

The background is a solid yellow color. It features several faint, stylized silhouettes of animals and a tree. In the top left, there is a lizard-like creature with a curled tail. In the top right, there is a cat-like animal with large eyes. In the bottom left, there is a large, stylized animal head with a wide smile. In the bottom right, there is a tree with a rounded canopy and a trunk. The silhouettes are rendered in a light yellow or cream color, matching the background.

# L'evoluzione

Anche la Natura ha una storia

# Come è nata l'idea di evoluzione

Un tempo si credeva che ogni specie fosse stata creata così come la vediamo

Ma dal XVI secolo le cose cominciarono a mutare:

- × Le grandi esplorazioni portarono alla scoperta e alla descrizione di specie mai viste
- × Nel XVIII sec. confrontando le strutture anatomiche di vari mammiferi e dell'uomo si scoprirono sorprendenti somiglianze

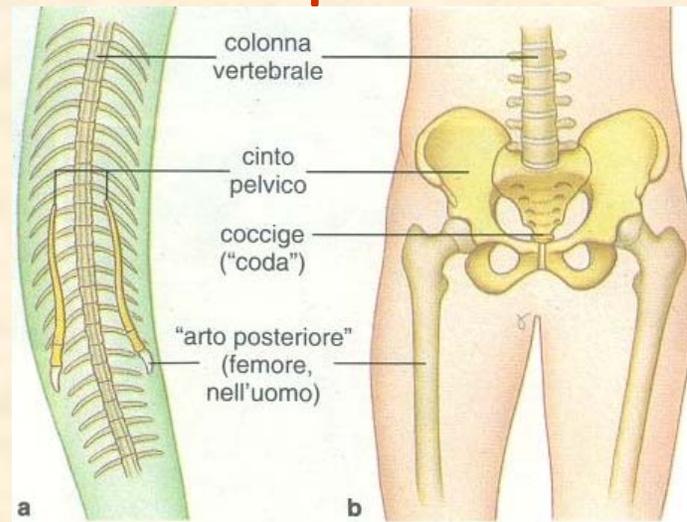
Tuttavia il racconto biblico della creazione continuava ad essere la spiegazione predominante

**Linneo : *Tot sunt species quot ab initio creavit Infinitum Ens***

# Ma in seguito si presentarono altre "scomode" domande. Alcuni esempi

Come si spiega che esistono a volte parti del corpo che non sembrano avere alcuna funzione?

1. certi serpenti possiedono alcune ossa che corrispondono al cingolo pelvico.
  - ◆ Che cosa ci stanno a fare se questi sono stati creati secondo un progetto perfetto che non prevedeva la presenza di arti?

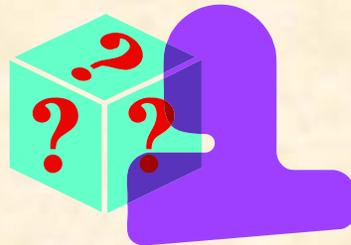


2. gli esseri umani possiedono, all'estremità inferiore della colonna vertebrale, alcune ossa simili a quelle presenti nella coda di altri animali.  
A che cosa servono dei "pezzi" di coda in un corpo umano?

*resti o impronte di organismi che sono vissuti in passato*

# I FOSSILI

- × NEL XVIII secolo, i geologi avevano iniziato a cartografare gli strati orizzontali di rocce sedimentarie depositati a poco a poco l'uno sull'altro.
- × *Strati diversi contenevano tipi diversi di fossili*
  - ◆ negli strati rocciosi più profondi di molte parti del mondo furono trovati fossili di organismi marini molto semplici, mentre negli strati sovrastanti i fossili diventano via via più complessi fino ad assomigliare alle forme attualmente viventi



The background is a solid yellow color. It features several faint, stylized silhouettes of animals: a lizard in the top left, a monkey in the top right, a bear in the bottom left, a smiling face in the bottom center, and a fish in the bottom right. The text is centered on the page.

# Come spiegare queste osservazioni?

Ecco alcuni tentativi



# Georges-Louis-Leclerc Buffon (1707-1788) naturalista francese

autore di numerose opere fra cui *Teoria della terra* (1749) e *Le epoche della natura* (1778)

Buffon mise in crisi il paradigma fissista, sostenendo che era necessario reinterpretare la Bibbia alla luce delle nuove scoperte scientifiche:

- *... Più sono penetrato nel seno della Natura, e più ho ammirato e profondamente rispettato il suo Autore; ma un rispetto cieco sarebbe superstizione: la vera religione richiede un rispetto illuminato...* (da *Teoria della Natura*, trad. it. Roma, Theoria, 1985)
- × Ipotizza che le specie possano non essere imm modificabili nel tempo, e aver avuto origine contemporaneamente in più luoghi



# Jean-Baptiste Monet de Lamarck

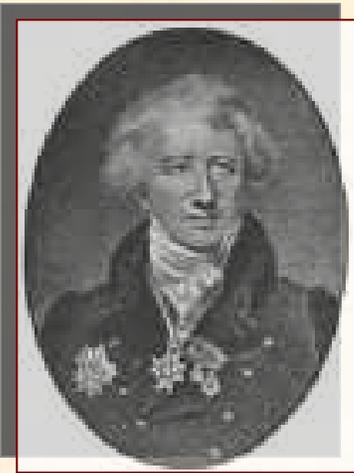
(1744-1829)

- × La problematica evoluzionistica cominciò a comparire nei suoi scritti nei primi anni dell'800 nel trattato *Filosofia zoologica*.

Lamarck ipotizza che:

- × I viventi siano un prodotto della natura, che li ha formati in tempi successivi;
  - Gli organismi più semplici si originano dalla materia inanimata e la loro complessità di organizzazione progredisce mano a mano che le circostanze li favoriscono
- × L'ambiente determina un graduale sviluppo degli organi: quando gli animali sono sottoposti a mutamenti ambientali, i loro fluidi organici (la linfa, il sangue) si dirigono nella zona del corpo dove possono esplicare un'azione adatta a quel bisogno; in questo modo alcuni organi possono svilupparsi, altri regredire, e l'animale va incontro a continue, lente trasformazioni (legge dell'uso o non uso)
- × Ogni variazione è quindi sempre adattativa e i cambiamenti comparsi vengono trasmessi ai discendenti (eredità dei caratteri acquisiti)

Le specie non sono fisse ma in continua, incessante evoluzione.



# Georges L. Chretien Cuvier (1769-1823)

## Teoria delle catastrofi

si schierò contro le idee di Lamarck

non poteva accettare l'idea stessa  
dell'evoluzione

Ma...

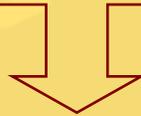
Per spiegare l'esistenza di resti fossili  
di organismi diversi da quelli attuali  
e quindi conciliare i dati della  
paleontologia con le parole della  
**Bibbia** propose una sua teoria.

- x Nel corso della storia della Terra alcune *catastrofi* improvvise e violente che avrebbero estinto le specie di vaste regioni.
- x Queste zone sarebbero successivamente ripopolate da altre specie provenienti da regioni limitrofe.

# Charles Darwin

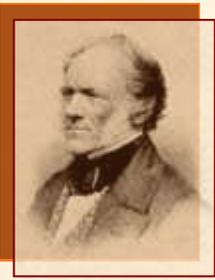
(1809-1882)

La straordinaria storia di Darwin: vedi note



# Il viaggio del Beagle

- × Nell'agosto del 1831 Henslow, insegnante di botanica a Cambridge e caro amico di Darwin, gli propose di accettare un incarico come naturalista a bordo del brigantino **Beagle**.
- × Iniziò un viaggio intorno al mondo che durò cinque anni (gran parte dei quali furono spesi lungo le coste del Sudamerica)
- × Darwin ebbe ampia possibilità di studiare le piante e gli animali di quelle località e meditare a fondo su una nuova ipotesi avanzata dal geologo **Charles Lyell (1797-1875)**.



# Charles Lyell (1797-1875)

- × I suoi *Principi di Geologia* (1831-1833) sono una pietra miliare delle Scienze della Terra, e hanno contribuito alla "conquista del tempo profondo", la consapevolezza dell'abisso di tempo che ci separa dai primi momenti di formazione della terra
- × Ai suoi tempi, l'idea prevalente circa l'età della Terra era che questa avesse meno di 6000 anni; era ben difficile immaginare come le molte migliaia di specie allora conosciute avessero potuto evolvere in così poco tempo
- × *Ma Lyell pensava che : "... dai tempi più remoti a cui può spingersi il nostro sguardo fino al presente hanno agito solo e senza eccezione le cause tuttora operanti e mai con gradi di energia diversi da quelli attuali ..."*
  - In questo modo minò la **teoria dei cataclismi**, mettendo in luce come nelle rocce del passato si potessero leggere eventi atmosferici e geologici non dissimili da quelli che ancora oggi, quotidianamente, avvengono.
- × *Se l'ipotesi di Lyell era corretta, c'era stato tempo sufficiente a permettere un'evoluzione delle specie*

The background is a solid yellow color. It features several faint, stylized silhouettes of animals and objects. In the top left, there is a lizard-like creature with a curled tail. In the top right, there is a monkey-like animal hanging from a branch. In the bottom left, there is a large, spiky creature with a smiling face. In the bottom right, there is a fish-like creature with a smiling face and a tree-like structure above it. The text is centered in the middle of the page.

Altre osservazioni fatte da  
Darwin

# Gli armadilli e i fringuelli

- x tra i fossili raccolti da Darwin in Argentina vi erano resti di animali estinti che somigliavano chiaramente agli attuali armadilli
- x Darwin si chiese se in qualche modo la forma più antica non avesse dato origine a quella attuale
- x Darwin cominciò a sospettare che *l'isolamento geografico* avesse un ruolo nell'evoluzione e nella diversità delle specie perché le isole Galapagos si trovano a circa 1000 km al largo delle coste dell'Ecuador
  - ciascun gruppetto di isole presenta specie particolari, tra cui differenti specie di fringuelli *che* assomigliano tutte a una specie che vive unicamente sulla costa occidentale del Sudamerica.



???

# Fringuelli delle Galapagos



- × **Esempi di forme diverse del becco in specie differenti di fringuelli delle isole Galapagos.** Le specie di fringuelli che sono presenti su queste isole sarebbero tutte derivate da una specie comune, terricola, che si nutriva di semi.

# Ma come possono avvenire i cambiamenti e lo sviluppo di nuove specie?

Darwin lesse un saggio sulla popolazione di Thomas Malthus, 1798.

- *La vita è una lotta per la sopravvivenza*
  - ◆ *Secondo Malthus, ogni popolazione umana tende a crescere fino al punto di superare le effettive disponibilità di cibo, per cui i suoi componenti sono costretti a competere tra loro*
- Applicando questa teoria ai fringuelli se ne può dedurre che una differenza in caratteri, come ad esempio la dimensione e la forma del becco, poteva comportare una differente capacità nell'attingere alle risorse disponibili.
- quindi individui nati con qualche carattere favorevole, risultano avvantaggiati per quanto riguarda la possibilità di sopravvivere e di riprodursi

# Darwin formulò la teoria della **selezione naturale**

- × *La natura seleziona gli individui dotati di caratteri favorevoli, mentre elimina gli altri in tal modo. una popolazione può modificarsi.*
- × Gli individui favoriti nella selezione trasmettono infatti i caratteri vantaggiosi alla loro prole, la quale a sua volta li trasmette alla generazione successiva.

gli individui non evolvono- ma le popolazioni evolvono

*una popolazione è un gruppo di individui appartenenti alla stessa specie e presenti in una data area.*

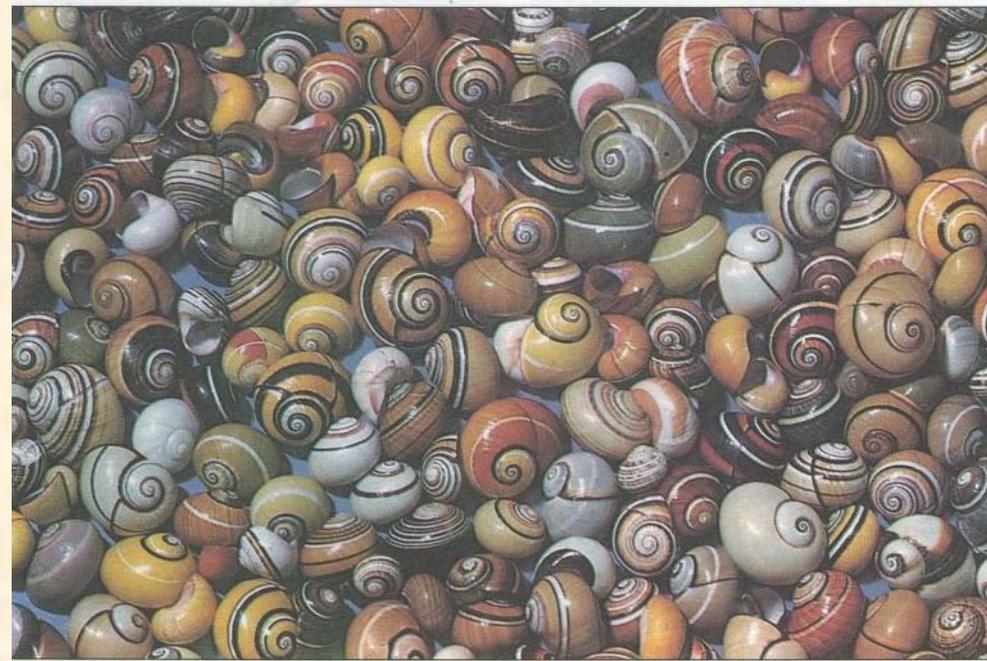
gli individui della stessa popolazione hanno in comune un certo numero di caratteri

- ❑ *caratteri morfologici*
- ❑ *caratteri fisiologici*
- ❑ *caratteri comportamentali.*

*le manifestazioni dei vari caratteri non sono però identiche da individuo a individuo*

# Variabilità delle chioccioline

- × Tutti gli individui di una data specie hanno lo stesso numero di geni nei loro cromosomi, ma, di quei cromosomi, sono possibili diverse forme alternative (**alleli**).
- × Le differenze nei caratteri sono conseguenza delle combinazioni estremamente diverse di **alleli** presenti nei diversi componenti della popolazione.



- × le variazioni nei caratteri sono -almeno in parte- *ereditarie*

→ **fenotipi** differenti

Le differenze nei caratteri che si riscontrano tra gli individui di una popolazione sono conseguenza di vari fattori :

1. La mutazione genica.
2. Le variazioni anormali nella struttura o nel numero dei cromosomi.
3. Il crossing over o la ricombinazione genetica durante la meiosi.
4. L'assortimento indipendente dei cromosomi nella meiosi.
5. La fecondazione tra gameti geneticamente diversi.

*solo la mutazione dà origine a nuove forme di geni*

*Gli altri eventi non fanno altro che mescolare secondo nuove combinazioni, nei nuovi individui, geni già esistenti.*

# L'equilibrio genetico

- × Ogni chiocciola ha un doppio corredo cromosomico, ossia due cromosomi di ciascun tipo e, pertanto, ha due geni per ogni locus, uno su un cromosoma e l'altro sul cromosoma omologo.
- × Supponiamo che, di un gene di una chiocciola, un allele codifichi per il colore giallo della conchiglia e un altro allele codifichi invece per il colore bianco.
- × Se, nel corso delle generazioni, varia la percentuale del numero delle chioccioline che hanno la conchiglia bianca, evidentemente varia anche la frequenza degli alleli per il colore bianco. Questo significa che, per questo carattere è in atto un processo evolutivo. Se invece il numero delle chioccioline con la conchiglia bianca resta costante nel tempo, anche la frequenza allelica per il bianco resta costante; in tal caso, per questo allele si ha **equilibrio genetico**: l'evoluzione è nulla.

La frequenza di un allele in una popolazione in condizioni di equilibrio genetico viene espressa da una legge, la legge di Hardy-Weinberg

*Tuttavia, in natura l'equilibrio genetico è praticamente impossibile.*

# Legge di Hardy-Weinberg

Nel 1908, G. H. Hardy e W. Weinberg definirono popolazione in equilibrio: una popolazione all'interno della quale né le frequenze alleliche né la distribuzione dei genotipi mutano col succedersi delle generazioni.

Non modificandosi le frequenze degli alleli, non si ha evoluzione.

Una popolazione resta in equilibrio solo se in essa si verificano alcune condizioni restrittive:

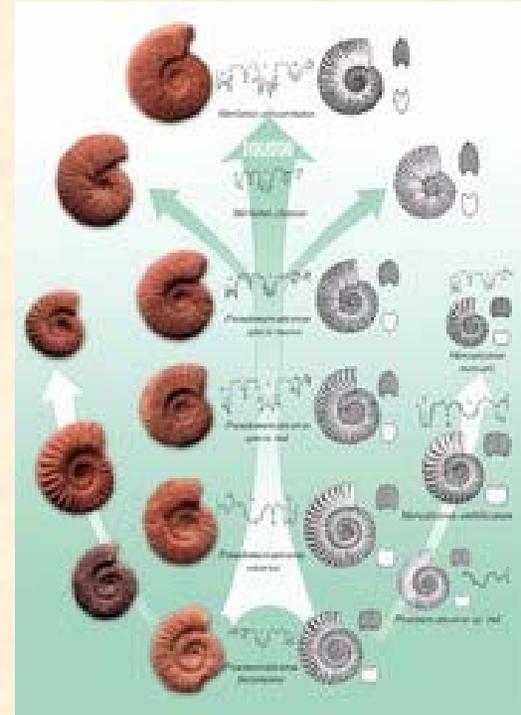
- × non debbono verificarsi mutazioni;
- × non deve verificarsi un flusso di geni tra popolazioni, cioè non deve esserci una migrazione netta di alleli verso l'interno della popolazione (immigrazione) o verso l'esterno (emigrazione);
- × la popolazione dev'essere ampia (teoricamente infinita);
- × gli accoppiamenti devono essere casuali;
- × non si deve verificare selezione naturale, vale a dire tutti i genotipi devono possedere le stesse capacità adattative e riproduttive.

Soddisfatte queste condizioni; le frequenze alleliche entro una popolazione rimarranno costanti per un periodo di tempo indefinito.

Il venir meno di una o più di queste condizioni determina un cambiamento delle frequenze alleliche, cioè un'evoluzione.

# La microevoluzione

- × Le variazioni nelle frequenze alleliche provocate dalle *mutazioni*, dalla *deriva genetica*, dal *flusso genico* e dalla *selezione naturale* hanno effetti direttamente osservabili e costituiscono la cosiddetta **microevoluzione**



# Principali processi microevolutivi

- x **Mutazione** *Una variazione ereditaria nel tipo, struttura, sequenza o numero dei componenti del DNA*
- x **Deriva genetica** *Una fluttuazione casuale nel corso del tempo delle frequenze alleliche, dovuta unicamente ad avvenimenti del tutto casuali*
- x **Flusso genico** *Una variazione nelle frequenze alleliche in seguito a emigrazioni o a immigrazioni*
- x **Selezione naturale** *Una variazione o una stabilizzazione delle frequenze alleliche dovute alla diversa possibilità degli individui di una popolazione di sopravvivere e di riprodursi*

# La mutazione

- ✘ *è una variazione ereditaria nel tipo, nella struttura, nella sequenza o nel numero dei componenti del DNA.*
  - ❑ *Le mutazioni sono la fonte di tutte le differenze genotipiche*
  - ❑ *sono fenomeni casuali sia per quanto riguarda il momento, sia per i geni che colpiscono.*
  - ❑ *è del tutto casuale che una data mutazione sia dannosa o vantaggiosa per l'individuo.*
  - ❑ *La maggior parte delle mutazioni è dannosa*

## deriva genica :

### × L'effetto del fondatore:

- Si verifica quando una piccola popolazione, che si separa da una più grande, ha un pool genico differente da quella del gruppo originario.

### × Collo di bottiglia:

- Si verifica quando una popolazione viene drasticamente ridotta di numero da eventi non collegati con la selezione naturale

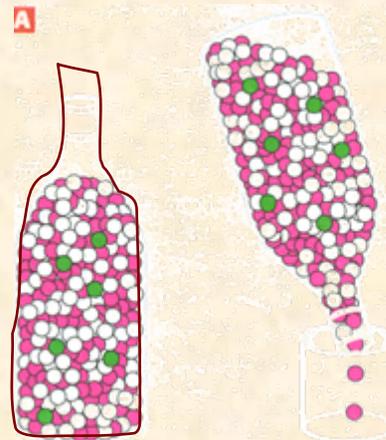
# La deriva genetica

× *le frequenze alleliche variano in modo del tutto casuale nel corso delle generazioni. in conseguenza di eventi del tutto fortuiti.*

□ Questo fenomeno, detto **deriva genetica**, è rapido soprattutto nelle popolazioni poco numerose poichè in esse un evento fortuito può avere effetti tali da modificare il pool genico.

× Effetto del collo di bottiglia:

□ una malattia, una forte carestia o qualche altra situazione particolarmente grave riduce quasi completamente una popolazione numerosa e, anche se a poco a poco la popolazione si ricostituisce, le frequenze relative degli alleli sono state modificate in modo del tutto casuale



Vedi es.in nota

# Effetto del fondatore

## × Effetto del fondatore

- una popolazione è rifondata da pochi individui- e ha il pool genico uniforme in dipendenza dal fondatore
- fringuelli delle Galapagos

esempi sull'uomo

× Gli "ammutinati" del Bounty

× Gli Amish

Vedi es.in nota

# Il flusso genico

- × Il flusso genico è il movimento di alleli verso l'interno o l'esterno di una popolazione a causa dell'immigrazione o dell'emigrazione di individui in età riproduttiva.
  - Le frequenze alleliche cambiano quando alcuni individui lasciano una popolazione (*emigrazione*) o nuovi individui entrano a fame parte (*immigrazione*).
- × Questo processo microevolutivo, denominato **flusso genico**, tende a ridurre le differenze genetiche tra le diverse popolazioni di una stessa specie.

# La selezione naturale

- × La selezione naturale è il più importante processo microevolutivo
- × La selezione naturale è il fenomeno per cui organismi della stessa specie con caratteristiche differenti hanno, in un dato ambiente, un diverso successo riproduttivo, e quindi le caratteristiche "avvantaggiate" tendono a divenire più frequenti di generazione in generazione.
  - Si ha selezione perché gli individui hanno diversa capacità di utilizzare le risorse dell'ambiente e di sfuggire a pericoli presenti (predatori, avversità climatiche etc.)
- × infatti le risorse a disposizione sono limitate, e ogni popolazione tende ad incrementare la sua consistenza in progressione geometrica, per cui **i cospecifici competono per le risorse** (non solo alimentari).

# Le osservazioni di Darwin

- × Le popolazioni naturali hanno un enorme potenziale riproduttivo; ciò nonostante, le dimensioni delle popolazioni tendono a rimanere più o meno costanti nel tempo.

- × La limitata disponibilità di risorse pone un limite alla crescita delle popolazioni

Quando una popolazione cresce e le risorse non sono sufficienti a garantire a tutti gli individui la sopravvivenza, tra essi si instaura necessariamente una competizione per le risorse disponibili. A causa di tale competizione, solo alcuni dei nuovi nati riescono a sopravvivere e a riprodursi.

# conclusioni

x I vari membri di una popolazione naturale presentano ampie differenze nei loro caratteri

x molte di queste variazioni hanno una base genetica ereditaria.

Alcuni caratteri ereditari hanno un valore adattativo maggiore di altri; essi danno quindi agli individui che li posseggono un vantaggio per quanto riguarda le possibilità di sopravvivere e di riprodursi in quel dato ambiente.

Pertanto, nel corso delle generazioni, i portatori dei caratteri con maggiore valore adattativo lasciano più discendenti. Questa tendenza comporta un aumento nella popolazione della frequenza dei caratteri vantaggiosi.

Nel corso delle generazioni, man mano che le frequenze di certi caratteri ereditari aumentano e quelle di altri diminuiscono o si annullano, le caratteristiche della popolazione cambiano, ossia la popolazione evolve.

# La selezione può essere

## x Selezione stabilizzante

- Consiste nell'eliminazione degli individui di una popolazione che presentano caratteri estremi.

## x Selezione divergente

- In una popolazione aumenta la frequenza dei caratteri estremi a spese di quelli intermedi.

## x Selezione direzionale

- Tende a sostituire nel pool genico un allele (o un gruppo di alleli) con un altro.

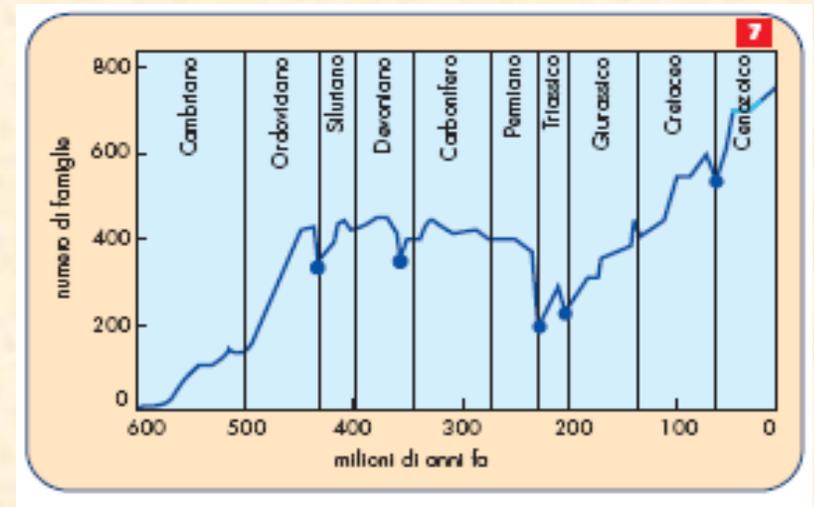
## x Selezione sessuale

- Consiste nella lotta tra membri di un sesso (di solito maschile) per la conquista dell'altro sesso. Questo tipo di selezione genera il dimorfismo sessuale fenomeno che riguarda le differenze tra maschi e femmine nella modalità di procurarsi un compagno (diversa modalità di "attirare l'attenzione").

# "selezione stabilizzante" e "selezione direzionale".

× Quando la selezione mantiene lo *statu quo* esistente, si parla di "selezione stabilizzante" mentre quando determina evoluzione essa è detta "selezione direzionale".

i fatti dimostrano che non esiste alcuna direzione necessaria dell'evoluzione.



*Il diagramma, relativo agli organismi che hanno popolato i mari della Terra dall'inizio del Paleozoico a oggi, mette in evidenza le 5 grandi estinzioni di massa avvenute sul nostro pianeta. La più disastrosa fu quella verificatasi alla fine del Permiano.*

# La selezione stabilizzante

- ✗ *La selezione stabilizzante favorisce il fenotipo più comune in una popolazione che vive in un ambiente le cui caratteristiche restano costanti*
- ✗ *tende a contrastare gli effetti delle mutazioni, della deriva genetica e del flusso genico*

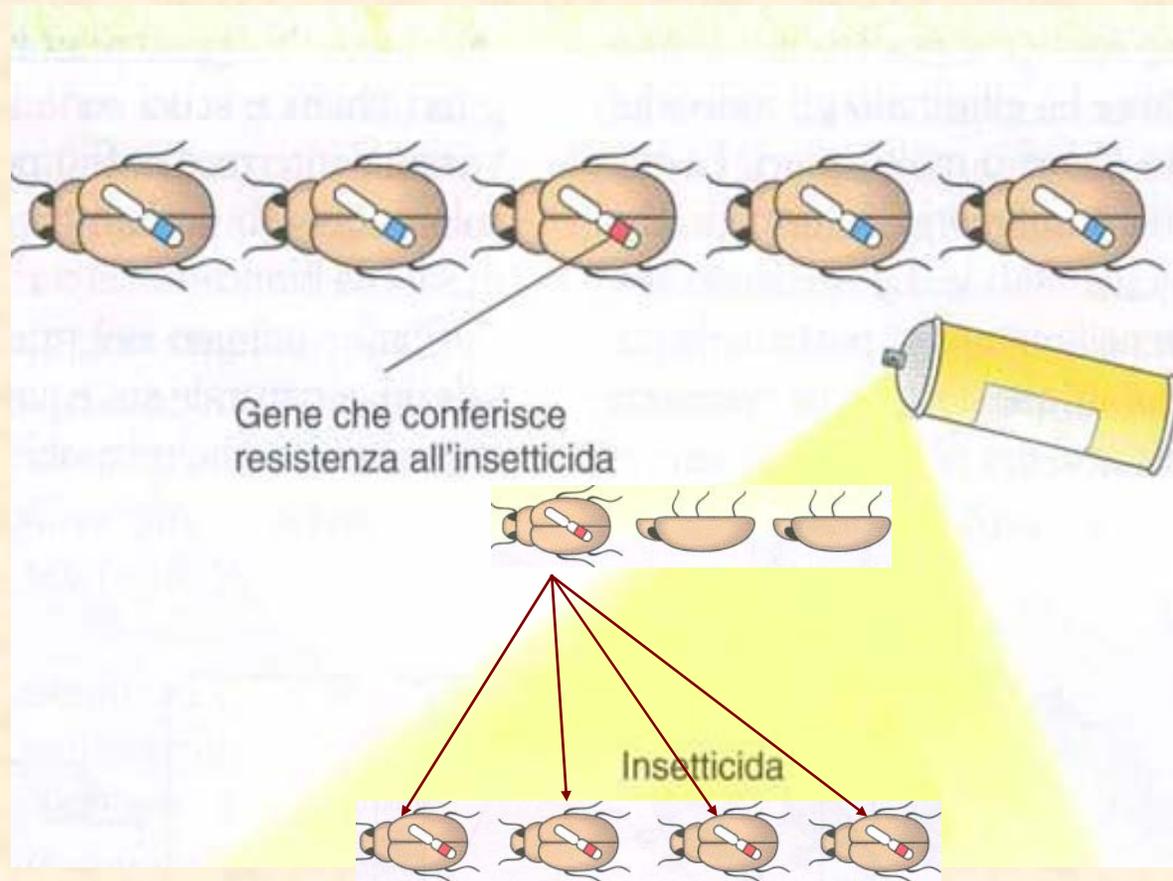
Se in un prato in cui le larve di una particolare specie di farfalla, che sono del colore dell'erba, comparisse una forma mutata di un colore diverso (diciamo rosso) facilmente identificabile dagli uccelli predatori, queste larve non raggiungerebbero mai la maturità e quindi la possibilità di riprodursi e trasmettere quella particolare mutazione ai propri figli e le farfalle sarebbero sempre le stesse ossia quelle derivanti dalle larve verdi. Nuove larve di colore rosso comparirebbero solo per mutazione naturale.

# La selezione direzionale

- ✘ La **selezione direzionale** consiste nello *spostamento delle frequenze alleliche in un determinato senso*, in risposta alle condizioni presenti in un nuovo ambiente o alle variazioni subentrate nel vecchio.
- ✘ In conseguenza di questo processo, le forme appartenenti a una regione marginale del campo di variabilità fenotipica diventano più comuni delle forme intermedie

# La selezione direzionale

- × Un esempio di selezione direzionale è lo sviluppo di insetti resistenti all'insetticida o di batteri resistenti agli antibiotici





## UN altro ESEMPIO : LA *BISTON BETULARIA*



- × **Biston betularia** è la farfalla punteggiata delle betulle.
  - Questa farfalla si posa solitamente sui tronchi di questi alberi e sulle rocce ricoperte di licheni: essendo bianca riusciva a mimetizzarsi perfettamente.
- × Con la crescente industrializzazione dell'Inghilterra nel 1850, le particelle di fuliggine cominciarono a inquinare le piante nelle vicinanze delle cittadine industriali, uccidendo i licheni e facendo diventare scuri i tronchi degli alberi.
  - Da quel momento si vide che il numero di farfalle nere, già esistenti anche se in minor numero, cominciava ad aumentare velocemente.
- × H.B.D.Kettlewell, medico ma anche collezionista dilettante di farfalle, dimostrò, mediante un esperimento divenuto celebre, che il colore delle farfalle costituiva una protezione dai predatori, soprattutto dagli uccelli;
  - infatti sugli alberi ricoperti dai licheni, le farfalle nere hanno più× probabilità di essere mangiate dagli uccelli (che usano la vista per predare), mentre sugli alberi inquinati sono le farfalle chiare ad avere più probabilità di essere mangiate.

Recentemente in Inghilterra con la diminuzione dell'inquinamento dell'aria si è notato che il numero di farfalle bianche ha cominciato ad aumentare nuovamente

# La selezione divergente

- × La selezione divergente favorisce le forme agli estremi del campo di variabilità dei fenotipi e penalizza le forme intermedie

- × fringuelli delle Galapagos: durante una stagione fortemente asciutta, in cui l'unico cibo disponibile erano semi e pochi insetti che scavano le loro gallerie nel legno

sopravvissero:

- individui con i becchi più lunghi, che potevano essere utilizzati per aprire i frutti dei cactus
- individui con i becchi più robusti e più grossi, in grado di rompere i duri semi di cactus che giacevano al suolo e di strappare la corteccia dei tronchi per raggiungere gli insetti

# La selezione sessuale

- x La selezione sessuale determina il dimorfismo sessuale (differenza di aspetto tra maschi e femmine)
- x Alcuni esempi

- x Negli *uccelli* e nei *mammiferi*, ad esempio, i maschi sono spesso più grossi, più colorati e più *aggressivi* delle femmine
- x in questi casi i fattori di selezione sono proprio le femmine che scelgono i partner con cui accoppiarsi e che pertanto determinano il successo riproduttivo di certi maschi a scapito di altri
- x Nella foto un melifagide maschio, di colore blu intenso, con una femmina della stessa specie, dalla colorazione assai più smorta





× *La selezione sessuale agisce su qualsiasi carattere ereditario che dà all'individuo che lo possiede un vantaggio competitivo per quel che riguarda l'accoppiamento e la generazione della prole*

× *Un maschio di Uccello del Paradiso (*Paradisaea raggiana*), impegnato in uno spettacolare rituale di corteggiamento, che ha catturato l'attenzione di una femmina*

# LA SPECIAZIONE

*PROCESSO MEDIANTE IL QUALE SI ORIGINANO NUOVE SPECIE.*

- x le popolazioni geneticamente isolate si ramificano e imboccano direzioni evolutive diverse*

## DEFINIZIONE DI SPECIE

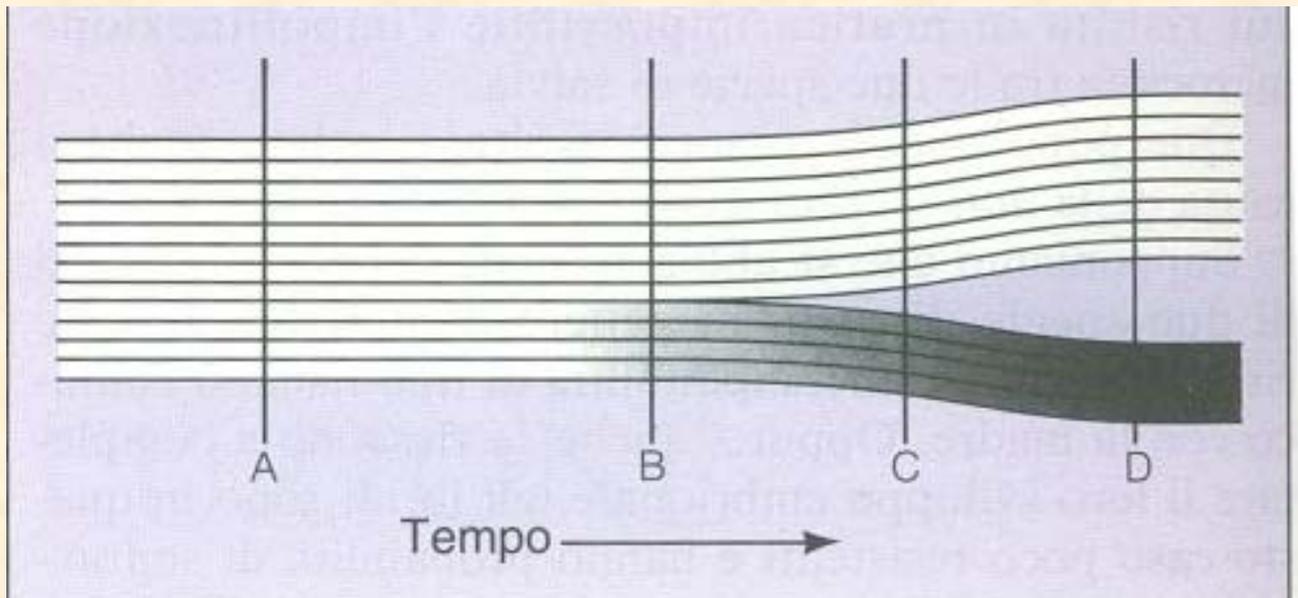
- x Una specie è costituita da una o più popolazioni formate da individui che, in condizioni naturali, possono incrociarsi tra loro dando origine a discendenti fertili.*

# Divergenza che produce la formazione di nuove specie

- Indipendentemente da quanto diversi tra loro siano gli individui di una data popolazione, essi rimangono membri della stessa specie fintanto che continuano a incrociarsi tra loro con successo
- anche nell'ambito di una stessa popolazione sorgono delle barriere per cui gli incroci avvengono solo all'interno di gruppi più piccoli di individui (sottopopolazioni).
- Come conseguenza, al posto dell'unico **pool allelico** originario possono formarsi *due o più pool allelici*
- × Se nel tempo, **non vi è alcun flusso genico** tra queste sottopopolazioni e la selezione naturale, la deriva genetica e le mutazioni operano su ciascuna di esse in modo indipendente quelle sottopopolazioni risultano *isolate da un punto di vista riproduttivo*.
- × In esse col tempo si andranno accumulando *differenze nelle frequenze alleliche*.
- × Questo processo viene denominato **divergenza**

# Una nuova specie

- × Se la divergenza è diventata sufficientemente ampia, *i componenti delle diverse popolazioni non sono più in grado di incrociarsi tra loro con successo* in condizioni naturali: a questo punto, quelle popolazioni sono diventate specie distinte



# Speciazione allopatrica e simpatrica

- × La speciazione è **allopatrica** quando vi è una separazione geografica (dovuta alla presenza di barriere naturali) di piccoli gruppi di organismi dal resto della specie.
  - Questi gruppi successivamente seguiranno dei percorsi evolutivi che li trasformeranno in nuove specie.
- × La speciazione si dice **simpatrica** quando, pur non essendoci separazione geografica, si verifica la **poliploidia**.
  - Quest'ultima consiste nell'aumento del numero di cromosomi rispetto all'assetto  $2n$  (diploide) a causa della non disgiunzione del corredo cromosomico durante la meiosi o la mitosi.

The background is a solid light yellow color. It features several faint, stylized silhouettes of animals: a lizard in the top left, a monkey in the top right, a bear in the bottom left, and a fish in the bottom right. The text is centered in the middle of the page.

Come mai le specie non si  
mescolano?

# Barriere riproduttive

## tra specie

prezigotiche

postzigotiche

# Perche funzionano dei meccanismi di isolamento riproduttivo

- × *Qualsiasi aspetto della struttura, della funzione o del comportamento che impedisce l'incrocio tra individui viene detto meccanismo di isolamento riproduttivo.*
- × Un meccanismo del genere previene lo scambio di alleli (ossia il flusso genico) tra diverse popolazioni di una specie

**esempi**

# Le barriere geografiche

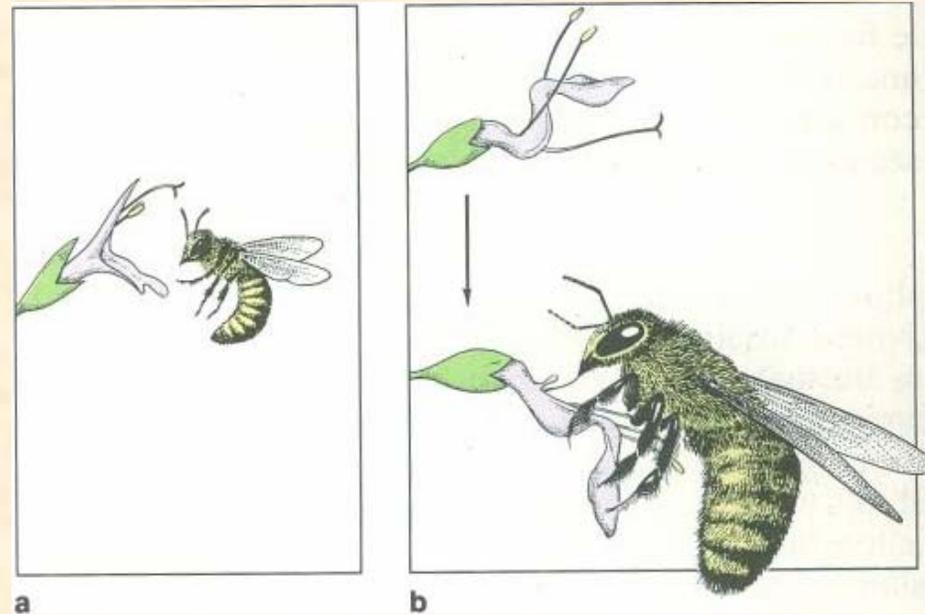
diverse popolazioni di una data specie possono risultare in qualche misura *isolate geograficamente* una dall'altra a causa della formazione di una barriera fisica.

Ciò può essere dovuto

- ❑ a un evento improvviso (come quando un terremoto sconvolge il corso di un fiume e isola le une dalle altre popolazioni di insetti incapaci di volare o di nuotare).
- ❑ molto lentamente (come quando una graduale variazione nelle condizioni climatiche provoca la frammentazione in più parti di un ambiente originariamente continuo)

# Isolamento meccanico tra due specie di salvia

- × La prima specie **a**, *Salvia mellifera* ha una piccola piattaforma fiorale, adatta per l'atterraggio di insetti impollinatori piccoli o di medie dimensioni.
- × La seconda specie **b**, *S. apiana* presenta un'ampia piattaforma di atterraggio e lunghi stami. Anche se le api di piccole dimensioni possono posarsi su tale piattaforma più ampia, ben difficilmente sfiorano gli stami che recano il polline
- × Pertanto, i piccoli impollinatori di *S. mellifera* non sono praticamente in grado di trasportare il polline di queste piante ai fiori di *S. apiana*.
- × D'altro canto, i grossi impollinatori di *S. apiana* non possono atterrare sui fiori di *S. mellifera* e dar luogo a impollinazione incrociata tra le due specie.



# *isolamento comportamentale*

- × opera in modo da impedire l'incrocio tra specie imparentate viventi in uno stesso territorio.

## esempio

- × Tra gli uccelli l'accoppiamento è preceduto da complessi rituali di corteggiamento.
  - quelli di un maschio di una data specie di uccelli hanno la capacità di stimolare le femmine della stessa specie, mentre le femmine di una specie diversa, anche se strettamente imparentata con quella, non riescono a riconoscere in quella sequenza di atteggiamenti un approccio sessuale.

## *Non vitalità o sterilità degli ibridi: il mulo*

- Se si ha fecondazione tra i gameti di due specie diverse, in genere, l'embrione muore per incompatibilità di tipo fisico o chimico con la madre; anche se riesce a completare lo sviluppo è poco resistente e ha probabilità di sopravvivere molto limitate; oppure la prole ibrida è sterile.
- × **ESEMPIO:** dall'incrocio tra una cavalla e un asino nasce un mulo, che non ha capacità di riprodursi

# Macroevoluzione



# LA MACROEVOLUZIONE

- × La macroevoluzione consiste nella **comparsa dei grandi gruppi** (famiglie, ordini, classi), quali ad esempio i vertebrati o gli artropodi, riducibile agli stessi meccanismi ed ai cambiamenti graduali che caratterizzano la formazione di nuove specie (speciazione).

Es. di classificazione  
dell'uomo

La **Tassonomia** o Sistematica è la disciplina scientifica che si occupa della classificazione degli organismi viventi in categorie, tassonomiche.

Ogni categoria chiamata genericamente "taxon", raggruppa gli esseri viventi secondo caratteristiche comuni e man mano che ci avviciniamo alla categoria di *specie*, queste si fanno sempre più particolareggiate.

Regno --- Animale  
Phylum --- Cordati  
Tipo --- Vertebrati  
Classe --- Mammiferi  
Ordine --- Primati  
Famiglia --- Ominidi  
Genere --- Homo  
Specie --- sapiens

# ELEMENTI A FAVORE DELLA MACROEVOLUZIONE

*l'evoluzione procede attraverso variazioni di organismi all'interno di specie già esistenti*

**Dato che l'evoluzione procede modificando specie già esistenti, vi è una continuità di rapporti tra tutte le specie che vivono e sono vissute sulla Terra.**

- x** La macroevoluzione la si può dimostrare attraverso i **reperiti fossili** i quali sembrano fornirci tre diversi modelli di origine per i grandi gruppi: l'evoluzione filetica, la cladogenesi e la radiazione adattativa.

The background is a solid light yellow color. It features several faint, stylized silhouettes of animals: a lizard in the top left, a monkey in the top right, a bear in the bottom left, a smiling bear in the bottom center, and a fish in the bottom right. The text is centered in the middle of the page.

# Modi in cui si originano le nuove specie

# cambiamento filetico

- ✘ Il cambiamento filetico si osserva quando, all'interno di una singola linea di discendenza, si accumulano una serie di differenze graduali che fanno sì che gli organismi più recenti mostrino differenze tali da essere considerati una specie diversa da quelli più antichi.

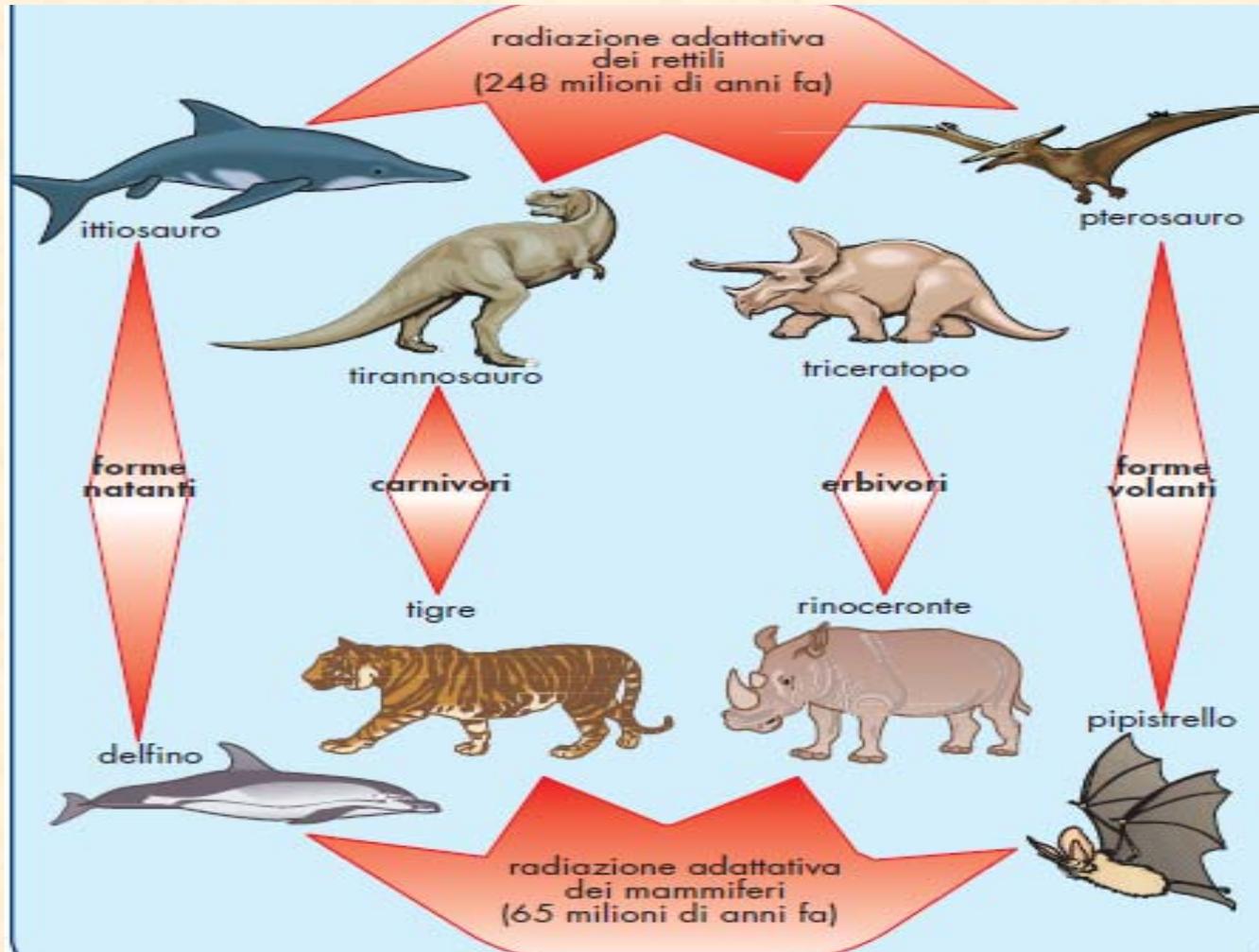
# cladogenesi

- × I dati paleontologici mostrano anche che più specie possono derivare da un antenato comune e convivere nello stesso periodo di tempo.
- × Questo modello in cui si evidenzia l'origine di nuove specie attraverso la "ramificazione" da una specie antenata viene detta cladogenesi.
  - Questo modello è legato alla **speciazione allopatrica**: la formazione di nuove specie avviene per scissione di piccole popolazioni (a causa soprattutto dell'isolamento geografico) da una grossa popolazione originale.
    - ◆ In queste piccole popolazioni le combinazioni genetiche favorevoli possono svilupparsi rapidamente senza diluirsi nel flusso genico proveniente dalla popolazione principale, fino ad arrivare all'isolamento riproduttivo.
- × Secondo questo schema non c'è una trasformazione graduale di una specie in un'altra ma un passaggio "a salti".

## radiazione adattativa

- ✘ Un altro modello che si può dedurre dalla documentazione fossile è la radiazione adattativa, consistente in una rapida diversificazione di gruppi di organismi aventi un antenato comune.
- ✘ Un esempio di questo modello evolutivo è la comparsa e rapida diversificazione dei mammiferi dopo l'estinzione dei dinosauri

# Radiazione adattativa

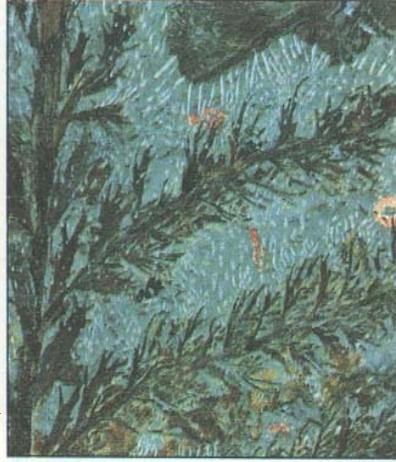


The background features several stylized animal illustrations in shades of brown and orange. In the top left, there is a lizard-like creature with a curled tail. In the top right, a cat-like animal is perched on a branch. In the bottom left, a large, spiky creature with a smiling face is visible. In the bottom right, another cat-like animal is shown with its paws raised. The overall style is simple and graphic.

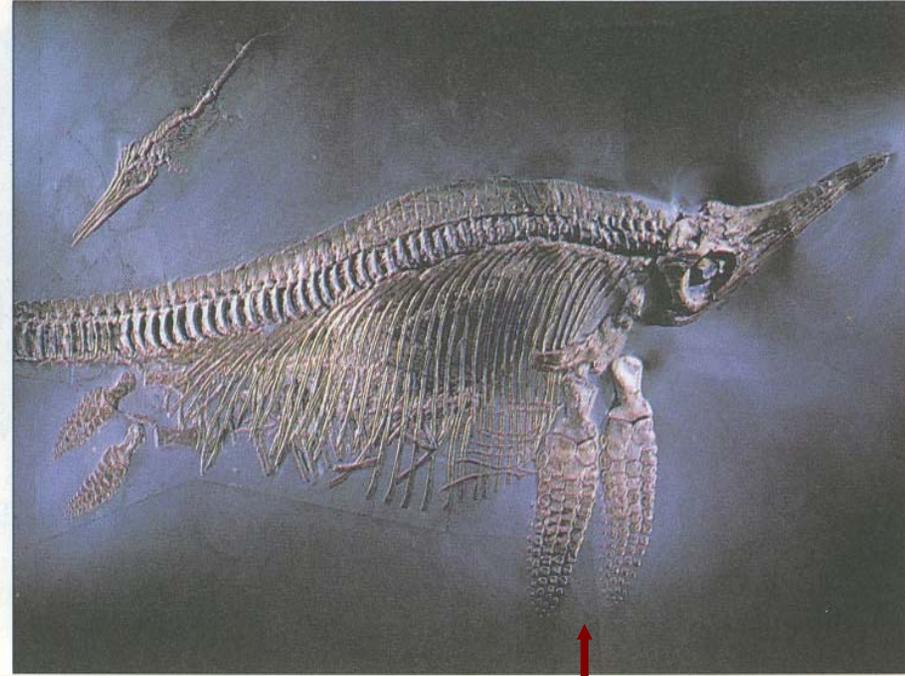
# Prove della macroevoluzione

## Le testimonianze fossili

Foglie fossilizzate di *Archaeopteris* →



"Fossile" deriva da un vocabolo latino che indica qualcosa che è stato portato alla luce scavando. Nella sua accezione generale, **fossile** è qualsiasi indizio lasciato da un organismo vissuto in un lontano passato.



↑  
fossile completo di una femmina di ittiosauro

i fossili di molluschi e di altri animali dotati di parti dure, come conchiglie, gusci o scheletri, sono relativamente abbondanti, mentre sono piuttosto rari i fossili di celenterati (come le meduse) e di altri animali dal corpo molle

# Come si forma un fossile

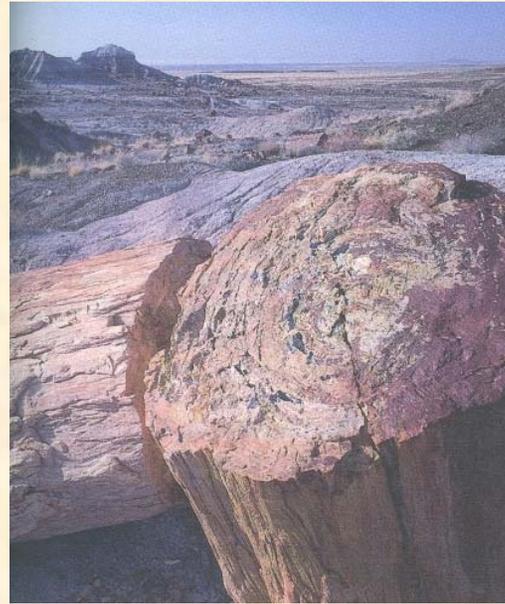
I fossili si formano in maniera diversa

- Le sostanze organiche degli organismi morti generalmente vanno incontro a rapida decomposizione, ma le parti dure degli animali spesso hanno potuto fossilizzarsi

In rari casi sono stati rinvenuti organismi fossili contenenti ancora le parti molli; ciò può accadere solo se l'individuo è immerso in una sostanza che impedisca a funghi e batteri di decomporre le parti organiche. L'insetto è rimasto attaccato alla resina di un albero circa 40 milioni di anni fa; la resina si è indurita ed è diventata ambra



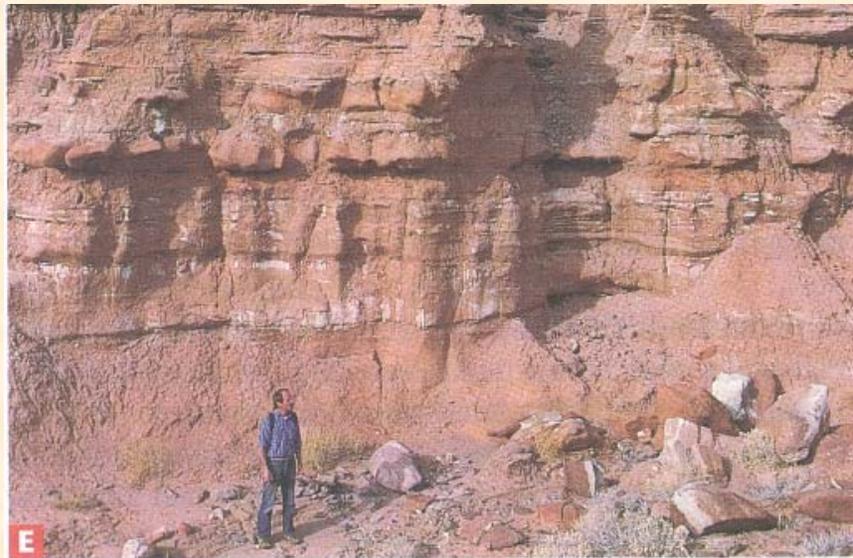
- x Talvolta, i resti degli organismi morti sono trasformati in roccia tramite un processo chiamato **mineralizzazione** che avviene quando i minerali disciolti nelle acque del suolo penetrano nei tessuti degli organismi morti e si sostituiscono al materiale organico



albero pietrificato dell'Arizona

# La documentazione fossile

- × La **documentazione fossile** è la serie ordinata di fossili che affiorano dagli strati di rocce sedimentarie
- × Ciascuno strato può contenere un particolare insieme di fossili che rappresenta un campione degli organismi che vivevano in quel luogo, all'epoca in cui il sedimento si è depositato. Gli strati più recenti si trovano al di sopra di quelli più vecchi: pertanto, la posizione dei fossili negli strati rivela la loro età relativa



# La datazione dei fossili

- × Fu verso la metà dell'Ottocento che i geologi cominciarono a cartografare gli strati di rocce sedimentarie che affioravano sulla superficie terrestre
- × Gli scienziati hanno scoperto molti fossili che rappresentano l'anello di congiunzione tra il presente e il passato.
- × Per esempio, una serie di fossili documenta, in base ai cambiamenti della forma e della dimensione del cranio, che i mammiferi si sono evoluti dai rettili.

**Datazione  
relativa:**  
sapere se  
un fossile  
viene prima  
o dopo un  
altro

**Datazione  
assoluta:**  
sapere a  
che epoca  
appartiene  
quel fossile

# La datazione assoluta a radioisotopi

- x la datazione in base agli isotopi radioattivi (che si basano sulla velocità costante di decadimento di certi radioisotopi) ha fornito una misura assoluta degli intervalli di tempo che intercorrono tra l'inizio e la fine di ciascuna era.
- x Si è scoperto così che l'inizio dell'evoluzione della Terra stessa risale a un'era antica, che viene chiamata *Archeano* e che è cominciata oltre *4,5 miliardi di anni fa*



Una fronda fossile di una felce arborea, una delle molte specie vissute sulla Terra tra 320 e 250 milioni di anni fa.

Vedi note

The background features a stylized evolutionary diagram on a yellow background. It includes a lizard at the top left, a monkey at the top right, a dinosaur in the middle left, a smiling face in the middle, and a fish at the bottom right. A solid red horizontal bar is at the very bottom of the slide.

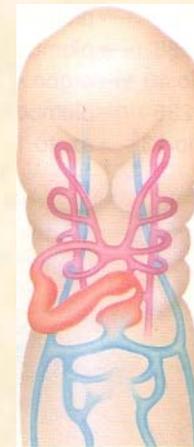
# Altre prove a sostegno della evoluzione

# Embriologia comparata

- × **Stadi dello sviluppo.**  
A certi stadi del loro sviluppo, gli embrioni di organismi diversi appartenenti a uno stesso gruppo presentano forti somiglianze tra loro; spesso, tali somiglianze sono un indice dei rapporti evolutivi



Pescecane

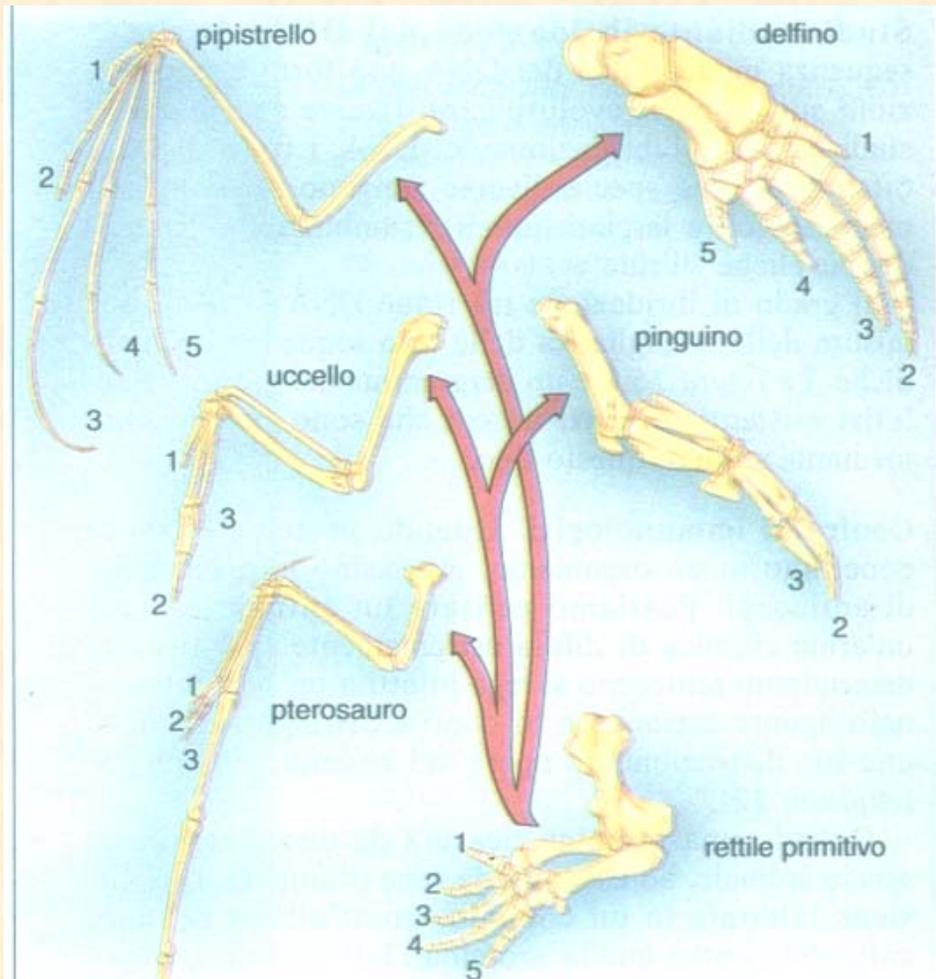


Embrione  
umano

# Anatomia comparata

## x Strutture omologhe.

- Specie diverse possono presentare *strutture omologhe*, cioè somiglianze nella forma o nella struttura del corpo per il fatto che discendono da un antenato comune.
- Si parla di **divergenza** quando *una o più strutture omologhe si sono discostate dalla forma ancestrale* per quanto riguarda l'aspetto, la funzione o entrambi questi elementi



# Biologia molecolare

- ✘ L'universalità del codice genetico costituisce un'importante prova delle correlazioni esistenti tra tutte le forme viventi.
- ✘ le specie che risultano strettamente imparentate fra loro hanno in comune una porzione del loro DNA e delle proteine maggiore rispetto alle specie che non sono strettamente imparentate

# Studi mediante ibridazione del DNA.

- × Anche la sequenza nucleotidica del DNA può fornire informazioni sui rapporti evolutivi tra diverse specie.
  - ◆ Negli studi basati sull'ibridazione del DNA, i tratti di DNA ottenuti da due specie diverse vengono scissi in filamenti singoli e lasciati quindi ricombinare assieme in doppie eliche "ibride". Il grado di ibridazione tra i due DNA fornisce una misura della somiglianza delle loro sequenze nucleotidiche.



i rapporti evolutivi tra alcuni avvoltoi, cicogne e altri uccelli del Nuovo Mondo sono stati ricavati mediante tecniche di ibridazione del DNA.



# Origine della vita

*La cometa Hale-Bopp. Gli scienziati hanno appurato che su questa e su altre comete sono presenti acqua e composti, come ammoniaca e formaldeide, molecole che reagendo fra loro sono in grado di dare vita agli aminoacidi. Per questa ragione molti scienziati ritengono che asteroidi e meteoriti possano aver contribuito alla formazione di sostanze organiche importanti per la nascita delle prime cellule*

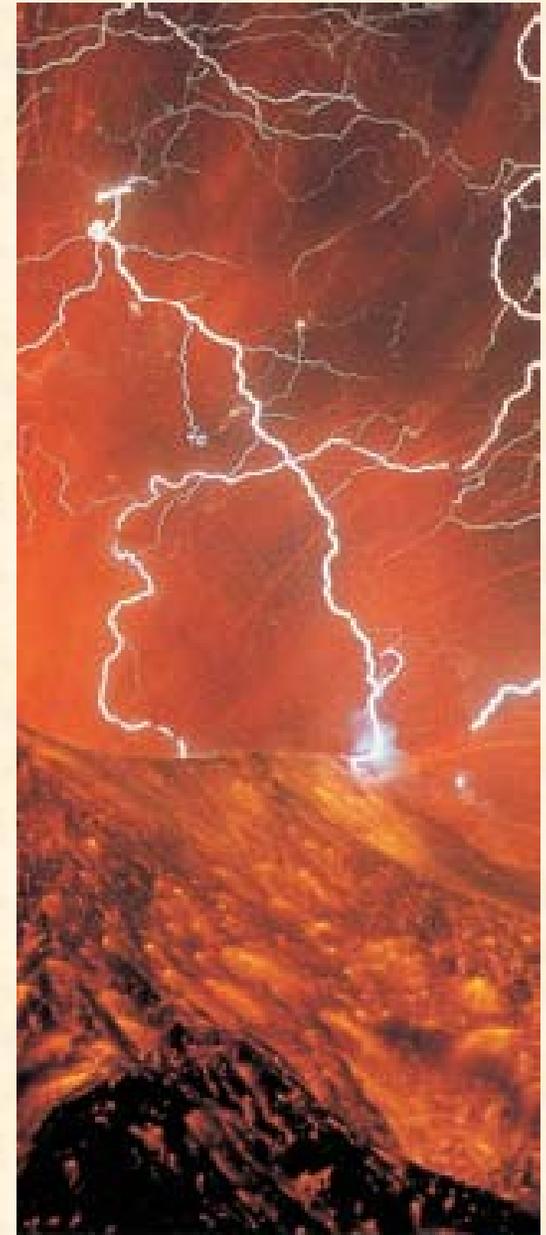
- x 15 miliardi di anni fa una immane esplosione, il cosiddetto Big Bang, originò l'universo che, espandendosi e raffreddandosi, diede vita a galassie, stelle e pianeti.
- x 5 miliardi di anni fa, in una galassia a spirale (fra i miliardi di galassie che costituiscono l'universo), una nube rotante composta in gran parte da idrogeno ed elio iniziò ad addensarsi.
- x La parte centrale della nube collassò, originando la stella che chiamiamo Sole, e dai gas e dalle polveri rotanti che circondavano la giovane stella presero origine i pianeti.

# La Terra

- x secondo i geologi 4,6 miliardi di anni fa nacque il pianeta Terra sul quale, meno di un miliardo di anni dopo, già combattevano la loro lotta per l'esistenza i primi esseri viventi.*
- x A 3,5 miliardi di anni fa risalgono infatti i fossili più antichi: microscopici organismi monocellulari simili agli attuali batteri.*
- x Che cosa è dunque accaduto sulla Terra nel primo miliardo di anni della sua esistenza?*

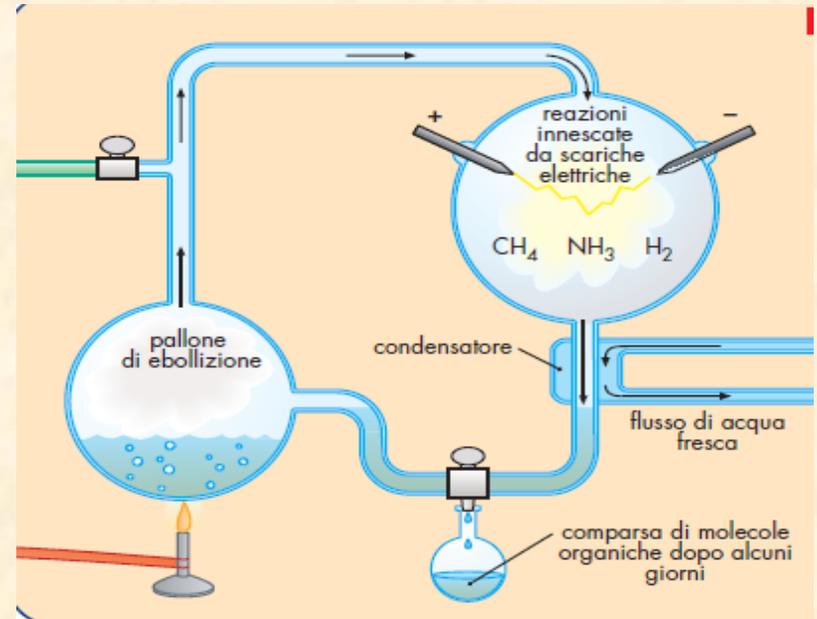
Intorno ai 4 miliardi di anni fa, la Terra era ormai una massa infuocata ricoperta solo da una sottile crosta

- x Man mano che i gas che si erano formati nella massa fusa (o che erano intrappolati al di sotto della crosta) si liberarono, attorno al nostro pianeta cominciò a formarsi una primitiva atmosfera, **riducente**, poiché conteneva poco ossigeno libero, fatto che ha favorito la nascita della vita. Infatti, molte molecole costitutive dei viventi, tra cui gli amminoacidi e i nucleotidi, non possono formarsi spontaneamente in presenza di ossigeno, dato che questo elemento reagisce con esse e le modifica da un punto di vista chimico.



# L'esperimento di Miller

nel 1953 un giovane ricercatore statunitense, Stanley E. Miller, riuscì a dimostrare che, riproducendo sperimentalmente le condizioni sopra descritte dell'atmosfera e dell'idrosfera della Terra delle origini, si potevano ottenere numerose molecole organiche, fra cui alcuni aminoacidi, ovvero i precursori delle proteine



Aver dimostrato che nelle condizioni esistenti sulla Terra primordiale si siano potute formare spontaneamente molecole organiche è importante. Ma dalle molecole alla cellula la strada è ancora molto lunga. Vi sono varie ipotesi su come le molecole organiche, che si sono formate spontaneamente (“brodo primordiale”) possano aver dato vita alla cellula.

Il lavoro degli scienziati che si sono occupati di questi problemi è consistito nel verificare sperimentalmente le possibili reazioni di *autoaggregazione*, che hanno portato al formarsi delle prime cellule

# Bibliografia e riferimenti

× La presentazione è stata costruita sulla base delle trattazioni contenute nei testi:

- Campbell\Mitchell\Reece, Immagini della Biologia (Zanichelli)
- C.Starr\Biologia (Garzanti)

le immagini sono state reperite nei testi citati e mediante la ricerca in Internet