

Metodologie didattiche nella Biologia Animale



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Percorso 24 Cfu – Master formazione insegnanti

Marco Oliverio & Luigi Maiorano

Dipartimento di Biologia e Biotecnologie

«Charles Darwin»

Origine della vita



Cosa è un organismo vivente?

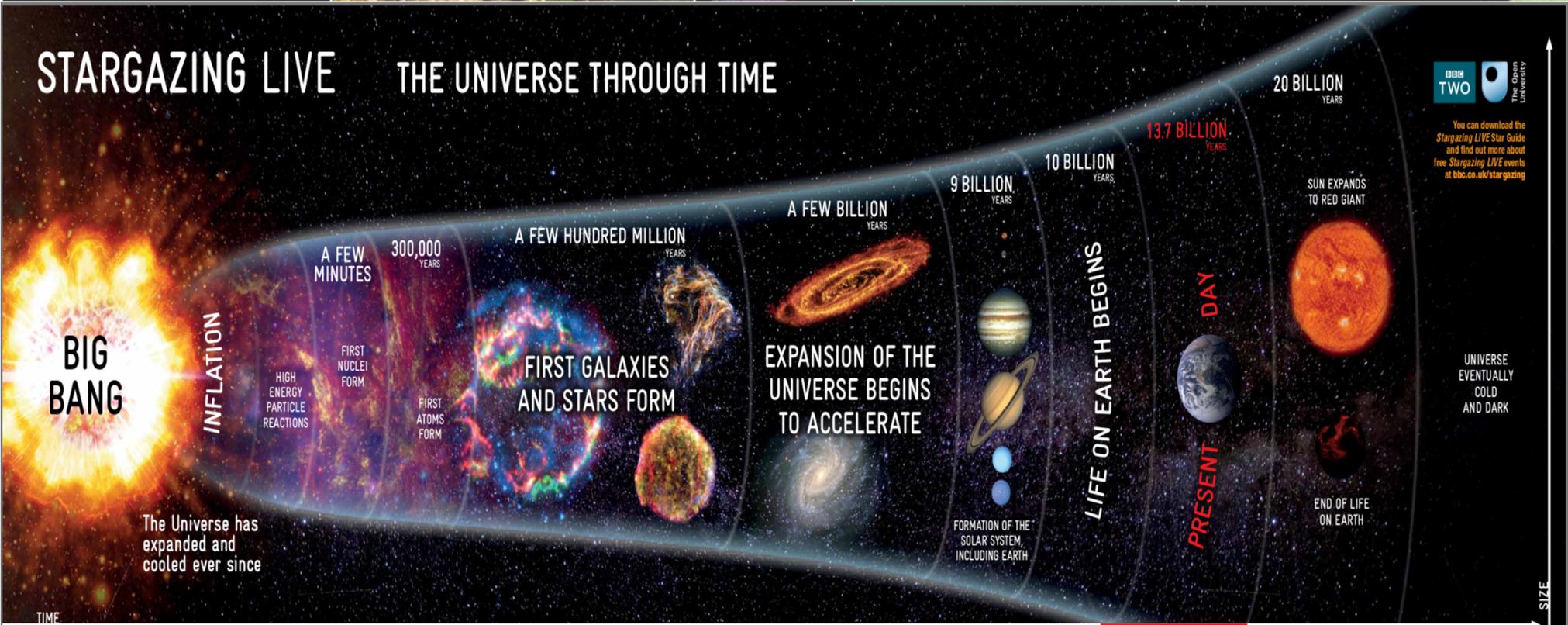


***Jaques Monod
1910-1976***

- ***organismi dotati di un proprio progetto interno relativo a tutte le strutture e funzioni***
- ***che utilizzano fonti energetiche esterne per sostenere le proprie attività (autosostenersi, accrescersi, riprodursi)***
- ***capaci di riprodurre il progetto e trasmetterlo alla discendenza***



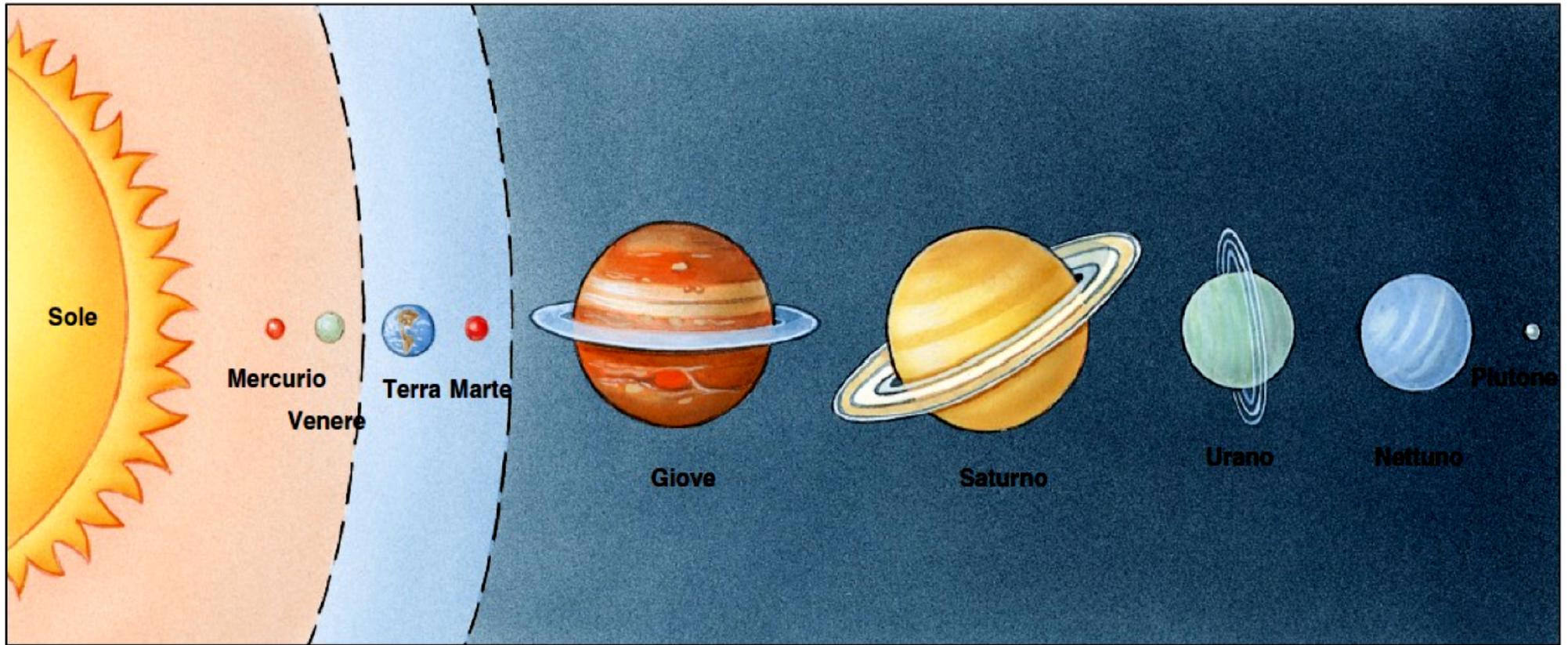
STARGAZING LIVE THE UNIVERSE THROUGH TIME



You can download the Stargazing LIVE Star Guide and find out more about free Stargazing LIVE events at bbc.co.uk/stargazing

THE BEGINNING	UNOBSERVABLE UNIVERSE (PAST)				POTENTIALLY OBSERVABLE UNIVERSE (PAST)				TODAY	FUTURE	
FRACTION OF A SECOND	1 SECOND	100 - 1000 SECONDS	300,000 YEARS	A FEW HUNDRED MILLION YEARS	A FEW BILLION YEARS	9 BILLION YEARS	10 BILLION YEARS	13.7 BILLION YEARS	20 BILLION YEARS	10¹⁰⁰ YEARS	
The Universe begins 13.7 billion years ago with an event known as the Big Bang. Both time and space are created in this event.	Rapid expansion occurs during a billionth of a billionth of a billionth of a second - the size of a grapefruit.	The Large Hadron Collider at CERN is recreating the conditions that prevailed a fraction of a second after the Big Bang.	We can detect radiation from the early formation of the Universe back as far as this point. Before this, the Universe is opaque: it's as if a veil had been pulled over it.	Matter clumps together under its own gravity forming the first protogalaxies and within them, the first stars. Stars are nuclear furnaces in which heavier elements such as carbon, oxygen, silicon and iron are formed. Massive stars exploding as supernovae create even heavier elements. Such explosions send material into space ready to be incorporated into future generations of stars and planets.	Initially, the expansion of the Universe decelerated - but a few billion years after the Big Bang, the expansion began to accelerate. The acceleration is caused by a mysterious force known as 'dark energy', the nature of which is completely unknown.	The Sun, along with its eight planets, and all the asteroids, comets and Kuiper Belt objects, such as Pluto, form from the debris left behind by earlier generations of stars.	The first life appears on Earth in the form of simple cells. Impacting comets and asteroids might have contributed organic molecules to Earth. Life spreads across the globe.	This is where we are today. Using our own ingenuity, humanity is probing the depths of the Universe and trying to unravel its mysteries, from our tiny, home planet, Earth. The visible Universe contains billions of galaxies, each comprising billions of stars. Within our own Galaxy, hundreds of exoplanets have been discovered orbiting other stars.	In a few billion years the Sun's outer layers will expand as it turns into a Red Giant star. Life on Earth will become impossible. Expansion of the Universe will continue to accelerate.	Stars no longer form; matter is trapped in black holes or dead stars. Protons decay and black holes evaporate, leaving the Universe to its ultimate fate as cold, dead, empty space, containing only radiation, which itself too will eventually disperse.	

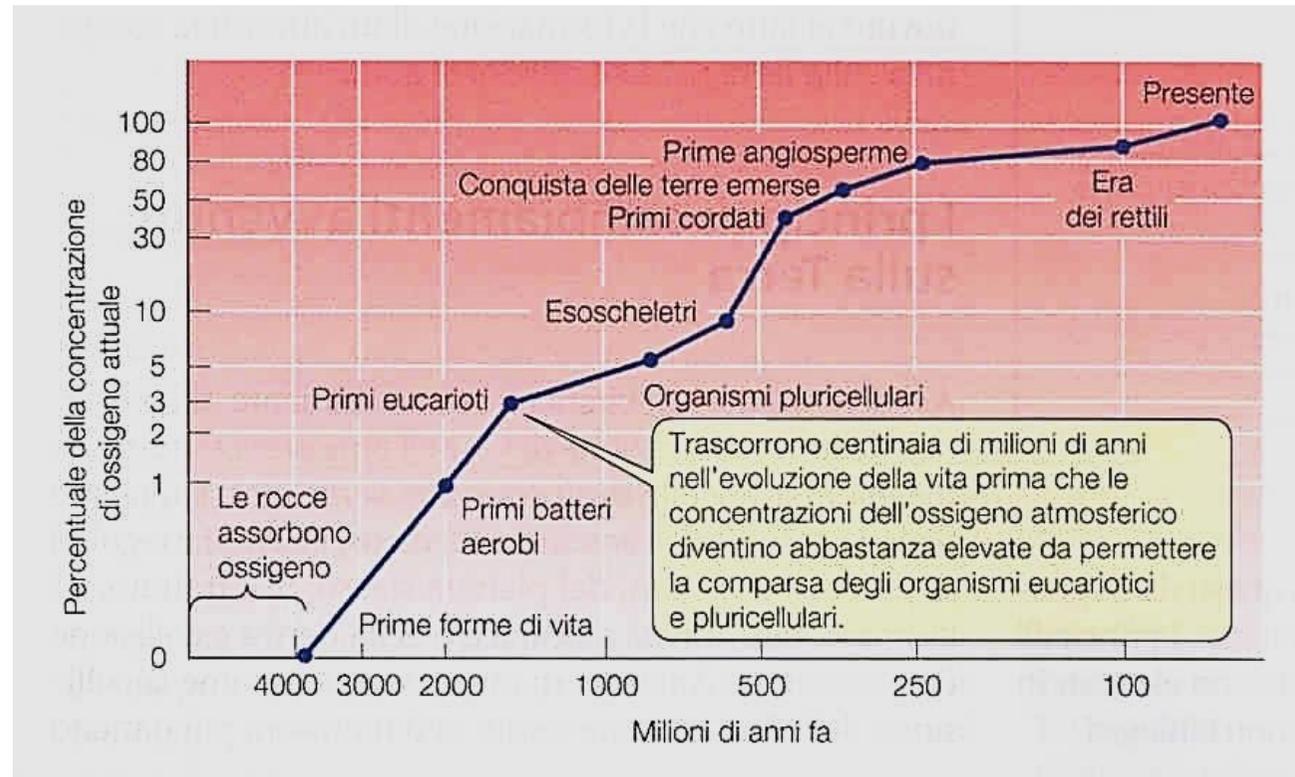
Stargazing LIVE is a BBC and Open University co-production. Credit: Photography sourced from NASA.



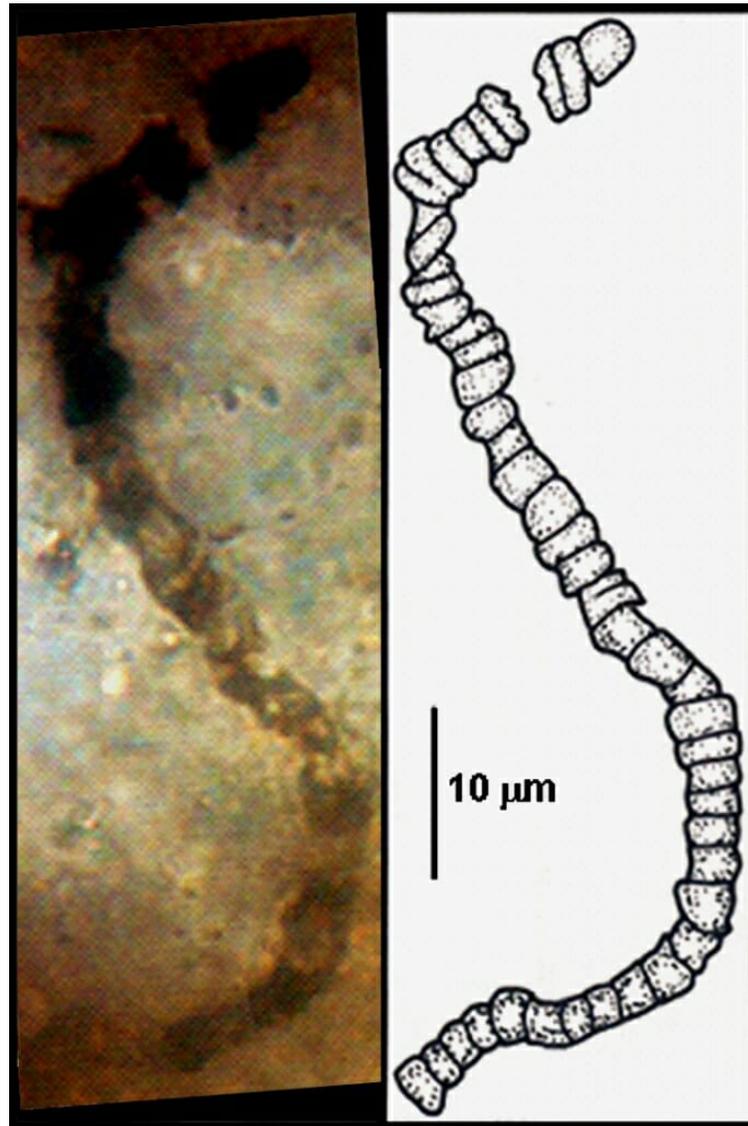
TROPPO CALDO

TROPPO FREDDO

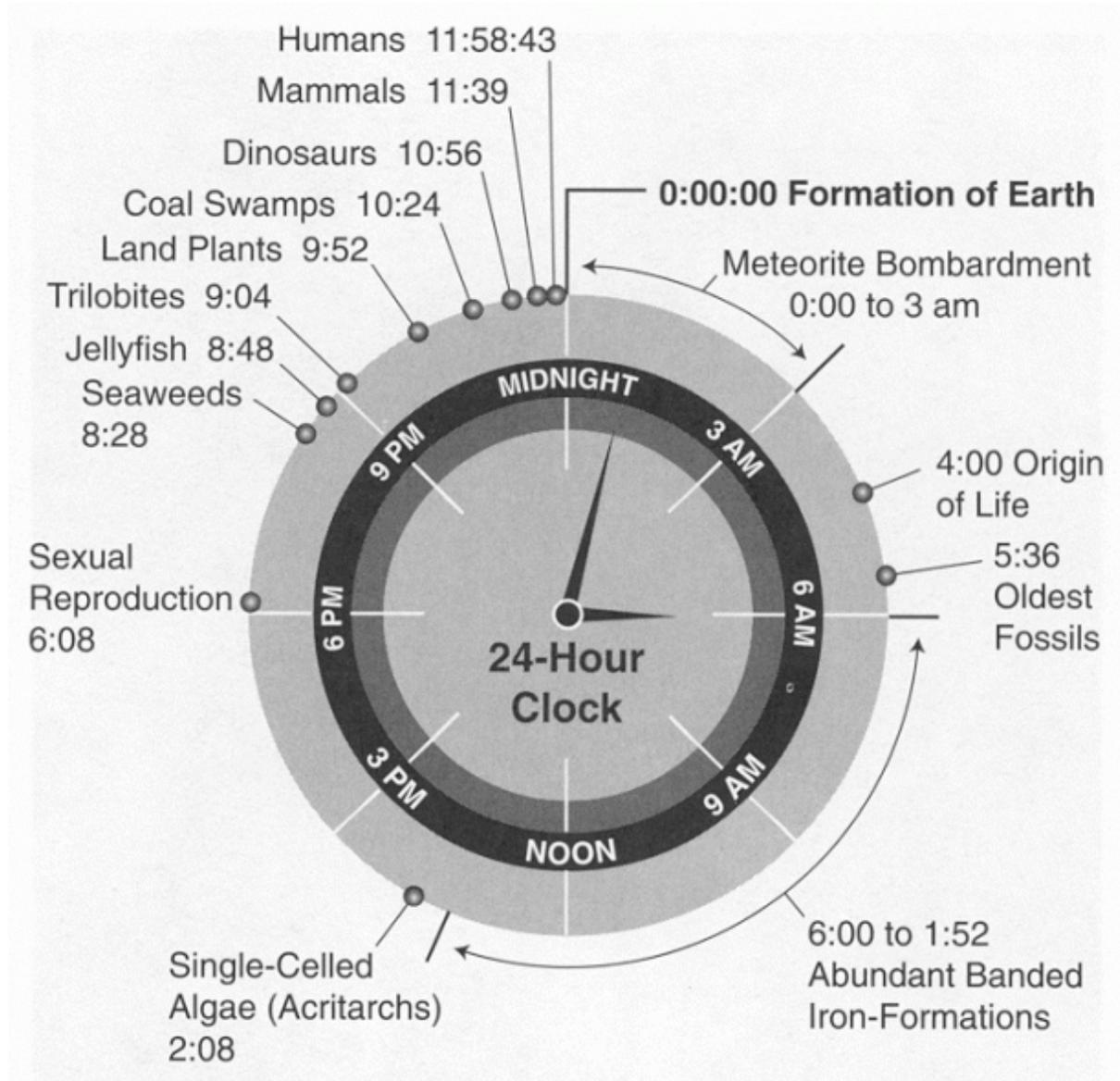
Storia della vita

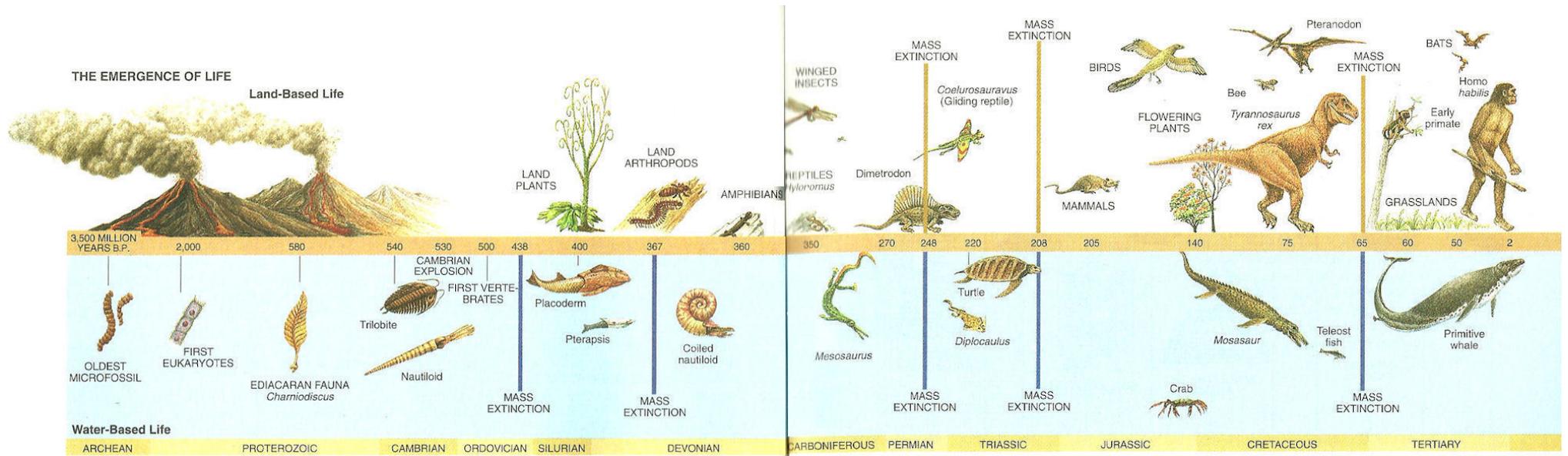


Storia della vita



Storia della vita





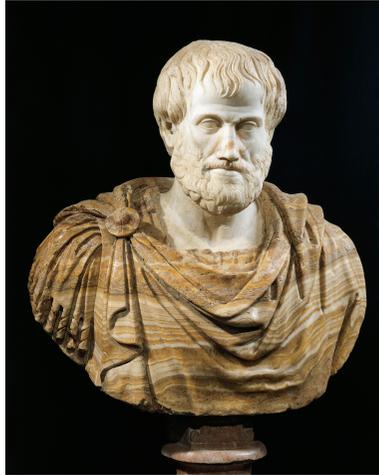
Teoria abiogenetica

- *Generazione spontanea: vita ha origine da forme pre-esistenti non viventi*



- *Empedocle (540-433 BC): la vita si origina spontaneamente dalla materia non vivente e forme imperfette vengono rimpiazzate da forme perfette*

Teoria abiogenetica



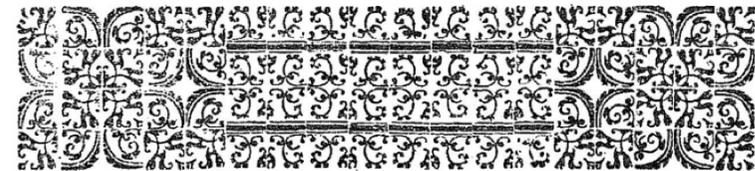
Aristotele (384-322 BC): le forme viventi sono forme animate di materia non vivente. I flussi vitali operano costantemente

- ***Rane dalla terra umida***
- ***Topi dalla materia in putrefazione***
- ***Larve da carne in decomposizione***

Francesco Redi (1626-1698)



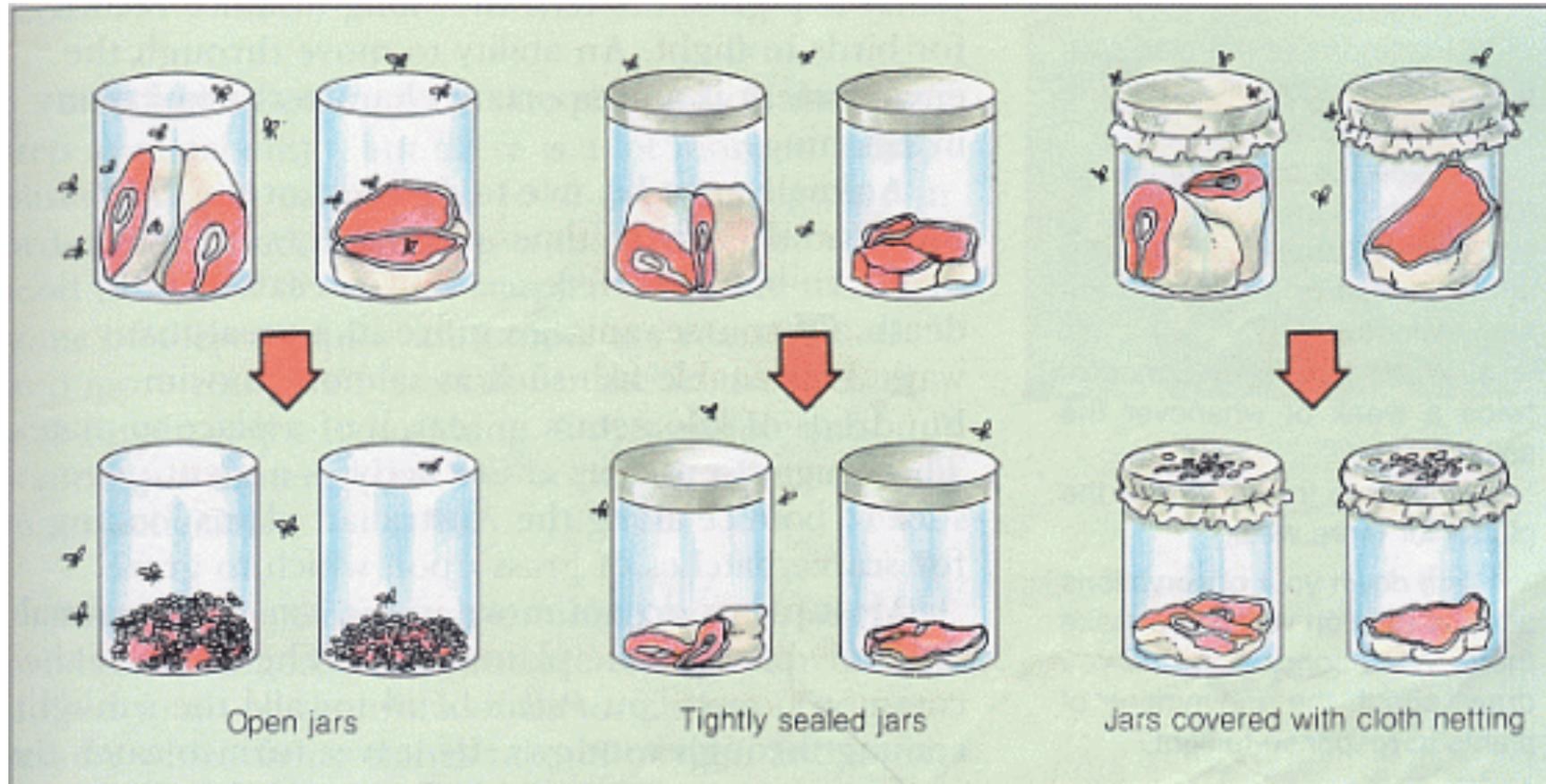
OGNI giorno più mi vado confermando nel mio proposito di non voler dar fede nelle cose naturali, se non a quello che con gli occhi miei propri io vedo, e se dall'iterata, e reiterata esperienza non mi venga confermato: imperciocche sempre più m'accorgo, che difficilissima cosa è lo spiare la verità frodata sovente dalla menzogna, e che molti Scrittori, tanto antichi, quanto moderni somigliano a quelle pecorelle, delle quali il nostro Divino Poeta



MIO SIGNORE.

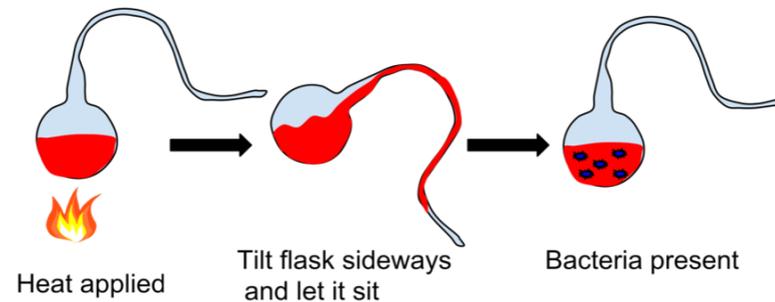
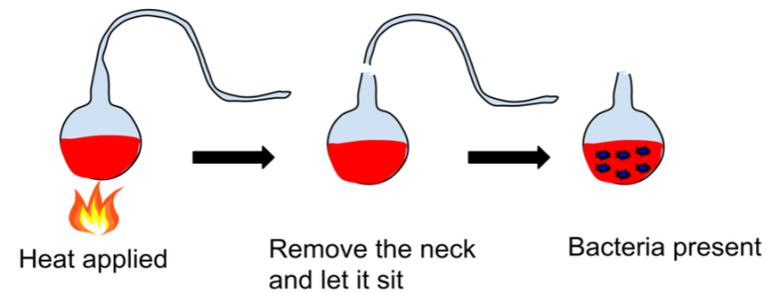
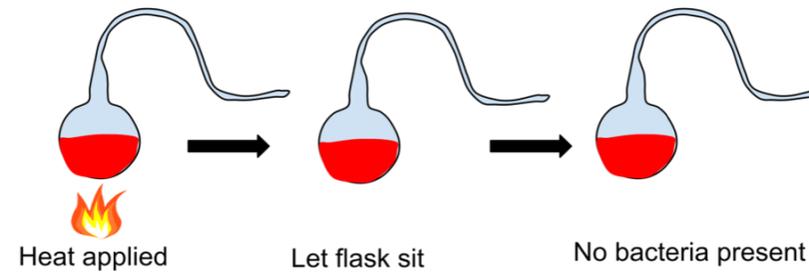
E non ha dubbio alcuno, che nell'intendimento delle cose naturali dati sono dal supremo Architetto i sensi alla ragione, come tante finestre, o porte, per le quali, o ella si affacci a mirarle, o elleno entrino a farsi conoscere. Anzi per meglio dire sono i sensi tante vedette o spiatori, che mirano a scoprire la natura delle cose e 'l tutto riportano dentro alla ragione la quale, da essi ragguagliata, forma di ciascuna cosa il giudizio, altrettanto chiaro e certo quanto essi sono più sani e gagliardi, e liberi da ogni ostacolo ed impedimento. Onde acciocchè restino sincerati, molto

Francesco Redi (1626-1698)



Louis Pasteur

(1822-1895)



Louis Pasteur

(1822-1895)



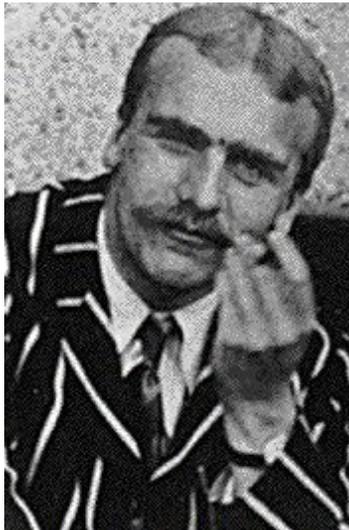
*Teoria biogenetica: la vita si origina
SOLO da esseri viventi*

Abiogenesi (1920)



Alexander Oparin

(1894-1980)



John B. S. Haldane

(1892-1964)

Altre teorie

Panspermia planetaria

- *Terra colonizzata da creature intelligenti, molto evolute, provenienti da altre galassie*
- *Terra colonizzata da spore o semi provenienti dallo spazio*
- *Molibdeno molto scarso sulla terra!*

Disegno intelligente

- *Proposto in modo esplicito nel 1987*
- *Strutture complesse sembrano essere progettate*
- *Quindi serve un architetto*
- ***NON È SCIENZA!!!!***

Cosa è la scienza

- ***Guidata da leggi naturali***
 - ***Esplicativa con riferimento alle leggi naturali***
 - ***Verificabile dall'osservazione del mondo***
 - ***Le sue conclusioni sono ipotesi***
 - ***Contestabile***
-
- ***Disegno intelligente è al di fuori di questo contesto!!***

Origine della vita

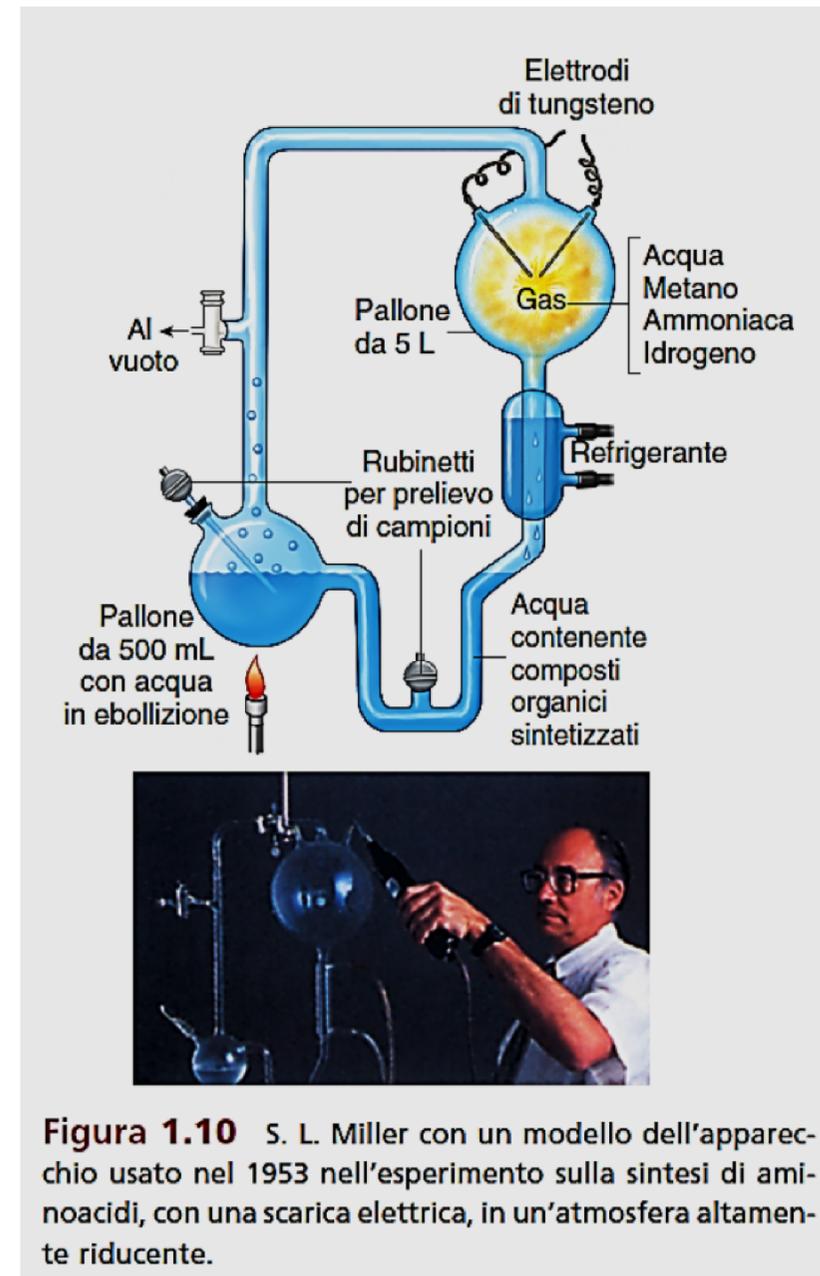
- *Ipotesi di Oparin e Haldane stimola ricerche sperimentali*
- *Atmosfera primitiva: H_2O ; CO_2 ; H_2 ; CH_4 ; NH_3 ; N_2*
- *Niente O_2 : atmosfera riducente!*
- *Numerosi impatti di comete e meteore (grandi): oceani ripetutamente vaporizzati!!*

Evoluzione chimica pre-biotica

- *Composti organici semplici si formano grazie a gas e fonti di energia libera (fulmini, UV, attività vulcanica)*
- *Bocche idrotermiche: acqua calda espulsa forzatamente con numerose molecole disciolte*

Sintesi prebiotica di piccole molecole organiche: gli esperimenti di Miller & Urey (1953)

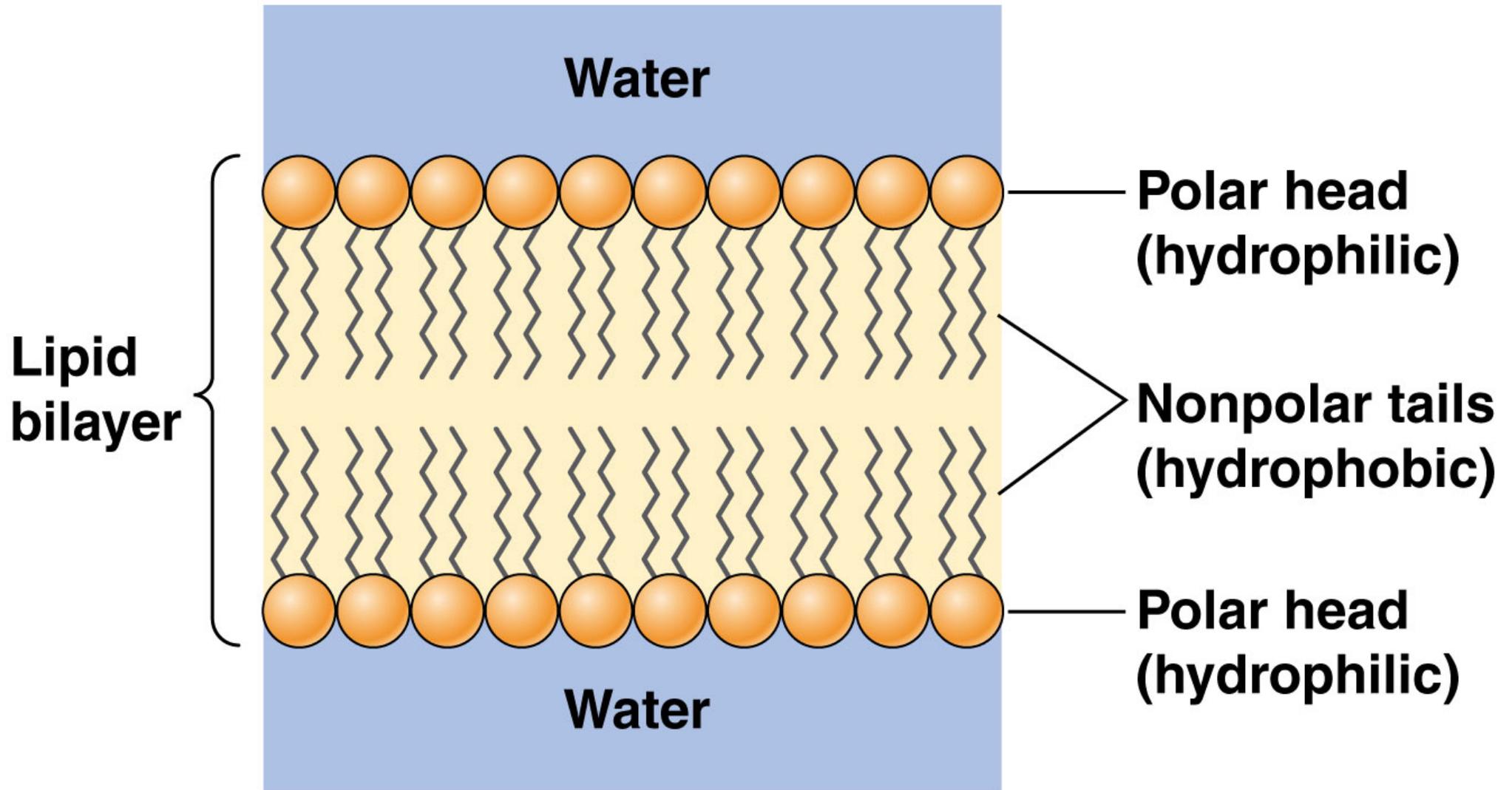
- *Atmosfera primordiale riducente (H_2O ; CO_2 ; H_2 ; CH_4 ; NH_3)*
- *Stimolo elettrico*
- *Accumulo graduale di composti organici (aminoacidi, grassi, basi azotate, ...)*



Formazione prebiotica dei polimeri

- *Condensazione (deidratazione) di monomeri semplici (zuccheri, aminoacidi, purine, pirimidine, acidi grassi) in macromolecole*
- *In ambiente acquoso, senza energia (ATP) e senza enzimi, le macromolecole si scindono immediatamente nei loro costituenti monomerici (idrolisi)*
- *Vescicole con membrana semipermeabile (molecole anfipatiche)*

Formazione prebiotica dei polimeri



© 2012 Pearson Education, Inc.

Formazione prebiotica dei polimeri



Formazione prebiotica dei polimeri

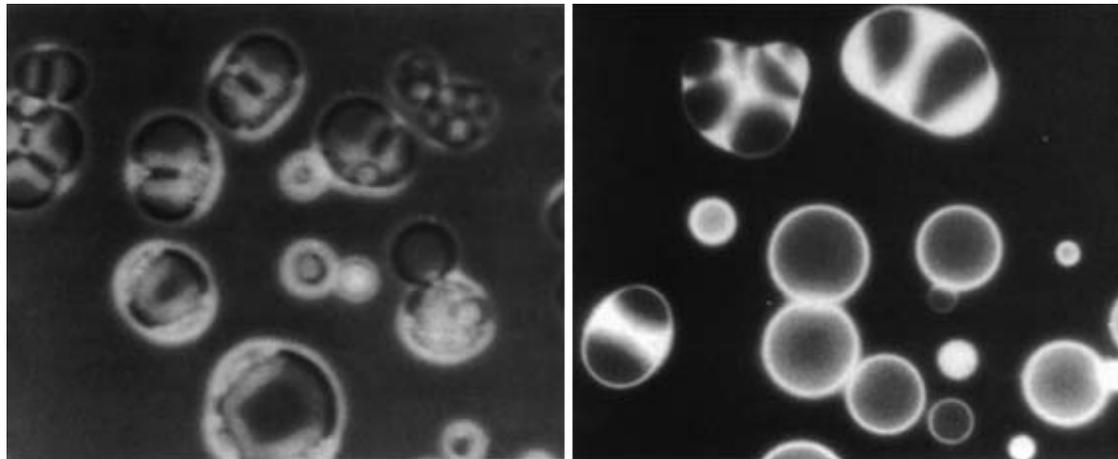
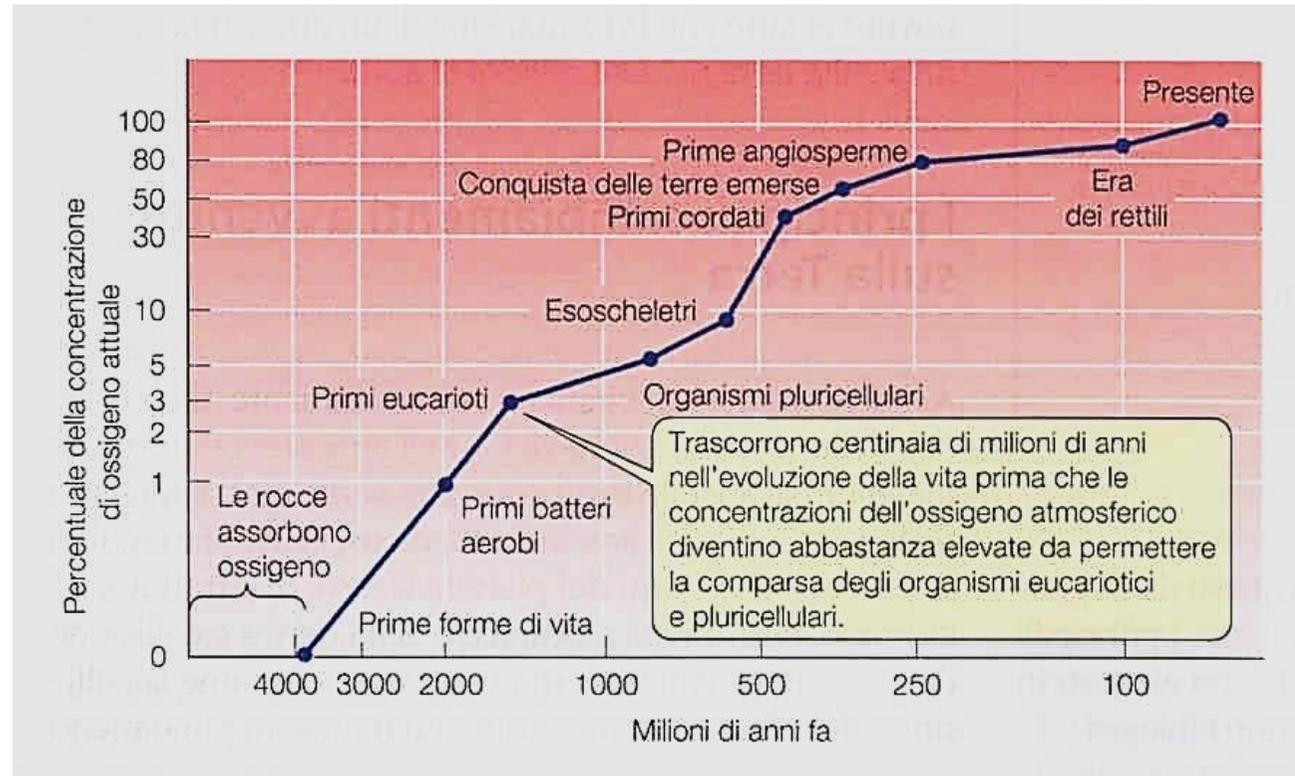


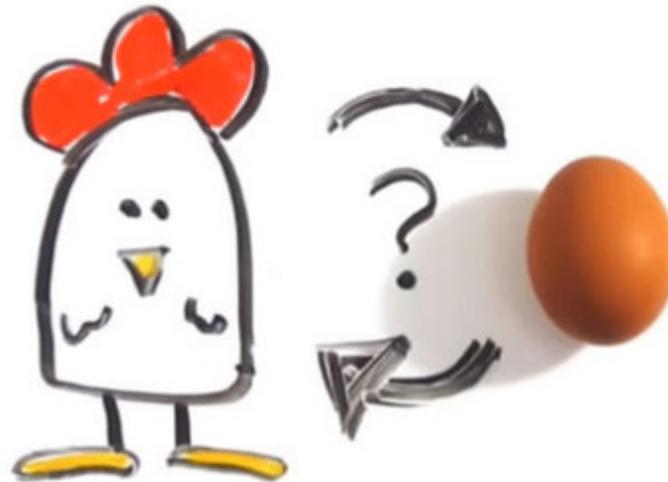
Figure 3. Self-assembled vesicular structures are produced by organic compounds extracted from the Murchison carbonaceous meteorite when they interact with water. The vesicles are 10-50 micrometers in diameter, and are bounded by bilayer membranes that can act as a diffusion barrier to ionic flux. Such relatively impermeable boundary structures are essential to the membranes that define all cellular life today. Left: phase micrograph. Right: light micrograph showing the natural fluorescence of the vesicles. The fluorescence is caused by polycyclic aromatic hydrocarbons that are abundant in carbonaceous meteorites. Original magnification: 400 X.

Origine dei sistemi viventi



Origine dei sistemi viventi

"THE CHICKEN -OR- THE CHICKEN EGG"

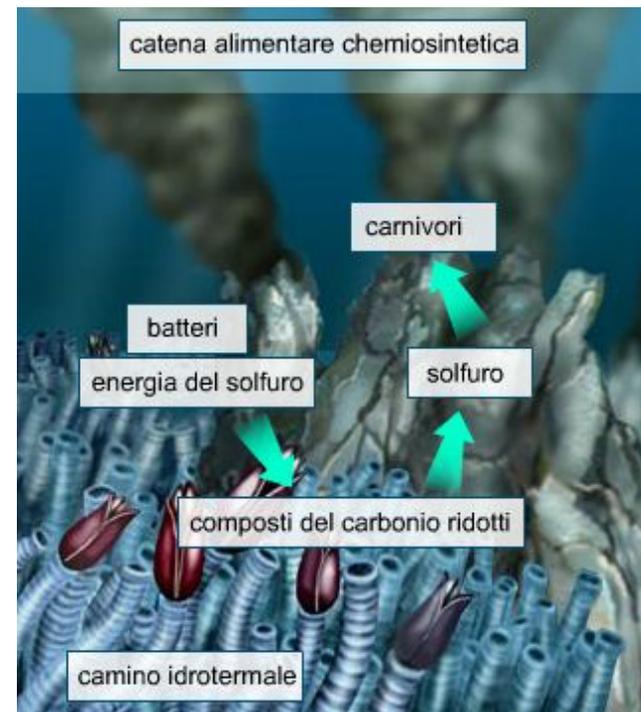
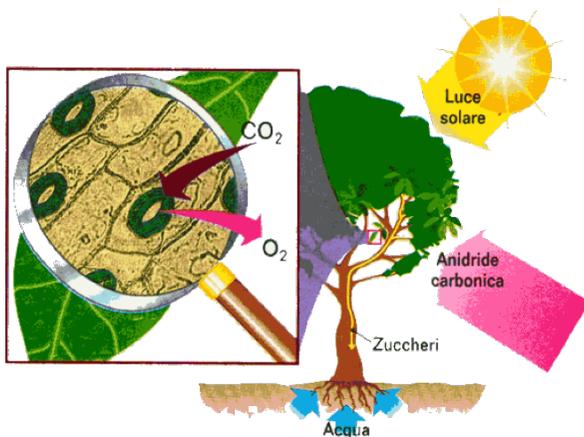


Origine del metabolismo



Origine del metabolismo

- *Autotrofo sintetizza il proprio cibo da sorgenti inorganiche usando luce o altre fonti di energia*



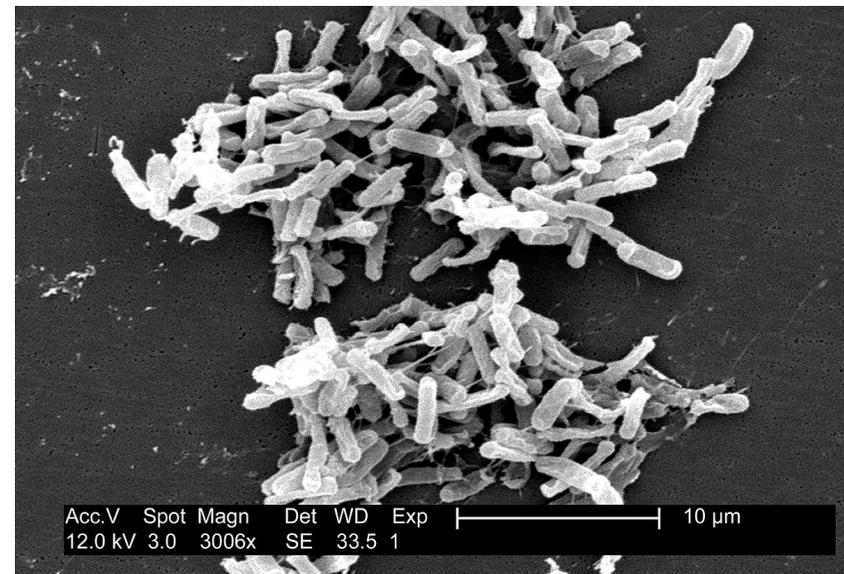
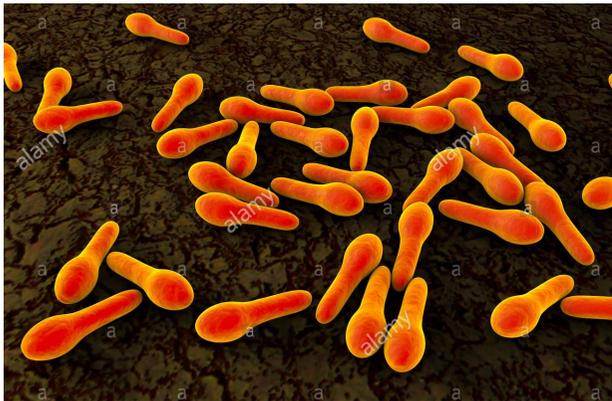
Origine del metabolismo

- *Eterotrofo ottiene risorse per cibarsi dall'ambiente*



Origine del metabolismo

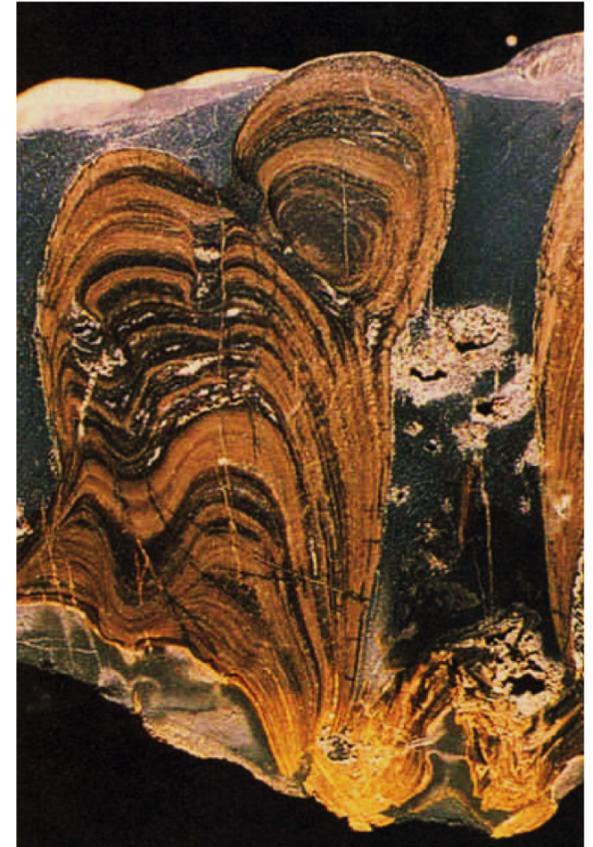
- *Brodo prebiotico ricco di nutrimenti organici (evoluzione chimica e nessuno mangia) ==> eterotrofi primitivi (simili al Clostridium)*



Origine del metabolismo

- *Autotrofi primitivi probabilmente con fotosintesi basata su H_2S*
- *Quando O_2 atmosferico supera 1% si forma O_3*
- *O_2 inizia ad accumularsi ==> metabolismo anaerobico*
DIFFICILE
- *Atmosfera ossidante permette metabolismo ossidativo (aerobico) molto più efficiente*

Origine del metabolismo



Vita precambriana: dalla geochimica abiologica ai procarioti chemioautotrofi

assemblaggio di molecole organiche complesse all'interno di vescicole anfipatiche



protocellule autoreplicanti (RNA e proteine con funzione enzimatica) - eterotrofi primitivi anaerobi (~3.8 GYA; *Clostridium*)



autotrofi primitivi (proteine con funzione enzimatica; H da H₂S o H₂O) - cianobatteri fossili del precambriano (~3 GYA)

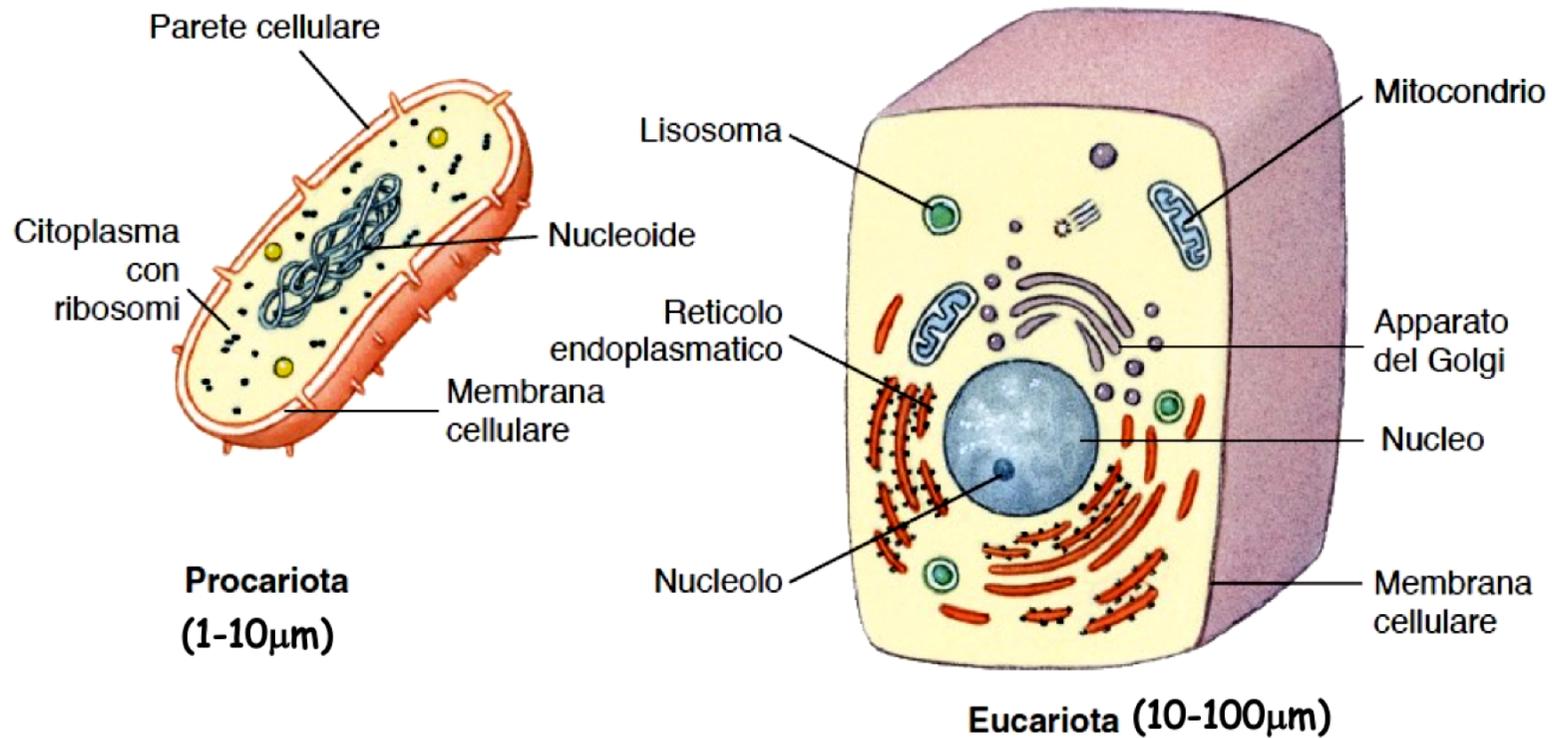


accumulo di O₂ nell'atmosfera

eterotrofi primitivi (metabolismo ossidativo, aerobico)

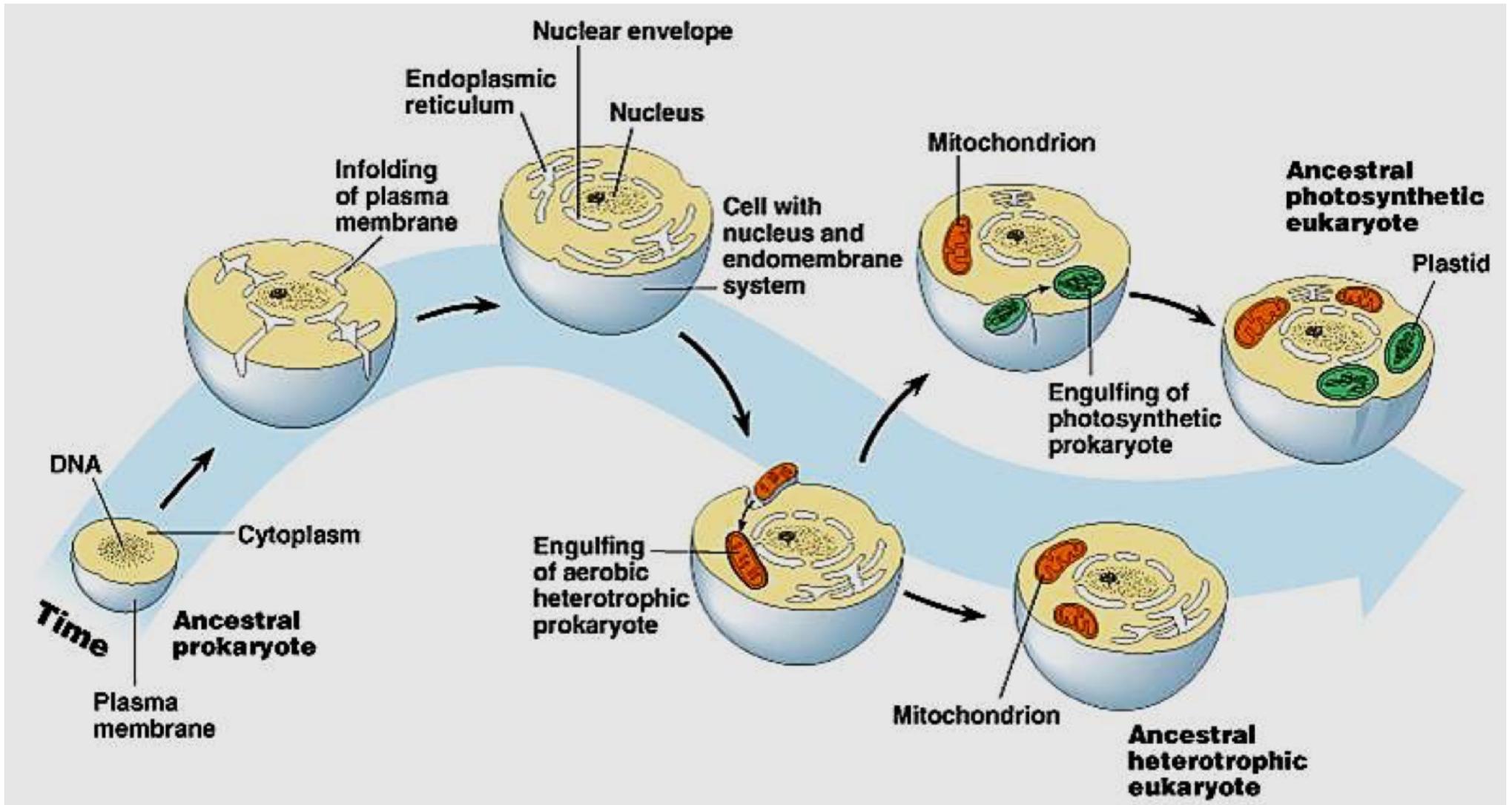
Cellula: unità base dei sistemi viventi

- *procariote dal greco pro = prima e karyon = nocciolo/cuore*
- *eucariote dal greco eu = vero e karyon = nocciolo/cuore*



Prokaryotic vs. Eukaryotic Cells

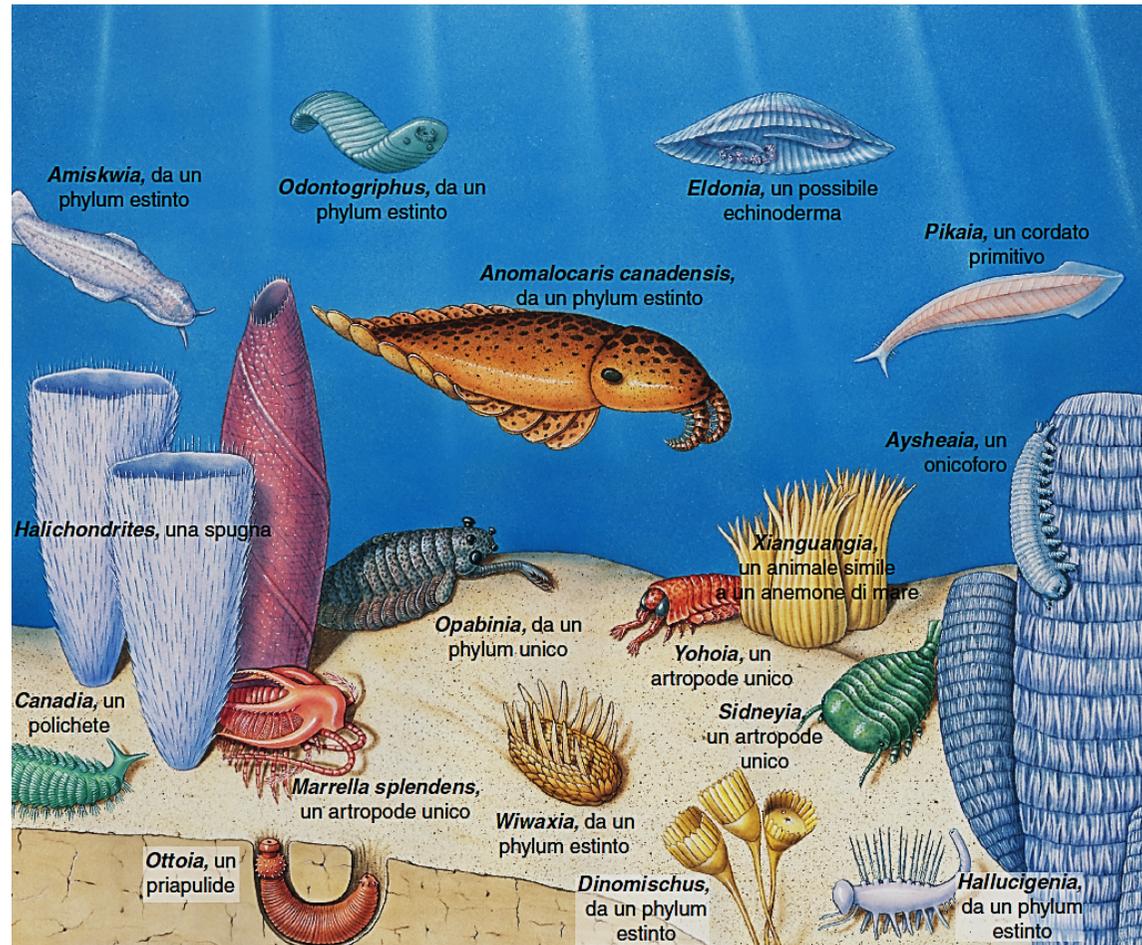
Teoria endosimbiontica



Evoluzione

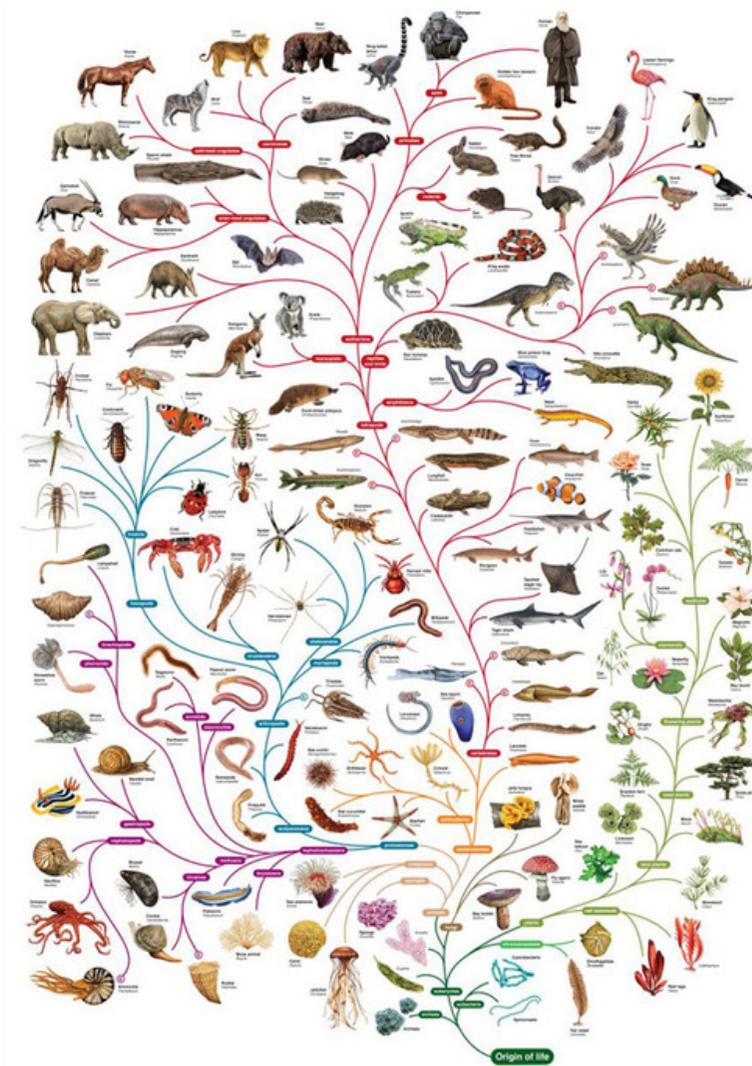
Evoluzione

- **Principale caratteristica della vita: cambiamento continuo = EVOLUZIONE**



Evoluzione

- *Storia della vita rappresentata da un albero genealogico che si ramifica: **FILOGENESI***



Evoluzione

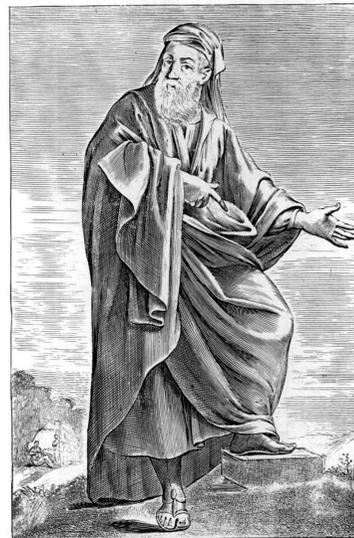
- *Charles Robert Darwin & Alfred Russel Wallace*
- *“La più grande rivoluzione del pensiero umano, più grande di quelle determinate da Einstein, Freud o Newton, in quanto prova l’esistenza dell’evoluzione organica e ne spiega i meccanismi” (sir Julian Huxley).*

Storia dell'evoluzione

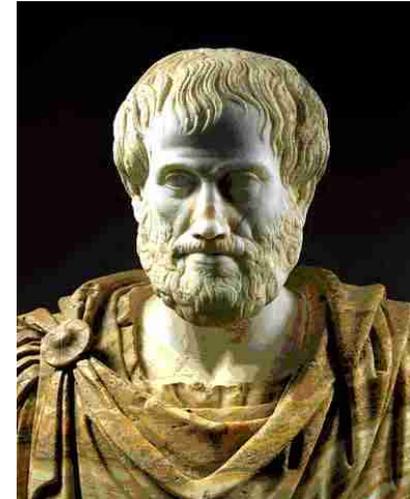
- *Senofane, Empedocle, Aristotele (500-300 a.c.): prime idee di cambiamenti evolutivi; fossili = resti di antiche creature distrutte da catastrofi*



XENOPHANES.

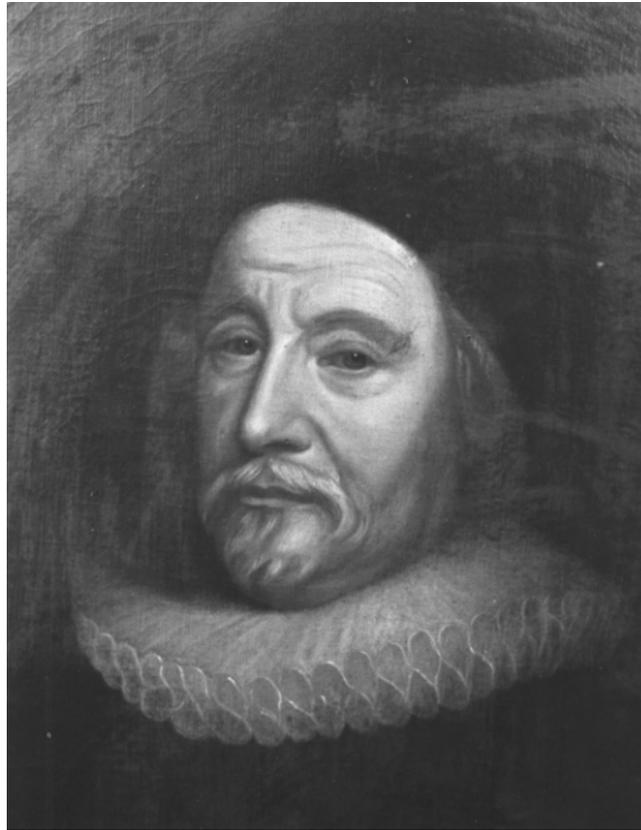


Empedocle's.



Storia dell'evoluzione

- *Arcivescovo James Ussher (1581-1656): giorno della creazione domenica 23 ottobre 4004 a.c., ore 9 del mattino; evoluzione = eresia!*



Storia dell'evoluzione

- ***Athanasius Kirker (teologo gesuita; 1602-1680):
dimostra che arca di Noè poteva contenere le 300
coppie di animali conosciuti***



P. ATHANASIVS KIRCHERVS FVLIDENSIS

è Societ: Iesu Anno ætatis LIII.

Honoris et observantia: ergo sculpsit et D.D. C. Bloemaert Romæ 2 Maij A. 1655.

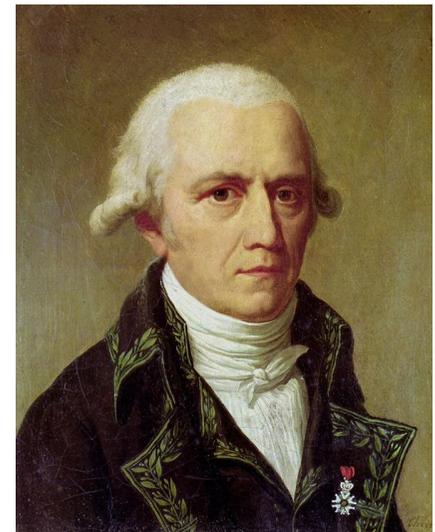
Storia dell'evoluzione

- *Georges Louis Leclerc, Comte de Buffon (1707-1788):
l'ambiente modifica gli animali; età della terra =
almeno 70,000 anni*
- *Impatto FONDAMENTALE su tutto quanto venne
dopo!*



Jean Baptiste de Lamarck

- *Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck (1744 - 1829)*
- *Nel 1809 (anno di nascita di Darwin!!) propone la prima teoria completa dell'evoluzione*
- *Ereditarietà dei caratteri acquisiti*



Jean Baptiste de Lamarck



Trasformismo

- *Gli organismi percepiscono le proprie necessità, acquisiscono gli adattamenti durante la propria vita mediante i propri sforzi e trasmettono ereditariamente questi adattamenti ai propri discendenti (Philosophie zoologique, 1809)*
- *Due forze governano la storia dei viventi:*
 - *capacità di percepire i propri bisogni*
 - *interazione degli organismi con il loro ambiente*

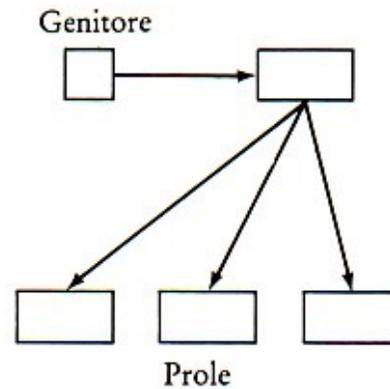
Trasformismo

- *Legge dell'uso e disuso: un organo si sviluppa quanto più è usato e regredisce quanto meno è sollecitato*
- *Ereditarietà dei caratteri acquisiti: un carattere acquisito da un animale durante la sua vita viene trasmesso alla prole*

Trasformismo

LAMARCKISMO

1. Un genitore (quadrato), mediante i propri sforzi, provoca un cambiamento della propria forma verso una configurazione più vantaggiosa (rettangolo).



2. La prole eredita il carattere acquisito, realizzando così un'evoluzione adattativa diretta.

Ereditarietà dei caratteri acquisiti

Teoria evolutiva darwiniana

- *Charles Robert Darwin (1809 - 1882) & Alfred Russel Wallace (1823 - 1913)*
- *Basata su due concetti fondamentali:*
 - *Variazione*
 - *Sopravvivenza e riproduzione differenziale*

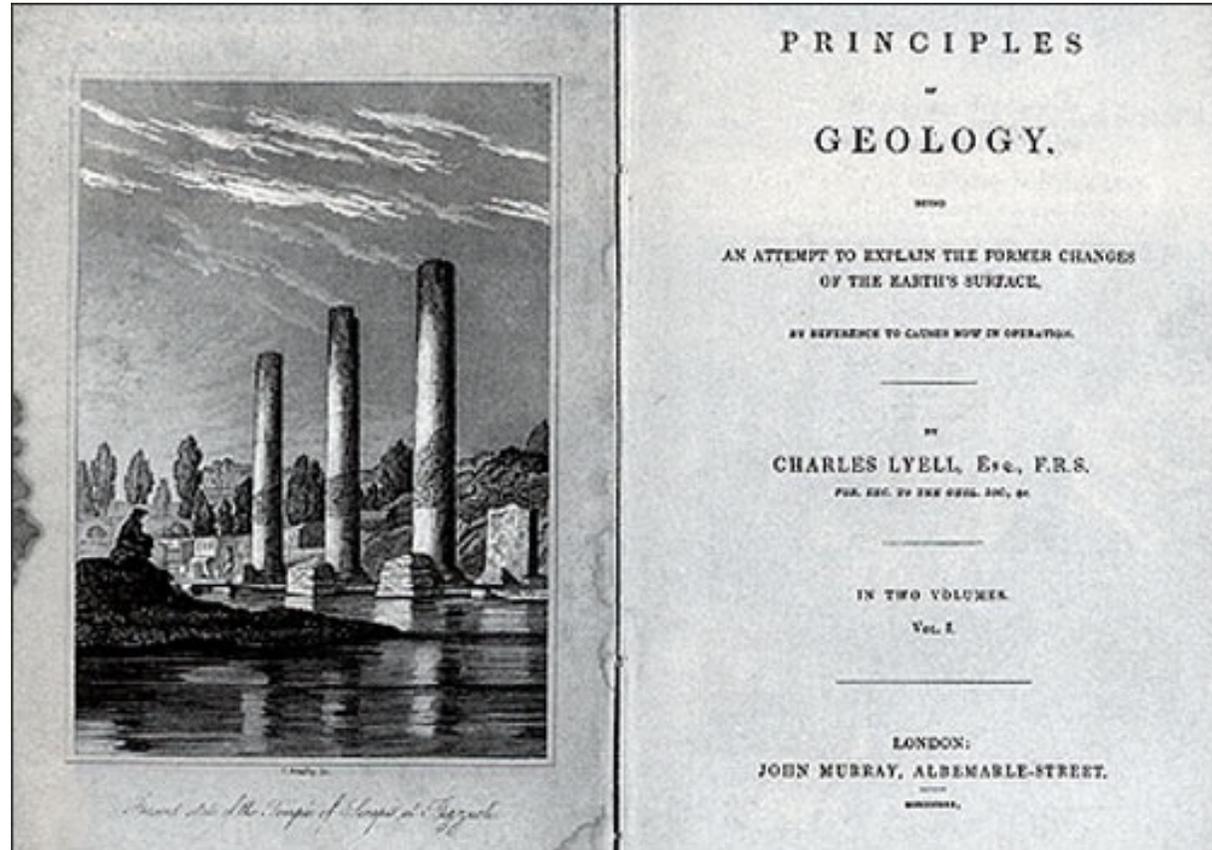
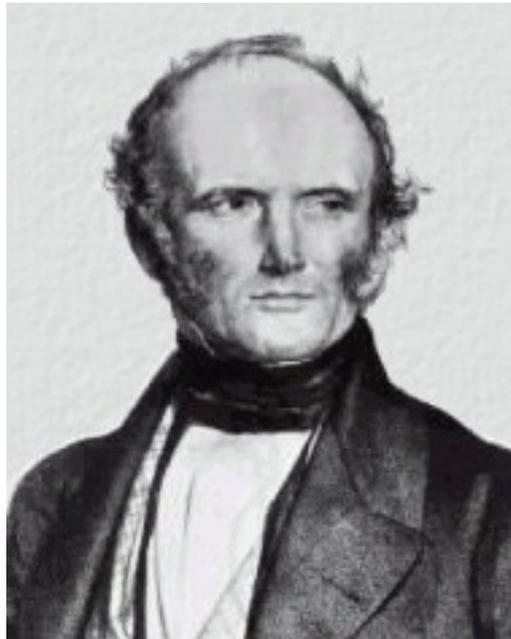
Malthus & Lyell



- *Thomas Robert Malthus (1766 - 1834)*
- *“That the increase of population is necessarily limited by the means of subsistence”*
- *“That population does invariably increase when the means of subsistence increase”*
- *“That the superior power of population is repressed, and the actual population kept equal to the means of subsistence...”*
- *Leggi imposte da Dio per insegnarci un comportamento virtuoso!*

Malthus & Lyell

- *C. Lyell (1797-1875); attualismo: cambiamenti geologici graduali e adirezionali (con direzionali intrinseca)*

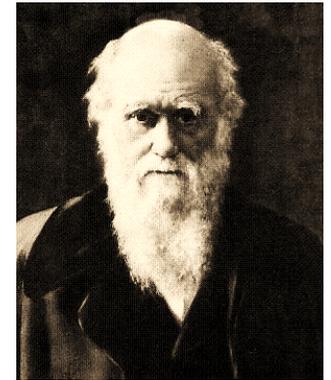
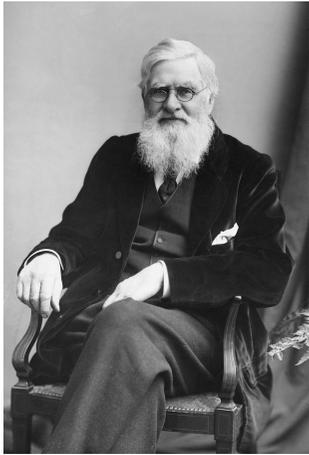


Principles of Geology (1830-1833)

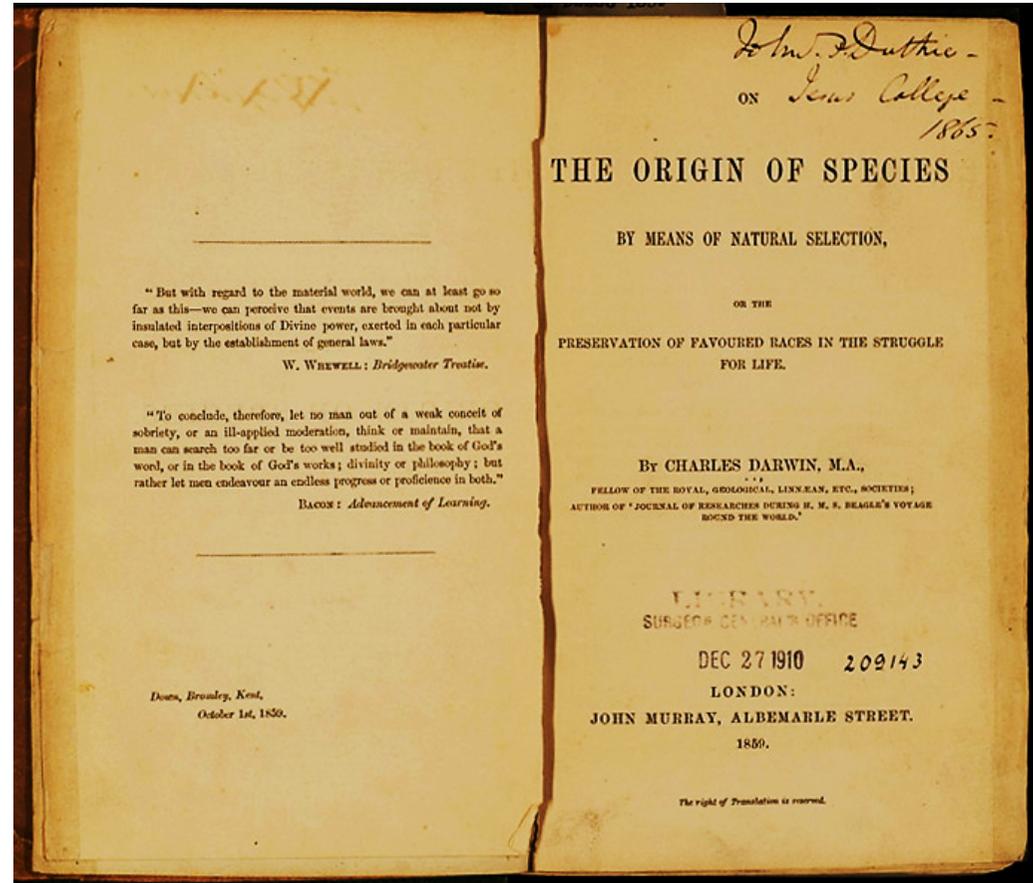
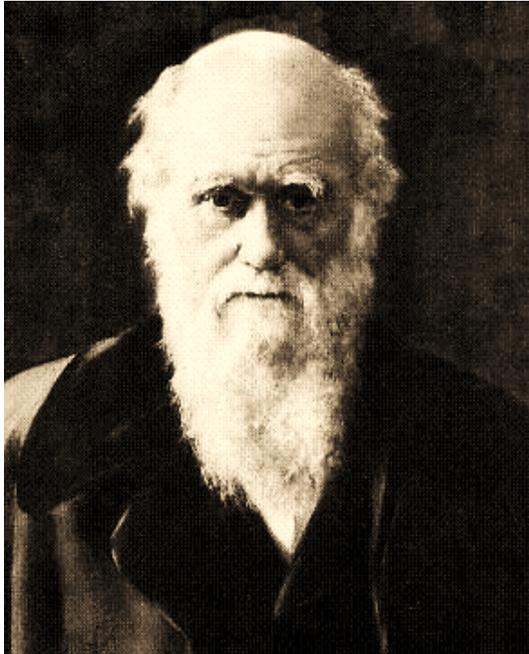
Il viaggio del Beagle

- *Viaggio di ispezione del Sud America e del Pacifico (1831 - 1836)*
- *Fossili di specie non più esistenti, conchiglie marine a 4000m sulle Ande, terremoti e...*
- *GALAPAGOS: “l’origine di tutte le mie idee”!!!*

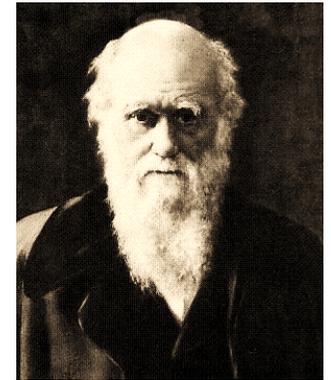
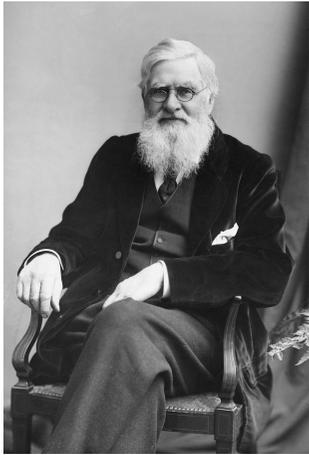




- ***Nel 1844, dopo aver letto Malthus e dopo studi su selezione artificiale, produce una prima bozza inedita***
- ***Nel 1856 inizia a lavorare ad opera in 4 volumi, ma...***
- ***...Wallace gli manda nel 1858 un manoscritto di poche pag. con l'intera teoria!***



- **1859: On the Origin of the Species...**
- **Le 1250 copie della prima tiratura esaurite in 1 giorno!**



- ***Evoluzione è un processo accertato!! è un fatto!!***
- ***5 teorie sono alla base del darwinismo; origini e destini diversi!***

5 teorie a supporto del darwinismo

1. *Cambiamento continuo*
2. *Discendenza comune*
3. *Moltiplicazione delle specie*
4. *Gradualismo*
5. *Selezione naturale*

- *Le prime 3 UNIVERSALMENTE VALIDE*
- *Le ultime 2 DIBATTITO SCIENTIFICO*

Cambiamento continuo

- *Punto di partenza e base di darwinismo*
- *Mondo vivente non è costante né ciclico, ma in continuo cambiamento*
- *Caratteristiche degli organismi cambiano di generazione in generazione*
- ***DATO DI FATTO!!***

Cambiamento continuo: prove

- *Resti fossili, tempo geologico e tendenze evolutive*



Tendenze evolutive

**Cambiamento
progressivo delle
caratteristiche in un
gruppo di organismi**

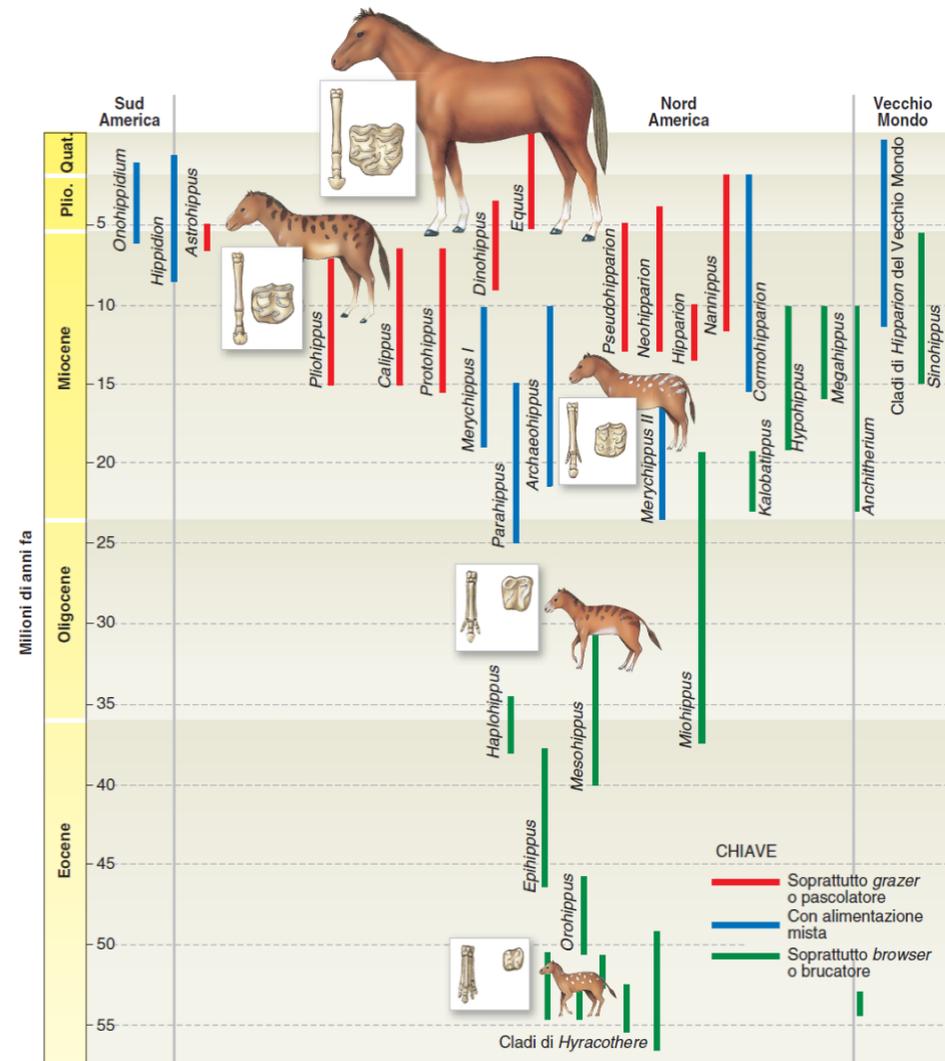
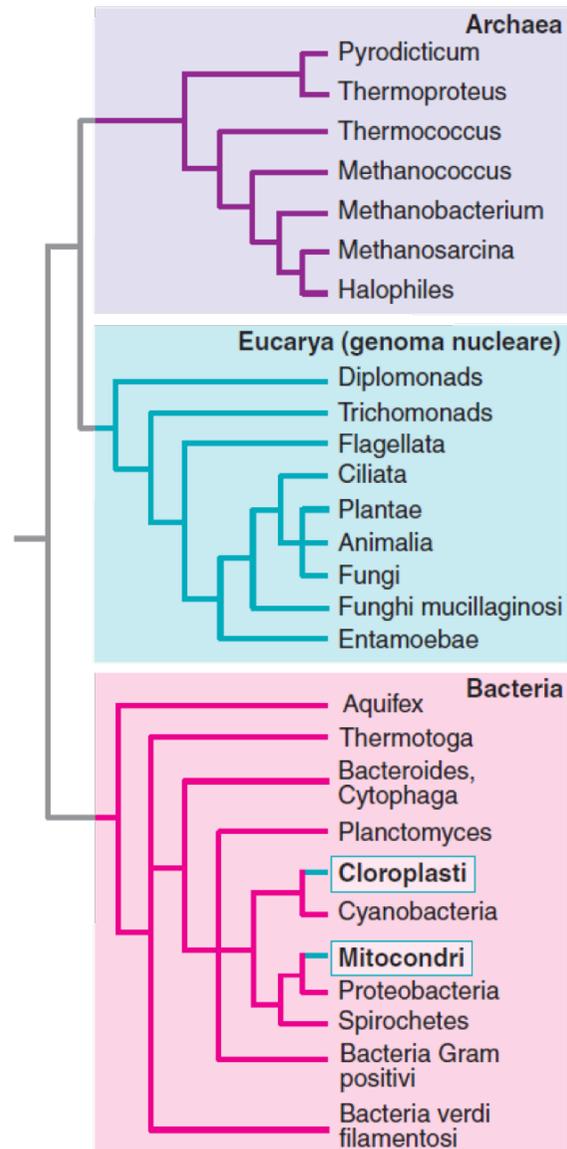


Figura 12.8 Stratigrafia dei generi dei cavalli dall'Eocene al presente. Sono mostrate le tendenze evolutive verso un aumento delle dimensioni corporee, una maggiore complessità dei molari e la riduzione del numero delle dita; le barre colorate indicano la durata temporale e la localizzazione continentale dei generi.

Discendenza comune

- *Tutte le forme viventi discendono da un antenato comune attraverso il ramificarsi di linee evolutive*
- *In teoria è possibile ricostruire l'albero genealogico di tutte le forme di vita (FILOGENESI)*
- ***DATO DI FATTO!!***

Discendenza comune: prove

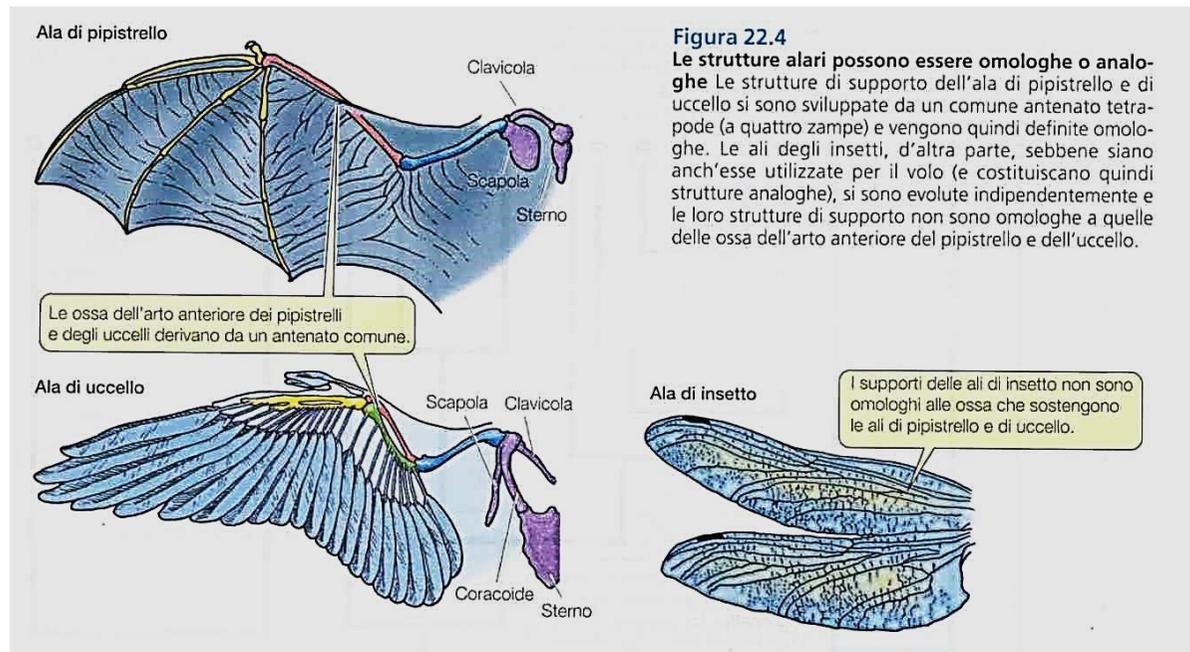


Discendenza comune: prove



- ***Omologo: lo stesso organo in organismi differenti, in ogni sua varietà di forma e funzione***
- ***Strutture omologhe sono ereditate da un antenato comune***

Discendenza comune: prove



- **Strutture analoghe svolgono funzioni simili in organismi differenti ma non sono omologhe (simili per funzione ma non per discendenza)**
- **Strutture analoghe non possono essere usate per ricostruire filogenesi**

Discendenza comune: prove

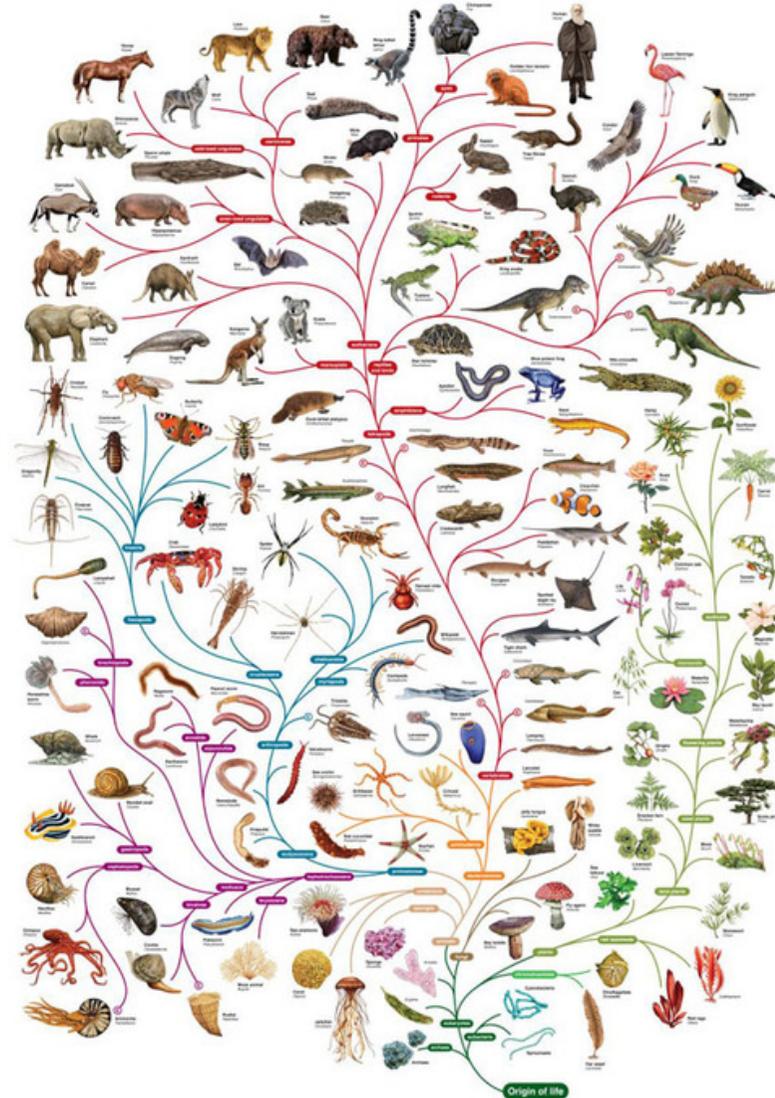
- *Ontogenesi (sviluppo embrionale)*
- *Macromolecole (proteine e DNA)*
- ...

Moltiplicazione delle specie

- *Evoluzione produce nuove specie suddividendo e trasformando quelle già esistenti*
- *Dibattito su dettagli dei meccanismi di speciazione e su definizione di specie, ma...*
- **DATO DI FATTO!!**

Moltiplicazione delle specie: prove

- *l'evoluzione progredisce per ramificazioni successive, con un aumento di diversità*
- *la variabilità individuale è alla base, nel tempo geologico, dei processi di speciazione*
- *l'isolamento riproduttivo tra popolazioni è il presupposto dei processi di speciazione (10^3 - 10^4 anni)*

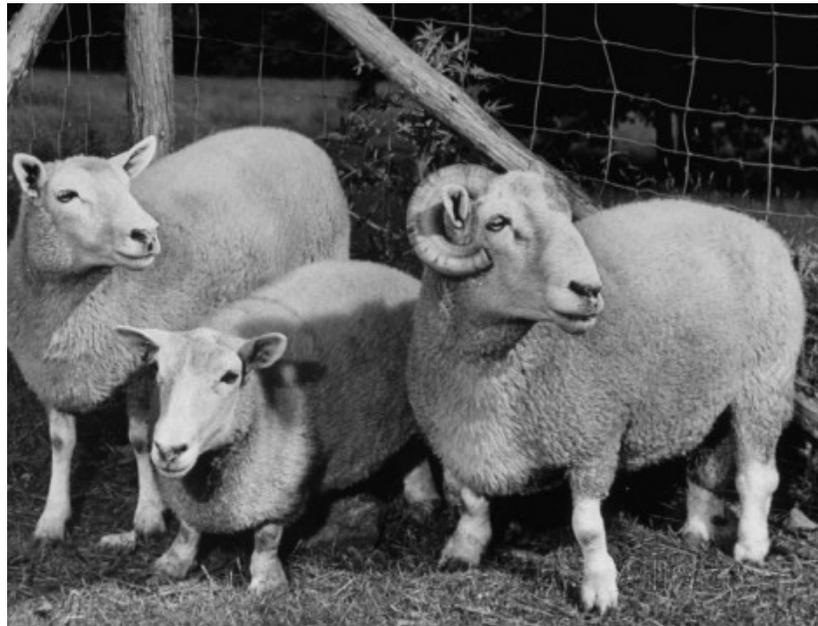


Gradualismo

- *Le grandi differenze nei caratteri anatomici si sono originate mediante l'accumulo di molti piccoli cambiamenti continui in un lungo periodo di tempo*
- *No origine improvvisa delle specie*
- *Piccole differenze sono il materiale “grezzo” su cui lavora l'evoluzione*
- *Parallelismo con Lyell (gradualismo)*
- *Punto dibattuto sia ai tempi di Darwin/Wallace che ora*

Gradualismo

- ***Contro il gradualismo: “anomalie” causate dagli allevatori***
- ***Esempio: pecore varietà ancon (singola mutazione nel 1791, America)***
- ***Problema: cosa succederebbe in natura??***



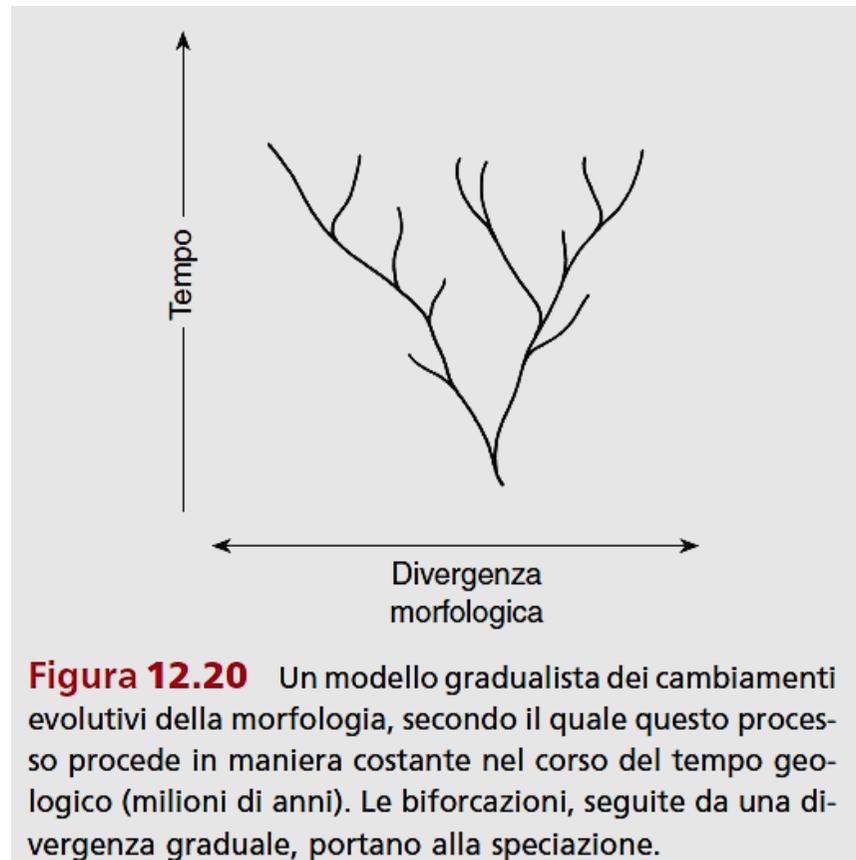
Gradualismo

- ***Contro il gradualismo: fringuello africano (*Pyrenestes ostrinus*)***
- ***Singola mutazione produce becco grande***
- ***Cambio della dieta (dimensione dei semi!)***



Gradualismo filetico vs equilibri punteggiati

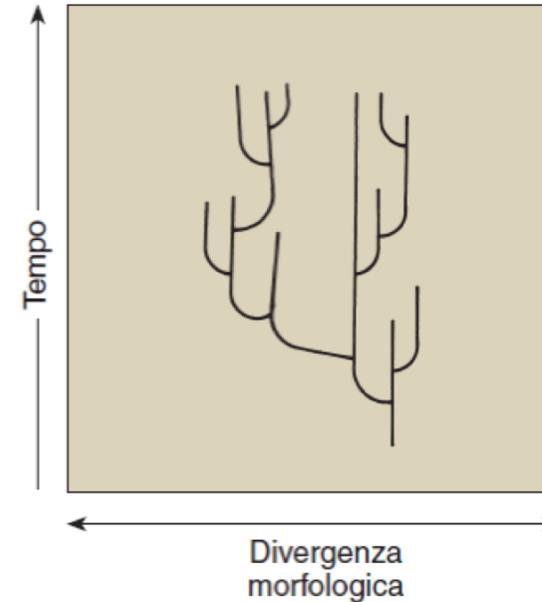
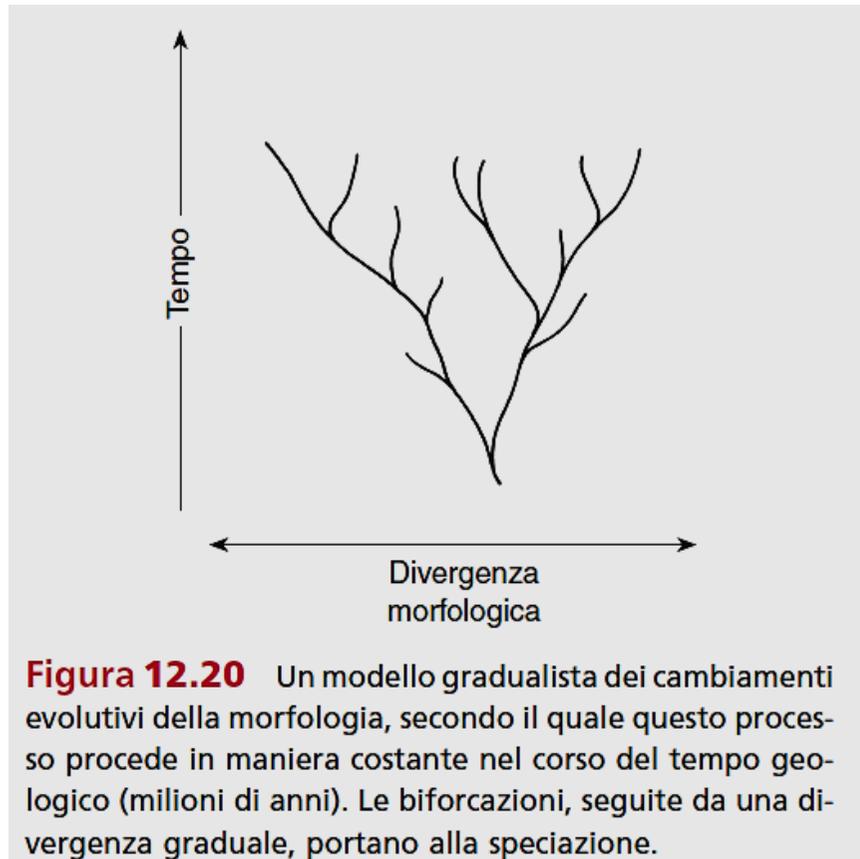
- *Lunga serie di forme intermedie che collegano forme intermedie e derivate*



Gradualismo filetico vs equilibri punteggiati

- *Record fossile sembra smentire, ma potrebbe essere compatibile con velocità di fossilizzazione*
- *Equilibri punteggiati (Eldredge & Gould 1972): cambiamenti fenotipici sono concentrati in periodi molto brevi, seguiti (e preceduti) da lunghi intervalli di stasi evolutiva*

Gradualismo filetico vs equilibri punteggiati

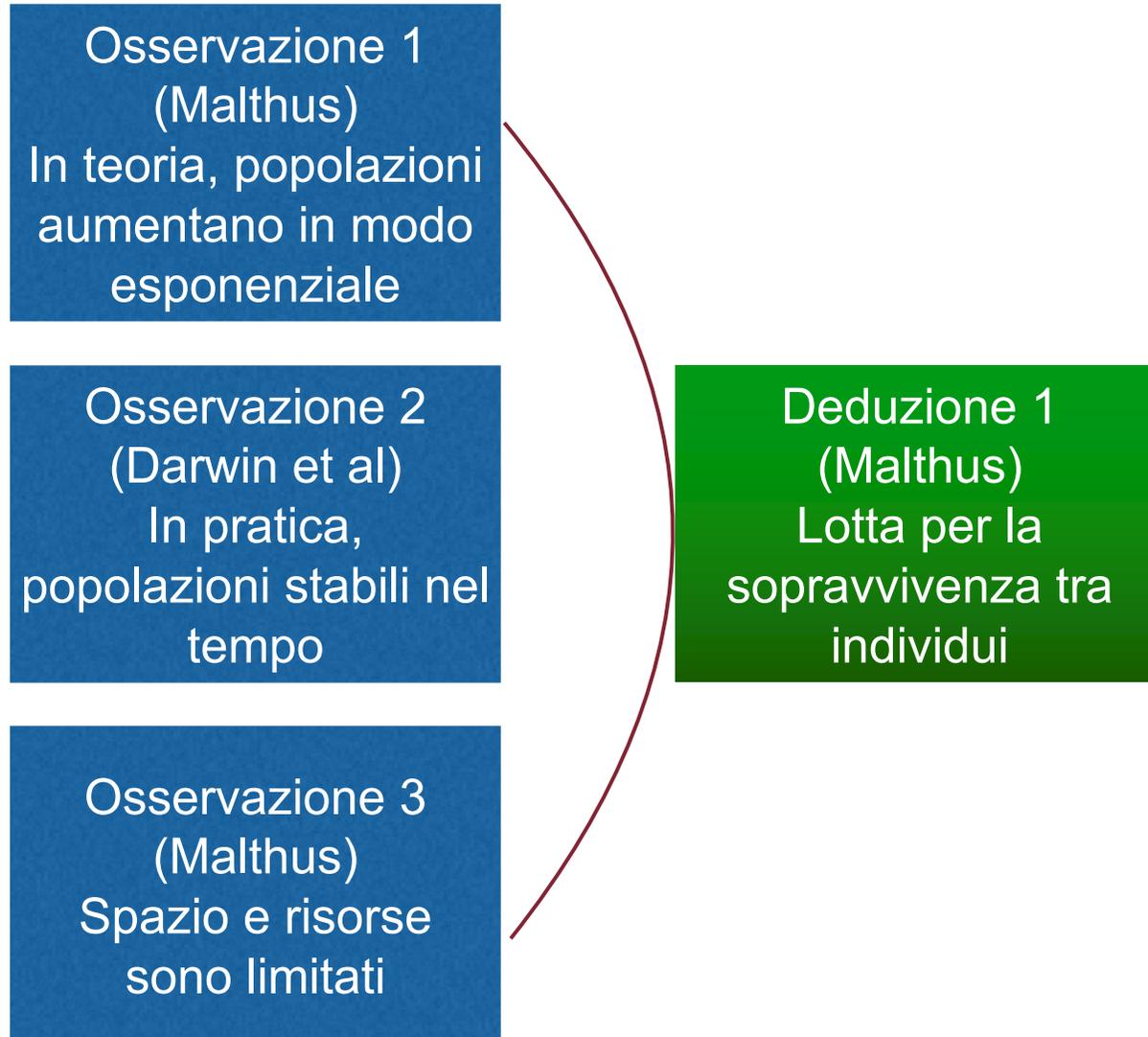


- ***Speciazione da 10,000 a 100,000 anni; vita di una specie 5/10 milioni di anni ==> speciazione è un "istante"***

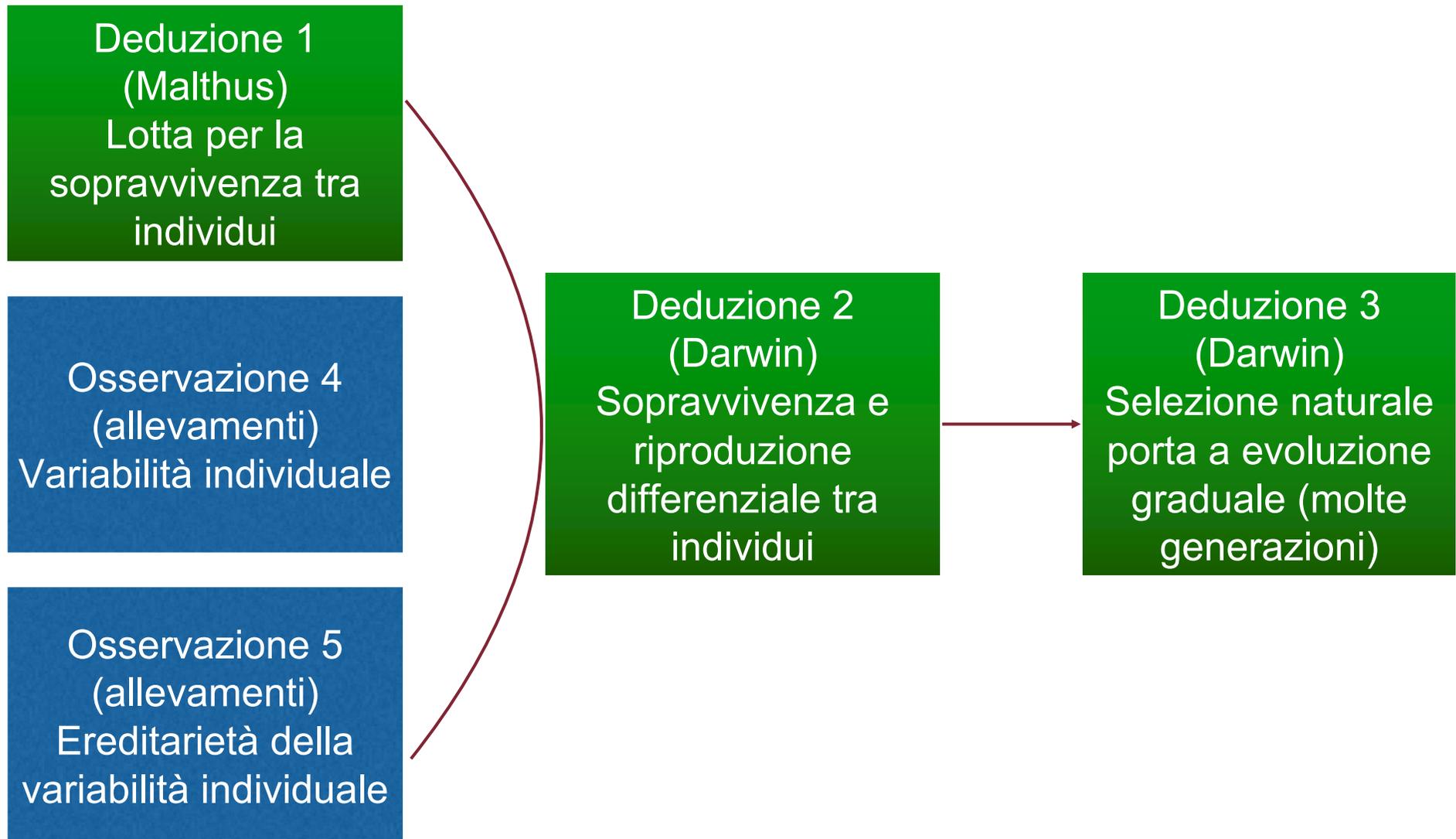
Selezione naturale

- *Teoria della selezione naturale spiega perché gli organismi sono plasmati per adeguarsi al proprio ambiente (ADATTAMENTO)*
- *Processo naturale di accumulo di caratteri favorevoli su un lungo periodo di tempo evolutivo*
- *Darwin sviluppa teoria su selezione naturale a partire da 5 osservazioni e 3 deduzioni principali*

Selezione naturale



Selezione naturale

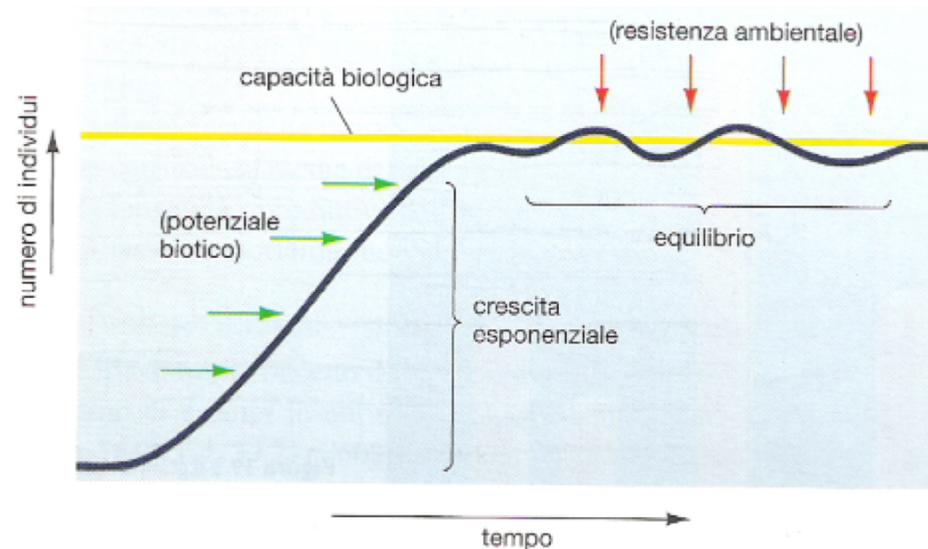


Osservazione 1

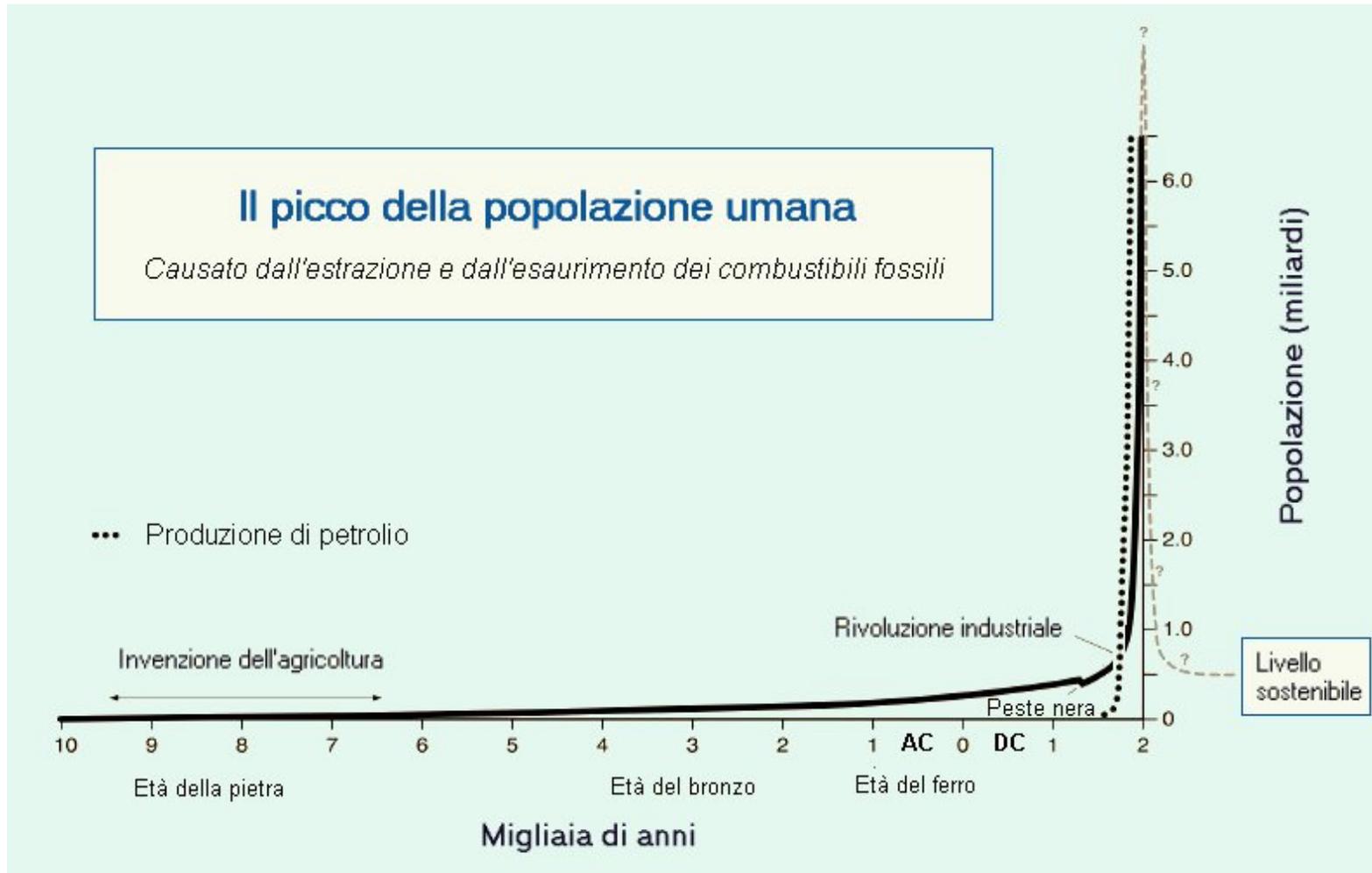
- *Gli organismi hanno alta fertilità potenziale*
- *Tutte le popolazioni producono un gran numero di gameti e potenzialmente un gran numero di nuovi individui*
- *Coppia di elefanti genera 6 figli (tra 30 e 90 anni): 19 milioni di discendenti in 750 anni!!*

Osservazione 2

- *Popolazioni naturali di solito costanti (piccole fluttuazioni)*
- *Nessuna popolazione mostra crescita esponenziale continua*



Osservazione 2



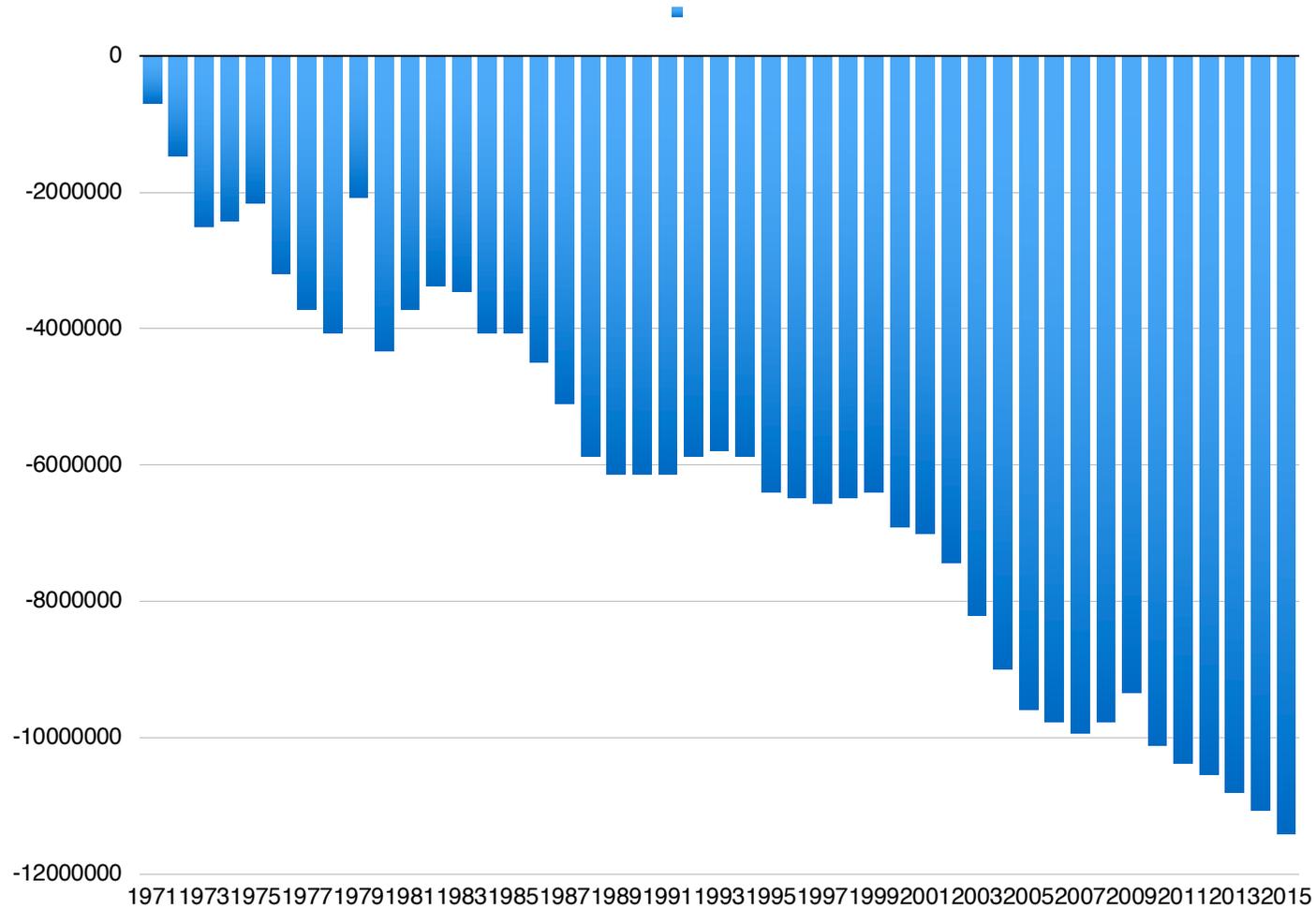
Osservazione 3

- *Risorse naturali sono limitate*
- *Earth overshoot day: 2 agosto 2017*



Osservazione 3

- *Earth overshoot day: 23 dicembre 1970*



Deduzione 1

- *Lotta per l'esistenza tra i membri di una popolazione*
- *I sopravvissuti sono solo una parte (spesso piccola) dei nati di ogni generazione*
- *Competizione per cibo, rifugio, spazio vitale, accoppiamento diventa sempre più dura all'aumentare del livello di sovrappopolamento*

Osservazione 4

- *Tutti gli organismi mostrano variazioni*
- *Dimensioni, morfologia, comportamento, genetica, ...*

Osservazione 5

- *La variazione è ereditaria*
- *I figli assomigliano ai genitori più di quanto non assomiglino ad altri individui presi a caso*
- *Fino a Gregor Mendel non si sapeva perché!*

Deduzione 2

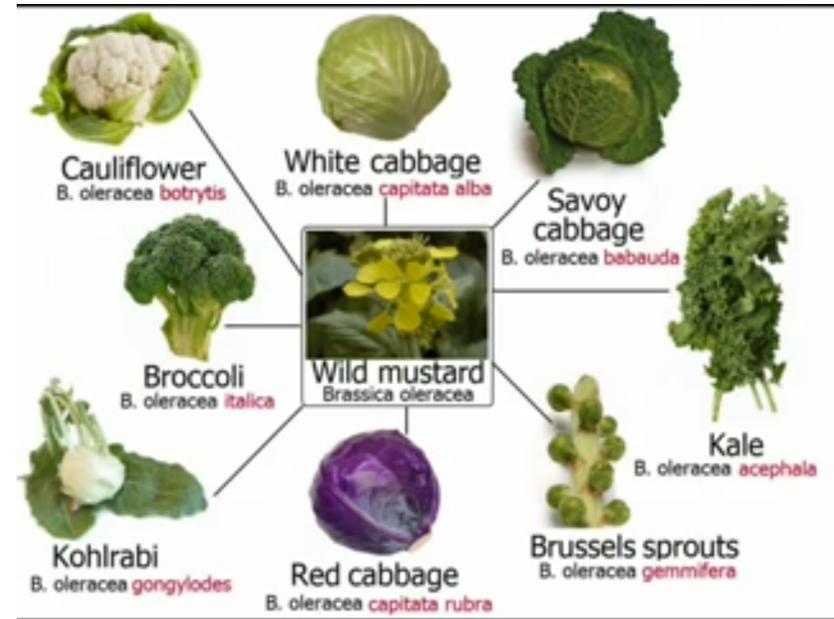
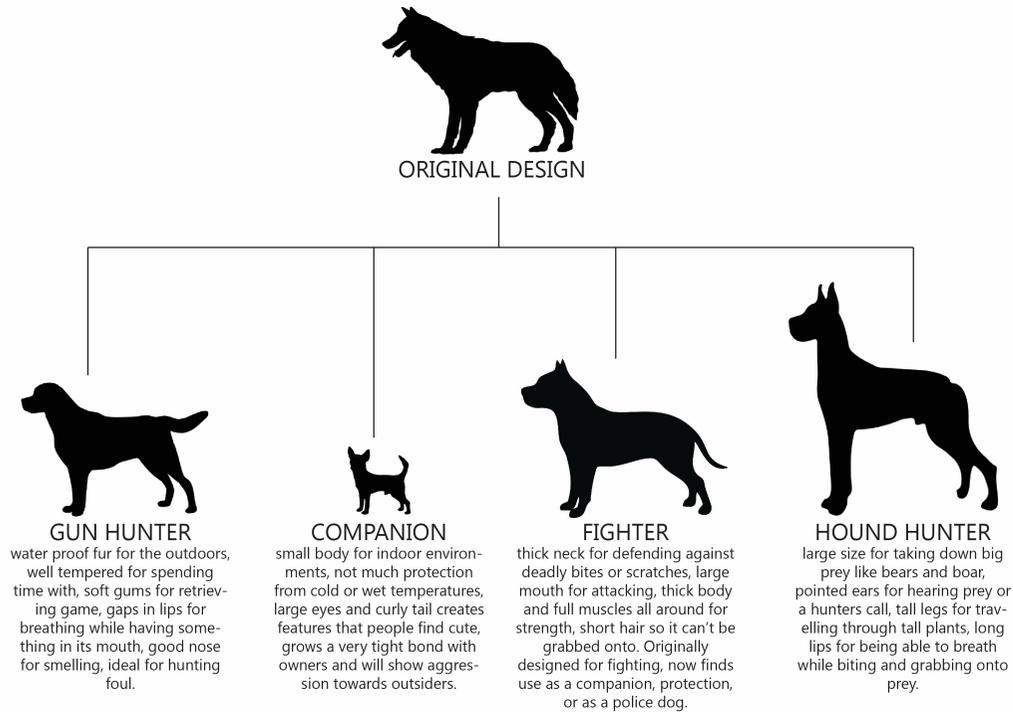
- *Individui diversi presentano tassi di riproduzione e sopravvivenza diversi*
- *Nella lotta per l'esistenza la sopravvivenza non è casuale ma dipende dalla variazione individuale*
- *Anche riproduzione non è casuale*

Deduzione 3

- *La selezione naturale genera nuovi adattamenti e nuove specie (nell'arco di molte generazioni)*
- *Riproduzione differenziale di individui diversi general nel tempo la trasformazione delle specie*
- *Esempi molto numerosi da allevamento*
- *Se selezione artificiale è così potente, selezione naturale (più tempo!!) deve essere molto più potente*

Deduzione 3

ARTIFICIAL SELECTION



Deduzione 3

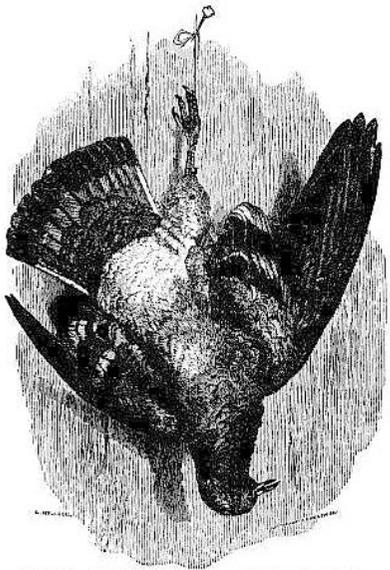


Fig. 17.—The Rock-Pigeon, or *Columba livia*.
The parent-form of all domesticated Pigeons.

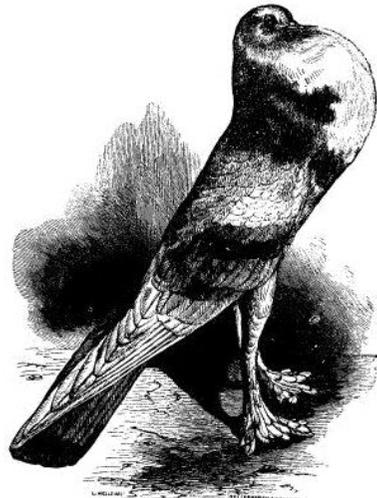


Fig. 18.—English Pouter.

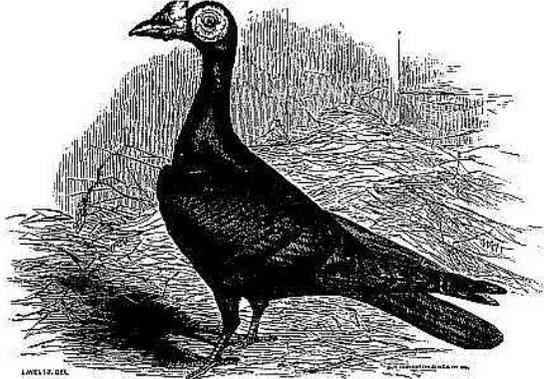


Fig. 19.—English Carrier.

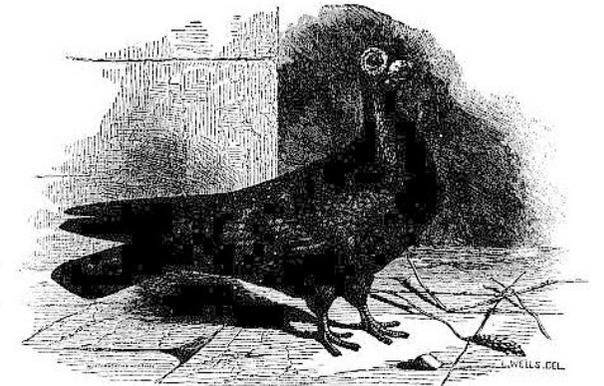


Fig. 20.—English Barb.

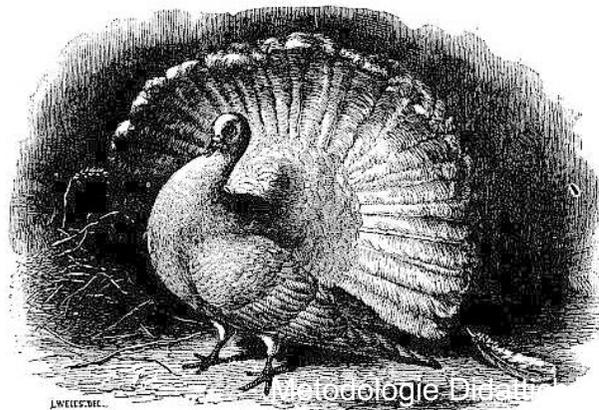


Fig. 21.—English Fantail.

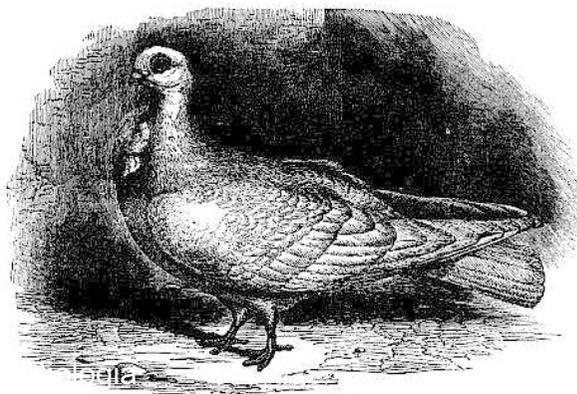


Fig. 22.—African Owl.

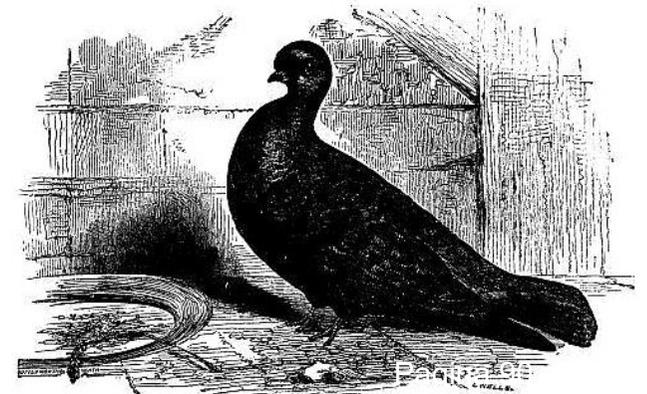
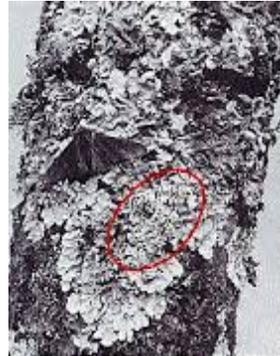


Fig. 23.—Short-faced English Tumbler.

Selezione naturale: prove

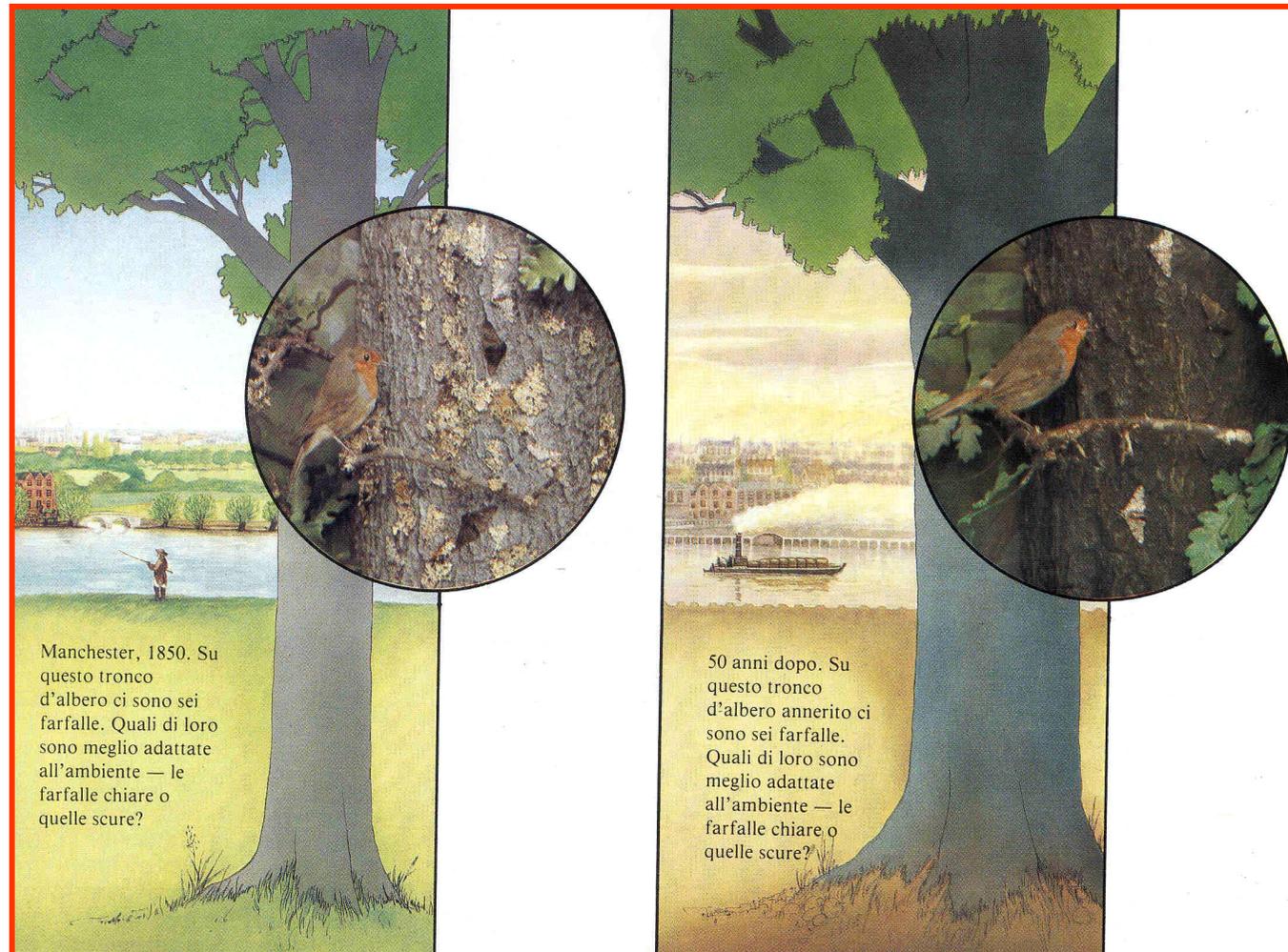
- *Numerosi esempi a supporto*
- *Resistenza agli insetticidi, resistenza agli antibiotici*
- *Esempio classico: *Biston betularia**

Selezione naturale: prove

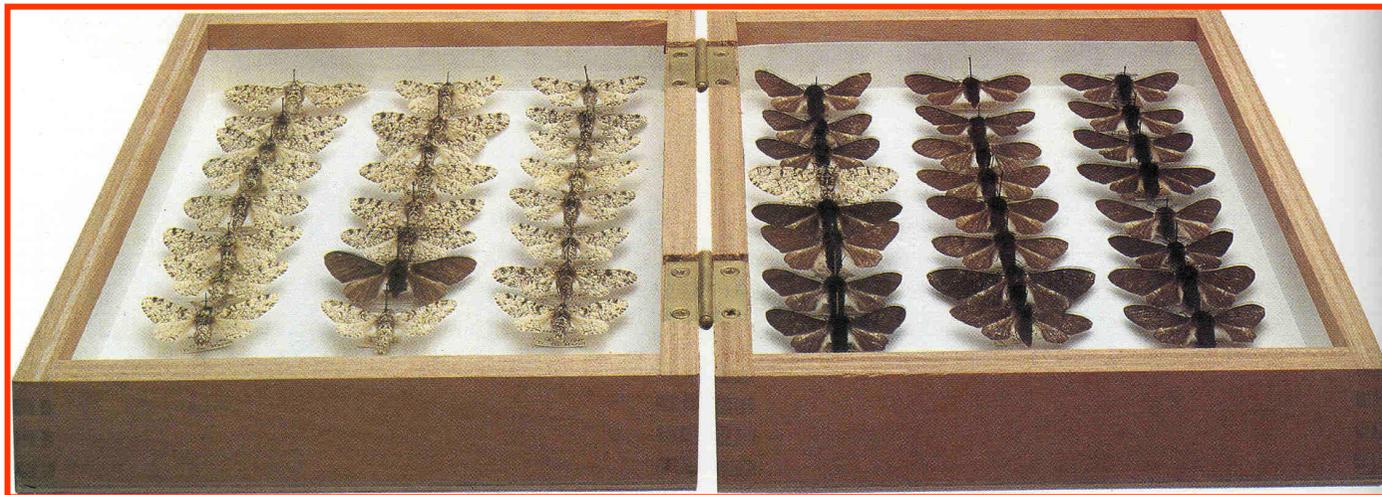
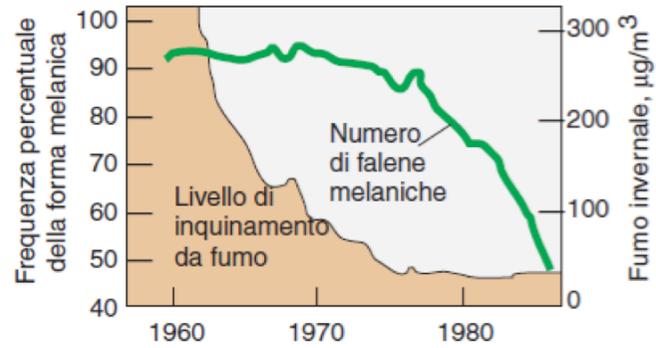


- **<1850: falene bianche (criptiche)**
- **1849: compare forma melanica (mutazione)**
- **1900: forma melanica 98% della popolazione di falene**
- **fattore di selezione: predazione (uccelli) nelle ore diurne come fattore di selezione**

Selezione naturale: prove

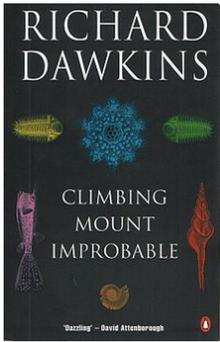


Selezione naturale: prove

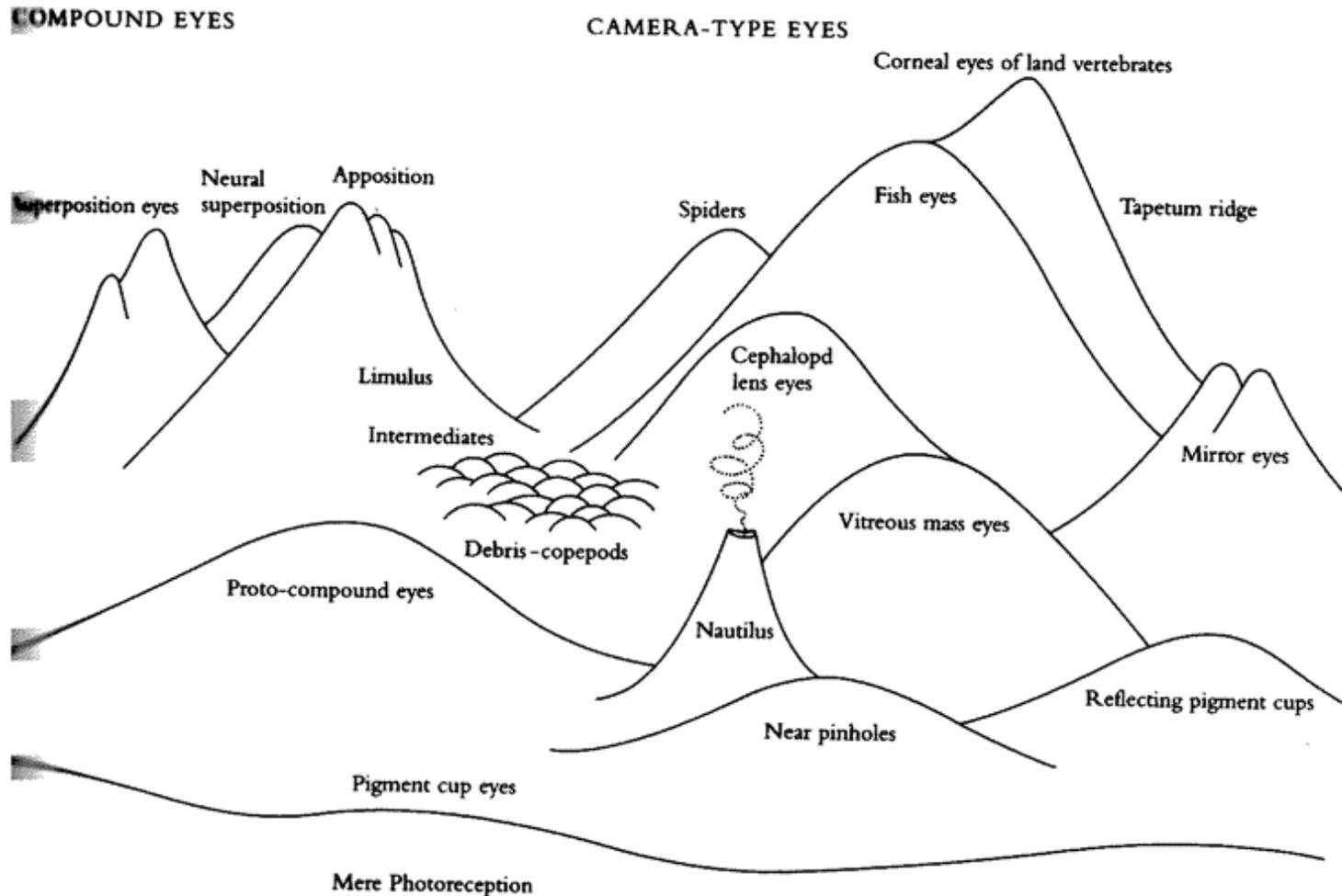


Selezione naturale: critiche

- *Come può la selezione naturale creare nuove specie se i cambiamenti sono piccoli e gradualisti?*
- *Come può “mezzo occhio” essere utile e selezionato?*
- *Come può “mezza ala” servire a qualcosa e quindi essere selezionata?*



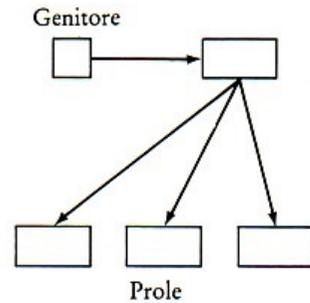
Climbing mount improbable (Richard Dawkins)



Darwinismo vs trasformismo

LAMARCKISMO

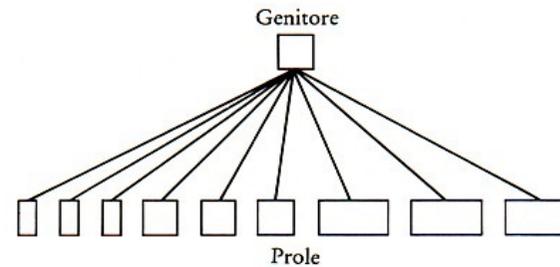
1. Un genitore (quadrato), mediante i propri sforzi, provoca un cambiamento della propria forma verso una configurazione più vantaggiosa (rettangolo).



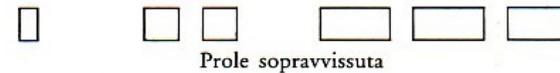
2. La prole eredita il carattere acquisito, realizzando così un'evoluzione adattativa diretta.

Ereditarietà dei caratteri acquisiti

DARWINISMO



1. La prole varia e questa variazione è casuale (il numero dei varianti in direzioni vantaggiose e svantaggiose è uguale).



2. Solo una parte della prole sopravvive; mediamente la prole con caratteri vantaggiosi sopravvive di più; la media della popolazione risulta così spostata in direzione dell'adattamento (concetto di selezione naturale).

L'evoluzione necessita di due componenti: la variabilità e la selezione naturale.