

Fossile è un qualsiasi resto o impronta di organismo che sia vissuto in passato sulla Terra. Si sono trovati fossili quasi ovunque nel mondo. Particolari tecniche sono impiegate per riportare alla luce e conservare a scopo di studio queste testimonianze della vita nel passato della storia della Terra. La fotografia mostra alcuni esperti mentre stanno riportando alla luce dei resti di mammut. I mammut sono animali, per molti versi simili agli elefanti, che vissero in alcune regioni della Terra diverse migliaia di anni fa. Come si determina l'età di un fossile? Che informazioni si possono ricavare dai fossili?

Per sopravvivere in un ambiente che si va modificando le popolazioni di organismi devono anch'esse modificarsi.

A quanto risulta, le forme di vita più semplici hanno fatto la loro comparsa sulla Terra prima delle forme di vita più complesse.

I reperti fossili indicano che gli organismi che vivono oggi sulla Terra sono diversi da quelli che vi vissero in epoche passate.

Per anatomia comparata si intende lo studio e il confronto di strutture simili presenti in organismi diversi.

l'organismo deve risultare adatta alle nuove condizioni ambientali. Nella lunga storia della vita sulla Terra, molte popolazioni di organismi si sono appunto estinte perché non risultarono adatte alle nuove condizioni ambientali.

Lo studio dei fossili rivela anche che gli organismi più antichi sono in genere meno complessi degli organismi più recenti. Ciò ha indotto i biologi a concludere che le prime forme di vita sulla Terra furono molto semplici e che esse siano state gradualmente sostituite o affiancate da forme di vita più complesse.

Da una visione complessiva dei reperti fossili risulterebbe anche che, inizialmente, il numero delle forme viventi era relativamente piccolo e che è andato poi via via aumentando sempre più rapidamente col passare del tempo. Inoltre, i fossili più antichi rappresentano tutti organismi che vivevano nell'acqua; solo molto più tardi hanno fatto la loro comparsa organismi capaci di vivere sulla terraferma.

I dati offerti dai reperti fossili presentano ancora moltissime lacune. Mancano ad esempio molti fossili che dovrebbero corrispondere a forme di passaggio da un tipo di organismo all'altro. Resta comunque come elemento indiscutibile il fatto che, nel tempo, le forme di vita esistenti sulla Terra sono cambiate.

9.3 I dati offerti dall'anatomia comparata

Per **anatomia comparata** si intende lo studio e il confronto di strutture simili presenti in organismi diversi. La figura 9.6 mostra ad esempio gli scheletri degli arti posteriori di alcuni animali a tutti familiari. Come si può vedere, anche se vi è una somiglianza generale di struttura, le ossa differiscono leggermente da caso a caso: lo scheletro dell'arto di ciascuno di questi animali è, per così dire, una variazione sullo stesso tema.

Anche se questi arti servono tutti per camminare, il modo di camminare di ciascuno di questi animali è diverso; le differenti strutture delle loro ossa sono appunto adattate ciascuna al particolare modo di camminare dell'animale a cui appartengono. Le notevoli somiglianze esistenti fanno però pensare che tutti questi animali siano «imparentati» tra loro, abbiano cioè in comune un lontano antenato, i cui arti avevano una struttura di base che si può ancora intravedere negli

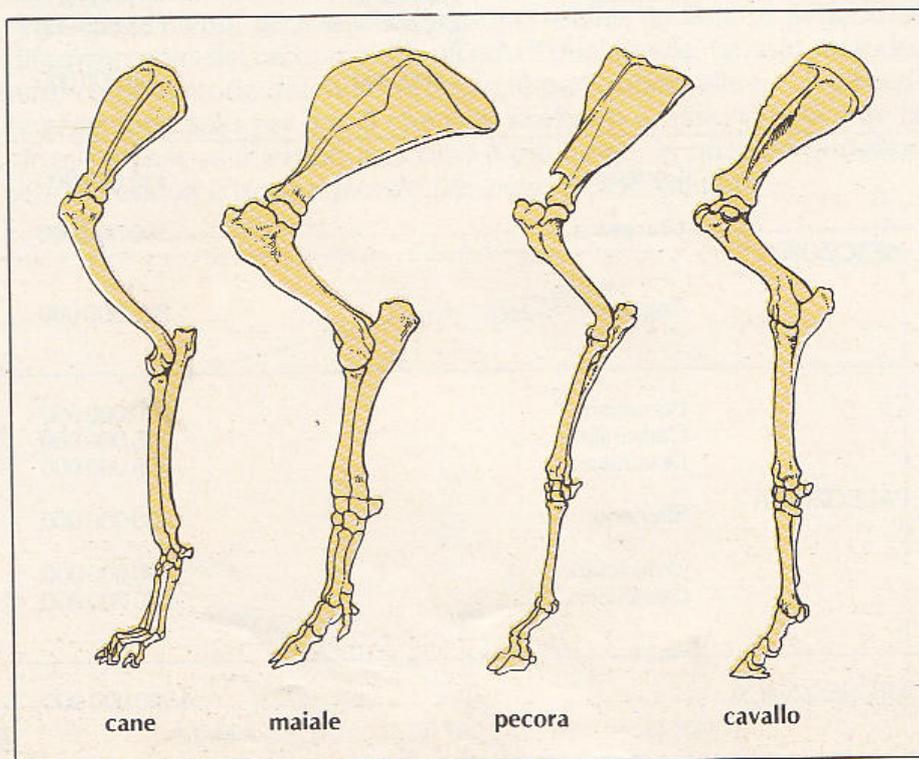


Figura 9.6 Anche se presentano tra loro certe differenze, gli scheletri degli arti di molti vertebrati sono simili per numero e posizione delle ossa.

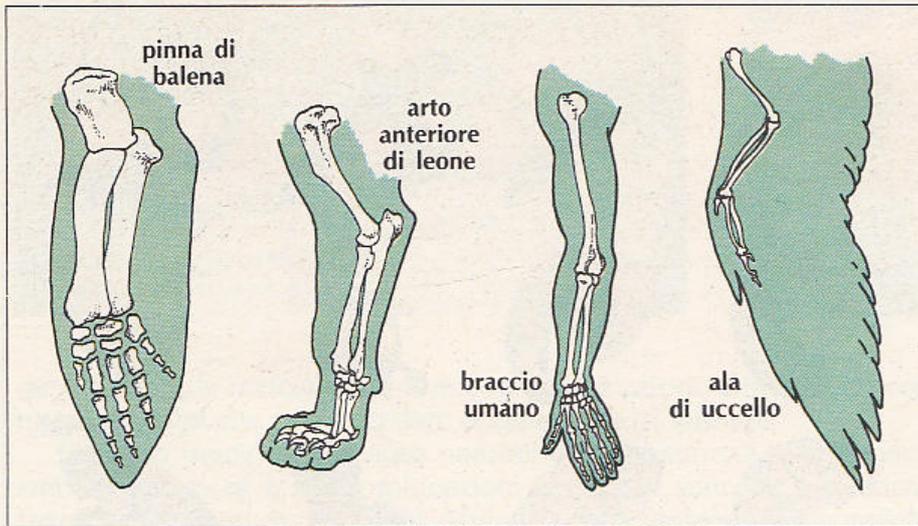


Figura 9.7 Le strutture di questi arti sono omologhe; infatti, pur avendo funzioni diverse l'uno dall'altro, hanno conformazione e origine simili. Perché l'ala di un insetto non è omologa con queste strutture?

arti di questi suoi discendenti; ciascuno di questi arti sarebbe il risultato di un diverso evolversi nel tempo, a partire dagli arti di quell'antenato comune, come conseguenza di un adattamento al particolare modo di vita dell'animale a cui appartiene.

Gli organi che, come gli scheletri degli arti posteriori della figura 9.6, corrispondono a uno stesso schema generale di struttura e di sviluppo vengono detti **omologhi**. La figura 9.7 fornisce un altro esempio di organi omologhi. La presenza di organi omologhi in un gruppo di organismi viene considerata un elemento a favore dell'ipotesi di un'evoluzione di quegli organismi a partire da un antenato comune. *Quanto minore è il numero di strutture omologhe che due organismi hanno in comune, tanto meno stretta è la loro parentela.*

Sia gli insetti che gli uccelli possiedono ali, e queste hanno in entrambi i casi la stessa funzione. Tuttavia, la loro struttura è molto diversa e diversi sono l'origine e il processo di sviluppo. Pertanto, le ali degli insetti e quelle degli uccelli non sono organi omologhi; come è provato anche dai reperti fossili, non esiste alcuna stretta parentela tra insetti e uccelli. Pensate che sia più stretta la parentela tra un gatto e un cane o tra un gatto e una giraffa? Perché? E, ancora: pensate che sia più stretta la parentela tra due animali qualsiasi o tra un animale e una pianta?

Talvolta, in un organismo, sono presenti strutture che non risultano avere più alcuna particolare funzione; ad esse viene dato il nome di **residui ancestrali**. Vengono ad esempio considerate residui ancestrali le dita laterali, ridotte, del piede del maiale (figura 9.8). E residuo ancestrale viene considerata, nell'uomo, l'appendice, un piccolo prolungamento a fondo cieco dell'intestino crasso, che non pare abbia, nella nostra specie, alcuna utilità. Ma, allora, perché c'è? Una spiegazione potrebbe essere la seguente: in un lontano passato, è esistito un antenato dell'uomo la cui appendice aveva una sua ben determinata funzione nel processo digestivo; l'appendice sarebbe rimasta, nel corso dell'evoluzione, come parte dello schema generale dell'organismo e, come tale, è stata ereditata dall'uomo, nel quale però non svolge più alcuna funzione. Come si vede, la presenza di residui ancestrali viene anch'essa considerata un argomento a favore dell'evoluzione.

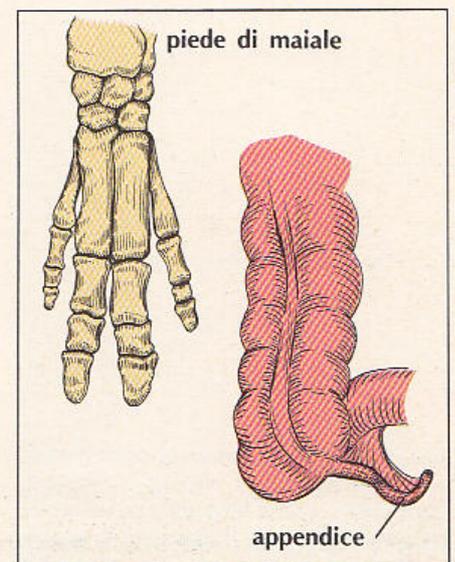
9.4 I dati offerti da altri tipi di raffronti

L'**embriologia comparata** è lo studio comparativo dello sviluppo di diversi organismi a partire dalla cellula uovo fecondata (a un organismo nel suo primo periodo di sviluppo viene in genere dato il nome di **embrione**). Confrontando tra loro gli embrioni di taluni organismi si possono notare somiglianze che sembrano attestare l'esistenza di una

La presenza di organi omologhi in organismi diversi è un elemento a favore di una loro evoluzione a partire da un antenato comune.

L'embriologia comparata è lo studio comparato dello sviluppo embrionale di diversi organismi.

Figura 9.8 Le due dita laterali ridotte del piede del maiale e l'appendice nell'uomo sono esempi di residui ancestrali. Non sembra infatti che essi svolgano alcuna particolare funzione nell'organismo.



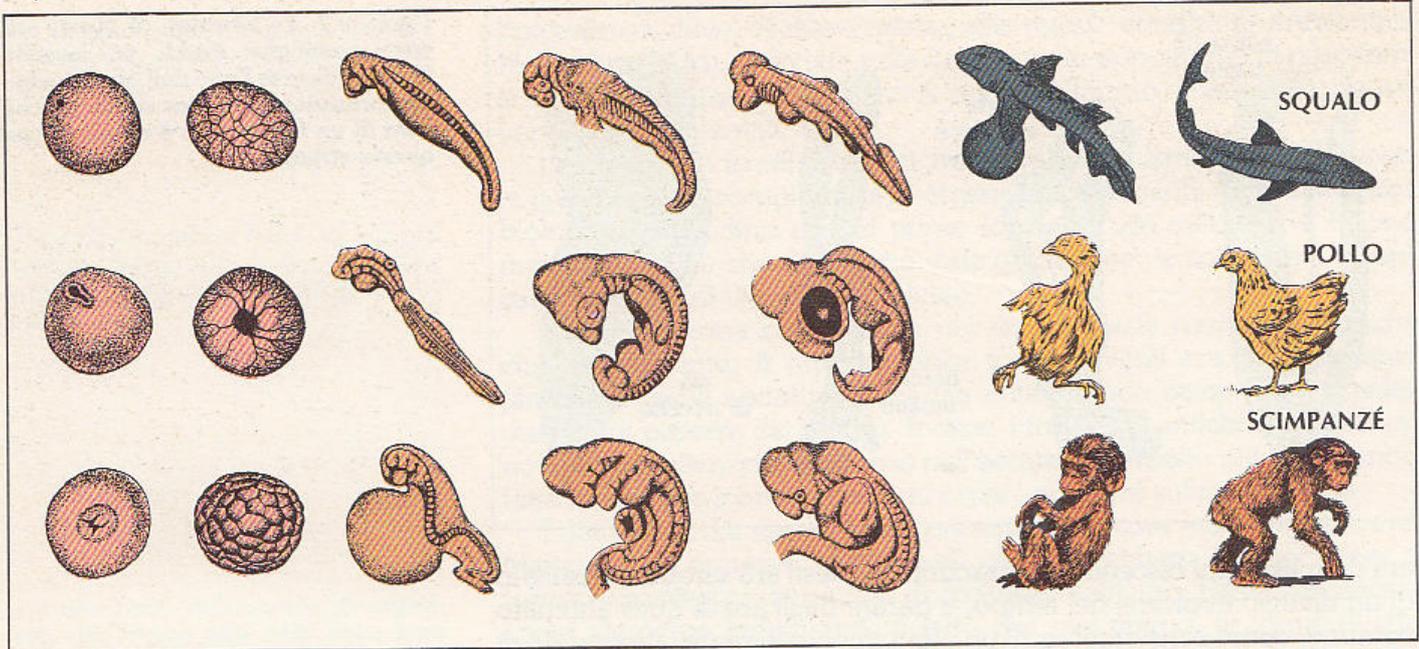


Figura 9.9 In animali biologicamente molto affini lo sviluppo embrionale presenta molte somiglianze. Nei loro primi stadi di sviluppo, gli embrioni di certi animali sono tanto simili l'uno all'altro che non è facile distinguerli. Man mano però che lo sviluppo procede, le differenze si accentuano.

Le diverse parti di organismi strettamente imparentati tra loro presentano andamenti di sviluppo analoghi.

La biochimica comparata è lo studio comparato a livello molecolare dei diversi organismi.

parentela più o meno stretta tra quegli organismi (figura 9.9). Soprattutto nei primi stadi dello sviluppo embrionale, non è facile in alcuni casi distinguere l'embrione di un organismo da quello di un altro, ad esempio distinguere un embrione di pecora da un embrione di mucca; ciò viene considerato una prova di stretta parentela tra i due organismi. Quanto più simili tra loro sono gli embrioni e l'andamento del loro sviluppo, tanto più stretta è considerata quella parentela. Nell'esempio fatto della pecora e della mucca si ritiene che esse abbiano ereditato da un comune antenato lo stesso schema di base dell'organismo, e di conseguenza anche i molti punti comuni del loro sviluppo embrionale, pur se poi ciascuno di questi due animali ha seguito un proprio cammino evolutivo, come risulta dalle differenze che si riscontrano nei successivi stadi dello sviluppo embrionale.

Un raffronto tra gli organismi può essere fatto anche a livello molecolare. La **biochimica comparata** fornisce anch'essa argomenti a favore dell'evoluzione. Ad esempio, un confronto tra la composizione dell'emoglobina umana e quella dell'emoglobina dello scimpanzé permette di constatare che esistono tra queste due emoglobine notevoli somiglianze, molto maggiori di quelle che esistono ad esempio tra l'emoglobina umana e l'emoglobina di un cane o tra l'emoglobina di un cane e quella di un lombrico. Anche in questo caso si ritiene che una maggiore somiglianza rispecchi una più stretta parentela tra gli organismi: l'uomo è cioè più affine, biologicamente, allo scimpanzé che al cane. Si può pertanto supporre che l'antenato comune tra uomo e scimpanzé sia meno lontano nel tempo che l'antenato comune tra uomo e cane. Si può parlare, in senso lato, di strutture omologhe anche a livello molecolare: le attuali diversità tra le emoglobine (e lo stesso discorso si può fare per molti altri composti biologici) non sarebbero altro che il risultato di diversi cammini evolutivi a partire da una stessa struttura molecolare posseduta da un lontano antenato.

9.5 Argomenti a favore apportati dalla genetica

Argomenti a favore dell'evoluzione sono stati apportati anche dalla genetica. Sappiamo che diverse cause, alcune delle quali note e altre ancora ignote, provocano mutazioni (§ 8.10). Inoltre, i cromosomi possono subire alterazioni durante i processi della mitosi e della meiosi. Le mutazioni di alleli già esistenti possono portare alla comparsa di nuovi alleli, mentre il rimescolamento e la ricombinazione dei

La genetica spiega a che cosa si deve il modificarsi degli organismi.



geni durante la meiosi porta a nuove combinazioni. Compaiono così nuovi genotipi che possono dare origine a nuovi fenotipi.

Esistono perciò delle cause naturali di cambiamenti negli organismi: le mutazioni e le ricombinazioni genetiche sono tra i principali fattori apportatori di variazioni. *Mutazioni e ricombinazioni genetiche sono ritenute la «materia prima» dell'evoluzione.* È lecito supporre che gli stessi fenomeni che osserviamo oggi si siano verificati anche in passato e che pertanto, nella lunga storia della vita sulla Terra, si sia verificata una graduale variazione dell'informazione genetica.

Di fatto, l'uomo si è largamente servito per migliaia di anni di questa possibilità di modificare l'informazione genetica; nelle pratiche agricole e nell'allevamento degli animali ha realizzato, senza renderse ne conto, una sorta di evoluzione. L'ottenimento di cereali da coltura, come il grano e il mais, a partire da piante selvatiche con caratteristiche di partenza ben diverse è sostanzialmente un esempio di evoluzione guidata dall'uomo, che, selezionando e incrociando tra loro esemplari che presentavano i caratteri per lui più utili, ha fatto sì che tali caratteri si trasmettessero affermandosi sempre più di generazione in generazione. Pratiche del genere, che prendono il nome di **incroci selettivi**, sono state applicate (e sono tuttora applicate) sia per piante alimentari che per piante ornamentali.

Tecniche simili sono impiegate anche nell'allevamento di animali domestici, quali cani, gatti, bovini e cavalli. Tutti questi animali discendono da antenati selvatici; una prova della loro evoluzione è il grandissimo numero di varietà oggi esistenti derivate dall'applicazione sistematica di incroci selettivi.

Figura 9.10 Nel caso di molte piante si sono effettuati incroci selettivi per (a) ottenerne frutti migliori o, anche, per (b) scopi ornamentali.

Le mutazioni e le ricombinazioni genetiche sono fonte di variazioni nelle popolazioni di organismi.

Gli incroci selettivi praticati dall'uomo su piante e animali sono un esempio di evoluzione pilotata dall'uomo.

L'EVOLUZIONE: TENTATIVI DI SPIEGAZIONE

9.6 L'ipotesi di Lamarck

Tutti i biologi sono convinti della realtà dell'evoluzione. I problemi nascono quando si tratta di spiegare *come* l'evoluzione avviene.

Nel 1809, un naturalista francese, Jean Baptiste de Lamarck (1774-1829), pubblicò un'opera dal titolo *Philosophie zoologique*. Le idee ivi espresse sull'evoluzione sono note come **lamarckismo**. Egli avanzò una sua spiegazione circa il meccanismo di formazione degli adattamenti che si osservano negli esseri viventi.

Tale spiegazione si basava fondamentalmente su due ipotesi. La prima era la cosiddetta **legge dell'uso e del non-uso**. Secondo Lamarck, un organismo poteva modificare nel corso della propria vita certe caratteristiche del suo corpo; egli pensava, ad esempio, che, mediante un uso accentuato di certe parti del corpo, un animale potesse svilupparle e perfezionarle sempre più, per meglio rispondere alle esigenze dell'ambiente. E, viceversa, in conseguenza della loro non utilizzazione, certe parti del corpo potevano regredire e via via

Lamarck era convinto che gli organismi potessero acquisire o perdere certe caratteristiche mediante l'uso e, rispettivamente, il non uso di certe parti del loro corpo.

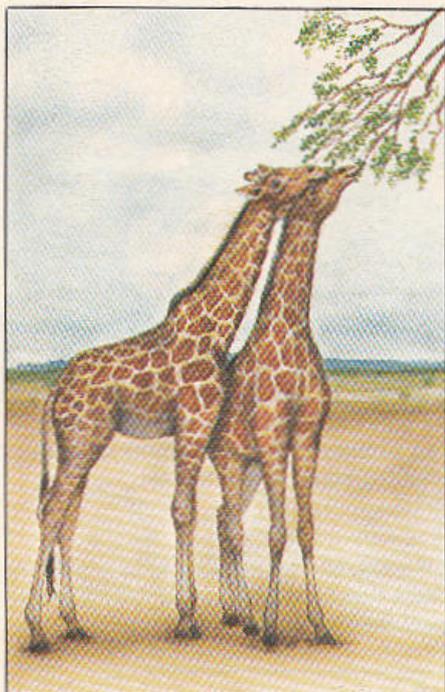


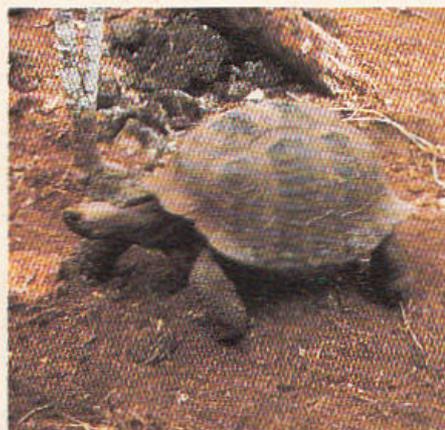
Figura 9.11 Lamarck avrebbe spiegato l'evoluzione del lungo collo della giraffa dicendo che, generazione dopo generazione, vi erano individui che, stirando il collo verso l'alto, ne provocavano un certo allungamento. Il carattere così acquisito sarebbe stato trasmesso alla prole.

Lamarck era anche convinto che i caratteri acquisiti da un individuo nel corso della sua vita potessero essere trasmessi alla prole.

La trasmissione alla prole dei caratteri acquisiti richiederebbe che avvenissero cambiamenti genetici nelle cellule somatiche e che tali cambiamenti potessero essere trasmessi ai gameti. La genetica ha dimostrato che ciò non è possibile.

L'osservazione degli organismi attualmente esistenti e dei fossili convinse Darwin che, nel tempo, gli organismi che popolano la Terra si modificano.

Figura 9.12 La tartaruga gigante è uno degli animali che si trovano solo nelle Isole Galapagos.



scomparire. La modificazione che sarebbe così avvenuta nel corso della vita dell'individuo fu chiamata da Lamarck **carattere acquisito**.

La seconda ipotesi di Lamarck era l'**ereditarietà dei caratteri acquisiti**, ossia il fatto che ogni carattere acquisito dall'individuo nella sua vita potesse essere trasmesso alla prole e, quindi, alle successive generazioni. Si sarebbero così formati a poco a poco, si sarebbero cioè evoluti, gruppi di organismi con migliori possibilità di sopravvivere nell'ambiente.

Un esempio classico usato per illustrare il pensiero di Lamarck sul meccanismo dell'evoluzione è quello del perché le giraffe hanno il collo così lungo. Lamarck riteneva che le giraffe dal collo lungo fossero derivate per evoluzione da giraffe che avevano il collo corto. La cosa si sarebbe svolta nel modo seguente: le giraffe originarie, dal collo corto, si alimentavano brucando l'erba; quando però questa cominciò a scarseggiare (ecco il cambiamento dell'ambiente), l'unica fonte di cibo finirono per essere le foglie degli alberi. Nello sforzo di raggiungerle, le giraffe dal collo corto stiravano continuamente il collo verso l'alto e, così facendo, ne determinarono un certo allungamento. Con la riproduzione, il carattere acquisito sarebbe stato trasmesso alla prole, che avrebbe così avuto un collo un po' più lungo di quello posseduto inizialmente dai genitori. In tal modo, a poco a poco, generazione dopo generazione, si sarebbe avuta l'evoluzione che avrebbe portato alle attuali giraffe col collo lungo.

Le ipotesi di Lamarck sono criticabili sotto molti aspetti. La sua legge dell'uso e del non-uso è del tutto infondata. Così come è stata da lui formulata, sembra implicare uno sforzo cosciente dell'individuo per raggiungere un obiettivo, sforzo che gli animali, in genere, non sono in grado di compiere (solo l'uomo è capace, in misura limitata, di sviluppare coscientemente una parte del corpo, come i muscoli, con un costante esercizio volontario). Inoltre, un simile processo di adattamento è del tutto impensabile nel caso delle piante.

Un'altra critica riguarda la possibilità di trasmettere ai discendenti i caratteri acquisiti. Ciò infatti richiederebbe che le modificazioni delle cellule somatiche possano essere ereditate. In realtà, come sappiamo, le informazioni passano di generazione in generazione attraverso i gameti (§ 6.8), mentre non esiste alcun flusso di informazioni dalle cellule somatiche ai gameti, e pertanto le modificazioni che avvengono nelle cellule somatiche non vengono trasmesse alle successive generazioni. Se fosse valida la legge dell'ereditarietà dei caratteri acquisiti, una persona che, con l'esercizio fisico, fosse riuscita a sviluppare notevolmente i propri muscoli, dovrebbe avere figli anch'essi con muscoli molto sviluppati, il che non avviene.

9.7 La spiegazione di Darwin: la selezione naturale

Charles Darwin (1809-1882) fu assunto nel 1831 come naturalista di bordo della *Beagle*, una nave che l'Ammiragliato britannico aveva destinato a compiere un viaggio di ricognizione attorno al mondo, che durò cinque anni. Egli accettò molto volentieri l'opportunità che così gli si offriva di poter osservare organismi viventi in ambienti diversissimi tra loro, spesso ancora incontaminati dall'uomo.

Darwin fu particolarmente colpito da molte scoperte che fece durante il viaggio e che suscitarono in lui interrogativi simili a quelli che ci siamo posti all'inizio del capitolo. I resti fossili gli apparvero come prove del fatto che, nel tempo, gli organismi che popolano la Terra si modificano. Inoltre, i diversi organismi attualmente viventi recano spesso in sé elementi che suggeriscono l'esistenza di parentele più o meno strette degli uni con gli altri.

Particolarmente rivelatrici furono per Darwin le Isole Galapagos,

situate a circa 1000 km dalla costa occidentale del Sudamerica, all'altezza dell'equatore. Ivi poté osservare molte forme di vita, tra cui testuggini giganti e iguane marine (una sorta di grandi lucertole acquatiche), che erano esclusive di quelle isole (figura 9.12). Nonostante le loro singolari caratteristiche, Darwin notò in questi animali delle somiglianze con specie più comuni che lo convinsero del fatto che esisteva un legame di parentela tra i rettili giganti delle Galapagos e le più comuni testuggini e lucertole. Al termine del viaggio, Darwin era ormai un convinto assertore dell'evoluzione; non era però ancora in grado di proporre alcuna spiegazione.

Nel corso dei successivi venti anni, si fecero strada nella mente di Darwin due nuove idee che sembravano fornire una chiave di interpretazione di alcune delle osservazioni da lui fatte in quel lungo viaggio. La prima idea gli venne dalla lettura di un saggio dell'economista Thomas Malthus sull'aumento della popolazione umana, in cui si affermava che questa cresceva con un ritmo maggiore di quello con cui cresceva la produzione alimentare (figura 9.13). Estendendo i concetti di Malthus alle popolazioni di altri organismi, Darwin si rese conto del fatto che ovunque, in natura, vi è una sovrapproduzione di nuovi individui, dei quali però solo una piccola parte giunge fino a maturità e si riproduce. Darwin ne concluse che esiste una sorta di *lotta per l'esistenza* tra gli organismi, che può manifestarsi sotto diverse forme: può presentarsi, ad esempio, come competizione per procurarsi il cibo, come maggiore o minore capacità di sfuggire ai predatori, come abilità nel trovare un rifugio. Il risultato è che solo una piccola parte dei nuovi nati riesce a superare le varie difficoltà e a sopravvivere fino a riprodursi.

La seconda idea venne a Darwin vedendo ciò che facevano gli allevatori. Questi riuscivano a «creare» piante e animali con caratteristiche particolarmente desiderate scegliendo genitori che già possedevano in certa misura quelle caratteristiche. Darwin sapeva che in ogni popolazione di organismi esistono differenze tra i singoli componenti della popolazione e che tali differenze possono essere trasmesse ai discendenti. Ad esempio, il colore, le dimensioni, il numero dei semi possono essere diversi da esemplare a esemplare di una stessa specie di piante e la quantità di latte prodotto varia da mucca a mucca. Gli allevatori non fanno altro che selezionare i genitori con le caratteristiche volute e ottenere così un gran numero di discendenti con quegli stessi caratteri, mentre, al contrario, non utilizzano per la riproduzione gli esemplari che presentano caratteri non desiderati. Darwin si chiese se, per caso, in natura non fosse all'opera qualcosa di analogo alla *selezione artificiale* praticata dagli allevatori.

Si andò così delineando nella mente di Darwin una spiegazione che gli sembrò abbastanza convincente: tra i diversi organismi di una

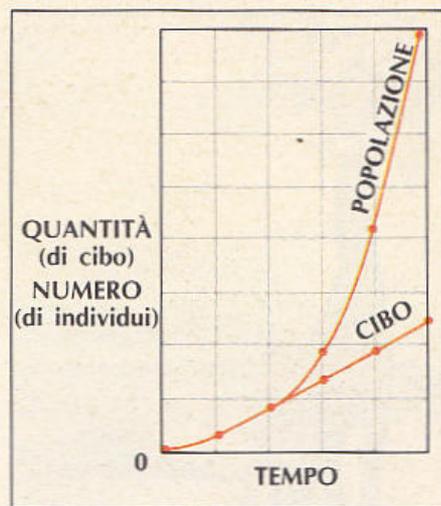
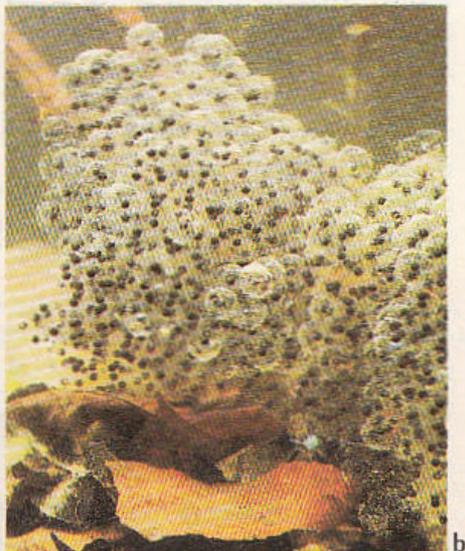


Figura 9.13 Malthus sosteneva che la popolazione umana tende a crescere più rapidamente di quanto aumenti, a parità di tempo, la disponibilità di cibo; ne conseguirebbe una lotta per l'esistenza.

La constatazione che in natura si ha una sovrapproduzione di nuovi individui, molti dei quali non sopravvivono, portò Darwin a concludere che in natura è in atto una lotta per l'esistenza.

In ogni popolazione di organismi esistono variazioni e queste possono essere trasmesse alle generazioni successive.

Figura 9.14 Esiste negli organismi un'ampia capacità riproduttiva. (a) Un dente di leone (o tarassaco) produce ogni anno centinaia di semi. (b) Le rane depongono e fecondano grandi ammassi di uova. (c) Un frutto come questo melone contiene molti semi. Anche se, in questi e molti altri casi, c'è un gran numero di semi prodotti o di uova fecondate, solo pochi individui riusciranno a svilupparsi e a sopravvivere fino alla maturità.



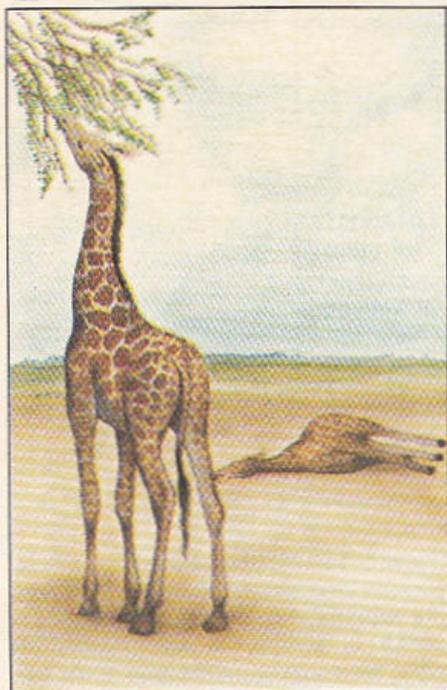


Figura 9.15 Darwin avrebbe spiegato l'evoluzione del lungo collo della girafa in base al fatto che differenti lunghezze di collo erano già presenti nella popolazione originaria. Solo gli individui con il collo lungo sarebbero stati avvantaggiati al momento della modifica ambientale e sarebbero quindi sopravvissuti.

Per effetto della selezione naturale gli organismi più adatti lasciano, rispetto agli altri, un maggior numero di discendenti.

L'evoluzione è il risultato dell'interazione tra organismi e ambiente.

Mentre Lamarck riteneva che le variazioni comincino a comparire dopo che l'ambiente si è modificato, Darwin riteneva che esse siano presenti già prima della modificazione ambientale.

Figura 9.16 In che cosa differiscono la spiegazione data da Lamarck e quella data da Darwin circa il modo in cui si affermerebbero certi caratteri degli esseri viventi?

stessa specie esistono delle differenze; gli organismi con caratteristiche che li rendono più adatti all'ambiente avranno maggiori probabilità di sopravvivere e di lasciare una più numerosa discendenza, la quale, avendo ereditato quelle caratteristiche, sarà anch'essa più adatta all'ambiente. Gli organismi che hanno invece caratteristiche che li rendono meno adatti all'ambiente avranno poca o nessuna discendenza: sono gli «sconfitti» nella lotta per l'esistenza. Tutto ciò fu riassunto da Darwin nel concetto di **sopravvivenza del più adatto**: solo gli individui più adatti all'ambiente sopravvivono e si riproducono, i meno adatti muoiono prima o producono meno prole. In ciò appunto consisterebbe, secondo Darwin, la **selezione naturale**. Pertanto, secondo la teoria elaborata da Darwin, *l'evoluzione è il risultato di un'interazione tra organismi e ambiente*. Possiamo riassumere così i punti principali del ragionamento di Darwin:

Prima osservazione. C'è in natura una tendenza alla sovrapproduzione di organismi.

Seconda osservazione. Le risorse dell'ambiente naturale sono limitate e molti degli organismi non sopravvivono.

Conclusione. Esiste una sorta di lotta per l'esistenza tra gli organismi per la quale solo una piccola parte dei nuovi nati sopravvive e si riproduce.

Terza osservazione. Esistono delle diversità di caratteristiche tra gli individui di una stessa popolazione.

Quarta osservazione. Le differenze di caratteristiche sono trasmissibili alla prole.

Conclusione. Gli individui con caratteristiche che li rendono adatti all'ambiente sopravvivono e, quindi, quelle caratteristiche tendono a essere trasmesse alla prole. Le caratteristiche svantaggiose tendono invece a essere eliminate in quanto gli individui che ne sono portatori vengono eliminati. È la selezione naturale. Poiché questo processo di selezione naturale continua per molte generazioni, la popolazione nel suo complesso diventa più adatta all'ambiente in cui vive.

Una differenza fondamentale tra la spiegazione dell'evoluzione proposta da Darwin rispetto a quella proposta da Lamarck riguarda il momento in cui va collocata la variazione biologica. Lamarck riteneva che l'organismo sviluppi o perda determinate strutture *dopo* che l'ambiente si è modificato. Darwin invece riteneva che delle variazioni siano già presenti in una popolazione *prima* che l'ambiente si modifichi; così, quando l'ambiente si modifica, può accadere che alcuni componenti della popolazione, perché già in possesso dell'adattamento necessario, riescano a sopravvivere. Inoltre, mentre Lamarck ragionava in termini di *organismi singoli*, Darwin ragionava in termini di *popolazioni* (figura 9.16).

Ai tempi di Darwin, la genetica non aveva ancora fatto la sua comparsa sulla scena. Non si sapeva ancora che esistono fenomeni, come la mutazione e la ricombinazione genetica, che possono essere apportatori di variazioni tra i diversi componenti di una popolazione. Vedremo nel prossimo capitolo il contributo che la genetica ha dato, e tuttora sta dando, alla ricerca di una spiegazione dei meccanismi che sono alla base dei processi evolutivi.





Ogni organismo è adattato al particolare ambiente in cui vive. Un adattamento è qualsiasi carattere che accresce le probabilità per un organismo di sopravvivere e di riprodursi. Questa farfallina dai colori vivaci è una zigena. Non è raro vederla in estate posata su certi fiori ed è facile catturarla con la mano perché è piuttosto maldestra nel volo.

La zigena ha un sapore disgustoso, per cui gli uccelli imparano presto a riconoscerla e a evitarla. La livrea dai colori vivaci è pertanto un adattamento che favorisce la sopravvivenza di questo insetto nel suo ambiente. Quali particolari adattamenti favoriscono la nostra sopravvivenza nel nostro ambiente?

Il pool genico di una popolazione evolve.

Gli adattamenti favoriscono la sopravvivenza e la possibilità di riproduzione degli organismi.

Figura 10.1 (a) Le strisce del manto della tigre la mimetizzano perché ne frantumano la sagoma, rendendola meno distinguibile. Questo adattamento favorisce la tigre nell'azione di cattura della preda. (b) Il manto della lepre variabile, che è bruno in estate, diventa bianco in inverno e la mimetizza con l'ambiente circostante. Si tratta di un adattamento che permette a questo animale di sfuggire più facilmente ai suoi predatori.



La teoria dell'evoluzione elaborata da Darwin si propone di spiegare sia le modificazioni delle forme di vita che si sono avute nella storia della Terra, sia le differenze che si osservano all'interno di un gruppo di organismi della stessa specie; essa intende anche fornire una spiegazione del sorgere di nuovi tipi di organismi. Che una popolazione di organismi si evolva è un punto cruciale del pensiero darwiniano. Una **popolazione** è un gruppo di organismi della stessa specie che si incrociano, o potenzialmente possono incrociarsi, tra loro. Lo studio della genetica delle popolazioni ha accresciuto le nostre conoscenze in materia: mentre l'individuo nasce, vive e muore con un suo ben determinato patrimonio genetico, in una popolazione c'è sempre una certa varietà di geni. L'insieme di tutti i geni di una popolazione viene detto **pool genico**; esso costituisce una specie di «fondo comune» di informazione genetica che viene trasmesso alla generazione successiva. *Ciò che si evolve è il pool genico*: il soggetto delle modificazioni è cioè il complesso degli alleli che controllano i diversi caratteri dei componenti della popolazione.

L'ADATTAMENTO

10.1 Origine degli adattamenti

Un **adattamento** è un carattere, o un insieme di caratteri, *acquisito ereditariamente*, che accresce le possibilità di sopravvivenza e di riproduzione di un organismo. La fonte di nuovi adattamenti sono le modificazioni che sorgono in una popolazione; quelli tra i nuovi caratteri così originatisi che favoriscono la sopravvivenza verranno selezionati favorevolmente e, di generazione in generazione, si diffonderanno sempre più nella popolazione perché gli individui che li possiedono hanno maggiori probabilità di riprodursi e di trasmetterli ai discendenti (§ 9.7). Quando, infine, un carattere nuovo, vantaggioso, è ormai posseduto da tutti i componenti della popolazione, esso può essere considerato un adattamento.

Un certo carattere viene considerato un adattamento solo se favorisce sia le possibilità di sopravvivenza che quelle di riproduzione in quel determinato ambiente. Ad esempio, il possedere branchie (che, per i pesci, è un adattamento) sarebbe del tutto inutile per un animale che vive sulla terraferma, in quanto non ne favorirebbe in alcun modo la sopravvivenza né la capacità di riprodursi; le branchie non sarebbero quindi un adattamento per un animale che vivesse esclusivamente sulla terraferma.

Ben difficilmente gli adattamenti nascono «di punto in bianco», in conseguenza di una singola modifica nel messaggio genetico. La selezione naturale opera solo su ciò che già c'è; essa di per sé non «inventa» nulla: *può solo agire su ciò che è già presente*.

Come un pezzo di argilla può essere modellato in diverse forme, le caratteristiche di una popolazione possono essere modificate dalla selezione naturale, con la differenza che, in questo caso, non esiste una forma che si possa considerare quella definitiva. Se avviene un cambiamento genetico che accresce le probabilità di sopravvivenza e di riproduzione, allora, per selezione, quel nuovo gene verrà trasmesso alle successive generazioni. Una popolazione, pertanto, si modifica a mano a mano che nuovi geni si diffondono in essa.



10.2 L'osservazione dell'evolversi di adattamenti

Non sempre, per evolversi, un adattamento richiede tempi lunghi. Un esempio ormai classico è quello relativo a un fatto che fu osservato per la prima volta attorno al 1850, in Inghilterra. A quel tempo, come è documentato anche dalle raccolte entomologiche, quasi tutte le farfalle della specie *Biston betularia* (o «geometra delle betulle») erano di colore chiaro; quelle di colore scuro per la presenza di un pigmento, la **melanina**, dovuto a un allele mutante, erano piuttosto rare. Questo dato si spiega tenendo conto del fatto che, durante il giorno, queste farfalle se ne stanno immobili sui tronchi di alberi, come le betulle. A quei tempi, in quelle località i tronchi delle betulle erano, com'è normale, chiari, e quindi le farfalle di colore chiaro si mimetizzavano bene con l'ambiente: gli uccelli che davano loro la caccia avevano maggior difficoltà a individuare sui tronchi le farfalle chiare, mentre scorgevano facilmente, e catturavano quindi di preferenza, quelle scure (figura 10.2a). Le farfalle chiare possedevano cioè un adattamento vantaggioso e, avendo di conseguenza maggiori probabilità di sopravvivere, davano origine a un maggior numero di discendenti.

Con lo sviluppo dell'industrializzazione in Inghilterra i tronchi chiari divennero presto scuri a causa della fuliggine e della polvere di carbone che vi si depositava. Ne risultarono allora avvantaggiate le *Biston betularia* di colore scuro che, sui tronchi scuri, risultavano meno visibili, a differenza di quelle di colore chiaro che, risultando ora più visibili (figura 10.2b), divennero più facile preda degli uccelli. Tutto ciò ha fatto sì che, nel corso degli ultimi cento anni, riguardo a questo carattere, il pool genico di quella popolazione di farfalle sia via via cambiato, al punto che oggi oltre il 90% delle *Biston betularia* di quelle regioni sono scure. Al fenomeno è stato dato il nome di **melanismo industriale**. Esso è una prova che l'evoluzione è il risultato di un'interazione tra organismi e ambiente.

Ma quando comparve per la prima volta l'allele mutante per il colore scuro delle *Biston betularia*? Per quanto ne sappiamo, esso potrebbe essere comparso molto tempo prima di quella modificazione ambientale. Si danno infatti mutazioni, dette *neutre*, che, al momento della loro comparsa nel pool genico di una popolazione, non hanno effetto positivo né negativo sulla sopravvivenza e sulla riproduzione degli individui che ne sono portatori. Una mutazione di questo tipo può acquisire importanza anche molto tempo dopo, in occasione di un certo cambiamento ambientale. Probabilmente, qualcosa del genere è avvenuto anche nel caso della *Biston betularia*.

Figura 10.2 (a) Prima dell'industrializzazione, in certe zone dell'Inghilterra, i tronchi delle betulle avevano il loro normale colore chiaro. Pertanto, quando erano posate su di essi, le *Biston betularia* di colore chiaro erano difficilmente individuabili dagli uccelli, mentre quelle di colore scuro risaltavano. (b) Dopo l'industrializzazione, la corteccia dei tronchi di betulla si sporcò e divenne scura. In quelle condizioni furono le *Biston betularia* scure che divennero meno visibili, mentre divennero più facilmente individuabili quelle chiare.

Il fenomeno del melanismo industriale è una prova sia dell'esistenza di un rapporto tra organismi e ambiente, sia del ruolo che la selezione naturale ha nell'evoluzione.

In una popolazione possono accumularsi mutazioni neutre; queste possono risultare determinanti solo se nell'ambiente si verificano certi cambiamenti.



Figura 10.3 Gli adattamenti si possono grosso modo distinguere in adattamenti morfologici, fisiologici e comportamentali. (a) Il becco aguzzo e la lunga lingua del picchio sono esempi di adattamenti morfologici. (b) La secrezione di veleno da parte di un serpente velenoso è un esempio di adattamento fisiologico. (c) Il volgersi di certe parti di una pianta verso la luce si può considerare un adattamento comportamentale.

Gli adattamenti morfologici riguardano la forma e la struttura degli organismi.

Gli adattamenti fisiologici riguardano le esigenze e le caratteristiche metaboliche degli organismi.

Gli adattamenti comportamentali riguardano le reazioni degli organismi nei confronti dell'ambiente.

10.3 Tipi di adattamento

Tutti gli organismi che attualmente popolano la Terra appaiono ben adattati al loro ambiente: se non lo fossero, infatti, non potrebbero sopravvivere, né riprodursi. I diversi adattamenti possono essere suddivisi sommariamente in tre categorie: gli adattamenti di tipo morfologico, quelli di tipo fisiologico e quelli di tipo comportamentale.

- **Adattamenti morfologici:** sono quelli che riguardano la forma e la struttura degli organismi, ossia la loro anatomia. Sono indubbiamente gli adattamenti più facili da riconoscere. Ne sono esempi la struttura delle ossa della mano, i becchi degli uccelli e lo zoccolo del cavallo. Sapreste dire come ciascuna di queste strutture è adattata alla funzione che è chiamata a svolgere?

Molti adattamenti morfologici presenti negli animali sono finalizzati al procacciamento del cibo. Ad esempio, la lingua del picchio è sottile, lunga e protrattile, idonea a penetrare nelle fessure che con il becco il picchio apre nella corteccia degli alberi e a raggiungere e catturare le larve di insetti che vivono sotto la corteccia.

Una lingua specializzata non è l'unico tipo di adattamento finalizzato alla conquista del cibo. Ad esempio, certi pesci di profondità possiedono pinne modificate, dotate di parti luminescenti che, attirando le prede, ne facilitano la cattura.

- **Adattamenti fisiologici:** sono quelli che riguardano le esigenze e le caratteristiche metaboliche degli organismi. Ne sono esempi negli animali gli enzimi necessari alla digestione, i meccanismi di coagulazione del sangue e quelli di contrazione muscolare, la secrezione di veleno da parte di certi serpenti. Adattamenti fisiologici sono anche il materiale proteico di cui è fatta la tela di un ragno e l'enzima che consente allo spermatozoo di aprirsi un varco nella parete della cellula uovo per fecondarla.

- **Adattamenti comportamentali:** sono quelli che riguardano le reazioni degli organismi nei confronti dell'ambiente. Ne sono esempi le migrazioni degli uccelli, la raccolta e l'accumulo di nocchie da parte degli scoiattoli, la capacità di un cane da caccia di seguire una pista: si tratta di adattamenti legati alla presenza di un sistema nervoso abbastanza sviluppato. Anche le piante presentano adattamenti che si possono definire comportamentali, che sono controllati da ormoni: ne è un esempio il volgersi verso la luce di certe parti delle piante.

Naturalmente, questa classificazione degli adattamenti è piuttosto artificiale. In effetti, un certo tipo di adattamento dipende in genere dagli altri; ad esempio, l'adattamento comportamentale della migrazione negli uccelli è reso possibile dall'esistenza di opportuni adattamenti morfologici, come le ali e le penne, le ossa spugnose e leggere, i potenti muscoli pettorali, e da adattamenti fisiologici, come la coordinazione tra nervi e muscoli, e i processi metabolici per l'utilizzazione dell'energia.