

UNA TERRA PER L'UOMO

I tratti eccezionali del nostro piccolo pianeta

Mostra presentata da
EURESIS

Coordinamento
e impostazione generale:

- Marco Bersanelli – Università degli Studi di Milano e EURESIS
- Marco Di Biase – EURESIS
- Elio Sindoni – Università degli Studi di Milano-Bicocca e EURESIS
- Giovanni Zambon – Università degli Studi di Milano-Bicocca e EURESIS

Realizzazione :

Per l'Astrofisica

Marco Bersanelli,
Benedetta Cappellini, Davide Maino,
Paola Platania

Per la Geologia

Anna Brajcovich, Francesco Ciceri,
Lucia Dodi, Paolo Macchiarella, Franco
Milani, Stefania Mazzola,
Silvano Pellini, Francesco Serra

Per la Chimica

Davide Prospero, Sergio Riva, Laura
Crema, Fabio Limongi, Leonardo Lo
Presti, Silvia Nicotra, Marco Parolin,
Davide Tessaro, Stefano Trezzi

Per la Fisica

Tommaso Bellini, Paolo Di Trapani,
Angelo Claudio Nale,
Nicola Pajola, Lucio Rossi,
Elio Sindoni, Carlo Sozzi

Per la Biologia

Paolo Tortora,
Gliceria Melidou,
Emanuela Occhipinti,
Giovanni Tempra

Architetto:

Enrico Magistretti

Grafica:

Multimedia-Mission

Stampa:

Millennium

La mostra conduce attraverso quella straordinaria combinazione di circostanze astronomiche, geologiche, fisiche, chimiche, biologiche che rendono la Terra un pianeta eccezionale, forse unico nell'Universo. La Terra non occupa certo una posizione appariscente su scala astronomica: è alla periferia di una qualsiasi dei miliardi di galassie che popolano il cosmo. Ma il nostro piccolo pianeta è davvero un posto qualunque? Nel nostro Sistema Solare, nessuno degli altri pianeti o corpi minori ha un ambiente con una ricchezza e una varietà lontanamente paragonabili a quello terrestre, ed è certamente unica della Terra la presenza di organismi evoluti, come piante e animali. Come fa la Terra a essere tanto generosa nei confronti della vita? Quali sono le proprietà e gli avvenimenti che hanno fatto della Terra un luogo tanto singolare e benigno?

Solo recentemente gli scienziati hanno incominciato ad avere elementi sufficienti per affrontare con una certa sistematicità queste domande.

Il percorso intende illustrare l'insospettata varietà di fattori, apparentemente non correlati o marginali, che risultano invece essenziali per realizzare e mantenere il particolarissimo ambiente terrestre. La storia della vita sulla Terra è inseparabile dalle caratteristiche fisiche e geologiche del pianeta e dalla loro evoluzione.

Un mutamento lento, durato miliardi di anni, ma che ha anche conosciuto eventi drammatici e catastrofici, i quali hanno contribuito a segnare le sorti. I moti della Terra su scala astronomica e la sua posizione nella Galassia e nel Sistema Solare sono delicatamente

legati alla possibilità di condizioni stabili e temperate. I vari aspetti si intrecciano come pezzi di un prezioso mosaico, e nel loro insieme conducono alla percezione dell'estrema e provvidenziale complessità del "fenomeno Terra" in funzione del mantenimento di condizioni adatte a ospitare la vita e la nostra stessa esistenza.

La mostra è realizzata in occasione della XXII edizione del Meeting per l'amicizia fra i popoli, manifestazione culturale fatta di convegni, dibattiti, testimonianze, mostre, spettacoli e avvenimenti sportivi. Ogni anno, ininterrottamente dal 1980, si svolge a Rimini, nell'ultima settimana del mese di agosto. È un grande momento pubblico, occasione di confronto, di incontro e dialogo fra gli uomini di esperienze, culture e fedi diverse, a conferma di quella apertura e interesse a tutti gli aspetti della realtà che caratterizza ogni esperienza cristiana. Un momento straordinario reso possibile ogni anno da oltre duemila volontari di ogni età e provenienza, che rappresentano la clamorosa unicità di questo avvenimento nel panorama mondiale.

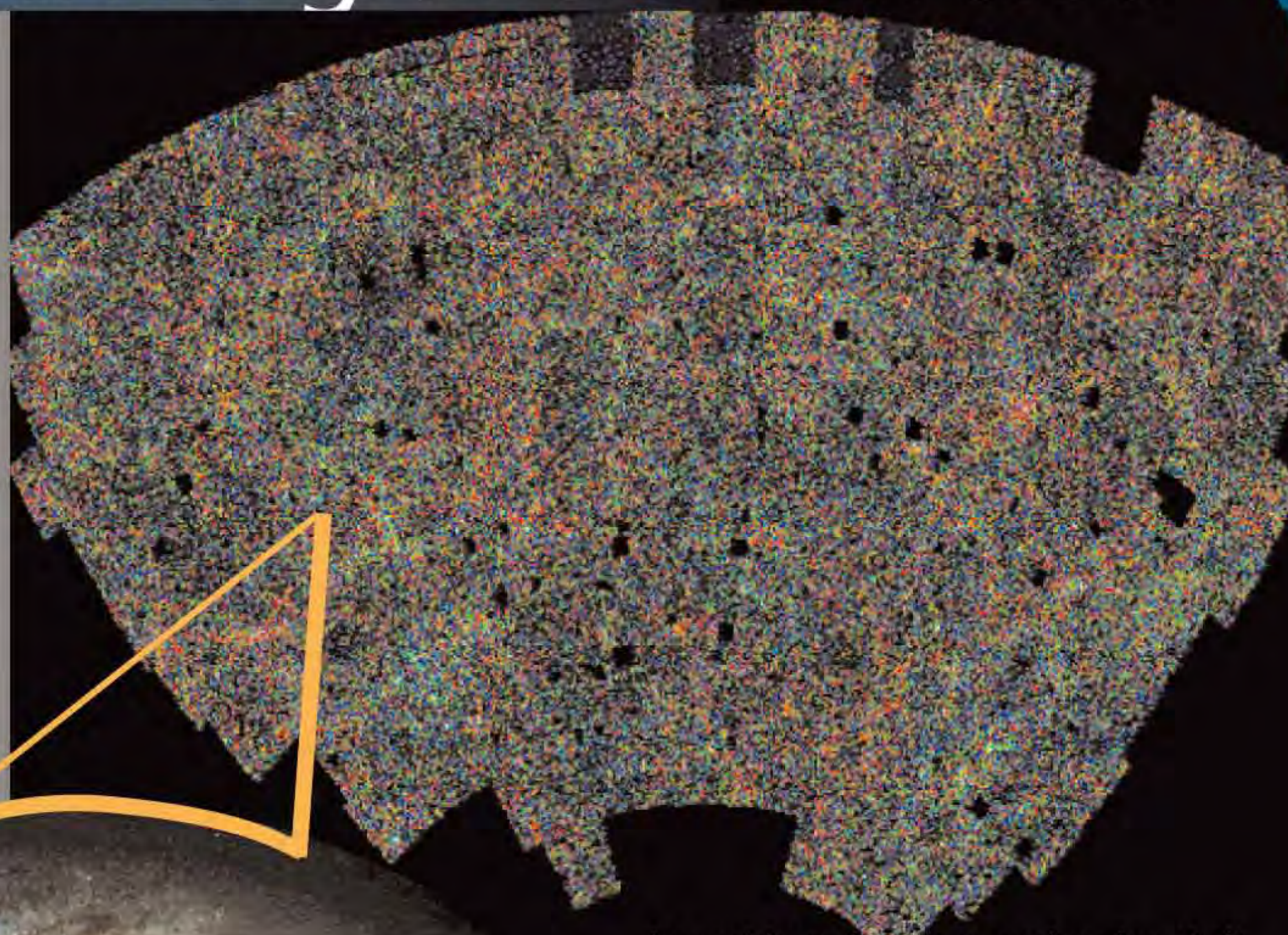




Piccola Terra nel grande Universo

Questa immagine rappresenta un mosaico ottenuto combinando l'osservazione di oltre 15.000 galassie. L'Universo osservabile contiene miliardi di galassie, ciascuna composta da un centinaio di miliardi di stelle. Le galassie si dispongono in modo essenzialmente uniforme fino a distanze di 10 miliardi di anni luce, e oltre. L'Universo su larga scala è altamente uniforme nello spazio, ma muta in modo decisivo nel tempo. La Terra, e la nostra presenza nell'Universo, corrispondono a un tempo cosmico particolare, propizio per il sorgere della vita. Sul nostro pianeta vi sono oltre 25 elementi chimici indispensabili per gli organismi biologici; inoltre elementi pesanti radioattivi come l'uranio producono il calore interno terrestre, e sono perciò anch'essi indirettamente necessari alla vita. Per essere sintetizzati, questi elementi hanno avuto bisogno di diverse generazioni di stelle, prima della formazione del Sistema Solare. L'Universo nei primi 3 miliardi di anni dall'inizio della sua espansione era chimicamente troppo povero per essere accessibile alla vita. Il Sistema Solare iniziò a formarsi circa 5 miliardi di anni fa, e l'evoluzione della vita sulla Terra è durata oltre 3.5 miliardi di anni. L'età attuale dell'Universo (circa 15 miliardi di anni) è ben sintonizzata con la storia della nostra vita.

La nostra Via Lattea è una "galassia a spirale" (simile a quella qui mostrata): contiene qualcosa come cento miliardi di stelle e ha un diametro di circa 100 mila anni luce (un miliardo di miliardi di km). Le regioni esterne delle galassie a spirale offrono la "giusta" miscela di gas e di elementi pesanti necessari alla vita. Le galassie dell'altra grande famiglia, le cosiddette "galassie ellittiche", contengono stelle molto vecchie e scarseggiano sistemi di recente formazione con polveri ed elementi pesanti: sono certamente meno predisposte ad accogliere pianeti come il nostro.



La posizione del Sistema solare (e quindi della Terra) all'interno della nostra galassia è tutt'altro che insignificante. Si ritiene che i bordi esterni della Galassia siano composti principalmente di materia non-barionica, presumibilmente inadatta alla complessità. Nelle regioni centrali di una galassia a spirale la densità di stelle diviene molto alta, e ciò aumenta enormemente la probabilità di collisioni stellari e, soprattutto, di esplosioni ravvicinate di Supernovae o di presenza nelle vicinanze di oggetti collapsati super-compatti con emissioni di radiazioni X e Gamma.



Ciò avrebbe conseguenze catastrofiche per la vita e per la sua evoluzione. L'immenso vuoto che ci circonda e ci separa dalle altre stelle è la prima e fondamentale forma di difesa e di sicurezza del nostro pianeta. avvicinati alle zone centrali della Galassia.

Il Sole e i suoi pianeti ruotano intorno al centro della Via Lattea in circa 225 milioni di anni. Da quando la vita è comparsa sulla Terra il nostro pianeta ha compiuto circa 16 "anni galattici". Per nostra fortuna l'orbita del Sole intorno al centro Galattico è quasi circolare, e ciò evita pericolosi avvicinamenti alle zone centrali della Galassia.





Prima che la Terra fosse

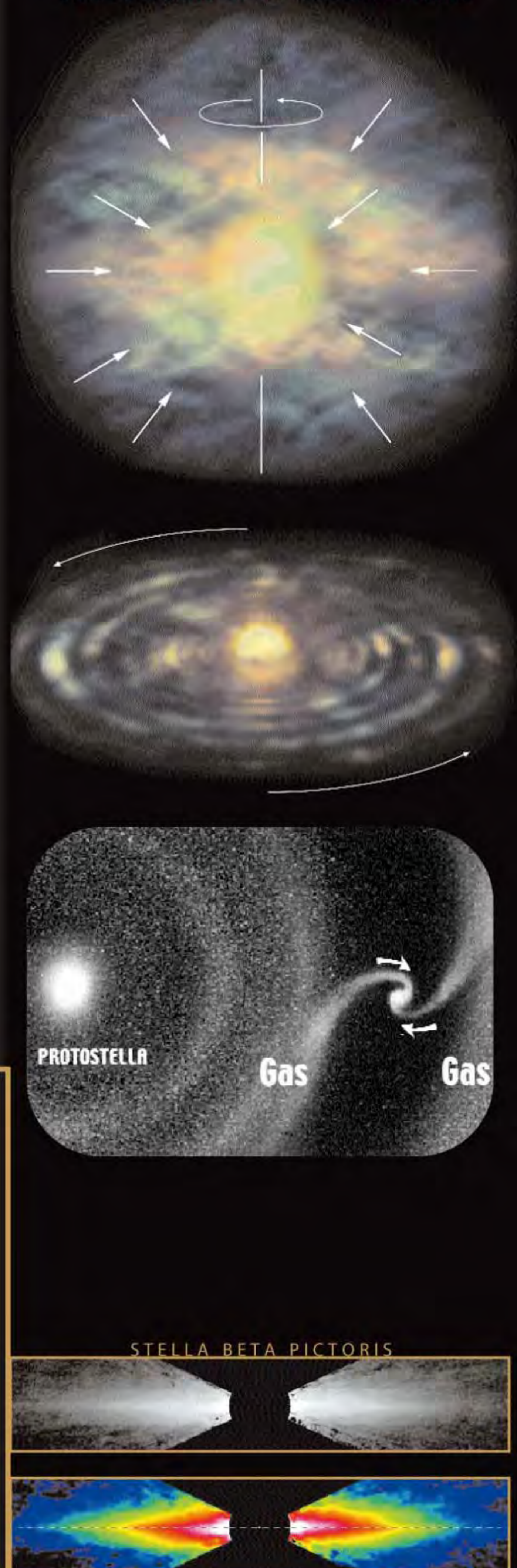
Si ritiene che il Sistema solare abbia circa 4.6 miliardi di anni secondo la datazione radioattiva dei meteoriti e delle più antiche rocce terrestri. Esso contiene una considerevole varietà di elementi, sintetizzati nelle reazioni termonucleari di generazioni di stelle precedenti. Gli elementi più pesanti del ferro, invece, possono essersi creati solo durante l'esplosione di una stella in "supernova". Tale esplosione disperde tutto questo materiale "arricchito" nel mezzo interstellare. E' da questa nube di gas e polveri già "macinati" da una stella (da o più generazioni di stelle) che nasce il Sole e il Sistema solare. L'origine del processo di formazione è ancora una questione aperta: in sostanza deve accadere un aumento di densità locale nella nube di gas e polveri. Sotto l'azione della forza di gravità, questa piccola sovra-densità comincia ad attirare sempre più materia e a diventare sempre più densa: è nata quella che viene comunemente indicata come "cocoon-nebula".

A fianco è riportata una rappresentazione schematica delle fasi evolutive di una cocoon-nebula, che immaginiamo essere proprio quella che ha formato il Sistema solare. Le parti centrali aumentano sempre più la propria densità e temperatura per effetto della gravità: è questa la materia destinata a formare il Sole. Poiché la nube possiede momento angolare (dovuto alla rotazione galattica), man mano che la nube si contrae e diviene più piccola, diminuisce anche il suo momento di inerzia. Questo fa aumentare la velocità angolare della nube che incomincia a ruotare. Il materiale che si trova al di sopra e al di sotto del piano di rotazione della nube, "cade" verso il piano. L'iniziale nube sferica si è trasformata in un disco piatto con una regione centrale molto densa e calda. Tutto questo accade "molto rapidamente" (pochi milioni di anni). Quando la temperatura del proto-Sole nelle regioni centrali del disco raggiunge qualche decina di milioni di Kelvin si innescano le reazioni termonucleari: è nato il Sole! Il forte vento solare di queste prime fasi (il Sole era una stella tipo T-Tauri) "spazza" il disco dal materiale non ancora condensato.

Contemporaneamente alla formazione del Sole cominciano a formarsi i pianeti. Essi si formano per condensazione delle porzioni esterne del disco. Infatti la temperatura nella nube raggiunge 2000 Kelvin ma quando si forma il disco essa scende. Intorno a 1500 K cominciano a condensare elementi quali il calcio, l'alluminio, il titanio oltre a ferro, nichel e silicati. Questi costituiscono gli elementi principali del materiale detto roccioso e andranno a formare i pianeti "terrestri": da Mercurio a Marte. Allontanandosi dalle regioni centrali la temperatura diminuisce e possono quindi condensare materiali volatili quali ghiaccio di acqua, ammoniaca e metano. Qui si formano i pianeti giganti. L'osservata composizione chimica dei pianeti nel Sistema solare si può quindi spiegare con il fatto che nelle regioni interne, dove abita la nostra Terra, la temperatura non è mai stata così bassa da permettere la condensazione di materiale volatile prima che questo fosse spazzato via durante la fase T-Tauri.

Possiamo osservare "in diretta" la nascita di altri sistemi stellari. Immagini del disco di polvere intorno alla stella Beta Pictoris riprese con il telescopio spaziale Hubble. Analisi dello spettro mostrano la presenza di una nube di tipo cometario, costituita cioè dal materiale di "scarto" della formazione di pianeti. Le osservazioni con HST (Hubble Space Telescope) mostrano un disco molto più sottile di quanto prima pensato e questo implica che il disco è molto più antico e che la polvere ha avuto tempo di "depositarsi" in un disco piatto. Tutto questo aumenta la probabilità che corpi di taglia cometaria o più grande (pianeti) si siano potuti formare attraverso accrescimento.

FASI EVOLUTIVE DI UNA COCOON-NEBULA

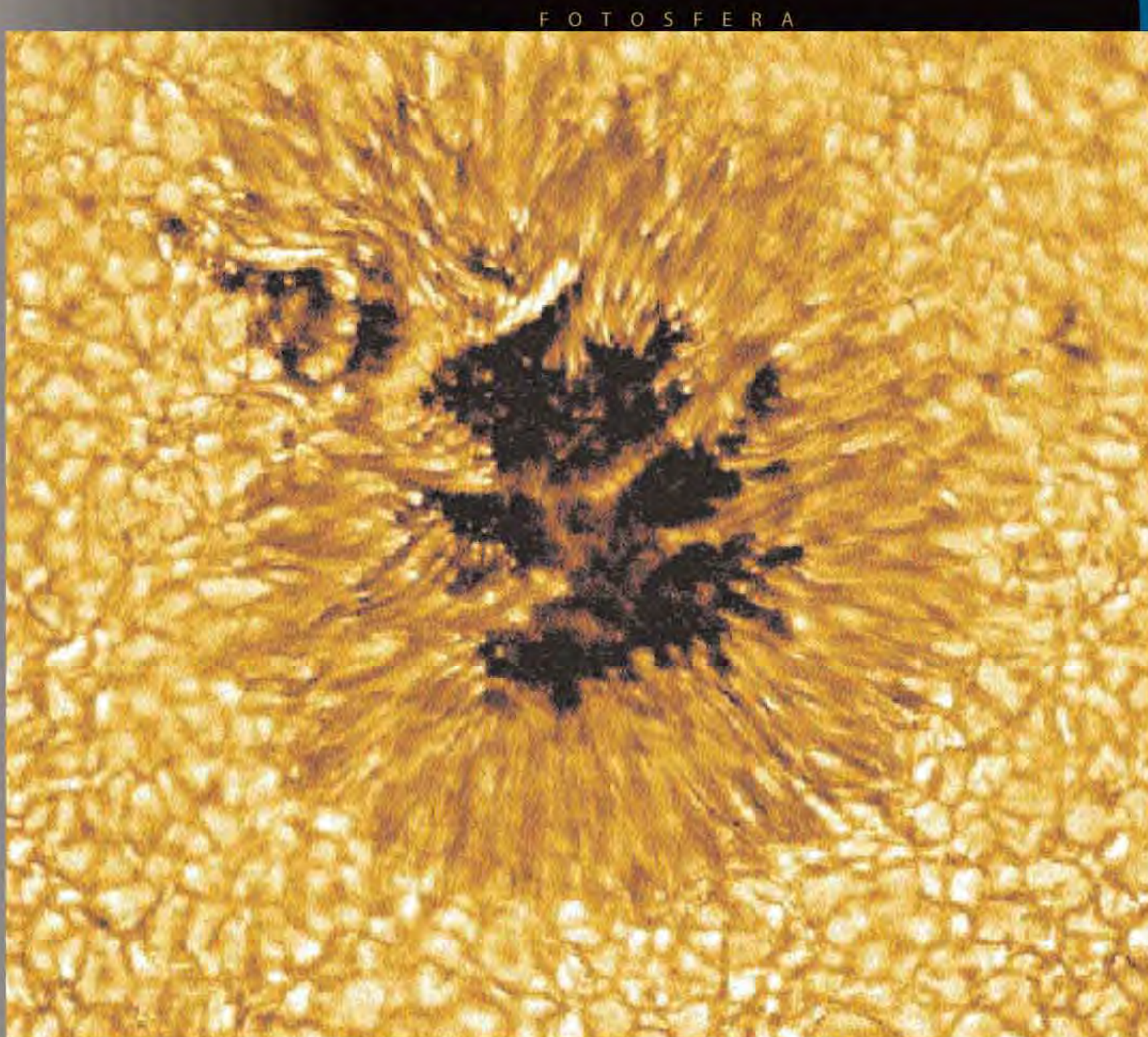




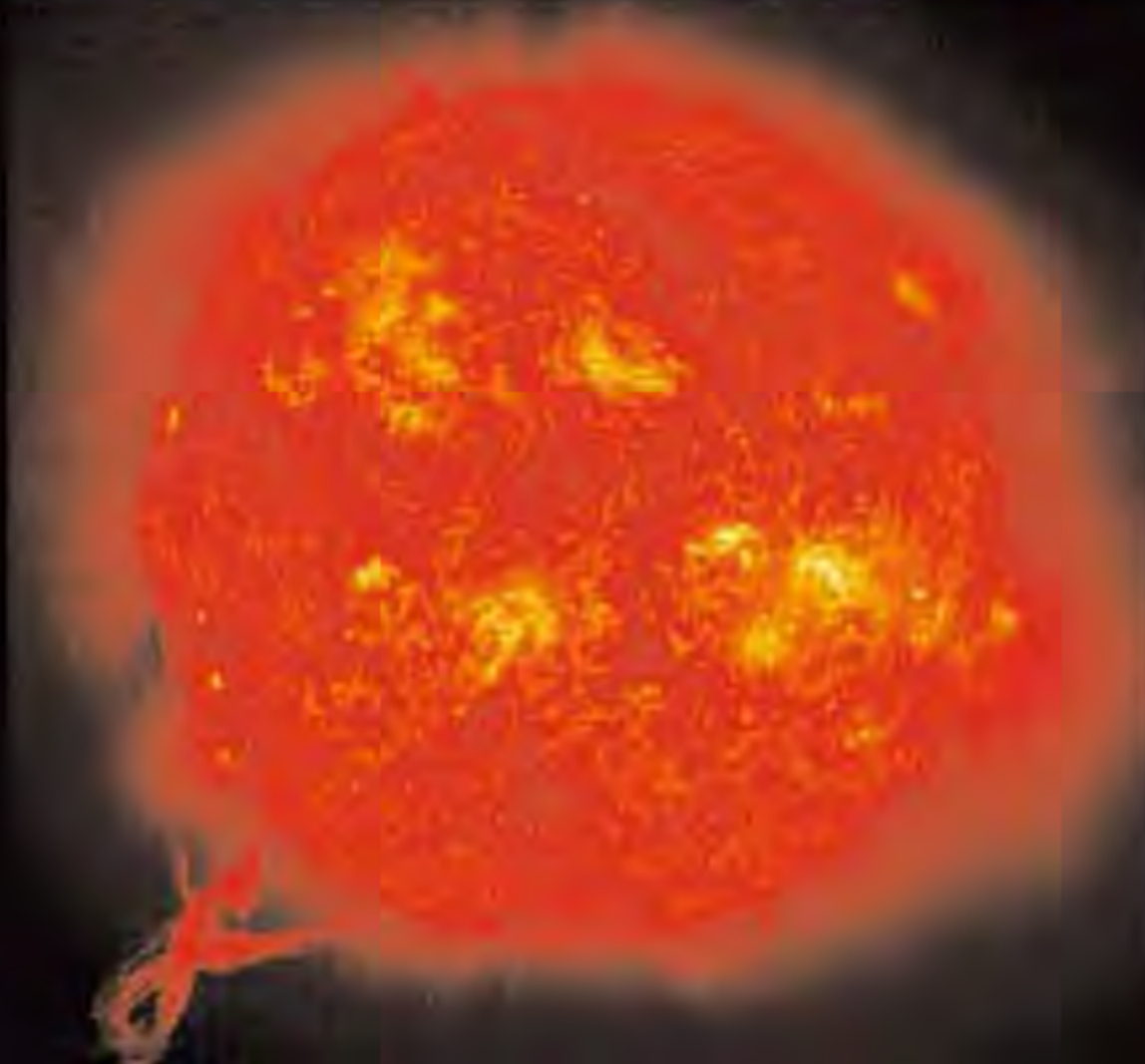
Una stella chiamata Sole

Il Sole è una stella "normale", ma ciò non significa che qualunque altra stella al suo posto sarebbe altrettanto adatta a sostenere la vita sulla Terra e la sua evoluzione. La massa del Sole ($2 \cdot 10^{30}$ kg, ovvero due miliardi di miliardi di miliardi di tonnellate) non è né troppo grande (nel qual caso il Sole avrebbe vita troppo breve per accompagnare l'evoluzione biologica), né troppo piccola (la Terra finirebbe col sincronizzare il proprio moto di rotazione con quello di rivoluzione, distruggendo il clima temperato e l'avvicinarsi delle stagioni). Soltanto il 2% delle stelle ha queste ideali proporzioni. E' inoltre di fondamentale importanza che il Sole non appartenga a un sistema doppio o multiplo, e che si tratti di una stella stabile sulla scala di miliardi di anni. Stelle multiple o stelle variabili condurrebbero a cambiamenti climatici potenzialmente catastrofici per l'insorgere e il mantenimento degli organismi.

Questa immagine riproduce una piccola parte della superficie del Sole (fotosfera). I "granuli", che appaiono come macchie dal giallo al bruno, hanno dimensioni di circa 1000-2000 km. Essi sono la cima di enormi bolle e colonne di gas bollente: appaiono, si modificano e scompaiono nell'arco di una decina di minuti. Le regioni più scure tra i granuli brillanti sono zone dove gas meno caldo rifluisce verso il basso, scendendo negli strati più interni della fotosfera. Talvolta regioni relativamente "estese" della superficie solare (di dimensioni tipicamente paragonabili a quelle della Terra) appaiono insolitamente scure: si tratta delle cosiddette "macchie solari", di cui un esempio spettacolare è mostrato al centro di questa immagine. Si tratta di vere e proprie depressioni della fotosfera, in corrispondenza di zone più fredde e meno luminose. Esse sono prodotte dal complesso campo magnetico del Sole, il quale impedisce al materiale più caldo di miscelarsi con il materiale relativamente freddo della macchia solare.



Il Sole, pur essendo una stella estremamente stabile, possiede un ciclo di attività regolare, come dimostrato dalla osservazione sistematica delle macchie solari. Questo diagramma mostra il ciclo osservato negli ultimi 400 anni. Prima del 1700, per ragioni ancora da comprendere, furono osservate pochissime macchie solari. Da allora esse hanno raggiunto massimi e minimi regolarmente ogni 11 anni. C'è anche indizio di un ciclo sovrapposto su scala 55-57 anni. Il periodo di scarsità di macchie solari prima del 1700 coincide con un periodo climatico particolarmente freddo del nostro pianeta, a volte chiamato "Piccola Glaciazione": per questa ragione alcuni scienziati hanno proposto che vi sia un nesso tra il clima terrestre e l'attività delle macchie solari.



Nei periodi di maggior attività solare enormi fiammate ("protuberanze") si elevano dalla fotosfera attraverso la cromosfera. La protuberanza mostrata nell'immagine ha dimensioni paragonabili alla distanza Terra-Luna.





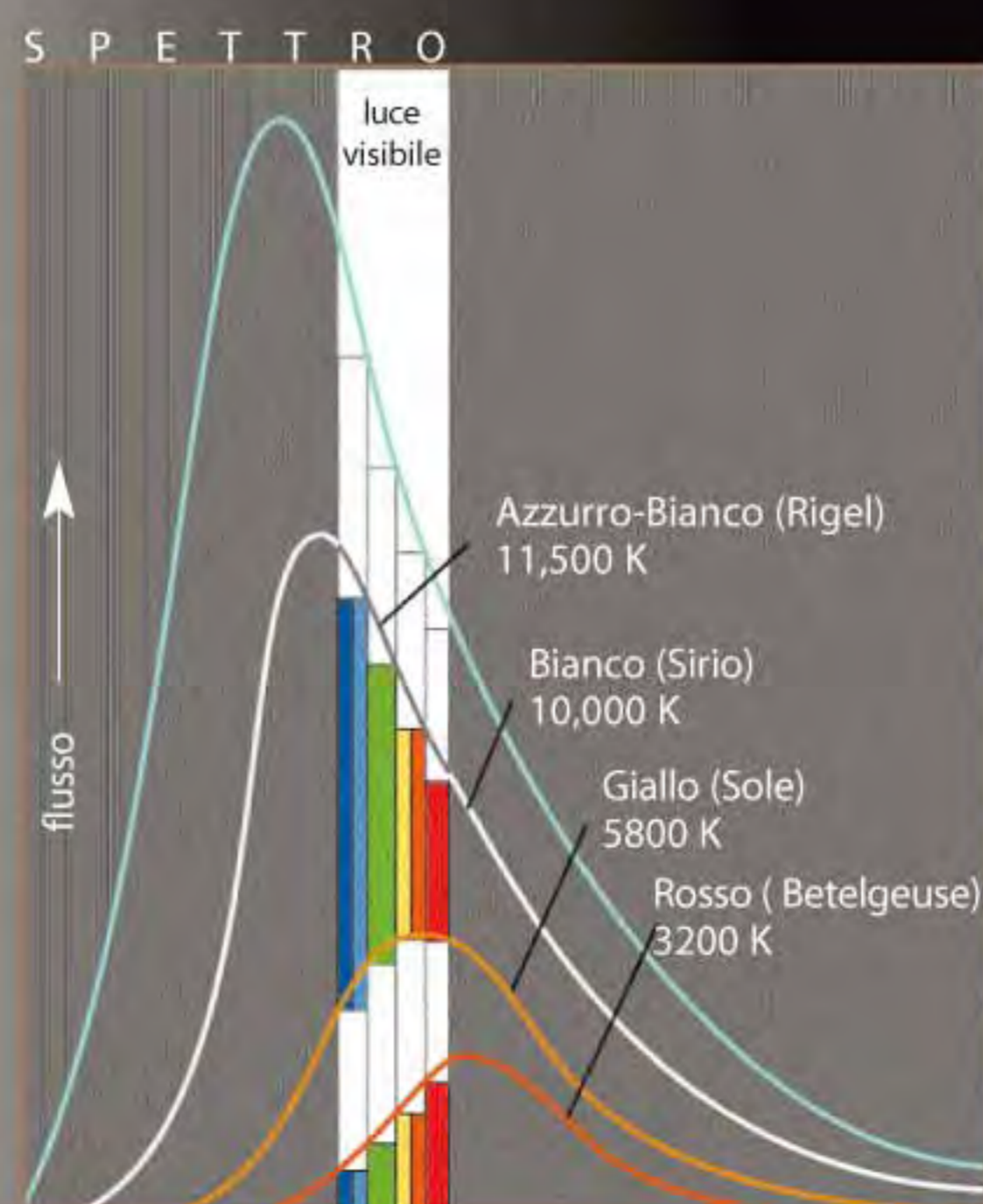
Sole & Terra

La vita sulla Terra, specialmente la vita animale complessa, dipende criticamente dall'energia solare. Se l'energia del Sole aumentasse o diminuisse in modo tale da impedire il mantenimento dell'acqua liquida, il risultato sarebbe disastroso per la vita animale e la sua evoluzione. L'energia solare che attraversa in un secondo un metro quadrato sulla superficie terrestre è detta "costante solare", ed è pari a 1.367 kW/m^2 . Può apparire una potenza di entità modesta: in effetti è simile a quella assorbita da un fornello elettrico. Ma occorre tener presente che questa stessa potenza interessa ogni metro quadro della sfera centrata sul Sole e con raggio pari alla distanza media Terra-Sole (circa 150 milioni di chilometri): è l'equivalente della bellezza di ventottomila miliardi di miliardi di fornelli a gas! Questa prodigiosa emissione di energia continua quasi immutata da miliardi di anni.

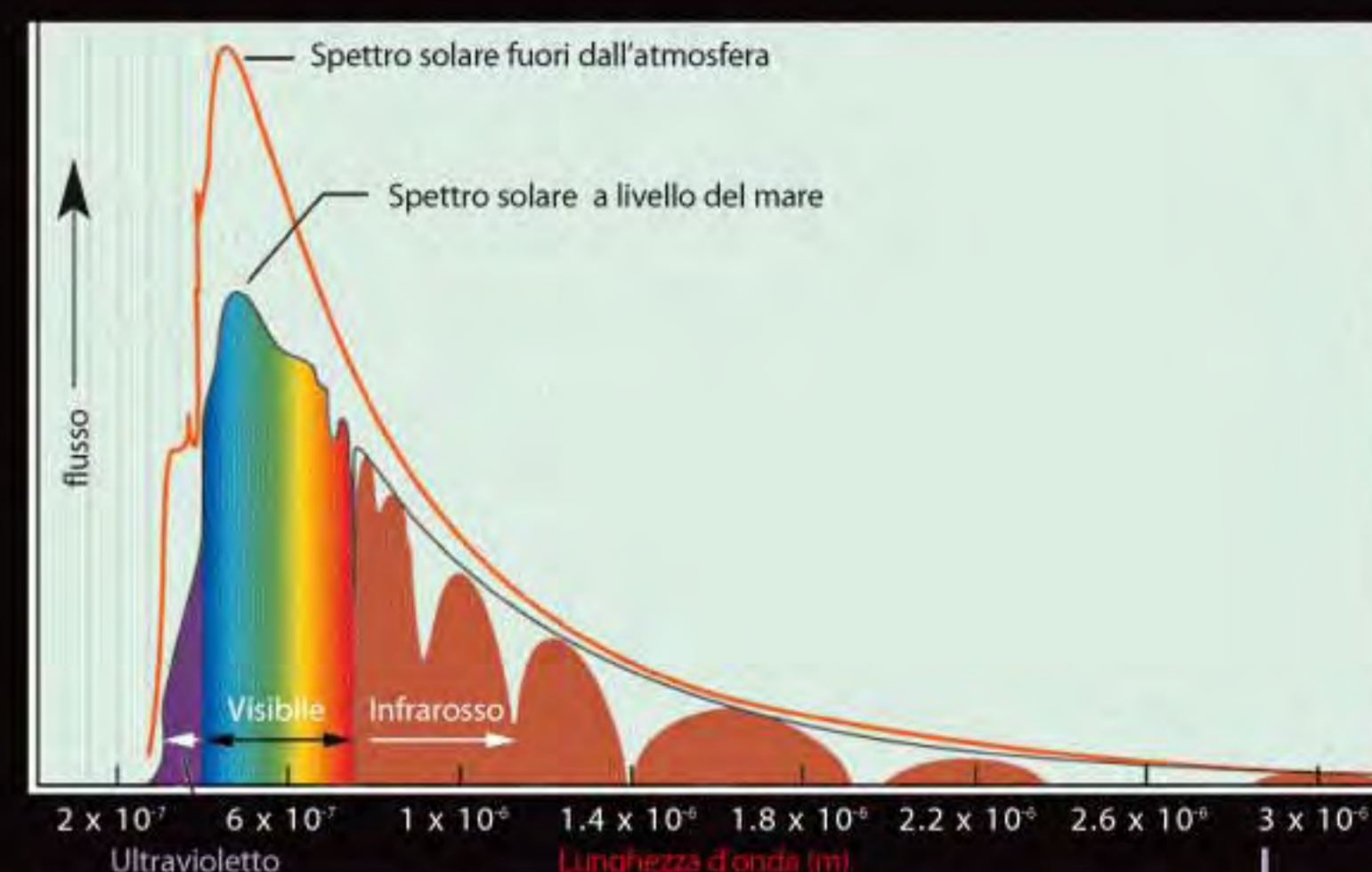
Nel corso della lunga vita di una stella come il Sole l'emissione di energia aumenta leggermente. Si ritiene che la "Costante solare" sia aumentata di circa il 25% negli ultimi 4 miliardi di anni.

Nella situazione attuale un cambiamento della costante solare a livello dell'1% avrebbe un'incidenza molto importante sul clima terrestre: a essa corrisponderebbero variazioni nella temperatura media della Terra di circa $1-2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Oltre alla stabilità, la radiazione solare risulta avere anche proprietà particolarmente adatte per il suo utilizzo sulla superficie terrestre. I fisici chiamano "spettro" la curva che descrive l'intensità di radiazione (o flusso) al variare della lunghezza d'onda. Le stelle hanno in generale uno spettro molto simile a quello di un "corpo nero", cioè quello di una sorgente ideale in grado di assorbire tutta la radiazione che riceve. La maggior parte della radiazione emessa dal Sole è proprio alle lunghezze d'onda della luce visibile, cioè nei dintorni di $0,5 \text{ micron}$. Ciò dipende principalmente dalla temperatura della fotosfera solare, che è di circa 5800 Kelvin . Se il Sole fosse più freddo (come la stella Betelgeuse)



emetterebbe la maggior parte della radiazione nell'infrarosso, mentre se fosse più caldo (come la stella Rigel) emetterebbe di più nell'ultravioletto.



Questo diagramma mostra lo spettro della radiazione elettromagnetica solare nello spazio esterno (curva arancione) e sulla superficie terrestre al livello del mare (curva nera). Le due curve differiscono per il fatto che i gas presenti nell'atmosfera terrestre assorbono in modo selettivo la radiazione ad alcune lunghezze d'onda. A ciò è dovuto l'andamento irregolare particolarmente evidente nella regione infrarossa. L'atmosfera terrestre è trasparente alla radiazione nella regione del visibile, la quale viene attenuata solo parzialmente.

Raggio del Sole = 698450 km

Corona

Cronosfera = 2500 km

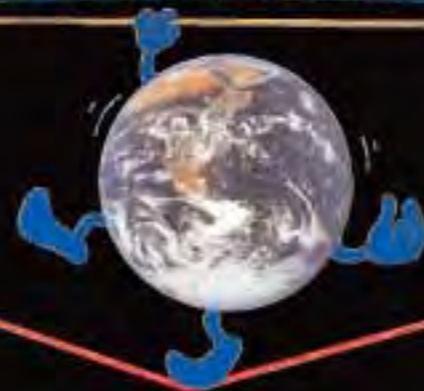
Fotosfera = 450 km

Strato convettivo = 105500 km

Strato radiativo = 420000 km

Nucleo = 170000 km

Modello schematico dell'interno del Sole. L'energia si produce nel nucleo della stella, dove l'idrogeno viene fuso in nuclei di elio. Questa energia fluisce verso l'esterno attraverso lo strato radiativo, quindi per convezione attraverso lo strato convettivo, e infine per radiazione dalla superficie della fotosfera, che è la porzione del Sole a noi visibile. L'irraggiamento verso la Terra proviene da questa superficie opaca alla temperatura di circa $5800 \text{ gradi Kelvin}$.



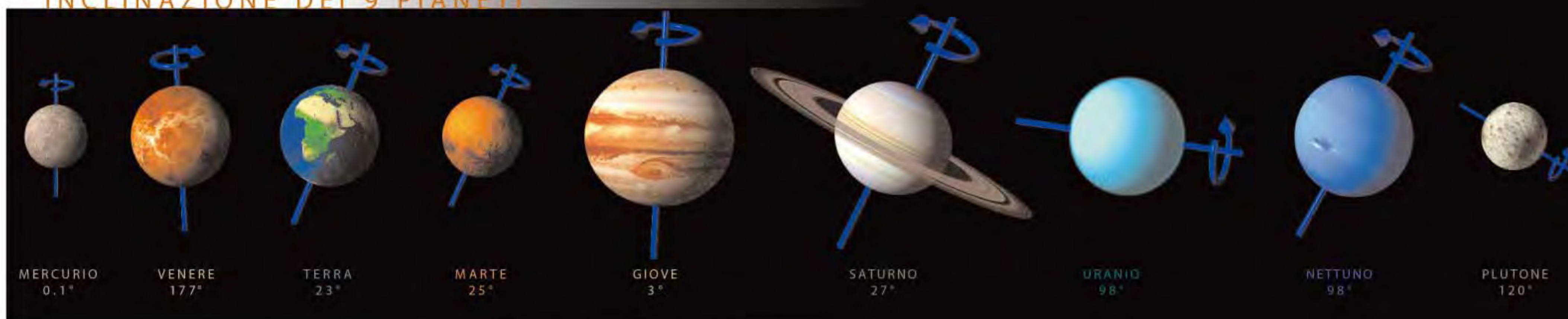
La Terra e i suoi compagni

Il Sistema solare consiste del Sole, 9 pianeti, 68 satelliti di pianeti di diversa taglia, oltre a un gran numero di "corpi minori" quali comete e asteroidi. I nove corpi principali del Sistema solare sono classificati in diversi modi: attraverso la loro composizione, taglia o posizione relativa al Sole. I pianeti di tipo "terrestre" o roccioso (Mercurio, Venere, Terra e Marte) sono composti principalmente da

rocce e metalli e sono caratterizzati da alti valori di densità, bassa velocità di rotazione e superfici solide. I pianeti di tipo "gioviano" (Giove, Saturno, Urano e Nettuno) sono pianeti di tipo gassoso composti da idrogeno, elio e altri materiali volatili. Essi hanno bassa densità, alta velocità di rotazione, atmosfere estremamente profonde, anelli e molti satelliti. Caso a parte per Plutone: è l'unico pianeta

a non esser stato avvicinato da una navicella dalla Terra e quindi poco si sa su di lui. Basandosi su dati del 1999 si pensa che la sua superficie sia composta da una parte di ghiaccio di azoto e da una parte forse di roccia, mentre l'interno è tutto azoto ghiacciato. E' in realtà un pianeta doppio: il suo satellite Caronte è molto vicino e molto simile a Plutone come dimensioni.

INCLINAZIONE DEI 9 PIANETI



	Mercurio	Venere	Terra	Marte	Giove	Saturno	Urano	Nettuno	Plutone
Diametro (Km)	4880	12100	12756	6794	143200	120000	51800	49528	6000
Massa (Terra=1)	0.055	0.815	1	0.108	317.8	95.2	14.4	17.2	0.003
Densità (g/cm ³)	5.44	5.2	5.52	3.93	1.3	0.69	1.28	1.64	2.06
Distanza dal Sole (mil. Km)	58	108	150	228	778	1427	2871	4497	5914
Distanza dal Sole (UA)	0.39	0.72	1	1.52	5.2	9.54	19.19	30.06	39.44
Temperatura (K)	100-725	726	260-310	184-242	165	134	76	72	50
Gravità	0.38	0.9	1	0.38	2.6	1.15	0.93	1.18	0.03
Campo magnetico	0.006	no	1	no	19519	578	47.9	27	?
Pressione atmosferica	1.00E-15	91	1	0.007	>>100	>>100	>>100	>>100	0.003

Venere e Marte sono i due pianeti più simili alla Terra. In particolare Venere è considerato il pianeta gemello della Terra per massa, dimensioni, volume e densità. Ma l'apparenza non deve ingannare: le somiglianze finiscono qui.

Venere è avvolto in un'atmosfera densa di anidride carbonica senza vapor acqueo e con gocce di acido solforico. Non ha quindi oceani e la temperatura sulla superficie raggiunge 480 °C per il micidiale effetto serra prodotto dalla CO₂ nell'atmosfera. Questo rende Venere più caldo di Mercurio! Recentemente la sonda Magellano ha permesso di costruire una mappa dettagliata (con risoluzione di 3 Km) della superficie di Venere mostrando crateri, vaste pianure e caldere vulcaniche, segno di una passata attività geologica.

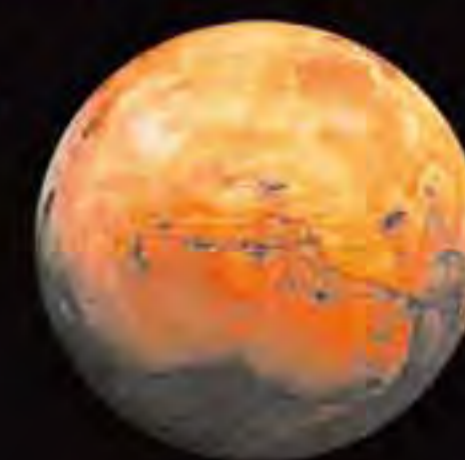
Marte è il quarto pianeta in distanza dal Sole. Prima dell'esplorazione per mezzo di sonde spaziali, si riteneva Marte il miglior candidato per ospitare vita extra-terrestre per via dei "canali" che gli astronomi osservavano sulla sua superficie, ritenuti canali di irrigazione. La sonda Mariner 4 nel 1965 mise in evidenza sulla superficie crateri e canali naturali ma nessun segno di acqua o vita extra-terrestre. La temperatura media sulla superficie è -63 °C e la pressione atmosferica (l'atmosfera è composta per il 95% di CO₂) è di soli 7 mbar. Marte ha diversi vulcani, vestigia di un passato geologico più attivo, che per dimensioni superano quelli terrestri: il monte Olympus con i suoi 24 Km è il più alto vulcano di tutto il Sistema solare.

Attualmente

sono stati scoperti circa 50 pianeti extra-solari di massa minore di 13 volte quella di Giove che orbitano intorno a stelle della sequenza principale, più altri due intorno a pulsars e alcune evidenze di dischi planetari. Diverse missioni spaziali sono in fase di studio (come l'europea GAIA) e potrebbero avere la possibilità di scoprire pianeti extra-solari di taglia terrestre.



Terra
Diametro
12,756 km



Marte
Diametro
6,794 km



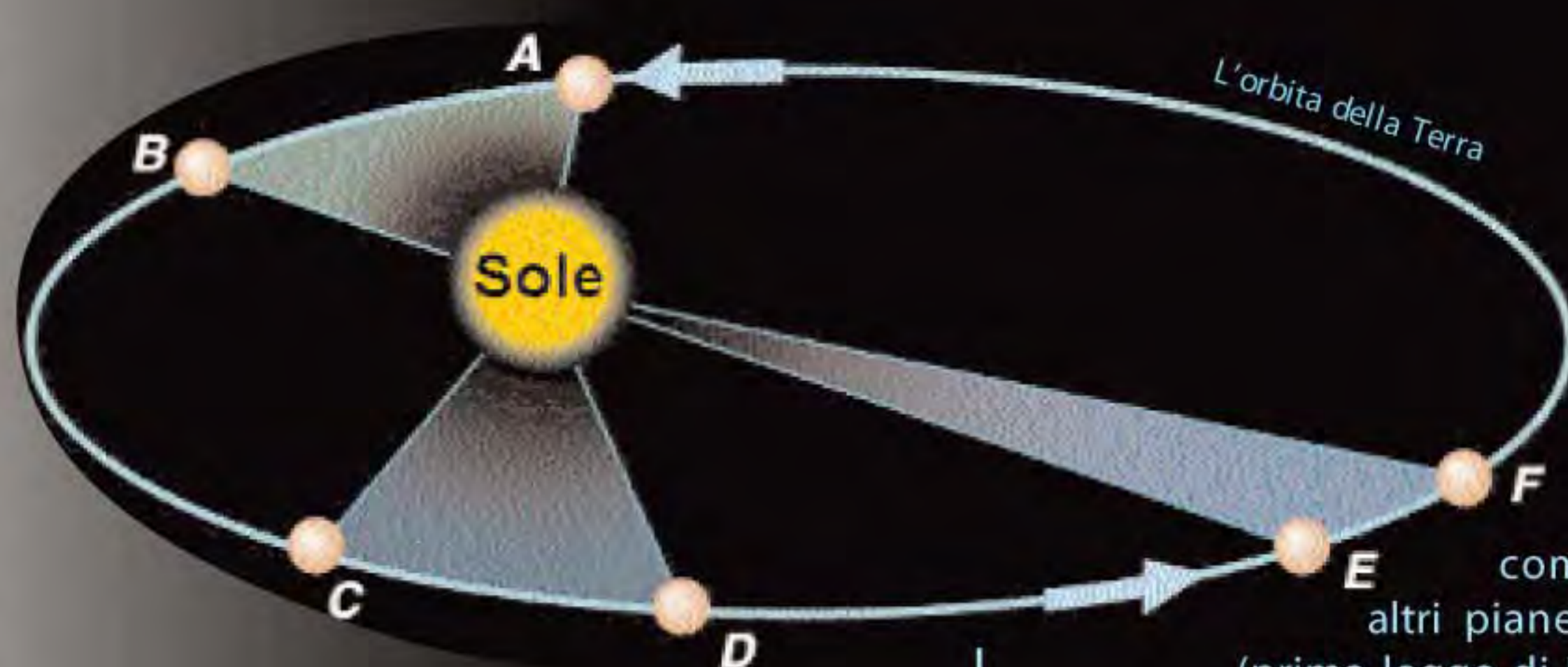
Giorno e notte, estate e inverno

Il giorno e l'anno sono le nostre fondamentali unità di tempo. La durata del giorno è determinata dal periodo che la Terra impiega a ruotare sul proprio asse: il giorno sarebbe più lungo se la Terra ruotasse più lentamente. Se, come nel caso di Mercurio, la rotazione fosse sincronizzata con la rivoluzione (durata del giorno uguale alla durata dell'anno) le conseguenze sarebbero drammatiche: la Terra rivolgerrebbe sempre la stessa faccia al Sole, e le creature viventi (ammesso che vi possano esistere) si dividerebbero drasticamente in quelle adattate alle tenebre e quelle esposte alla luce perenne. Forse la zona più benigna sarebbe la piccola regione di continua penombra.

A causa dell'azione gravitazionale della Luna il giorno sta lentamente aumentando, al ritmo di circa 2 millesimi di secondo al secolo. Vi sono splendide evidenze dirette di questo fenomeno, basate sullo studio della crescita di coralli: si può verificare che in un lontano passato la durata del giorno era più breve, e di una quantità che corrisponde esattamente ai valori aspettati. Ciò significa che 2 miliardi di anni fa, al tempo dei primi batteri, il giorno era di sole 13 ore, ed estrapolando al tempo della formazione della Terra il giorno si riduce a sole 6 ore. Dunque se non vi fosse la Luna la durata del giorno sarebbe circa un quarto di quella attuale, con conseguenze profonde: il campo magnetico sarebbe molto più forte e, soprattutto, la Terra sarebbe spazzata da venti potentissimi, con implicazioni difficili da stimare per l'evoluzione della vita.

L'anno è determinato dal periodo di rivoluzione della Terra intorno al Sole. Contrariamente a quanto si può pensare, non si tratta affatto di un periodo di durata arbitraria. Le forze fondamentali determinano ultimamente la temperatura e l'energia emessa dalla stella. D'altra parte gli esseri viventi hanno bisogno di condizioni fisiche non-estreme, nelle quali l'acqua possa esistere allo stato liquido. La distanza Terra-Sole è entro un intervallo di valori ottimali

(la cosiddetta "zona di abitabilità") in cui questo è possibile: una variazione di pochi percento e le condizioni per l'evoluzione di vita complessa verrebbero a mancare. Per la stessa ragione è importante che l'eccentricità dell'orbita terrestre non sia eccessiva, mantenendo la Terra costantemente all'interno della zona di abitabilità. Una volta "fissata" la distanza Terra-Sole, sono poi le leggi della gravitazione a dirci qual è il tempo che il pianeta impiega a ruotare intorno al Sole.



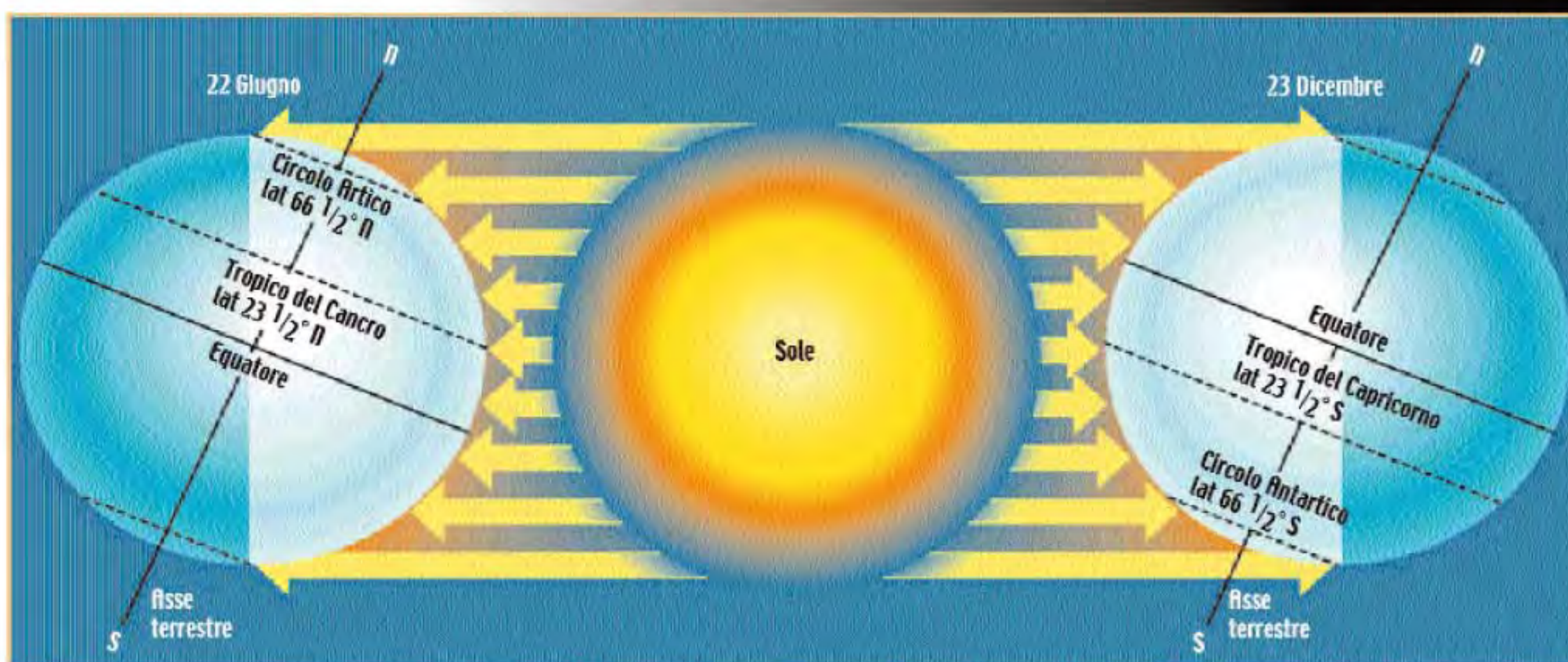
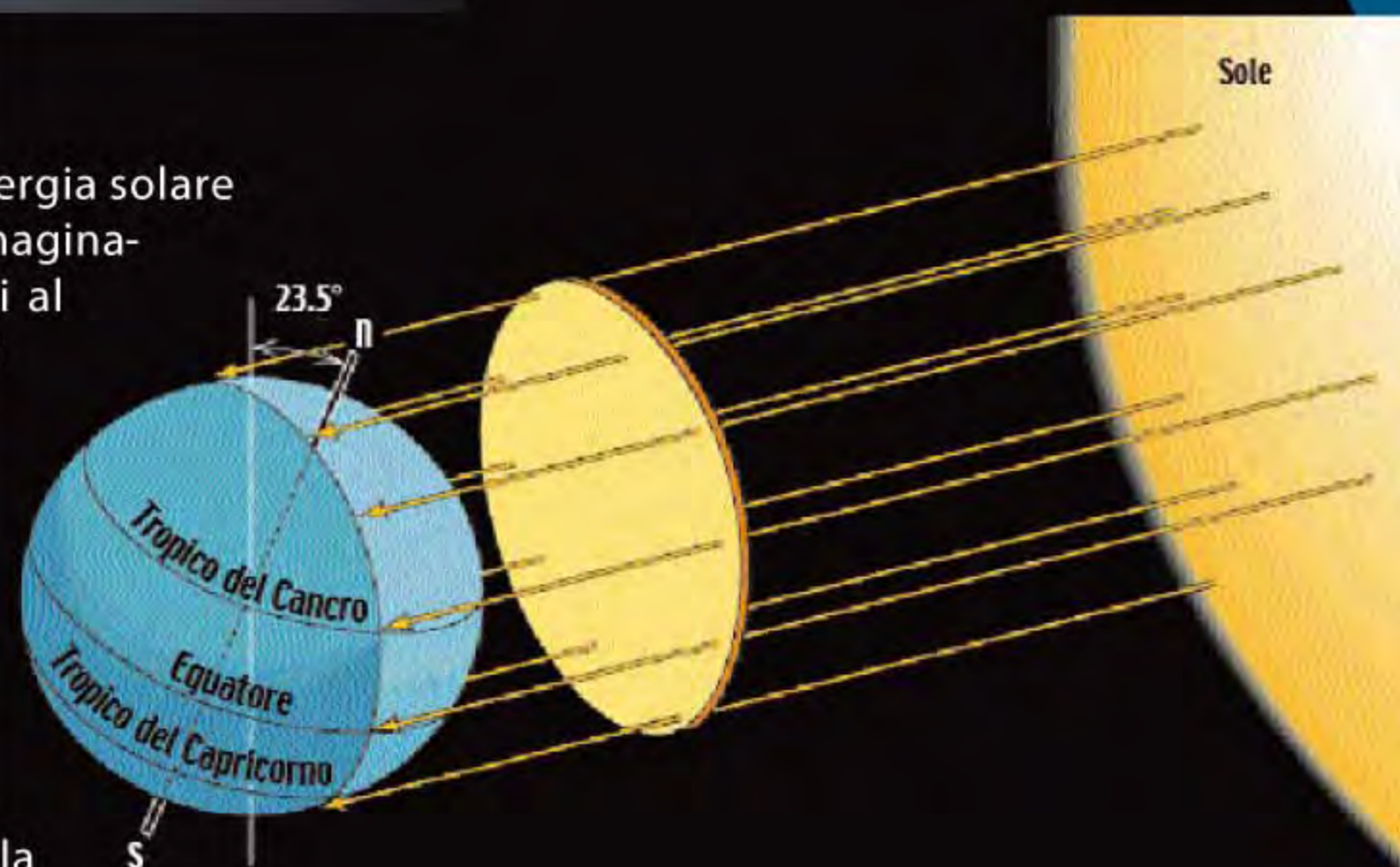
L'orbita della Terra, come quella degli altri pianeti, è una ellisse (prima legge di Keplero) vicina a essere un cerchio (nell'immagine l'ellitticità è grandemente esagerata!): alla sua massima distanza dal Sole, la Terra è 1,017 volte più distante della media, e alla minima distanza è 0,983 volte la media. La velocità di un pianeta varia lungo l'orbita. Keplero con la sua "seconda legge" ha scoperto in che modo varia questa velocità: una linea che congiunge il pianeta al Sole "spazza" aree uguali in tempi uguali. Il tempo impiegato dal pianeta a spostarsi dal punto A al punto B della sua orbita è esattamente lo stesso impiegato a portarsi da C a D e da E a F, se le aree disegnate in figura sono uguali.



Le Quattro Stagioni

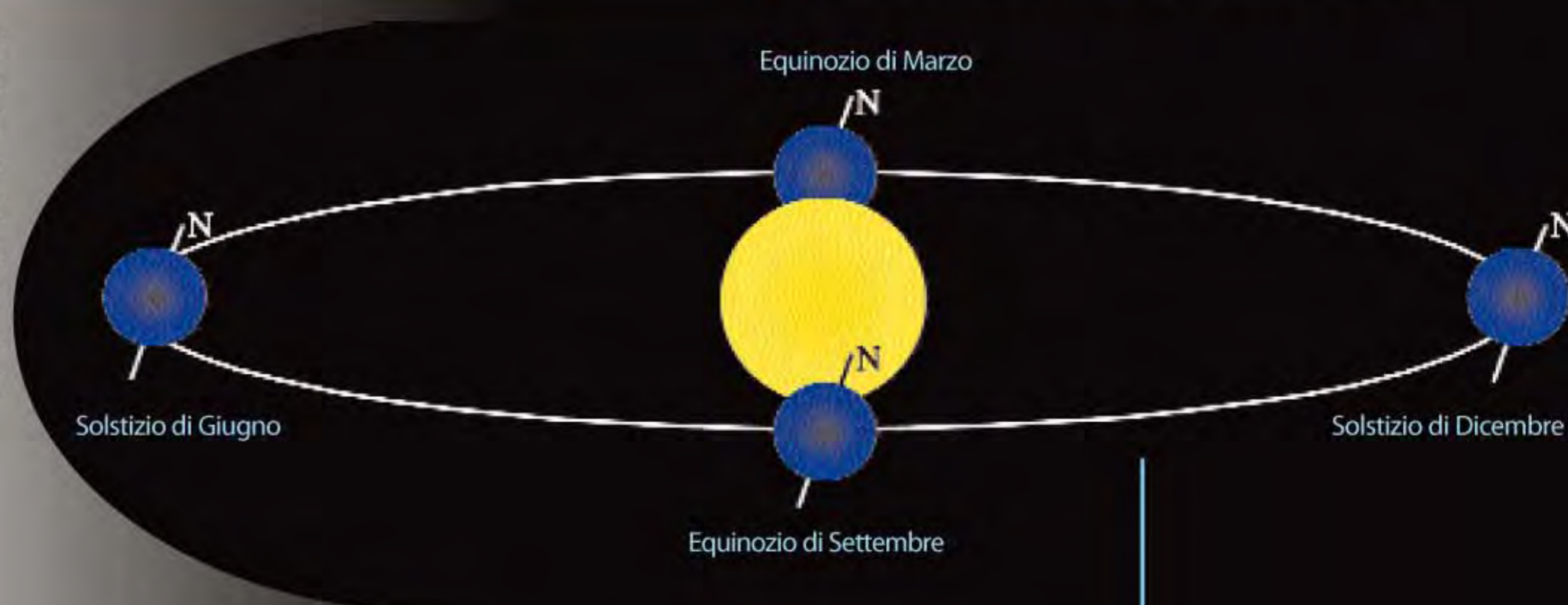
La Terra ruota intorno al Sole su un'orbita ellittica e allo stesso tempo ruota su se stessa. La leggera deviazione dell'orbita terrestre da un cerchio perfetto (~2%) produce una variazione non trascurabile (del 7%) nel flusso solare ricevuto; non è però questo effetto a provocare l'alternarsi delle stagioni sulla Terra. Le stagioni sono causate primariamente dall'inclinazione (di circa $23,5^\circ$) dell'asse di rotazione terrestre rispetto alla normale al piano dell'orbita (piano dell'eclittica). La bassa eccentricità dell'orbita della Terra contribuisce invece alla stabilità del clima (nel caso di Marte, per esempio, la variazione del flusso solare dovuta alla eccentricità dell'orbita è circa il 37%, e per Mercurio supera il 90%; sulla Terra variazioni di questa entità avrebbero conseguenze disastrose per la vita). La direzione dell'asse di rotazione è in prima approssimazione costante durante la rivoluzione della Terra

Questa immagine raffigura l'energia solare che attraversa la superficie immaginaria di un disco di diametro pari al diametro terrestre. Il flusso di energia, per ogni metro quadrato, è pari a 1,370 kW (costante solare). Ma questa energia non raggiunge la superficie curva della Terra uniformemente: la quantità di energia ricevuta è massima dove la radiazione incidente è perpendicolare alla superficie terrestre ed è minima dove la radiazione arriva radente. Dato il valore dell'inclinazione dell'asse di rotazione, l'energia solare sarà massima nei pressi dell'equatore e minima nelle zone polari.



Seguiamo la Terra intorno al Sole. I solstizi individuano i due momenti dell'anno in cui l'asse di rotazione presenta la massima inclinazione rispetto al Sole; questo si verifica il 20 o 21 giugno (Polo Nord rivolto verso il Sole, inizio dell'estate nel nostro emisfero), e il 21 o 22 dicembre (Polo Sud rivolto verso il Sole, inizio dell'inverno). Il solstizio corrisponde al giorno più lungo dell'anno se è estate (è il giorno in cui il Sole a mezzogiorno raggiunge la massima altezza in cielo), e al più corto se è inverno. Cosa succede ai poli, il giorno del solstizio? Dall'immagine a lato si può capire che un polo sarà illuminato tutto il giorno, mentre l'altro vivrà 24 ore di buio!

intorno al Sole; questo implica che durante l'anno ogni zona della Terra varia la propria inclinazione rispetto al Sole, ed è quindi esposta a una diversa quantità di energia solare: ecco le stagioni. L'emisfero nord e sud si comportano in modo complementare: quando uno è rivolto verso il Sole (ed è quindi estate) l'altro riceve meno radiazione solare (è inverno); le stagioni sono quindi sfasate nei due emisferi terrestri.



Gli equinozi individuano i due momenti dell'anno, intermedi tra i solstizi, in cui i raggi del Sole sono perpendicolari alla superficie terrestre all'equatore; questo si verifica il 23 settembre e il 21 marzo. Corrispondono alle date in cui la durata del giorno è pari a quella della notte su tutta la Terra.



Blue Moon

Obliquità

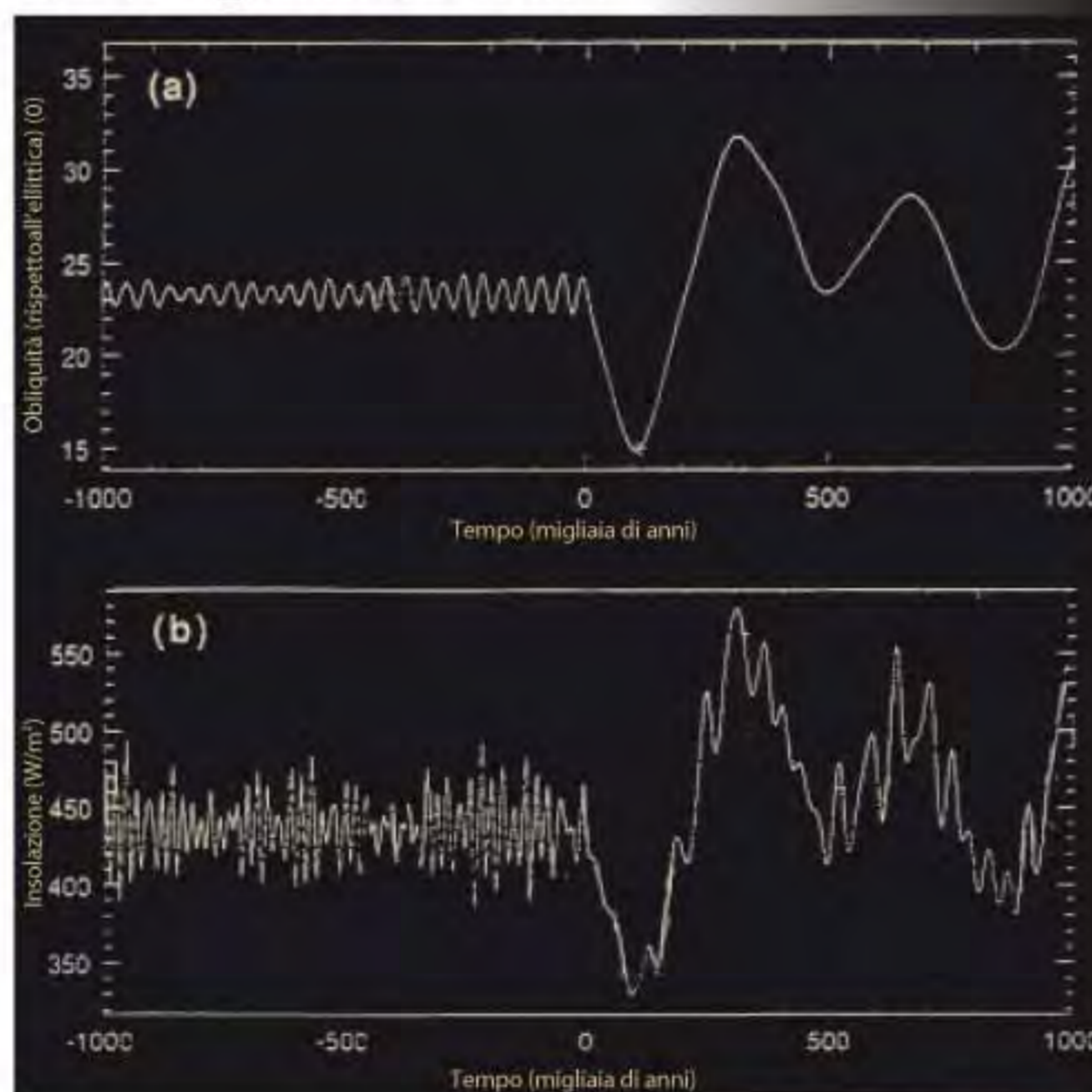
Decisivo e sorprendente è il ruolo giocato dalla Luna sull'abitabilità della Terra.



L'obliquità di un pianeta (l'angolo tra l'asse di rotazione e il piano della sua orbita) può evolvere caoticamente nei milioni di anni con variazioni anche molto ampie, a causa di piccole perturbazioni "risonanti" dovute all'azione gravitazionale del Sole e degli altri pianeti. E' ciò che accade a Mercurio, Venere e Marte, e accadrebbe anche alla Terra se non fosse presente la Luna: il sistema Terra-Luna è un caso anomalo, nel quale le dimensioni del satellite sono paragonabili a quelle del pianeta compagno. Dettagliate simulazioni al computer hanno dimostrato che se la Luna non esistesse, o fosse molto più piccola, l'obliquità della Terra varierebbe caoticamente da 0° a 85°, mantenendosi oltre i 50° per milioni di anni. Ciò avrebbe conseguenze climatiche devastanti. Grazie al campo gravitazionale lunare l'inclinazione dell'asse terrestre è rimasta pressoché costante (entro appena 1,3°) per oltre 3 miliardi di anni, assicurando la necessaria stabilità climatica durante il lunghissimo periodo necessario per il fiorire della vita.

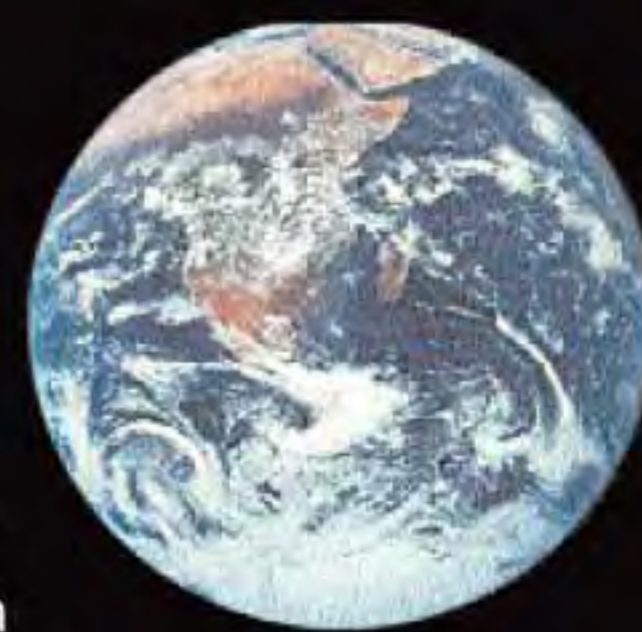
Origine

Molti indizi suggeriscono che la Luna si sia originata 4,5 miliardi di anni fa da una immane e fortuita collisione della Terra, in fase di formazione, con un corpo delle dimensioni di Marte. Secondo questa teoria, attualmente la più accreditata, un impatto radente avrebbe provocato l'inglobamento del corpo incidente nel nucleo terrestre, mentre le sue parti superficiali si sarebbero in parte vaporizzate (e ricadute sulla Terra) e in parte si sarebbero condensate a formare la Luna. Ciò spiegherebbe la scarsità del nucleo lunare. L'astrobiologo James Kasting della Penn University, ha commentato: "La stabilità del clima terrestre dipende in larga misura dall'esistenza della Luna. (...) Se collisioni capaci di generare oggetti come il sistema Terra-Luna sono rare, allora altri pianeti abitabili potrebbero essere egualmente rari".

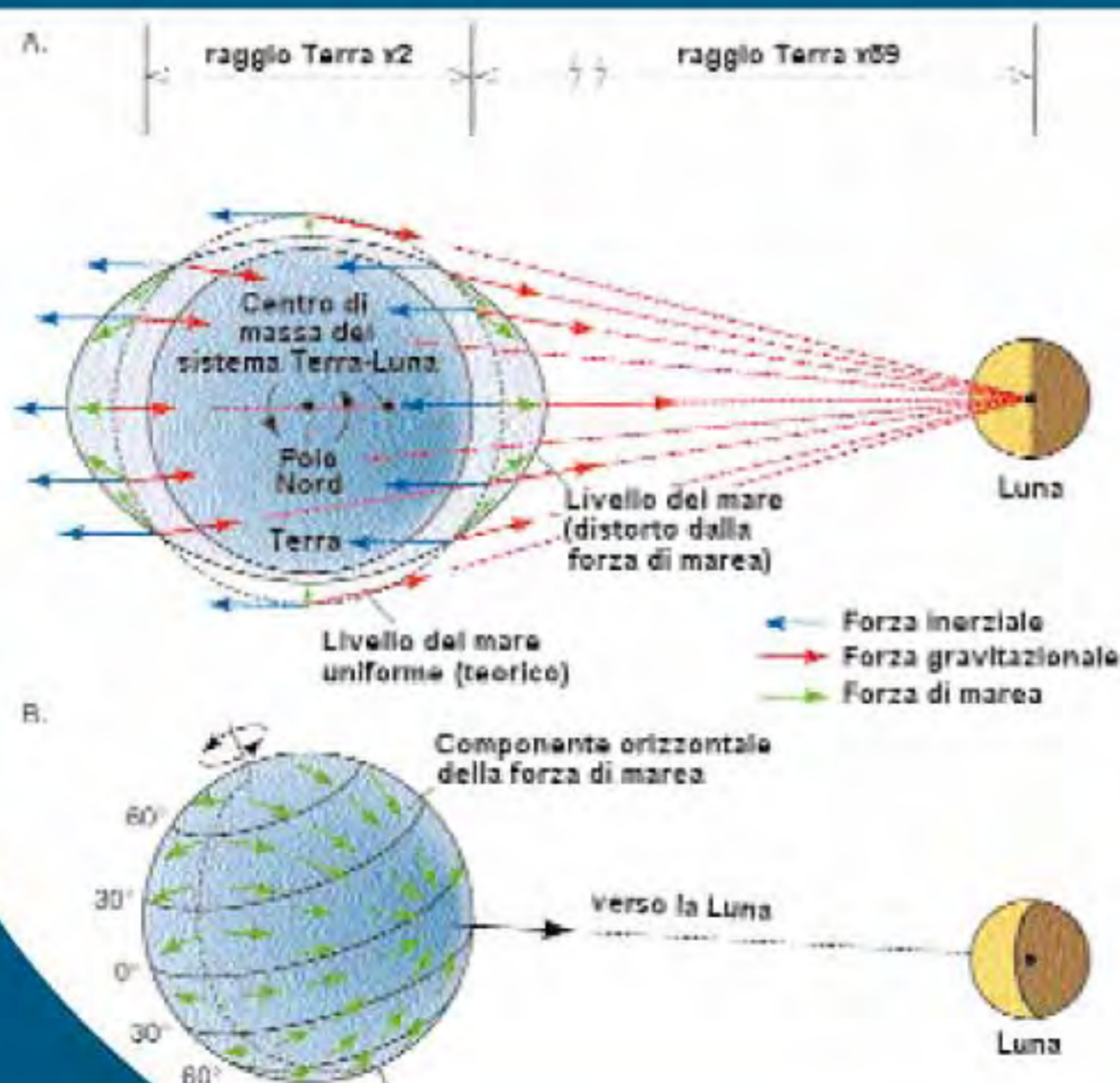


Distanza

La distanza tra la Terra e la Luna è in lento, costante

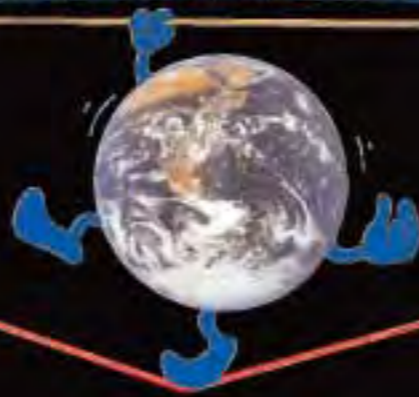


aumento, al ritmo di circa 3,5 centimetri all'anno (circa la velocità con cui crescono le nostre unghie). Si ritiene che, al tempo della sua formazione, la Luna si trovasse a soli 10-20 mila km dalla Terra (a un immaginario osservatore sarebbe apparsa 25 volte più grande in cielo!). Gli effetti di marea, causati dall'azione gravitazionale lunare sulla superficie terrestre, dovevano essere enormemente più pronunciati, probabilmente in grado di deformare e surriscaldare la superficie terrestre, e di generare onde oceaniche alte centinaia di metri. È plausibile che questo abbia giocato un ruolo importante nel dar forma alla crosta terrestre. Se la Luna orbitasse in senso opposto, anziché allontanarsi si avvicinerebbe lentamente, finendo per collidere con la Terra. È quello che accadrà a Tritone, il grande satellite di Nettuno, destinato a schiantarsi sulla superficie di Nettuno nel giro di qualche centinaio di milioni di anni.



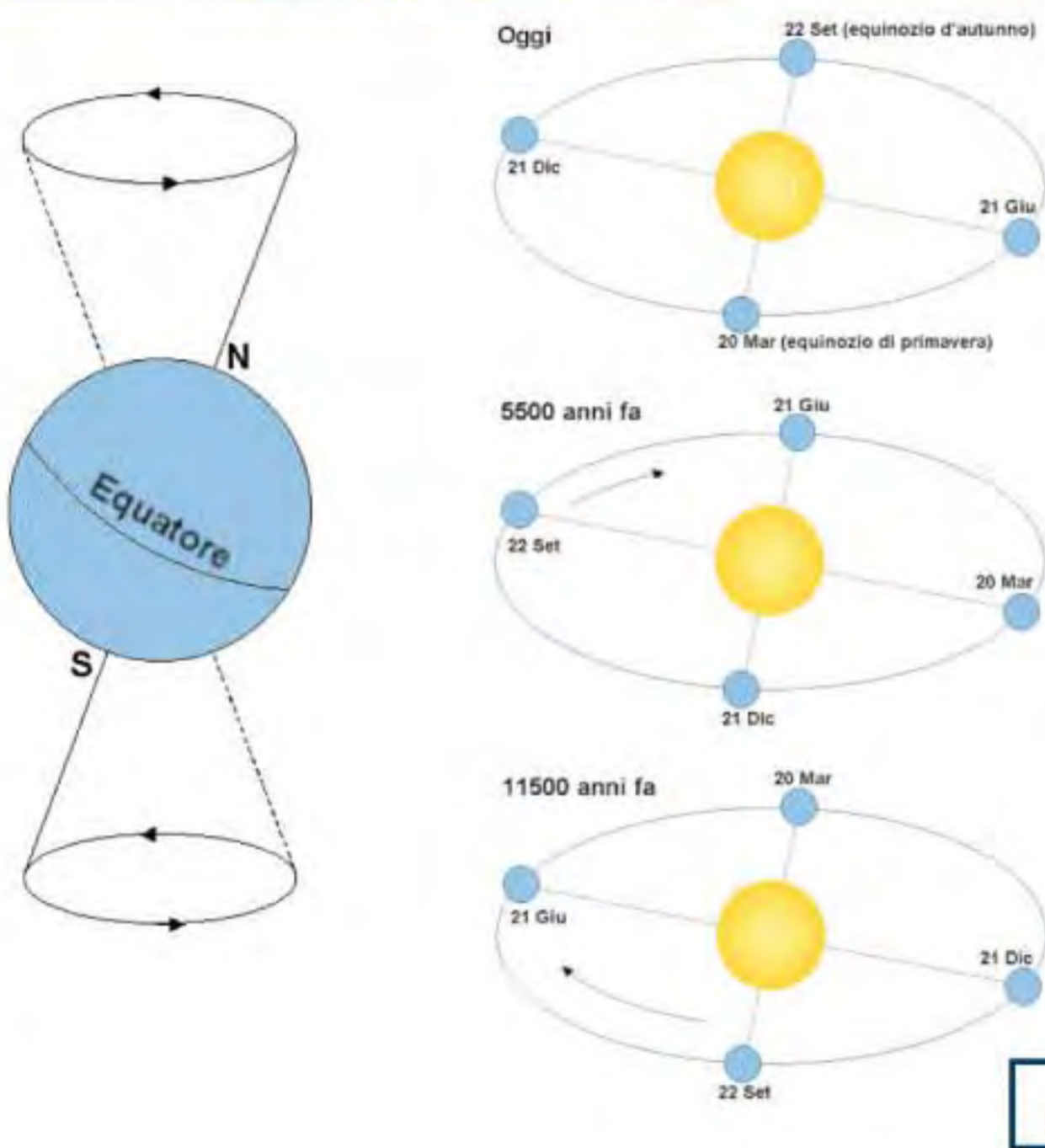
Le forze che producono gli effetti di marea sono generate dalla forza gravitazionale della Luna e dall'inerzia. Nel lato della Terra esposto verso la Luna la forza di gravità eccede la forza di reazione. La forza in eccesso distorce il livello dell'acqua negli oceani da quello di una sfera, e fa sorgere un incremento mareale. Nel lato opposto della Terra, dove la forza di inerzia supera quella gravitazionale della Luna, l'eccesso di forza di inerzia pure produce un incremento del livello del mare.





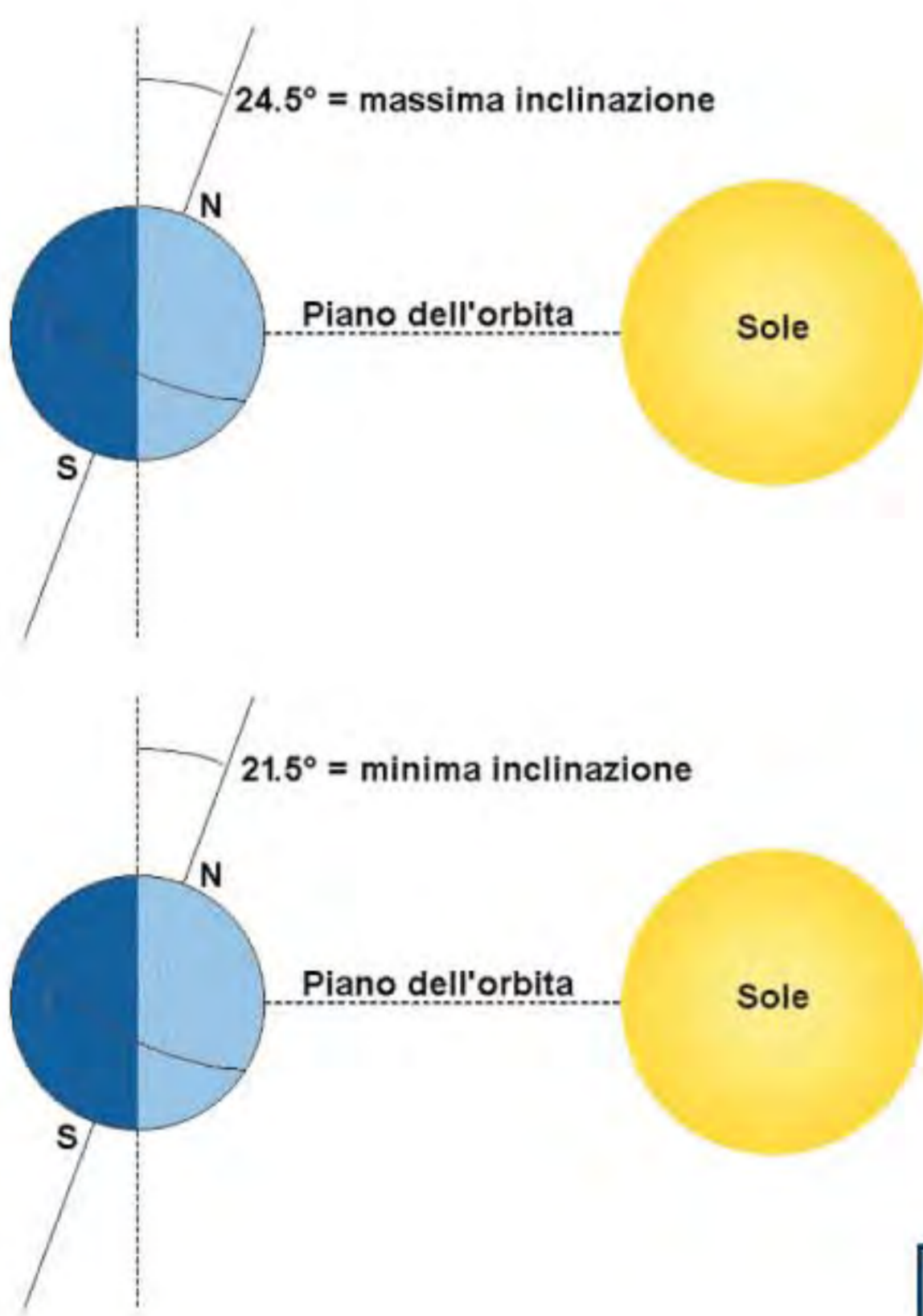
Piccole oscillazioni, grandi effetti

Precessione degli equinozi (periodo - 23000 anni)



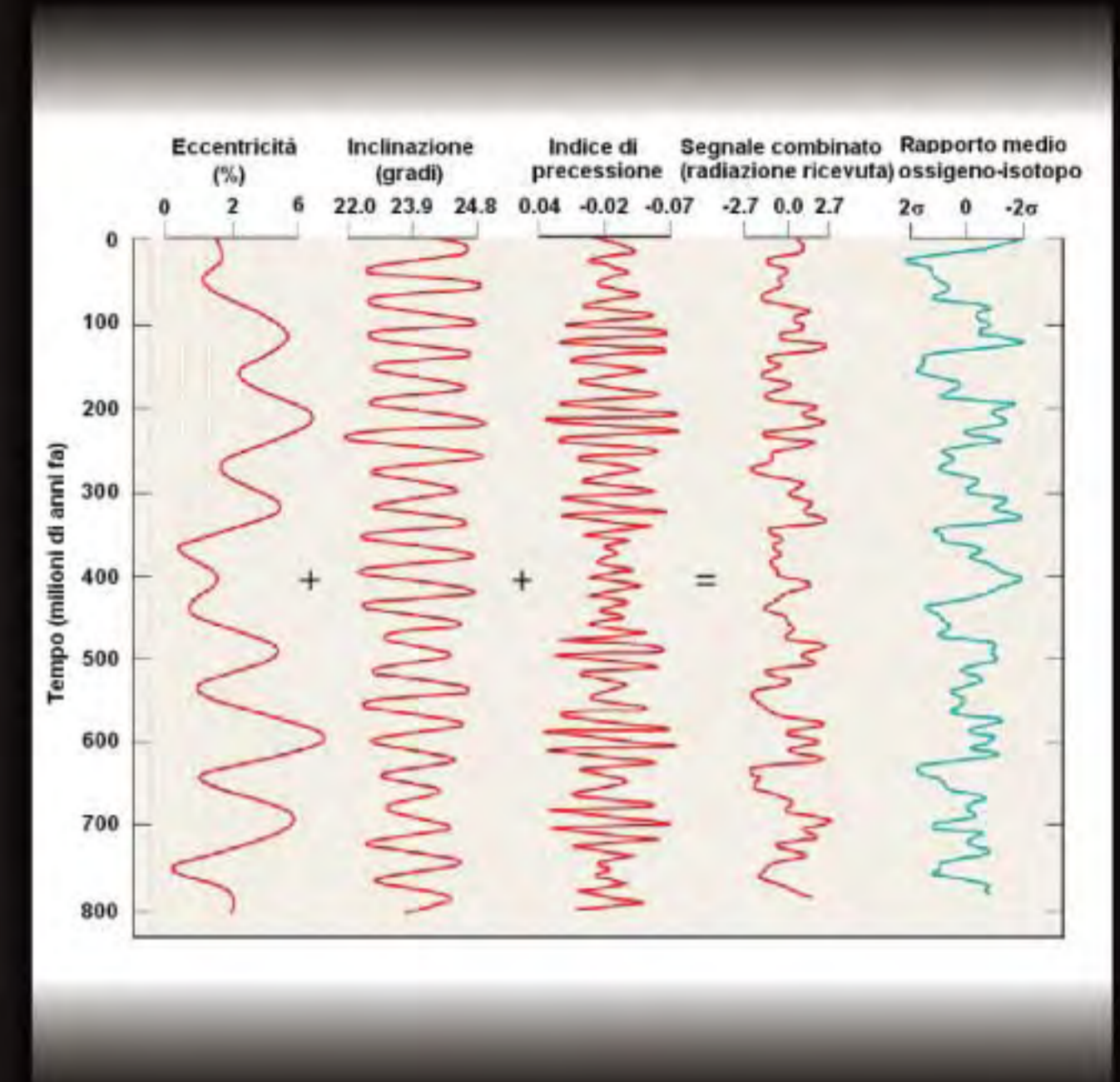
Oltre ai noti movimenti di rotazione e rivoluzione, la Terra è soggetta ad altri movimenti secondari, i quali hanno una influenza sulle variazioni climatiche a lungo termine. Si tratta di lievissime modulazioni, i cui effetti (piccoli ma non trascurabili) dimostrano la "finezza" con cui le condizioni ambientali della Terra dipendono dalla dinamica dei suoi moti.

A La precessione degli equinozi è uno spostamento progressivo dell'asse di rotazione terrestre. Questo moto secondario è causato dall'attrazione gravitazionale della Luna e del Sole che tende a modificare la direzione dell'asse facendole descrivere, in senso orario, la superficie di un cono in poco più di 26000 anni. Questo moto si combina con la rotazione dell'asse dell'orbita terrestre che avviene in senso opposto in un periodo molto più lungo.



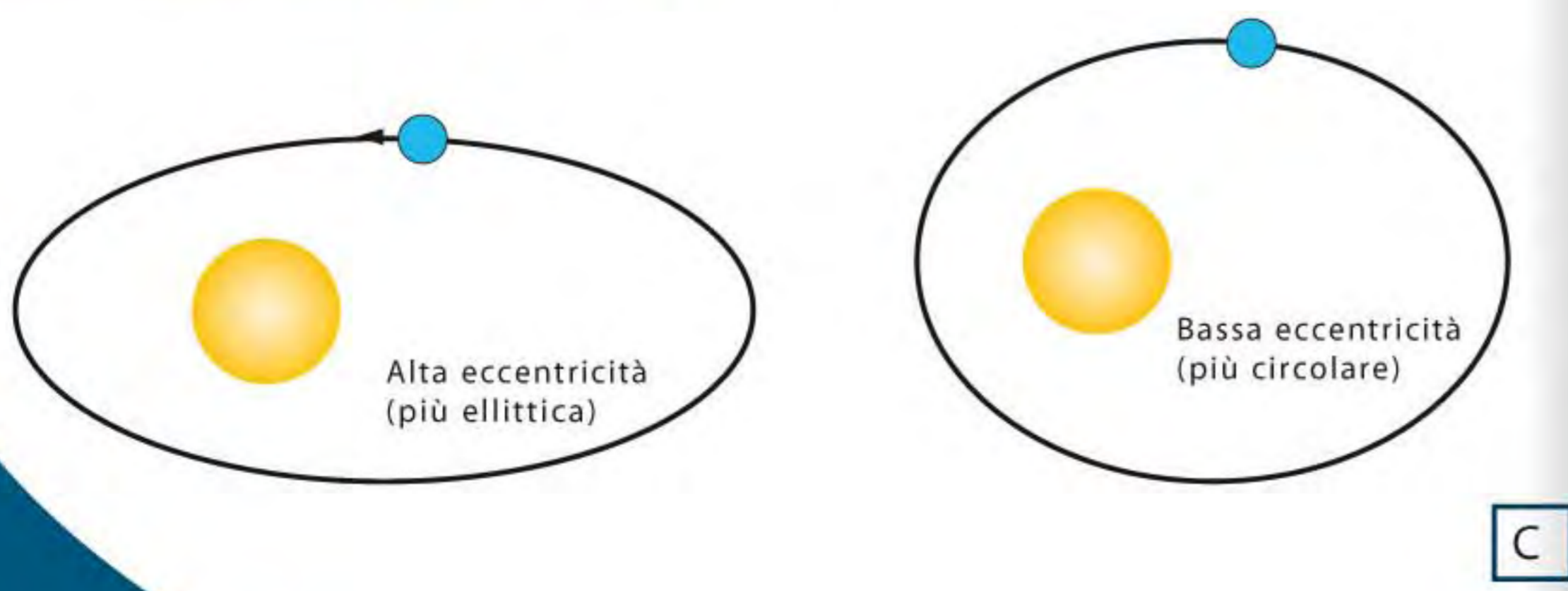
B L'inclinazione dell'asse terrestre, che al momento è di 23,5 gradi, varia tra 21,5 e 24,5. Un ciclo completo di variazione dura 41000 anni, durante il quale in ognuno dei due emisferi varia leggermente la quantità di radiazione solare ricevuta in estate e in inverno.

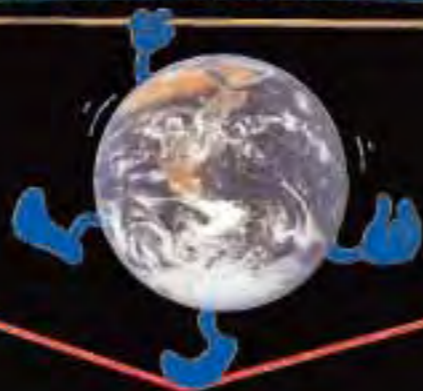
C L'orbita della Terra è un'ellisse con il Sole in uno dei due fuochi. In un tempo di circa 100000 anni, la forma dell'orbita varia da quasi circolare (bassa eccentricità) a più ellittica (alta eccentricità). L'aumento di eccentricità accresce leggermente la variazione stagionale di radiazione ricevuta sulla superficie terrestre.



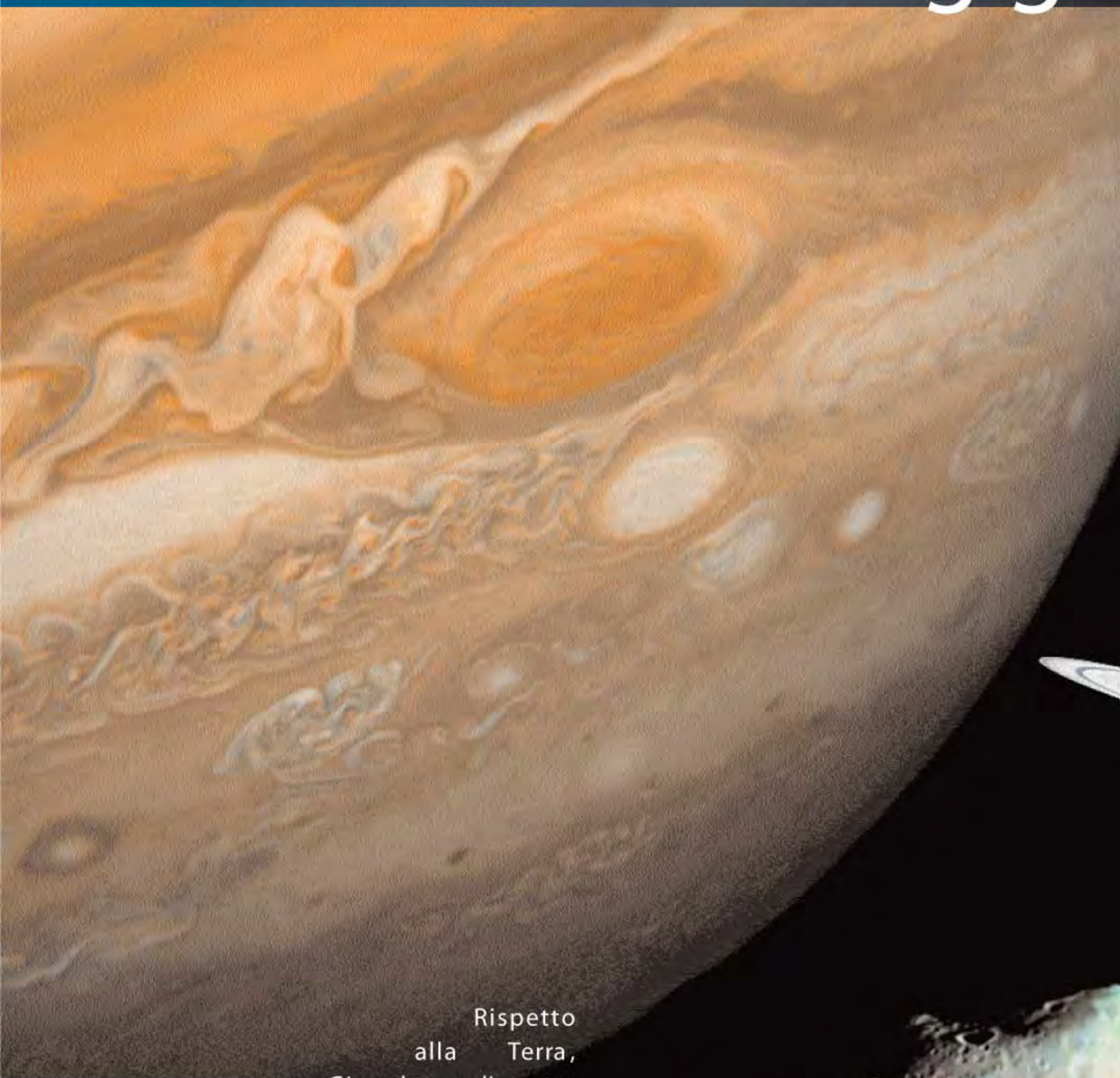
Queste curve mostrano le variazioni in eccentricità, inclinazione e precessione durante gli ultimi 800 mila anni. L'insieme di questi fattori produce un "segnale" combinato dal quale è possibile dedurre la quantità di radiazione ricevuta dalla Terra a una particolare latitudine al variare del periodo. L'ampiezza e il periodo delle oscillazioni nel segnale orbitale combinato (penultima traccia a destra) si accorda bene con quella dell'isotopo di ossigeno marino (in azzurro a destra). Ciò dà supporto all'ipotesi che i cicli glaciali e interglaciali siano controllati dai piccoli cambiamenti orbitali della Terra. Piccoli cambiamenti nel moto terrestre, impercettibili nella vita di un uomo, possono dunque influenzare profondamente le condizioni climatiche e l'ambiente terrestre.

Eccentricità (periodo dominante=100000 anni)





Giove & Saturno: I giganti buoni



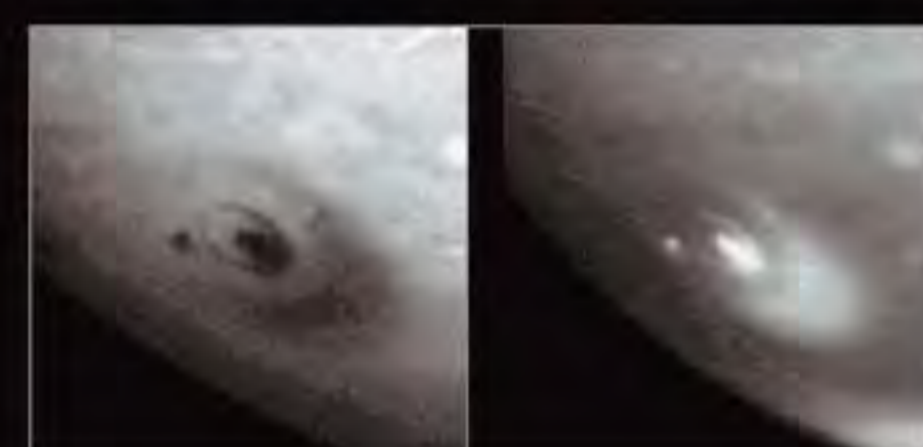
Immagini di Giove e Saturno prese dalla navicella spaziale Voyager 1 nel 1979. Giove, il più grande pianeta del Sistema solare, non ha una superficie solida ed è principalmente composto di idrogeno ed elio.



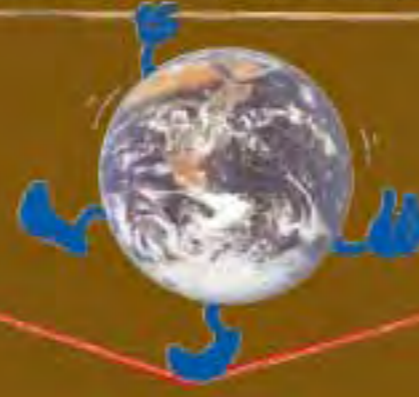
Rispetto alla Terra, Giove ha un diametro dieci volte più grande e una massa 320 volte maggiore. La sua rapida crescita iniziale, con accrescimento diretto di gas della nebulosa originaria oltre che da materiale solido, ha condizionato sensibilmente la formazione dei pianeti più interni, tendendo a inibire la loro formazione attraverso il suo forte campo gravitazionale. In particolare la precoce crescita di Giove ha impedito la formazione di un decimo pianeta tra l'orbita di Giove e quella di Marte (lasciando al suo posto una miriade di asteroidi), e ha inibito la crescita del "pianeta rosso". Se Giove fosse stato un po' più vicino alla Terra, o un po' più massiccio, anche la Terra avrebbe risentito dello stesso effetto e sarebbe stata più piccola e meno massiccia. Probabilmente ciò avrebbe comportato importanti limitazioni nelle capacità della Terra di mantenere una atmosfera e una idrosfera adatte a sostenere la vita nel lungo periodo.



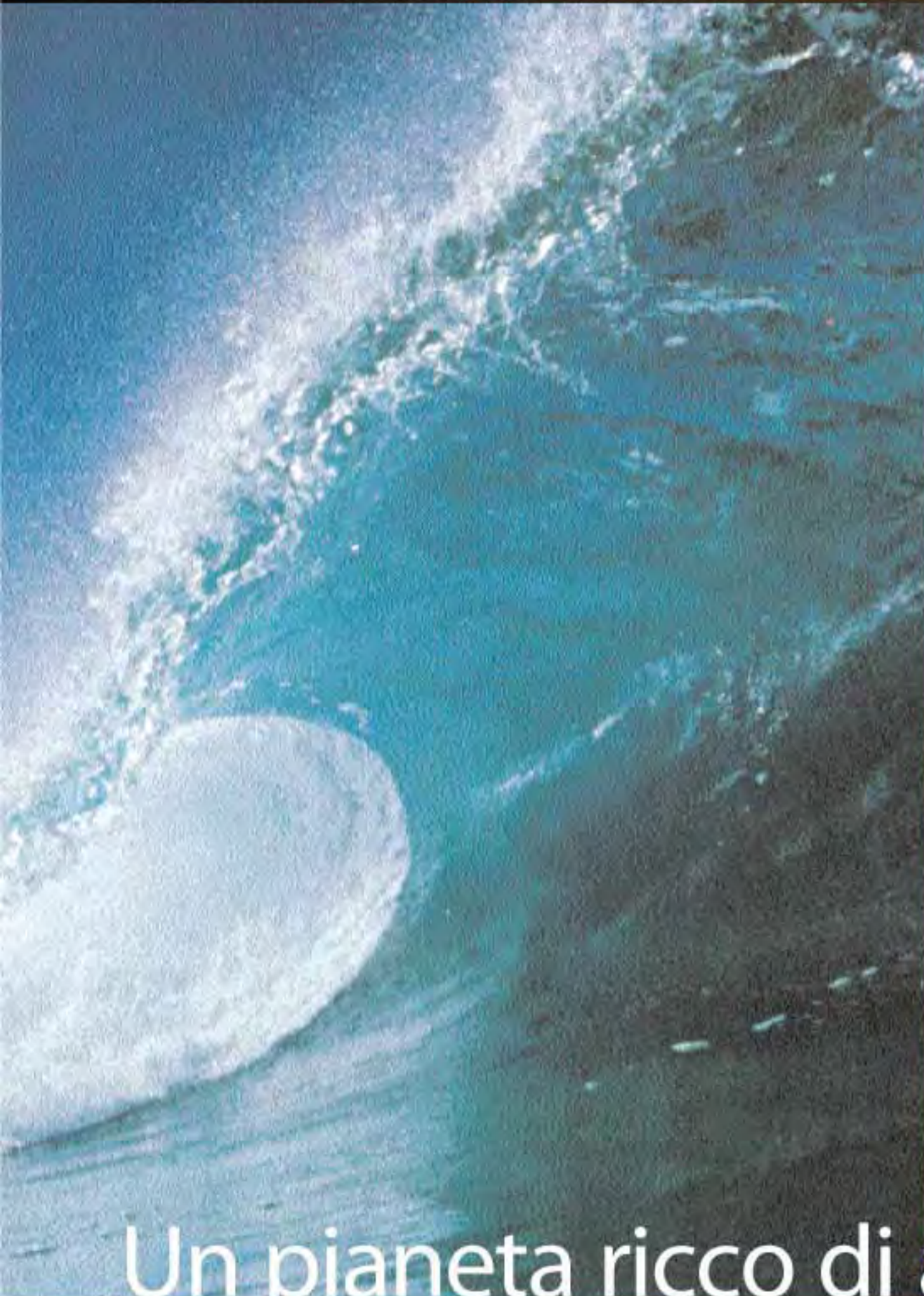
Asteroide 951 Gaspra: una enorme roccia (20 x 8 km) che si aggira nello spazio. L'immagine è stata presa dalla sonda Galileo, nel 1991. Gaspra orbita attorno al Sole nella fascia principale degli asteroidi, tra Marte e Giove. Un oggetto paragonabile a questo urtò la Terra 65 milioni di anni fa, causando l'estinzione dei dinosauri. Attualmente gli impatti sulla Terra di corpi di dimensioni oltre 10 km sono in media uno ogni 100 milioni di anni.



Giove ha giocato e gioca una parte importante nel ripulire il Sistema solare dai "relitti" avanzati dopo la fase di formazione dei pianeti. Grazie alla presenza di Giove e Saturno la quasi totalità degli asteroidi e comete con orbite altamente ellittiche all'interno dell'orbita di Saturno sono scomparsi. Si calcola che il flusso di asteroidi di 10 km sulla Terra sarebbe 10 mila volte maggiore se Giove non si fosse formato, o avesse ritardato la sua formazione. Con un ritmo di un impatto ogni 10.000 anni, è improbabile che la vita avrebbe potuto evolvere sulla Terra oltre le sue forme più rudimentali. Nel Luglio 1994 abbiamo assistito in diretta alla "cattura" da parte di Giove di una cometa, la Shoemaker-Levy.



La Terra: un pianeta più unico che raro

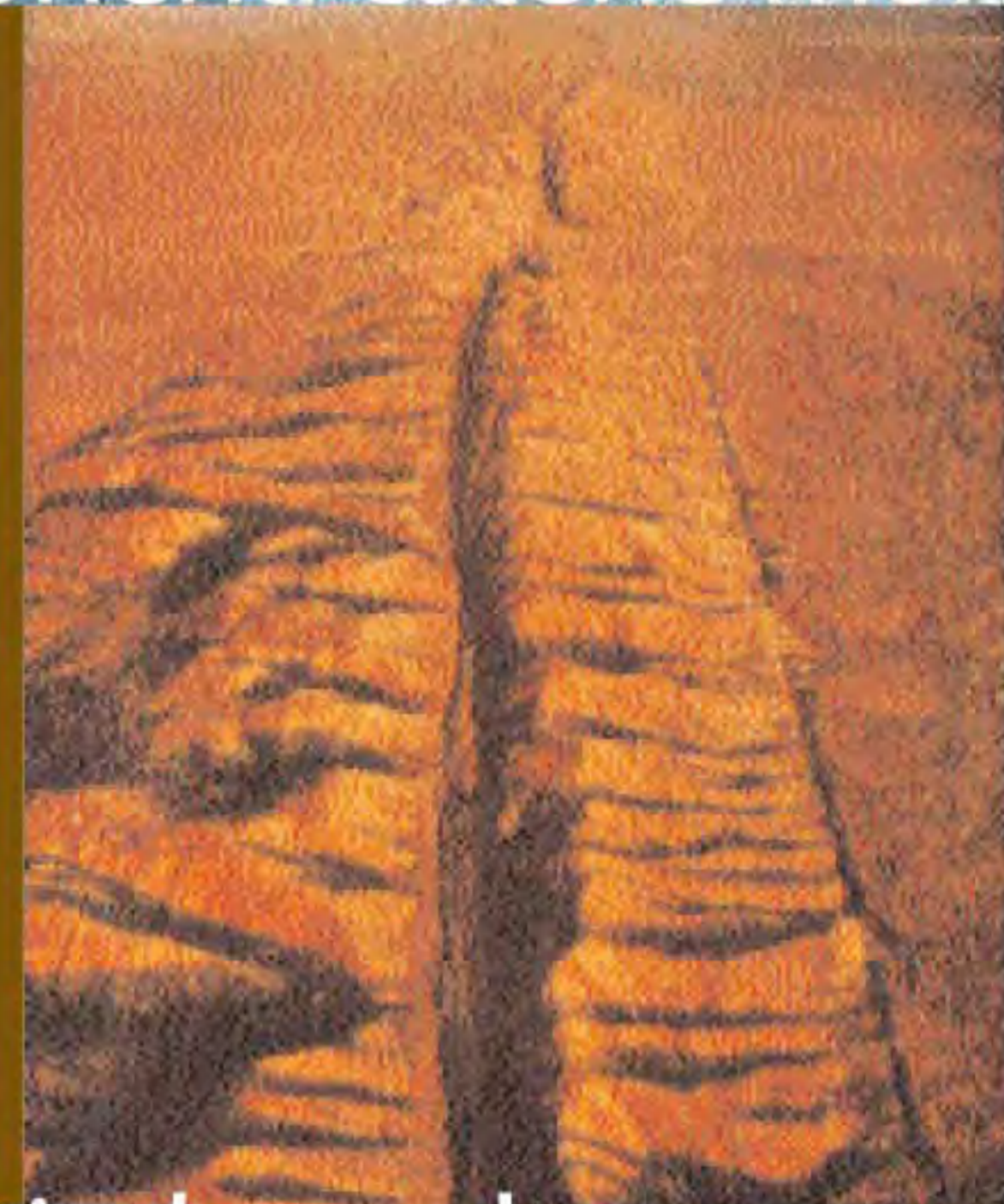


Un pianeta ricco di acque... con imponenti catene montuose

un mondo vivo con moltissimi vulcani...



interessato da continui movimenti e terremoti...



la "casa" di moltissime specie viventi, da molto semplici a infinitamente complesse...

NELLA STRUTTURA E NELLA STORIA GEOLOGICA DELLA

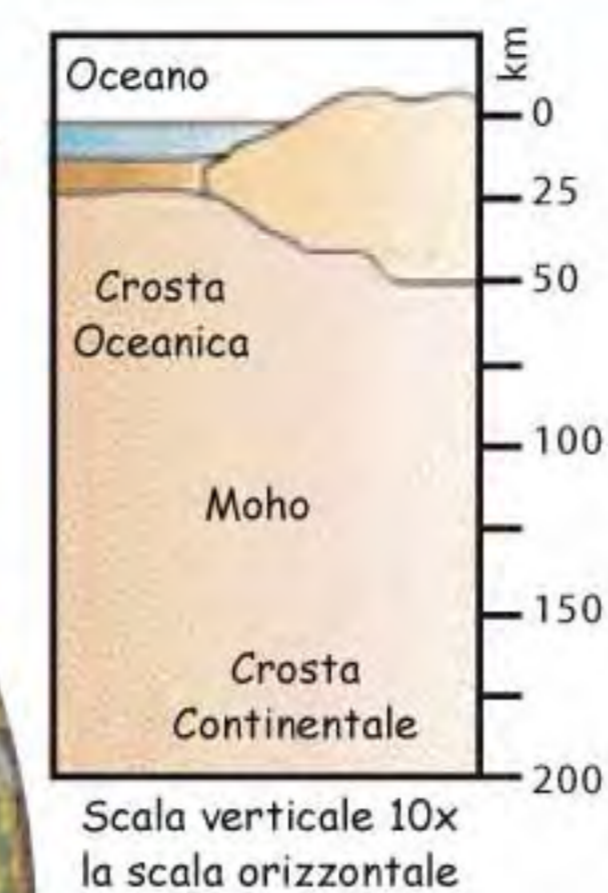
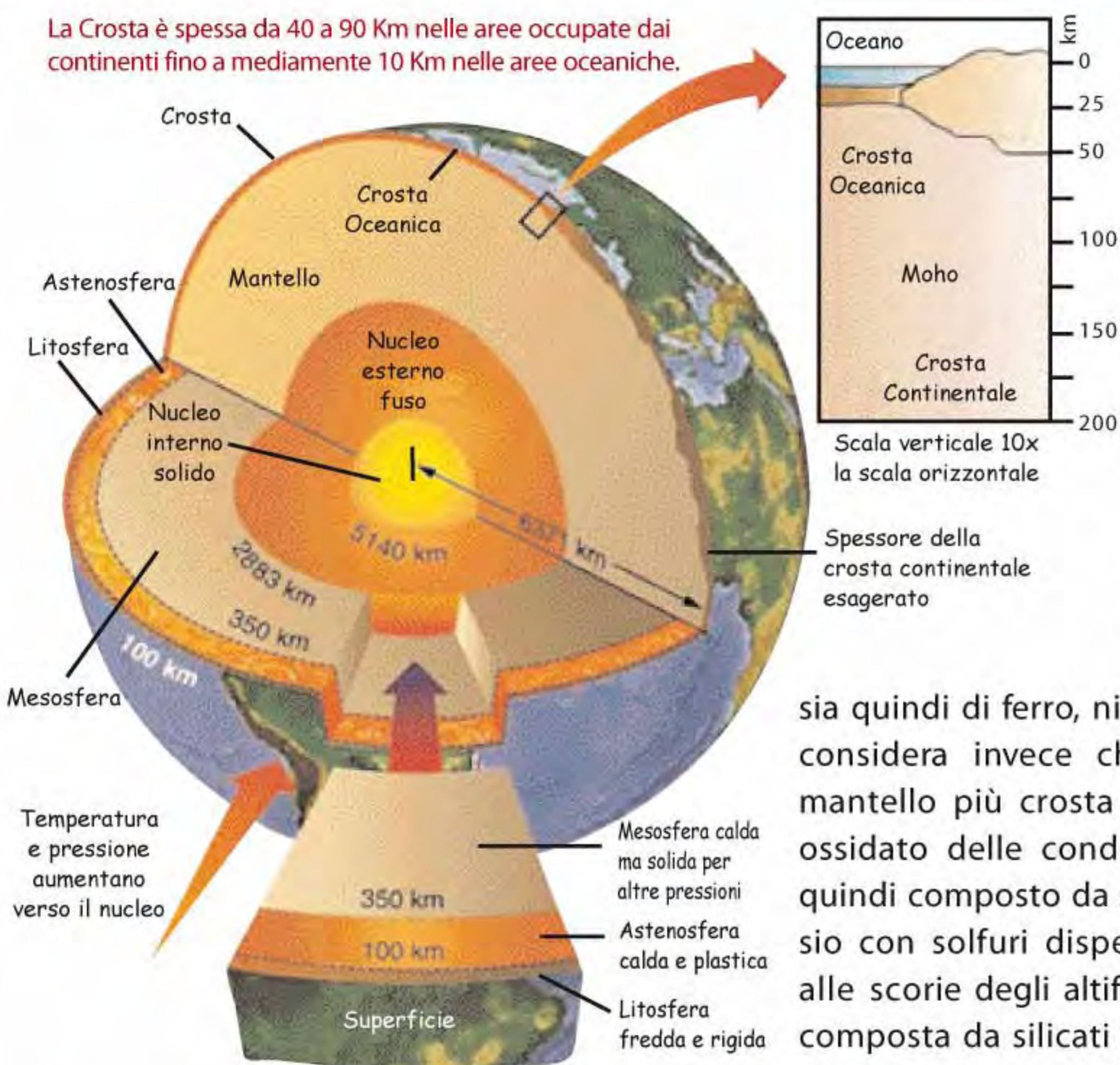


TERRA SI POSSONO TROVARE ALCUNI MOTIVI DI QUESTA ORIGINALITÀ



Viaggio al Centro della Terra

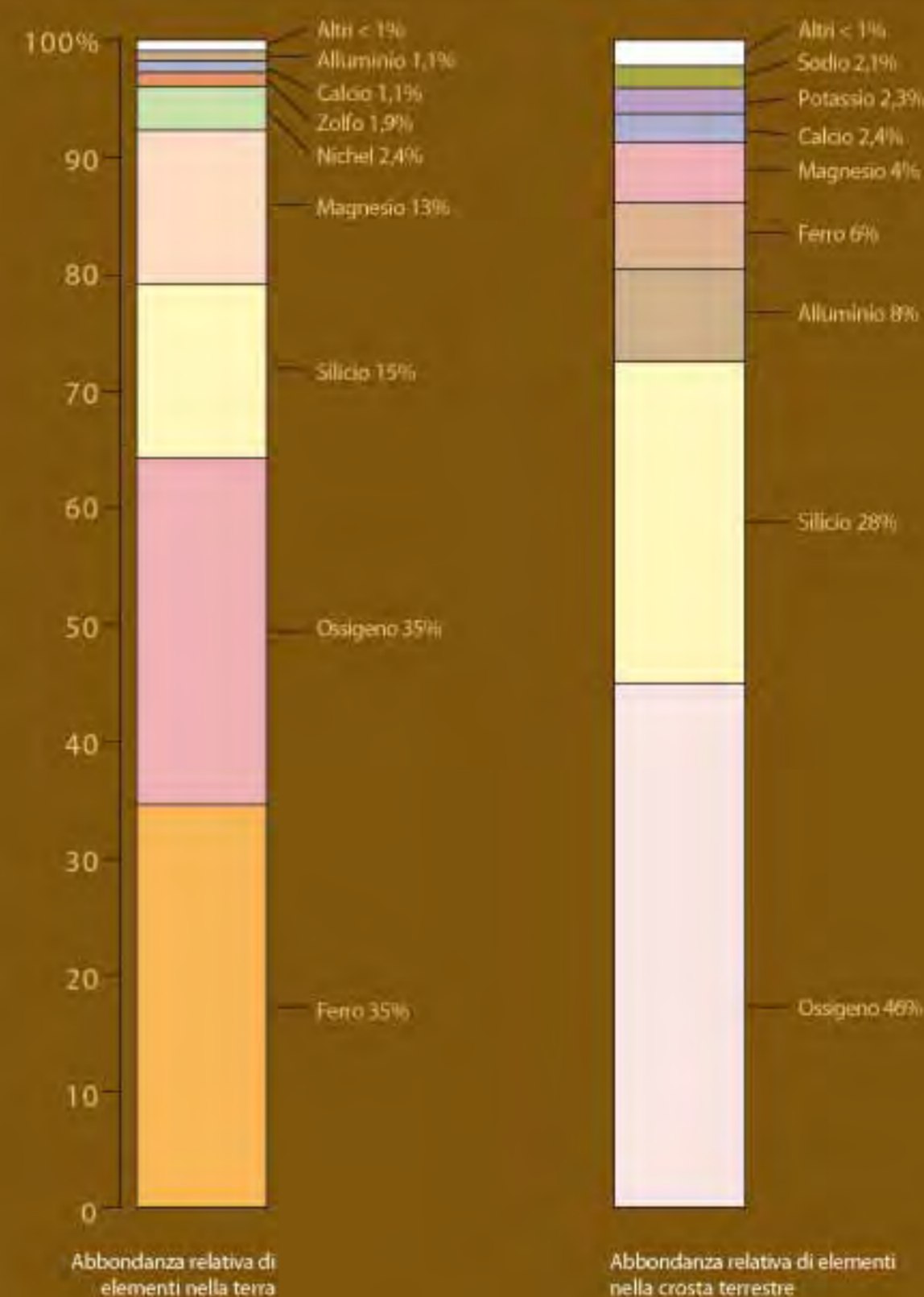
La Crosta è spessa da 40 a 90 Km nelle aree occupate dai continenti fino a mediamente 10 Km nelle aree oceaniche.



Di cosa è fatta la Terra?

Si ritiene che la composizione del nucleo sia simile a quella media delle meteoriti chiamate condriti: che sia quindi di ferro, nichel e solfuri di ferro. Si considera invece che la composizione di mantello più crosta sia uguale al materiale ossidato delle condriti. Il mantello sarebbe quindi composto da silicati di ferro e magnesio con solfuri dispersi, un materiale simile alle scorie degli altiforni, mentre la crosta è composta da silicati di sodio, calcio e potassio. Sono 15 gli elementi essenziali che costituiscono il pianeta. Elio e idrogeno, diffusissimi nell'Universo, sono praticamente assenti.

Solo otto elementi costituiscono il 98% della Crosta Terrestre

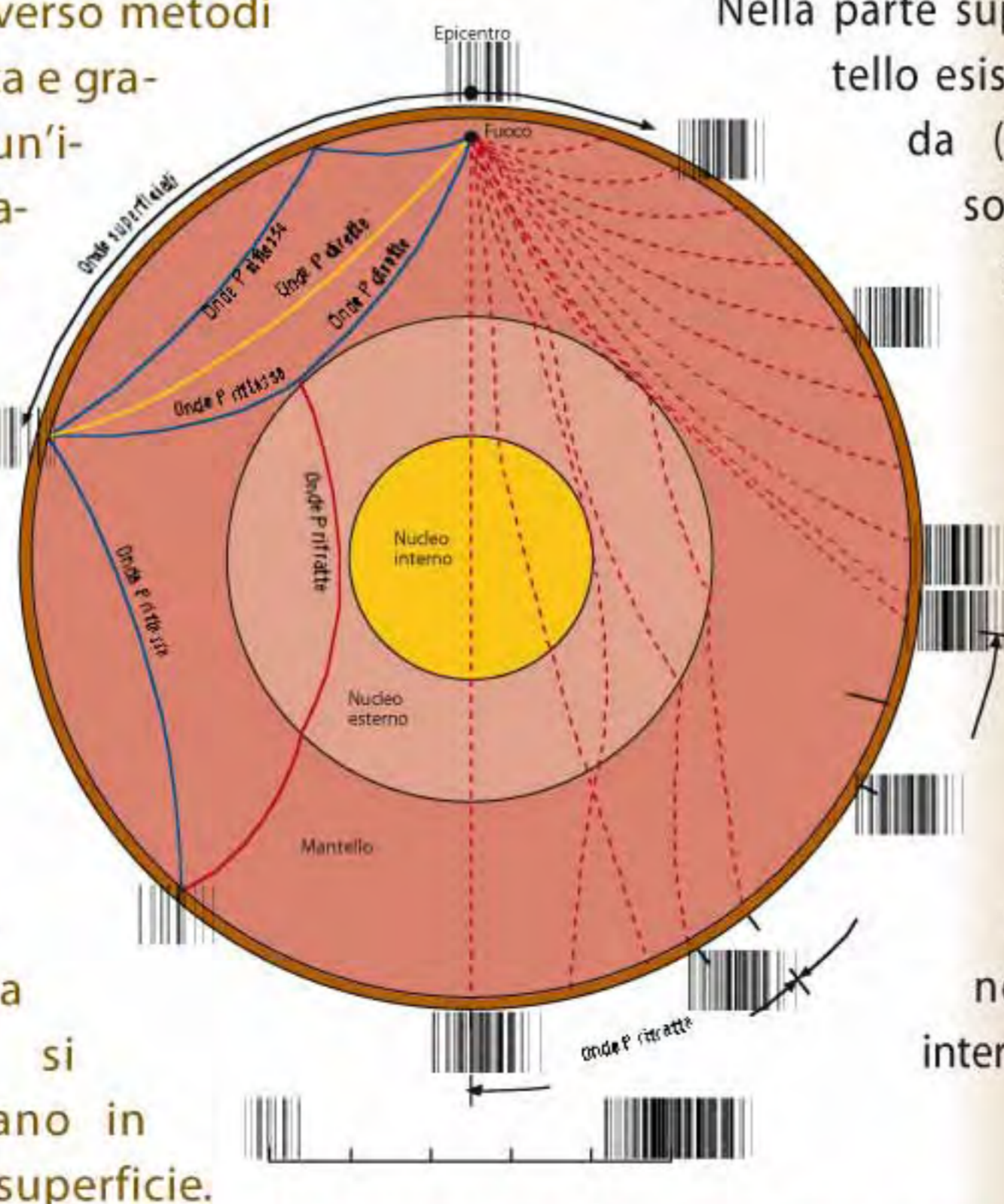


Quattro miliardi di anni fa una porzione di materiale solare si distaccò dal Sole. Nel tempo pre-geologico sfuggirono elementi quali idrogeno ed elio a causa del limitato campo di gravità esistente. Con il raffreddamento della massa iniziale fusa si sarebbe verificata una differenziazione in tre fasi con generazione di metalli, solfuri e silicati che avrebbe portato all'attuale costituzione di tre geosfere chiamate nucleo, mantello e crosta. Noi conosciamo direttamente non più di 20 dei 6371 km del raggio terrestre, ed è solo attraverso metodi indiretti, come le indagini sismica e gravimetrica, che possiamo avere un'idea sulla struttura interna del pianeta. Queste discipline hanno permesso di scoprire la grande variabilità in spessore della crosta terrestre, la sua composizione e la sua densità, che è 2,8 volte la densità dell'acqua. Poiché la Terra possiede una densità media di 5,6 g/cm³ il mantello e il nucleo devono avere densità sempre maggiori, superiori a quelle che si riscontrano in superficie.

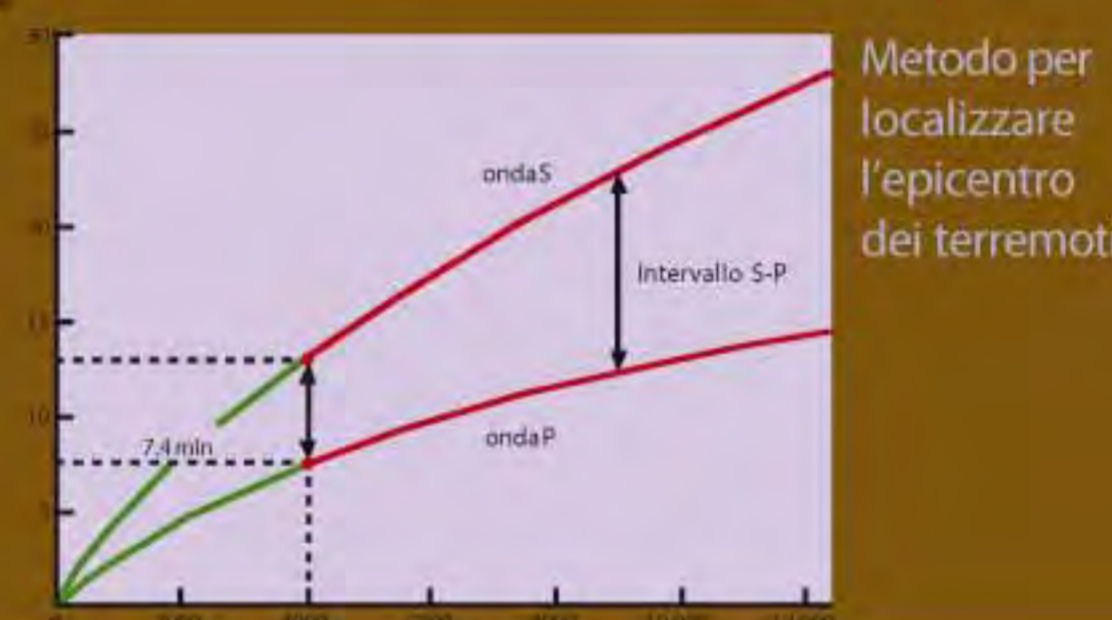
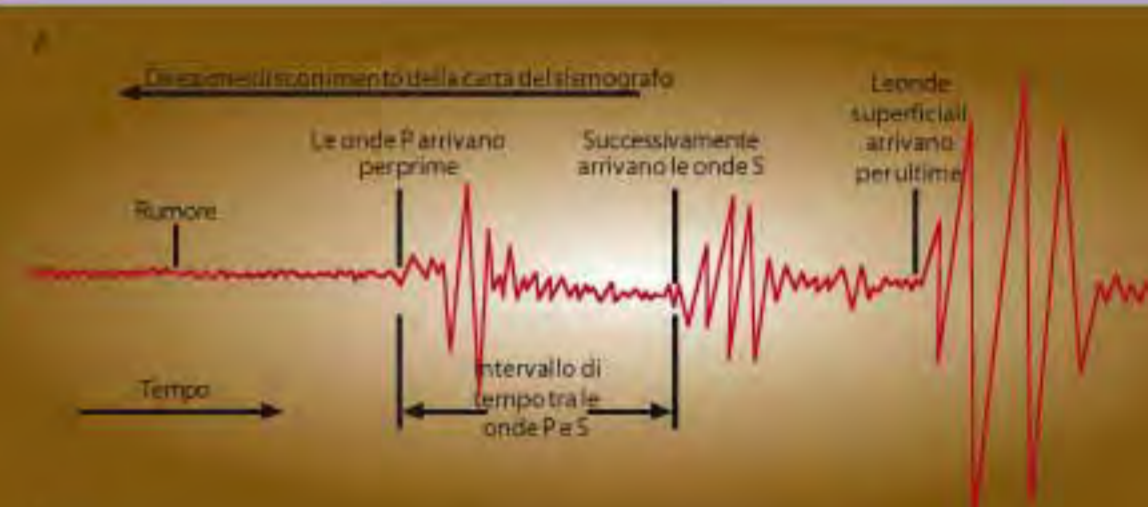


Le meteoriti sono frammenti di materiali extraterrestri precipitati sulla Crosta.

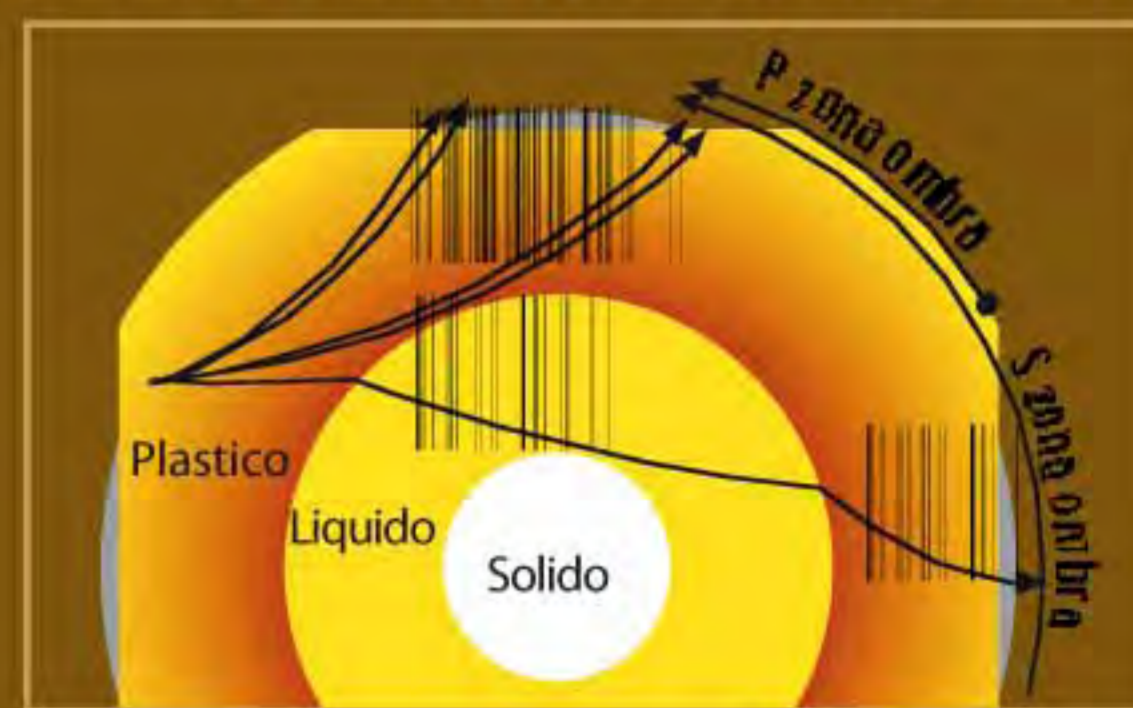
Il metodo sismico studia il comportamento delle onde elastiche generate dai terremoti o indotte dall'uomo, onde che si propagano con velocità proporzionali alle densità dei mezzi attraversati. Lo studio delle velocità e delle traiettorie di queste onde ha permesso di identificare una prima discontinuità, detta Moho, che definisce il passaggio tra crosta e mantello.



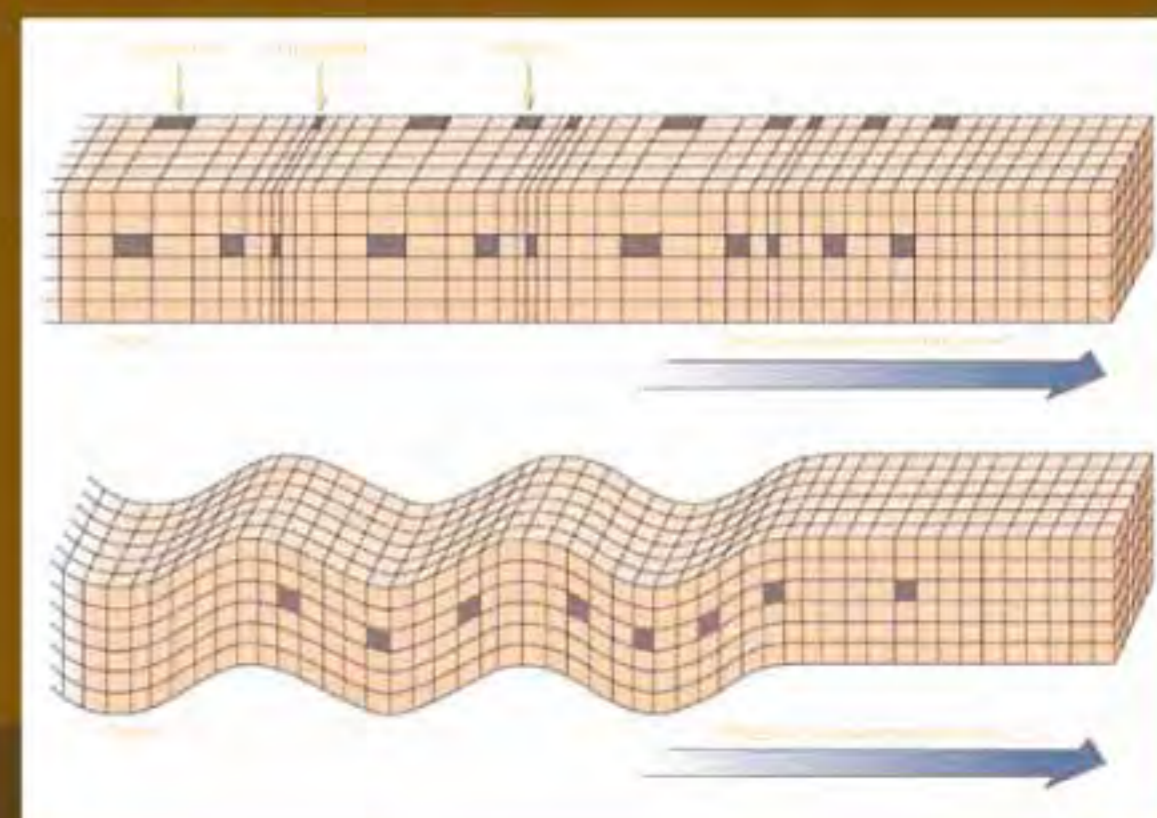
Distribuzione delle onde P generate da terremoto. La riflessione e la rifrazione delle onde P al contatto mantello-nucleo crea una zona d'ombra fra 103 e 143 gradi

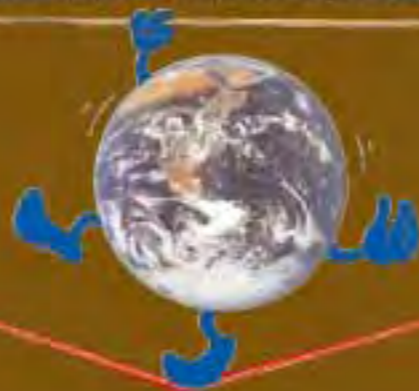


Le onde S vengono registrate su un'area della superficie terrestre pari ad un angolo di 105° al Nucleo, da cui si ricava la dimensione del nucleo e la presenza di una fase fluida.



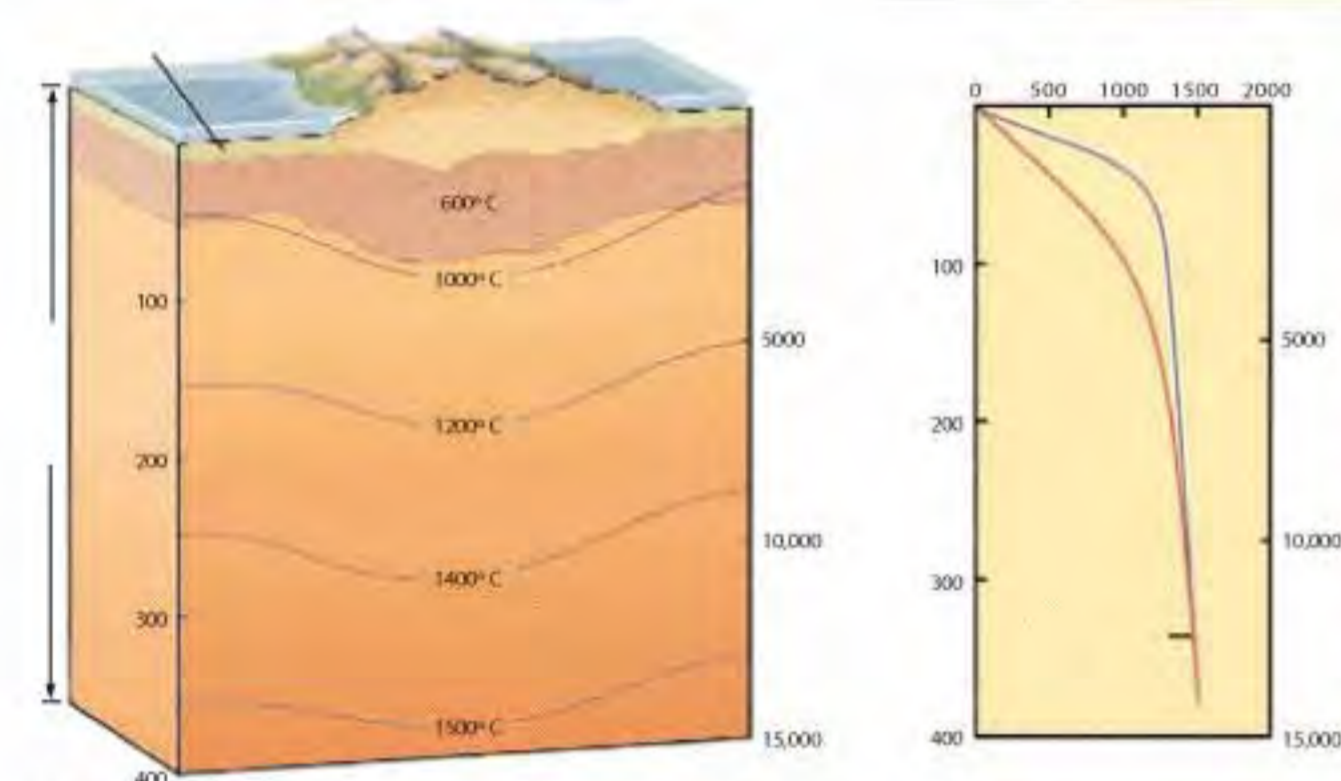
Le onde di taglio S sono più lente di quelle compressionali P e non viaggiano nei fluidi





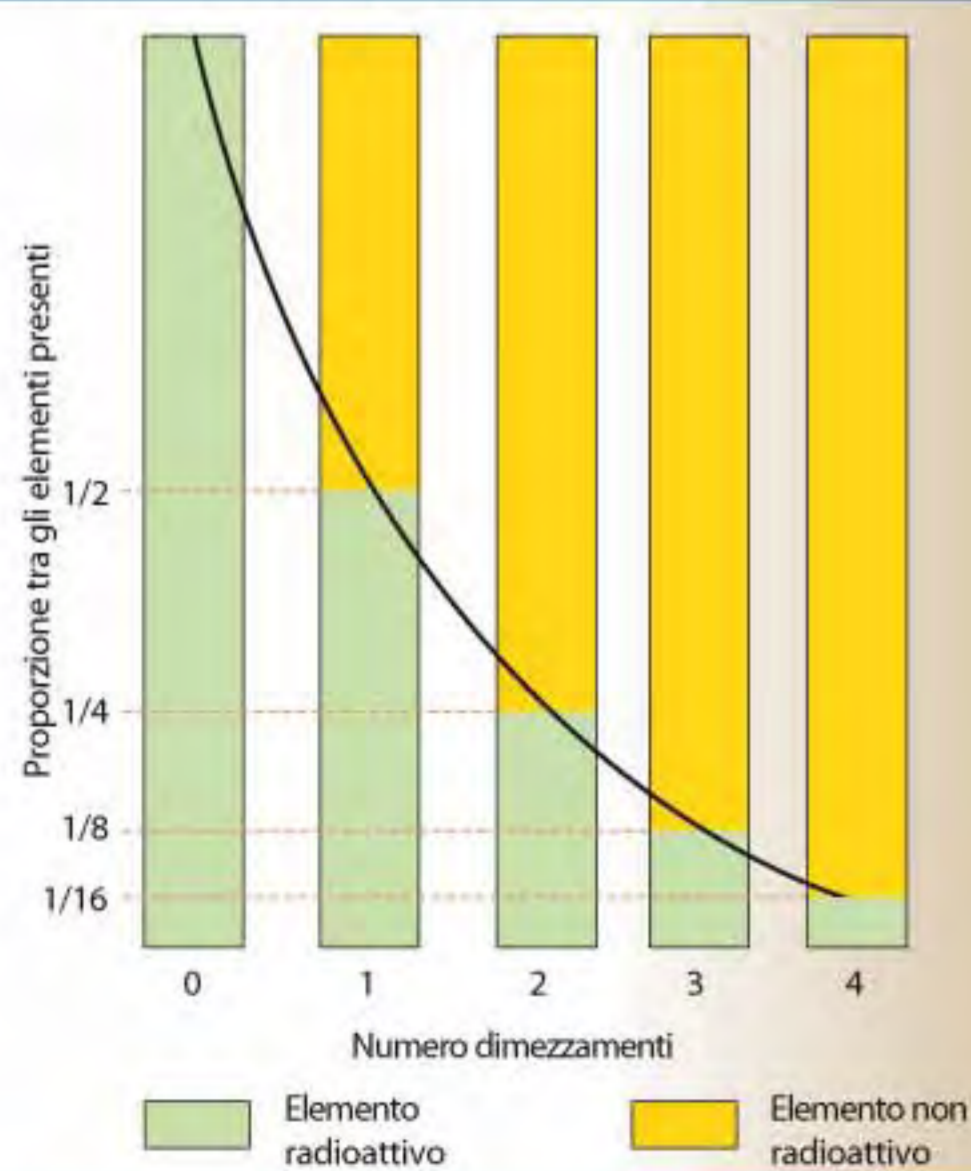
Il Cuore Caldo

Vulcani, sorgenti termali, soffioni e geyser documentano da sempre la presenza di un calore interno alla Terra che fluisce verso l'esterno. Con le trivellazioni di pozzi petroliferi si possono effettuare delle misure di temperatura utilizzando termometri fino a profondità che raramente superano i 7 Km. Si chiama Gradiente Geotermico l'aumento della temperatura con la profondità: esso è in media di circa 1 grado centigrado ogni 33 metri.

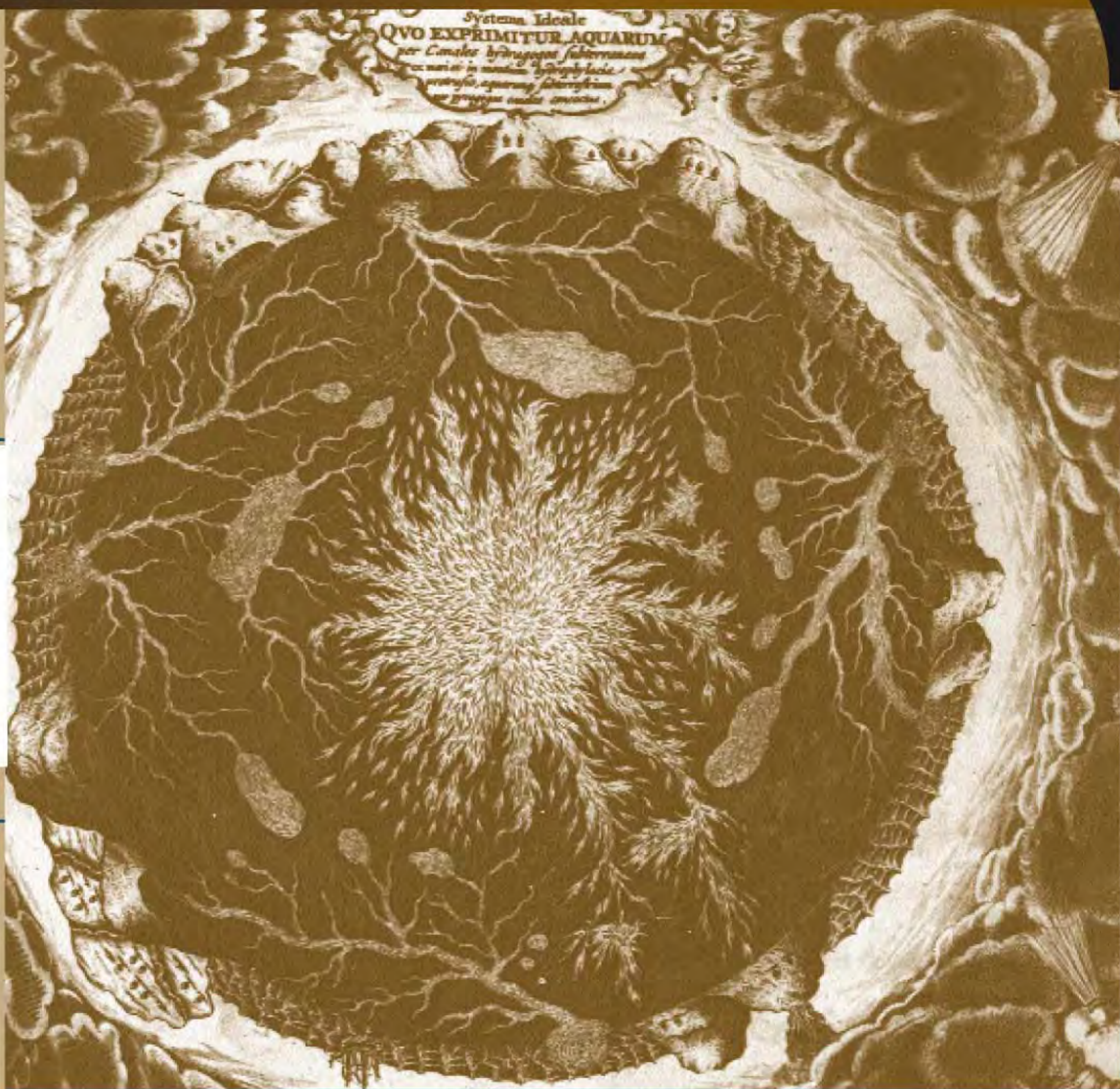


La temperatura aumenta più lentamente sotto la crosta continentale che sotto la crosta oceanica.

Nel mantello, che ha un comportamento plastico, avverrebbero fenomeni di convezione tipici dei fluidi. Se riscaldiamo un fluido esso si espande diventando meno denso rispetto al materiale circostante e tende quindi a salire. Il materiale più freddo tenderà invece a scendere instaurando così un circolo che prende nome di cella convettiva. Queste correnti sono responsabili della Deriva dei Continenti e della Tettonica a Placche e forniscono magma ai vulcani e alle dorsali oceaniche.



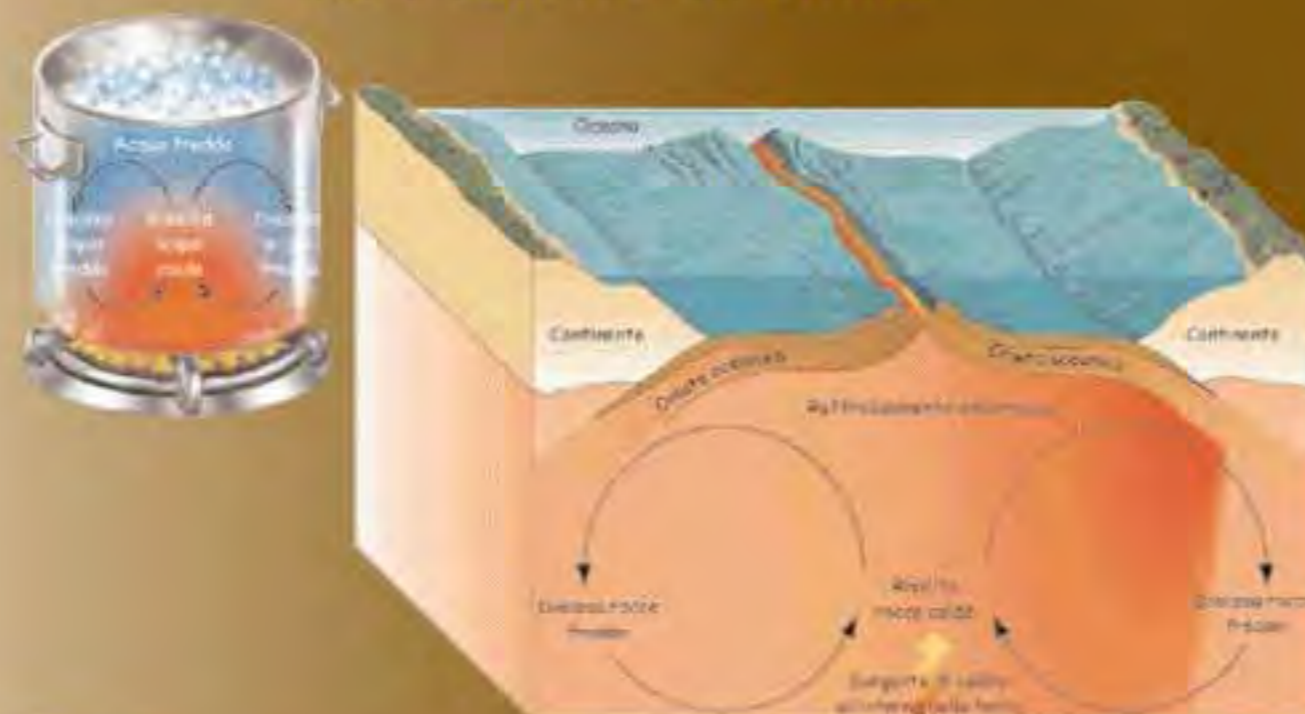
Se in un nucleo il numero dei protoni e quello dei neutroni non è ben bilanciato, esso deve riequilibrare la sua situazione interna emettendo particelle Alfa, Beta e Fotoni. Questo fenomeno si chiama radioattività. Il semiperiodo è il tempo necessario per ridurre alla metà una quantità di elemento radioattivo.



INTERNO DELLA TERRA IN UN DISEGNO DEL 17° SECOLO. SI POSSONO DISTINGUERE UN GRANDE FUOCO AL CENTRO, VASTE CAVERNE E VULCANI.

Qual è l'origine del calore terrestre?

Il calore all'interno della Terra è generato dal decadimento di elementi radioattivi, presenti soprattutto nel mantello. I principali radionuclidi sono il Potassio 40, il Rubidio 87 e gli elementi della serie radioattive dell'Uranio 235-238 e del Torio 232. Un elemento radioattivo subisce una disintegrazione per l'emissione di radiazioni di diversa natura, che provocano il decadimento dell'elemento radioattivo in un elemento stabile, quale il Piombo. Questo processo avviene con velocità costante e implica generazione di calore: un grammo di Uranio 235 produce 4,34 calorie all'anno.



La conoscenza del periodo degli elementi radioattivi permette la datazione delle rocce terrestri e quindi una stima circa il tempo di solidificazione della Terra. Utilizzando Argon 39 e 40 è possibile infatti risalire praticamente all'epoca in cui la Terra si è formata. Bisogna però tener conto che questi metodi, basati sul decadimento radioattivo, richiedono di essere convalidati anche con misure basate su tecniche diverse. La più antica roccia conosciuta è datata 3800 milioni di anni. Alcune meteoriti risalgono a 4,5 miliardi di anni e si ritiene che la loro cristallizzazione sia avvenuta 150 milioni di anni dopo la formazione della Terra. In Sudafrica sono state rinvenute rocce di circa 3000 milioni di anni contenenti batteri e organi unicellulari. Con il metodo del Carbonio radioattivo invece si può determinare l'età dei fossili fino a un massimo di 70000 anni. Il metodo si basa sulla presenza nella materia organica di Carbonio 14 radioattivo assorbito dall'aria, che decade in Azoto 14 in 5568 anni. Negli organismi c'è equilibrio tra la produzione di Carbonio 14 e il suo decadimento, che cessa alla morte dell'organismo.

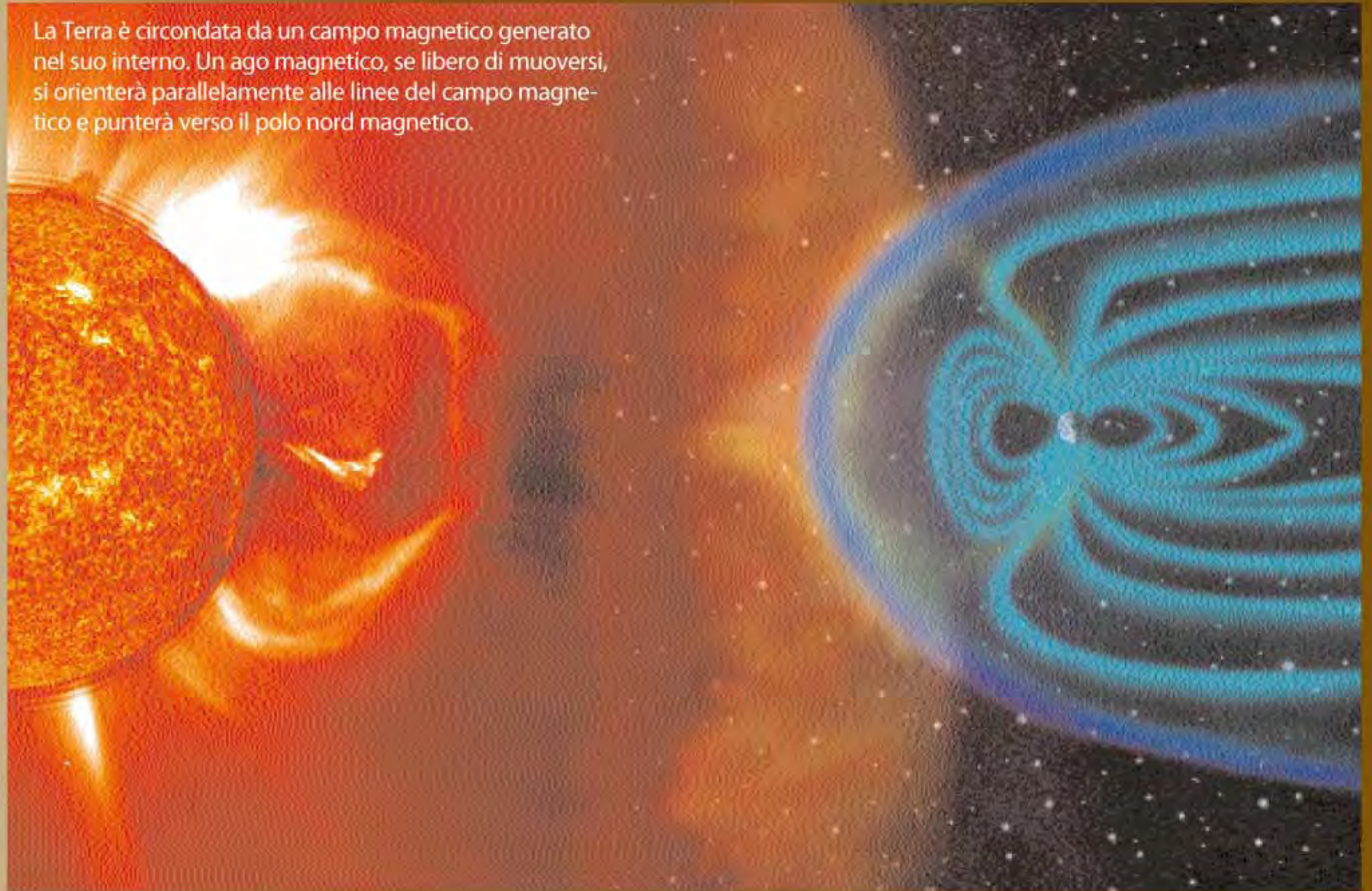


Un Affascinante Mistero: il campo magnetico terrestre

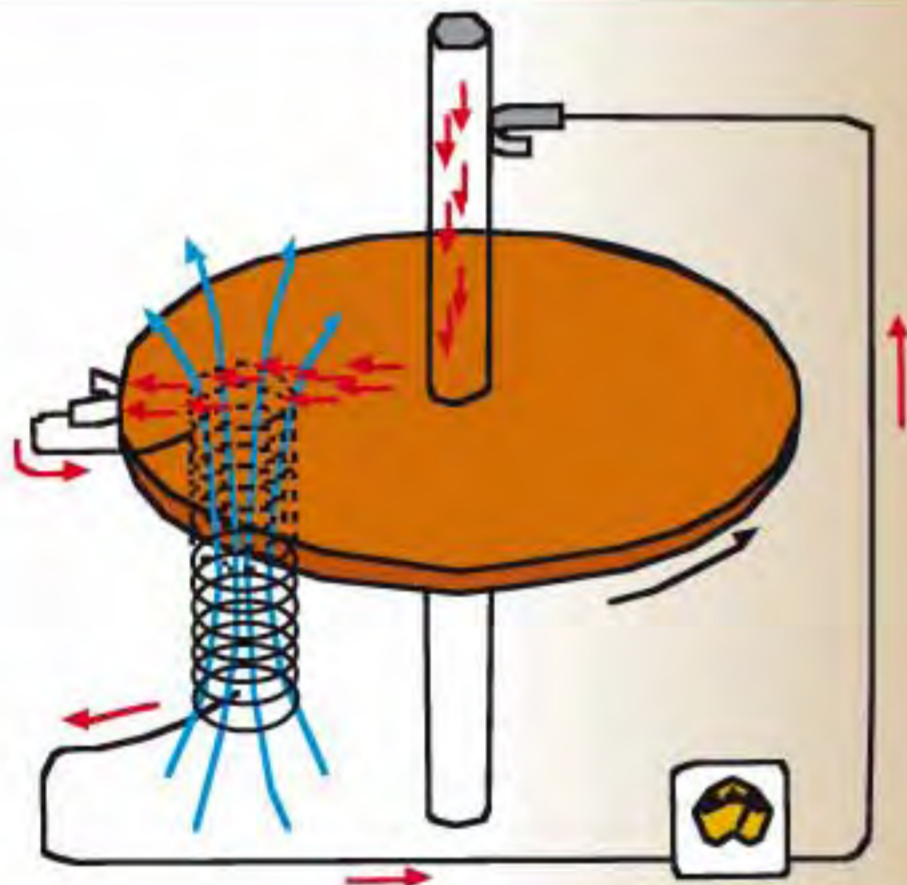
Già nell'antichità era noto che alcuni minerali (Magnetite), particolarmente concentrati in una zona dell'Asia Minore chiamata Magnesia, attraevano pezzi di ferro e che il ferro posto in vicinanza di questi minerali ne acquisiva le medesime proprietà.

Arabi e persiani conoscevano l'uso della bussola e Cristoforo Colombo la utilizzò nei suoi viaggi. Ma chi per primo considerò la Terra paragonabile a un vero e proprio magnete fu Sir William Gilbert ('De Magnete', scritto nel 1600). La configurazione del Campo Magnetico Terrestre si deve a K.F. Gauss (1832), che ne tracciò le linee di forza. Attualmente l'andamento del CMT ci è noto da misurazioni fatte a terra, da aerei e da satelliti che indicano come i poli magnetici non coincidano con quelli geografici. Il polo Nord magnetico è attualmente nei pressi dell'isola di Bathurst (Canada settentrionale) a circa 1600 Km da quello geografico mentre il polo Sud magnetico è in Antartide, a circa 2600 Km dal polo geografico.

La Terra è circondata da un campo magnetico generato nel suo interno. Un ago magnetico, se libero di muoversi, si orienterà parallelamente alle linee del campo magnetico e punterà verso il polo nord magnetico.

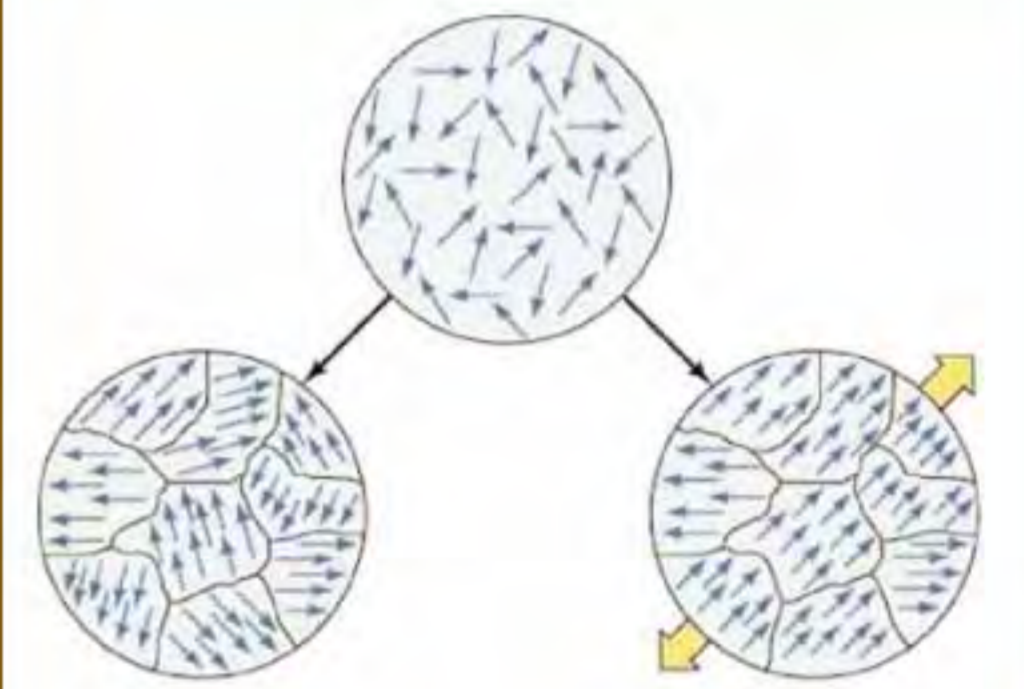


La Terra possiede un campo magnetico, e questa non è una caratteristica comune a tutti i pianeti. La Luna, Marte e Venere, per esempio, non hanno un campo magnetico.



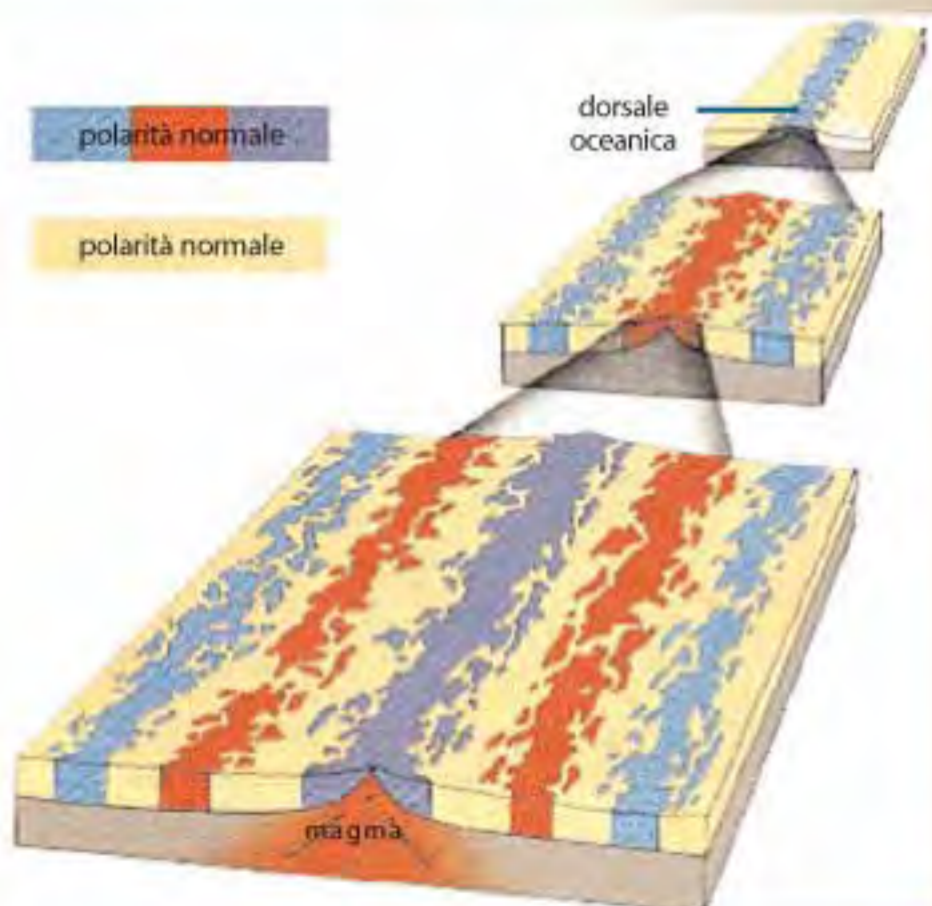
Che cosa genera il CMT ?

L'ipotesi più accreditata è che il CMT sia generato dalla circolazione e convezione di ferro fuso elettricamente conduttivo nella parte esterna del nucleo, mentre la parte interna solida ruoterebbe meno velocemente. Le correnti si comporterebbero come le spire di una dinamo, secondo il modello di Bullard (1948).



al di sotto
senza ca

senza
no



Nuova crosta oceanica si forma continuamente dalle dorsali oceaniche. I fondali oceanici hanno un'età inferiore ai 200 milioni di anni quindi sono cambiati molte volte nel corso della storia della Terra.

Il CMT si muove nel tempo ?

I minerali magnetici acquistano le loro caratteristiche a temperature inferiori a 600°C (punto di Curie). Misurando la direzione della magnetizzazione di successioni rocciose di tipo lavico siamo in grado di verificare l'andamento del CMT nel tempo. Si è così constatato che vi sono state diverse inversioni di polarità con eventi di frequenza minima di 10000 anni. L'instabile movimento dei moti convettivi sarebbe la causa principale dei cambi di direzione del CMT. Lo studio del Paleomagnetismo è parte fondamentale della teoria della deriva dei continenti. Misurando infatti la direzione dei poli geomagnetici di rocce di varia età in continenti diversi si è verificato lo spostamento relativo dei continenti.



PERCORSO APPARENTE DEL POLO NORD MAGNETICO NEGLI ULTIMI 600 MILIONI DI ANNI.



Eppur si muove!

DERIVA DEI CONTINENTI

La Terra è interessata da modificazioni e movimenti continui, sia superficiali sia interni.

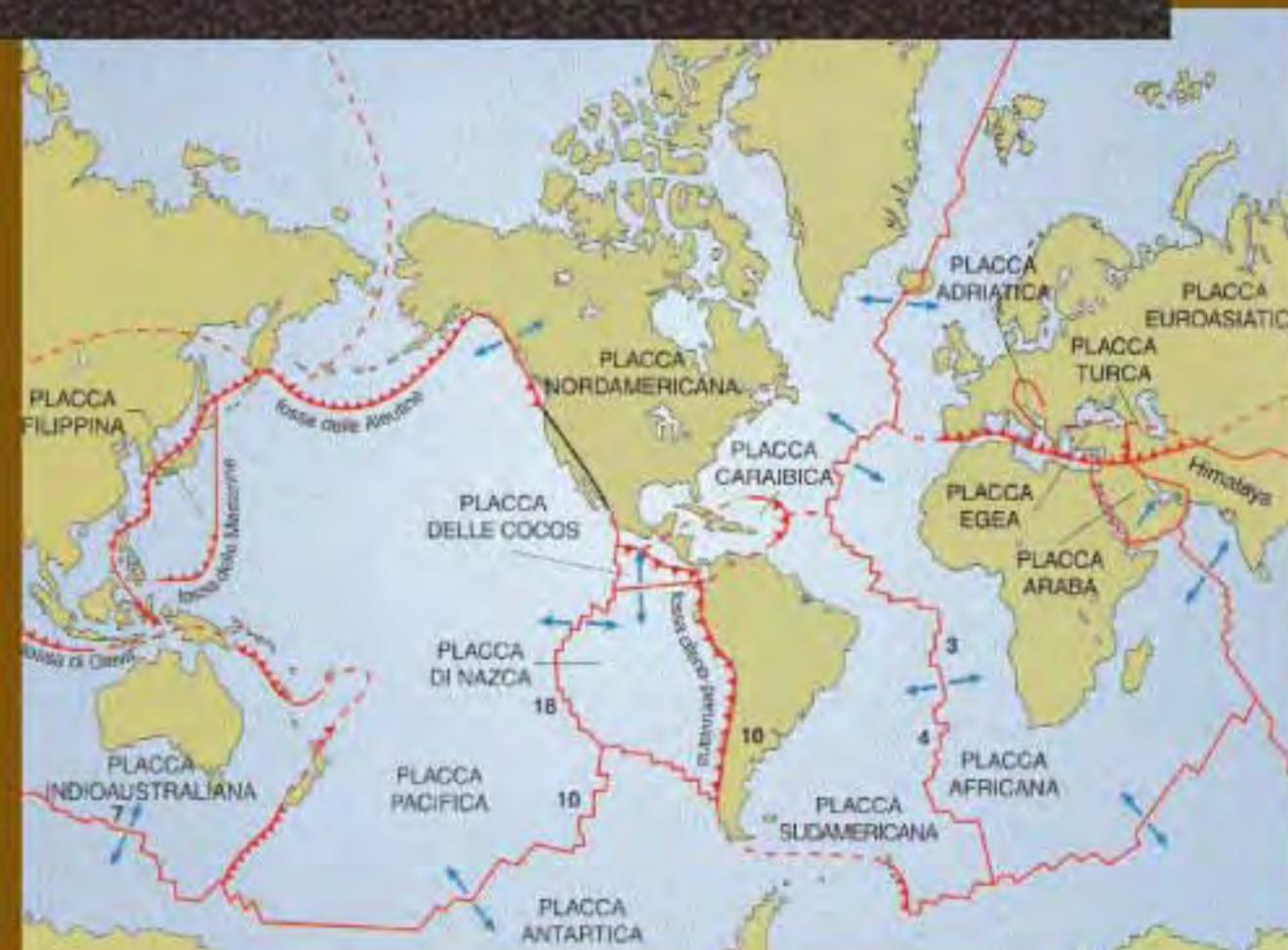
La teoria della "Tettonica a placche" per spiegare l'evoluzione del pianeta Terra, ha il suo progenitore nel geofisico tedesco A. Wegener che all'inizio del secolo XX (1912) inquadrò in un teoria organica i dati in parte già noti e discussi: la "deriva dei continenti". Egli propose un'idea di superficie terrestre in movimento, in evoluzione, con i continenti "alla deriva" negli oceani, come pezzi di un primigenio, unico, continente: questo supercontinente fu denominato Pangea.



Negli anni '60 e '70 si realizza quella rivoluzione scientifica delle scienze della Terra che va sotto il nome di tettonica a placche o più propriamente TETTONICA GLOBALE, proprio perché cerca di inquadrare e spiegare tutti i fenomeni geologici del pianeta (continenti, oceani, catene montuose, vulcani, terremoti, dati paleontologici, paleoclimatici, paleomagnetici, petrologici).

- continenti e oceani hanno una struttura crostale diversa (l'insieme di crosta oceanica e continentale è definito Litosfera, distinta da una zona più profonda e fluida definita Astenosfera, con caratteristiche petrografiche differenti)
- tutti gli attuali continenti erano uniti circa 200 milioni di anni fa (inizio del Giurassico)
- i continenti si separarono tra loro per la creazione di una nuova crosta oceanica, tramite effusioni laviche di materiale astenosferico (nascono nuovi oceani)
- vecchia crosta oceanica si 'scontra' con i margini dei continenti e subduce all'interno dell'astenosfera andando in

L'intera superficie terrestre è costituita da un mosaico di 'placche' o 'zolle' in movimento relativo tra di loro: in allontanamento (margini in accrescimento = dorsali oceaniche), in avvicinamento (margini in consumo = catene montuose), scorrimento laterale (margini trasformati). Tutti i margini coincidono con le principali zone sismicamente attive della Terra



margin divergenti, margin convergenti (zone di subduzione), margini trascorrenti, moti delle placche, confini incerti di placche. I valori numerici indicano la velocità di spostamento in cm/anno



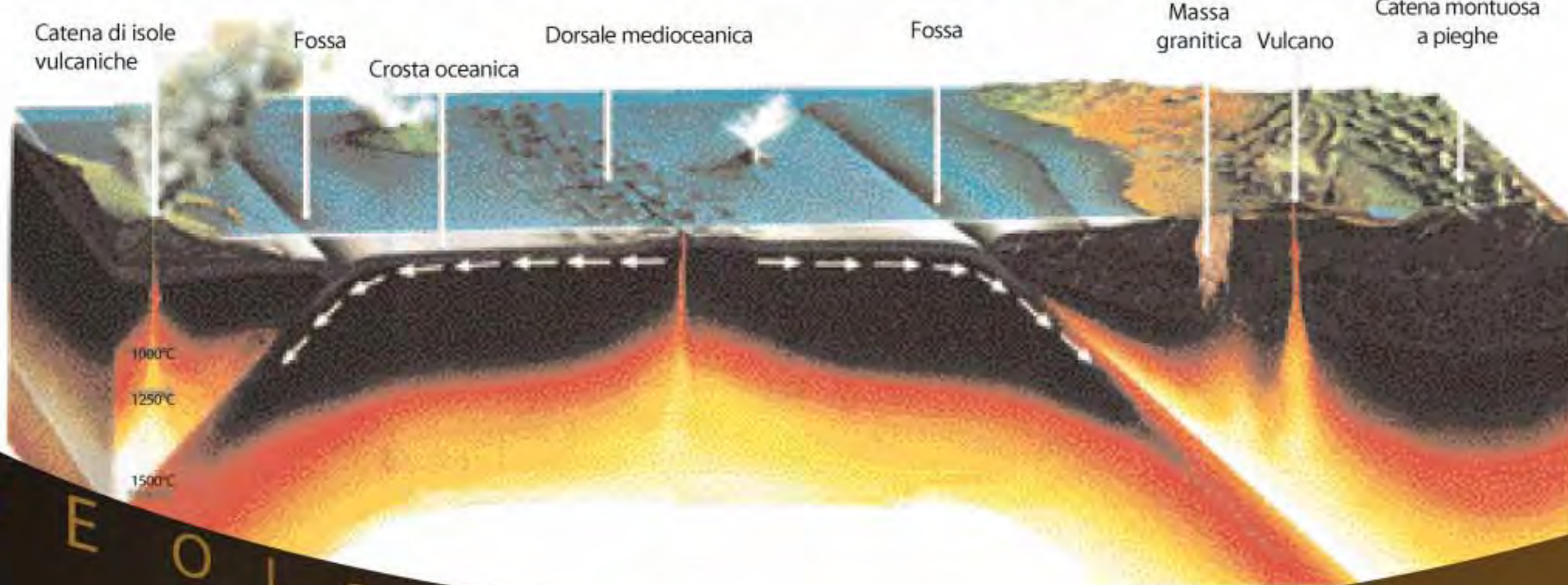
Distribuzione degli eventi sismici sul globo terrestre: strette fasce di intensa attività separano vaste zone di relativa calma

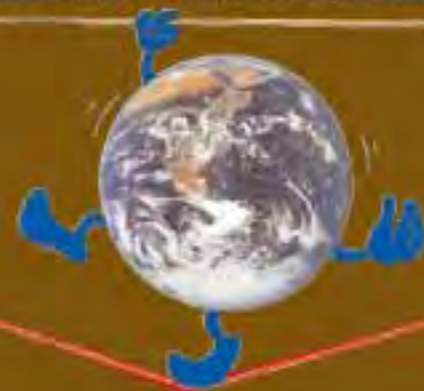
La superficie terrestre è dunque in movimento, in continua evoluzione, si rinnova continuamente:

nuovo materiale è portato in superficie dall'interno del pianeta, altro materiale è subdotto e consumato c'è una vitalità della Terra che ha i suoi tempi, diversi dai nostri riferimenti temporali: tempi lunghissimi indispensabili per permettere al pianeta di diventare quello che è attualmente, con tutto il suo carico di particolarità (clima, atmosfera, acqua, biodiversità, evoluzione).

consuozion
(nascon
caten
montuose
vulcaniche)

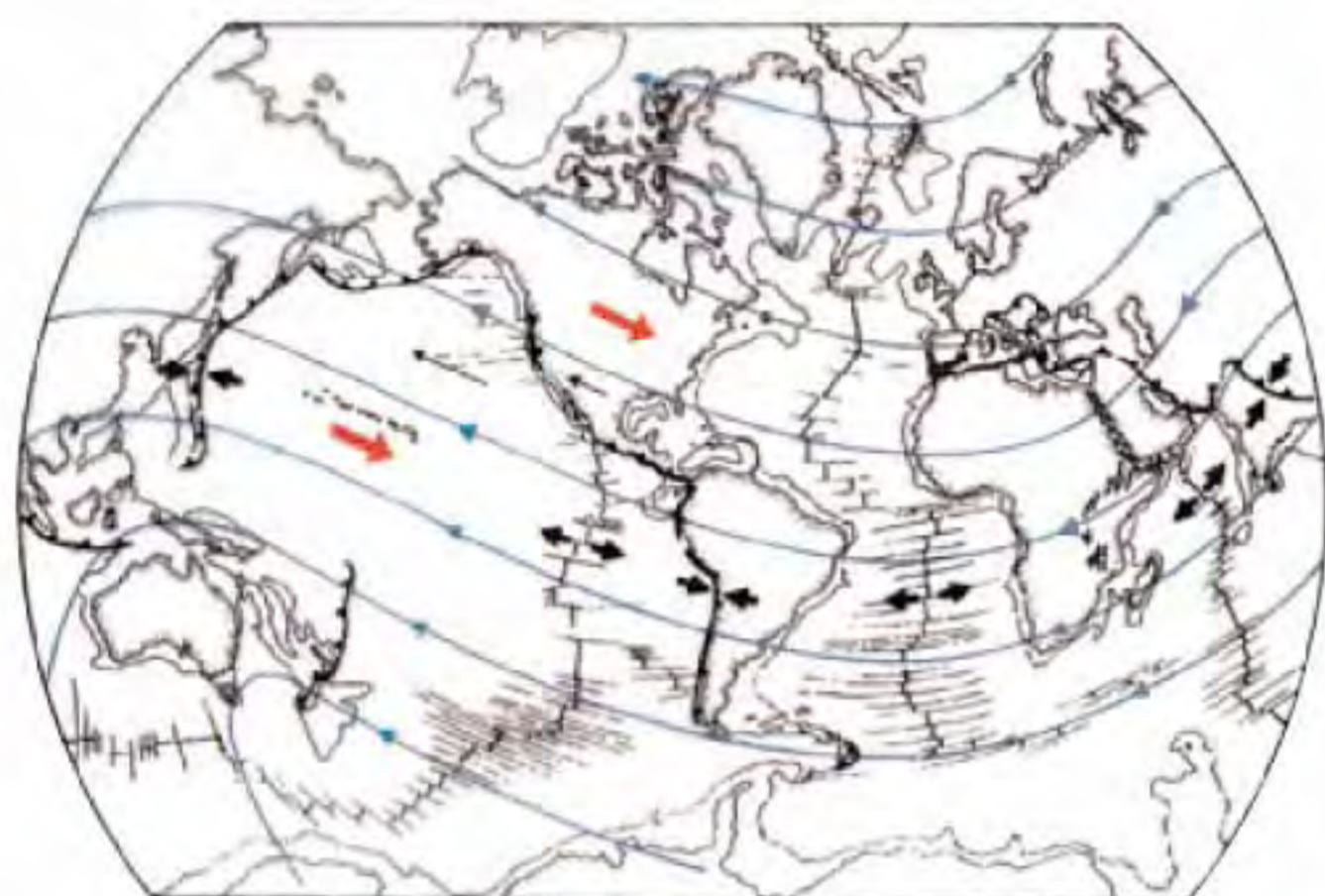
LA FORZA SOTTO LA CROSTA TERRESTRE





Perché si muove?

La tettonica a placche è una teoria ormai consolidata, ma per molti aspetti non è ancora chiaro il meccanismo che la governa; di solito vengono invocate come causa le "celle convettive".



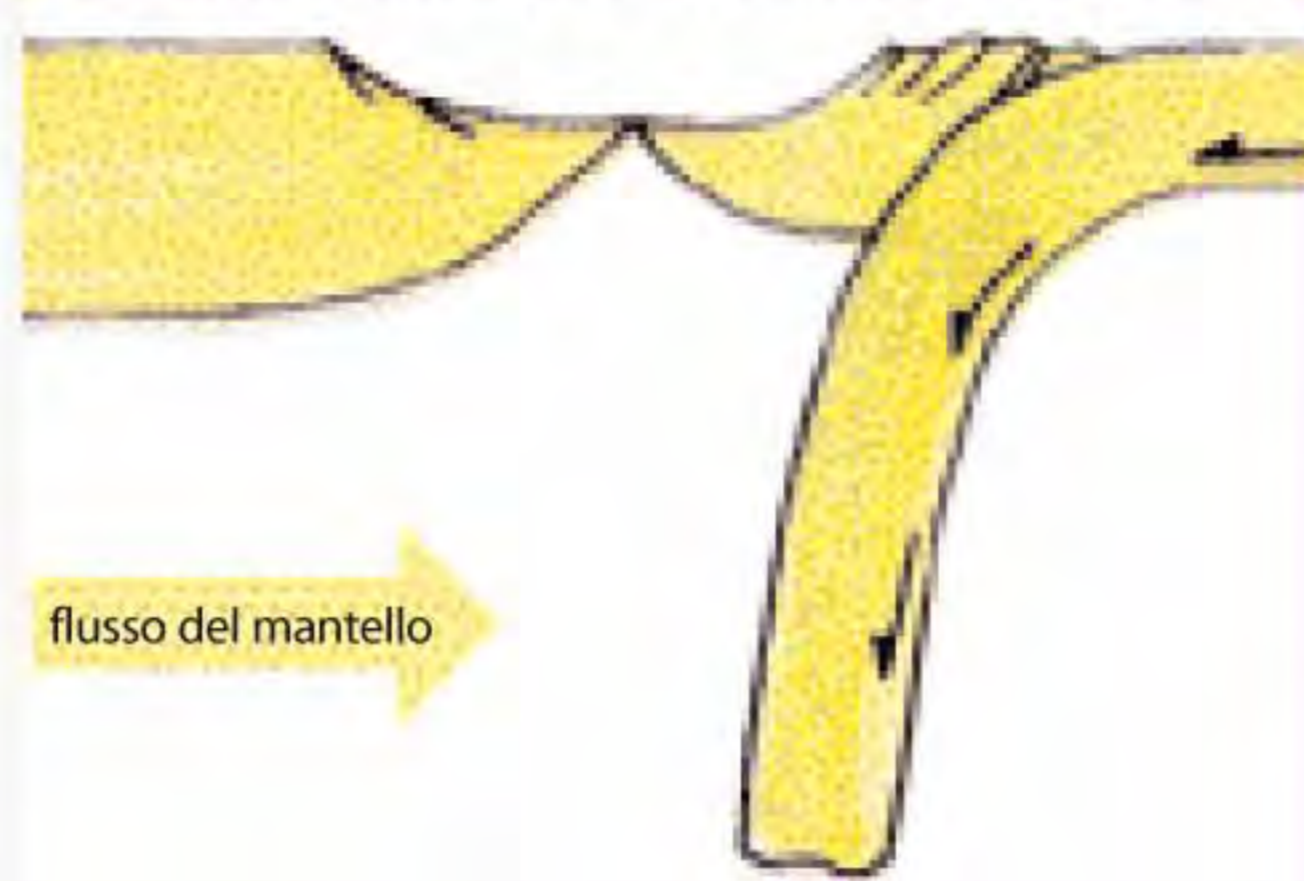
C. Doglioni nel 1990 propone, per la prima volta, una serie di osservazioni che permettono un approfondimento sul tema del 'motore' della tettonica. Grazie ai satelliti e agli studi di geofisica e geologia strutturale, sappiamo con precisione quanto e come si muovono e si sono mosse in passato tutte le placche: direzione ed entità dei movimenti sono ricavabili dalle zone di estensione o di compressione e rappresentabili con dei 'vettori di movimento'.

Correlando le direzioni del moto di tutte le placche conosciute appare evidente che vi è una regola nel movimento della litosfera rispetto al mantello e che i vari frammenti descrivono un flusso generale mediamente est-ovest ma con una ondulazione globale chiaramente visibile.

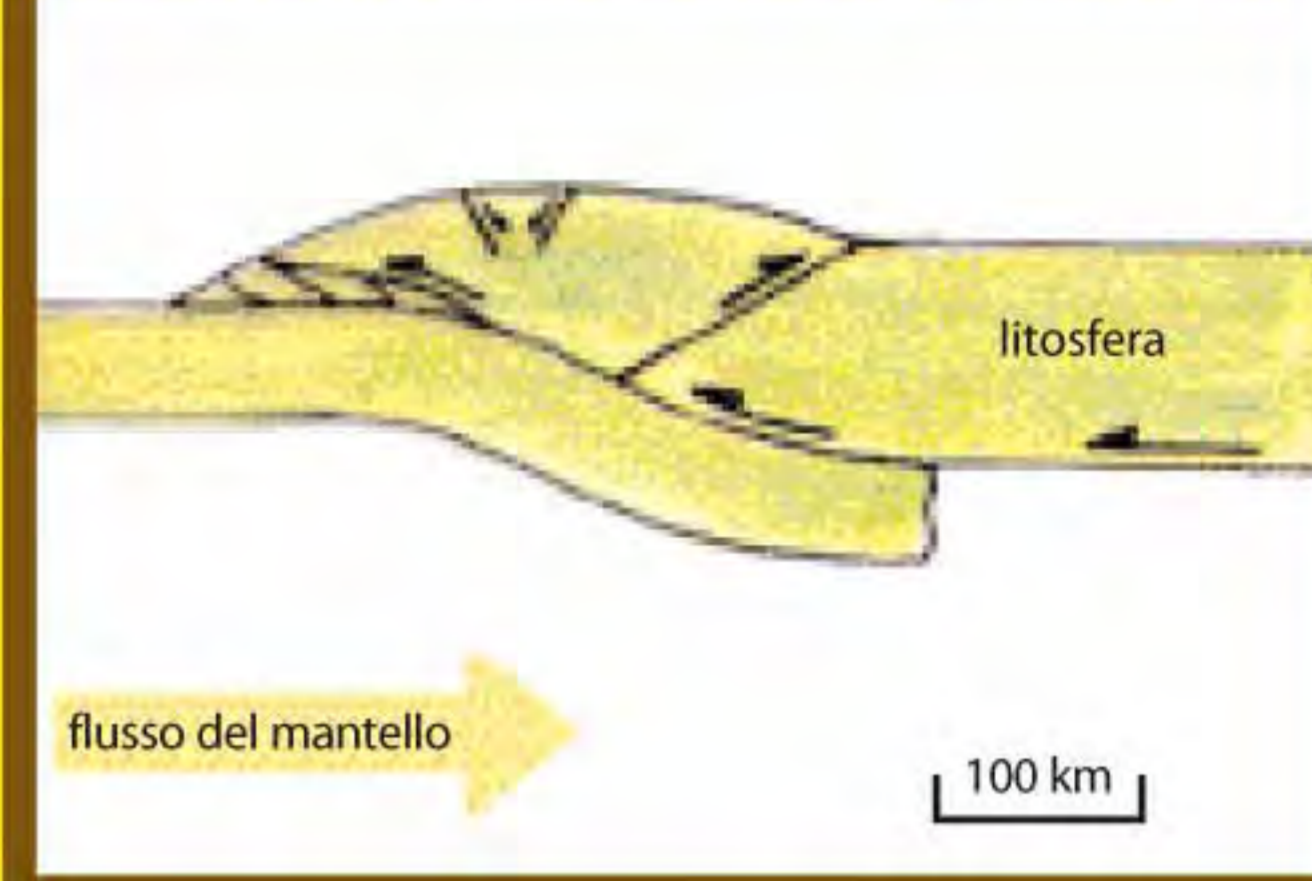
«Le placche non si muovono quindi a caso»

Anche queste osservazioni permettono di riconoscere quindi una logica unitaria di tutti i movimenti. C'è un ulteriore importante fattore da considerare: la forte differenza di caratteristiche della crosta superficiale (litosfera) rispetto al mantello (astenosfera); questo permette di registrare una 'deriva' in senso orario (verso ovest) della Litosfera rispetto all'Astenosfera. Cioè: esiste un movimento relativo verso est del mantello sotto la crosta.

subduzione verso ovest

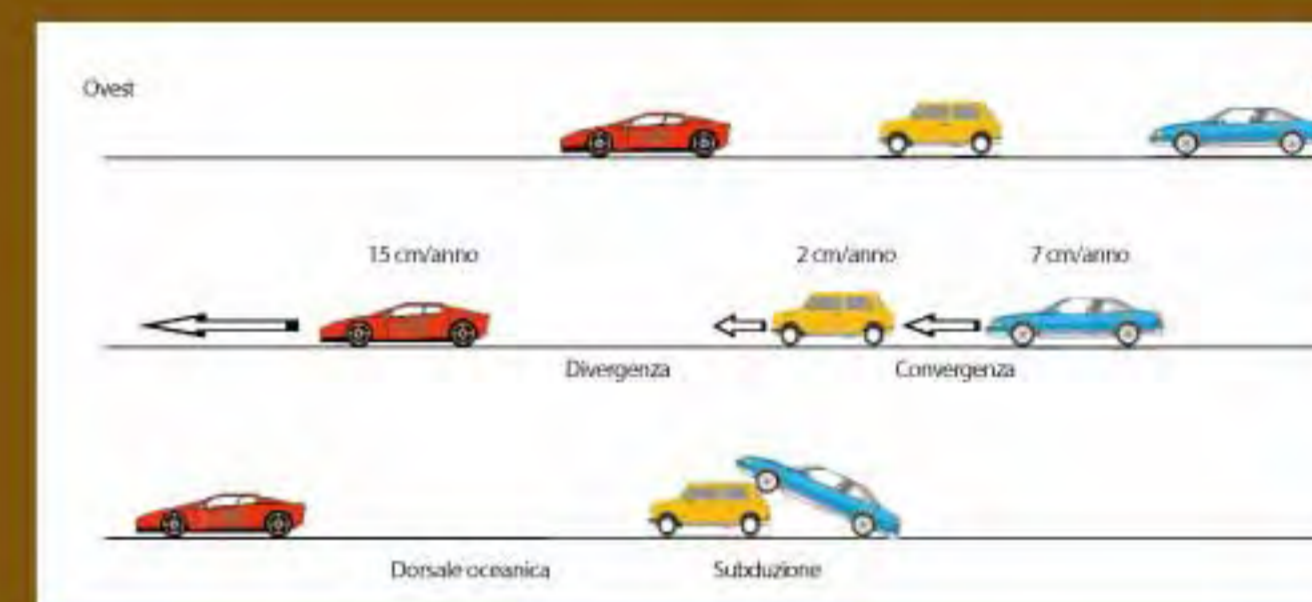


subduzione verso est



E' inoltre semplice osservare la regolarità di altri fenomeni :

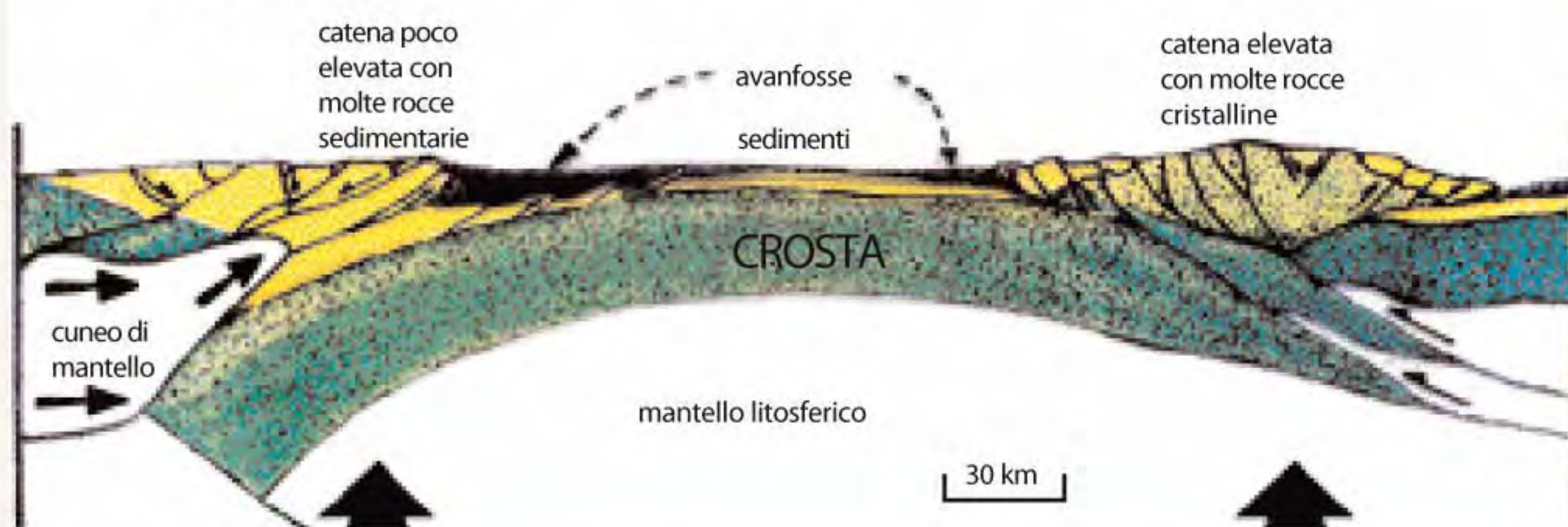
- la subduzione di una placca sotto un'altra avviene in modo diverso se il movimento relativo è verso ovest (piano di subduzione più inclinato) o verso est (piano molto meno inclinato)
- analogamente l'altezza delle catene montuose collegate agli scontri fra le placche è diversa: nella compressione verso ovest le catene montuose sono più basse e con un minor numero di elementi 'profondi' rispetto a compressioni verso est.



È COSÌ « CHE CRESCONO » LE MONTAGNE

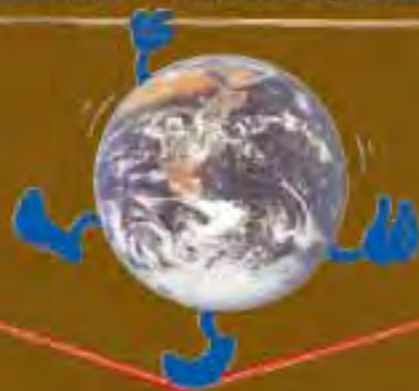
Barbados-Marianne
Giappone-Appennini

Ande-Himalaia
Zagros-Alpi



Questo, fra l'altro, spiega le differenze dei fenomeni tettonici a seconda della loro orientazione. Esistono altre evidenze interessanti; per esempio la velocità delle placche, che aumenta regolarmente dalle zone polari a quelle equatoriali. Considerando la regolarità del flusso di movimento delle placche e i succitati punti di base, legati alla direzione di rotazione della Terra, pare difficile credere che gli effetti astronomici non siano un fattore determinante nella tettonica a placche.

Secondo alcune teorie le diverse e cicliche oscillazioni dell'asse terrestre potrebbero condizionare direttamente questi flussi e le loro ondulazioni. Viscosità e disomogeneità dell'insieme crosta-mantello unitamente alle continue variazioni di inclinazione dell'asse potrebbero portare a questa ondulazione globale delle linee di flusso (che invece in sistemi molto meno viscosi, come nei pianeti Giove e Saturno sono paralleli).



Perché l'acqua è rimasta liquida

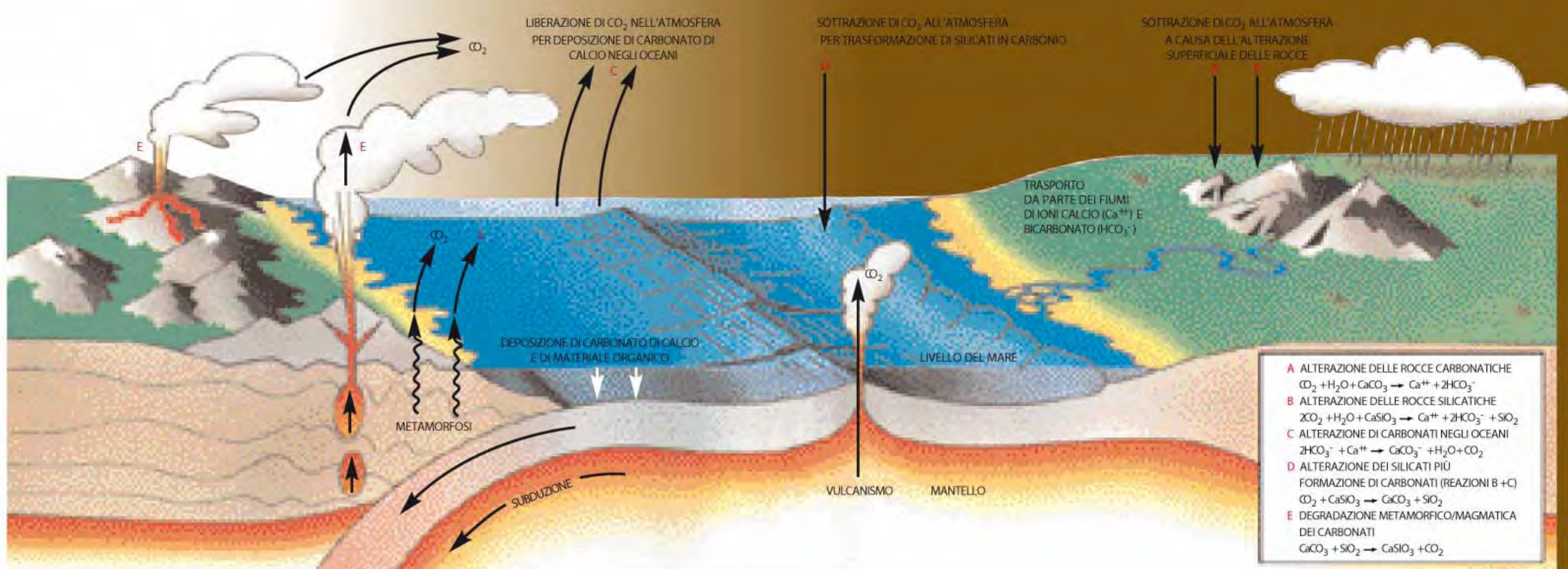
Acqua, anidride carbonica e tettonica a placche

L'acqua è un elemento indispensabile per la vita del nostro pianeta: ma deve rimanere allo stato liquido!

Cosa ha permesso all'acqua di conservarsi allo stato liquido fino a oggi?

DETERMINANTE È IL MANTENIMENTO DI UN CAMPO DI TEMPERATURA COMPATIBILE CON LO STATO LIQUIDO DELL'ACQUA (FRA 0°C E 100°C). PER MANTENERE LE VARIAZIONI DI TEMPERATURA IN TALE INTERVALLO DI VALORI È DETERMINANTE LA QUANTITÀ DI ANIDRIDE CARBONICA (CO₂) PRESENTE NELL'ATMOSFERA, anche se rappresenta solo lo 0,035% della sua composizione totale.

La CO₂ viene immessa nell'atmosfera, per circa il 20%, mediante le reazioni di combustione e, per il restante 80%, mediante reazioni legate al cosiddetto ciclo geochimico del carbonio.



Il ciclo geochimico del carbonio regola il trasferimento del carbonio tra la crosta, l'oceano e l'atmosfera. L'anidride carbonica, presente nel suolo, reagisce con l'acqua producendo acido carbonico. L'acido carbonico altera i minerali carbonatici e silicatici, producendo ioni bicarbonato, ioni calcio e silice in soluzione.

Questi prodotti vengono trasportati dai fiumi fino agli oceani, dove gli organismi viventi li incorporano, combinandoli nuovamente in carbonato di calcio e liberando anidride carbonica che alla fine ritorna nell'atmosfera. Tuttavia, mentre il ciclo dei carbonati è in equilibrio (tanta CO₂ si sottrae, tanta se ne libera in atmosfera), quello dei silicati comporta un deficit di CO₂ finale: solo la metà di anidride carbonica sottratta all'atmosfera viene restituita a essa.

L'alterazione dei silicati è quindi estremamente importante, in quanto porta come risultato una diminuzione dei livelli atmosferici di CO₂. Se questo processo operasse incontrastato per un periodo di circa 10000 anni, l'alterazione dei silicati condurrebbe alla totale scomparsa dell'anidride carbonica dall'atmosfera, con conseguente diminuzione della temperatura fino al punto di congelamento dell'acqua.

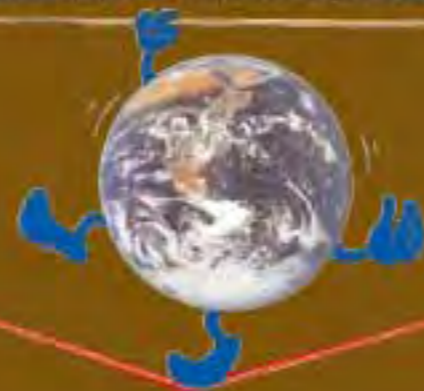
La compensazione di CO₂ avviene nelle profondità della Terra, dove il carbonato di calcio e la silice riscaldati reagiscono e danno silicato di calcio e CO₂.

La CO₂ viene emessa nell'atmosfera da eruzioni vulcaniche e sorgenti di acque minerali gassate, completando il ciclo.

I fenomeni vulcanici sono strettamente correlati alle zone di subduzione, in corrispondenza delle quali l'attività eruttiva è particolarmente intensa.

La dinamica della tettonica a placche risulta quindi fondamentale per il mantenimento dei livelli di CO₂ nell'atmosfera.

La CO₂ assicura la presenza di acqua liquida sulla Terra e permette quindi lo sviluppo della vita nelle forme che tutti conosciamo.

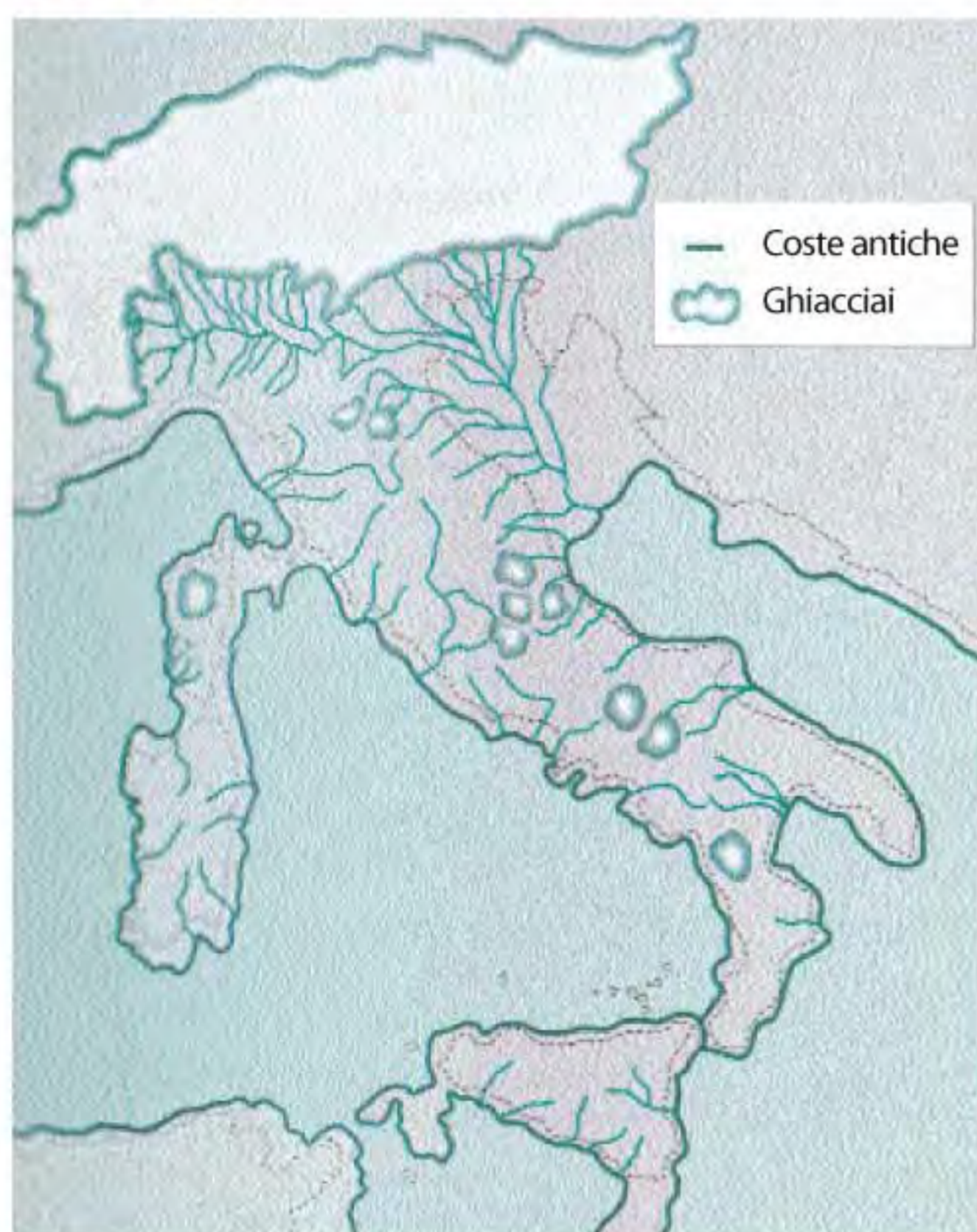


Che tempo fa?

La "carta d'identità del clima" è definita da: temperatura, pressione atmosferica, umidità dell'aria, precipitazioni, nuvolosità, grado di insolazione.



Quello che indichiamo come "clima" è dato da un equilibrio molto delicato fra moltissime variabili



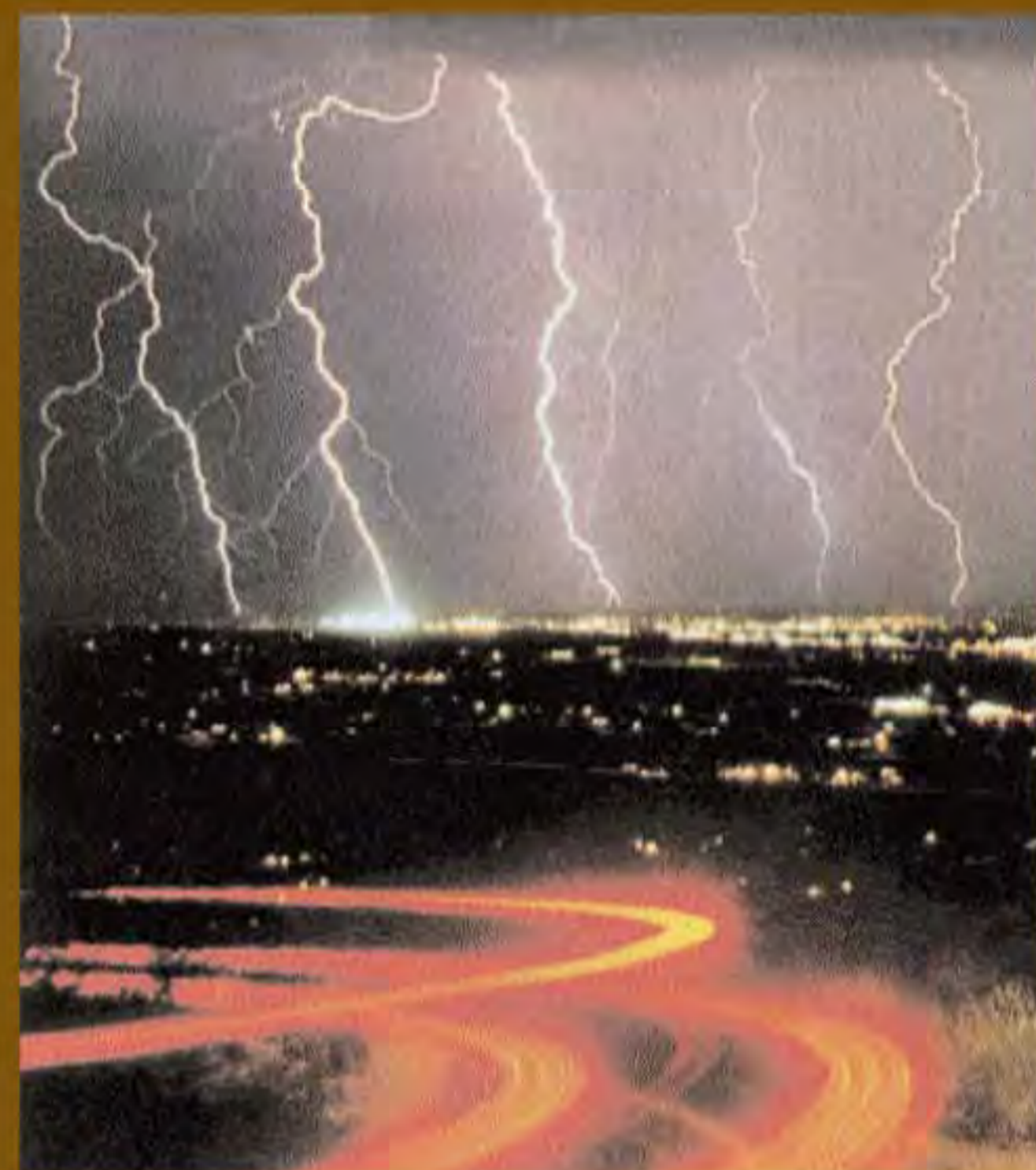
Il clima della Terra non è sempre stato come quello attuale: la geologia ci aiuta a mettere in luce evidenti tracce di diffuse glaciazioni in vari periodi passati, quando la temperatura media terrestre si è abbassata anche di 5 gradi (normalmente, da un anno all'altro, la temperatura media del pianeta varia al massimo di qualche centesimo di grado).

Nelle diverse epoche il "tipo di clima" è condizionato dalla latitudine, dalla circolazione atmosferica, dall'altitudine, dalla distribuzione di terre e mari, dalle correnti marine, dalle condizioni astronomiche, dalla vegetazione e dalle attività umane, con effetti diversi a seconda della scala temporale.

La storia del nostro pianeta ha subito moltissime modificazioni del clima; gli eventi responsabili sono diversi nelle diverse epoche

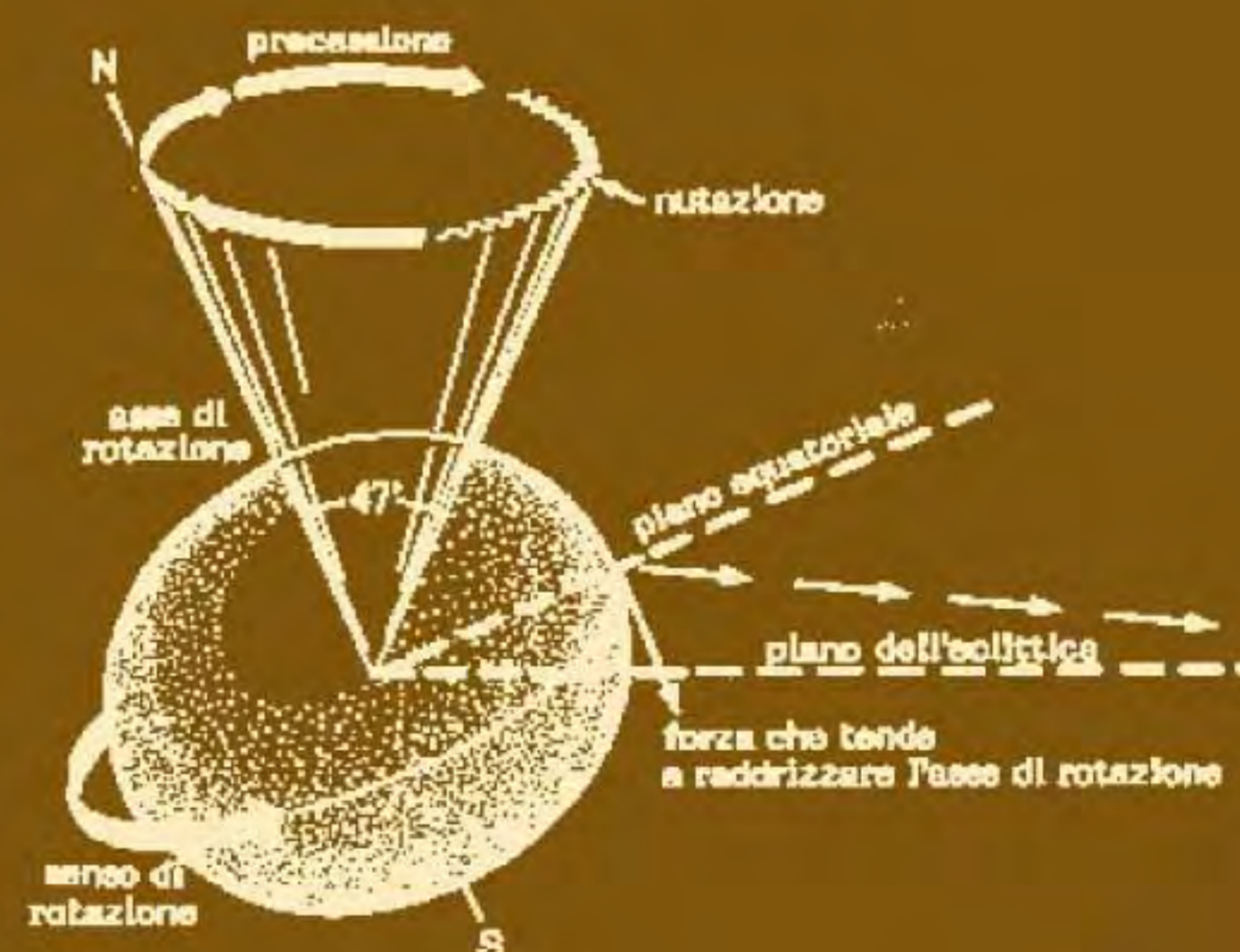
Durante le fasi glaciali (decine di migliaia di anni) la responsabilità principale di tali eventi sarebbe da imputare alle oscillazioni periodiche compiute dall'asse terrestre, che a loro volta causerebbero un minor grado di insolazione della superficie terrestre (Milankovitch).
 → Durante le ere geologiche (centinaia di milioni di anni) è proprio la dinamica del pianeta, legata alla tettonica a placche, che incide direttamente sulle generali variazioni del clima: non è un caso, per esempio, che il clima si sia decisamente raffreddato dopo che Eurasia e America del Nord hanno raggiunto la loro posizione attuale, portandosi in prossimità del circolo polare artico e mettendo così a disposizione delle nevi invernali un supporto sul quale permanere anche durante l'estate, accumulandosi e creando le distese glaciali. Analogamente, l'Antartide ha cominciato a coprirsi di ghiacci dal momento in cui, separatasi dall'America del Sud, è stata esclusa dalla circolazione di acque calde equatoriali.

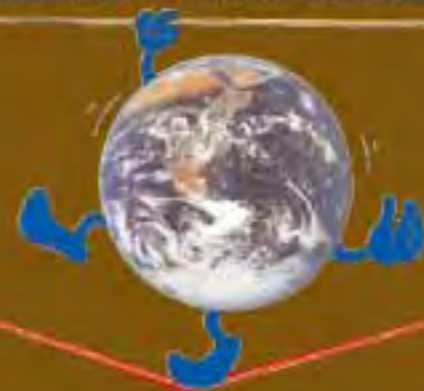
Tali abbassamenti hanno modificato sensibilmente la superficie terrestre: basti pensare che l'altezza media delle superfici marine è arrivata ad abbassarsi di circa 100 metri per effetto della cattura delle acque sotto forma di ghiaccio nelle calotte polari; nella figura è riportata la diffusione dei ghiacciai in Italia circa 20000 anni fa (in una fase climatica decisamente più fredda): è molto maggiore l'estensione dei ghiacci, ma anche quella delle terre emerse (per il ritiro dei mari).



Per considerare i rapporti fra orbita terrestre e insolazione tre sono i parametri fondamentali:

- l'obliquità (inclinazione dell'asse terrestre rispetto alla perpendicolare): varia tra $21,5^\circ$ e $24,5^\circ$ con un periodo calcolato di 41000 anni
- l'eccentricità (misura di come l'orbita di discosta da un cerchio perfetto): varia tra 0,0018 e 0,06, con un periodare completo di 400000 anni
- la direzione dell'asse (precessione mostrata nella figura in basso): in teoria varia ogni 26000 anni, in pratica se ne sono misurate una lunga 19000 e un'altra lunga 23000 anni. Milankovitch ha dimostrato lo stretto rapporto fra la successione delle fasi glaciali negli ultimi 2 milioni di anni ed i tre parametri citati.





Magma e Vita

L'atmosfera terrestre subì
più volte radicali cambiamenti:
da MISCELE DI GAS IRRESPIRABILI
PER L'UOMO fino a QUELLA ATTUALE

LA TETTONICA A PLACCHE GIOCA UN RUOLO IMPORTANTE NEL MANTENERE I LIVELLI
DI COMPOSIZIONE DELL'ATMOSFERA E LA TEMPERATURA COSTANTI E IDONEI ALLA VITA

Dall'origine a 4,5 miliardi di anni fa
(ERA ADEANA)

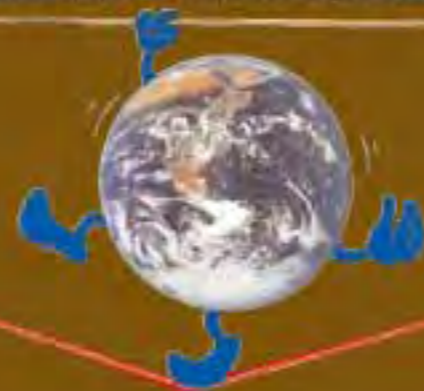
Concentrato di gas originari della nebulosa dalla quale si formò il Sistema solare: idrogeno, elio e altri gas nobili (neon, argon, kripton, xeno). Forse non arrivò nemmeno a formarsi, ma si disperse nello spazio durante il processo di accrescimento della Terra per effetto del vento solare che allontanò anche i gas pesanti come il kripton e lo xeno.

Da 4.5 a 2.5 miliardi di anni fa
(ERA ARCHEANA)

Costituita da vapore acqueo (H_2O), che iniziò a condensarsi originando gli oceani, azoto (N_2), anidride carbonica (CO_2), forse ammoniaca (NH_3), ossido di carbonio (CO) e metano (CH_4). Si formò dal degasamento di rocce fuse e continuò a essere alimentata dai numerosi vulcani attivi.

Ai primordi, la Terra aveva una temperatura media superficiale alta e il cielo era coperto: con il declinare della percentuale di metano, la nebulosità diminuì e il Sole poté illuminare la superficie.

L'atmosfera era priva di ossigeno libero (condizione riducente) per permettere che fossero sintetizzate le molecole organiche. La radiazione ultravioletta proveniente dal Sole, libera di raggiungere la superficie del pianeta, era letale per la vita sulle terre emerse; essa veniva però assorbita nei primi metri d'acqua, favorendo lo sviluppo di forme di vita in profondità. Le alghe azzurre, molto resistenti all'ultravioletto, in grado di vivere in prossimità della superficie marina e capaci di realizzare la fotosintesi, produssero una notevole quantità d'ossigeno che si diffuse nell'aria. A quel punto alcuni microrganismi poterono passare dalla fermentazione alla respirazione per ossidazione.



Divisi si vince

La ricchezza e la frequenza di specie viventi sulla Terra (BIODIVERSITA') è legata alla tettonica delle placche

Nessuno oggi può contestare l'idea che la storia della Terra e quella della vita siano legate in modo inscindibile.

L. Croizat aveva scritto che la carne e le rocce evolvono assieme.

Di fatto il modellamento della porzione superficiale della Terra ha un influsso diretto e dimostrabile sulla possibilità di evoluzione della vita; le forme di vita attuali e la loro diffusione geografica sul pianeta dipendono da quanto è successo nel passato.

Per capire il legame fra la diffusione della vita e la tettonica a placche è necessario introdurre un nuovo concetto: la speciazione. Per speciazione si intende sostanzialmente il processo attraverso il quale si giunge alla formazione di nuove specie viventi da specie già esistenti.

Questo processo avviene:

- in un tempo determinato (500 milioni di anni fa, 10000 anni fa, ieri, ..)
- in un luogo preciso (in India, alle isole Galapagos,..).



VITA BIOLOGICA E DINAMISMI GEOLOGICI SONO LEGATI A DOPPIO FILO

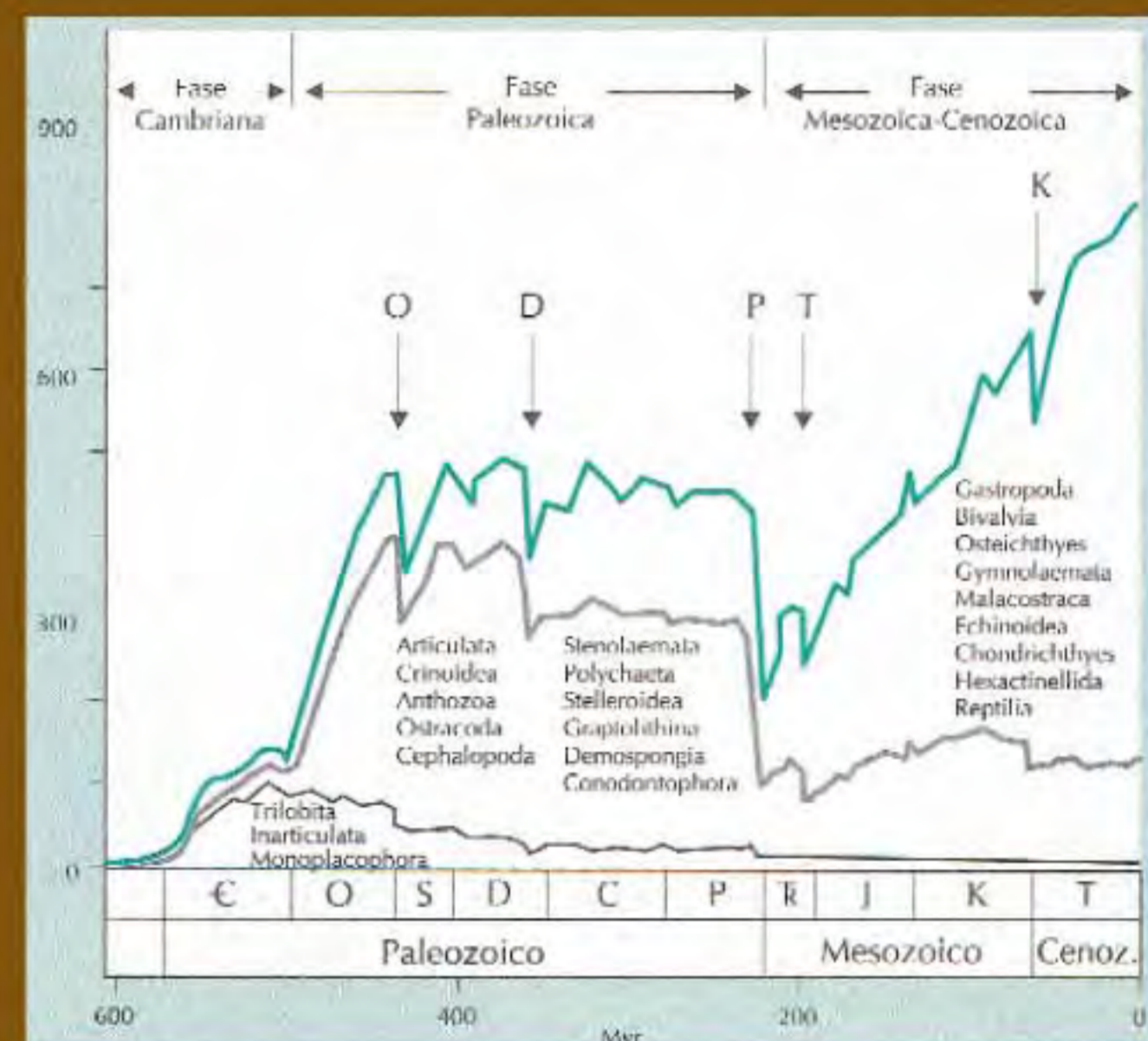


Spesso la formazione di una nuova specie avviene quando il territorio occupato dall'insieme degli individui di una certa specie viene suddiviso in due o più aree separate da una barriera (un oceano, una catena montuosa, un ghiacciaio, ..)



FORMAZIONI DI NUOVE SPECIE SONO QUINDI POSSIBILI SOLO SE SI PRESUPPONGONO MODIFICAZIONI CONTINUE ALLA SUPERFICIE TERRESTRE

Anche un verme può fornire utili indicazioni: due specie di Platelminti (piccoli vermi acquatici piatti) si sono differenziate a partire dall'apertura della Tetide; il *Procerodes littoralis* vive attualmente sulle coste di quello che fu il mar Tetide (fascia grigia); il *Procerodes lobata* invece è presente lungo le coste che appartennero all'antico oceano esterno alla Pangea (fascia verde).



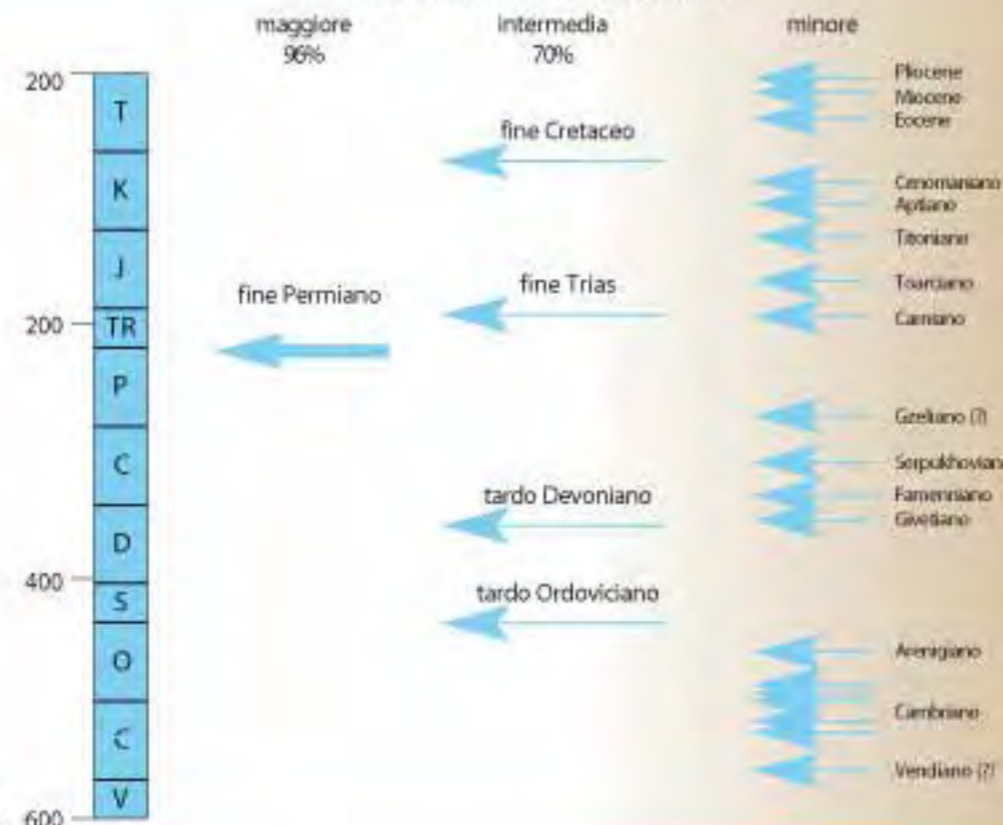
La figura rappresenta l'aumento del numero di famiglie di animali marini nel tempo (linea verde); si possono notare due periodi nei quali c'è stato un forte aumento di biodiversità:

- > L'inizio del Paleozoico
- > Il periodo compreso fra Mesozoico e Cenozoico. Tali periodi sono quelli immediatamente seguenti alle fasi di frammentazione della Pangea: la formazione di nuovi continenti favorisce lo sviluppo di nuove forme viventi.

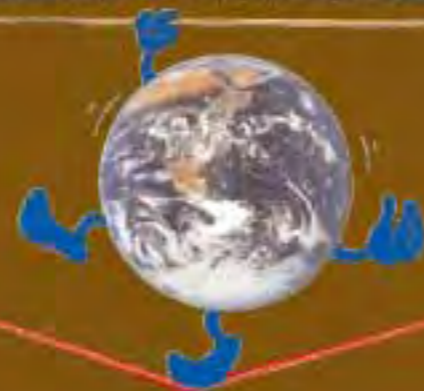


Cicli di formazione e frammentazione della Pangea

SCOMPARSA DELLE SPECIE MARINE



Le cause di estinzione e di forte crisi non sembrano legate direttamente all'evoluzione tettonica, ma a cause esterne al pianeta: di fatto comunque lo sviluppo di molteplici specie viventi grazie alla formazione di nuovi continenti aumenta le "chances" di sopravvivenza e di proseguimento della vita sulla Terra.



Perché noi sì e gli altri no?

PERCHÉ LA TETTONICA A PLACCHE NON CARATTERIZZA MARTE, VENERE O GLI ALTRI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE?

I presupposti per l'esistenza della tettonica a placche sono la presenza contemporanea di:

- sottile e solida crosta galleggiante su una regione calda, fluida e mobile;
- sorgente di calore in profondità con moti convettivi e/o movimenti relativi del mantello e della crosta a causa della rotazione;
- presenza di acqua liquida (oceani) che agisce da lubrificante e da agente indebolente per la crosta che subduce;
- regime di contrasto crosta-mantello a bassa viscosità.

TITANO

superficie fredda ricoperta da idrocarburi liquidi e un interno caldo con presenza di acqua. Vulcanicamente attivo.

Facciamo un viaggio attraverso il Sistema Solare

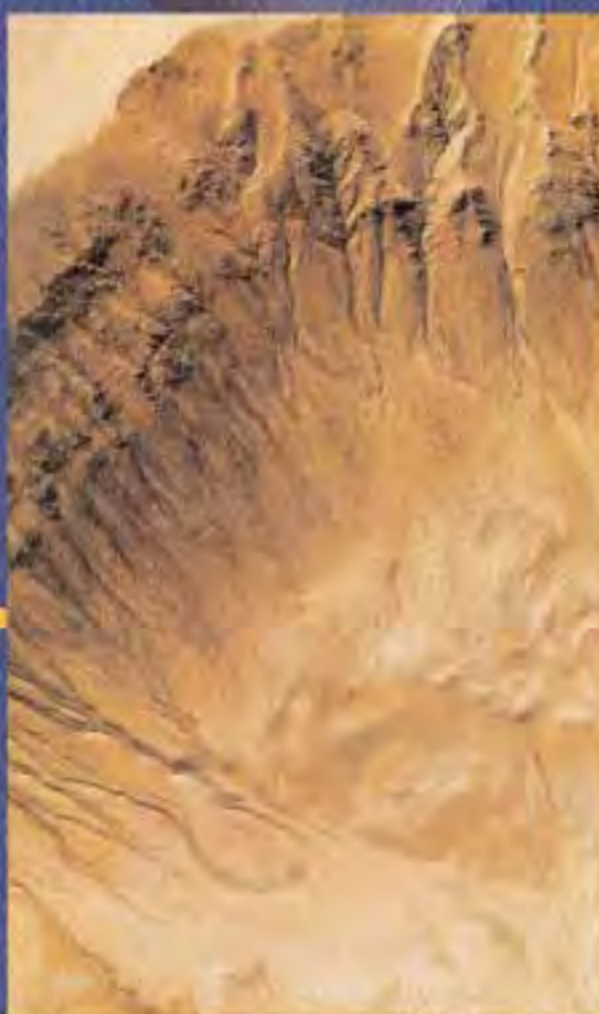
IO

caratterizzato da intensa attività vulcanica



IL PIANETA ROSSO

possiede un'atmosfera sottile e poco densa (anidride carbonica 95%, azoto 2,7%, tracce di ossigeno, cripton e xenon). Non possiede campo magnetico. È geologicamente attivo e privo di subduzione; sulla sua superficie vi sono numerosi crateri meteorici e vulcanici (Monte Olympus è il più alto). Molte caratteristiche geologiche della sua superficie testimoniano che l'acqua era presente sul pianeta.



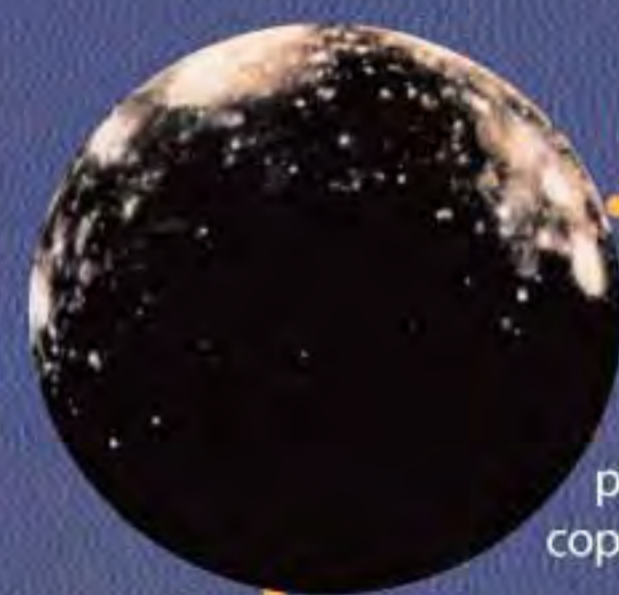
EUROPA

completamente coperto da ghiacci sotto i quali scorre acqua liquida con possibilità di batteri



CALLISTO E GANIMEDE

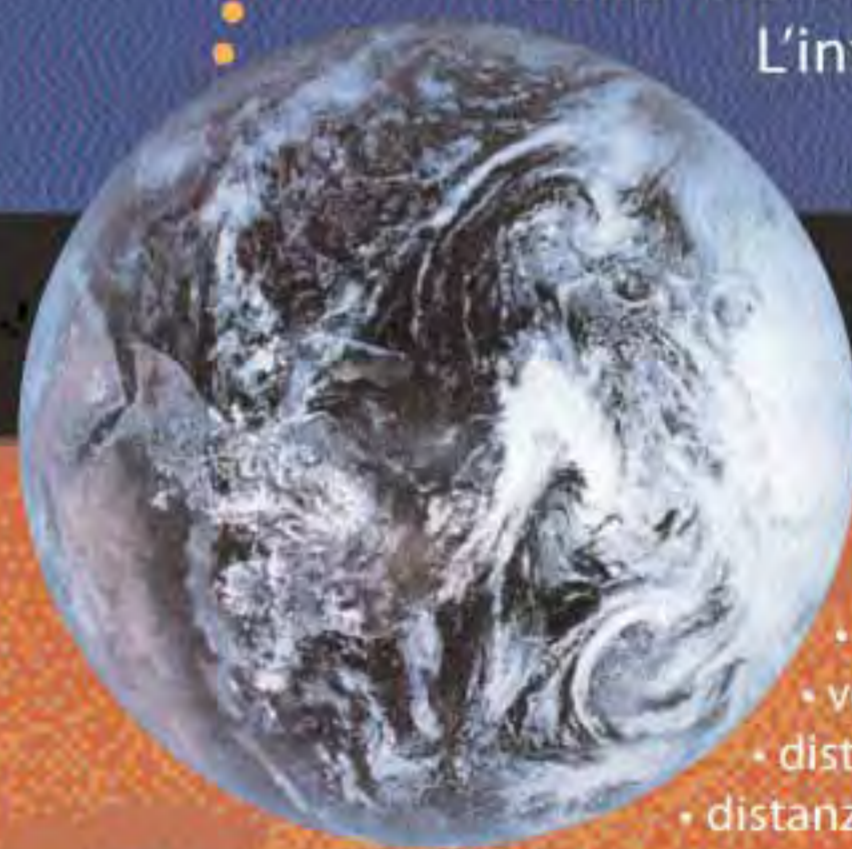
presentano una superficie coperta di ghiacci



Pianeti interni o "Terrestri"

Sono circondati da un'atmosfera densissima (anidride carbonica 96%, azoto, ossigeno, ossido di carbonio, vapore acqueo, acidi cloridrico, solforico e fluoridrico). Hanno un nucleo di ferro e nichel, un mantello di silicati fusi, una crosta di silicati costituita da un'unica zolla non interessata da subduzione.

L'intenso vulcanismo attivo è probabilmente dovuto a fratture locali della crosta del tipo "punti caldi". Sono privi di acqua liquida.



La Terra presenta delle peculiarità caratteristiche:

- inclinazione asse
- velocità di rotazione
- distanza dal Sole
- distanza Terra-Luna
- massa, gravità e campo magnetico
- variazioni climatiche e stagionali
- presenza di oceani
- presenza di catene montuose lineari
- presenza di archi vulcanici

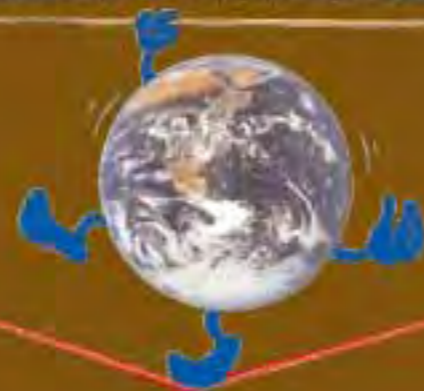
Pianeti esterni o "Gioviani"

giganteschi corpi in prevalenza gassosi e privi di una netta divisione tra superficie e atmosfera, a eccezione del più esterno (Plutone). Hanno numerosi satelliti naturali di dimensioni ragguardevoli, che potrebbero essere "culla di vita", poiché ci richiamano la condizione della Terra ai primordi.

Se una di queste caratteristiche o di quelle degli altri corpi del Sistema solare (es. distanza Luna-Terra, geometria delle orbite, ecc...) fossero state diverse, la tettonica delle placche e quindi la vita che conosciamo non sarebbero possibili.

Venere e Marte, i pianeti più simili alla Terra,

non presentano attualmente gli elementi ricordati in precedenza indispensabili alla tettonica a placche: poiché entrambi potevano avere la stessa composizione terrestre nel loro passato e disporre di acqua liquida, non si esclude che potessero essere stati interessati da tettonica a placche che cessò alla scomparsa dell'acqua. Forse è vero il contrario: Marte e Venere non hanno acqua perché la tettonica a placche è cessata o perché non è mai esistita.



...e se la tettonica a placche si fermasse?

LA TETTONICA A PLACCHE GIOCA UN RUOLO IMPORTANTE NELLA GENESI E NEL MANTENIMENTO DELLA VITA SUL PIANETA

Se si fermasse il movimento tra le placche a causa:

- della diminuzione del calore generato dal decadimento radioattivo
- dell'interruzione dei moti convettivi nel mantello
- dell'ispessimento crostale o dell'aumento di viscosità del mantello
- dell'interruzione dei fenomeni vulcanici
- della variazione delle caratteristiche fondamentali di inclinazione/rotazione del pianeta

si verificherebbe:

una drastica diminuzione della quantità di anidride carbonica nell'atmosfera, che controlla la temperatura globale del pianeta e la mantiene a livelli ottimali per la vita

la scomparsa del campo magnetico e l'esposizione della Terra alle radiazioni cosmiche e al vento solare che spazzerebbero via la sua atmosfera

...UN GLOBO COMPLETAMENTE SOMMERSO!!!

un incremento dell'erosione continentale provocata dagli agenti atmosferici, non più contrastata dal sollevamento vulcanico e orogenetico, che prenderebbe il sopravvento provocando un appiattimento delle terre emerse e un riempimento delle fosse oceaniche con conseguente innalzamento del livello del mare fino alla completa sommersione del globo

una diminuzione degli habitat attualmente presenti con conseguente riduzione della biodiversità

LA TETTONICA A PLACCHE È INDISPENSABILE PER GARANTIRE A UN PIANETA COME LA TERRA DI ASSISTERE ALL'EVOLUZIONE DI SPECIE COMPLESSE.

- ▶ ha influenzato il clima globale e diminuito l'effetto serra



- ▶ ha regolato sia l'andamento della circolazione oceanica sia lo scambio delle sostanze nutritive tra la terra e il mare a livello planetario



- ▶ ha permesso il succedersi delle glaciazioni



- ▶ ha aumentato la biodiversità incrementando il numero e il grado di separazione degli habitat e rendendo disponibili sostanze nutritive in grande quantità: la separazione dei continenti e la formazione degli oceani creano barriere che allo stesso tempo, attraverso l'isolamento geografico, riducono il flusso genetico (estinzione) e favoriscono il proliferare di nuove specie



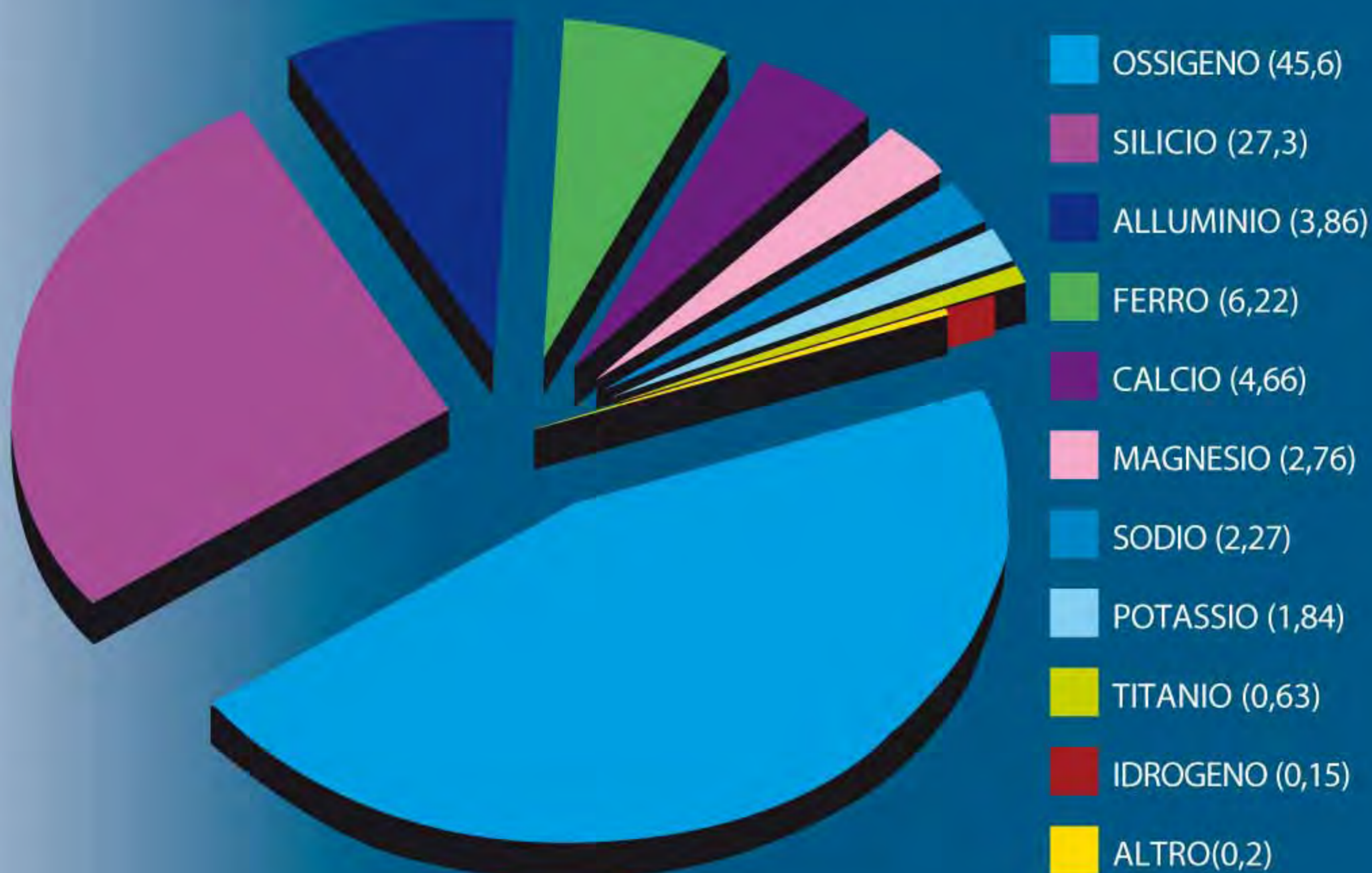
Diamo un po' i numeri

La maggior parte dell'Universo è troppo fredda o troppo calda, troppo densa o troppo vuota, troppo scura o troppo "luminosa", oppure manca della giusta composizione chimica per sostenere la vita. Al contrario la composizione chimica della nostra Terra è uno dei fattori che hanno reso possibile l'incubazione, lo sviluppo e il mantenimento della vita.

Ma di cosa è fatta la Terra ?

Silicio (Si), Magnesio (Mg) e Ferro (Fe), e Ossigeno (O) sono gli elementi dominanti che formarono il pianeta Terra. L'idrogeno (H) è un elemento molto più scarso, ma è uno dei due costituenti del fluido essenziale per la vita: l'acqua (H₂O). Altri importanti elementi presenti in tracce sono il Potassio-40 (K) l'Uranio (U), il Torio (Th) e gli altri transuranici, che con il loro decadimento radioattivo scaldano l'interno della Terra dando origine al vulcanismo e alla tettonica. Infine altri elementi assai rari sono il Fosforo (P), il Carbonio (C) e l'Azoto (N), indispensabili per la vita.

COMPOSIZIONE DELLA CROSTA TERRESTRE



In un uomo di 70 Kg, 12,6 chili sono di Carbonio, 7 di Idrogeno, 2,1 di Azoto e 0,7 di Fosforo; in 70 Kg di crosta terrestre mediamente troveremmo solo 78,4 grammi di fosforo (9 volte di meno), 12,6 grammi di carbonio (1000 volte di meno), 106 grammi di idrogeno (65 volte di meno) e 1,3 grammi di Azoto (1580 volte di meno).

Questo è un primo punto su cui riflettere: i quattro elementi (Carbonio, Idrogeno, Fosforo e Azoto) che insieme all'Ossigeno sono alla base della quasi totalità delle molecole della vita (proteine, acidi nucleici, lipidi) sono presenti in una percentuale molto piccola, però sufficiente alla vita perché disponibili in una forma accessibile.



E non solo sono accessibili, ma sono anche presenti nella giusta quantità.

Si stima che nell'Universo vi sia una percentuale di Carbonio molto maggiore e pari allo 0,03 %. Il Carbonio sarebbe metà dell'Ossigeno (0,06 %) e quattro volte più abbondante dell'Azoto (0,008 %), ma molto di più del Silicio (0,002 %), del Ferro (0,0007 %) e dell'Alluminio (0,0002 %). Un pianeta così composto sarebbe molto diverso dalla Terra, con una superficie di grafite e un interno costituito di diamanti e di carburo di silicio: un pianeta "ricco" ma assolutamente inadatto alla vita.

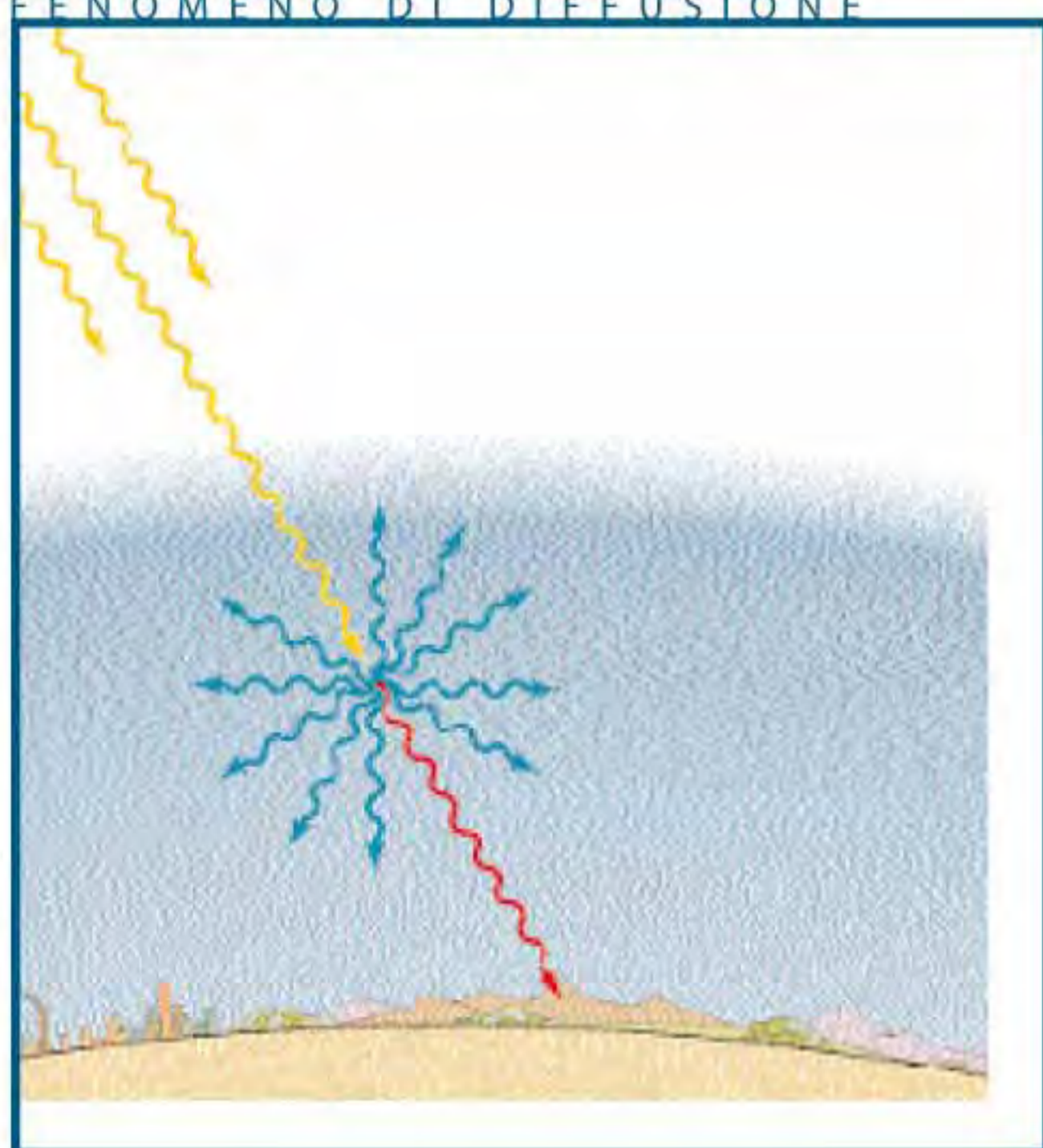
E che dire dell'acqua? Gli asteroidi della fascia tra Marte e Giove ne contengono fino al 20 % in peso mentre la Terra ne contiene solo lo 0,1 %. Se ci fosse anche solo il doppio di acqua il nostro pianeta sarebbe interamente ricoperto dagli oceani: un vero "water-world" da fantascienza!



Perché il cielo è azzurro

La luce proveniente dal Sole viene diffusa dall'alta atmosfera. Le molecole dell'aria sono abbastanza piccole da diffondere più facilmente le lunghezze d'onda blu (più piccole) rispetto alle lunghezze d'onda rosse o gialle (più grandi). La luce diffusa alle piccole lunghezze d'onda colora di blu il cielo in tutte le direzioni. Se non vi fosse questo particolare fenomeno di diffusione il cielo apparirebbe nero, e le stelle sarebbero visibili anche di giorno.

FENOMENO DI DIFFUSIONE



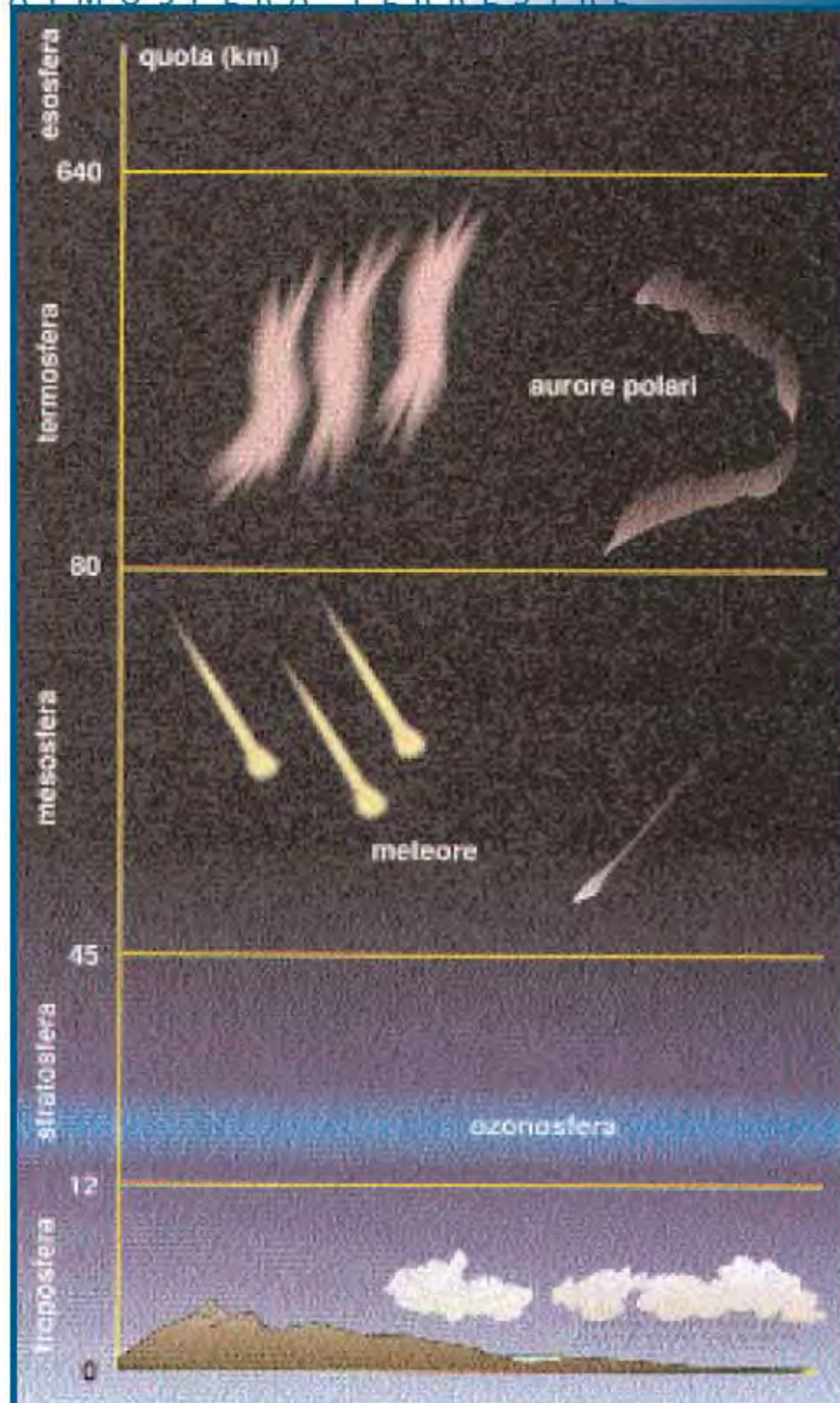
L'atmosfera terrestre è costituita da diversi strati a composizione variabile. La regione più vicina alla crosta terrestre viene chiamata "troposfera" e si estende fino a una altezza di 10 Km: poiché il più alto rilievo, il monte Everest, è più basso di questo limite, ne consegue che quasi tutto ciò che è legato all'attività umana avviene nella troposfera. Lo strato successivo, detto "stratosfera", si estende da 10 a 50 Km; nella parte bassa si svolge la maggior parte del traffico aereo e nella fascia compresa tra 15 e 30 Km si trova la maggior parte dell'Ozono.

Senza atmosfera non si sarebbe originata la vita sulla Terra e non si sarebbe mantenuta così a lungo. La composizione dell'atmosfera terrestre è infatti molto differente da quella di altri pianeti simili, dove è 100 volte più densa in CO₂ (Venere) o 100 volte meno densa in CO₂ (Marte), oppure addirittura assente (Mercurio).

Ai giorni nostri l'atmosfera è fortemente controllata dai processi biologici, tanto che a un osservatore extraterrestre la sua composizione apparirebbe come una chiara indicazione della presenza di esseri viventi: è chiaramente una miscela instabile, non in "equilibrio chimico".

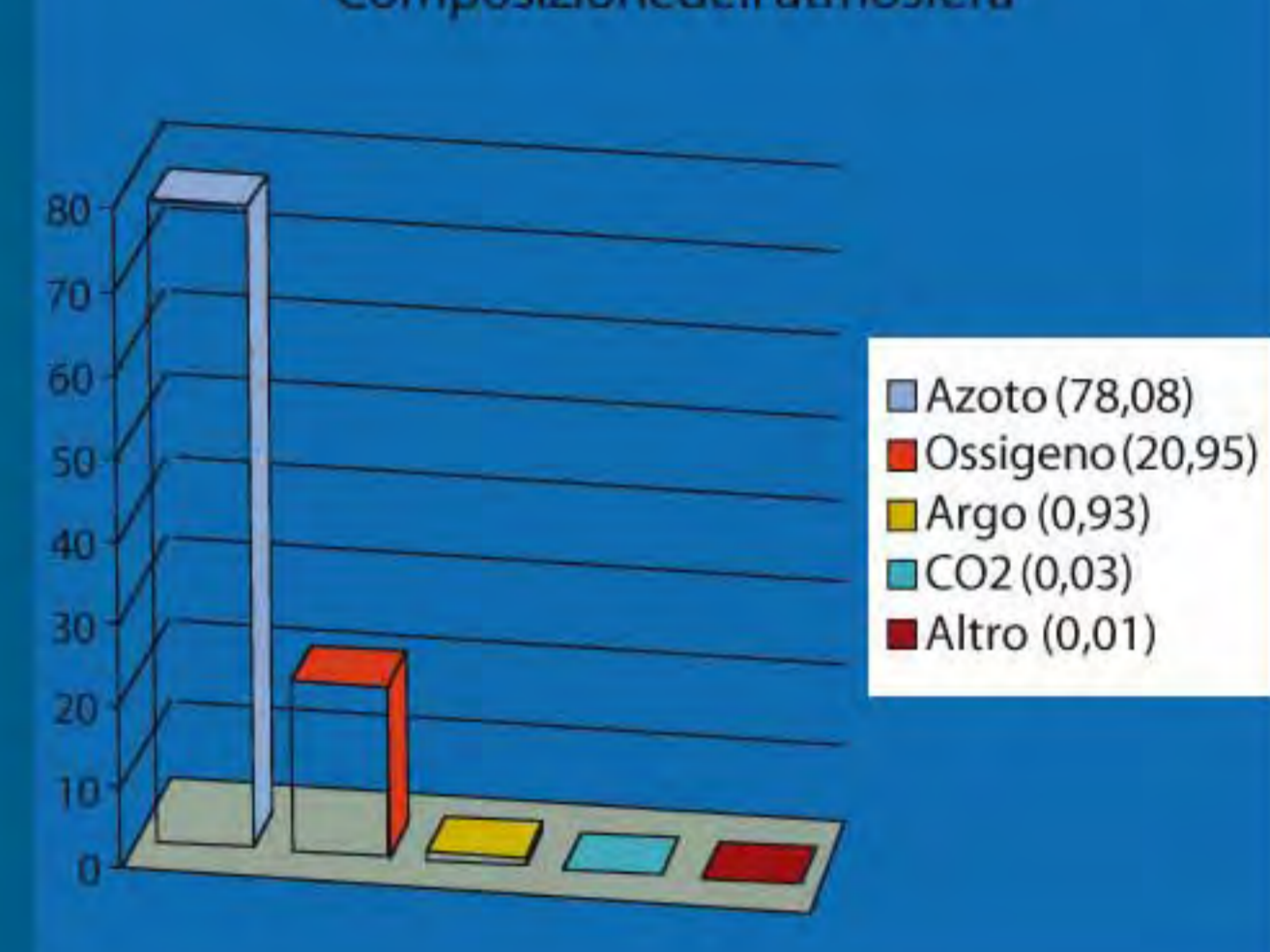
Senza vita l'Ossigeno (O₂) diminuirebbe rapidamente, in parte ossidando le rocce e mescolandosi con esse, in parte reagendo lentamente con l'Azoto (N₂) a dare in presenza di acqua - dopo una sequenza di reazioni - acido nitrico (HNO₃). Senza vita la quantità di anidride carbonica (CO₂) probabilmente aumenterebbe ottenendo alla fine una atmosfera costituita principalmente da N₂ e CO₂.

ATMOSFERA TERRESTRE

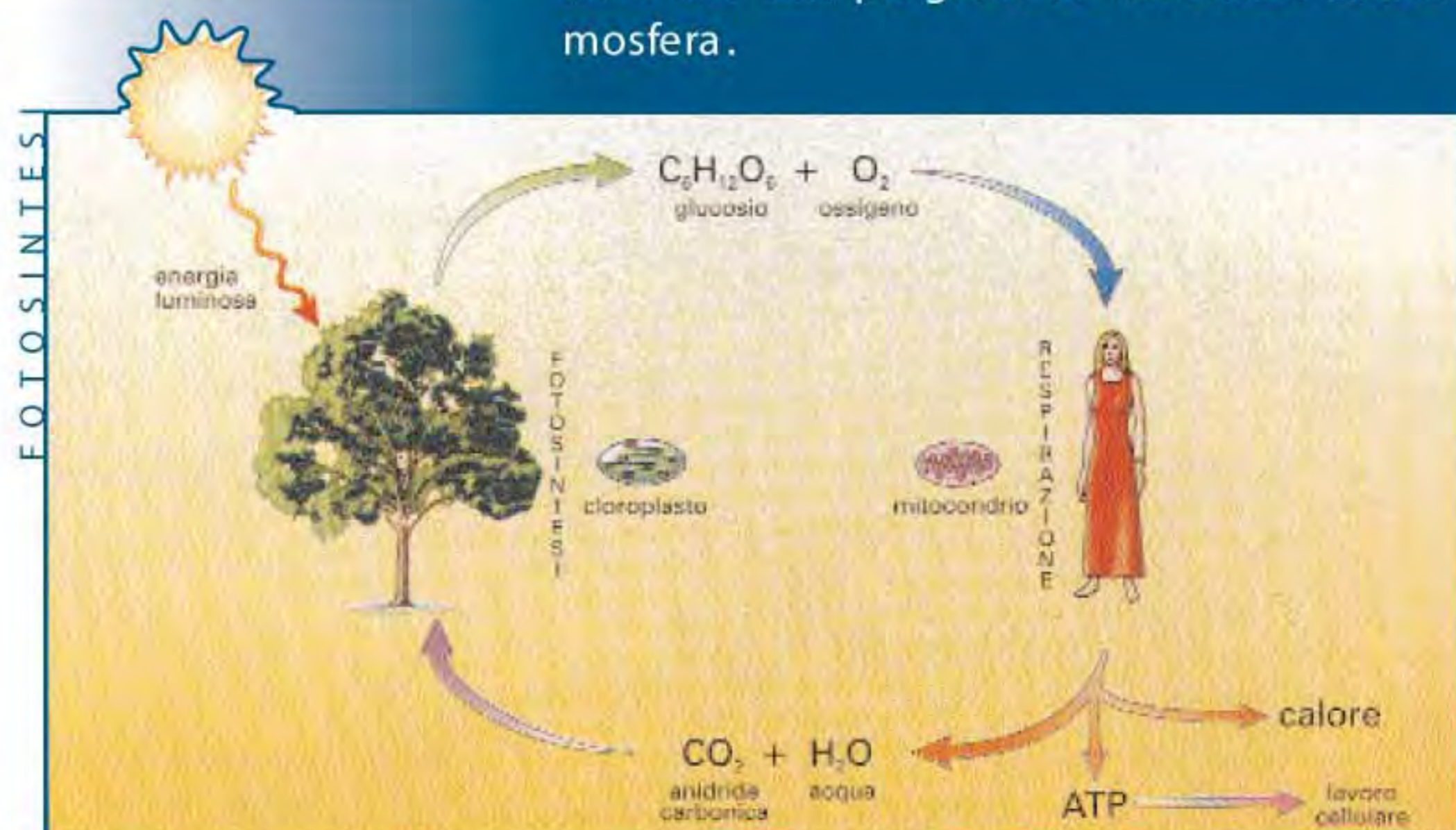


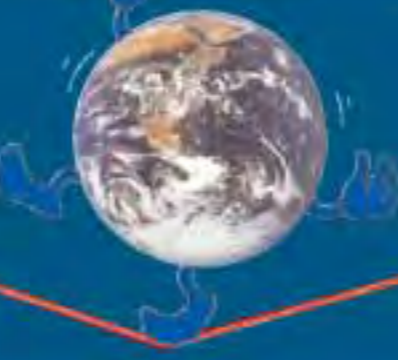
COMPOSIZIONE DELL'ATMOSFERA

Composizione dell'atmosfera



Paradossalmente l'ossigeno, a causa del suo alto potere ossidante, è potenzialmente un gas velenoso, letale per tutti gli organismi che non abbiano sviluppato protezioni contro di esso o addirittura cammini metabolici in grado di sfruttarne le proprietà. L'ossigeno atmosferico viene generato dalla fotosintesi, il processo biologico che nelle piante e in altri organismi utilizza l'energia solare per trasformare l'anidride carbonica in molecole organiche più complesse e, appunto, ossigeno. Il mantenimento del livello attuale di ossigeno richiede una sua continua produzione, in grado di bilanciare i processi che porterebbero alla sua progressiva rimozione dall'atmosfera.





Buchi e serre

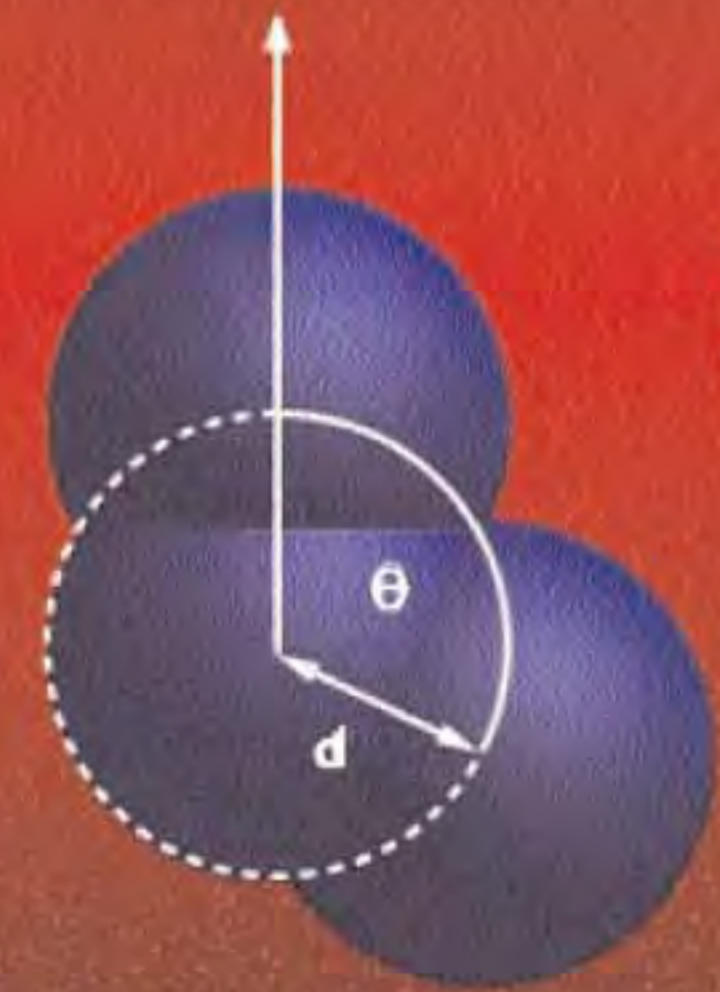
L'ozono

Alcuni dei componenti minoritari dell'atmosfera – anidride carbonica (CO_2) e ozono (O_3) in primis, ma anche metano (CH_4) e ossido nitroso (NO_2) – hanno un ruolo fondamentale nel mantenimento delle condizioni di "abitabilità" della Terra. Vediamo più in dettaglio le proprietà di due di essi: l'ozono e l'anidride carbonica.

L'ozono è un gas di colore blu chiaro la cui molecola, relativamente instabile, è formata da tre atomi di ossigeno.

Il gas ha un odore caratteristico, il nome ozono infatti deriva dalla parola greca "ozein" che significa "odorare". L'ozono della stratosfera agisce come uno scudo che protegge il pianeta dalle radiazioni ultraviolette (UV).

MOLECOLA DI OZONO



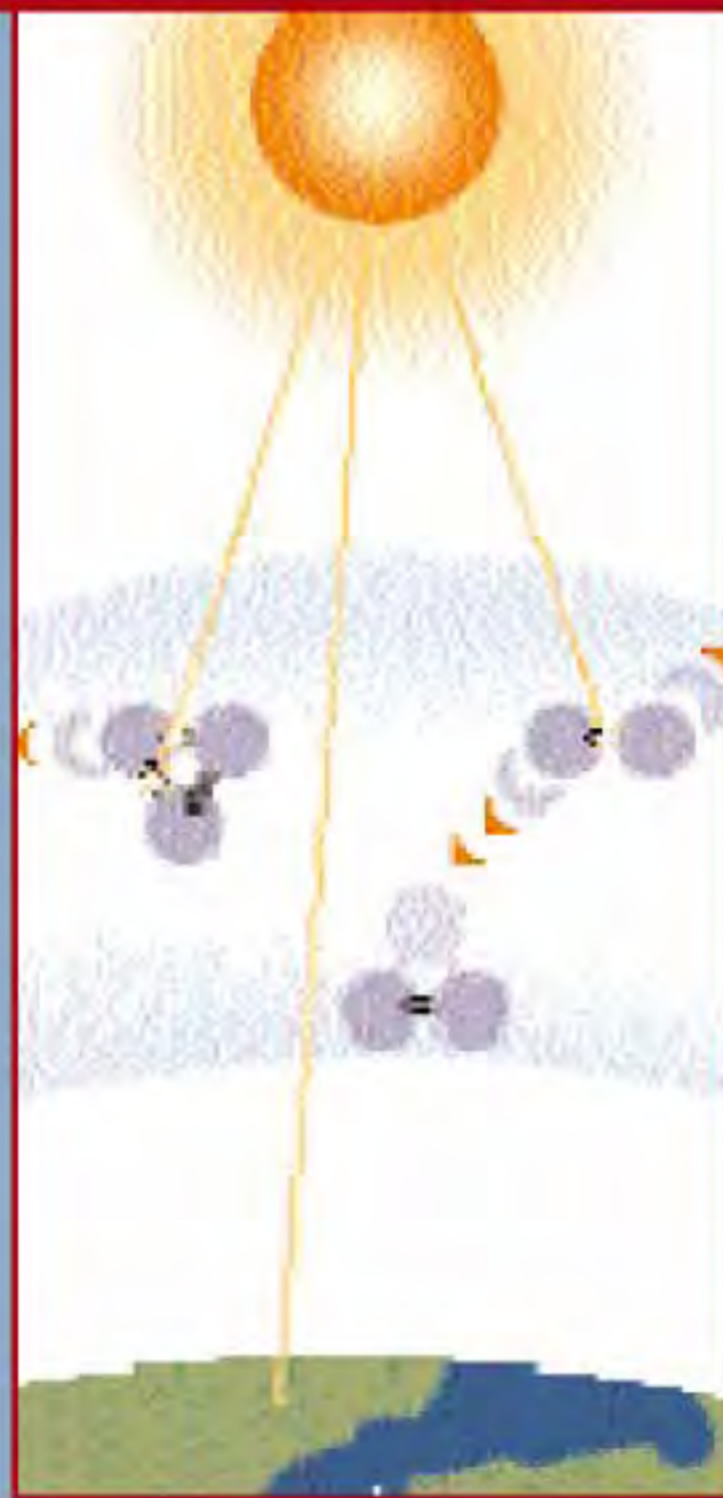
$$\theta = 116.5^\circ$$

$$d = 1.28 \text{ \AA}$$

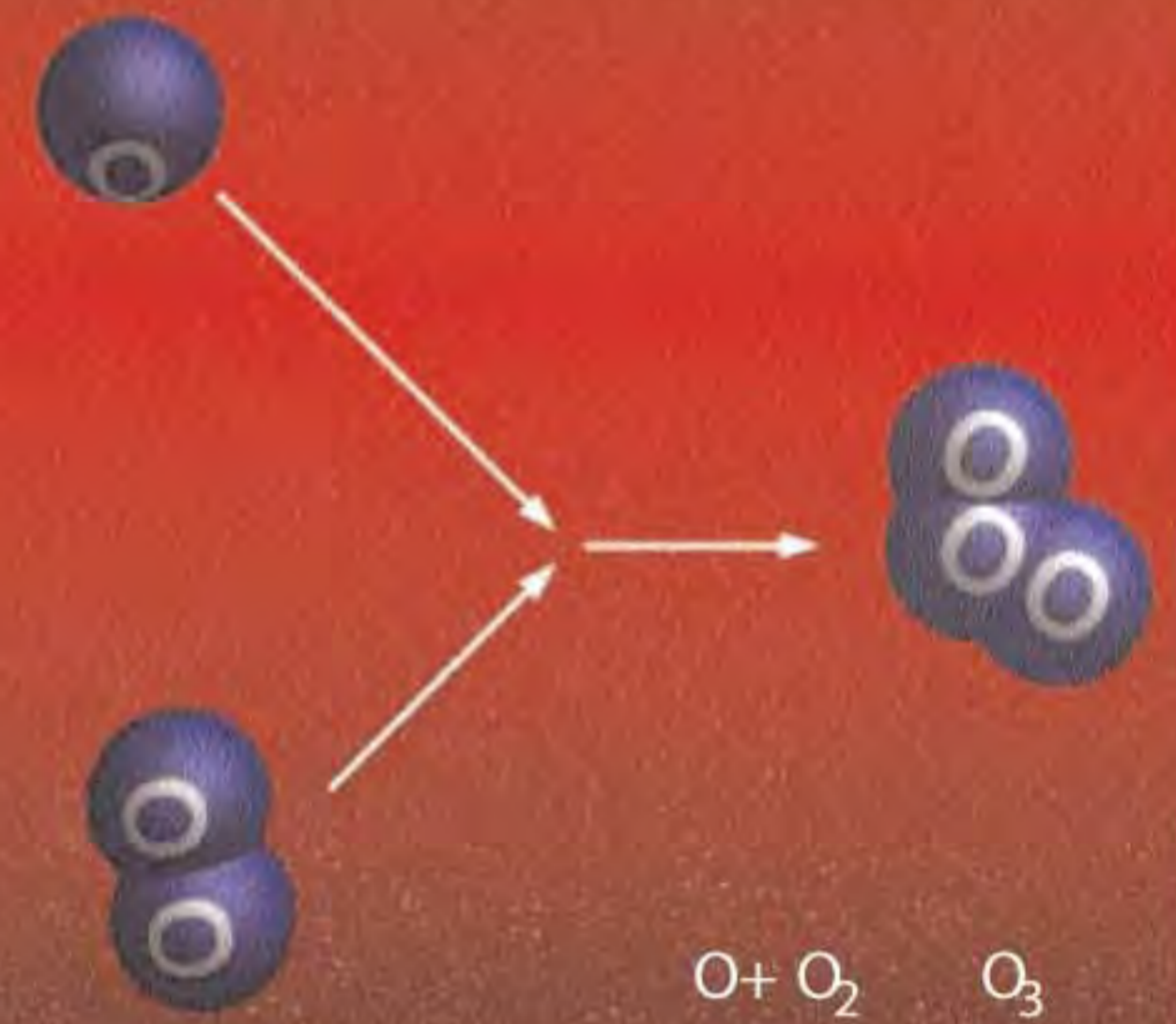
Formazione e utilità dell'ozono

Nella stratosfera alcune molecole di ossigeno assorbono energia dal Sole sotto forma di radiazioni UV e si rompono in atomi di ossigeno. Questi atomi si combinano con altre molecole di ossigeno dando origine all'ozono.

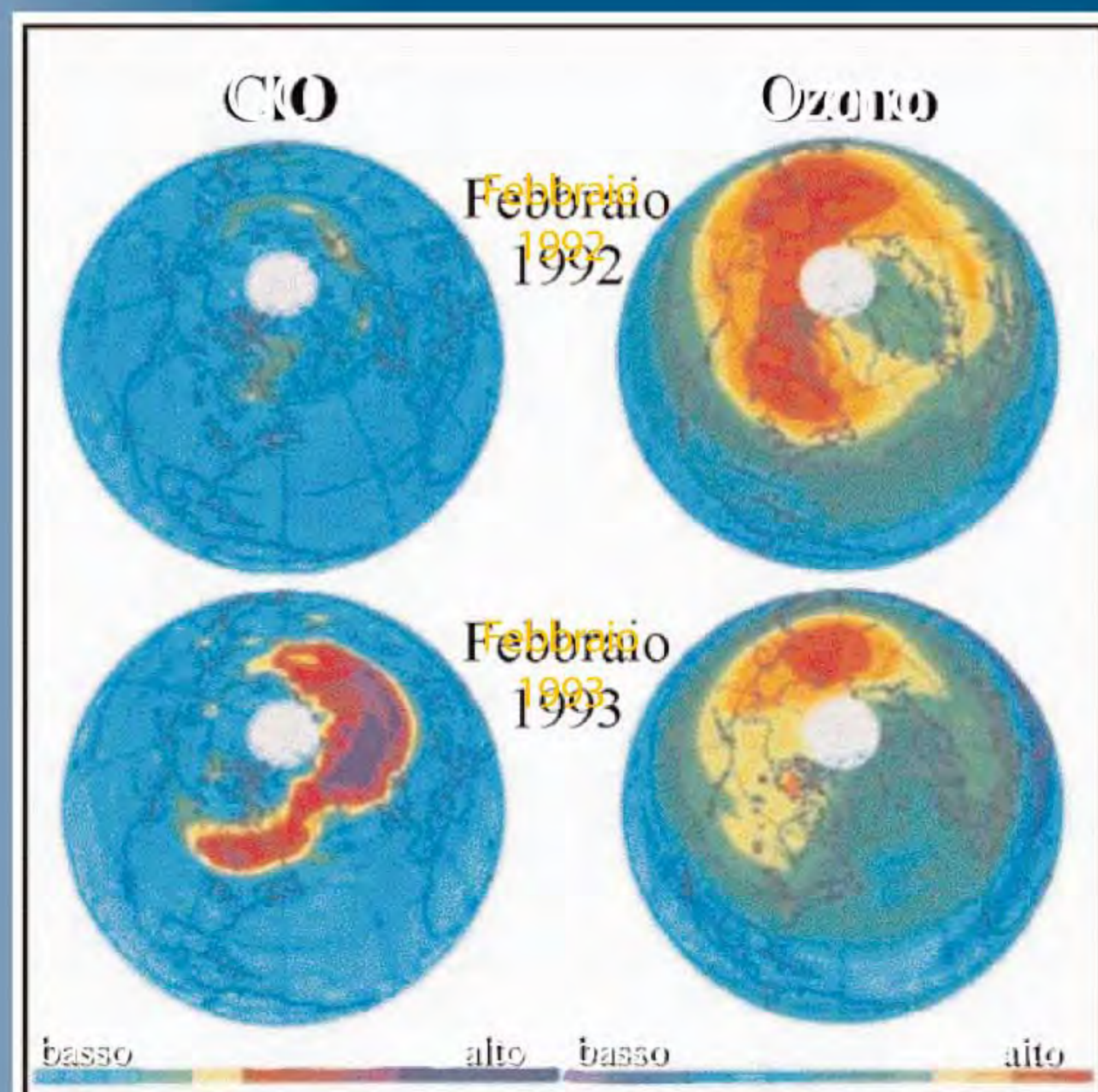
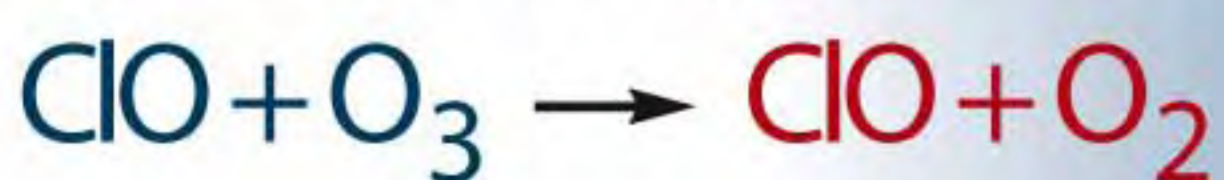
La quantità di ozono richiesto per schermare la Terra dalle radiazioni UV letali, caratterizzate da lunghezze d'onda comprese tra i 200 e i 300 nm, si ritiene si sia formato circa 600 milioni di anni fa. Prima di questa data la vita sulla Terra era limitata esclusivamente agli oceani; la presenza dell'ozono permise lo sviluppo e la sopravvivenza di organismi sulla Terra e quindi alle forme attuali di vita di esistere



FORMAZIONE DELL'OZONO



Purtroppo negli ultimi decenni il delicato equilibrio tra ossigeno e ozono è stato rotto dalla presenza nell'atmosfera di elevate quantità di composti a base di cloro e bromo sotto forma di clorofluoro carburi (CFC) e halon, composti usati dall'uomo rispettivamente come refrigeranti e come estintori; questi composti sottoposti alle radiazioni UV della stratosfera generano atomi di Cl e Br che reagiscono con l'ozono consumandolo e dando origine al cosiddetto "buco nell'ozono".



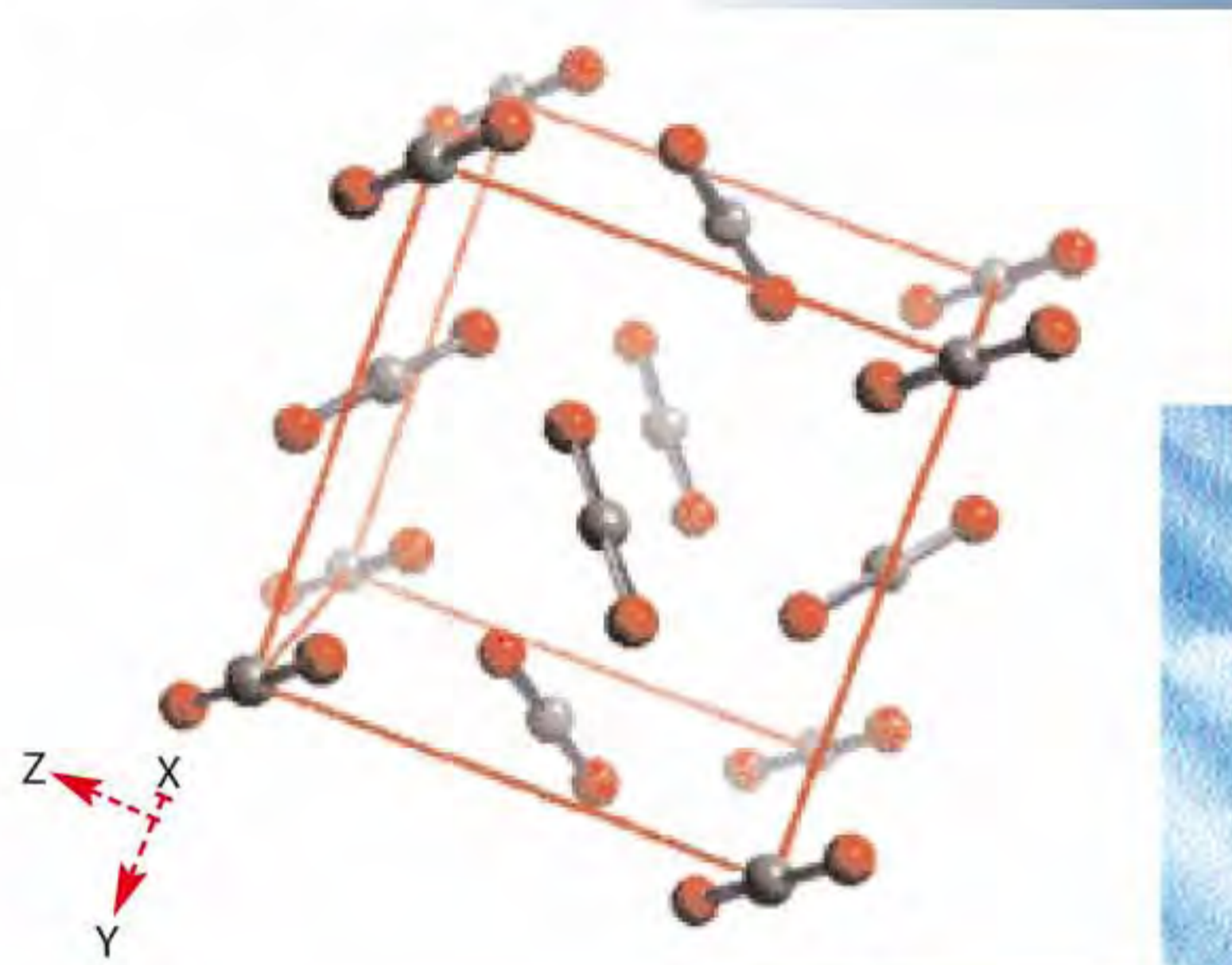


L'anidride carbonica

Il diossido di carbonio, CO_2 , detto comunemente anidride carbonica, è un gas incolore e inodore, che solidifica a -78.5°C senza liquefare. E' uno dei costituenti minori dell'aria (0,03% in volume), ed è disciolto nelle acque. Si forma in tutti i processi di combustione delle sostanze organiche, nella respirazione e in molti processi di fermentazione.

Viene consumato nella fotosintesi delle piante, nella carbonatazione delle rocce e nella costruzione dei sedimenti calcarei negli oceani.

L'anidride carbonica è uno dei principali gas responsabili dell'effetto serra.



Come funziona una serra?

I vetri di una serra sono trasparenti alla luce del Sole – lasciano entrare l'energia solare – ma intrappolano il calore.

La luce del Sole che passa attraverso i vetri della serra scalda il terreno all'interno. Il calore che viene rilasciato dal terreno scalda l'aria; il vetro trattiene l'aria calda, così la temperatura all'interno della serra aumenta.



L'EFFETTO SERRA



La vita sulla Terra dipende dall'effetto serra

Parlando di effetto serra viene subito in mente un problema ecologico di cui tanto si discute: la temperatura della Terra sarebbe in aumento, a causa dell'accumulo di certi gas nell'atmosfera. In realtà l'effetto serra "naturale" è un fenomeno senza il quale non sarebbe stato possibile l'evolversi della vita sulla Terra.

Circa la metà dell'energia solare che colpisce la Terra raggiunge la sua superficie. Il resto è in parte riflesso nello spazio e in parte è assorbito dall'atmosfera.

L'energia che raggiunge la superficie terrestre è assorbita dalle terre emerse e dagli oceani. La superficie della Terra si scalda ed emette radiazione infrarossa.

L'atmosfera contiene gas come anidride carbonica, vapor acqueo, ozono, metano, che assorbono parte del calore e lo rimandano sulla Terra.

Senza questo effetto, il calore si disperderebbe subito nello spazio e la Terra sarebbe molto più fredda (temperatura media di -18°C , invece di 15°C), come Marte, che ha un'atmosfera molto sottile, con un debole effetto serra.





Il Carbonio: la base chimica della vita

Tutti gli esseri viventi, dalla più piccola cellula al più grande mammifero, sono estremamente complessi. Pensiamo all'uomo: ogni giorno, nel nostro organismo, avvengono miliardi di reazioni chimiche e tutte sono perfettamente regolate in vista della sopravvivenza dell'organismo stesso.

La spiegazione delle straordinarie caratteristiche che posseggono le strutture interne dei viventi risiede nelle proprietà degli atomi e delle molecole che li compongono.

È il carbonio l'elemento che rende possibile la vita sulla Terra.

Carta di identità	
NOME	Carbonio
SIMBOLO CHIMICO	C
NUMERO ATOMICO	6
PESO ATOMICO	12,011 Dalton
PUNTO DI FUSIONE	3727 ...C
PUNTO DI EBOLLIZIONE	4627 ...C
ELETTRONEGATIVITÀ	2,5
DENSITÀ	2,23 g/cm ³
STATI DI OSSIDAZIONE	Da -4 a +4
CONFIGURAZIONE ELETTRONICA	1s ² 2s ² 2p ²
RAGGIO ATOMICO	0,91 x 10 ⁻¹⁰ m
ENERGIA DI IONIZZAZIONE	11,26 eV

Il silicio, che è simile al carbonio nella sua capacità di fare legami, non sarebbe in grado di formare strutture di conformazione ugualmente stabile. A causa delle sue più elevate dimensioni, infatti, questo elemento preferisce legarsi con l'ossigeno piuttosto che con se stesso: dà quindi luogo a strutture tridimensionali (silicati) o a lunghe catene Si-O-Si (siliconi), che sono però rispettivamente troppo rigide e troppo flessibili per poter intervenire nei processi biochimici dei viventi. Dei 114 elementi conosciuti a tutt'oggi, il carbonio è l'unico che possiede le dimensioni giuste per dare luogo a una grande varietà di legami chimici stabili con se stesso, con l'ossigeno, l'azoto, il fosforo e l'idrogeno. È quindi in grado di formare quelle "impalcature molecolari" che costituiscono la struttura più intima (primaria, nel linguaggio degli scienziati) delle sostanze su cui la vita stessa si basa.

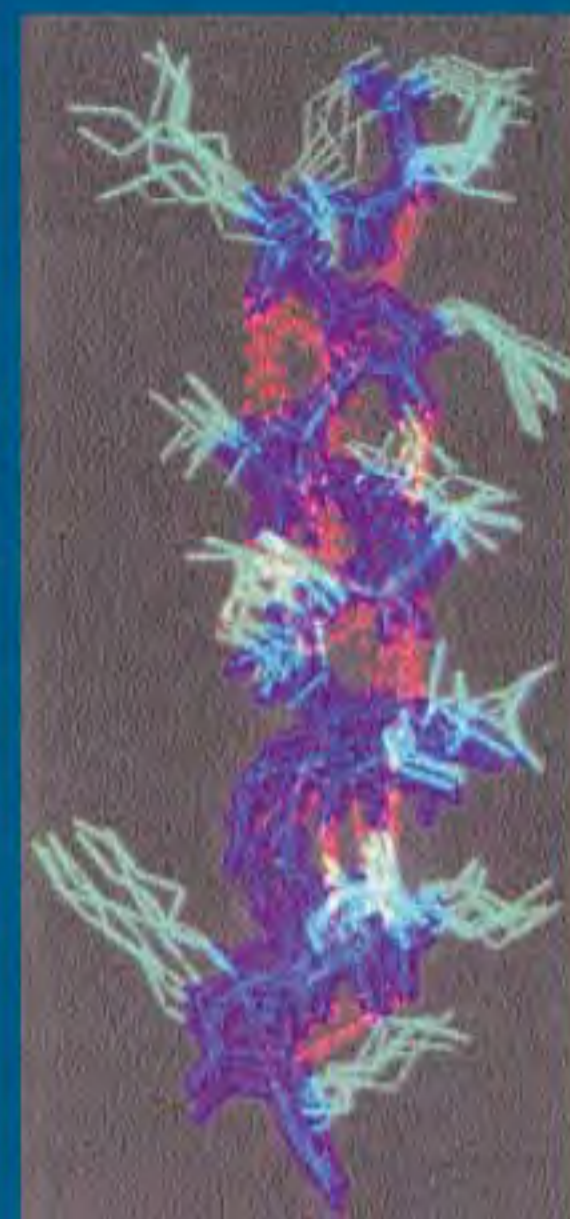
Non c'è limite alle combinazioni attraverso le quali il carbonio può formare molecole.

La digestione, per esempio, è quel processo di eventi biochimici attraverso cui i viventi "demoliscono" alcune molecole e riutilizzano gli atomi di carbonio in esse contenuti per costruire nuove sostanze, anche completamente diverse da quelle ingerite. Alcune di queste regolano le delicate reazioni chimiche che avvengono all'interno degli organismi (enzimi): vi riescono proprio grazie alla stabilità e alla flessibilità che viene loro garantita dai legami del carbonio. È solo grazie al fatto che gli atomi si dispongono occupando precise posizioni nello spazio che una proteina è in grado di esplicare la sua corretta funzione.

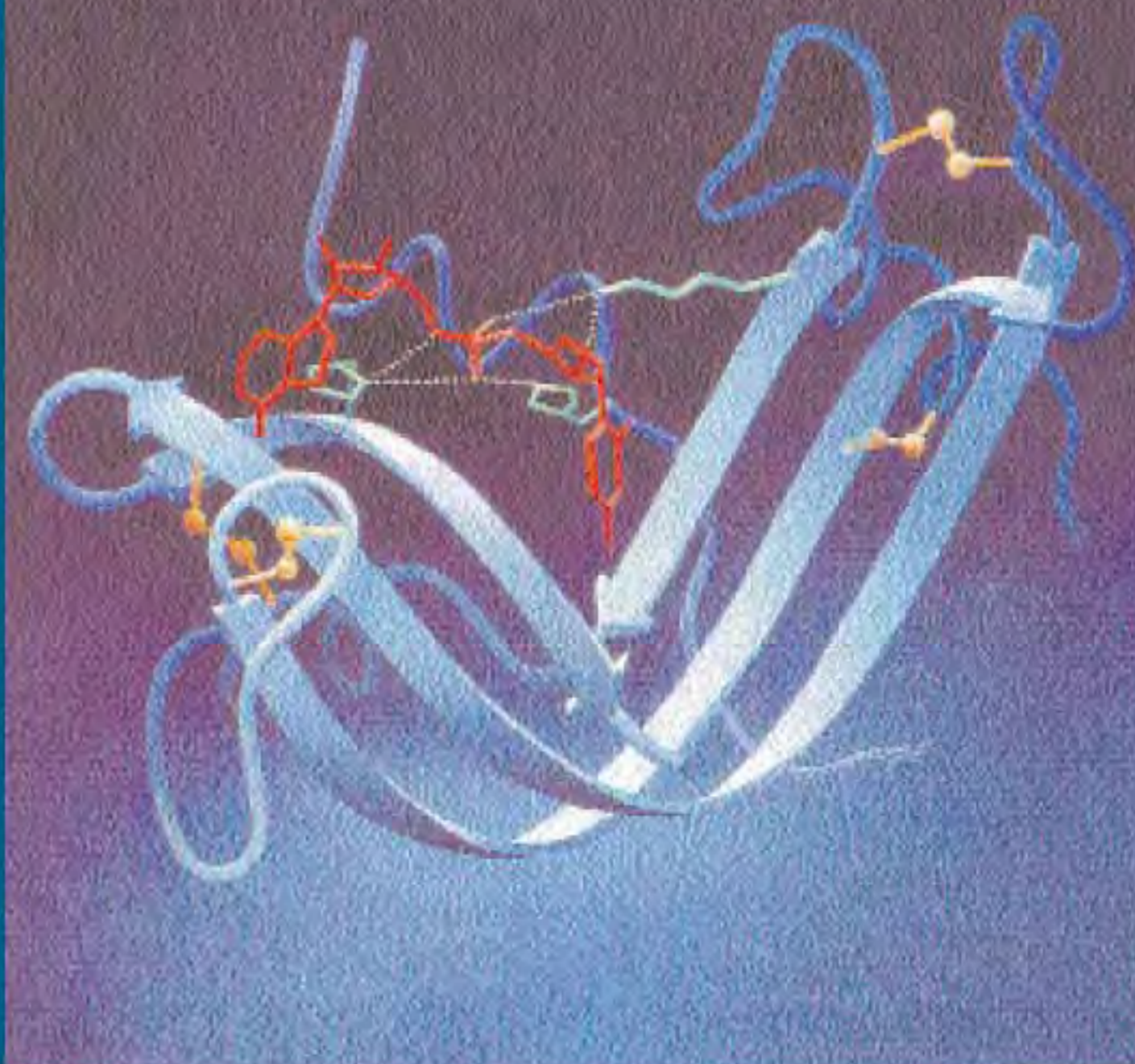


Circa un quarto delle proteine nel nostro corpo è fatto di collagene. È una delle maggiori proteine strutturali: forma cavi molecolari che irrobustiscono i tendini e ampi, elastici fogli che supportano la pelle e gli organi interni. Paganini poteva trarre dal suo violino accordi irripetibili proprio grazie alle sue fibre di collagene, che erano anormalmente lunghe ed elastiche per via di una rara malattia. In figura, una fotografia al microscopio elettronico a scansione delle fibre di collagene della pelle umana.

Per esplicare la sua funzione, una proteina deve essere in grado di muovere certi gruppi di atomi senza che ciò comporti il rilassamento della sua struttura: solo il carbonio forma legami con la rigidità adeguata perché ciò sia possibile. In figura è rappresentato il moto del più importante gruppo di atomi della mioglobina.



Esempio di proteina (glucosio 6-fosfato deidrogenasi) in grado di estrarre atomi di idrogeno dalle molecole di glucosio 6-fosfato.

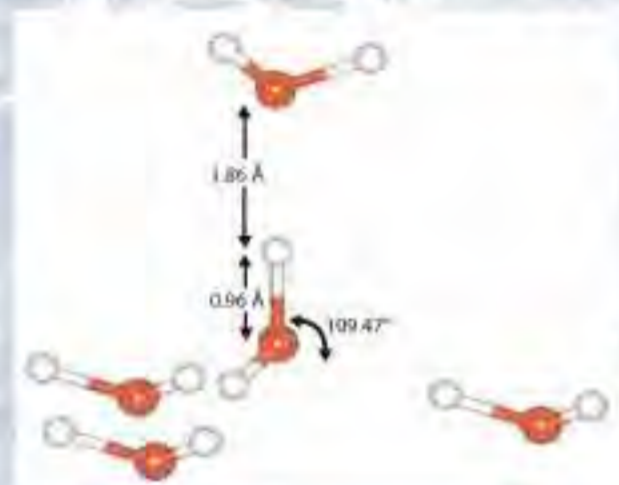




L'ACQUA, il liquido più normale è anche il più straordinario

L'acqua è un liquido costituito da molecole. La molecola d'acqua è formata da un atomo di ossigeno e due atomi di idrogeno, disposti nello spazio in modo da formare un angolo di 109° .

Le molecole d'acqua formano tra loro un particolare tipo di legame, detto "ponte idrogeno". A causa di esso, un atomo di idrogeno e uno di ossigeno appartenenti a molecole diverse, si attraggono fortemente quando tali molecole sono opportunamente orientate l'una rispetto all'altra.



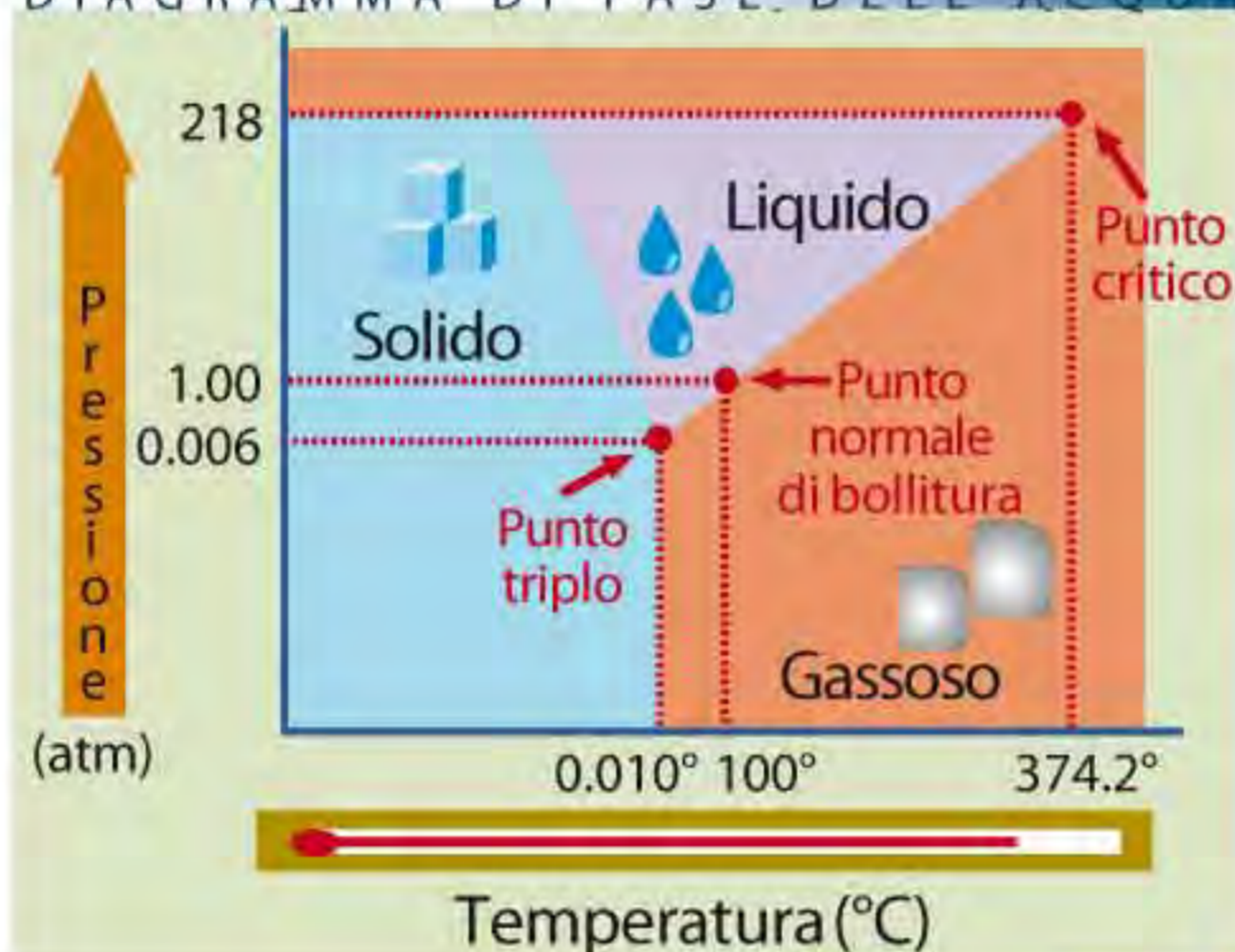
L'acqua ha delle proprietà stupefacenti grazie alle quali essa costituisce un ambiente insostituibile per lo sviluppo della vita!

L'Anomalia dell'Espansione Termica:

meno male che il ghiaccio è più leggero dell'acqua

A pressione ambiente - quella in cui normalmente viviamo - l'acqua si trasforma in vapore a 100°C e in ghiaccio a 0°C .

DIAGRAMMA DI FASE DELL'ACQUA



A pressioni diverse, le cose cambiano. Quando la pressione è maggiore, è più difficile che si formino sia il vapore sia il ghiaccio. Per esempio, l'acqua in una pentola a pressione bolle solo quando supera 140°C . Analogamente, a 2 km di profondità, negli oceani, dove la pressione è molto alta, l'acqua ghiaccia solo sotto -3°C . Questa difficoltà è legata al fatto che l'acqua, solidificandosi, aumenta di volume. Ciò la rende anomala rispetto agli altri liquidi. Infatti, se l'acqua avesse le proprietà di solidificazione per esempio dell'alcool etilico, un altro liquido a noi familiare, agli stessi 2 km di profondità diventerebbe ghiaccio a circa $+1^\circ\text{C}$.

Al di fuori di pochissime eccezioni (oltre all'acqua, tra i composti semplici, il germanio e il silicio), il passaggio dallo stato liquido allo stato solido coincide con una riduzione di volume. Tale riduzione nasce dal fatto che nello stato solido le molecole (e/o gli atomi) si dispongono in modo ordinato, mentre nello stato liquido le molecole, pur essendo ancora vicine le une alle altre, sono disposte in modo disordinato.

Come mostrato nei BOX 1 e 2, nella normalità dei casi, ordine vuol dire miglior impacchettamento, e dunque minor volume. Nell'acqua le cose sono diverse a causa dei legami a ponte idrogeno, che sono forti e direzionali, cioè si formano solo quando le molecole coinvolte sono opportunamente orientate l'una rispetto all'altra.

Le conseguenze di queste interazioni sono mostrate nel BOX 3, dove si vede che il disordine fa diminuire il volume occupato dalle molecole d'acqua.

COME DISPORRE 160 SFERETTE

Box 1 La disposizione ordinata rende più efficiente l'impacchettamento delle sferette. La fase liquida (a sinistra) è meno densa di quella solida (a destra)



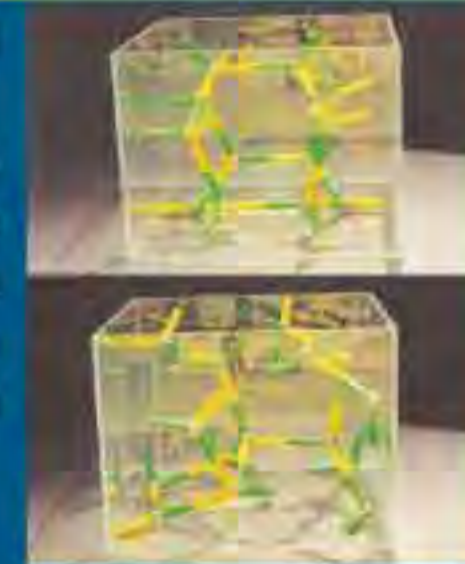
COME DISPORRE 400 BACCHETTE

Box 2 La stessa cosa accade, con maggiore evidenza, con molecole di forma allungata. La fase liquida (disordinata) è molto meno densa di quella solida (ordinata).



MOLECOLE D'ACQUA (VERDI) E LEGAMI PONTE IDROGENO (GIALLI)

Box 3 12 molecole d'acqua disposte secondo la struttura del ghiaccio (A). Nello stesso volume si possono disporre 15 molecole secondo la struttura disordinata dell'acqua liquida (B). L'acqua liquida è più densa del ghiaccio



Perché la minor densità del ghiaccio rispetto all'acqua è importante per la vita?

Dove sia nata la vita è una questione tuttora aperta. Di certo, però, il suo sviluppo verso le forme più evolute è avvenuto in acqua. Il vantaggio di un ambiente liquido nasce dal fatto che, per la normale agitazione termica, le molecole di varia specie in esso disciolte migrano, diffondendosi in tutte le direzioni, ed entrano ripetutamente in contatto, avendo così maggiori possibilità di associarsi e reagire.

Se l'acqua ghiacciando si addensasse come fanno i liquidi "normali", la Terra avrebbe un diverso volto. I ghiacci affonderebbero, raffreddando così le acque profonde e provocando la glaciazione completa di vaste zone oceaniche. A sua volta questo bloccherebbe il trasporto di calore dovuto alle correnti marine profonde. E' possibile che in questo scenario gli oceani risulterebbero per la gran parte ghiacciati, rendendo così molto più arduo lo sviluppo della vita.



Buon Solvente & Cattivo Solvente

L' "interazione idrofobica" : un gioco astuto per tenere insieme le molecole biologiche

L'acqua, se confrontata con altre sostanze, ha una doppia personalità:

1) le molecole d'acqua sono fortemente "elettriche" (più precisamente "dipolari"): poiché ossigeno e idrogeno attraggono gli elettroni con diversa intensità, la carica elettrica nella molecola d'acqua non è uniformemente distribuita. L'atomo di ossigeno è carico negativamente, mentre gli atomi di idrogeno sono carichi positivamente. Questo fatto rende l'acqua un solvente particolarmente buono per alcune sostanze, anch'esse "elettriche" (basti pensare alla facilità con cui si sciolgono in acqua sale e zucchero o come l'alcool si mescola bene all'acqua);

2) a causa dei legami a ponte idrogeno, l'acqua costituisce una specie di maglia difficile da penetrare per molecole poco "elettriche" (come avviene, per esempio, per gli oli e i grassi che galleggiano sull'acqua senza mescolarsi con essa).

Le molecole biologiche sono normalmente formate dalla combinazione di diverse parti tra loro chimicamente legate, alcune che si sciolgono bene in acqua (per esempio uno zucchero), altre invece insolubili (come l'olio). Il contatto di queste particolari molecole con l'acqua induce interessanti comportamenti.

Chi sono gli invitati alla danza dell'acqua?

Nella water-disco le molecole d'acqua (in figura 1) danzano al ritmo di una musica caotica, che può essere accelerata o rallentata cambiando la temperatura. Nella danza le molecole si afferrano (formando ponti idrogeno), "pogano" e ballano a gruppetti che si formano e si disfano (figura 2).

Molte sostanze sono ben accette nella danza. Questo è il caso del signor Sale (ione sodio) e della signora Zucchero (glucosio) (figura 1), i quali sono sempre capaci di polarizzare l'attenzione dei signori Acqua (figura 3)



Fig. 1 • I signori Acqua, il signor Sale e la signora Zucchero



Fig. 2 • Vista dall'alto della water-disco

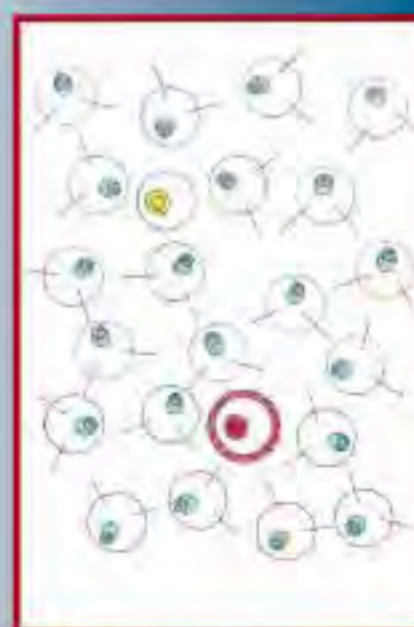


Fig. 3 • Il signor Sale e la signora Zucchero mentre danzano e si intrattengono con l'acqua



Fig. 4 • La signora Zucchero con il suo caimano Olio: sono così uniti da formare una cosa sola: il glicolipide dodecil-glucopiranoside



Fig. 5 • Vista della sala con la signora Zucchero e il suo caimano al centro della sala. Gli stessi segregati in un angolo.



Fig. 6 • Vista della sala quando vi sono molti glicolipidi. Descrizione delle molecole nel doppio strato. Rappresentazione semplificata di una membrana cellulare

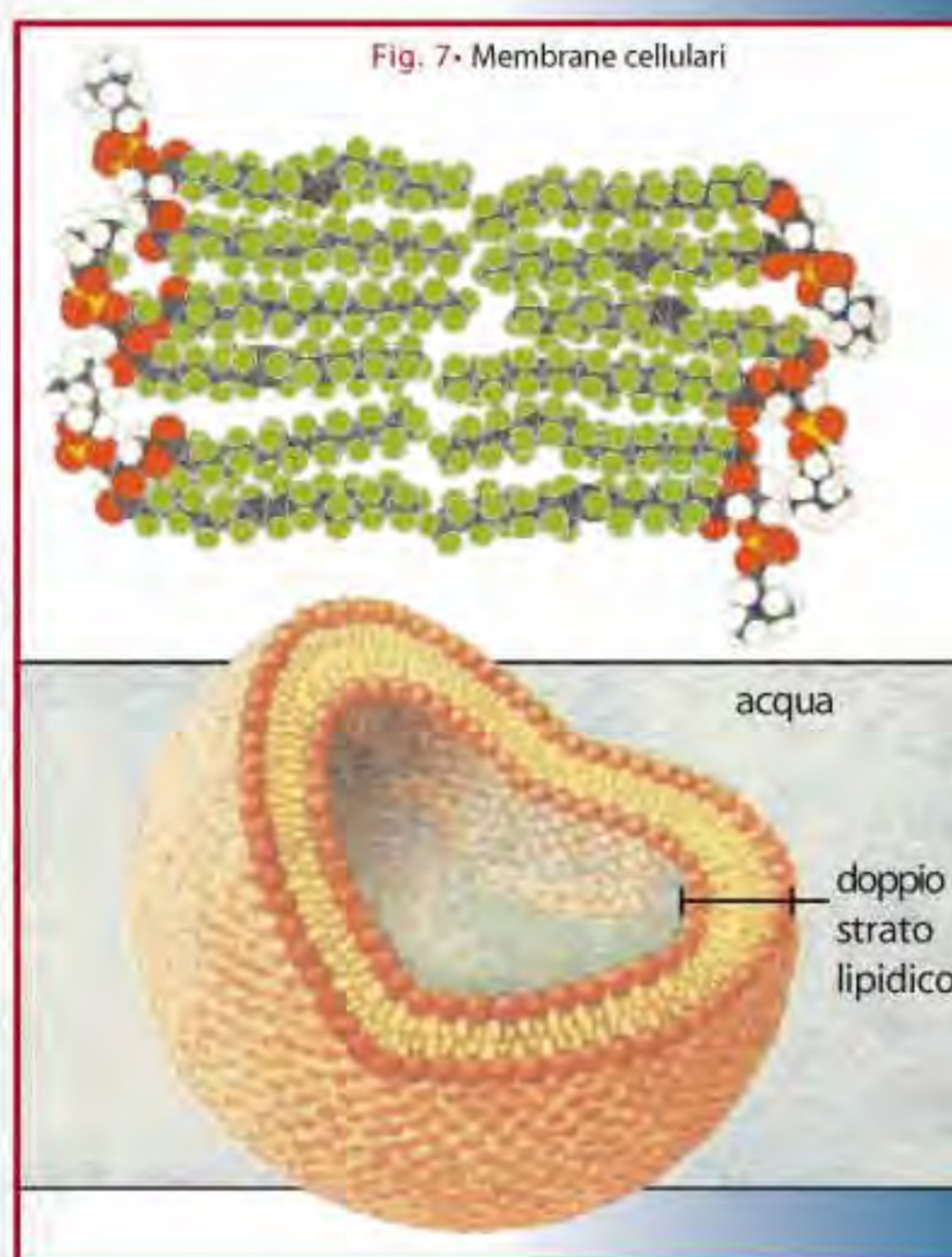


Fig. 7 • Membrane cellulari

Quando molte signore Zucchero si presentano col caimano, accade una cosa curiosa: appena due caimani si trovano a contatto, risulta molto difficile separarli, non perché essi socializzino e danzino insieme, ma perché è difficoltoso spezzare la rete dell'acqua per far spazio a entrambi. Quando poi le signore Zucchero-con-caimano sono in numero sufficiente, si crea una particolare struttura stabile: una doppia fila di Zuccheri con i caimani al centro (figura 6). Anche da lì, per le signore Zucchero, è difficile muoversi.

La cosa importante da notare, in questa storiella, è che le signore Zucchero-con-caimano non stanno insieme perché si attraggono, ma perché indotte dal comportamento dall'acqua, favorevole allo zucchero e sfavorevole agli oli. Questa forma di attrazione tra molecole composte dall'unione di una parte solubile e una insolubile si chiama "interazione idrofobica".

Il doppio strato di glicolipidi, volgendo all'acqua la parte solubile delle molecole che lo compongono (nel disegno le teste zuccherine), costituisce una struttura molto stabile che tende a ripristinarsi quando viene deformata. Questa è la struttura delle membrane cellulari (figura 7), che le rende flessibili e permeabili.

Perché l'interazione idrofobica è importante per la vita?

Sebbene il cuore della vita sia la riproduzione, esito di complesse reazioni chimiche tramite le quali vengono prodotte nuove molecole, la gran parte delle funzioni svolte dalle molecole biologiche non comporta trasformazioni chimiche. Le molecole biologiche, infatti,

interagiscono tra di loro (cioè si aggregano e si separano, avvertono la presenza l'una dell'altra, si riconoscono, svolgono le loro funzioni) soprattutto a causa di forze che, come l'interazione idrofobica, non alterano la loro struttura chimica. Caratteristica comune di queste forze è di essere molto deboli rispetto ai legami chimici (covalenti). Così deboli da consentire associazioni (quali quelle tra i glicolipidi nel racconto a disegni) che resistono a malapena alla continua agitazione (termica) delle molecole d'acqua. Il vantaggio delle interazioni deboli è che esse consentono flessibilità e reversibilità: se le attrazioni fos-

sero troppo forti, le molecole aderirebbero l'una all'altra in modo definitivo, difficile da alterare. Spesso è proprio il delicato equilibrio tra queste forze deboli a determinare le funzioni biologiche (come, per esempio, il riconoscimento tra macromolecole o il loro passaggio attraverso le membrane cellulari). Oltre all'interazione idrofobica, sono forze "deboli" il legame ponte idrogeno e l'attrazione (e la repulsione) elettrostatica. Anche in esse l'acqua gioca un ruolo cruciale.



Oceani d'acqua liquida. Culla e habitat della vita

Diversi sono i requisiti affinché ci sia acqua liquida sulla superficie di un pianeta. Nel Sistema solare, la Terra sembra essere l'unico pianeta su cui ci sia acqua allo stato liquido (fa eccezione Europa, satellite di Giove, la cui superficie è ricoperta da uno strato di ghiaccio sotto il quale potrebbe esservi acqua liquida).

L'origine dell'acqua sulla Terra è tuttora oggetto di dibattito scientifico. Le alte temperature della Terra primordiale erano sufficienti per disperdere irreversibilmente nello spazio le molecole d'acqua che si fossero trovate sulla superficie della Terra. Pertanto, l'acqua deve essere arrivata più tardi, dopo la solidificazione della crosta. Una possibilità è che l'acqua rimasta intrappolata nelle viscere della Terra sia stata lentamente immessa nell'atmosfera, in forma di vapor acqueo, dall'attività vulcanica. Una seconda possibilità è che l'acqua sia stata portata sulla Terra dalle comete (in gran parte costituite da ghiaccio) che, numerose, colpivano la Terra primordiale.

Cometa Hale Bopp 1997.

Il ghiaccio rappresenta circa il 30% della massa totale della cometa



Affinché gli oceani si mantengano liquidi, è necessario che la temperatura della Terra non sia troppo bassa (diverrebbe un pianeta di ghiaccio), né troppo alta (tale da far evaporare l'acqua, il che comporterebbe inoltre la sua dispersione nello spazio). L'acqua liquida non è solo il beneficiario del clima terrestre, ma è anche uno dei suoi fattori maggiori di stabilità e uniformità. Ecco qualche esempio:

- in media annua, le correnti oceaniche profonde trasportano verso le regioni artiche una quantità di calore pari a un terzo di quello irraggiato, nelle stesse regioni, dal Sole;
- il raffreddamento della superficie terrestre avviene, per la metà, a causa dell'evaporazione dell'acqua;
- la circolazione atmosferica è dovuta, per un terzo dell'energia in gioco, alla condensazione dell'acqua nelle nubi;
- la formazione di nubi, indotte dalla radiazione solare, costituisce uno schermo per la radiazione stessa, producendo così un potente meccanismo di autoregolazione del clima.

Nella mappa terrestre qui sotto riprodotta sono raffigurate con un codice a colori, le differenze tra la temperatura diurna e quella notturna. Le zone bianche indicano piccole variazioni di temperatura. La coincidenza tra le zone bianche e gli oceani dimostra chiaramente l'effetto stabilizzante degli oceani sulla temperatura terrestre.

Nelle profondità oceaniche le correnti sono tali che le acque più calde e meno saline si muovono nella porzione più superficiale del "nastro trasportatore", mentre le acque più fredde e saline scorrono nella sua porzione più profonda.



gradi centigradi





Un significativo flash-back

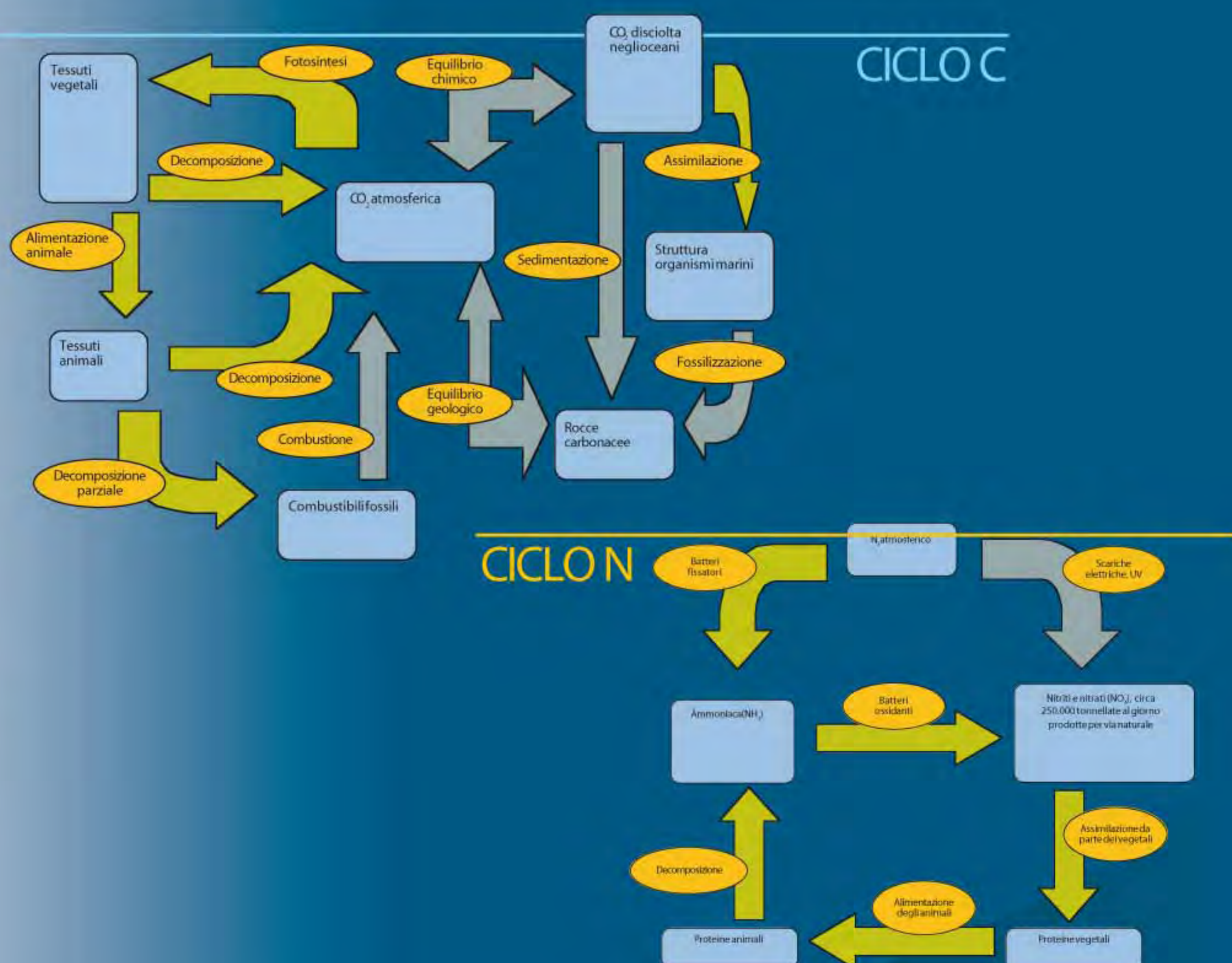
La vita sulla Terra non è solamente esito di particolari condizioni favorevoli, ma fin dall'inizio partecipa quasi prepotentemente alla modifica di tali condizioni, manifestando una creatività sconosciuta al mondo inorganico.

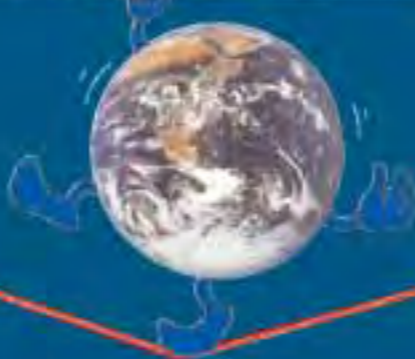
Per renderci meglio conto di questo fatto è sufficiente confrontare le condizioni ambientali odierne con quelle esistenti al tempo dei primi organismi viventi.

I CICLI

La vita può svilupparsi solo sotto determinate condizioni (per esempio di temperatura o di composizione chimica dell'aria): si sono pertanto sviluppati efficienti meccanismi di controllo della stabilità detti "cicli", alla cui base c'è il concetto di "retroazione" (feedback). Si tratta di un raffinato sviluppo del concetto di "equilibrio chimico", per cui per ogni azione che interviene a modificare il sistema, questo reagisce in modo da ridurre al minimo gli effetti. Nel mondo biologico, data la grande varietà di relazioni tra gli elementi, questo meccanismo diventa particolarmente complesso ed efficiente.

	4 MILIARDI DI ANNI FA	OGGI
ATMOSFERA	Ossigeno assente	Ossigeno al 20%
	Ciclo dell'azoto inorganico	Ciclo dell'azoto organico
	Ciclo della CO2 inorganico	Ciclo della CO2 organico
MORFOLOGIA DEL TERRITORIO	Puramente derivante da agenti atmosferici e geologici	Fortemente influenzata dall'azione della biosfera:
		La vegetazione evita il dilavamento del suolo
		Le piante delle acque salmastre creano nuova terra alla foce dei fiumi
		Le barriere coralline favoriscono il formarsi di atolli
		La vegetazione modula la riflettanza del suolo e influenza l'umidità, arrivando a determinare il clima locale
RADIAZIONI SOLARI AL SUOLO	Carattere ionizzante	Filtrate e meno energetiche

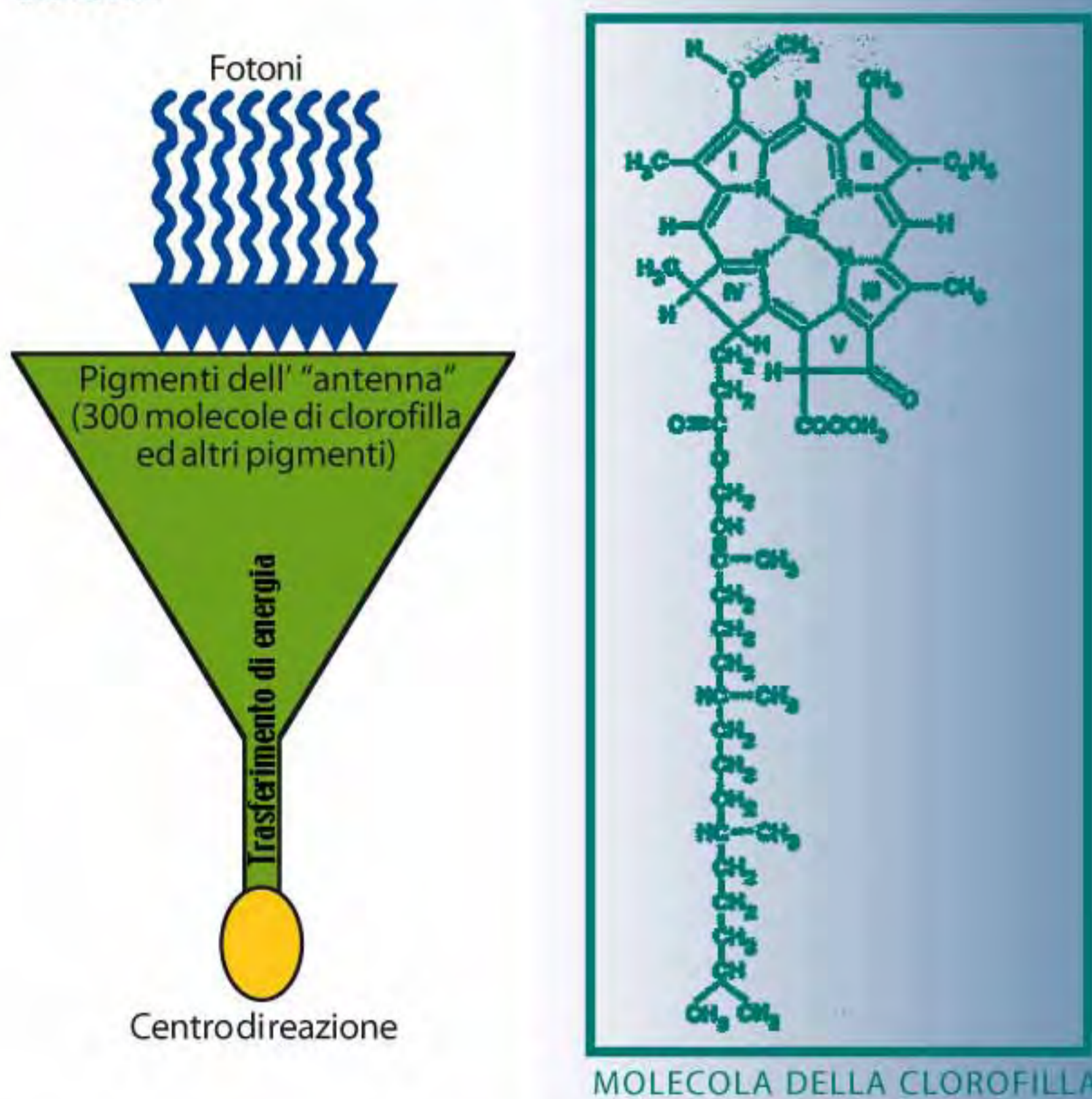




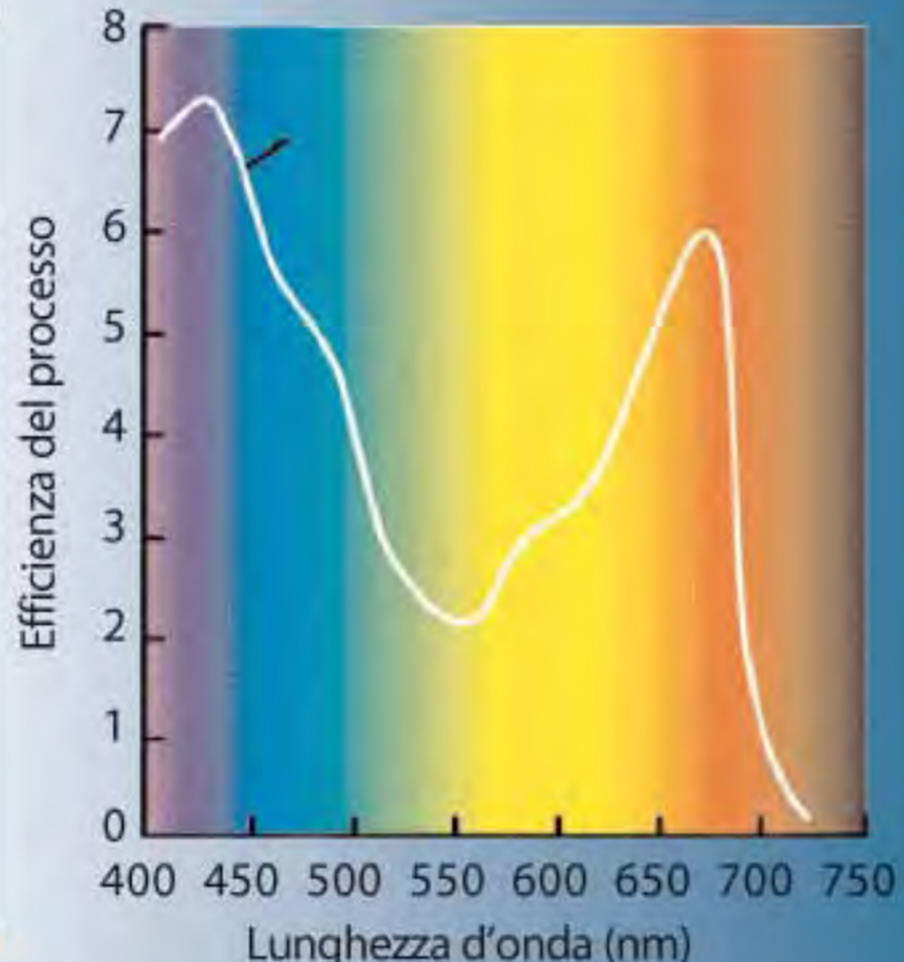
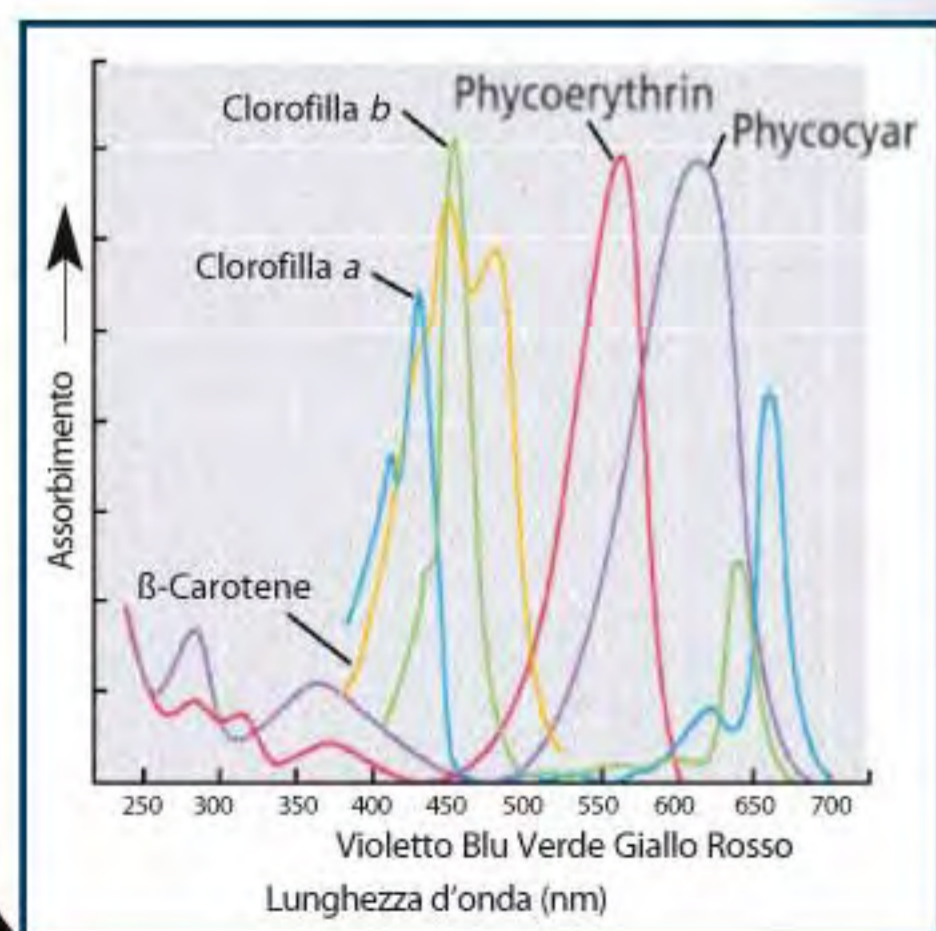
Luce, Vita e Visione

Le caratteristiche del doppio legame del carbonio fanno sì che l'assorbimento della luce da parte dei foto-pigmenti nella **fotosintesi**

avvenga nella regione visibile dello spettro, dove massima è la radiazione solare.

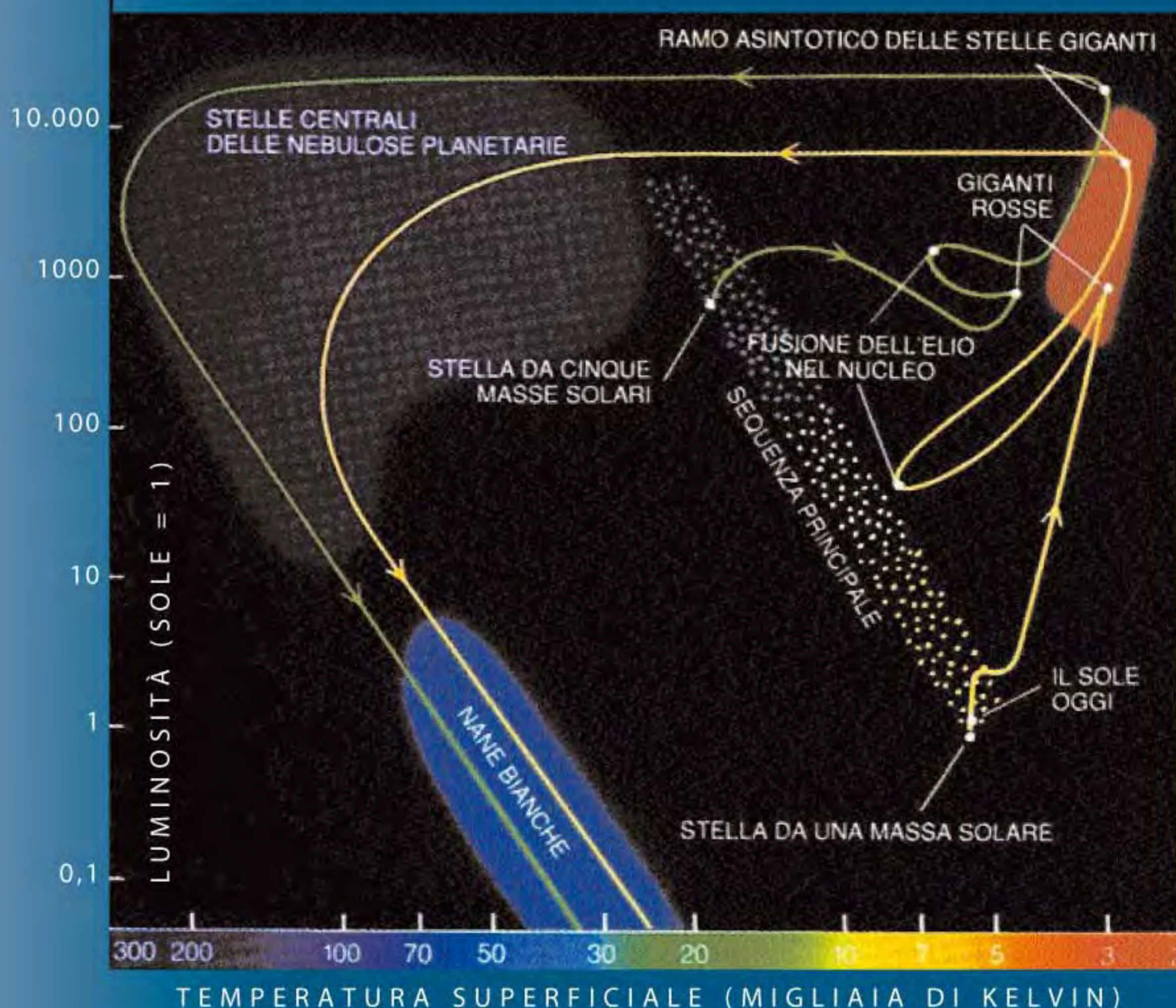


In genere l'assorbimento è massimo nella regione rossa dello spettro (dove l'acqua è più trasparente, e quindi la luce sottomarina è più intensa) e nella regione blu (dove il cielo è più luminoso). L'assorbimento è invece minimo nel verde, dove la radiazione diretta del sole ha la massima intensità, consentendo una buona luminosità nel sottobosco, all'ombra del fogliame. Nota: l'occhio umano, in presenza di poca luce, è più sensibile proprio nella regione verde dello spettro.



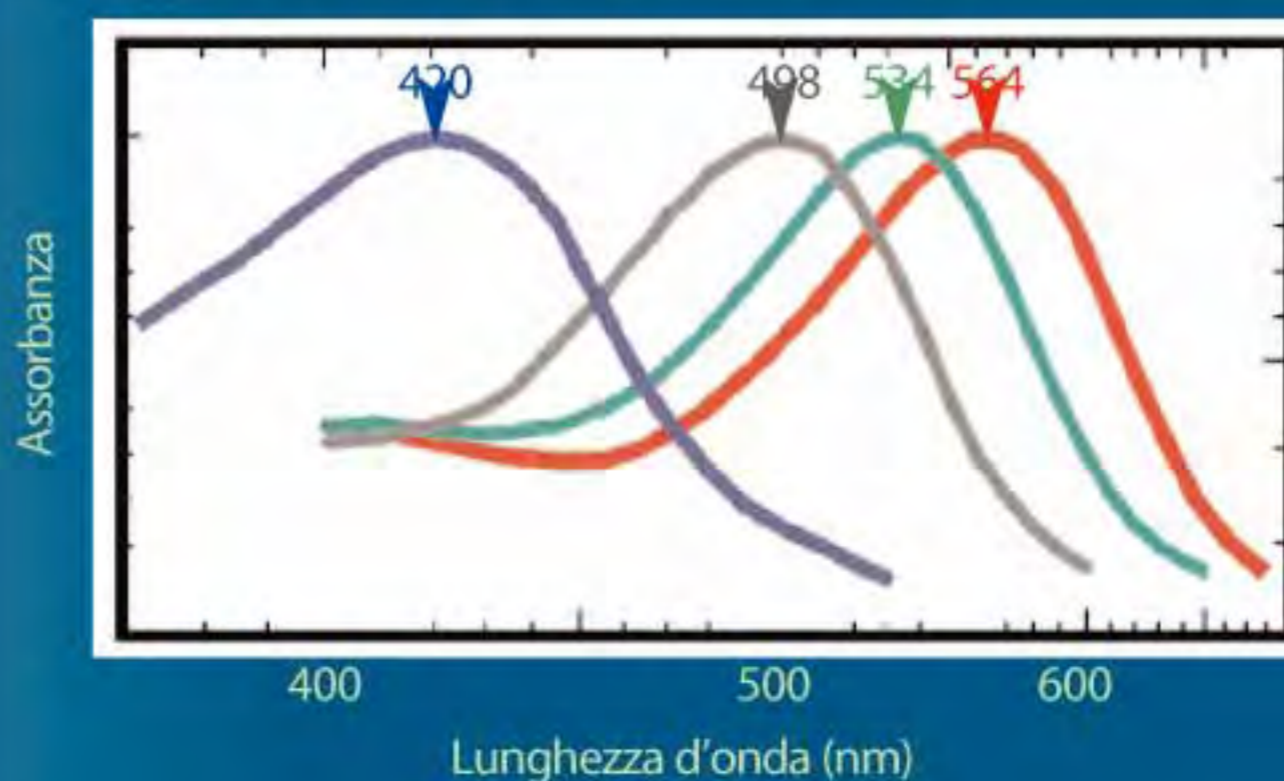
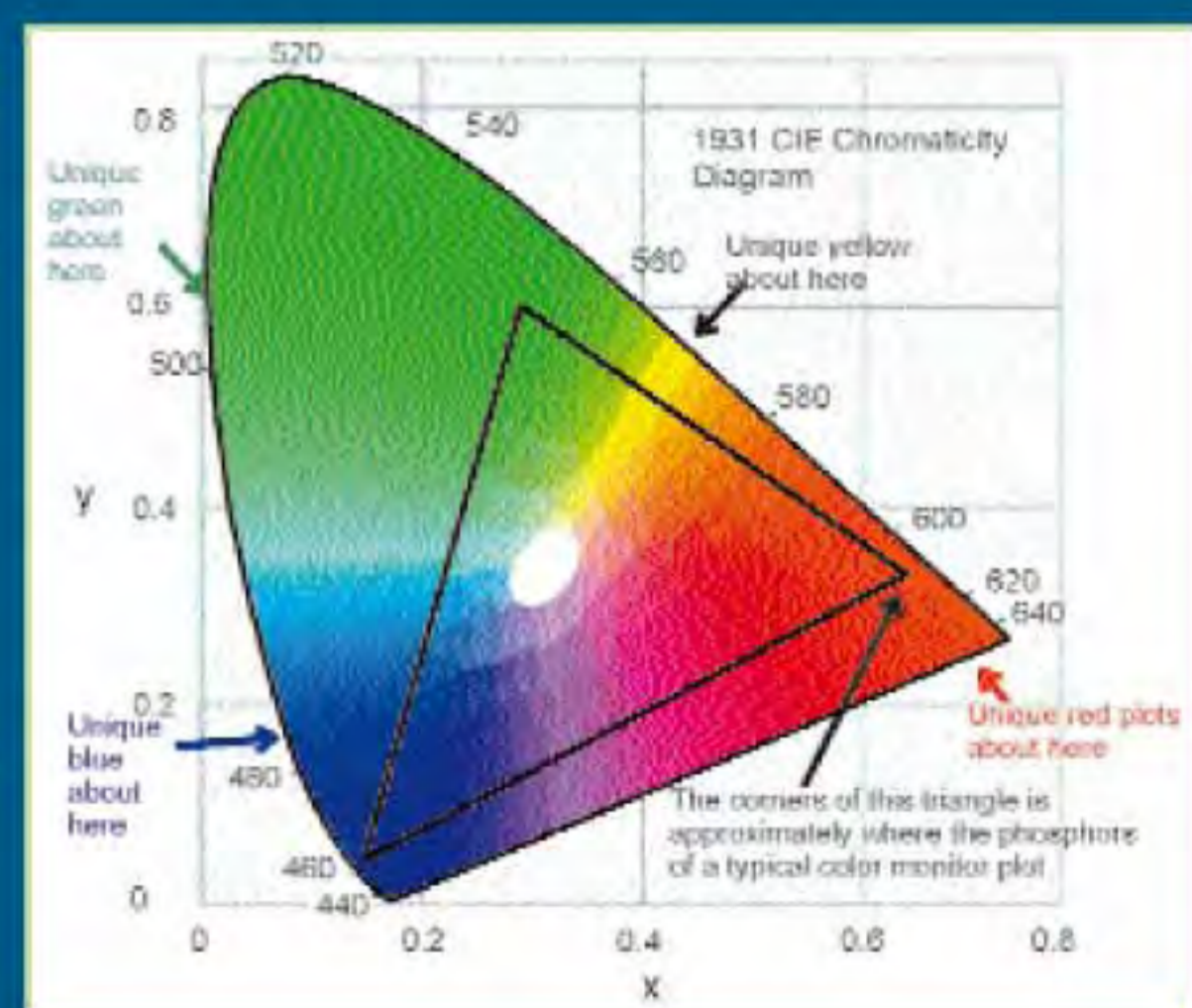
Il colore delle stelle

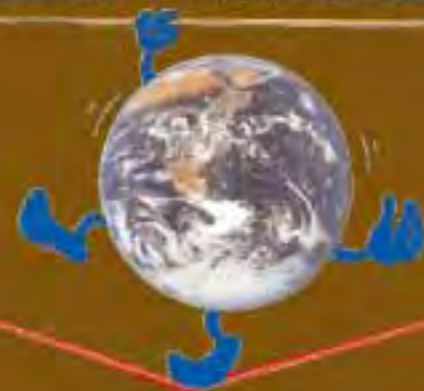
A causa della enorme opacità delle **Stelle**, nei milioni di anni necessari per uscire da esse la luce si "raffredda" fino a poche migliaia di gradi, cui corrisponde uno spettro nel visibile o vicino UV.



La visione del colore

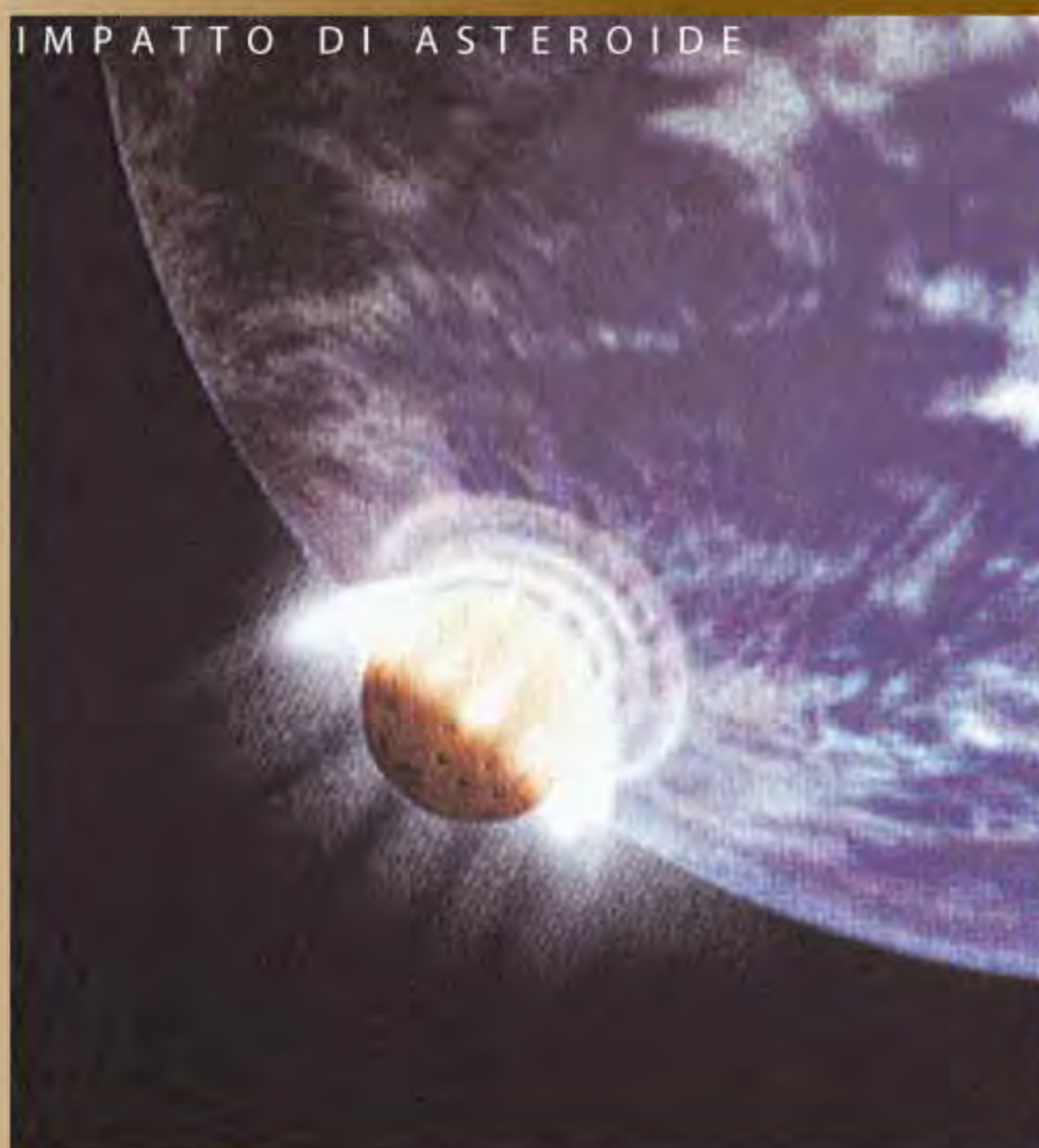
Foto-pigmenti analoghi a quelli delle piante sono presenti anche nella **Retina**. Tre tipi di coni (R, G, B), consentono l'elaborazione cromatica dell'immagine. I bastoncelli, utili per la visione notturna (curva grigia) sono sensibili nella regione verde dello spettro (498 nm).





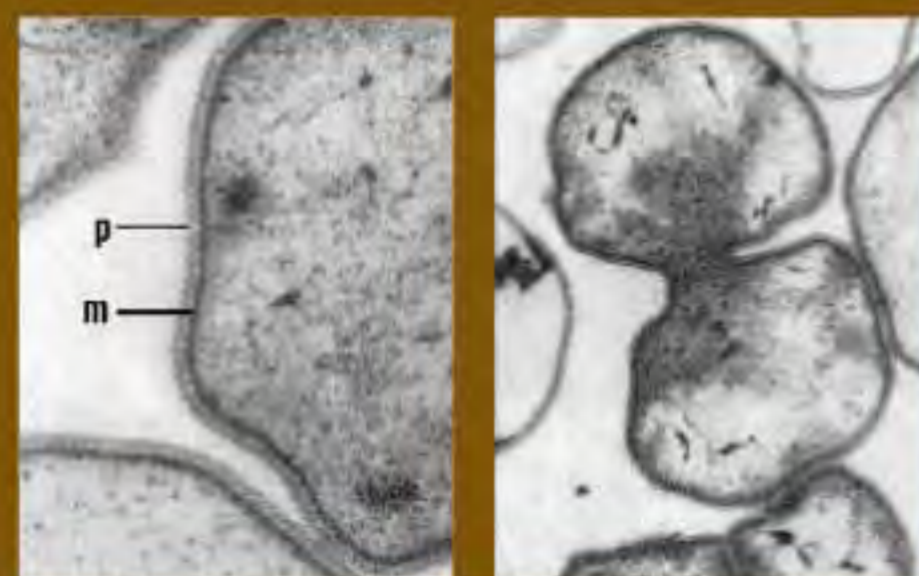
Dove nacquero i primi organismi?

Un'idea che per parecchi decenni è stata condivisa da molti biologi, è che la vita si sia originata in piccoli stagni caldi comunicanti con gli oceani, dove gli ingredienti chimici necessari per il processo si sarebbero accumulati progressivamente, dando origine al "brodo primordiale", una sorta di laboratorio chimico naturale dove si sarebbero svolti i processi necessari per l'assemblaggio delle protocellule. Il primo a proporre questa ipotesi è stato lo stesso Darwin sul finire del XIX secolo. Tuttavia, il progresso delle conoscenze rende oggi questa ipotesi assai improbabile. La ragione di questo convincimento risiede nel fatto che il nostro pianeta è stato bombardato per parecchie centinaia di milioni di anni da asteroidi e comete di imponenti proporzioni, alcuni anche di 100 chilometri di diametro. Un oggetto di queste dimensioni sarebbe stato in grado di portare a ebollizione e far evaporare tutti gli oceani, e, per quanto ne sappiamo, questo evento non solo è accaduto, ma deve essersi anche ripetuto parecchie volte. Questo periodo di intenso bombardamento deve essere iniziato con la nascita del pianeta, 4,6 miliardi di anni fa, e deve essersi protratto fino a circa 4 miliardi di anni fa. Non appena l'intensità del bombardamento si è ridotta, le primitive forme di vita, organismi unicellulari molto semplici, hanno preso possesso in tempi rapidissimi di molti habitat superficiali, dove ancora oggi possono essere rinvenute come reperti fossili. Ma dove si erano originate queste cellule primordiali? Gli elementi oggi a disposizione suggeriscono fortemente che le prime cellule si siano sviluppate in corrispondenza delle bocche idrotermali, che si trovano lungo le dorsali oceaniche. Si tratta di formazioni vulcaniche sottomarine scaglionate lungo le linee di collisione delle zolle continentali. Questi habitat non solo avrebbero rappresentato un vero e proprio rifugio entro il quale i primi organismi si sarebbero protetti dal bombardamento dei meteoriti, ma anche l'ambiente idoneo per lo sviluppo della vita primordiale. Che cosa avvalorava questa convinzione? Queste formazioni vulcaniche presentano una serie di caratteristiche chimico-fisiche che sono teoricamente richieste perché questo processo possa avvenire: energia, sottoforma di



Le bocche idrotermali nel fondo degli oceani sono in grado di ospitare forme di vita di microscopiche adattate ad alte temperature, ambienti acidi contenenti composti dello zolfo. Sembra molto probabile che qui siano nate le prime cellule e vi abbiano trovato protezione dalle condizioni inospitali della Terra primordiale.

gradienti di temperatura che dai valori elevati che caratterizzano le emissioni vulcaniche scendono a quelli delle acque oceaniche; composti chimici di vario tipo, come composti organici e sostanze riducenti (per esempio metano e acido solfidrico) che nel complesso formavano e formano ancora, un ambiente acido tutt'attorno alle bocche medesime. Una volta sviluppatasi, questi organismi hanno continuato a occupare questi habitat nutrendosi delle sostanze ivi disponibili grazie a meccanismi di assimilazione molto semplici. Gli organismi adattati a questi ambienti sono stati denominati archibatteri perché si ritiene siano stati i primi a essersi sviluppati. Queste ipotesi non sono pura speculazione. Gli archibatteri esistono ancora oggi, sia pur confinati in habitat molto ristretti, e presentano caratteristiche davvero sorprendenti se paragonate a quelle degli altri organismi unicellulari: resistono a temperature vicine all'ebollizione dell'acqua, sono adattati ad ambienti molto acidi e possono nutrirsi di composti dello zolfo. In considerazione di questa capacità adattativa sono denominati organismi estremofili (cioè: che prediligono condizioni estreme). Per concludere, la storia dell'origine degli archibatteri mette in evidenza un altro importante ruolo della tettonica a placche. Senza di essa non ci sarebbero state le bocche idrotermali e forse la vita non si sarebbe mai sviluppata sulla Terra.

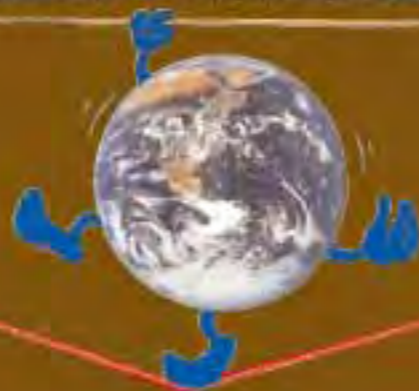


Due immagini microscopiche dell'archibatterio *Sulfolobus solfataricus*, rinvenuto nella solfatara di Pozzuoli. Nell'immagine di sinistra sono evidenziate la parete (p) e la membrana (m) cellulari.

IL CRATERE DELLA SOLFATARA PRESSO POZZUOLI

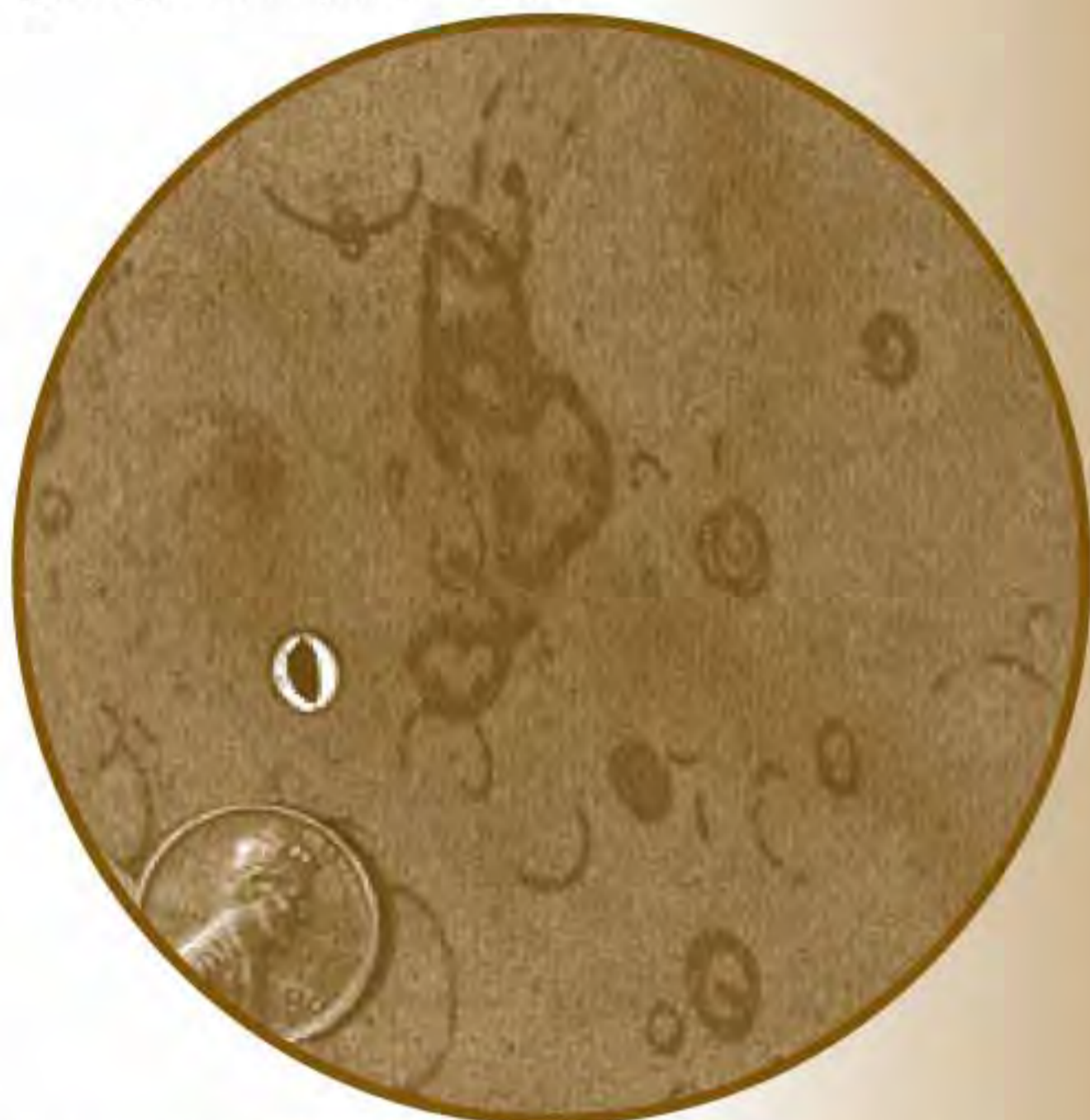


Il cratere della solfatara presso Pozzuoli. Sono visibili le sorgenti termali dove vivono archibatteri adattati a temperature di 87°C e ambienti estremamente acidi (pH 2-3). Si ritiene che questi organismi siano quelli più simili ai primi comparsi sul nostro pianeta.



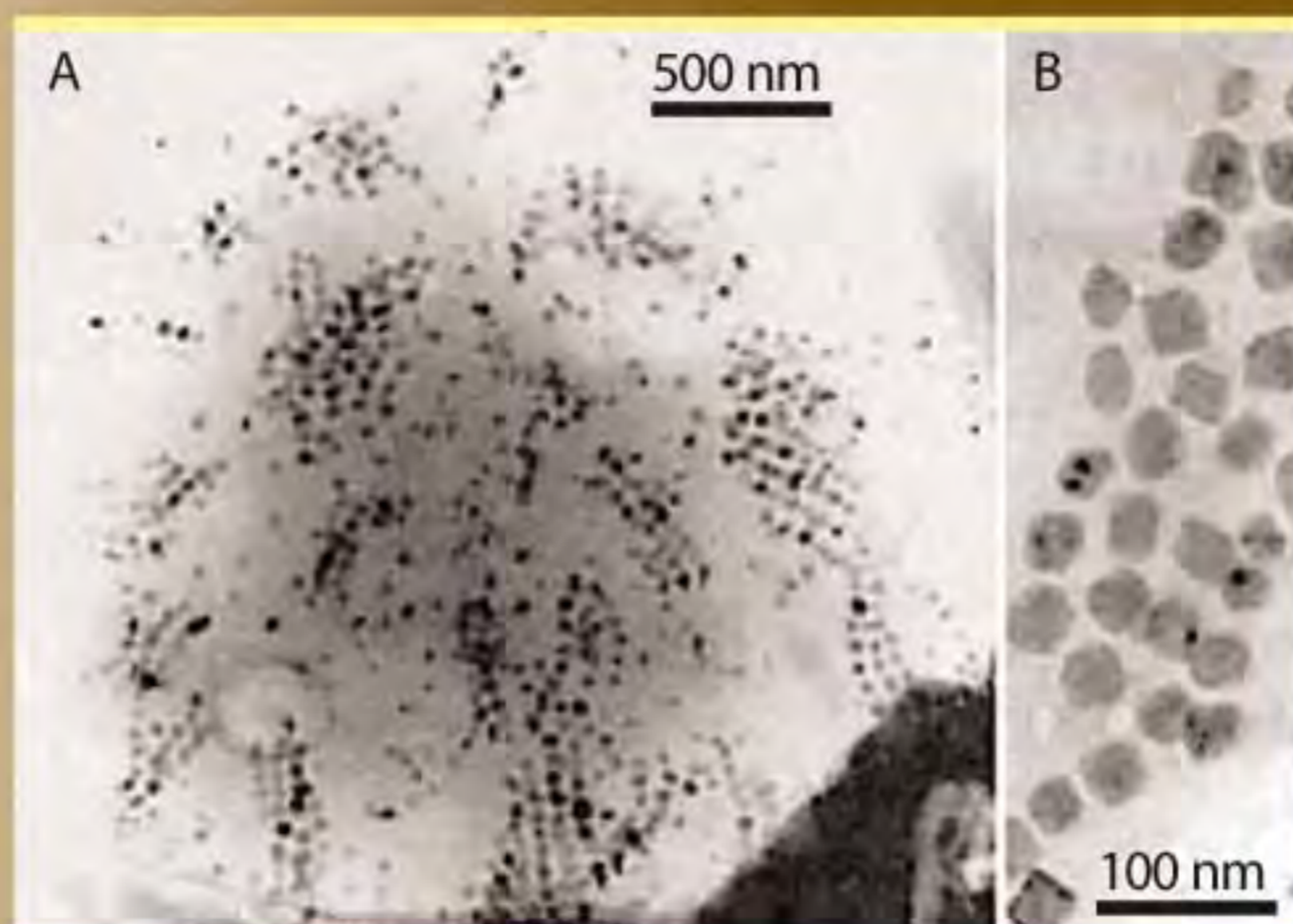
L'origine della cellula eucariotica

Fino a circa due miliardi di anni fa sulla Terra esistevano solo semplici organismi unicellulari denominati procarioti. I procarioti ancora oggi sono le più comuni forme di vita microscopica: i batteri, per esempio, sono procarioti. Queste cellule non sono suddivise in compartimenti, e non hanno quindi né nucleo né organuli. Anche gli archibatteri sono morfologicamente procarioti, anche se possiedono proprietà assolutamente singolari rispetto ai più comuni procarioti. Oggi esistono anche altri organismi unicellulari, gli eucarioti, dotati di un'organizzazione più complessa, con suddivisione in compartimenti: uno di questi compartimenti è il nucleo, sede del DNA. Le cellule eucariotiche hanno un diametro di circa 50 millesimi di millimetro, mentre quelle procariotiche non superano normalmente 2 millesimi di millimetro. Inoltre solo le cellule eucariotiche compongono gli organismi pluricellulari.



Un'immagine di fossili di Grypania. Si tratta di un organismo eucariotico che forma aggregati cellulari a forma di spirale, come visibile in figura. Questo reperto è stato isolato nel Michigan (Stati Uniti), ed è stato datato a 2,1 miliardi di anni fa. E' quindi il più antico eucariote ritrovato fino ad oggi.

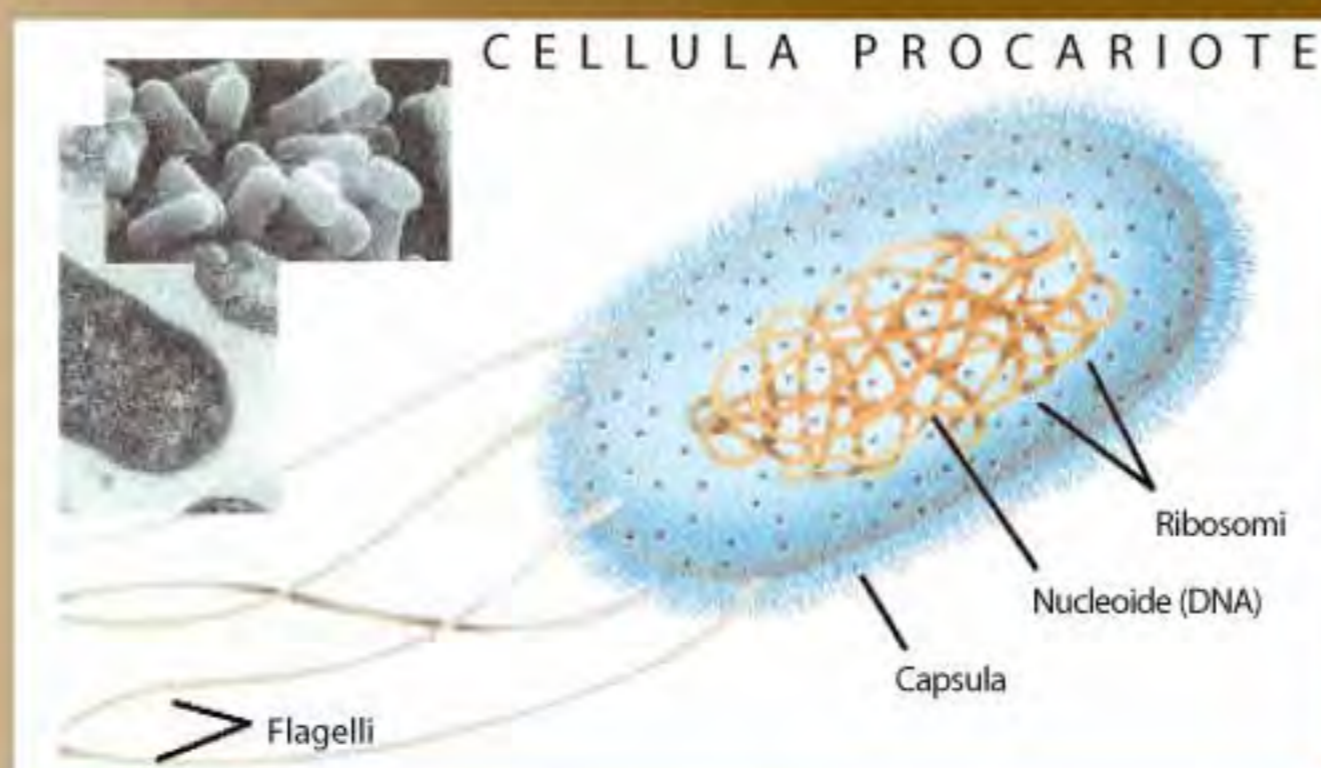
Da dove vengono queste cellule complesse? Sappiamo oggi che esse si sono originate per endosimbiosi. Con ciò si intende che all'interno di un'antica cellula progenitrice si introdussero altre cellule, con le quali si instaurarono rapporti di mutua cooperazione. I mitocondri, per esempio, sono organuli derivati da antichi batteri capaci di metabolismo ossidativo. Essi ricevono dalla cellula ospitante le sostanze nutritive, e producono energia per sé e per la cellula ospitante. Resta la domanda: che cosa ha portato alla formazione della cellula eucariotica? Secondo le testimonianze fossili, le prime cellule eucariotiche risalgono ad almeno 2,1 miliardi di anni fa.



Una colonia di Magnetobatteri vista al microscopio elettronico a due diversi ingrandimenti. Sebbene le singole cellule non siano visibili, sono invece immediatamente evidenti le catene di microcristalli ferrici associati alla membrana cellulare (detti magnetosomi), che consentono a questi organismi di muoversi lungo le linee del campo magnetico terrestre, una capacità denominata magnetotassi.

Sembra certo che poco prima di quell'epoca (circa 2,5 miliardi di anni fa) sulla Terra si sia verificata una glaciazione globale, che produsse una spessa copertura di ghiaccio sugli oceani e su parte delle terre emerse (snow ball). Non è chiaro perché ciò sia accaduto, ma almeno un altro evento simile accadde anche in seguito. Nel corso di questi eventi si accumularono sui ghiacci polveri di minerali ferrosi e di magnesio, prodotte dall'erosione di rocce rimaste esposte agli agenti atmosferici. Quando la glaciazione regredì e la superficie degli oceani ridivenne liquida, queste polveri minerali si disciolsero nelle acque. Tali composti funzionano da fertilizzanti, e così i batteri fotosintetici che si trovavano nel fitoplancton proliferarono in modo straordinario. Per la prima volta l'ossigeno si accumulò in misura apprezzabile nell'atmosfera.

Questo gas è assai tossico, anche se non sembrerebbe a chi, come noi, è adattato all'atmosfera di oggi. Questo nuovo scenario pose gli organismi di fronte a una drammatica alternativa: adattarsi o morire, e probabilmente molte delle specie di allora si estinsero. Pertanto l'endosimbiosi sembra essere stata una risposta adattativa a queste nuove condizioni.

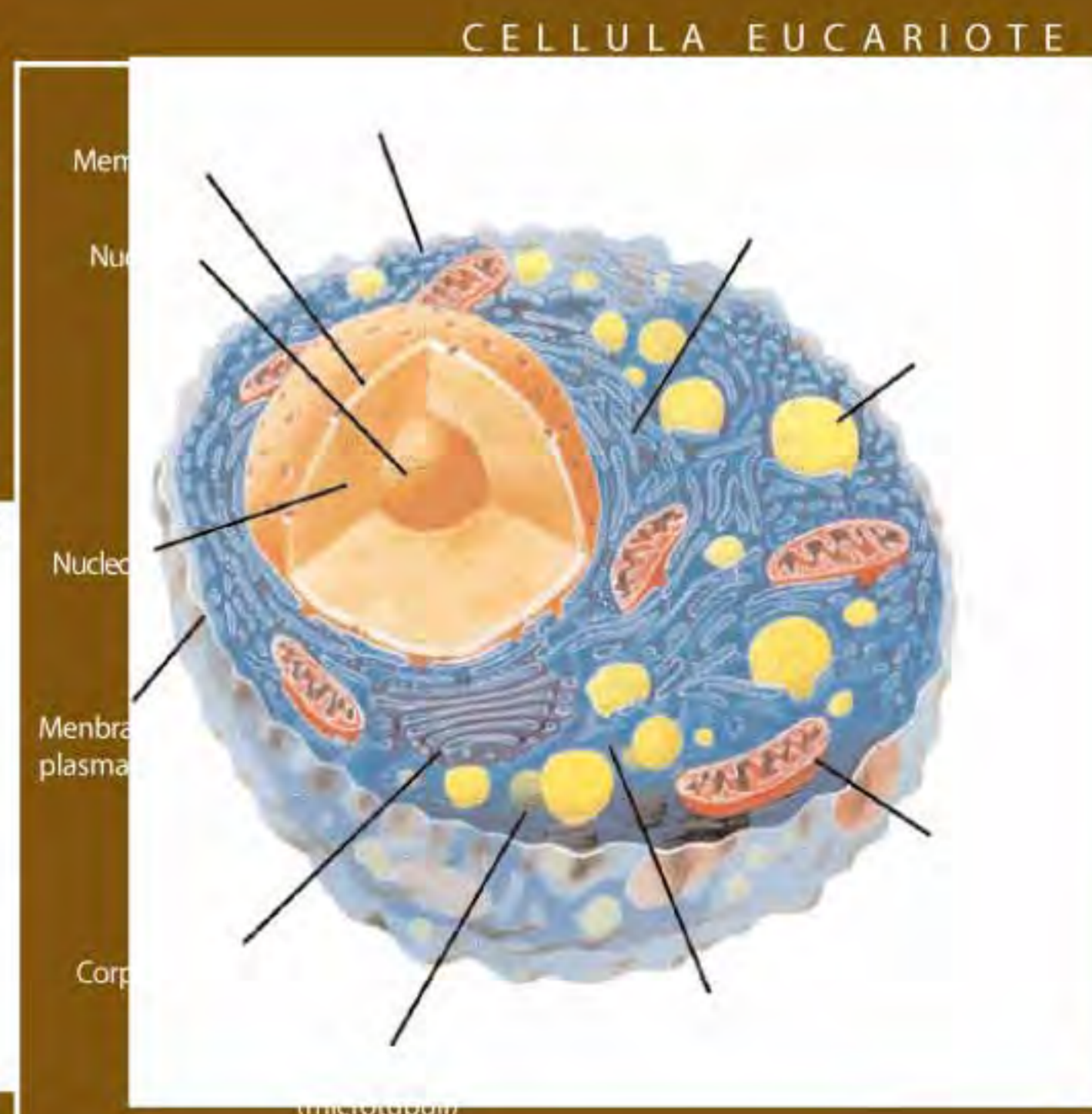


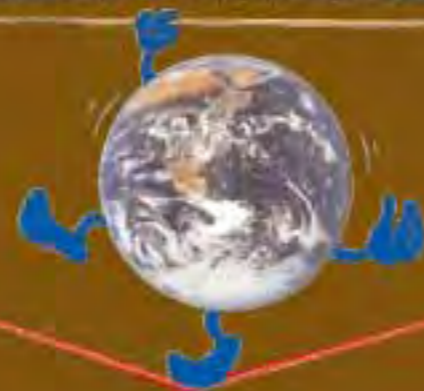
Una rappresentazione schematica di una cellula procariote (a sinistra) ed eucariote (a destra). La differente complessità strutturale è immediatamente evidente.

Lo specifico meccanismo con cui la comparsa dell'ossigeno ha favorito la comparsa delle cellule eucariotiche non è certo, ma alcuni scienziati sostengono l'ipotesi che la presenza di ossigeno causò l'ossidazione degli ioni ferrosi in ioni ferrici (come accade anche oggi quando si forma la ruggine).

I minerali ferrici sono insolubili in acqua e formano cristalli. Esiste un batterio denominato Magnetobacter, in grado di inglobare granuli di un minerale ferrico, la magnetite. La presenza di questi granuli lo rende capace di muoversi lungo le linee del campo magnetico terrestre, e ciò gli consente di individuare più facilmente le sostanze nutritive. E' stato ipotizzato che i progenitori delle cellule eucariotiche sarebbero alcuni di questi batteri. Sono infatti cellule molto più grosse degli altri procarioti e, diversamente da questi, riescono a fagocitare particelle trovate all'esterno, come fanno in effetti con i minerali di ferro. Queste due caratteristiche rendono possibile la fagocitosi di altre cellule, che è il presupposto per l'endosimbiosi. Inoltre le cellule fagocitate avrebbero avuto, almeno in passato, il vantaggio di un più facile accesso alle sostanze nutritive grazie alla magnetotassi. Un sistema cellulare di questo tipo si sarebbe quindi imposto grazie all'impareggiabile vantaggio adattativo derivante dalle proprietà descritte.

Se l'ipotesi del Magnetobacter fosse vera, ciò spiegherebbe perché gli eucarioti siano proliferati solo dopo la comparsa dell'ossigeno. Se è vera l'ipotesi bisogna anche presupporre la necessità di un campo magnetico per l'origine degli eucarioti. Con la loro comparsa è stata infine spianata la strada alla genesi degli organismi pluricellulari.





Animali venuti dal freddo

Le terre emerse all'epoca della glaciazione globale



In un periodo compreso tra 800 e 600 milioni di anni fa, nell'Era Precambriana, si verificò uno dei molteplici sconvolgimenti climatici che hanno caratterizzato la storia della Terra.

I ritrovamenti geologici dimostrano che in quell'epoca i ghiacciai erano presenti persino all'equatore, anche a livello del mare.

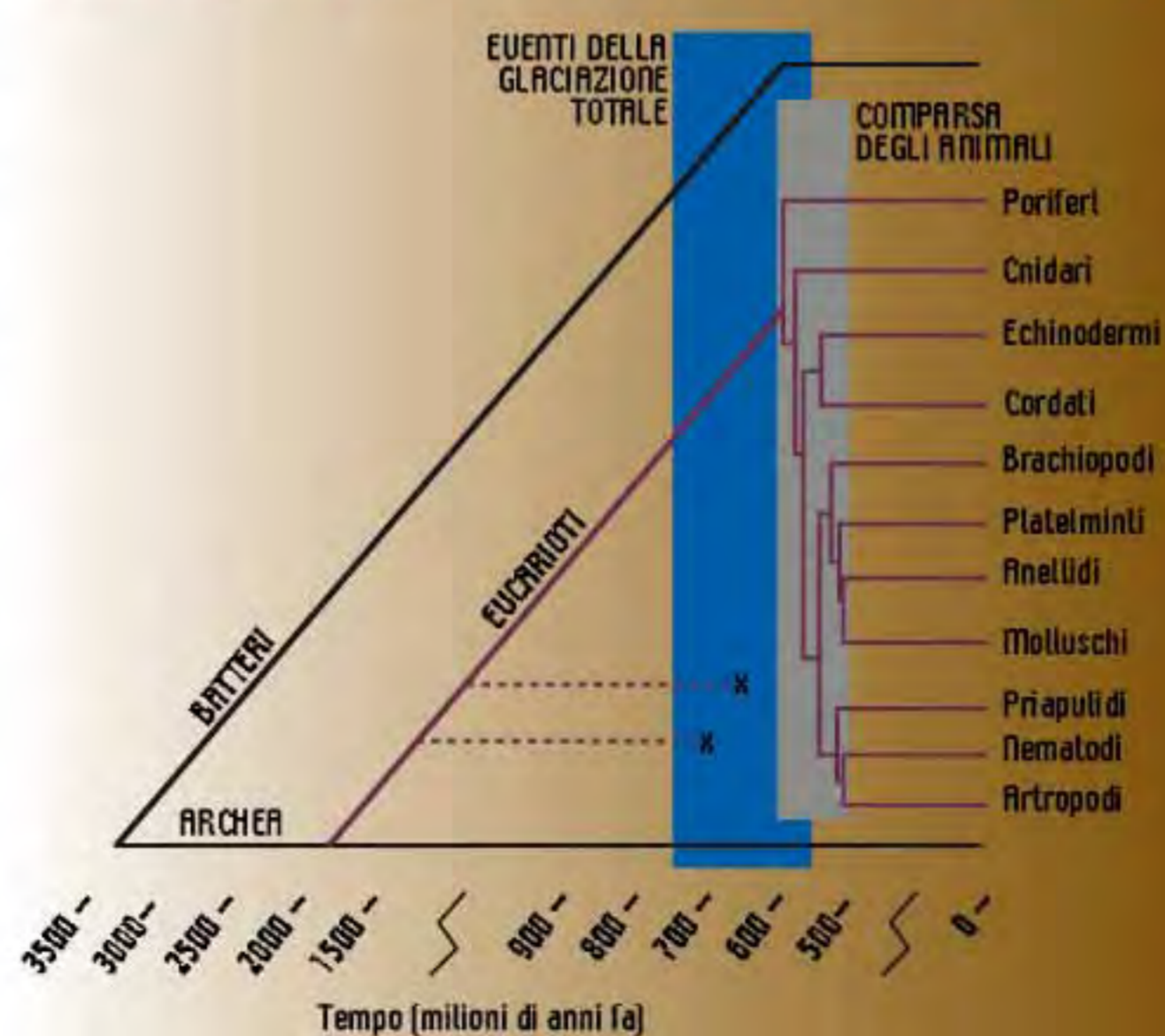
Non è del tutto chiaro come ciò sia potuto accadere. Quello che è certo è che per effetto della loro deriva, i continenti erano allora frammentati in parecchie grosse isole.

Secondo un'ipotesi accreditata, il conseguente aumento dell'estensione complessiva delle coste portò a una massiccia infiltrazione di aria umida dagli oceani sulla terraferma e a un conseguente aumento delle precipitazioni. Un'accresciuta piovosità ha l'effetto di rimuovere una maggiore quantità di anidride carbonica dall'atmosfera, diminuendo di conseguenza il riscaldamento del pianeta dovuto all'effetto serra. A seguito di questo meccanismo, la temperatura media diminuì drasticamente e vaste calotte glaciali si formarono negli oceani polari. Il biancore dei ghiacci portò a una maggiore riflessione della radiazione solare e a un'ulteriore riduzione della temperatura media, che scese a valori compresi tra -50°C e -20°C .

L'oceano gelò per uno spessore di circa 1 km, e solo il calore che filtrava dall'interno della Terra impedì che il ghiaccio raggiungesse i fondali marini.

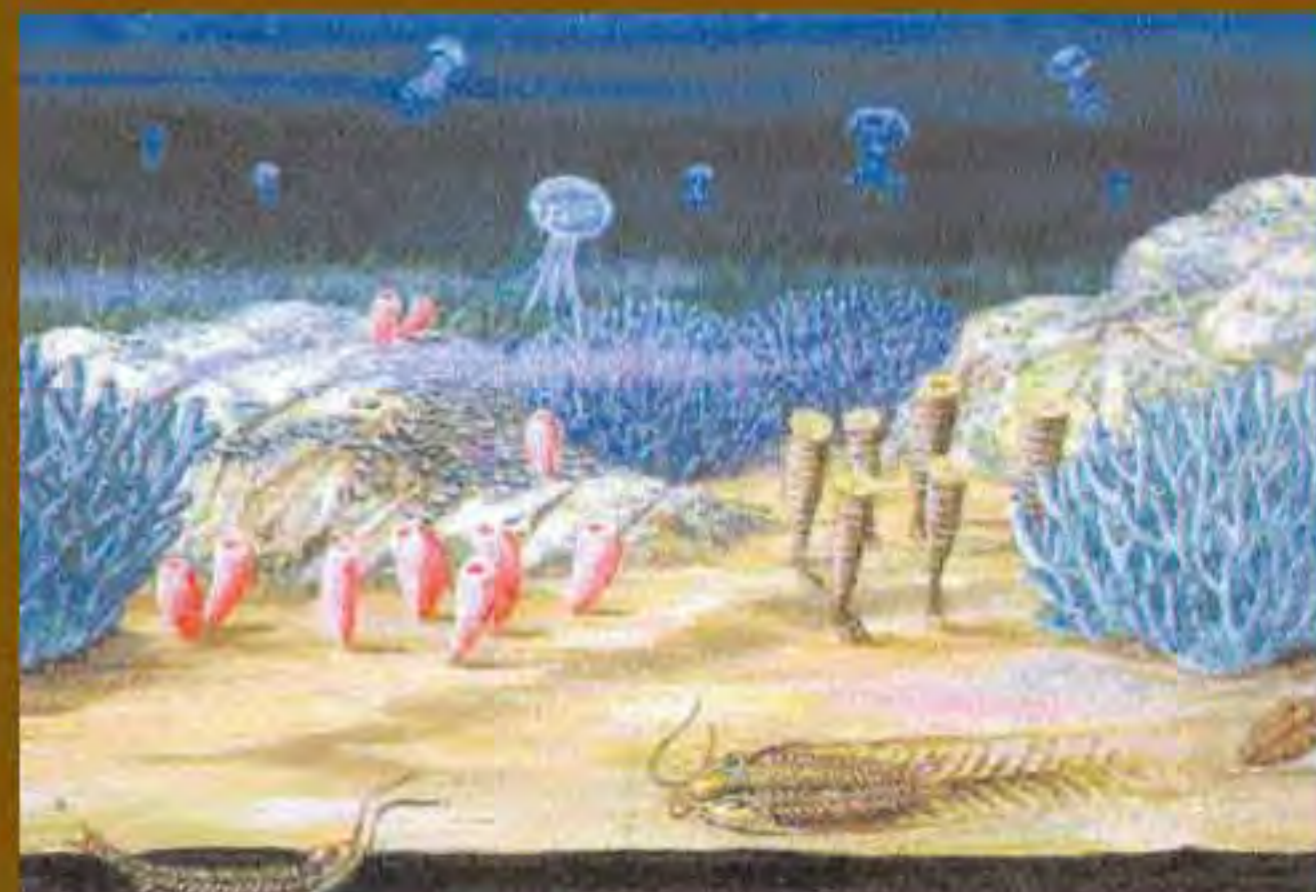
A questa fase di glaciazione seguì una fase di intenso riscaldamento. Infatti, l'anidride carbonica emessa dai vulcani non poteva più essere riassorbita dagli oceani e si accumulò fino a un livello 1000 volte maggiore dell'attuale, determinando così un fortissimo effetto serra. Il pianeta si riscaldò di nuovo, i ghiacci si fusero e le temperature superficiali per qualche tempo raggiunsero valori anche di 50°C . Come reagì il mondo biologico a questi drastici cambiamenti? Come è noto, un simile evento di glaciazione era già accaduto circa 1,7 miliardi di anni prima, ed è stato molto probabilmente l'evento che promosse la comparsa delle cellule Eucariotiche.

cronologia della nascita degli animali evoluti

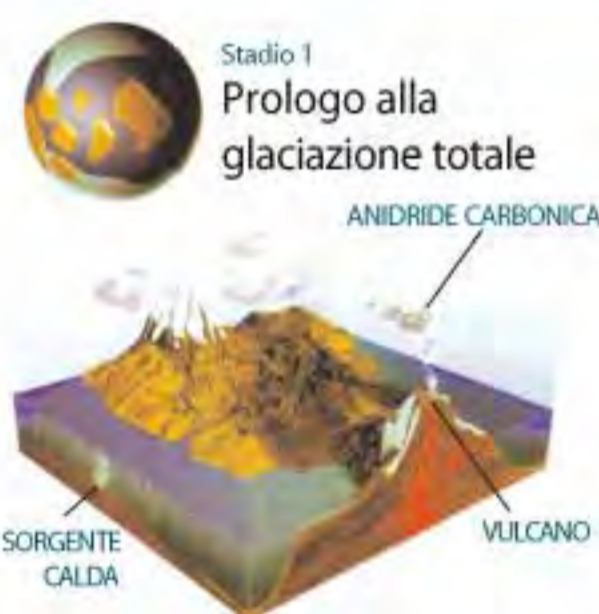


Circa un miliardo di anni fa comparvero poi i primi organismi animali pluricellulari, anche se si trattava di specie semplici, di minuscole dimensioni, e senza gusci o scheletri. Questo è il livello evolutivo al quale si trovava la vita animale da 800 a 600 milioni di anni fa, ed è questa la ragione per cui sono rimaste scarsissime testimonianze fossili. Da 550 a 500 milioni di anni fa, nel periodo geologico denominato Cambriano, si assiste a una straordinaria esplosione evolutiva del mondo animale, testimoniata da un'abbondanza senza precedenti di reperti fossili. (Esplosione Cambriana)

I raggruppamenti animali fondamentali ancora oggi esistenti (denominati phyla), nacquero tutti in quell'epoca: alcuni di essi si sono in seguito estinti, ma non ne sono più comparsi di nuovi. Queste considerazioni suggeriscono che questa glaciazione sia stato il maggior promotore della proliferazione e complessificazione della vita animale. Ciò è plausibile per molteplici ragioni. Drastici cambiamenti ambientali (nel nostro caso la glaciazione e il successivo periodo di caldo estremo) creano condizioni di stress che portano a un sostanziale aumento della variabilità genetica e quindi a un'accresciuta velocità del processo evolutivo. Di certo, nel periodo freddo molte specie animali di quell'epoca si estinsero, e quelle che sopravvissero vi riuscirono probabilmente rifugiandosi ancora una volta presso le sorgenti vulcaniche calde sul fondo degli oceani. In questo scenario, popolazioni animali appartenenti alla stessa specie vissero isolate le une dalle altre per milioni di anni. Questo è un altro presupposto perché specie diverse si possano formare mediante una progressiva diversificazione genetica. Quando il clima ridivenne infine temperato, miriadi di specie animali popolavano gli oceani ed erano pronti a prendere possesso della terraferma.

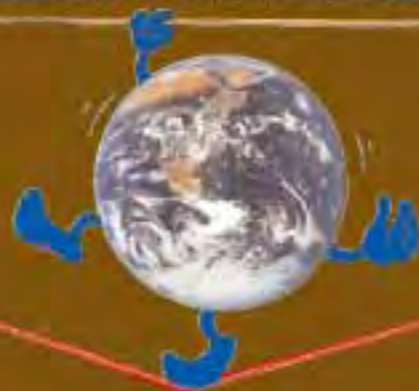


Flora e fauna acquatiche del Cambriano



Le tappe della glaciazione globale





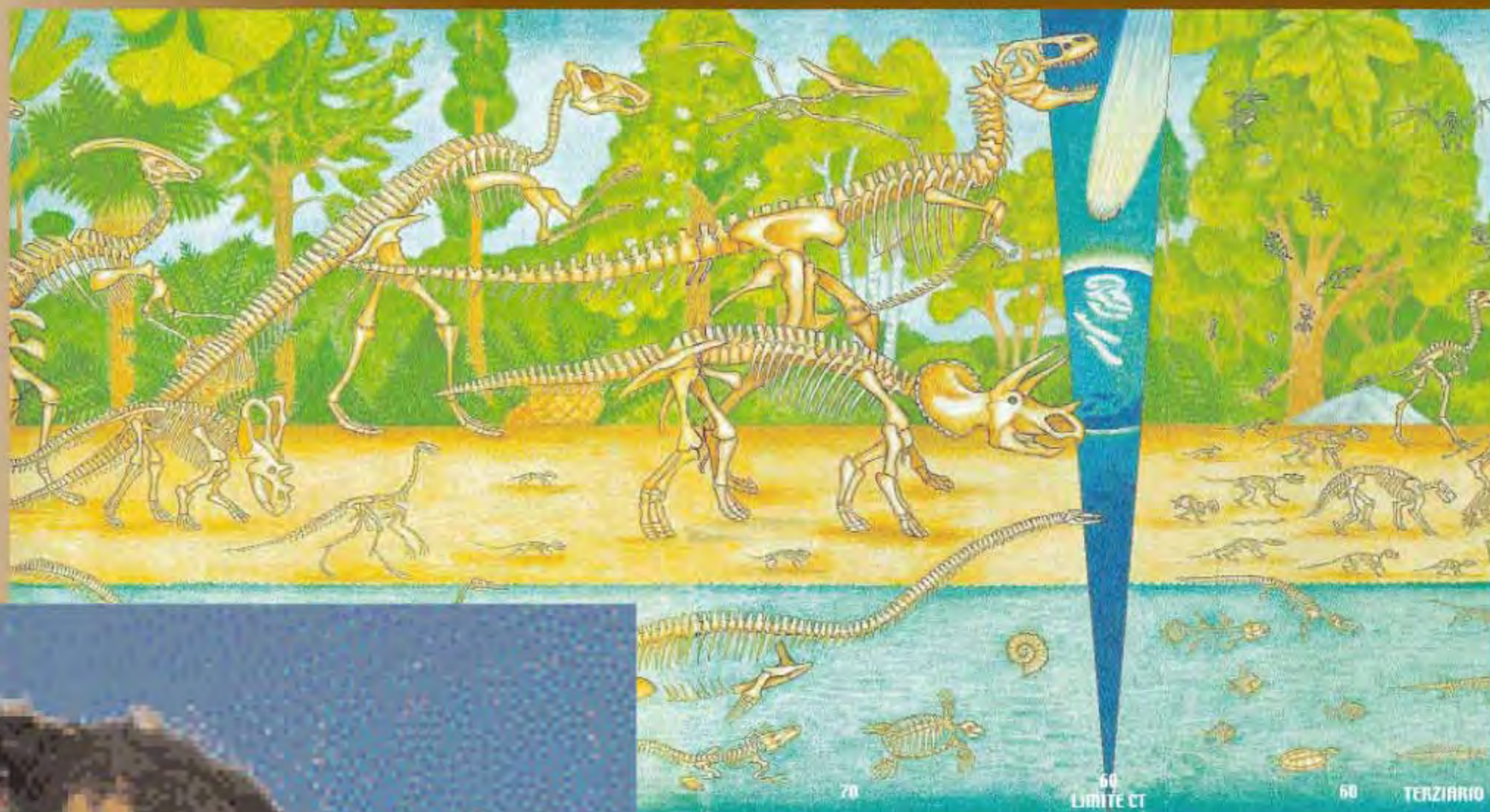
Un impatto creativo

In un periodo di tempo compreso tra circa 200 milioni e 65 milioni di anni fa, i rettili erano la classe animale che regnava incontrastata sulla Terra. Tra le innumerevoli specie di rettili, gli autentici dominatori della terraferma, erano i dinosauri grazie alle loro imponenti dimensioni. Alcuni di essi arrivavano fino a 8 metri di lunghezza. Ma circa 65 milioni di anni fa si verificò un'estinzione di massa in un tempo brevissimo sulla scala geologica: circa un migliaio di anni. Tale estinzione, che rappresenta il limite ideale tra il Cretaceo e il Terziario, coinvolse circa la metà di tutte le forme di vita allora presenti, e tutte le specie di dinosauri. Cosa accadde?

Così si domandano i geologi e paleontologi. Una delle ipotesi più accreditate è un'ipotesi che è oggi ampiamente condivisa dagli scienziati: un impatto extraterrestre, verosimilmente causato da un asteroide di circa 10 chilometri di diametro, sarebbe entrato in collisione col nostro pianeta (evento K-T).

Ci è possibile immaginare gli effetti di un simile impatto? Mediante simulazioni basate sulla nostra conoscenza della fisica e della geologia, quali effetti avrebbe provocato un simile impatto? Si è calcolato che l'energia rilasciata da un urto di queste proporzioni corrisponde a un'esplosione 10000 volte più potente di quella che potrebbe provocare l'implosione di un arsenale mondiale di armi nucleari. Se l'asteroide fosse caduto in mare avrebbe sollevato onde dell'altezza di centinaia di chilometri.

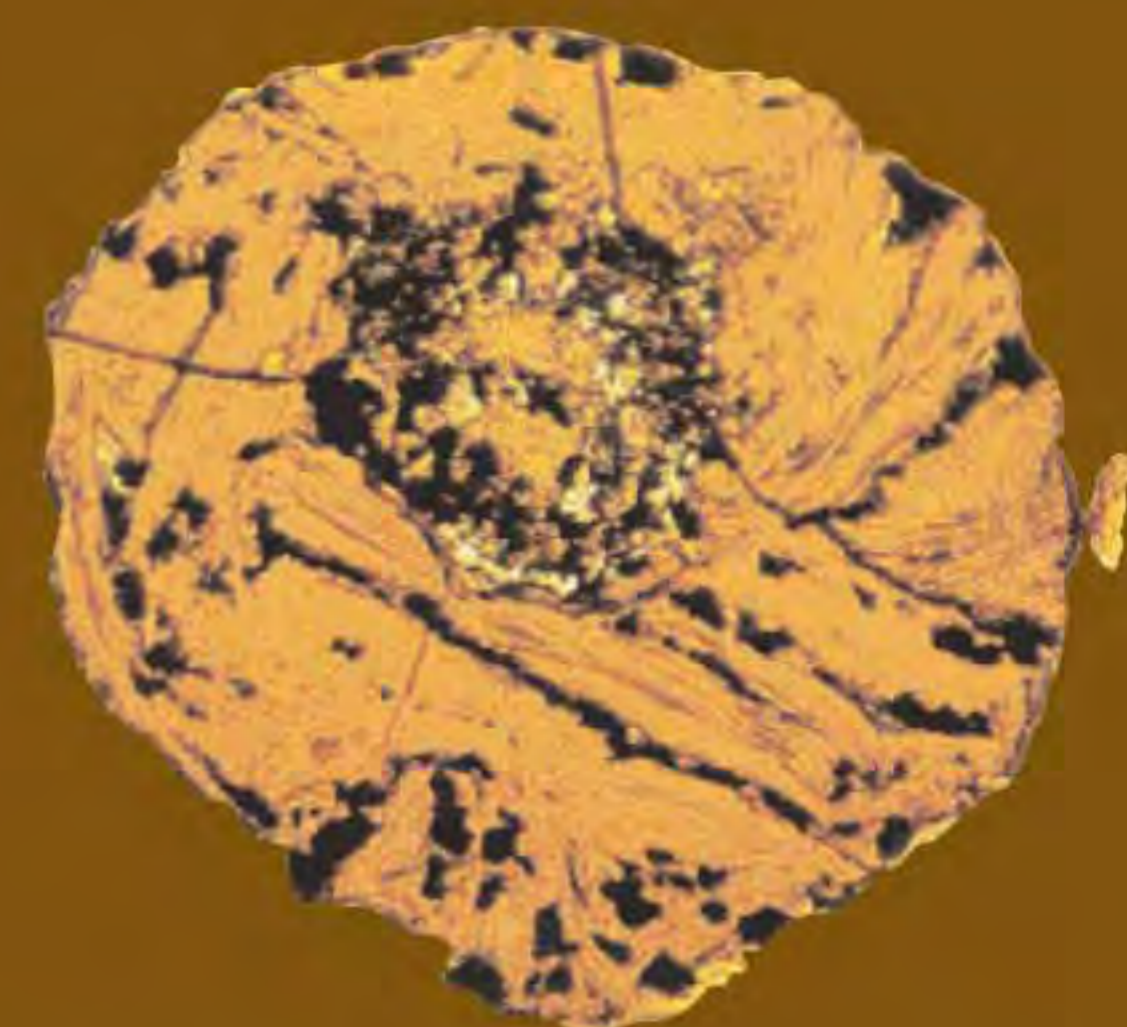
Ma gli effetti catastrofici provocati da un oggetto di queste proporzioni sono di ben altra portata. In base alle simulazioni effettuate è stato dimostrato che il seguito dell'impatto, non solo sarebbe formato un ampio campo di roccia fusa, ma il grosso del materiale coinvolto nell'impatto medesimo sarebbe stato sollevato ben oltre il limite dell'atmosfera orbitale da cui sarebbe ricaduto in varie parti del pianeta. Secondo le previsioni, le conseguenze sarebbero, per un primo periodo, un completo oscuramento della biosfera prodotto dalle ceneri e meteoriche, con temperature estremamente basse per parecchi



uno
o tipo
ortato
sicché
uto a
nto, a
imali.
denze
media-
circa la
rebbe
erosi-
ande-
la loro

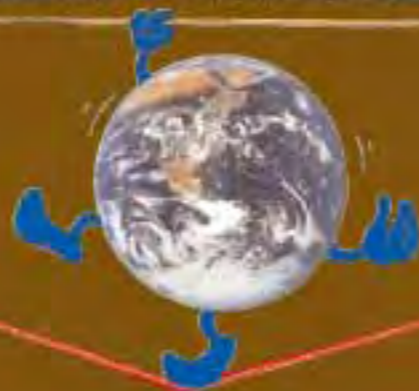
aciale
riscal-
serra,
onenti
izzata
ra. Il
do di
o più a
ed è
serra.
imali,
rigori
patto,
stati
eriodo
calore

A conferma sostanziale dell'ipotesi dell'estinzione da impatto, in tempi recenti è stato identificato nella penisola dello Yucatan un cratere del diametro di circa 100 chilometri che è stato datato nel limite tra Cretaceo e Terziario. Nella Terra che riemergeva da questa catastrofe globale, i dinosauri non esistevano più, e con loro erano scomparse moltissime altre specie. I mammiferi, che fino a quell'epoca erano limitati a poche specie e di piccola dimensione, con l'uscita di scena dei dinosauri trovarono il campo libero, iniziando una fase esplosiva dell'evoluzione che li porterà a prendere possesso di tutto il pianeta. E' spianata la strada verso la comparsa dell'uomo.



Un'evidenza dell'impatto di un asteroide

Un campione di argilla datato al periodo di transizione Cretaceo-Terziario. In esso si osservano sferule basaltiche di materiale fuso della crosta oceanica; si ritiene che si siano originate dall'impatto e che in seguito siano ricadute su tutto il globo.



Da dove veniamo

(Trasformazioni climatiche in Africa spianano la strada alla comparsa dell'uomo)

Fino a circa 17 milioni di anni fa, l'Africa equatoriale era un ambiente umido interamente ricoperto da foreste che si estendevano dalla costa atlantica fino all'Oceano Indiano. Questo territorio era abitato da scimmie adattate all'andatura quadrupede, o capaci di muoversi da un albero all'altro tenendovisi aggrappate con le braccia (un metodo di locomozione denominato brachiazione). Nelle epoche immediatamente successive si produssero importanti cambiamenti climatici a seguito della deriva dei continenti. La Rift Valley, una serie di avvallamenti tettonici che tagliavano il continente da Nord a Sud circa in corrispondenza delle attuali Etiopia e Kenya, andò incontro a deformazioni che comportarono un aumento dell'altitudine e dell'attività vulcanica. L'Africa venne in qualche modo tagliata in due: a est la temperatura media e l'umidità si ridussero, e di conseguenza le foreste cominciarono a regredire, sostituite prevalentemente da savana e prateria. Al contrario, nella zona orientale, i flussi di aria umida provenienti dal golfo di Guinea restarono immutati e neppure il paesaggio subì modificazioni. Le scimmie che rimasero isolate a est della Rift Valley si trovarono allo scoperto e andarono incontro a importanti processi evolutivi per adattarsi al nuovo ambiente. Assunsero la stazione eretta, che le mise in grado di sorvegliare meglio il territorio, difendersi dai predatori, cogliere migliori opportunità per la ricerca del cibo. La stazione eretta libera gli arti anteriori, rende gli individui capaci di produrre

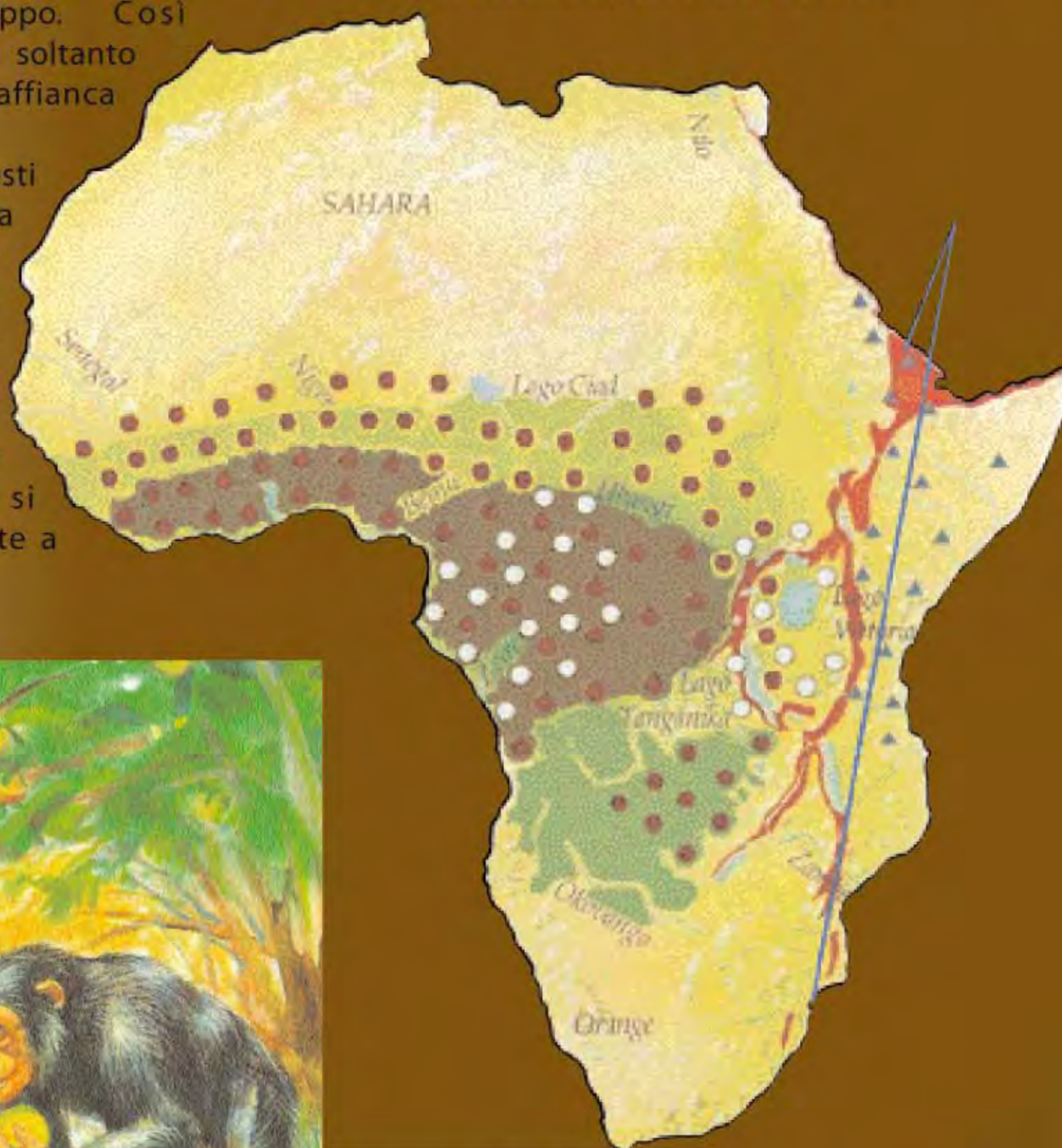


strumenti e mette così in moto un processo evolutivo che non è più esclusivamente biologico. La sopravvivenza è sempre più legata a strategie che vengono "inventate", progressivamente perfezionate e trasmesse all'interno del gruppo. Così l'evoluzione non è più soltanto biologica, ma a essa si affianca l'evoluzione culturale.

La combinazione di questi due processi spiana la strada alla comparsa degli uomini moderni. Ancora oggi, le scimmie antropomorfe, discendenti delle antiche specie arboricole di 17 milioni di anni fa, si ritrovano esclusivamente a ovest della Rift Valley.

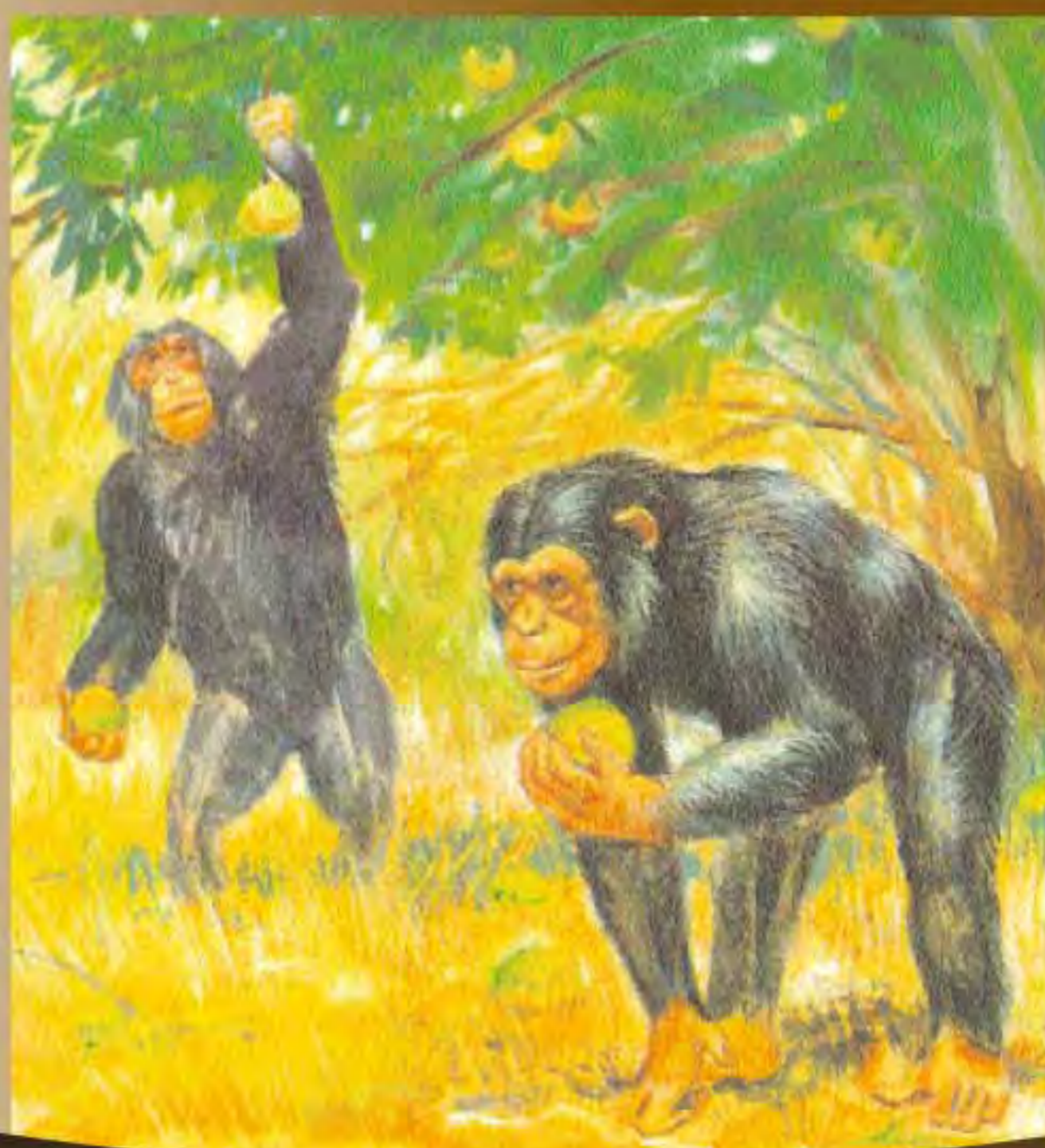
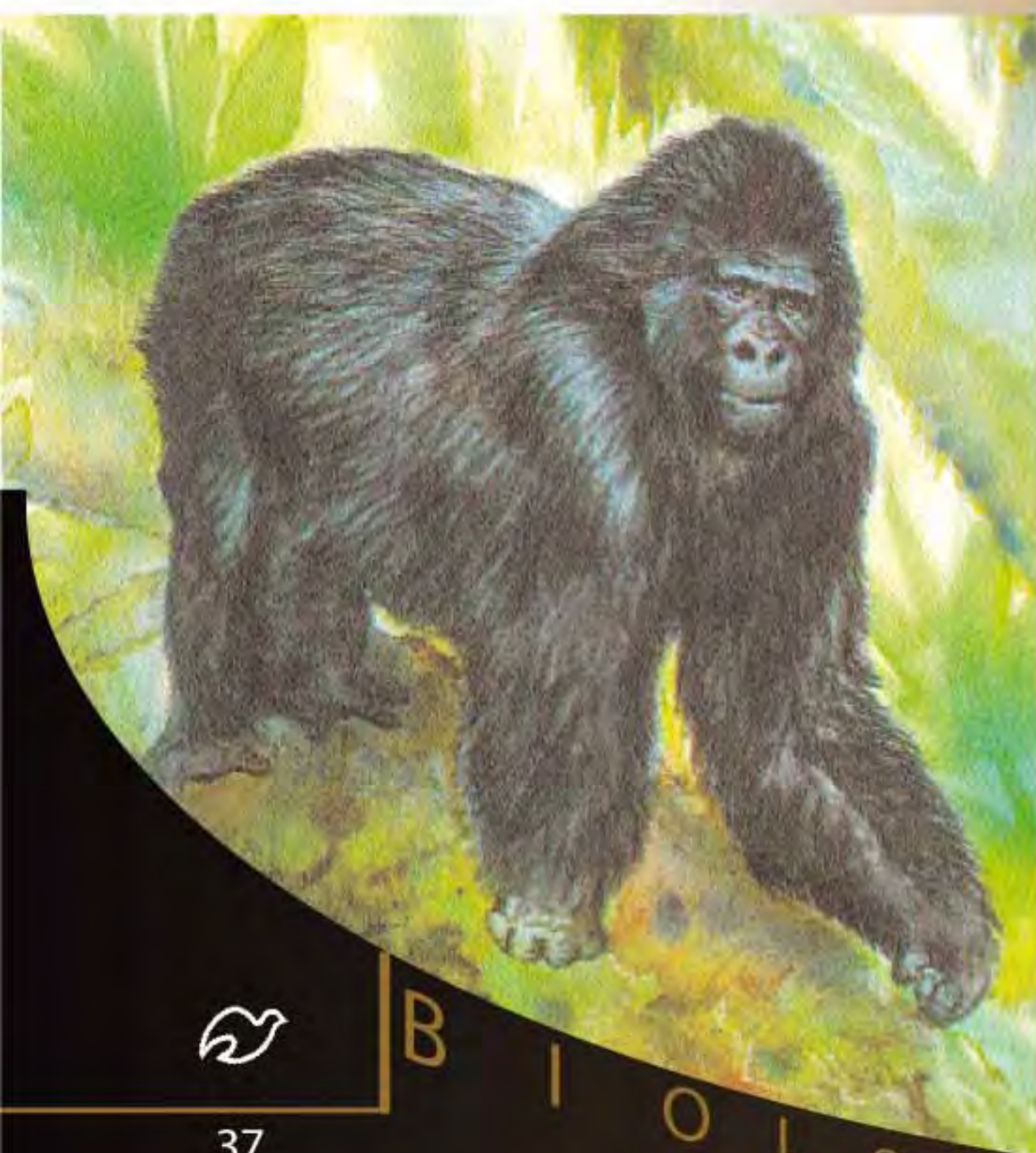
Ad est della Rift Valley:

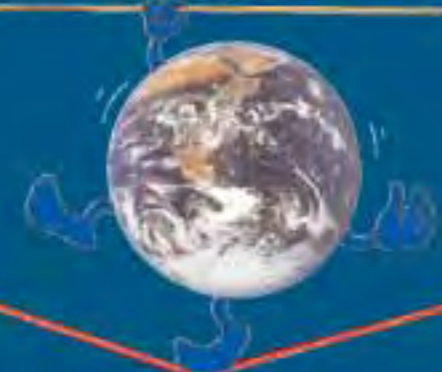
L'impressionante sviluppo della scatola cranica dagli australopiteci (non ancora umani: cranio a sinistra) all'uomo moderno (*Homo sapiens sapiens*: cranio a destra). Al centro è presentato il cranio dell'*Homo erectus*, che è considerata una specie umana più primitiva.



Ad ovest della Rift Valley

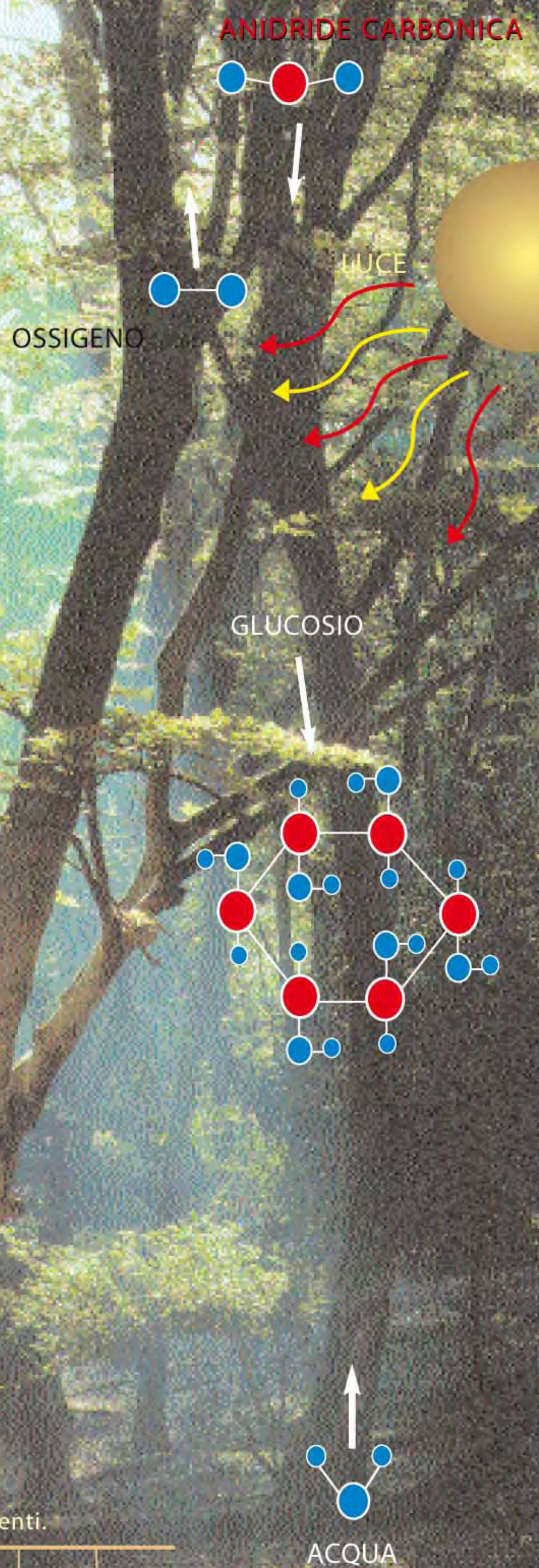
Gorilla e scimpanzé: i discendenti delle scimmie arboricole progenitrici dell'uomo.





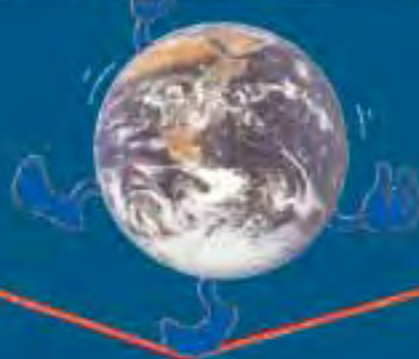
La vita ha bisogno di energia

Tutti gli organismi viventi hanno bisogno di energia per vivere. Per la maggior parte di essi la fonte di energia primaria è la luce del Sole, fissata sulla Terra principalmente attraverso la fotosintesi. Energia, anidride carbonica e acqua sono ciò che gli organismi capaci di fotosintesi utilizzano per sintetizzare ossigeno e zuccheri che costituiscono il nutrimento di altri esseri viventi. L'ossidazione dei tessuti che consegue alla morte biologica degli organismi restituisce all'ambiente le sue materie prime.



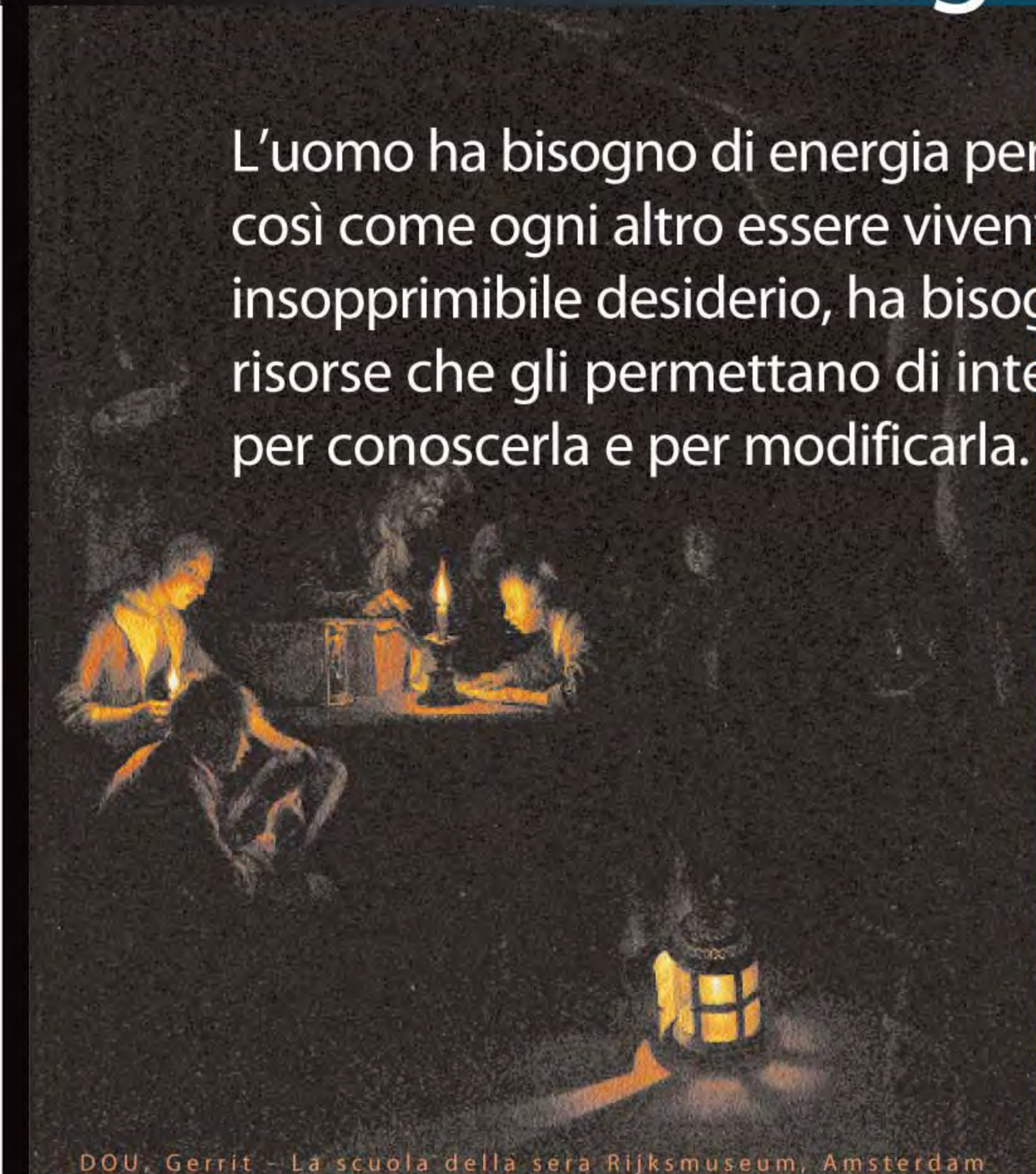
Contributi al bilancio energetico terrestre. Media annuale in barili di petrolio equivalenti.





L'uomo ha bisogno di energia

L'uomo ha bisogno di energia per il suo sostentamento, così come ogni altro essere vivente; ma, mosso da un insopprimibile desiderio, ha bisogno di ulteriori risorse che gli permettano di intervenire sulla realtà per conoscerla e per modificarla.



DOU, Gerrit - La scuola della sera Rijksmuseum, Amsterdam

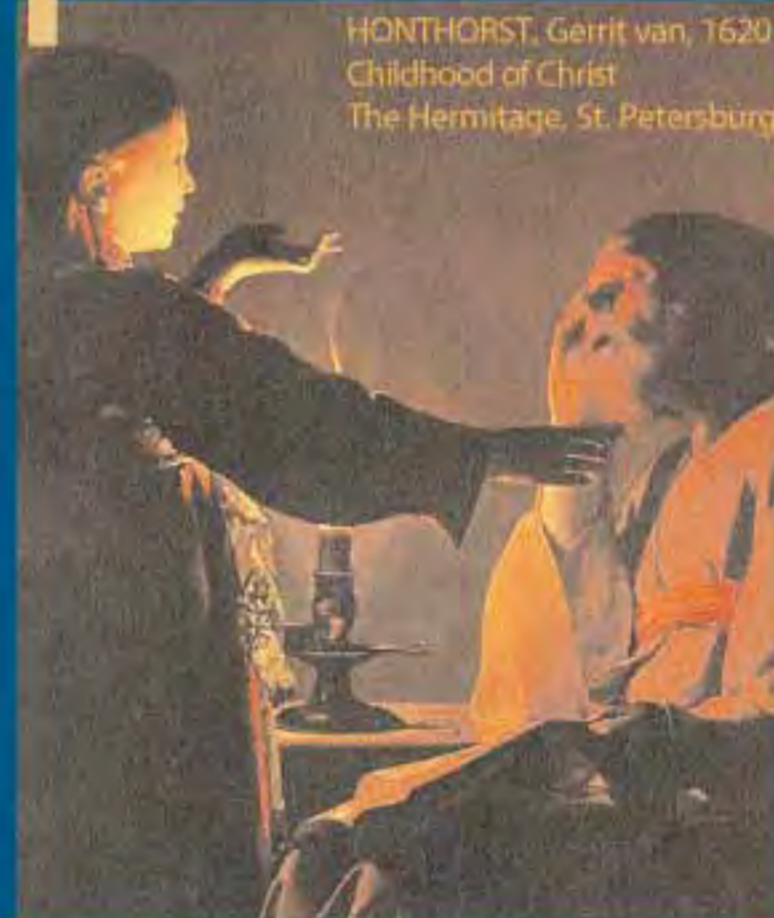


J.F.Kennedy Space Center, 11/2/2000. Lancio dello Shuttle Endeavour.



DONNER, Georg Raphael, 1730s
Da Venere nella bottega di Vulcano
Museum of Fine Arts, Budapest

per conoscere



HONTHORST, Gerrit van, 1620
Childhood of Christ
The Hermitage, St. Petersburg



LA TOUR, Georges de, 1645
S. Giuseppe falegname
Louvre, Paris

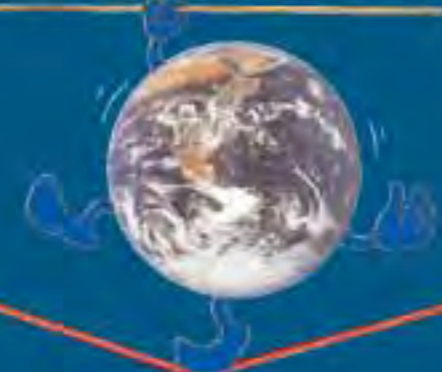
per costruire



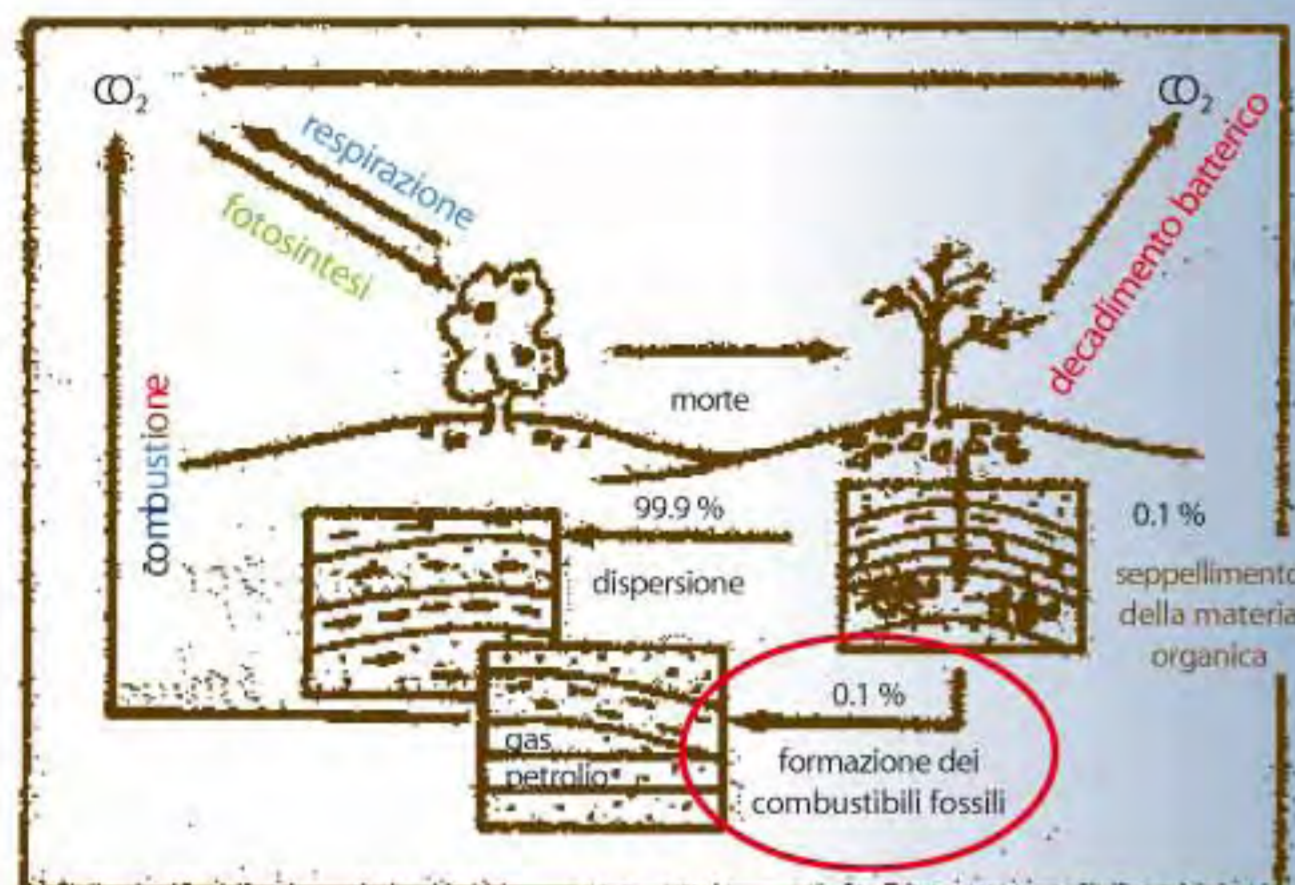
LA TOUR, Georges de, 1640
Il sogno di S. Giuseppe.
Musée des Beaux-Arts, Nantes



LA TOUR, Georges de, 1638-1639
S. Irene rimuove le frecce dalle gambe di S. Sebastiano
Kimbell Art Museum, Forth Worth, Texas



La vita genera energia



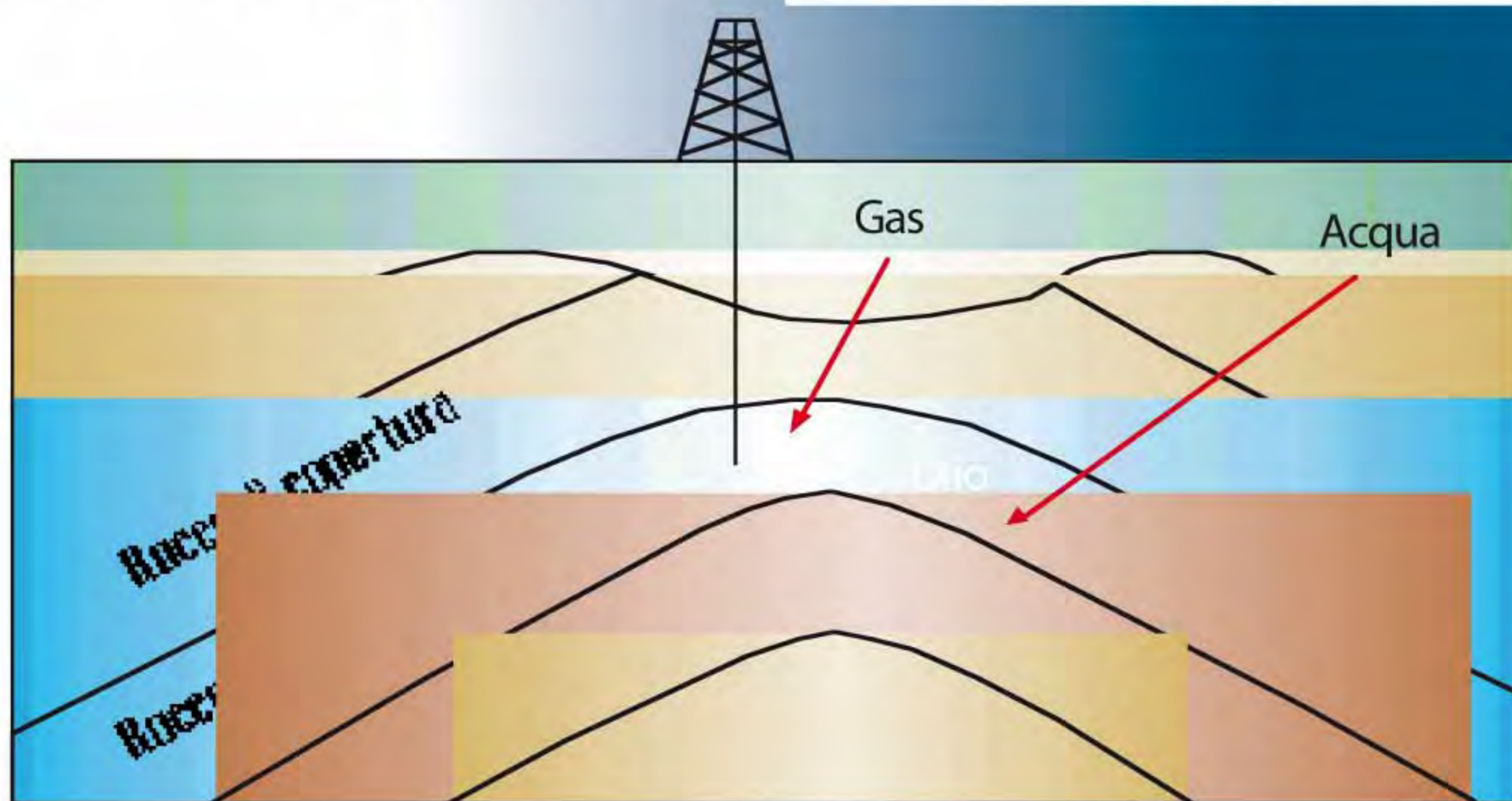
Esiste una piccola percentuale di materia organica che sfugge attraverso il seppellimento al processo di decomposizione ossidativa che è proprio degli ambienti ricchi di ossigeno. Altri meccanismi chimici trasformano la materia organica, privandola di alcuni dei suoi costituenti ed effettuando un processo che consente l'accumulo di energia nei legami C-C e C-H.

La presenza di vita sulla Terra è quindi essa stessa indispensabile per la generazione di fonti energetiche facilmente utilizzabili dall'uomo: il legno, il carbone, il petrolio.



Naphtha Bituminosa est liquidus generis: in mare manat Montibus et Siccis, fluidusq; supernatat undis:

Spongia cum excipiente Nanta, expressamq; trundunt Olla, et variis hominum servatur in usus.



Il progressivo seppellimento porta all'aumento di temperatura e pressione. Entro un ristretto intervallo di valori di temperatura e di pressione la materia organica subisce le trasformazioni chimiche che la rendono petrolio o carbone.

Una volta formati, gli idrocarburi tendono a risalire in superficie grazie alla loro minore densità rispetto all'acqua. Avviene così il processo di migrazione che si arresta in presenza di uno strato di roccia impermeabile che ne arresta la migrazione. Così intrappolati gli idrocarburi si accumulano dando luogo ai giacimenti.

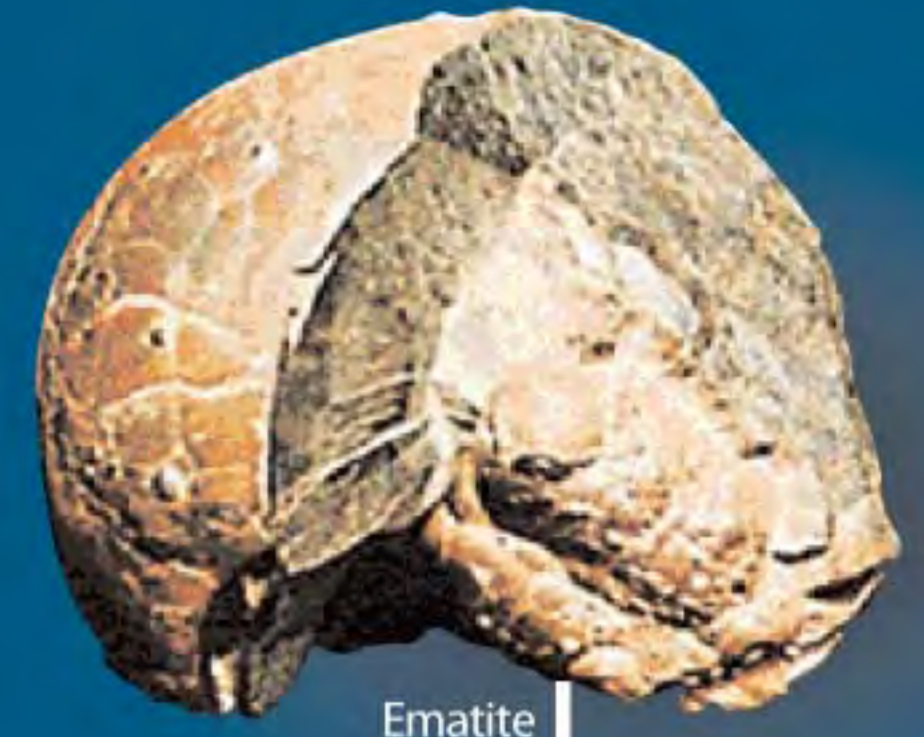
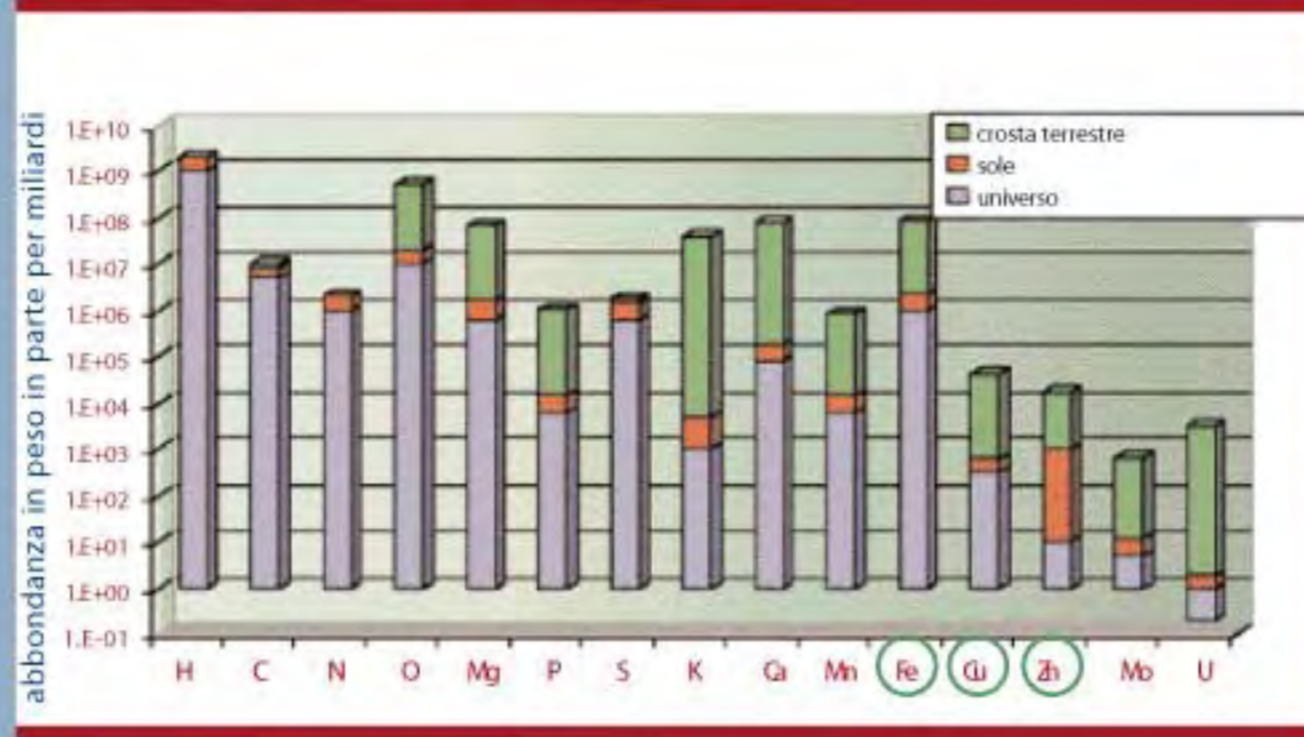
La scoperta di queste risorse non ha avuto bisogno di particolari mezzi tecnologici, poiché una parte di queste risorse è facilmente reperibile



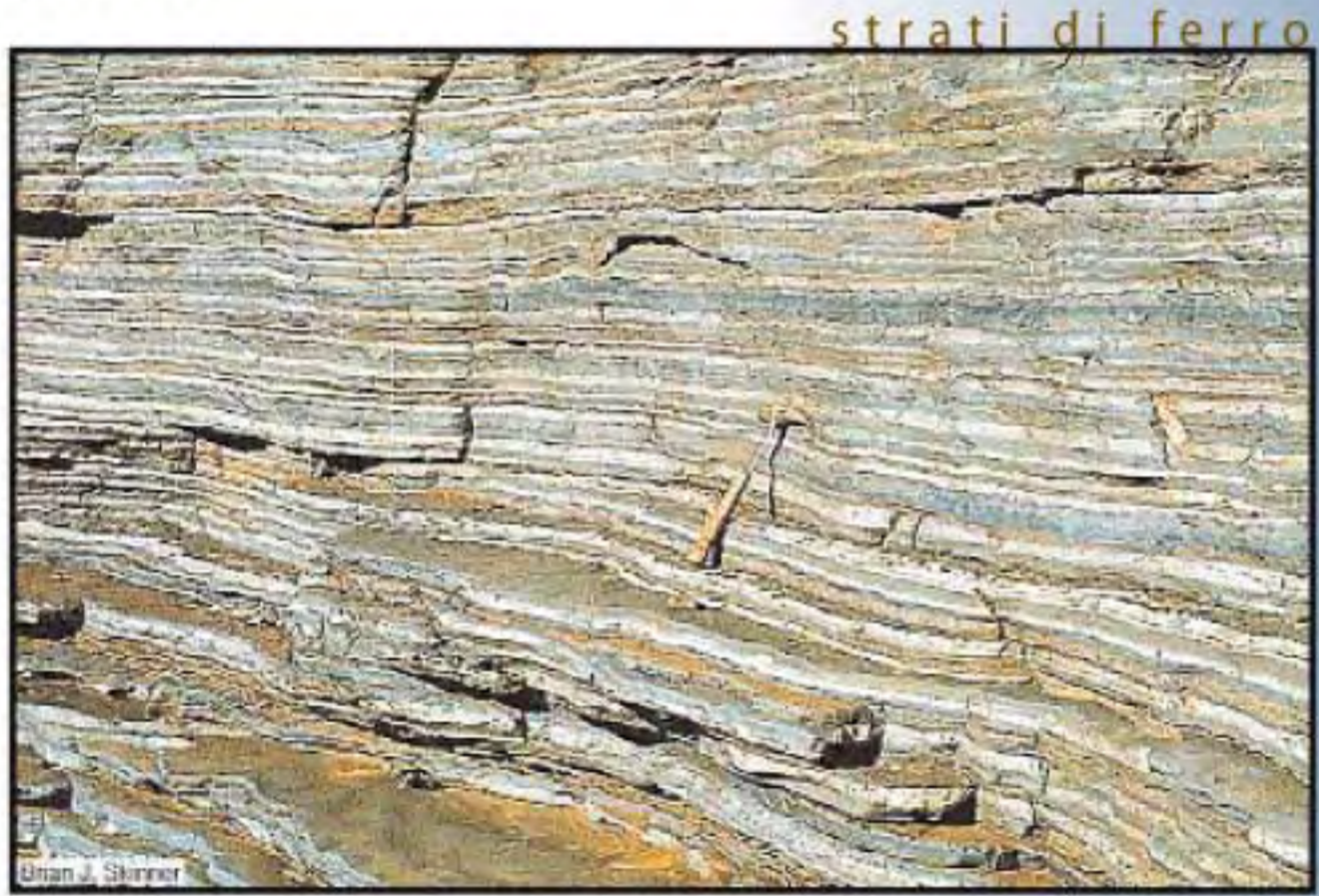


Abbondanza e differenziazione

I metalli sono altrettanto essenziali per la vita evoluta di quanto lo siano le fonti di energia. La Terra appartiene a un sistema solare in cui abbondano metalli ed elementi pesanti, e ne è essa stessa ricca. Questi metalli sono resi disponibili da processi geochimici che ne permettono la concentrazione e l'accumulo in siti vicini alla superficie terrestre e in valori molto superiori alla media della crosta del pianeta.



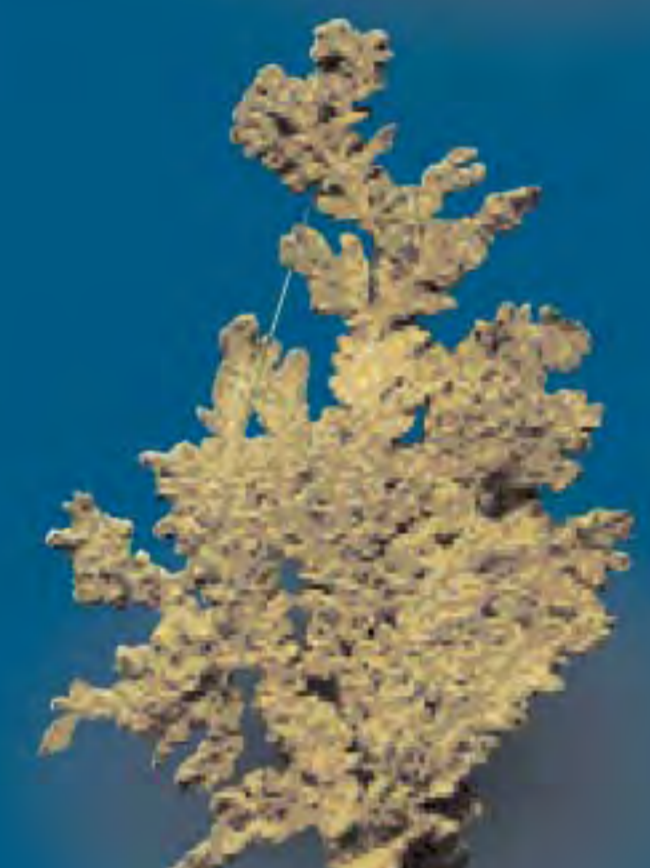
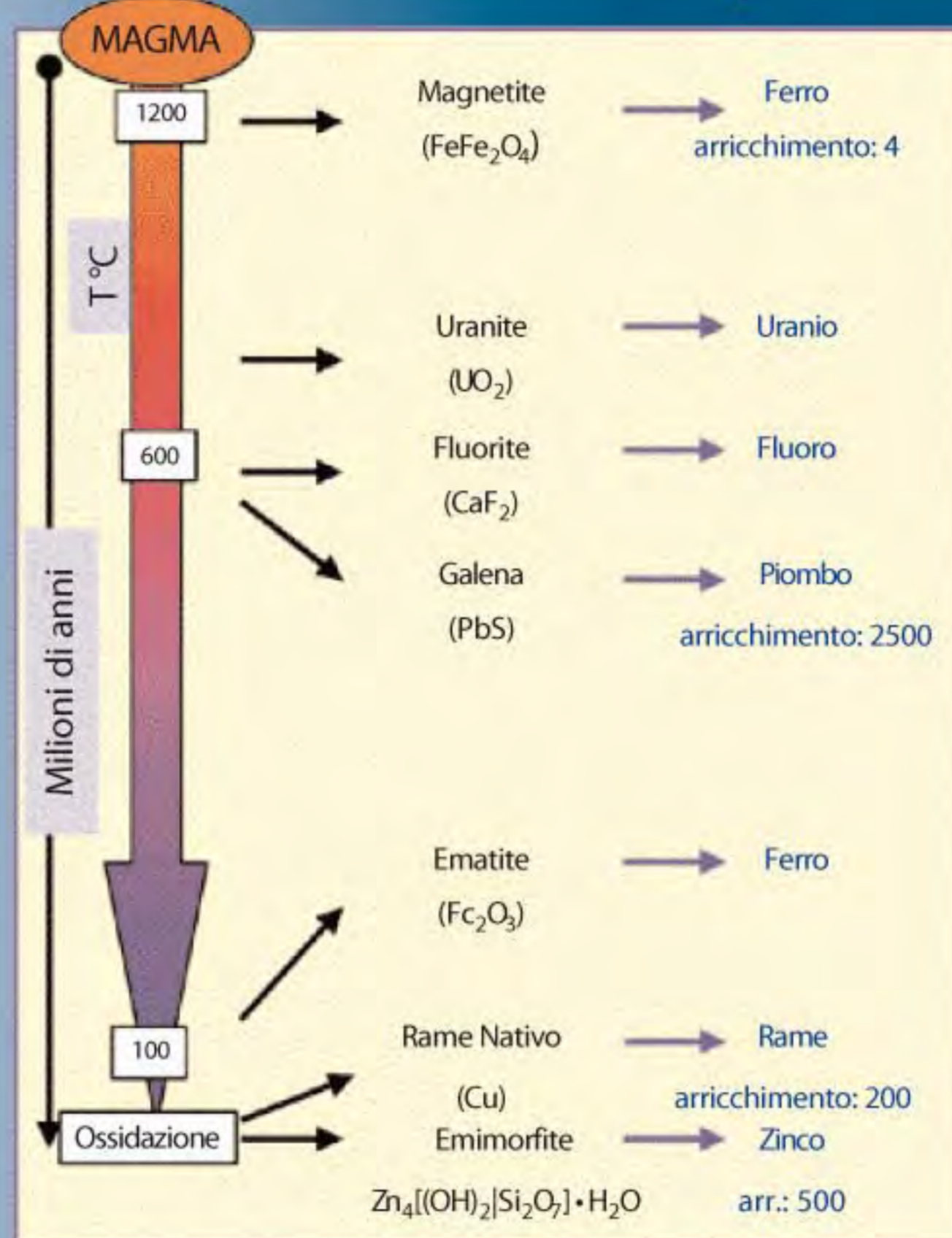
Ematite



strati di ferro

Quando un magma risale dal mantello terrestre si solidifica raffreddandosi progressivamente. In dipendenza dalla temperatura alla quale avviene, la solidificazione produce dei cristalli la cui composizione chimica percentuale è diversa da quella del magma indifferenziato di partenza e da quella del magma ancora in fase liquida. Alla fine del processo di cristallizzazione si può avere un accumulo di minerali con elevato contenuto di metalli, che in molti casi sono facilmente riconoscibili.

La Differenziazione Magmatica



Rame nativo



Sphalerite (ZnS)

I metalli sono stati utilizzati sin dagli albori della civilizzazione umana per la costruzione di strumenti per gli scopi più vari. La presenza abbondante di metalli è tra i fattori determinanti che hanno permesso l'evoluzione della tecnologia.



Trattore a vapore (1900 c.a.)



Resto di meccanismo in bronzo per il calcolo dei moti celesti (Antikythera, Grecia, I secolo d.C.).



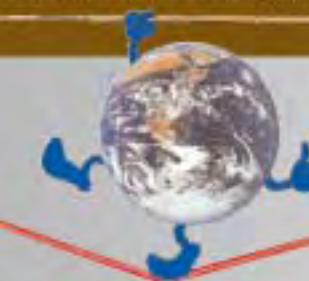
Attrezzi in bronzo

Modello meccanico eliocentrico del sistema solare. J. Rowley, 1749



Bobina in ferro e rame costruita da M. Faraday per i primi esperimenti sull'induzione elettromagnetica





ERA

ARCHEOZOICA

PRECAMBRIANO

periodo

scala temporale
milioni di anni

4750 3700 3500 3200 2600 2000 700 650

fenomeni
geologici

Formazione della crosta terrestre	Primi nuclei di terre emerse	Si forma l'idrosfera. Intensa attività vulcanica	Formazione dei più antichi scudi continentali. Intensa attività vulcanica	Origine dei primi nuclei continentali. Temperatura media alta	La temperatura diminuisce progressivamente. Intensa glaciazione
-----------------------------------	------------------------------	--	---	---	---

eventi
straordinari

SNOW BALL

SNOW BALL

tettonica
a placche

Non si sa molto sulla distribuzione delle terre emerse e degli oceani
Esistono gli scudi continentali

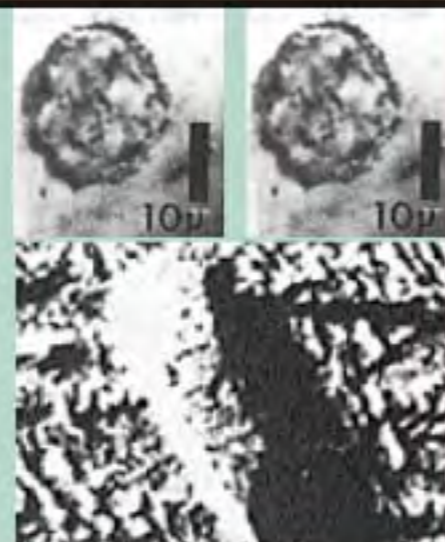


biosfera

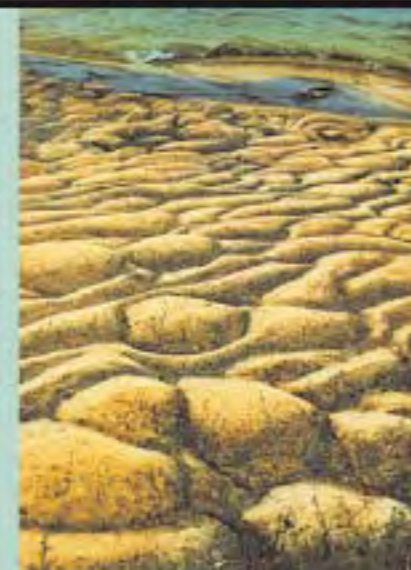
Si diffondono nei mari i primi unicellulari (archeobatteri)	Primi esseri viventi (eozoon)	Nei mari i primi organismi pluricellulari animali (stromatoliti) e vegetali (alghe)	Nuovi organismi marini pluricellulari (anellidi)	Nuovi organismi marini pluricellulari (vermi crostacei)
---	-------------------------------	---	--	---

testimonianze
fossili
e ricostruzioni

A-B: Uronia, un'alghiforme
C: Eobacterium isolatum



Stromatoliti di due miliardi di anni provenienti dalle spiagge del Great Lake nel nord-ovest del Canada



Microfossili: catena di celle di cianobatteri di almeno 1 miliardo di anni. (Bitter Springs - Nord Australia)



Fossile precambriano detto "Dicksonia" scoperto sulle colline di Ediacara nel sud dell'Australia





PALEOZOICA

CAMBRIANO

ORDOVICIANO

SILURIANO

DEVONIANO

CARBONIFERO

PERMIANO

570

500

435

395

345

280

Mutano forme e estensioni delle terre emerse

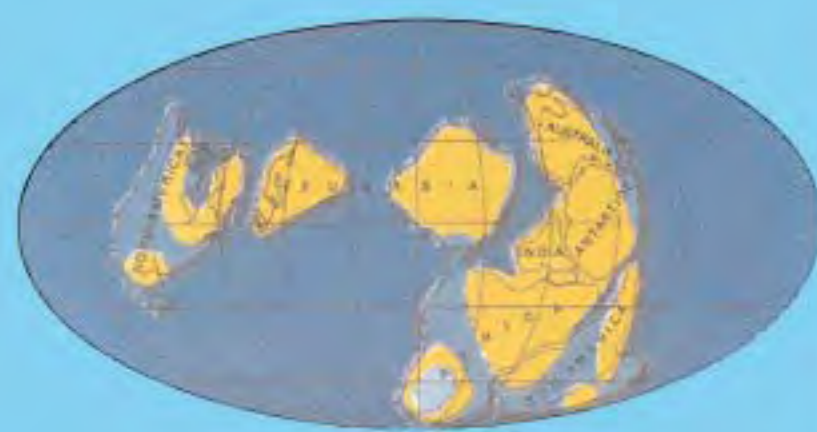
Gli oceani invadono gran parte delle terre emerse

Grande estensione dei continenti.
Clima secco e caldo.
Si forma l'atmosfera

Moti verticali delle terre emerse.
Formazione carboni fossili.
Terre emerse a carattere paludoso ricche di foreste.
Glaciazione

Ritiro di alcuni mari e invasione da parte di altri, di:
Europa orientale, Asia e Stati Uniti centrali

ESPLOSIONE CAMBRIANA



Nord Europa inizia movimento verso nord



Orogenesi Caledoniana



Nordamerica, Groenlandia e Gran Bretagna si saldano all'Europa; si uniscono le Americhe



Il supercontinente Gondwana (Sudamerica, Africa, India, Antartide, Australia) circonda l'Artico



FAUNA: solo marina (celenterati crostacei).
FLORA: solo marina (alghe).

FAUNA: invertebrati marini (trilobiti, cefalopodi).
Primi vertebrati (ostracodermi, placodermi). Primi artropodi terrestri (scorpioni).
FLORA: prime piante terrestri.

FAUNA: anfibi e primi insetti terrestri.
FLORA: inizia in fiumi e paludi. Prime felci arboree e crittogame.

FAUNA: primi pesci. Diffusione su terraferma di artropodi, primi rettili.
FLORA: gigantesche pteridofite e crittogame, compaiono gimnosperme.

FAUNA: diffusione dei rettili, sviluppo di anfibi giganti. Scompaiono i trilobiti.
FLORA: felci giganti.

Phacops rana, una trilobite del Devoniano nordamericano.



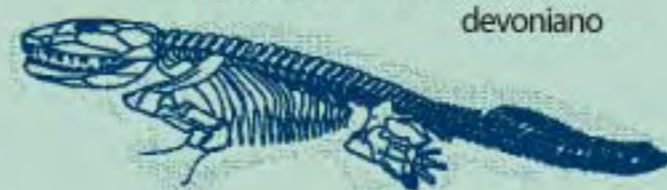
Impronta della conchiglia di un brachiopode del genere Orthis.



Taeniaster (stella di mare) del devoniano inferiore di Bundenbach (Germania)



Ricostruzione dello scheletro di Ichthyostega, anfibio del periodo devoniano



Hermicyclapsis: pesce cartilagineo senza mandibola del periodo devoniano

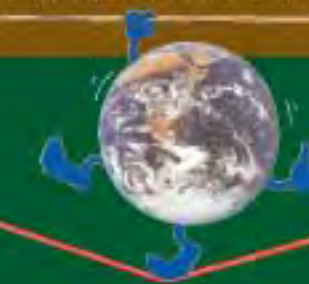


Senftenbergia plumosa: una pianta vissuta nelle foreste carbonifere



Mesosaurus Tumidus: rettile acquatico simile ad un cocodrillo ritrovato in Brasile





MESOZOICA

TRIASSICO

230

Profonde fratture, da cui esce lava, formano plateaux estesi.
Clima caldo e arido

GIURASSICO

195

Grosse regressioni e trasgressioni marine.
Orogenesi in Tibet, Caucaso, Siberia, Giappone, Australia, Ande.

CRETACICO

140

Oscillazioni verticali di terre emerse.
Massima estensione dell'oceano Tetide che separa le terre emerse in due blocchi (settentrionale e meridionale).
Intensa attività vulcanica.

65

EVENTO K-T



Eurasia e Gondwana uniti ancora ad ovest, a est si forma il golfo oceanico delle Tetide



Deriva verso nord dell'Eurasia, frattura della Pangea, apertura del bacino nordatlantico e golfo del Messico tra Africa e Nordamerica



Rotazione antioraria della penisola Iberica con distacco dall'Europa. Inizia la separazione del Sudamerica da Africa. Eurasia e Gondwana si allontanano (2-10 cm all'anno). L'India si separa dall'Australia e dall'Antertide.

FAUNA: diffusione di numerose specie di rettili. Nei mari, pesci (ganoidi e selaci) e invertebrati (ammoniti, cefalopodi, ect.).
FLORA: diffusione delle conifere. Piante xerofite.

FAUNA: primi uccelli (archaeopteryx) e primi mammiferi marsupiatati. Dominano i grandi rettili (dinosauri). Rettili giganti nei mari (ittiosauri) e ammoniti giganti. Primi insetti ditteri.
FLORA: predominano le conifere. Prime angiosperme.

FAUNA: sviluppo dei marsupiali. Verso la fine, scompaiono i grandi rettili. Molto diffuse le spugne.
FLORA: sviluppo di dicotiledoni, monocotiledini e conifere attuali.

Pesce fossile ritrovato in Libano



Ammonita ritrovata ad Aix en Provence (Francia)



Brontosaurus, dinosauro erbivoro, uno dei più lunghi conosciuti



Archaeopteryx lithographica del Giurassico superiore di Eichstatt



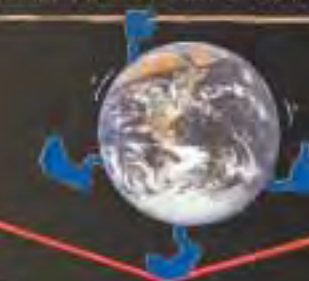
Ricostruzione di Williamsonia, pianta giurassica con tronco legnoso e semplici foglie



Deltatheridium: il primo marsupiale (mammifero)



Pterodactylus rinvenuto a Solnhofen



CENOZOICA

NEOZOICA

PALEOCENE

EOCENE

OLIGOCENE

MIOCENE

PLIOCENE

PLEISTOCENE

OLOCENE

60

53

37

26

7

2,6-1,4

0,01

inizia la formazione delle Filippine.

Americhe separate da basso mare arcipelaghi e formazioni coralline.

Formazione catena rocciosa e caraibica. Frammentazione oceano Tetide.

Rapido sollevamento Alpi e Himalaya. Ristabilito collegamento tra le due Americhe. Inizia formazione Italia.

Dalla scomparsa di Tetide nasce il Mediterraneo. Si formano l'Italia e il Mar Rosso.

Trasformazione delle coste. Subduzione della costa oceanica Pacifico occidentale sotto Asia orientale. Sollevamento Filippine e Giappone.

Fine glaciazione. Clima attuale, si inaridisce il Sahara, si formano gli attuali deserti. Si formano gli stretti di Gibilterra e Messina.

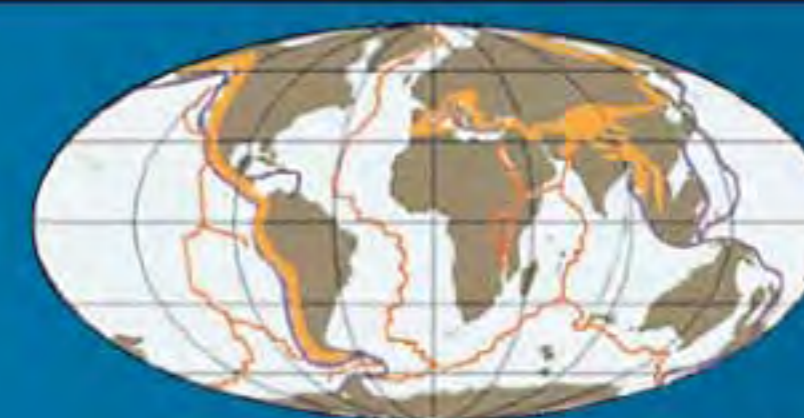
GLACIAZIONI - GRANDI VARIAZIONI CLIMATICHE



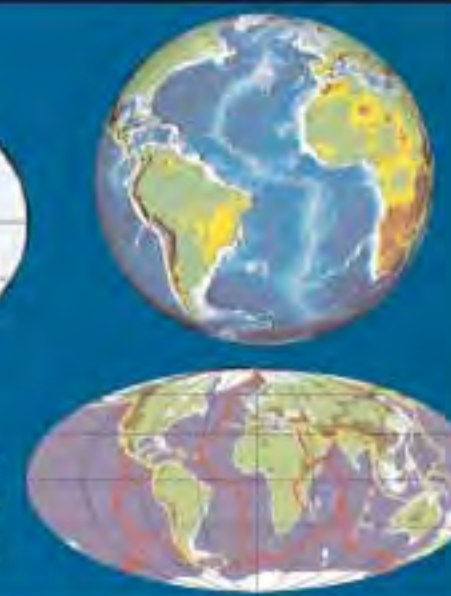
L'Australia si separa dall'Antartide. Deriva verso Nord dell'Africa.



Origine della piega alpina e chiusura della Teitide. Inizia il contatto dell'India con l'Asia.



Continua la deriva verso Occidente delle due Americhe: l'oceano atlantico continua ad allargarsi (2cm all'anno)



FAUNA: sviluppo di mammiferi e uccelli.
FLORA: in Europa flora tropicale e subtropicale.

FAUNA: compaiono piccoli mammiferi.
FLORA: prevalgono palme e felci.

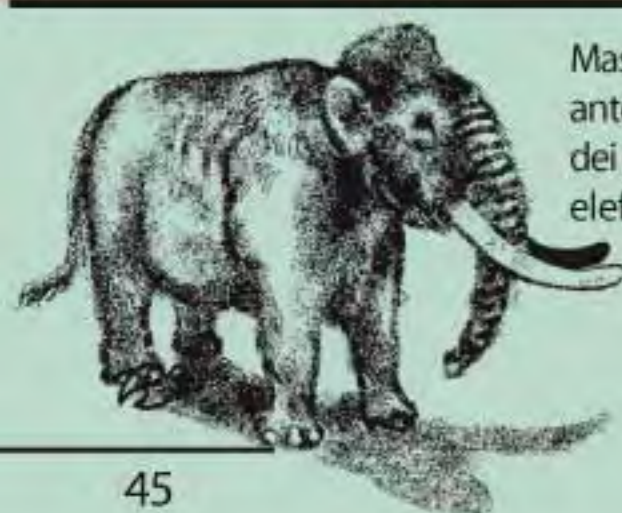
FAUNA: sviluppo di insetti e aracnidi. Primi elefanti e rinoceronti.
FLORA: subtropicale. In montagna, latifoglie.

FAUNA: compaiono scimmie antropomorfe.
FLORA: foreste di latifoglie, palme e piante tropicali.

FAUNA: sviluppo scimmie antropomorfe, compaiono gli antenati delle attuali specie animali.
FLORA: foreste di latifoglie.

Nell'ultimo periodo glaciale compare l'uomo. Continue mutazioni di flora e fauna. Foreste di conifere sino al Mediterraneo.

Sviluppo degli attuali ceppi umani: l'uomo scopre agricoltura, allevamento e infine metallurgia. Inizia l'attuale civiltà. Scompaiono molte antiche specie animali.



Mastodon, antenato dei moderni elefanti



Un ragno



Foresta tropicale con immagine di tronco fossile



Un gorilla



Il primo ominide



l'homo habilis con vestito e un attrezzo per la caccia



TERRA E DIMORA

Il viaggio che abbiamo compiuto ci ha portato dalle più lontane galassie al Sistema solare, dalla superficie terrestre fino al nucleo centrale della nostra Terra. Abbiamo visto come il nostro piccolo pianeta occupi una zona tranquilla dell'Universo, al riparo da micidiali catastrofi cosmiche. Ci siamo soffermati sul ruolo cruciale della Luna e di Giove, sulla presenza del campo magnetico: tutti ingredienti essenziali per rendere abitabile l'ambiente terrestre. Particolarmente sorprendente è il ruolo centrale della struttura geologica della Terra, caratterizzata dalla tettonica a placche: a essa dobbiamo la regolazione fine della stabilità termica per oltre 3 miliardi di anni. Abbiamo descritto il ciclo dell'acqua e le proprietà della nostra atmosfera, elementi cruciali per la vita. Abbiamo accennato alle complesse reazioni chimiche e agli avvenimenti imprevedibili e drammatici che hanno accompagnato e modellato l'evoluzione biologica, dai primi esseri viventi fino all'homo sapiens. Infine abbiamo notato che la ricchezza del suolo terrestre, alimentata proprio dalla presenza di materia organica, ha permesso e favorito lo sviluppo di una civiltà tecnologica. Se a uno sguardo distratto la

Terra può apparire un insignificante dettaglio nel grande quadro dell'Universo, l'osservazione attenta ci fa scoprire come il nostro pianeta sia un autentico prodigio. La Terra, piccola e preziosa, ci appare come una dimora costruita con grande cura. Gli eventi violenti della sua formazione, così come il lento e delicato mutare nel corso dei miliardi di anni, sono inscindibili dal lungo cammino dell'ascesa della vita, fino alle sue più alte vette. Fino alla comparsa dell'uomo, essere autocosciente, capace di sollevare lo sguardo e di abbracciare l'immenso Universo di cui pur non è che piccolissima parte.



Dov'eri tu quand'io ponevo le fondamenta della terra?
 Chi ha fissato le sue dimensioni, se lo sai,
 e chi ha teso su di essa la misura?
 Dove sono fissate le sue basi
 o chi ha posto la sua pietra angolare,
 mentre gioivano in coro le stelle del mattino
 e plaudivano tutti i figli di Dio?
 Chi ha chiuso tra due porte il mare,
 quando erompeva uscendo dal seno materno,
 quando lo circondavo di nubi per veste
 e per fasce di caligine folta?
 Poi gli ho fissato un limite
 e gli ho messo chiavistello e porte
 e ho detto: Fin qui giungerai e non oltre
 e qui s'infrangerà l'orgoglio delle tue onde.

Giobbe (38, 4-11)

Ora il cielo splendeva in tutta la sua gloria
 muovendo nei suoi giri, così come la mano del suo grande
 Primo Motore all'inizio lo aveva sospinto
 nel corso circolare; nel suo ricco perfetto abbigliamento
 ora la Terra sorrideva amabile: l'aria, l'acqua, la terra,
 da uccelli e pesci e altri animali erano
 percorse a volo, a nuoto, oppure camminando
 continuamente; e ancora il sesto giorno non era compiuto.
 Mancava ancora l'opera maggiore, il fine ultimo
 di tutto quanto era già stato fatto: una creatura
 non prona e brutta al pari delle altre, e piuttosto dotata
 da santità di ragione, che fosse in grado di ergersi
 in tutta la propria statura, e così eretta, capace
 di governare con fronte serena le altre,
 cosciente di sé, e per la sua grandezza d'animo adatta
 a mantenersi in armonia con il cielo.....

John Milton, Paradiso perduto, libro VII