



SOLOMON • MARTIN • MARTIN • BERG

Evoluzione e Biodiversità

VII edizione



EVOLUZIONE E BIODIVERSITÀ

SETTIMA EDIZIONE

ELDRA P. SOLOMON

*University of South Florida, Tampa
Hillsborough Community College*

CHARLES E. MARTIN

Rutgers University

DIANA W. MARTIN

Rutgers University

LINDA R. BERG

*University of Maryland, College Park
St. Petersburg College*

Edizione italiana a cura di:

CHIARA DONATI

Università degli Studi di Firenze

CARMEN FORMISANO

Università degli Studi di Napoli Federico II

CARLA GENTILE

Università degli Studi di Palermo

DANIELA RIGANO

Università degli Studi di Napoli Federico II

GIORGIO SCARÌ

Università degli Studi di Milano

VALERIA SORRENTI

Università degli Studi di Catania



Titolo originale:

Eldra P. Solomon, Charles E. Martin, Diana W. Martin, Linda R. Berg

Biology – X edizione

Copyright © 2015, 2011, Cengage Learning

Evoluzione e Biodiversità – VII edizione

Copyright © 2017 EdiSES s.r.l. – Napoli

(estratto da Biologia VII edizione, Copyright © 2017, EdiSES s.r.l. – Napoli)

9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
2022 2021 2020 2019 2018 2017

Le cifre sulla destra indicano il numero e l'anno dell'ultima ristampa effettuata

*A norma di legge è vietata la riproduzione,
anche parziale, del presente volume o parte
di esso con qualsiasi mezzo.*

L'Editore

Fotocomposizione:

Grafic&Design – Napoli

Stampato presso la:

Tipolitografia Petruzzi S.r.l.

Via Venturelli, 7/B

06012 Città di Castello (PG)

per conto della

EdiSES S.r.l. – Piazza Dante, 89 – Napoli

<http://www.edises.it> e-mail: info@edises.it

ISBN 978-88-7959-947-4

Sommario

PARTE QUATTRO: La continuità della vita: l'evoluzione

- 18 Introduzione al concetto darwiniano di evoluzione **381**
- 19 Cambiamenti evolutivi nelle popolazioni **402**
- 20 Speciazione e macroevoluzione **417**
- 21 Le origini e la storia evolutiva della vita **438**
- 22 L'evoluzione dei primati **457**

PARTE CINQUE: La diversità della vita

- 23 Comprendere la diversità: la sistematica **474**
- 24 Virus e agenti subvirali **495**
- 25 Batteri e archeobatteri **511**
- 26 Protisti **533**
- 27 Le piante senza semi **557**
- 28 Le piante con semi **578**
- 29 Funghi **597**
- 30 Un'introduzione alla diversità animale **622**
- 31 Spugne, cnidari, ctenofori e protosomi **635**
- 32 Deuterostomi **670**

Risposte **R-1**

Indice analitico **I-1**

Introduzione al concetto darwiniano di evoluzione

18

La diversità biologica rappresentata dai milioni di specie che attualmente vivono sul nostro pianeta potrebbe essersi originata a partire da un singolo progenitore nel corso della lunga storia della Terra. Così, organismi che sono radicalmente diversi sono imparentati lontanamente gli uni agli altri e sono legati, attraverso numerosi antenati intermedi, fino a un unico progenitore comune. Il naturalista britannico Charles Darwin (1809-1882) sviluppò un meccanismo notevolmente semplice e verificabile scientificamente per spiegare questo fenomeno. Egli sosteneva in modo persuasivo che tutte le specie che esistono oggi, così come quelle ormai estinte, derivano da specie più primitive in seguito a un processo di *divergenza* (separazione di linee evolutive diverse) graduale, o *evoluzione*.

Il concetto di evoluzione è la pietra miliare della biologia, dal momento che esso lega tutti i campi delle scienze biologiche in un unico corpo di conoscenze. Come disse l'evoluzionista T. Dobzhansky "Niente ha significato in biologia se non nell'ottica evoluzionistica".¹ I biologi tentano di interpretare sia la sorprendente varietà che le similarità fondamentali degli organismi nel contesto dell'evoluzione. In questo modo, l'evoluzione consente ai biologi di paragonare tratti tra organismi in apparenza diversi, come batteri, balene, gigli e tenie. Esempi di discipline che si interessano di evoluzione sono l'etologia, la biologia dello sviluppo, la genetica, l'ecologia evolutiva, la sistematica e l'evoluzione molecolare.

Questo capitolo tratta di Charles Darwin e dello sviluppo della sua teoria dell'evoluzione per selezione naturale. Inoltre, presenta diverse prove a sostegno dell'evoluzione, inclusi fossili, biogeografia, anatomia comparata, biologia molecolare, biologia dello sviluppo, e studi sperimentali dei cambiamenti evolutivi in atto, sia in laboratorio che in natura.



Science Source

Charles Darwin. Questo ritratto è stato fatto subito dopo il suo ritorno dal viaggio intorno al mondo.

CONCETTI CHIAVE

- 18.1** L'evoluzione consiste nell'accumulo di cambiamenti ereditabili all'interno di una popolazione nel corso del tempo.
- 18.2** Idee relative all'evoluzione sono nate molto prima dei tempi in cui è vissuto Darwin.
- 18.3** La teoria scientifica dell'evoluzione per selezione naturale spiega come le forze naturali esistenti nell'ambiente possano causare i processi evolutivi. La selezione naturale agisce perché individui con tratti che li rendono meglio adatti alle condizioni locali hanno più possibilità di sopravvivere e generare progenie degli individui che sono meno adatti. La sintesi moderna combina la teoria darwiniana con la genetica.
- 18.4** Le prove che l'evoluzione si è verificata e continua a verificarsi sono schiacciati. Queste includono i fossili, la biogeografia, l'anatomia comparata, la biologia molecolare, la biologia dello sviluppo, e gli esperimenti di evoluzione condotti su animali vivi.

¹ Dobzhansky, T. "Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution," *American Biology Teacher*, Vol. 35, No. 125, pp. 125-129 (1973).

18.1 CHE COS'È L'EVOLUZIONE?

OBBIETTIVO DI APPRENDIMENTO

1 Dare una definizione di *evoluzione*.

Per iniziare, possiamo definire l'**evoluzione** come l'accumulo, nel corso del tempo, di cambiamenti genetici all'interno di popolazioni. Una **popolazione** è un gruppo di individui di una data specie che vive nella stessa area geografica nello stesso momento. Come la definizione di *gene* è cambiata nel corso del vostro studio della genetica, vedrete che anche la definizione di evoluzione diverrà più precisa in questo capitolo.

Con il termine *evoluzione* non ci si riferisce a cambiamenti che avvengono in un individuo durante la sua vita, ma a cambiamenti nelle caratteristiche di popolazioni nel corso di numerose generazioni. Questi cambiamenti possono essere così modesti da essere difficili da individuare o così macroscopici che la popolazione differisce enormemente da quella ancestrale.

È anche possibile che due popolazioni possano divergere così tanto che ci si riferisca a esse come a specie diverse. Il concetto di specie è sviluppato in maniera estesa in seguito nel testo. Per adesso, una semplice definizione operativa indica una **specie** come un gruppo di organismi con struttura, funzione e comportamento simili, che sono capaci di accoppiarsi.

Quindi, l'evoluzione ha due prospettive principali – adattamenti a breve termine delle popolazioni (*microevoluzione*) e formazione a lungo termine di specie differenti da antenati comuni (*macroevoluzione*).

L'evoluzione ha anche importanti applicazioni pratiche. In agricoltura, per esempio, si deve affrontare il problema dell'evoluzione della resistenza ai pesticidi negli insetti e in altri organismi dannosi. Allo stesso modo, in medicina si affronta il problema di rispondere alla rapidità del potenziale evolutivo di batteri e virus patogeni (FIG. 18-1). (Cambiamenti evolutivi significativi si verificano in tempi brevi in insetti, batteri e altri organismi con cicli vitali brevi). La ricerca medica utilizza i principi dell'evoluzione per predire se è in atto una rapida evoluzione in ceppi di agenti influenzali, in modo da poter produrre il vaccino per l'influenza dell'anno successivo. Anche i ricercatori che si occupano dello sviluppo di strategie terapeutiche efficaci per l'AIDS devono conoscere l'evoluzione del virus che ne è responsabile (HIV), sia all'interno che tra gli organismi ospiti.

La gestione della conservazione delle specie rare e a rischio di estinzione utilizza i principi della genetica di popolazioni. La rapida evoluzione di batteri e funghi nei suoli contaminati è utilizzata nel **biotrattamento**, in cui i microrganismi sono utilizzati per ripulire i siti di accumulo di sostanze altamente nocive. L'evoluzione ha anche applicazioni che vanno oltre la biologia, come ad esempio certi programmi di computer che utilizzano algoritmi che mimano la selezione naturale nei sistemi biologici.

VERIFICA 18.1

- **COLLEGARE** In che modo la microevoluzione è correlata con la macroevoluzione?
- Gli individui si evolvono? Spiegare la risposta.

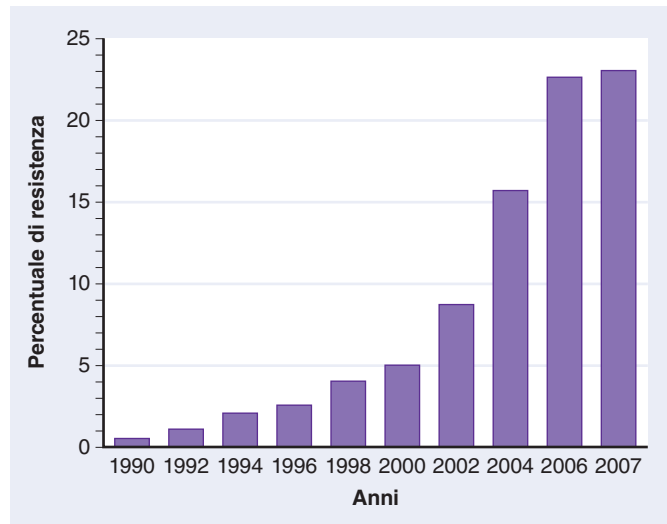


Figura 18-1 Evoluzione dell'antibiotico-resistenza alla ciprofloxacina in *Escherichia coli*

I dati riportati in figura mostrano un progressivo aumento della resistenza al trattamento antibiotico in pazienti con sangue o liquido cerebrospinale infettato da *E. coli*. I dati provengono da pazienti inglesi, gallesi e nord irlandesi e sono stati raccolti tra il 1997 e il 2000. (Fonte: Livermore, D. "Zeitgeist of Resistance". *The Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, Vol. 60, i59–i61, 2007. By permission of Oxford University Press).

18.2 I CONCETTI SULL'EVOLUZIONE PRIMA DI DARWIN

OBBIETTIVO DI APPRENDIMENTO

2 Discutere lo sviluppo storico della teoria dell'evoluzione.

Benché il nome di Darwin venga normalmente associato all'evoluzione, alcuni concetti in merito all'evoluzione risalgono a molti secoli prima di Darwin. Aristotele (384–322 a.C.) riconobbe l'evidenza di affinità naturali tra gli organismi. Questo lo condusse a classificare tutti gli esseri viventi a lui noti in una "Scala della Natura", che andava dagli organismi estremamente semplici ai più complessi. Concettualmente, immaginava gli organismi viventi come esseri imperfetti "che tendevano a raggiungere uno stato di maggior perfezione". Questo concetto è stato interpretato da alcuni storici del pensiero scientifico come il precursore della teoria dell'evoluzione, benché Aristotele fosse vago sulla natura di questo "movimento verso la perfezione" e per certo non propose che il processo evolutivo fosse guidato dalla selezione naturale. Inoltre, la moderna teoria evolutiva ora ammette che l'evoluzione non spinge al raggiungimento di stati di maggior perfezione, e neanche necessariamente verso una maggiore complessità.

Molto prima di Darwin, sono stati scoperti fossili inglobati nelle rocce. Alcuni di essi corrispondevano a parti di specie familiari, mentre altri erano fortemente dissimili da qualsiasi specie conosciuta. I fossili sono stati trovati spesso in contesti insoliti. Per esempio, fossili di invertebrati marini (animali marini privi di colonna vertebrale) sono stati trovati in rocce sedimentarie in alta montagna. Leonardo da Vinci (1452–1519) è stato tra i primi a interpretare correttamente il significato di questi ritrovamenti, come resti di animali esistenti in epoche precedenti e in seguito estinti.

Il naturalista francese Jean Baptiste de Lamarck (1744-1829) fu il primo scienziato a proporre che gli organismi vanno incontro a cambiamenti nel tempo come risultato di alcuni fenomeni naturali piuttosto che dell'intervento divino. Secondo Lamarck, un cambiamento ambientale poteva determinare un'alterazione nel comportamento di un organismo, che cominciava a usare di più alcuni organi o parti del corpo e di meno altri. Attraverso varie generazioni, un dato organo (o parte del corpo) sarebbe aumentato di dimensioni se usato molto, oppure si sarebbe rimpicciolito e sarebbe eventualmente sparito se usato poco. Egli pensò anche che gli organismi potessero trasmettere alla propria discendenza i caratteri acquisiti durante la loro vita. Per esempio, Lamarck ipotizzò che il lungo collo della giraffa si fosse evoluto quando gli antenati della giraffa, dotati di un collo corto, per nutrirsi delle foglie poste più in alto sugli alberi, cominciarono a stirare e quindi ad allungare il proprio collo. La prole di queste giraffe primitive ereditò quindi colli più lunghi, che subirono un ulteriore allungamento nel tempo. Questo processo, ripetuto per numerose generazioni, avrebbe dato luogo ai lunghi colli delle attuali giraffe. Egli pensava, inoltre, che tutte le forme viventi fossero pervase da una forza vitale che le spingeva a evolvere verso una maggiore complessità e "perfezione" nel tempo.

Il meccanismo evolutivo proposto da Lamarck era alquanto differente da quello proposto in seguito da Darwin. Tuttavia, l'ipotesi di Lamarck rimase una spiegazione ragionevole dell'evoluzione fino alla riscoperta delle basi dell'ereditarietà di Mendel agli inizi del XX secolo. A quel punto, le idee di Lamarck furono notevolmente screditate.

VERIFICA 18.2

- **COLLEGARE** In che modo la "scala della natura" di Aristotele è legata al primo pensiero evolutivista? In che cosa questo concetto differisce dalla moderna teoria evolutiva?
- **COLLEGARE** Quali erano le idee di Jean Baptiste de Lamarck sull'evoluzione? In cosa differiscono da quelle di Darwin?

18.3 DARWIN E L'EVOLUZIONE

OBIETTIVI DI APPRENDIMENTO

- 3 Spiegare le quattro premesse dell'evoluzione per selezione naturale come proposte da Charles Darwin.
- 4 Paragonare la moderna teoria sintetica dell'evoluzione con la teoria originale di Darwin sull'evoluzione.

Darwin, figlio di un celebre medico, fu mandato a studiare medicina, all'età di 15 anni, all'Università di Edimburgo. Poiché non trovava adatti a sé gli studi in medicina, si trasferì all'Università di Cambridge a studiare teologia. Durante quel periodo, divenne il pupillo del reverendo John Henslow, che era un professore di botanica. Henslow incoraggiò l'interesse di Darwin per la natura. Poco dopo aver ricevuto il diploma, Darwin si imbarcò come "naturalista" sul brigantino HMS Beagle che stava iniziando una crociera di 5 anni intorno al mondo per preparare le carte di navigazione per la flotta britannica.

Il *Beagle* lasciò Plymouth, in Inghilterra, nel 1831, discese la costa orientale e risalì quella occidentale del Sud America (FIG. 18-2). Mentre gli altri membri dell'equipaggio disegnavano le coste e i porti, Darwin ebbe l'opportunità di studiare gli animali, le piante, i fossili e le formazioni geologiche di entrambe le coste e delle regioni interne, aree che non erano state esplorate in maniera approfondita. Egli raccolse e catalogò migliaia di campioni di piante e animali e prese nota delle sue osservazioni, informazioni che si sarebbero rivelate essenziali per lo sviluppo della sua teoria.

Il *Beagle* trascorse circa due mesi presso le Isole Galapagos, 965 chilometri a ovest dell'Equador, dove Darwin continuò le sue osservazioni e la raccolta di campioni. Egli paragonò gli animali e le piante delle Galapagos con quelli del continente sudamericano. Fu particolarmente impressionato dalle loro somiglianze e si chiese perché gli organismi delle Galapagos dovessero somigliare di più a quelli del Sud America piuttosto



Figura 18-2 Il viaggio dell'HMS Beagle

Il viaggio di 5 anni iniziò a Plymouth, Inghilterra (stella), nel 1831. Le osservazioni fatte da Darwin sulle Isole Galapagos (occhio di bue), a largo della costa occidentale del sud America, sono state la base per spiegare come una popolazione di organismi possa cambiare nel tempo.

che a quelli provenienti da altre isole di diverse parti del mondo. Comunque, benché ci fossero similarità tra le specie delle Galapagos e quelle sudamericane, si riscontravano anche delle spiccate differenze. C'erano differenze riscontrabili persino tra i rettili e gli uccelli di isole adiacenti. Darwin si domandò come mai queste isole remote presentassero una tale diversità biologica. In seguito al suo rientro in patria, ponderò queste osservazioni e tentò di formulare una spiegazione adeguata per la distribuzione delle specie tra le isole.

Darwin si basò su molteplici osservazioni quando considerò come le specie potessero essersi originate. Malgrado il lavoro di Lamarck, la visione dominante alla metà dell'Ottocento era che la Terra fosse troppo giovane perché gli organismi potessero essere significativamente diversi dalla prima volta in cui erano apparsi. Agli inizi del XIX secolo, comunque, i geologi avanzarono l'ipotesi che le montagne, le valli e altre caratteristiche fisiche della superficie terrestre non avessero avuto origine nella loro forma presente, ma che si fossero sviluppate lentamente durante un lungo periodo di tempo a causa di lenti processi geologici di vulcanismo, sollevamento, erosioni e glaciazioni. Darwin, durante il suo viaggio, aveva con sé l'opera *Principles of Geology*, pubblicata dal geologo Charles Lyell nel 1830, e la lesse attentamente. Lyell fornì a Darwin un importante concetto — cioè che il lento andamento dei processi geologici, ancora in atto al giorno d'oggi, indicava che la Terra era estremamente antica.

Altre importanti informazioni che influenzarono Darwin venivano dal fatto che allevatori e agricoltori erano stati in grado di ottenere numerose varietà di animali domestici in poche generazioni. Questo era stato ottenuto scegliendo alcuni tratti e facendo riprodurre solo gli individui che presentavano le caratteristiche desiderate, una procedura nota come **selezione artificiale**. Gli allevatori, per esempio, avevano prodotto numerose varietà canine — levrieri, dalmata, alani e pechinesi, per citarne solo alcuni — attraverso la selezione artificiale.

Molte varietà di piante erano state create attraverso la selezione artificiale. Per esempio, il cavolo cappuccio, i broccoli, i cavoletti di Bruxelles, i cavolfiori, la verza, i ravizzoni e i cavoli rapa sono tutti prodotti vegetali appartenenti alla stessa specie, *Brassica oleracea* (FIG. 18-3). Tutti e sette sono stati prodotti dall'allevamento selettivo del cavolo selvatico, una pianta fogliosa originaria dell'Europa e dell'Asia. Iniziando più di 4000 anni fa, alcuni agricoltori selezionarono artificialmente piante di cavolo selvatico che presentavano foglie sovrapposte. Con il tempo, queste foglie divennero così prominenti che le piante, che avevano un aspetto simile agli odierni cavoli, divennero distinguibili dal loro antenato rappresentato dal cavolo selvatico. Altri agricoltori selezionarono caratteristiche diverse del cavolo selvatico, dando luogo ad altre modificazioni. Per esempio, il cavolo rapa fu prodotto selezionando a favore dell'allargamento del fusto, adatto al deposito di sostanze di riserva, mentre i cavoletti di Bruxelles selezionando per gemme ascellari ingrandite. Così, gli uomini sono responsabili dell'evoluzione della *Brassica oleracea* in 7 diversi prodotti vegetali. Darwin era a conoscenza della selezione artificiale e immaginò che un processo selettivo simile potesse verificarsi in natura. Quindi, Darwin utilizzò la selezione artificiale come modello quando sviluppò il concetto di selezione naturale.



John Araldi

Figura 18-3 Selezione artificiale in *Brassica oleracea*

Una gemma terminale ingrandita (la "testa") è stata selezionata nel cavolo cappuccio (in basso a sinistra), orescenze a grappolo nei broccoli (in alto a sinistra) e nel cavolfiore (centrale a destra), gemme ascellari nei cavoletti di Bruxelles (centrale in basso), foglie in cavolo verde (in alto a destra) e verza (in basso a destra), e steli nel cavolo rapa (al centro).

Le idee di Thomas Malthus (1766-1834), un prete ed economista inglese, ebbero un'altra importante influenza su Darwin. Malthus sottolineò, nell'opera *An Essay on the Principle of Population as It Affects the Future Improvement of Society*, pubblicata nel 1798, che la crescita delle popolazioni non è sempre desiderabile — una visione contraria all'opinione più diffusa a quell'epoca. Egli osservò che le popolazioni hanno la capacità di ingrandirsi geometricamente ($1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 16$) e quindi di esaurire le risorse alimentari, le quali hanno la capacità di aumentare solo in modo aritmetico ($1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5$). Nel caso degli esseri umani, Malthus sostenne che il conflitto tra crescita di popolazioni e disponibilità alimentari generasse fame, malattie e guerre, le quali avrebbero costituito un freno per la crescita delle popolazioni.

L'idea di Malthus che vi è un costante e forte controllo sulla crescita della popolazione umana ha influenzato le spiegazioni di Darwin sull'evoluzione. Gli anni trascorsi da Darwin a osservare le abitudini degli animali e delle piante lo introdussero al concetto di lotta per l'esistenza descritto da Malthus. Dalle sue osservazioni, Darwin ricavò che in questa lotta le variazioni favorevoli tendevano a essere conservate, mentre quelle non favorevoli tendevano a essere eliminate.

Ciò avrebbe come risultato l'**adattamento** all'ambiente, una modificazione evolutiva che aumenta le probabilità di sopravvivenza di un organismo e il suo successo riproduttivo. L'accumulo di modificazioni avrebbe potuto causare, infine, l'origine di una nuova specie. Il tempo era la sola cosa richiesta per l'origine di nuove specie e i geologi dell'epoca, incluso Lyell, avevano fornito prove che la Terra era abbastanza antica perché vi fosse stato il tempo necessario per il verificarsi del processo evolutivo.

Darwin aveva elaborato alla fine un formidabile meccanismo dell'evoluzione, quello della **selezione naturale**, in cui gli organismi meglio adattati avevano maggiori probabilità di sopravvivere e dare origine alla generazione successiva. Come risultato della selezione naturale, la popolazione cambia nel

tempo; la frequenza dei caratteri favorevoli aumenta nelle generazioni successive, mentre i caratteri svantaggiosi diventano scarsi o scompaiono. Darwin trascorse i 20 anni successivi formulando le sue teorie sulla selezione naturale, accumulando un immenso numero di prove a favore della sua teoria e confrontandosi con altri scienziati.

Mentre Darwin ponderava le sue idee, Alfred Russell Wallace (1823-1913), un naturalista inglese che studiò le piante e gli animali dell'Arcipelago Malese per 8 anni, allo stesso modo era stato colpito dalla diversità delle specie e dalla peculiarità della loro distribuzione. Egli scrisse un breve saggio sull'argomento e lo inviò a Darwin, allora biologo di fama mondiale, per avere la sua opinione. Darwin vi riconobbe la propria teoria e realizzò che Wallace era giunto in maniera indipendente alla sua stessa conclusione — che l'evoluzione si verifica per selezione naturale. Gli amici di Darwin lo convinsero a presentare lo scritto di Wallace insieme al riassunto del suo lavoro, che Darwin aveva preparato e fatto pervenire ad alcuni amici già alcuni anni prima. Entrambi i lavori furono presentati nel luglio del 1858 al congresso londinese della Società Linneana. Il libro monumentale di Darwin, *L'origine delle specie mediante selezione naturale*, o *La conservazione di razze favorite nella lotta per la vita*, fu pubblicato nel 1859. Il libro di Wallace, *Contributo alla teoria della selezione naturale*, fu pubblicato nel 1870, otto anni dopo il suo rientro dall'Arcipelago Malese.

Darwin propose che l'evoluzione avvenisse per selezione naturale

Il meccanismo proposto da Darwin di evoluzione attraverso la selezione naturale consiste di quattro osservazioni sulla natura: variabilità, sovrapproduzione, limiti alla crescita della popolazione ovvero lotta per la sopravvivenza e successo riproduttivo differenziale.

1. **Variabilità.** Gli individui di una popolazione mostrano una grande variabilità rispetto ai loro caratteri (FIG. 18-4). Ogni individuo ha una combinazione unica di caratteristiche, come le dimensioni, il colore e la capacità di tollerare condizioni ambientali sfavorevoli e resistere a certi parassiti e infezioni. Alcuni caratteri migliorano le probabilità di sopravvivenza di un organismo e il suo successo ri-



Figura 18-4 Variabilità genetica nel boa smeraldo arboricolo

Questi serpenti, tutti della stessa specie (*Corallus caninus*), sono stati fotografati in una piccola area della foresta della Guiana Francese. Molte specie di serpenti presentano una considerevole variabilità nella colorazione e nei motivi cromatici.

produttivo, mentre altri no. È importante ricordare che la variabilità necessaria per l'evoluzione mediante la selezione naturale è genetica e può essere trasmessa alla prole. Sebbene Darwin riconoscesse l'importanza per l'evoluzione dell'ereditabilità delle variazioni, egli non conosceva nulla dei meccanismi genetici dell'ereditarietà.

2. **Sovrapproduzione.** La capacità riproduttiva di ogni specie causa la sua crescita in modo esponenziale nel corso del tempo. Una femmina di rana depone circa 10.000 uova, mentre una femmina di merluzzo ne depone addirittura 40 milioni! In entrambi i casi, tuttavia, soltanto due discendenti all'incirca sopravvivono fino al momento di riprodursi. Ad ogni generazione, ogni specie ha la capacità di produrre più discendenti di quanti possano sopravvivere.
3. **Limiti alla crescita della popolazione, o lotta per l'esistenza.** A disposizione di una popolazione c'è solo una limitata quantità di cibo, acqua, luce, spazio per crescere e altre risorse e, di conseguenza, gli organismi competono gli uni con gli altri per l'accesso a queste risorse limitate. Poiché ci sono più individui di quanti l'ambiente ne possa sostenere, non tutti sopravvivranno fino a riprodursi. Altri limiti rispetto alla crescita della popolazione includono predatori, organismi patogeni e condizioni climatiche avverse.
4. **Successo riproduttivo differenziale.** Gli individui in possesso delle combinazioni di caratteri più favorevoli (quelle che li rendono meglio adattati al loro ambiente) hanno maggiori probabilità di sopravvivere e di riprodursi. Poiché la prole tende a essere simile ai propri genitori, la generazione successiva presenta i tratti ereditabili dei genitori. Il successo riproduttivo è la chiave della selezione naturale: gli individui meglio adattati sono quelli con il maggior successo riproduttivo, mentre gli individui con caratteristiche meno favorevoli muoiono prematuramente o producono prole meno numerosa o meno vitale.

Nel tempo, si può accumulare un sufficiente numero di cambiamenti tra popolazioni separate geograficamente (spesso caratterizzate da ambienti lievemente diversi) tale da dare origine a nuove specie. Darwin notò che i fringuelli delle Galapagos sembravano essersi evoluti proprio in questo modo. Le 14 specie sono strettamente imparentate e discendono tutte da un antenato comune — un'unica specie proveniente dal continente sudamericano da 2 a 3 milioni di anni fa (i parenti più stretti dei fringuelli delle Galapagos sono piccoli uccelli che si nutrono di semi, noti come *grassquit*, che vivono nella parte occidentale del Sud-America).

Nel corso di tale periodo di 2-3 milioni di anni, il numero delle isole è aumentato, il clima è cambiato e si è verificata l'evoluzione delle forme di vita vegetali e delle risorse nutritive. Le varie isole appartenenti a questo arcipelago hanno mantenuto gruppi di fringuelli isolati gli uni dagli altri, in modo tale da consentire loro di divergere fino alla formazione di 14 specie separate in risposta ai cambiamenti delle condizioni (FIG. 18-5).

A partire dagli inizi degli anni '70 del secolo scorso, Peter Grant, Rosemary Grant e i loro colleghi hanno documentato la selezione naturale nei fringuelli delle Galapagos nel loro ambiente naturale. Come esempio del processo evolutivo in atto, si consideri il fringuello del suolo dal becco appuntito (*Geospiza difficilis*). Questa specie vive su diverse isole, e ciascuna popolazione ha evoluto un becco di forma e dimensioni particolari, in dipendenza del cibo disponibile sull'isola in cui vive.



© INTERFOTO/Alamy

(a) Il fringuello dei cactus (*Geospiza scandens*), si nutre delle parti carnose dei cactus, come i fiori, e ha un lungo becco appuntito.



© Images & Stories/Alamy

(b) Il grande fringuello di terra (*Geospiza magnirostris*) ha un becco molto possente, tipo schiaccia-noci, adatto a rompere e mangiare semi grossi e dal guscio duro.



© Images & Stories/Alamy

(c) Il fringuello canoro (*Certhidia olivacea*) ha un becco sottile adatto a mangiare insetti.



Miguel Castro/Science Source

(d) Il fringuello picchio (*Camarhynchus pallidus*) estrae insetti dalle cortecce e dalle fessure usando spine, ramoscelli o anche foglie morte.

Figura 18-5 Specie di fringuelli

Darwin dedusse che questi uccelli derivano da una comune popolazione ancestrale di uccelli del sud America che si nutrivano di semi. La variabilità nei loro becchi è il risultato dell'adattamento a diversi tipi di cibo.

Riesamineremo i fringuelli delle Galàpagos nei capitoli successivi. Sarà descritto uno studio a lungo termine condotto da Peter Grant, Rosemary Grant e colleghi sulla microevoluzione dei fringuelli delle Galàpagos nel caso in cui la siccità alteri le riserve di cibo; tale studio ha dimostrato che le variazioni ambientali possono guidare la selezione naturale. Sarà descritto lo *spostamento dei caratteri* nei fringuelli delle Galàpagos, un aspetto dell'ecologia evolutiva.

La teoria sintetica dell'evoluzione combina la teoria di Darwin con la genetica

Una delle premesse su cui Darwin basò la sua teoria dell'evoluzione per selezione naturale è che gli individui trasmettano i propri caratteri alla generazione successiva. Ma, Darwin non fu in grado di spiegare *come* questo si verificasse o *perché* gli individui variassero all'interno di una popolazione. Come discusso nel Capitolo 11, benché fosse contemporaneo di Gregor Mendel, che illustrò i principi di base dell'ereditarietà, Darwin apparentemente non era a conoscenza del lavoro di Mendel, che non fu riconosciuto dalla comunità scientifica fino agli inizi del XX secolo.

Negli anni fra il 1930 e il 1940, i biologi unirono i principi della genetica con la teoria di Darwin sulla selezione naturale così da sviluppare una spiegazione unificata dell'evoluzione, nota come **neo-darwinismo**, o **sintesi moderna** o **teoria sintetica dell'evoluzione**. (*Sintesi* in questo contesto indica la combinazione di parti di un certo numero di teorie precedenti per formularne una unica). Alcuni dei fondatori della teoria sintetica dell'evoluzione sono stati il genetista russo Theodosius Dobzhanski, il genetista ed esperto di statistica britannico Ronald Fisher, il genetista britannico J.B.S. Haldane, il biologo britannico Julian Huxley, il tassonomista tedesco Ernst Mayr, il paleontologo statunitense George Gaylord Simpson, il botanico statunitense G. Ledyard Stebbins e il genetista statunitense Sewell Wright.

Oggi, la teoria sintetica dell'evoluzione sta incorporando le conoscenze in continua espansione di genetica (che di per sé fornisce prove inconfutabili del processo evolutivo), sistematica, paleontologia, biologia dello sviluppo, etologia ed ecologia. La teoria sintetica spiega l'osservazione fatta da Darwin sulla variazione tra la prole in termini di **mutazioni** o cambiamenti nel DNA, come le sostituzioni di nucleotidi. In altre pa-

role, la mutazione fornisce la variabilità genetica su cui la selezione naturale agisce nel corso della evoluzione. La teoria sintetica dell'evoluzione, che enfatizza la genetica di popolazioni come aspetto cruciale dell'evoluzione, è stata ben accettata fin dalla sua prima formulazione. Essa ha dominato il pensiero e la ricerca dei biologi impegnati in diverse aree e ha comportato un enorme accumulo di prove scientifiche a supporto dell'evoluzione per selezione naturale.

La maggior parte dei biologi non solo accetta i principi di base della teoria sintetica dell'evoluzione, ma cerca anche di comprendere meglio i processi casuali dell'evoluzione. Per esempio, qual è il ruolo del caso nell'evoluzione? Quanto rapidamente evolvono nuove specie? Queste domande sono derivate in parte da una rivalutazione dei reperti fossili e in parte dalle scoperte sugli aspetti molecolari dell'ereditarietà. Queste analisi critiche sono parte integrante del processo scientifico, poiché stimolano ulteriori osservazioni e sperimentazioni, contemporaneamente alla riesaminazione delle precedenti osservazioni. La scienza è un processo in continua evoluzione e non è escluso che informazioni raccolte nel futuro possano portare alla modifica di alcune parti della teoria sintetica dell'evoluzione.

Ora considereremo uno dei maggiori problemi sull'evoluzione attualmente affrontati dai biologi: gli effetti relativi della casualità e della selezione naturale sull'evoluzione.

I biologi studiano l'effetto della casualità sull'evoluzione

Se fossimo capaci di ripetere il processo evolutivo partendo con organismi simili, esposti a condizioni ambientali simili, otterremmo gli stessi risultati? In altre parole, si originerebbero gli stessi cambiamenti per azione della selezione naturale? Oppure, gli organismi sarebbero molto diversi per effetto della casualità? Parecchi esempi recenti di evoluzione in atto suggeriscono che la casualità non sia così importante come la selezione naturale.

Una specie di moscerino della frutta (*Drosophila subobscura*) presente in Europa occupa aree tra la Danimarca e la Spagna. È stato notato che i moscerini del nord hanno ali più grandi di quelli del sud (FIG. 18-6). La stessa specie fu accidentalmente introdotta separatamente in Nord e Sud America alla fine degli anni '70 del secolo scorso. Dieci anni più tardi, si



Figura 18-6 Dimensioni delle ali nelle femmine del moscerino della frutta

Le femmine del moscerino della frutta (*Drosophila subobscura*) del Nord Europa hanno ali più grandi di quelle dei moscerini del sud. Sono mostrati due moscerini: uno della Danimarca (a destra) e l'altro della Spagna (a sinistra). Lo stesso quadro evolutivo è rapidamente emerso in Nord America dopo l'introduzione accidentale di *D. subobscura*.

osservò che non vi era alcuna differenza nella dimensione delle ali tra i moscerini presenti nelle varie aree del Nord America. Tuttavia, 20 anni più tardi i moscerini del Nord America mostrarono le stesse differenze delle ali osservate tra il nord e il sud dell'Europa. (Non è ancora noto perché le ali più grandi si evolvano nelle aree del nord, mentre quelle più piccole in quelle del sud).

Lo studio dell'evoluzione di un pesce noto come *spinarello* proveniente da tre laghi del Canada ha prodotto risultati molto simili a quelli dei moscerini. Dati molecolari indicano che i laghi, al momento della loro formazione (e cioè parecchie migliaia di anni fa), fossero popolati dalla stessa specie ancestrale. (L'analisi del DNA mitocondriale degli spinarelli presenti nei tre laghi è risultata a sostegno dell'ipotesi dell'antenato comune). Attualmente, in ogni lago vi sono due specie che si sono evolute da un progenitore comune: una specie è più grande e si nutre di invertebrati sul fondo del lago, mentre l'altra è più piccola e si nutre di plancton sulla superficie. I membri delle due specie all'interno di ogni lago non si incrociano, ma gli individui della specie più grossa di un lago, in cattività, si incrociano con quelli simili di un altro lago. Lo stesso possono fare gli individui della specie più piccola.

Quindi, per l'evoluzione, la selezione naturale sembra essere un agente molto più importante della casualità. Se il caso fosse stato il fattore principale a influenzare la direzione dell'evoluzione, l'evoluzione dei moscerini non sarebbe avvenuta allo stesso modo nei due continenti, così come l'evoluzione dei pesci nei tre laghi. Tuttavia, l'esistenza di numerosi esempi a sostegno dell'importanza della selezione naturale nell'evoluzione non implica necessariamente che gli eventi casuali debbano essere sottovalutati nel loro ruolo di fattori che dirigono i cambiamenti evolutivi. I sostenitori del ruolo della casualità pensano che il caso sia più importante nell'evoluzione dei gruppi tassonomici principali (macroevoluzione) piuttosto che nell'evoluzione delle popolazioni (microevoluzione). Potrebbe anche essere plausibile che gli effetti degli eventi casuali sui processi evolutivi siano semplicemente più difficili da dimostrare rispetto a quelli della selezione naturale.

VERIFICA 18.3

- **COLLEGARE** Qual è la relazione tra selezione naturale e artificiale?
- Perché soltanto le variazioni ereditabili sono importanti nel processo evolutivo.
- **COLLEGARE** Quale parte della sua teoria Darwin non fu in grado di spiegare? In che modo la teoria sintetica dell'evoluzione colma questa lacuna?

18.4 LE PROVE A SOSTEGNO DELL'EVOLUZIONE

OBIETTIVI DI APPRENDIMENTO

- 1 Riassumere le prove a favore dell'evoluzione ottenute dai ritrovamenti fossili.
- 2 Definire la *biogeografia* e riassumere in che modo la distribuzione degli organismi supporti l'evoluzione.
- 3 Riassumere le prove a favore dell'evoluzione ottenute dall'anatomia comparata.
- 4 Spiegare brevemente come la biologia dello sviluppo e la biologia molecolare forniscano indicazioni per la comprensione del processo evolutivo.
- 5 Fornire un esempio di come possa essere verificata sperimentalmente un'ipotesi evolutiva.

Una gran quantità di dati sperimentali è a supporto dell'evoluzione, incluse osservazioni derivanti da reperti fossili, biogeografia, anatomia comparata, biologia molecolare e biologia dello sviluppo. In più, le possibilità di verificare sperimentalmente le ipotesi evolutive sono aumentate. Nell'insieme, queste prove confermano la teoria secondo la quale la storia della vita sulla Terra si sarebbe svolta attraverso il processo dell'evoluzione.

I reperti fossili forniscono forti dimostrazioni a sostegno dell'evoluzione

Forse la conferma più diretta dell'evoluzione deriva dalla scoperta, dall'identificazione e dall'interpretazione dei **fossili**, che rappresentano i resti o le tracce lasciate, in genere in rocce sedimentarie, da organismi antichi. (Il termine *fossile* deriva dalla parola latina *fossilis*, che significa "qualcosa che viene riportato alla luce"). Una roccia sedimentaria si forma per accumulo e solidificazione di particelle prodotte dalla disgregazione di rocce più vecchie, come quelle vulcaniche. Le particelle di sedimento, che solitamente si depositano sul fondo di fiumi, laghi e oceani, si accumulano e nel tempo formano strati distinti (FIG. 18-7). In una stratificazione di rocce non perturbate, lo strato più vecchio è in fondo e quello più recente in alto. Lo studio degli strati di sedimentazione, che include composizione, organizzazione e correlazione tra diverse localizzazioni, permette di posizionare nella corretta sequenza gli eventi registrati nelle rocce.

I reperti fossili mostrano una progressione dal più primitivo organismo unicellulare agli odierni organismi pluricellulari, a dimostrazione del fatto che la vita si è evoluta nel corso del tempo. Per esempio, i paleontologi (gli scienziati che studiano i fossili) hanno descritto e classificato circa 300.000 specie di fossili, e altre ne vengono continuamente scoperte.



Figura 18-7 Strati esposti di roccia sedimentaria nel letto fossile di Burgess Shale

Questo sito, nelle Montagne Rocciose canadesi, si è formato circa 500 milioni di anni fa quando una valanga di fango seppellì e preservò un'ampia varietà di forme animali marine inusuali.

Benché molti fossili siano conservati in rocce sedimentarie, alcuni resti più recenti si sono eccezionalmente ben conservati immersi in paludi, bitume, ambra (antica resina vegetale) o ghiaccio (FIG. 18-8). Per esempio, i resti di un mammoth peloso congelato nei ghiacci della Siberia per 25.000 anni si sono così ben conservati da consentire l'analisi di parte del suo DNA.

Solo pochi degli organismi che muoiono diventano fossili. La formazione e il mantenimento di un fossile richiedono che un organismo venga sepolto in condizioni che rallentino o prevenano il processo di decomposizione. Questo è molto probabile che avvenga se un organismo è velocemente ricoperto da sedimenti costituiti da fini particelle di terra sospese in acqua. In questo modo, i resti di organismi acquatici possono rimanere intrappolati in stagni, pianure di fango, barriere di sabbia o delta fluviali. Resti di organismi terrestri che vivevano in pianure alluvionali possono anche essere stati coperti da sedimenti portati dall'acqua o, se l'organismo viveva in una regione arida, da sabbia trasportata dal vento. Col tempo, i sedimenti si induriscono trasformandosi in rocce sedimentarie, mentre i resti degli organismi sono sostituiti da minerali, così da preservare molti dettagli delle loro strutture, persino a livello cellulare.

I reperti fossili non sono campioni casuali della vita passata, ma quelli maggiormente rappresentati sono organismi acquatici e quelli che sono vissuti nei pochi habitat terrestri favorevoli alla formazione dei fossili. Sono stati trovati relativamente pochi fossili di organismi di foreste pluviali, per esempio, poiché i loro resti si decompongono in maniera estrema-

mente rapida sul suolo della foresta, prima quindi che si verifichi il processo di fossilizzazione. Un'altra ragione per questa disomogeneità tra i reperti fossili è che gli organismi con parti corporee dure, come ossa e conchiglie, hanno maggiori probabilità di dare origine a fossili rispetto a quelli con parti del corpo molli. Inoltre, le rocce di diversa datazione sono esposte in maniera differente sulla superficie terrestre; rocce di una certa età sono più accessibili ai paleontologi per lo studio dei fossili rispetto a rocce di età differente.

Per la natura del processo scientifico, la scoperta di ogni fossile rappresenta un "test" indipendente della teoria dell'evoluzione. Se uno di questi test fallisse la teoria dovrebbe essere modificata per adattarsi alla prova esistente. Per esempio, la scoperta di resti fossili umani (*Homo sapiens*) nelle rocce precambriane, che risalgono a più di 570 milioni di anni, renderebbe falsa la teoria dell'evoluzione nella sua proposizione attuale. Comunque, le rocce precambriane esaminate contengono solo fossili di organismi semplici, come alghe e piccoli organismi dal corpo molle, che si pensa si siano evoluti precocemente nella storia della vita. Il più antico fossile di *Homo sapiens* con caratteristiche anatomiche moderne non compare tra i reperti prima di circa 195.000 anni fa.

I fossili forniscono testimonianza di antichi organismi e consentono di capire anche dove e quando essi siano vissuti. Usando fossili di organismi provenienti da diversi periodi geologici, possono a volte essere desunte le linee filogenetiche (relazioni evolutive) che hanno originato le forme di vita moderne. In molti casi, i fossili forniscono una prova diretta dell'origine di nuove specie da altre preesistenti, incluse le forme di transizione.

I fossili di transizione documentano l'evoluzione delle balene

Un problema che ha interessato i biologi per più di un secolo è rappresentato dalla comprensione di come le balene e gli altri cetacei si siano evoluti dai mammiferi terrestri. Tra gli anni '80 e '90 del secolo scorso, i paleontologi hanno scoperto molti fossili intermedi riferibili alla linea evolutiva delle balene, che documentano la loro transizione dalla terra al mare.

Fossili di *Ambulocetus natans*, un cetaceo vissuto 50 milioni di anni fa, scoperti in Pakistan, presentano molte caratteristiche delle balene moderne, insieme a zampe posteriori e piedi (FIG. 18-9a). (Le balene moderne non hanno zampe posteriori, sebbene presentino un cinto pelvico vestigiale e le strutture ossee delle zampe posteriori. Le strutture vestigiali saranno discusse più avanti nel capitolo). Le ultime vertebre dell'*Ambulocetus* erano molto flessibili, permettendogli un movimento dorso-ventrale (su e giù) sia nel nuoto che nei tuffi, come nelle balene moderne. Oltre a nuotare, questi antenati delle balene si muovevano anche sulla terraferma, probabilmente come fanno oggi i leoni di mare.

Rodhocetus è un fossile trovato in rocce relativamente recenti del Pakistan (FIG. 18-9b). Le vertebre del *Rodhocetus* erano ancora più flessibili di quelle di *Ambulocetus natans*, permettendogli durante il nuoto un potente movimento dorso-ventrale. È possibile che il *Rodhocetus* sia stato totalmente acquatico.

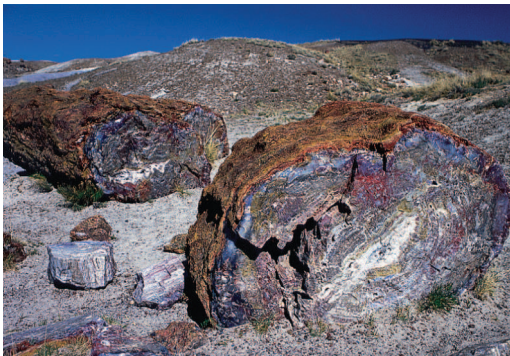
Circa 40 milioni di anni fa, si è quindi completata la transizione delle balene dalla terra al mare. Il fossile egiziano *Basilosaurus*, una balena di quel periodo, aveva il corpo affusolato come le balene moderne (FIG. 18-9c). Il *Basilosaurus* mantene-

Bruce S. Lieberman/University of Kansas



(a) Sebbene alcuni fossili contengano tracce di materiale organico, tutto ciò che rimane di questo fossile di medusa vecchio di 500 milioni di anni è questa impronta nella roccia.

Kenneth Murray/Science Source



(b) Legno pietrificato proveniente dal Parco Nazionale della Petrified Forest in Arizona, che consiste di alberi che furono sepolti e quindi impregnati da minerali. I ceppi di legno sono stati rinvenuti quando gli strati di roccia fangosa in cui erano stati sepolti si sono erosi.

Alfred Pasielka/Science Photo Library/Science Source



(c) Un insetto (moscerino) incluso in ambra circa due milioni di anni fa.

A. J. Copley/Visuals Unlimited



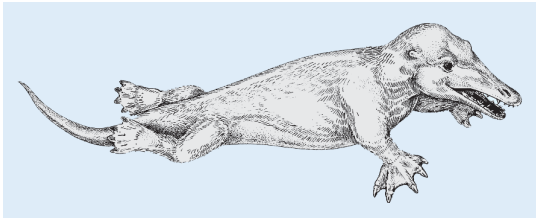
(d) Impronta fossile di antichi echinodermi chiamati *crinoidi*. Essa si è formata quando i crinoidi si decomposero, lasciando uno stampo che più tardi si è riempito con minerali presenti in soluzione.

Scott Berner/Visuals Unlimited

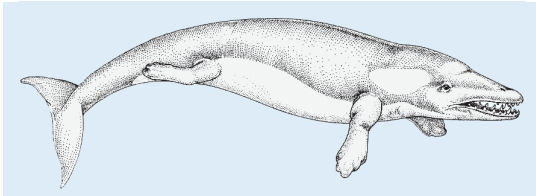


(e) Orme di dinosauro, ognuna della lunghezza di 75-90 cm, danno indicazioni sulla postura, sull'andatura e sul comportamento di questi animali estinti.

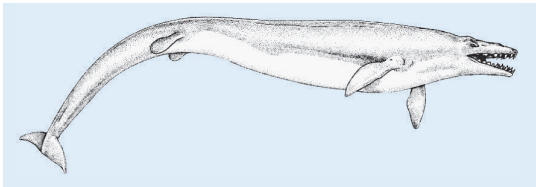
Figura 18-8 I fossili si formano in modi diversi



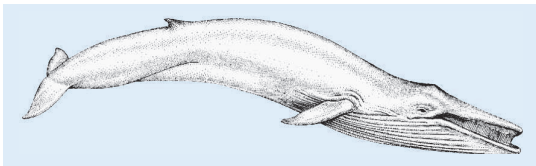
(a) *Ambulocetus natans*, una forma di transizione fra le balene moderne e i loro antenati terrestri, possedeva una serie di evidenti caratteristiche delle balene, pur mantenendo le zampe posteriori dei suoi antenati tetrapodi.



(b) Il più recente *Rodhocetus* aveva vertebre flessibili che gli permettevano, durante il nuoto, un potente movimento dorso-ventrale.



(c) *Basilosaurus* era affusolato e possedeva piccole zampe posteriori non funzionali.



(d) *Balaenoptera*, la moderna balenottera azzurra, contiene vestigia della pelvi e delle ossa degli arti immerse nel corpo.

Figura 18-9 Fossili intermedi nell'evoluzione delle balene

I biologi ipotizzano che l'antenato delle balene avesse quattro zampe, come mostrato nella ricostruzione delle forme intermedie di balena basata su reperti fossili. I fossili indicano che le ossa dell'anca, nelle forme intermedie di balena corrispondono a quelle degli odierni ippopotami, bovini, maiali e cammelli. Le figure non sono in scala. (a-c: Adattato per gent. conc. da Fig. 2 pagg. 260-261 in D. J. Futuyma, *Science on Trial: The Case for Evolution*, Sinauer Associates, Sunderland, MA, 1995).

va le vestigia dei suoi antenati terrestri, come una coppia di ridotte strutture ossee delle zampe posteriori, disgiunte però dallo scheletro. La riduzione delle strutture ossee delle zampe posteriori è continuata fino ad oggi. La moderna balena presenta un cinto pelvico vestigiale e le strutture ossee delle zampe posteriori contenute nel corpo (FIG. 18-9d).

Possono essere usati vari metodi per determinare l'età dei fossili Poiché gli strati di roccia sedimentaria si trovano naturalmente secondo la sequenza della loro deposizione, con gli strati più recenti sulla sommità di quelli più vecchi, in gene-

re i fossili sono datati sulla base della loro collocazione relativa all'interno della roccia sedimentaria. Comunque, eventi geologici verificatisi dopo la formazione delle rocce possono aver cambiato la disposizione degli strati rocciosi. I geologi identificano specificamente le rocce sedimentarie non solo dalla loro composizione in strati, ma anche da caratteristiche, come il contenuto in minerali, e dalla presenza dei resti fossili di certi organismi, detti **fossili indice**, che caratterizzano uno strato specifico in ampie aree geografiche. I fossili indice sono fossili di organismi che sono esistiti per un tempo geologico relativamente breve, ma che si sono conservati come fossili in gran numero. Con questa informazione, i geologi possono organizzare in ordine cronologico gli strati rocciosi e i fossili che essi contengono e identificare strati comparabili provenienti da località molto lontane tra loro.

Gli isotopi radioattivi, detti anche **radioisotopi**, presenti in una roccia costituiscono uno strumento per una stima accurata della sua età (vedi Capitolo 2). I radioisotopi emettono radiazioni invisibili. Mentre un radioisotopo emette radiazioni, il suo nucleo si trasforma nel nucleo di un elemento diverso attraverso un processo detto **decadimento radioattivo**. Per esempio, il nucleo radioattivo dell'uranio-235 decade nel tempo in piombo-207.

Ogni radioisotopo possiede la propria caratteristica velocità di decadimento. Il periodo di tempo richiesto affinché metà degli atomi di un radioisotopo si trasformi in un elemento diverso è noto come la sua **emivita** (FIG. 18-10). I radioisotopi differiscono significativamente per le loro emivite. Per esempio, l'emivita dello iodio-132 è di sole 2,4 ore, mentre l'emivita dell'uranio-235 è di 704 milioni di anni. L'emivita di un particolare isotopo è costante e non è influenzata dalla temperatura, dalla pressione o da qualsiasi altro fattore ambientale.

L'età di un fossile viene stimata misurando il rapporto tra l'isotopo radioattivo originario e il suo prodotto di decadimento. Per esempio, l'emivita del potassio-40 è di 1,3 miliardi di anni; ciò vuol dire che in 1,3 miliardi di anni metà del potassio radioattivo decade nel suo prodotto di decadimento, l'ar-

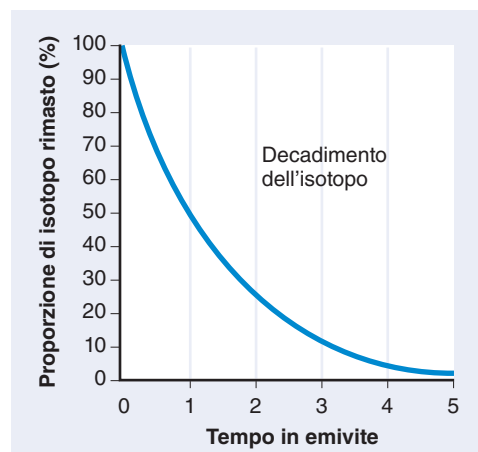


Figura 18-10 Decadimento di un radioisotopo

Al tempo zero, l'orologio radioattivo comincia a funzionare. A questo punto, il campione è composto interamente dal radioisotopo. Dopo una emivita, solo il 50% del radioisotopo è ancora presente. Durante ogni emivita successiva, metà del radioisotopo rimanente è convertito nel/i prodotto/i di decadimento.

gon-40. L'orologio radioattivo comincia a funzionare quando la roccia solidifica. Inizialmente la roccia contiene del potassio, ma non contiene argon. Dato che l'argon è un gas, sfugge dalla roccia calda appena formata; quando però il potassio decade nella roccia fredda e solidificata, l'argon si accumula nella sua struttura cristallina. Se il rapporto potassio-40/argon-40 è di 1:1, la roccia ha 1,3 miliardi di anni.

Sono diversi i radioisotopi utilizzati per la datazione dei fossili. Tra essi il potassio-40 (emivita 1,3 miliardi di anni), l'uranio-235 (704 milioni di anni) e il carbonio-14 (5730 anni). Altri radioisotopi, ma non il carbonio-14, vengono utilizzati per datare le rocce in cui si trovano i fossili. Il carbonio-14 viene invece utilizzato per datare qualunque residuo derivato da resti carboniosi, come legno, ossa o gusci. Quando è possibile, l'età dei fossili viene verificata in modo indipendente, usando due o più isotopi.

Il carbonio-14, che è continuamente prodotto nell'atmosfera da azoto-14 (per effetto della radiazione cosmica), decade successivamente ad azoto-14. Poiché la formazione e il decadimento del carbonio-14 si verificano a velocità costanti, il rapporto tra carbonio-14 e carbonio-12 (il più abbondante e stabile isotopo del carbonio) è costante nell'atmosfera. Poiché ogni organismo assorbe carbonio dall'atmosfera sia direttamente (per fotosintesi) che indirettamente (consumando organismi fotosintetizzanti), il suo rapporto carbonio-14/carbonio-12 è lo stesso dell'atmosfera. Quando un organismo muore, non assorbe più carbonio e di conseguenza la quantità di carbonio-14 nei suoi resti declina con il procedere del decadimento del carbonio-14 ad azoto-14. A causa della relativa brevità della sua emivita, il carbonio-14 è uno strumento molto utile per datare fossili di 50.000 anni o meno ed è particolarmente utile per la datazione di siti archeologici.

La distribuzione di animali e piante è un elemento a sostegno dell'evoluzione

Lo studio della distribuzione geografica, passata e presente, degli organismi è detta **biogeografia**. La distribuzione geografica degli organismi ne influenza l'evoluzione. Darwin si interessava di biogeografia e cercò di capire perché le specie che abitano isole in mezzo all'oceano tendono a essere simili a specie presenti sulla più vicina terraferma, anche se l'ambiente è diverso, ma non sono simili a specie presenti su isole in altre parti del mondo.

Darwin studiò le piante e gli animali di due gruppi di isole aride — le Isole di Capo Verde, a circa 640 km a ovest di Dakar, in Africa, e le Isole Galàpagos, a 960 km dall'Equador, in Sud America. Su ciascun gruppo di isole, le piante e gli animali terrestri erano indigeni (nativi), ma quelli di Capo Verde erano simili a specie del continente africano e quelli delle Galàpagos a quelle sudamericane. Le similarità tra le specie delle Galàpagos e quelle del Sud America erano particolarmente sorprendenti, considerando che le Galàpagos sono asciutte e rocciose, mentre la più vicina parte del Sud America è umida e ha una lussureggiante foresta pluviale. Darwin concluse che le specie dal continente vicino erano migrate o erano state portate sulle isole, dove si erano successivamente adattate al nuovo ambiente e con il tempo si erano evolute formando nuove specie.

Se l'evoluzione non fosse un fattore coinvolto nella distribuzione delle specie, ci aspetteremmo di trovare che una particolare specie possa sopravvivere ovunque. D'altra parte, la distribuzione geografica degli organismi oggi esistenti ha senso nel contesto dell'evoluzione. Per esempio, l'Australia, che è stata un continente separato per milioni di anni, ha organismi peculiari: ha popolazioni di mammiferi "ovovivipari" (monotremi) e di mammiferi provvisti di marsupi (marsupiali) che non sono presenti altrove. Duecento milioni di anni fa, l'Australia e gli altri continenti erano uniti in un'unica grande distesa di terre emerse. Nel corso di milioni di anni, il continente australiano si è gradualmente separato dagli altri. I monotremi e i marsupiali australiani hanno continuato a prosperare e a diversificarsi. L'isolamento dell'Australia ha anche evitato che i mammiferi placentati, che comparvero più tardi in altre aree, potessero entrare in competizione con monotremi e marsupiali. In altre zone del mondo in cui comparvero i mammiferi placentati, la maggior parte dei monotremi e dei marsupiali si è estinta.

Considereremo ora come la geologia dinamica della Terra ha influenzato la biogeografia e l'evoluzione.

La storia geologica della Terra è correlata alla biogeografia e all'evoluzione

Nel 1915, lo scienziato tedesco A. Wegener, che aveva notato una corrispondenza fra la forma geografica del Sud America e dell'Africa, propose che tutte le terre emerse fossero state un tempo unite in un unico supercontinente, che chiamò Pangea (FIG. 18-11a). Inoltre, suggerì che la Pangea successivamente si fosse divisa e che le diverse parti si fossero separate con un processo noto come **deriva dei continenti**. Wegener non conosceva alcun meccanismo che potesse avere causato questo fenomeno e così la sua idea rimase largamente ignorata.

Negli anni '60 del secolo scorso, si accumularono prove scientifiche in grado di spiegare la teoria della deriva dei continenti. La crosta terrestre è composta da sette grosse placche (oltre ad alcune più piccole) che galleggiano sul mantello, che è lo strato in massima parte solido della Terra posizionato sotto la crosta e sopra al core. A causa della sua temperatura più elevata, la roccia solida del mantello è più plastica della roccia solida della crosta soprastante.

Le masse terrestri sono situate su alcune di queste placche. Quando le placche si muovono, i continenti cambiano la loro posizione relativa (FIGURE 18-11b, c, e d). Il movimento delle placche è definito *tettonica a placche*.

Qualsiasi area in cui le placche si incontrano rappresenta un luogo di intensa attività geologica. In queste regioni, i terremoti e i vulcani sono molto comuni; S. Francisco, nota per i terremoti, e il vulcano Mount Saint Helens sono situati dove si incontrano due placche. Se le masse terrestri sono localizzate ai bordi di due placche adiacenti, si possono formare delle montagne. L'Himalaya si è formata quando la placca con l'India si è spostata verso quella con l'Asia. Quando le placche si avvicinano, a volte una può infilarsi sotto all'altra in un processo noto come *subduzione*, mentre quando si allontanano, tra di loro si forma una dorsale di lava. L'Oceano Atlantico è diventato più largo a causa della zona di espansione della lava, lungo la dorsale medio-atlantica.

Il fatto che i continenti fossero una volta uniti e si siano quindi separati è utile per spiegare alcuni aspetti della biogeografia.



SOLOMON • MARTIN • MARTIN • BERG

Evoluzione e Biodiversità

