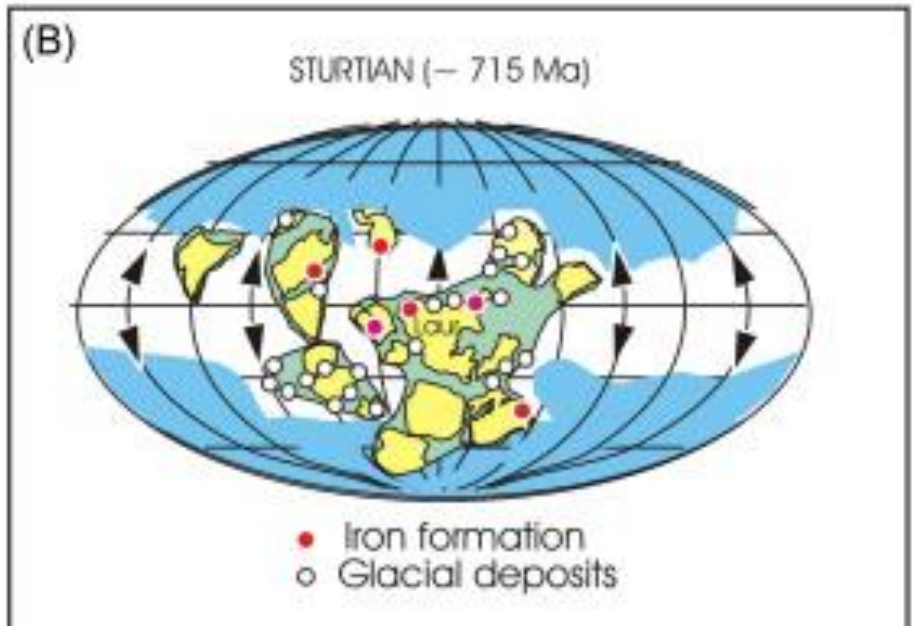
Le Terra tenta ancora una volta di scrollarsi di dosso la vita

La Terra ghiaccia completamente per oltre 200 milioni di anni

Ghiaccio dai Poli all’ Equatore

Le prove della Glaciazione





A un passo dalla catastrofe

- Terra a -70°C
- La CO_2 solidifica a -78°C
- Un pelo da morte perenne
- Ma il fondo degli oceani resta liquido
- Le cellule si organizzano in colonie
- Nuova CO_2 dai vulcani non assorbibile
- Effetto serra gigantesco

Oscillazioni del clima estreme

- I vulcani accumulano in atmosfera concentrazioni di CO2 anche cento volte quelle attuali
- La temperatura sale vertiginosamente di oltre 100°C
- Disgelo catastrofico
- Super Tempeste continue per milioni di anni
- Strati enormi di carbonati erosi dalle piogge finiscono negli oceani

Alternanza di ghiaccio e disgelo

Confronto fra le spiagge fossili

Normale fondo marino

Iper-disgelo

Parentesi 1

- La fossilizzazione e’ un evento straordinario
- Un’ eruzione
- Una frana sottomarina
- Un ‘ alluvione
- Es: dei 100 miliardi di ominidi che si ritiene siano vissuti, possediamo solo 1000 scheletri parziali

Parentesi 2

- La distribuzione geografica e temporale e’ casuale
- Tantissimo su alcuni periodi, poco o niente su altri
- Sul fondo del mare niente piu’ vecchio di 200 milioni di anni
- Per questo si parla di anelli mancanti
- 500 milioni di anni fa viene inventato lo scheletro: i fossili si moltiplicano

Parentesi 3

- Un film pieno di tagli
- Con accelerazioni improvvise e tanta creatività
- Il primo apparato digerente
- La prima bocca
- La corsa al riarmo
- Il primo sistema nervoso
- Gli arti, gli occhi, i polmoni, l’ uovo, le ali, l’ utero ecc. ecc.

L’ anteprima di Ediacara

- Prima di palla di neve: piccoli vermi e meduse
- Il clima si ristabilisce: esplosione di vita multicellulare
- La fauna di Ediacara: medusoidi gelatinosi
- Assenza di organi interni
- Invenzione della simmetria radiale e assiale

L’ ambiente

L’ animale
piu’ antico

Fine del Proterozoico

Un’ultima breve glaciazione e……