



**EVOLUZIONE DELLE PIANTE
TERRESTRI - 6cfu - A.A.2022-23**

EV C1

Tecnologie agrarie

Campbell – Meccanismi dell'evoluzione e origine della diversità

I cambiamenti attraverso la progenie
La concezione darwiniana della vita

Capitolo 1

Docente: C. Colacino

2022/23

Sommario

- Darwin (Cap. 1 Campbell)
 - Rivoluzione darwiniana
 - Selezione naturale
 - Evidenze a sostegno dell'evoluzione



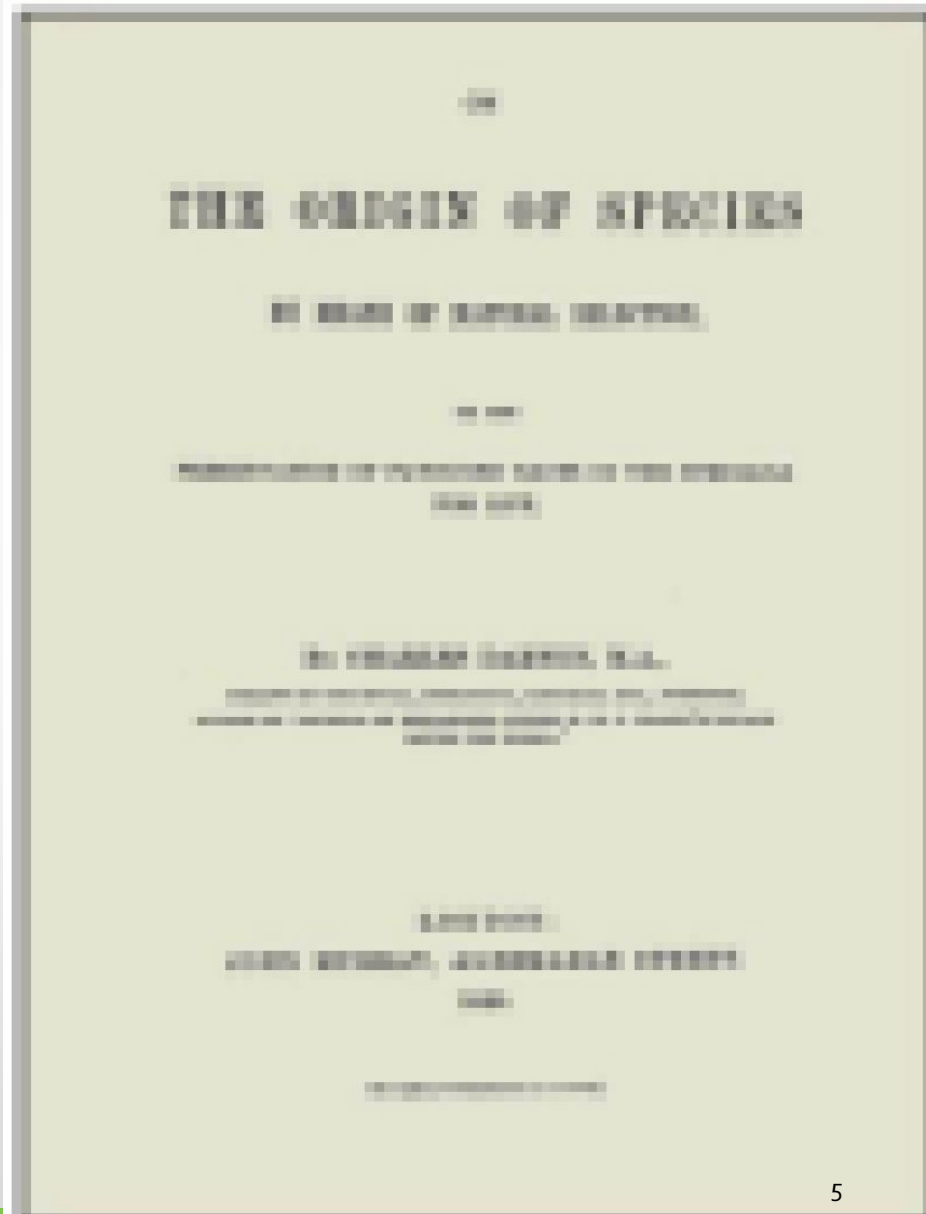
Figura 1.1 Come fa questo bruco di falena a proteggersi dai predatori? *Synchlora aerata*



PEARSON

Le infinite forme dei viventi e la bellezza della natura

- Una nuova era per la biologia incominciò nel 1859 quando Charles Darwin pubblicò *The Origin of Species*.
- *L'Origine delle Specie* mise a fuoco l'attenzione dei biologi sulla grande diversità degli organismi.



- Darwin notò che le specie attuali sono le discendenti di specie ancestrali
- L'**evoluzione** può essere definita con la frase di Darwin “*discendenza con modificazioni*”
- L'evoluzione può essere vista sia come *modello* che come *processo*

*La rivoluzione darwiniana ha sfidato la
visione tradizionale di una Terra di
origine recente abitata da specie
immutabili*

- Le idee di Darwin erano profondamente radicate nella storia.

Scala Naturae

- Già nel passato numerosi filosofi greci avevano suggerito la possibilità che la vita avesse subito graduali cambiamenti nel tempo.
- Si era però mantenuto prevalente il pensiero di **Aristotele** (384-322 a.E.V.) che riteneva le specie immutabili. Secondo le sue osservazioni gli organismi viventi potevano essere distribuiti secondo una scala di complessità crescente.
- Successivamente con la *Teologia Naturale* di John Ray (1627-1705) si ritenne che forme *ideali esistenti* nella mente di un'entità metafisica (un dio) fossero poi effettivamente state realizzate o *create*. Tale visione era coerente con quella della creazione prospettata nella *Bibbia* (Vecchio Testamento, un libro ritenuto sacro dai seguaci delle tre religioni monoteiste e in particolare dai seguaci del cristianesimo, religione dominante all'epoca in Occidente).
- Si arriva così alla **Scala Natura** (*Grande Catena dell'Essere*) che riteneva tutti gli organismi creati per uno scopo e statici (nessuna forma nuova, nessuna variazione, nessuna estinzione). La storia della Terra era di soli circa 6000 anni, così come indicato (secondo alcune interpretazioni) nella *Bibbia*.

La classificazione delle specie

- Fino al Settecento scienziati come *Carlo Linneo* (Carolus Linnaeus o Carl von Linné, 1707-1778) avevano interpretato l'evidente adattamento degli individui all'ambiente in cui vivevano come prova del fatto che le specie fossero state concepite da un *creatore* per un particolare scopo. Linneo (e altri) studiavano gli organismi viventi *ad maiorem Dei gloriam* (AMDG motto dei Gesuiti)
- "***Systema Naturae***" (1735; 10^a ed. 1^o gennaio 1758)
4,162 animali descritti
sistema binomiale: nomi costituiti da **genere** + **epiteto specifico**
- es. *Malva sylvestris* L.

La classificazione delle specie

Specie

epiteto specifico

- *Malva sylvestris* L.

genere

Classificazione scientifica

Dominio:	Eukaryota Chatton, Whittaker & Margulis
Regno:	Plantae <i>sensu</i> Copeland, 1956
Divisione:	Magnoliophyta Cronquist, Takht. & W. Zimm. ex Reveal (<i>Angiosperme</i>)
Sottodivisione:	Magnoliophytina Frohne & U. Jensen ex Reveal
Classe:	Equisetopsida C. Agardh
Sottoclasse:	Magnoliidae Novák ex Takht.
Superordine:	Rosanae Thakt.
Ordine:	Malvales Juss.
Famiglia:	Malvaceae Juss.
Genere:	<i>Malva</i> L.
Specie:	<i>Malva sylvestris</i> L.



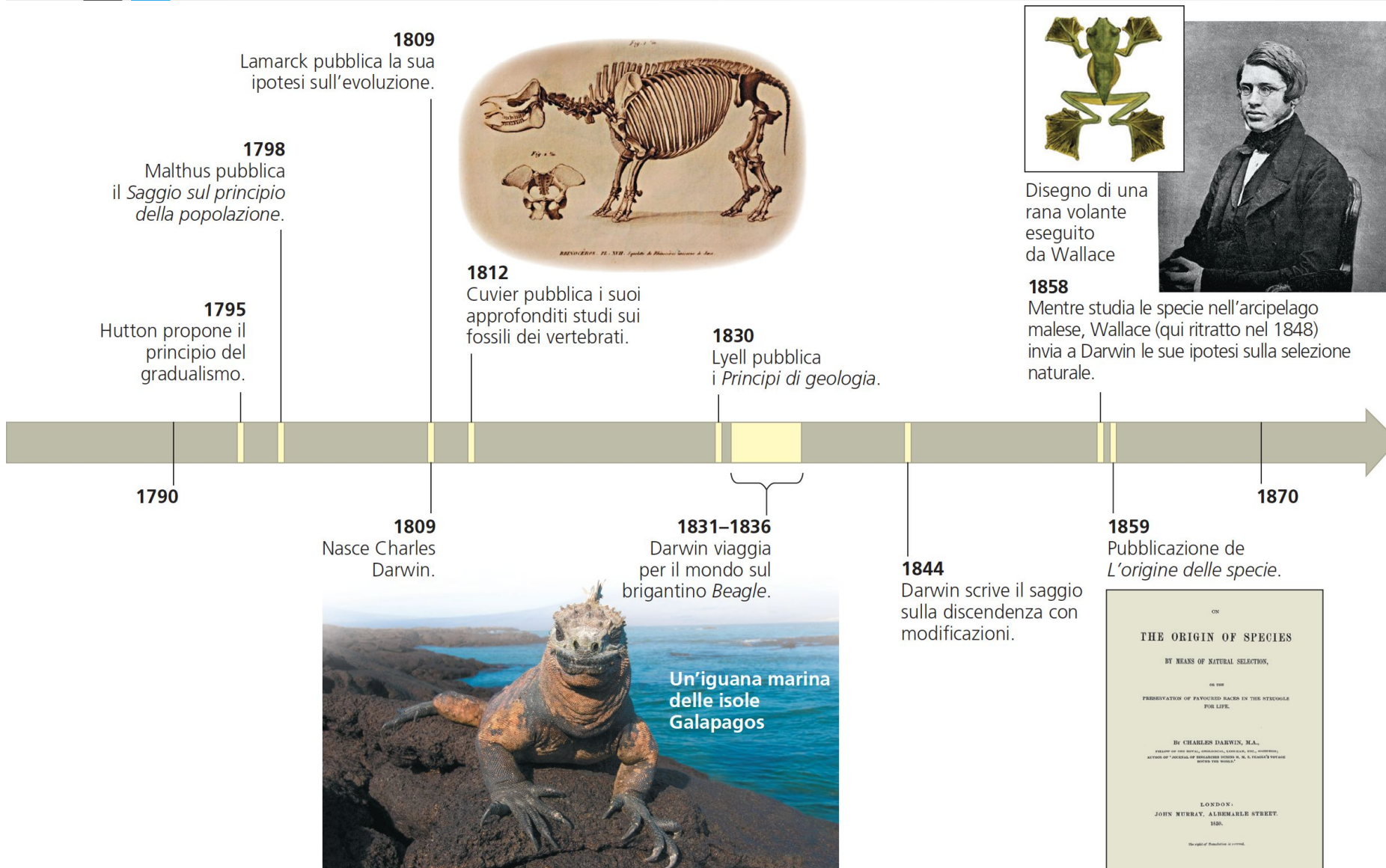
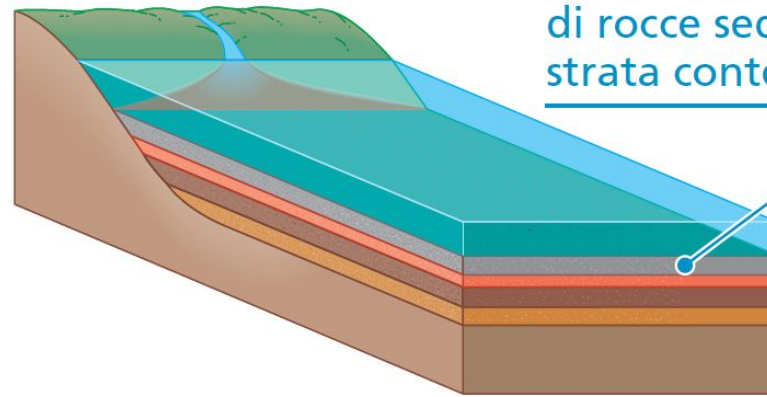


Figura 1.2 Il contesto intellettuale delle idee di Darwin.

Le idee sul cambiamento nel corso del tempo

- Darwin ricavò molte delle sue idee dal lavoro degli scienziati che studiavano i **fossili**.
- I fossili sono i resti o tracce di organismi visuti nel passato, generalmente ritrovati nelle rocce sedimentarie formatesi dalla sabbia e dal fango che si depositava sul fondo dei mari, dei laghi e delle paludi.

1 I fiumi trasportano i sedimenti negli habitat acquatici come i mari e le paludi. Con il passare del tempo, si formano sotto l'acqua gli accumuli di rocce sedimentarie (strata). Alcuni strata contengono fossili.



2 In seguito al cambiamento dei livelli delle acque il fondale viene esposto, portando alla luce gli strata e i loro fossili.



Strato più giovane con fossili più recenti



Strato più vecchio contenente fossili più antichi

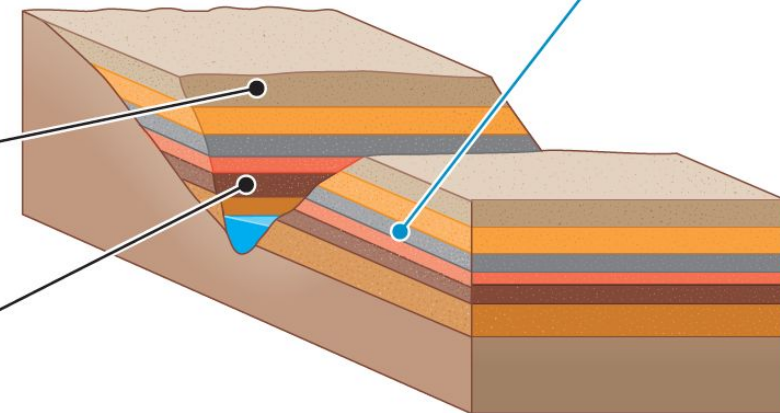


Figura 1.3 Formazione degli strati sedimentari contenenti i fossili.

- **La paleontologia**, lo studio dei fossili, fu notevolmente sviluppata dallo scienziato francese **Georges Cuvier** (1769-1832)
- Cuvier ipotizzò che i punti di contatto tra diversi strati rappresentassero eventi catastrofici che avevano distrutto a maggior parte degli esseri viventi in quella regione.
- I geologi **James Hutton** (1726-97) e **Charles Lyell** (1797-1875) ipotizzarono che cambiamenti sulla superficie della Terra potevano risultare dall'accumulo di numerosi processi lenti ma continui, processi ancora in atto oggi. L'età della Terra doveva perciò essere superiore a quella che si riteneva a quei tempi (poche migliaia di anni).

Queste idee influenzarono profondamente il pensiero di Darwin.

14

L'ipotesi di Lamarck sull'evoluzione

- **Jean-Baptiste Lamarck** (1744-1829) ipotizzò (nel 1809, anno di nascita di Darwin) che le specie evolvono secondo i principi dell'*uso e del disuso* e dell'*ereditarietà dei caratteri acquisiti*. Pensava inoltre che l'evoluzione avvenisse perché gli organismi seguivano un innato percorso verso una maggiore complessità.
- *I meccanismi che propone non sono sostenuti dall'evidenza.*



Figura 1.4 I tratti acquisiti non possono essere ereditati.
Questo bonsai è stato "indirizzato" nella crescita in modo da rimanere nano. Tuttavia i semi di quest'albero produrranno una progenie di dimensioni normali.

Campbell – Meccanismi dell'evoluzione e origini della diversità © Pearson Italia S.p.A.

16

PEARSON

*I cambiamenti della progenie per
selezione naturale spiegano gli
adattamenti degli organismi,
l'unitarietà e la diversità della vita*

- Qualche dubbio circa la permanenza delle specie precedette le idee di Darwin.

Gli studi di Darwin

- Charles Darwin sin da ragazzo possedeva un profondo interesse per la natura
- Darwin dapprima studiò medicina (senza successo) e poi teologia alla Cambridge University
- Una volta laureato assunse la posizione di naturalista sulla nave *Beagle* del Capitano Robert FitzRoy per un viaggio di 5 anni intorno al mondo.

Il viaggio del Beagle

- Nel corso della sua permanenza sul *Beagle*, Darwin collezionò campioni di piante e animali del Sud America
- Osservò che i fossili assomigliavano a specie viventi nella stessa regione e che le specie viventi assomigliavano ad altre specie viventi nelle regioni vicine.
- Fu testimone di un terremoto in Cile e osservò il sollevamento delle rocce di diversi metri.

Il viaggio del Beagle

- Darwin fu influenzato dal libro *Principles of Geology* di Lyell e pensava che la Terra avesse piú di 6000 anni
- Il suo interesse nella distribuzione geografica delle specie fu ulteriormente stimolato dalla sosta del *Beagle* alle Galápagos 900 km ad ovest del Sud America
- Darwin ipotizzò che specie dal Sud America avessero colonizzato le Galápagos per poi diversificarsi dando origine a nuove specie nelle diverse isole.

Darwin nel 1840
al ritorno
dal viaggio



HMS *Beagle* in porto



Figura 1.5 Il viaggio del *Beagle* (dicembre 1831-ottobre 1836).

The Galápagos Islands

PACIFIC OCEAN



Lo studio di Darwin sull'adattamento

- Nel rivalutare le proprie osservazioni, Darwin notò che l'**adattamento** all'ambiente e l'origine di nuove specie fossero processi correlati
- In base a studi compiuti anni dopo il viaggio di Darwin sul Beagle i biologi hanno concluso che questo è ciò che era accaduto ai fringuelli delle Galápagos



(a) Fringuello "mangiatore di cactus". Il lungo e affilato becco del fringuello dei cactus (*Geospiza scandens*) consente a questo uccello di strappare e mangiare i fiori e la polpa del cactus.



(b) Fringuello "mangiatore di insetti". Il fringuello verde canoro (*Certhidea olivacea*) usa il suo becco stretto e appuntito per afferrare gli insetti.



(c) Fringuello "mangiatore di semi". Il grosso fringuello di terra (*Geospiza magnirostris*) ha un grande becco adatto per schiacciare i semi caduti a terra.

Figura 1.6 Tre esempi di modificazioni del becco nei fringuelli delle Galapagos. Sulle Isole Galapagos vive più di una dozzina di specie di fringuelli strettamente imparentate. Alcune di queste specie vivono su un'unica isola. Le differenze più marcate riguardano il becco, adattato a una dieta specifica.

STABILIRE COLLEGAMENTI Con quale delle altre due specie qui fotografate è più strettamente imparentato il fringuello mangiatore di cactus (ovvero, con quale condivide un progenitore comune più recente)?

- Nel 1844 Darwin scrisse un saggio sulla **selezione naturale** come meccanismo di discendenza con modificazioni, ma non presentò la sua teoria pubblicamente
- La selezione naturale è un processo nel quale gli individui con caratteri ereditari favorevoli hanno più possibilità di sopravvivere e riprodursi
- Nel giugno 1858 Darwin ricevette un manoscritto da **Alfred Russel Wallace** (1823-1913) che aveva sviluppato una teoria della selezione naturale simile a quella di Darwin
- Darwin rapidamente completò *The Origin of Species* pubblicandola nell'anno successivo

L'origine delle specie

Darwin provò tre osservazioni generali sulla natura

- L'unitarietà della vita
- La diversità della vita
- La corrispondenza tra gli organismi e il loro ambiente naturale

Discendenza con modificazioni (I cambiamenti della progenie)

- Darwin non usò mai il termine *evoluzione* nella prima edizione *The Origin of Species*
- La frase *discendenza con modificazioni* rappresenta la convinzione di Darwin circa l'unitarietà della vita
- Il concetto fa riferimento alla convinzione di Darwin che tutti gli organismi fossero correlati mediante discendenza da un antenato ancestrale vissuto nel passato
- Secondo il modo di vedere di Darwin la storia della vita è come un albero con molte ramificazioni che rappresentano la diversità della vita
- Darwin dedusse che grandi divergenze morfologiche tra gruppi correlati potrebbero essere spiegati grazie a questo processo di ramificazione combinato con eventi di estinzione

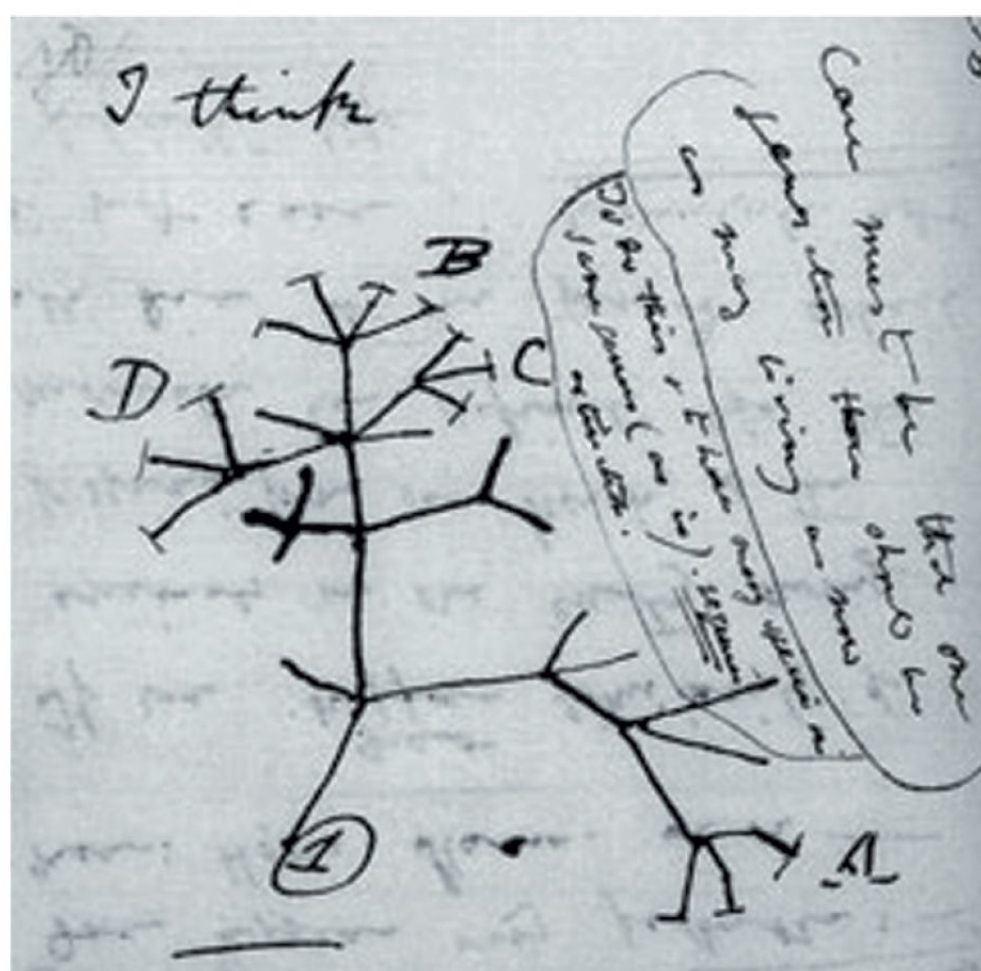


Figura 1.7 "I think..." in questo disegno del 1837, Darwin concepì il modello ad albero ramificato dell'evoluzione. In questo schema, le estremità dei rami secondari contrassegnati con le lettere da A a D rappresentano vari gruppi di organismi tutt'oggi viventi, mentre quelli privi di lettera indicano i gruppi estinti.

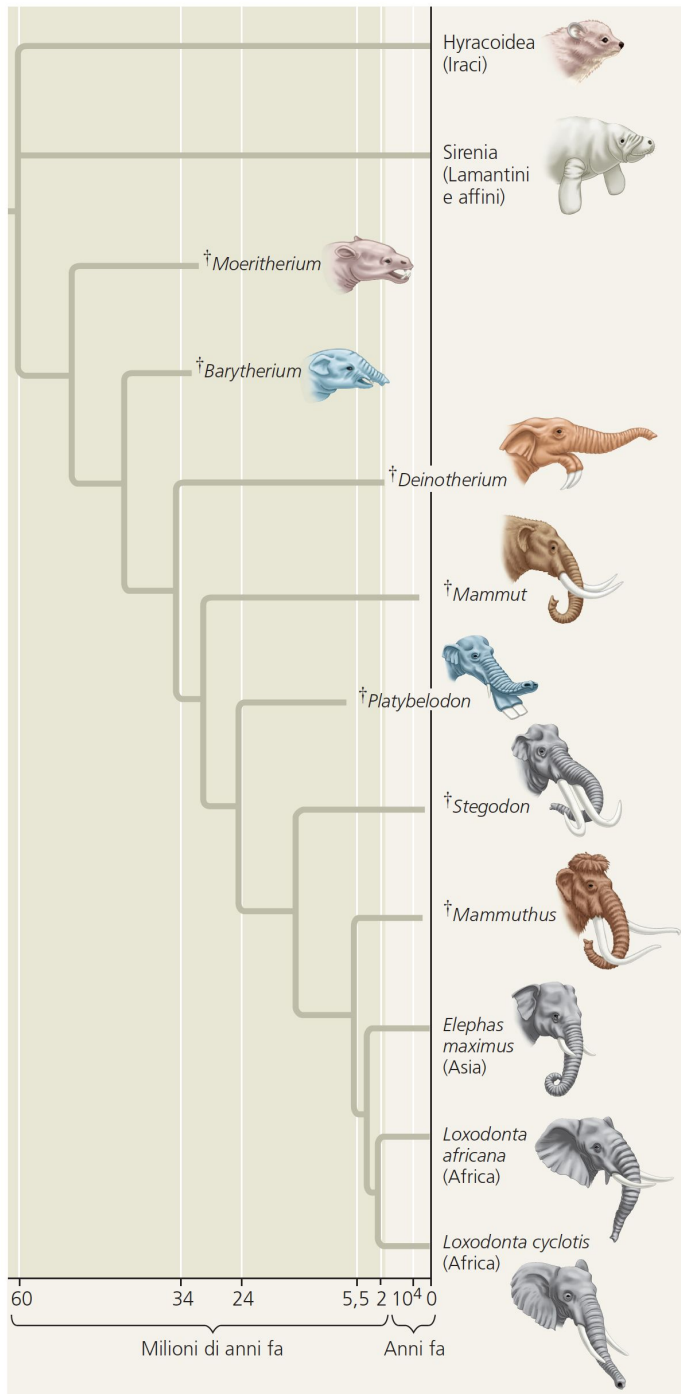


Figura 1.8 Discendenza con modificazioni. Questo albero evolutivo degli elefanti e dei loro progenitori si basa prevalentemente sui fossili: la loro anatomia, l'ordine di comparsa nei vari strati e la distribuzione geografica. Si noti che molte delle ramificazioni della discendenza terminano con l'estinzione (marcate dal simbolo †). (Le linee temporali non sono in scala.)

? Sulla base dell'albero qui riportato, approssimativamente quando visse l'antenato comune più recente del Mammuthus (mammut lanoso), dell'elefante asiatico e dell'elefante africano?



Selezione artificiale, selezione naturale e adattamento

- Darwin notò che l'uomo aveva modificato altre specie selezionando e incrociando individui con i caratteri desiderati, un processo denominato **selezione artificiale**
- Darwin trasse due deduzioni da due osservazioni

Figura 1.9 Selezione artificiale. Questi diversi vegetali sono stati selezionati da una specie di senape selvatica. Selezionando modificazioni in varie parti della pianta sono stati ottenuti questi diversi risultati.



Verza



Cavolini di Bruxelles



Cavolo



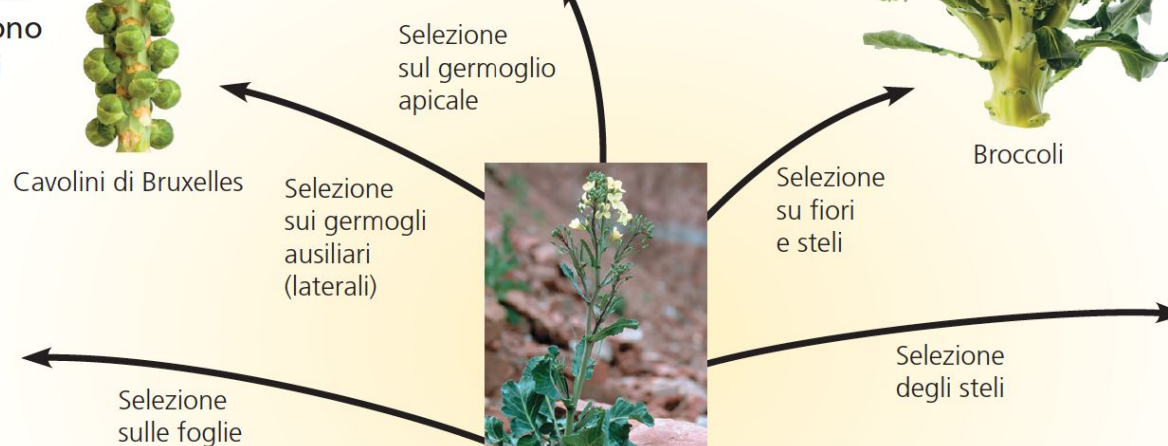
Broccoli



Cavolo rapa



Senape selvatica



Verza

Cavoletti di Bruxelles

Broccoli

Cavolo rapa

Cavolo

Cavolfiore

Osservazione #1: I membri di una popolazione spesso variano per i loro caratteri ereditari



Figura 1.10 Variazioni interne a una popolazione. I singoli individui di questa popolazione di coccinella asiatica variano per colore e distribuzione delle macchie. La selezione naturale può operare su queste variazioni solo se (1) sono ereditabili e (2) influiscono sulle possibilità di sopravvivere e riprodursi.

Deduzione #1: Gli individui, i cui caratteri ereditati forniscono una maggior probabilità di sopravvivenza e di riproduzione in un certo ambiente, tendono a produrre maggior prole rispetto agli altri individui

Osservazione #2: Tutte le specie sono in grado di produrre piú prole di quella che l'ambiente può sostenere e molti individui di questa progenie non riescono a sopravvivere o a riprodursi

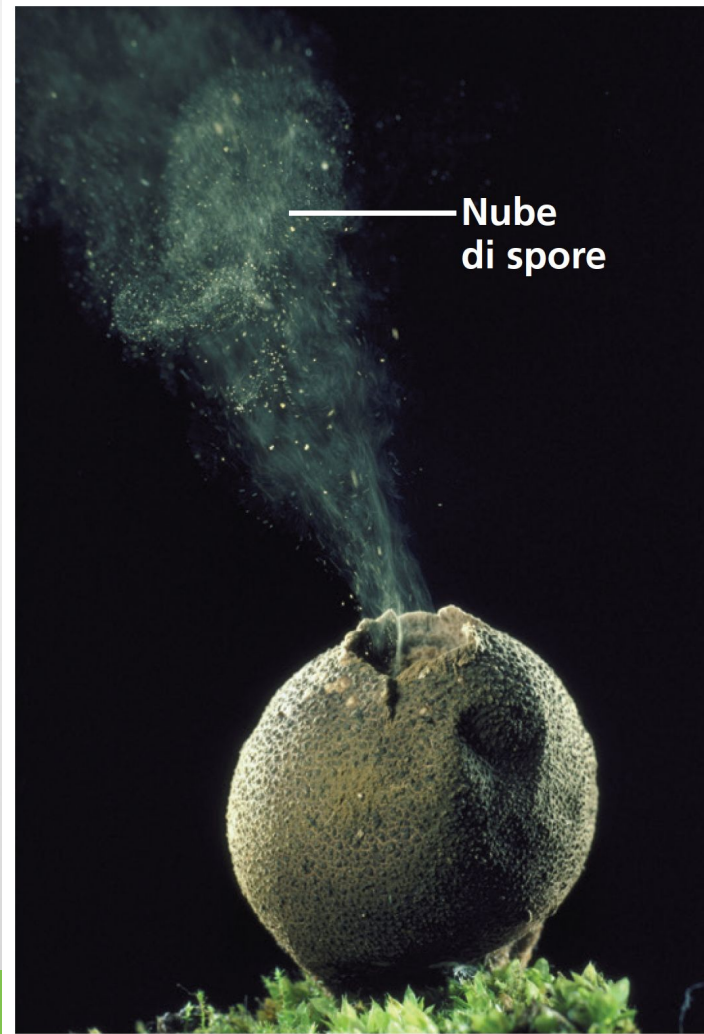


Figura 1.11 Prole in eccedenza.

Una sola vescia (un fungo) può produrre miliardi di spore. Se tutte queste spore e i loro discendenti sopravvivessero fino alla maturità, formerebbero un tappeto sulla superficie di terra circostante.

Deduzione #2: Questa diversa capacità degli individui di sopravvivere e di riprodursi determinerà, nell'arco delle generazioni, l'accumulo dei caratteri favorevoli nella popolazione

- Darwin fu influenzato da **(Thomas) Robert Malthus** (1766-1834) che aveva osservato che il potenziale di crescita della popolazione umana era maggiore delle disponibilità alimentari e di altre risorse (*An Essay on the Principle of Population*, 1798).
- Se alcuni caratteri ereditabili sono vantaggiosi, questi si accumuleranno nella popolazione nel tempo, e questo aumenterà la frequenza di individui con questi caratteri.
- Questo processo spiega la corrispondenza tra organismi e l'ambiente in cui vivono

Una mantide fiore
in Malesia ▶



Selezione naturale: un riassunto

- Individui con certe caratteristiche ereditabili sopravvivono e si riproducono con una maggiore efficienza rispetto ad altri individui grazie a quelle caratteristiche
- Nel tempo la selezione naturale può migliorare l'adattamento degli organismi nei confronti del loro ambiente



◀ Una mantide-fiore
ocellata in Sud Africa



Una mantide ▶
foglia in Africa

Figura 1.12 Il mimetismo come esempio di adattamento evolutivo. Specie affini di mantidi possiedono varie forme e colori che si adattano all'ambiente in cui si trovano.

Se l'ambiente cambia nel tempo, o se gli individui si spostano in un ambiente diverso, la selezione naturale può determinare l'adattamento a queste nuove condizioni talvolta provocando la formazione di nuove specie durante il processo.

- Notasi che *gli individui non evolvono*; è la popolazione che evolve nel tempo.
- La selezione naturale può aumentare o ridurre *solamente quei tratti ereditabili* che differiscono tra gli individui di una popolazione.
- Gli adattamenti variano secondo i differenti ambienti e nel tempo.

L'evoluzione è sostenuta da innumerevoli evidenze scientifiche

- Nuove scoperte continuano a colmare molte delle lacune identificate da Darwin in *The Origin of Species* (ma l'origine delle Angiosperme rimane in parte irrisolto).
- Ci sono quattro tipi di dati che documentano il modello evolutivo.
 - Le osservazioni dirette
 - L'omologia
 - I fossili
 - La biogeografia

Osservazioni dirette del cambiamento evolutivo

Due esempi forniscono evidenza di selezione naturale

- *Selezione naturale in risposta all'introduzione di specie vegetali*
- *Evoluzione di batteri resistenti ai farmaci.*

Figura 1.13 Ricerca

Un cambiamento nella fonte alimentare di una specie può provocarne l'evoluzione per selezione naturale?

ESPERIMENTO

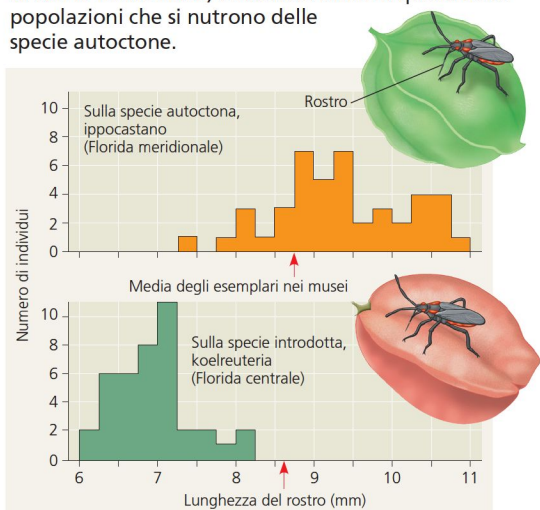
Le cimici del sapindo (soapberry bug) riescono a nutrirsi meglio quando la lunghezza del loro rostro corrisponde precisamente alla profondità dei semi nel frutto. Scott Carroll e i suoi colleghi hanno misurato la lunghezza del rostro nelle popolazioni di questi insetti che si nutrono di piante autoctone di ippocastano; hanno poi effettuato la stessa misurazione anche sulle popolazioni che si cibano di koelreuteria, un albero introdotto nell'ecosistema. Infine i ricercatori hanno paragonato i valori rilevati con quelli degli esemplari museali raccolti nelle due aree prima dell'introduzione della koelreuteria.



Un soapberry bug con il rostro inserito nel frutto del balloon vine

RISULTATI

La lunghezza del rostro è risultata inferiore nelle popolazioni che si cibano della specie introdotta, rispetto a quelle che si nutrono della specie autoctona, i cui semi sono custoditi più a fondo nei frutti. La lunghezza media del rostro degli esemplari museali di ciascuna popolazione (indicata con le frecce rosse) è risultata simile a quella delle popolazioni che si nutrono delle specie autoctone.



Le cimici del sapindo (soapberry bugs) usano il loro rostro per cibarsi di semi contenuti all'interno dei frutti.

L'alimentazione è più efficace quando il rostro è della stessa lunghezza dello spessore da attraversare per raggiungere i semi.

CONCLUSIONI

Gli esemplari conservati nei musei e i dati odierni indicano che la variazione della dimensione della fonte alimentare di queste cimici può produrre l'evoluzione per selezione naturale di un rostro avente lunghezza corrispondente alla distanza cui si trovano i semi.

FONTI

S.P. Carroll e C. Boyd, Host race radiation in the soapberry bug: natural history with the history, *Evolution* 46:1052-1069 (1992).

E SE...

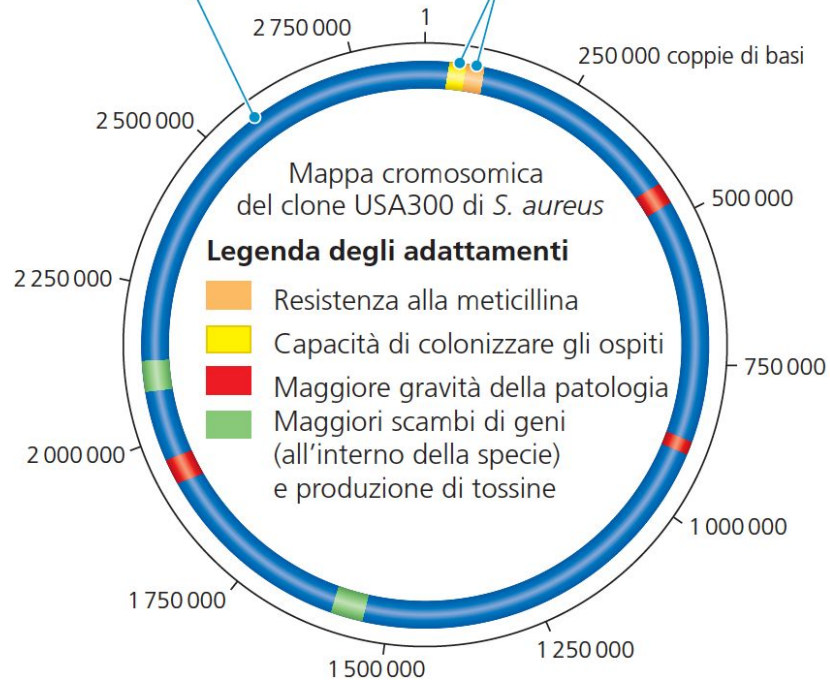
I dati di altri studi hanno dimostrato che, prelevando le uova di soapberry bug di una popolazione che si nutre sui frutti di ippocastano e facendone crescere gli insetti sui frutti di koelreuteria (o viceversa), la lunghezza del rostro degli insetti adulti corrisponde a quella della popolazione da cui provengono le uova. Interpretate questi risultati.

Il batterio Staphylococcus aureus si riscontra comunemente sugli esseri umani.

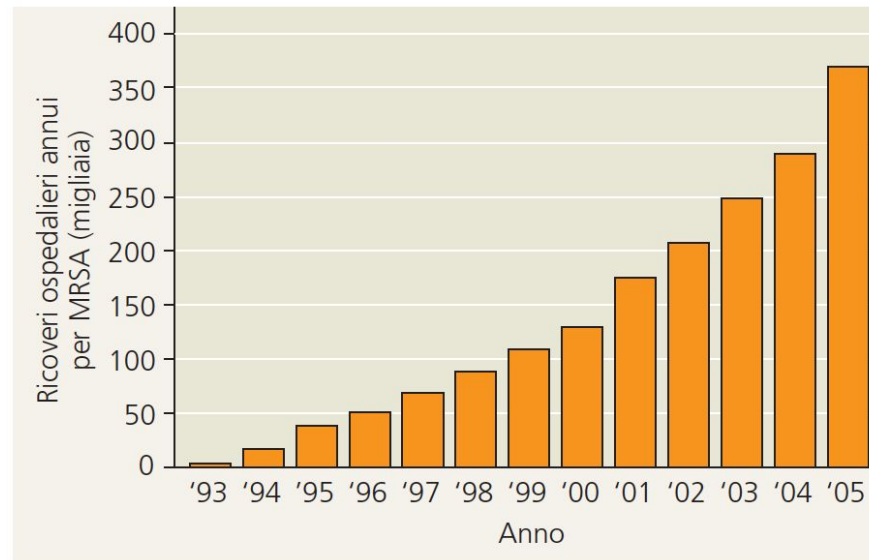
- Il ceppo di *S. aureus* meticillino-resistente (MRSA) è un pericoloso patogeno.
- La resistenza alla penicillina si era evoluta in *S. aureus* già dal 1945, due anni dopo che tale antibiotico era divenuto di uso comune.
- La resistenza alla meticillina si era evoluta in *S. aureus* dal 1961, due anni dopo l'inizio dell'utilizzazione di questo antibiotico.
- La meticillina agisce grazie alla inibizione di una proteina utilizzata dai batteri per produrre le pareti cellulari.
- I batteri MRSA utilizzano una differente proteina nella produzione della parete cellulare.
- Quando esposti alla meticillina i ceppi MRSA hanno una maggiore probabilità di sopravvivere e riprodursi rispetto ai ceppi non resistenti di *S. aureus*.
- I ceppi MRSA sono oggi resistenti a molti antibiotici.

Il sequenziamento del cromosoma circolare del clone USA300 ha rivelato la sua struttura; contiene 2872 769 coppie di basi di DNA.

Le regioni evidenziate con i colori diversi dal blu contengono geni che aumentano la virulenza del ceppo (si veda la legenda).



(a) La maggior parte delle infezioni di MRSA è causata da ceppi di comparsa recente, come il clone USA300. Resistente a molti antibiotici e altamente contagioso, questo ceppo e i suoi parenti stretti possono causare infezioni letali alla cute, ai polmoni e al sangue. Come indicato nella figura, i ricercatori hanno identificato le aree fondamentali del genoma dell'USA300 che codificano gli adattamenti che gli conferiscono le sue proprietà virulenti.



(b) Le infezioni di MRSA sufficientemente gravi da causare un ricovero ospedaliero si sono moltiplicate enormemente negli ultimi decenni.

Figura 1.14 L'aumento dello *Staphylococcus aureus* meticillino-resistente (MRSA).

E SE...

*Alcuni medicinali in fase di sviluppo selezionano e uccidono in modo specifico *S. aureus*; altri rallentano la crescita dell'MRSA, senza però ucciderlo. Sulla base dei principi di funzionamento della selezione naturale e sapendo che le specie batteriche possono scambiarsi i geni, spiegate i meccanismi che potrebbero rendere efficaci le due strategie.*

- La selezione naturale non crea nuovi caratteri ma seleziona individui resistenti con caratteri già esistenti nella popolazione.
- È l'ambiente a determinare quali caratteri saranno selezionati a favore o a sfavore in ogni specifica popolazione.

Omologia

L'**omologia** è somiglianza che deriva da un'origine comune.

Omologie anatomiche e molecolari

- Le **strutture omologhe** sono similitudini anatomiche che rappresentano variazioni di un tema strutturale presente negli antenati comuni.

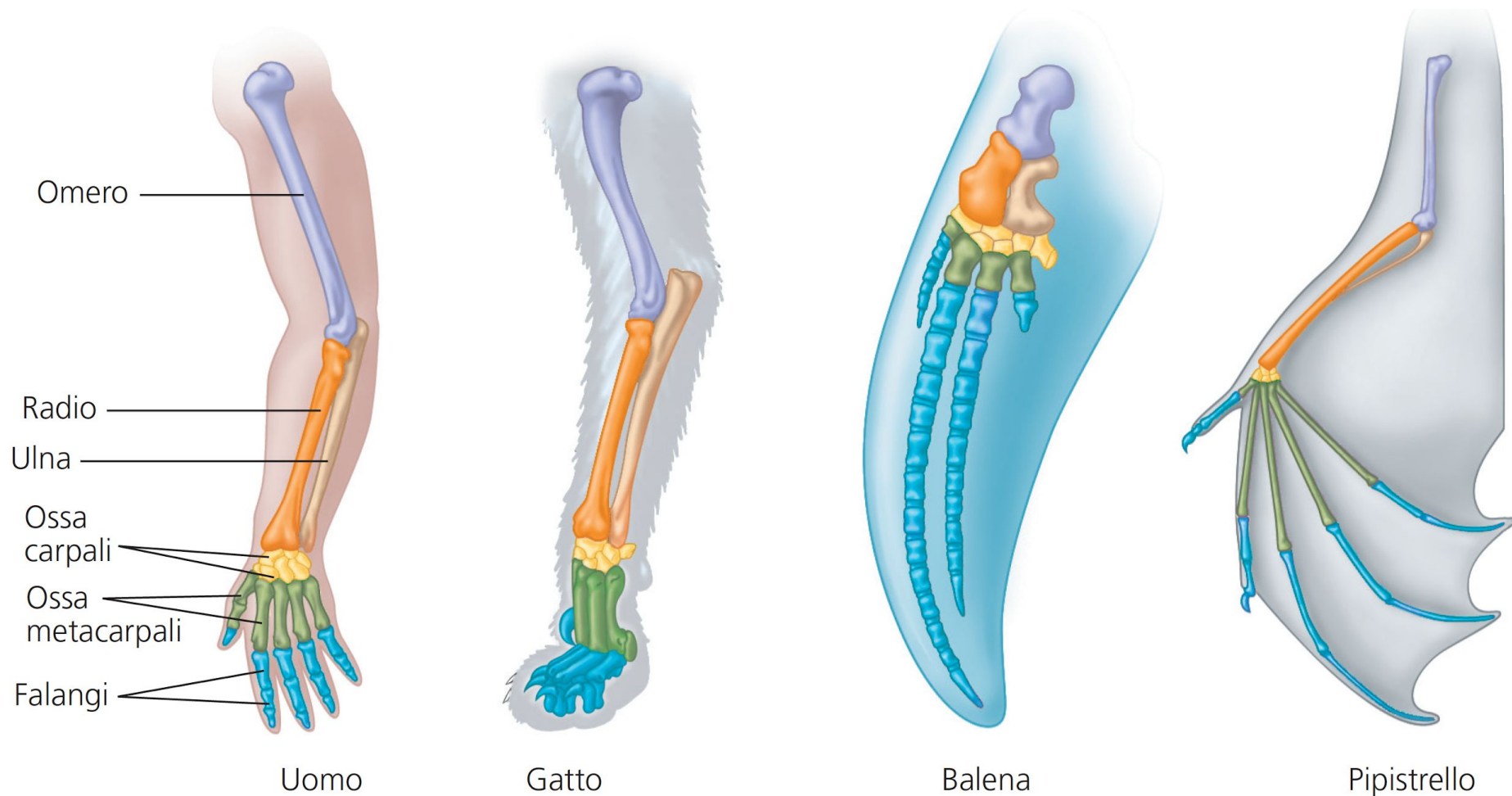


Figura 1.15 Arti anteriori dei mammiferi: strutture omologhe. Anche se si sono adattati a svolgere funzioni diverse, gli arti anteriori di tutti i mammiferi sono costituiti dagli stessi elementi scheletrici di base: un grande osso (viola), attaccato a due ossa più piccole (arancio e marrone chiaro), attaccate a numerose piccole ossa (gialle), attaccate a numerose ossa metacarpali (verdi), attaccate generalmente a cinque dita, ciascuna delle quali composta da falangi (blu).

L'embriologia comparativa rivela le omologie anatomiche non visibili negli organismi adulti

- Per esempio, tutti gli embrioni di vertebrati presentano la coda in posizione post-animale.

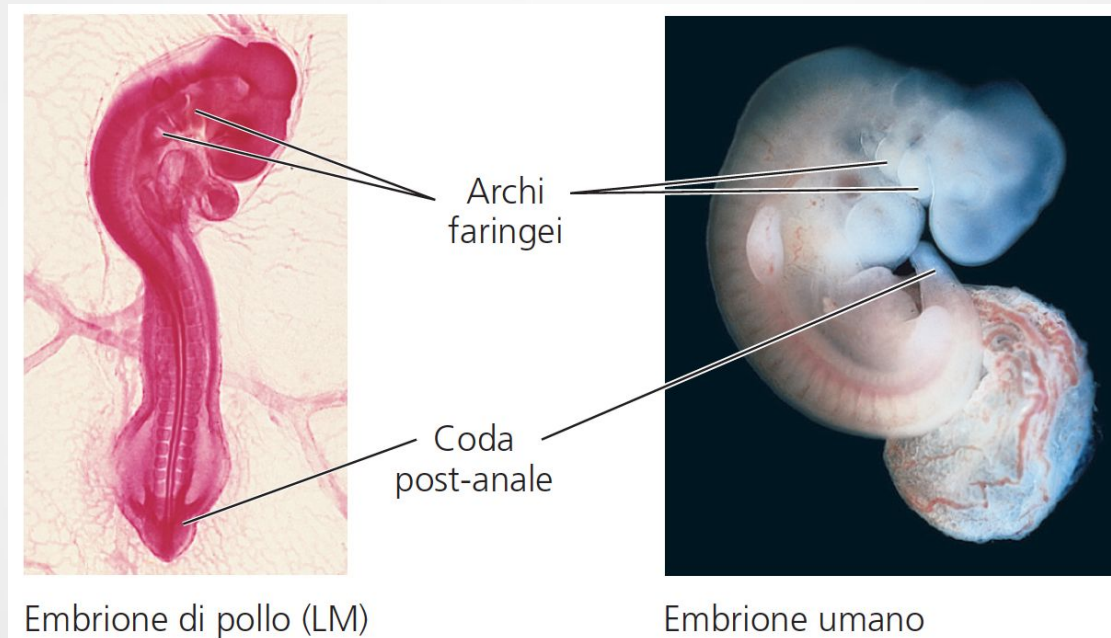


Figura 1.16 Somiglianze anatomiche negli embrioni dei vertebrati. In alcuni stadi dello sviluppo embrionale, tutti i vertebrati possiedono una coda situata posteriormente all'ano (detta coda post-animale), così come archi faringei (gola). La discendenza da un comune progenitore può spiegare queste somiglianze.

Le **strutture vestigiali** sono i resti di strutture che una volta svolgevano importanti funzioni nei progenitori di un organismo.

- Esempi di **omologie a livello molecolare** sono geni condivisi tra organismi ed ereditati da un progenitore comune.

Ogni punto di ramificazione rappresenta l'antenato comune delle linee evolutive che iniziano qui e alla destra del punto stesso.

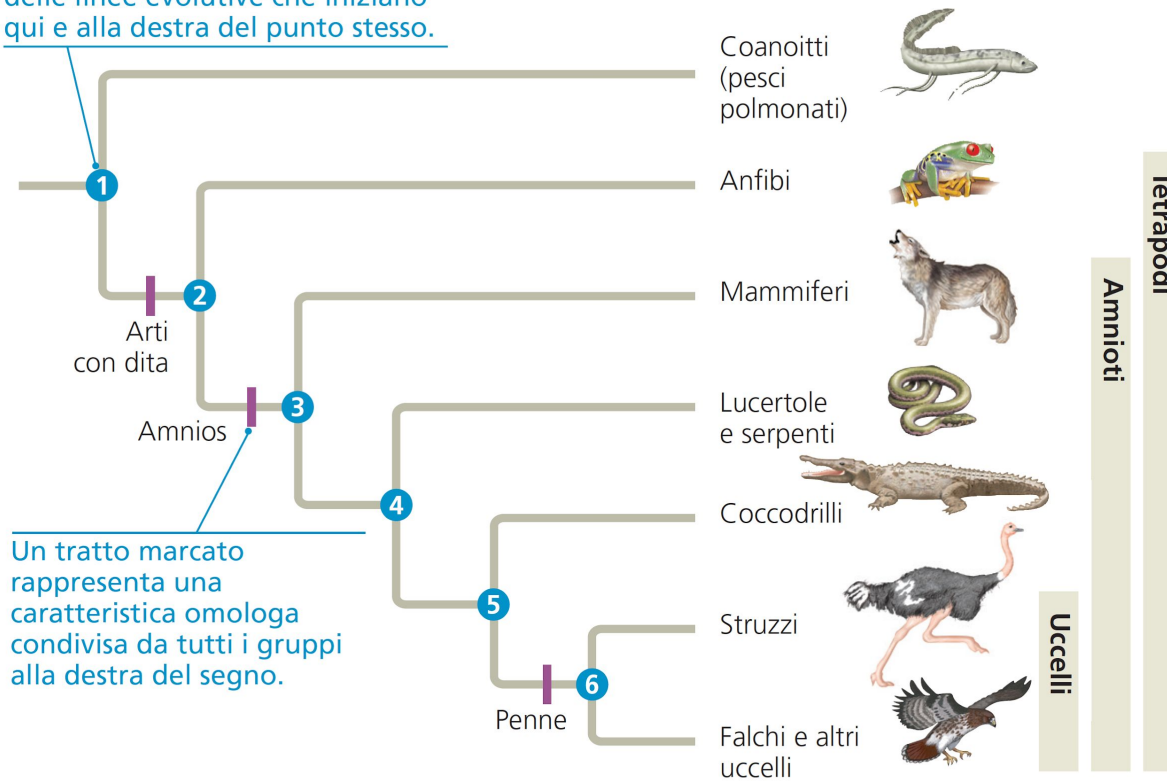


Figura 1.17 Rappresentazione ad albero: informazioni fornite attraverso un albero dell'evoluzione. Questo albero evolutivo dei tetrapodi e dei loro parenti più stretti, i pesci polmonati (o coanoitti), è basato su dati anatomici e su dati relativi a sequenze di DNA; i segni rosso porpora indicano l'origine di tre importanti omologie, ciascuna delle quali si è evoluta solo una volta. Gli uccelli sono raggruppati con i rettili da cui si sono evoluti; quindi il gruppo di organismi chiamati "rettili" tecnicamente include gli uccelli.

? *I coccodrilli sono parenti più stretti delle lucertole o degli uccelli? Motivate la risposta.*

Campbell - Meccanismi dell'evoluzione e origini della diversità © Pearson Italia S.p.A.

Altre cause di somiglianza: L'evoluzione convergente Analogie

- L'evoluzione convergente è l'evoluzione di strutture simili, o analoghe, in gruppi di organismi non strettamente correlati.
- I caratteri analoghi sorgono quando gruppi di organismi indipendenti si adattano ad ambienti simili con adattamenti simili.
- Caratteristiche analoghe condividono funzioni simili ma non un progenitore comune, mentre le caratteristiche omologhe hanno un progenitore comune ma non necessariamente la stessa funzione.



Petauro dello zucchero



NORD AMERICA



AUSTRALIA



Scoiattolo volante

Figura 1.18 Evoluzione convergente. La capacità di planare si è evoluta indipendentemente in questi due mammiferi lontanamente imparentati.

Campbell - Meccanismi dell'evoluzione e origini della diversità © Pearson Italia S.p.A.

L'evidenza fossile

fornisce evidenza dell'estinzione di specie, dell'origine di nuovi gruppi e della variazione all'interno di gruppi nel corso del tempo.

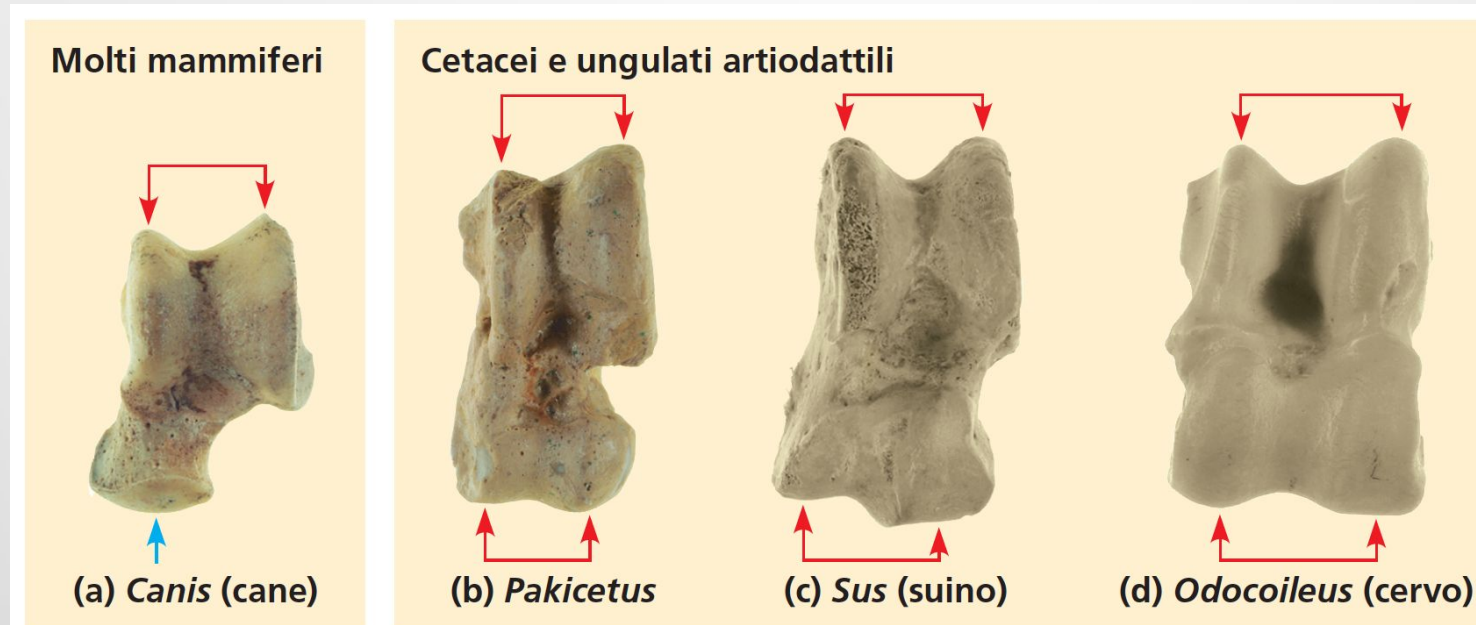


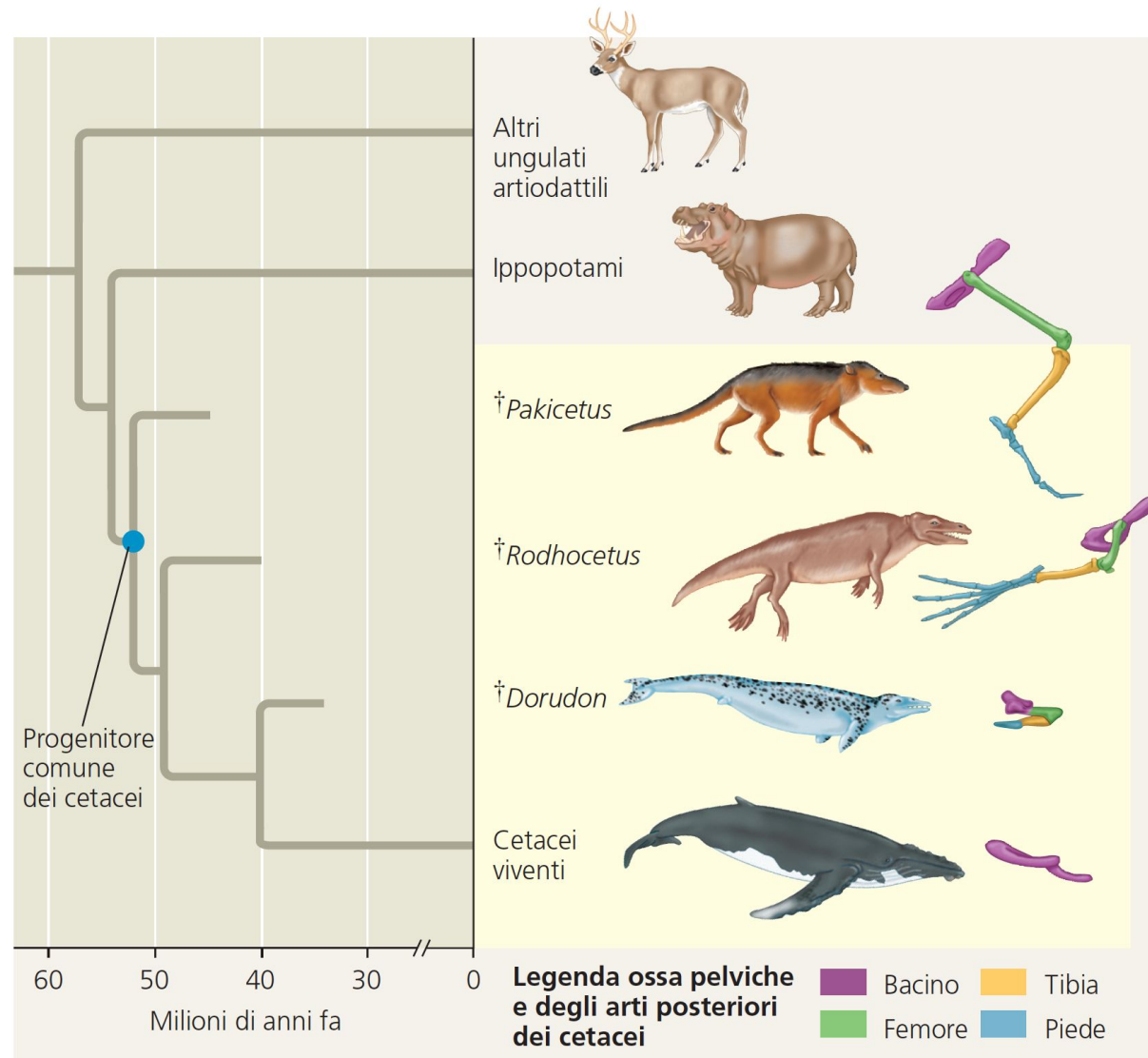
Figura 1.19 Ossa della caviglia: una tessera del mosaico. Il paragone tra alcuni esempi fossili e attuali di astragalo (un osso della caviglia) indica che i cetacei sono strettamente imparentati con gli ungulati artiodattili. **(a)** Nella maggior parte dei mammiferi, l'astragalo ha forma simile a quello del cane, con una doppia protuberanza a un'estremità (freccie rosse) ma non all'altra (freccia blu). **(b)** I fossili indicano che l'astragalo dell'antico cetaceo *Pakicetus* presentava due protuberanze a ogni estremità, una forma che per il resto ritroviamo solo nei suini **(c)**, nei cervi **(d)** e in tutti gli altri ungulati artiodattili.

I fossili possono documentare importanti transizioni:

- Per esempio, la transizione dalla terra al mare nei progenitori dei cetacei

Figura 1.20 La transizione verso la vita in acqua. In questo diagramma ad albero è evidenziata in giallo la genealogia dei cetacei. Prove di varia natura sostengono l'ipotesi secondo cui i cetacei si sarebbero evoluti dai mammiferi terrestri. I fossili documentano, nel tempo, una riduzione delle ossa pelviche e degli arti posteriori nei progenitori estinti dei cetacei, tra cui *Pakicetus*, *Rodhocetus* e *Dorudon*. I dati delle sequenze di DNA suffragano l'ipotesi che i cetacei siano parenti strettissimi degli ippopotami.

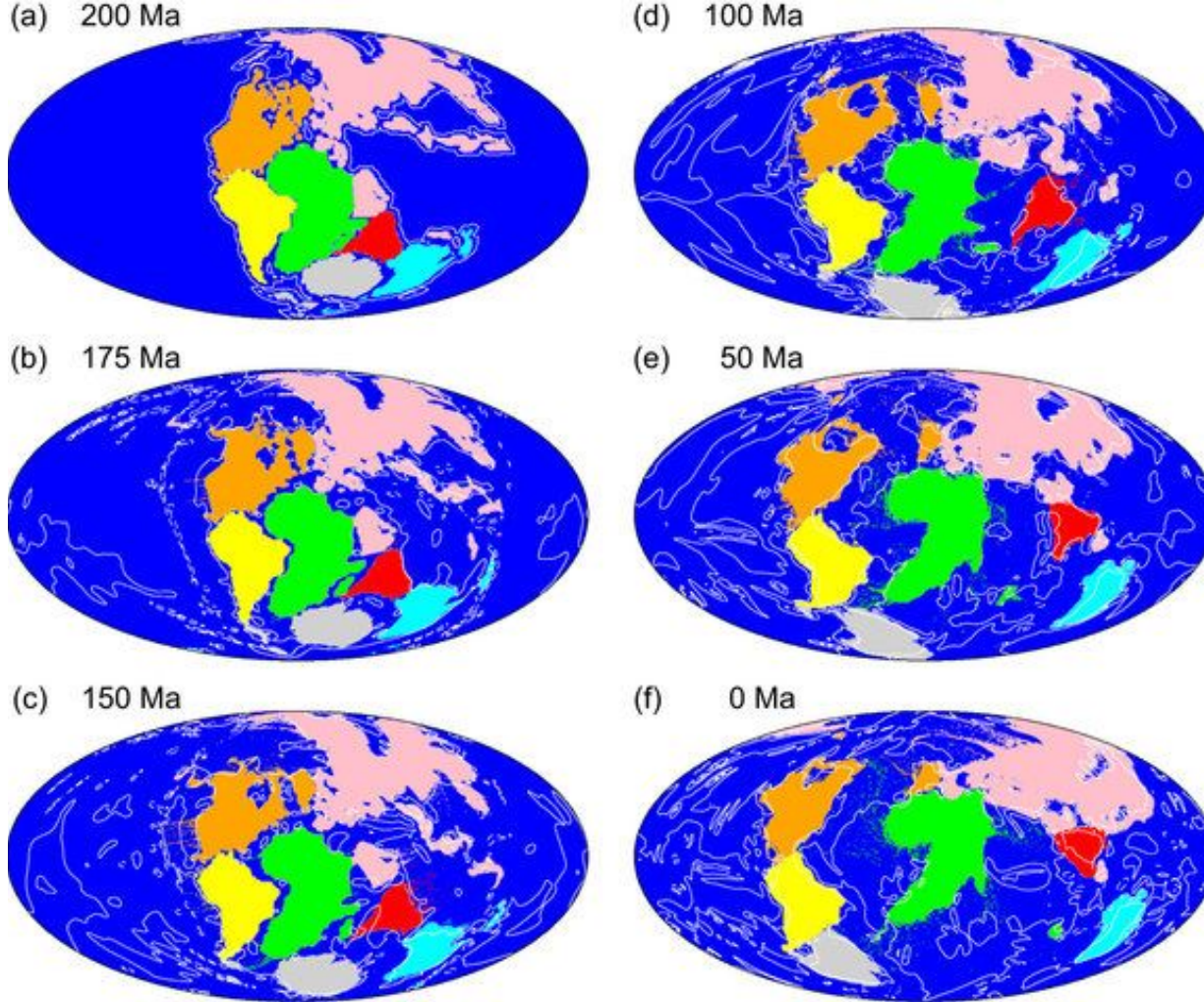
? Cosa avvenne prima nell'evoluzione dei cetacei: le modificazioni alle strutture degli arti posteriori o l'origine delle pinne caudali? Spiegate perché.



Biogeografia

La biogeografia, lo studio scientifico della distribuzione geografica delle specie, fornisce evidenza dell'evoluzione.

- I continenti della Terra erano originariamente uniti in un singolo continente denominato **Pangea**, poi separatisi grazie alla deriva dei continenti.



- La presente distribuzione delle specie sulla base dei movimenti dei continenti nel passato ci permette di predire la loro evoluzione e origine nel tempo.

Endemismi

Le specie **endemiche** sono specie a distribuzione limitata e che non si ritrovano in altre parti del mondo.

- Le isole hanno molte specie endemiche che sono spesso strettamente correlate a specie su isole o continenti vicini.
- Darwin spiegò che le specie del continente colonizzarono le isole e dettero origine a nuove specie adattate ai nuovi ambienti.

Che cosa c'è di teorico nella visione della vita secondo Darwin?

- Per la scienza una teoria tiene conto di molte osservazioni e dati e tenta di spiegare e integrare una grande varietà di fenomeni. Il significato scientifico di teoria è diverso da quello del linguaggio colloquiale, dove teoria è spesso sinonimo di ipotesi.
- La teoria di Darwin sull'evoluzione per selezione naturale integra diverse aree delle scienze biologiche e stimola direttamente molte nuove aree di ricerca e studio.
- Le ricerche in corso forniscono nuove informazioni e dati che permettono una migliore conoscenza dell'evoluzione.