

Corso di Laurea Triennale in Biotecnologie mediche
classe L-2 delle lauree in Biotecnologie (D.M.270/04)

I anno, I semestre

Anno accademico 2019-2020

Biologia generale

Docente: Prof. M. Chicca
e-mail bio-gen_biotecmed@unife.it

Area A3 (Discipline biologiche) - CFU 6

Ore di lezione frontale: 48

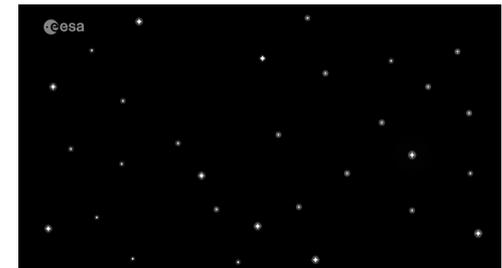
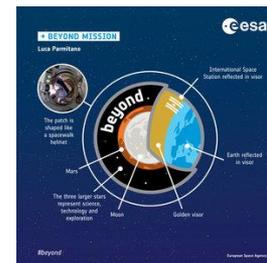
Il corso di Biologia generale dell'anno accademico 2019-2020 è dedicato a Luca Parmitano

Ingegnere, pilota con il grado di colonnello e astronauta dell'European Space Agency (ESA), Parmitano è attualmente **Comandante della Stazione Spaziale Internazionale per la missione 61 ("Beyond")**, iniziata il 20 luglio 2019 (50esimo anniversario dello storico sbarco sulla Luna) e prevista fino a marzo 2020

E' stato l'astronauta più giovane (36 anni) a compiere una missione di lunga durata ("Volare", nel 2013) e il **primo italiano ad effettuare attività extraveicolare sulla Stazione Spaziale**



Tra le altre onorificenze, Parmitano è stato inoltre insignito con la **Medaglia d'Argento al Valore Aeronautico** per un atterraggio eseguito in condizioni proibitive in Belgio nel 2005



Fonti:

https://en.wikipedia.org/wiki/Luca_Parmitano

<http://lucaparmitano.esa.int/>

Logo della missione "Beyond"

... e a tutti gli altri astronauti italiani che hanno compiuti finora missioni nello spazio



Franco Malerba
STS-46 (1992)



Maurizio Cheli
STS-75 (1996)



Umberto Guidoni
STS-75 (1996) e STS-100 (2001)
primo europeo a bordo della
Stazione Spaziale Internazionale



Roberto Vittori
TM-34 (2002), TMA-6
(2005), STS-134 (2011)



Paolo Nespoli
STS-120 (2007), TMA-20 (2011),
MS-05 e Stazione Spaziale
Internazionale (2017)

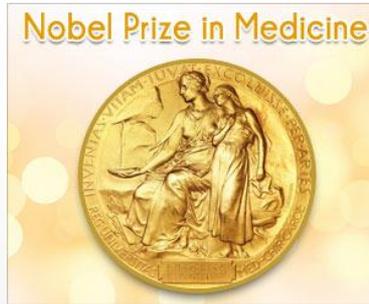
...ed in particolare all'unica (per ora)
astronauta italiana, **il capitano pilota ed
ingegnere Samantha Cristoforetti**,
detentrica fino al 2017 del record
mondiale di permanenza di una donna
nello spazio in un singolo volo (199 giorni)



Fonti:
https://en.wikipedia.org/wiki/Samantha_Cristoforetti
<https://samanthacristoforetti.esa.int/>

Le sono stati dedicati un asteroide ed una orchidea ibrida
spontanea scoperta nel Salento

Premio Nobel per la Medicina e la Fisiologia 2019



Gregg L. Semenza (Johns Hopkins University, Baltimore)

William G. Kaelin (Howard Hughes Medical Institute, Maryland)

Sir Peter J. Radcliffe (Francis Crick Institute, Londra)

“for their discovery of how cells sense and adapt to oxygen availability”

I tre studiosi hanno identificato il meccanismo molecolare che regola l'attività dei geni che rispondono ai cambiamenti di concentrazione dell'ossigeno nei tessuti

Lavori fondamentali

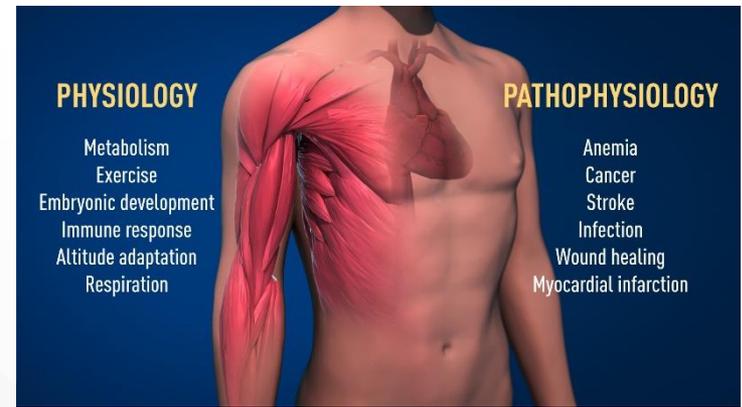
Semenza G.L, Nejfelt M.K., Chi S.M. & Antonarakis S.E. (1991). Hypoxia-inducible nuclear factors bind to an enhancer element located 3' to the human erythropoietin gene. *Proc Natl Acad Sci USA*, 88, 5680-5684.

Mircea I., Kondo K., Yang H., Kim W., Valiando J., Ohh M., Salic A., Asara J.M., Lane W.S. & Kaelin Jr. W.G. (2001) HIF α targeted for VHL-mediated destruction by proline hydroxylation: Implications for O $_2$ sensing. *Science*, 292, 464-468.

Jakkola P., Mole D.R., Tian Y.-M., Wilson M.I., Gielbert J., Gaskell S.J., von Kriegsheim A., Heberstreit H.F., Mukherji M., Schofield C.J., Maxwell P.H., Pugh C.W. & Ratcliffe P.J. (2001). Targeting of HIF- α to the von Hippel-Lindau ubiquitylation complex by O $_2$ -regulated prolyl hydroxylation. *Science*, 292, 468-472.

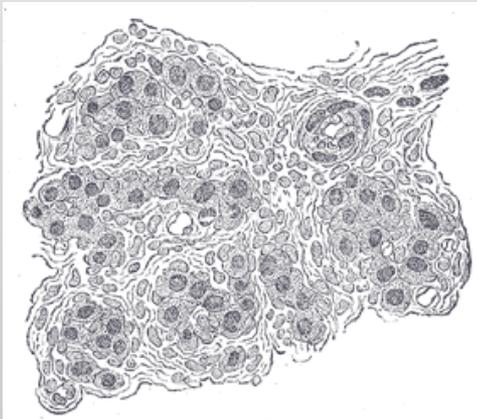
L'ossigeno è essenziale per la produzione aerobia di energia sotto forma di ATP, che avviene nei mitocondri tramite la fosforilazione ossidativa

L'adattamento delle cellule alla carenza di ossigeno è fondamentale per la vita in ambito sia fisiologico (attività fisica normale) sia patologico (traumi, infarti, ictus, tumori)



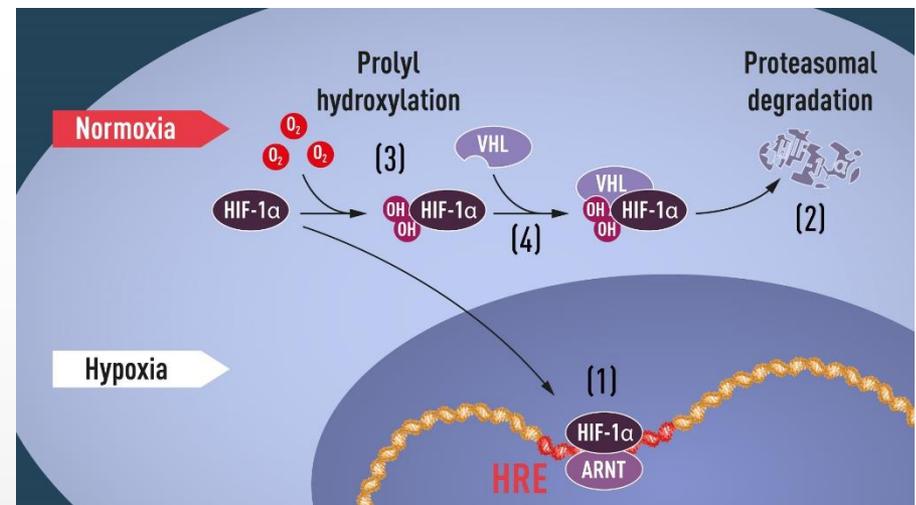
Le cellule tumorali in crescita incontrollata necessitano di elevate quantità di ossigeno: diminuendone la disponibilità è spesso possibile rallentarne o bloccarne la crescita

Il controllo dei livelli di ossigeno nelle cellule è fondamentale non solo nella terapia dei tumori e delle anemie, ma anche nel normale allenamento sportivo e nell'adattamento del corpo umano alle alte quote



Le pressioni parziali dell'ossigeno e dell'anidride carbonica nel sangue sono percepite da un piccolo gruppo di cellule chemorecetttrici situate presso la biforcazione dell'arteria carotidea (**“corpo” o “glomus” carotideo**), scoperto nel 1929 da Corneille Heymans (Premio Nobel 1938 per la Medicina e la Fisiologia)

Le cellule del glomo carotideo inviano le informazioni direttamente al cervello, regolando il ritmo respiratorio e numerose altre attività dell'organismo



Ossigeno, EPO, HIF e sindrome VHL

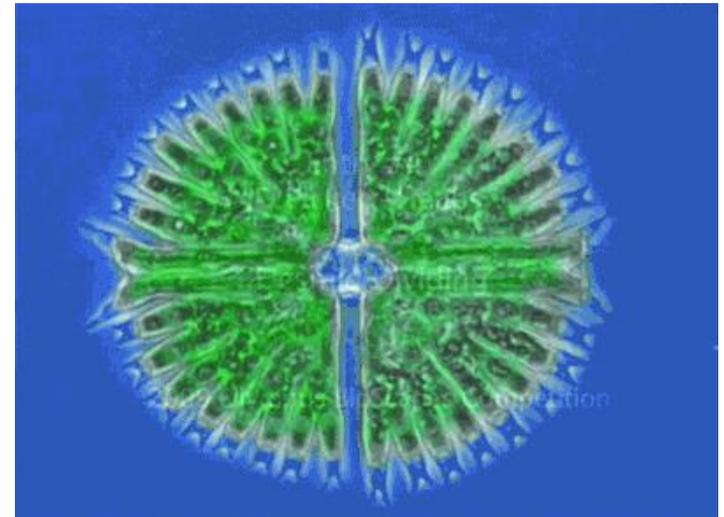
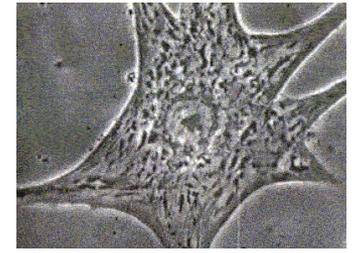
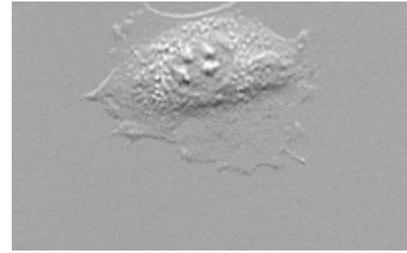
Semenza e Radcliffe hanno studiato l'ormone renale eritropoietina (**EPO**), che intensifica la **produzione di globuli rossi in carenza di ossigeno (ipossia)**, scoprendo che il gene EPO è regolato dal livello di ossigeno non solo nel rene ma in quasi tutti i tessuti tramite un complesso di proteine (**hypoxia-inducible factor, HIF**) che agisce come fattore di trascrizione sul DNA

A livelli normali di ossigeno, HIF è marcato con ubiquitina e degradato nel proteasoma, ma quando l'ossigeno scarseggia l'ubiquitina non si lega più ad HIF, la degradazione non avviene e HIF induce la produzione di EPO: non si comprendeva però come l'ossigeno (un gas) potesse influenzare il processo

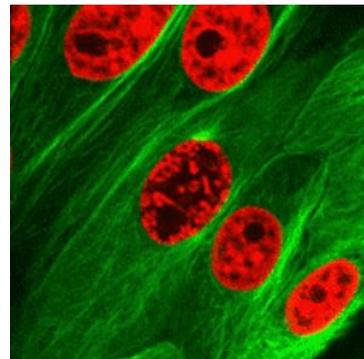
Studiando una rara sindrome ereditaria, la malattia di von Hippel-Lindau (**VHL**), che aumenta il rischio di tumori in famiglie con la mutazione, Kaelin ha scoperto che il gene mutato era coinvolto nel controllo della risposta all'ipossia perché **il suo prodotto regolava la marcatura con ubiquitina e quindi la degradazione normale di HIF nel proteasoma**

In questo modo è stato identificato con chiarezza **l'intero processo tramite il quale l'ossigeno regola a livello molecolare la risposta di cellule e tessuti all'ipossia**

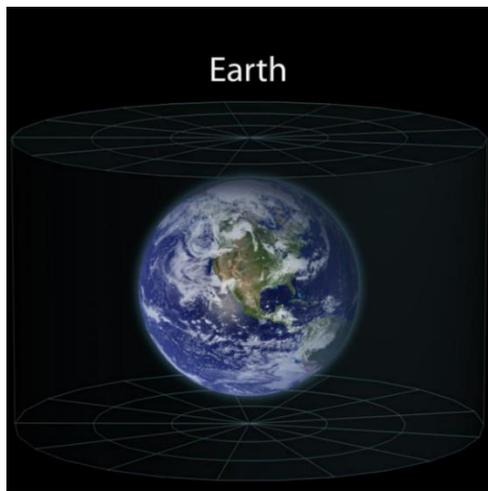
Il pianeta Terra e la vita



Fonti:
<https://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=57723>
<https://giphy.com/gifs/f7i2PlfaQFnWw>



MAKE GIFS AT GIFSOU.P.COM



“Casa, dolce casa”...la Terra



“Chiario di Terra”: la Terra vista dalla Luna
(384000 Km, o 1.28 secondi-luce)



La Terra vista da Marte
(circa 58 milioni di Km, o 4 minuti e 20 secondi-luce)
In questo periodo dell'anno Marte non è visibile nel cielo
notturno terrestre perché troppo basso sull'orizzonte



La Terra vista dagli anelli di Saturno,
fotografata dalla sonda Cassini
(1.3 miliardi di Km, o 1 ora e 11 secondi-luce)

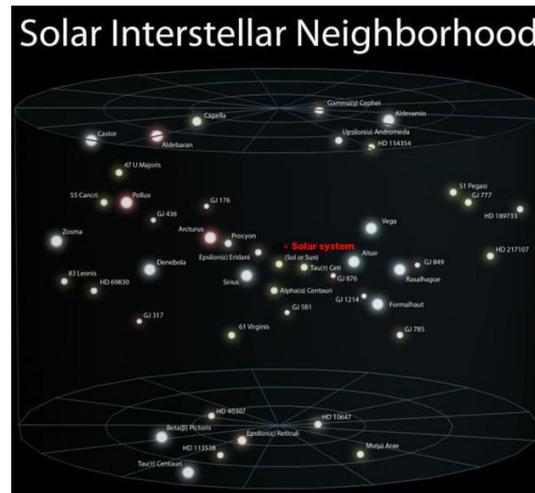
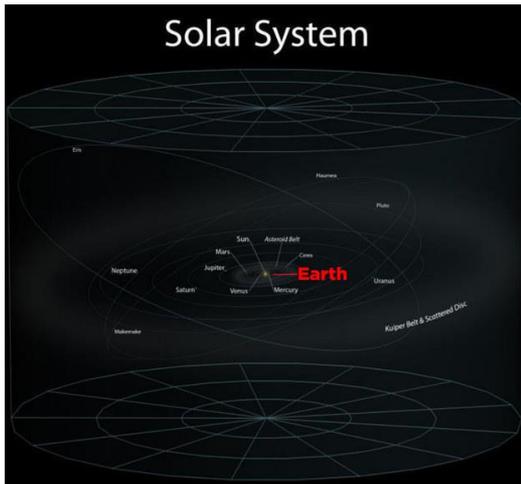
Fonti: <https://www.nasa.gov/>
http://www.ansa.it/canale_scienza_tecnica

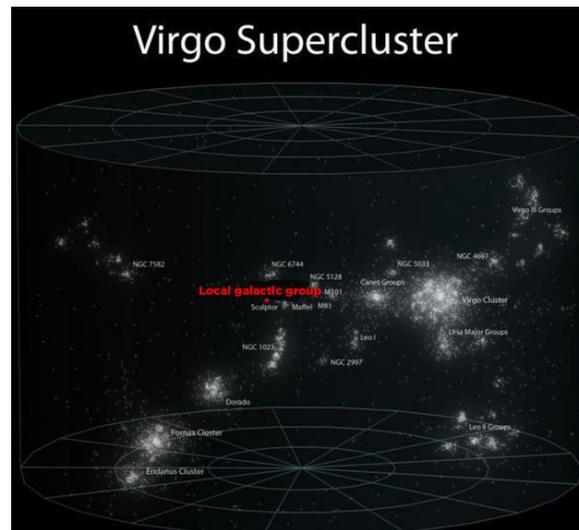
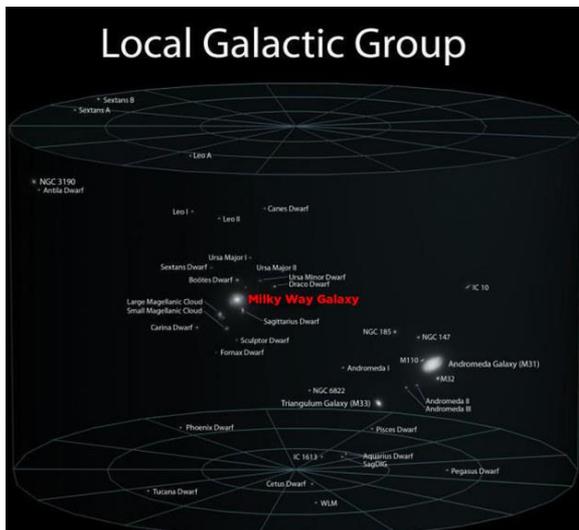


La Terra vista da Nettuno
(circa 4.3 miliardi di Km,
o 4.2 ore-luce dalla Terra)

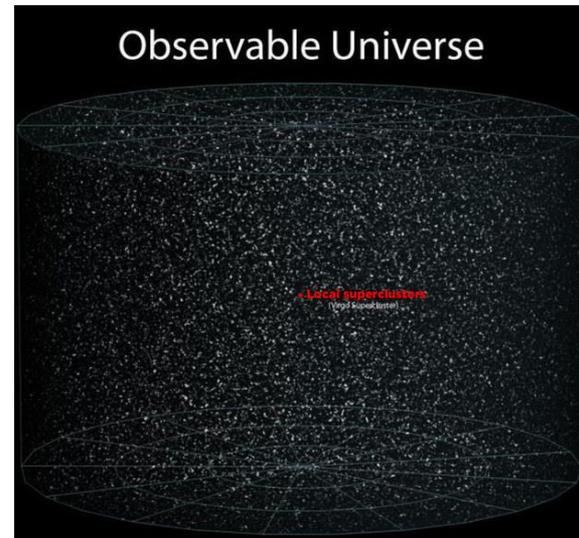
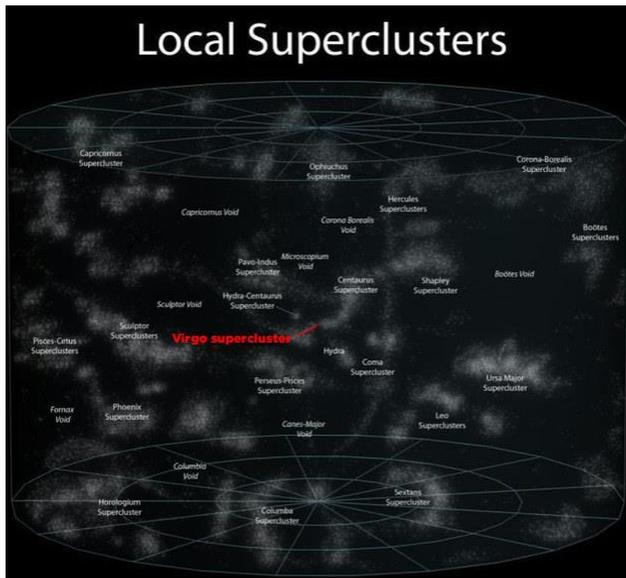


La Terra nel Sistema Solare...

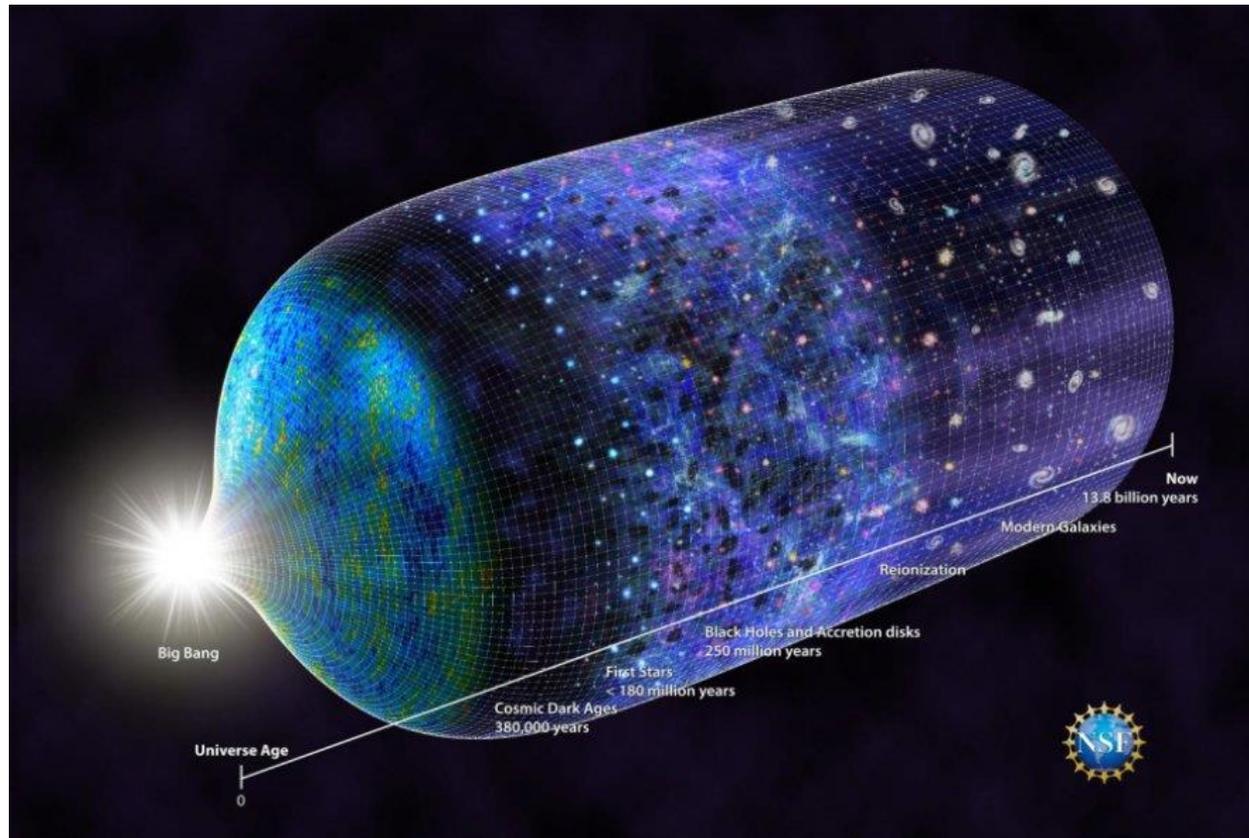




...e nel gruppo locale di galassie (“Laniakea”), che fa parte del superammasso (“supercluster”) “Virgo”, che a sua volta fa parte di un superammasso locale in un **piccolo angolo dell’Universo osservabile**

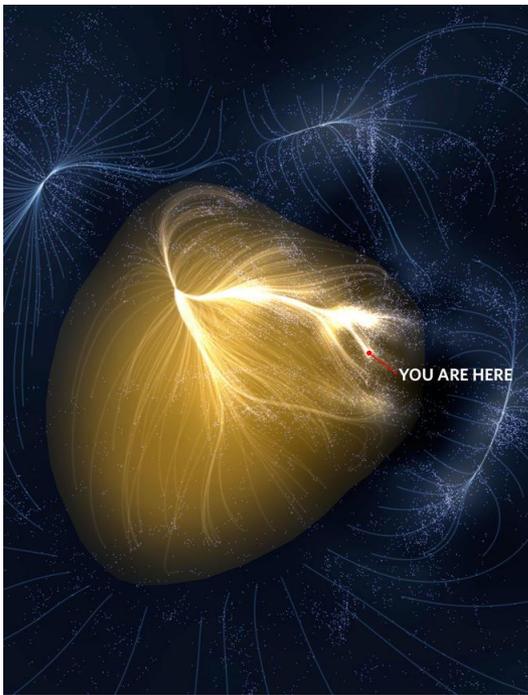


Breve storia dell'Universo, del Sistema Solare e del terzo pianeta...

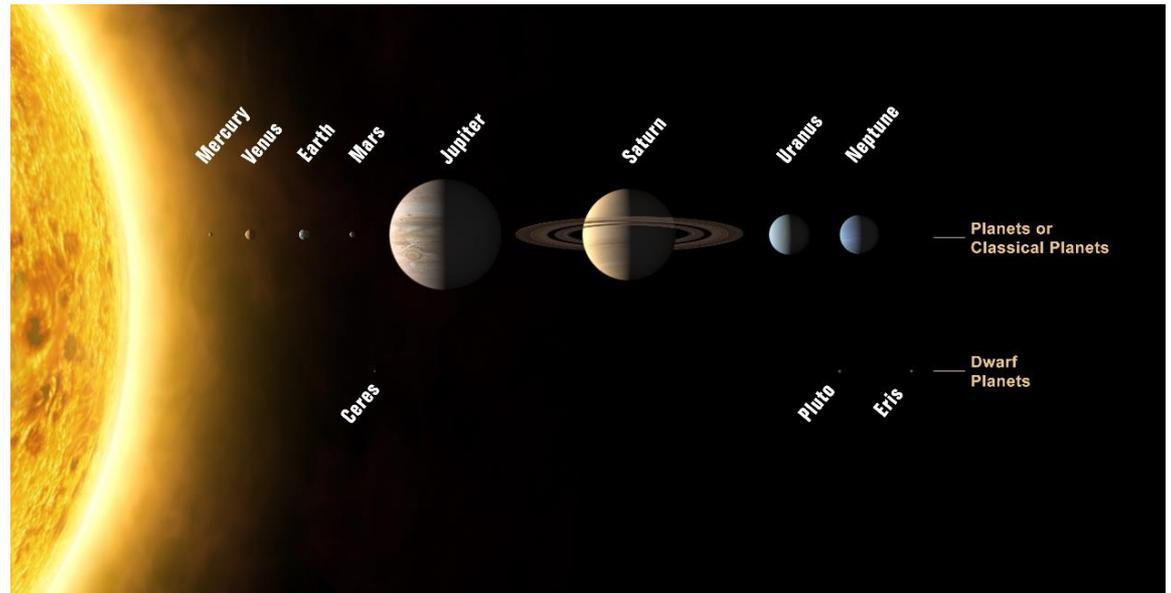
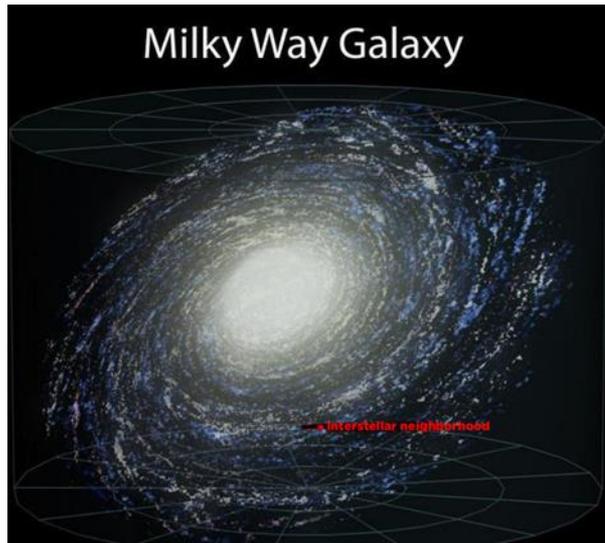


L'Universo che conosciamo (“osservabile”) si è originato 13.8 miliardi di anni fa tramite un evento esplosivo di singolarità iniziale (“**Big Bang**”), i cui effetti sono ancora in corso (“**espansione**”)

Fonte: <https://www.sciencedaily.com>



- Nel superammasso di galassie “Virgo”, all’interno della galassia Via Lattea, nel braccio galattico di Orione, una grande nebulosa stellare contenente una o più supernove (“**Madre del Sole**”) è **esplosa e** **collassata** circa 5 miliardi di anni fa
- Il collasso della nebulosa ha formato al centro una nuova stella, una nana gialla di tipo G (“**Sole**”) circondata da un **disco di accrezione** dal quale si sono originati **8 pianeti**, **5 pianeti nani**, **525 satelliti**, 4017 comete e 778897 asteroidi
- Il **terzo pianeta** di questo sistema (Sol 3, chiamato Terra) si è formato **4.6 miliardi di anni fa**



Fonte

<https://minorplanetcenter.net/mpc/summary>

La vita sulla Terra è comparsa probabilmente tra 3.7 e 3.8 miliardi di anni fa

Nutman e collaboratori hanno studiato alcune rarissime rocce sedimentarie della formazione **Isua Greenstone Belt (Groenlandia)**, portate alla luce dallo scioglimento dei ghiacci polari e datate tra 3.7 e 3.8 miliardi di anni fa



LETTER

doi:10.1038/nature19355

Rapid emergence of life shown by discovery of 3,700-million-year-old microbial structures

Allen P. Nutman^{1,2}, Vickie C. Bennett³, Clark R. L. Friend⁴, Martin J. Van Kranendonk^{2,5,6} & Allan R. Chivas¹

Biological activity is a major factor in Earth's chemical cycles, including facilitating CO₂ sequestration and providing climate feedbacks. Thus a key question in Earth's evolution is when did life arise and impact hydrosphere-atmosphere-lithosphere chemical cycles? Until now, evidence for the oldest life on Earth focused on debated stable isotopic signatures of 3,800–3,700 million year (Myr)-old metamorphosed sedimentary rocks and minerals^{1,2} from the Isua supracrustal belt (ISB), southwest Greenland³. Here we report evidence for ancient life from a newly exposed outcrop of 3,700-Myr-old metacarbonate rocks in the ISB that contain 1–4-cm-high stromatolites—macroscopically layered structures produced by microbial communities. The ISB stromatolites grew in a shallow marine environment, as indicated by seawater-like rare-earth element plus yttrium trace element signatures of the metacarbonates, and by interlayered detrital sedimentary rocks with cross-lamination and storm-wave generated breccias. The ISB stromatolites predate by 220 Myr the previous most convincing and

formation of the protolith, before superimposed metamorphism³. This is a particular problem in the search for signs of early life in carbonate rocks, owing to the propensity of carbonates to undergo ductile deformation and recrystallize as marble during metamorphism and orogeny. Consequently, the search for evidence of life in Eoarchaean rocks has focused on chemical signatures, such as the isotopic compositions of carbon (as graphite) and iron from metasedimentary rocks, but the origin of these signatures is not unique and their significance as evidence of ancient life remains debated^{2,13,14,15}. Most isotopic searches for the oldest evidence of life have targeted the ISB of southwest Greenland, because it contains by far the largest areal extent of diverse Eoarchaean metasedimentary rocks with rare, small areas of low deformation in which primary sedimentary structures are preserved¹⁶.

This contribution presents the discovery of ~3,700-Myr-old structures (Fig. 1) interpreted as stromatolites in an ISB outcrop of dolomitic rocks, newly exposed by melting of a perennial snow patch. The stromatolite discovery locality (Extended Data Fig. 1) is within the hinge of

Le rocce di queste formazioni sedimentarie della Groenlandia presentano **tracce fossili di attività di microorganismi** del tutto simili a quelle delle stromatoliti della Shark Bay

Fonte:

Nutman et al., Nature 2016, doi:10.1038/nature19355



Figure 1 | A 3.7-billion-year-old rock with signs of associated life. Analysis of ancient rocks by Nutman *et al.*¹ have identified conical stromatolite-like structures (outlines indicated by dotted black lines) that are possible hallmarks of bacterial activity. Scale bar, 4 cm.

Le strutture stromatolitiche di Isua Belt, del tutto simili a quelle dell’Australia occidentale, provano che la produzione di depositi carbonatici da parte di microorganismi avveniva già 3.7-3.8 miliardi di anni fa

Questi dati sono in accordo con analisi filogenetiche basate su dati molecolari, secondo le quali i primi organismi viventi sarebbero apparsi sulla Terra circa 4 miliardi di anni fa (Bell et al., PNAS, 2015)

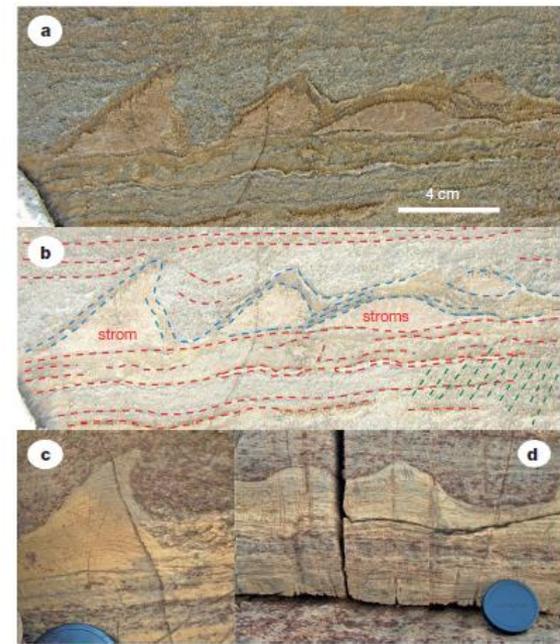
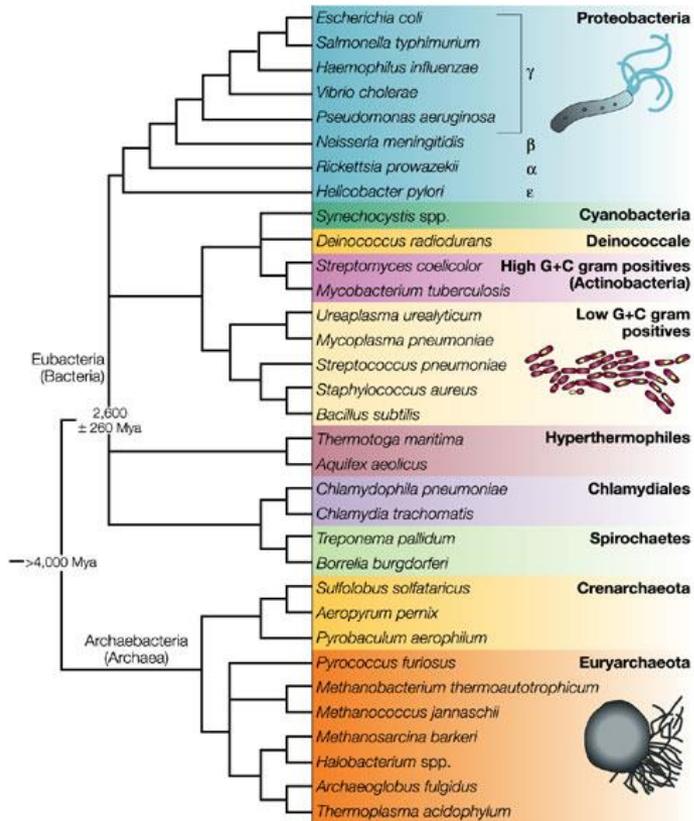
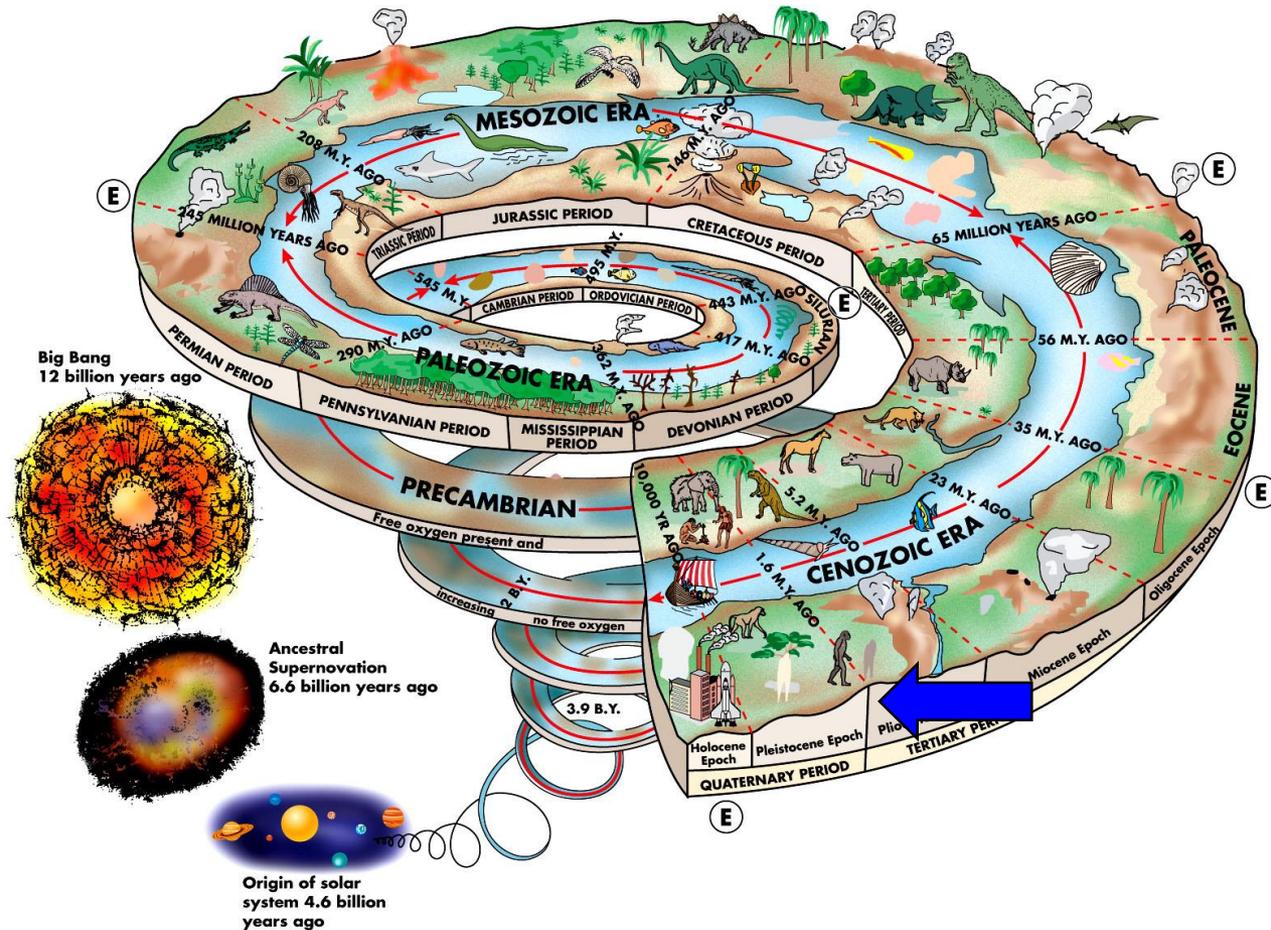


Figure 1 | ISB site A stromatolites and younger ones from Western Australia. a, Site A stromatolites. Image is inverted because layering is overturned in a fold. b, Interpretation of a, with isolated stromatolite (strom) and aggregate of stromatolites (stroms). Locally, lamination is preserved in the stromatolites (blue lines). Layering in the overlying sediment (red lines) onlaps onto the stromatolite sides. A weak tectonic foliation is indicated (green lines). c, Asymmetrical stromatolite and d, linked domical stromatolites from the Palaeoproterozoic²⁸ Woolly Dolomite, Western Australia. The lens cap is 4 cm in diameter. Image c is left-right-reversed for comparison with panels a, b.



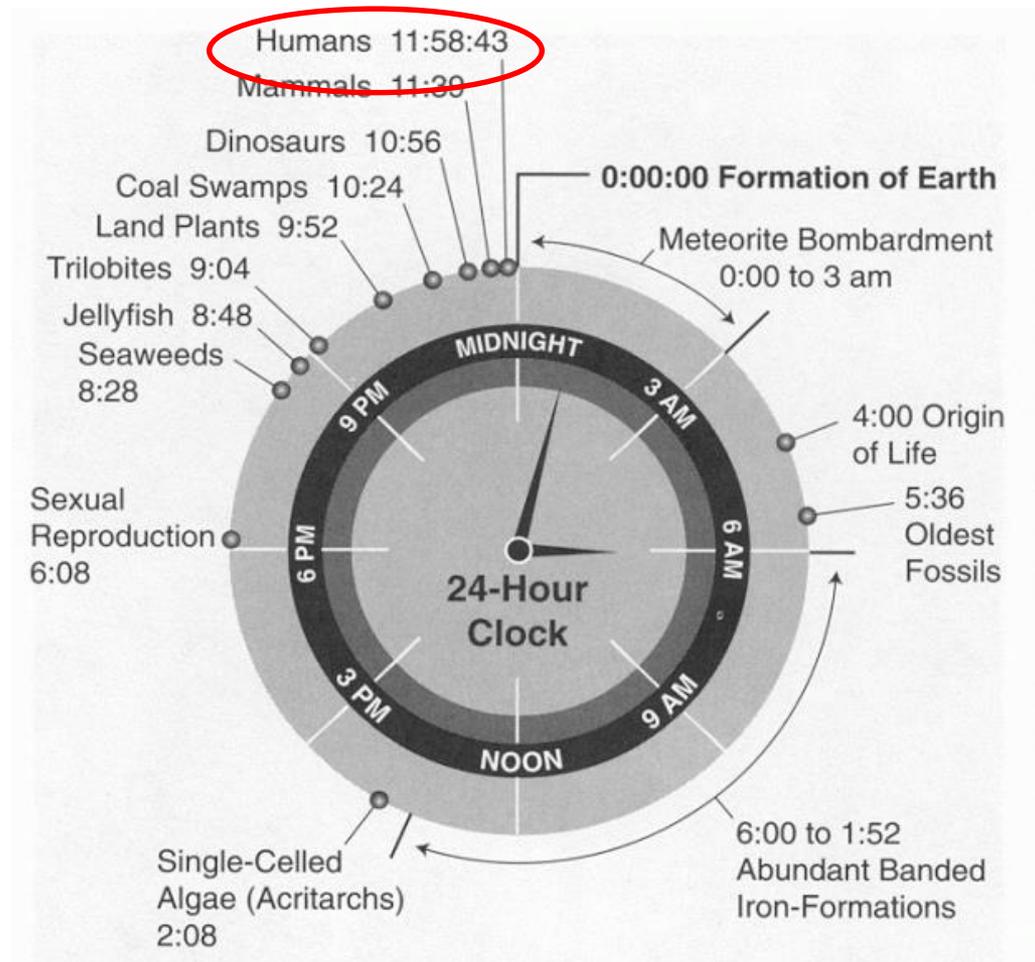
Fonti:
 Nutman et al., Nature 2016
 Bell et al., Proceedings of National Academy of Sciences (PNAS) 2015



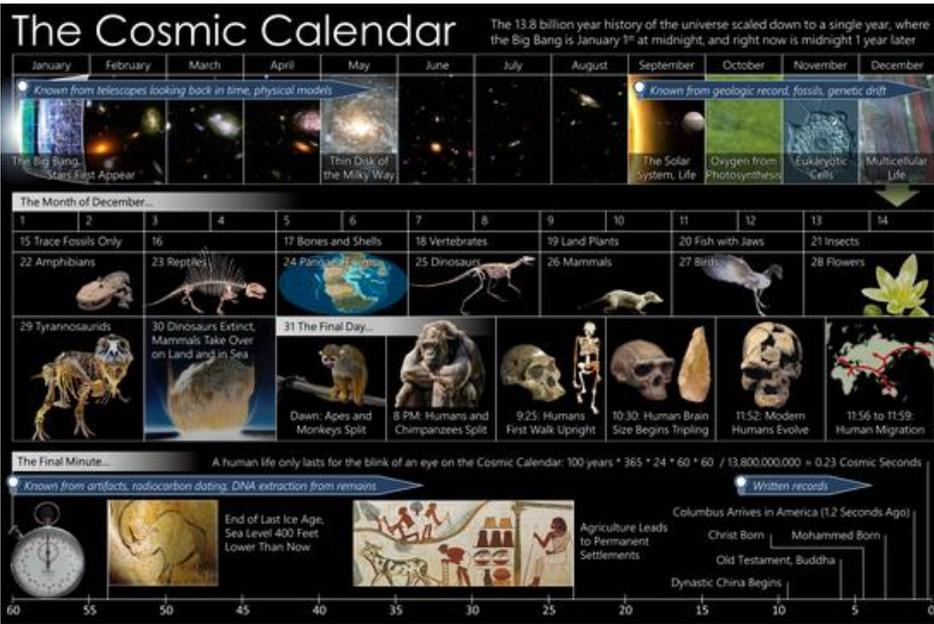
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

- La **vita su Sol 3** è quindi comparsa **3.7-3.8 miliardi di anni fa**
- I primi **ominidi** (Homininae: Australopithecines) sono apparsi sul pianeta solo 4 milioni di anni fa ed il genere *Homo* è apparso **solo 2 - 2.5 milioni di anni fa**

Quindi, se l'intera esistenza della Terra
(4.6 miliardi di anni)
fosse **un giorno di 24 ore...**



...gli esseri umani attuali sarebbero apparsi sul pianeta
circa **2 secondi prima** della mezzanotte !

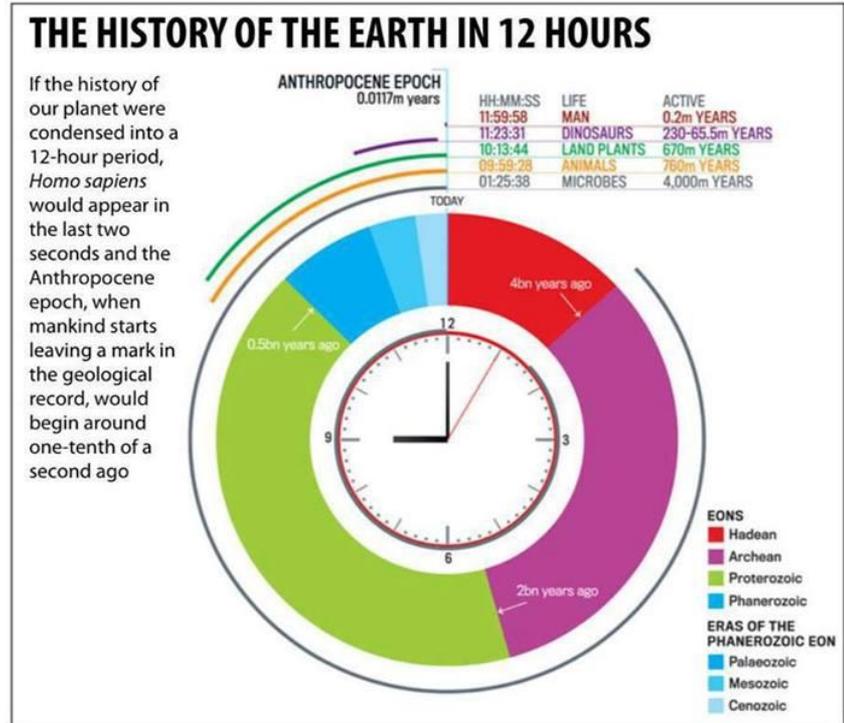


La stessa scala si può rappresentare **in un anno...**

...oppure **in 12 ore**

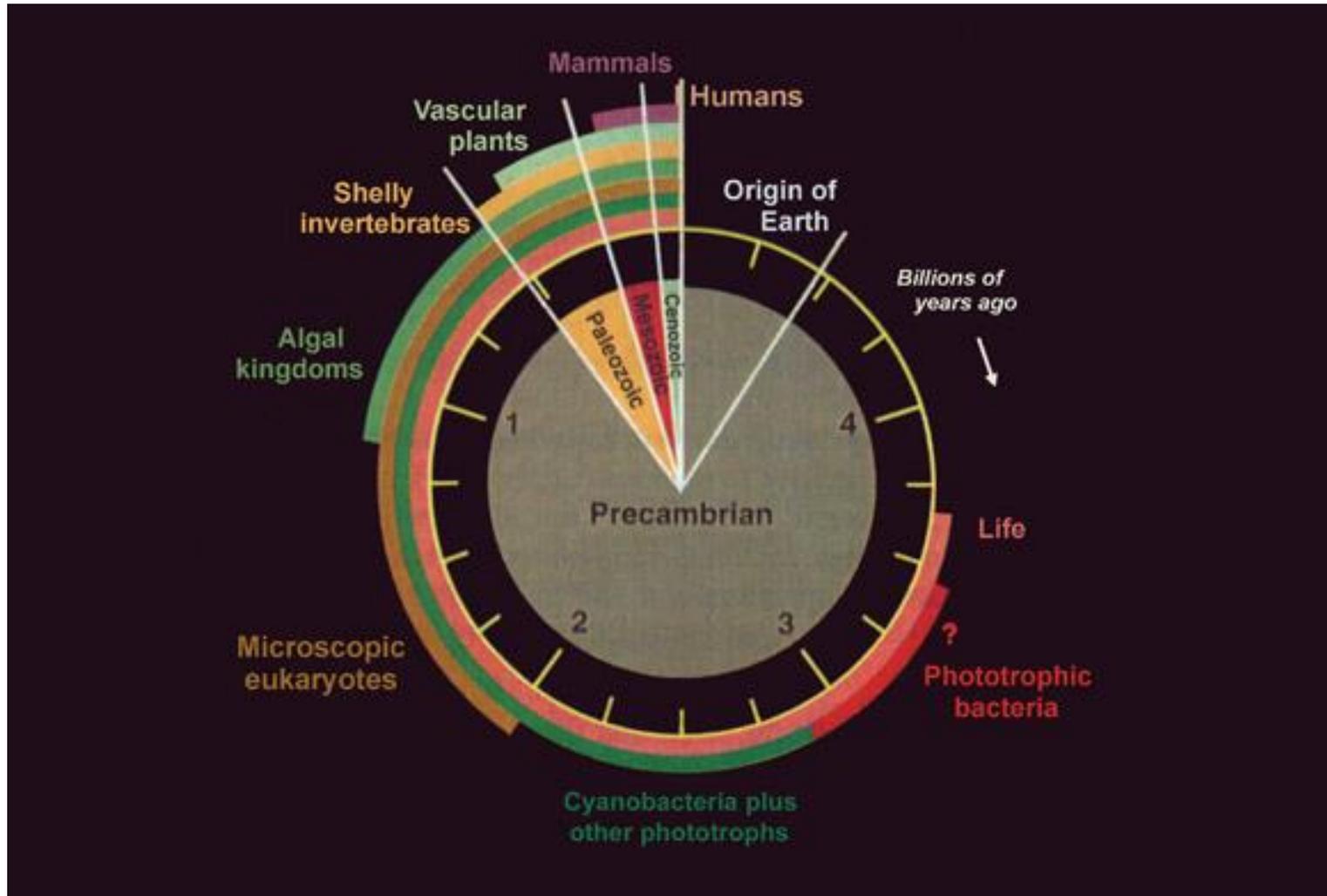
...o anche **in 30 giorni**, come indicato sul testo di Sadava et al. (2019)

Fonti:
https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_Calendar
<https://me.me/i/the-history-of-the-earth-in-12-hours-if-the-3987259>

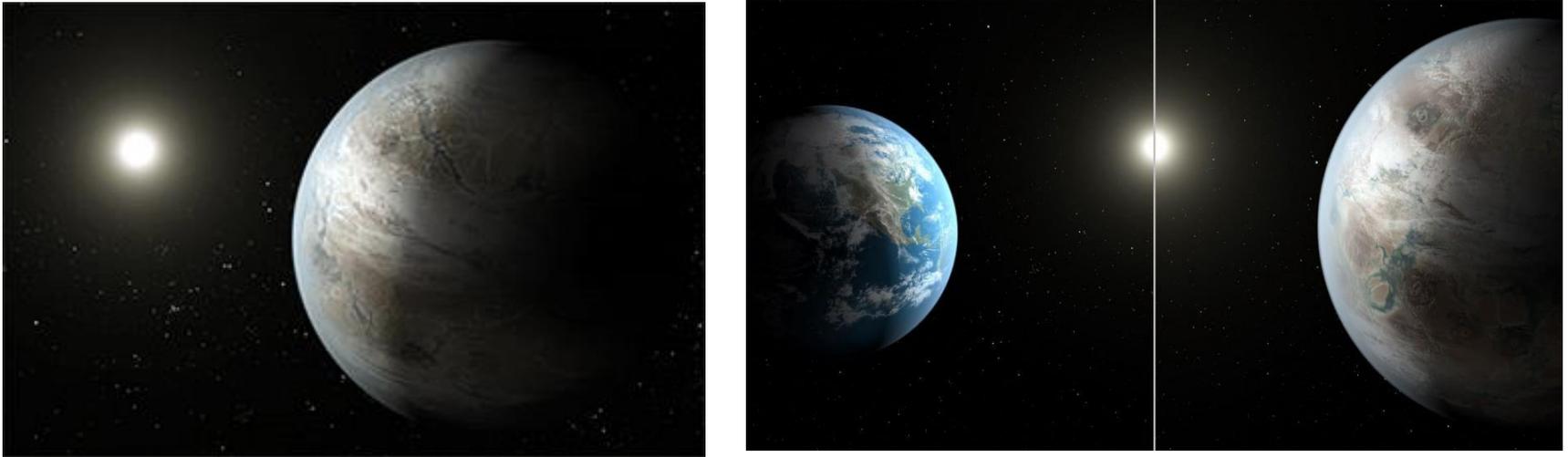


...ma il risultato è sempre lo stesso...

...quasi tutte le altre forme di vita sono comparse sul pianeta **PRIMA** degli esseri umani

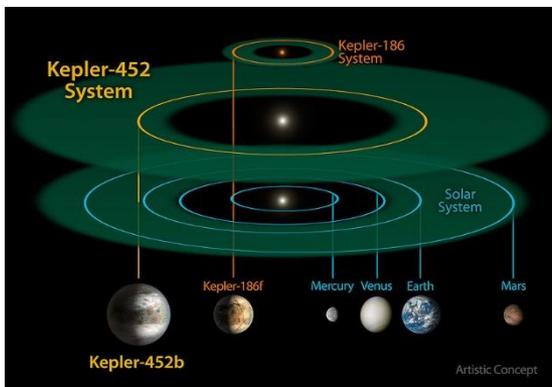


Durante la missione Kepler-K2 per la ricerca di esopianeti (terminata nel 2018), nel 2015 è stato scoperto un pianeta molto simile alla Terra, **Kepler 452b**



Ricostruzione dell'aspetto probabile di Kepler 452b in comparazione alla Terra

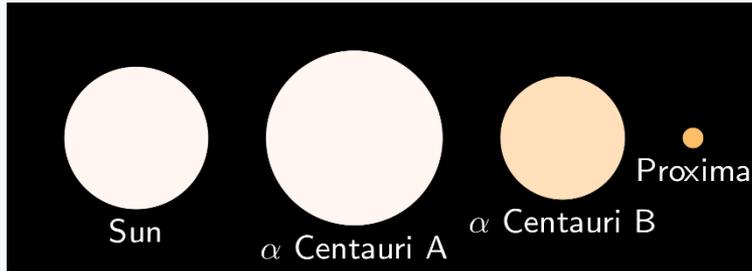
Il pianeta si trova nella costellazione Cygnus, a 1402 anni luce dalla Terra: la sua orbita intorno alla stella (Kepler 452, di classe G e simile al Sole) è di 385 giorni terrestri e le sue dimensioni sono 60% maggiori di quelle della Terra (**SuperTerra**)



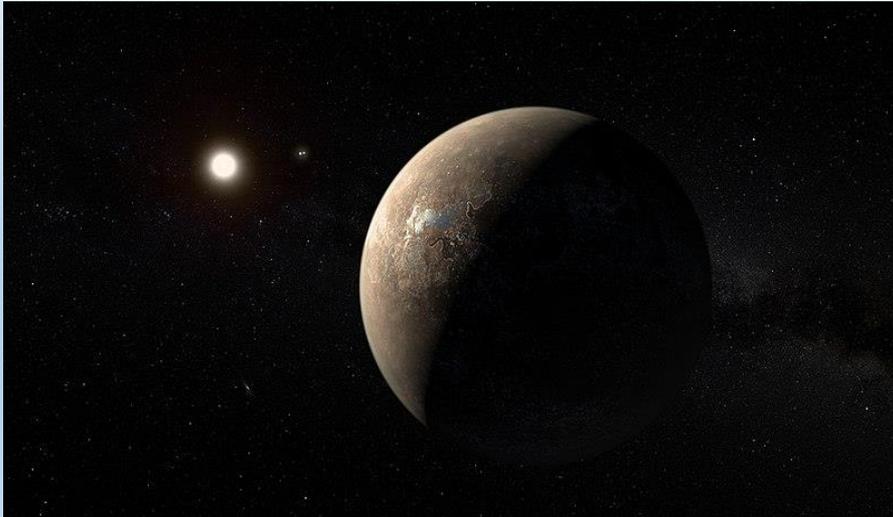
Kepler 452b ha gravità doppia di quella terrestre e si trova nella cosiddetta **“zona abitabile”** della stella: probabilmente ha **vulcani attivi e dense nubi nella sua atmosfera**

Fonte:
<https://keplerscience.arc.nasa.gov/>

Nel 2015 è stato scoperto dall'European Southern Observatory **un esopianeta nel sistema stellare più vicino al Sole, Alpha Centauri**



Alpha Centauri è un sistema triplo costituito da Alpha (nana gialla), Beta (nana arancione) e Proxima (nana rossa)



L'esopianeta, **Proxima Centauri b** (o Alpha Centauri Cb) è in orbita nella “zona abitabile” di Proxima Centauri, la stella più vicina al Sole (4.22 anni-luce, 1.3 parsec, 3.99×10^{13} Km)

Questo lo rende **l'esopianeta in assoluto più vicino al Sole**, ma purtroppo un **violento brillamento solare** di Proxima avvenuto nel 2017 ne ha probabilmente compromesso l'abitabilità per forme di vita

Fonte:

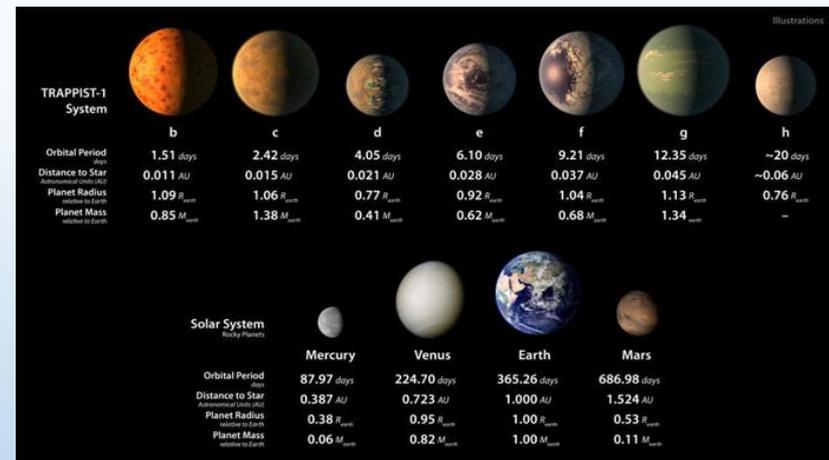
<https://exoplanets.nasa.gov/exoplanet-catalog/7167/proxima-centauri-b/>



Le “sette sorelle” della Terra



Nella costellazione dell’Acquario (a 39.5 anni luce dal Sistema Solare) è stato scoperto nel 2017 un sorprendente sistema planetario costituito da una **stella nana rossa (TRAPPIST-1**, dall’acronimo del telescopio “**TR**Ansiting **P**lanets and **P**lanetes**I**mals **S**mall **T**elescope” usato per la scoperta) e da **7 esopianeti rocciosi** di dimensioni simili alla Terra



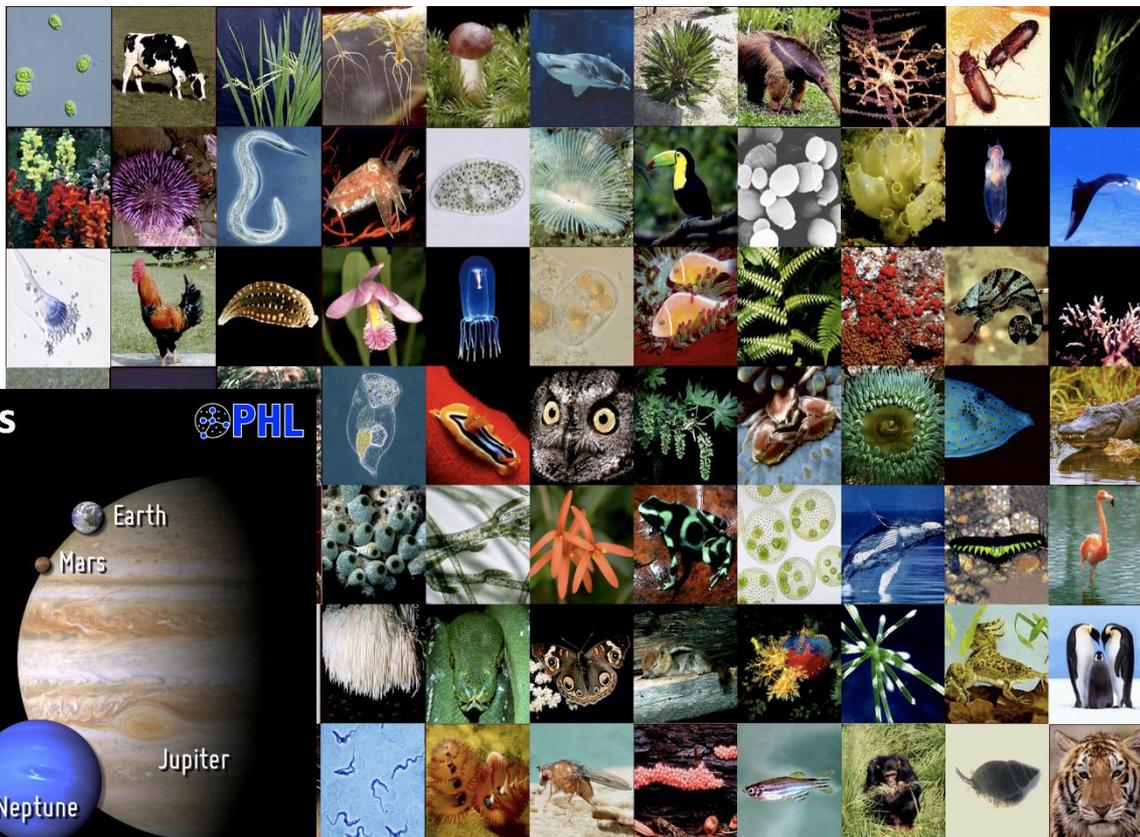
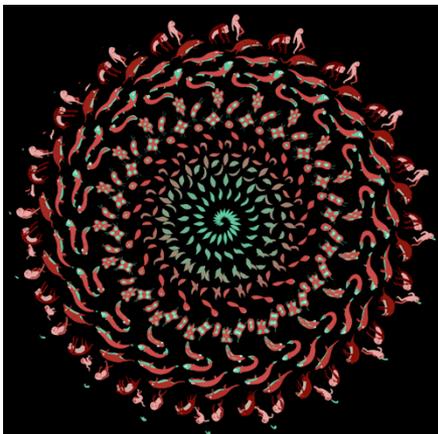
Non era mai stato osservato prima un sistema extrasolare con **7 pianeti di tipo terrestre, tra i quali 3 in “zona abitabile”**

Fonti:

Gillon et al., Nature 2017

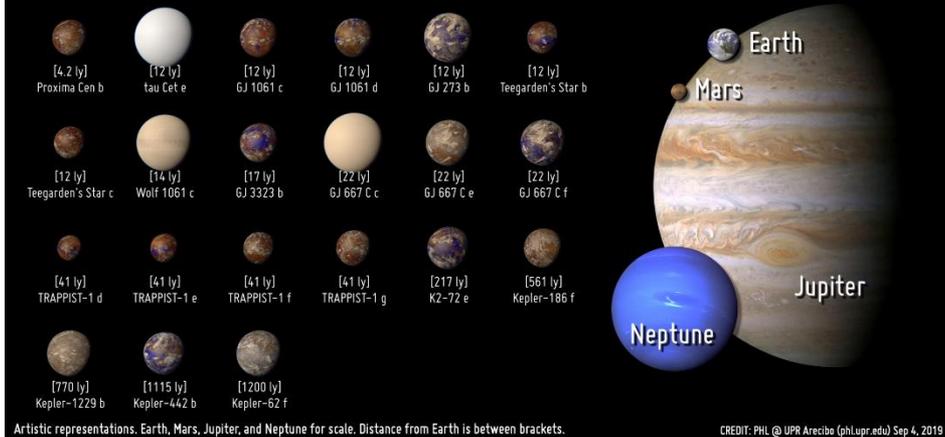
<https://exoplanets.nasa.gov/trappist1>

Biodiversità, ricchezza inestimabile della Terra



Potentially Habitable Exoplanets

Ranked by Distance from Earth (light years)

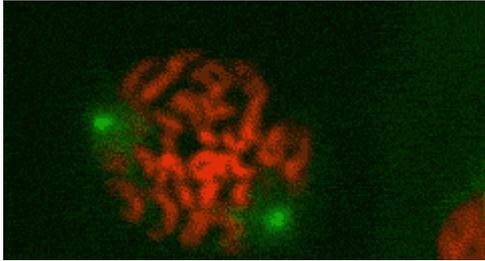


Anche se fino al mese di ottobre 2019 sono stati scoperti 4118 esopianeti confermati in 3072 sistemi stellari (di cui **415 di tipo terrestre**, 307 in “zone abitabili” e 20 molto simili alla Terra), **per ora non abbiamo prove certe che in luoghi diversi dal nostro pianeta siano presenti forme di vita come quelle che conosciamo**

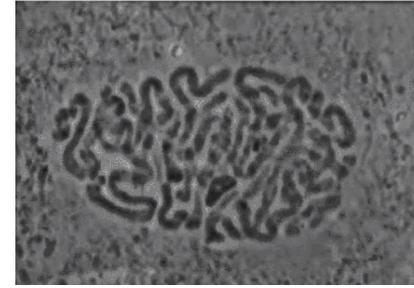
Fonti: <https://keplerscience.arc.nasa.gov/>

<http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog>

<https://www.ucdavis.edu/news/earth-biogenome-project-aims-sequence-dna-all-complex-life/>

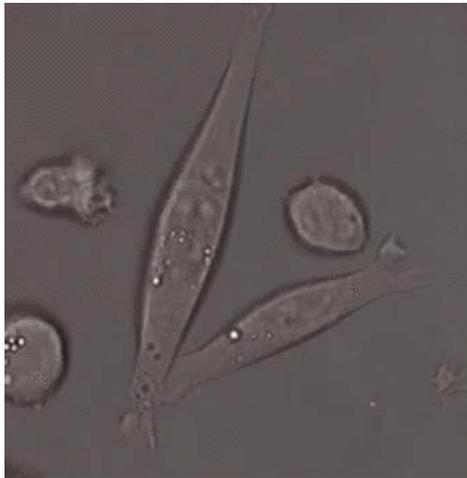


Cosa si intende per “**essere vivente**”?



Un essere vivente è una **unità altamente organizzata** (anti-entropica), dotata di **genoma**, caratterizzata da **metabolismo** (trasformazione di materia e di energia) e capace di **riprodursi** e di **evolversi**

Vita = genoma, metabolismo, riproduzione ed evoluzione

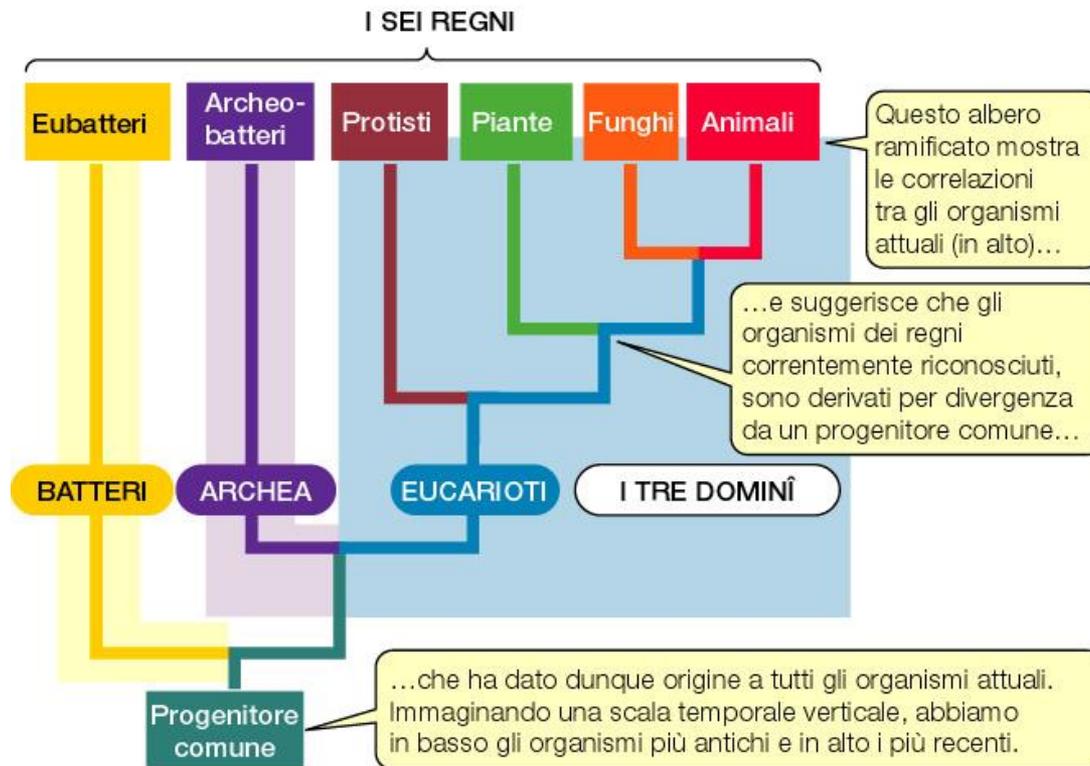


Fonti:

Sadava et al. - Biologia – La cellula – Ed. Zanichelli 2019

<https://giphy.com/>

Le forme di vita finora note e catalogate sulla Terra (circa 2.5 milioni di specie, ma **secondo dati recenti forse 8.7 milioni di specie**) sono raggruppate in **6 Regni**, a loro volta compresi in **3 Domini**



Tuttavia i 6 Regni e i 3 Domini di organismi viventi sulla Terra sono riconducibili a **solo due tipi di cellule**

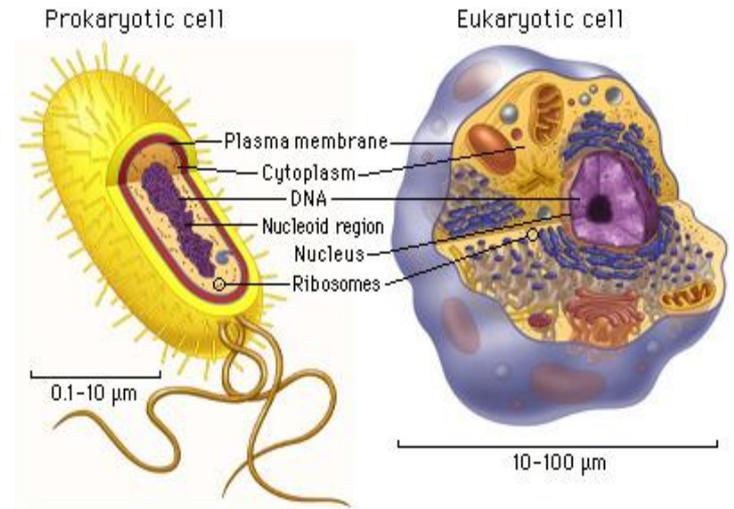
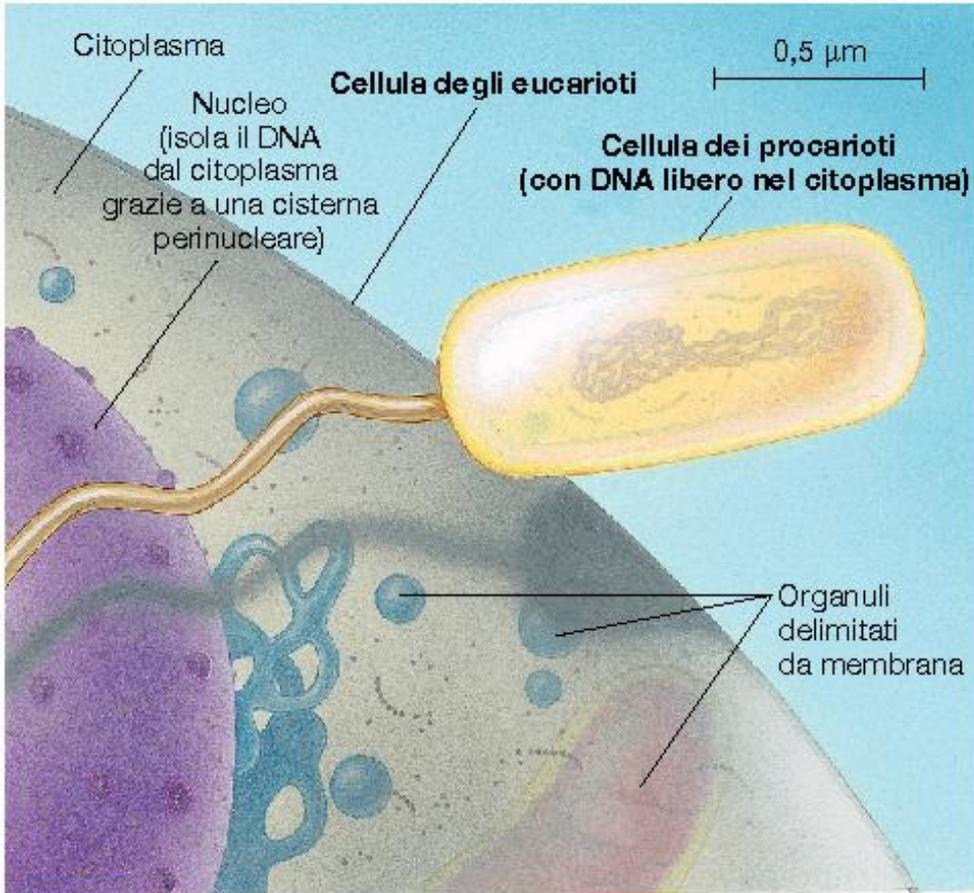
Fonti:

Mora et al. PLoS Biology 2011

Sadava et al. - Biologia – La cellula – Ed. Zanichelli 2019

La **cellula procariotica** (tipica dei **Procarioti**)

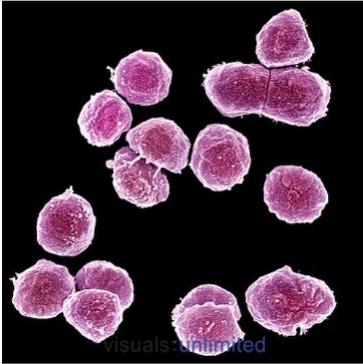
e la **cellula eucariotica** (tipica degli **Eucarioti**)



Attenzione alle dimensioni:
i due tipi di cellule sono in
scala **solo in questa immagine**



Gli organismi composti da cellule procariotiche o eucariotiche possono essere **unicellulari o pluricellulari**



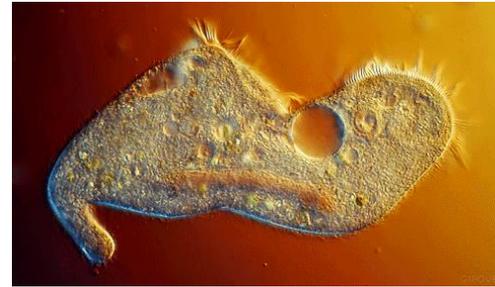
I Procarioti sono (quasi tutti)

unicellulari:

Archeobatteri, Eubatteri

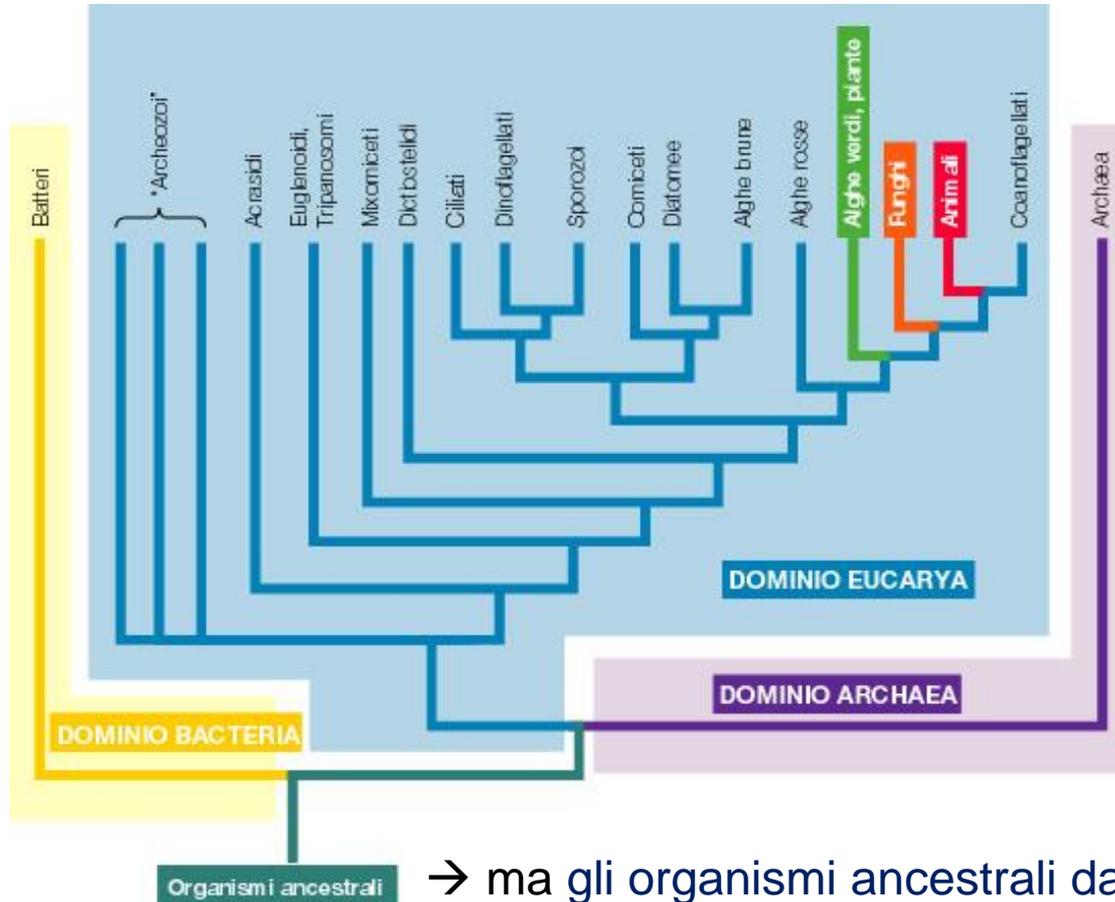


Eucarioti unicellulari: Protisti



Eucarioti pluricellulari: Funghi, Piante, Animali

Procarioti ed Eucarioti sono legati tra loro da **complessi rapporti evolutivi...**



Le prime forme di vita si sono infatti evolute in condizioni **molto diverse da quelle attuali**

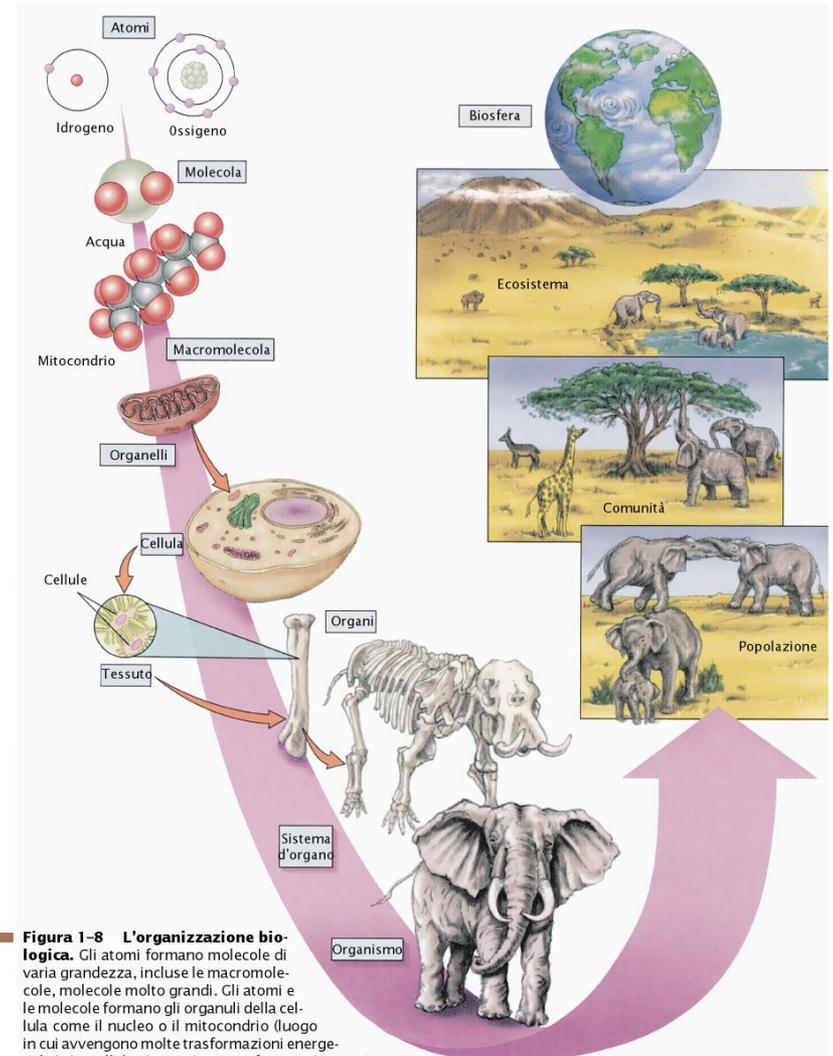
Origine della vita sulla Terra: ipotesi accreditata

- La vita si è evoluta a partire da **molecole semplici**, prima inorganiche e poi organiche
- Queste molecole si sono inizialmente **combinata e modificate in ambiente acquatico**
- E' probabile che **materiali trasportati da meteoriti e comete** (quindi di origine extraterrestre) abbiano **contribuito in modo significativo all'evoluzione molecolare prebiotica**
- L'evoluzione chimica ha quindi preceduto l'evoluzione biologica
- Esperimenti di Stanley Miller e Harold Urey

Fonti:

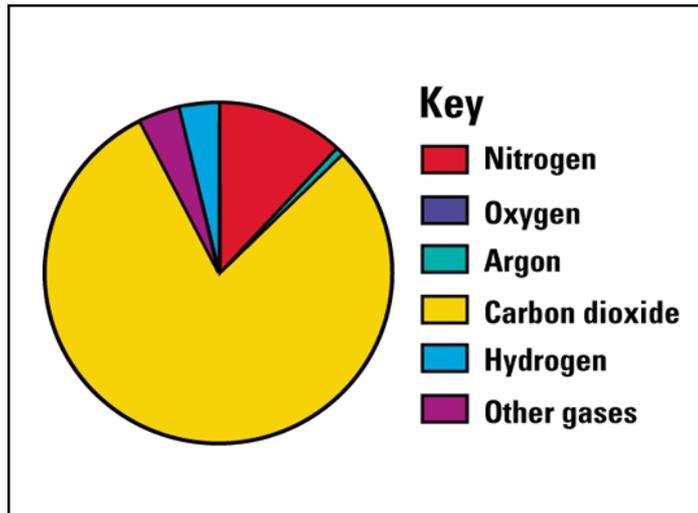
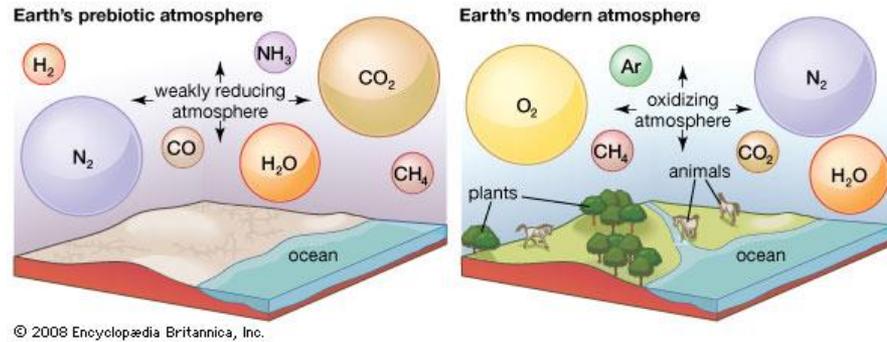
Sadava et al. - Biologia – La cellula – Ed. Zanichelli 2019

Solomon et al. – Biologia - EdiSes 2014

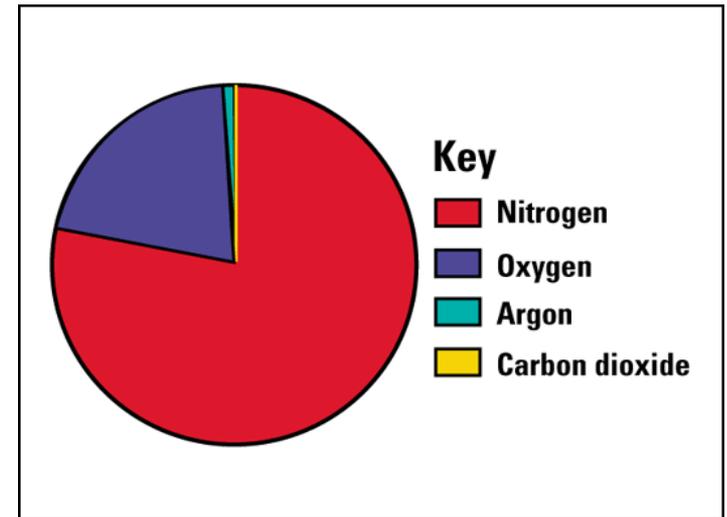


■ **Figura 1-8 L'organizzazione biologica.** Gli atomi formano molecole di varia grandezza, incluse le macromolecole, molecole molto grandi. Gli atomi e le molecole formano gli organuli della cellula come il nucleo o il mitocondrio (luogo in cui avvengono molte trasformazioni energetiche). Le cellule si associano per formare i tessuti, come il tessuto osseo. I tessuti formano gli organi, come le ossa, i quali a loro volta formano i sistemi d'organo. Il sistema scheletrico e gli altri sistemi lavorano insieme per il funzionamento dell'organismo. Una popolazione è composta da organismi della stessa specie. Popolazioni di differenti specie che abitano in una particolare area formano una comunità, che, se unita all'ambiente non vivente nel quale vive, forma un ecosistema. Il pianeta Terra e tutte le comunità che la abitano formano la biosfera.

L'atmosfera primitiva del pianeta era molto diversa da quella attuale



Atmosfera della Terra
4 miliardi di anni fa



Atmosfera attuale

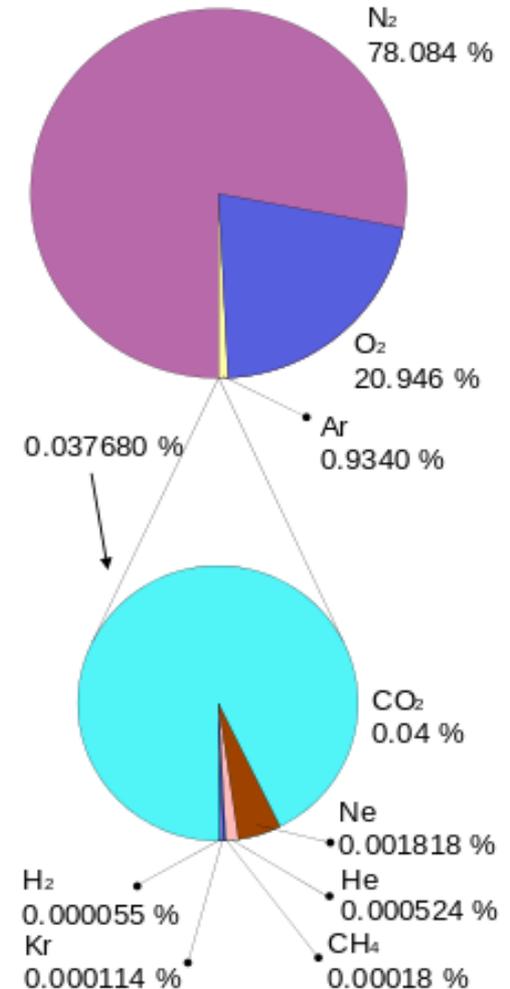
Fonte:

<https://astrobiology.nasa.gov/news/earths-early-atmosphere-an-update/>

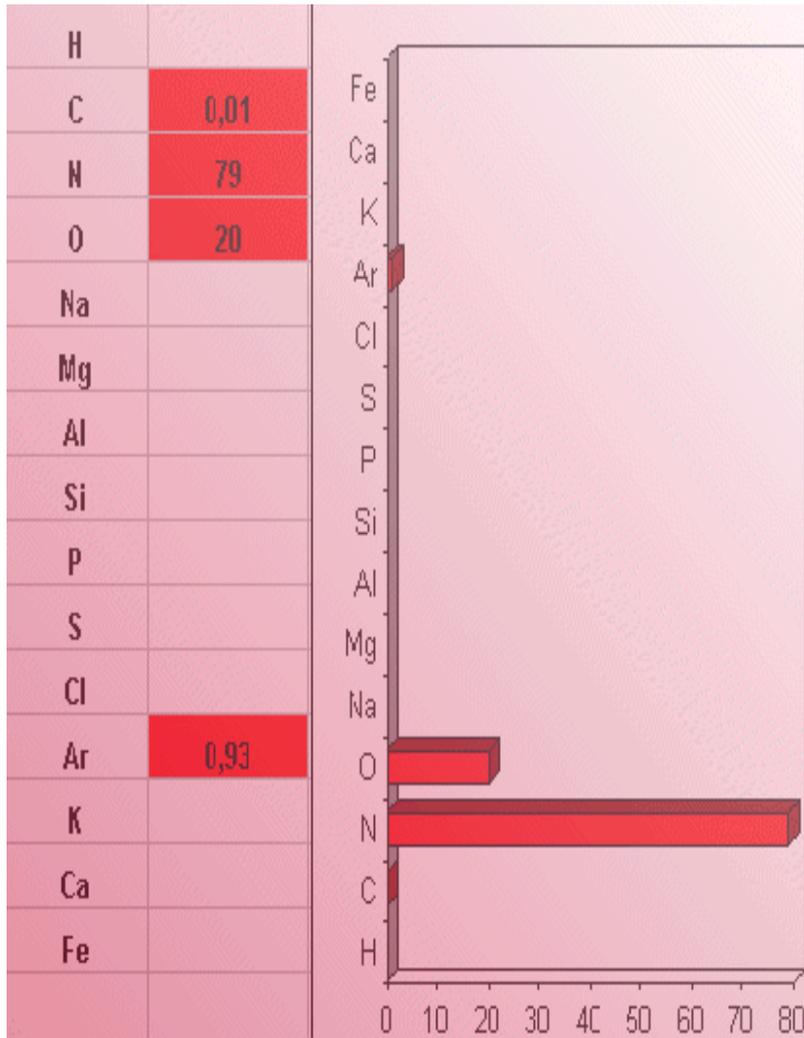
Atmosfera attuale della Terra: composizione dettagliata

COMPOSIZIONE CHIMICA DELL'ARIA		
componente	contenuto	
	percentuale in volume (%)	ppm
N ₂ (azoto)	78,084 ± 0,004	
O ₂ (ossigeno)	20,946 ± 0,002	
CO ₂ (anidride carbonica)	0,003 ± 0,001	
Ar (argon)	0,934 ± 0,001	
Ne (Neon)		18,18 ± 0,004
He (Elio)		5,24 ± 0,004
Kr (Kripto)		1,14 ± 0,01
Xe (Xeno)		0,087 ± 0,001
H ₂ (Idrogeno)		0,5
CH ₄ (Metano)		2
N ₂ O (Diossido di Azoto)		0,5 ± 0,1

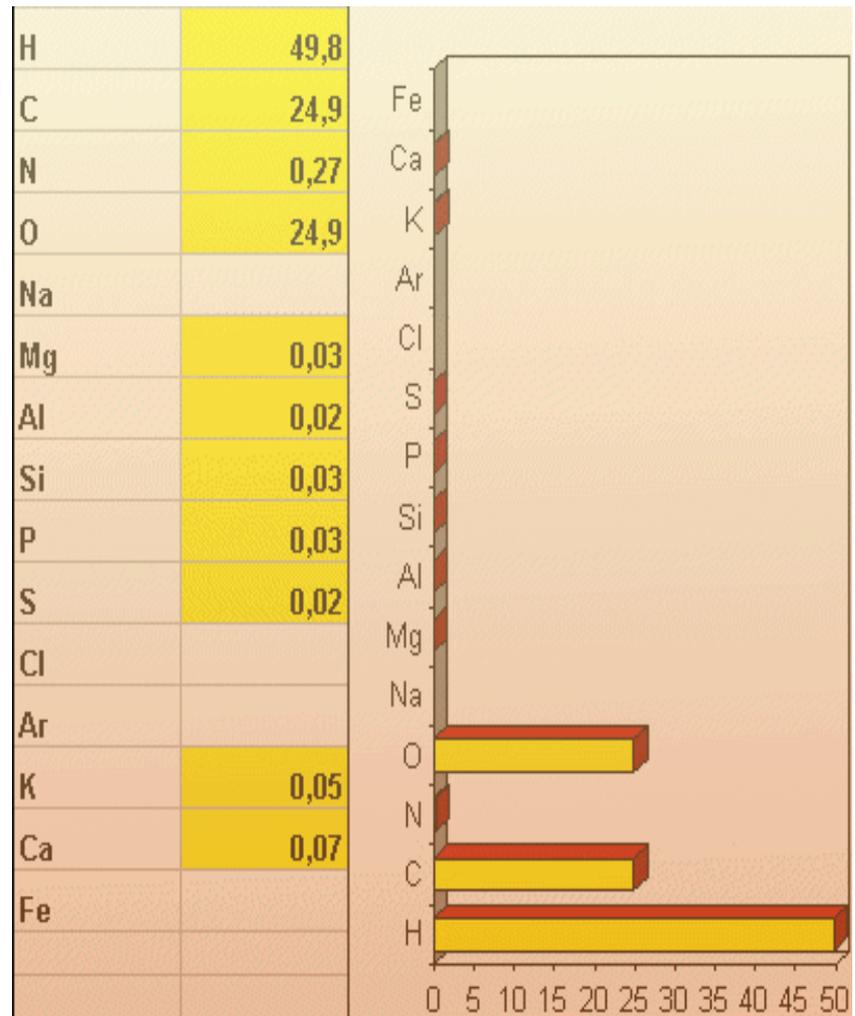
Fonte: Sadava et al., 2014



Comparazione tra la composizione chimica dell'atmosfera attuale e quella degli organismi viventi (“biosfera”)

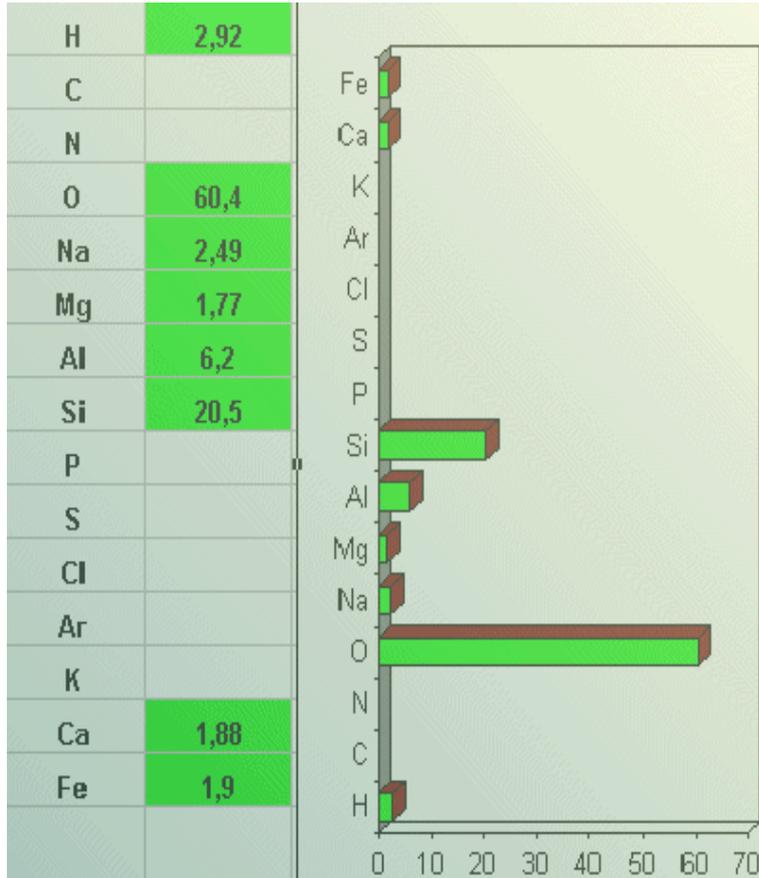


Atmosfera attuale



Biosfera

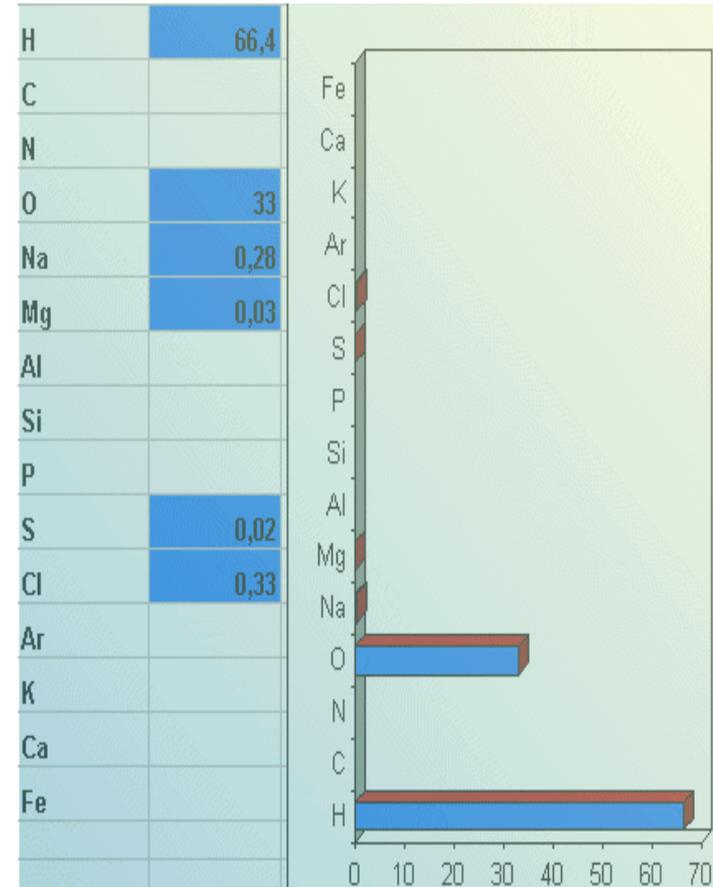
Anche la litosfera e l'idrosfera terrestre hanno composizioni chimiche diverse



Nella **litosfera** terrestre prevalgono **silicati** e **ossidi** metallici

Fonte:

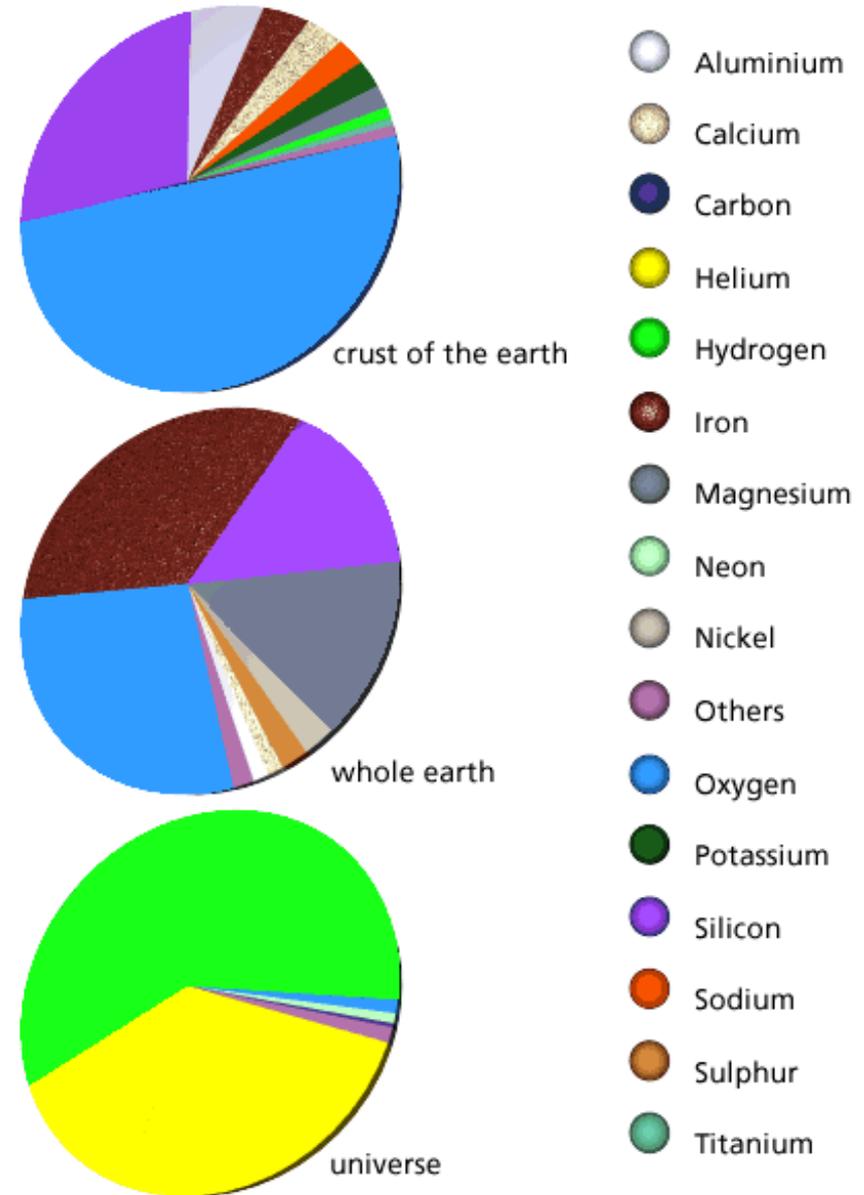
Solomon et al. – Biologia - EdiSes 2014



Nell'idrosfera prevalgono **idrogeno** e **ossigeno**, componenti dell'acqua, molecola fondamentale per la vita

Tuttavia gli **elementi chimici** presenti sulla Terra **sono gli stessi** (in proporzioni diverse) **che troviamo nell'Universo**

Distribuzione attuale dei principali elementi chimici nella **crosta terrestre**, nell'intero pianeta e nell'**Universo**

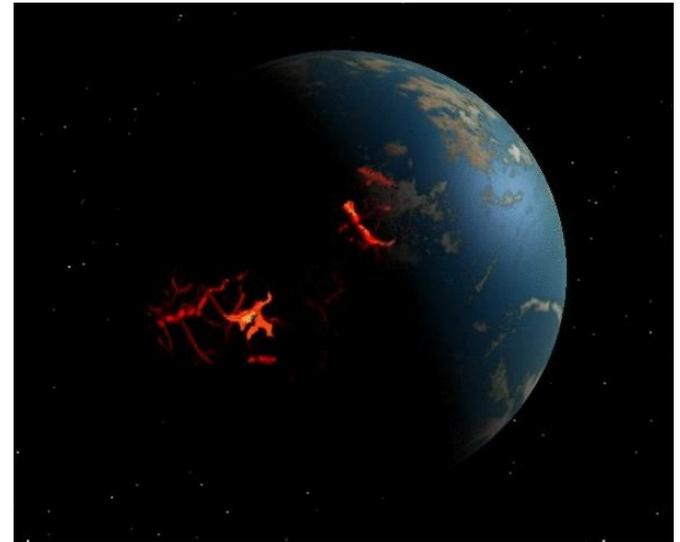


Fonte:

https://chandra.harvard.edu/resources/illustrations/chemistry_universe.html

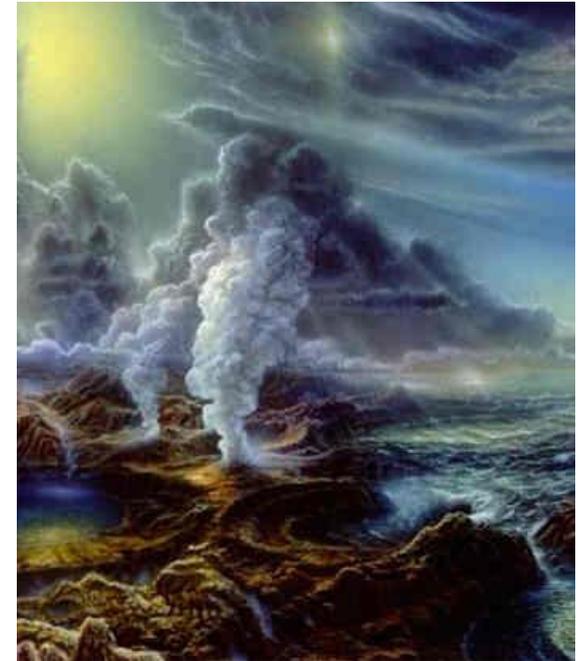
Come si è originata l'atmosfera primitiva della Terra?

Un contributo fondamentale alla formazione dell'atmosfera primitiva è stato fornito dall'**intensa attività vulcanica primordiale** durante le fasi di raffreddamento della crosta e dal **bombardamento di meteoriti**



Fonti:
Sadava et al. - Biologia – La cellula – Ed. Zanichelli 2014; 2019
<https://giphy.com/>

L'atmosfera primitiva della Terra è derivata dalle **intense attività vulcaniche di superficie** e dalla **caduta incessante di meteoriti** nel primo miliardo di anni di esistenza del pianeta

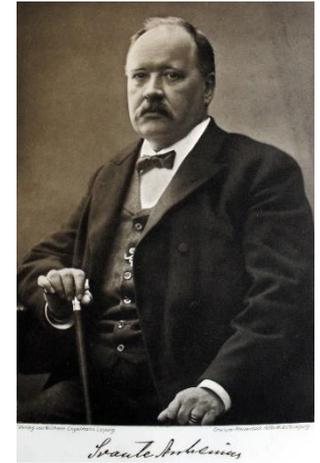
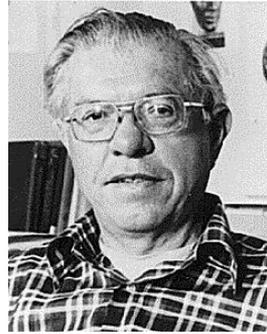


I primi vulcani emanavano **idrogeno, vapore acqueo, metano, ammoniaca, anidride carbonica e solfuri**

Le meteoriti apportavano **composti di carbonio**

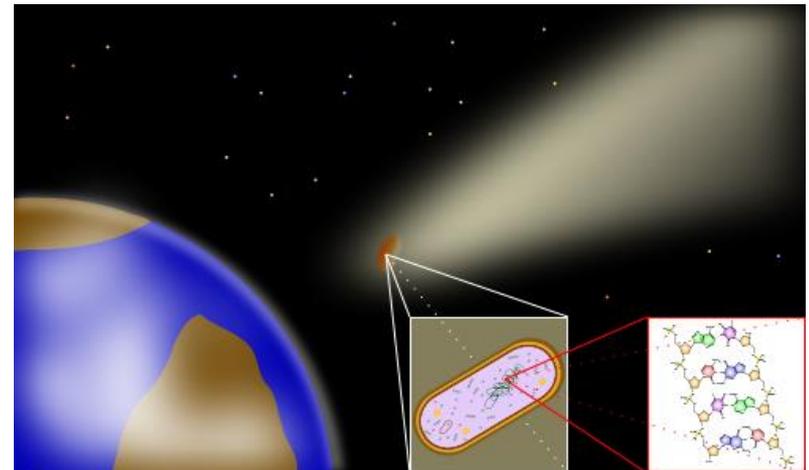
L'atmosfera primitiva era **tossica, riducente e quasi priva di ossigeno**

Le meteoriti avrebbero dato un importante contributo all'origine della vita sulla Terra: la **“panspermia”**



E' una ipotesi avanzata intorno al 1970 da due astronomi, l'inglese Sir Fred Hoyle (1915-2001) e lo srilankano Nalin Chandra Wickramasinghe (1939-), sulla base delle ipotesi del chimico svedese Svante Arrhenius (1859-1927), Premio Nobel per la Chimica 1903

Secondo questa ipotesi, basata su dati analitici e spettroscopici, i **composti organici prebiotici** sarebbero trasportati sui pianeti da **meteoriti o comete**: in condizioni adatte, l'impatto sulla superficie ne favorirebbe la modificazione e la distribuzione

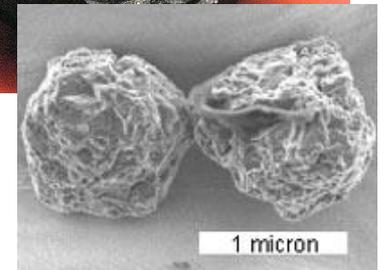
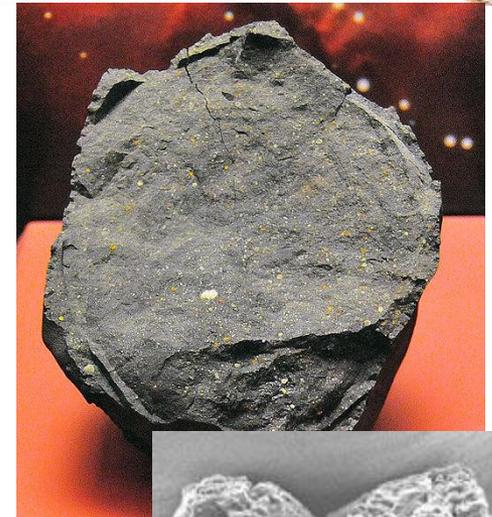


Fonte:
<https://astrobiology.nasa.gov/news/in-search-of-panspermia/>

Meteoriti e amminoacidi: la meteorite di Murchison

- Il 28 settembre 1969 una meteorite del tipo “condrite carbonacea” (resti di cometa) cadde in tre grandi frammenti (massa totale 100 kg) presso la località di Murchison (Australia)
- Hoyle e Wickamasinghe studiarono i frammenti, rilevando la presenza di amminoacidi e strutture di aspetto biologico

Recenti studi di altri autori tramite spettrometria di massa e risonanza magnetica, **in assenza accertata di contaminazione** (Schmitt-Kopplin et al., PNAS 2010) hanno verificato la presenza di **complessi molecolari organici**, tra i quali alcuni amminoacidi, nella meteorite Murchison e in un'altra meteorite carbonacea raccolta in Antartide



High molecular diversity of extraterrestrial organic matter in Murchison meteorite revealed 40 years after its fall

Philippe Schmitt-Kopplin^{a,1,2}, Zelimir Gabelica^{b,1}, Régis D. Gougeon^{c,1}, Agnes Fekete^a, Basem Kanawati^a, Mourad Harir^a, Istvan Gebefuegi^a, Gerhard Eckel^d, and Norbert Hertkorn^{a,1}

^aHelmholtz-Zentrum Muenchen-German Research Center for Environmental Health, Institute for Ecological Chemistry, Ingolstaedter Landstrasse 1, D-85764 Oberschleißheim, Germany ^bUniversité de Haute Alsace, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse, Laboratoire Propre Intégré-Groupe Sécurité et Ecologie Chimiques, 3 Rue Alfred Werner, F-68093 Mulhouse Cedex, France ^cEquipe Eau, Molécules actives, Macromolécules, Activité (EMMA) EA 581, Institut Jules Guyot, Université de Bourgogne, Rue Claude Ladrey, F-21078 Dijon, France ^dInstitute of Electronic Music and Acoustics, University of Music and Performing Arts, Inffeldgasse 10/3, A-8010 Graz, Austria

Edited* by Jerrold Meinwald, Cornell University, Ithaca, NY, and approved December 28, 2009 (received for review October 21, 2009).



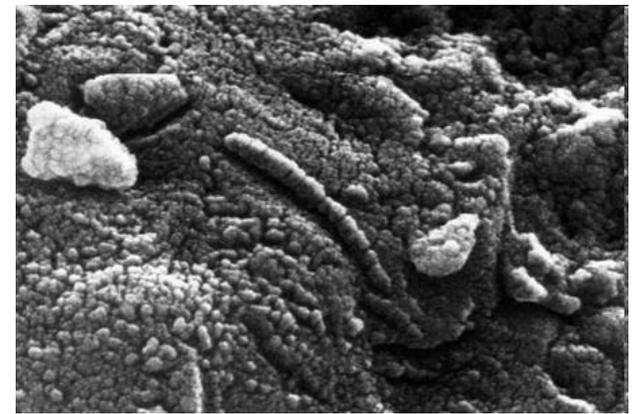
Molecole organiche in meteoriti e comete

Strutture di forme apparentemente biologiche (ma non confermate) sono state rilevate nella meteorite marziana ALH84001, trovata nella regione di Allan Hills in Antartide

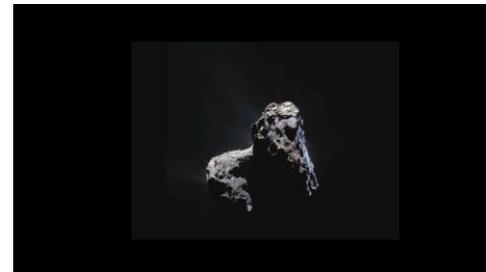
L'interessante ipotesi della panspermia ha purtroppo assunto recentemente **connotazioni scarsamente scientifiche** (contrapposizione alla teoria generale dell'origine della vita sulla Terra per evoluzione chimica e molecolare), che ne hanno **diminuito la credibilità**

Tuttavia è molto probabile che **la vita sui pianeti si sia originata per combinazione di un numero elevato di fattori**, tra i quali anche l'**apporto di molecole organiche di origine non terrestre**

La presenza di molecole organiche su meteoriti e comete è stata recentemente confermata dall'**esplorazione diretta della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko tramite la sonda Rosetta-Philae nel 2014**

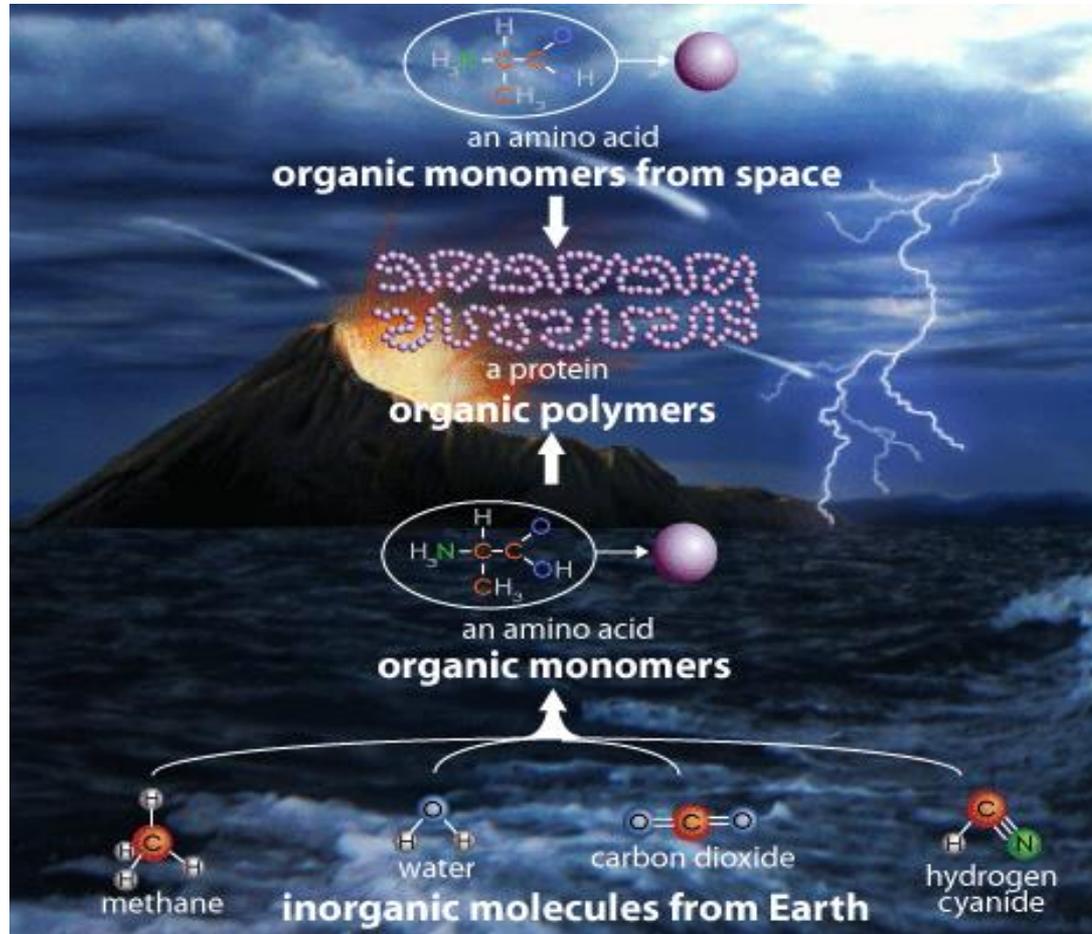


Impatto della cometa Shoemaker-Levy su Giove nel 1994 (a destra il satellite medico Io)



La cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko filmata da Rosetta-Philae in avvicinamento nel 2014

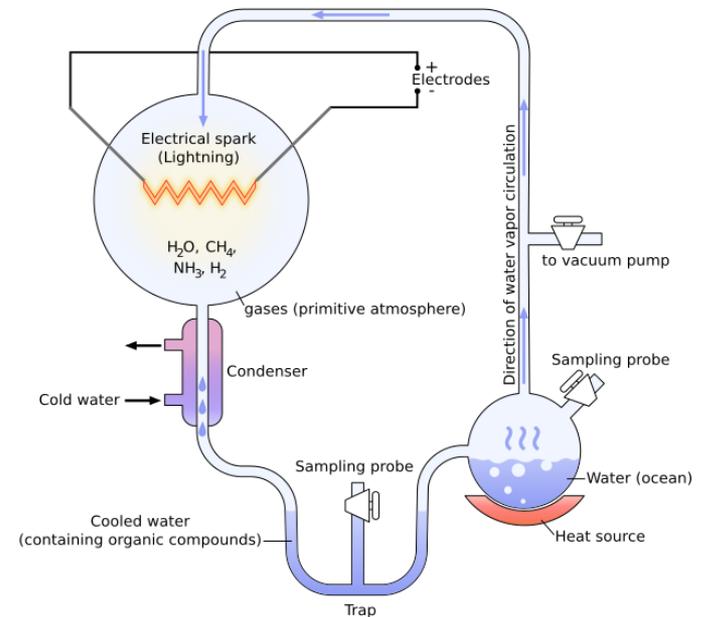
L'ipotesi comunque accreditata sull'origine della vita è la formazione di molecole organiche e composti complessi a partire da molecole inorganiche
(3.7-3.8 miliardi di anni fa)



Fonte:
<https://www.scq.ubc.ca/>

Che cosa è necessario per la comparsa della vita?

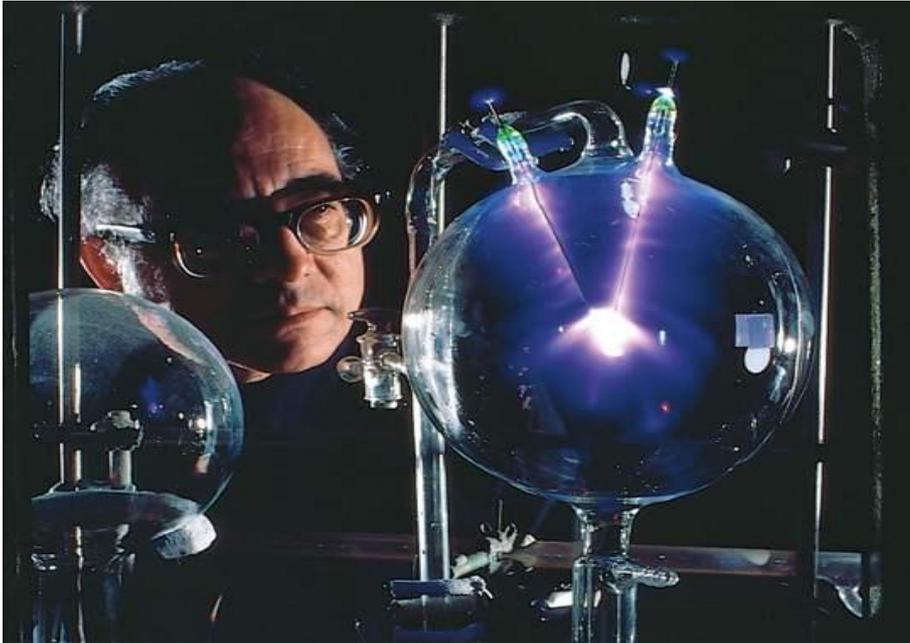
- **Acqua** (disponibile in tutti gli stati fisici)
- Disponibilità di elementi **“biogenici”** (carbonio, azoto, ossigeno, idrogeno, zolfo, fosforo)
- Fonti utilizzabili di **energia**



Esperimenti di Stanley Miller e Harold Urey (1953)

- Studi pluridecennali sui processi chimico-fisici e molecolari che hanno determinato l'origine della vita sulla Terra
- **Problemi non ancora completamente risolti**: organizzazione iniziale della macromolecole e compartimentazione cellulare

Esperimenti di Stanley L. Miller e Harold Urey



Stanley L. Miller (1930 – 2007)

Fonti:
Sadava et al. - Biologia – La cellula – Ed. Zanichelli 2019
Solomon et al. – Biologia - EdiSes 2018

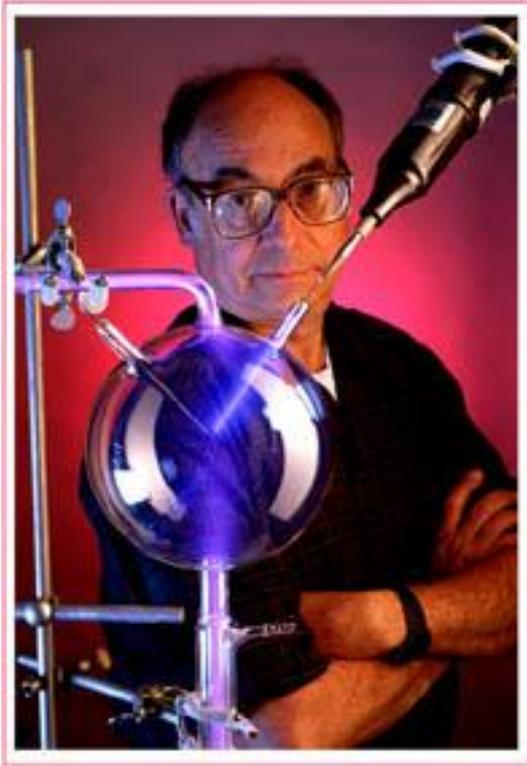


Courtesy of the University of Chicago News Service.
Noncommercial, educational use only.

Harold Urey (1893 – 1981)

Premio Nobel per la Chimica 1934 per la
scoperta del deuterio

Stanley Lloyd Miller



Entrato giovanissimo nel laboratorio di Harold Urey all'Università di Chicago, Miller eseguì nel 1953 **una serie di esperimenti per riprodurre le condizioni primordiali nelle quali la vita avrebbe potuto svilupparsi sulla Terra**, basandosi sulle ipotesi di Charles Darwin e Alexander Oparin

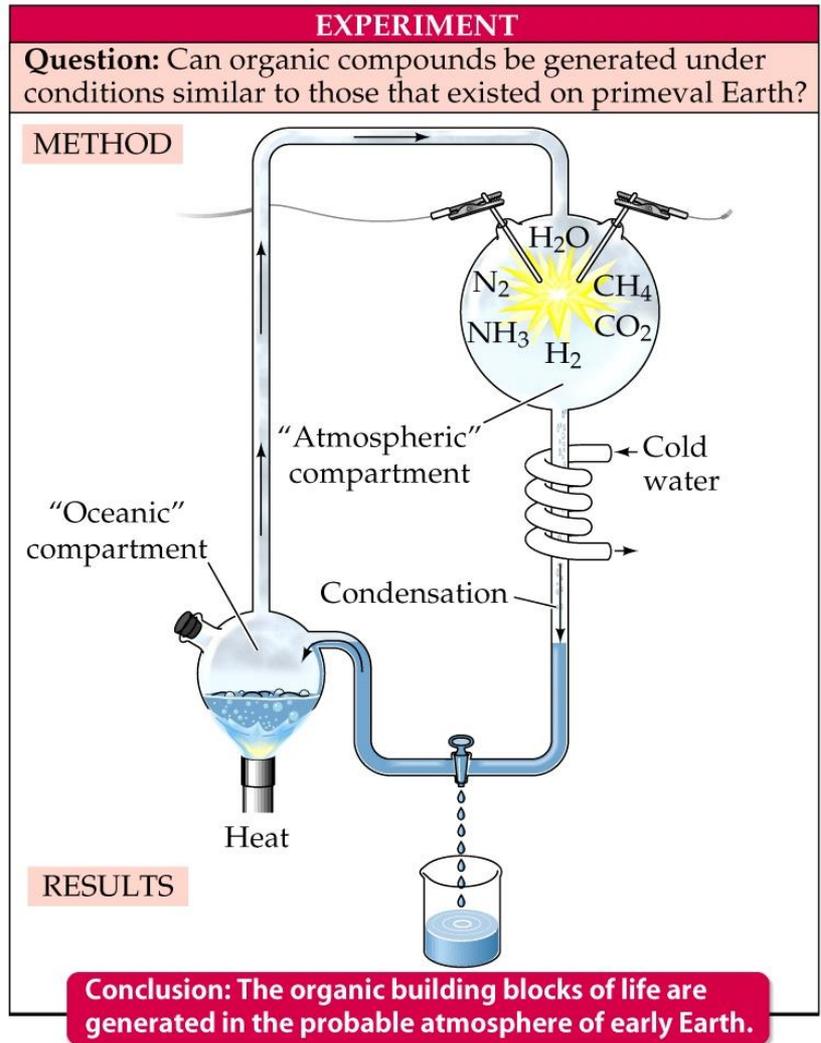
Fonti:

Sadava et al. - Biologia – La cellula – Ed. Zanichelli 2019

https://en.wikipedia.org/wiki/Stanley_Miller

Apparato di Miller-Urey

(Miller S.L., Science 117: 528-519, 1953)

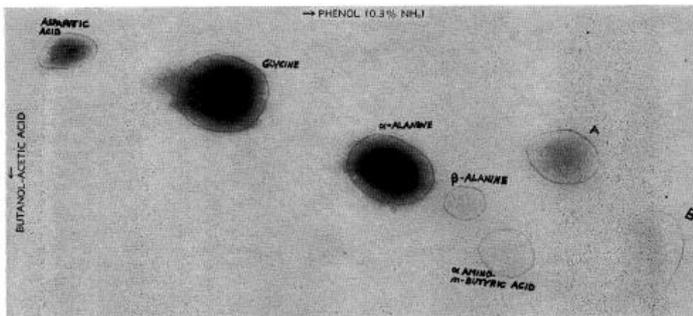


Nell'ampolla sterile (che simulava l'atmosfera primitiva) Miller inserì **ammoniaca, metano, idrogeno, anidride carbonica e azoto molecolare**: collegò poi l'ampolla ad un recipiente contenente acqua allo stato liquido, riscaldata continuamente per ottenere vapore

Il vapore entrava nell'ampolla contenente i composti gassosi, nella quale due elettrodi emettevano **periodiche scariche elettriche** per simulare i fulmini

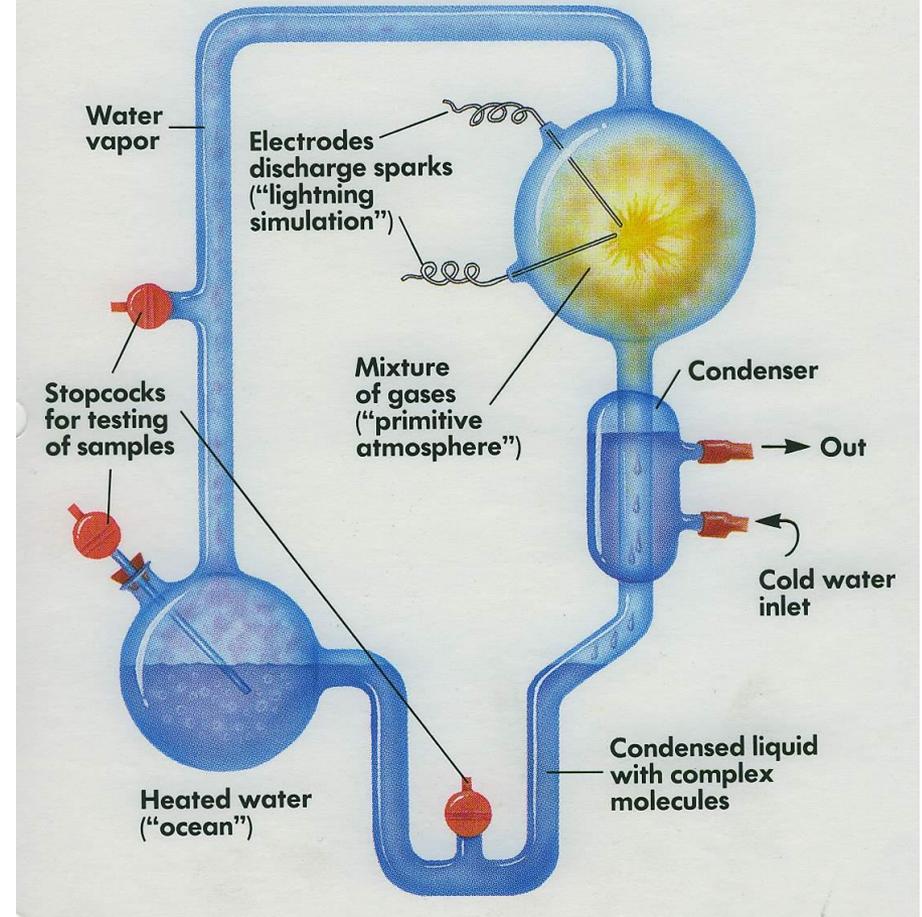
Un manicotto refrigerante induceva la condensazione del vapore, che ritornava allo stato liquido nella parte bassa dell'apparato

Dopo una settimana Miller fermò il ciclo di reazioni e **raccolse la soluzione accumulata**, purificandola ed evaporandola: tramite cromatografia su carta **identificò nella soluzione cinque amminoacidi**, tra i quali **glicina, alanina e acido aspartico**



Miller S.L., Science 1953

The Miller-Urey experiment (Figure 4-3)



Fonte:

G. Karp – Cell and Molecular Biology: Concepts and Experiments
– John Wiley & Sons 2009

Sadava et al. - Biologia – La cellula – Ed. Zanichelli 2019

Nuovi dati sugli esperimenti di Miller

(Johnson et al., Science 322, 2008)

The Miller Volcanic Spark Discharge Experiment

Adam P. Johnson,¹ H. James Cleaves,² Jason P. Dworkin,³ Daniel P. Glavin,² Antonio Lazcano,⁴ Jeffrey L. Bada^{5*}

In 1953, Miller (1) published a short paper describing the spark discharge synthesis of amino acids from a reducing gas mixture thought to represent the atmosphere of the early Earth. This experiment

We were interested in the second apparatus because it possibly simulates the spark discharge synthesis by lightning in a steam-rich volcanic eruption (6) (Fig. 1A). Miller identified five different amino

from the other two experiments were also reanalyzed and found to have a lower diversity of amino acids (table S1). The yield of amino acids synthesized in the volcanic experiment is comparable to, and in some cases exceeds, those found in the experiments Miller conducted (1, 3, 5). Hydroxylated compounds were preferentially synthesized in the volcanic experiment. Steam injected into the spark may have generated OH radicals that reacted with either the amino acid precursors or the amino acids themselves (7).

Geoscientists today doubt that the primitive atmosphere had the highly reducing composition Miller used. However, the volcanic apparatus experiment suggests that, even if the overall atmosphere was not reducing, localized prebiotic synthesis could have been effective. Reduced gases and lightning associated with volcanic eruptions in hot spots or island arc-type systems could have been prevalent on the early Earth before extensive continents formed (8). In these volcanic plumes, HCN, aldehydes, and ketones may have been produced, which, after washing out of the atmosphere, could have become involved in the synthesis of organic molecules (3, 4, 8). Amino acids formed in volcanic island systems could have accumulated in tidal areas, where they could be polymerized by carbonyl sulfide, a simple volcanic gas that has been shown to form peptides under mild conditions (9).

References and Notes

1. S. L. Miller, *Science* **117**, 528 (1953).
2. Analytical details and additional data are available as supporting material on Science Online.
3. S. L. Miller, *J. Am. Chem. Soc.* **77**, 2551 (1955).
4. A. Lazcano, J. L. Bada, *Origins Life Evol. Biophys.* **33**, 235 (2003).
5. D. Ring, W. Veecher, N. Friedmann, S. L. Miller, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **69**, 765 (1972).
6. S. R. McNair, C. W. Davis, J. Volokov, *Geochim. Cosmochim. Acta* **102**, 45 (2000).
7. D. Ring, S. L. Miller, *Origins Life Evol. Biophys.* **15**, 7 (1984).
8. R. D. Hill, *Origins Life Evol. Biophys.* **22**, 277 (1991).
9. L. Lemis, L. Orgel, M. Raza Ghahiri,

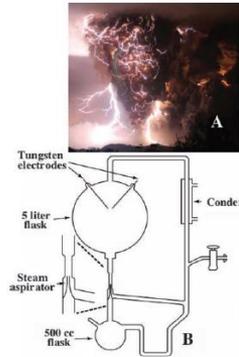
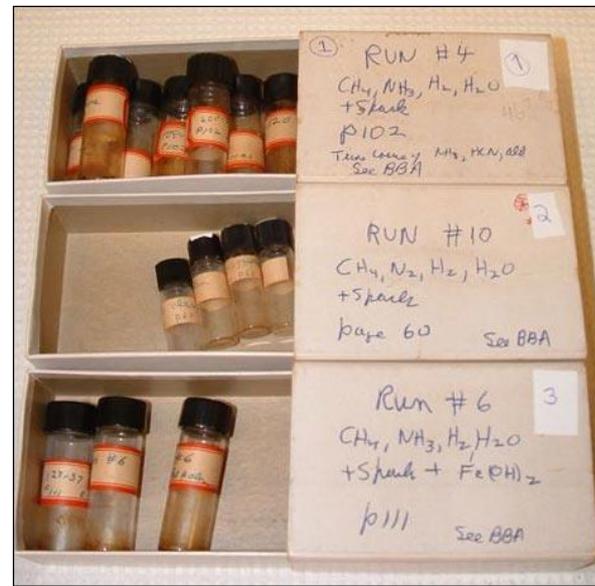
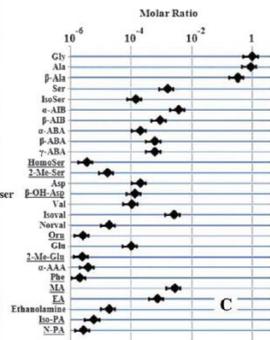


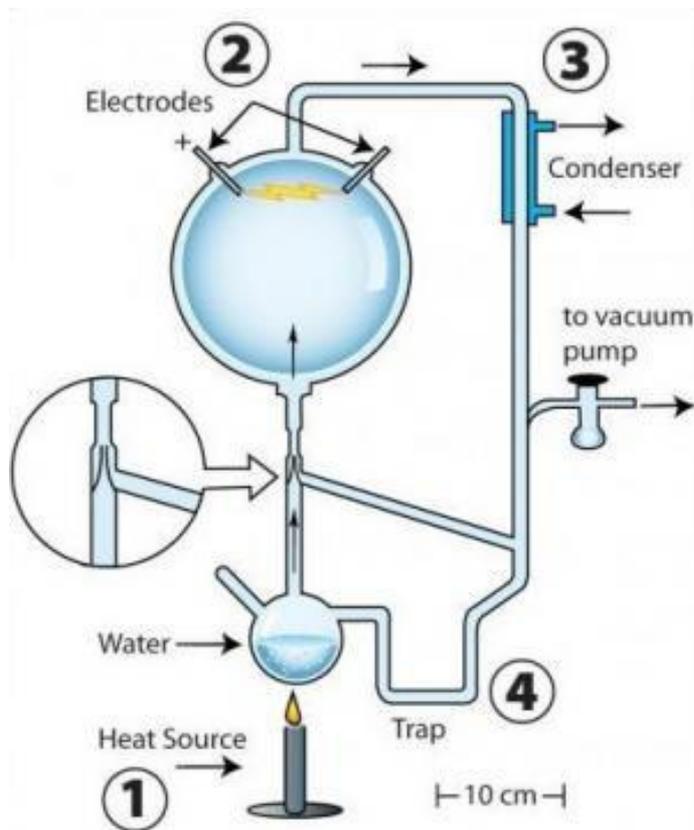
Fig. 1. (A) Lightning associated with the 3 May 2008 eruption of the Chaiten volcano, Chile. [Photo credit: Carlos Gutierrez/UPV landry] (B) The volcanic spark discharge apparatus used by Miller (5). Gas quantities added were 200 torr of CH₄, 200 torr of NH₃, and 100 torr of H₂. These would have dissolved in the water according to their solubilities (2). Water was added to the 500-cc flask and boiled, and the apparatus sparked with a Tesla coil for 1 week. (C) Moles (relative to glycine = 1) of the various amino acids detected in the volcanic apparatus runs (see (2) and table S1 for abbreviations). Amino acids underlined have not been previously reported in spark discharge experiments. Values for amines are minimum values because of loss due to their volatility during workup.



- Dopo la morte di Miller, i suoi allievi Adam Johnson (Indiana University) e Jeffrey Bada (Scripps Institution of Oceanography) hanno trovato gli appunti e i risultati di altri due esperimenti eseguiti da Miller nel 1953 e **mai pubblicati**

- Johnson e Bada hanno ripetuto gli esperimenti e in uno di questi hanno verificato con grande sorpresa che **il numero degli amminoacidi risultanti era molto più alto (22)** rispetto a quelli prodotti nell'esperimento classico (5)

Rispetto agli esperimenti pubblicati nel 1953, in questi esperimenti erano state aggiunte all'apparato **condizioni che simulavano la vicinanza di vulcani in eruzione**



Negli esperimenti di Miller riscoperto da Johnson e Bada l'apparato è stato modificato aggiungendo un **restringimento** che determina un aumento del flusso dei gas, **simulando le condizioni dinamiche dei gas in vicinanza di vulcani**

Nel 2014 è stata effettuata una **simulazione al computer degli esperimenti di Miller**, che ha confermato la formazione dell'amminoacido glicina in presenza di precursori inorganici ed intense scariche elettriche

Miller experiments in atomistic computer simulations

Antonino Marco Saitta^{a,b,1} and Franz Saija^{a,1}

^aSorbonne Universités, Université Pierre et Marie Curie Paris 06, Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie, Unité Mixte de Recherche 7590, 75005 Paris, France; ^bCentre National de la Recherche Scientifique, Unité Mixte de Recherche 7590, Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie, 75005 Paris, France; and ¹CNR-Istituto per i Processi Chimico-Fisici, V. le F. Stagno d'Alcontres 37, 98158 Messina, Italy

Edited by Michael L. Klein, Temple University, Philadelphia, PA, and approved August 8, 2014 (received for review February 15, 2014)

The celebrated Miller experiments reported on the spontaneous formation of amino acids from a mixture of simple molecules reacting under an electric discharge, giving birth to the research field of prebiotic chemistry. However, the chemical reactions involved in those experiments have never been studied at the atomic level. Here we report on, to our knowledge, the first ab initio computer simulations of Miller-like experiments in the condensed phase. Our study, based on the recent method of treatment of aqueous systems under electric fields and on metadynamics analysis of chemical reactions, shows that glycine spontaneously forms from mixtures of simple molecules once an electric field is switched on and identifies formic acid and formamide as key intermediate products of the early steps of the Miller reactions, and the cradle of formation of complex biological molecules.

Theory and modeling have generally provided considerable insight (27) in prebiotic chemistry, particularly by studying the synthesis of simple organic molecules and the mechanisms and barriers of such reactions on substrates such as ice (28, 29) or minerals (30, 31). A remarkable theoretical study, based on ab initio molecular dynamics (AIMD), on prebiotic synthesis focused on the simulation of the effect of the pressure/temperature shock waves induced by the impact of bolides in the early Earth (17). Other high-quality AIMD works show that extreme static pressures, such as those present in the planetary interiors, can induce the synthesis of small organic molecules from simpler ones (32, 33). However, the full atomistic dynamical simulation of gas-phase Miller experiments is still well beyond the computational feasibility of modern quantum chemistry methods, and

Saitta and Saija, PNAS 111: 13769-13773, 2014

Fonti:

Saitta e Saija, PNAS 2014

<https://astrobiology.nasa.gov/news/miller-urey-revisited/>

L'origine e il test

La teoria che sulla Terra primordiale l'energia e i gas liberati dalle eruzioni vulcaniche avrebbero acceso la scintilla della vita trova una nuova conferma in uno studio pubblicato su «Science»

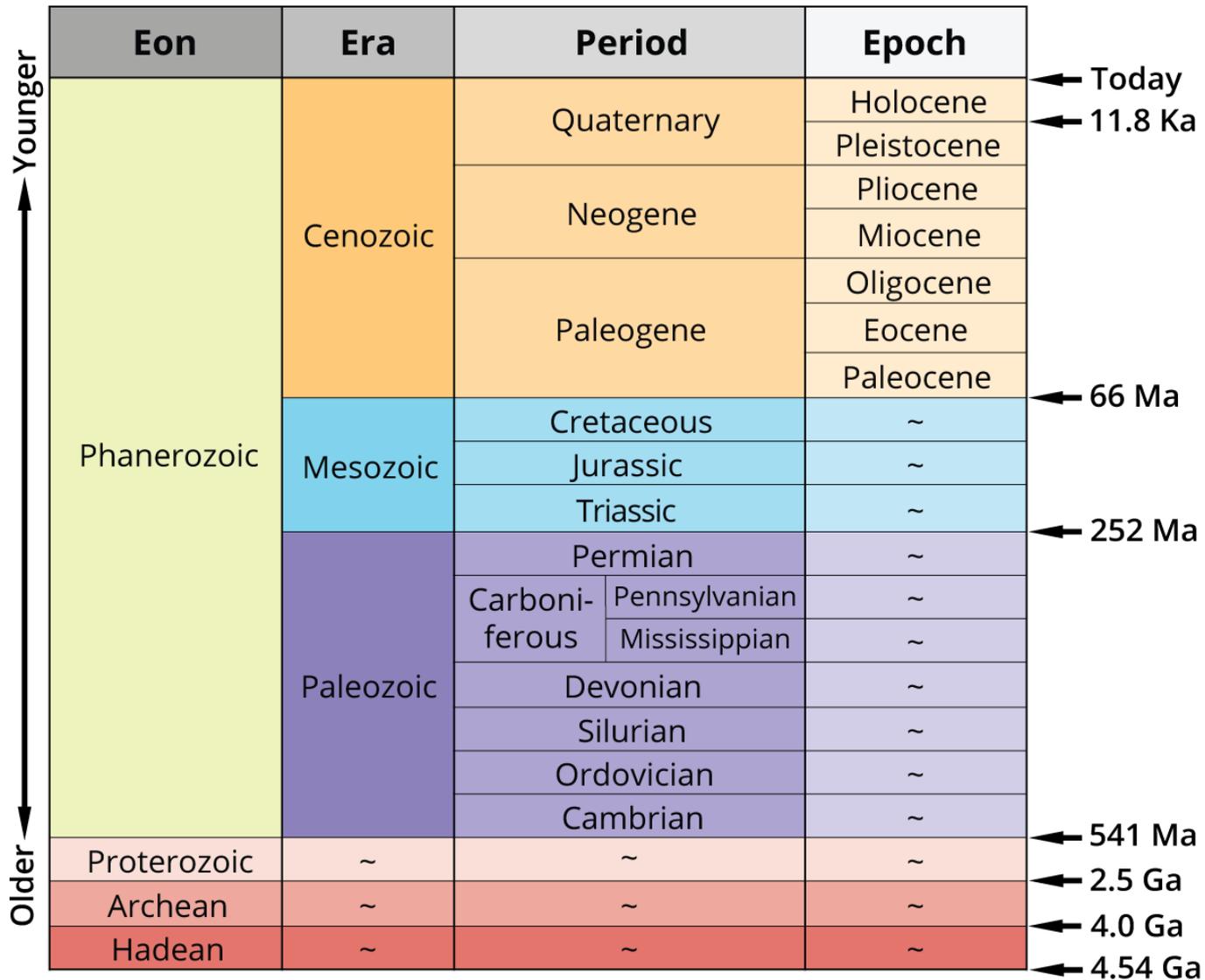
I gas delle eruzioni, ricchi di idrogeno e poveri di ossigeno, combinati con l'energia rilasciata dalle eruzioni avrebbero fornito gli ingredienti necessari alla vita

Gli aminoacidi sono i «blocchetti» che costituiscono le proteine: stanno quindi alla base della vita

La teoria, dimostrata dall'esperimento, sostiene che eruzioni vulcaniche, con scariche elettriche, gas e vapore acqueo avrebbero interagito fra loro portando alla formazione di 5 tipi di aminoacidi: ① l'acido aspartico ② la glicina ③ l'acido alfa amino butirrico e due versioni di ④ alanina

- I vulcani hanno quindi avuto **un ruolo fondamentale** nell'origine e nel mantenimento della vita sulla Terra
- In seguito le stesse forme di vita hanno modificato l'atmosfera terrestre, consentendo una rapida e straordinaria evoluzione dei viventi sul pianeta

Scala del tempo geologico

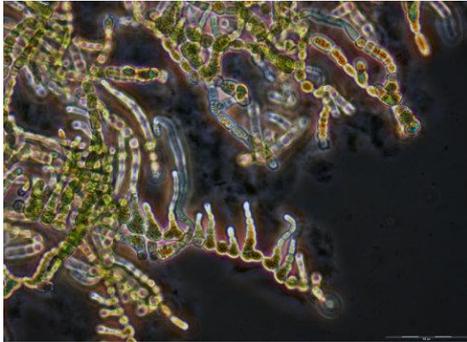


20.1 Earth's Geological History

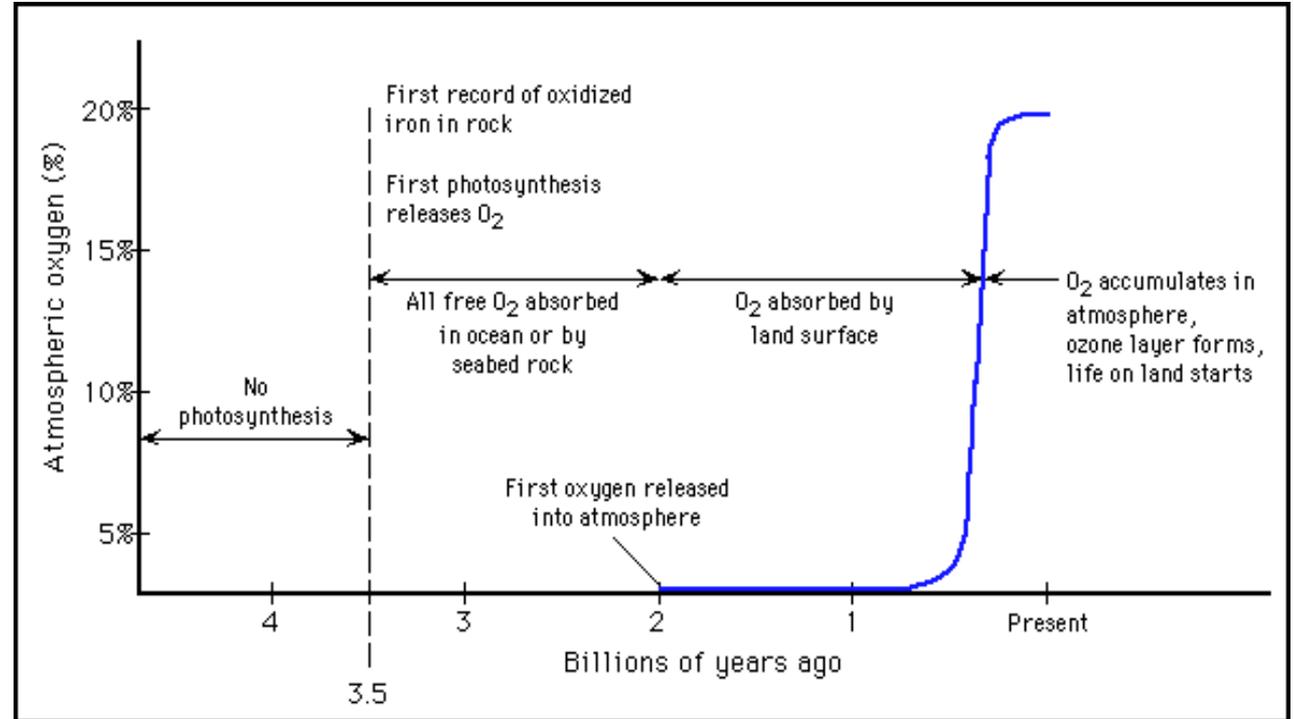
RELATIVE TIME
SPAN

ERA	PERIOD	ONSET	MAJOR EVENTS IN THE HISTORY OF LIFE
Cenozoic	Quaternary	1.8 mya	Humans evolve; large mammals become extinct
	Tertiary	65 mya	Radiation of birds, mammals, flowering plants, and insects
Mesozoic	Cretaceous	144 mya	Dinosaurs continue to radiate; flowering plants and mammals diversify. Mass Extinction at end of period (=76% of species disappear)
	Jurassic	206 mya	Diverse dinosaurs; first birds; two minor extinctions
	Triassic	245 mya	Early dinosaurs; first mammals; marine invertebrates diversify. Mass Extinction at end of period (=65% of species disappear)
Paleozoic	Permian	290 mya	Reptiles radiate; amphibians decline; Mass Extinction at end of period (=96% of species disappear)
	Carboniferous	354 mya	Extensive "fern" forests; first reptiles; insects radiate; earliest flowering plants
	Devonian	409 mya	Fishes diversify; first insects and amphibians. Mass Extinction at end of period (=75% of species disappear)
	Silurian	440 mya	Jawless fishes diversify; first bony fishes; plants and animals colonize land
	Ordovician	500 mya	Mass Extinction at end of period (=75% of species disappear)
	Cambrian	543 mya	Most animal phyla present; diverse algae
Precambrian		600 mya	Ediacaran fauna
		2.5 bya	Eukaryotes evolve; several animal phyla appear
		3.8 bya	Origin of life; prokaryotes flourish
		4.5 bya	

Un periodo fondamentale di cambiamento nell'atmosfera terrestre: il **Grande Evento di Ossigenazione** (detto anche "Grande Catastrofe dell'Ossigeno")



Nostochopsis sp.
(Cyanobacteria Nostocaceae)



Circa **2.3 miliardi di anni fa** (nel periodo Archeano) l'evoluzione della **fotosintesi ossigenica** in un gruppo particolare di Procarioti, i **Cyanobacteria** (cianobatteri) ha riversato **ossigeno molecolare** nell'atmosfera, **cambiandone radicalmente la composizione**

Fonte:

<https://www.sciencedaily.com/releases/2013/01/130117084856.htm>

L'atmosfera primitiva del pianeta (**riducente e quasi priva di ossigeno**) è stata modificata circa 2.3 miliardi di anni fa dall'attività dei cianobatteri in grado di effettuare la fotosintesi con eliminazione di ossigeno (**fotosintesi ossigenica**)

- L'attività di questi cianobatteri, protratta per milioni di anni, **ha arricchito di ossigeno** l'atmosfera terrestre
- Aggregati di questi cianobatteri primitivi hanno originato le “**stromatoliti**”, ancora presenti ed in crescita in remote regioni del pianeta

Stromatoliti ancora in formazione nella Shark Bay (Australia occidentale) e fossili a Isua Belt (Groenlandia)

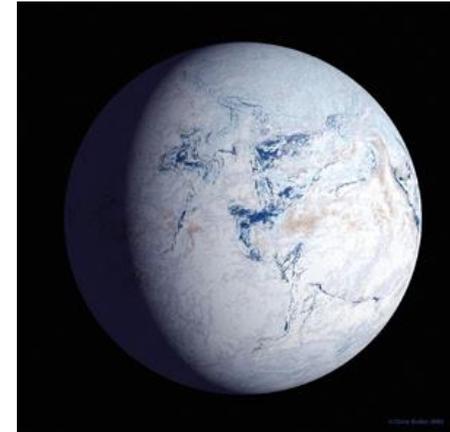
Ricerche recentissime (Hodgskiss et al., PNAS 2019) sembrano inoltre indicare che il rapido incremento di ossigeno nell'atmosfera sia stato seguito circa 2 miliardi di anni fa da una **gravissima crisi biologica** dovuta alla carenza di nutrienti e alla **necessità di adattamento delle forme di vita alla nuova atmosfera ossidante**

Fonte: Hodgskiss et al., PNAS 2019



“Snowball Earth”

...ovvero: come i vulcani hanno salvato la vita sulla Terra

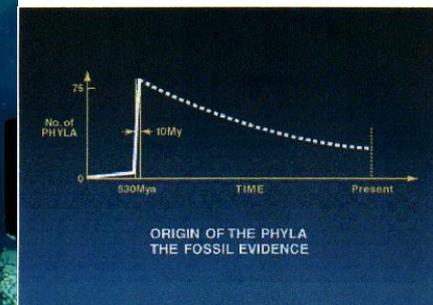


© 2006 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley

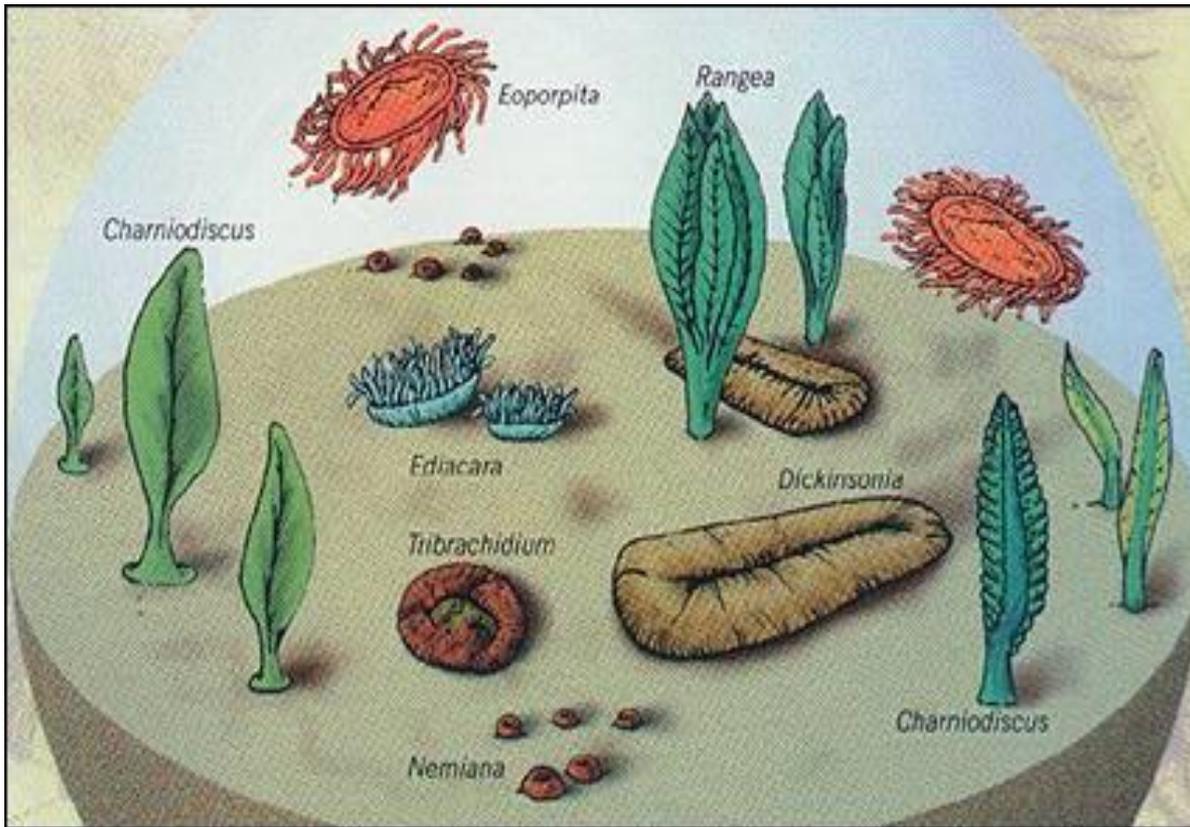
- Si ritiene che circa 700 milioni di anni fa la frantumazione del supercontinente Rodinia abbia causato una serie di eventi idrogeologici che abbiano fortemente ridotto la quantità di anidride carbonica nell'atmosfera, abbassando drasticamente la temperatura media del pianeta (“Snowball Earth”) in poche migliaia di anni
- Il 99% delle forme di vita che si erano evolute nei 2 precedenti miliardi di anni si estinse

La vita sul pianeta fu salvata dall'attività vulcanica nelle dorsali oceaniche, espandendosi poi in modo “esplosivo” nel Cambriano (541 milioni di anni fa)

Fonte:
<https://oceanservice.noaa.gov/>



La fauna di Ediacara (Proterozoico Vendiano), precedente all'evento "Snowball Earth"



Il "biota di Ediacara" è un complesso di fossili di organismi pluricellulari scoperto nel 1868 nelle Ediacara Hills (Australia meridionale)

Molte tra le forme fossili di Ediacara (Vendozoa) **non sembrano avere relazioni evolutive con la fauna successiva del Cambriano (Metazoa)**

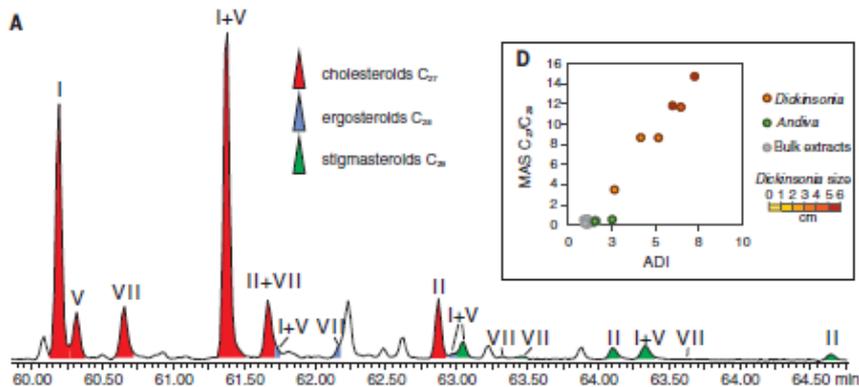
Fonte:

<https://www.britannica.com/science/Ediacara-fauna>

Dickinsonia sp. (fauna di Ediacara):
probabilmente il più antico animale fossile

Nel 2018 è stato pubblicato su “Science”
uno studio che dimostra come nei reperti
fossili di *Dickinsonia* sp., datati a 558 milioni
di anni fa, siano presenti **molecole derivate
dal colesterolo**, tipiche degli animali
(Bobrovskiy et al., Science 2018)

Le molecole sono state rilevate tramite
analisi chimiche e spettrometria di massa



RESEARCH

EARLY ANIMALS

Ancient steroids establish the Ediacaran fossil *Dickinsonia* as one of the earliest animals

Ilya Bobrovskiy^{1*}, Janet M. Hope¹, Andrey Ivantsov², Benjamin J. Nettersheim³,
Christian Hallmann^{3,4}, Jochen J. Brocks^{1*}

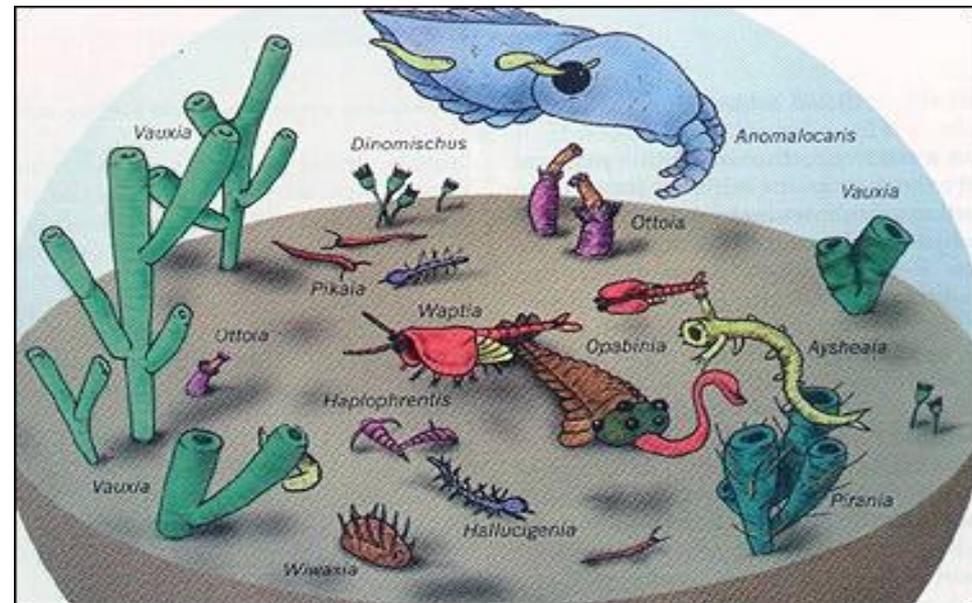
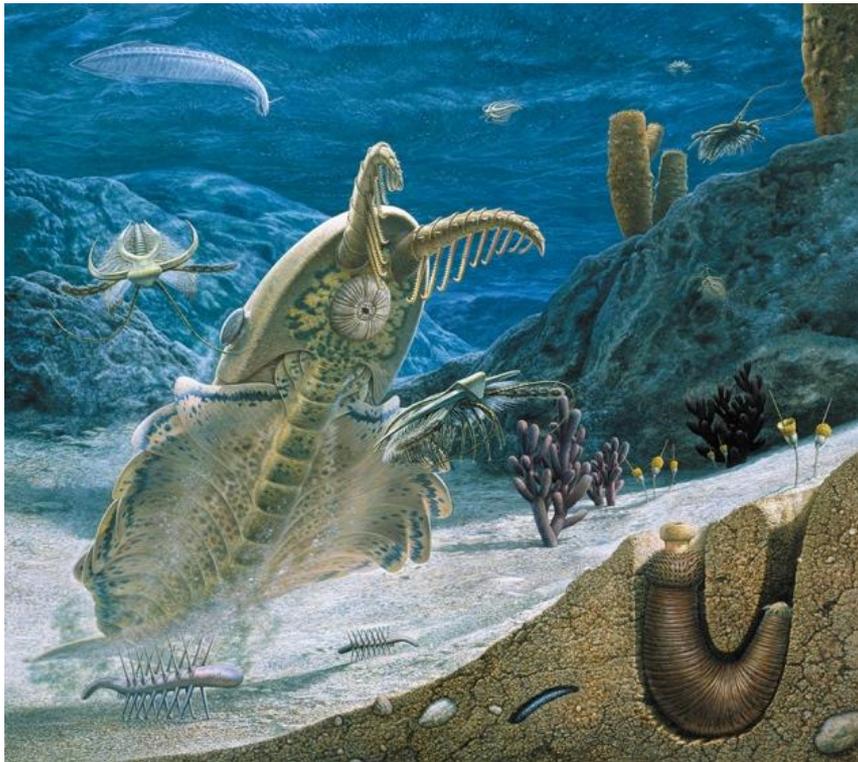
The enigmatic Ediacara biota (571 million to 541 million years ago) represents the first macroscopic complex organisms in the geological record and may hold the key to our understanding of the origin of animals. Ediacaran macrofossils are as “strange as life on another planet” and have evaded taxonomic classification, with interpretations ranging from marine animals or giant single-celled protists to terrestrial lichens. Here, we show that lipid biomarkers extracted from organically preserved Ediacaran macrofossils unambiguously clarify their phylogeny. *Dickinsonia* and its relatives solely produced cholesterol, a hallmark of animals. Our results make these iconic members of the Ediacara biota the oldest confirmed macroscopic animals in the rock record, indicating that the appearance of the Ediacara biota was indeed a prelude to the Cambrian explosion of animal life.

Fonte:

Bobrovskiy et al., Science 361: 1246-1249, 2018

<https://cosmosmagazine.com/palaeontology/is-this-the-oldest-animal-on-earth>

Nel Cambriano (541-485 milioni di anni fa) avviene una rapidissima evoluzione degli organismi (“**radiazione evolutiva**”), successiva all’evento “Snowball Earth”



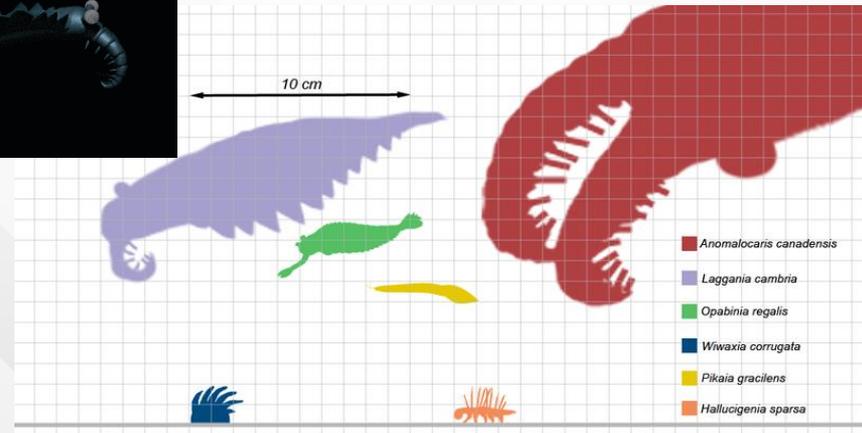
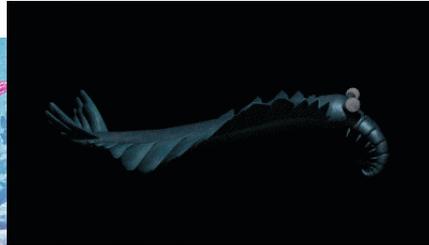
Questa fase rapidissima di evoluzione dei viventi è nota anche come
“**Cambrian Explosion**”

Fonte:

<https://www.nature.com/news/what-sparked-the-cambrian-explosion-1.19379>

La grande diversificazione nel Cambriano

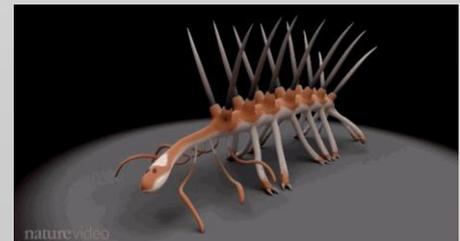
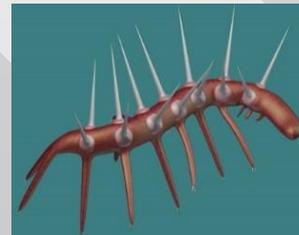
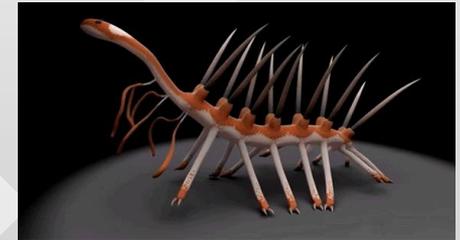
Tutti i principali phyla animali appaiono contemporaneamente
(insieme ad altri destinati a scomparire...)



Opabinia regalis



Hallucigenia sparsa



Evoluzione della vita sulla Terra

