CAPITOLO

11

Classificare i viventi: la sistematica

Un nome per ogni specie e un posto per ognuna sull'albero della vita: così la biologia mette ordine in una diversità che non abbiamo ancora finito di contare.

OBIETTIVI

1. Distinguere tassonomia e sistematica e spiegare perché i biologi classificano i viventi.
2. Scrivere correttamente un nome scientifico e ordinare le categorie tassonomiche, dal dominio alla specie.
3. Leggere un albero filogenetico e un cladogramma e riconoscere i gruppi monofiletici.
4. Ricostruire il passaggio dai due regni di Linneo ai tre domini di Woese.
5. Usare e costruire una chiave dicotomica.

INDICE DEL CAPITOLO

11.1 Mettere ordine nella diversità 2
11.2 Il nome scientifico e le categorie 4
11.3 Classificare per parentela 7
11.4 Dai due regni ai tre domini 12
11.5 Le chiavi dicotomiche 15

Scienze naturali 2 · Parte III · La diversità dei viventi · versione 1.0
Capitolo 11: Classificare i viventi: la sistematica · pagine 245–266 del volume completo · estratto per lo studio

In un pomeriggio di primavera, in un parco di città, puoi incontrare senza cercarli un centinaio di viventi diversi: piccioni e passeri, formiche e coccinelle, tarassaco e trifoglio, platani, licheni sulla corteccia, funghi tra le foglie morte. Moltiplica quel parco per tutti gli ambienti della Terra e avrai il problema da cui nasce questo capitolo: come si mette ordine in una diversità così grande?

I biologi rispondono in due modi: dando a ogni specie un nome unico, valido in tutto il mondo, dentro una serie di gruppi sempre più ampi, e disponendo i viventi su un albero che ne racconta la storia evolutiva. Alla fine avrai anche uno strumento pratico, la chiave dicotomica, per dare un nome a un organismo che non conosci.

11.1 Mettere ordine nella diversità

11.1.1 Perché classificare

Classificare significa riunire in gruppi gli oggetti che hanno caratteristiche in comune e dare un nome a ciascun gruppo. In biologia la classificazione serve a tre scopi. Permette di *comunicare*: chi legge un nome scientifico sa con precisione di quale organismo si parla. Permette di *prevedere*: se scopri che un animale appena descritto è un mammifero, sai già che ha peli e allatta i piccoli, anche prima di averlo osservato da vicino. E, come vedremo, permette di *raccontare la parentela* fra i viventi, cioè la loro storia evolutiva.

La disciplina che descrive gli organismi, assegna loro un nome e li ordina in gruppi si chiama **tassonomia**. La **sistematica** è più ampia: studia la diversità dei viventi e le relazioni di parentela evolutiva che li legano, e comprende la tassonomia come sua parte. Ogni gruppo a cui si dà un nome, a qualunque livello, è un **taxon** (plurale *taxa*): sono taxa il lupo, i Mammiferi e gli Animali.

11.1.2 Da Aristotele a Linneo

Il primo tentativo che conosciamo di classificare gli animali in modo sistematico è di Aristotele (IV secolo a.C.), che li divise fra animali «con sangue» e «senza sangue», una distinzione che corrisponde all'incirca a quella fra vertebrati e invertebrati. Aristotele, che nel corso di greco incontri come fondatore del Liceo di Atene, osservò di persona molti animali, soprattutto marini, durante il soggiorno nell'isola di Lesbo e li descrisse nella *Historia animalium*; il suo allievo Teofrasto fece lo stesso per le piante nelle *Ricerche sulle piante*. Per molti secoli, però, le piante e gli animali vennero indicati con lunghe descrizioni in latino, di parecchie parole, che cambiavano da un autore all'altro.

L'ordine arrivò con il naturalista svedese Carl Linnaeus, in italiano **Linneo** (1707–1778), professore all'Università di Uppsala. Nel 1735 pubblicò la prima edizione del *Systema Naturae*, un catalogo della natura diviso in tre regni: animale, vegetale e minerale. Nel 1753, con le *Species Plantarum*, usò in modo sistematico per tutte le piante un nome di due sole parole; nel 1758, nella decima edizione del *Systema Naturae*, fece lo stesso per gli animali. Ancora oggi queste due opere sono il punto di partenza ufficiale dei nomi scientifici: nessun nome di pianta anteriore al 1753 e nessun nome di animale anteriore al 1758 è considerato valido.

Linneo era un fissista (Capitolo 9): per lui le specie erano state create così come le vediamo, e classificarle significava catalogare l'ordine della creazione. Raggruppava gli organismi per somiglianza, senza chiedersi da dove venisse. Fu Darwin a dare una spiegazione a un fatto che Linneo aveva solo constatato: le somiglianze fra i viventi sono «annidate», gruppi dentro gruppi, perché le specie discendono da antenati comuni.

APPROFONDIMENTO

Approfondimento · Il «sistema sessuale» delle piante. Per classificare le piante Linneo usò soprattutto i fiori. Divise i vegetali in 24 classi in base al numero, alla lunghezza relativa e alla disposizione degli stami, e le classi in ordini in base al numero dei pistilli; l'ultima classe raccoglieva le piante senza fiori visibili, come felci, muschi e funghi. Il sistema era comodissimo: con una lente e un fiore in mano chiunque poteva arrivare al nome di una pianta. Ma era un sistema *artificiale*, fondato su pochi caratteri scelti per comodità, che a volte riuniva piante molto diverse e separava piante evidentemente affini. Linneo stesso lo considerava uno strumento pratico in attesa di un «metodo naturale». Il suo contributo duraturo non fu questo sistema, ma il modo di dare i nomi.

11.1.3 Quante specie?

Oggi le specie descritte, cioè quelle che hanno ricevuto un nome scientifico con una descrizione pubblicata, sono **circa 2 milioni**. Quasi la metà sono insetti; molte meno sono le piante, ancora meno i vertebrati. Il numero cresce di continuo, perché ogni anno si descrivono migliaia di specie nuove, soprattutto di insetti, funghi e invertebrati marini, ma talvolta anche di anfibi, pesci e piccoli mammiferi.

Quante specie esistano in tutto, nessuno lo sa. Le stime pubblicate sono molto diverse fra loro, da qualche milione a molte decine di milioni, e per i batteri e gli archei l'incertezza è ancora maggiore. Conviene ricordare solo che le specie conosciute sono una frazione, forse piccola, di quelle esistenti, e che alcune scompariranno prima di essere descritte (Capitolo 16).

11.2 Il nome scientifico e le categorie

11.2.1 La nomenclatura binomiale

Il sistema introdotto da Linneo si chiama **nomenclatura binomiale**: ogni specie ha un nome scientifico di due parole, in latino o latinizzate. La prima parola è il **genere**, che la specie condivide con le specie più affini; la seconda è l'**epiteto specifico**, che la distingue all'interno del genere. Nel nome *Canis lupus* (lupo), *Canis* è il genere e *lupus* l'epiteto; il genere *Canis* comprende anche lo sciacallo dorato, *Canis aureus*, e il coyote, *Canis latrans*.

Le regole di scrittura sono poche e precise:

- il nome si scrive in *corsivo* (a mano, si sottolinea);
- il genere ha l'iniziale maiuscola, l'epiteto specifico sempre minuscola: *Homo sapiens*, *Quercus robur* (la farnia);
- l'epiteto da solo non è un nome: *sativa* compare in *Oryza sativa* (riso) come in *Avena sativa* (avena), e significa soltanto «coltivata»;
- dopo la prima citazione il genere si può abbreviare con l'iniziale: *C. lupus*, *Q. robur*;
- nei testi specialistici il nome può essere seguito, in tondo, dal cognome di chi ha descritto la specie e dall'anno: *Canis lupus* Linnaeus, 1758.

Alcune specie si dividono in **sottospecie**, popolazioni geograficamente distinte che si possono ancora incrociare fra loro; il loro nome ha tre parole. Il lupo che vive in Italia è spesso indicato come *Canis lupus italicus*, e il cane domestico come *Canis lupus familiaris*, una forma domestica del lupo (alcuni autori preferiscono considerarlo una specie a sé, *Canis familiaris*). Che cosa sia una specie in senso biologico lo hai visto nel Capitolo 10; qui ci interessa la specie come unità di base della classificazione.

I nomi sono regolati da codici internazionali di nomenclatura, uno per gli animali, uno per alghe, funghi e piante, uno per i procarioti. Ogni nome deve essere unico nel suo campo e, se una specie ha ricevuto per errore due nomi, vale il più antico: è il *principio di priorità*.

11.2.2 Nomi comuni e nomi scientifici

Perché non usare semplicemente i nomi di tutti i giorni? Perché i nomi comuni cambiano da una lingua all'altra, e spesso da una regione all'altra, e possono ingannare. In inglese *robin* indica in Gran Bretagna il pettirosso, *Erithacus rubecula*, e negli Stati Uniti un uccello diverso, un tordo, *Turdus migratorius*. Il «pesciolino d'argento» che si nasconde nelle case non è un pesce, ma un insetto, *Lepisma saccharinum*. Il nome scientifico, invece, è lo stesso per un biologo italiano, giapponese o brasiliano.

COLLEGAMENTI

Latino e greco nei nomi dei viventi. Molti nomi scientifici sono piccole descrizioni. *Homo sapiens* è l'«uomo sapiente»; *Quercus robur* è la quercia «robusta», dal legno durissimo; *Pisum sativum*, il pisello di Mendel (Capitolo 7), è il pisello «coltivato». Altri nomi vengono dal greco: *Hippopotamus* unisce ἵππος (cavallo) e ποταμός (fiume), «cavallo di fiume»; l'ornitorinco, *Ornithorhynchus anatinus*, ha il «muso d'uccello» (ὄρνις, uccello, e ῥύγχος, muso o becco) ed è «simile all'anatra» (dal latino *anas*, anatra). Chi studia latino e greco legge questi nomi come frasi.

ERRORE FREQUENTE

«*Homo Sapiens*», «homo sapiens», «il sapiens». Tre errori diversi: l'epiteto specifico va sempre in minuscolo, anche quando deriva da un nome proprio; il nome va in corsivo e il genere in maiuscolo; l'epiteto da solo non indica una specie. Si scrive *Homo sapiens*, poi eventualmente *H. sapiens*. I nomi dei taxa superiori al genere, invece, non vanno in corsivo e in italiano si scrivono con la maiuscola: i Mammiferi, i Canidi, le Angiosperme.

11.2.3 Le categorie tassonomiche

Linneo sistemò le specie in gruppi sempre più ampi, ciascuno contenuto nel successivo, come le scatole di una matrioska. Questi livelli si chiamano **categorie tassonomiche** (o ranghi). Quelle principali, oggi, sono otto: **dominio**, **regno**, **phylum** (nella botanica si usa anche il termine *divisione*), **classe**, **ordine**, **famiglia**, genere e specie. Linneo ne usava meno: la famiglia e il phylum furono aggiunti in seguito, e il termine *phylum* fu introdotto da Ernst Haeckel nel 1866. Il dominio, il rango più alto, è ancora più recente, come vedremo.

Più si sale nella scala, più i gruppi sono ampi e vari, e meno caratteristiche hanno in comune i loro membri. Tutti i Canidi hanno un muso allungato e zampe adatte alla corsa; i Carnivori comprendono anche gatti e orsi; i Mammiferi anche l'uomo, i delfini e i pipistrelli (Figura 11.1). Due organismi che appartengono allo stesso genere appartengono per forza anche alla stessa famiglia, allo stesso ordine e così via fino al dominio; non è vero il contrario.

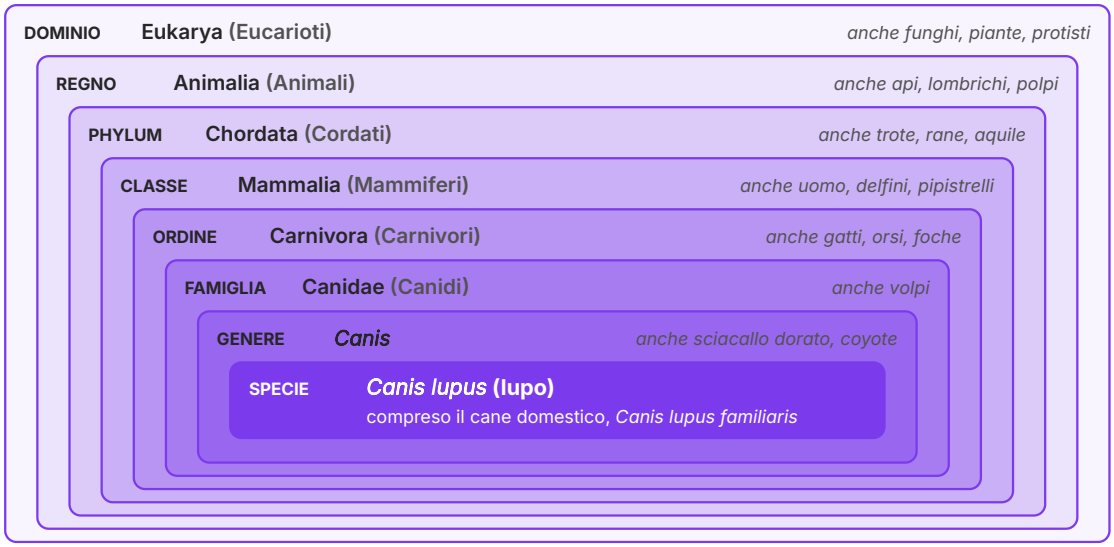


Figura 11.1 La classificazione del lupo, *Canis lupus*, come una serie di insiemi annidati. Ogni categoria comprende quelle interne; a destra, alcuni organismi che appartengono a quella categoria ma non alla successiva. I nomi dei taxa sono dati in latino, con il nome italiano fra parentesi.

Tabella 11.1 La classificazione di tre mammiferi. In grassetto le categorie che il lupo condivide con il gatto ma non con l'uomo.

Categoria	Uomo	Lupo	Gatto domestico
Dominio	Eukarya	Eukarya	Eukarya
Regno	Animalia	Animalia	Animalia
Phylum	Chordata	Chordata	Chordata
Classe	Mammalia	Mammalia	Mammalia
Ordine	Primates	**Carnivora**	**Carnivora**
Famiglia	Hominidae	Canidae	Felidae
Genere	*Homo*	*Canis*	*Felis*
Specie	*Homo sapiens*	*Canis lupus*	*Felis catus*

ESEMPIO SVOLTO

Classificare il lupo e l'uomo

Problema: giustifica, categoria per categoria, la classificazione del lupo della Tabella 11.1, e trova il punto in cui la classificazione dell'uomo se ne separa. Chi è più strettamente imparentato con il lupo, l'uomo o il gatto?

Soluzione. Il lupo ha cellule con nucleo: dominio Eukarya. È pluricellulare e si nutre ingerendo altri organismi: regno Animalia. Nell'embrione ha una notocorda, poi sostituita dalla colonna vertebrale: phylum Chordata. Ha peli e la femmina allatta i piccoli: classe Mammalia. Come la maggior parte dei Carnivori ha denti ferini, adatti a tagliare la carne: ordine Carnivora. La famiglia (Canidi) lo separa dai gatti, il genere (*Canis*) dalle volpi. L'uomo condivide con il lupo le prime quattro categorie; dall'ordine in giù se ne separa: appartiene ai Primati, con mani prensili, pollice opponibile e occhi rivolti in avanti.

Risposta: uomo e lupo hanno in comune le categorie fino alla classe; lupo e gatto fino all'ordine. Il gatto è dunque più vicino al lupo di quanto lo sia l'uomo: i Carnivori discendono da un antenato comune più recente di quello di tutti i Mammiferi.

Le categorie sono però convenzioni: una famiglia di insetti e una di mammiferi non hanno né lo stesso numero di specie né la stessa età. Per questo la sistematica moderna si pone soprattutto un'altra domanda: non «in quale scatola sta questo organismo?», ma «chi è il suo parente più stretto?».

IN SINTESI

Dominio › **Regno** › **Phylum** › **Classe** › **Ordine** › **Famiglia** › **Genere** › **Specie**
Nome della specie = *Genere epiteto*, in corsivo, genere maiuscolo, epiteto minuscolo: *Canis lupus*.
Più bassa è l'ultima categoria che due organismi condividono, più stretta è la loro parentela.

11.3 Classificare per parentela

11.3.1 L'albero della vita

L'unica illustrazione dell'*Origine delle specie* di Darwin è un albero ramificato: le specie attuali sono le punte dei rami, e risalendo i rami si arriva ad antenati sempre più antichi, comuni a gruppi sempre più ampi. Da allora l'obiettivo della sistematica è che la classificazione rispecchi la **filogenesi**, cioè la storia evolutiva di un gruppo di organismi: l'ordine in cui le loro linee si sono separate.

Questa storia si rappresenta con un **albero filogenetico** (Figura 11.2). La *radice* rappresenta l'antenato di tutto il gruppo; ogni ramificazione, o **nodo**, rappresenta l'**antenato comune** delle linee che ne partono; le punte dei rami sono i taxa che si confrontano, di solito specie o gruppi attuali. Due linee che nascono dallo stesso nodo si chiamano **gruppi fratelli**: sono l'una il parente più stretto dell'altra. Un albero si può disegnare in orizzontale, in verticale o in diagonale, e i rami possono ruotare attorno ai nodi senza che cambi nulla: conta soltanto il modo in cui i rami sono collegati.

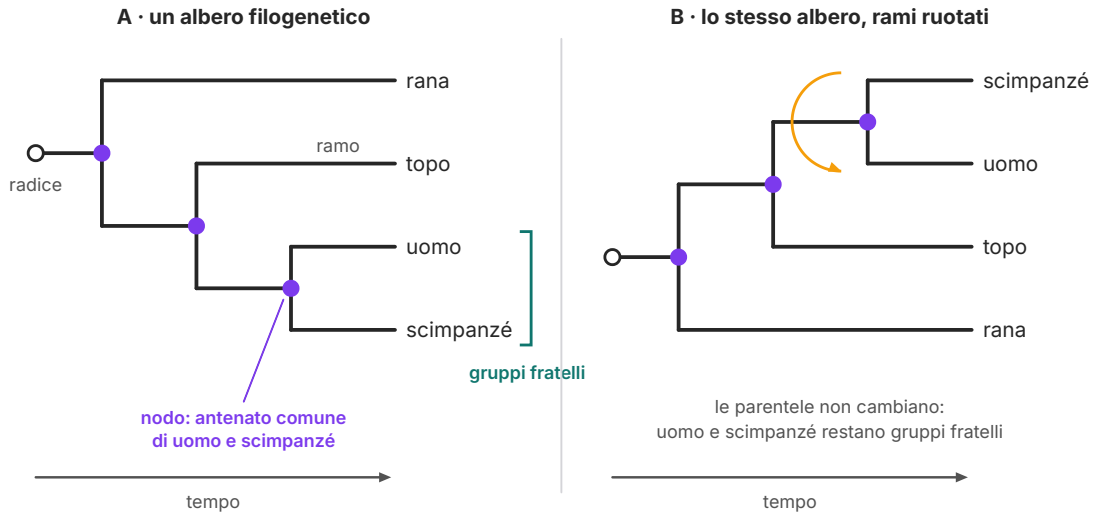


Figura 11.2 Come si legge un albero filogenetico. A: radice, nodi e rami; i nodi viola rappresentano antenati comuni. B: lo stesso albero con i rami ruotati attorno ai nodi. L'ordine delle punte dall'alto in basso non ha significato: uomo e scimpanzé sono gruppi fratelli in entrambi i disegni, e il topo è ugualmente imparentato con l'uno e con l'altro.

Un albero filogenetico è un'*ipotesi*, la ricostruzione migliore che i dati disponibili permettono. Quando si scoprono nuovi fossili o si confrontano nuovi caratteri, l'albero viene messo alla prova e, se serve, corretto: proprio come ogni teoria scientifica.

ERRORE FREQUENTE

«Le specie disegnate in fondo all'albero sono le più evolute», «l'uomo discende dallo scimpanzé». Tutte le punte di un albero filogenetico rappresentano organismi attuali, che hanno alle spalle lo stesso tempo di evoluzione: nessuna è più evoluta delle altre, e nessuna è l'antenato di un'altra. Uomo e scimpanzé discendono da un antenato comune, rappresentato dal nodo che li unisce, che non era né un uomo né uno scimpanzé. Ruotando i rami (Figura 11.2, B) l'uomo può finire in cima, in fondo o al centro: la sua posizione nel disegno non dice nulla.

11.3.2 Caratteri ancestrali e caratteri derivati

Come si costruisce un albero? Il metodo oggi più usato si chiama *cladistica* e fu proposto dall'entomologo tedesco Willi Hennig nel 1950. La sua idea chiave è che non tutte le somiglianze servono a stabilire una parentela. Un **carattere ancestrale** è un carattere già presente in un antenato lontano e conservato da molti dei suoi discendenti: la colonna vertebrale, per esempio, è comune alla trota, alla rana e al topo, e quindi non dice se il topo sia più vicino alla rana o alla trota. Un **carattere derivato condiviso** è invece una novità comparsa in un antenato ed ereditata da tutti i suoi discendenti: le quattro zampe sono comparse nell'antenato comune di rana e topo, e riuniscono questi due animali escludendo la trota.

Per decidere quale forma di un carattere sia quella ancestrale si confronta il gruppo studiato con un **gruppo esterno**, un organismo affine ma imparentato meno strettamente con tutti gli altri. Inoltre i caratteri confrontati devono essere *omologhi*, cioè ereditati da un antenato comune, e non soltanto *analoghi*, cioè simili per funzione ma comparsi in modo indipendente, come l'ala di un uccello e quella di un insetto (Capitolo 9). Un albero costruito sui caratteri derivati condivisi si chiama **cladogramma**: su ogni ramo si segna il carattere nuovo comparso in quel punto (Figura 11.3).

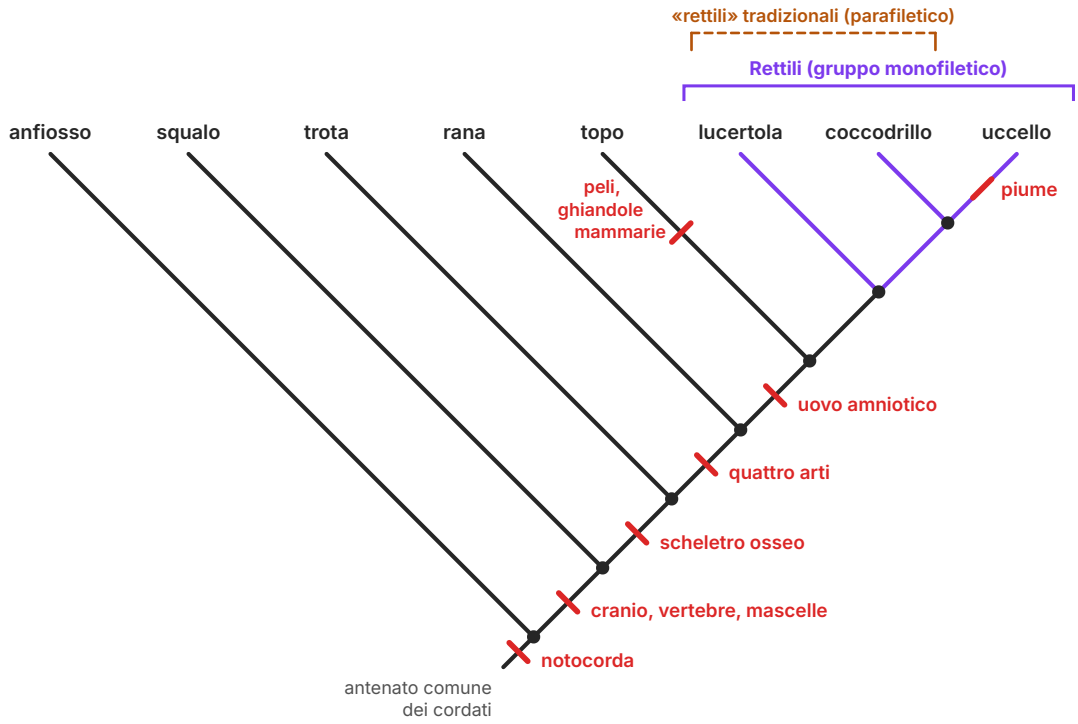


Figura 11.3 Cladogramma di alcuni cordati, costruito con i caratteri derivati condivisi (trattini rossi). Ogni carattere compare nel punto indicato ed è ereditato da tutti i rami che stanno sopra; l'anfiosso fa da gruppo esterno. In viola la linea dei Rettili, che comprende gli uccelli; la parentesi tratteggiata indica il gruppo tradizionale dei «rettili», che li esclude. Le lunghezze dei rami non rappresentano il tempo.

ESEMPIO SVOLTO

Leggere il cladogramma dei vertebrati

Problema: usando la Figura 11.3, rispondi. a) Il coccodrillo è più strettamente imparentato con la lucertola o con l'uccello? b) Quale carattere hanno in comune la trota e il topo ma non lo squalo? c) Il topo è più vicino alla rana o alla lucertola?

Soluzione. a) Coccodrillo e uccello partono dallo stesso nodo: sono gruppi fratelli. La lucertola si è separata prima, ed è imparentata allo stesso modo con entrambi. b) Lo scheletro osseo, comparso dopo che la linea degli squali si era già separata. c) Topo e lucertola condividono l'uovo amniotico, un carattere derivato che la rana non ha: il loro antenato comune è più recente di quello che hanno con la rana.

Risposta: a) con l'uccello; b) lo scheletro osseo; c) alla lucertola.

11.3.3 Gruppi monofiletici e non

Un gruppo formato da un antenato e da *tutti* i suoi discendenti si chiama **gruppo monofiletico** (o *clade*): in un albero è un ramo intero, che si stacca con un solo taglio. I Mammiferi sono un gruppo monofiletico, e così le Angiosperme. Un **gruppo parafiletico** comprende un antenato e solo *alcuni* dei suoi discendenti; un **gruppo polifiletico** riunisce organismi di linee diverse senza il loro antenato comune, di solito sulla base di somiglianze comparse in modo indipendente, come gli animali «a sangue caldo», uccelli e mammiferi (Figura 11.4).

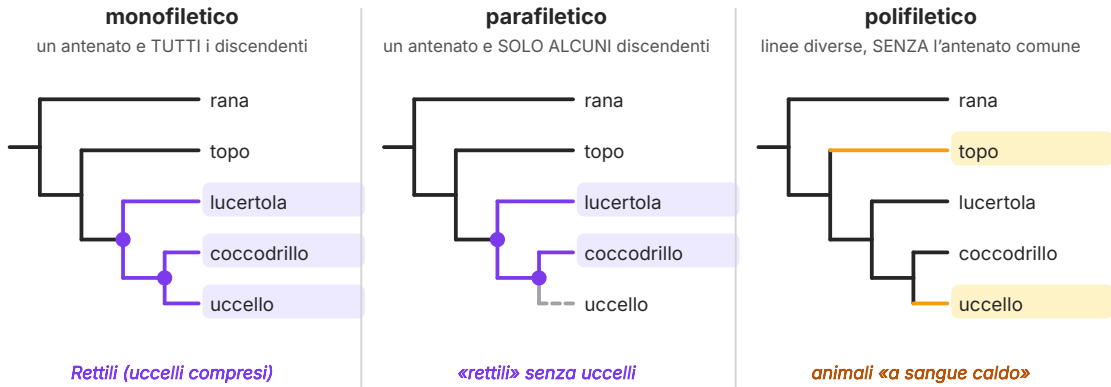


Figura 11.4 Tre tipi di gruppo sullo stesso albero. Monofiletico: un antenato (nodo viola) con tutti i suoi discendenti, come i Rettili comprensivi degli uccelli. Parafiletico: lo stesso antenato senza una parte dei discendenti, come i «rettili» tradizionali. Polifiletico: organismi di linee diverse riuniti per una somiglianza comparsa due volte, come uccelli e mammiferi, entrambi «a sangue caldo».

La classificazione moderna riconosce come taxa soltanto i gruppi monofiletici, e questo ha cambiato alcune idee familiari. L'esempio più noto riguarda i rettili. Lucertole, serpenti, tartarughe e coccodrilli formavano tradizionalmente la classe dei Rettili, separata da quella degli Uccelli. Ma gli uccelli discendono dallo stesso antenato e, come mostra la Figura 11.3, sono più vicini ai coccodrilli di quanto i coccodrilli lo siano alle lucertole: gli uccelli sono una linea di dinosauri sopravvissuta fino a oggi. I «rettili» senza gli uccelli sono quindi un gruppo parafiletico. In senso filogenetico gli uccelli *sono* rettili: le piume e il volo li rendono molto diversi, ma non cambiano la loro storia. Per la stessa ragione anche i «pesci», se non vi si includono i vertebrati terrestri che ne discendono, sono un gruppo parafiletico. Nell'uso comune (anche nel Capitolo 14) si parla ancora di pesci, rettili e uccelli: sono nomi comodi, purché si sappia che cosa indicano.

DA RICORDARE

Monofiletico: antenato + tutti i discendenti (un ramo intero). **Parafiletico**: antenato + solo alcuni discendenti. **Polifiletico**: linee diverse senza l'antenato comune. Solo i gruppi monofiletici sono taxa nella classificazione filogenetica, e solo i caratteri derivati condivisi permettono di riconoscerli.

11.3.4 I dati molecolari

Oggi la sistematica confronta le *sequenze* del DNA e delle proteine. L'idea è semplice: dopo che due linee si separano, i loro geni accumulano cambiamenti in modo indipendente, e quanto più tempo è passato, tanto più le sequenze sono diverse (Capitolo 9). Confrontando lo stesso gene in molte specie si può ricostruire l'ordine delle ramificazioni.

I dati molecolari hanno confermato gran parte degli alberi costruiti con l'anatomia, ma hanno anche riservato sorprese. Hanno mostrato che i parenti viventi più stretti delle balene sono gli ippopotami, un risultato poi sostenuto dai fossili di antichi cetacei con le zampe; che i funghi sono più vicini agli animali che alle piante; che l'ippocastano e gli aceri, un tempo in famiglie separate, appartengono alla stessa famiglia. E hanno portato alla scoperta di un intero dominio di viventi.

11.4 Dai due regni ai tre domini

11.4.1 Due, tre, cinque regni

Per Linneo i viventi si dividevano in due regni: animali e vegetali. Gli animali si muovono e mangiano; tutto ciò che stava fermo e cresceva dal terreno, funghi compresi, era un vegetale. Il sistema funzionava per gli organismi visibili a occhio nudo, ma non per i microrganismi scoperti da van Leeuwenhoek (Capitolo 1): un essere unicellulare che nuota e insieme fa la fotosintesi, come l'euglena, è un animale o una pianta? Nel 1866 il biologo tedesco Ernst Haeckel propose un terzo regno, i **Protisti**, per gli organismi unicellulari.

Nel Novecento il microscopio elettronico rese evidente la differenza fra cellule procariotiche ed eucariotiche (Capitolo 3), e nel 1969 l'ecologo statunitense Robert Whittaker propose un sistema a **cinque regni**, fondato su tre criteri: il tipo di cellula, il numero di cellule e il modo di nutrirsi (Tabella 11.2). I funghi diventarono un regno a sé: non fanno la fotosintesi, si nutrono assorbendo sostanze già digerite all'esterno del loro corpo e hanno una parete di chitina, non di cellulosa.

Tabella 11.2 I cinque regni di Whittaker (1969).

Regno	Cellula	Organizzazione	Nutrizione	Esempi
Monere	procariotica	unicellulari	varia: fotosintesi, assorbimento, chemiosintesi	batteri, cianobatteri
Protisti	eucariotica	per lo più unicellulari	fotosintesi, ingestione o assorbimento	amebe, parameci, diatomee
Funghi	eucariotica	per lo più pluricellulari	assorbimento	muffe, lieviti, funghi a cappello
Piante	eucariotica	pluricellulari	fotosintesi	muschi, felci, conifere, piante con fiori
Animali	eucariotica	pluricellulari	ingestione	spugne, insetti, vertebrati

11.4.2 Woese e i tre domini

Negli anni Settanta il microbiologo statunitense Carl Woese decise di confrontare tutti i viventi usando una molecola che tutte le cellule possiedono: l'RNA dei ribosomi. Scoprì che alcuni procarioti, fra cui quelli che producono metano, erano diversi dagli altri batteri quanto lo erano dagli eucarioti. Nel 1977 li separò con il nome di archebatteri, oggi **Archei** (Archaea). Nel 1990, insieme ad altri due studiosi, propose di dividere i viventi in tre **domini**, un livello superiore ai regni: **Bacteria**, **Archaea** ed **Eukarya** (Figura 11.5).

Batteri e archei sono entrambi procarioti, e al microscopio si somigliano. Ma gli archei hanno lipidi di membrana di tipo diverso, una parete priva di peptidoglicano e, in alcune delle molecole che usano per leggere e copiare l'informazione genetica, somigliano più agli eucarioti che ai batteri. Molti archei sono *estremofili*, che vivono in sorgenti bollenti, saline o ambienti senza ossigeno (Capitolo 12), ma moltissimi altri abitano il suolo e gli oceani. Il regno delle Monere, quindi, non è un gruppo monofiletico: riuniva due domini diversi solo perché entrambi privi di nucleo.

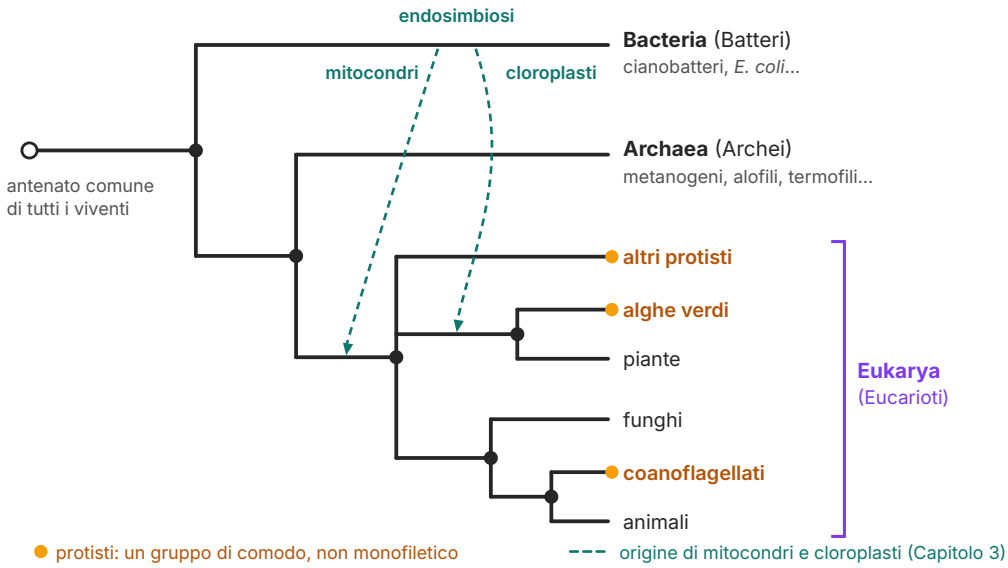


Figura 11.5 Albero schematico dei tre domini, secondo il modello di Woese. Archei ed eucarioti hanno un antenato comune più recente di quello che condividono con i batteri. Fra gli eucarioti, i funghi sono il gruppo fratello di una linea che comprende gli animali e i loro parenti unicellulari più stretti, i coanoflagellati; le alghe verdi sono vicine alle piante. Le frecce tratteggiate indicano l'origine per endosimbiosi dei mitocondri e dei cloroplasti. Schema: molti gruppi di eucarioti non sono rappresentati, e le lunghezze dei rami non sono in scala.

APPROFONDIMENTO

Approfondimento · Leggere la storia nei ribosomi. Per confrontare organismi diversissimi, come un batterio e un fungo, non si possono usare caratteri anatomici: non ne hanno di comuni. Woese scelse l'RNA di una delle due subunità del ribosomo, una molecola presente in ogni cellula e che cambia molto lentamente nel corso dell'evoluzione. Insieme a George Fox ne confrontò i frammenti in molte specie e, nel 1977, annunciò che i procarioti erano divisi in due linee profondamente diverse. L'idea fu accolta con scetticismo. Ancora nel 1998 Ernst Mayr, il biologo del concetto di specie (Capitolo 10), difese la divisione dei viventi in procarioti ed eucarioti, e Woese gli rispose nello stesso anno. Oggi i tre domini sono il sistema di riferimento; alcuni studiosi ritengono però che gli eucarioti siano nati all'interno degli archei, e il dibattito sui rami più profondi dell'albero è ancora aperto.

11.4.3 Dentro gli eucarioti

Il dominio Eukarya comprende i tre regni di organismi pluricellulari, cioè funghi, piante e animali, e una moltitudine di organismi per lo più unicellulari che si continuano a chiamare *protisti*. I protisti sono un *gruppo di comodo*: comprendono tutti gli eucarioti che non sono funghi,

piante o animali. Non sono un gruppo monofiletico, perché alcuni di essi, come le alghe verdi, sono più vicini alle piante che agli altri protisti, e altri, come i coanoflagellati, sono più vicini agli animali. Batteri, archei, protisti e funghi sono l'argomento del Capitolo 12; piante e animali dei Capitoli 13 e 14.

Nell'albero della vita non trovano posto i virus: non sono fatti di cellule e non si riproducono da soli, ma solo dentro una cellula ospite (Capitolo 12).

11.5 Le chiavi dicotomiche

11.5.1 Come è fatta una chiave

Classificare è una cosa, *identificare* un organismo, cioè scoprire a quale specie appartiene, è un'altra. Lo strumento classico per farlo è la **chiave dicotomica** («dicotomico» significa «diviso in due»): una serie di coppie di affermazioni opposte, dette *coppie* o *dilemmi*, sui caratteri dell'organismo. A ogni passo si sceglie l'affermazione vera, che rimanda alla coppia successiva oppure dà direttamente un nome. La Tabella 11.3 è una chiave per riconoscere sei alberi comuni in Italia dalle foglie; la Figura 11.6 mostra la stessa chiave come uno schema ramificato.

Tabella 11.3 Chiave dicotomica per sei alberi, basata sulle foglie.

Coppia	Carattere	Vai a / nome
1a	Foglie aghiformi (ad ago)	2
1b	Foglie con lamina larga e piatta	3
2a	Aghi riuniti a coppie, lunghi 10–20 cm	pino domestico, *Pinus pinea*
2b	Aghi isolati, appiattiti, lunghi circa 2–3 cm, con due strisce chiare sulla faccia inferiore	abete bianco, *Abies alba*
3a	Foglia composta, con 5–7 foglioline che partono da uno stesso punto (palmata)	ippocastano, *Aesculus hippocastanum*
3b	Foglia semplice, con una sola lamina	4
4a	Margine intero, appena ondulato	faggio, *Fagus sylvatica*
4b	Margine diviso in lobi	5
5a	Una nervatura principale con nervature laterali (pennata); lobi arrotondati	farnia, *Quercus robur*
5b	Cinque nervature principali che partono dalla base della lamina (palmate)	acero di monte, *Acer pseudoplatanus*

Una buona chiave rispetta poche regole. Ogni coppia si basa su caratteri *osservabili* direttamente, senza strumenti complicati. Le due alternative si *escludono a vicenda* e coprono tutti i casi:

non «foglia grande / foglia piccola», che lascia dubbi, ma «margine intero / margine lobato», oppure una misura. Chi costruisce la chiave sceglie caratteri stabili, che non cambiano con la stagione o con l'età. In una chiave dove ogni nome compare una sola volta, il numero di coppie è uguale al numero di taxa meno uno: sei alberi, cinque coppie.

ESEMPIO SVOLTO

Identificare una foglia

Problema: in un parco raccogli una foglia caduta con una sola lamina larga, il margine diviso in lobi arrotondati, una nervatura centrale da cui partono nervature laterali e un picciolo cortissimo. Di quale albero si tratta?

Soluzione. Coppia 1: la lamina è larga, quindi 1b → 3. Coppia 3: la foglia è semplice, 3b → 4. Coppia 4: il margine è lobato, 4b → 5. Coppia 5: la nervatura è pennata e i lobi arrotondati, 5a.

Risposta: è una farnia, *Quercus robur*. Il percorso ha attraversato quattro coppie; per l'ippocastano ne sarebbero bastate due.

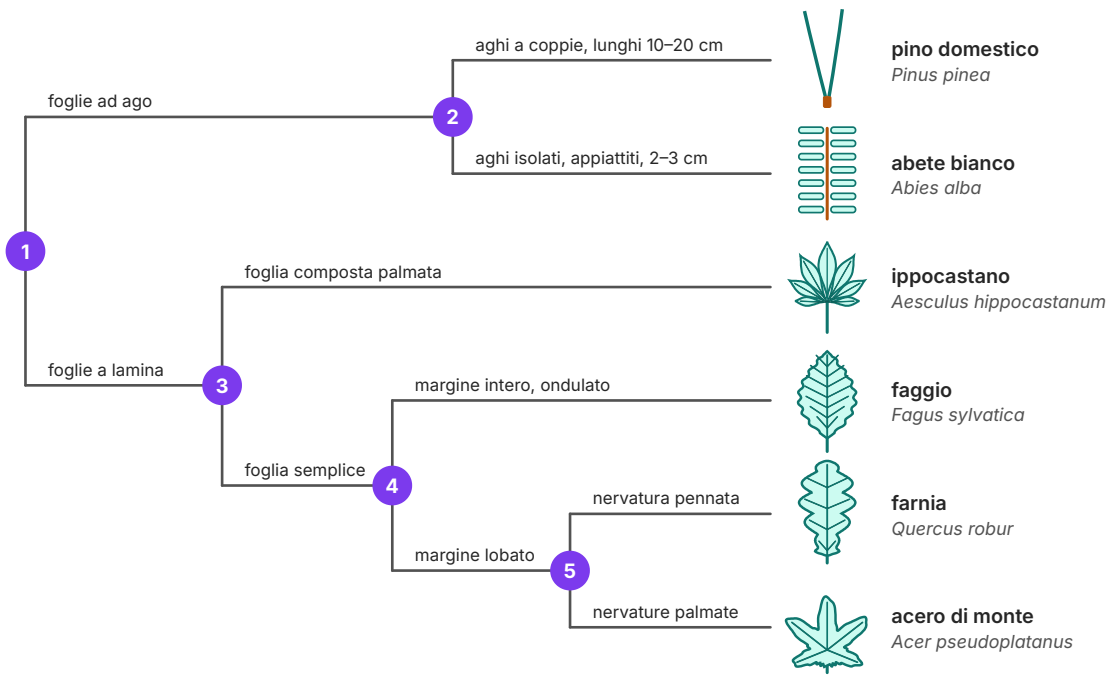


Figura 11.6 La chiave della Tabella 11.3 disegnata come uno schema ramificato: ogni cerchio è una coppia di alternative. Le foglie sono schematiche e non in scala.

ERRORE FREQUENTE

«Se due alberi sono vicini nella chiave, sono parenti stretti.» Non è detto. Una chiave è uno strumento pratico, che usa i caratteri più facili da vedere, non una classificazione. Pino e abete appartengono davvero alla stessa famiglia (Pinacee), come faggio e farnia (Fagacee); ma l'ippocastano e l'acero di monte, che la chiave separa già alla coppia 3, appartengono entrambi alla stessa famiglia, le Sapindacee. Inoltre una chiave funziona solo per gli organismi per cui è stata scritta: una foglia di platano, che non vi compare, verrebbe scambiata per quella di un acero.

ESPERIENZA DI LABORATORIO

Una chiave per gli alberi della scuola

Materiale: foglie cadute di 5–8 alberi del cortile o di un parco vicino, cartoncini, righello, lente d'ingrandimento, macchina fotografica o telefono.

Procedimento. 1) In gruppi, raccogliete foglie cadute, senza strappare rami, e numerate ogni albero. 2) Annotate in una tabella i caratteri di ogni foglia: semplice o composta, margine, nervatura, lunghezza di lamina e picciolo. 3) Costruite una chiave dicotomica che porti a ciascun numero. 4) Scambiate le chiavi fra i gruppi e provate a usarle. 5) Con una guida illustrata, sostituite i numeri con i nomi scientifici.

Sicurezza: non portate alla bocca foglie, frutti o semi; alcune piante ornamentali sono tossiche o irritanti. Lavatevi le mani alla fine.

Domande. In quale coppia gli altri gruppi hanno sbagliato più spesso, e perché? Quale carattere si è rivelato più affidabile? Quante coppie contiene la vostra chiave, e quanti alberi?

SINTESI

- La **tassonomia** descrive, nomina e classifica gli organismi; la **sistematica** ne studia anche le relazioni di parentela evolutiva.
- Linneo (*Systema Naturae*, 1735) introdusse la **nomenclatura binomiale**: per le piante nel 1753, per gli animali nella decima edizione del 1758.
- Il nome di una specie è formato da **genere** ed **epiteto specifico**, in corsivo, con il genere maiuscolo: *Homo sapiens*. Le specie descritte sono circa 2 milioni; il totale reale è molto incerto.
- Le categorie sono **dominio, regno, phylum, classe, ordine, famiglia, genere, specie**: ognuna comprende quelle sottostanti.
- Un **albero filogenetico** rappresenta la storia evolutiva: i **nodi** sono antenati comuni, le punte organismi attuali; ruotare i rami non cambia le parentele.
- Le parentele si ricostruiscono con i **caratteri derivati condivisi**, omologhi; i caratteri ancestrali e quelli analoghi non servono a questo scopo.
- Un gruppo **monofiletico** comprende un antenato e tutti i suoi discendenti; i gruppi **parafiletici** e **polifiletici** non sono taxa validi nella classificazione filogenetica.
- In senso filogenetico gli **uccelli sono rettili**: i «rettili» tradizionali, che li escludono, sono un gruppo parafiletico.
- Dai 2 regni di Linneo si è passati ai Protisti di Haeckel (1866) e ai 5 regni di Whittaker (1969); Woese, confrontando l'RNA dei ribosomi, scoprì gli **Archei** (1977) e propose i **tre domini** Bacteria, Archaea, Eukarya (1990).
- I **protisti** sono un gruppo di comodo, non monofiletico; i funghi sono più vicini agli animali che alle piante.
- Una **chiave dicotomica** identifica un organismo con coppie di caratteri osservabili che si escludono a vicenda; con n taxa servono $n - 1$ coppie. Una chiave non è una classificazione.

ESERCIZI

Comprendere e ricordare

1. ● Quale di queste scritture del nome scientifico dell'uomo è corretta?

   A. *Homo Sapiens*
   B. homo sapiens
   C. *Homo sapiens*
   D. *homo Sapiens*

2. ● Quale fra queste categorie comprende tutte le altre?

   A. phylum
   B. famiglia
   C. ordine
   D. classe

3. ● Due animali appartengono allo stesso ordine. Allora appartengono di sicuro anche alla stessa

   A. famiglia
   B. specie
   C. genere
   D. classe

4. ● In un albero filogenetico un nodo rappresenta

   A. una specie attuale
   B. l'antenato comune delle linee che ne partono
   C. un carattere ancestrale
   D. una specie estinta senza discendenti

5. ● Il sistema a cinque regni fu proposto da

   A. Linneo, nel 1735
   B. Haeckel, nel 1866
   C. Woese, nel 1990
   D. Whittaker, nel 1969

6. ●● Quale di questi gruppi è monofiletico?

   A. i mammiferi
   B. i «rettili» senza gli uccelli
   C. i protisti
   D. gli animali «a sangue caldo»

7. ●● Woese distinse gli archei dai batteri confrontando

   A. la forma delle cellule al microscopio
   B. il modo di nutrirsi
   C. le sequenze dell'RNA dei ribosomi
   D. la presenza o l'assenza del nucleo

8. ●● In una chiave dicotomica ben costruita, le due alternative di ogni coppia

   A. riguardano la parentela evolutiva
   B. si basano su caratteri osservabili e si escludono a vicenda
   C. possono essere vere entrambe
   D. si basano sul nome comune dell'organismo

9. ● In quale dominio si trovano i funghi?
   - **A.** Bacteria
   - **B.** Archaea
   - **C.** Protista
   - **D.** Eukarya

Vero o falso

10. ● Nel nome *Canis lupus*, *lupus* è il nome del genere.

11. ● Due specie dello stesso genere appartengono necessariamente alla stessa famiglia.

12. ●● In un albero filogenetico le specie disegnate più in alto o più a destra sono le più evolute.

13. ●● Secondo la classificazione filogenetica, gli uccelli fanno parte dei rettili.

14. ● Gli archei vivono soltanto in ambienti estremi, come le sorgenti bollenti.

Applicare

15. ● Correggi i nomi scientifici scritti in modo sbagliato: «Quercus Robur», «felis catus», «*Canis Lupus*», «il *sapiens*». Poi scrivi le forme abbreviate di *Quercus robur* e di *Felis catus*.

16. ● Ordina dalla più ampia alla più ristretta le categorie: genere, classe, dominio, famiglia, specie, ordine, regno, phylum.

17. ●● Il leone è *Panthera leo*, la tigre *Panthera tigris*, il gatto domestico *Felis catus*; tutti e tre appartengono alla famiglia Felidae. Quale coppia è più strettamente imparentata? Fino a quale categoria la tigre condivide la classificazione con il gatto, e fino a quale con il lupo (Tabella 11.1)?

18. ●● Con la chiave della Tabella 11.3 identifica una foglia ad ago, lunga circa 2 cm, appiattita, isolata sul rametto, con due strisce chiare sulla faccia inferiore. Scrivi il percorso seguito.

19. ●● Con la stessa chiave identifica una foglia semplice, con il margine diviso in lobi seghettati e cinque grosse nervature che partono a ventaglio dalla base. Scrivi il percorso seguito.

20. ●● Nella chiave della Tabella 11.3, quante coppie bisogna leggere, al massimo, per arrivare a un nome? Quali alberi si identificano con il percorso più breve? Una chiave per 12 specie, in cui ogni nome compare una sola volta, quante coppie contiene?

21. ●●● Costruisci una chiave dicotomica per questi cinque animali: ragno, formica, gambero di fiume, lombrico, chiocciola. Usa solo caratteri osservabili: presenza di zampe articolate, numero di zampe (il ragno ne ha 8, la formica 6, il gambero 10 zampe toraciche), presenza di una conchiglia. Quante coppie contiene la tua chiave?

Tabella 11.4 Caratteri di cinque organismi fotosintetici (esercizio). + presente, – assente.

Carattere	alga verde	muschio	felce	pino	melo
embrione protetto dalla pianta madre	–	+	+	+	+
tessuti conduttori (vasi)	–	–	+	+	+
semi	–	–	–	+	+
fiori e frutti	–	–	–	–	+

22. ●●● La Tabella 11.4 indica la presenza (+) o l'assenza (–) di quattro caratteri in cinque organismi; l'alga verde è il gruppo esterno. Disegna il cladogramma, segnando su ogni ramo il carattere che vi compare. Qual è il gruppo fratello del melo?

Leggere dati e figure

23. ● Osserva la Figura 11.3. Quali caratteri possiede la rana e non lo squalo? Quale organismo fa da gruppo esterno, e quale carattere condivide con tutti gli altri?

24. ●●● Nella Figura 11.3, il gruppo formato da topo, lucertola, coccodrillo e uccello è monofiletico? E il gruppo formato da trota e rana? Giustifica le risposte.

25. ●● Osserva la Figura 11.5. Gli archei sono più vicini ai batteri o agli eucarioti? I funghi sono più vicini alle piante o agli animali? Perché i nomi dei protisti sono scritti in arancione?

Indagare e argomentare

26. ●● Un biologo italiano e uno giapponese parlano dello stesso insetto. Spiega perché useranno il nome scientifico e non i nomi comuni delle loro lingue, con un esempio di nome comune che può trarre in inganno.

27. ●●● Fino alla metà del Novecento i funghi erano classificati fra le piante. Quali caratteristiche li distinguono dalle piante, e quali dati più recenti mostrano che sono più vicini agli animali? Che cosa insegna questa storia sul carattere delle classificazioni scientifiche?

28. ●●● Una compagna sostiene: «Gli uccelli non possono essere rettili: hanno le piume, volano e hanno il sangue caldo». Rispondile usando i concetti di gruppo monofiletico e di carattere derivato.

Approfondimento

29. ● (Approfondimento) Perché il «sistema sessuale» di Linneo per le piante si dice artificiale? Perché, nonostante questo, ebbe tanto successo?

PER APPROFONDIRE

- [DAR] C. Darwin, *On the Origin of Species* (1859): nel capitolo IV si trova l'unica figura del libro, l'albero ramificato da cui nasce la classificazione filogenetica.
- [CAM] L. A. Urry e altri, *Campbell Biology*: il capitolo sulla filogenesi e l'albero della vita, con molti esercizi di lettura degli alberi.
- [SAD] D. Sadava e altri, *Life: The Science of Biology*: la ricostruzione degli alberi filogenetici e il loro uso in biologia.
- [WIL] E. O. Wilson, *The Diversity of Life*: quante specie conosciamo, quante ne restano da scoprire e perché contarle è difficile.

Glossario del capitolo

Albero filogenetico
Diagramma ramificato che rappresenta un'ipotesi sulla storia evolutiva e sulle parentele di un gruppo di organismi.

Antenato comune
Organismo, o popolazione, da cui discendono due o più linee evolutive; in un albero filogenetico è rappresentato da un nodo.

Archei (Archaea)
Dominio di procarioti distinti dai batteri per la composizione della membrana e della parete e per molte caratteristiche molecolari.

Carattere derivato condiviso
Carattere comparso in un antenato ed ereditato dai suoi discendenti; permette di riconoscere un gruppo monofiletico.

Categoria tassonomica
Ciascuno dei livelli della classificazione: dominio, regno, phylum, classe, ordine, famiglia, genere, specie.

Chiave dicotomica
Strumento per identificare un organismo con una serie di coppie di caratteri osservabili che si escludono a vicenda.

Cladogramma
Albero filogenetico costruito sui caratteri derivati condivisi, segnati sui rami in cui compaiono.

Dominio
La categoria tassonomica più ampia; i domini sono tre: Bacteria, Archaea, Eukarya.

Epiteto specifico
Seconda parola del nome scientifico di una specie, scritta in minuscolo; da sola non indica una specie.

Filogenesi
Storia evolutiva di un gruppo di organismi, cioè l'ordine in cui le loro linee si sono separate.

Genere
Categoria che riunisce specie molto affini; è la prima parola, maiuscola, del nome scientifico.

Gruppi fratelli
Due linee che nascono dallo stesso nodo di un albero filogenetico: ciascuna è il parente più stretto dell'altra.

Gruppo monofiletico
Gruppo formato da un antenato e da tutti i suoi discendenti (clade).

Gruppo parafiletico
Gruppo formato da un antenato e da una parte soltanto dei suoi discendenti, come i «rettili» senza gli uccelli.

Nomenclatura binomiale
Sistema di Linneo per cui ogni specie ha un nome scientifico di due parole: genere ed epiteto specifico.

Protisti
Eucarioti che non sono né funghi né piante né animali, per lo più unicellulari; un gruppo di comodo, non monofiletico.

Sistematica
Studio della diversità dei viventi e delle loro relazioni di parentela evolutiva; comprende la tassonomia.

Tassonomia
Disciplina che descrive gli organismi, assegna loro un nome e li ordina in categorie.

Taxon
Qualsiasi gruppo di organismi a cui si dà un nome, a qualunque livello (plurale *taxa*).

Soluzioni

1. C. Genere maiuscolo, epiteto minuscolo, tutto in corsivo.

2. A. Il phylum contiene le classi, che contengono gli ordini, che contengono le famiglie.

3. D. Chi appartiene allo stesso ordine appartiene anche alla stessa classe (e allo stesso phylum, regno e dominio), ma non necessariamente alla stessa famiglia.

4. B. Ogni nodo rappresenta l'antenato comune delle linee che si separano in quel punto.

5. D. Robert Whittaker, 1969: Monere, Protisti, Funghi, Piante, Animali.

6. A. I mammiferi comprendono un antenato e tutti i suoi discendenti. I «rettili» senza uccelli e i protisti sono parafiletici; gli animali «a sangue caldo» sono polifiletici.

7. C. Woese confrontò l'RNA dei ribosomi, presente in tutte le cellule.

8. B. Le alternative devono essere osservabili, opposte e coprire tutti i casi.

9. D. I funghi hanno cellule con nucleo: sono eucarioti. «Protista» non è un dominio.

10. F. *Canis* è il genere; *lupus* è l'epiteto specifico.

11. V. Ogni genere è contenuto in una sola famiglia.

12. F. Tutte le punte sono organismi attuali, con lo stesso tempo di evoluzione alle spalle; la loro posizione nel disegno è arbitraria, perché i rami si possono ruotare.

13. V. Gli uccelli discendono dall'antenato comune dei rettili e sono il gruppo fratello dei coccodrilli; i rettili comprensivi degli uccelli sono un gruppo monofiletico.

14. F. Molti archei sono estremofili, ma moltissimi vivono nel suolo e negli oceani.

15. *Quercus robur*; *Felis catus*; *Canis lupus*; l'epiteto *sapiens* da solo non è un nome: *Homo sapiens*. Forme abbreviate: *Q. robur*, *F. catus*.

16. Dominio › regno › phylum › classe › ordine › famiglia › genere › specie.

17. Leone e tigre, che hanno in comune anche il genere *Panthera*. La tigre condivide con il gatto la classificazione fino alla famiglia (Felidae); con il lupo fino all'ordine (Carnivora).

18. 1a (aghi) → 2; aghi isolati e appiattiti → 2b: abete bianco, *Abies alba*.

19. 1b (lamina larga) → 3; foglia semplice → 3b → 4; margine lobato → 4b → 5; nervature palmate → 5b: acero di monte, *Acer pseudoplatanus*.

20. Al massimo 4 coppie (farnia e acero di monte: 1, 3, 4, 5). Il percorso più breve, 2 coppie, porta al pino domestico, all'abete bianco (1, 2) e all'ippocastano (1, 3). Con 12 specie servono 12 − 1 = 11 coppie.

21. Una chiave possibile, con 5 − 1 = 4 coppie: 1a zampe articolate → 2; 1b senza zampe articolate → 4. 2a 6 zampe → formica; 2b più di 6 zampe → 3. 3a 8 zampe → ragno; 3b 10 zampe → gambero di fiume. 4a corpo protetto da una conchiglia → chiocciola; 4b senza conchiglia, corpo allungato diviso in anelli → lombrico. Sono corrette anche altre chiavi, purché ogni coppia usi caratteri osservabili e opposti e ogni animale compaia una sola volta.

22. Cladogramma: alga verde, poi muschio, poi felce, poi pino e melo come gruppi fratelli, cioè (alga verde, (muschio, (felce, (pino, melo)))). Caratteri: «embrione protetto» alla base del ramo che unisce muschio, felce, pino e melo; «tessuti conduttori» alla base di felce + pino + melo; «semi» alla base di pino + melo; «fiori e frutti» sul ramo del melo. Il gruppo fratello del melo è il pino.

23. La rana ha in più lo scheletro osseo e le quattro zampe (quattro arti). Il gruppo esterno è l'anfiosso,

che condivide con tutti gli altri la notocorda.

24. Sì: topo, lucertola, coccodrillo e uccello comprendono l'antenato con l'uovo amniotico e tutti i suoi discendenti presenti nell'albero (gli amnioti). No: trota e rana non sono un gruppo monofiletico, perché il loro antenato comune è anche l'antenato di topo, lucertola, coccodrillo e uccello, che il gruppo esclude (sarebbe parafiletico).

25. Agli eucarioti: archei ed eucarioti partono da un nodo comune che esclude i batteri. Agli animali: funghi e animali (con i coanoflagellati) hanno un antenato comune che esclude le piante. I protisti sono in arancione perché sono sparsi su rami diversi, vicini ora alle piante ora agli animali: sono un gruppo di comodo, non monofiletico.

26. *Traccia di risposta.* Il nome scientifico è unico e uguale in tutte le lingue, è regolato da codici internazionali e collega l'organismo alla sua classificazione; i nomi comuni cambiano da lingua a lingua e da regione a regione e possono indicare organismi diversi o suggerire parentele false. Esempi: *robin* indica in Gran Bretagna il pettirosso e negli Stati Uniti un tordo; il «pesciolino d'argento» è un insetto.

27. *Traccia di risposta.* I funghi non hanno clorofilla e non fanno la fotosintesi; si nutrono per assorbimento di sostanze digerite all'esterno; la loro parete è di chitina, non di cellulosa (la chitina si trova anche nell'esoscheletro degli artropodi); conservano le riserve come glicogeno, come gli animali, e non come amido. Per questo Whittaker ne fece un regno a sé (1969). Il confronto delle sequenze di DNA e di RNA ha poi mostrato che funghi e animali hanno un antenato comune più recente di quello che condividono con le piante. Una classificazione è un'ipotesi che si corregge quando arrivano nuovi dati.

28. *Traccia di risposta.* In una classificazione filogenetica un gruppo è valido se è monofiletico: un antenato con tutti i discendenti. Gli uccelli discendono dall'antenato comune dei rettili e sono i parenti più stretti dei coccodrilli: escluderli lascia un gruppo parafiletico. Piume e volo sono caratteri derivati comparsi nella linea degli uccelli: li distinguono come sottogruppo, ma non li portano fuori dal gruppo da cui discendono, come le quattro zampe non portano i vertebrati terrestri fuori dai vertebrati. Il «sangue caldo» è comparso in modo indipendente in uccelli e mammiferi e non indica parentela.

29. Perché si basava su pochi caratteri scelti per comodità (numero e disposizione di stami e pistilli) e non sull'insieme delle somiglianze: riuniva a volte piante poco affini e ne separava altre molto simili. Ebbe successo perché era semplicissimo da usare: contando le parti di un fiore chiunque poteva arrivare al nome di una pianta.