CAPITOLO

16

Popolazioni, comunità e biodiversità

Ogni specie è il capitolo di una storia lunga milioni di anni: quando si estingue, quel capitolo non si può più leggere.

OBIETTIVI

1. Descrivere una popolazione con dimensione, densità e distribuzione, e stimarne il numero con i quadrati di campionamento e la cattura-ricattura.
2. Distinguere la crescita esponenziale dalla crescita logistica e spiegare il significato della capacità portante.
3. Classificare le relazioni fra specie (competizione, predazione, mutualismo, commensalismo, parassitismo) e riconoscere il ruolo delle specie chiave.
4. Descrivere la successione ecologica primaria e secondaria e i principali biomi terrestri e acquatici.
5. Spiegare che cos'è la biodiversità, perché conta, quali sono le sue minacce e come si conserva.

INDICE DEL CAPITOLO

16.1 Le popolazioni 2
16.2 Le relazioni fra le specie 6
16.3 La successione ecologica 9
16.4 I biomi 11
16.5 La biodiversità e le sue minacce 13
16.6 Conservare la biodiversità 16

Scienze naturali 2 · Parte IV · Organismi e ambiente · versione 1.0
Capitolo 16: Popolazioni, comunità e biodiversità · pagine 359–382 del volume completo · estratto per lo studio

Primavera, un prato dietro la scuola. Le api passano da un fiore all'altro, un merlo cerca lombrichi, le formiche trasportano semi, fra l'erba spuntano già i primi arbusti. Ogni organismo che vediamo fa parte di una **popolazione**, cioè di un gruppo di individui della stessa specie, e convive con altre popolazioni in una **comunità**: lo abbiamo detto nel primo capitolo del libro, parlando dei livelli di organizzazione della vita. Nel capitolo precedente abbiamo seguito l'energia e la materia che attraversano un ecosistema. Ora guardiamo i viventi più da vicino: quanti sono, come cresce il loro numero, come si influenzano a vicenda, come una comunità cambia nel tempo.

Alla fine del percorso arriveremo alla domanda più attuale di tutta la biologia: perché la varietà della vita sulla Terra, la **biodiversità**, si sta riducendo, e che cosa possiamo fare per conservarla.

16.1 Le popolazioni

16.1.1 Dimensione, densità e distribuzione

Una popolazione si descrive prima di tutto con tre grandezze. La *dimensione della popolazione* è il numero di individui che la compongono, indicato con N: i caprioli di un parco, le carpe di un lago, le querce di un bosco. La **densità di popolazione** è il numero di individui per unità di superficie (o di volume, per gli organismi acquatici): 3 piante per metro quadrato, 12 caprioli per chilometro quadrato, 200 alghe unicellulari per millilitro d'acqua. La densità permette di confrontare popolazioni che occupano aree diverse.

Contare tutti gli individui è quasi sempre impossibile, e allora si stima. Per gli organismi che non si spostano, come le piante, si contano gli individui in alcuni *quadrati di campionamento* distribuiti a caso, si calcola la densità media e la si moltiplica per la superficie totale. Per gli animali che si muovono si usa il metodo di **cattura e ricattura**: si cattura un certo numero di individui, li si marca in modo innocuo e li si libera; dopo qualche tempo si fa una seconda cattura e si conta quanti individui sono marcati. Se gli individui marcati si sono mescolati agli altri, la loro frazione nella seconda cattura è uguale alla loro frazione nell'intera popolazione.

ESEMPIO SVOLTO

Quanti sono? Densità e cattura-ricattura

Problema 1. In un prato di 1 500 m^2 si lanciano a caso 10 quadrati di 1 m^2 e si contano le piante di piantaggine: in tutto 32. Stima la densità e il numero totale di piante.

Soluzione. Densità media = 32 piante / 10 m^2 = 3,2 piante/m^2. Numero stimato = 3,2 piante/m^2 × 1 500 m^2 = 4 800 piante.

Problema 2. In un parco si catturano 40 lucertole, le si marca con un piccolo punto di vernice atossica e le si libera. Una settimana dopo se ne catturano 50, di cui 8 marcate. Stima la dimensione della popolazione.

Soluzione. Le lucertole marcate sono 8 su 50 nella seconda cattura, cioè il 16 %. Se la stessa frazione vale per tutta la popolazione, le 40 lucertole marcate sono il 16 % di N: $N = 40 \times 50 / 8 = 250$ lucertole. In generale N = (marcati alla prima cattura × catturati alla seconda) / marcati ricatturati. La stima è valida se nel frattempo nessuno è nato, morto, arrivato o partito, e se la marca non rende gli animali più facili (o più difficili) da catturare.

Infine conta la *distribuzione*, cioè il modo in cui gli individui sono disposti nello spazio (Figura 16.1). La distribuzione *uniforme*, con individui a distanze quasi regolari, nasce dalla competizione per lo spazio: le coppie di sule che nidificano in colonia si tengono a distanza di becco. La distribuzione *casuale*, rara, compare quando nessun fattore attira o respinge gli individui, come per i denti di leone che germogliano dove il vento ha lasciato il seme. La distribuzione *a gruppi* è la più comune: le risorse sono distribuite a chiazze, molti animali vivono in branchi o colonie, molte piante si diffondono vicino alla pianta madre.

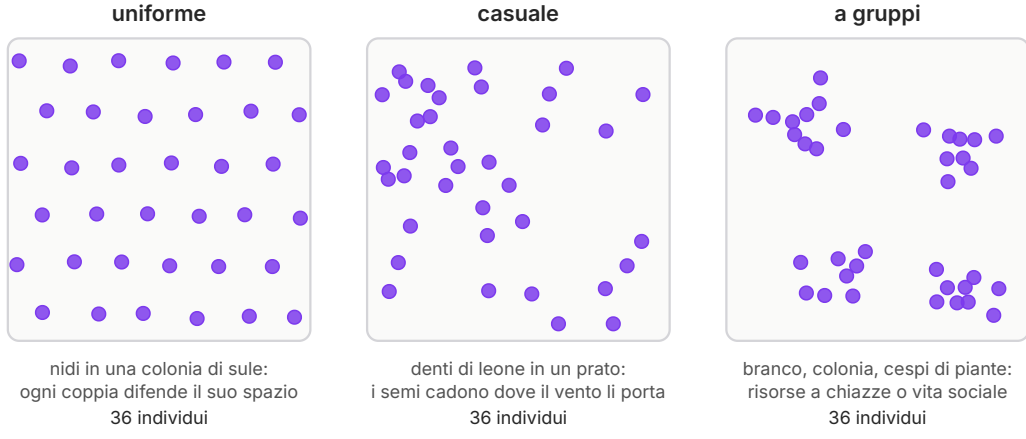


Figura 16.1 Tre modi in cui gli individui di una popolazione si distribuiscono nello spazio. Ogni riquadro contiene lo stesso numero di individui; la distribuzione casuale è stata generata con numeri casuali.

16.1.2 Come cambia il numero di individui

Una popolazione cambia per quattro motivi. La **natalità** (le nascite) e l'*immigrazione* (gli individui che arrivano da fuori) la fanno aumentare; la *mortalità* (le morti) e l'*emigrazione* (gli individui che se ne vanno) la fanno diminuire. In un certo intervallo di tempo:

$$\text{variazione di } N = \text{nascite} - \text{morti} + \text{immigrati} - \text{emigrati}$$

Se la popolazione di caprioli di una riserva, 400 individui, in un anno registra 120 nascite, 70 morti, 10 immigrati e 20 emigrati, la variazione è $120 - 70 + 10 - 20 = +40$: l'anno dopo i caprioli sono 440, il 10 % in più. Dividendo la variazione per N si ottiene il *tasso di crescita*, che permette di confrontare popolazioni grandi e piccole.

16.1.3 La crescita esponenziale

Immagina una popolazione che dispone di cibo e spazio illimitati e non ha predatori né malattie. Ogni anno, per esempio, cresce del 20 %. Da 200 individui si passa a 240, poi a 288, poi a 346: ogni anno l'aumento è *più grande* di quello precedente, perché il 20 % si calcola su un numero sempre maggiore. Questa è la **crescita esponenziale**: l'aumento è proporzionale al numero di individui già presenti, come hai visto per la scissione dei batteri (Capitolo 12). In un grafico del numero di individui in funzione del tempo forma una *curva a J* (Figura 16.2), all'inizio quasi piatta e poi sempre più ripida. È lo stesso meccanismo dell'interesse composto.

ESEMPIO SVOLTO

Quanto tempo per raddoppiare?

Problema. Una popolazione di 200 cervi introdotta in una vasta riserva cresce del 20 % all'anno. Quanti cervi ci saranno dopo 5 anni, se la crescita resta esponenziale? Dopo quanti anni il numero sarà raddoppiato?

Soluzione. Ogni anno il numero si moltiplica per 1,2. Dopo 5 anni: $200 \times 1{,}2^5 = 200 \times 2{,}488\ldots \approx 498$ cervi. Per il raddoppio: $1{,}2^3 \approx 1{,}73$ e $1{,}2^4 \approx 2{,}07$; quindi la popolazione raddoppia fra il terzo e il quarto anno, e dopo 4 anni supera i 400 cervi (≈ 415). Con la stessa crescita, dopo altri 4 anni raddoppierebbe ancora: il *tempo di raddoppio* resta costante.

In natura la crescita esponenziale si osserva solo per brevi periodi: quando una specie arriva in un ambiente nuovo e favorevole, come una specie introdotta dall'uomo, o quando una popolazione si riprende dopo un crollo. Nessuna popolazione può crescere così a lungo: lo spazio, il cibo, l'acqua e i rifugi prima o poi diventano insufficienti.

16.1.4 La crescita logistica e la capacità portante

Ogni ambiente può mantenere solo un certo numero di individui di una specie. Questo numero massimo, che l'ambiente sostiene in modo durevole con le sue risorse, si chiama **capacità portante** e si indica con *K*. Quando la popolazione è piccola rispetto a *K*, le risorse abbondano e la crescita è quasi esponenziale; man mano che *N* si avvicina a *K*, la competizione fra individui per le risorse aumenta, la natalità cala, la mortalità cresce e la crescita rallenta, fino ad arrestarsi. Questa è la **crescita logistica**, che disegna una *curva a S* (Figura 16.2). Una popolazione logistica cresce più in fretta quando *N* è circa la metà di *K*: a quel punto ci sono molti individui che si riproducono, e le risorse non sono ancora scarse.

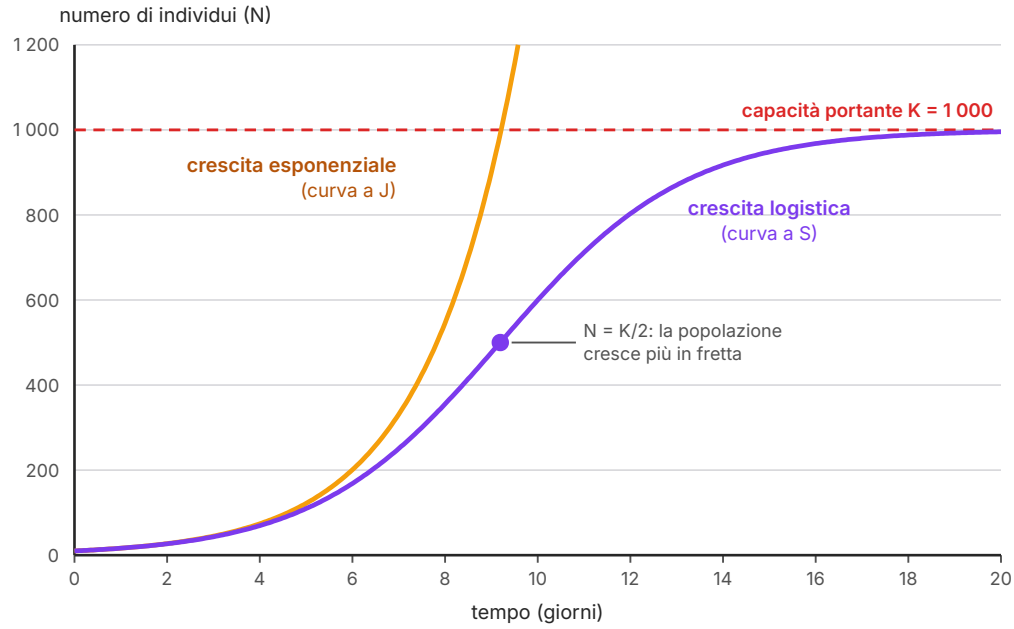


Figura 16.2 Crescita esponenziale e crescita logistica di una stessa popolazione (10 individui iniziali, tasso di crescita 0,5 al giorno). Le curve sono calcolate da un modello: la curva logistica tende alla capacità portante *K* = 1 000; l'esponenziale esce dal grafico dopo circa 10 giorni.

La crescita logistica descrive bene popolazioni di laboratorio, come i lieviti o i protozoi in una coltura, e approssima molte popolazioni naturali. Nella realtà *K* non è un numero fisso: cambia con le stagioni, con le annate di pioggia o di siccità, con l'arrivo di una nuova specie. Molte popolazioni, perciò, oscillano attorno a *K* o lo superano per un po' e poi crollano. I fattori che frenano la crescita si dividono in *dipendenti dalla densità*, il cui effetto aumenta con l'affollamento (competizione per il cibo, malattie contagiose, predazione), e *indipendenti dalla densità*, che colpiscono la popolazione qualunque sia la sua densità (una gelata, un incendio, un'alluvione).

ERRORE FREQUENTE

«Crescere del 10 % all'anno» non vuol dire «crescere ogni anno dello stesso numero di individui». Una crescita di 100 individui all'anno è lineare: 1 000, 1 100, 1 200, 1 300… Una crescita del 10 % all'anno è esponenziale: 1 000, 1 100, 1 210, 1 331… Le due serie partono uguali, ma dopo 20 anni la prima arriva a 3 000 individui, la seconda a circa 6 700.

16.1.5 Due strategie di vita

Le specie si distribuiscono fra due strategie riproduttive estreme. Le specie con **strategia r** producono moltissimi figli piccoli, maturano in fretta, vivono poco e non curano la prole, o la curano pochissimo: molti insetti, le piante annuali, i topi. Hanno successo negli ambienti instabili, dove le risorse compaiono all'improvviso e chi si riproduce prima e di più le sfrutta. Le specie con **strategia K** hanno pochi figli, grandi e accuditi a lungo, maturano tardi e vivono a lungo: elefanti, balene, grandi alberi, la specie umana. Prosperano negli ambienti stabili, con popolazioni vicine alla capacità portante, dove conta la competizione. Le due lettere vengono dai simboli r (tasso di crescita) e K (capacità portante); la maggior parte delle specie sta in qualche punto intermedio fra i due estremi.

COLLEGAMENTI

Matematica e geografia · La popolazione umana. Secondo le stime delle Nazioni Unite, nel 2022 la popolazione mondiale ha raggiunto circa **8 miliardi** di persone. Per gran parte della storia umana il numero di persone è cresciuto lentamente; negli ultimi due secoli, grazie all'agricoltura moderna, all'igiene, ai vaccini e agli antibiotici, la mortalità è calata e la crescita è diventata simile a una curva a J. Oggi il tasso di crescita sta diminuendo, perché in molti Paesi le famiglie hanno meno figli. Quale sia la capacità portante della Terra per la nostra specie è una domanda aperta: dipende da quante risorse consuma ciascuno di noi, e quindi dalle scelte economiche e tecnologiche, non soltanto dalla biologia. Ne parlerai anche in geografia.

16.2 Le relazioni fra le specie

In una comunità nessuna specie vive da sola. Le interazioni fra individui di specie diverse si classificano in base all'effetto che hanno su ciascuna delle due: positivo (+), negativo (−) o nullo (0). La Figura 16.3 riassume le principali.

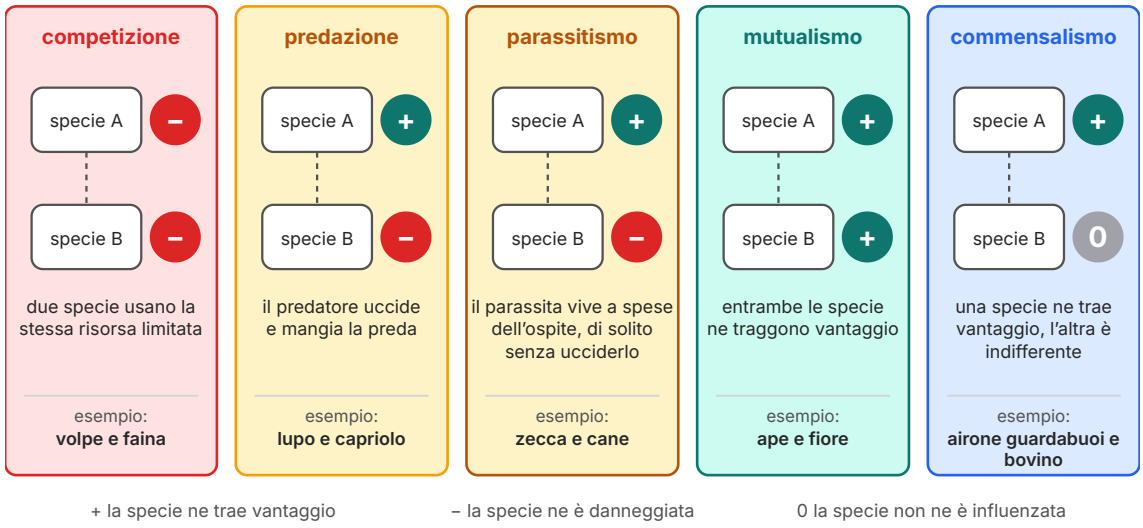


Figura 16.3 Le principali relazioni fra due specie, con l'effetto su ciascuna: + vantaggio, – danno, 0 nessun effetto. Anche l'erbivoria, l'animale che si nutre di una pianta, è una relazione (+/–).

16.2.1 La competizione

La **competizione interspecifica** avviene quando individui di specie diverse usano la stessa risorsa, disponibile in quantità limitata: il cibo, la luce, l'acqua, i siti per nidificare. È una relazione (–/–): ognuna delle due specie riduce le risorse disponibili per l'altra. La volpe e la faina, per esempio, cacciano in parte gli stessi piccoli roditori; le piante di un prato competono per la luce e per l'acqua del suolo.

Negli anni Trenta del Novecento il biologo russo Georgij Gause coltivò in laboratorio due specie di protozoi, *Paramecium aurelia* e *Paramecium caudatum*, nutrite con lo stesso cibo. Separate, le due popolazioni crescevano entrambe con una curva logistica; insieme, nel giro di poche settimane *P. caudatum* scompariva. Da esperimenti come questo nasce il **principio di esclusione competitiva**: due specie che hanno esattamente la stessa nicchia ecologica non possono coesistere a lungo nello stesso luogo; una delle due, prima o poi, viene eliminata o costretta a cambiare. In natura, infatti, specie simili che convivono si dividono le risorse: cacciano prede di dimensioni diverse, si nutrono in zone diverse dello stesso albero, sono attive in ore diverse. Questa *ripartizione delle risorse* riduce la competizione ed è un risultato della selezione naturale che hai studiato nei capitoli sull'evoluzione.

16.2.2 Predazione ed erbivoria

Nella **predazione** un animale, il predatore, uccide e mangia un altro animale, la preda: è una relazione (+/–). Nell'*erbivoria* un animale si nutre di piante o di parti di esse, di solito senza uccidere la pianta: il capriolo bruca i germogli, il bruco rosicchia le foglie. Predatori e prede si in-

fluenzano da milioni di anni. I predatori sono stati selezionati per la velocità, i sensi acuti, gli artigli; le prede per la fuga, il mimetismo, le difese chimiche. La salamandra pezzata, per esempio, ha una pelle che secerne sostanze tossiche e la «annuncia» con i colori giallo e nero. Anche le piante si difendono: con spine, peli urticanti come quelli dell'ortica, sostanze di sapore sgradevole o velenose.

Le popolazioni di predatori e prede possono oscillare insieme. Se le prede sono numerose, i predatori trovano cibo e si moltiplicano; se i predatori aumentano, le prede diminuiscono; con meno prede, i predatori patiscono la fame e calano, e le prede possono riprendersi. Il picco dei predatori, in questo modello, segue sempre quello delle prede.

APPROFONDIMENTO

Approfondimento · Linci, lepri e pellicce. L'esempio più famoso di cicli predatore-preda viene dal Canada. Per circa un secolo, fra Ottocento e Novecento, la Compagnia della Baia di Hudson registrò le pelli di lince canadese e di lepre americana acquistate dai cacciatori. I numeri delle due specie salgono e scendono con un ciclo di circa dieci anni, e i picchi delle linci seguono di poco quelli delle lepri. Sembra la prova del modello predatore-preda, ma i dati vanno letti con cautela: misurano le pelli vendute, cioè anche lo sforzo dei cacciatori, non il numero reale di animali. Inoltre le lepri oscillano anche dove le linci sono poche, e un lungo esperimento condotto nello Yukon, in Canada, fra gli anni Ottanta e Novanta ha mostrato che contano sia i predatori sia la disponibilità di cibo invernale. Ancora oggi gli ecologi discutono quale fattore pesi di più: un buon esempio di come la scienza tratti un problema aperto.

16.2.3 Simbiosi: mutualismo, commensalismo, parassitismo

Si chiama **simbiosi** ogni relazione stretta e duratura fra individui di specie diverse che vivono a contatto. Le simbiosi sono di tre tipi.

- Nel **mutualismo** (+/+) entrambe le specie ne traggono vantaggio. Il lichene, che hai incontrato studiando i funghi, è l'associazione di un fungo con un'alga o un cianobatterio: l'alga fotosintetizza e fornisce zuccheri, il fungo trattiene l'acqua e i sali minerali. Nelle *micorrize* le ife di un fungo avvolgono o penetrano le radici di una pianta: il fungo assorbe dal suolo acqua e sali minerali, soprattutto fosforo, e la pianta gli cede zuccheri; la grande maggioranza delle piante terrestri forma micorrize. L'*impollinazione* da parte di api, farfalle e altri animali è un mutualismo: l'animale riceve nettare o polline, la pianta trasporta il suo polline su un altro fiore.
- Nel **commensalismo** (+/0) una specie ne trae vantaggio e l'altra non ne riceve né vantaggio né danno. L'airone guardabuoi segue i bovini al pascolo e cattura gli insetti che gli animali sollevano camminando; le orchidee *epifite* delle foreste tropicali crescono sui rami degli alberi, raggiungendo la luce senza togliere nutrimento all'albero.

- Nel **parassitismo** (+/−) una specie, il parassita, vive su o dentro un'altra, l'ospite, e se ne nutre danneggiandola, di solito senza ucciderla subito: un parassita che uccide in fretta il suo ospite perde la propria fonte di cibo. Le zecche e le pulci sono *ectoparassiti*, che vivono all'esterno dell'ospite; la tenia, che vive nell'intestino, è un *endoparassita*.

ERRORE FREQUENTE

«Simbiosi» non vuol dire soltanto «collaborazione». Nel linguaggio comune si dice «vivere in simbiosi» per indicare un rapporto vantaggioso per tutti. In biologia la simbiosi comprende il mutualismo, ma anche il commensalismo e il parassitismo: indica soltanto che le due specie vivono a stretto contatto. E il mutualismo non è altruismo: ognuna delle due specie ricava un vantaggio per sé.

DA RICORDARE

Il segno di una relazione. Competizione −/−; predazione, erbivoria e parassitismo +/−; mutualismo +/+; commensalismo +/0. Per classificare una relazione chiediti, per *ciascuna* delle due specie: ci guadagna, ci perde o non cambia nulla?

16.2.4 Le specie chiave

Alcune specie hanno sulla comunità un effetto molto più grande di quanto farebbe pensare il loro numero: sono le **specie chiave**. L'espressione fu introdotta alla fine degli anni Sessanta dall'ecologo statunitense Robert Paine, che su una costa rocciosa del Pacifico rimosse per anni una stella marina predatrice: senza di essa i mitili si moltiplicarono, occuparono tutto lo spazio sugli scogli e il numero di specie presenti diminuì. Un esempio celebre è la **lontra marina** delle coste pacifiche del Nord America. Le lontre mangiano i ricci di mare, che a loro volta brucano le grandi alghe brune (il *kelp*). Dove le lontre furono sterminate dalla caccia per la pelliccia, i ricci si moltiplicarono e distrussero le foreste di alghe, insieme ai pesci e agli invertebrati che vi abitavano; dove le lontre sono tornate, le foreste di alghe si sono riformate. Togliere una specie chiave fa crollare l'intera comunità, come togliere la pietra centrale di un arco.

16.3 La successione ecologica

Un campo coltivato che viene abbandonato non resta un campo. Il primo anno si riempie di erbe annuali, poi arrivano erbe perenni, rovi e arbusti, poi i primi alberi; dopo alcuni decenni al posto del campo c'è un bosco giovane. Questa sostituzione graduale e in gran parte prevedibile di una comunità con un'altra si chiama **successione ecologica** (Figura 16.4).

Il meccanismo è semplice: ogni comunità modifica l'ambiente e lo rende più adatto ad altre specie che a poco a poco la sostituiscono. Le prime specie, dette *pioniere*, sono tipiche specie con strategia r: crescono in fretta, producono molti semi che il vento trasporta lontano, soppor-

tano la luce piena e un suolo povero. Con le loro radici e i loro resti arricchiscono il suolo di materia organica e trattengono l'umidità. Gli arbusti e poi gli alberi le fanno ombra e le eliminano. Durante la successione, di solito, aumentano la biomassa, il numero di specie e la complessità delle reti alimentari.

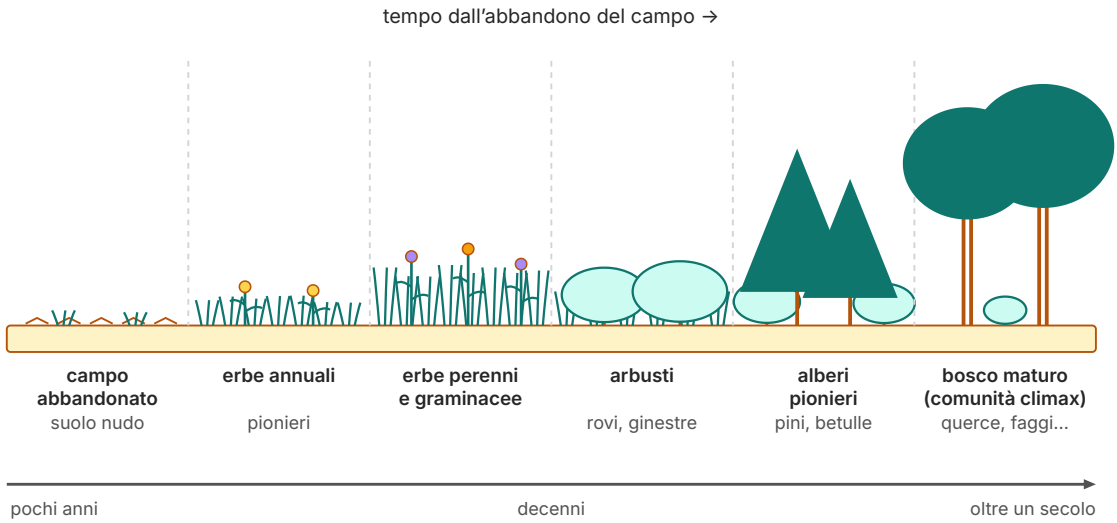


Figura 16.4 Successione secondaria in un campo abbandonato di una regione temperata (schema non in scala). Le specie e i tempi variano con il clima, il suolo e la distanza da cui arrivano i semi.

Si distinguono due tipi di successione. La *successione primaria* inizia dove il suolo non c'è ancora: su una colata di lava raffreddata, come sulle pendici dell'Etna, su una roccia lasciata scoperta da un ghiacciaio che si ritira, su un'isola vulcanica appena emersa. I primi colonizzatori sono licheni e muschi, che aderiscono alla roccia, contribuiscono a sgretolarla e, morendo, formano un primo sottile strato di suolo. Serve molto tempo, spesso secoli. La *successione secondaria* avviene dove una comunità è stata distrutta ma il suolo è rimasto: dopo un incendio, un taglio del bosco, l'abbandono di un campo o di un pascolo. È molto più rapida, perché nel suolo restano semi, radici e organismi.

La successione tende verso una comunità relativamente stabile, in equilibrio con il clima e il suolo della zona, chiamata **comunità climax**. Nella Pianura Padana, prima dei disboscamenti, era un bosco di farnie e carpini; sulle coste mediterranee è la lecceta, il bosco di leccio; sull'Appennino, a quote più alte, la faggeta. Il climax, però, non è un punto d'arrivo immobile: incendi, tempeste e frane riaprono continuamente spazi in cui la successione riparte, e un paesaggio è in realtà un mosaico di zone a stadi diversi. Nella macchia mediterranea gli incendi sono frequenti e molte piante sono adattate al fuoco: ricacciano dalla base del fusto bruciato o, come i cisti, hanno semi che germinano meglio dopo il passaggio delle fiamme.

16.4 I biomi

16.4.1 Clima e vegetazione

Su scala planetaria le comunità si raggruppano in pochi grandi tipi. Un **bioma** è un insieme di ecosistemi che occupano regioni con un clima simile e sono riconoscibili per la forma della vegetazione dominante, anche in continenti diversi e con specie diverse. In *Scienze naturali 1*, con la classificazione dei climi di Köppen, hai visto che ogni gruppo climatico corrisponde a un tipo di vegetazione: ora guardiamo quei paesaggi con gli occhi del biologo. I due fattori che contano di più sono la *temperatura* media e le *precipitazioni* annue, insieme a come si distribuiscono durante l'anno (Figura 16.5).

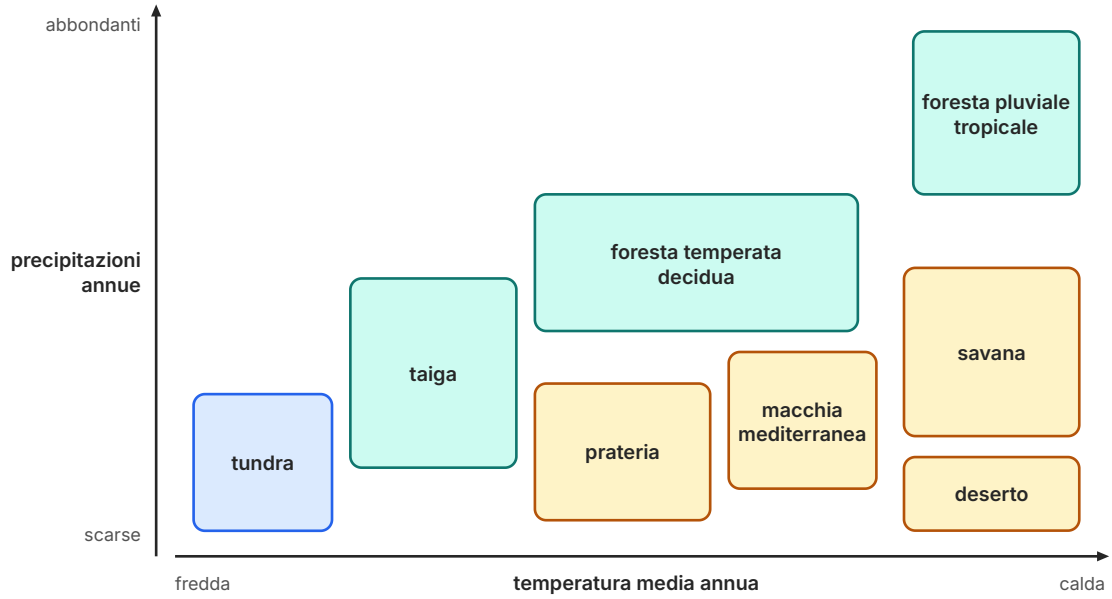


Figura 16.5 I principali biomi terrestri in funzione della temperatura media annua e delle precipitazioni annue. Schema qualitativo e non in scala: i limiti sono indicativi, i biomi sfumano l'uno nell'altro e dipendono anche dalla stagione in cui cade la pioggia, come nella macchia mediterranea, con estate secca. Esistono anche deserti freddi, qui non indicati.

Tabella 16.1 I principali biomi terrestri, dal più freddo al più caldo.

Bioma	Clima	Vegetazione	Animali tipici
tundra	inverno lungo e gelido, estate breve e fresca; poche precipitazioni; suolo gelato in profondità tutto l'anno (permafrost)	muschi, licheni, erbe, arbusti nani; niente alberi	renna, lemming, volpe artica, uccelli migratori
taiga (foresta boreale)	inverno lungo e freddo, estate breve e mite	conifere sempreverdi: abeti, pini; larici	alce, lince, orso bruno, ghiottone
foresta temperata decidua	quattro stagioni ben distinte, piogge distribuite nell'anno	alberi a foglie larghe che le perdono in autunno: querce, faggi, aceri	cervo, cinghiale, scoiattolo, picchio
macchia mediterranea	estate calda e secca, inverno mite e piovoso	sempreverdi a foglie piccole e coriacee: leccio, lentisco, mirto, corbezzolo	lucertole, tartarughe, uccelli canori, cinghiale
prateria (steppa, prateria nordamericana, pampa)	estate calda, inverno freddo, piogge scarse o moderate	graminacee; pochi alberi, lungo i fiumi	bisonte, roditori scavatori, rapaci
savana	caldo tutto l'anno, una stagione secca e una piovosa	erbe alte con alberi sparsi (acacie, baobab)	zebre, gnu, elefanti, leoni, iene
deserto	precipitazioni molto scarse, forti escursioni fra giorno e notte	piante grasse, arbusti radi, piante che germinano solo dopo le piogge	rettili, roditori e insetti spesso notturni, dromedario
foresta pluviale tropicale	caldo e piovoso tutto l'anno	alberi altissimi sempreverdi disposti in più strati, liane, epifite	scimmie, pappagalli, rane arboricole, moltissimi insetti

La Tabella 16.1 mette in luce un fatto importante: specie diverse, in continenti lontani, hanno sviluppato forme simili in climi simili. Le piante grasse dei deserti americani (i cactus) e quelle dei deserti africani (alcune euforbie) appartengono a famiglie diverse, ma hanno fusti carnosi che conservano l'acqua e spine al posto delle foglie: è la convergenza evolutiva che hai incontrato parlando di organi analoghi. La macchia mediterranea non si trova soltanto intorno al Mediterraneo, ma in tutte le regioni con estati secche e inverni miti e piovosi: in California, in Cile, in Sudafrica e nell'Australia sud-occidentale.

Salendo di quota la temperatura diminuisce, e su una montagna si incontrano fasce di vegetazione che ricordano i biomi incontrati andando verso i poli. Sulle Alpi, salendo dal fondoval-

le, si passa dai boschi di latifoglie ai boschi di conifere, poi agli arbusti nani e alle praterie alpine, infine alle rocce e ai ghiacciai, dove crescono soltanto licheni e poche piante pioniere.

16.4.2 I biomi acquatici

Le acque coprono la maggior parte della superficie terrestre e ospitano biomi che dipendono soprattutto dalla salinità, dalla luce, dalla profondità e dalla corrente. Nelle *acque dolci* si distinguono le acque ferme (laghi, stagni, paludi) e quelle correnti (fiumi e torrenti); le zone umide, dove la terra si alterna all'acqua, sono fra gli ambienti più ricchi di specie. Nei *mari* la vita si concentra dove arriva la luce: lungo le coste e nella fascia superficiale del mare aperto, dove vive il plancton, mentre nelle profondità buie gli organismi dipendono dalla materia organica che scende dall'alto. Le barriere coralline dei mari tropicali sono fra gli ecosistemi più ricchi del pianeta. Nel Mediterraneo un ruolo simile spetta alle praterie di *Posidonia oceanica*, una pianta con fiori (non un'alga) che vive solo in questo mare: offre rifugio a pesci e invertebrati, produce ossigeno e protegge le spiagge dall'erosione.

16.5 La biodiversità e le sue minacce

16.5.1 Tre livelli di diversità

La parola **biodiversità**, contrazione di «diversità biologica», si è diffusa alla fine degli anni Ottanta del Novecento, anche grazie al biologo statunitense Edward O. Wilson. Indica la varietà della vita a tutti i suoi livelli, che si studiano su tre piani (Figura 16.6).

- La *biodiversità genetica* è la varietà di alleli all'interno di una specie: è ciò che rende diversi i singoli individui e le popolazioni. È la materia prima della selezione naturale: una popolazione con poca variabilità genetica, come quelle passate per un collo di bottiglia, resiste peggio a una malattia o a un cambiamento dell'ambiente.
- La *biodiversità di specie* è il numero di specie diverse presenti in un'area e la loro abbondanza relativa. È il livello di cui si parla più spesso, ma sappiamo ancora poco: gli scienziati hanno descritto finora solo una parte delle specie esistenti, soprattutto fra gli insetti, i funghi e i microrganismi.
- La *biodiversità di ecosistemi* è la varietà di ambienti di una regione: boschi, praterie, laghi, coste, grotte, zone umide. Ogni ecosistema ospita comunità diverse, e perderne uno significa perdere tutte le specie e le relazioni che contiene.

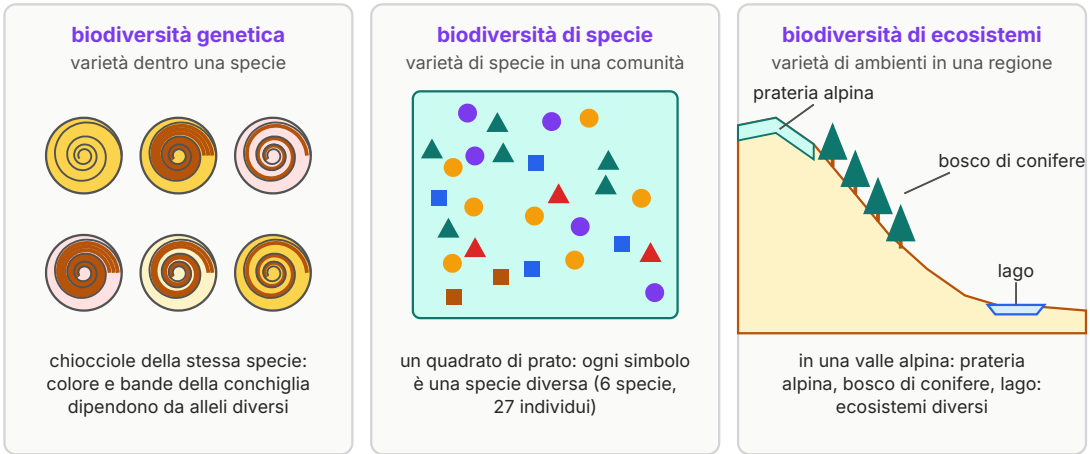


Figura 16.6 I tre livelli della biodiversità (schemi non in scala). Le conchiglie di una stessa specie di chiocciola possono essere gialle, rosa o brune, con o senza bande scure; il quadrato di prato mostra quante specie diverse convivono in una piccola area; la valle alpina riunisce più ecosistemi.

16.5.2 Perché la biodiversità conta

La biodiversità ha valore di per sé, come risultato di miliardi di anni di evoluzione; ma è anche la base della nostra vita quotidiana. Gli ecologi chiamano **servizi ecosistemici** i benefici che gli ecosistemi forniscono gratuitamente agli esseri umani, e li raggruppano in quattro tipi.

- **Servizi di approvvigionamento**: cibo, acqua dolce, legno, fibre, medicinali. Molti farmaci derivano da sostanze scoperte in piante, funghi o microrganismi: la penicillina, che hai incontrato con Fleming, è prodotta da una muffa.
- **Servizi di regolazione**: l'impollinazione delle colture, la depurazione dell'acqua nelle zone umide, il controllo dell'erosione da parte delle radici, l'assorbimento di CO_2 da parte di foreste e oceani.
- **Servizi di supporto**: la formazione del suolo, il riciclo dei nutrienti, la fotosintesi, su cui si reggono tutti gli altri.
- **Servizi culturali**: il paesaggio, lo svago, il turismo, il valore spirituale ed educativo della natura.

16.5.3 Le minacce

Nella storia della Terra le estinzioni sono sempre avvenute, e ci sono state cinque estinzioni di massa, come hai visto studiando la storia della vita. Ma oggi le specie scompaiono a una velocità molto superiore a quella media dei tempi geologici, e la causa principale sono le attività umane: per questo molti scienziati parlano di una «sesta estinzione». Il rapporto mondiale

sulla biodiversità pubblicato nel 2019 dall'IPBES, la piattaforma scientifica intergovernativa sulla biodiversità e i servizi ecosistemici, individua cinque cause dirette principali.

- **La perdita e la frammentazione degli habitat**, la causa più importante sulla terraferma: foreste abbattute per far posto a campi, pascoli e città, zone umide prosciugate, coste cementificate. Un habitat diviso in frammenti piccoli e isolati ospita popolazioni piccole, che si estinguono più facilmente.
- **Il sovrasfruttamento**: pesca eccessiva, caccia e bracconaggio, commercio di animali e piante selvatici. È la causa più importante nei mari.
- **Il cambiamento climatico**, che sposta le fasce climatiche più in fretta di quanto molte specie possano spostarsi o adattarsi: le specie delle alte quote alpine, per esempio, non hanno un «più in alto» in cui rifugiarsi.
- **L'inquinamento** di aria, acqua e suolo: pesticidi, fertilizzanti che arrivano nei laghi e nei mari, plastiche, metalli pesanti, che si accumulano lungo le catene alimentari come hai visto nel capitolo precedente.
- **Le specie aliene invasive**, trasportate dall'uomo fuori dal loro areale naturale.

Una **specie aliena invasiva** è una specie introdotta dall'uomo, volontariamente o per caso, in un territorio in cui non viveva, dove si diffonde e danneggia le specie native, gli ecosistemi, l'economia o la salute. Nel nuovo ambiente spesso mancano i suoi predatori, parassiti e concorrenti naturali, e la sua popolazione può crescere quasi in modo esponenziale. In Italia ne sono esempi la **nutria**, un grande roditore sudamericano allevato nel Novecento per la pelliccia, i cui esemplari fuggiti o liberati scavano tane negli argini dei fiumi e divorano la vegetazione palustre; il **gambero rosso della Louisiana**, nordamericano, introdotto per l'allevamento, che si nutre di uova, larve e piante acquatiche e trasmette una malattia mortale per il gambero di fiume nativo; la **zanzara tigre**, originaria del Sud-est asiatico, arrivata in Italia nel 1990 a Genova con il commercio di pneumatici usati.

> COLLEGAMENTI
>
> **Salute · Una zanzara che punge di giorno.** La zanzara tigre, a differenza della zanzara comune, punge soprattutto di giorno e depone le uova in piccole raccolte d'acqua: sottovasi, secchi, tombini, pneumatici. Oltre a essere fastidiosa può trasmettere alcuni virus: nel 2007 fu responsabile di un'epidemia di chikungunya in Emilia-Romagna, la prima in Europa con trasmissione locale del virus. La prevenzione è semplice e tocca a tutti: svuotare ogni settimana i contenitori in cui ristagna l'acqua, coprire quelli che non si possono svuotare, seguire le indicazioni del Comune.

16.5.4 La Lista Rossa

Per sapere quali specie sono più a rischio, l'Unione internazionale per la conservazione della natura (IUCN) pubblica dal 1964 la **Lista Rossa IUCN** delle specie minacciate. Gruppi di esperti

valutano ogni specie con criteri quantitativi, come la riduzione della popolazione, l'estensione dell'areale e il numero di individui maturi, e la assegnano a una delle categorie della Tabella 16.2. Le valutazioni vengono aggiornate di continuo, e la lista è usata dai governi per decidere le priorità di conservazione.

Tabella 16.2 Le categorie della Lista Rossa IUCN. Le tre categorie evidenziate formano le specie «minacciate».

Categoria	Sigla	Significato
Estinta	EX	non c'è ragionevole dubbio che l'ultimo individuo sia morto
Estinta in natura	EW	sopravvive solo in cattività o in coltivazione
In pericolo critico	**CR**	rischio di estinzione in natura estremamente alto
In pericolo	**EN**	rischio di estinzione in natura molto alto
Vulnerabile	**VU**	rischio di estinzione in natura alto
Quasi minacciata	NT	vicina alle soglie delle categorie minacciate
Minor preoccupazione	LC	non rientra nelle categorie precedenti; specie diffuse e abbondanti
Carente di dati	DD	i dati non bastano per una valutazione
Non valutata	NE	non ancora esaminata

La biodiversità non è distribuita in modo uniforme. Gli **hotspot di biodiversità**, un concetto proposto dall'ecologo britannico Norman Myers alla fine degli anni Ottanta, sono regioni che ospitano moltissime specie endemiche, cioè che vivono solo lì (almeno 1 500 specie di piante vascolari endemiche), e che hanno già perso almeno il 70 % della vegetazione originaria. Sono poche e coprono una piccola parte delle terre emerse, ma vi vive una frazione molto alta delle specie del pianeta. Il **bacino del Mediterraneo** è uno di questi hotspot: l'Italia, per la sua posizione al centro del mare, la lunghezza da nord a sud, le isole e le montagne, è uno dei Paesi europei più ricchi di specie.

16.6 Conservare la biodiversità

16.6.1 In situ ed ex situ

La **conservazione in situ** protegge le specie nel loro ambiente naturale, insieme alle relazioni che le legano alle altre: è la forma più efficace, perché salva ecosistemi interi. Lo strumento principale sono le *aree protette*. In Italia i primi parchi nazionali furono il **Parco nazionale del Gran Paradiso**, istituito nel 1922, e il **Parco nazionale d'Abruzzo** (oggi d'Abruzzo, Lazio e Molise), del 1923. Il primo nacque da un'antica riserva di caccia dei Savoia, nelle cui valli era sopravvissuto l'ultimo nucleo di stambecchi delle Alpi; il secondo protegge l'orso bruno marsicano e il

camoscio appenninico. A queste aree si sono aggiunti nel tempo altri parchi nazionali e regionali, riserve naturali e aree marine protette.

A livello europeo esiste la **Rete Natura 2000**, la rete di siti istituita dall'Unione europea con la direttiva «Habitat» del 1992 e con la direttiva «Uccelli», per tutelare gli habitat e le specie di interesse comunitario. Non tutti i siti di Natura 2000 sono riserve integrali: in molti si continua a coltivare, pascolare e abitare, purché le attività siano compatibili con la conservazione.

La **conservazione ex situ** conserva gli organismi fuori dal loro ambiente naturale: nei giardini botanici, negli zoo e negli acquari che partecipano a programmi di riproduzione, nelle *banche dei semi*, dove i semi di migliaia di specie selvatiche e di varietà agricole vengono essiccati e conservati al freddo per decenni. La più nota è la banca mondiale dei semi delle isole Svalbard, in Norvegia, scavata in una montagna nel permafrost e aperta nel 2008. L'**Orto botanico di Padova**, fondato nel 1545, è il più antico orto botanico universitario del mondo ancora nella sua sede originaria, ed è patrimonio dell'umanità UNESCO. La conservazione ex situ è un'assicurazione e un ponte: serve a reintrodurre le specie in natura quando l'habitat è di nuovo adatto. Il gipeto, un grande avvoltoio scomparso dalle Alpi nel Novecento, vi è tornato proprio grazie a individui nati in cattività e liberati a partire dal 1986.

APPROFONDIMENTO

Approfondimento · Gli accordi internazionali. La biodiversità non conosce confini, e va protetta anche con accordi fra Stati. Nel 1992, al Vertice della Terra di Rio de Janeiro, fu firmata la **Convenzione sulla diversità biologica**, che oggi lega quasi tutti i Paesi del mondo. Ha tre obiettivi: conservare la biodiversità, usarne le componenti in modo sostenibile, dividere in modo equo i benefici che derivano dalle risorse genetiche. Nel 2022 i Paesi aderenti hanno approvato un nuovo quadro globale, che fra l'altro si propone di proteggere entro il 2030 almeno il 30 % delle terre e dei mari del pianeta. La **Convenzione di Washington** (CITES), del 1973, regola invece il commercio internazionale delle specie minacciate, come l'avorio o i pappagalli selvatici.

COLLEGAMENTI

Educazione civica · Agenda 2030. Nel 2015 l'Assemblea generale delle Nazioni Unite ha approvato l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, con 17 obiettivi. Due riguardano direttamente questo capitolo: l'**obiettivo 14**, «Vita sott'acqua», chiede di conservare e usare in modo sostenibile gli oceani e le risorse marine; l'**obiettivo 15**, «Vita sulla Terra», di proteggere gli ecosistemi terrestri, gestire in modo sostenibile le foreste, fermare la desertificazione e la perdita di biodiversità. In geografia li ritroverai insieme agli altri obiettivi.

16.6.2 Che cosa può fare uno studente

La conservazione non riguarda solo governi e scienziati. Molti dati sulla distribuzione delle specie oggi vengono dalla **citizen science**, la scienza dei cittadini: persone comuni che fotografano una pianta, un insetto o un uccello e caricano l'osservazione, con data e luogo, su piattaforme online dove esperti e altri utenti la verificano. Così si seguono l'arrivo di una specie invasiva, la fioritura anticipata di una pianta, la presenza di una specie rara. Una classe può organizzare un *bioblitz*: in un tempo stabilito, per esempio una mattina, si cercano e si identificano tutte le specie presenti in un parco o nel cortile della scuola.

ESPERIENZA DI LABORATORIO

Simulare la cattura-ricattura

Materiale: un sacchetto opaco con alcune centinaia di fagioli bianchi (la «popolazione», di numero ignoto); un pennarello atossico; un foglio per i dati.

Procedimento: (1) prendi una manciata di fagioli (prima cattura), contali e segnali con il pennarello; lascia asciugare e rimettili nel sacchetto; (2) agita a lungo il sacchetto per mescolare; (3) prendi una seconda manciata, conta i fagioli in tutto e quelli marcati; (4) stima N con la formula dell'Esempio svolto; (5) ripeti i passaggi (3) e (4) cinque volte, rimettendo ogni volta i fagioli nel sacchetto, e calcola la media delle stime; (6) alla fine conta tutti i fagioli e confronta.

Risultato atteso: le singole stime si discostano dal valore vero, ma la loro media gli si avvicina; le stime sono migliori quando i fagioli marcati sono molti. **Domande:** che cosa succede se non mescoli bene? A quale situazione naturale corrisponde? Perché in natura la marca non deve rendere un animale più visibile ai predatori?

IN SINTESI

Le formule del capitolo. Densità = N / superficie. Variazione di N = nascite − morti + immigrati − emigrati. Cattura-ricattura: N = (marcati × catturati alla seconda cattura) / marcati ricatturati. Crescita esponenziale: a ogni intervallo N si moltiplica per lo stesso fattore (1,2 per una crescita del 20 %). Crescita logistica: rallenta avvicinandosi a K, è massima a $N \approx K/2$.

SINTESI

- Una popolazione si descrive con la **dimensione** N, la **densità** (individui per unità di superficie o di volume) e la **distribuzione** (uniforme, casuale, a gruppi). Si stima con i quadrati di campionamento o con la cattura-ricattura.
- Il numero di individui cambia per natalità, mortalità, immigrazione ed emigrazione.
- Con risorse illimitate una popolazione ha una **crescita esponenziale** (curva a J), con un tempo di raddoppio costante.
- Con risorse limitate la crescita è **logistica** (curva a S) e si arresta vicino alla **capacità portante** K; è massima quando $N \approx K/2$. I fattori limitanti possono dipendere o no dalla densità.
- Le specie con **strategia r** fanno molti figli poco curati; quelle con **strategia K** pochi figli molto curati. La popolazione umana ha raggiunto circa 8 miliardi nel 2022 (ONU).
- Relazioni fra specie: **competizione** (−/−), **predazione** ed **erbivoria** (+/−), e le simbiosi: **mutualismo** (+/+), **commensalismo** (+/0), **parassitismo** (+/−). Due specie con la stessa nicchia non coesistono a lungo (**esclusione competitiva**, Gause).
- Le **specie chiave**, come la lontra marina, hanno sulla comunità un effetto sproporzionato rispetto al loro numero.
- La **successione ecologica** è primaria (su roccia nuda, con licheni e muschi pionieri) o secondaria (dove il suolo resta, più rapida) e tende a una **comunità climax** legata al clima.
- I **biomi** dipendono soprattutto da temperatura e precipitazioni: tundra, taiga, foresta temperata decidua, macchia mediterranea, prateria, savana, deserto, foresta pluviale; nelle acque contano salinità, luce e profondità.
- La **biodiversità** è genetica, di specie e di ecosistemi; fornisce **servizi ecosistemici**. È minacciata da perdita degli habitat, sovrasfruttamento, cambiamento climatico, inquinamento e **specie invasive** (nutria, gambero rosso della Louisiana, zanzara tigre).
- La **Lista Rossa IUCN** classifica il rischio di estinzione; il Mediterraneo è un **hotspot**. Si conserva **in situ** (parchi, Rete Natura 2000) ed **ex situ** (banche dei semi, orti botanici), con accordi come la Convenzione di Rio (1992) e l'Agenda 2030 (obiettivi 14 e 15).

ESERCIZI

Comprendere e ricordare

1. ● La densità di una popolazione è:
   - **A.** il numero di individui per unità di superficie o di volume
   - **B.** il numero totale di individui della specie sulla Terra
   - **C.** il numero di nascite in un anno
   - **D.** il modo in cui gli individui sono disposti nello spazio

2. ● Una popolazione che cresce rapidamente e poi si stabilizza intorno a un valore massimo ha una crescita:

   A. esponenziale, con una curva a J
   B. lineare
   C. logistica, con una curva a S
   D. nulla

3. ●● Il principio di esclusione competitiva afferma che:

   A. il predatore elimina sempre la preda
   B. due specie con la stessa nicchia ecologica non possono coesistere a lungo nello stesso luogo
   C. le specie competono solo con individui della propria specie
   D. la competizione avvantaggia entrambe le specie

4. ●● Un lichene è un esempio di:

   A. parassitismo di un fungo su un'alga
   B. commensalismo
   C. competizione fra un fungo e un'alga
   D. mutualismo fra un fungo e un'alga o un cianobatterio

5. ● Una successione primaria inizia:

   A. su un substrato privo di suolo, come una colata di lava
   B. in un campo coltivato abbandonato
   C. in un bosco dopo un incendio
   D. in un pascolo non più utilizzato

6. ●● Il bioma con estate calda e secca, inverno mite e piovoso e sempreverdi a foglie piccole e coriacee è:

   A. la savana
   B. la taiga
   C. la macchia mediterranea
   D. la foresta temperata decidua

7. ●● Una specie chiave è una specie che:

   A. è la più numerosa della comunità
   B. è minacciata di estinzione
   C. è stata introdotta dall'uomo
   D. ha sulla comunità un effetto molto maggiore di quanto farebbe pensare la sua abbondanza

8. ● Quale di questi è un esempio di conservazione ex situ?
   - **A.** un parco nazionale
   - **B.** una banca dei semi
   - **C.** un sito della Rete Natura 2000
   - **D.** un'area marina protetta

9. ●● Una specie con strategia r di solito:
   - **A.** ha pochi figli e li accudisce a lungo
   - **B.** vive a lungo e matura tardi
   - **C.** produce molti figli piccoli e se ne prende poca cura
   - **D.** ha popolazioni sempre vicine alla capacità portante

Vero o falso

10. ● Una popolazione che cresce in modo esponenziale aumenta ogni anno dello stesso numero di individui.

11. ● Nel commensalismo una specie trae vantaggio e l'altra non riceve né vantaggi né danni.

12. ●● Un parassita, per definizione, uccide il suo ospite.

13. ● Una successione secondaria avviene dove il suolo è rimasto, per esempio dopo un incendio.

14. ● La Lista Rossa IUCN elenca soltanto le specie già estinte.

15. ●● Il bacino del Mediterraneo è uno degli hotspot di biodiversità del pianeta.

Applicare

16. ● In un prato di 600 m^2 si lanciano a caso 8 quadrati di 0,25 m^2 ciascuno e si contano le margherite: 6, 9, 4, 7, 5, 8, 6, 3. Stima la densità delle margherite (piante/m^2) e il numero di piante nell'intero prato.

17. ●● In un laghetto si catturano 60 carpe, le si marca con una piccola targhetta e le si libera. Dopo una settimana se ne catturano 45, di cui 9 marcate. Stima la dimensione della popolazione e indica due condizioni perché la stima sia attendibile.

18. ● Una popolazione di 400 caprioli in un anno registra 90 nascite, 50 morti, 6 immigrati e 16 emigrati. Calcola la variazione, la dimensione dopo un anno e il tasso di crescita in percentuale.

19. ●● Una popolazione di 1 000 storni cresce del 10 % all'anno. Quanti storni ci saranno dopo 1, 2 e 3 anni? Dopo quanti anni interi il numero avrà superato il doppio di quello iniziale?

20. ●●● Una popolazione con capacità portante $K = 2\,000$ conta oggi 500 individui. (a) Per quale valore di N crescerà più in fretta? (b) Quale frazione di K è ancora «libera»? (c) Che cosa succede alla crescita quando N arriva a 2 000?

21. ●● Indica il tipo di relazione e il segno (+, −, 0) per ciascuna specie: (a) la tenia nell'intestino di un uomo; (b) un fungo che forma micorrize con le radici di un pino; (c) un leone e una iena che si contendono la stessa carcassa; (d) un'orchidea epifita che cresce sul ramo di un albero; (e) un cervo che bruca i germogli di un abete.

22. ●●● Associa ciascuna località al bioma più probabile, motivando la scelta. P: temperatura media annua −12 °C, 200 mm di precipitazioni, suolo gelato in profondità. Q: 26 °C, 2 500 mm distribuiti in tutti i mesi. R: 16 °C, 600 mm, quasi senza piogge da giugno ad agosto. S: 25 °C, 100 mm. T: 0 °C, inverni lunghi con neve, 500 mm, estate breve e mite.

Leggere dati e figure

23. ● Osserva la Figura 16.2. (a) Dopo circa quanti giorni la popolazione logistica raggiunge la metà della capacità portante? (b) Perché nei primi 4 giorni le due curve quasi coincidono, mentre dopo l'ottavo giorno sono molto diverse? (c) Quanti individui conta la popolazione logistica al giorno 20?

24. ●●● La tabella riporta il numero di protozoi per millilitro in una coltura di laboratorio (dati di esempio). Giorno 0: 5; giorno 2: 28; giorno 4: 127; giorno 6: 295; giorno 8: 378; giorno 10: 396; giorno 12: 399. (a) Che tipo di crescita mostra la coltura? (b) Stima la capacità portante. (c) In quale intervallo di due giorni la popolazione aumenta di più? È coerente con il modello logistico?

25. ●●● Osserva la Figura 16.5. Quale fattore climatico separa soprattutto la tundra dalla taiga? E la savana dalla foresta pluviale tropicale? Perché la macchia mediterranea non dipende soltanto dalla quantità totale di pioggia?

Indagare e argomentare

26. ●●● Progetta un esperimento per verificare se due specie di lenticchia d'acqua (piccole piante galleggianti che si riproducono in fretta) competono fra loro. Indica le colture da preparare, la variabile indipendente, la variabile dipendente, le condizioni da tenere costanti e il controllo.

27. ●● Spiega perché una specie aliena, come la nutria o il gambero rosso della Louisiana, può diffondersi in fretta nel nuovo ambiente e quali danni può causare. Perché non bisogna liberare in natura le tartarughe acquatiche o i pesci rossi tenuti in casa?

28. ●●● Nei dati della Compagnia della Baia di Hudson i picchi delle linci seguono quelli delle lepri. Spiega questo andamento con il modello predatore-preda e indica perché gli ecologi considerano ancora aperta la questione delle cause dei cicli.

29. ● Scegli un ambiente vicino alla tua scuola (un parco, un fiume, un bosco). Indica almeno tre servizi ecosistemici che fornisce, una minaccia alla sua biodiversità e due azioni concrete che la tua classe potrebbe fare per conservarlo.

PER APPROFONDIRE

- [ODU] E. P. Odum, *Fundamentals of Ecology*: il testo classico dell'ecologia, con i capitoli sulle popolazioni, le comunità e la successione.
- [WIL] E. O. Wilson, *The Diversity of Life*: un grande biologo racconta che cos'è la biodiversità e perché la stiamo perdendo.
- [CAM] L. A. Urry e altri, *Campbell Biology*: i capitoli di ecologia delle popolazioni e delle comunità, con molti dati ed esempi.

Glossario del capitolo

Biodiversità
Varietà della vita ai livelli genetico, di specie e di ecosistemi.

Bioma
Insieme di ecosistemi di regioni con clima simile, riconoscibili per la forma della vegetazione dominante.

Capacità portante
Numero massimo di individui di una specie che un ambiente può mantenere in modo durevole; si indica con *K*.

Cattura e ricattura
Metodo per stimare la dimensione di una popolazione animale dalla frazione di individui marcati presenti in una seconda cattura.

Commensalismo
Relazione (+/0) in cui una specie trae vantaggio e l'altra non riceve né vantaggi né danni.

Competizione interspecifica
Relazione (−/−) fra individui di specie diverse che usano la stessa risorsa limitata.

Comunità climax
Comunità relativamente stabile, in equilibrio con il clima e il suolo, verso cui tende una successione.

Conservazione in situ / ex situ
Protezione delle specie nel loro ambiente naturale (parchi, riserve) oppure fuori da esso (banche dei semi, orti botanici, zoo).

Crescita esponenziale
Crescita di una popolazione con risorse illimitate, in cui l'aumento è proporzionale al numero di individui; forma una curva a J.

Crescita logistica
Crescita che rallenta man mano che la popolazione si avvicina alla capacità portante; forma una curva a S.

Densità di popolazione
Numero di individui di una popolazione per unità di superficie o di volume.

Hotspot di biodiversità
Regione con moltissime specie endemiche che ha già perso gran parte della vegetazione originaria, come il bacino del Mediterraneo.

Mutualismo
Simbiosi (+/+) da cui entrambe le specie traggono vantaggio, come nel lichene o nelle micorrize.

Natalità
Numero di nascite in una popolazione in un certo intervallo di tempo, spesso riferito a ogni 100 o 1 000 individui.

Parassitismo
Relazione (+/−) in cui il parassita vive su o dentro l'ospite e se ne nutre, danneggiandolo.

Predazione
Relazione (+/−) in cui un animale, il predatore, uccide e mangia un altro animale, la preda.

Principio di esclusione competitiva
Due specie con la stessa nicchia ecologica non possono coesistere a lungo nello stesso luogo (Gause).

Servizi ecosistemici
Benefici che gli ecosistemi forniscono agli esseri umani: approvvigionamento, regolazione, supporto, servizi culturali.

Simbiosi
Relazione stretta e duratura fra individui di specie diverse che vivono a contatto: mutualismo, commensalismo o parassitismo.

Specie aliena invasiva
Specie introdotta dall'uomo fuori dal suo areale naturale, che si diffonde e danneggia specie native, ecosistemi, economia o salute.

Specie chiave
Specie che ha sulla struttura della comunità un effetto molto maggiore di quanto farebbe pensare la sua abbondanza.

Strategia r / strategia K
Strategie riproduttive estreme: molti figli piccoli e poco curati (r) oppure pochi figli grandi e molto curati (K).

Successione ecologica
Sostituzione graduale di una comunità con un'altra nello stesso luogo: primaria su substrato senza suolo, secondaria dove il suolo è rimasto.

Soluzioni

1. A. La disposizione nello spazio è la distribuzione; il numero totale è la dimensione.

2. C. La curva a S è tipica della crescita logistica, che si arresta vicino alla capacità portante.

3. B. È il principio di Gause: una delle due specie viene eliminata o si sposta su risorse diverse.

4. D. Il fungo trattiene acqua e sali minerali, l'alga (o il cianobatterio) produce zuccheri con la fotosintesi: vantaggio per entrambi.

5. A. Le altre tre situazioni hanno un suolo già formato: sono successioni secondarie.

6. C. È il clima mediterraneo, che in Italia si trova lungo le coste e nelle isole.

7. D. Esempio: la lontra marina, che controllando i ricci di mare protegge le foreste di alghe.

8. B. Le altre sono forme di conservazione in situ.

9. C. Pochi figli molto accuditi e popolazioni vicine a *K* caratterizzano la strategia K.

10. F. Aumenta ogni anno della stessa *percentuale*, quindi di un numero di individui sempre maggiore.

11. V. Esempio: l'airone guardabuoi che segue i bovini.

12. F. Il parassita danneggia l'ospite, ma di solito non lo uccide subito: ucciderlo significherebbe perdere la propria fonte di cibo.

13. V. Nel suolo restano semi, radici e organismi, perciò è più rapida della successione primaria.

14. F. Valuta il rischio di estinzione di specie viventi in nove categorie, da «Minor preoccupazione» a «Estinta»; le specie minacciate sono CR, EN e VU.

15. V. Ha moltissime specie endemiche e ha perso gran parte della vegetazione originaria.

16. Piante contate: 6 + 9 + 4 + 7 + 5 + 8 + 6 + 3 = 48; superficie campionata: 8 × 0,25 m^2 = 2 m^2. Densità = 48 / 2 = 24 piante/m^2. Numero stimato = 24 × 600 = 14 400 piante.

17. $N = 60 \times 45 / 9 = 300$ carpe. Condizioni: le carpe marcate si mescolano alle altre; nell'intervallo non ci sono nascite, morti, arrivi o partenze rilevanti; la targhetta non cambia la probabilità di essere catturati né la sopravvivenza.

18. Variazione = 90 − 50 + 6 − 16 = +30 caprioli; dopo un anno 430 caprioli; tasso = 30 / 400 = 0,075 = 7,5 %.

19. 1 000 × 1,1 = 1 100; 1 100 × 1,1 = 1 210; 1 210 × 1,1 = 1 331. Dopo 7 anni $1\,000 \times 1{,}1^7 \approx 1\,949$, dopo 8 anni ≈ 2 144: il doppio viene superato dopo 8 anni.

20. (a) A $N = K/2 = 1\,000$ individui. (b) (2 000 − 500) / 2 000 = 0,75, cioè tre quarti. (c) La crescita si arresta: nascite e immigrazioni bilanciano morti ed emigrazioni (in media).

21. (a) parassitismo, tenia +, uomo −; (b) mutualismo, +/+; (c) competizione, −/−; (d) commensalismo, orchidea +, albero 0; (e) erbivoria, cervo +, abete −.

22. P: tundra (freddissimo, secco, permafrost). Q: foresta pluviale tropicale (caldo e piovoso tutto l'anno). R: macchia mediterranea (temperato con estate secca). S: deserto (precipitazioni molto scarse). T: taiga (freddo, inverni lunghi ma estate abbastanza mite per gli alberi).

23. (a) Circa 9 giorni (il modello dà 9,2 giorni, quando $N = 500$). (b) All'inizio la popolazione è molto più piccola di *K*, le risorse non mancano e la crescita logistica è quasi esponenziale (al giorno 4: ≈ 70 contro ≈ 74 individui); avvicinandosi a *K* la logistica rallenta (al giorno 8: ≈ 355 contro ≈ 546). (c) Circa 1 000 individui: la popolazione si è stabilizzata vicino a *K* (il modello dà ≈ 996).

24. (a) Crescita logistica: rapida all'inizio, poi sempre più lenta fino a stabilizzarsi. (b) Circa 400 protozoi/mL. (c) Fra il giorno 4 e il giorno 6 (+168); gli aumenti sono +23, +99, +168, +83, +18, +3. Sì: la cresci-

ta è massima quando N passa per circa $K/2 = 200$, cioè proprio fra il giorno 4 (127) e il giorno 6 (295).

25. Tundra e taiga si distinguono soprattutto per la temperatura (la tundra è più fredda, con un'estate troppo breve per gli alberi). Savana e foresta pluviale, entrambe calde, si distinguono per le precipitazioni (la foresta pluviale riceve più pioggia e non ha una lunga stagione secca). Nella macchia mediterranea conta la distribuzione delle piogge: cadono in inverno, mentre l'estate calda è secca, e le piante sono adattate alla siccità estiva.

26. Traccia. Tre serie di vasche uguali, con la stessa acqua e gli stessi nutrienti, alla stessa luce e temperatura: specie A da sola, specie B da sola (controlli), A e B insieme, con lo stesso numero iniziale di piantine. Variabile indipendente: presenza o assenza dell'altra specie. Variabile dipendente: numero di piantine (o superficie coperta) di ciascuna specie, contato ogni 2–3 giorni per alcune settimane. Più vasche per ogni condizione. Se insieme le due specie crescono meno che da sole, o una scompare, c'è competizione.

27. Traccia. Nel nuovo ambiente mancano spesso i predatori, i parassiti e i concorrenti che ne limitavano la popolazione nell'areale d'origine; con risorse abbondanti la crescita può essere quasi esponenziale. Danni: competono con le specie native o se ne nutrono, trasmettono malattie (il gambero rosso e la peste del gambero), alterano l'habitat (la nutria scava gli argini e distrugge la vegetazione palustre), causano danni economici. Animali domestici liberati possono sopravvivere, riprodursi e diventare invasivi, come è accaduto con alcune tartarughe acquatiche esotiche: per questo non vanno mai liberati.

28. Traccia. Quando le lepri abbondano, le linci trovano cibo, si riproducono di più e aumentano con un certo ritardo; le linci più numerose catturano più lepri, che diminuiscono; con meno prede le linci calano, e le lepri si riprendono. Il picco del predatore segue quello della preda. La questione è aperta perché i dati sono pelli vendute (dipendono anche dallo sforzo dei cacciatori), perché le lepri oscillano anche dove le linci sono scarse e perché gli esperimenti mostrano che contano anche il cibo invernale delle lepri e altri predatori.

29. Traccia (esempio: un parco con un fiume). Servizi: ombra e regolazione della temperatura, assorbimento di CO_2, depurazione dell'acqua, habitat per impollinatori, svago e attività educative. Minacce: rifiuti, specie invasive (nutria, gambero rosso), calpestio, cementificazione delle rive. Azioni: pulizia organizzata con il Comune, bioblitz e segnalazioni di citizen science, cartelli informativi, piantare specie native.