



Carlo Linneo è il nome italianizzato di Carl von Linné, naturalista svedese che sviluppò la [nomenclatura binomiale](#) per la classificazione sistematica degli organismi viventi. Figlio di un prete di campagna e appassionato fin da piccolo di botanica, si iscrisse alla facoltà di medicina dell'Università di Lund (1727), essenzialmente perché il piano di studi comprendeva la materia medica, ossia lo studio delle sostanze usate in medicina, che erano per lo più di origine vegetale. L'anno successivo si trasferì all'Università di Uppsala, e già nel 1730 iniziò a delineare il proprio metodo di classificazione sistematica delle piante. Quando nel 1735 si trasferì in Olanda per completare gli studi, la sua reputazione di botanico era ormai salda.

Del 1735 è la prima edizione del *Sistema naturae*, in cui Linneo espose per la prima volta i suoi criteri di [classificazione tassonomica](#) dei regni animale, vegetale e minerale. Nel 1738 fece ritorno in Svezia, dove nel 1739 fu tra i fondatori dell'Accademia svedese delle Scienze. Nel 1741 divenne professore di medicina teorica e pratica all'Università di Uppsala, incarico che l'anno successivo scambiò con la cattedra di botanica, dietetica e materia medica, mantenuta sino alla fine dei suoi giorni.

Nel 1751 Linneo pubblicò *Philosophia botanica*, opera che esercitò una grande influenza su molti suoi contemporanei, dove si affermava che le specie, create in forma eterna e immutabile secondo un progetto divino, erano spontaneamente disposte in un sistema naturale che si prestava alla classificazione. Dimostrò che le piante si riproducono sessualmente e stabilì i nomi delle parti dei fiori. Creò uno schema tassonomico suddiviso in cinque categorie: [varietà, specie, genere, ordine e classe](#) (queste suddivisioni esistevano già, ma fino ad allora non erano mai state usate in modo congiunto). Prima di Linneo le specie venivano descritte dal nome del genere, seguito da una descrizione per esteso della specie: egli sostituì questo sistema con una nomenclatura binomiale più agile e precisa, in cui anche la specie veniva individuata da un unico termine. I criteri tassonomici utilizzati da Linneo

erano basati, nel caso delle piante, su differenze tra le parti sessuali e, nel caso degli animali, su caratteristiche anatomiche interne.

I metodi in vigore attualmente si fondano ancora sulla nomenclatura binomiale di Linneo, anche se la classificazione si è nel tempo arricchita di criteri moderni, quali i rapporti evolutivi e le caratteristiche genetiche, biochimiche e morfologiche dei diversi organismi.

---

## La Classificazione Tassonomica

La classificazione tassonomica è il sistema di raggruppamento e denominazione degli organismi in base a criteri di varia natura. Lo scopo della classificazione è quello di disporre in maniera ordinata i viventi in modo che tutti gli studiosi si possano comprendere l'uno con l'altro, senza possibilità di errore sull'identità degli organismi che sono oggetto di ricerca.

Le caratteristiche prese in esame dagli studiosi che si occupano di classificazione sono di tipo diverso e possono riguardare l'anatomia, la fisiologia, la genetica, il comportamento, la composizione biochimica dei vari organismi considerati e messi a confronto. A questi studi contribuiscono, con le loro scoperte, tutte le branche della biologia. Risulta importante anche la paleontologia, in cui si opera una valutazione dei reperti fossili, nel tentativo di ricostruire la storia evolutiva dei viventi e di capirne i rapporti di parentela. Gli schemi della classificazione moderna tentano, infatti, di creare collegamenti tra i differenti gruppi di organismi che riflettano i rapporti evolutivi esistenti tra loro. Nei moderni studi di classificazione vengono utilizzate anche raffinate tecniche di biologia molecolare, con cui si confrontano molecole proteiche e acidi nucleici degli organismi. Quanto più due organismi possiedono simili strutture di queste molecole, quanto più essi si ritengono vicini da un punto di vista evolutivo.

[Top](#)

## Nomenclatura Binomiale

La *specie* rappresenta il primo livello di classificazione degli individui e la sola categoria tassonomica che si possa considerare presente in natura e non solo una convenzione dell'uomo. Per specie si intende un gruppo di organismi simili, in grado di incrociarsi tra loro e di produrre prole fertile. Due o più specie che possiedono caratteristiche comuni vengono raggruppate in uno stesso gruppo di organismi che prende il nome di *genere*.

Ciascun essere vivente viene individuato da due termini latini, il primo dei quali inizia sempre con una lettera maiuscola ed è il nome del genere, mentre il secondo è scritto in minuscolo ed è un aggettivo, generalmente descrittivo o geografico, corrispondente alla specie. Questo sistema di denominazione viene detto "nomenclatura binomia" ed è stato creato nel 1758 dal naturalista svedese Carlo Linneo, considerato da molti come il fondatore della tassonomia moderna. L'uso del latino è dovuto al fatto che gli studiosi dell'epoca di Linneo comunicavano in questa lingua. Un esempio di classificazione linneana è quello con cui si definisce *Felix leo* la specie cui appartiene il leone: ciò indica che esso è compreso nel genere *Felix*.

[Top](#)

## Tipi di Classificazione

Considerando i caratteri comuni a due o più generi, si arriva a definire la categoria tassonomica detta *famiglia*; procedendo in modo sempre più ampio, si possono ancora definire: l'*ordine* (che comprende più famiglie), la *classe* (che comprende più ordini) e il *phylum* (che comprende più classi); infine, il *regno* raggruppa diversi phyla (plurale di phylum). In tal modo, si ottiene una struttura di tipo gerarchico che permette di definire in modo preciso la posizione di un determinato organismo.

I gruppi di viventi compresi in ciascuna di queste sette categorie principali, a qualunque livello della gerarchia, sono detti *taxa*. Per permettere ulteriori sottodivisioni, a ciascuna categoria si possono aggiungere i prefissi sub- e super-. Inoltre, nelle classificazioni più complesse si possono usare categorie intermedie, come la branca (tra regno e phylum), la coorte (tra classe e ordine) e la tribù (tra famiglia e genere).

CATEGORIA TASSONOMICA	CLASSIFICAZIONE LATINA DEL GORILLA	CLASSIFICAZIONE LATINA DELLA PATATA
Regno	Animali	Piante
<i>Phylum</i> (Divisione)	Cordati	Angiosperme
<i>Subphylum</i>	Vertebrati	-
Classe	Mammiferi	Dicotiledoni
Ordine	Primati	Solanali
Famiglia	Pongidi	Solanacee
Genere	<i>Gorilla</i>	<i>Solanum</i>
Specie	<i>Gorilla gorilla</i>	<i>Solanum tuberosum</i>
Sottospecie	<i>Gorilla gorilla beringei</i>	-

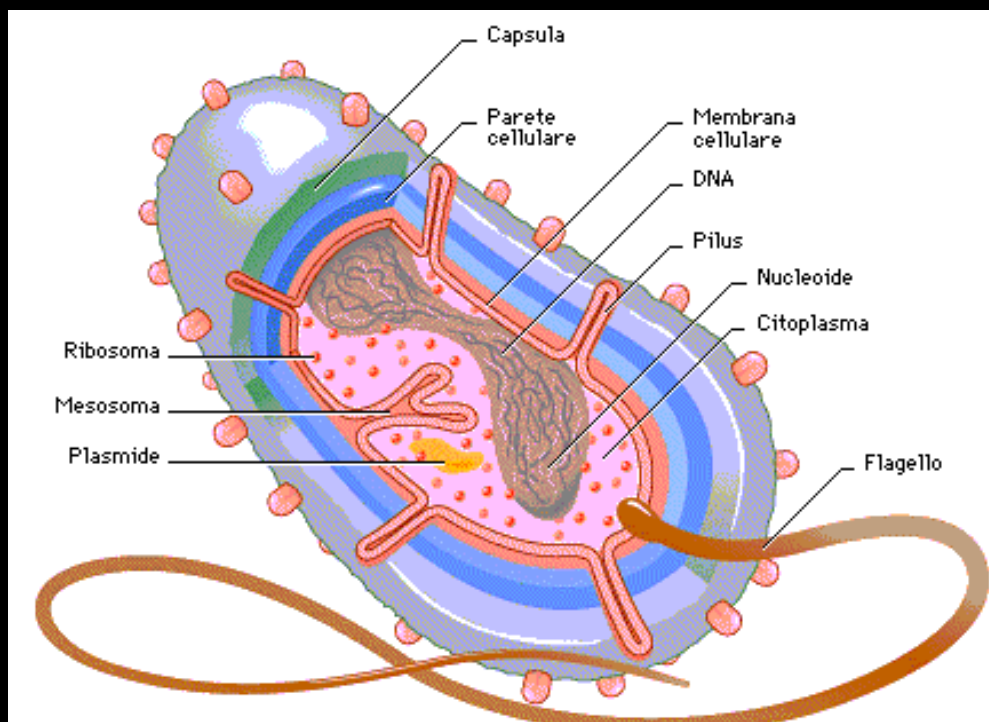
## IL SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE IN CINQUE REGNI

Il primo sistema tassonomico, sviluppato da Aristotele nel IV secolo a.C. e utilizzato fino a non molto tempo fa, riconosceva solo due grandi divisioni di organismi viventi: il regno animale e quello vegetale. Nel primo venivano compresi tutti gli organismi eterotrofi (che si nutrono di materiale organico presente nell'ambiente), dotati di movimento, mentre nel secondo si trovavano tutti gli organismi autotrofi (che sintetizzano le sostanze alimentari organiche a partire da materiale inorganico), sessili, cioè fissi al terreno, in grado di compiere fotosintesi. Quando furono scoperti gli organismi unicellulari, vennero anch'essi suddivisi in queste due

grandi divisioni, in base al tipo di nutrizione, autotrofa o eterotrofa, che li caratterizzava.

Questo modello di classificazione poneva, tuttavia, due problemi fondamentali. Il primo riguardava i funghi, classificati insieme alle piante in quanto sessili, essendo in realtà organismi a nutrizione eterotrofa che assorbono le sostanze organiche dal terreno. Il secondo problema concerneva alcuni organismi unicellulari con caratteristiche comuni ai due regni, che rendono ambigua la loro classificazione: i flagellati unicellulari del genere *Euglena* sono, ad esempio, dotati di movimento, ma si nutrono per via autotrofa e sono in grado di compiere fotosintesi. Inoltre, in questo secolo, grazie agli enormi progressi compiuti nel campo delle tecniche di osservazione delle cellule, è stato possibile individuare differenze fondamentali tra gli organismi viventi, che ne hanno permesso una classificazione più accurata e corretta dal punto di vista filogenetico.

Il microscopio elettronico ha, ad esempio, consentito di dividere tutti gli organismi viventi, in base a differenze nella struttura cellulare, in due grandi categorie: gli organismi procarioti, dotati di cellule semplificate prive di nucleo, e gli eucarioti, le cui cellule presentano un vero nucleo e numerosi organuli, tutti circondati da membrana. I procarioti sono tutti organismi unicellulari, oggi classificati all'interno del regno omonimo. Tra i procarioti si trovano organismi unicellulari come i batteri, mentre gli eucarioti comprendono tutti gli altri organismi viventi.



Dal 1959 gli organismi viventi sono stati classificati nel sistema di classificazione in cinque regni, proposto da Robert Whittaker e basato sul livello di organizzazione degli organismi (dei procarioti, degli eucarioti unicellulari e degli eucarioti pluricellulari) e sul tipo di nutrizione (autotrofa, eterotrofa per ingestione e eterotrofa per assorbimento). I cinque regni comprendono: il regno animale (eucarioti pluricellulari a nutrizione eterotrofa, per ingestione); il regno vegetale (autotrofi pluricellulari a nutrizione autotrofa); il regno dei funghi (eucarioti pluricellulari a nutrizione eterotrofa, per assorbimento); il regno dei protisti (eucarioti unicellulari, a nutrizione mista); il regno delle monere (comprendente archeobatteri, eubatteri e alghe azzurre o cianobatteri, ossia organismi procarioti a nutrizione mista).





C 'era una volta una ragazza,

c 'era una volta una dolce compagna di classe che ora purtroppo non c 'è più, ma che continua a vivere con noi e dentro di noi.

Lei era molto speciale e ci ha dato tanto con la sua positività; proprio per questo motivo abbiamo deciso di dedicarle questo progetto che, inizialmente, era stato ideato e programmato anche con lei.

Il suo ricordo ci accompagnerà lungo questo percorso che speriamo vi sia di aiuto nello studio dei principali argomenti che affronterete durante l ' anno.



*Gli autori....*





biologia molecolare

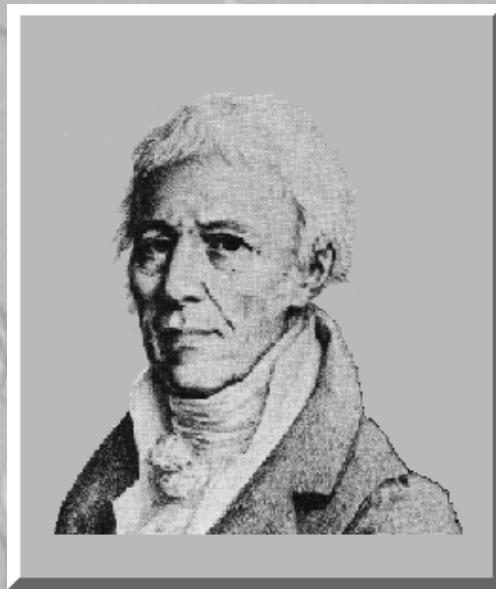
biologia cellulare

biologia di popolazione

biologia evolutiva

biomedicina

Termine che letteralmente significa scienza della vita. Introdotto in Germania nel 1800, questo termine fu diffuso dal naturalista francese Jean-Baptiste de Lamarck perché comprendesse al suo interno il numero crescente di discipline che hanno come oggetto di studio gli esseri viventi.



(nella foto Jean-Baptiste de Lamarck)

Uno dei più accesi sostenitori della biologia come scienza unificata di tutti gli organismi viventi fu lo zoologo britannico Thomas Henry Huxley, il quale sostenne che la convenzionale divisione tra botanica e zoologia fosse artificiale e che gli esseri



viventi dovessero essere studiati in modo integrato.



(nella foto un organismo unicellulare protista, nella fattispecie un'Ameba)



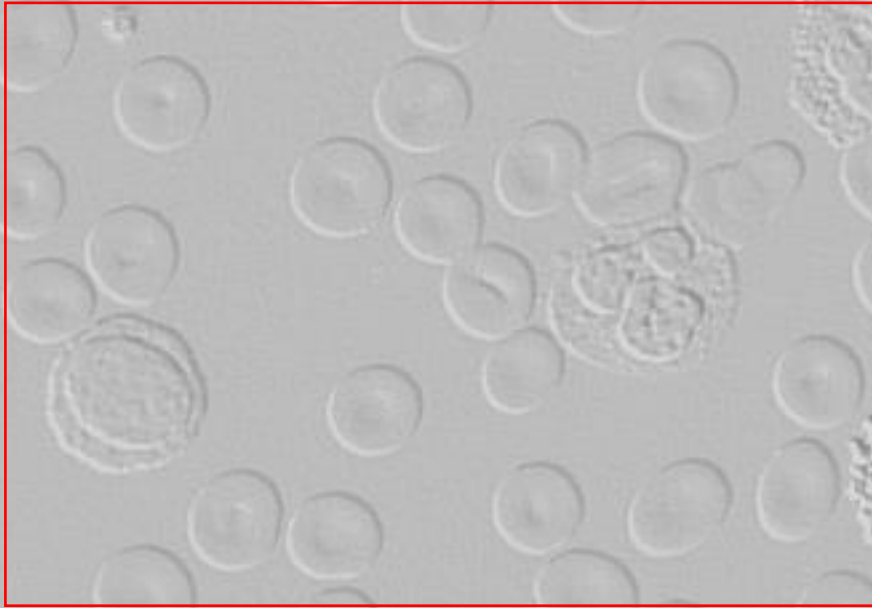
(nella foto un paramecio, organismo unicellulare protozoo)

Oggi la biologia viene suddivisa in più discipline, in base ai diversi livelli di organizzazione delle strutture viventi, che vanno dalle molecole, alle cellule, agli organismi, fino ai gruppi di popolazioni.

## **biologia molecolare**

La biologia molecolare è una delle discipline di più recente introduzione; il suo campo d'indagine va spesso a sovrapporsi a quello della genetica, della biofisica e della biochimica, insieme alle quali ha fornito i contributi più importanti allo sviluppo della

biologia moderna. Risultati ottenuti da queste discipline sono: la conoscenza della struttura e della funzione degli acidi nucleici e delle proteine, le molecole chiave della materia vivente; la scoperta dei meccanismi molecolari dell'ereditarietà e del metabolismo.



[Top](#)

## **biologia cellulare**

La biologia cellulare è strettamente correlata alla biologia molecolare. Infatti, per comprendere le funzioni delle diverse cellule, le unità di base comuni a tutta la materia vivente, i biologi studiano queste strutture a livello molecolare. La biologia degli organismi è, a sua volta, legata alla biologia cellulare, in quanto le funzioni vitali degli organismi multicellulari sono controllate dalle attività e dalle interazioni delle singole cellule. Lo studio a livello di organismo ha come obiettivo la comprensione della fisiologia generale e dei meccanismi di crescita e di sviluppo. I settori di ricerca biologica considerati più di frontiera in questo momento sono l'embriologia sperimentale (lo studio dello sviluppo embrionale), la neurobiologia (lo studio del funzionamento del cervello e del sistema nervoso) e l'etologia (lo studio sul comportamento animale).

[Top](#)

## **biologia di popolazione**

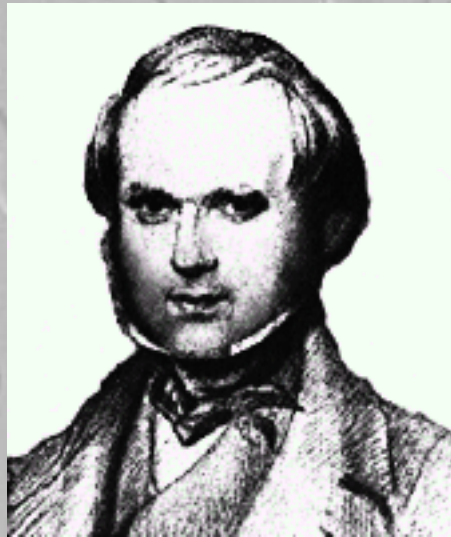
Dagli anni Settanta nella biologia viene compresa anche la disciplina, chiamata biologia di popolazione, che studia le interazioni degli organismi a un livello gerarchico

superiore.

[Top](#)

## **biologia evolutiva**

A questi studi contribuisce in modo fondamentale la biologia evolutiva, che è basata sulla teoria della selezione naturale, formulata da Charles Darwin.



(foto di Charles Darwin)

[Top](#)

## **biomedicina**

La biologia comprende anche lo studio dell'organismo umano nella sua globalità, nonché a livello molecolare e cellulare. Quando l'obiettivo delle indagini è l'applicazione delle conoscenze biologiche alla salute dell'uomo, la disciplina prende il nome di biomedicina. Per convenzione, invece, lo studio delle popolazioni umane non è competenza delle scienze biologiche, ma dell'antropologia e delle scienze sociali.

[Top](#)





# BENVENUTI NEL



L'organulo di maggiori dimensioni all'interno della maggior parte delle cellule vegetali e animali è il nucleo: è delimitato da una membrana e ha forma e dimensioni variabili a seconda del tipo cellulare.

Il nucleo è delimitato da una doppia doppia membrana fosfolipidica, dotata di pori nucleari che consentono le comunicazioni tra il nucleo e il resto della cellula (ossia il [citoplasma](#)). All'interno del nucleo si trova una regione specializzata, detta [nucleolo](#), che è deputata all'assemblaggio di particolari organuli, i [ribosomi](#).

Insomma, il nucleo è davvero il regista cellulare!!!

E' proprio vero. Esso contiene le informazione per le future generazioni!!!!  
Ma voi vi chiederete: che cosa sono queste mitiche informazioni per le future generazioni????

E noi vi risponderemo: i [cromosomi](#)!!!! Loro sono i responsabili di come siamo noi. Ma diamo loro del tu e facciamoci raccontare il loro rapporto con il DNA:

Chimicamente siamo costituiti da DNA ([Acido Deossiribonucleico](#)) cioè una lunga sequenza di [nucleotidi](#). Nucleotidi? Che caspiterina sono? I nucleotidi consistono di tre subunità: un gruppo fosfato, uno zucchero a cinque atomi di carbonio (zucchero pentoso) e una base azotata cioè una molecola che ha proprietà basiche e contiene azoto. Nei nucleotidi esistono 5 tipi di basi azotate: l'Adenina, la Timina, la Guanina, la Citosina e l'Uracile.

L'Adenina, la Timina, la Guanina e la Citosina sono presenti nel DNA.

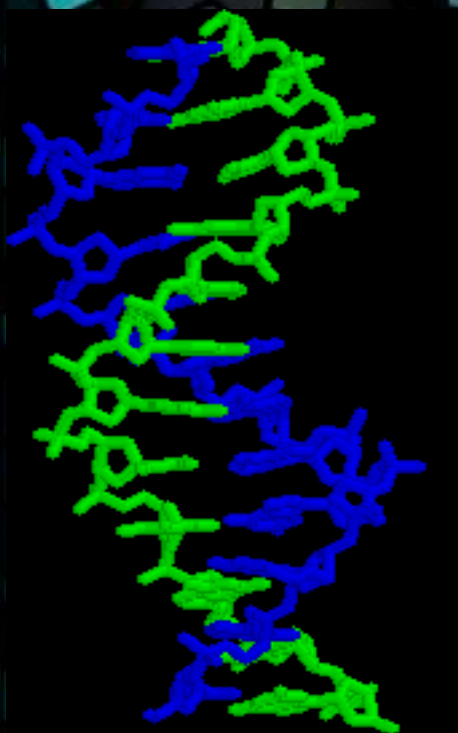
E l'Uracile che cosa ci stà a fare direte voi?

L'Uracile è presente nel secondo acido nucleico che tutti conosciamo:

l'[RNA](#).

A differenza del DNA, l'RNA è una copia del messaggio genetico utile per la sintesi proteica.

Ed ora, per tutti i presenti in sala, vi mostreremo il nostro mitico DNA!!!!!!





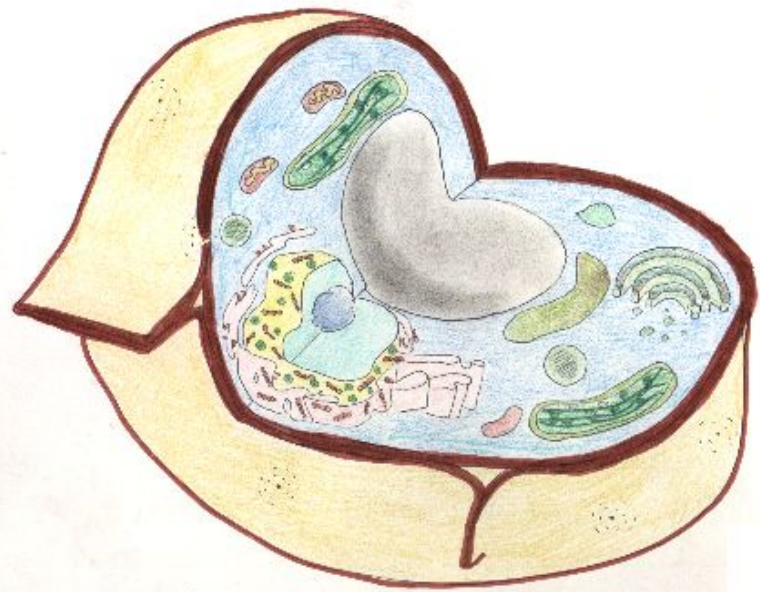
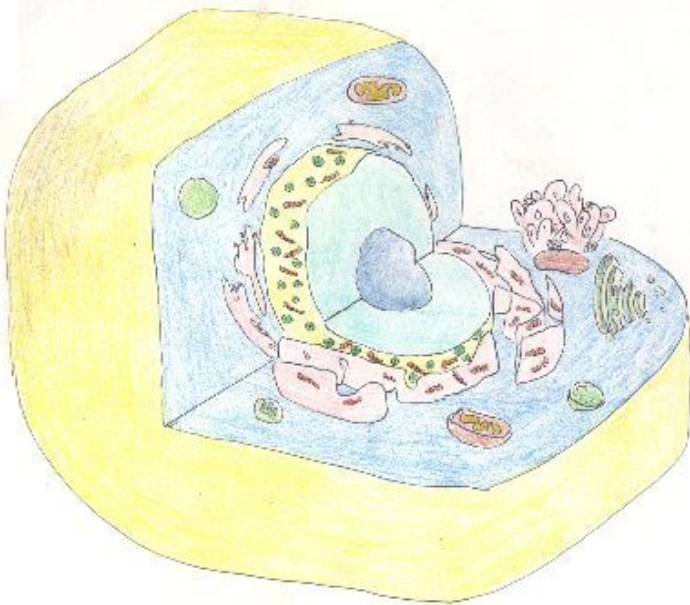
# Citoplasma

Il citoplasma è una massa finemente granulosa. Contiene in maggioranza acqua e il rimanente è formato per il resto da protidi o proteine, lipidi, glucidi o carboidrati. Oltre a questi elementi chimici nel citoplasma troviamo: fosforo, zolfo, potassio, calcio, magnesio e ferro.

Il citoplasma contiene:

## Citosol

L'intero volume della cellula, con esclusione del nucleo, è occupato dal citoplasma. Questo comprende una soluzione acquosa concentrata, denominata citosol, nella quale si trovano sospesi gli **organuli cellulari**.



Il citosol è un gel acquoso, contenente molecole di varie dimensioni. Costituisce il sito di molte funzioni importanti, come la demolizione delle molecole e la sintesi di numerose macromolecole che sono le unità costitutive della cellula. Molte molecole presenti nel citosol sono libere di muoversi per tutte le regioni della cellula; altre hanno una minore libertà di movimento, poiché fanno parte di strutture ordinate, gli organuli, che determinano nella cellula una compartimentazione utile allo svolgimento delle reazioni metaboliche.

## Citoscheletro

Un sistema di filamenti proteici, denominato citoscheletro, è presente nel citosol di tutte

le cellule animali e vegetali. Nelle cellule animali, che mancano di una parete cellulare rigida, questo sistema ha un'importanza particolare, in quanto contribuisce a mantenere la struttura e la forma della cellula. Il citoscheletro fornisce un'impalcatura per l'organizzazione interna della cellula e un punto di ancoraggio per organuli ed **enzimi**. Esso, inoltre, permette alla cellula di compiere alcuni movimenti. In molti tipi di cellule il citoscheletro è una struttura dinamica, che viene continuamente scomposta e riassembleata. E' costituito da tre tipi principali di filamenti proteici: microtubuli, filamenti di actina e filamenti intermedi, connessi sia tra di loro che con altre strutture cellulari grazie a numerose proteine accessorie.

### **Mitocondri**

I mitocondri hanno una struttura particolare, osservabile al microscopio elettronico: ciascun mitocondrio si presenta come un corpuscolo dalla caratteristica forma a fagiolo, delimitato da due membrane separate, la più interna delle quali presenta numerose pieghe (dette creste). Una cellula può contenere da una decina fino a migliaia di questi organuli.

I mitocondri costituiscono la sede del processo di **respirazione cellulare**, mediante il quale la cellula ricava energia (sotto forma di molecole di ATP) bruciando molecole di **glucosio**, derivanti dalla demolizione delle sostanze nutritive, in presenza di ossigeno.

Le cellule che richiedono ossigeno per il processo di respirazione cellulare sono dette aerobie. Le cellule anaerobie si trovano in organismi (alcuni batteri) che vivono in assenza di ossigeno, nei quali i mitocondri mancano.

### **Ribosomi**

I ribosomi sono organuli formati da due parti più piccole, cioè da due subunità, entrambe di forma tondeggiante. Ciascuna subunità è formata da molecole di **RNA ribosomiale** associate a proteine. E' a livello di questi organuli che avviene la **sintesi delle proteine**. I ribosomi sono organuli presenti anche nei procarioti.

### **Reticolo endoplasmatico e apparato di Golgi**

Una rete tridimensionale di sacche, dette cisterne, delimitate da membrane e tra loro comunicanti, costituisce il reticolo endoplasmatico, che rappresenta il compartimento cellulare dove avviene la sintesi di gran parte dei componenti delle membrane, e dei materiali destinati a essere esportati all'esterno della cellula.

Pile di cisterne appiattite, anch'esse delimitate da membrane, costituiscono, invece, l'apparato di Golgi, che riceve le molecole sintetizzate nel reticolo endoplasmatico, le elabora e le indirizza a diversi siti interni o esterni alla cellula.

### **Lisosomi, perossisomi e vacuoli**

I **lisosomi** sono organuli piccoli, di forma irregolare, che contengono enzimi responsabili della digestione di numerose molecole inutili o nocive per la cellula.

I **perossisomi** sono vescicole delimitate da membrana, che costituiscono un ambiente isolato e circoscritto per reazioni nel corso delle quali vengono generate e demolite forme particolarmente pericolose e reattive dei perossidi di idrogeno.

I **vacuoli** sono piccole cavità delimitate da una membrana, nelle quali vengono accumulate scorie del metabolismo cellulare.



Nella cellula vengono continuamente formate e distrutte piccole vescicole membranose, deputate al trasporto dei materiali da un organulo all'altro. In una tipica cellula animale, il complesso degli organuli delimitati da membrana può occupare fino a metà del volume totale della cellula. Fra il reticolo endoplasmatico, l'apparato di Golgi, i lisosomi, la membrana plasmatica e l'ambiente extracellulare esiste uno scambio continuo di sostanze, mediato da vescicole che si staccano dalla membrana di un organulo per fondersi con quella di un altro.

## Plastidi

I plastidi si possono considerare come sacche membranose sospese nel citoplasma nelle quali la cellula può accumulare sostanze.

I **leucoplasti** sono plastidi nei quali viene confinato l'amido di riserva, in attesa di utilizzazione; alcuni leucoplasti possono sintetizzare oli e proteine. I leucoplasti si dividono in: ezioplasti (plastidi che sono nelle parti aeree della pianta e quindi non sono colpite dalla luce), amnioplasti (sono dei magazzini di amido sottoterra).

I **cromoplasti** sono plastidi nei quali si accumulano pigmenti detti carotenoidi, di colore rosso o giallo. Sono originati dalla trasformazione degli altri due tipi di plastidi.

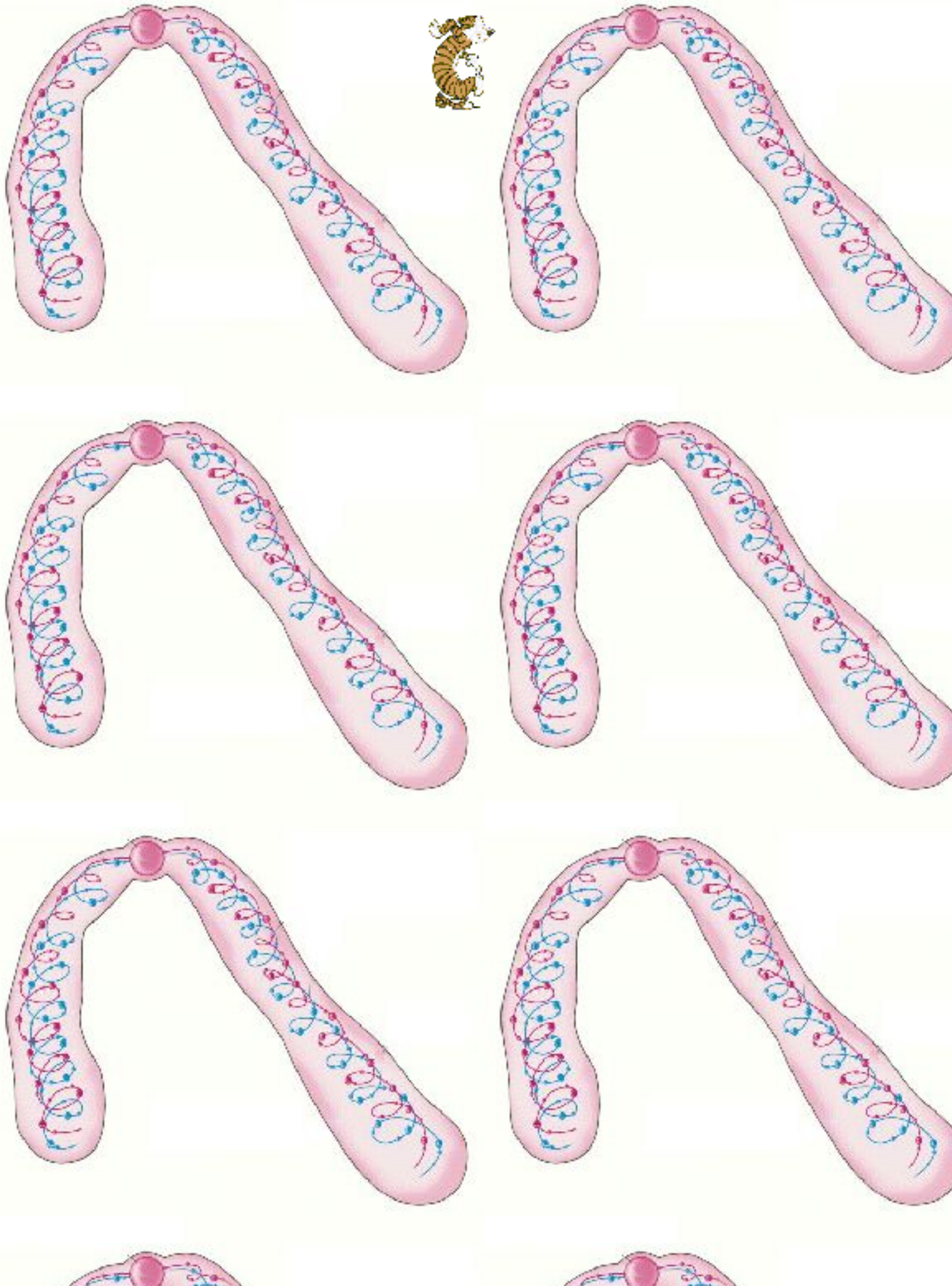
I **cloroplasti** sono plastidi particolari, di colore verde, delimitati da una membrana e contenenti, nel loro interno, pile (dette grana) di sacchetti membranosi appiattiti (detti tilacoidi), connesse fra loro da membrane, dette lamelle intergrana. Nelle membrane interne si trovano molecole di **clorofilla**. I cloroplasti rappresentano la sede del processo chiamato fotosintesi clorofilliana, che sfrutta l'energia dell'irradiazione solare per produrre ossigeno e molecole organiche a partire da anidride carbonica e acqua.

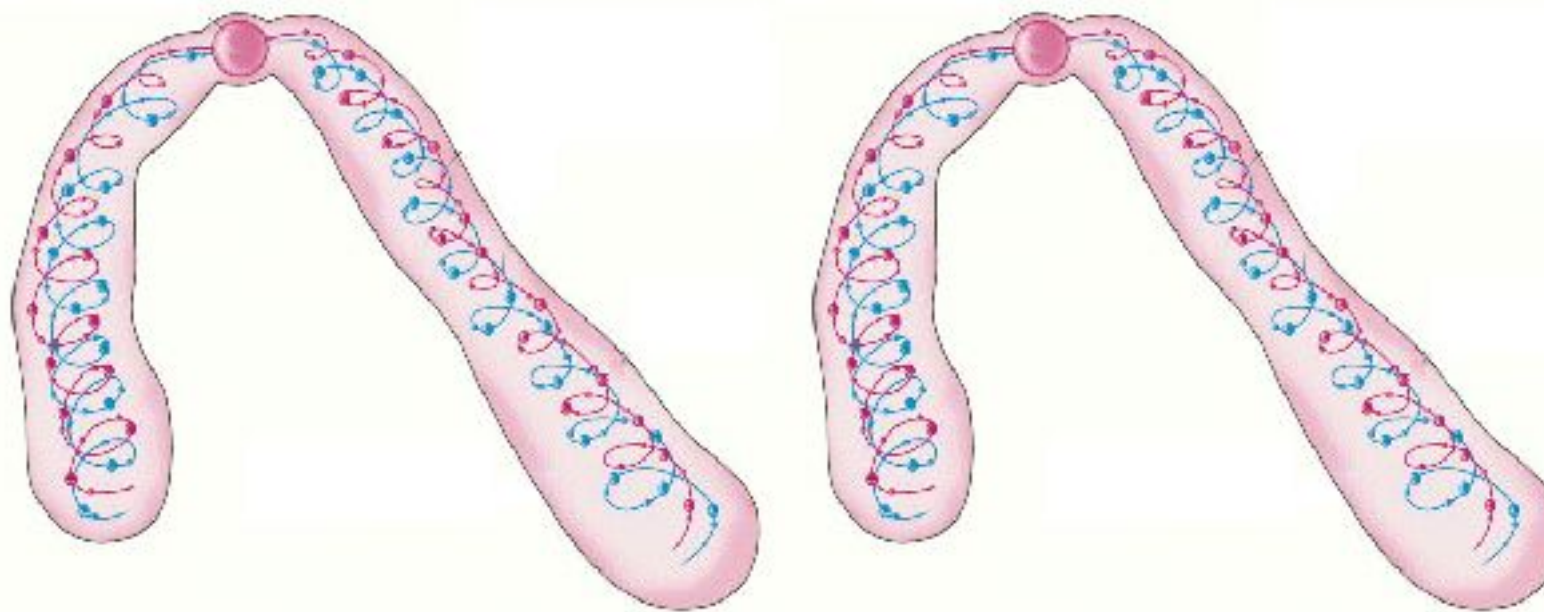
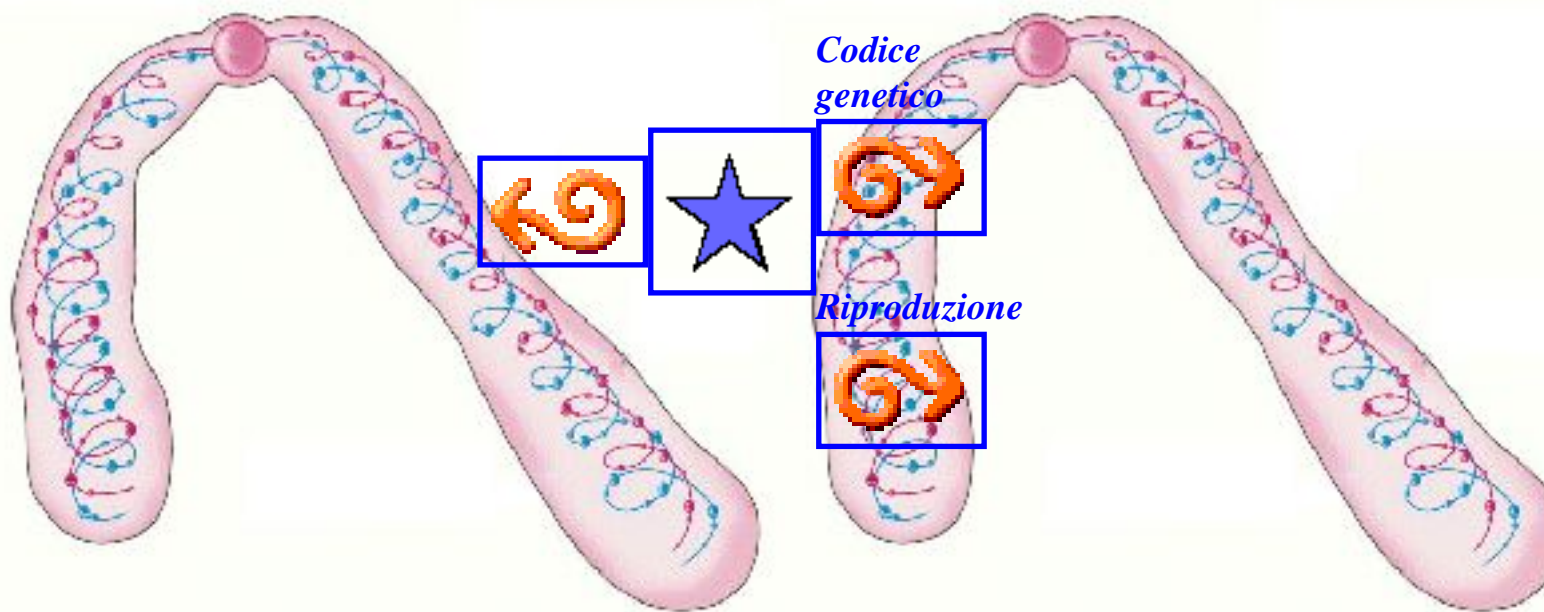
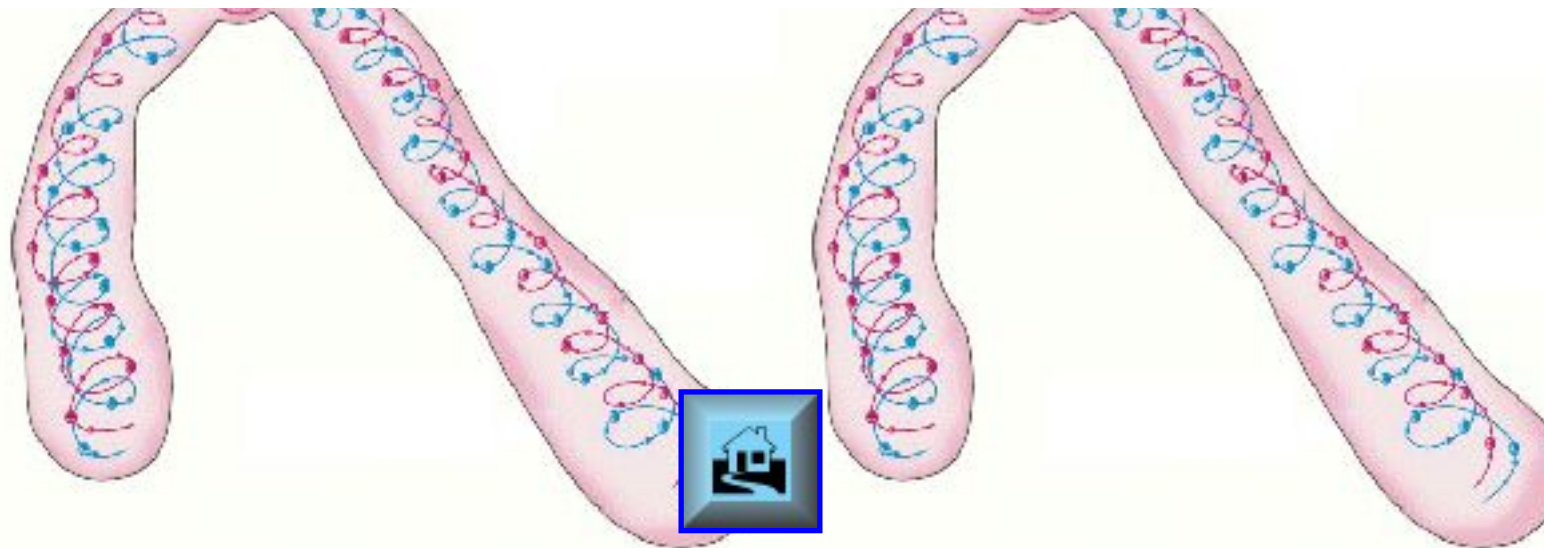
## Vacuolo

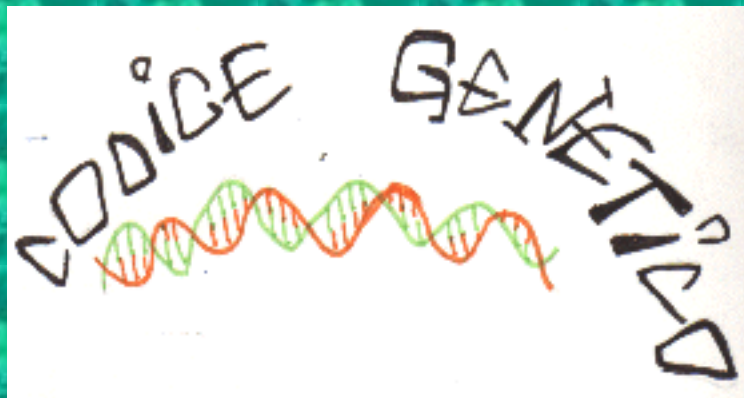
Un grosso vacuolo centrale, ossia una cavità delimitata da una membrana e piena di un liquido detto succo vacuolare, costituisce per la cellula vegetale una sorta di idroscheletro. Esso, infatti, esercita una pressione contro la superficie della cellula che è racchiusa dalla parete rigida, e in tal modo produce un'azione di sostegno per la cellula stessa. Il vacuolo agisce anche da sede di raccolta di scorie del metabolismo.

Disegno di Ramona Moles.









Sistema di corrispondenza tra basi azotate del DNA e amminoacidi. Tale sistema nel corso della [sintesi proteica](#) permette l'interpretazione delle informazioni contenute nella molecola di acido nucleico e la loro trasformazione in un precisa indicazione della sequenza che gli amminoacidi devono avere nella proteina che è in via di formazione. In particolare, il codice genetico è formato da 64 triplette (o codoni), ossia da 64 combinazioni di tre basi azotate, ad esempio AAC, ATA, TCG e così via (in cui A corrisponde ad adenina, C a citosina, G a guanina e T a timina). A ogni tripletta corrisponde un amminoacido: considerando le triplette degli esempi citati, gli amminoacidi corrispondenti sono la leucina, la tirosina e la serina. Poiché gli amminoacidi sono venti, e le possibili triplette sono 64, ne deriva che diverse triplette devono corrispondere a uno stesso amminoacido. In effetti, per citare un esempio, le sei triplette UUA, UUG, CUU, CUC, CUA e CUG indicano l'amminoacido leucina, le due triplette AGU e AGC corrispondono alla serina, mentre il solo codone UGG è attribuito al triptofano. Vi sono tre triplette non-senso, che cioè non corrispondono ad alcun amminoacido e che pongono termine alla sintesi proteica, e una tripletta che costituisce un segnale di inizio della sintesi. Il codice genetico viene definito universale, in quanto è comune a tutti i viventi, dagli animali alle piante, ai batteri; tale sistema di decodificazione delle istruzioni contenute nel genoma è presente anche nei virus; esso è anche detto ridondante, per il fatto che a un solo amminoacido possono corrispondere diverse triplette. La comprensione del codice genetico avvenne nel 1966, grazie alla collaborazione di numerosi ricercatori, tra i quali Marshall Nirenberg.



## LE MUTAZIONI

Con il termine di mutazione si intendono modificazioni (quindi cambiamenti) delle sequenze di basi azotate nel DNA

Muller, nel 1927, si accorse che, con l'esposizione ai raggi X, vi era maggiore probabilità di subire delle mutazioni causate da sostanze chimiche e da altre fonti radioattive (es. : luce ultravioletta o radionuclidi in genere).

Le mutazioni spesso sono causate da agenti fisici e chimici che alterano la struttura del DNA. Causa di mutazioni sono anche: alte temperature, radiazioni di ogni tipo, tra cui le particelle alfa emesse dal decadimento del radon.

Il tasso di mutazione è piuttosto basso nei batteri e negli organismi semplici mentre è più elevato negli organismi superiori, dell'ordine di 1- 2 mutazioni ogni nuovo individuo.

Le mutazioni possono essere di tipo somatico e germinale. Quelle somatiche provocano danni all'individuo che le porta, invece quelle germinali possono ripercuotersi sulla discendenza futura.

La maggior parte di esse sono però dannose; solo una esigua percentuale di tutte le mutazioni risulta essere positiva per la popolazione.

L'organismo portatore di un gene sfavorevole può morire prima di arrivare a riprodursi; in questo caso, il gene mutato sarà immediatamente eliminato. La selezione naturale tende definitivamente a sottrarre all'ambiente i geni mutati.

La selezione naturale favorisce però determinati geni che possono risultare vantaggiosi nel pool genico di tutta la popolazione. Conseguentemente al variare dell'ambiente, può succedere che mutazioni insignificanti possano, magari, esprimersi successivamente. Un caso osservato in biologia e avvenuto abbastanza recentemente è quello relativo alla BISTON BETULARIA, una farfalla studiata in Inghilterra: a seconda delle condizioni ambientali (maggiore o minore quantità di smog che ricopre i tronchi delle betulle sui quali le farfalle si posano) viene premiata, rispettivamente, la varietà ali scure oppure quella ad ali chiare .

Nonostante i problemi che possono causare, le mutazioni sono state di fondamentale importanza all'evoluzione, dalle più semplici forme di vita fino agli organismi più complessi che vivono, o sono vissuti, sulla Terra.

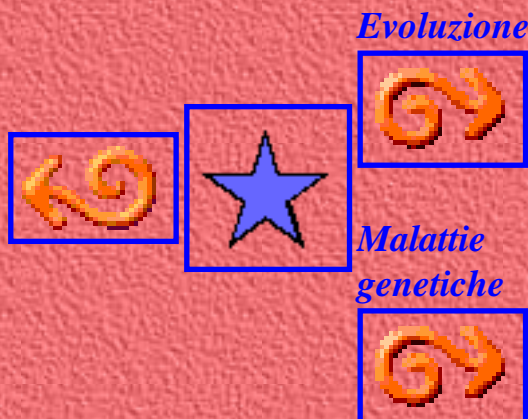
Le mutazioni possono essere di due tipi: cromosomiche e geniche o puntiformi

## MUTAZIONI CROMOSOMICHE

Interi pezzi di cromosomi vengono casualmente eliminati o si fondono con altri già presenti. I geni si vengono così a trovare in una posizione diversa da quella originale. Dato che la regolazione dell'attività di un gene dipende, in parte, dalla sua localizzazione nel genoma, le mutazioni cromosomiche hanno, generalmente, effetti estremamente drammatici; fortunatamente sono piuttosto rare.

Si evidenziano questi tipi:

- Delezioni e duplicazioni: portano alla perdita durante la meiosi di piccoli segmenti. Questi però si inseriscono nel cromosoma omologo che viene quindi a possedere un tratto del DNA duplicato. Dei due cromosomi omologhi, uno perde geni, mentre l'altro ne acquista una quantità maggiore.
- Inversioni: sono dovute a pezzi di cromosoma che si staccano e si inseriscono però in posizione capovolta.
- Traslocazioni: scambio di materiale cromosomico tra due cromosomi non omologhi.
- Euploidie: sono piuttosto dannose e si verificano quando ad un organismo diploide ( $2n$ ) viene a mancare, oppure viene aggiunto, un particolare cromosoma (es. Trisomia 21 o sindrome di Down).
- Poliploidie: compaiono quando si aggiungono uno o più corredi interi di cromosomi. In questo modo un individuo si trova a possedere, all'interno dei nuclei delle sue cellule un corredo cromosomico triplo ( $3n$ ) o quadruplo ( $4n$ ).





## SESSUATA

**Con la riproduzione sessuale si formano individui diversi tra loro e diversi dai loro genitori, ai quali possono però somigliare per alcune caratteristiche.**

**Negli organismi superiori, ogni cellula ha un genoma diploide, cioè contiene nel nucleo un corredo cromosomico in doppia copia: una di origine paterna e una di origine materna.**

**Le cellule sessuali maschili e femminili presentano invece una sola copia di ciascun cromosoma, diventando aploidi in seguito a un processo di divisione cellulare riduzionale.**

**Questo processo è detto processo meiotico (meiosi). La riproduzione sessuale si divide in due tipologie: l'anfigonia e la partenogenesi detta anche monogonia. Entrambe richiedono la presenza di particolari cellule sessuali: i gameti o goni.**

**Nella anfigonia la riproduzione prende avvio con l'unione di due gameti che unendosi formano il processo di fecondazione: questo è il processo più frequente fra gli esseri viventi.**

**Nella partenogenesi manca il processo fecondativo e lo**

**sviluppo del nuovo organismo parte da solo uno dei due gameti.**

**Possiamo distinguere due tipi di gameti: quello femminile detto uovo o ovulo e quello maschile detto spermatozoo o spermio.**



## **ALESSUATA**

**La riproduzione asessuata è quella riproduzione che trasmette copie esatte di cromosomi dai genitori ai figli.**

**Il processo su cui si basa la riproduzione asessuale è detto mitosi.**

**Essendo particolarmente frequente nelle piante viene definita anche riproduzione vegetativa.**

**Negli organismi unicellulari la riproduzione asessuale si svolge con modalità simili alla moltiplicazione cellulare (gemmazione, scissione, ecc.);**

**invece negli organismi pluricellulari essa è svolta grazie alla divisione dell'organismo genitore in due parti che in seguito si ingrandiscono fino a diventare due organismi uguali a quello originale.**

**Questo processo è detto divisione.**

**Un altro tipo di riproduzione asessuata è quella che**



**riguarda le piante: la gemmazione.**

**Sul corpo del genitore si forma una protuberanza o gemma che in seguito si stacca dal genitore diventando così un organismo autosufficiente.**



*Malattie  
genetiche*



*Mitosi*



*Meiosi*

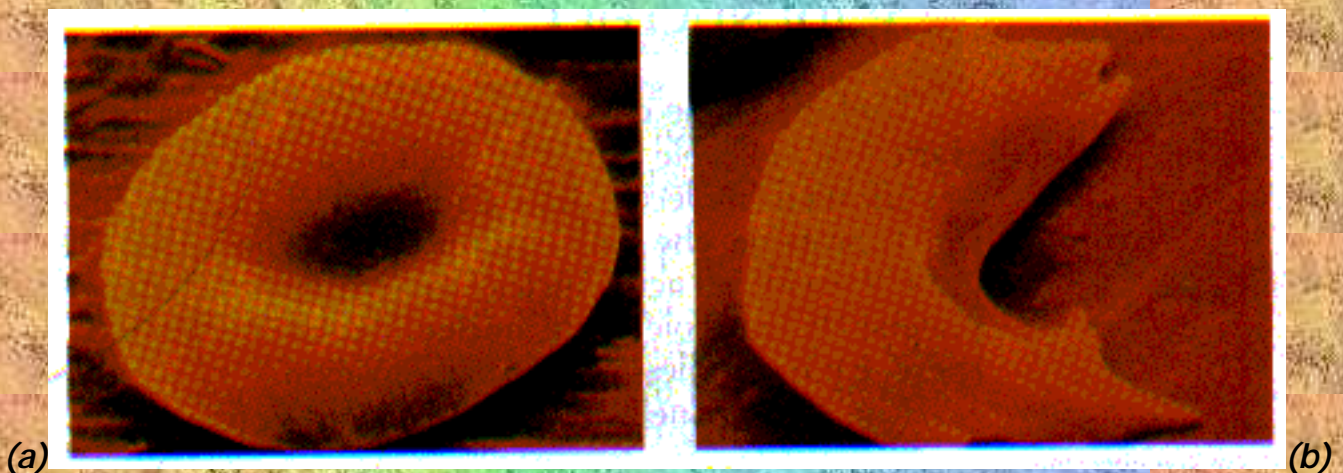


# LE MALATTIE GENETICHE

Le malattie genetiche umane mostrano diversi schemi di ereditarietà a seconda del tipo di mutazione che le causano. Esempi tipici, risultati di mutazioni diverse che colpiscono cromosomi differenti, sono :

- la **distrofia muscolare di Duchenne**, una malattia degenerativa del muscolo che colpisce specificamente i maschi;
- la **fibrosi cistica**, che invece, colpisce maschi e femmine in eguale misura;
- la **corea di Huntington**, malattia degenerativa del sistema nervoso che colpisce in età adulta è causata da un terzo tipo di mutazione.

Con l'uso delle tecniche del DNA ricombinante, è possibile utilizzare un gran numero di marcatori molecolari o genetici, tra cui i più usati sono i cosiddetti **RFLP**. Questa tecnica si basa sul principio che variazioni sulle sequenze di DNA avvengono lungo tutto il genoma. Una variabilità di sequenza, quindi, è possibile anche nell'uomo. Si è stimato che un cambiamento di sequenza avvenga all'incirca ogni 200 nucleotidi. Se queste sostituzioni avvengono nelle sequenze specifiche riconosciute da enzimi di restrizione, il sito in questione non sarà più tagliato e quindi il frammento contenente la variabilità di sequenza avrà lunghezza diversa; ad esempio nella ricerca di un test per la diagnosi dell'anemia falciforme vennero preparate delle copie radioattive di segmenti della sequenza nucleotidica che codifica per la catena beta dell'emoglobina. Per mezzo dell'enzima di restrizione **HpaI** venne estratto del DNA sia da persone con emoglobina normale sia da persone affette da anemia falciforme.



*Fotografia al microscopio elettronico a scansione di (a): un globulo rosso umano contenente emoglobina normale; e (b): un globulo rosso contenente*

*emoglobina anomala, associata all'anemia falciforme. Queste immagini sono ingrandite circa 35000 volte.*

I frammenti prodotti vennero poi esposti alla sonda radioattiva. Nelle persone con emoglobina normale la sonda si ibridava sempre con un frammento di DNA che aveva una lunghezza di 7000 o 7600 nucleotidi. Viceversa, nell'87 % delle persone affette da anemia falciforme la sonda si ibridava con un frammento molto più lungo. Lo stesso risultato è stato osservato con cellule ottenute dall'amniocentesi, fornendo così un test di diagnosi prenatale di una delle più frequenti e gravi malattie genetiche.



*Mutazioni*



*Riproduzione*





La **mitosi** è un processo di divisione cellulare equazionale in cui il numero dei cromosomi della cellula madre si mantiene nelle cellule figlie.

La mitosi si articola in quattro fasi:

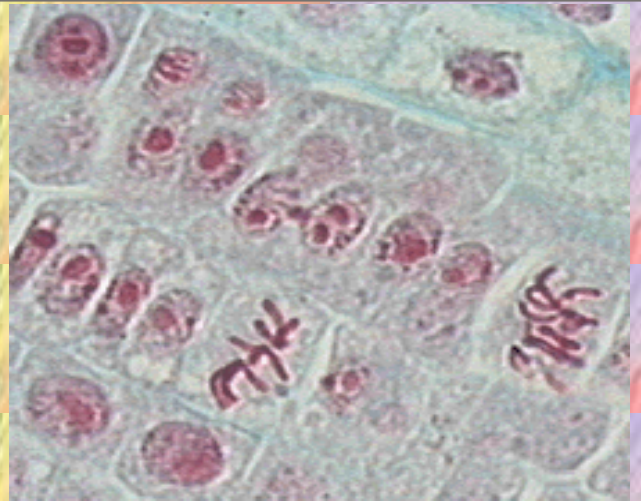
- I. **Profase**
- II. **Metafase**
- III. **Anafase**
- IV. **Telofase**, a cui segue un periodo di riposo detto **interfase**.

La divisione si inizia nel nucleo e per questo è detta anche **cariocinesi** (dal greco karion, nocciolo e kinesis, movimento): il momento in cui tale processo prende avvio è la duplicazione del DNA. I cromosomi si dispongono all'incirca all'equatore della cellula, mentre ai due poli opposti si vengono a trovare due corpiccioli, i **centrioli**, congiunti tra loro da sottili filamenti.

Poi ogni cromosoma si divide longitudinalmente in due, dando origine a due cromosomi eguali; infine i due gruppi di cromosomi figli si separano, riunendosi ciascuno nei pressi del rispettivo centriolo.

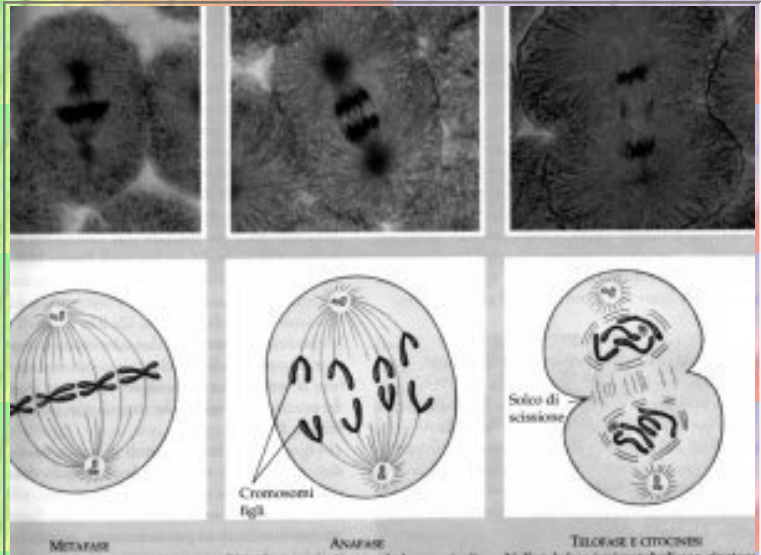
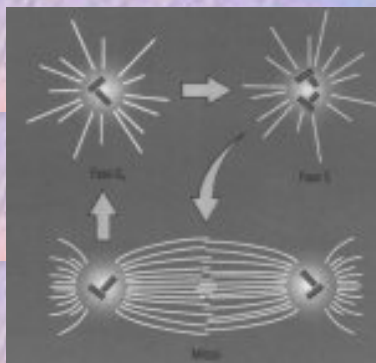
Durante tutto questo processo la membrana nucleare è scomparsa; alla fine essa riappare, mentre i cromosomi perdono la loro individualità e ritornano a formare una massa indistinta; la membrana della cellula si restringe in una specie di strozzamento anulare che divide il citoplasma in due metà, ciascuna unita di un suo

nuovo nucleo.

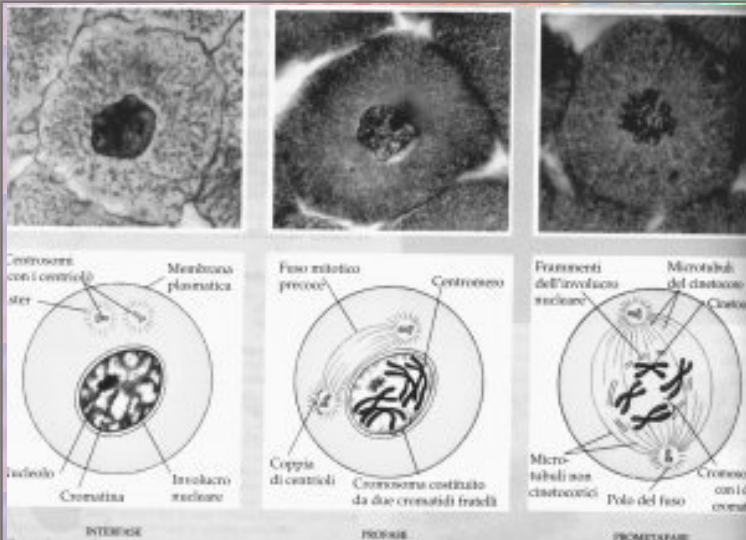


LA DIVISIONE DEI CROMOSOMI

MITOSI DI UN APICE RADICALE DI CIPOLLA (by Liceo Copernico)



FASI MITOTICHE

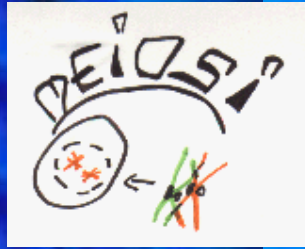


FASI MITOTICHE

Vuoi vedere la mitosi dal vivo? Osserva le divisioni mitotiche successive di un batterio che portano alla formazione di una colonia batterica...

filmato [\(clicca qui\)](#)

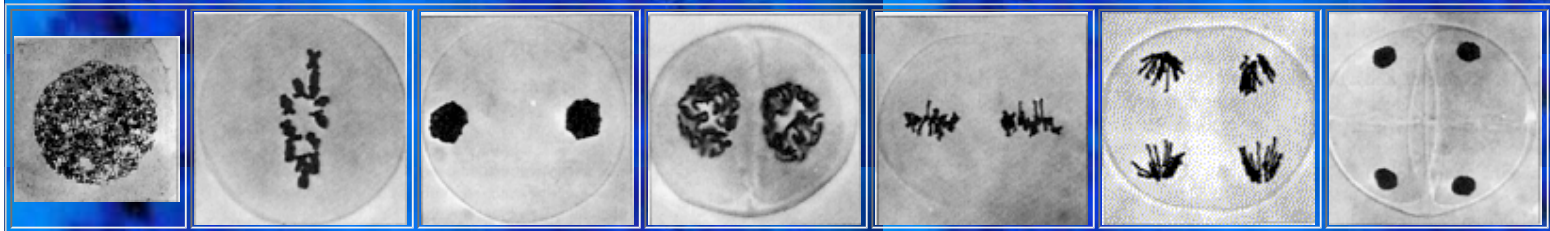




La **meiosi** è un processo di divisione cellulare riduzionale tipico delle cellule sessuali da cui hanno origine i gameti con un numero di cromosomi dimezzato. Al momento della fecondazione i cromosomi dei due gameti, maschile e femminile, si sommano così da consentire al nuovo individuo di conservare costante il numero di cromosomi caratteristico della specie a cui appartiene.

A differenza delle cellule che si formano per mitosi, quelle ottenute dalla meiosi non conservano il loro **corredo cromosomico** in forma **diploide** (46 cromosomi nella specie umana), bensì in forma **aploide** (23 cromosomi).

Ciò consente che tale corredo resti costante per quantità nella cellula ottenuta dalla fecondazione (zigote), ma possa essere variato per qualità da una generazione all'altra: infatti, ogni nuovo individuo possiede un patrimonio genetico trasmessogli metà per via materna e metà per via paterna.



## FASI MEIOTICHE





[Evoluzione prebiotica](#)

[Origine della vita](#)

[Evoluzione umana](#)

[Prove dell'evoluzione](#)

[Meccanismi evolutivi](#)

[Neodarwinismo e genetica delle popolazioni](#)

[L'origine delle specie e l'evoluzione della diversità](#)

[Coevoluzione](#)

[Evoluzione divergente e convergente](#)

## EVOLUZIONE

Processo di formazione delle forme viventi a partire da organismi più semplici; tale processo è iniziato circa 3,5 miliardi di anni fa, con la comparsa dei primi organismi procarioti. In particolare, nel processo di evoluzione si inquadra il processo di speciazione, ossia di formazione di nuove specie, che è in continuo svolgimento.

### Evoluzione prebiotica

La formazione della Terra si fa risalire a 4,5 miliardi di anni fa. Le prime cellule apparvero probabilmente circa 3,5 miliardi di anni fa: a tale periodo risalgono le rocce in cui sono stati effettuati i ritrovamenti di tali cellule, come è stato possibile determinare attraverso metodi di datazione con isotopi radioattivi. Non è possibile sapere con certezza in quale modo si verificò la formazione di una primordiale struttura cellulare, anche se numerosi studiosi di questo evento concordano sul fatto che l'evento chiave deve essere stato la formazione spontanea di unità autoreplicanti, in senso lato analoghe a ciò che attualmente si intendono come geni.

L'atmosfera della Terra primordiale era riducente e conteneva probabilmente metano, ammoniaca, anidride carbonica e altri gas che oggi si trovano in abbondanza in altri pianeti del sistema solare. Alcuni chimici hanno ricreato in laboratorio le condizioni primordiali in cui si ritiene che abbia avuto origine la vita, cercando di riprodurre sperimentalmente questo evento. L'esperimento ha avuto luogo in un pallone di vetro, in cui sono stati miscelati acqua e gas e si è fornita energia tramite una scarica elettrica. In queste condizioni i ricercatori hanno registrato la sintesi spontanea di alcune molecole organiche, tra cui amminoacidi (le subunità di cui sono costituite le proteine) e nucleotidi (i mattoni di costruzione degli acidi nucleici, DNA e RNA). Probabilmente sulla Terra primitiva è successo qualcosa di simile, che ha in seguito trasformato la massa oceanica in un "brodo primordiale" di composti organici prebiologici. La formazione del brodo primordiale contenente molecole organiche non è, tuttavia, sufficiente a dire che si sia originata la vita: come menzionato in precedenza, il passo cruciale deve essere stato la sintesi di molecole autoreplicanti, capaci di produrre autonomamente copie di se stesse.

La più nota molecola autoreplicante che esiste attualmente è il DNA (acido desossiribonucleico); molti ricercatori ritengono, tuttavia, che il DNA non potesse essere la molecola autoreplicante presente all'origine della vita, poiché la sua replicazione dipende da meccanismi e molecole accessorie molto complessi, che non potevano essere disponibili in quel momento. Secondo le ipotesi più accreditate, il DNA si sarebbe evoluto in



un secondo momento, da un altro acido nucleico molto simile: si tratta dell'RNA, che riveste un ruolo vitale nelle cellule viventi e che per molte sue caratteristiche potrebbe essere stata la molecola autoreplicante originale. In seguito a questo evento, la popolazione di molecole autoreplicanti presente nel brodo primordiale potrebbe essere stata sottoposta a una pressione selettiva analoga a quella descritta da Darwin come selezione naturale. Nella popolazione si sarebbero, cioè, formate delle molecole mutanti, a causa di errori che comparivano casualmente durante la duplicazione: le varianti in grado di replicarsi in modo particolarmente efficiente sarebbero divenute dominanti nel brodo primordiale, mentre le varianti a replicazione inefficiente si sarebbero gradualmente ridotte di numero, fino a scomparire. Questo tipo di selezione, che potrebbe essere nata dalla competizione da parte dei diversi tipi di molecole autoreplicanti per le molecole organiche costitutive presenti nel brodo primordiale, potrebbe avere condotto a una sempre maggiore efficienza delle molecole replicanti. Sempre nella direzione dell'origine delle forme di vita cellulari, altri eventi chiave potrebbero essere stati l'associazione delle molecole autoreplicanti ad altre molecole (forse proteine) in complessi sovramolecolari e la formazione di strutture membranose, in grado di costituire un ambiente, chiuso e controllato, in cui potessero avvenire reazioni chimiche differenti da quelle dell'ambiente esterno.

I fenomeni descritti, avvenuti prima della comparsa di vere e proprie cellule, vengono genericamente indicati con il termine di evoluzione prebiotica, cioè "prima della vita".

### Origine della vita

Queste prime formazioni limitate da una membrana potrebbero essere stati i primi organismi unicellulari, simili a batteri, di cui conserviamo la documentazione fossile, risalente a circa 3,5 miliardi di anni fa. I passi successivi nell'evoluzione di organismi viventi sempre più complessi può essere visto come il tentativo di costruire strutture sempre più efficienti nel permettere alle molecole autoreplicanti (analoghe a ciò che si intende come gene) di sopravvivere e riprodursi indefinitamente.

Resti fossili abbondanti si trovano solo a partire da quelli che risalgono al periodo Cambriano, ossia a circa 570 milioni di anni fa, quando era già comparsa la maggior parte dei principali phyla animali e vegetali. Ciò è probabilmente dovuto al fatto che le forme di vita precedenti al cambriano erano prive di parti scheletriche rigide, come ossa e denti, e dunque non fossilizzavano facilmente. I primi vertebrati fecero la loro comparsa tra 300 e 400 milioni di anni fa; erano creature simili a pesci, interamente ricoperte di pesanti armature, che forse rappresentavano un sistema di protezione contro gli euripteridi, giganteschi predatori marini, simili a scorpioni, che infestavano i mari a quel tempo.

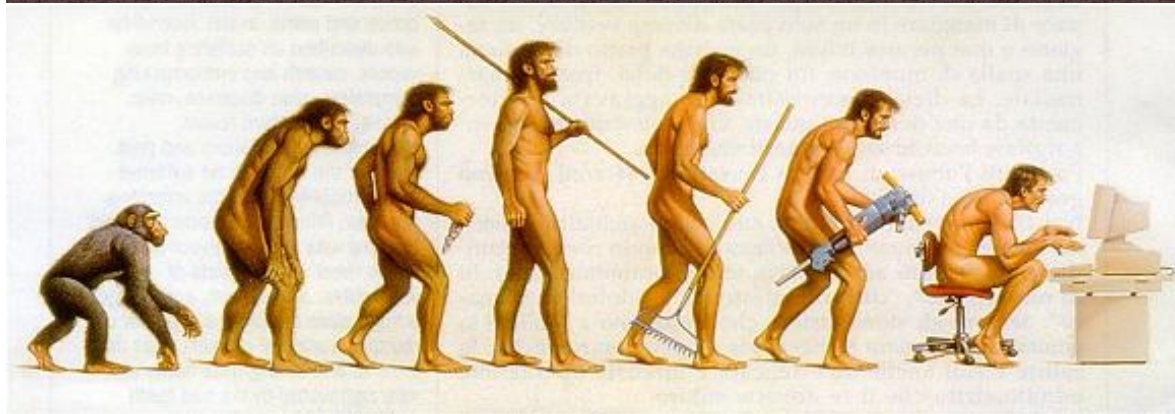
L'uscita dall'acqua e la colonizzazione della terraferma deve essere avvenuta circa 250 milioni di anni fa, prima da parte di pesci con pinne lobate e polmoni, poi dagli anfibi e infine da animali considerati simili ai rettili.

I mammiferi e, successivamente, gli uccelli si sono originati da due linee evolutive differenti dei rettili. La rapida differenziazione dei mammiferi nella ricca varietà di specie che possiamo osservare anche oggi, dall'opossum all'elefante, dai formichieri alle scimmie, sembra essere stata favorita dal vuoto lasciato dalla catastrofica estinzione dei dinosauri, avvenuta circa 65 milioni di anni fa.

Oltre al regno animale, altre linee evolutive sono raggruppate nei regni delle piante, dei funghi e dei prototisti, tutti appartenenti al grande raggruppamento degli eucarioti (con cellule caratterizzate da un vero nucleo, delimitato da membrana). Contrapposti agli eucarioti sono i procarioti, organismi unicellulari che comprendono archeobatteri, eubatteri e cianobatteri. Il passaggio da procarioti a eucarioti sembra essere avvenuto

1,4 miliardi di anni fa. Una accreditata teoria è quella endosimbiontica, secondo la quale alcuni batteri capaci di utilizzare l'ossigeno e altri in grado di effettuare la fotosintesi avrebbero potuto essere inglobati da batteri anaerobi e, con il tempo, evolversi come mitocondri e cloroplasti, cioè come organuli tipici delle cellule eucarioti.

## Evoluzione umana



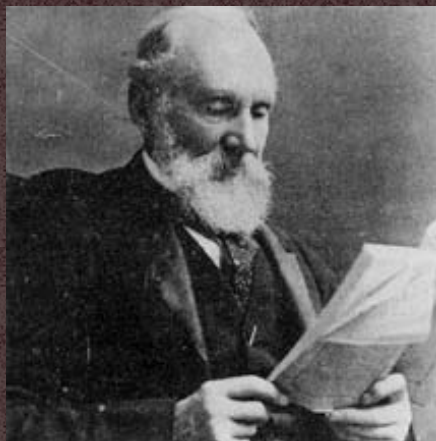
La nostra specie si è evoluta all'interno del gruppo delle scimmie antropomorfe africane, grazie a un passaggio evolutivo avvenuto qualche milione di anni fa. In base ad alcune prove molecolari, l'ultimo antenato comune a specie umana, scimpanzé e gorilla risalirebbe a non più di cinque milioni di anni fa. I resti fossili dei nostri diretti antenati ci mostrano diverse forme arcaiche di Homo sapiens (fra cui l'uomo di Neanderthal, vissuto in Europa), preceduto da Homo erectus, vissuto circa due milioni di anni fa. Benché Homo erectus sia vissuto in Asia e Africa, è, tuttora, oggetto di discussione se esistano discendenti viventi dei membri asiatici di questa specie. Molti antropologi prediligono, infatti, l'ipotesi secondo la quale tutti gli uomini moderni sarebbero derivati da una popolazione africana di Homo sapiens, vissuta meno di 250.000 anni fa e migrata dall'Africa negli ultimi 200.000 anni.

Tra i nostri progenitori, le dimensioni del cervello aumentano progressivamente con l'evolversi delle diverse specie: l'encefalo di Homo erectus era più piccolo di quello di Homo sapiens. Gli antenati immediatamente precedenti al genere Homo sembrano essere stati membri del genere Australopithecus, descritti come scimmie antropomorfe bipedi, con un cervello di dimensioni simili a quello dei moderni scimpanzé. Prima di loro, la nostra linea evolutiva era fusa a quella delle altre scimmie antropomorfe africane, gli scimpanzé e i gorilla, e per circa dieci milioni di anni è stata caratterizzata da adattamenti alla vita arboricola, quali occhi frontali e mani e piedi prensili. Prima ancora, i nostri antenati erano probabilmente piccoli animali insettivori simili a toporagni, che vivevano di notte in un mondo dominato dai dinosauri. Questi piccoli mammiferi discendevano, a loro volta, dal grande gruppo dei rettili-mammiferi, diffusi prima dell'avvento dei dinosauri.

## Prove dell'evoluzione

Il contributo di Charles Darwin alla comprensione di come avviene l'evoluzione delle forme viventi comprende, da un lato, la raccolta di un'enorme quantità di prove a sostegno di questo processo e, dall'altro lato,

la formulazione dell'unica teoria in grado di spiegarne scientificamente i meccanismi. Benché Alfred Russel Wallace sia arrivato in modo indipendente a formulare la teoria evolutiva quasi contemporaneamente a Darwin, il nome di quest'ultimo viene, tuttavia, ricordato più di quello di Wallace per il gran numero di prove chiare e convincenti che sono presentate nell'Origine delle specie. Una delle prove fornite da Darwin a sostegno della sua teoria era la presenza di fossili, dai quali era possibile ricostruire forme viventi spesso completamente diverse da quelle attuali. Alcuni geologi del suo tempo, tuttavia, ritenevano che queste prove non fossero abbastanza convincenti. In particolare, nel 1862 il fisico William Kelvin, che come scienziato godeva al tempo di un immenso prestigio, mise in difficoltà Darwin, dimostrando con autorevolezza ma, come oggi sappiamo, erroneamente, che il Sole e, quindi, la Terra (che si è formata dopo il Sole) non potevano essere più vecchi di 24 milioni di anni. Sebbene questa stima fosse considerevolmente migliore della data 4004 a.C., assunta allora dalla gerarchia ecclesiastica come probabile data della creazione, essa non lasciava a Darwin il modo di spiegare l'evoluzione con i tempi e le modalità da lui ipotizzate. L'errore di Kelvin, successivamente chiarito, si basava sull'assunto che il Sole fornisse calore per combustione invece che per fusione nucleare.



(Nella foto il fisico William Kelvin)

Oltre ai resti fossili, Darwin fornì altre prove dell'evoluzione, talvolta meno dirette, ma in molti casi più convincenti. Le veloci modificazioni che si ottenevano con gli incroci degli animali e delle piante domestici (vedi Riproduzione controllata delle piante) erano un argomento persuasivo sia della possibilità di generare varianti evolutive delle specie, sia per dimostrare l'efficacia dell'equivalente artificiale della selezione naturale, che Darwin proponeva come meccanismo alla base dell'evoluzione. Darwin era, inoltre, particolarmente convinto dalla prova della distribuzione geografica degli animali: la presenza di specie simili nei diversi continenti si spiega, infatti, facilmente con la separazione delle specie ancestrali, avvenuta con la deriva dei continenti (vedi Tettonica a zolle), e con la divergenza evolutiva dalle specie originali delle popolazioni così separate, fino alla trasformazione in nuove specie, tipiche di ciascuna area geografica.

Una specie è, per definizione, un gruppo di organismi viventi in grado di incrociarsi tra loro e di produrre prole fertile. La teoria creazionista, che si oppone all'evoluzionismo, non fornisce una spiegazione altrettanto semplice e convincente di questo fenomeno, in quanto ipotizza la creazione di specie simili, ma indipendenti, avvenuta ripetutamente in numerosi punti della superficie terrestre.

La classificazione tassonomica di animali, piante e altri organismi viventi avviene in base a criteri di somiglianza così naturali, che intuitivamente suggerisce la presenza di un albero genealogico, in grado di collegare le diverse specie le une alle altre; a questo proposito, invece,

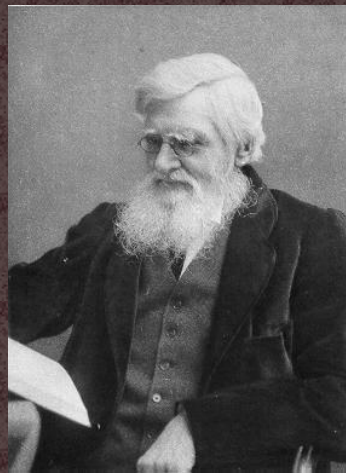
nella teoria creazionista si trovano ipotesi forzate ed elaborate per spiegare il senso di temi e variazioni nella mente del creatore.

Un'ulteriore prova apportata da Darwin a sostegno delle sue ipotesi è costituita dagli organi vestigiali presenti negli adulti e negli embrioni di molti animali: ad esempio, la presenza di piccole formazioni ossee collocate in profondità nel corpo dei cetacei, vicino al bacino, si può spiegare ammettendo che esse siano i residui evolutivi di vere e proprie zampe di loro antenati terrestri. Questi particolari non vengono spiegati in modo altrettanto efficace dai creazionisti.

### Meccanismi evolutivi

Il meccanismo alla base dell'evoluzione, proposto da Darwin e Wallace con il nome di selezione naturale, consiste nella sopravvivenza non casuale di caratteristiche ereditarie che variano, invece, casualmente. Qualcosa di simile era stato suggerito in precedenza da altri studiosi britannici del periodo vittoriano, come Patrick Matthew ed Edward Blyth, anche se il loro apprezzamento di questa forza selettiva era apparentemente limitato alla componente negativa, di eliminazione delle specie. Darwin e Wallace riconobbero, invece, il suo potenziale di forza anche positiva, in grado di guidare l'evoluzione di tutte le forme di vita. In sintesi, la selezione naturale è l'insieme di tutte le forze presenti nell'ambiente naturale, che esercita una pressione evolutiva su tutte le forme di vita e le loro varianti.

Semplificando, si può dire che la selezione naturale opera scegliendo il "più adatto" e scartando "il meno adatto". Secondo Darwin, una variazione ha valore adattativo quando aiuta l'organismo che la manifesta a sopravvivere e a riprodursi. In un predatore, ad esempio, sono qualità adattative la capacità di correre velocemente e una vista acuta.



(nella foto Alfred Russel Wallace)

Alla teoria della selezione naturale molti degli evoluzionisti delle generazioni precedenti a Darwin preferivano, invece, un'ipotesi alternativa, oggi comunemente associata al nome di Jean-Baptiste de Lamarck, secondo la quale le variazioni acquisite durante la vita di un organismo, come l'ingrossamento di un organo in seguito a un utilizzo intenso o la sua riduzione a causa di un uso ridotto, sarebbero ereditarie. Benché questa teoria dell'ereditarietà dei caratteri acquisiti possa esercitare un fascino irrazionale ed emotivo, non vi sono, tuttavia, prove in grado di dimostrarla, né essa è possibile teoricamente. È, infatti, difficile spiegare come le variazioni operate sul corpo dell'individuo nel corso di una vita possano andare a codificarsi nei geni delle cellule della linea germinale (gameti). Ai tempi di Darwin, tuttavia, le conoscenze molecolari dei

meccanismi dell'ereditarietà erano molto scarse e, dunque, la questione risultava più controversa.

La scarsa conoscenza di questi meccanismi risulta evidente nella "teoria della pangenesi", proposta da Darwin per spiegare il fenomeno della trasmissione dei caratteri ereditari. In base a questa ipotesi, i fattori ereditari che si trasmettono da una generazione all'altra sarebbero il contributo di parti infinitesime, provenienti da tutte le regioni dell'organismo dei genitori e confluenti nelle cellule germinali. Questa ipotesi è uno dei punti più deboli di tutta la teoria darwiniana. Una semplice spiegazione al problema dell'ereditarietà, che peraltro si accorda perfettamente con le teorie evolutive della selezione naturale, si trovava nei risultati degli esperimenti di Gregor Mendel, pubblicati nel 1865, il cui valore fu trascurato dalla comunità scientifica per circa cinquanta anni.

### Neodarwinismo e genetica delle popolazioni

Le ricerche di Mendel, riscoperte all'inizio del Novecento, dimostrarono che l'ereditarietà è dovuta alla trasmissione di generazione in generazione di particelle discrete, oggi dette geni, e non dalla miscela di molte sostanze presenti nell'organismo (come proponeva Darwin con la sua "teoria della pangenesi"). La selezione naturale agisce, pertanto, sull'effetto provocato dalla presenza, assenza o variazione di un gene in un nuovo individuo. Come fu intuito inizialmente dal matematico britannico G. H. Hardy e dal ricercatore tedesco W. Weinberg, non vi è, infatti, una tendenza innata dei geni a scomparire; se ciò si verifica, è a causa di un insieme di forze selettive naturali che agisce sugli effetti prodotti da questi geni sull'individuo che li possiede, influenzandone la probabilità di sopravvivenza e di riproduzione. La versione moderna del darwinismo, chiamata neodarwinismo, è, cioè, basata su un'interpretazione probabilistica dei fenomeni evolutivi e di selezione naturale. Essa fu elaborata negli anni Venti e Trenta dai genetisti di popolazione R.A. Fisher, John B.S. Haldane e Sewall Wright e consolidata più tardi, negli anni Quaranta, in ciò che viene oggi chiamato neodarwinismo. La rivoluzione della biologia molecolare, che ha avuto inizio negli anni Cinquanta, non ha fatto che rafforzare e confermare con dati sperimentali gli assunti teorici di questi studiosi.



(Nella foto Gregor Mendel)

La moderna teoria genetica della selezione naturale può essere riassunta come segue. I geni di una popolazione di animali o di piante che si riproducono per via sessuale costituiscono un pool genico. I geni in un certo senso competono tra loro nel pool genico, come le prime molecole autoreplicanti competevano nel brodo primordiale.

Nel pool genico, ogni nuovo gene si origina a causa di una mutazione, un errore casuale che può verificarsi a livello dei geni. Una volta che, mediante mutazione, si è formata una nuova variante di un gene, questa entra a far parte del pool genico di una popolazione perché, mediante la riproduzione sessuale, essa può venire trasmessa ad altri individui.

Qualunque gene di un pool genico esiste in numerose varianti, tutte dovute a mutazioni avvenute a un certo punto della storia evolutiva di quel gene. Tutte le varianti di uno stesso gene sono dette alleli e, a seconda della frequenza o rarità di ciascun allele all'interno del pool genico, si parla di alta o bassa frequenza allelica (si può, ad esempio, parlare di una determinata frequenza che in una popolazione hanno gli alleli che codificano per il colore azzurro o marrone degli occhi). A livello genetico, l'evoluzione può essere definita come il processo con cui la frequenza allelica varia in un pool genico.

La frequenza allelica può essere modificata a causa di fattori quali: la mortalità e l'emigrazione; la riproduzione e l'immigrazione; il caso o deriva genetica; la mutazione.

Consideriamo, ad esempio, gli alleli responsabili della lunghezza delle ali in una popolazione di moscerini della frutta: se una popolazione possiede alleli che producono ali più lunghe e un'altra ali più corte, questa differenza di caratteri può riflettersi in tassi di mortalità diversi, oppure nella differente capacità di volare che permette all'una, ma non all'altra, di emigrare in un altro areale. Tutti questi fenomeni, guidati da forze selettive, alla fine producono una variazione delle frequenze alleliche nel pool genico. Gli altri due fattori fanno, invece, variare le frequenze in modo più diretto: la deriva genetica è quella parte di variazione delle frequenze alleliche dovuta al caso, mentre le mutazioni di un allele in un altro sono un evento raro e, quindi, non influiscono molto sulle variazioni di frequenza allelica.

### L'origine delle specie e l'evoluzione della diversità

L'evoluzione porta alla divergenza e alla diversità delle specie. Per la pressione selettiva, tra le diverse forme vengono selezionate quelle che sono dotate di maggior valore adattativo. In questo modo, da un singolo primo antenato, nel corso della storia si sono evolute molte centinaia di milioni di specie diverse. Il processo con cui da una specie si originano due nuove specie è detto speciazione. La divergenza tra le specie si riflette nella separazione delle unità tassonomiche (generi, famiglie, ordini, classi ecc.).

Uno dei fattori che spesso contribuiscono ai processi di speciazione è l'isolamento geografico: una specie viene accidentalmente divisa in due popolazioni separate da barriere geografiche. L'isolamento può avvenire negli habitat più disparati: si può trattare di una vera e propria isola in mezzo al mare, ma anche di un lago separato da altre acque dolci, oppure di un'isola di vegetazione nel deserto (oasi); perfino un albero in un campo può essere un fattore di isolamento sufficiente per qualcuno dei suoi piccoli abitanti. L'isolamento geografico comporta, infatti, l'assenza di flusso genico, cioè la mancanza di contaminazione sessuale tra i diversi pool genici delle popolazioni separate. In queste condizioni, a causa delle differenti pressioni selettive o di variazioni casuali nei due areali, le frequenze alleliche nei pool possono cambiare. Quando la diversità genica ha raggiunto un certo punto critico, le due sottopopolazioni, anche se si rincontrassero, avrebbero comunque accumulato differenze tali per cui

non sarebbero più in grado di incrociarsi fra loro o di produrre prole fertile. In tal modo, esse non si considerano più due popolazioni separate, appartenenti alla stessa specie, bensì due specie autonome e indipendenti.

Non solo le barriere geografiche sono responsabili del blocco del flusso genico che alla fine conduce alla comparsa di nuove specie: esistono, infatti, isolamenti di tipo ecologico o comportamentale, che possono esercitare gli stessi effetti. Un tipico esempio è quello di una popolazione di animali diurni che, a un certo punto, assume abitudini notturne: le scarse occasioni di incontro con gli altri membri della specie, rimasti diurni, può condurre alla separazione totale dei due gruppi in due specie differenti.

## Coevoluzione

L'idea neoplatonica della "grande catena della vita", con un organismo unicellulare al livello più basso e gli uomini poco sotto gli angeli, o l'immagine lamarckiana dell'evoluzione come di una scala in salita, per cui le forme di vita presenti sui gradini più bassi erano destinate a trasformarsi in quelle che si trovavano sui gradini più alti, hanno contribuito a comporre l'idea, errata, dell'evoluzione come di un processo che avviene in serie.

Secondo il modello moderno di evoluzione le specie si evolvono, invece, in parallelo. In questa prospettiva, un insetto bene adattato alle attuali condizioni ambientali è evoluto tanto quanto un uomo o una pianta.

Il termine coevoluzione si riferisce all'evoluzione di adattamenti determinati dalle interazioni tra specie, ad esempio tra predatore e preda o tra ospite e parassita. Una prova di coevoluzione viene fornita dalla documentazione fossile che testimonia lo sviluppo contemporaneo delle ossa degli arti sia negli erbivori che nei carnivori.

## Evoluzione divergente e convergente

L'evoluzione divergente è un processo di variazione di un determinato carattere, originariamente comune a diversi gruppi di organismi, in più direzioni. Un esempio è l'arto primitivo comune ad alcuni vertebrati, che si è differenziato in strutture diverse, sia dal punto di vista anatomico sia funzionale, diventando, nei diversi casi, il braccio degli uomini, l'ala degli uccelli o la zampa delle rane. Queste strutture sono dette omologhe, perché derivano da una stessa struttura, pur sembrando differenti.

Per evoluzione convergente si intende, invece, il fenomeno opposto: lo sviluppo di strutture simili dal punto di vista funzionale, a partire da strutture non affini dal punto di vista evolutivo. Queste strutture vengono dette analoghe: un esempio è rappresentato dall'occhio dei molluschi e da quello dei mammiferi.







# EVOLUZIONE

Processo di formazione delle forme viventi a partire da organismi più semplici; tale processo è iniziato circa 3,5 miliardi di anni fa, con la comparsa dei primi organismi procarioti. In particolare, nel processo di evoluzione si inquadra il processo di speciazione, ossia di formazione di nuove specie, che è in continuo svolgimento.

## Evoluzione prebiotica

La formazione della Terra si fa risalire a 4,5 miliardi di anni fa. Le prime cellule apparvero probabilmente circa 3,5 miliardi di anni fa: a tale periodo risalgono le rocce in cui sono stati effettuati i ritrovamenti di tali cellule, come è stato possibile determinare attraverso metodi di datazione con isotopi radioattivi. Non è possibile sapere con certezza in quale modo si verificò la formazione di una primordiale struttura cellulare, anche se numerosi studiosi di questo evento concordano sul fatto che l'evento chiave deve essere stato la formazione spontanea di unità autoreplicanti, in senso lato analoghe a ciò che attualmente si intendono come geni.

L'atmosfera della Terra primordiale era riducente e conteneva probabilmente metano, ammoniaca, anidride carbonica e altri gas che oggi si trovano in abbondanza in altri pianeti del sistema solare. Alcuni chimici hanno ricreato in laboratorio le condizioni primordiali in cui si ritiene che abbia avuto origine la vita, cercando di riprodurre sperimentalmente questo evento. L'esperimento ha avuto luogo in un pallone di vetro, in cui sono stati miscelati acqua e gas e si è fornita energia tramite una scarica elettrica. In queste condizioni i ricercatori hanno registrato la sintesi spontanea di alcune molecole organiche, tra cui amminoacidi (le subunità di cui sono costituite le proteine) e nucleotidi (i mattoni di costruzione degli acidi nucleici, DNA e RNA). Probabilmente sulla Terra primitiva è successo qualcosa di simile,

che ha in seguito trasformato la massa oceanica in un "brodo primordiale" di composti organici prebiologici.

La formazione del brodo primordiale contenente molecole organiche non è, tuttavia, sufficiente a dire che si sia originata la vita: come menzionato in precedenza, il passo cruciale deve essere stato la sintesi di molecole autoreplicanti, capaci di produrre autonomamente copie di se stesse. La più nota molecola autoreplicante che esiste attualmente è il DNA (acido desossiribonucleico); molti ricercatori ritengono, tuttavia, che il DNA non potesse essere la molecola autoreplicante presente all'origine della vita, poiché la sua replicazione dipende da meccanismi e molecole accessorie molto complessi, che non potevano essere disponibili in quel momento. Secondo le ipotesi più accreditate, il DNA si sarebbe evoluto in un secondo momento, da un altro acido nucleico molto simile: si tratta dell'RNA, che riveste un ruolo vitale nelle cellule viventi e che per molte sue caratteristiche potrebbe essere stata la molecola autoreplicante originale.

In seguito a questo evento, la popolazione di molecole autoreplicanti presente nel brodo primordiale potrebbe essere stata sottoposta a una pressione selettiva analoga a quella descritta da Darwin come selezione naturale. Nella popolazione si sarebbero, cioè, formate delle molecole mutanti, a causa di errori che comparivano casualmente durante la duplicazione: le varianti in grado di replicarsi in modo particolarmente efficiente sarebbero divenute dominanti nel brodo primordiale, mentre le varianti a replicazione inefficiente si sarebbero gradualmente ridotte di numero, fino a scomparire. Questo tipo di selezione, che potrebbe essere nata dalla competizione da parte dei diversi tipi di molecole autoreplicanti per le molecole organiche costitutive presenti nel brodo primordiale, potrebbe avere condotto a una sempre maggiore efficienza delle molecole replicanti.

Sempre nella direzione dell'origine delle forme di vita cellulari, altri eventi chiave potrebbero essere stati l'associazione delle molecole autoreplicanti ad altre molecole (forse proteine) in complessi sovramolecolari e la formazione di strutture membranose, in grado di costituire un ambiente, chiuso e controllato, in cui potessero avvenire reazioni chimiche differenti da quelle dell'ambiente esterno.

I fenomeni descritti, avvenuti prima della comparsa di vere e proprie cellule, vengono genericamente indicati con il termine di evoluzione prebiotica, cioè "prima della vita".

## Origine della vita

Queste prime formazioni limitate da una membrana potrebbero essere stati i primi organismi unicellulari, simili a batteri, di cui conserviamo la documentazione fossile, risalente a circa 3,5 miliardi di anni fa. I passi successivi nell'evoluzione di organismi viventi sempre più complessi può essere visto come il tentativo di costruire strutture sempre più efficienti nel permettere alle molecole autoreplicanti (analoghe a ciò che si intende come gene) di sopravvivere e riprodursi indefinitamente.

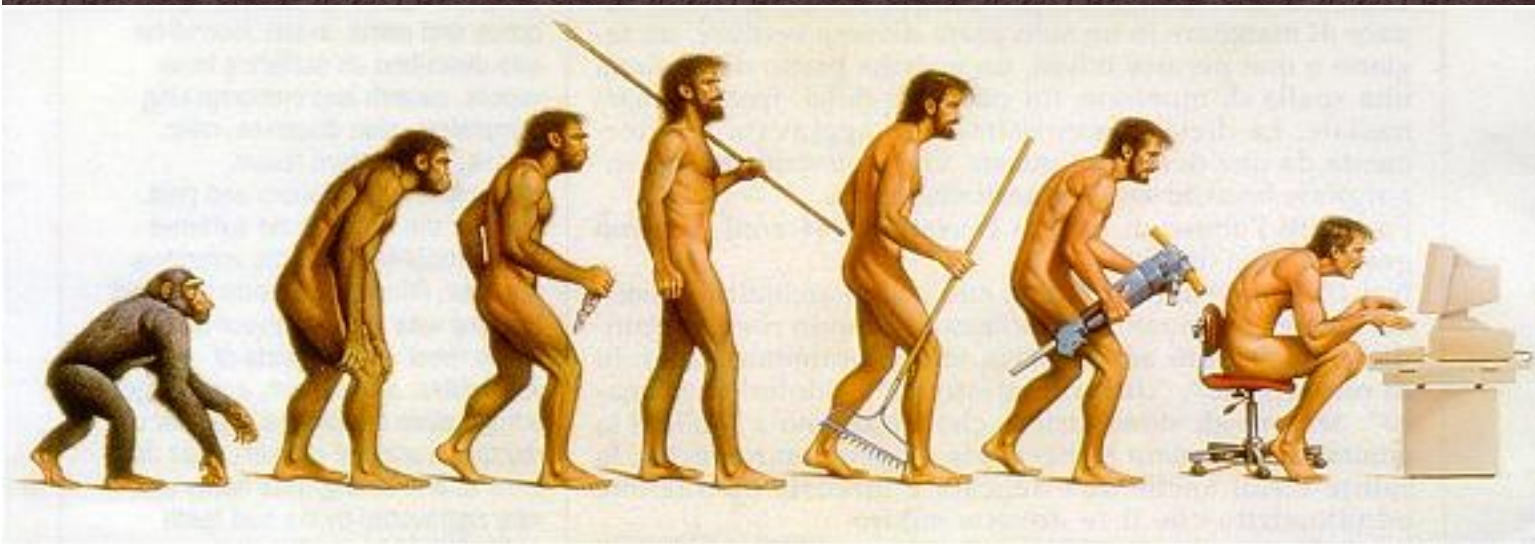
Resti fossili abbondanti si trovano solo a partire da quelli che risalgono al periodo Cambriano, ossia a circa 570 milioni di anni fa, quando era già comparsa la maggior parte dei principali phyla animali e vegetali. Ciò è probabilmente dovuto al fatto che le forme di vita precedenti al cambriano erano prive di parti scheletriche rigide, come ossa e denti, e dunque non fossilizzavano facilmente. I primi vertebrati fecero la loro comparsa tra 300 e

400 milioni di anni fa; erano creature simili a pesci, interamente ricoperte di pesanti armature, che forse rappresentavano un sistema di protezione contro gli euripteridi, giganteschi predatori marini, simili a scorpioni, che infestavano i mari a quel tempo.

L'uscita dall'acqua e la colonizzazione della terraferma deve essere avvenuta circa 250 milioni di anni fa, prima da parte di pesci con pinne lobate e polmoni, poi dagli anfibi e infine da animali considerati simili ai rettili. I mammiferi e, successivamente, gli uccelli si sono originati da due linee evolutive differenti dei rettili. La rapida differenziazione dei mammiferi nella ricca varietà di specie che possiamo osservare anche oggi, dall'opossum all'elefante, dai formichieri alle scimmie, sembra essere stata favorita dal vuoto lasciato dalla catastrofica estinzione dei dinosauri, avvenuta circa 65 milioni di anni fa.

Oltre al regno animale, altre linee evolutive sono raggruppate nei regni delle piante, dei funghi e dei prototisti, tutti appartenenti al grande raggruppamento degli eucarioti (con cellule caratterizzate da un vero nucleo, delimitato da membrana). Contrapposti agli eucarioti sono i procarioti, organismi unicellulari che comprendono archeobatteri, eubatteri e cianobatteri. Il passaggio da procarioti a eucarioti sembra essere avvenuto 1,4 miliardi di anni fa. Una accreditata teoria è quella endosimbiontica, secondo la quale alcuni batteri capaci di utilizzare l'ossigeno e altri in grado di effettuare la fotosintesi avrebbero potuto essere inglobati da batteri anaerobi e, con il tempo, evolversi come mitocondri e cloroplasti, cioè come organuli tipici delle cellule eucarioti.

## Evoluzione umana



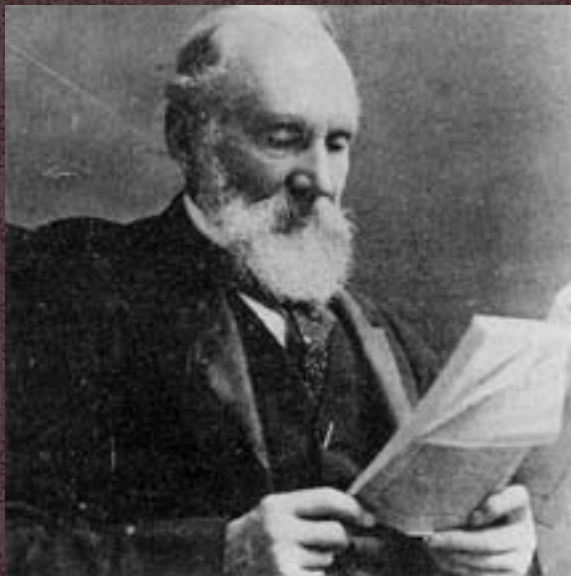
La nostra specie si è evoluta all'interno del gruppo delle scimmie antropomorfe africane, grazie a un passaggio evolutivo avvenuto qualche milione di anni fa. In base ad alcune prove molecolari, l'ultimo antenato comune a specie umana, scimpanzé e gorilla risalirebbe a non più di cinque milioni di anni fa. I resti fossili dei nostri diretti antenati ci mostrano diverse forme arcaiche di Homo sapiens (fra cui l'uomo di Neanderthal, vissuto in Europa), preceduto da Homo erectus, vissuto circa due milioni di anni fa. Benché Homo erectus sia vissuto in Asia e Africa, è, tuttora, oggetto di discussione se esistano discendenti viventi dei

membri asiatici di questa specie. Molti antropologi prediligono, infatti, l'ipotesi secondo la quale tutti gli uomini moderni sarebbero derivati da una popolazione africana di Homo sapiens, vissuta meno di 250.000 anni fa e migrata dall'Africa negli ultimi 200.000 anni.

Tra i nostri progenitori, le dimensioni del cervello aumentano progressivamente con l'evolversi delle diverse specie: l'encefalo di Homo erectus era più piccolo di quello di Homo sapiens. Gli antenati immediatamente precedenti al genere Homo sembrano essere stati membri del genere Australopithecus, descritti come scimmie antropomorfe bipedi, con un cervello di dimensioni simili a quello dei moderni scimpanzé. Prima di loro, la nostra linea evolutiva era fusa a quella delle altre scimmie antropomorfe africane, gli scimpanzé e i gorilla, e per circa dieci milioni di anni è stata caratterizzata da adattamenti alla vita arboricola, quali occhi frontali e mani e piedi prensili. Prima ancora, i nostri antenati erano probabilmente piccoli animali insettivori simili a toporagni, che vivevano di notte in un mondo dominato dai dinosauri. Questi piccoli mammiferi discendevano, a loro volta, dal grande gruppo dei rettili-mammiferi, diffusi prima dell'avvento dei dinosauri.

## Prove dell'evoluzione

Il contributo di Charles Darwin alla comprensione di come avviene l'evoluzione delle forme viventi comprende, da un lato, la raccolta di un'enorme quantità di prove a sostegno di questo processo e, dall'altro lato, la formulazione dell'unica teoria in grado di spiegarne scientificamente i meccanismi. Benché Alfred Russel Wallace sia arrivato in modo indipendente a formulare la teoria evolutiva quasi contemporaneamente a Darwin, il nome di quest'ultimo viene, tuttavia, ricordato più di quello di Wallace per il gran numero di prove chiare e convincenti che sono presentate nell'Origine delle specie. Una delle prove fornite da Darwin a sostegno della sua teoria era la presenza di fossili, dai quali era possibile ricostruire forme viventi spesso completamente diverse da quelle attuali. Alcuni geologi del suo tempo, tuttavia, ritenevano che queste prove non fossero abbastanza convincenti. In particolare, nel 1862 il fisico William Kelvin, che come scienziato godeva al tempo di un immenso prestigio, mise in difficoltà Darwin, dimostrando con autorevolezza ma, come oggi sappiamo, erroneamente, che il Sole e, quindi, la Terra (che si è formata dopo il Sole) non potevano essere più vecchi di 24 milioni di anni. Sebbene questa stima fosse considerevolmente migliore della data 4004 a.C., assunta allora dalla gerarchia ecclesiastica come probabile data della creazione, essa non lasciava a Darwin il modo di spiegare l'evoluzione con i tempi e le modalità da lui ipotizzate. L'errore di Kelvin, successivamente chiarito, si basava sull'assunto che il Sole fornisse calore per combustione invece che per fusione nucleare.



(Nella foto il fisico William Kelvin)

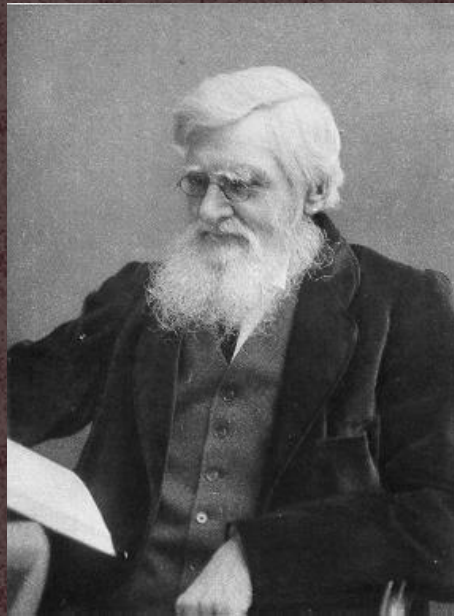
Oltre ai resti fossili, Darwin fornì altre prove dell'evoluzione, talvolta meno dirette, ma in molti casi più convincenti. Le veloci modificazioni che si ottenevano con gli incroci degli animali e delle piante domestici (vedi Riproduzione controllata delle piante) erano un argomento persuasivo sia della possibilità di generare varianti evolutive delle specie, sia per dimostrare l'efficacia dell'equivalente artificiale della selezione naturale, che Darwin proponeva come meccanismo alla base dell'evoluzione. Darwin era, inoltre, particolarmente convinto dalla prova della distribuzione geografica degli animali: la presenza di specie simili nei diversi continenti si spiega, infatti, facilmente con la separazione delle specie ancestrali, avvenuta con la deriva dei continenti (vedi Tettonica a zolle), e con la divergenza evolutiva dalle specie originali delle popolazioni così separate, fino alla trasformazione in nuove specie, tipiche di ciascuna area geografica. Una specie è, per definizione, un gruppo di organismi viventi in grado di incrociarsi tra loro e di produrre prole fertile. La teoria creazionista, che si oppone all'evoluzionismo, non fornisce una spiegazione altrettanto semplice e convincente di questo fenomeno, in quanto ipotizza la creazione di specie simili, ma indipendenti, avvenuta ripetutamente in numerosi punti della superficie terrestre.

La classificazione tassonomica di animali, piante e altri organismi viventi avviene in base a criteri di somiglianza così naturali, che intuitivamente suggerisce la presenza di un albero genealogico, in grado di collegare le diverse specie le une alle altre; a questo proposito, invece, nella teoria creazionista si trovano ipotesi forzate ed elaborate per spiegare il senso di temi e variazioni nella mente del creatore.

Un'ulteriore prova apportata da Darwin a sostegno delle sue ipotesi è costituita dagli organi vestigiali presenti negli adulti e negli embrioni di molti animali: ad esempio, la presenza di piccole formazioni ossee collocate in profondità nel corpo dei cetacei, vicino al bacino, si può spiegare ammettendo che esse siano i residui evolutivi di vere e proprie zampe di loro antenati terrestri. Questi particolari non vengono spiegati in modo altrettanto efficace dai creazionisti.

## Meccanismi evolutivi

Il meccanismo alla base dell'evoluzione, proposto da Darwin e Wallace con il nome di selezione naturale, consiste nella sopravvivenza non casuale di caratteristiche ereditarie che variano, invece, casualmente. Qualcosa di simile era stato suggerito in precedenza da altri studiosi britannici del periodo vittoriano, come Patrick Matthew ed Edward Blyth, anche se il loro apprezzamento di questa forza selettiva era apparentemente limitato alla componente negativa, di eliminazione delle specie. Darwin e Wallace riconobbero, invece, il suo potenziale di forza anche positiva, in grado di guidare l'evoluzione di tutte le forme di vita. In sintesi, la selezione naturale è l'insieme di tutte le forze presenti nell'ambiente naturale, che esercita una pressione evolutiva su tutte le forme di vita e le loro varianti. Semplificando, si può dire che la selezione naturale opera scegliendo il "più adatto" e scartando "il meno adatto". Secondo Darwin, una variazione ha valore adattativo quando aiuta l'organismo che la manifesta a sopravvivere e a riprodursi. In un predatore, ad esempio, sono qualità adattative la capacità di correre velocemente e una vista acuta.



(nella foto Alfred Russel Wallace)

Alla teoria della selezione naturale molti degli evoluzionisti delle generazioni precedenti a Darwin preferivano, invece, un'ipotesi alternativa, oggi comunemente associata al nome di Jean-Baptiste de Lamarck, secondo la quale le variazioni acquisite durante la vita di un organismo, come l'ingrossamento di un organo in seguito a un utilizzo intenso o la sua riduzione a causa di un uso ridotto, sarebbero ereditarie. Benché questa teoria dell'ereditarietà dei caratteri acquisiti possa esercitare un fascino irrazionale ed emotivo, non vi sono, tuttavia, prove in grado di dimostrarla, né essa è possibile teoricamente. È, infatti, difficile spiegare come le variazioni operate sul corpo dell'individuo nel corso di una vita possano andare a codificarsi nei geni delle cellule della linea germinale (gameti). Ai tempi di Darwin, tuttavia, le conoscenze molecolari dei meccanismi dell'ereditarietà erano molto scarse e, dunque, la questione risultava più controversa. La scarsa conoscenza di questi meccanismi risulta evidente nella "teoria della pangenesi",

proposta da Darwin per spiegare il fenomeno della trasmissione dei caratteri ereditari. In base a questa ipotesi, i fattori ereditari che si trasmettono da una generazione all'altra sarebbero il contributo di parti infinitesime, provenienti da tutte le regioni dell'organismo dei genitori e confluenti nelle cellule germinali. Questa ipotesi è uno dei punti più deboli di tutta la teoria darwiniana. Una semplice spiegazione al problema dell'ereditarietà, che peraltro si accorda perfettamente con le teorie evolutive della selezione naturale, si trovava nei risultati degli esperimenti di Gregor Mendel, pubblicati nel 1865, il cui valore fu trascurato dalla comunità scientifica per circa cinquanta anni.

## Neodarwinismo e genetica delle popolazioni

Le ricerche di Mendel, riscoperte all'inizio del Novecento, dimostrarono che l'ereditarietà è dovuta alla trasmissione di generazione in generazione di particelle discrete, oggi dette geni, e non dalla miscela di molte sostanze presenti nell'organismo (come proponeva Darwin con la sua "teoria della pangenesi"). La selezione naturale agisce, pertanto, sull'effetto provocato dalla presenza, assenza o variazione di un gene in un nuovo individuo. Come fu intuito inizialmente dal matematico britannico G. H. Hardy e dal ricercatore tedesco W. Weinberg, non vi è, infatti, una tendenza innata dei geni a scomparire; se ciò si verifica, è a causa di un insieme di forze selettive naturali che agisce sugli effetti prodotti da questi geni sull'individuo che li possiede, influenzandone la probabilità di sopravvivenza e di riproduzione. La versione moderna del darwinismo, chiamata neodarwinismo, è, cioè, basata su un'interpretazione probabilistica dei fenomeni evolutivi e di selezione naturale. Essa fu elaborata negli anni Venti e Trenta dai genetisti di popolazione R.A. Fisher, John B.S. Haldane e Sewall Wright e consolidata più tardi, negli anni Quaranta, in ciò che viene oggi chiamato neodarwinismo. La rivoluzione della biologia molecolare, che ha avuto inizio negli anni Cinquanta, non ha fatto che rafforzare e confermare con dati sperimentali gli assunti teorici di questi studiosi.



(Nella foto Gregor Mendel)

La moderna teoria genetica della selezione naturale può essere riassunta come segue. I geni di una popolazione di animali o di piante che si riproducono per via sessuale costituiscono un pool genico. I geni in un certo senso competono tra loro nel pool genico, come le prime molecole autoreplicanti competevano nel brodo primordiale.

Nel pool genico, ogni nuovo gene si origina a causa di una mutazione, un errore casuale che può verificarsi a livello dei geni. Una volta che, mediante mutazione, si è formata una nuova variante di un gene, questa entra a far parte del pool genico di una popolazione perché, mediante la riproduzione sessuale, essa può venire trasmessa ad altri individui. Qualunque gene di un pool genico esiste in numerose varianti, tutte dovute a mutazioni avvenute a un certo punto della storia evolutiva di quel gene. Tutte le varianti di uno stesso gene sono dette alleli e, a seconda della frequenza o rarità di ciascun allele all'interno del pool genico, si parla di alta o bassa frequenza allelica (si può, ad esempio, parlare di una determinata frequenza che in una popolazione hanno gli alleli che codificano per il colore azzurro o marrone degli occhi). A livello genetico, l'evoluzione può essere definita come il processo con cui la frequenza allelica varia in un pool genico.

La frequenza allelica può essere modificata a causa di fattori quali: la mortalità e l'emigrazione; la riproduzione e l'immigrazione; il caso o deriva genetica; la mutazione. Consideriamo, ad esempio, gli alleli responsabili della lunghezza delle ali in una popolazione di moscerini della frutta: se una popolazione possiede alleli che producono ali più lunghe e un'altra ali più corte, questa differenza di caratteri può riflettersi in tassi di mortalità diversi, oppure nella differente capacità di volare che permette all'una, ma non all'altra, di emigrare in un altro areale. Tutti questi fenomeni, guidati da forze selettive, alla fine producono una



variazione delle frequenze alleliche nel pool genico. Gli altri due fattori fanno, invece, variare le frequenze in modo più diretto: la deriva genetica è quella parte di variazione delle frequenze alleliche dovuta al caso, mentre le mutazioni di un allele in un altro sono un evento raro e, quindi, non influiscono molto sulle variazioni di frequenza allelica.

## L'origine delle specie e l'evoluzione della diversità

L'evoluzione porta alla divergenza e alla diversità delle specie. Per la pressione selettiva, tra le diverse forme vengono selezionate quelle che sono dotate di maggior valore adattativo. In questo modo, da un singolo primo antenato, nel corso della storia si sono evolute molte centinaia di milioni di specie diverse. Il processo con cui da una specie si originano due nuove specie è detto speciazione. La divergenza tra le specie si riflette nella separazione delle unità tassonomiche (generi, famiglie, ordini, classi ecc.).

Uno dei fattori che spesso contribuiscono ai processi di speciazione è l'isolamento geografico: una specie viene accidentalmente divisa in due popolazioni separate da barriere geografiche. L'isolamento può avvenire negli habitat più disparati: si può trattare di una vera e propria isola in mezzo al mare, ma anche di un lago separato da altre acque dolci, oppure di un'isola di vegetazione nel deserto (oasi); perfino un albero in un campo può essere un fattore di isolamento sufficiente per qualcuno dei suoi piccoli abitanti. L'isolamento geografico comporta, infatti, l'assenza di flusso genico, cioè la mancanza di contaminazione sessuale tra i diversi pool genici delle popolazioni separate. In queste condizioni, a causa delle differenti pressioni selettive o di variazioni casuali nei due areali, le frequenze alleliche nei pool possono cambiare. Quando la diversità genica ha raggiunto un certo punto critico, le due sottopopolazioni, anche se si rincontrassero, avrebbero comunque accumulato differenze tali per cui non sarebbero più in grado di incrociarsi fra loro o di produrre prole fertile. In tal modo, esse non si considerano più due popolazioni separate, appartenenti alla stessa specie, bensì due specie autonome e indipendenti.

Non solo le barriere geografiche sono responsabili del blocco del flusso genico che alla fine conduce alla comparsa di nuove specie: esistono, infatti, isolamenti di tipo ecologico o comportamentale, che possono esercitare gli stessi effetti. Un tipico esempio è quello di una popolazione di animali diurni che, a un certo punto, assume abitudini notturne: le scarse occasioni di incontro con gli altri membri della specie, rimasti diurni, può condurre alla separazione totale dei due gruppi in due specie differenti.

## Coevoluzione

L'idea neoplatonica della "grande catena della vita", con un organismo unicellulare al livello più basso e gli uomini poco sotto gli angeli, o l'immagine lamarckiana dell'evoluzione come di una scala in salita, per cui le forme di vita presenti sui gradini più bassi erano destinate a trasformarsi in quelle che si trovavano sui gradini più alti, hanno contribuito a comporre l'idea, errata, dell'evoluzione come di un processo che avviene in serie. Secondo il modello moderno di evoluzione le specie si evolvono, invece, in parallelo. In questa prospettiva, un insetto bene adattato alle attuali condizioni ambientali è evoluto tanto quanto un uomo o una

pianta.

Il termine coevoluzione si riferisce all'evoluzione di adattamenti determinati dalle interazioni tra specie, ad esempio tra predatore e preda o tra ospite e parassita. Una prova di coevoluzione viene fornita dalla documentazione fossile che testimonia lo sviluppo contemporaneo delle ossa degli arti sia negli erbivori che nei carnivori.

## Evoluzione divergente e convergente

L'evoluzione divergente è un processo di variazione di un determinato carattere, originariamente comune a diversi gruppi di organismi, in più direzioni. Un esempio è l'arto primitivo comune ad alcuni vertebrati, che si è differenziato in strutture diverse, sia dal punto di vista anatomico sia funzionale, diventando, nei diversi casi, il braccio degli uomini, l'ala degli uccelli o la zampa delle rane. Queste strutture sono dette omologhe, perché derivano da una stessa struttura, pur sembrando differenti.

Per evoluzione convergente si intende, invece, il fenomeno opposto: lo sviluppo di strutture simili dal punto di vista funzionale, a partire da strutture non affini dal punto di vista evolutivo. Queste strutture vengono dette analoghe: un esempio è rappresentato dall'occhio dei molluschi e da quello dei mammiferi.

