

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.

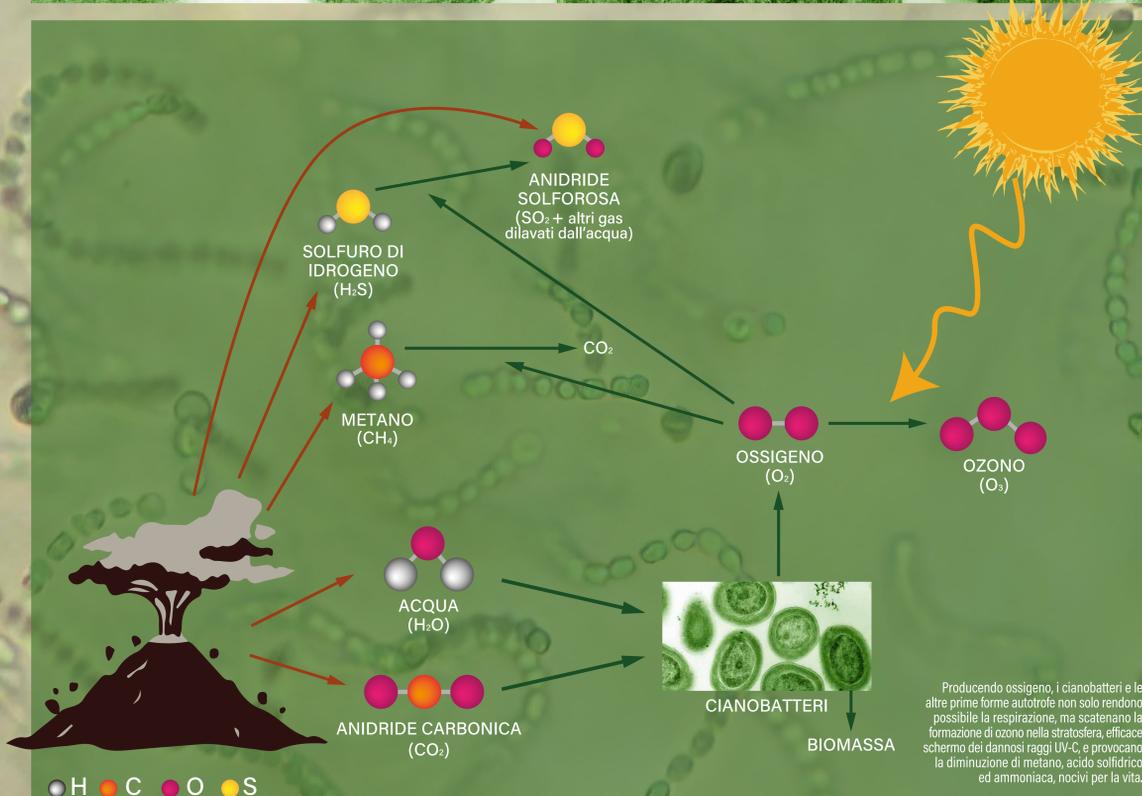
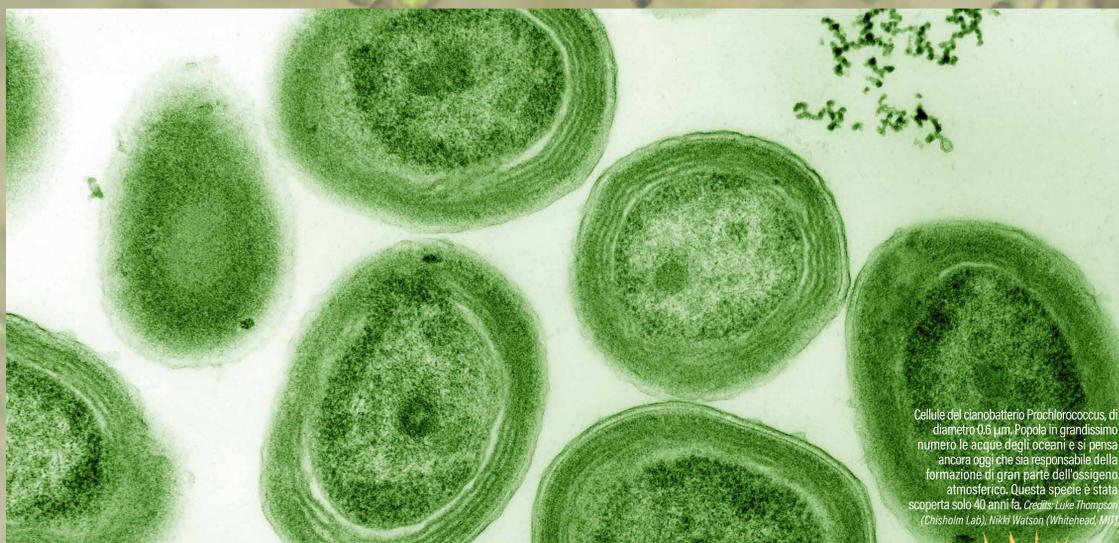
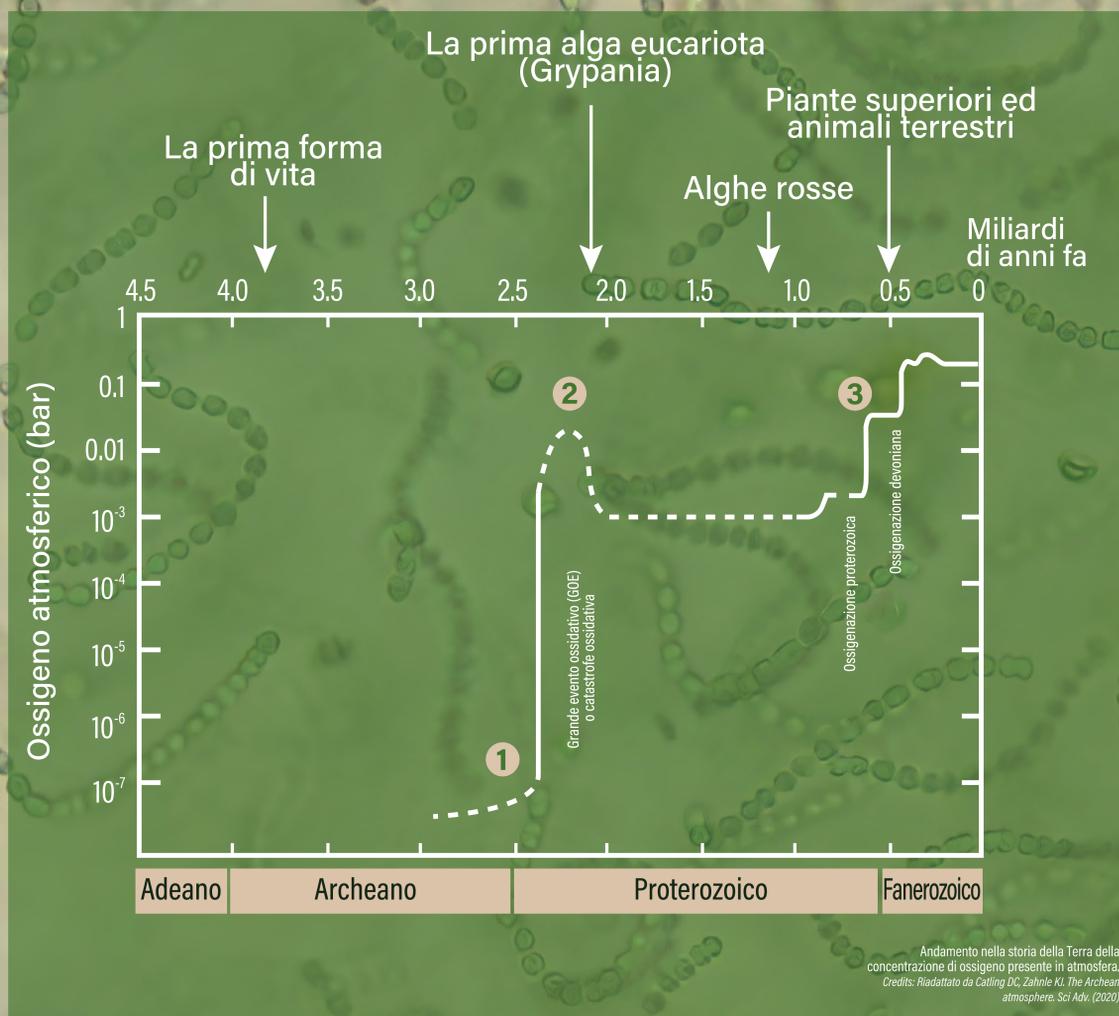
La **prima atmosfera** è prevalentemente composta di vapore acqueo, anidride carbonica, azoto, ammoniaca, metano e idrogeno solforato. L'ossigeno è quasi assente: la sua concentrazione comincia ad aumentare circa 2.5 miliardi di anni fa grazie ai *cianobatteri*, microrganismi fotosintetici che, sfruttando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

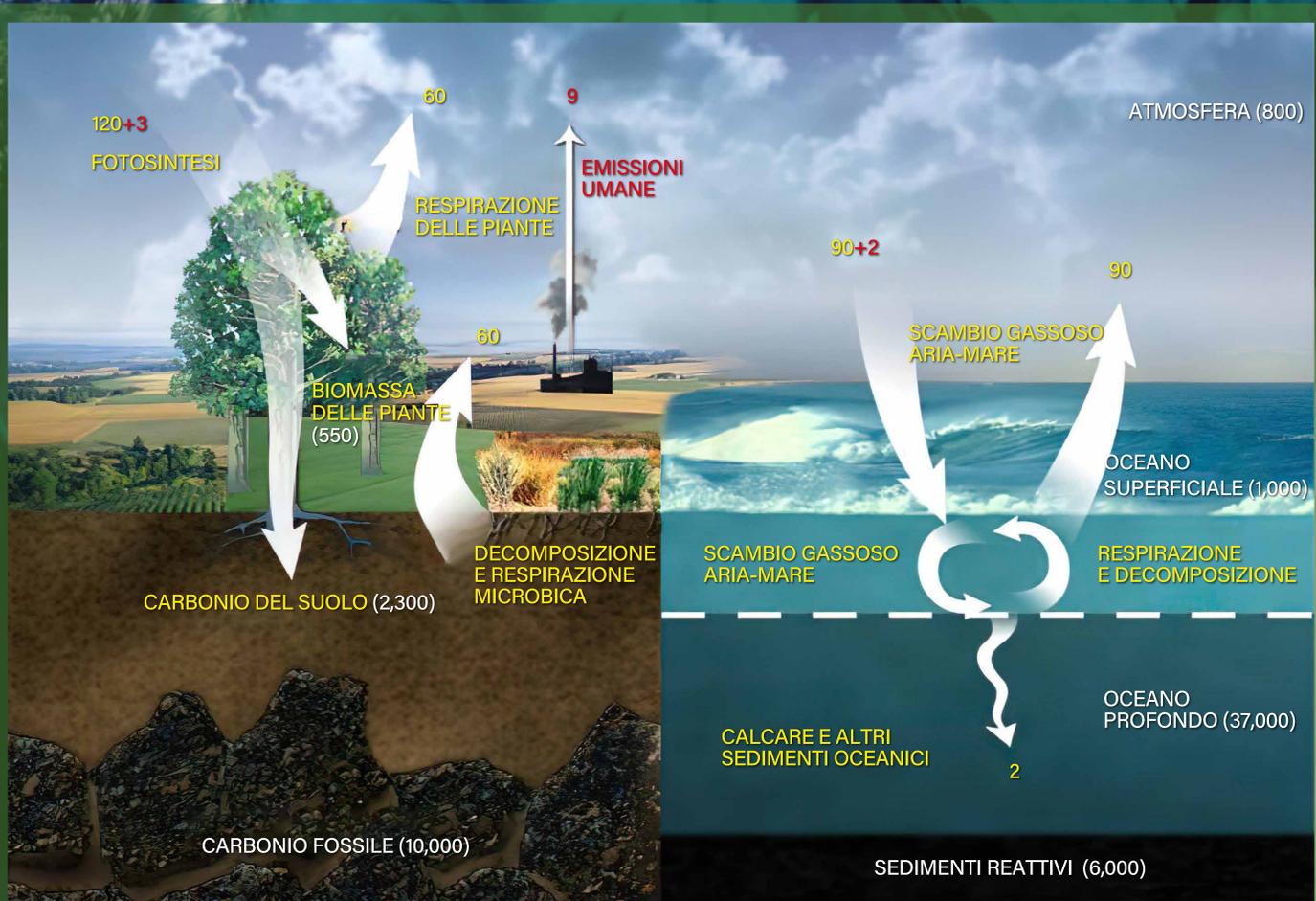
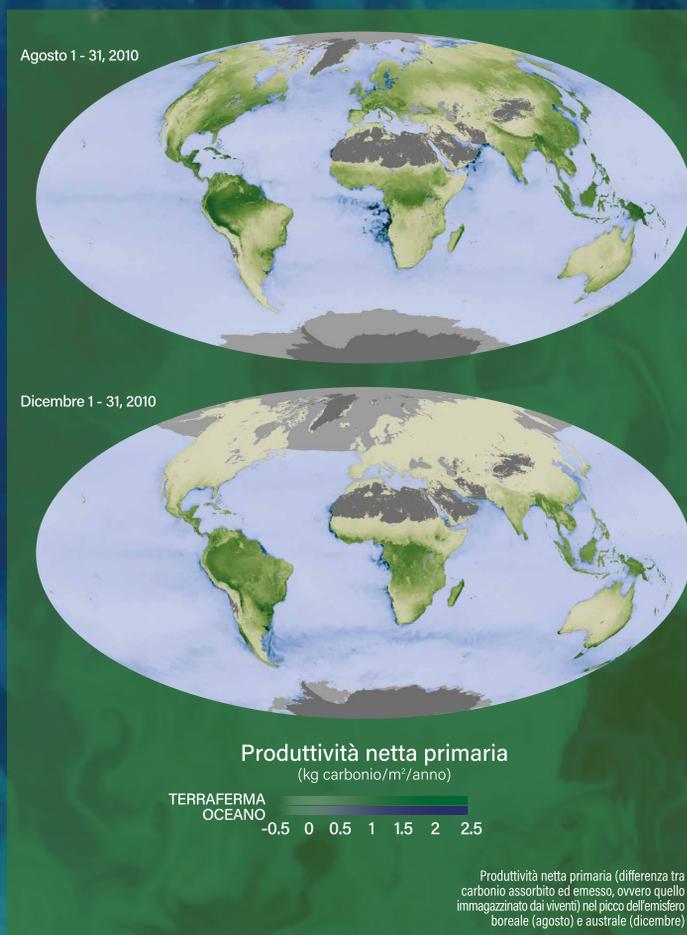
Gli oceani assorbono una notevole parte del carbonio contenuto in atmosfera: in essi il contenuto di carbonio è circa 50 volte superiore che in atmosfera.

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 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: NASA

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

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

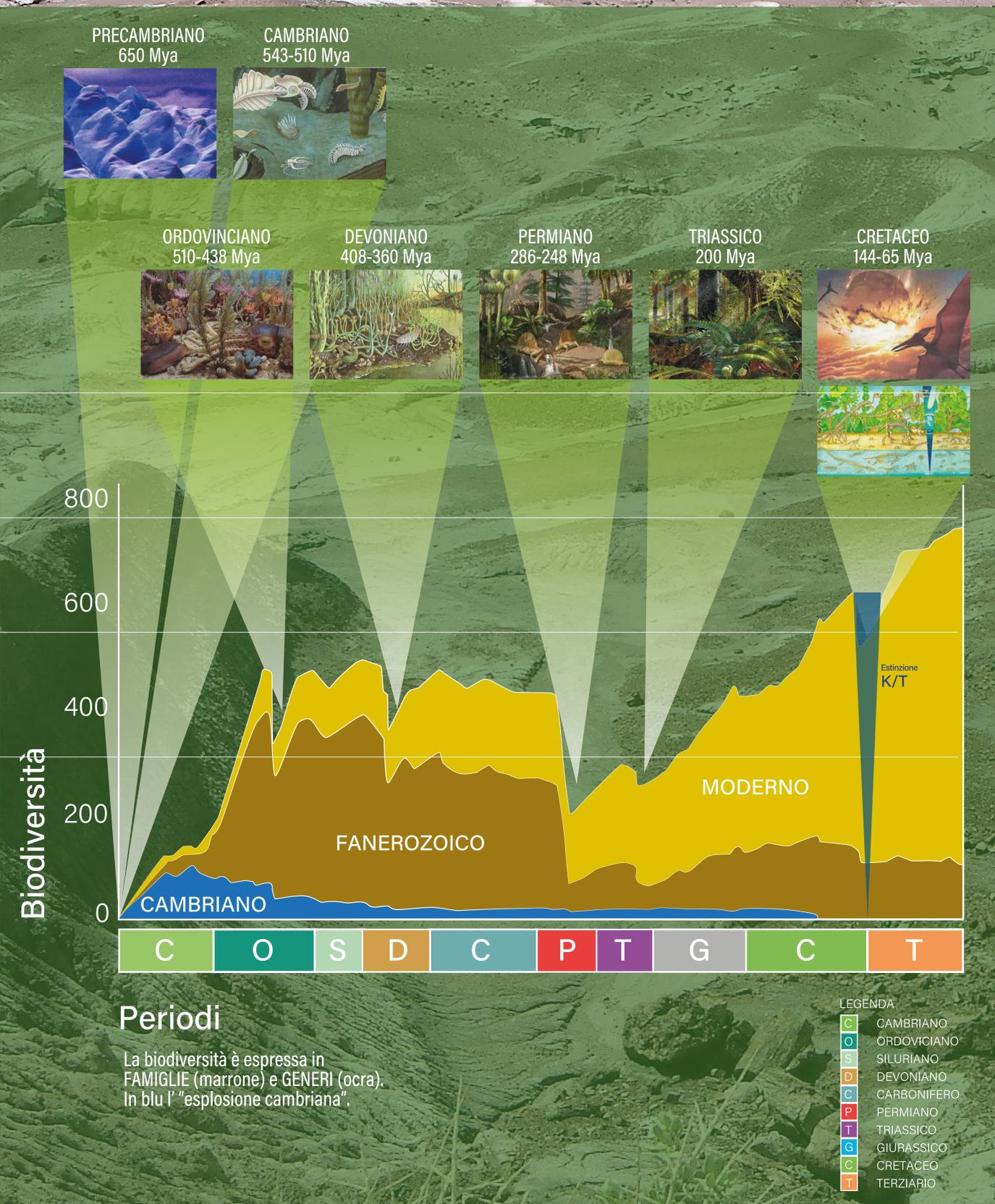
**CAUSA:** dall'inizio fino al periodo Cambriano, varie catastrofi climatiche denominate Snowball earth (glaciazioni).

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

**2** 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.

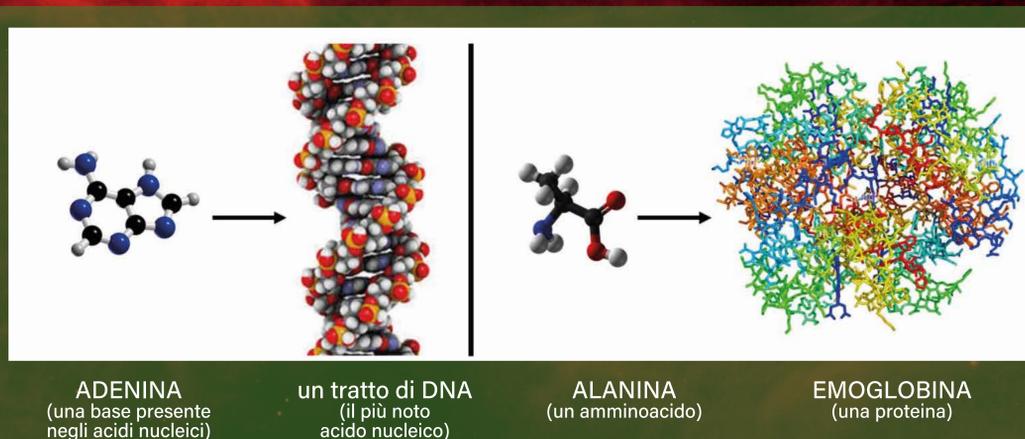
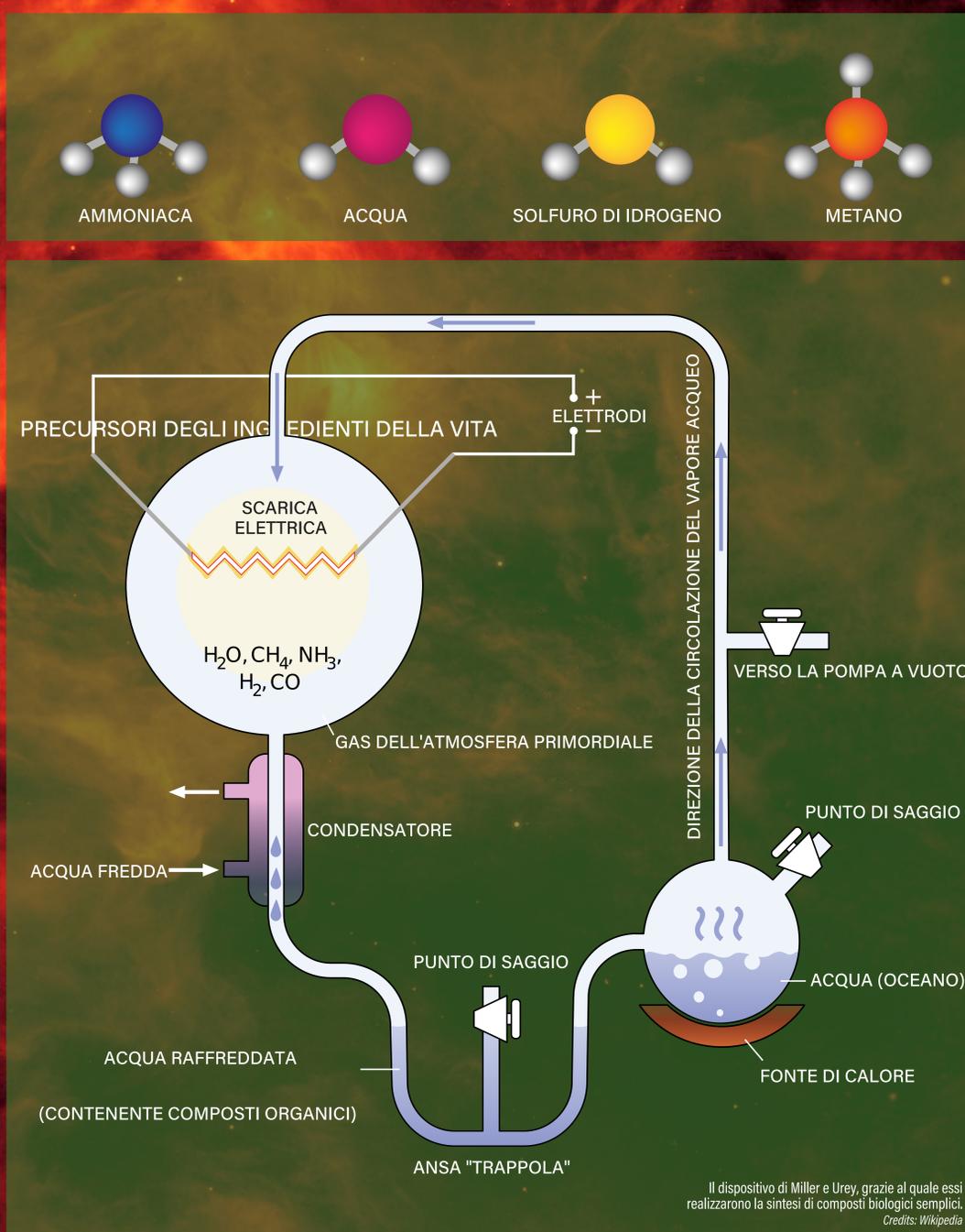
## PROBLEMI FONDAMENTALI

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**.





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.

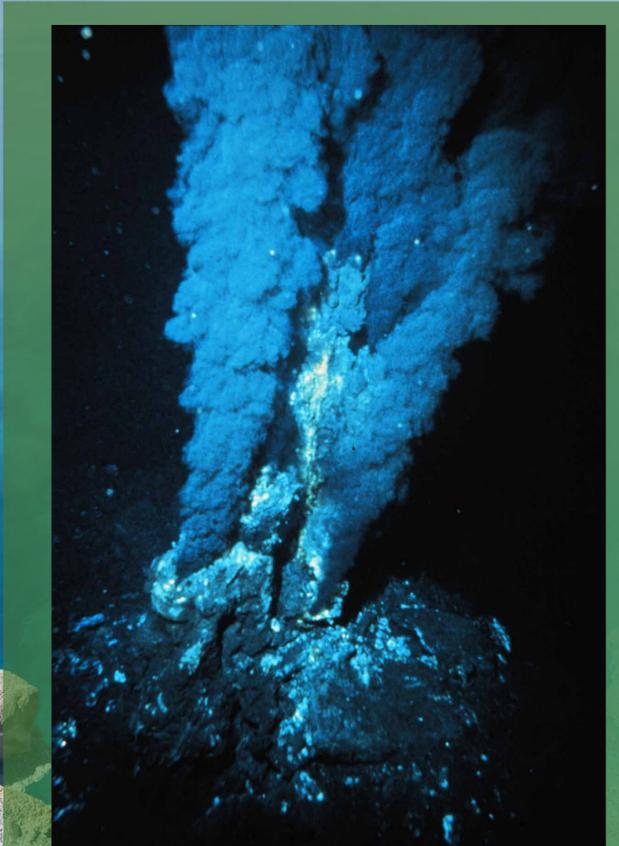
Diversi esperimenti indicano la propensione delle molecole ad associarsi tra loro in elementi più strutturati... ma l'originale complessità del primo *essere vivente* si sviluppa su molti aspetti.

## Perché la prima cellula è una novità assoluta?

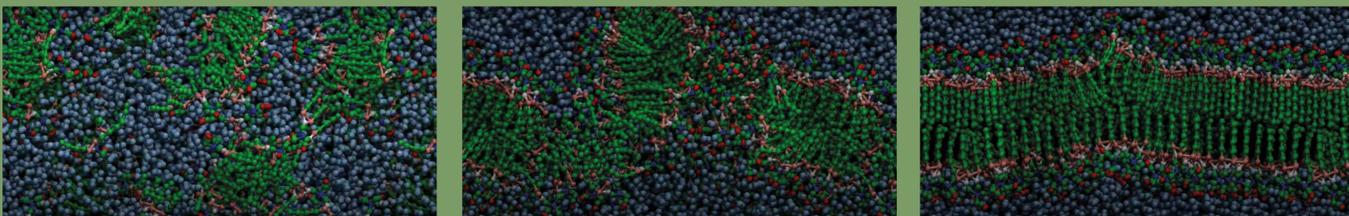
- Possiede una membrana che la separa dall'ambiente: nasce l'**individualità**;
- è depositaria di **informazione** per la propria costruzione e riproduzione;
- contiene numerose tipologie di biomolecole, tra cui proteine e acidi nucleici, che interagiscono in una sofisticata rete di **cooperazione**;
- per facilitare interazioni specifiche, alcune biomolecole si concentrano in organuli: nasce la **compartimentazione**;
- 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.

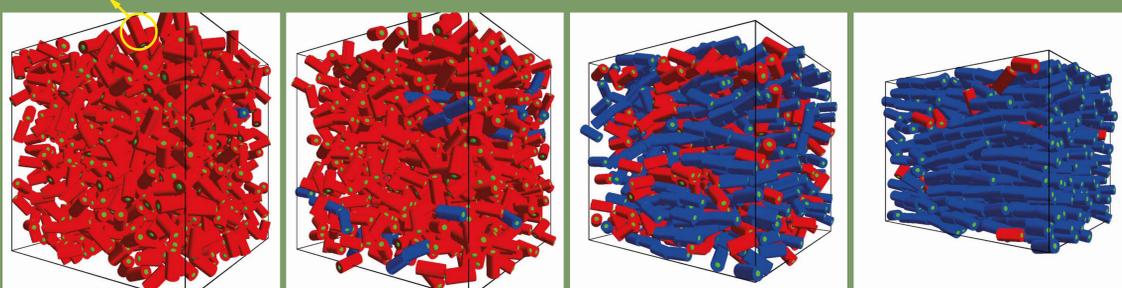


Sorgenti idrotermali sottomarine nell'oceano atlantico. Credits: Wikipedia



Tempo →

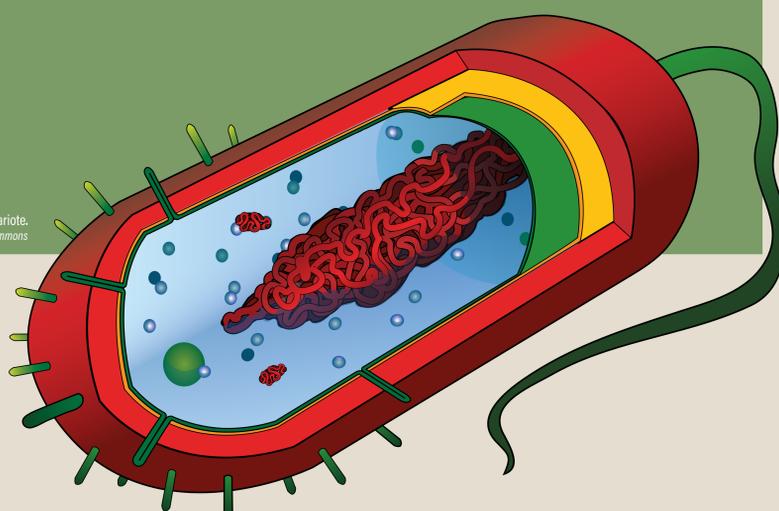
Auto-assemblaggio delle membrane biologiche, mostrata da simulazioni di dinamica molecolare. Credits: A. Kohlmeier (College of Science and Technology - Temple University)



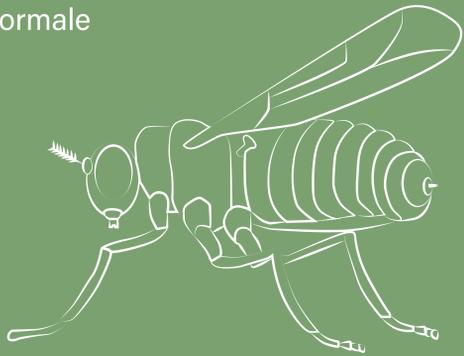
Tempo →

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

Rappresentazione di una tipica cellula procariote. Credits: Wikimedia Commons



Normale



Antennapedia

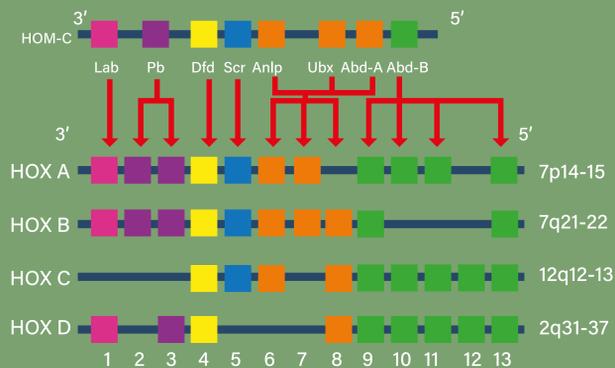
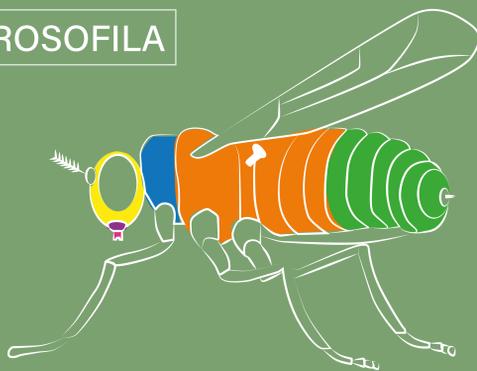


Bithorax

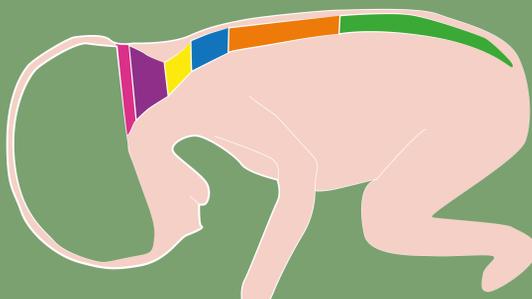


Drosophila melanogaster normale, drosophila con mutazione di un gene Antennapedia, che fa crescere zampe al posto delle antenne, e drosophila con alterazione di un gene Bithorax, che fa crescere un secondo paio di ali

DROSOFILA



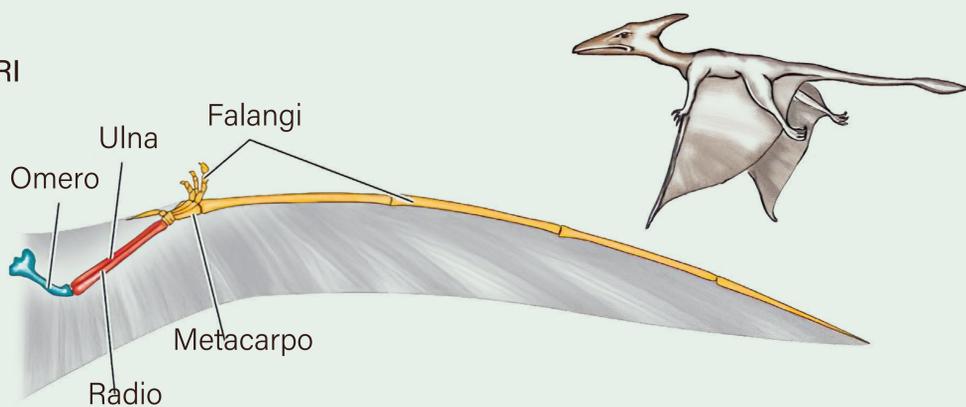
UOMO



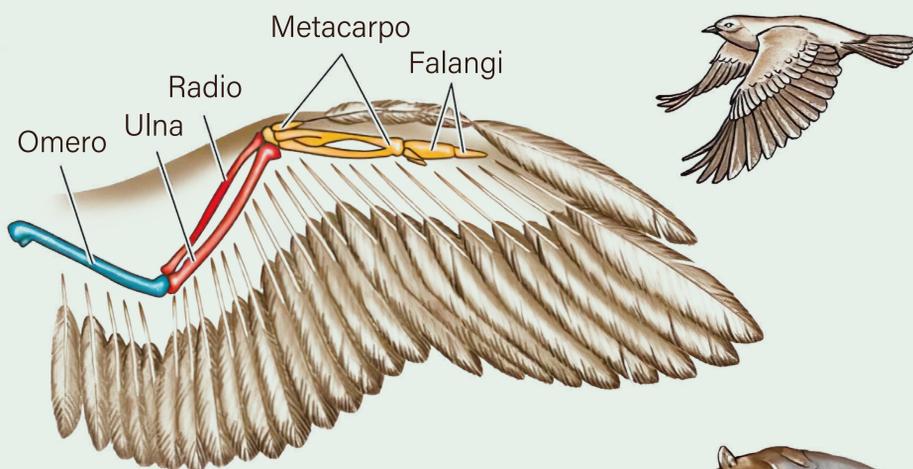
Rappresentazione dei geni Hox nel moscerino della frutta e nell'uomo, con corrispondenza tra il gene HOM-C della drosophila e i quattro cluster, HOX-A, HOX-B, HOX-C e HOX-D, dei 39 geni Hox presenti nell'uomo. I colori con cui sono rappresentati i segmenti corporei indicano i geni che ne controllano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

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

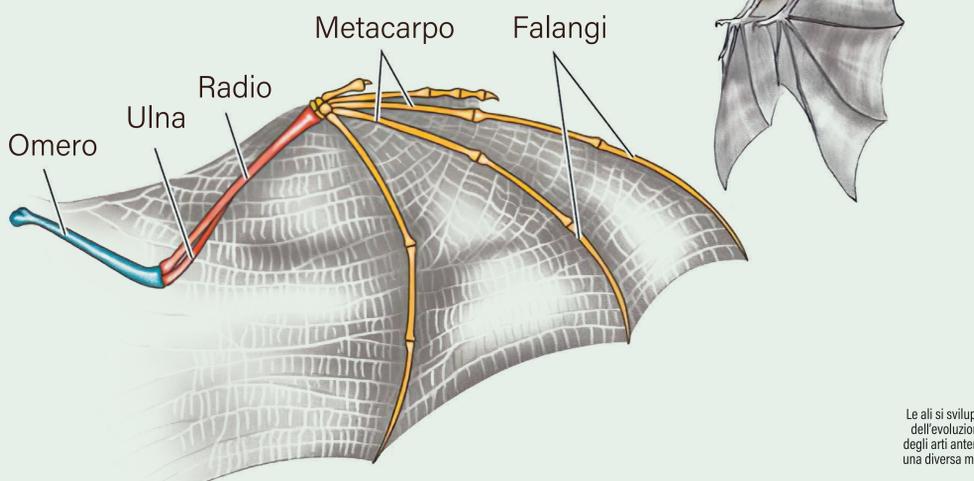
PTEROSAURI (estinto)



UCCELLI



PIPISTRELLI



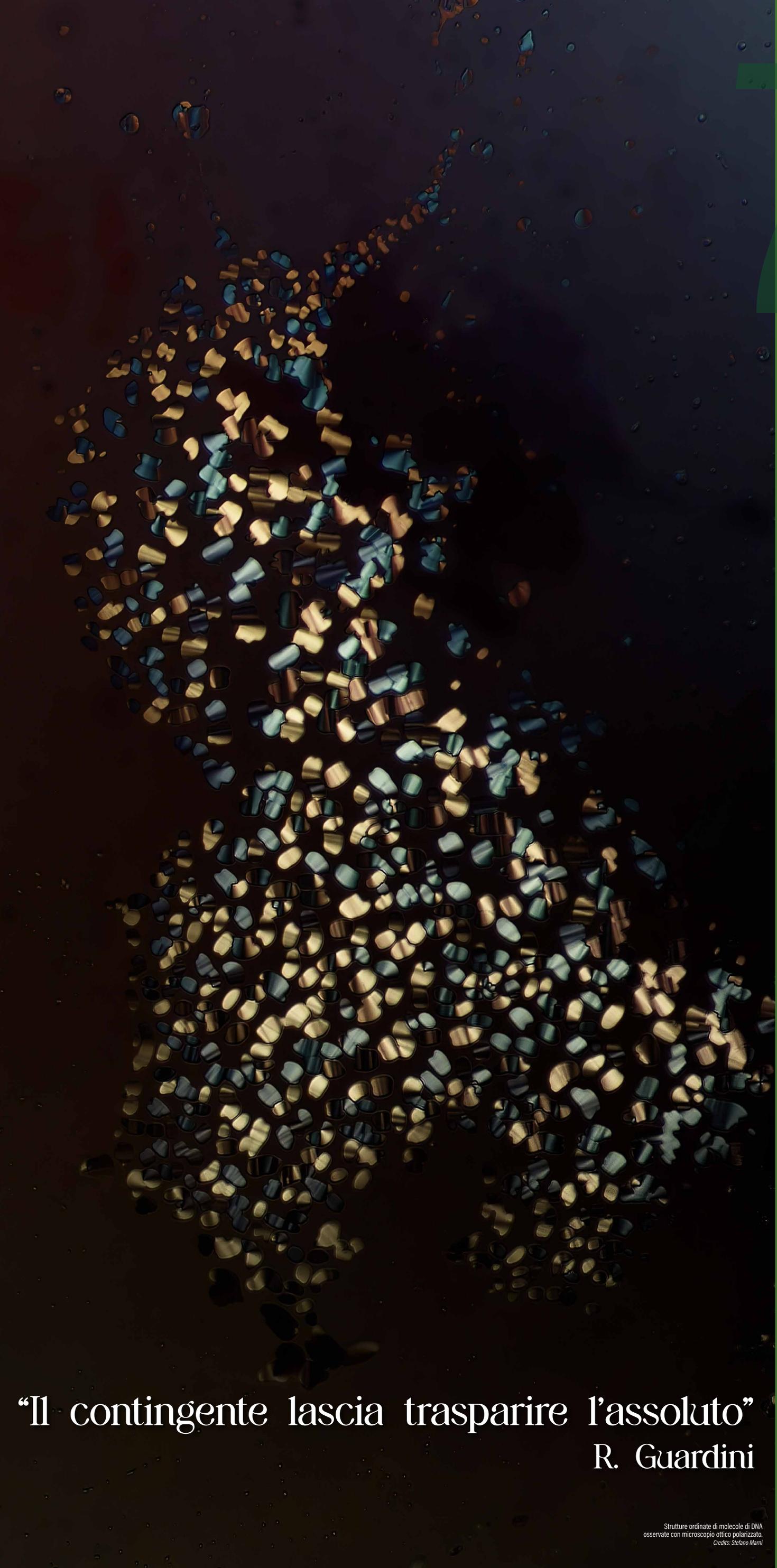
Le ali si sviluppano almeno tre volte nel corso dell'evoluzione modificando i segmenti ossei degli arti anteriori, ma ciascuna volta secondo una diversa modalità. Credits: Nature Blog Network

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