

# L'evoluzione

## Prima di Darwin

### L'antichità e il medioevo

**Anassimandro** (610 – 546 a. C.) formulò alcune idee che richiamano l'evoluzione, immaginando che gli organismi si fossero formati attraverso una metamorfosi simile a quella degli insetti.

**Aristotele** (384 - 322 a. C.), il primo grande biologo della storia umana, credeva che tutti gli esseri

La *Scala Naturae* degli esseri viventi secondo Aristotele

		<i>Con sangue</i>
Vivipari	1	Uomo
	2	Quadrupedi pelosi (mammiferi terrestri)
	3	Cetacei (Mammiferi marini)
Ovipari	4	Uccelli
	5	Quadrupedi scagliosi e apodi (rettili e anfibi)
	6	Pesci
Vermipari	7	Malachi (Cefalopodi: seppie, polpi, ecc.)
	8	Malacostrachi (crostacei)
Prodotti da fanghi generativi, per gemmazione o generazione spontanea	9	Insetti
Prodotti da generazione spontanea	10	Ostracodermi (molluschi diversi dai cefalopodi: chioccioline, bivalvi, ecc.)
	11	Zoofiti (coralli)

Livello di perfezione discendente ↓

viventi potessero essere disposti in una scala gerarchica. In questa gerarchia, detta "scala della natura" (*Scala Naturae*), gli organismi più semplici occupavano lo scalino più basso, l'uomo occupava lo scalino più alto e tutti gli altri organismi avevano una propria collocazione in mezzo. Per Aristotele gli organismi viventi erano sempre esistiti.

**Lucrezio** (99 – 55 a. C.) nel poema *De rerum natura*, postulò l'origine spontanea di ogni genere di creature, uomo compreso, in una trascorsa età dell'oro.

Nel **medioevo** prevale la dottrina fondata sul racconto biblico della creazione, secondo cui tutti gli organismi viventi sono stati creati da Dio nei sei giorni narrati nella Genesi.

L'età della terra fu calcolata in 4000 anni.

Nella dottrina della Chiesa e nella filosofia naturale prende posto anche la *Scala naturae* proposta da Aristotele.

L'idea della creazione permane fino all'avvento dell'evoluzionismo con Darwin e si basa su due tesi:

- l'universo è stato progettato in ogni particolare da un creatore intelligente (Dio);
- il mondo è statico, non subisce cambiamenti ed è di breve durata.

## L'età moderna e il '700

Con la scoperta dell'America (1492) comincia l'era dei *grandi viaggi* che porta alla scoperta, oltre che di nuove terre, di organismi mai visti prima.

La rivoluzione scientifica<sup>1</sup> con **Galileo** (1564 – 1642), le nuove filosofie di **Bacone**<sup>2</sup> e **Cartesio**<sup>3</sup> e la progressiva laicizzazione<sup>4</sup> della cultura portano ad un nuovo modo di considerare l'universo e la natura.

### L'ambiente culturale e scientifico

#### *Cosmologia*

Con le opere di **Copernico** (1473 – 1543) e **Keplero** (1571 – 1630) la terra non è più al centro dell'universo ma diviene un pianeta che ruota attorno al sole.

Il filosofo **Kant** (1724 – 1804) ipotizzò che il sistema solare si fosse formato da una nebulosa che, ruotando su se stessa, diede origine al Sole e ai pianeti, attraverso un processo evolutivo graduale (per Kant l'età della Terra poteva essere di 168 000 anni o addirittura a 500 0000). Il filosofo pensava che stelle e galassie avrebbero continuato sempre ad evolversi.

#### *Geologia e paleontologia*

Lo studio delle formazioni rocciose e delle forze che agiscono sulla superficie terrestre portarono i geologi a formulare nuove teorie sull'origine e le cause dei cambiamenti a cui questa è sottoposta. Secondo **James Hutton** (1726 – 1797), geologo inglese, la Terra sarebbe stata modellata non da eventi catastrofici e improvvisi, come si pensava ma da *processi lenti e gradual*i (l'azione dei venti, l'erosione dell'acqua, ecc) che agiscono anche ora (teoria dell'**attualismo**). Questa teoria implicava che l'età della Terra fosse *molto più antica* di quanto si pensava all'epoca.

Alla fine del 1700 si rinnovò l'interesse per i fossili<sup>5</sup> soprattutto per la classificazione degli strati rocciosi. **William Smith** (1769 – 1839), agrimensore inglese, studiò in modo sistematico la distribuzione dei fossili negli strati rocciosi, stabilendo che ogni strato, in qualunque parte dell'Inghilterra si trovasse, conteneva tipi caratteristici di fossili. Strati sovrapposti contenevano fossili diversi e caratteristici. Questi studi suggerirono l'idea che l'attuale superficie terrestre si fosse formata, nel corso del tempo, dall'accumularsi di uno strato sull'altro<sup>6</sup>.

La paleontologia dei vertebrati, lo studio delle testimonianze fossili di questi, fu fondata da **George Cuvier** (1769 – 1832), studioso francese di anatomia e zoologia. Cuvier riuscì a ricostruire la forma

<sup>1</sup> Processo storico e movimento di idee che, nel corso del XVII secolo, portò alla nascita della moderna scienza sperimentale e all'abbandono della precedente immagine della realtà, fondata soprattutto sulla filosofia di Aristotele.

<sup>2</sup> **Francis Bacon** (Londra 1561-1626) filosofo, scienziato e uomo di stato inglese. Bacon teorizzò l'esigenza di abbandonare il modo di procedere essenzialmente teorico della scienza ereditata dagli antichi, che si basava, anziché sull'osservazione della natura, su un metodo prevalentemente *deduttivo* per sostituirlo con un metodo *induttivo* che partiva dalle sensazioni e dai fatti particolari per risalire in modo progressivo e continuo fino ad arrivare leggi più generali. Questa via presupponeva che *l'esperienza fosse la fonte della nostra conoscenza*, la quale ha come scopo quello di *assoggettare la natura alle nostre richieste*, piegandola al servizio dell'uomo.

<sup>3</sup> **René Descartes** (La Haye, Turenna 1596 - Stoccolma 1650), noto anche col nome italianizzato di Cartesio, filosofo, scienziato e matematico francese, considerato il fondatore della filosofia moderna. Egli sosteneva che sostenendo che Dio aveva creato due ordini di sostanze: la sostanza pensante (*res cogitans*) e la sostanza estesa (*res extensa*).

Quest'ultima si identifica con la materia, la cui caratteristica essenziale è quella di occupare una determinata estensione spaziale; pertanto, se la sostanza pensante si conforma alle leggi del pensiero, la *sostanza estesa si conforma alle leggi meccaniche della fisica*. In ambito scientifico Descartes elaborò complessi modelli meccanicistici, per la spiegazione dei fenomeni fisici. Determinante fu il suo contributo alla matematica. Egli elaborò le basi concettuali della geometria analitica, classificando le curve secondo il tipo di equazione a esse associato.

<sup>4</sup> La cultura diveniva sempre più autonoma rispetto alla religione.

<sup>5</sup> I fossili venivano considerati o stranezze della natura (*lusus naturae*) o prove di catastrofi naturali come il Diluvio universale narrato nella Bibbia.

<sup>6</sup> Smith non si espresse mai sulle conseguenze delle sue ricerche.

di molti animali estinti partendo da pochi frammenti ossei<sup>7</sup>. Pur essendo uno studioso di fossili lo scienziato non fu un evolucionista ma formulò una propria teoria, la *teoria delle catastrofi*, per spiegare l'estinzione delle specie. Cuvier postulava una serie di catastrofi (l'ultima delle quali era il Diluvio); dopo ogni catastrofe le specie estinte venivano sostituite da nuove specie.

### *La storia naturale*

I principi su cui si basa la classificazione delle specie animale e vegetali è dovuta a **Linneo** (1707 –

Classificazione dell'uomo secondo il sistema di Linneo (Sistema attualmente usato per classificare gli organismi viventi)		1778) il quale descrisse ogni specie di pianta allora conosciuta. Egli inventò il sistema binomio di nomenclatura <sup>8</sup> per il quale il nome scientifico di un organismo è costituito da due parti: il nome del genere più un termine che lo specifica (di solito un aggettivo). Il sistema di classificazione linneo che raggruppava le specie in generi, i generi in famiglie, le famiglie in ordini, gli ordini in classi e le classi in phylum o tipo, gettò le basi del concetto di
Specie	<i>Homo sapiens</i>	
Genere	<i>Homo</i>	
Famiglia	<i>Ominidi</i>	
Ordine	<i>Primati</i>	
Classe	<i>Mammiferi</i>	
Subphylum (Sottotipo)	<i>Vertebrati</i>	
Phylum (Tipo)	<i>Cordati</i>	
Regno	<i>Animale</i>	

*discendenza comune.*

### *L'illuminismo*

Questo movimento culturale che si sviluppò nel XVIII secolo, influì sullo sviluppo delle idee evolucionistiche, grazie alla sua fiducia nella ragione e alla sua critica della tradizione religiosa. La critica della Bibbia, in cui venivano evidenziate numerose contraddizioni, affievolì l'interpretazione letterale di questa e facilitò l'avvento di interpretazioni dell'origine dell'universo e della vita, slegate dalla aderenza ai racconti biblici.

Da tener conto, nel considerare lo sviluppo delle idee riguardanti l'evoluzione della vita, anche l'ambiente economico e sociale in cui queste si svilupparono: in particolare la rivoluzione industriale e quella francese cambiarono il modo di vita e di pensare dell'umanità.

## **I precursori**

### *Benoît de Maillet (1659-1738)*

Diplomatico francese che scrisse un'opera, *Telliamed*<sup>9</sup>, in cui ipotizzava che la terra sia stata un tempo completamente sommersa dall'acqua, da cui sta gradualmente riemergendo con un processo che dura da milioni di anni. In origine esistevano, secondo de Maillet, solo piante ed animali acquatici che, spostandosi sulla terraferma, si trasformarono in loro equivalenti terrestri.

### *Pierre-Louis Moreau de Maupertuis (1698 – 1759)*

Per Maupertuis il mondo organico era il risultato di un massiccio intervento della generazione spontanea che era in grado di produrre nuove forme di piante ed animali. Le forme che presentavano dei difetti venivano eliminate.

<sup>7</sup> Cuvier è considerato anche il padre dell'Anatomia comparata, quel ramo della Biologia che studia l'anatomia e la fisiologia dei vertebrati.

<sup>8</sup> Questo è il sistema attualmente usato per denominare gli organismi viventi.

<sup>9</sup> Il sottotitolo dell'opera era: "*Le conversazioni tra un filosofo indiano e un missionario francese sull'abbassamento del livello del mare*".

*George - Louis Leclerc de Buffon (1707 – 1788)*

Buffon, scienziato francese, fu direttore del Jardin du Roi, l'Orto botanico di Parigi. Scrisse un'opera, l'*Histoire naturelle*<sup>10</sup>, in cui si occupa di temi naturali che vanno dai minerali all'uomo. Buffon riteneva che le specie potessero subire dei cambiamenti nel corso del tempo. Oltre alle specie fatte nascere per creazione divina, all'inizio del mondo, la natura ne aveva prodotte altre nel corso del tempo; questi cambiamenti erano il risultato di un processo di degenerazione. Le considerazioni presentate nell'*Histoire* influenzarono in modo notevole tutto il pensiero naturalistico successivo.

*Jean-Baptiste Lamarck (1744 – 1829)*

Lamarck<sup>11</sup> fu il primo scienziato che sviluppò una teoria coerente dell'evoluzione degli organismi, ipotizzando che tutte le specie, uomo compreso, discendessero da altre specie. Egli aveva osservato che generalmente le rocce più antiche contenevano fossili di forme più semplici e interpretò questo fatto nel senso che le forme più complesse sarebbero derivate da quelle più semplici mediante un'evoluzione. I cambiamenti evolutivi, secondo Lamarck sono regolati da due principi fondamentali.

Il primo principio è l'**eredità dei caratteri acquisiti**: gli organi degli animali diventano più o meno sviluppati, più o meno importanti per la vita dell'organismo, in seguito *all'uso o al disuso*, e questi mutamenti sono *trasmessi dai genitori a i figli*.

Il secondo principio consisteva in un **impulso inconscio** *che spingeva ogni essere vivente verso una maggiore complessità* (le amebe, esseri unicellulari, sono, per esempio, sulla strada che le porterà vicino all'uomo), risalendo verso l'alto della *Scala Naturae* aristotelica. In alcuni casi si può verificare, a causa di un ambiente sfavorevole, una deviazione ma l'impulso rimane sempre presente.



Lamarck pensava che la vita, nelle sue forme più semplici, si originava continuamente per generazione spontanea.

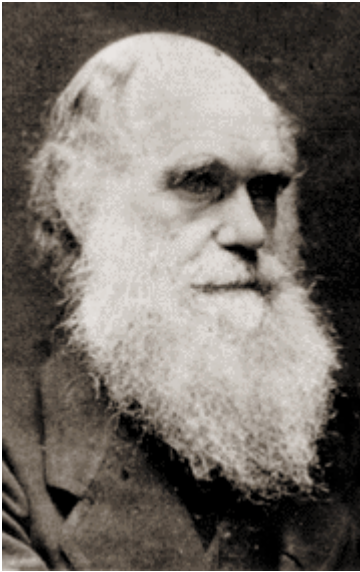
L'esempio più famoso che illustra il principio dell'ereditarietà dei caratteri acquisiti è quello dell'*evoluzione della giraffa*.

La giraffa moderna si è evoluta da antenati che dovettero allungare il collo per raggiungere le foglie poste sui rami più alti. Questi antenati trasmisero ai discendenti il collo lungo, acquisito mediante l'allungamento, i quali, a loro volta, allungarono il collo ancor di più trasmettendo la nuova dimensione del collo ai figli e così via.

<sup>10</sup> *Storia Naturale*. L'opera era costituita da 35 volumi, scritta con uno stile brillante, e fu tradotta in numerose lingue.

<sup>11</sup> Botanico e naturalista francese. Ricevuta un'educazione classica, alla morte del padre (1759) si arruolò nell'esercito. Dal 1768, abbandonata la carriera militare, prese a interessarsi di medicina, meteorologia, chimica, geologia, paleontologia, botanica e zoologia. Nel 1778 pubblicò un libro intitolato *Flore française*, che ebbe molto successo e che fu uno dei primi tentativi di classificazione delle piante basato su chiavi dicotomiche. Membro dell'Accademia delle scienze, nel 1789 iniziò a lavorare presso il Jardin du Roi e nel 1795 divenne professore di zoologia degli invertebrati al Museo di storia naturale. Tra il 1815 e il 1822 scrisse "*Histoire naturelle des animaux sans vertèbres*" (7 volumi,) in cui si trova la prima suddivisione dettagliata degli invertebrati in più classi. Le sue ipotesi sull'evoluzione furono pubblicate per la prima volta nella *Philosophie zoologique* (1809) e poi rielaborate in molti scritti successivi. Lamarck morì povero e cieco nel 1829.

## Darwin



Darwin nacque a Shrewsbury (Inghilterra) nel 1809 da una famiglia<sup>12</sup> agiata e impegnata in campo culturale.

Si iscrisse a medicina all'Università di Edimburgo, senza tuttavia portare a termine gli studi poiché nel 1827 si trasferì a Cambridge, dove frequentò l'Università con l'intenzione di intraprendere la carriera ecclesiastica. Qui Darwin incontrò il geologo Adam Sedgwick e il naturalista John Stevens Henslow, i quali contribuirono a rafforzare i suoi interessi per l'osservazione dei fenomeni naturali. Grazie alla raccomandazione di Henslow, nel 1831 Darwin<sup>13</sup> riuscì a imbarcarsi sul Beagle<sup>14</sup>, un brigantino britannico in partenza per una spedizione di ricognizione scientifica intorno al mondo, in qualità di naturalista non stipendiato.

Al suo ritorno in Gran Bretagna nel 1836, Darwin si stabilì a Londra e iniziò a mettere per iscritto le sue idee sulla variazione delle specie. Nel 1839 sposò una cugina, Emma Wedgwood, e poco dopo si trasferì in una piccola proprietà nel Kent (Down House), dove rimase

fino alla morte.

Nel 1858, presentò un articolo in cui esponeva le sue idee sui meccanismi evolutivi in concomitanza con un altro articolo di **Alfred Russel Wallace**<sup>15</sup> che era giunto in modo indipendente alle stesse conclusioni.

Nel 1859 pubblicò il famoso "*The origin of species*" che ebbe un grande successo editoriale<sup>16</sup>, in cui esponeva in modo completo la sua teoria dell'evoluzione per selezione naturale.

Il testo suscitò reazioni diverse sia nell'ambiente scientifico che in quello sociale<sup>17</sup> e culturale: dall'adesione incondizionata all'opposizione più feroce. Darwin non partecipò direttamente al dibattito che le sue idee avevano avviato, ma lasciò ai suoi sostenitori questo compito<sup>18</sup>.

Pubblicò altre opere in cui espone in maggiore dettaglio alcuni argomenti che nell'opera maggiore erano stati solo accennati: *Variation of Animals and Plants Under Domestication* (1868), *The Descent of Man*<sup>19</sup> (1871) e *The Expression of the Emotions in Man and Animals* (1872).

Morì nel 1882 e fu sepolto nell'abbazia di Westminster.

<sup>12</sup> Il nonno materno, Josiah Wedgwood, fu un imprenditore di successo nel campo della ceramica e della porcellana, mentre il nonno paterno, Erasmus Darwin, fu un celebre naturalista del suo tempo, con idee evolucioniste.

<sup>13</sup> Darwin aveva allora solo 21 anni e si era appena laureato.

<sup>14</sup> La nave salpò dall'Inghilterra nel dicembre del 1831 e arrivò in Brasile nel febbraio del 1832. Per tre anni e mezzo navigò lungo le coste del Sud America, fermandosi in varie località ed esplorando anche le zone interne del continente. Sostò alle isole Galapagos per più di un mese. Il resto del viaggio durò un altro anno, in cui la nave toccò la Nuova Zelanda e l'Australia, attraversò l'Oceano Indiano e, doppiando il Capo di Buona Speranza, fece un'altra tappa a Bahia (Brasile). Ritornò in Inghilterra nel 1836.

<sup>15</sup> Naturalista britannico, noto per avere sviluppato una teoria dell'evoluzione basata sulla selezione naturale, in contemporanea a quella di Charles Darwin. Dall'esplorazione di alcune regioni dell'Amazzonia e della Malesia tornò con importanti osservazioni sulla flora e sulla fauna, che lo aiutarono nell'elaborazione delle sue teorie. In particolare correlò le caratteristiche di alcune specie animali diffuse in Asia e Australia con la loro distribuzione geografica, gettando così le basi della moderna zoogeografia.

<sup>16</sup> Il volume uscì il 24 novembre e ne furono stampate 1250 copie che andarono esaurite immediatamente.

<sup>17</sup> Karl Mark voleva dedicargli il Capitale.

<sup>18</sup> Il suo principale sostenitore fu Thomas Henry Huxley (soprannominato il mastino di Darwin), biologo e membro della Royal Society, la maggiore istituzione scientifica inglese.

<sup>19</sup> In quest'opera afferma che le scimmie e l'uomo hanno un antenato in comune.

## La teoria di Darwin

Le cause che portarono Darwin a formulare la teoria dell'evoluzione per selezione naturale, sono molteplici.

Una parte è dovuta alle osservazioni fatte durante il viaggio attorno al mondo con la Beagle. Egli scrive:

“Dal settembre 1854 in poi dedicai tutto il mio tempo all'argomento trasformazione delle specie riordinando un'enorme quantità di note, osservando e sperimentando. Durante il viaggio sul Beagle mi aveva molto colpito lo scoprire nella formazione pampeana<sup>20</sup> grandi animali fossili ricoperti da armature simili a quelle degli armadilli viventi, ed ero rimasto impressionato dal modo con cui animali molto affini si sostituiscono l'un l'altro procedendo verso il sud nel continente, e infine dal fatto che la maggior parte delle specie dell'arcipelago delle Galàpagos<sup>21</sup> hanno caratteri nettamente sudamericani e soprattutto che in ogni isola del gruppo esse si presentano con piccole differenze caratteristiche, benché nessuna di queste isole appaia geologicamente molto antica.”

Darwin fu influenzato, nella formulazione della sua teoria, anche dalle numerose letture fatte<sup>22</sup>. In particolare la lettura del trattato di sociologia di Thomas Malthus<sup>23</sup>, *Essay on the Principle of Population*<sup>24</sup>, lo influenzò nella comprensione del ruolo della selezione naturale come agente del mutamento evolutivo. Secondo Malthus, la *popolazione tende a crescere più velocemente delle risorse alimentari necessarie per la sua sopravvivenza*. Ogni incremento nella produzione di cibo rispetto alla crescita demografica tende comunque a stimolare un ulteriore aumento del tasso di crescita della popolazione stessa; perciò, quando la popolazione cresce eccessivamente rispetto alle risorse alimentari disponibili, intervengono a "ridurla" fame, malattie e guerre ristabilendo una situazione di equilibrio.

Darwin *estese queste considerazioni a tutte le specie*: ecco cosa scrisse nella sua *Autobiografia*.

“Nell'ottobre 1838, cioè quindici mesi dopo l'inizio della mia ricerca sistematica, lessi per diletto il libro di Malthus [Essay on the Principle of Population] e poiché, date le mie lunghe osservazioni sulle abitudini degli animali e delle piante, mi trovavo nella buona disposizione mentale *per valutare la lotta per l'esistenza cui ogni essere è sottoposto*, fui subito colpito dall'idea che, in tali condizioni, *le variazioni vantaggiose tendessero a essere conservate, e quelle sfavorevoli a essere distrutte*. Il risultato poteva essere la *formazione di specie nuove*. Avevo dunque ormai una teoria su cui lavorare, ma ero così preoccupato di evitare ogni pregiudizio, che decisi di non scrivere, per qualche tempo, neanche una brevissima nota. Nel giugno del 1842 mi concessi la soddisfazione di fare della mia teoria un breve riassunto di trentacinque pagine scritte a matita; questo fu poi ampliato nell'estate del 1844 in uno scritto di duecentotrenta pagine che poi feci ricopiare accuratamente e che ancora possiedo.”

Ad esempio egli calcolò che se una coppia di elefanti producesse dei discendenti in grado di sopravvivere e di riprodursi normalmente, dopo 750 anni si avrebbero 19 milioni di elefanti; le osservazioni sulla situazione reale mostrano invece che il numero di individui resta costante nel tempo per cui, in pratica, una coppia di elefanti produce mediamente due discendenti. Questi due individui sono “scelti”, secondo Darwin, attraverso un processo che chiamò **selezione naturale**.

<sup>20</sup> La pianura argentina.

<sup>21</sup> Isole che si trovano nell'Oceano Pacifico e appartengono all'Equador.

<sup>22</sup> Uno dei libri che Darwin portò con sé nel viaggio attorno al mondo, fu *“Principi di Geologia”* del geologo **Charles Lyell**. In questo testo veniva ripresa la teoria dell'attualismo di Hutton. Secondo Lyell, la lenta e costante azione delle forze naturali aveva prodotto continui e graduali cambiamenti nel corso della storia della Terra (teoria dell'**uniformismo**). Questi processi mostrano i loro effetti su tempi molto lunghi per cui il mondo deve essere molto antico.

<sup>23</sup> Economista britannico (Rookery, Surrey 1766 - Haileybury, Hertford 1834). Pastore anglicano, fu per breve tempo vicario della parrocchia di Albury nel Surrey e quindi insegnò economia politica e storia moderna al College della Compagnia delle Indie Orientali a Haileybury.

<sup>24</sup> Saggio sul principio di popolazione (1798)

Oltre che le letture e le osservazioni fatte nel viaggio attorno al mondo la formulazione della teoria darwiniana è stata ispirata dalle osservazioni che lo scienziato fece *sulle pratiche di selezione artificiale* attuate dagli allevatori.

### ***I principi fondamentali della teoria***

La teoria darwiniana dell'evoluzione per selezione naturale si basa su questi punti fondamentali:

- a) Gli organismi generano organismi simili, cioè i figli sono simili ai genitori;
- b) Nella maggior parte delle specie *sopravvive e si riproduce un numero di individui minore di quello prodotto inizialmente*;
- c) ogni popolazione consiste di *individui diversi tra loro* (non esistono due organismi perfettamente identici) per qualche caratteristica e questa diversità non è dovuta all'azione dell'ambiente ma è *casuale*. *Alcune di queste variazioni sono ereditabili*;
- d) quali individui riusciranno a sopravvivere e a riprodursi dipende dall'*interazione di essi con l'ambiente in cui vivono*; organismi dotati di certe caratteristiche *sopravvivono di più di altri, generando più discendenti*. Le variazioni che permettono una sopravvivenza maggiore sono dette "*favorevoli*" e tendono a diventare più frequenti da una generazione all'altra. Questo processo venne definito da Darwin **selezione naturale**;
- e) dato un periodo di tempo sufficientemente lungo, *la selezione naturale porta ad un accumulo di cambiamento tale che si forma una nuova specie*, diversa da quella d'origine.

Scriva Darwin nell'*Origine delle specie*:

“Se in condizioni mutevoli di vita *gli esseri viventi presentano differenze individuali in quasi ogni parte della loro struttura*, e ciò non è discutibile; se a cagione<sup>25</sup> del loro aumento numerico in progressione geometrica<sup>26</sup> *si determina una severa lotta per la vita* in qualche età, stagione o anno, e ciò certamente non può essere discusso; allora, considerando la infinita complessità delle relazioni di tutti gli esseri viventi fra di loro e con le loro condizioni di vita, la quale fa sì che un'infinita diversità di struttura, costituzione e abitudini, sia per essi vantaggiosa, *sarebbe un fatto quanto mai straordinario che non avessero mai avuto luogo variazioni utili al benessere di ciascun individuo*, allo stesso modo con cui hanno avuto luogo tante variazioni utili all'uomo. *Ma se mai si verificano variazioni utili ad un qualsiasi essere vivente, sicuramente gli individui così caratterizzati avranno le migliori probabilità di conservarsi nella lotta per la vita*; e per il saldo principio dell'eredità, essi tenderanno a produrre discendenti analogamente caratterizzati. Questo principio della conservazione, o sopravvivenza del più adatto, *l'ho denominato selezione naturale*. Esso conduce al miglioramento di ciascuna creatura in relazione alle sue condizioni organiche ed inorganiche di vita, e di conseguenza, nella maggioranza dei casi, a ciò che può essere considerato come un progresso nella organizzazione. Ciononostante, forme basse e semplici perdureranno a lungo se bene adatte alle loro semplici condizioni di esistenza.”

Oltre alla selezione naturale, che tende a “premiare” gli organismi che mostrano caratteristiche tali da renderli più adatti all'ambiente in cui vivono, Darwin si rese conto dell'esistenza di un altro fattore, che, apparentemente, non sempre agisce in modo favorevole all'organismo: la **selezione sessuale**. Questo tipo di selezione premia quelle strutture (come la vistosa coda del pavone o le grandi corna dei cervi) che *consentono ai maschi di una specie di mettersi in mostra o lottare con altri maschi nel periodo dell'accoppiamento*, venendo così accolti più favorevolmente dalle

<sup>25</sup> A causa.

<sup>26</sup> Sequenza di numeri tale che il rapporto tra ciascun termine (escluso il primo) e quello precedente abbia un valore costante, detto ragione. Ad esempio, la sequenza di numeri 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, è una progressione geometrica di ragione 2: infatti  $4/2 = 2$ ;  $8/4 = 2$ ; ....

*femmine*. Questo tipo di selezione spiega la comparsa di organi che sembrano non favorire la vita di un individuo<sup>27</sup>.

Darwin riteneva che l'evoluzione fosse un processo lento e graduale. Egli scrive:

“Poiché la selezione naturale *agisce solo accumulando variazioni leggere, successive e favorevoli*, essa non può produrre modificazioni grandi o improvvise; *può agire soltanto con passi brevi e lenti*. Perciò, l'assioma "*Natura non facit saltum*", che ogni nuova aggiunta alla nostra conoscenza tende a confermare, è, secondo questa teoria, comprensibile. Possiamo vedere perché, in natura, lo stesso scopo generale è raggiunto con una quasi infinita varietà di mezzi, poiché ogni peculiarità, una volta acquisita, è a lungo ereditata, e strutture già modificate in molti modi diversi hanno dovuto adattarsi allo stesso scopo generale. Possiamo, in breve, vedere perché *la natura è prodiga di varietà, sebbene avara di innovazioni*. Ma perché questa dovrebbe essere una legge di natura, se ciascuna specie fosse stata creata indipendentemente, nessuno può spiegarlo.”

In *L'Origine delle specie*

### ***Le prove dell'evoluzione***

Nella sua opera Darwin portò prove di diverso genere a sostegno della sua teoria. Tra queste particolare rilievo hanno quelle di carattere *biogeografico*<sup>28</sup>. Considerando la distribuzione delle specie sia animali che vegetali, nelle diverse zone del mondo, si osserva che *ambienti simili che si trovano in luoghi diversi, presentano specie a volte molto diverse*. Egli notò che mentre le forme di vita dei diversi continenti, a parità di ambiente, hanno poco in comune tra loro, all'interno di ciascun continente esistevano molte somiglianze. Ecco cosa viene detto, a questo proposito, nell'*Origine*.

Se consideriamo la distribuzione degli esseri organici sulla terra, il *primo grande fatto che ci colpisce è che non è possibile spiegare completamente la somiglianza o la dissomiglianza degli abitanti delle varie regioni con il clima o altre condizioni fisiche*. Recentemente quasi tutti gli autori che hanno studiato questo argomento sono arrivati a questa conclusione. Basterebbe considerare il caso dell'America per avere la prova di tale verità; infatti, ad eccezione della parte settentrionale artica e temperata, tutti gli autori ammettono concordemente che una delle divisioni fondamentali della distribuzione geografica è quella fra Nuovo e Vecchio mondo; tuttavia, se percorriamo il grande continente americano, dalla parte centrale degli Stati Uniti fino alla sua estremità meridionale, incontriamo le condizioni più differenti; regioni umide, aridi deserti, alte montagne, pianure erbose, foreste, paludi, laghi e grandi fiumi, sotto quasi tutte le temperature. *Non c'è quasi clima o condizione del Vecchio mondo che non abbia il suo equivalente nel Nuovo mondo*, almeno nei limiti di ciò che è generalmente necessario a una stessa specie. Senza dubbio, si possono segnalare nel Vecchio mondo alcune aree limitate più calde di qualsiasi area del Nuovo mondo; ma esse non sono abitate da fauna differente da quella delle regioni circostanti; infatti è raro trovare un gruppo di organismi confinato in una piccola zona, dove le condizioni sono soltanto leggermente differenti. *Nonostante questo parallelismo generale tra le condizioni fisiche del Vecchio mondo e del Nuovo, quanto grande è la differenza fra gli organismi che li abitano!*

L'Australia, per esempio, possiede organismi, i marsupiali, che non si ritrovano in altre parti del mondo e occupano ambienti che, nelle altre parti del mondo, sono caratterizzati da individui completamente diversi; viceversa i marsupiali australiani mostrano molte somiglianze tra le specie che costituiscono il gruppo.

<sup>27</sup> Per esempio la coda del pavone maschio lo rende appariscente rispetto ai predatori.

<sup>28</sup> È lo studio della distribuzione delle piante e degli animali nelle diverse regioni del mondo.



“Se confrontiamo, nell’emisfero australe, grandi territori dell’Australia, dell’Africa meridionale, e della parte occidentale dell’America meridionale, compresi fra il 25° e il 35° grado di latitudine *li troveremo estremamente simili in tutte le loro condizioni, sebbene non sia possibile indicare tre flore e tre faune più completamente dissimili*. O anche possiamo confrontare le produzioni dell’America meridionale, a sud del 35° grado di latitudine con quelle a nord del 25°, separate pertanto da dieci gradi di latitudine, ed esposte a condizioni molto differenti; *vedremo tuttavia che esse sono incomparabilmente più vicine fra loro di quanto non lo siano le produzioni australiane o africane che vivono sotto un clima quasi identico*. Si potrebbero segnalare fatti analoghi relativi agli abitanti del mare.”

In *L’Origine delle specie*.

Anche la fauna e la flora delle isole Galapagos, studiate durante il viaggio con la Beagle, contribuirono a fornire argomenti a favore dell’evoluzione. In particolare, i fringuelli, che nelle isole presentavano 13 specie simili che si differenziavano, in modo notevole, per la forma del becco in relazione all’ambiente occupato. Queste specie assomigliano molto a quelle presenti nel continente. Le osservazioni sulla fauna e la flora delle isole e sui rapporti con il continente sono molto importanti, per Darwin, nel considerare l’evoluzione e non la creazione come la causa di questa situazione. Egli scrive nell’*Origine*:

“Il fatto più importante e sorprendente per noi è *l’affinità fra le specie che abitano le isole e quelle che abitano il continente più vicino, che però non sono identiche*. Si potrebbero citare numerosi esempi di questo fatto. L’arcipelago delle Galapagos è situato sotto l’equatore alla distanza di 500 - 600 miglia [circa 900 km] dalle coste dell’America meridionale. Tutti gli organismi terrestri e acquatici dell’arcipelago portano il segno incontestabile del tipo continentale americano. Su ventisei uccelli terrestri, ventuno o forse ventitré, sono classificati come specie diverse, e si supporrebbe comunemente che siano stati creati in questo luogo; pur tuttavia la stretta affinità della maggioranza di questi uccelli con le specie americane è manifesta in ogni carattere, nelle abitudini, nel portamento, nel canto. Lo stesso avviene per gli altri animali e per la maggioranza delle piante, come dimostra Hooker nella sua eccellente opera sulla flora di questo arcipelago. Osservando gli abitanti di queste isole vulcaniche del Pacifico, distanti centinaia di miglia dal continente, il naturalista ha la sensazione di trovarsi su territorio americano. Perché dovrebbe esser così? *Perché queste specie, che si suppongono create nell’arcipelago delle Galapagos, e non altrove, dovrebbero portare in modo così evidente l’impronta dell’affinità con le specie create in America?* Non vi è niente, nelle condizioni di vita, nella natura geologica di queste isole, nella loro altitudine e nel loro clima, o nella proporzione in cui le diverse classi si sono associate, che si avvicini alle condizioni delle coste dell’America meridionale. Invero, c’è una notevole dissimiglianza in tutti questi aspetti. D’altra parte c’è un notevole grado di somiglianza fra queste stesse isole e quelle dell’arcipelago del Capo Verde nella natura vulcanica del suolo, nel clima, nell’altitudine e nella estensione; ma quale completa e assoluta differenza fra i loro abitanti! Gli abitanti delle isole del Capo Verde sono collegati con quelli dell’Africa, come gli abitanti delle Galapagos lo sono con quelli dell’America. *La teoria corrente della creazione indipendente non può fornire alcuna spiegazione a simili fatti*. Al contrario, *secondo la teoria qui avanzata, è evidente che le Galapagos, sia per la precedente continuità con la terra ferma (sebbene io non concordi con questa opinione) sia con mezzi di trasporto occasionali, avranno probabilmente ricevuto i loro abitanti dall’America, come le isole del Capo Verde avranno ricevuto i loro dall’Africa; gli uni e gli altri saranno stati soggetti a modificazioni, ma il principio dell’eredità tradirà sempre il loro luogo di origine.*”

Oltre che alle prove biogeografiche, Darwin si serve, in misura minore, di quelle date dai fossili. Nel suo viaggio con la Beagle aveva visitato le coste dell’America del Sud nelle quali si notava un esteso sollevamento della superficie terrestre che lasciava esposti molti strati geologici. Questi strati contenevano fossili di conchiglie e la percentuale di specie moderne aumentava

gradualmente negli strati più recenti. Egli fu anche colpito dai molti fossili di mammiferi estinti tra cui gli armadilli giganti<sup>29</sup>, presenti nelle pianure sudamericane.

I fossili furono, comunque, un problema per lo scienziato, sia per il fatto che erano scarsi di numero, sia perché egli non vi trovava le prove di un graduale passaggio da una specie all'altra.

*“Ho tentato di dimostrare che la documentazione geologica è estremamente incompleta; che soltanto una piccola parte del globo è stata esplorata con cura dal punto di vista geologico; che solo certe classi di esseri viventi sono largamente conservate allo stato fossile; che il numero delle specie e degli individui conservati nei nostri musei equivale assolutamente a zero se confrontato con il numero delle generazioni che debbono essere esistite durante una sola formazione geologica; che poiché l'abbassamento del suolo è quasi necessario per permettere l'accumulazione di depositi ricchi di specie fossili di molti tipi, e abbastanza spessi da poter resistere a ulteriori degradazioni, enormi intervalli di tempo hanno dovuto intercorrere fra la maggior parte delle nostre formazioni successive; che probabilmente ci sono state più estinzioni nei periodi di abbassamento del suolo e più variazioni nei periodi di sollevamento, essendo questi ultimi periodi meno favorevoli alla conservazione dei fossili; che ogni formazione non è stata depositata in modo continuo; che la durata di ogni formazione è stata probabilmente più breve della durata media delle forme specifiche; che le migrazioni hanno avuto una parte importante nella prima comparsa di nuove forme in ogni area e in ogni formazione; che le specie più diffuse sono quelle che hanno variato più frequentemente, e hanno dato più spesso origine a nuove specie; che le varietà sono state dapprima locali; e infine che, sebbene ogni specie abbia dovuto attraversare numerose fasi di transizione, è probabile che i periodi durante i quali ciascuna ha subito delle modificazioni, sebbene numerosi e lunghi se computati in anni, siano stati brevi in confronto ai periodi durante i quali ogni specie è rimasta immutata. Queste cause, tutte insieme, spiegano in larga misura perché - pur trovando numerosi legami - non incontriamo un numero infinito di varietà, che colleghino fra di loro con gradazione perfetta tutte le forme estinte e viventi. Si deve anche sempre ricordare che ogni varietà intermedia tra due forme, che si potesse trovare, sarebbe classificata come una specie nuova e distinta, a meno che non si potesse ricostruire per intero la catena; perché non si può sostenere di essere in possesso di un criterio sicuro in base al quale si distinguono le specie dalle varietà.”*

Ulteriori prove a favore dell'evoluzione, sono quelle che riguardano *strutture presenti in organismi viventi che sembrano non svolgere una funzione precisa*. Si tratta di abbozzi<sup>30</sup> che assomigliano a organi presenti in altri animali e perfettamente funzionanti. Ad esempio le ossa pelviche delle balene sono residui di arti che l'animale non usa più. Come mai un creatore le avrebbe messe se non hanno nessuno scopo?

Anche l'omologia<sup>31</sup> tra gli organi costituiva, per Darwin, un'istanza a favore dell'evoluzione. Nei pipistrelli, per esempio, le ossa che sostengono le ali sono le stesse di quelle presenti negli arti inferiori; perché un creatore dovrebbe impiegare una struttura imperfetta per quella funzione?

Un ultimo gruppo di prove è dato dal fatto che non tutti gli adattamenti all'ambiente sembrano perfetti ma ci sono tutte le gradazioni e le varietà di questi e non un gruppo di soluzioni ideali per la risoluzione di un dato problema adattative. A questo proposito, Darwin, cita i vari dispositivi messi in atto dalle piante per disperdere il polline che vano da quelli complicati di certe orchidee che coinvolgono gli insetti, a quelli delle piante che si affidano al vento per la dispersione.

<sup>29</sup> Il fatto che questi fossili fossero sepolti negli stessi luoghi dove vivono gli armadilli attuali era, per Darwin, una prova a favore trasformazione delle specie.

<sup>30</sup> Strutture *vestigiali*.

<sup>31</sup> Sono organi o strutture aventi la **stessa origine embrionale**, anche se possono svolgere, in specie diverse, funzioni diverse. **Analoghi** sono, invece, quegli organo che *hanno la stessa forma* (per esempio le pinne dei pesci e quelle dei cetacei) *ma derivano da parti diverse dell'embrione*.

### ***Riassunto della teoria***

*Le specie si evolvono.* In contrapposizione con la credenza nella fissità delle specie, create recentemente o ciclicamente dopo eventi catastrofici (catastrofismo di Cuvier), Darwin riteneva che gli organismi si trasformano nel corso del tempo.

*Antenato comune.* Tutti gli organismi, vegetali e animali, discendono da un antenato comune attraverso un processo di ramificazione.

*Le specie si moltiplicano.* Le specie si moltiplicano suddividendosi in specie figlie o producendo popolazioni che attraverso l'isolamento geografico divengono nuove specie.

*L'evoluzione è un processo graduale.* Il cambiamento evolutivo avviene in modo lento e graduale e non attraverso salti improvvisi<sup>32</sup>.

*L'evoluzione è regolata dalla selezione naturale.* Ad ogni generazione si produce, all'interno di una popolazione, un elevato numero di variazioni sulle quali agirà la selezione. Gli individui che mostreranno una combinazione di caratteristiche ereditarie che consentono un maggior adattamento all'ambiente, avranno più probabilità degli altri di sopravvivere e raggiungere l'età riproduttiva e queste novità si propagheranno nella generazione successiva.

---

<sup>32</sup> Questa sarà una delle posizioni che i genetisti assumeranno dopo la scoperta dei lavori di Mendel.

## Dopo Darwin

### *I primi anno del '900*

Dopo la pubblicazione dell'Origine delle specie nel 1859, l'idea che le specie si fossero evolute nel corso del tempo, fu accettata da quasi tutti i naturalisti dell'epoca<sup>33</sup> mentre il meccanismo della selezione naturale, come motore dell'evoluzione, non fu accettato con la stessa facilità.

In particolare due problemi erano di ostacolo all'accettazione della selezione naturale:

- la documentazione fossile che non mostrava segni di un avvicendamento graduale delle specie;
- una spiegazione dell'insorgenza, all'interno di una popolazione, delle variazioni e di come potessero venir trasmesse per via ereditaria<sup>34</sup>.

Nel periodo successivo la morte di Darwin, l'idea dell'evoluzione fu accettata in modo esplicito o implicito, da quasi tutti i biologi mentre la selezione naturale passò in secondo piano<sup>35</sup>.



#### **Mendel, Johann Gregor**

(Heinzeldorf (oggi Hincice, Repubblica Ceca) 1822 - Brünn (oggi Brno, Moravia) 1884)

Nato da una famiglia di contadini, studiò filosofia, matematica e fisica presso l'Università di Olmütz ma, a causa di difficoltà economiche decise di entrare nel convento

agostiniano di Altbrunn (Brno), dedicandosi all'educazione che il convento praticava presso le scuole religiose. Nel 1847 prese gli ordini religiosi. Tra il 1851 e il 1853 frequentò, presso l'Università di Vienna, dei corsi per ottenere l'abilitazione all'insegnamento delle scienze naturali. Non riuscì ad ottenere l'abilitazione e rimase supplente a vita. Fu eletto, però, membro della Società zoologica e botanica, per i suoi studi in tali ambiti. Pubblicò i risultati delle sue ricerche sulla genetica nel 1865 ad un congresso di Scienze naturali, senza suscitare molto interesse.

Nel 1868 venne nominato abate del monastero per cui il tempo dedicato alle ricerche scientifiche fu molto limitato.

Agli inizi del '900 venne riscoperto da Hugo De Vries<sup>36</sup>, Erich von Tschermak<sup>37</sup> e Carl Correns<sup>38</sup>, in modo indipendente, il lavoro di Mendel aprendo così la strada alla genetica moderna.

Gli studi sulla trasmissione dei caratteri ereditari che si svilupparono dopo la riscoperta degli esperimenti mendeliani fornirono la base per spiegare la variazione all'interno di una popolazione. Il punto fondamentale del lavoro di Mendel è quello in cui **dimostra che i caratteri vengono ereditati attraverso unità distinte e non si mescolano anche se i loro effetti vengono nascosti o limitati da altri caratteri**. Per ogni carattere un individuo possiede una coppia di fattori (geni), ciascuno proveniente da uno dei genitori; gli effetti di uno dei due geni (allele recessivo) possono venir mascherati dall'altro (allele dominante). I due alleli si separano (nella formazione dei gameti) e vengono trasmessi indipendentemente alla prole. La produzione delle varianti di un carattere è dovuto alla **mutazione**<sup>39</sup>, un processo che si verifica in modo improvviso e imprevedibile e comporta la modificazione della normale

<sup>33</sup> Huxley, nel 1880, due anni prima della morte di Darwin, scriveva, in riferimento all'*Origine*: "Gli scienziati più in vista in ogni paese o sono campioni dichiarati delle sue principali dottrine o, perlomeno, non le combattono."

<sup>34</sup> La spiegazione era già disponibile ma nessuno se n'era accorto. Nel 1865 Mendel lesse i risultati dei suoi esperimenti alla Società naturalistica di Brno suscitando scarso interesse. Spedì una copia del suo lavoro anche a Darwin che non lo lesse mai.

<sup>35</sup> A complicare le cose ci fu anche il grande fisico Kelvin che, in base ai suoi calcoli sui tempi di raffreddamento del pianeta da uno stadio iniziale molto caldo, riteneva la Terra non più antica di 20 milioni di anni. Questi calcoli vennero confutati agli inizi del '900, quando fu scoperta la radioattività delle rocce che forniva la quantità di calore necessaria a contrastare il raffreddamento terrestre, allungando così l'età del pianeta.

<sup>36</sup> Botanico olandese (Haarlem 1848 - Lunteren, Gheldria 1935).

<sup>37</sup> Botanico e genetista austriaco (Vienna 1871 - 1962).

<sup>38</sup> Botanico e genetista tedesco (Monaco di Baviera 1864 - Berlino 1933)

<sup>39</sup> Questo termine fu usato per la prima volta da Hugo De Vries

struttura di un gene<sup>40</sup> (mutazione genica) o di un cromosoma (mutazione cromosomica). Le mutazioni forniscono la base su cui agisce la selezione naturale e contribuiscono ad allargare la variabilità di una popolazione. A volte una mutazione da sola può sconvolgere il carattere di una popolazione prima ancora di essere sottoposta al vaglio della selezione naturale, producendo una nuova specie.

Questo fatto, fece sì che la selezione naturale, negli anni della riscoperta del lavoro di Mendel, passasse in secondo piano come fattore di creazione di nuove specie. Il suo posto venne preso dal concetto di *macromutazione* che ipotizzava la formazione di una nuova specie, non attraverso un accumulo di una serie graduale di variazioni molto piccole come pensava Darwin, ma attraverso un'unica mutazione<sup>41</sup>. Questa situazione perdurò fino agli anni trenta del '900 quando nacque quel movimento noto come la Sintesi Moderna.

### **La Sintesi moderna**

Negli anni venti del '900 nacque e si consolidò un ramo della genetica, la *genetica di popolazione*, che si occupava di studiare da un punto di vista matematico, i cambiamenti nella frequenza dei geni all'interno di una popolazione. Gli studi portarono a riconsiderare l'importanza della mutazione come fattore evolutivo. La macromutazione non fu più considerata in grado di produrre, improvvisamente, una nuova specie e *le mutazioni vennero considerate come produttrici di variabilità in modo continuo e in piccoli passi*.

La mutazione fu considerata un evento che provocava, nella maggioranza dei casi, all'individuo portatore più danni che vantaggi; *solamente piccoli e saltuari cambiamenti nei geni potevano produrre un adattamento migliore all'ambiente* e, quindi, un vantaggio per il portatore.



*La Drosophila, il moscerino utilizzato per gli studi di genetica*  
(EYE OF SCIENCE/SCIENCE PHOTO LIBRARY)

Questo cambiamento di prospettiva nel considerare la mutazione come agente evolutivo, riportò in considerazione la teoria della selezione naturale darwiniana.

Uno dei maggiori fautori di questo nuovo punto di vista fu il biologo Theodosius Dobzhansky<sup>42</sup> il quale, sperimentando sul *moscerino della frutta*<sup>43</sup> fu in grado di dimostrare una selezione provocata dall'ambiente, sulle popolazioni naturali di questo insetto.

Nel libro "*Genetics and the origin of species*"<sup>44</sup> la tesi di Darwin dell'evoluzione per selezione naturale venne riproposta, rivedendola in relazione alle nuove teorie sull'ereditarietà.

Accanto al lavoro dei genetisti vi fu quello dei naturalisti, i quali ridiedero importanza all'*isolamento geografico* come agente di formazione di nuove specie. Tra questi uno dei più

<sup>40</sup> Agli inizi del '900 si scoprì che i geni erano localizzati nei cromosomi, i corpi allungati che si trovano all'interno dei nuclei delle cellule (il numero di cromosomi per cellula è caratteristico e costante per ogni specie; nell'uomo ce ne sono 46).

<sup>41</sup> Tra i sostenitori di questo indirizzo (noto come *mutazionismo*) c'era Hugo de Vries, uno degli scopritori del lavoro di Mendel, secondo il quale le nuove varianti venivano prodotte tramite macromutazioni, che riorganizzavano profondamente la morfologia dell'organismo.

<sup>42</sup> Nato a Nemirov (Ucraina) nel 1900, si laureò in biologia a Kiev e rimase presso quella università fino al 1924. Si trasferì a Leningrado e vi rimase fino al 1927. Lasciò l'URSS per emigrare negli Stati Uniti dove si aggregò al gruppo di ricerca sulla genetica diretto da T. H. Morgan, il migliore dell'epoca. Passò poi attraverso varie università dedicandosi a studi di genetica. Morì nel 1975, in California.

<sup>43</sup> Moscerini del genere *Drosophila*. Sono molto utilizzati per studi di genetica, in particolare quelli della specie *Drosophila melanogaster* a causa del loro patrimonio di DNA relativamente semplice (4 sole coppie di cromosomi) e alla rapidità del ciclo riproduttivo (2 settimane).

<sup>44</sup> "La genetica e l'origine delle specie (1937).

importanti fu Ernst Mayr<sup>45</sup> che nel libro “Systematics and the origin of species” (1942) illustrò approfonditamente questo aspetto.

La convergenza tra le ricerche genetiche e quelle naturalistico – sistematiche fu illustrata nel libro di Julian Huxley<sup>46</sup> “Evolution: the Modern Synthesis”<sup>47</sup> (1942).

Anche paleontologi come George G. Simpson<sup>48</sup> conclusero che i resti fossili disponibili erano compatibili con “i processi evolutivi della mutazione e della variazione genetica guidata dalla selezione naturale verso l’adattamento delle popolazioni”

I punti fondamentali del nuovo modo di vedere l’evoluzione, che si sviluppò negli anni che vanno dal 1936 a 1947<sup>49</sup>, sono:

- le variazioni nelle popolazioni sono prodotte da piccole mutazioni che si verificano casualmente senza rapporto con i bisogni adattativi degli organismi e non alterano in modo improvviso il fenotipo;
- l’evoluzione è un processo graduale;
- le popolazioni evolvono attraverso cambiamenti nelle frequenze relative dei geni presenti in esse. Questo cambiamento è dovuto soprattutto alla selezione naturale.
- le specie sono aggregati riproduttivamente isolati di popolazioni e una nuova specie nasce quando una popolazione di questa rimane isolata riproduttivamente dalle altre.
- la maggior parte delle volte l’isolamento riproduttivo è dovuto all’isolamento geografico della popolazione interessata.
- tutte le specie esistenti sono derivate da un unico antenato comune attraverso ramificazioni successive.

---

<sup>45</sup> Uno dei maggiori evoluzionisti del ‘900, è nato in Germania nel 1904 ed è ancora vivente. Si laureò nel 1926 all’Università di Berlino e, fino al 1932 lavorò nel museo di Berlino. Compì spedizioni nella Nuova Guinea e nelle isole Salomone. Nel 1953 si trasferì negli Stati Uniti (dove vive tuttora). La maggior parte della sua ricerca è dedicata allo studio dei meccanismi evolutivi che presiedono alla differenziazione di due specie da una specie genitrice (*speciazione*). Tra le opere di questo scienziato vanno citate “*L’evoluzione delle specie animali*” (1963), “*Storia del pensiero biologico*” (1982) e “*Un lungo ragionamento*” (1991), tutte tradotte in italiano.

<sup>46</sup> Londra 1887-1975. Era il nipote di T. H. Huxley, amico e entusiasta sostenitore di Darwin.

<sup>47</sup> “Evoluzione: la Sintesi Moderna”

<sup>48</sup> 1902 – 1948. Il suo libro più importante fu “*Tempo and mode in evolution*” (*Ritmo e meccanismo dell’evoluzione*) pubblicato nel 1944.

<sup>49</sup> Le tesi del “neodarwinismo” furono accettate dalla maggior parte dei biologi in un convegno internazionale svoltosi a Princeton (USA) nel 1947.

## Il punto di vista moderno

### *La genetica di popolazioni*

Uno dei punti fondamentali della Sintesi moderna è quello in cui come soggetto degli studi sull'evoluzione non viene considerato un singolo organismo o un genotipo particolare ma una popolazione.

Una **popolazione** è definita come *un gruppo di organismi della stessa specie che si riproducono tra loro in un determinato luogo e in un determinato tempo e sono isolati riproduttivamente dalle altre popolazioni, di specie diversa, che vivono nello stesso luogo e nel medesimo tempo.*

Una popolazione è caratterizzata dal proprio **pool genico** che è dato *dalla somma di tutti gli alleli di tutti i geni presenti negli individui che la compongono.*

In una popolazione ideale<sup>50</sup> ad ogni generazione vi è una ricombinazione dei geni che non modifica la composizione globale del pool genico<sup>51</sup>.

I fattori che possono modificare questo equilibrio sono: la mutazione, il flusso genico, la deriva genetica e gli accoppiamenti non casuali.

### *La mutazione*

Le mutazioni sono dei cambiamenti ereditari che coinvolgono la molecola del DNA, modificando i geni<sup>52</sup>. Queste modificazioni si verificano *indipendentemente dall'ambiente e da vantaggio o svantaggio* che possono dare all'organismo e ai suoi discendenti. La frequenza<sup>53</sup> con cui si verificano le mutazioni può essere aumentata da agenti quali i raggi X, gli ultravioletti o da sostanze chimiche.

*Le mutazioni sono il materiale sul quale agisce la selezione naturale ma si ritiene che non siano loro che determinano la direzione del cambiamento evolutivo.*

### *Il flusso genico*

È dovuto all'emigrazione o immigrazione di individui da una popolazione all'altra. Questo provoca un mescolamento di geni tra popolazioni della stessa specie che vivono in luoghi contigui ed ha come effetto la diminuzione delle differenze tra queste. Le barriere geografiche che impediscono questo flusso sono importanti per la formazione di nuove specie.

### *La deriva genetica*

Il cambiamenti che intervengono nel pool genetico di una popolazione a causa di una riduzione notevole del numero di individui ad opera di eventi casuali<sup>54</sup> possono modificare pesantemente la frequenza dei singoli alleli nella popolazione (alcuni potrebbero addirittura scomparire). Due particolari tipi di deriva sono: l'effetto del fondatore e il "collo di bottiglia".

L'*effetto del fondatore* si verifica quando un piccolo numero di individui rimane isolato dalla popolazione principale a causa di un isolamento geografico. Questa piccola popolazione potrebbe

<sup>50</sup> In questa ipotetica popolazione si devono verificare le seguenti condizioni:

1. assenza di mutazioni;
2. l'immigrazione deve essere bilanciata dall'emigrazione;
3. la popolazione deve essere grande;
4. l'accoppiamento deve essere casuale;
5. tutti gli alleli devono avere le stesse possibilità di sopravvivere.

<sup>51</sup> Questa situazione è nota come l'equilibrio di Hardy - Weinberg

<sup>52</sup> Queste mutazioni possono riguardare grosse porzioni di DNA (macromutazioni) o qualche nucleotide (mutazioni puntiformi).

<sup>53</sup> Un essere umano possiede circa 100 000 geni e si calcola che ogni nuovo nato sia portatore di due nuove mutazioni.

<sup>54</sup> Terremoti, eruzioni vulcaniche, inondazioni, ecc.

presentare un pool molto diverso da quello della popolazione d'origine e, col trascorrere del tempo, diventare isolata anche riproduttivamente.

Il “*collo di bottiglia*” si verifica quando una popolazione viene decimata da eventi non dovuti alla selezione naturale come, ad esempio, un'eruzione vulcanica che uccida molti individui; quelli sopravvissuti possono presentare un insieme di alleli diverso da quello della popolazione originaria.

### *Accoppiamenti non casuali*

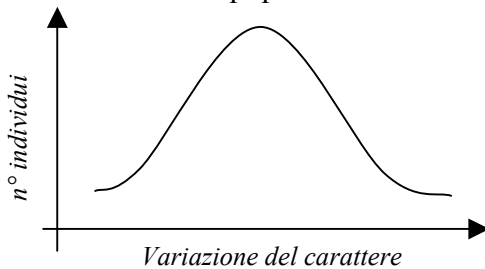
Una variazione delle frequenze degli alleli in una popolazione può essere dovuta a preferenze particolare nella scelta del compagno (o compagna) negli animali o a fenomeni come l'autoimpollinazione, nelle piante.

### *La selezione naturale*

La selezione naturale si manifesta come una *differenza nel tasso di riproduzione*<sup>55</sup> degli organismi di una popolazione in un determinato ambiente: gli organismi che presentano caratteristiche migliori di adattamento sono in grado di riprodursi più a lungo (lasciando una discendenza più numerosa) degli altri. Essa *non agisce direttamente sul genotipo ma sul fenotipo che questo esprime*.

La selezione può agire in diversi modi all'interno di una popolazione, può essere stabilizzante, divergente, direzionale, dipendente dalla frequenza e sessuale.

Per illustrare queste modalità di selezione possiamo rappresentare la frequenza di un carattere all'interno di una popolazione con un grafico di questo tipo (*curva a campana o di Gauss*):

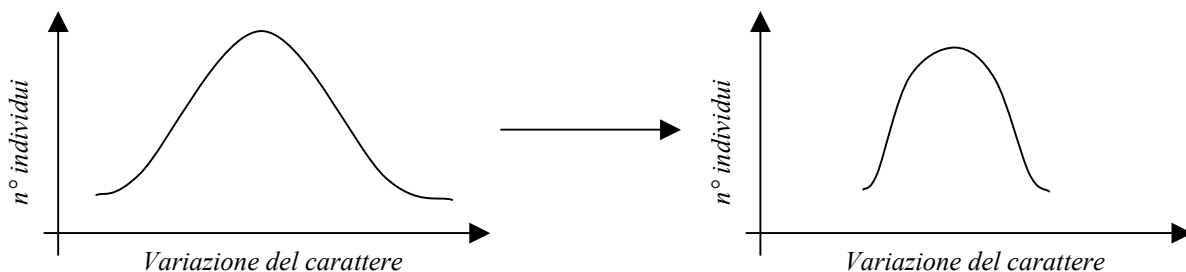


nell'asse orizzontale si collocano i vari gradi di un carattere con i valori estremi a destra e a sinistra e quelli intermedi al centro. Dal grafico si deduce che la maggior parte degli individui di quella popolazione, rispetto a quel carattere, si trovano nella zona intermedia. Ad esempio questo grafico potrebbe rappresentare l'altezza di una popolazione umana in una determinata località e in un determinato tempo: la maggior parte di individui avrà

un'altezza vicina al valore medio mentre agli estremi ci saranno pochi individui molto piccoli o molto alti.

### *Selezione stabilizzante*

È un processo che opera continuamente in una popolazione, *eliminando gli individui che presentano caratteristiche estreme e favorendo quelli che presentano caratteristiche intermedie*. Con il passare del tempo la curva si trasforma in questo modo:



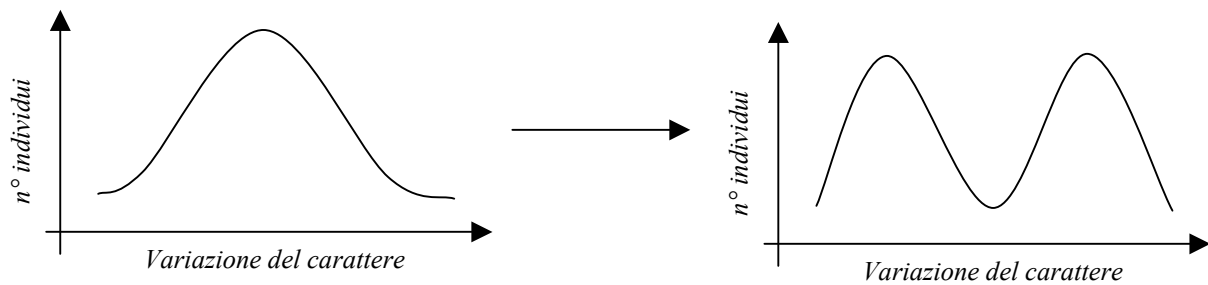
Il risultato di questa selezione sarà una popolazione più uniforme rispetto a quel carattere.

<sup>55</sup> Non si parla più di lotta per l'esistenza come si faceva nell'800, ma di successo riproduttivo differenziale.



### Selezione divergente

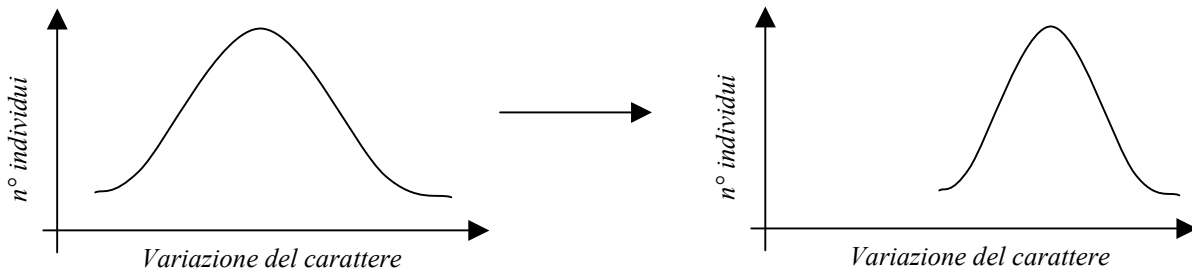
È quel tipo di selezione che *favorisce i tipi più estremi di una popolazione e a scapito di quelli intermedi*.



Il risultato sarà la formazione di due popolazioni che divergono.

### Selezione direzionale

In questo caso la selezione agisce *facendo aumentare la proporzione di individui che portano una caratteristica estrema*. In questo modo un allele viene sostituito da un'altro.



Questa selezione produrrà un cambiamento adattativo, favorendo quella caratteristica che permette di rispondere meglio ai cambiamenti dell'ambiente.

### Selezione dipendente dalla frequenza

È una selezione che *favorisce i fenotipi meno comuni rispetto a quelli più comuni*. In questo modo diminuisce la frequenza degli alleli più diffusi e aumenta quella dei meno comuni. Un esempio di questa selezione lo si ha nel rapporto preda – predatore: se le prede differiscono per il colore, quello più comune sarà oggetto di predazione maggiore di quelli meno comuni, favorendo la diffusione di quest'ultimi; quando il colore che era più diffuso diminuirà la sua frequenza, i predatori si rivolgeranno verso prede di altri colori, che saranno diventate più numerose e quindi più comuni.

### Selezione sessuale

La selezione sessuale può presentarsi sotto due forme: la *selezione intrasessuale* e *intersessuale*. Nel primo tipo di selezione i membri dello stesso sesso competono per potersi accoppiare con l'altro sesso mentre nell'altro tipo sono entrambi i sessi che agiscono nella scelta del compagno. Esempio di competizione intrasessuale sono i combattimenti tra maschi per il possesso delle femmine che avvengono in molte specie animali.

La selezione intersessuale si verifica in tutti quei casi in cui è la femmina che effettua una scelta attiva del proprio compagno<sup>56</sup>.

<sup>56</sup> Un esempio di questa selezione è la coda del pavone.

## ***L'adattamento***

Il risultato finale di questi tipi di selezione naturale è *l'adattamento della popolazione all'ambiente in cui vive*. Le differenze che si riscontrano in popolazioni della stessa specie che vivono in ambienti diversi sono dovuti all'azione della selezione. Per esempio le popolazioni che vivono in ambienti più freddi hanno il corpo più grande di quello delle loro conspecifiche che abitano in climi più temperati o caldi, perché un corpo più voluminoso conserva meglio il calore. Popolazioni<sup>57</sup> che vivono in ambienti caldi mostrano estremità come coda e orecchie, più lunghe di quella delle corrispondenti popolazioni che vivono in ambienti più freddi, perché questo favorisce la dispersione del calore e quindi il raffreddamento.

Le popolazioni possono mostrare anche un *adattamento biologico rispetto a gruppi di organismi di altre specie che vivono, contemporaneamente, nello stesso territorio* quando interagiscono in maniera molto stretta. Ad esempio molte specie di piante con fiori mostrano adattamenti particolari atti a favorire l'impollinazione di particolari specie di insetti che, a loro volta, rivelano modificazioni atte allo scopo. Questo fenomeno è noto come *coevoluzione*.

*La selezione naturale agisce su quanto è disponibile, a livello di popolazione, e i risultati non sono sempre ottimali per cui l'adattamento non è mai perfetto*<sup>58</sup>. La selezione consente alle popolazioni di risolvere nel miglior modo possibile i problemi di adattamento che si presentano ma essa può agire solo sul materiale che ha a disposizione per cui è necessario che sia presente una sufficiente varietà genetica all'interno di queste<sup>59</sup>.

## ***Tipi di evoluzione***

La selezione naturale può produrre diversi tipi di evoluzione che sono: *l'evoluzione convergente*, *l'evoluzione divergente* e la *coevoluzione* (già esaminata nel paragrafo dell'adattamento).

Nell'*evoluzione convergente* è quel tipo di evoluzione che fa sì che organismi che vivono in ambienti simili, anche se sono filogeneticamente<sup>60</sup> distanti, sviluppano adattamenti simili. Un esempio è la somiglianza tra il corpo di un delfino e quello di uno squalo, entrambi adattati alla vita acquatica con la differenza che il primo è un mammifero mentre il secondo è un pesce.

*L'evoluzione divergente* si verifica quando una popolazione si isola dal resto della specie e, a causa di pressioni selettive diverse, segue un proprio percorso evolutivo. Questo tipo di evoluzione può portare alla formazione di una nuova specie.

## ***L'origine delle specie***

Uno dei problemi principali della teoria evuzionistica è quello di spiegare come possono aver origine le specie, cioè il processo di speciazione. La *microevoluzione* (i cambiamenti gradualmente che si verificano all'interno delle popolazioni di una specie) può spiegare la *macroevoluzione* (la diversità tra generi, famiglie, ordini, classi e tipi)?

Una specie è definita come *un gruppo di popolazioni naturali i cui membri possono incrociarsi tra loro ma non con membri di gruppi diversi*. Ciò che distingue una specie è l'*isolamento riproduttivo*.

Scrivono Mayr, uno dei maggiori studiosi dell'evoluzione e ideatore di questa definizione:

*“Le specie sono gruppi di popolazioni naturali che si incrociano tra loro e che sono isolate dal punto di vista riproduttivo da altri gruppi simili.*

<sup>57</sup> Soprattutto di mammiferi.

<sup>58</sup> Il passaggio alla posizione eretta da parte dell'uomo ha comportato anche “difetti” come i dolori del parto e il mal di schiena.

<sup>59</sup> Per questo specie molto specializzate (poca variabilità genetica), come il panda, hanno minori probabilità di sopravvivere a cambiamenti ambientali rispetto a specie poco specializzate (variabilità genetica maggiore).

<sup>60</sup> Organismi che derivano da antenati imparentati alla lontana. La filogenesi si occupa di tracciare la linea di discendenza di una specie. Ad esempio l'uomo ha un antenato in comune con le scimmie antropomorfe (vicini filogeneticamente) per cui fa parte dei Primati. Questi hanno un antenato in comune con gli altri mammiferi (la parentela con l'uomo si allontana) e così via.

Secondo le proprietà enunciate con questa definizione, una specie ha tre distinte funzioni. Primo, essa forma una *comunità riproduttiva*. Gli individui di una specie di animali (la situazione è leggermente differente nelle piante) si riconoscono tra loro come potenziali compagni e si cercano allo scopo di riprodursi. Il programma genetico specie - specifico<sup>61</sup> di ciascun individuo assicura una riproduzione intraspecifica. Secondo, la specie è anche una *unità ecologica*, la quale, a prescindere dagli individui che la compongono, interagisce come una unità con altre specie con le quali condivide l'ambiente. Infine, la specie è una *unità genetica* che consiste in un grande pool di geni intercomunicanti, mentre l'individuo è solo un recipiente temporaneo che contiene, per un breve periodo di tempo, una piccola porzione del contenuto del pool genico.”<sup>62</sup>

Attualmente si ritiene che la formazione di nuove specie sia causato, la maggior parte delle volte, alla *separazione geografica di una popolazione (speciazione allopatrica)*<sup>63</sup>.

Le barriere geografiche possono essere di tipo differente: le isole sono un esempio di luogo in cui si possono sviluppare nuove specie. Anche barriere come quelle tra stagni o l'isolamento tra le cime di montagne oppure tra boschi possono essere causa di separazione geografica.

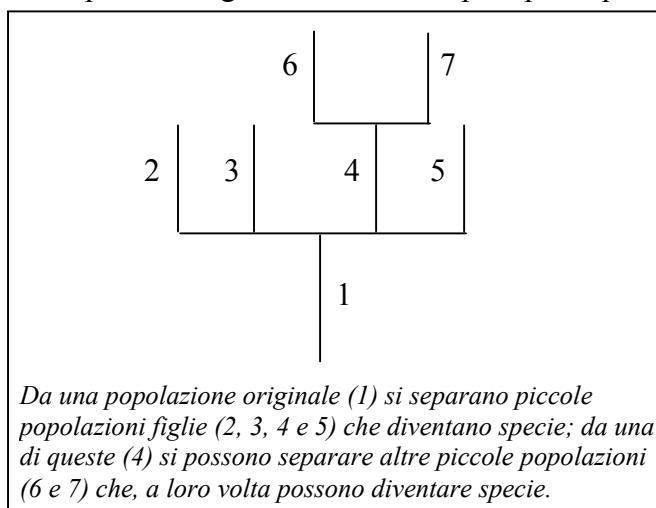
La popolazione che si isola da quella principale è *spesso composta da un numero ridotto di organismi* ed è probabile che il pool genico sia diverso da quello della popolazione “madre”. Se viene sottoposta a forze di selezione diverse può modificarsi a tal punto da sviluppare un isolamento riproduttivo che non permetterà il reincrocio, se questa popolazione dovesse venir di nuovo il contatto con quella originaria.

### **La macroevoluzione**

La macroevoluzione, cioè come si sono differenziate le famiglie, gli ordini, le classi, ecc, la si può osservare solo attraverso i reperti fossili. Questi sembrano mostrare tre modelli di origine di specie: il *cambiamento filetico*, la *cladogenesi* e la *radiazione adattativa*.

Il *cambiamento filetico* si osserva quando, all'interno di una singola linea di discendenza, si accumulano una serie di differenziazioni graduali che fanno sì che gli organismi più recenti, mostrano differenze tali da essere considerati una specie diversa da quelli più antichi<sup>64</sup>.

I dati paleontologici mostrano che più specie possono derivare da un antenato comune e convivere



nello stesso periodo di tempo. Questo modello in cui si evidenzia l'origine di nuove specie attraverso la “ramificazione” da una specie antenata viene detta *cladogenesi*. Questo modello è legato alla speciazione allopatrica: la formazione di nuove specie avviene per scissione di piccole popolazioni (a causa soprattutto dell'isolamento geografico) da una grossa popolazione originale. In queste piccole popolazioni le combinazioni genetiche favorevoli possono svilupparsi rapidamente senza essere diluite dal flusso genetico proveniente dalla popolazione principale, fino ad arrivare all'isolamento riproduttivo<sup>65</sup>.

Secondo questo schema non c'è una trasformazione graduale di una specie in un'altra ma a salti.

<sup>61</sup> Ogni specie ha un codice genetico proprio, registrato nel DNA.

<sup>62</sup> E. Mayr, “Evoluzione e varietà dei viventi”, Einaudi, 1983

<sup>63</sup> allopatrica = “altro paese”

<sup>64</sup> È il concetto di evoluzione che aveva Darwin.

<sup>65</sup> È quello che sostiene Mayr.

Un altro modello che si osserva nei reperti fossili è la *radiazione adattativa* consistente nella rapida diversificazione di un gruppo di organismi con un antenato in comune. Un esempio di questo modello è la rapida diversificazione dei mammiferi dopo la scomparsa dei dinosauri.

### ***L'estinzione***

L'*estinzione* è una caratteristica che si ritrova frequentemente nei fossili; si calcola che le specie esistenti rappresentino meno dell'uno per mille (o l'uno per diecimila) di quelle che sono comparse nella storia della Terra. Due studiosi americani, analizzando l'estinzione degli organismi marini negli ultimi 250 milioni di anni hanno calcolato un tasso costante d'estinzione di 180 – 300 specie ogni milione di anni e estinzioni di massa intervallate di 26 milioni di anni.

Una grande estinzione si verificò alla fine del Permiano (248 milioni di anni) che portò alla scomparsa dell'80 – 85% di tutte le specie. La più famosa di tutte le estinzioni è quella dei dinosauri che si verificò alla fine del Cretaceo, 65 milioni di anni fa<sup>66</sup>.

### ***La teoria degli equilibri punteggiati***

Questa teoria fu proposta, nel 1972, da Niles Eldredge e Stephen Jay Gould per spiegare il fatto, riscontrato nello studio dei reperti fossili, che una specie rimaneva sostanzialmente invariata per 5 – 10 milioni di anni poi scompariva “improvvisamente” per venir sostituita altrettanto “improvvisamente”<sup>67</sup> da una specie affine ma diversa per alcune caratteristiche, la quale subiva la stessa trafila evolutiva.

“L'evoluzione non trasforma inevitabilmente e irrevocabilmente le specie durante la loro esistenza nel tempo geologico. Al contrario, il più delle volte le specie paiono non andare da nessuna parte, parlando in termini evuzionistici. È vero, alcune di esse accumulano qualche cambiamento evolutivo in milioni di anni, ma la maggior parte non ne accumula nessuno. Oggi si ha una ricchissima documentazione che indica la stasi come lo schema paleontologico preminente nella storia evolutiva delle specie.”<sup>68</sup>

La risposta di Gould e Eldredge si basa sulla speciazione allopatrica: *nuove specie si formano da piccole popolazioni che si trovano alla periferia geografica di distribuzione della specie e che restano isolate prima geograficamente poi riproduttivamente*<sup>69</sup>. *Successivamente la nuova specie può venire in contatto con la specie genitrice, soppiantandola e provocandone l'estinzione.*

In “I miti dell'evoluzione umana”, Eldredge scrive:

“La morale è questa: una volta che una specie è apparsa e ha occupato una nicchia, essa continuerà a detenere quella parte di spazio ecologico fino a che non sarà costretta ad abbandonarlo. L'habitat stesso può cambiare troppo, e una specie può essere eliminata o schiacciata da altre specie capaci di sfruttare l'ambiente in modo più efficace. Ma, finché ciò non accade, la specie manterrà un saldo dominio della propria nicchia. Di conseguenza, gli ecosistemi sono straordinariamente statici. L'avvicendamento è lento: l'evoluzione ha poche possibilità in un ecosistema maturo. Le specie componenti non hanno quasi nessun motivo di cambiare; è difficile che specie nuove prendano piede, e da ciò ricavano lo spunto necessario per assicurarsi una sopravvivenza a lungo termine. *Lo schema comune è che specie nuove traggano vantaggio dalle difficoltà che altre attraversano. L'estinzione determina dei vuoti, e c'è sempre abbondanza di aspiranti pronti a riempirli.* Le estinzioni di massa causano avvicendamenti rapidi e su vasta scala; ma *c'è uno sfondo di continuo alternarsi tra estinzione e speciazione che fa avvicendare le specie dell'ecosistema terrestre.*

<sup>66</sup> La causa di questa estinzione fu imputata da un gruppo di scienziati, nel 1977, alla caduta di un gigantesco meteorite che avrebbe sollevato una nube di polvere e detriti tale da oscurare per parecchi mesi la luce solare, impedendo la fotosintesi e quindi la fonte di nutrimento dei dinosauri erbivori. Gli studi più recenti trovano parecchi punti deboli in questa teoria e la questione è ancora aperta.

<sup>67</sup> Improvvisamente, per un paleontologo, significa qualche migliaia di anni.

<sup>68</sup> N. Eldredge, “*Ripensare Darwin*”, Einaudi, 1999.

<sup>69</sup> Se la popolazione è piccola questi cambiamenti avvengono rapidamente.

Pertanto, è la speciazione che consente il verificarsi del cambiamento. *E, poiché una speciazione riuscita può essere piuttosto rapida, e ha una frequenza sporadica, lo schema di cambiamento presente nelle testimonianze fossili dovrebbe essere episodico.* P. C. Sylvester - Bradley paragonò l'evoluzione alla vita di un soldato: lunghi periodi di noia intervallati da brevi periodi di terrore. Non si potrebbe dir meglio. *Quasi nessun cambiamento si verifica fino a che il precedente equilibrio dell'ecosistema non sia disturbato, per essere poi prontamente rimpiazzato da un nuovo equilibrio, frutto di una riorganizzazione dell'insieme dei giocatori.* Pertanto, il gioco evolutivo è governato da regole ecologiche, e non dalle regole della genetica; i giocatori sono le specie, non le frequenze geniche presenti all'interno delle specie.

*La rapida speciazione, mediante la frammentazione in due di una specie riproduttivamente integrata, produce lo schema di stasi seguita da un rapido cambiamento, che nei resti fossili vediamo presente tra specie strettamente affini.* Nuovi grandi gruppi, come i mammiferi e gli uccelli, compaiono e si affermano quando si offrono possibilità ecologiche di portata sufficientemente ampia. Gli uccelli invasero l'aria; grazie alle piume, che servivano a mantenere elevato il livello del calore corporeo interno, e costituivano anche un mezzo più efficace per il volo, essi ebbero maggiore successo degli pterosauri, che prima degli uccelli erano arrivati al volo. I mammiferi fecero la loro comparsa nel Mesozoico e si moltiplicarono in parecchi gruppi principali (uno solo dei quali è scampato all'estinzione); ma essi si stabilizzarono veramente solo quando l'estinzione del Cretaceo eliminò i rettili dominanti, aprendo la strada alla straordinaria irradiazione dei mammiferi nel corso del Terziario inferiore.

*Tutti gli schemi, grandi e piccoli, presenti nei resti fossili riflettono, pertanto, l'economia fondamentale della natura: in un ecosistema c'è uno spazio finito, un numero finito di nicchie. Gli ecosistemi, dopo essere stati rapidamente occupati, sono conservatori: essi si trovano in un approssimativo equilibrio, in quanto ogni cambiamento, più o meno grande, dipende dall'eliminazione o dall'aggiunta di specie.* Le interruzioni riscontrate tra le specie, e quelle tra i phyla, riflettono, tutte, queste poche ed elementari verità. La speciazione, che dipende in ultima istanza dalla disponibilità di una nicchia, consente al cambiamento di verificarsi. Il mito secondo cui il cambiamento stesso produce specie nuove è superato: sono, invece, le specie nuove a produrre il cambiamento.<sup>70</sup>

Steven M. Stanley sviluppa la teoria degli equilibri punteggiati suggerendo che *la selezione naturale opera non solo all'interno di una popolazione ma anche tra specie* per cui è possibile trovare un numero di specie affini, derivata da un progenitore comune, nello stesso momento temporale, ognuna avendo seguito un proprio percorso evolutivo.

Ecco un confronto tra l'ipotesi di evoluzione graduale e quella da equilibri punteggiati:

<i>Gradualismo</i>	<i>Equilibri punteggiati</i>
Le nuove specie si originano per trasformazione di tutta la popolazione antica in discendenti modificati.	Le nuove specie derivano da una separazione dalla linea evolutiva principale.
L'evoluzione è lenta e graduale.	Le nuove specie si originano improvvisamente e rapidamente.
Il cambiamento riguarda tutta o gran parte della popolazione originaria anche se non è concentrata in una precisa area geografica	Le nuove specie derivano da piccole popolazioni isolate che si trovano ai margini dell'area geografica di distribuzione di quella principale.
I fossili di transizioni sono costituiti da forme poco modificate rispetto a quella madre.	I fossili presentano bruschi cambiamenti rispetto alla forma originale. e sono molto diversi nella forma finale.
Le forme intermedie sono numerose	Le forme intermedie sono rare e non presentano caratteri di gradualità.

<sup>70</sup> N. Eldredge. I. Tattersall, "I miti dell'evoluzione umana", Boringhieri, 1984

**Sintesi della storia della vita sulla Terra.**

	Milioni di anni fa	Periodo	Epoca	Storia della vita	Clima e eventi fisici principali
<b>Era Cenozoica</b>	0 - 2	Quaternario	Pleistocene e moderna	Diffusione di H. Sapiens sul pianeta; estinzione di molti grossi mammiferi e uccelli <sup>71</sup> .	Clima che varia dal freddo al temperato. Espansione e ritiro dei ghiacciai; estensione dei deserti.
	2 - 5		Pliocene	Presenza di grossi mammiferi carnivori. Compaiono i primi ominidi.	Il clima è freddo. Formazione di montagne con estese glaciazioni nell'emisfero settentrionale. L'America del Nord si unisce con quella del Sud.
	5 - 25	Terziario	Miocene	Appaiono balene, scimmie e mammiferi erbivori.	Clima temperato e glaciazione nell'emisfero meridionale. Si diffondono le praterie e si riducono le foreste. <i>Si solleva l'Appennino. Vulcani nei Colli Euganei e in Sardegna.</i>
	25 - 38		Oligocene	Grossi mammiferi erbivori. Si diffondono le scimmie. Si originano molte famiglie attuali di piante con fiore	Formazione delle Alpi e dell'Himalaya. Estensione degli oceani. Il Sud America si stacca dall'Antartide. <i>I vulcani danno origine ai Monti Lessini e al Monte Baldo.</i>
	38 - 55		Eocene	Cavalli primitivi. Compaiono i tipi moderni di uccelli e anche forme gigantesche <sup>72</sup> di questi.	Il clima varia da mite a tropicale. Si formano molti laghi del Nord America. L'Australia si separa dall'Antartide. L'India entra in collisione con l'Asia. Si espandono le praterie.
	55 - 65		Paleocene	Compaiono i primati e i carnivori	Il clima varia da mite a freddo. Scompaiono i grandi mari continentali poco profondi.
<b>Era Mesozoica</b>	65 - 144	Cretaceo		Estinzione dei dinosauri alla fine del periodo. Molti mammiferi marsupiali e insettivori. Piante con fiore.	Clima da tropicale a sub tropicale. Inizio della formazione delle Montagne Rocciose verso la fine del periodo. Africa e America meridionale si separano.
	144 - 213	Giurassico		Massimo sviluppo dei dinosauri. Rettili volanti. Piccoli mammiferi. Compaiono i primi uccelli.	Il clima è mite. Abbassamento dei continenti e, in Europa, grandi distese sono coperte dai mari. Sollevamento di montagne dall'Alaska al Messico.
	213 - 248	Triassico		Compaiono i dinosauri. Primi mammiferi primitivi. Grandi foreste di Gimnosperme <sup>73</sup> e felci.	I continenti sono ancora riuniti in un'unica massa. Si formano alcuni rilievi. Molte le zone aride.

<sup>71</sup> Ad esempio: mammut e tigre dai denti a sciabola.

<sup>72</sup> Un esempio è il *Diatryma*, diffuso in Europa e Nord America, che raggiungeva i 2 metri di altezza (non era un volatore).

<sup>73</sup> Piante senza fiore. Attualmente sono rappresentate dalle conifere (pini, abeti, ecc) e altri gruppi.

<b>Era Paleozoica</b>	248 - 286	Permiano		I retti si diversificano. Si originano le prime conifere, cicadacee <sup>74</sup> e ginkgofite <sup>75</sup> .	Estesa glaciazione nell'emisfero meridionale. Si sollevano i monti Appalachi. I mari si ritirano. Il clima è arido.
	286 - 360	Carbonifero		Sviluppo degli anfibi. Compaiono i primi rettili. Molti i tipi di insetti. Nei mari abbondano gli squali. Foreste di felci, gimnosperme e equiseti <sup>76</sup> .	Il clima è caldo – umido. Le terre si abbassano e sono ricoperte da mari poco profondi. Grandi estensioni paludose. Sollevamento di montagne attorno agli antichi nuclei continentali.
	360 - 408	Devoniano		Età dei pesci. Nella terraferma compaiono i primi anfibi. Nei mari abbondanza di molluschi <sup>77</sup> . Si sviluppano le trilobiti <sup>78</sup> .	Il mare ricopre gran parte del globo.
	408 - 438	Siluriano		Origine dei pesci. Compaiono i coralli. Molti invertebrati marini con guscio. La terraferma è invasa dagli artropodi	Il clima è mite. I mari sono poco profondi e i continenti privi di alture elevate.
	438 - 505	Ordoviciano		Primi pesci primitivi. Dominano gli invertebrati marini. Compaiono i primi funghi. Le terre emerse sono colonizzate dalle piante.	Il clima è mite e i mari sono poco profondi
	505 - 590	Cambriano		Compaiono la maggior parte dei tipi di invertebrati marini. Alghe primitive.	Il clima è mite e i mari sono estesi.
<b>Era Precambriana</b>	590 - 4500	Questo periodo copre quella parte della storia della Terra che va dalla sua formazione, 4500 milioni di anni fa, e passa per la prima comparsa della vita, 3500 milioni di anni fa, con cellule simili ai batteri (procarioti), la comparsa di organismi unicellulari con cellule simili alle nostre (eucarioti), 1000 milioni anni fa e arriva ai primi organismi pluricellulari, 590 milioni di anni fa.		Si va dalla formazione della crosta terrestre per il progressivo raffreddamento del pianeta, alla formazione delle prime montagne. I mari sono poco profondi e l'atmosfera va arricchendosi di ossigeno.	

<sup>74</sup> Specie di piante simili a palme.

<sup>75</sup> L'unica specie sopravvissuta è il Ginkgo Biloba, un albero, che può raggiungere i 30 metri d'altezza, caratterizzato da foglie di forma simile a un ventaglio (che cadono in inverno). È utilizzato come pianta ornamentale nei giardini.

<sup>76</sup> Piante caratterizzate da fusti sottili con verticilli di foglie inseriti all'altezza di ogni nodo. Queste piante, assieme a gimnosperme e felci saranno all'origine dei grandi giacimenti di carbone dei nostri tempi.

<sup>77</sup> Il gruppo più rappresentativo è costituito dalle ammoniti.

<sup>78</sup> Artropodi marini.

*Uno schema evolutivo del Regno Animale*

