

# Introduzione alla Biologia Marina

## EVOLUZIONE

### BREVE STORIA E CONCETTI BASE

#### LA SCOPERTA DELL'EVOLUZIONE

La teoria dell'evoluzione delle specie è uno dei pilastri della biologia moderna e, nelle sue linee essenziali, è riconducibile all'opera di **Charles Darwin** (che vide nella selezione naturale il motore fondamentale dell'evoluzione della vita) e alla genetica che, dopo le scoperte di **Gregor Mendel** (1865), ebbe grande diffusione nel panorama scientifico moderno, soprattutto dopo la scoperta della struttura e del funzionamento del **DNA da parte degli statunitensi James Watson e Francis Crick (1953)**.

**Su questo tema oggi il mondo scientifico non è più diviso** perchè i progressi della paleogenetica e della paleontologia hanno conferito la validità scientifica alla teoria dell'evoluzione delle specie.

Il dibattito si è così spostato su un altro tema: **ci si interroga sulle modalità e le dinamiche dell'evoluzione** e quindi sulle teorie che la possono spiegare.

Oggi sappiamo che l'evoluzione delle specie è avvenuta in seguito a trasformazioni genetiche che sono state poi selezionate dall'ambiente, ma per arrivare a questa affermazione ci sono voluti molti anni. Sin da prima che Charles Darwin, il "padre" del moderno concetto di evoluzione biologica, pubblicasse la prima edizione de *L'origine delle specie* (1859), le posizioni degli studiosi erano divise in due grandi correnti di pensiero:

- 1) da un lato vi erano i sostenitori di una **natura dinamica** e in continuo cambiamento
- 2) dall'altro quelli una **natura sostanzialmente immutabile**

Della prima corrente facevano parte

\* **gli scienziati e i filosofi vicini ai credi dell'illuminismo francese** che rielaborarono il meccanismo di eliminazione dei viventi malformati proposto da Lucrezio nel *De Rerum Natura* e **ipotizzarono una derivazione delle specie le une dalle altre**, anche se più che uno scopo scientifico volevano andar contro le teorie esposte dalla seconda corrente principale di pensiero e cioè

\* quella maggiormente diffusa del **creazionismo immutabile** portato avanti dalla Chiesa

Di conseguenza, **alla fine del 1700** la teoria predominante era ancora quella "**religioso-fissista**" sostenuta dai vari "scienziati della Chiesa", come ad esempio lo svedese **Carl Von Linne** noto come **Linneo (1707-1778)**, che nella sua *Scala Naturae* definiva le specie come **entità create da Dio una volta per tutte e incapaci di modificarsi oppure capaci entro limiti ben determinati** (quando però nel *Systema Naturae* ha inserito l'Homo con le scimmie tra i quadrupedi antropomorfi si è attirato l'ira della Santa Sede e la sua posizione di difensore della fede ha molto traballato, sino a costringerlo a inserire nella sua sistematica la nuova classe dei Primati).

**All'inizio del XIX secolo**, tuttavia, negli studiosi di Scienze Naturali iniziarono a sorgere **i primi dubbi** concreti sul fissismo delle specie: negli strati rocciosi più antichi in cui i paleontologi stavano scavando, infatti, **mancaivano totalmente le tracce fossili degli esseri attualmente viventi**, mentre se ne rinvenivano molte altre appartenenti ad organismi che ormai non esistevano più.

**Nel 1809**, il naturalista francese **Jean Baptiste Lamarck (1744-1829)** presentò per primo una teoria evoluzionista secondo cui gli organismi viventi si modificherebbero gradualmente nel tempo per potersi adattare ai cambiamenti dell'ambiente in cui vivono: **il mutare dell'ambiente è quindi la causa prima dell'evoluzione perché costringe piante e animali a cambiare con esso oppure a scomparire** e questi cambiamenti si attuano tramite **l'uso o il non uso di certi organi** che verranno, quindi, potenziati oppure si atrofizzeranno oppure, ancora, si trasformeranno in qualcos'altro. Tale ipotesi, che ha in sé molti aspetti veritieri e geniali per quell'epoca, implica però quello che oggi viene considerato l'errore di fondo della teoria lamarkiana, ovvero **la mancanza di una spiegazione scientifica sul come sarebbe avvenuta la trasmissione alla progenie di questi adattamenti** (Lamarck non aveva ancora conoscenze di genetica, per cui non mai ha saputo dare risposte esaurienti in proposito).

E così, Lamarck trovò grande opposizione nel connazionale **Georges Leopold Cuvier (1769-1832)**, il quale aveva elaborato la cosiddetta **teoria delle catastrofi naturali** secondo la quale la maggior parte degli organismi viventi nel passato sarebbe stata spazzata via da numerosi cataclismi e il mondo sarebbe stato poi ripopolato dalle specie sopravvissute.

Dopo cinquant'anni, però, **Charles Darwin (1809-1882)** formulò finalmente la teoria evuzionista che, sebbene corretta e modificata con le moderne conoscenze che egli non aveva, da molti è ritenuta valida ancora oggi.

Il noto naturalista inglese, durante il suo viaggio giovanile sul brigantino *Beagle* (1831-1836) cui era stata affidata una missione esplorativo & cartografica che comportava la circumnavigazione del globo terrestre, rimase molto colpito dalla variabilità delle forme viventi che aveva avuto modo di osservare nei loro ambienti naturali.

Riflettendo sugli appunti di viaggio e traendo spunto dagli scritti dell'economista Thomas Malthus, Darwin si convinse che la lotta per la sopravvivenza era uno dei motori principali dell'evoluzione e **intuì il ruolo selettivo dell'ambiente** sulle specie viventi.

L'ambiente, infatti, **non poteva essere la causa primaria** nel processo di evoluzione (come invece sostenuto nella teoria di Lamarck) in quanto tale ruolo era giocato dalle mutazioni casuali che avvenivano a livello genetico. Pertanto, Darwin capì che **l'ambiente entrava in azione in un secondo momento nella determinazione del vantaggio o svantaggio di quelle mutazioni**, perché solo gli individui portatori delle mutazioni più adatte alla sopravvivenza della specie si sarebbero riprodotti con maggior frequenza per cui, in definitiva, **la selezione agiva favorendo la riproduzione dei caratteri migliori derivanti dalle mutazioni genetiche**.

I meccanismi che partecipano al realizzarsi dell'evoluzione secondo Darwin sono dunque tre:

- \* i **meccanismi genetici** (cioè le mutazioni che avvengono a livello del DNA, di cui Darwin non sapeva nulla)
- \* i **meccanismi ecologici** (cioè i cambiamenti ambientali)
- \* la **selezione naturale**

un concetto introdotto da Darwin nel **1859** nel libro **L'origine delle specie**

che, secondo il naturalista inglese, rappresenta il meccanismo fondamentale dell'evoluzione delle perché, nello ambito delle diversità genetiche degli individui di una popolazione, viene favorita la riproduzione di quelli le cui mutazioni li hanno resi più adatti a sopravvivere .

Gli individui di una stessa specie si differenziano l'uno dall'altro per caratteristiche genetiche (il **genotipo**) e fenotipiche (il **fenotipo**, cioè le caratteristiche morfologiche e funzionali, frutto dell'interazione del genotipo con l'ambiente).



La teoria della selezione naturale prevede che all'interno di tale variabilità, derivante da mutazioni genetiche casuali, nel corso delle generazioni successive al manifestarsi della mutazione, **vengano favorite (ovvero "selezionate")** quelle mutazioni che portano gli individui ad avere caratteristiche più vantaggiose in date condizioni ambientali, determinandone, cioè, un vantaggio adattativo (migliore adattamento) in termini di sopravvivenza e riproduzione.

Gli individui meglio adattati ad un certo habitat si procureranno più facilmente il cibo e si accoppieranno più facilmente degli altri individui della stessa specie che non presentano tali caratteristiche.

**In altre parole, è l'ambiente a selezionare le mutazioni secondo il criterio di vantaggiosità sopra descritto:** i geni forieri di vantaggio adattativo potranno così essere trasmessi, attraverso la riproduzione, alle generazioni successive e con il susseguirsi delle generazioni si potrà avere una progressiva affermazione dei geni *buoni* a discapito dei geni inutili o dannosi.

**La specie potrà quindi evolversi progressivamente** grazie allo sviluppo di caratteristiche che la rendono sempre più adattata all'ambiente, sino **ad una situazione di equilibrio tra ambiente e popolazione che persiste finché un cambiamento ambientale non innesca un nuovo fenomeno evolutivo**.

Le principali differenze tra la teorie evolutive di Lamarck e Darwin sono le seguenti:

<b>LAMARCK</b>	muta l'ambiente 	gli individui delle varie specie si adattano lentamente alle mutazioni dell'ambiente e i loro organi si potenziano o si atrofizzano in base all'utilizzo che ne devono fare nel nuovo habitat
<b>DARWIN</b>	muta l'ambiente 	* muta il genoma degli individui di una specie * muta quindi il loro fenotipo * il fenotipo mutato più adatto ai cambiamenti ambientali è favorito ( <b>selezionato</b> ) per sopravvivere nel nuovo habitat perchè viene scelto con più frequenza dai partner per la riproduzione

Le teorie evoluzionistiche di Darwin ebbero sempre più il sopravvento su quelle di Lamarck perché trovarono conferme grazie alle scoperte scientifiche che si svilupparono tra la fine dell'800 e i primi decenni del 900, le quali contribuirono anche a correggere gli errori commessi dallo studioso inglese che aveva formulato le sue conclusioni senza essere a conoscenza di fattori molto importanti, quali ad esempio le leggi della genetica.

E così, a partire dal primo dopoguerra e sino all'inizio degli anni 70, l'ipotesi più accreditata in campo scientifico in merito all'evoluzione è stata quella denominata *sintesi moderna* o *neodarwinismo*, che si basava sui seguenti due punti fondamentali:

1) la *rielaborazione in chiave moderna della teoria della selezione naturale darwiniana* alla luce delle scoperte scientifiche in continuo divenire

2) le *rivelazioni fornite dagli studi genetici*, che si può dire abbiano preso il via con la divulgazione delle leggi sull'ereditarietà dei caratteri biologici diffuse da Gregor Mendel nel 1865.

## **LA NASCITA DELLA GENETICA: GREGOR MENDEL**

*Gregor Mendel* (1822-1884), nacque nell'attuale Repubblica Ceca (allora sotto la dominazione dell'impero austriaco) ed è stato un biologo-botanico e monaco agostiniano che ha vissuto soprattutto nel monastero di Brno, dove ha elaborato le sue *leggi sull'ereditarietà dei caratteri esposte all'università di Monaco nel 1865*.

Considerato il padre della genetica, in realtà Mendel non aveva basato le sue teorie su concetti genetici veri e propri (*non conosceva nulla del DNA*) dato che, seppure con intuito molto innovativo e geniale per l'epoca, sostenne al contrario di quanto ritenuto sino ad allora, che l'ereditarietà era dovuta ad *agenti specifici contenuti nei genitori che si trasmettevano ai figli*.

Per le sue ricerche Mendel utilizzò le piante di pisello (*Pisum sativum*) perché erano semplici da impollinare e avevano alcuni caratteri anatomici facili da controllare, come la forma (liscia o rugosa) & il colore del seme (verde o giallo) e il colore dei fiori (bianco o rosso).

Dopo sette anni di lavoro, Mendel aveva ottenuto *7 linee (varietà) pure di piante di pisello* completamente diverse per i caratteri di cui sopra, (pure = i caratteri rimanevano immutati anche dopo numerose generazioni) e iniziò a incrociarle tra loro con i seguenti risultati:

\* nella prima generazione filiale (detta F1), le piante manifestavano solo 1 dei 2 caratteri presi in esame nelle piante genitrici e ne dedusse che uno di loro (che lui chiamò P) doveva essere più forte dell'altro

\* incrociando poi tra loro le piante della generazione F1, Mendel notò che in varie piante della generazione F2 ricomparivano i caratteri scomparsi in quella F1 e, allora, ne dedusse che i suddetti caratteri non erano scomparsi ma solo "oscurati" da quello P

\* continuando a incrociare le generazioni F1 e poi quelle F2, il botanico si soffermò sulla periodicità e sulla frequenza con cui ricomparivano i cosiddetti caratteri oscurati, arrivando alle seguenti conclusioni:

1° legge = *della dominanza*: incrociando 2 individui di razza pura, se un suo specifico carattere viene determinato solo da 2 alleli (*oggi i geni che occupano la stessa posizione su 2 cromosomi diversi*), gli ibridi F1 saranno tutti uguali tra loro per il carattere in questione, perché un allele (dominante) prevarrà sull'altro (recessivo)

2° legge = *della segregazione*: *incrociando gli ibridi F1, gli individui della seconda generazione F2 non sono uniformi*, ma che i caratteri parentali segregano e si manifestano secondo questi rapporti: 25% dei discendenti presenta il carattere di un progenitore; 25% quello dell'altro e il restante 50% è costituito da ibridi; in poche parole, la 2° legge enuncia che i caratteri recessivi scomparsi nella generazione F1 ricompaiono in quella F2 nelle percentuali sopraccitate

3° legge = *dell'assortimento indipendente*: *se si incrociano due individui differenti per più caratteri, si può osservare che ciascun carattere compare nei figli in modo indipendente dagli altri e variamente associato*; ossia incrociando piselli a semi gialli-lisci con altri a semi verdi-grinzosi, si ottiene una prima generazione costituita interamente da piselli gialli-lisci, essendo questi caratteri dominanti; tuttavia, mentre nella prima generazione (F1) si hanno tutti individui con i caratteri dominanti (1° legge), nella seconda generazione (F2) compaiono individui con caratteri recessivi (2° legge) e dominanti *in modo variamente associato* (giallo-lisci, verdi-rugosi, giallo-rugosi e verde lisci), *rispettando specifici rapporti*.

Le leggi di Mendel si applicano solo a caratteri in cui il fenotipo deriva dall'espressione di un singolo gene (come appunto i caratteri esaminati dall'abate), non si possono applicare per caratteri dovuti all'interazione tra molti geni e l'ambiente esterno (es. altezza, vigore, forza, produzione, capacità cognitive ecc); tuttavia costituiscono il punto di partenza per lo sviluppo della genetica moderna

## **GENETICA ED EVOLUZIONE: DA MENDEL AL DNA**

Le principali scoperte della genetica che, dopo le leggi di Mendel, hanno aiutato a comprendere meglio la teoria dell'evoluzione enunciata da Charles Darwin sono riassunte nella seguente tabella:

<b>1871</b>	<b>la scoperta della nucleina (DNA)</b> uno degli obiettivi del chimico svizzero Friedrich Miescher (1844–1895) era quello di studiare la struttura delle cellule. Nel 1871 riuscì a dimostrare che i globuli bianchi, oltre ad acqua, zucchero, proteine e lipidi, contengono anche una sostanza fino ad allora sconosciuta. Poiché tale sostanza proveniva dal nucleo cellulare, la chiamò "nucleina" (oggi DNA). Ci sono voluti però ancora dei decenni prima di constatare che la "nucleina" era formata da una serie di geni.
<b>1882</b>	<b>la scoperta dei cromosomi:</b> già nel 1878 i ricercatori scoprirono, grazie a microscopi più efficienti, determinate strutture nel nucleo delle cellule che potevano essere facilmente colorate. Questo materiale colorato fu chiamato in seguito "cromosoma" (ossia corpi colorati). Il tedesco Walther Flemming (1843–1905) fu il primo biologo a studiare sistematicamente il comportamento dei cromosomi durante la divisione cellulare. Flemming osservò che i cromosomi vengono dimezzati durante la divisione cellulare, che i mezzi cromosomi vengono tirati in direzione opposta per essere distribuiti sulle cellule figlie e che entrambe le cellule figlie producono poi una copia dei mezzi cromosomi. Le cellule figlie possiedono così gli stessi cromosomi della loro cellula madre. Nel 1882 pubblicò le sue prime scoperte, ma ci vollero quasi 20 anni prima che queste venissero collegate alle leggi sull'eredità di Mendel.
<b>1900</b>	<b>la riscoperta delle leggi di Mendel;</b> all'inizio del ventesimo secolo, l'olandese Hugo De Vries (1848-1935), il tedesco Carl Erich Correns (1864–1933) e l'austriaco Erich von Tschermak (1871–1962) riscoprono indipendentemente i risultati delle ricerche di Mendel. I tre ricercatori eseguirono degli incroci sperimentali su diverse piante e giunsero alla stessa conclusione del monaco agostiniano: la trasmissione dei caratteri funziona in base a leggi ben precise e tali caratteristiche sono "scritte" in qualche modo e in qualche posto all'interno degli esseri viventi.
<b>1902</b>	<b>la scoperta del fatto che i cromosomi sono sempre in coppia:</b> il tedesco Theodor Boveri (1862–1915) e l'americano Walter Stanborough Sutton (1877–1916) scoprirono nel 1902 che nel nucleo di un cellula due cromosomi sono sempre identici. I due ricercatori trovarono un nesso con la teoria di Mendel che dice: due esemplari di un "elemento" (oggi chiamato gene) che corrisponde a un determinato carattere visibile vengono trasmessi dai genitori ai loro discendenti. Uno dei due elementi proviene dalla madre e l'altro dal padre.
<b>1909</b>	<b>Il battesimo dei geni:</b> il biologo danese Wilhelm Johannsen (1857–1927) scoprì, grazie ai suoi studi con i fagioli, che la trasformazione degli organismi può avere due cause: può essere ereditaria o dovuta a fattori ambientali. Come Mendel giunse alla conclusione: tutti i caratteri ereditari vengono determinati da "elementi" all'interno della cellula. Nel 1909 Johannsen dette a tali "elementi" il nome di "geni".
<b>1910</b>	<b>la scoperta che i cromosomi racchiudono i geni:</b> le ricerche condotte dal biologo americano Thomas Hunt Morgan (1866–1945) con le drosofile (moscerini della frutta) fecero un po' più di luce sul legame fra strutture del nucleo cellulare (cromosomi) e la trasmissione dei diversi caratteri (geni). Nel 1910 scoprì che il numero dei geni è molto più elevato di quello dei cromosomi e ne dedusse: i cromosomi racchiudono i geni. Morgan scoprì inoltre che i cromosomi comprendono un gran numero di geni e che i geni sono disposti linearmente sul singolo cromosoma in un ordine ben preciso.
<b>1930</b>	<b>l'ipotesi che i geni sono la mappa di produzione delle proteine:</b> già nel 1930 i due biologi americani George Wells Beadle (1909–1989) e Edward Lawrie Tatum (1909–1975) teorizzarono che il gene contiene le informazioni per la produzione di una proteina.
<b>1941</b>	<b>la conferma che i geni sono la mappa di produzione delle proteine:</b> dieci anni dopo riuscirono a dimostrare la loro teoria con un esperimento: nel 1941 Beadle e Tatum provarono che modificando un solo gene di una muffa si può modificare uno dei suoi caratteri. La trasformazione genetica impedì alla muffa di riprodursi in modo corretto, per cui era possibile concludere che i geni erano le mappe di produzione delle proteine.



1944	<p><b>la scoperta che i geni sono composti da DNA:</b> per molto tempo si credette che le proteine erano le sostanze chimiche di cui erano composti i geni.</p> <p>Solo nel 1944 il Canadese Oswald Theodore Avery (1877–1955) assieme ai suoi assistenti americani Colin MacLeod e Maclyn McCarty riuscì a dimostrare con i suoi esperimenti con i batteri che la "nucleina" scoperta da Friedrich Miescher era composta da <b>acido desossiribonucleico (DNA)</b>.</p>
1953	<p><b>la scoperta della struttura spaziale del DNA (doppia elica):</b> dalla scoperta di Avery che i geni sono composti da DNA, i ricercatori si chiesero quale forma avesse la loro struttura. L'Americano James Dewey Watson (1928–) e l'Inglese Francis Harry Compton Crick (1916–) riuscirono nel 1953 a dare una risposta a tale interrogativo: le quattro basi adenina, timina, citosina e guanina (A,T,C e G) sono disposte linearmente su due catene attorcigliate lungo il loro asse.</p> <p>I collegamenti trasversali fra le due catene sono costituiti dall'accoppiamento dell'A con la T e dalla G con la C. Il DNA ha quindi la forma di una scala a chiocciola.</p> <p>I ricercatori cominciarono a parlare di "doppia elica".</p> <p>Solo quaranta anni dopo ci furono dei microscopi in grado di dimostrare con certezza la correttezza del modello di DNA creato da Watson e Crick</p>
1957	<p><b>il flusso delle informazioni genetiche:</b> assieme al fisico George Gamov (1904–1968), Francis Harry Compton Crick elaborò nel 1957 il "dogma centrale" della biologia molecolare che descrive il "flusso" delle informazioni genetiche in una cellula: l'informazione genetica "scorre" da una gene (DNA) attraverso il suo duplicato (RNA) in una proteina.</p> <p>La sequenza delle basi dei geni (A,C,G,T) determina la sequenza delle proteine (amminoacidi).</p>
1966	<p><b>si decifra il codice genetico:</b> come è archiviata nel gene l'informazione destinata a produrre una proteina? O in altri termini, come viene tradotto il linguaggio dei geni (A,C,G,T) in quello delle proteine (20 diversi amminoacidi)?</p> <p>La risposta a tali interrogativi venne nel 1966 dai due ricercatori americani Marshall Warren Nirenberg (1927–) e Robert William Holley (1922–1993) e dal biochimico pakistano Har Gobind Khorana (1922–): una sequenza di tre basi in un gene determina sempre un amminoacido nella proteina.</p> <p>Questa chiave di traduzione ci chiama "codice genetico" ed è uguale in tutti gli esseri viventi ed è così universale</p>
1970	<p><b>si scoprono gli enzimi di restrizione (le forbici del DNA):</b> il microbiologo svizzero Werner Arber scoprì che alcuni batteri sono in grado di frammentare il DNA estraneo (per esempio quello introdotto da un virus) grazie a determinate proteine.</p> <p>Il biologo molecolare americano Hamilton Smith confermò la scoperta di Arber con propri esperimenti. I cosiddetti enzimi di restrizione riconoscono una determinata sequenza di lettere sul DNA e lo sezionano in quel punto.</p> <p>Esistono diversi enzimi di restrizione. Ognuno ha un punto di sezione specifico. La scoperta delle "forbici del DNA", avvenuta nel 1970, ha posto le basi dell'ingegneria genetica.</p>
1972	<p><b>la prima ricombinazione del DNA in laboratorio:</b> l'Americano Paul Berg si servì degli enzimi di restrizione (forbici del DNA) e ligasi (colla del DNA) per incollare in laboratorio frammenti di DNA di varia origine o – per dirlo in altre parole - per costruire il primo DNA ricombinante. Nel 1972 riuscì a combinare il DNA di virus con il DNA di batteri.</p>
1973	<p><b>si realizza il primo organismo geneticamente modificato:</b> i due americani Stanley Cohen e Herbert Boyer produssero il primo batterio geneticamente modificato: dal batterio <i>Escherichia coli</i> isolarono un plasmide che conteneva un gene resistente all'antibiotico tetraciclina.</p>
1973	<p>In questo plasmide aggiunsero un secondo gene resistente all'antibiotico kanamicina. Poi trapiantarono il plasmide ricombinante sul batterio <i>Escherichia coli</i>.</p> <p>Il batterio così modificato era resistente ai due antibiotici tetraciclina e kanamicina.</p>
1977	<p><b>lettura del DNA :</b> Walter Gilbert (USA) e Frederick Sanger (UK) sviluppano, indipendentemente l'uno dall'altro, due metodi che permettono di scoprire la sequenza delle basi A, C, G e T di una singola catena di DNA( lettura del DNA = sequenziazione).</p>

## IL NEODARWINISMO E LA SINTESI MODERNA

All'inizio del 900, con la riscoperta delle teorie di Gregori Mendel, **gli scienziati evolucionistici poterono "incrociare" le rivelazioni della genetica con le ipotesi di Charles Darwin**, dando così origine alla nascita del cosiddetto *neodarwinismo*, conosciuto anche come *teoria della sintesi moderna*, ovvero la teoria evolutiva più autorevole rimasta in auge fino agli anni '70 del '900, prima di essere messa in discussione da quella degli equilibri puntiformi (che comunque riconosce le leggi di Mendel e il fondamentale contributo della genetica per studiare i processi evolutivi).

La maggior parte dei biologi contemporanei del neodarwinismo sostiene la tesi della **discendenza comune: cioè che tutta la vita presente sulla Terra discende da un comune antenato**. Questa conclusione si basa sul fatto che **molte caratteristiche degli organismi viventi, come il codice genetico, in apparenza arbitrari, sono invece condivisi da tutti gli organismi** anche se qualcuno ha ipotizzato origini multiple della vita.

I rapporti di discendenza comune tra specie o gruppi di ordine superiore si dicono *rapporti filogenetici*, e il **processo di differenziazione della vita si chiama filogenesi**.

La paleontologia dà prove consistenti di tali processi. Organi con strutture interne radicalmente diverse (**diversa origine embrionale**) possono avere una somiglianza superficiale e avere funzioni simili: si dicono allora **analoghi**. Esempi di *organi analoghi* sono le ali degli insetti e degli uccelli. Gli organi analoghi dimostrano che esistono molteplici modi per risolvere problemi di funzionalità.

**Nello stesso tempo esistono organi con struttura interna simile (stessa origine embrionale) ma che servono a funzioni radicalmente diverse (organi omologhi)**. Confrontando *organi omologhi* di organismi dello stesso phylum, ad esempio gli arti di diversi Tetrapodi, si nota che presentano una struttura di base comune anche quando svolgono funzioni diverse, come la mano umana, l'ala di un uccello e la zampa anteriore di una lucertola.

Poiché la somiglianza strutturale non risponde a necessità funzionali, **la spiegazione più ragionevole è che tali strutture derivino da quella del comune progenitore**. Inoltre, considerando gli **organi vestigiali** (quelli che persistono senza alcuna utilità, come l'appendice del cieco e i muscoli erettori dei peli nell'uomo) **risulta difficile ammettere che siano comparsi fin dall'inizio come organi inutili, mentre se si ammette che avessero una funzione in una specie progenitrice la loro esistenza risulta comprensibile**. La mutazione (termine introdotto all'inizio del Novecento) consiste nella comparsa improvvisa, casuale ed ereditabile nelle future generazioni, di caratteristiche non possedute da antenati degli individui che le presentano. **La ricombinazione genetica, causa della mutazione, può aver luogo sia durante la meiosi** (riproduzione sessuata) **sia per trasferimento di materiale genetico da una cellula all'altra** (coniugazione o trasformazione batterica).

La **selezione naturale** è il fenomeno per cui organismi della stessa specie con caratteristiche differenti ottengono, in un dato ambiente, un diverso successo riproduttivo; la conseguenza di ciò è che le caratteristiche che tendono ad avvantaggiare la riproduzione diventano 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 (come predatori e avversità climatiche); infatti le risorse a disposizione sono limitate, e ogni popolazione tende ad incrementare la sua consistenza in progressione geometrica, per cui i conspecifici competono per le risorse alimentari, riproduttive...ecc. È importante notare che **mutazione e selezione, prese singolarmente, non possono produrre un'evoluzione significativa perché:**

**1)** la **mutazione non farebbe che rendere le popolazioni sempre più eterogenee** e, inoltre, per il suo carattere casuale, nella maggior parte dei casi essa risulterebbe neutrale oppure nociva per la capacità dell'individuo che la esibisce di sopravvivere e/o riprodursi.

**2)** la **selezione non potrebbe introdurre nella popolazione nessuna nuova caratteristica**, col risultato di uniformare le proprietà della specie

Solo grazie a sempre nuove mutazioni la selezione ha la possibilità di eliminare quelle dannose e propagare quelle (poche) vantaggiose. **L'evoluzione è quindi il risultato dell'azione della selezione naturale sulla variabilità genetica creata dalle mutazioni** (casuali, ovvero indipendenti dalle caratteristiche ambientali). L'azione della selezione naturale e delle mutazioni viene analizzata quantitativamente dalla genetica delle popolazioni.

È anche importante sottolineare che la selezione è controllata dall'ambiente, che varia nello spazio e nel tempo e comprende anche gli altri organismi.

**Le mutazioni forniscono perciò il meccanismo che permette alla vita di perpetuarsi.**

**Infatti gli ambienti sono in continuo cambiamento e le specie scomparirebbero se non fossero in grado di sviluppare adattamenti che permettono di sopravvivere e riprodursi nell'ambiente mutato.**

Affinché specie oggi distinte possano discendere da un progenitore comune è necessario che le specie in qualche modo "si riproducano".

*Ciò richiede che una parte della specie subisca un'evoluzione divergente dal resto*, in modo che ad un certo punto si siano accumulate tante variazioni da poterla considerare una specie distinta.

Ogni specie (a meno che non sia in via di estinzione o residuale) è formata da più popolazioni mendeliane.

Esse non coincidono con le popolazioni ecologiche e sono definite come parti della specie al cui interno si ha un'ampia possibilità di incrocio. **La speciazione è possibile quando tra popolazioni o gruppi di popolazioni si instaura un isolamento riproduttivo, ossia vi è uno scambio genetico pressoché nullo.**

Se si realizza l'isolamento per un tempo abbastanza lungo, è impossibile che per puro caso si abbia la stessa evoluzione nelle due parti della specie. La divergenza evolutiva è ancor più marcata se i due gruppi vivono in ambienti diversi poiché la selezione agisce su di loro in modo diverso.

Secondo i neodarwinisti esistono due modalità principali con cui si arriva a due specie diverse partendo da una e, precisamente, la speciazione allopatrica e quella simpatica (esistono però anche speciazioni di tipo intermedio oppure derivanti da una sorta di “combinazione” tra i suddetti metodi):

#### **1) speciazione allopatrica**

avviene quando l'evoluzione di parti diverse della specie madre avviene in territori diversi. È necessario che l'areale della specie sia discontinuo, ossia che sia diviso in porzioni disgiunte, separate da zone in cui la specie non può vivere. Si ha quindi un isolamento geografico.

Inoltre, il meccanismo di speciazione allopatrica sembra legato anche all'isolamento periferico: in seno ad una piccola subpopolazione, vivente ai margini dell'areale di distribuzione della specie in condizioni non ottimali, avviene la rapida differenziazione evolutiva e segregazione di una nuova specie in seguito al limitato scambio genetico con la popolazione principale.

#### **2) speciazione simpatica**

avviene quando due popolazioni si evolvono separatamente pur vivendo nello stesso territorio e senza essere soggetti a separazioni di tipo geografico; in questo tipo di speciazione l'isolamento riproduttivo può realizzarsi in due modi principali:

\* **isolamento ecologico** dovuto al fatto che le popolazioni occupano nicchie ecologiche differenti.

Un esempio classico sono i fringuelli delle Galapagos, che han dato origine a specie diverse per alimentazione. Questo esempio non è ritenuto corretto dalla totalità degli ambienti scientifici, infatti, si potrebbe obiettare che la distanza tra le isole è una sorta di separazione geografica e, quindi, rientrerebbe nella categoria della speciazione allopatrica descritta al punto 1)

\* **isolamento genetico** causato da arrangiamenti cromosomici stabilizzatisi in un piccolo gruppo, che non si può più incrociare con i conspecifici pur avendo inizialmente lo stesso fenotipo

## **I SALTAZIONISTI E GLI EQUILIBRI PUNTEGGIATI**

Alle ipotesi evolutive portate avanti dal neodarwinismo ha iniziato a opporsi con decisione quella della cosiddetta **teoria degli equilibri punteggiati proposta nel 1972** dai paleontologi statunitensi **Niles Eldredge** (1943) e **Stephen Jay Gould** (1941-2002), i quali sostengono che la storia della vita sul nostro pianeta è stata caratterizzata da lunghi periodi di stasi evolutiva e da improvvisi e brevi eventi di speciazione (definiti **punti** perché di durata quasi insignificante se paragonata ai millenni di assoluta calma piatta = **evoluzione punteggiata**).

**Uno dei capisaldi della teoria di Darwin sulla speciazione per selezione naturale è il costante, continuo lavoro dell'evoluzione** che opera tramite impercettibili ed incessanti modifiche, selezionando le specie e gli esemplari meglio adattati all'ambiente in cui vivono; secondo tale ottica, i tempi che impiega questo processo sono lunghissimi su scala umana e significativi su scala geologica.

Un altro dei punti fermi della teoria darwiniana è poi il fatto che questa non potrà mai essere provata per osservazione diretta dell'uomo, neanche in più generazioni.

La convinzione dello scienziato inglese circa questo aspetto dell'evoluzione si basa su quanto riscontrato in natura (nessuno, fino ai suoi tempi, aveva mai osservato direttamente la comparsa di una nuova specie) e sull'idea che la somma di tanti piccoli fattori che portano l'evoluzione di una specie verso determinati caratteri possa condurre alla comparsa effettiva di un nuovo gruppo tassonomico.

Questo tipo di ottica conduce ad un'interpretazione principalmente deterministica piuttosto che casualistica del fenomeno dell'origine di nuove specie: in **un determinato habitat, con specifici fattori climatici ed ambientali, una specie potrà evolvere esclusivamente in un'unica direzione, che è quella determinata dall'ambiente stesso, ovvero la forma meglio adattata ad esso**. Questa visione per certi versi idealistica della storia dell'evoluzione ha convinto la maggior parte degli scienziati moderni, **ma non tutti**.

Infatti, per alcuni di essi, ovvero per **gli anti-darwiniani saltazionisti** (i sostenitori di un'evoluzione a salti e non graduale), **l'ambiente opera sì costantemente sugli organismi, ma solo alcuni dei fenomeni che influiscono**

*sulla loro evoluzione portano alla speciazione*; si tratta ovviamente di fenomeni di grande portata, che riescono a superare il limite di oscillazione morfologica entro cui una specie rimane tale.

Questi ricercatori hanno proposto, in maniere e forme diverse, un tipo di visione della storia evolutiva molto più frammentaria e segnata da grandi eventi, che hanno portato a **fenomeni di speciazione in fasi relativamente brevi (i cosiddetti salti evuzionistici)** alternati a lunghissimi periodi di stasi in cui le specie sostanzialmente non hanno subito sensibili mutamenti morfologici. L'ipotesi saltazionista sembra essere confermata anche dallo studio di vari giacimenti fossili anche se le testimonianze incomplete dei reperti hanno fatto sì che gli **evuzionisti gradualisti** (ovvero i neodarwiniani sostenitori dell'evoluzione lenta e graduale) avessero un'ottima arma in mano per confutare i loro oppositori, sostenendo - non senza ragione - che le tracce fossili giunte fino ai giorni nostri sono soltanto una piccola parte dell'enorme numero di specie esistite in passato.

Secondo questa visione, avremmo soltanto reperti di alcuni stadi della linea evolutive delle singole specie, ma ci mancherebbero tutti gli anelli di congiunzione tra esse (i cosiddetti **missing links**), ovvero tutti i passaggi intermedi tra una forma e l'altra. Secondo i saltazionisti, invece, le testimonianze fossili offrono sì un quadro approssimativo ed incompleto della storia della vita sulla terra, **ma forniscono comunque un riassunto esaustivo ed indicativo di come abbia operato l'evoluzione nel corso delle ere geologiche.**

Rifacendosi a quest'ottica, i paleontologi statunitensi **Niles Eldredge** (1943) e **Stephen Jay Gould** (1941-2002) esposero per la prima volta al mondo nel 1972 la **teoria degli equilibri punteggiati** (o puntiformi o intermittenti, **punctuated equilibria** in inglese), secondo cui la storia evolutiva sarebbe stata segnata da **pochi, grandi sconvolgimenti (cioè i punti)**, dettati da improvvise modificazioni ambientali, che avrebbero portato determinate specie ad avere la meglio sulle altre, in maniera talvolta anche casuale (**evoluzione punteggiata = lunghi periodi di stasi evolutiva, seguiti da improvvisi e brevi eventi di speciazione definiti punti perché di durata quasi insignificante se paragonata ai precedenti millenni di assoluta calma piatta**).

L'esempio della scomparsa dei Dinosauri e forse quello più lampante: gli autentici dominatori della terra scomparvero in pochi anni a causa di improvvise modificazioni ambientali (l'oscuramento della luce solare, dovuto all'impatto di un meteorite sulla terra o ad una lunga serie di violente eruzioni vulcaniche), lasciando il terreno libero ai Mammiferi, che al tempo erano principalmente animali notturni e meglio adattati in ogni caso a condizioni ambientali crepuscolari.

Come è ben evidente, questo esempio enfatizza un aspetto fondamentale di tale teoria: **la casualità** a cui questi eventi sono legati, che sottolinea che **la storia evolutiva non ha sempre premiato gli esemplari, o le specie, meglio adattati alle condizioni ambientali esistenti, ma quelle meglio adatte a resistere a quegli eventi fortuiti** che hanno modificato in maniera sensibile tali situazioni, portando ad eventi di speciazione tra gli organismi esistenti. Insomma, una visione ben distante dall'idealismo dei gradualisti, secondo cui sono sempre le specie meglio adattate ad ottenere il successo evolutivo. Un altro punto fondamentale della teoria è l'asserzione secondo cui **esiste un equilibrio genetico in ciascuna specie, che le permette di mantenere una stabilità nei caratteri morfologici nel passaggio da una generazione all'altra, almeno fino a quando non interviene un fattore sufficientemente forte da permettere la rottura di tale equilibrio e dare origine a fenomeni di speciazione.** Resta di fatto che, secondo questa visione, in casi di relativa stabilità dell'ambiente non si presenta nessuna modifica nelle caratteristiche di una specie e questo è un altro importante punto di discordia con i gradualisti, secondo i quali anche in casi di relativa staticità nelle specie si vanno accumulando tanti piccoli fattori che influiscono sulla speciazione (ad esempio le mutazioni genetiche), e che si vanno a sommare tra loro.

L'articolo con cui venne per la prima volta presentata questa teoria venne pubblicato nel 1972; Gould presentò come esempio i resti fossili dei molluschi del lago Turkana, ubicato nella *Drift Valley* africana, le cui conchiglie mantennero la stessa morfologia per 3-5 milioni di anni, mentre Eldredge portò come esempio i Trilobiti, grande gruppo di Artropodi ormai estinto (vagamente somiglianti agli attuali Xifosuri), che presentano fasi di stasi evolutiva nelle loro principali linee filetiche in amplissimi intervalli di tempo, alternati a periodi di speciazione e di modificazione della morfologia in tempi relativamente molto brevi. Tale teoria subì **inizialmente forti attacchi da parte di buona parte della comunità scientifica del tempo**, sia perché stravolgeva per certi versi il Darwinismo *tout-court* (sebbene in questo caso venisse contestato il gradualismo della teoria, non la teoria stessa) sia perché sosteneva una certa casualità nei fenomeni di speciazione, che avrebbe portato a non avere necessariamente le specie meglio adattate al successo evolutivo. **Con il passare degli anni dal 1972 a oggi, a suffragio di tale teoria si sono aggiunte sempre più prove fossili, che sembrano confermare senza dubbio che, almeno in moltissime linee filetiche di specie animali e vegetali, l'evoluzione non ha agito per piccoli impercettibili passi**, per cui **la comunità scientifica ha accettato in maniera sempre più convinta tale teoria, al punto che questa è l'ipotesi attualmente con maggior credito tra i ricercatori**, anche se quella della speciazione lenta e graduale fornisce risposte adeguate a vari punti in cui quella saltazionista non è sufficientemente chiara, per cui la verità - come spesso accade - forse sta nel mezzo.



## LE PROVE DELL'EVOLUZIONE

Indipendentemente dai vari punti di vista saltazionisti o gradualisti, oggi l'evoluzione è considerata, dalla stragrande maggioranza dei biologi, un fatto supportato da una mole impressionante di prove di varia natura:

### 1) prove paleontologiche

I dati della paleontologia mostrano non solo che gli organismi fossili erano diversi da quelli attuali, ma anche che man mano che andiamo indietro nel tempo le differenze con gli organismi viventi sono maggiori. Ad esempio, fossili abbastanza recenti possono essere attribuiti generalmente a generi attuali, mentre quelli man mano più antichi sono sempre più diversi e sono attribuibili ad altri generi; permangono talora caratteristiche di base, per cui possono essere spesso attribuiti agli stessi gruppi tassonomici di ordine elevato attuali. Ciò si accorda bene con l'ipotesi generale, che, arretrando nel tempo, ci si avvicina alla radice dell'albero filogenetico.

La paleontologia fornisce prove concrete dell'evoluzione, quando i fossili sono trovati nelle successioni stratigrafiche sedimentarie in abbondanza, laddove è rispettato il principio fondamentale geologico della sovrapposizione; una testimonianza significativa è quella degli ammoniti Hildoceratidi del Lias superiore (Giurassico) nell'Appennino umbro - marchigiano, che mostra passaggi tra genere e genere.

Qui, all'interno dell'unità litostratigrafica di origine marina del Rosso Ammonitico, è stata studiata una serie fossile raccogliendo varie centinaia di campioni, strato per strato, dimostrando che si è avuto un adattamento funzionale verso una sempre maggiore idrodinamicità, e giustificando l'idea darwiniana della selezione naturale.

Questa evoluzione è da considerare simpatica perché i suoi documenti sono presenti esclusivamente nell'area tetidea mediterranea. Per altro esiste una grande variabilità all'interno dei vari generi qui figurati; dal basso *Praemercaticeras*, più antico, poi *Pseudomercaticeras*, *Mercaticeras* e *Merlaites*. Naturalmente sono conosciute serie evolutive fossili di altri organismi animali, vertebrati e invertebrati. I fossili dentro le rocce sedimentarie marine sono diffusi in tutte le parti del mondo e permettono indagini stratigrafiche molto dettagliate.

### 2) prove bio - geografiche

La distribuzione geografica delle specie viventi, **anche alla luce delle conoscenze sulla deriva dei continenti**, ben si accorda con l'evoluzione organica. **L'enorme varietà di adattamenti dei marsupiali australiani, ad esempio, può essere spiegata col fatto che la separazione dell'Australia dagli altri continenti** precede la comparsa degli euteri, per cui i marsupiali terrestri australiani hanno potuto adattarsi a nicchie ecologiche per cui non dovevano competere con altri ordini di mammiferi.

Anche la presenza di grossi uccelli non volatori in grandi isole porta alle medesime conclusioni.

Infatti, visto che esse erano già separate dai continenti alla comparsa degli omeoteri, solo gli uccelli hanno potuto raggiungerle ed occupare nicchie terrestri solitamente occupate da mammiferi.

Alle prove bio-geografiche si possono aggiungere quelle paleo-biogeografiche.

**La paleo-biogeografia si occupa della posizione paleogeografica dei fossili, a partire da quella geografica attuale.** L'argomento ha enorme importanza quando i fossili sono molto antichi (per es. quelli del Paleozoico e del Mesozoico), e talora danno indizi di speciazione allopatrica per migrazione.

Tali studi, ancora poco sviluppati, devono essere eseguiti con il concorso della biostratigrafia; in tal caso possono dare risultati eccezionali. Un caso diverso è quello della presenza degli stessi fossili in aree oggi separate; Sudamerica e Africa infatti presentano in successioni rocciose simili, di origine continentale, fossili di rettili sinapsidi simili del Permiano, 250 milioni di anni fa, a testimoniare che i due continenti erano uniti nel supercontinente Gondwana in quel lontano periodo.

### 3- l'evoluzione osservabile

Uno dei pochi fenomeni di evoluzione osservabili, per via della estrema brevità dei cicli vitali in gioco e quindi della rapidità con cui è possibile osservare la successione delle generazioni, è quello relativo alla progressiva resistenza agli antibiotici da parte dei batteri. **È necessario utilizzare sempre nuovi antibiotici per assicurare trattamenti efficaci e ciò è dovuto al fatto che i batteri, come tutte le specie, mutano, e in un ambiente a loro ostile** come un corpo umano in terapia antibiotica, sopravvivono semplicemente quegli individui le cui mutazioni determinano una maggiore resistenza a quello specifico antibiotico. L'uso diffuso degli antibiotici (sia sugli uomini che sugli animali) non fa che selezionare i ceppi batterici più resistenti, con drammatica diminuzione dell'efficacia. L'introduzione di un nuovo e più potente antibiotico non farà che riproporre lo schema già descritto: tra le infinite mutazioni ve ne saranno sempre alcune che daranno un vantaggio riproduttivo (che renderanno cioè più "adatti") agli individui che le hanno subite. Anche i virus mutano rapidamente, producendo sempre nuovi ceppi, cosa che rende ancor più difficile cercare di contrastarli. Per questo motivo è difficile riuscire a produrre vaccini definitivamente efficaci contro l'influenza, visto che i tempi di mutazione del virus sono paragonabili ai tempi necessari per mettere in commercio un vaccino.