

# GEOLOGIA

Un pianeta in continuo mutamento

Val Veny, M. Bianco (AO)  
Credits: foto di Maurizio Scacchetti



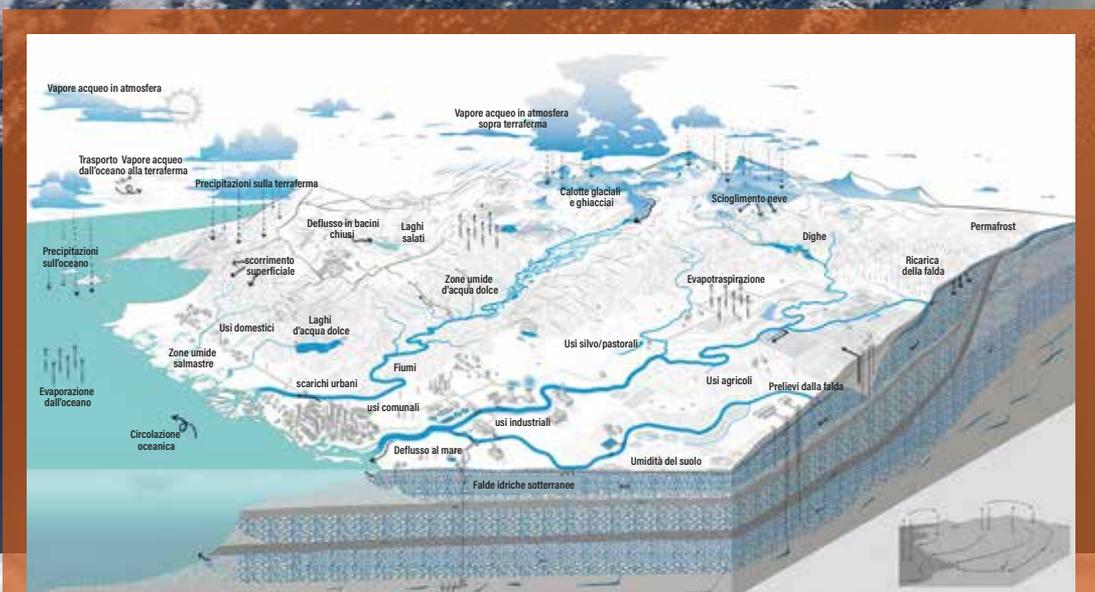
Oceano Atlantico con Cuba e il Mar dei Caraibi illuminato dai raggi solari, fotografato dalla Stazione Spaziale Internazionale il 20 novembre 2019. Credit: NASA/ISS

## GEOLOGIA PIANETA BLU

La Terra vista dallo spazio si distingue per il suo colore blu: ciò è dovuto alla presenza di acqua su oltre il 70% della superficie terrestre.

Ma quanta parte del pianeta Terra è fatta di acqua? Molto poca, in realtà: sebbene gli oceani coprano quasi 3/4 della superficie terrestre, sono poco profondi rispetto al raggio della Terra. Eppure questa piccola quantità è indispensabile per la vita.

Rimangono argomenti di ricerca aperti a capire come una parte dell'acqua sia arrivata sulla Terra e a capire se una quantità significativa sia intrappolata al di sotto della superficie terrestre.



L'atmosfera è l'autostrada nel cielo che sposta l'acqua ovunque sulla Terra. Credit: USGS



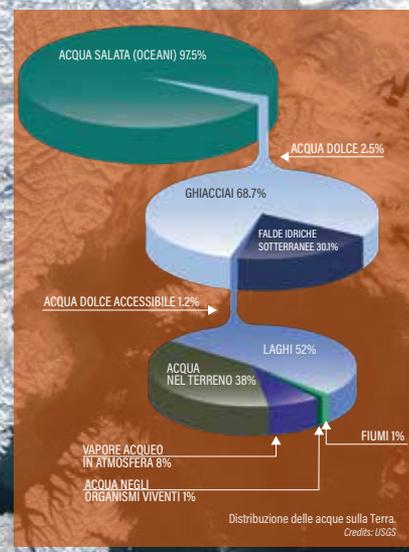
Illustrazione con confronto in scala tra le dimensioni della Terra e di due sfere contenenti tutta l'acqua e tutta l'aria presenti sulla superficie e in atmosfera. Credit: Felix Flörand-Deschene/ Globalia, Adam Nieman

L'acqua liquida esiste sulla superficie della Terra perché il pianeta si trova nella "zona abitabile": a tale distanza dal Sole, la Terra non è così vicina da far evaporare tutta l'acqua, ma neppure così lontana da farla congelare completamente.

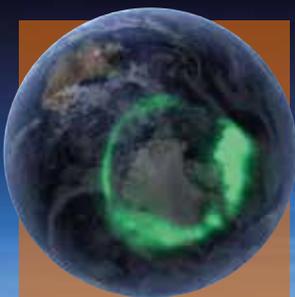
Per le condizioni di temperatura e pressione presenti sulla Terra, l'acqua è l'unico composto che si trova nei tre stati: **solido, liquido e aeriforme.**

A livello globale, la disponibilità di acqua dolce accessibile, benché rappresenti solo l'1,2 % della quantità totale di acqua dolce, supera l'attuale fabbisogno umano. Da dove sorge allora il problema di disponibilità e accessibilità delle risorse idriche?

Le difficoltà, che possono pregiudicare l'effettivo utilizzo delle risorse, sono causate dalla loro elevata variabilità e dalla distribuzione non uniforme nel tempo e nello spazio, nonché dalla loro qualità.



Mare di Bering e costa dell'Alaska. Credit: NASA



L'aurora polare è un fenomeno caratterizzato da bande luminose che assumono un'ampia gamma di forme e colori mutevoli nel tempo e nello spazio. È causato dall'interazione di particelle cariche di origine solare con la ionosfera: tali particelle eccitano gli atomi presenti che in seguito tornando allo stato iniziale di energia emettono luce a varia lunghezza d'onda. Il satellite IMAGE ha catturato questa vista dell'aurora australe quattro giorni dopo che un brillamento solare particolarmente intenso ha inviato plasma verso la Terra (25 gennaio 2000). Credits: NASA

GEOLOGIA

# ATMOSFERA

- Protegge dalle radiazioni nocive
- Regola il riscaldamento
- Contiene ossigeno indispensabile per la vita
- Permette i cicli di elementi indispensabili per la vita (H<sub>2</sub>O, C, N<sub>2</sub>, S)
- Modella la superficie

## ATMOSFERE A CONFRONTO

	VENERE	TERRA	MARTE
ALTEZZA (Km)	200 000 Km	520 000 Km	150 000 Km
PRESSIONE SUPERFICIALE	91 atm	1 atm	0.006 atm
COMPOSIZIONE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 96.5% CO<sub>2</sub></li> <li>• 3.5% azoto</li> <li>• 0.02% anidride solforosa</li> <li>tracce di: Ar, He, CO, H<sub>2</sub>O, HCl, HF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 78.1% azoto</li> <li>• 20.9% ossigeno</li> <li>• 0.9% argon</li> <li>• 0.04% CO<sub>2</sub></li> <li>tracce di: Ne, He, CH<sub>4</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 95.3% CO<sub>2</sub></li> <li>• 2.7% azoto</li> <li>• 1.6% argon</li> <li>• 0.13% ossigeno</li> <li>tracce di: CO</li> </ul>
PRINCIPALI GAS CLIMA ALTERANTI (GCA)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O e CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
TEMPERATURA SENZA GCA	-47° C	-19° C	-63° C
TEMPERATURA ATTUALE	464° C	15° C	-63° C
TEMPERATURA DOVUTA AI GCA	511° C	34° C	0.2° C

### LE ATMOSFERE SONO TUTTE UGUALI?

L'atmosfera di Venere è estremamente **densa** (pressione superficiale oltre 90 volte quella terrestre), quella di Marte è molto **rarefatta** (pressione superficiale minore di 1/100 di quella terrestre).

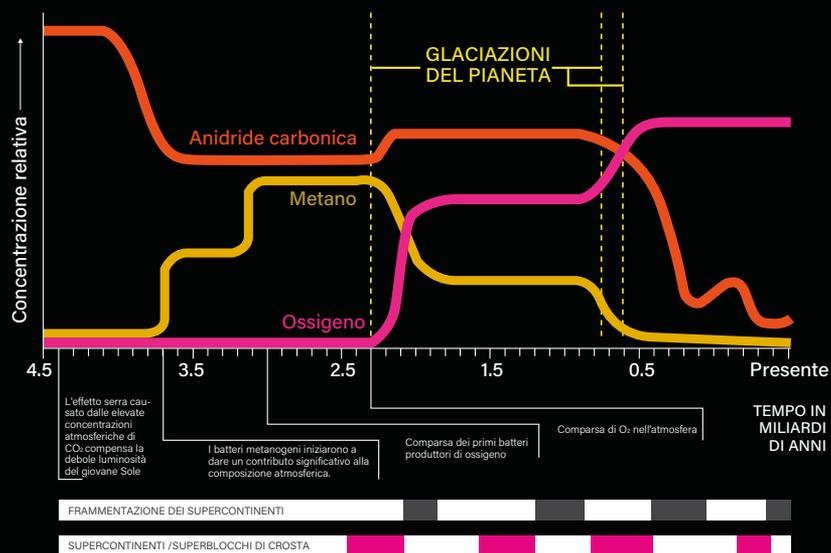
Le loro **composizioni chimiche**, importanti per l'idoneità alla vita, sono altrettanto diverse. Su Venere e Marte è preponderante la presenza di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) mentre sulla Terra il 99% è costituito da azoto (N<sub>2</sub>) e ossigeno (O<sub>2</sub>) e la CO<sub>2</sub> rappresenta solo lo 0.3-0.4%. Queste diversità sono frutto della particolare **storia evolutiva** di ciascun pianeta e hanno effetti importanti sulla sua temperatura media.

### ATMOSFERA TERRESTRE

La **composizione attuale** della atmosfera è un'istantanea lungo la traiettoria dell'evoluzione della Terra.

Quattro miliardi di anni fa l'atmosfera era costituita prevalentemente da CO<sub>2</sub>. Con la **formazione degli oceani**, la sua dissoluzione in acqua ne diminuisce la concentrazione in atmosfera, in parte compensata da un altro gas serra, il **metano**, prodotto dai batteri anaerobi.

Tra 3.8 e 2.5 Miliardi di anni fa compare l'**ossigeno**, prodotto dalla dissociazione fotochimica di H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> e dal cambiamento di composizione della crosta terrestre, che va impoverendosi dei minerali capaci di catturarlo. L'avvento di microrganismi produttori di ossigeno contrasta la presenza dei batteri metanogeni, provocando il collasso del metano e l'aumento di ossigeno.



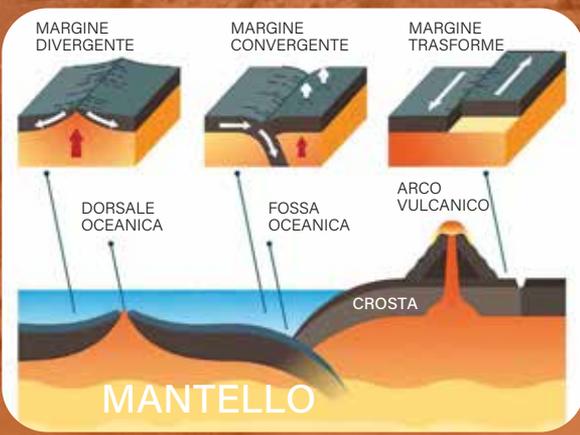
GEOLOGIA

# TERRA-FERMA?

L'intera superficie terrestre è in continua trasformazione, modellata da **fenomeni erosivi**, da **vulcani** e **terremoti**. Questi fenomeni sono originati da movimenti della porzione più superficiale del pianeta, la crosta terrestre, spesso da 5 a 70 km circa. A differenza di altri pianeti solari (Marte ad esempio), la superficie del nostro pianeta è divisa in **placche** che si muovono con velocità relative comprese tra 2 e 15 centimetri all'anno.

- I **margini divergenti** rappresentano il limite delle placche in allontanamento; lungo questi margini l'attività vulcanica sottomarina genera nuova crosta oceanica.
- Lungo i **margini convergenti** le placche si avvicinano, consumando la crosta oceanica nei processi di subduzione. Se il processo prosegue, le porzioni continentali delle placche vengono a contatto dando inizio alla formazione di catene montuose (orogenesi).
- Nei **margini trasformati** le placche si muovono lateralmente una rispetto all'altra.

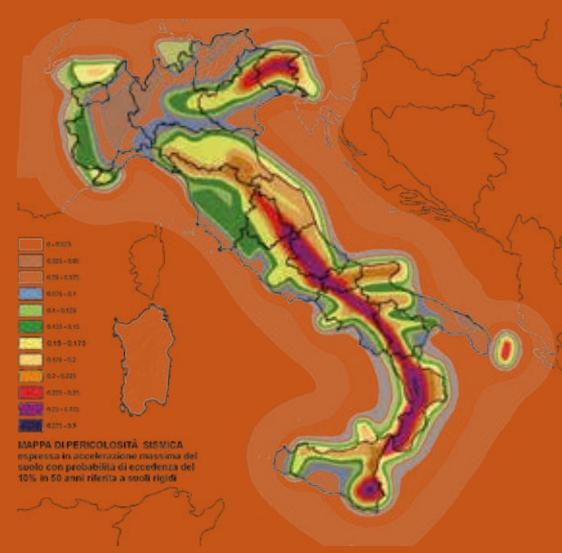
L'Italia è una regione tettonicamente attiva, con vulcani e attività sismica.



Differenti tipologie di limiti tra placche



I Campi Flegrei sono una vasta area vulcanica attiva, che comprende anche una parte sottomarina nel Golfo di Pozzuoli. Credits: INGV-DV - Laboratory of Geomatics



MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA in base alla accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi

Rocce con pieghe in evaporiti trassiche, Passo del Cerreto, Reggio Emilia. Credits: Maurizio Scacchi

La solfataria di Pozzuoli è uno dei quaranta vulcani che costituiscono i Campi Flegrei; è ancora attiva ma in stato quiescente: ha attività di fumarole d'anidride solforosa e getti di fango bollente



Eruzione vulcanica a La Palma, Isole Canarie, dicembre 2021. Credits: AP Photo/Emilio Morenatti

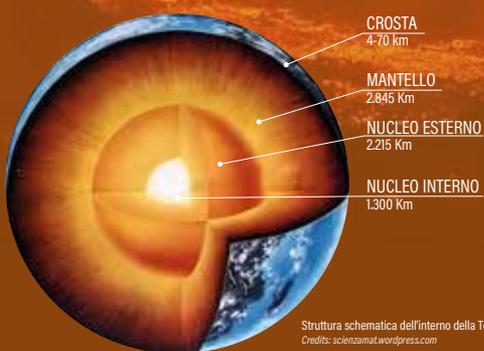
# GEOLOGIA IL CUORE CALDO DELLA TERRA

Che cosa scalda il nostro pianeta? Principalmente l'energia irradiata dal Sole, che investe la superficie terrestre con una potenza energetica di  $1367 \text{ W/m}^2$ , superiore a quella di 50 milioni di centrali elettriche di potenza media. Tuttavia questa energia riesce a penetrare solamente pochi metri sotto la superficie.

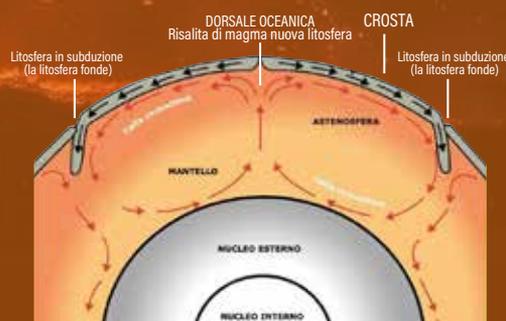
Le eruzioni vulcaniche e le sorgenti termali testimoniano la presenza di un calore interno al pianeta, con un aumento di temperatura di  $1^\circ\text{C}$  ogni 30 metri di profondità. Si suppone che questo calore sia originato in parte da quello primordiale rimasto dalla formazione del pianeta e in parte dal decadimento radioattivo di alcuni elementi chimici presenti nel mantello e nella crosta, tra cui l'uranio  $^{238}\text{U}$ . Il calore proveniente dall'interno della Terra è modesto (circa 0.0003% di quello solare), ma interagisce in modo importante con **litosfera**, **atmosfera** ed **idrosfera**.

## DAL CUORE CALDO UNO SCUDO PROTETTIVO NELL'ATMOSFERA

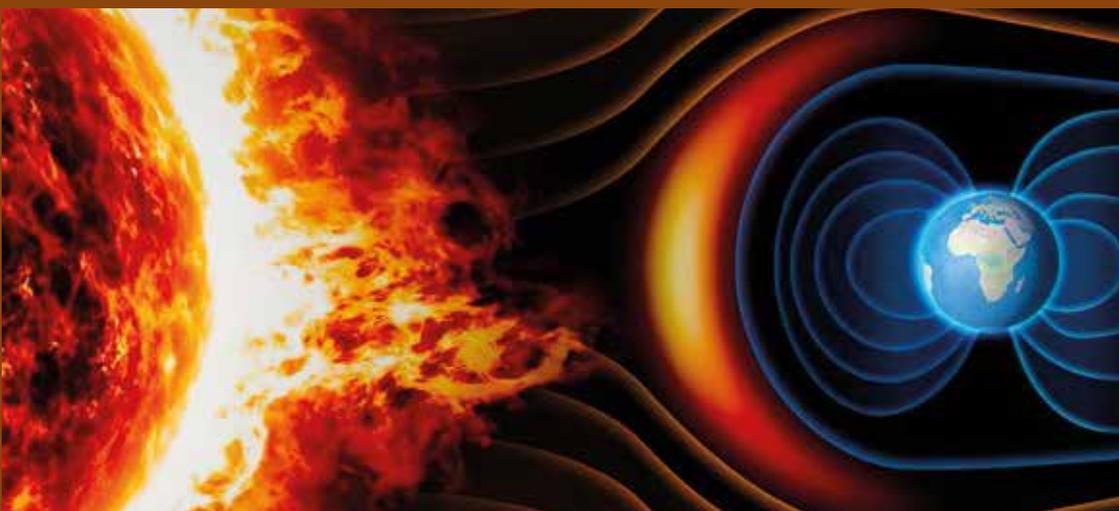
La Terra, a differenza della Luna, di Marte e di Venere, possiede un **campo magnetico** che si ritiene dovuto al movimento delle correnti di convezione della miscela di ferro e nichel fusi presenti nella parte esterna del nucleo. Il campo magnetico ha un'importante interazione con l'atmosfera, poiché riesce a proteggere la Terra dai raggi cosmici e dalle particelle elettricamente cariche del vento solare, che altrimenti spazzerebbero le parti superiori della nostra atmosfera come l'ozonofera, privando la Terra della protezione contro i raggi ultravioletti.



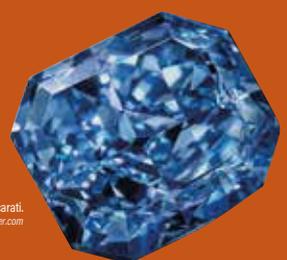
Struttura schematica dell'interno della Terra. Credits: scienzamat.wordpress.com



I moti convettivi del mantello causano i movimenti della superficie terrestre. Credits: scienzamat.wordpress.com



Interazione fra vento solare e campo magnetico terrestre. Credits: /bbc.co.uk



Diamante "Infinite Blue" da 11,3 carati. Credits: nationaljeweler.com

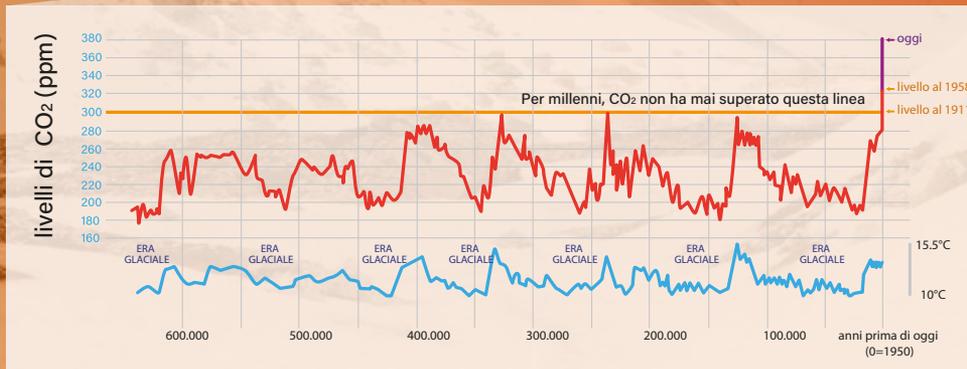
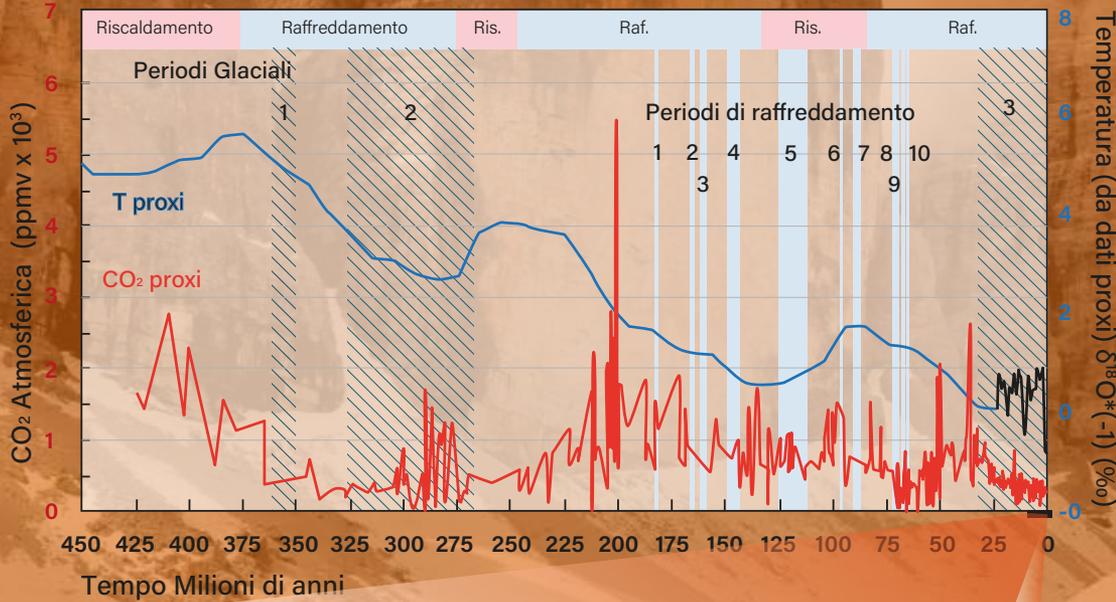
Un'inaspettata riserva d'acqua: dalle inclusioni di diamanti simili, provenienti dal mantello, si sono scoperti minerali idrati. Questa scoperta porta a supporre verosimilmente che ci sia una quantità d'acqua "nascosta" nel mantello e che ci sia un'interazione fra l'idrosfera e il mantello tramite la subduzione della crosta oceanica.

Le Tre Cime di Lavaredo, parte delle Dolomiti, sono costituite da dolomia, una roccia sedimentaria di carbonato di calcio e magnesio. Formate circa 250 milioni di anni fa sul fondo dell'oceano Tetide, queste rocce sono state sollevate durante la formazione dell'arco alpino. Nei loro strati si trovano spesso fossili quali gusci di conchiglie. Credits: Wikipedia

## GEOLOGIA

# AZIONI E INTERAZIONI: IL CICLO DEL CARBONIO

### DIPENDENZA DELLA TEMPERATURA DALLA CONCENTRAZIONE DI CO<sub>2</sub> NELLA EVOLUZIONE DELLA TERRA

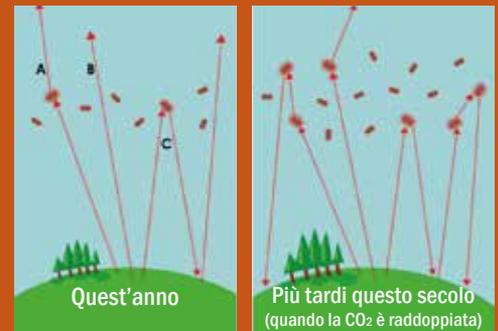


Credits: W. Jackson Davis (2017), Climate; Bowman Global Change and The Birch Aquarium, Scripps Institute of Oceanography, UCSD

La Terra mantiene un clima mite attraverso l'effetto serra.

Il fenomeno naturale che permette alla Terra di non disperdere il calore assorbito dall'energia del sole è definito come **effetto serra**. Questo avviene grazie alla presenza dei gas clima alteranti, ad esempio vapore acqueo (H<sub>2</sub>O), anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e monossido di carbonio (CO). Senza effetto serra la temperatura della Terra sarebbe inferiore a 0°C.

Il **carbonio** presente sulla Terra viene continuamente **scambiato tra atmosfera, idrosfera, biosfera e mantello** terrestre; ciò è reso possibile dalla tettonica a placche, in cui il vulcanismo restituisce CO<sub>2</sub> all'atmosfera, bilanciando la rimozione di CO<sub>2</sub> atmosferica da parte degli oceani, delle piante e attraverso la formazione di rocce carbonatiche.

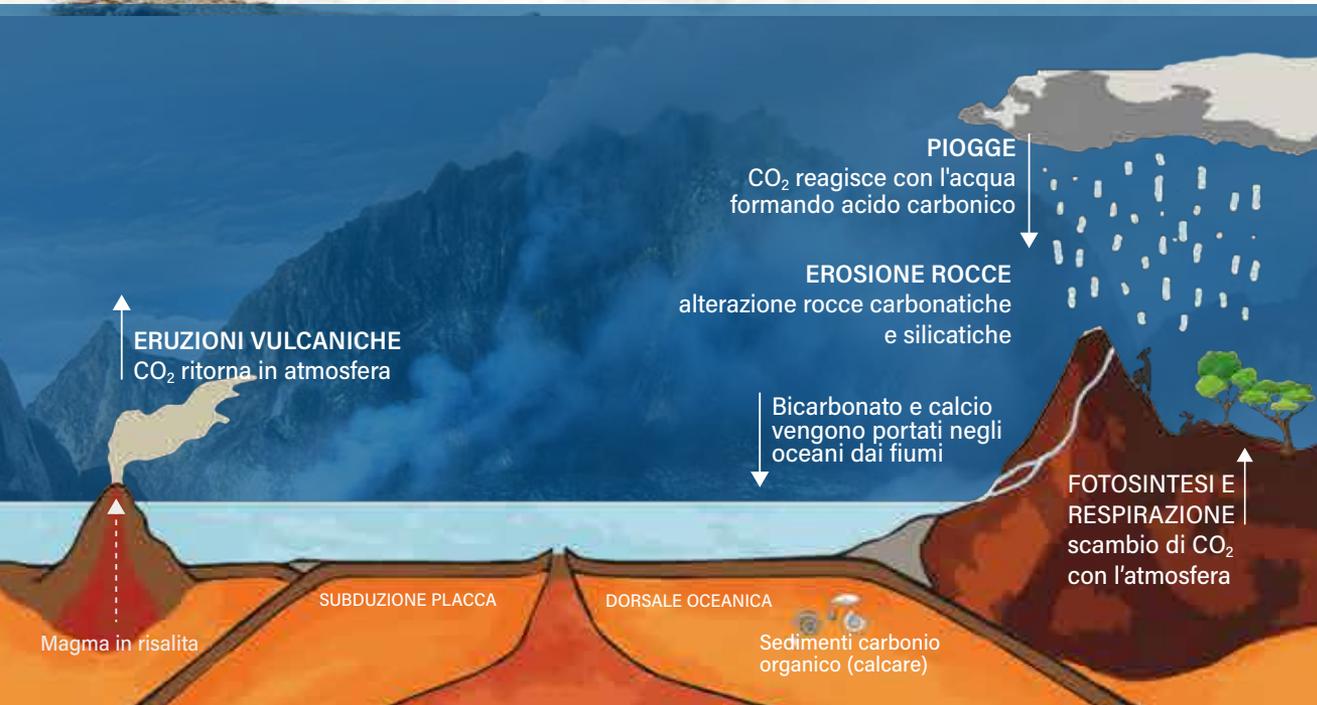


Effetto di assorbimento e riemissione della radiazione infrarossa da parte dei gas clima alteranti

### IL CICLO GEOLOGICO DEL CARBONIO

- La CO<sub>2</sub> si dissolve in acqua (piovana e di superficie).
- La CO<sub>2</sub> presente nelle acque piovane forma composti carbonatici di Ca e Mg sulla superficie terrestre che gli agenti atmosferici erodono e trasportano con i silicati verso il mare.
- In mare i carbonati, insieme a gusci di organismi marini, si depositano formando stratificazioni calcaree.
- Il movimento delle placche trascina il calcare in profondità sotto la crosta.
- Le rocce calcaree raggiungono le zone più profonde, fondono e diventano parte dei magmi che, risalendo in superficie durante le eruzioni vulcaniche, riportano la CO<sub>2</sub> in atmosfera.

Si chiude così un ciclo che può durare anche milioni di anni.



GEOLOGIA

## AZIONI E INTERAZIONI: GLI IDROCARBURI

I **combustibili fossili**, e in particolare gli **idrocarburi**, hanno rappresentato e rappresentano tuttora la fonte primaria per la produzione di energia. Petrolio e gas forniscono inoltre la materia prima da cui derivano prodotti fondamentali per le attività dell'uomo (plastica, prodotti farmaceutici, prodotti agricoli)

Gli idrocarburi sono **composti organici** formati da atomi di carbonio e idrogeno e si generano per decomposizione di materia organica in assenza di ossigeno (ambiente anaerobico).



Le fasi principali della formazione di un giacimento di petrolio sono

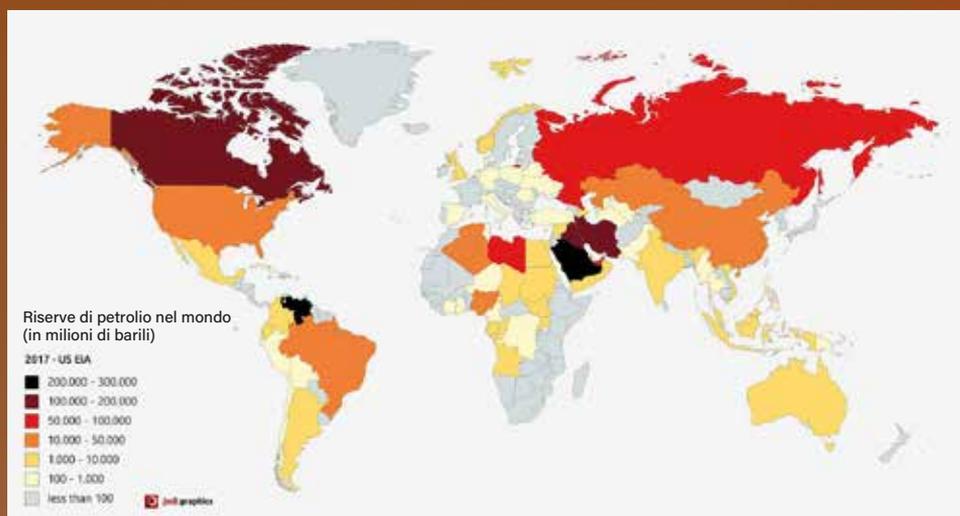
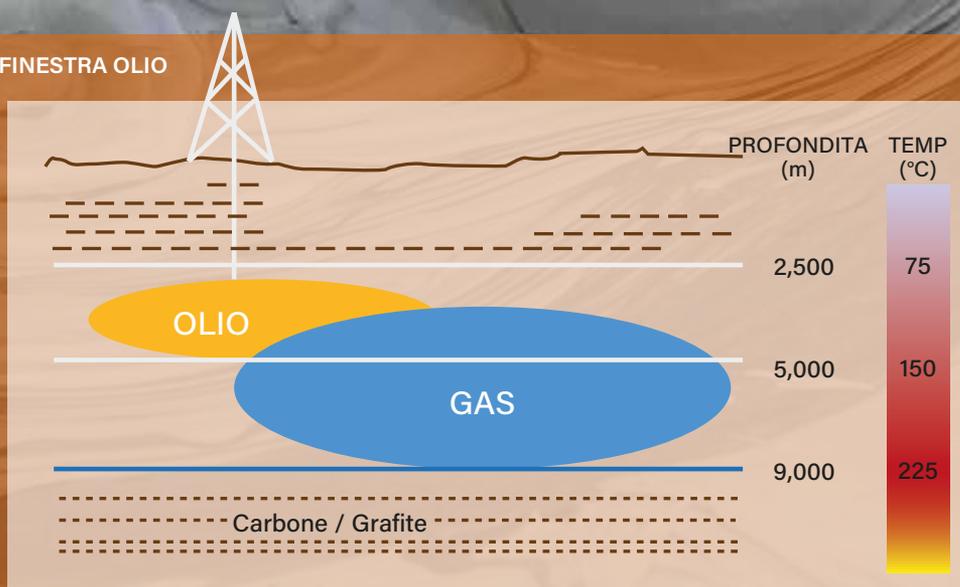
- Generazione degli idrocarburi per degradazione della materia organica contenuta negli strati sedimentari per effetto della variazione di temperatura e pressione.
- Migrazione degli idrocarburi verso l'alto per effetto del galleggiamento, e sostituzione dell'acqua presente nei pori della roccia.
- Intrappolamento degli idrocarburi. Gli idrocarburi risalgono verso la superficie fino a quando incontrano una trappola, cioè una combinazione di rocce con struttura e composizione tali da contenerli (per effetto della porosità) e impedire ulteriori migrazioni, grazie a livelli impermeabili sovrastanti.

### RISERVE DI PETROLIO NEL MONDO

La mappa mostra le riserve di petrolio liquido nel mondo. Con il termine riserve si intende l'olio che con ragionevole certezza può essere prodotto da giacimenti già scoperti. Le riserve diminuiscono con la produzione di idrocarburi e aumentano quando vengono scoperti nuovi giacimenti economicamente sostenibili. Al tasso di consumo attuale, le riserve di idrocarburi si esauriranno fra circa 50 anni.

Manifestazione superficiale di petrolio e bolle di metano in ambiente fangoso.  
Credits: Giovanni Maletti

### LA FINESTRA OLIO



Mappa delle riserve di petrolio nel mondo in unità di "barili di petrolio" (1 barile equivale a circa 159 litri)

Piattaforma petrolifera.  
Credits: Tim Rue/Bloomberg

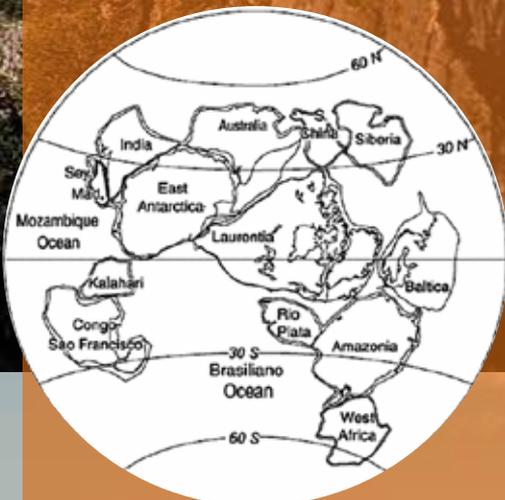


Sierra Nevada.  
Credits: casovomartianmarcos

## GEOLOGIA

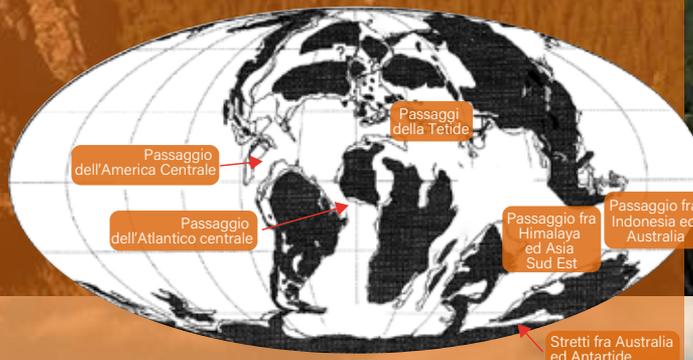
# AZIONI E INTERAZIONI: IL PUZZLE DELLA TERRA GIOCA CON IL CLIMA?

### POSIZIONE DEI CONTINENTI



Distribuzione dei continenti 800 milioni di anni fa.  
Credits: Ramstein G. et al. (2019) "Some illustrations of large tectonically driven climate changes in earth history" Tectonic

### APERTURA E CHIUSURA DI VIE D'ACQUA



Principali vie d'acqua presenti nel Cretacico (100-65 milioni di anni fa).  
Credits: Hay W.W. (1996) "Tectonics and climate" Geol Rundsch

### POSIZIONE DEI CONTINENTI

Circa 800 milioni di anni fa le terre emerse erano concentrate in un **supercontinente** disposto nella fascia tropicale del pianeta. Come avviene tuttora, questa fascia era caratterizzata da intense precipitazioni. La pioggia scioglie la CO<sub>2</sub> atmosferica, formando acido carbonico che aggredisce chimicamente i silicati del terreno, trasformandoli in carbonati. La rimozione dell'anidride carbonica dall'atmosfera provoca una riduzione dell'effetto serra e, di conseguenza, anche delle temperature globali.

### APERTURA E CHIUSURA DI VIE D'ACQUA

Con lo **spostamento delle masse continentali**, vari collegamenti marini si sono aperti o chiusi nella storia geologica, causando cambiamenti nelle **circolazioni oceaniche**. Ad esempio, la formazione dell'Istmo di Panama e la chiusura del mar della Tetide sono state concause di una circolazione oceanica dominata da fredde acque profonde dell'Atlantico settentrionale, la quale ha favorito l'inizio della glaciazione artica.

### MONTAGNE E DESERTI

La formazione di **catene montuose** provoca forti impatti sul clima della regione circostante. La Death Valley costituisce un chiaro esempio di zona influenzata dalla presenza di catene montuose.

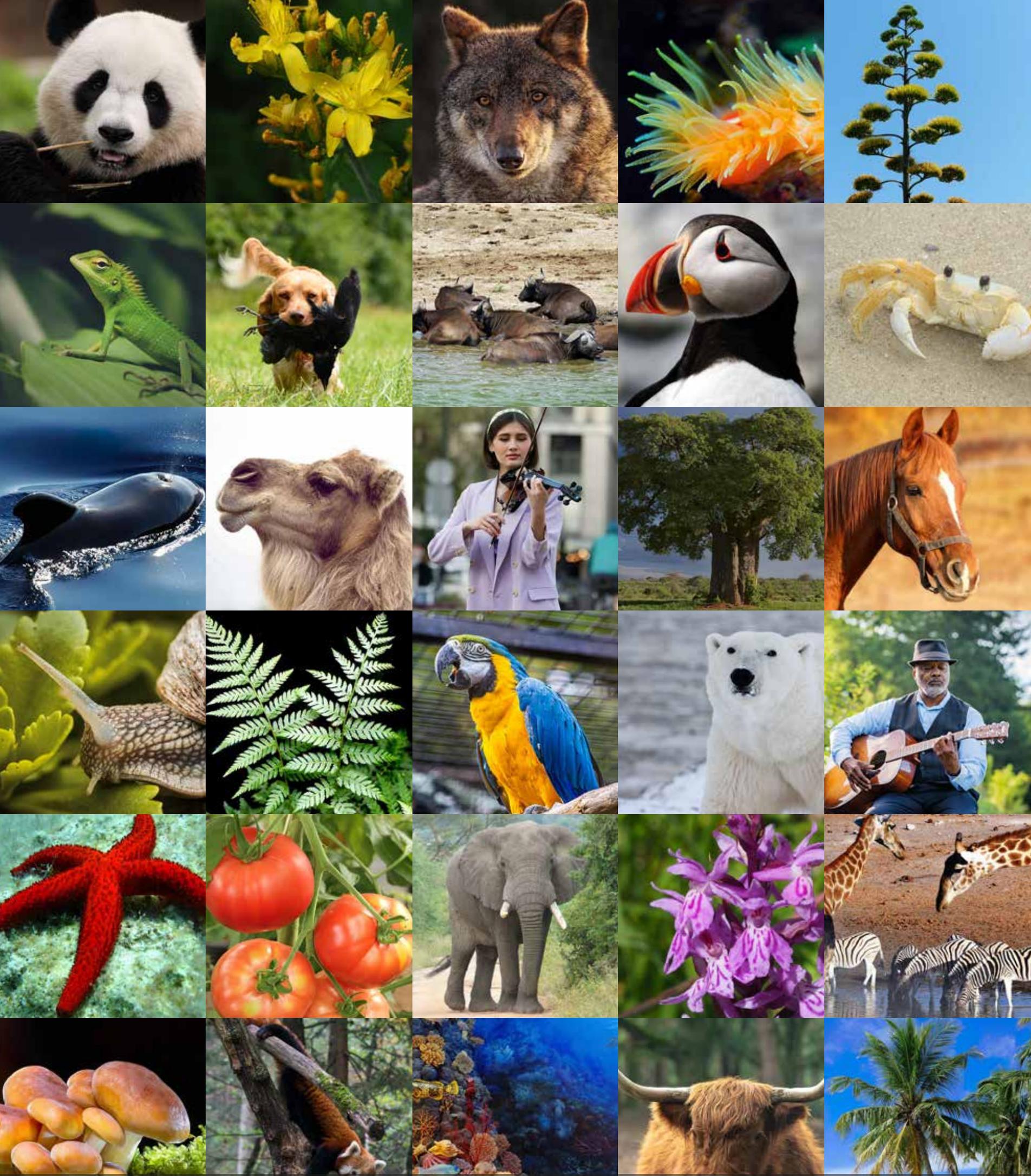
Quando le masse di aria provenienti dall'Oceano Pacifico raggiungono la catena della Sierra Nevada, la maggior parte dell'umidità in esse contenuta precipita. L'aria divenuta secca continua a essere riscaldata, portando la zona a est a raggiungere temperature fra le più elevate sulla Terra.



Carta geografica USA.  
Credits: Commons Wikimedia



Death Valley a Est della Sierra Nevada.  
Credits: National Park Service



# BIOLOGIA

Vita: ospite e protagonista

Credits: Tutte le immagini selezionate sono di uso libero wikipedia o pixabay

BIOLOGIA

# ATMOSFERA IN CONTINUO CAMBIAMENTO

La relazione tra esseri viventi e ambiente circostante è stata fondamentale fin dall'emergere delle prime forme di vita.

L'ambiente, infatti, ha influenzato lo sviluppo e l'evoluzione della vita e, reciprocamente, la vita ha avuto un impatto significativo su idrosfera e geosfera.

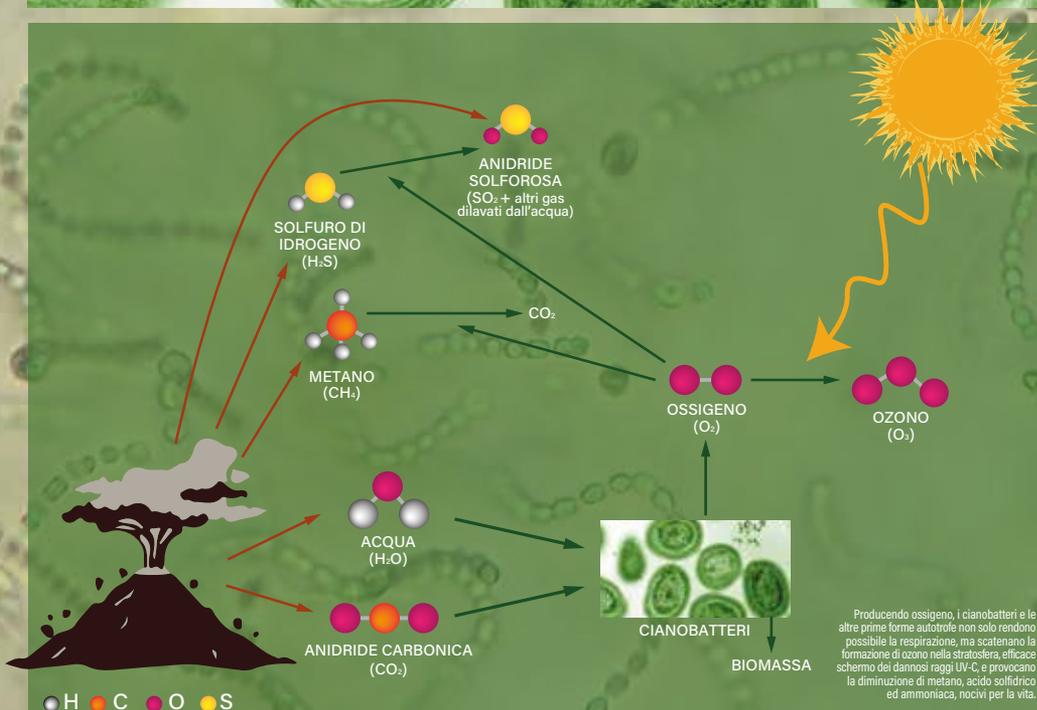
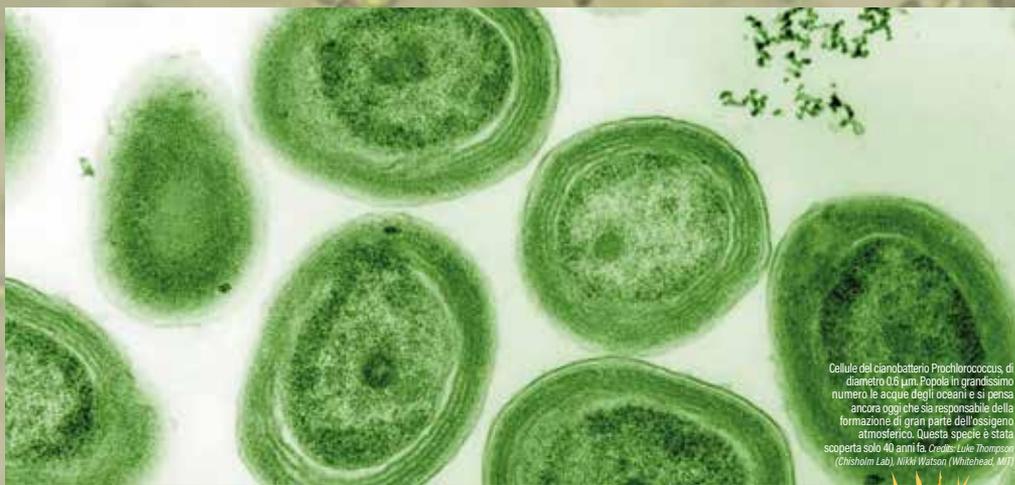
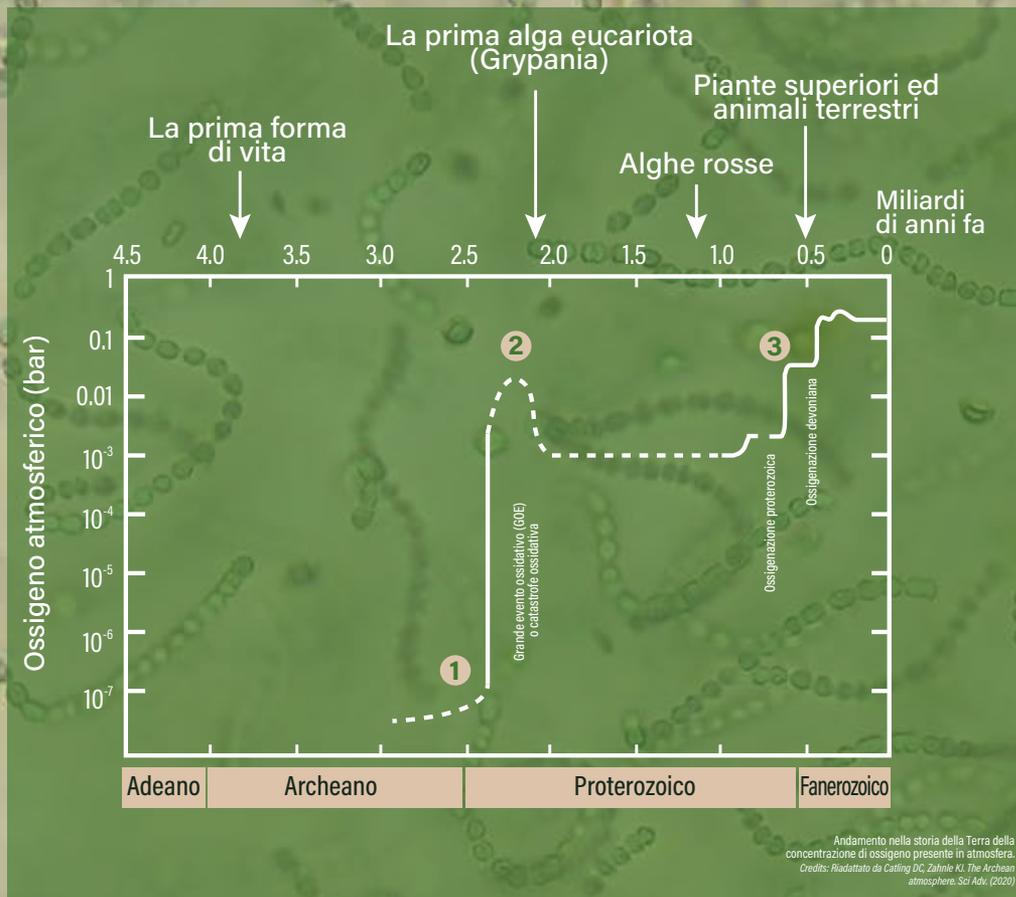
La **prima atmosfera** è prevalentemente composta di vapore acqueo, anidride carbonica, azoto, ammoniaca, metano e idrogeno solforato. L'ossigeno è quasi assente: la sua concentrazione comincia ad aumentare circa 2.5 miliardi di anni fa grazie ai *cianobatteri*, microrganismi fotosintetici che, sfruttando l'energia della luce, sintetizzano sostanze organiche consumando anidride carbonica e rilasciando ossigeno.

1 A causa dell'aumento di ossigeno, lo zolfo atmosferico e il metano vengono ossidati e dilavati dalla pioggia. Intanto nella stratosfera una reazione fotochimica **trasforma l'ossigeno in ozono**, gas fondamentale per la protezione delle forme di vita dalle radiazioni solari ultraviolette.

2 La concentrazione di ossigeno aumenta, raggiungendo un picco: si sviluppano gli organismi *aerobi* che consumano ossigeno e producono anidride carbonica.

3 La concentrazione dell'ossigeno sale sino ai valori attuali grazie al proliferare di piante verdi e di microorganismi marini (fitoplancton). L'atmosfera diventa respirabile anche per gli organismi più complessi.

Qui discutiamo di come si conosce questa successione di eventi



BIOLOGIA

# UN PIANETA PLASMATO DAI VIVENTI

## IL CICLO BREVE DEL CARBONIO

Questo ciclo è tra i più importanti esempi di interazione delle sfere geologiche e biologiche a livello molecolare.

### SULLA TERRA

Il carbonio è continuamente scambiato fra atmosfera, litosfera, terra profonda e biosfera. Gli organismi fotosintetici assorbono CO<sub>2</sub> e liberano O<sub>2</sub>:



Il carbonio è immagazzinato nel glucosio, che diventa parte del metabolismo degli organismi viventi e vi rimane fino alla loro decomposizione.

Si stima che le piante, tramite la fotosintesi, sottraggano all'atmosfera 123 miliardi di tonnellate di carbonio all'anno e ne restituiscano 60 espirando e 60 decomponendosi.

### IN ACQUA

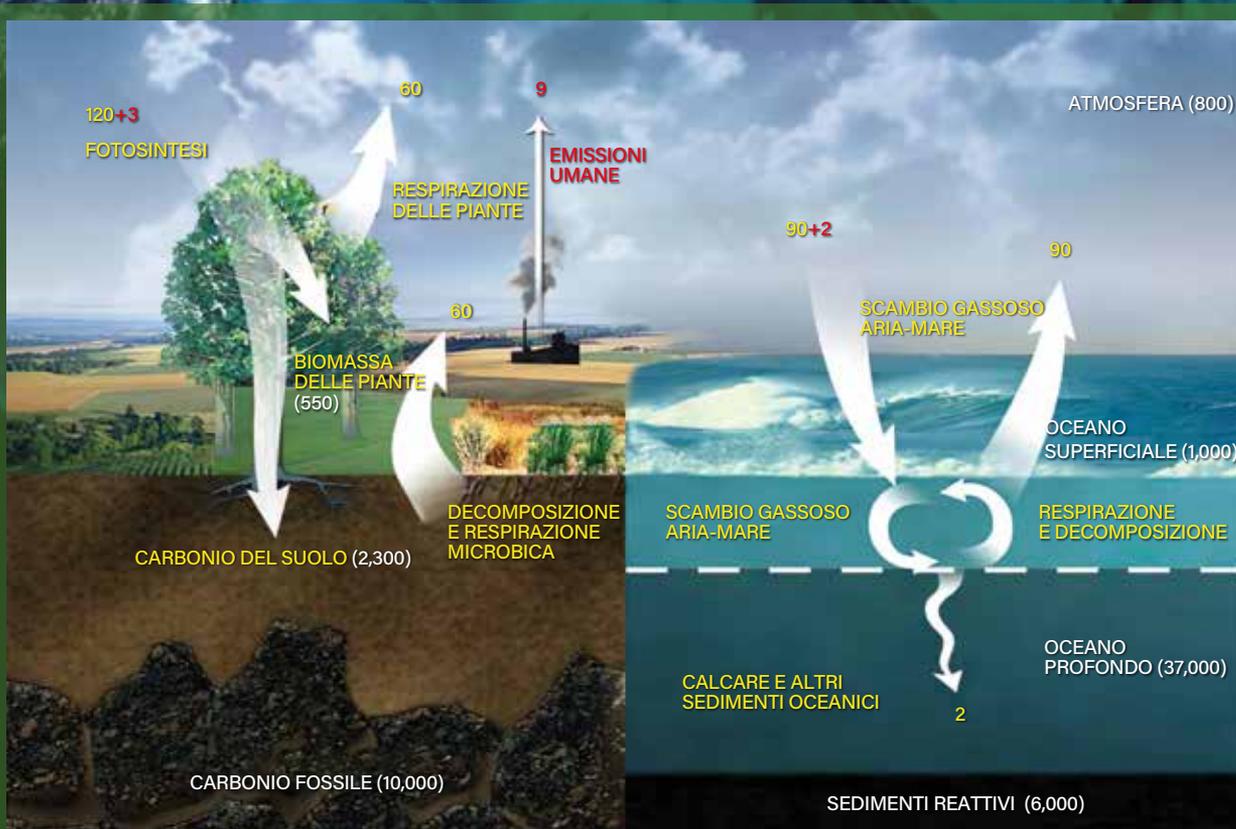
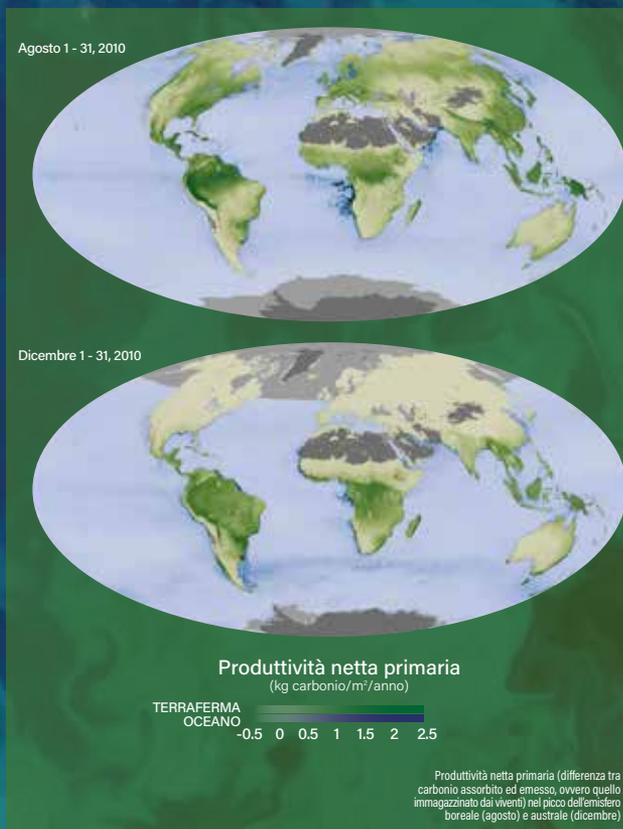
Gli oceani assorbono una notevole parte del carbonio contenuto in atmosfera: in essi il contenuto di carbonio è circa 50 volte superiore che in atmosfera.

La CO<sub>2</sub> atmosferica si scioglie in acqua come acido carbonico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) e si dissocia in idrogeno e bicarbonato. Questo è consumato da organismi marini fotosintetici (alghe) e da alcune specie (plancton) per produrre scheletri protettivi e gusci (ad esempio le conchiglie), costituiti prevalentemente da carbonato di calcio:



Alla loro morte gli organismi si depositano sul fondale e si decompongono, restituendo la CO<sub>2</sub> immagazzinata. I loro resti scheletrici formano strati di sedimenti calcarei, sottraendo CO<sub>2</sub> al ciclo breve e inserendola nel ciclo geologico del carbonio.

È un equilibrio tanto eccezionale quanto delicato, fondamentale per lo sviluppo della vita sulla Terra. Le emissioni di CO<sub>2</sub> causate dalle attività umane alterano in parte queste dinamiche.



Le stime dei numeri per anno (espressi in gigaton) del ciclo breve del carbonio. In rosso i flussi generati dall'attività umana, in giallo quelli naturali. I numeri in bianco tra parentesi indicano il carbonio immagazzinato. Al netto si accumulano in atmosfera 4 gigaton di produzione umana. Credits: MASA

BIOLOGIA

# UNA STORIA DI MORTE E RINASCITA

Le condizioni ambientali e geologiche hanno influenzato la vita anche su larga scala: come documentato da tracce fossili, la vita sulla Terra ha attraversato, per contingenze fisiche, episodi di **estinzioni di massa** degli esseri viventi. Le estinzioni hanno drasticamente modificato il percorso di sviluppo della biodiversità.

Due esempi

❶ Estinzioni PRECAMBRIANO/CAMBRIANO  
Scompare più del 70% della flora e della fauna, composta per la maggior parte da cianobatteri e alghe eucariotiche.

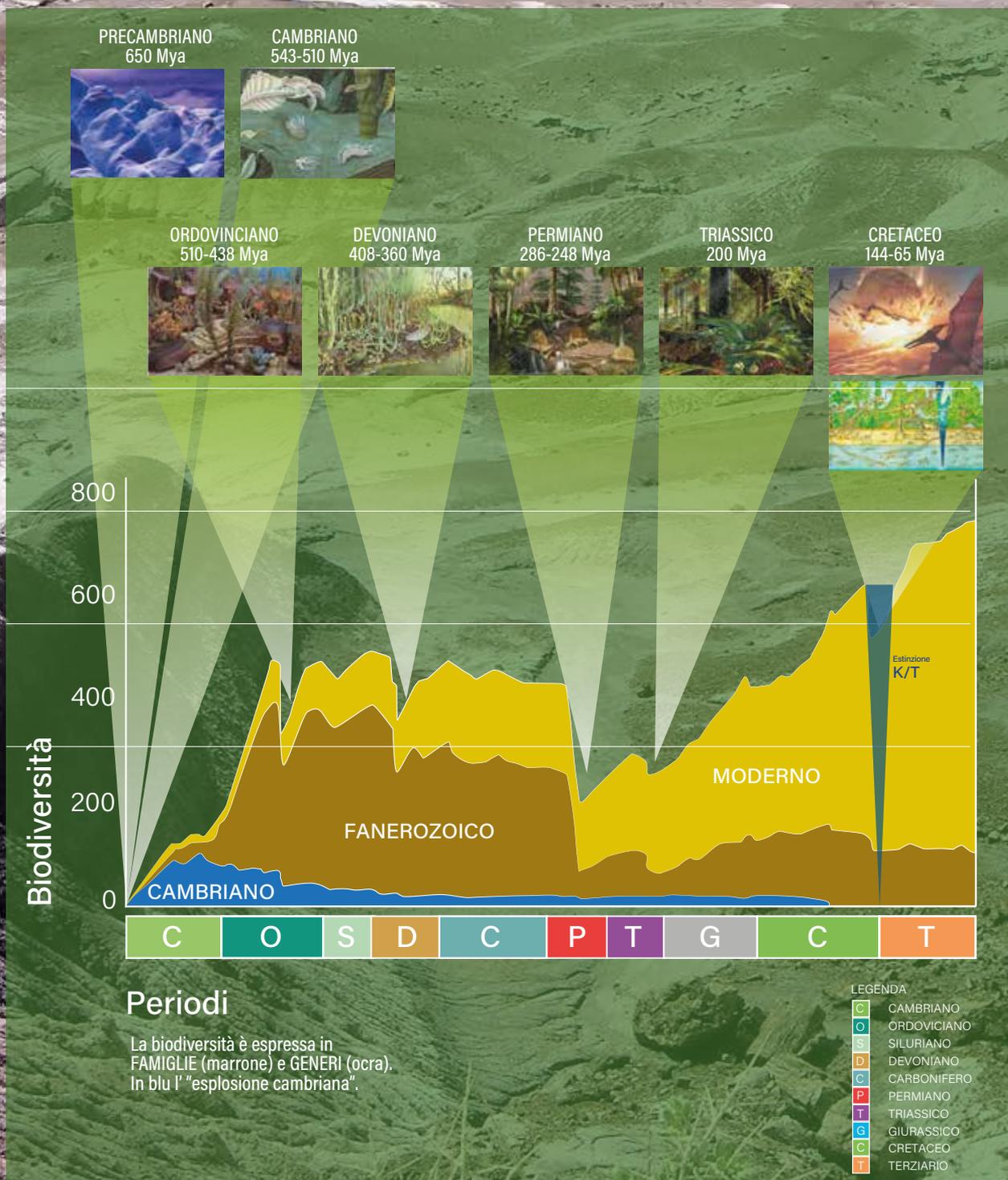
**CAUSA:** dall'inizio fino al periodo Cambriano, varie catastrofi climatiche denominate Snowball earth (glaciazioni).

**EFFETTO:** grandi **modifiche genetiche nelle specie marine**, che hanno permesso la formazione dei raggruppamenti animali fondamentali ancora adesso esistenti.

❷ Estinzione CRETACEO - TERZIARIO  
Scompare l'85% delle specie. Durante questa estinzione scompaiono i dinosauri e con loro numerosi altri gruppi, sia marini sia terrestri. Vengono invece risparmiati la maggior parte dei mammiferi, uccelli, tartarughe, coccodrilli, serpenti e anfibi.

**CAUSA:** secondo la teoria oggi più accreditata, l'impatto di un grosso meteorite caduto sulla penisola dello Yucatan (cratere di Chicxulub), oltre a un'esplosione violentissima, avrebbe causato vari cambiamenti ambientali.

**EFFETTO:** si sono estinti i dinosauri, dominatori del pianeta in quel periodo, e si sono salvati i **piccoli mammiferi**, tuttora esistenti, la cui evoluzione ha portato fino all'uomo.



BIOLOGIA

# NEL COSMO GLI INGREDIENTI DELLA VITA

Con ogni probabilità la prima parte del cammino verso la complessità molecolare, necessaria alla comparsa della vita sulla Terra, precede la formazione del nostro pianeta.

Numerose molecole elementari (tra cui ammoniaca, metano, solfuro di idrogeno, acqua) sono state rivelate sia nei pianeti sia nello spazio interstellare, ma anche molecole più complesse (tra cui alcune **basi azotate** e **amminoacidi**) sono state osservate nello spazio interstellare e in alcune meteoriti.

Esperimenti in laboratorio hanno mostrato che una miscela di composti elementari, in presenza di opportune fonti di energia, può generare spontaneamente alcune semplici molecole biologiche.

Immensamente meno compresa è la comparsa delle prime cellule e delle macromolecole biologiche (**proteine** e **acidi nucleici**) che supportano la vita: esse non sono mai state osservate al di fuori degli organismi viventi. Semplificando, infatti, un sistema vivente si regge essenzialmente su:

1. un **progetto** per la sua costruzione, che è codificato negli acidi nucleici, lunghe sequenze di basi di DNA e RNA;
2. **componenti operative** che ne sostengono le funzioni, in particolare le proteine, insieme di macromolecole specializzate.

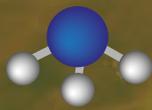
## PROBLEMI FONDAMENTALI

Nella cellula, acidi nucleici e proteine sono coinvolti gli uni nella sintesi degli altri.

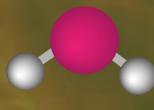
Sia gli acidi nucleici sia le proteine presentano un livello di complessità molto più alto delle loro singole componenti.

### Viene prima l'acido nucleico o la proteina?

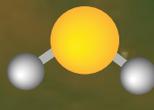
Un tratto conservato nel mondo delle cellule, sia eucariote sia procariote, è la presenza del ribosoma. All'interno di questo organulo, **frammenti corti di RNA** sarebbero in grado sia di portare il codice genetico sia di svolgere funzioni tipiche delle proteine. Essi diventano così il miglior candidato per innescare il processo di formazione delle macromolecole biologiche e sostenere l'inizio della vita sulla Terra: è l'ipotesi dell'**RNA World**.



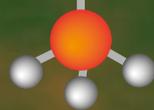
AMMONIACA



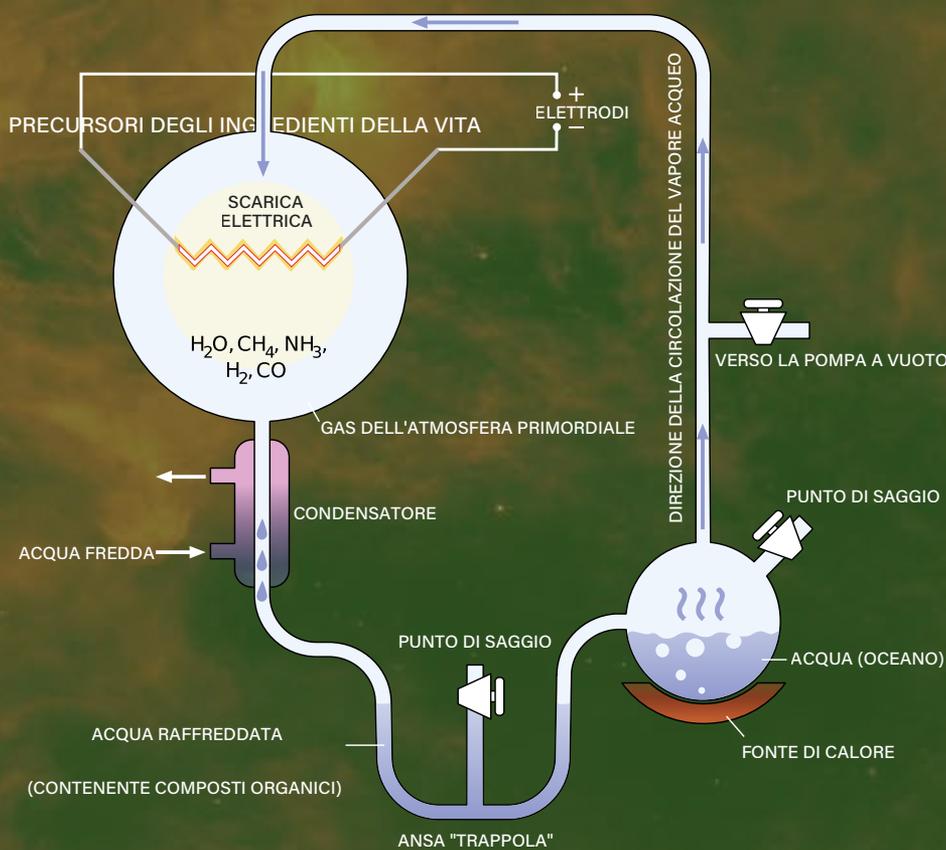
ACQUA



SOLFURO DI IDROGENO



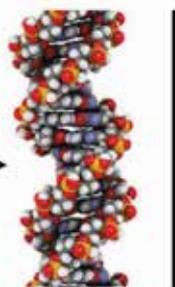
METANO



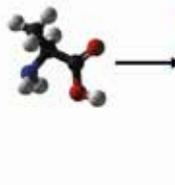
Il dispositivo di Miller e Urey, grazie al quale essi realizzarono la sintesi di composti biologici semplici. Credits: Wikipedia



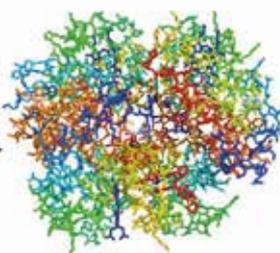
ADENINA  
(una base presente negli acidi nucleici)



un tratto di DNA  
(il più noto acido nucleico)



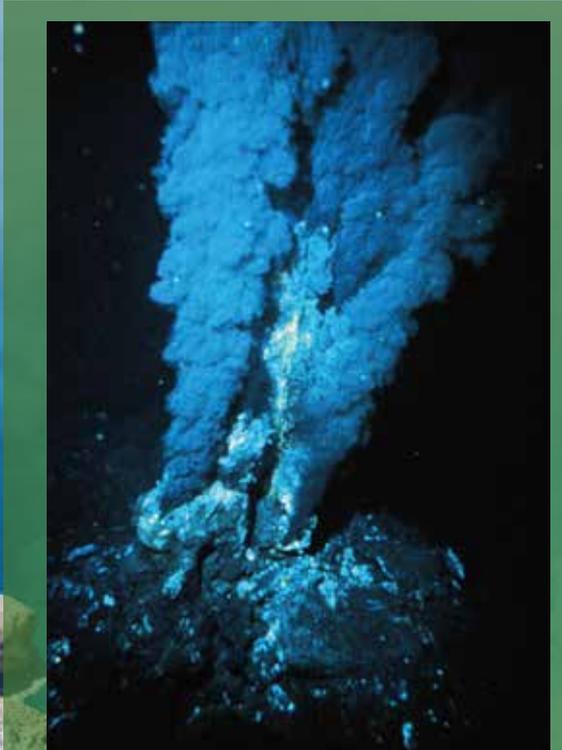
ALANINA  
(un amminoacido)



EMOGLOBINA  
(una proteina)



Piscina termale nel Parco Nazionale di Yellowstone. Credits: PWT



Sorgenti idrotermali sottomarine nell'oceano atlantico. Credits: Wikipedia

# BIOLOGIA LA COMPARSA DELLA VITA

Ad oggi non abbiamo certezze sull'ambiente fisico che ha ospitato la comparsa delle prime cellule.

Le ipotesi più accreditate sono piccoli stagni caldi, dove si accumulano gli ingredienti della vita, o sorgenti idrotermali, fonti di energia termica e di composti organici.

### Come può essere accaduto?

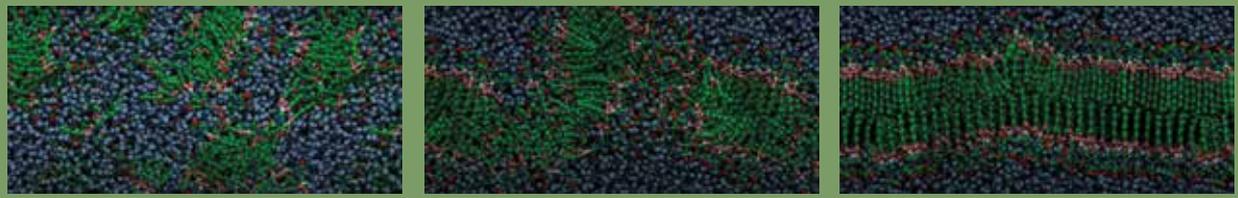
Partendo da molecole semplici, un primo passaggio necessario verso la complessità è la formazione di polimeri e di membrane biologiche. In opportune condizioni, come ad esempio negli stagni caldi, con cicli caldo-freddo / diluito-concentrato, alcuni componenti molecolari dei sistemi viventi manifestano una tendenza spontanea ad auto-assemblarsi.

Diversi esperimenti indicano la propensione delle molecole ad associarsi tra loro in elementi più strutturati... ma l'originale complessità del primo *essere vivente* si sviluppa su molti aspetti.

### Perché la prima cellula è una novità assoluta?

- Possiede una membrana che la separa dall'ambiente: nasce l'**individualità**;
- è depositaria di **informazione** per la propria costruzione e riproduzione;
- contiene numerose tipologie di biomolecole, tra cui proteine e acidi nucleici, che interagiscono in una sofisticata rete di **cooperazione**;
- per facilitare interazioni specifiche, alcune biomolecole si concentrano in organuli: nasce la **compartmentazione**;
- scambia costantemente energia e materiale con l'esterno, mantenendo **caratteristiche chimiche e fisiche stabili**, diverse da quelle dell'ambiente.

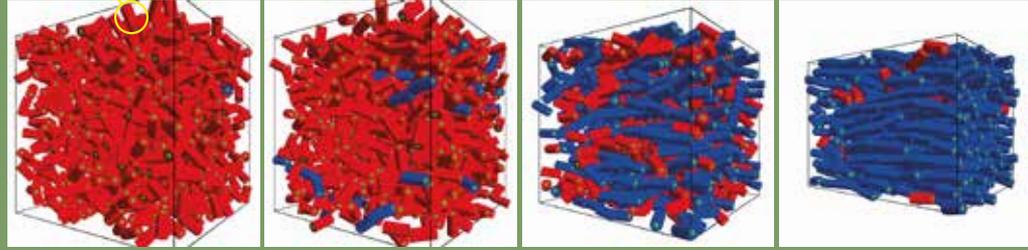
**Come sono emersi tutti questi elementi di novità a partire dal contesto prebiotico? Questa domanda al momento non ha risposta e guida la ricerca di molti scienziati.**



Tempo



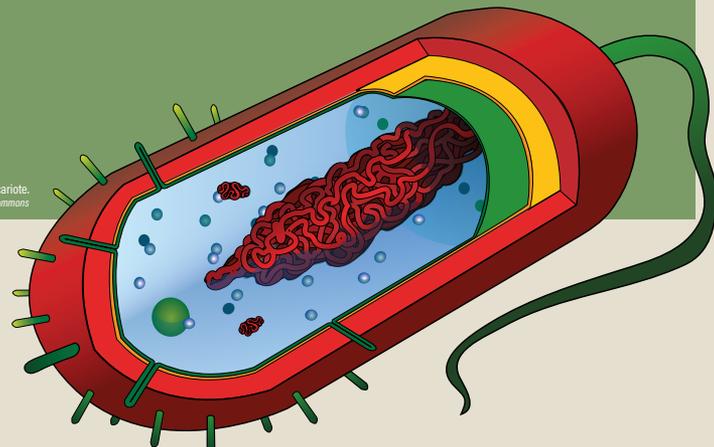
Auto-assemblaggio delle membrane biologiche, mostrata da simulazioni di dinamica molecolare. Credits: A. Kholmeyer (College of Science and Technology - Temple University)



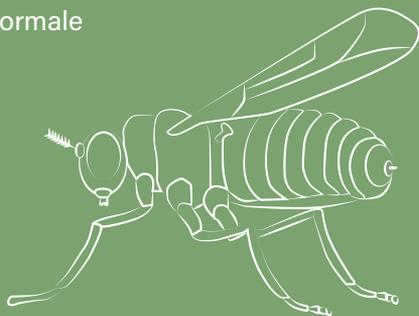
Tempo

Auto-assemblaggio di doppie eliche corte di DNA, rappresentate come cilindri rossi, che diventano blu se si aggregano con altre molecole. Credits: © De Michele & M. Trapella (Sapienza - Università di Roma)

Rappresentazione di una tipica cellula procariote. Credits: Wikimedia Commons



Normale



Antennapedia

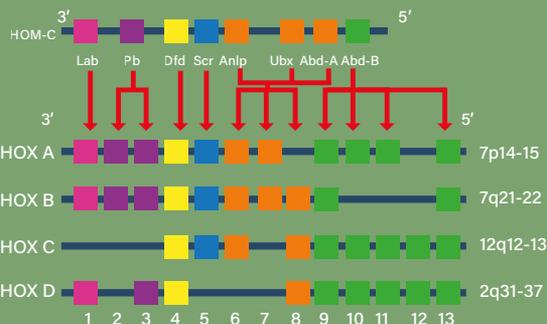
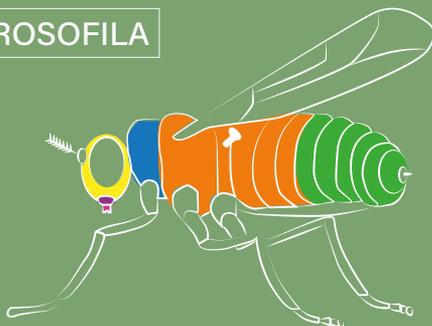


Bithorax

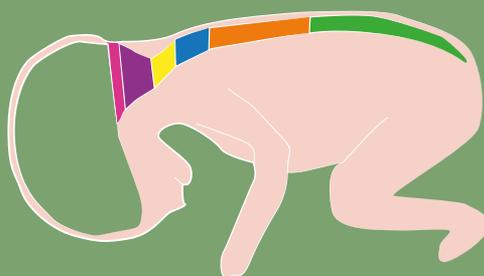


Drosophila melanogaster normale, drosophila con mutazione di un gene Antennapedia, che fa crescere zampe al posto delle antenne, e drosophila con alterazione di un gene Bithorax, che fa crescere un secondo paio di ali

### DROSOFILA



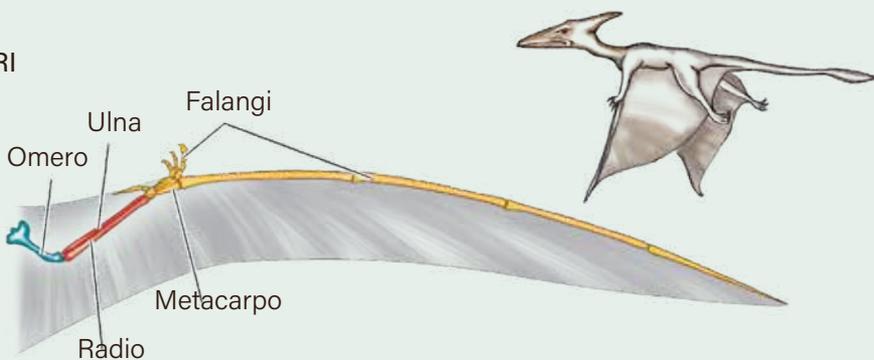
### UOMO



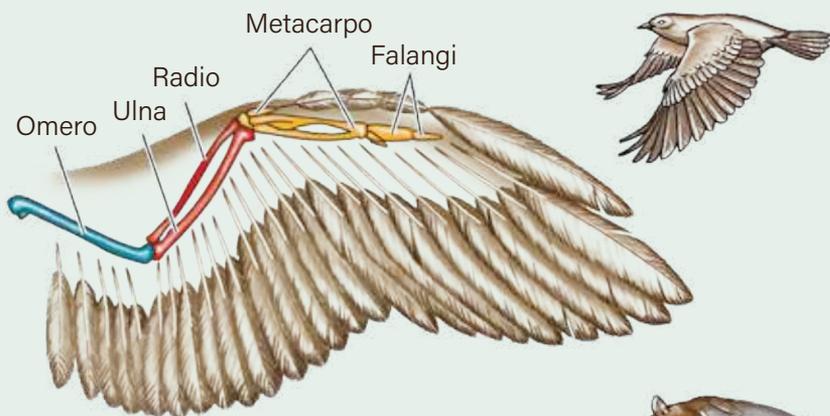
Rappresentazioni dei geni Hox nel moscerino della frutta e nell'uomo, con corrispondenza tra il gene HOM-C della drosophila e i quattro cluster, HOX-A, HOX-B, HOX-C e HOX-D, dei 39 geni Hox presenti nell'uomo. I colori con cui sono rappresentati i segmenti corporei indicano i geni che ne controllano lo sviluppo

Credits: Pathological Society of Great Britain and Ireland. Published by John Wiley & Sons, Ltd. Citazione: J Pathol 2005; 205: 154-171

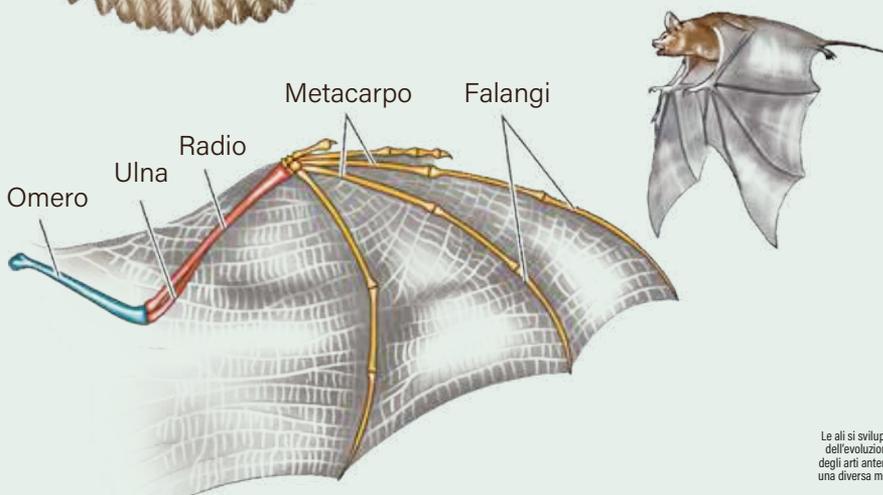
### PTEROSAURI (estinto)



### UCCELLI



### PIPISTRELLI



Le ali si sviluppano almeno tre volte nel corso dell'evoluzione modificando i segmenti ossei degli arti anteriori, ma ciascuna volta secondo una diversa modalità. Credits: Nature Blog Network

BIOLOGIA

# FATTI PER ACCOGLIERE IL NUOVO

La storia della vita, dalla comparsa della prima cellula ad oggi, suggerisce che la capacità di adattamento all'ambiente circostante è una delle più importanti caratteristiche degli esseri viventi. Questo adattamento avviene attraverso un processo chiamato "evoluzione", che consiste nella generazione casuale di modifiche dei caratteri ereditabili e nella selezione della variante più adatta alla sopravvivenza. Tuttavia, le mutazioni vantaggiose sono rare se paragonate a quelle svantaggiose e questo pone seri limiti alla velocità con cui può avvenire l'adattamento. Certi caratteri evolvono però con sorprendente facilità: gli organismi sono **intrinsecamente predisposti** a generare forme e funzioni completamente nuove. Tale capacità è definita "evolvability".

L'evolvability ha basi biologiche complesse e riconducibili a molti fattori. Si pensa che l'innovazione avvenga soprattutto per riadattamento di caratteristiche preesistenti, più che per l'introduzione di nuove. Per esempio, negli animali i geni che istruiscono la costruzione dei diversi segmenti corporei sono attivati da altri geni regolatori detti omeotici (Hox). I geni Hox sono comparsi circa 550 milioni di anni fa e si sono adattati a controllare lo sviluppo di specie tra loro diversissime, come gli insetti e l'uomo. In questo modo, perfino il radicale cambiamento della posizione di un arto nel piano corporeo, invece che richiedere il lento e meno probabile accumulo di mutazioni in moltissimi geni, può avvenire per mutazione di un singolo gene Hox che ne controlla la posizione. Un esempio degno di nota dell'adattabilità degli arti è la capacità di volare nei vertebrati, comparsa indipendentemente almeno tre volte: nei preistorici pterosauri, negli uccelli e nei pipistrelli. In tutti e tre i casi le ali derivano da adattamenti degli arti anteriori, ma i segmenti ossei (ulna, radio, ossa carpali e falangi) hanno diverse localizzazioni e funzioni all'interno dell'ala.



BIOLOGIA

## NEI PARTICOLARI L'UNIVERSALE

La storia del pianeta Terra testimonia una **straordinaria e crescente complessità**.

Una trama articolata di eventi e interazioni ha condotto all'emergere della vita, eppure più si studia l'evoluzione della Terra, fino alla nascita della vita, più si capisce che ciò che è noto non è che un piccolo frammento nella comprensione della totalità degli eventi.

Già nelle sue forme più elementari la vita è un fatto scientificamente sorprendente e pone interrogativi essenziali: quale è il confine tra mondo prebiotico e vita? Come e per quali cause avviene tale passaggio? Quanto di ciò che è accaduto era già implicato nella struttura del pianeta? Quanto invece è stato un evento improbabile? Fino a dove può spingersi la conoscenza umana?

Ancor più difficile è spiegare l'insorgenza di vita intelligente, capace di pensiero astratto, fautrice di reti sociali e avente coscienza di sé e del mondo. È, questo, un fenomeno che introduce un livello nuovo rispetto a tutta la storia, globale e locale, che lo ha preceduto.

La formazione di un pianeta stabile, il passaggio da inanimato ad animato e l'emergere di vita intelligente sono l'eredità cosmica che, pur se ancora in gran parte non svelata, consente il nostro presente. Molto di questa storia resta da scoprire.

“Il contingente lascia trasparire l'assoluto”  
R. Guardini



## PERCORSO REALIZZATO PER LA 45° EDIZIONE DEL MEETING PER L'AMICIZIA FRA I POPOLI

A cura di  
**Associazione Euresis e Camplus**

Con la collaborazione scientifica di  
**Marco Bersanelli**, Dipartimento di Fisica,  
Università degli Studi di Milano  
**Giovanni Boccardi**, Istituto di Ricerche Chimiche e  
Biochimiche G. Ronzoni, Milano  
**Aldo Bonomo**, Istituto Nazionale di Astrofisica,  
Osservatorio di Torino  
**Andrea Caprotti**, Fakultät für Physik, Universität Wien  
**Antonino Lanza**, Istituto Nazionale di Astrofisica,  
Osservatorio di Catania  
**Maria Luoni**, Associazione Euresis  
**Annamaria Naggi**, Istituto di Ricerche Chimiche  
e Biochimiche G. Ronzoni, Milano  
**Rosanna Nano**, Dipartimento di Biologia e  
Biotecnologie "L. Spallanzani", Università di Pavia  
**Nicola Pajola**, Associazione Euresis  
**Giuseppe Puglisi**, Dipartimento di Fisica e Astronomia,  
Università degli Studi di Catania  
**Sergio Riva**, Istituto di Scienze e Tecnologie Chimiche  
"Giulio Natta" (SCITEC), CNR, Milano  
**Maurizio Scacchetti**, Associazione Micromineralogica  
Italiana, Società di Mineralogia e Petrologia  
**Carlo Sozzi**, Istituto per la Scienza e Tecnologia  
dei Plasmi, CNR, Milano  
**Fatima Stella**, Area Ambiente, Città Metropolitana di Milano  
**Giovanni Tempra**, Associazione Euresis  
**Andrea Zannoni**, Associazione Euresis

Coordinamento  
**Lucia Mambretti**, Associazione Euresis  
**Caterina Tresoldi**, Associazione Euresis

rimini  
**mee ting** 2024

**euresis** **camplus**  
Associazione per la Promozione e lo Sviluppo  
della Cultura e del Lavoro Scientifico

Con il contributo di  
**Ettore Barbagallo**, RPTU Kaiserslautern-Landau,  
Università di Kaiserslautern-Landau  
**Laura Bonanomi**, Associazione Euresis  
**Mario Boioli, Marina Figini, Tommaso Robbiani**,  
Associazione Euresis  
**Mauro Ceroni**, Istituto Neurologico IRCCS Mondino  
e Università degli studi di Pavia  
**Stefano Marni**, Dipartimento di Biotecnologie Mediche e  
Medicina Traslazionale, Università degli Studi di Milano  
**Paola Alesani, Michela Dinatolo, Martino Ferrario, Anna Tomatis**,  
studenti di fisica, Università degli Studi di Milano  
**Emanuele Coacci**, studente di Ingegneria Informatica,  
Alma Mater Studiorum Università di Bologna  
**Lucia Ghisolfi**, studentessa di medicina,  
Università degli Studi di Milano  
**Pietro Girani**, studente di Fisica, Università di Bologna  
**Carlo Marzullo**, studente di matematica,  
Università degli Studi di Milano  
**Maddalena Alesani, Maria Bascapè, Maria Paola Comaschi**,  
studentesse liceo artistico Sacro Cuore, Milano

Si ringraziano  
**Lucilla Capotondi**, Istituto di Scienze Marine CNR-ISMAR  
**Paolo Guaschi**, Kosmos, Museo di Storia Naturale, Pavia  
**Stefano Sacchettoni**, fotografo

Si ringrazia per gli exhibit  
**Kosmos Museo di Storia Naturale**, Pavia 

Progetto architettonico  
**Matteo Braghin**, architetto

Progetto grafico  
**Sara Mulone**, creative designer

Video  
**Gianni Giordano**, Associazione Euresis

Stampa  
**Immaginazione**

Progetto illuminotecnico  
**Chiara Tabellini**

Noleggio mostra  
**IES- International Exhibition Service**