CAPITOLO

12

Procarioti, protisti e funghi

Le foglie cadute non restano a terra per sempre: qualcuno, troppo piccolo per essere visto, le sta già mangiando.

OBIETTIVI

1. Descrivere forme, nutrizione e riproduzione dei batteri e calcolare la crescita di una popolazione batterica.
2. Riconoscere il ruolo dei procarioti negli ecosistemi, negli alimenti e nella salute, e l'uso corretto degli antibiotici.
3. Descrivere la struttura di un virus e spiegare perché non è una cellula.
4. Riconoscere i principali gruppi di protisti e alcune loro strutture al microscopio.
5. Descrivere l'organizzazione e la riproduzione dei funghi e le simbiosi dei licheni e delle micorrize.

INDICE DEL CAPITOLO

12.1 I procarioti: batteri e archei 2
12.2 I procarioti e noi 5
12.3 I protisti 9
12.4 I funghi 12
12.5 I funghi nell'ambiente e per l'uomo 14

Scienze naturali 2 · Parte III · La diversità dei viventi · versione 1.0
Capitolo 12: Procarioti, protisti e funghi · pagine 267–286 del volume completo · estratto per lo studio

In un cucchiaino di terra di giardino vivono più microrganismi di quante persone ci siano sulla Terra. Ce ne sono nell'acqua del mare e nelle sorgenti bollenti, nei ghiacci e nell'intestino di ciascuno di noi. La maggior parte è invisibile a occhio nudo, eppure senza di loro le foglie cadute non marcirebbero mai, il pane non lieviterebbe e lo yogurt non esisterebbe. In questo capitolo, dopo aver imparato nel Capitolo 11 a classificare i viventi, percorriamo i gruppi più semplici: i procarioti dei domini Bacteria e Archaea, i protisti e i funghi. Incontreremo anche i virus, che non sono cellule e non rientrano in nessun regno, ma che è impossibile ignorare.

12.1 I procarioti: batteri e archei

12.1.1 Un mondo invisibile, ma ovunque

Nel Capitolo 3 hai studiato la cellula procariotica: piccola, di solito lunga 1–2 µm, senza nucleo e senza organuli delimitati da membrana. Il suo DNA, un unico cromosoma circolare, si trova nel nucleoide; spesso ci sono anche piccoli anelli di DNA in più, i plasmidi. Ha ribosomi più piccoli di quelli degli eucarioti e, all'esterno della membrana plasmatica, una parete cellulare, a volte avvolta da una capsula. Molti procarioti si muovono con flagelli o aderiscono alle superfici con i pili.

Fino agli anni Settanta del Novecento tutti i procarioti erano chiamati «batteri». Oggi sappiamo che appartengono a due domini distinti (Capitolo 11): i **batteri** (dominio Bacteria) e gli **archei** (dominio Archaea). Al microscopio si assomigliano, ma differiscono nella chimica della parete e della membrana e in molte caratteristiche molecolari. Cominciamo dai batteri, che conosciamo meglio.

12.1.2 Le forme dei batteri

Già al microscopio ottico i batteri mostrano poche forme fondamentali (Figura 12.1). I **cocchi** sono sferici; possono restare uniti dopo la divisione a coppie (diplococchi), in catenelle (streptococchi) o in grappoli (stafilococchi). I **bacilli** hanno forma di bastoncello, come *Escherichia coli*, abitante comune del nostro intestino. Gli **spirilli** sono avvolti a spirale rigida e i **vibrioni** hanno la forma di una virgola, come *Vibrio cholerae*, l'agente del colera. La forma, insieme alla disposizione delle cellule, è il primo indizio che un microbiologo usa per riconoscere un batterio.

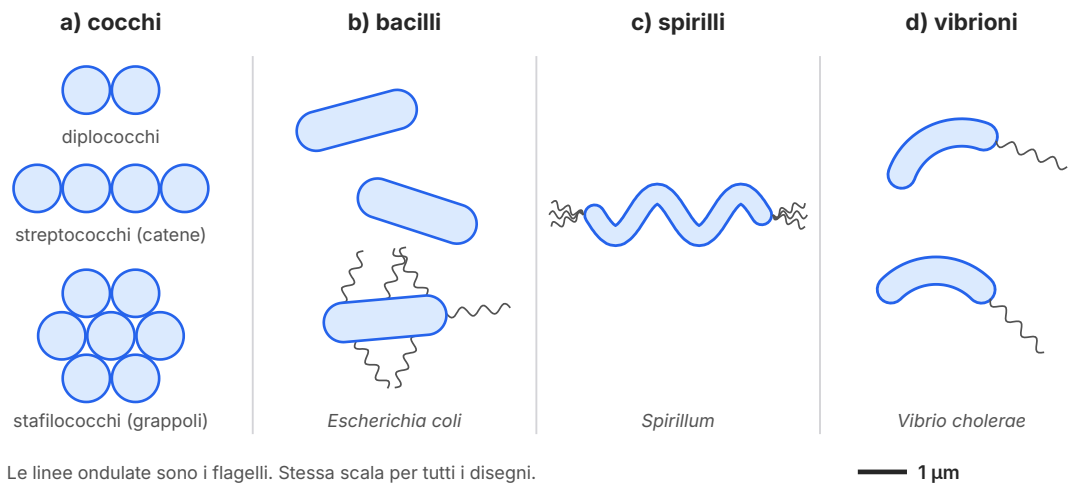


Figura 12.1 Le forme principali dei batteri: a) cocchi, che possono restare riuniti in coppie, catene o grappoli; b) bacilli; c) spirilli; d) vibrioni. Le linee ondulate sono i flagelli. Dimensioni indicative, alla stessa scala.

Un secondo indizio viene da una colorazione inventata nel 1884 dal medico danese Hans Christian Gram. Con la **colorazione di Gram** alcuni batteri restano viola (Gram-positivi): hanno una parete spessa di peptidoglicano. Altri si colorano di rosa (Gram-negativi): hanno una parete sottile, protetta da una seconda membrana esterna. La distinzione ha conseguenze pratiche, perché molti antibiotici agiscono bene solo su uno dei due gruppi.

12.1.3 Come si nutrono

Nessun altro gruppo di viventi ha modi di nutrirsi così vari. Alcuni batteri sono autotrofi (Capitolo 5). I **cianobatteri** fanno la fotosintesi come le piante, con la clorofilla, e liberano ossigeno: furono loro, miliardi di anni fa, a riempire di ossigeno l'atmosfera (Capitolo 10), e dai loro antenati derivano i cloroplasti (Capitolo 3). Altri batteri sono chemiosintetici: ricavano energia da reazioni di sostanze inorganiche, come l'ammoniaca o i composti dello zolfo, e con quella energia fissano la CO_2.

La maggior parte dei batteri, però, è eterotrofa. I **saprofiti** si nutrono di materia organica morta, che demoliscono con enzimi riversati all'esterno. I simbionti vivono in stretta associazione con un altro organismo, spesso con vantaggio reciproco. I parassiti, infine, si nutrono a spese di un organismo ospite e possono danneggiarlo. Anche il rapporto con l'ossigeno varia: molti batteri ne hanno bisogno, altri vivono anche senza, e per alcuni, come il batterio del tetano, l'ossigeno è addirittura tossico.

12.1.4 Come si riproducono

I batteri si riproducono per scissione binaria (Capitolo 6): la cellula copia il suo cromosoma, si allunga e si divide in due cellule figlie identiche. In condizioni ideali di temperatura e nutrimento la divisione è rapidissima. L'intervallo fra due divisioni successive si chiama **tempo di generazione**: per *Escherichia coli*, in laboratorio, può scendere a circa 20 minuti. A ogni generazione il numero di cellule raddoppia: dopo n generazioni, da una sola cellula se ne ottengono 2^n. È una **crescita esponenziale** (Figura 12.2).

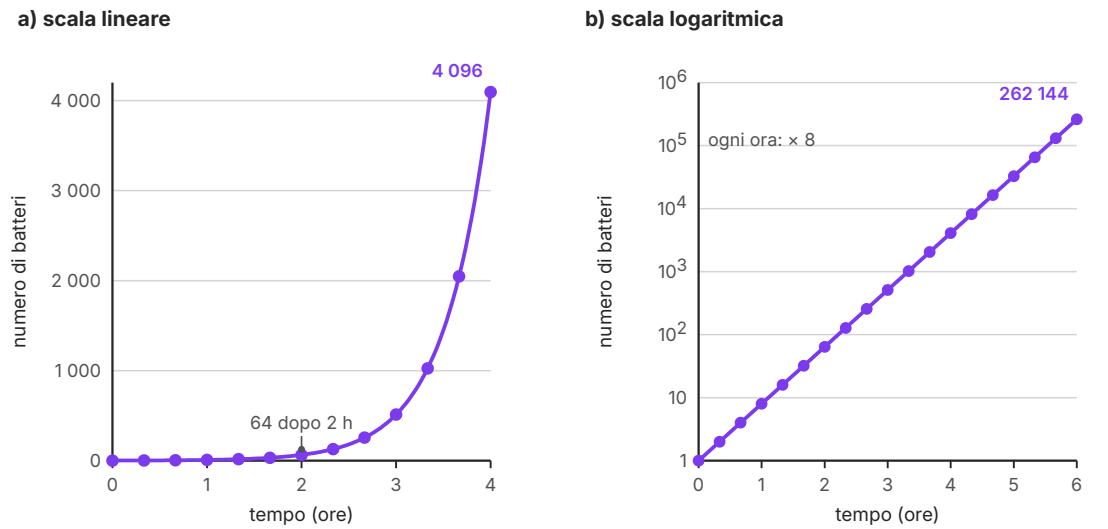


Figura 12.2 Crescita di una popolazione batterica a partire da una cellula, con un tempo di generazione di 20 minuti ($N = 2^n$, con n = numero di generazioni). a) Su un asse verticale lineare la curva sembra quasi piatta per due ore, poi si impenna. b) Su un asse logaritmico, dove ogni tacca vale dieci volte la precedente, la stessa crescita è una retta: ogni ora il numero si moltiplica per $2^3 = 8$. Valori calcolati.

ESEMPIO SVOLTO

Quanti batteri dopo sei ore?

Problema. Un batterio con tempo di generazione di 20 minuti cade in un alimento lasciato a temperatura ambiente. Supponendo che le condizioni restino ideali, quante cellule ci saranno dopo 6 ore?

Soluzione. In 6 ore ci sono $6 \times 60 = 360$ minuti, cioè $360 : 20 = 18$ generazioni. Il numero di cellule è $N = 2^{18} = 262\,144$. Se le cellule iniziali fossero 10, sarebbero $10 \times 2^{18} = 2\,621\,440$, cioè circa 2,6 milioni.

Commento. In una coltura reale la crescita esponenziale non dura a lungo: il nutrimento finisce e i prodotti di rifiuto si accumulano, e la popolazione smette di crescere. Studierai le curve di crescita delle popolazioni nel Capitolo 16. Il calcolo spiega però perché i cibi cotti non vanno lasciati per ore fuori dal frigorifero: il freddo allunga di molto il tempo di generazione.

Alcuni batteri, come quelli dei generi *Bacillus* e *Clostridium*, quando le condizioni diventano sfavorevoli formano all'interno della cellula una **endospora**: una struttura disidratata, con un rivestimento spesso, che contiene il DNA e resiste per anni alla siccità, al calore e a molte sostanze chimiche. Le spore di alcune specie sopravvivono anche all'ebollizione; per questo in ospedale e in laboratorio si sterilizza in autoclave, con vapore sotto pressione a 121 °C. Quando le condizioni tornano favorevoli, la spora germina e torna a essere una cellula attiva. Non è una forma di riproduzione: da una cellula si forma una sola spora.

La scissione produce copie identiche, ma i batteri hanno anche modi di scambiarsi geni. Nella **coniugazione** una cellula trasferisce a un'altra, attraverso un pilo che le mette in contatto, una copia di un pezzo del suo DNA, di solito un plasmide. Non nasce una cellula nuova: la cellula ricevente acquista nuovi caratteri, per esempio la resistenza a un antibiotico.

12.2 I procarioti e noi

12.2.1 Decompositori, azotofissatori, alleati

Insieme ai funghi, i batteri saprofiti sono i grandi **decompositori** della biosfera: demoliscono i resti di piante e animali e restituiscono all'ambiente le sostanze minerali che i produttori potranno riutilizzare (Capitolo 15). Alcuni batteri del suolo, come *Rhizobium*, hanno una capacità che nessun eucariote possiede: fissano l'azoto atmosferico (N_2), cioè lo trasformano in composti che le piante possono assorbire. *Rhizobium* vive in noduli sulle radici delle leguminose (fagiolo, pisello, trifoglio, erba medica), alle quali cede composti azotati in cambio di zuccheri. Per questo gli agricoltori alternano da secoli i cereali e le leguminose sullo stesso campo.

Altri batteri lavorano per noi in cucina. Lo yogurt nasce dalla fermentazione lattica del latte operata da due batteri, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*;

batteri lattici sono all'opera anche nei formaggi, nei crauti e nelle olive in salamoia. Nelle biotecnologie, che studierai più avanti, batteri modificati producono farmaci come l'insulina.

COLLEGAMENTI

Il microbiota, un organo in più. Il nostro intestino ospita una comunità enorme di microrganismi, soprattutto batteri: il **microbiota** intestinale. Secondo una stima pubblicata nel 2016, le cellule batteriche del corpo umano sono dello stesso ordine di grandezza delle nostre cellule. Il microbiota aiuta a digerire alcune fibre vegetali, produce alcune vitamine (per esempio la vitamina K) e, occupando lo spazio, ostacola l'insediamento dei batteri patogeni. Una cura antibiotica può alterarlo per un certo tempo: anche questo è un motivo per usare gli antibiotici solo quando il medico li prescrive.

12.2.2 I batteri patogeni e gli antibiotici

Una piccola minoranza di batteri è **patogena**, cioè causa malattie. Il batterio del tetano (*Clostridium tetani*) vive nel suolo sotto forma di spore, che possono entrare in una ferita sporca di terra; contro il tetano esiste un vaccino, che in Italia fa parte delle vaccinazioni obbligatorie dell'infanzia. La tubercolosi è causata da *Mycobacterium tuberculosis*, scoperto da Robert Koch nel 1882, e si trasmette per via aerea. Le salmonellosi sono infezioni intestinali dovute a batteri del genere *Salmonella*, che si contraggono con cibi contaminati, come uova crude o carni poco cotte.

Contro le infezioni batteriche disponiamo degli **antibiotici**: sostanze, prodotte in origine da funghi o da batteri, che uccidono i batteri o ne bloccano la crescita senza danneggiare in modo grave le nostre cellule. Il primo fu la penicillina, scoperta da Alexander Fleming nel 1928. L'uso eccessivo o scorretto degli antibiotici ha però selezionato batteri resistenti, un esempio di evoluzione che si osserva in pochi anni (Capitolo 9). Per questo un antibiotico si prende solo su prescrizione, alle dosi e per tutto il tempo indicati dal medico.

APPROFONDIMENTO

Approfondimento · La muffa di Fleming. Nel 1928, a Londra, il batteriologo scozzese Alexander Fleming notò che una piastra di coltura di stafilococchi era stata contaminata da una muffa del genere *Penicillium*. Intorno alla muffa le colonie batteriche si erano dissolte. Fleming capì che la muffa produceva una sostanza capace di uccidere i batteri e la chiamò penicillina, ma non riuscì a ottenerla pura in quantità utili. Lo fecero, a Oxford, Howard Florey ed Ernst Chain intorno al 1940; durante la seconda guerra mondiale la penicillina fu prodotta su scala industriale e salvò moltissimi feriti. Nel 1945 i tre ricevettero il premio Nobel per la fisiologia o la medicina.

Oggi sappiamo perché la penicillina è così selettiva: impedisce ai batteri di costruire il peptidoglicano della parete. Le cellule umane non hanno parete né peptidoglicano, e quindi non vengono danneggiate; non vengono colpiti nemmeno i virus, che non sono cellule.

ERRORE FREQUENTE

«I batteri sono germi da eliminare». In realtà solo una piccola parte delle specie batteriche causa malattie. La maggior parte è innocua o utile: decompone la materia organica, fissa l'azoto, produce ossigeno, vive nel nostro intestino e ci protegge. Un mondo senza batteri non sarebbe più sano: semplicemente, la vita sulla Terra non potrebbe continuare.

12.2.3 Gli archei, amanti degli estremi

Gli archei furono scoperti soprattutto in ambienti in cui nessun altro organismo sopravvive, e per questo molti di loro sono detti **estremofili**. I termofili vivono nelle sorgenti calde e nelle sorgenti idrotermali dei fondali oceanici, e alcuni crescono anche oltre i 100 °C. Gli alofili vivono in acque molto salate, come quelle delle saline, dove a volte contribuiscono a dare all'acqua un colore rosato. I metanogeni vivono in ambienti privi di ossigeno, come i fondali delle paludi o l'intestino dei ruminanti, e producono metano, un gas serra. Oggi sappiamo che gli archei sono diffusi anche negli oceani e nel suolo; finora, invece, non si conoscono archei che causino malattie all'uomo.

12.2.4 Un caso a parte: i virus

I **virus** non sono procarioti e non sono cellule: per questo non compaiono nell'albero dei tre domini. Un virus è formato da un acido nucleico, DNA oppure RNA, racchiuso in un rivestimento di proteine, il **capside**. Molti virus, come quelli dell'influenza e il SARS-CoV-2 responsabile della COVID-19, sono avvolti anche da un involucro formato da un doppio strato lipidico, in cui sono inserite glicoproteine (Figura 12.3). I virus misurano da circa 20 a 300 nm: si vedono solo al microscopio elettronico (Capitolo 1).

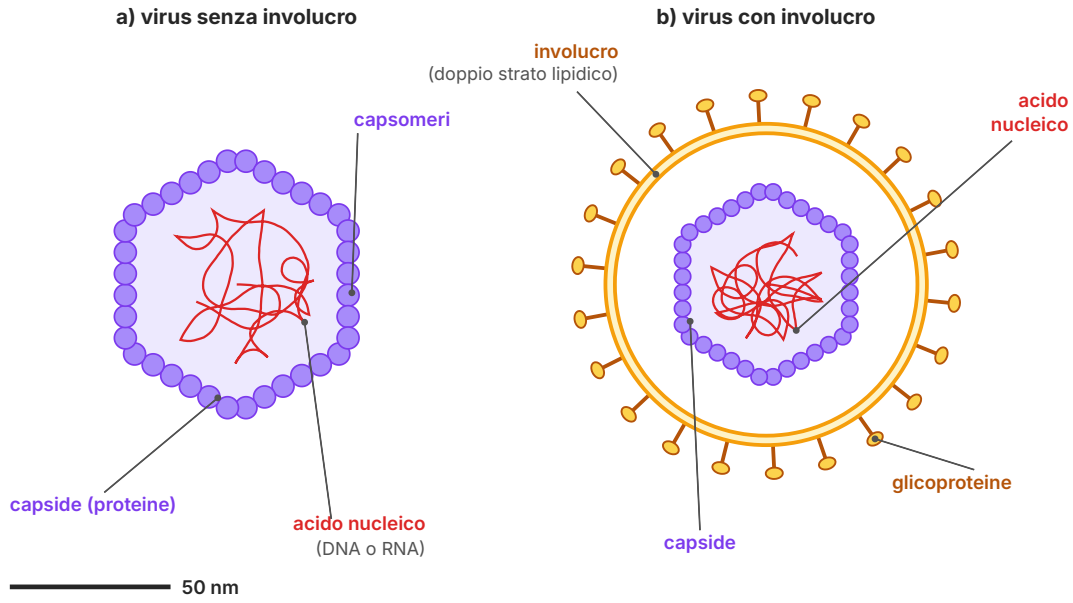


Figura 12.3 Struttura di due virus generici in sezione: a) un virus senza involucro, con il capside di proteine formato da subunità (capsomeri) che racchiude l'acido nucleico; b) un virus con involucro, il cui doppio strato lipidico deriva dalla membrana della cellula infettata e porta glicoproteine rivolte all'esterno. Schemi semplificati, alla stessa scala.

Un virus non ha metabolismo e non ha ribosomi: è un **parassita obbligato**. Fuori da una cellula è una particella inerte; per moltiplicarsi deve entrare in una cellula ospite e usarne gli enzimi, i ribosomi e l'energia per produrre centinaia di copie di sé stesso, che poi escono e infettano altre cellule. Esistono virus per ogni gruppo di viventi; quelli che infettano i batteri si chiamano batteriofagi. Contro molte malattie virali la difesa più efficace è la prevenzione con i vaccini, che preparano il sistema immunitario a riconoscere il virus.

ERRORE FREQUENTE

«Ho l'influenza: prendo un antibiotico». Gli antibiotici colpiscono strutture e processi delle cellule batteriche, come la parete di peptidoglicano o i ribosomi dei batteri. I virus non hanno nulla di tutto questo: un antibiotico contro un raffreddore o un'influenza è inutile e favorisce soltanto la diffusione di batteri resistenti. Contro alcuni virus esistono farmaci specifici, gli antivirali, che sono un'altra cosa.

12.3 I protisti

12.3.1 Un gruppo eterogeneo

I **protisti** sono eucarioti che non sono né piante, né animali, né funghi. Sono quasi tutti unicellulari o pluricellulari semplici, senza veri tessuti, e vivono soprattutto nell'acqua o in ambienti umidi. Come hai visto nel Capitolo 11, non formano un gruppo naturale: «protisti» è un raggruppamento di comodo, che mette insieme linee evolutive molto diverse. Alcuni sono eterotrofi, come gli animali, altri autotrofi, come le piante; per semplicità li dividiamo in protozoi, alghe e muffe mucillaginose.

12.3.2 I protozoi

I **protozoi** sono protisti unicellulari eterotrofi, spesso capaci di muoversi. Il **paramecio**, comune negli stagni, è lungo circa 0,2 mm ed è ricoperto da migliaia di **ciglia**, che battono in modo coordinato e lo fanno avanzare ruotando (Figura 12.4a). Le ciglia spingono batteri e particelle di cibo lungo il solco orale fino a una piccola apertura, dove il cibo viene racchiuso in un **vacuolo alimentare** e digerito. Il paramecio ha due tipi di nucleo: un grande macronucleo, che dirige le attività della cellula, e uno o più micronuclei, che intervengono nella riproduzione.

L'**ameba** si muove e cattura le prede con i **pseudopodi**, prolungamenti temporanei del citoplasma: un pseudopodo si allunga, il resto della cellula «scorre» al suo interno, e due pseudopodi possono circondare una preda e inglobarla per fagocitosi (Capitolo 4; Figura 12.4b). Nei protozoi d'acqua dolce si osservano anche i **vacuoli contrattili**, che si riempiono d'acqua e si svuotano all'esterno a intervalli regolari. Il citoplasma è più concentrato dell'acqua dello stagno, che è quindi ipotonica rispetto alla cellula: l'acqua entra di continuo per osmosi e, senza vacuoli contrattili, la cellula scoppierebbe.

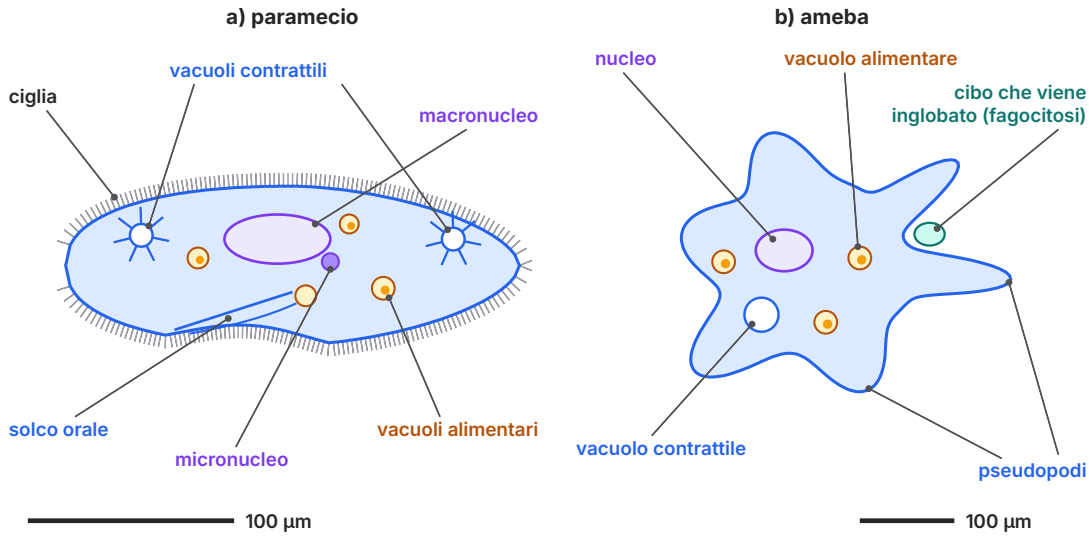


Figura 12.4 Due protozoi d'acqua dolce: a) un paramecio, che si muove con le ciglia e si nutre attraverso il solco orale; b) un'ameba, che si muove ed emette pseudopodi per inglobare il cibo. I vacuoli contrattili espellono l'acqua che entra per osmosi. Le due barre di scala sono diverse.

Alcuni protozoi sono parassiti. Il più importante per la salute umana è *Plasmodium*, l'agente della **malaria**. Lo trasmettono le femmine delle zanzare del genere *Anopheles*: con la puntura il parassita passa nel sangue, si moltiplica prima nel fegato e poi nei globuli rossi, che distrugge a ondate, provocando le caratteristiche febbri ricorrenti. Secondo l'Organizzazione mondiale della sanità, nel 2022 la malaria ha causato nel mondo circa 600 000 morti, in gran parte bambini dell'Africa subsahariana.

COLLEGAMENTI

La malaria in Italia. Il nome stesso della malattia è italiano: si pensava che la causasse la «mala aria» delle paludi. Fino alla metà del Novecento la malaria era diffusa in molte zone del Paese, dalle paludi pontine alla Maremma, dal delta del Po alla Sardegna. Nel 1898 lo zoologo italiano Giovanni Battista Grassi, con i suoi collaboratori, dimostrò che i parassiti della malaria umana sono trasmessi dalle zanzare *Anopheles*. Le bonifiche delle paludi, l'uso del chinino e le campagne contro le zanzare del dopoguerra eliminarono la malattia: nel 1970 l'OMS ha dichiarato l'Italia libera dalla malaria. Oggi i pochi casi registrati sono quasi tutti contratti durante viaggi in Paesi dove la malaria è ancora diffusa. È un capitolo di storia che lega la biologia alla geografia e all'educazione alla salute.

12.3.3 Le alghe

Le **alghe** sono protisti autotrofi: hanno cloroplasti e fanno la fotosintesi, ma non sono piante, perché non hanno né tessuti conduttori né embrioni protetti. Molte sono unicellulari e formano, insieme ai cianobatteri, il **fitoplancton**, l'insieme degli organismi fotosintetici che galleggiano negli strati illuminati dei mari e dei laghi. Il fitoplancton è alla base delle catene alimentari acquatiche, e gli oceani, grazie soprattutto a esso, svolgono circa la metà della fotosintesi della Terra.

Le **diatomee** sono racchiuse in un guscio di silice formato da due metà che si incastrano come una scatola e il suo coperchio, decorato da disegni finissimi. I **dinoflagellati** hanno due flagelli; alcuni, quando si moltiplicano in grande numero, colorano l'acqua producendo le cosiddette **maree rosse**, e alcune specie producono tossine che si accumulano nei molluschi filtratori, come le cozze. Per questo i molluschi destinati al consumo vengono controllati.

Le alghe pluricellulari, che chiamiamo comunemente alghe marine, si dividono soprattutto secondo i pigmenti. Le **alghe rosse** vivono anche in acque profonde; da alcune di esse si ricava l'agar, la gelatina usata nelle piastre dei laboratori di microbiologia e in cucina. Le **alghe brune** comprendono le laminarie, che nei mari freddi formano vere foreste sottomarine e possono raggiungere decine di metri. Le **alghe verdi**, come la lattuga di mare (*Ulva*), hanno gli stessi pigmenti delle piante e sono i loro parenti più stretti: dalle alghe verdi derivano le piante terrestri (Capitolo 13). Infine le **muffe mucillaginose** sono protisti eterotrofi che vivono nel sottobosco umido come masse gelatinose capaci di strisciare lentamente sul legno marcio.

ESPERIENZA DI LABORATORIO

Un infuso di fieno pieno di vita

Materiale. Un barattolo di vetro, una manciata di fieno o di foglie secche, acqua di stagno o acqua del rubinetto lasciata riposare per un giorno, contagocce, vetrini portaoggetti e coprioggetti, microscopio ottico.

Procedimento. Metti il fieno nel barattolo, coprilo d'acqua e lascialo, coperto da un foglio di carta, alla luce diffusa e a temperatura ambiente per una o due settimane. Preleva con il contagocce una goccia dalla superficie e una dal fondo, prepara due vetrini a fresco e osservali prima a 100 e poi a 400 ingrandimenti. Per rallentare i protozoi più veloci puoi aggiungere alla goccia qualche fibra di cotone.

Sicurezza. Lavora con i guanti, non toccarti il viso e lavati le mani alla fine. L'infuso contiene microrganismi di ogni tipo: alla fine va eliminato secondo le indicazioni dell'insegnante.

Che cosa si osserva. Dopo pochi giorni compaiono i batteri, visibili come puntini e bastoncini in movimento. In seguito si sviluppano i protozoi che se ne nutrono: spesso parameci, a volte amebe e altri ciliati; in superficie possono comparire alghe verdi unicellulari.

Domande. 1) Disegna un organismo e indica le strutture che riconosci, confrontandolo con la Figura 12.4. 2) Perché i protozoi compaiono dopo i batteri? 3) Ripeti l'osservazione dopo una settimana: le specie più numerose sono le stesse?

12.4 I funghi

12.4.1 Ife, micelio e parete di chitina

I **funghi** sono eucarioti eterotrofi che si nutrono per **assorbimento**: riversano enzimi digestivi nell'ambiente che li circonda, demoliscono all'esterno le molecole organiche e assorbono le piccole molecole che ne derivano. A parte i lieviti, che sono unicellulari, il corpo di un fungo è formato da filamenti sottilissimi, le **ife**, che crescono dalla punta e si ramificano. L'insieme delle ife costituisce il **micelio**, che si estende nel terreno, nel legno o nel cibo di cui il fungo si nutre (Figura 12.5). In molti funghi le ife sono divise in cellule da pareti trasversali, i setti, che però hanno pori attraverso i quali il citoplasma e perfino i nuclei passano da una cellula all'altra.

Le cellule dei funghi hanno una parete, ma non è di cellulosa come nelle piante: è di **chitina**, un polisaccaride resistente che si trova anche nell'esoscheletro degli insetti (Capitolo 14). I funghi non hanno clorofilla e conservano le riserve sotto forma di glicogeno, come gli animali, e non di amido. Le analisi molecolari confermano che i funghi sono parenti più stretti degli animali che delle piante.

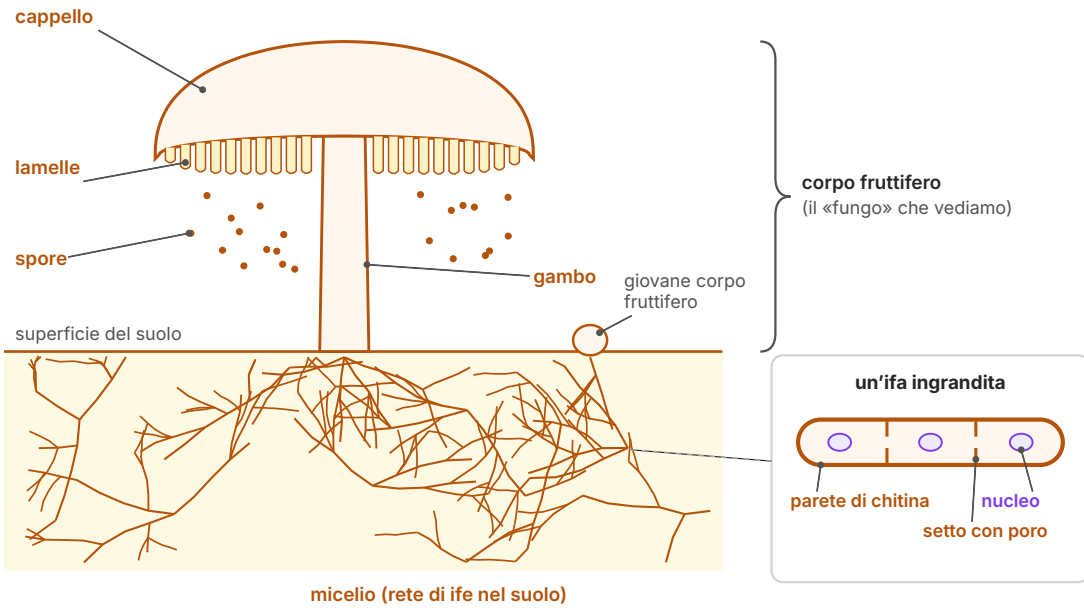


Figura 12.5 Un fungo a cappello: il corpo fruttifero (cappello, lamelle, gambo) è solo la parte visibile di un micelio che si estende nel suolo. Le spore si formano sulle lamelle e cadono, trasportate poi dal vento. Nel riquadro, un'ifa ingrandita con la parete di chitina e i setti forati. Schema non in scala.

ERRORE FREQUENTE

«I funghi sono piante senza clorofilla». Non lo sono: i funghi formano un regno a sé, con una parete di chitina invece che di cellulosa, riserve di glicogeno invece che di amido e una nutrizione per assorbimento. Attenzione anche alla parola «fungo»: nel linguaggio comune indica il corpo fruttifero che raccogliamo nel bosco, ma per un biologo il fungo è soprattutto il micelio nascosto nel terreno, e moltissimi funghi non formano mai un «cappello».

12.4.2 Le spore e i tre aspetti dei funghi

I funghi si riproducono per mezzo di **spore**, cellule microscopiche prodotte in numero enorme e trasportate dal vento, dall'acqua o dagli animali. Una spora che cade in un ambiente favorevole germina e forma una nuova ifa. Molti funghi producono spore sia per via asessuata sia per via sessuata, dopo l'unione di ife compatibili. In base al loro aspetto distinguiamo tre forme principali.

I **lieviti** sono funghi unicellulari, che si riproducono per gemmazione: dalla cellula madre si stacca una piccola cellula figlia. Il lievito di birra, *Saccharomyces cerevisiae*, fa la fermentazione alcolica che hai studiato nel Capitolo 5: la CO_2 che produce fa lievitare il pane, l'etanolo dà il

vino e la birra. Le **muffe** formano un micelio fitto e lanuginoso sulla superficie del cibo; le loro spore danno colori diversi, dal verde-azzurro del *Penicillium* al nero della muffa del pane. Infine i **funghi a cappello**, come i porcini e i prataioli, sviluppano dal micelio un **corpo fruttifero**: un intreccio compatto di ife che emerge dal terreno con il gambo e il cappello. Sotto il cappello, sulle lamelle o in minuscoli tubuli, si formano le spore.

12.5 I funghi nell'ambiente e per l'uomo

12.5.1 Decompositori e parassiti

Moltissimi funghi sono saprofiti, e sono decompositori insostituibili. Solo alcuni funghi, infatti, riescono a demolire la lignina, la sostanza che rende duro il legno: senza di loro i tronchi caduti si accumulerebbero nei boschi. Altri funghi sono parassiti. Nelle piante causano malattie che possono distruggere i raccolti, come l'oidio della vite o le ruggini dei cereali. Nell'uomo causano le **micosi**, di solito infezioni della pelle, delle unghie o delle mucose, come il «piede d'atleta» o la candidosi, dovuta al lievito *Candida*.

12.5.2 Simbiosi: licheni e micorrize

Molti funghi vivono in simbiosi. Un **lichene** è un'associazione stabile fra un fungo e un partner fotosintetico, un'alga verde unicellulare o un cianobatterio. Il fungo forma quasi tutto il corpo del lichene, detto tallo, e protegge il partner dalla disidratazione e dalla luce troppo intensa; il partner fornisce gli zuccheri prodotti con la fotosintesi (Figura 12.6). Grazie a questa collaborazione i licheni colonizzano ambienti proibitivi: rocce nude, cortecce, montagne e regioni polari. Sono spesso i primi organismi a insediarsi sulla roccia, che contribuiscono a disgregare, preparando il terreno per altri viventi (Capitolo 16). Molti licheni sono sensibili all'inquinamento dell'aria e ne scompaiono per primi: per questo si usano come **bioindicatori** della qualità dell'aria.

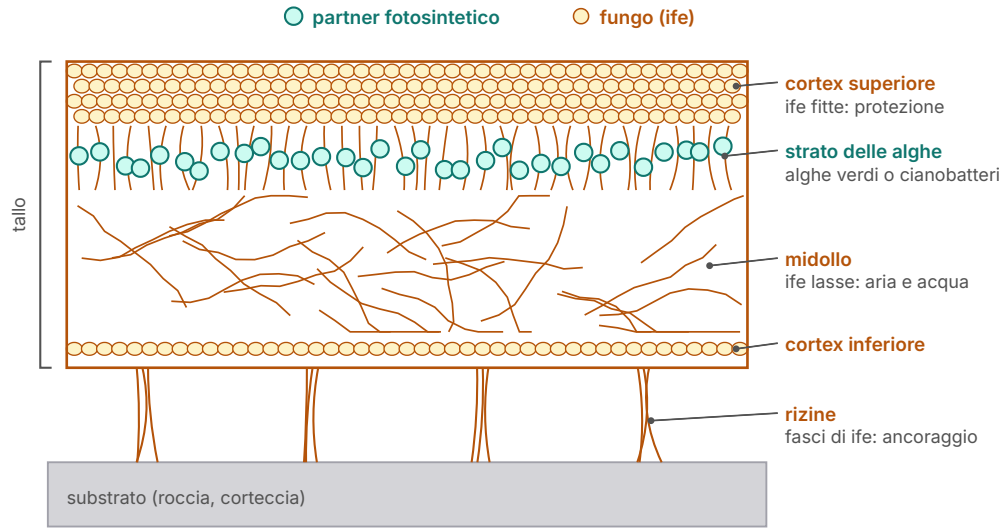


Figura 12.6 Sezione del tallo di un lichene: il fungo forma gli strati di protezione (cortex), il midollo di ife lasse e le rizine che ancorano il lichene al substrato; le cellule del partner fotosintetico formano uno strato appena sotto il cortex superiore, dove arriva la luce. Schema non in scala.

Le **micorrize** sono associazioni fra le ife di un fungo e le radici di una pianta. Il micelio, molto più sottile e lungo delle radici, esplora un volume di suolo enorme e cede alla pianta acqua e sali minerali, soprattutto composti del fosforo; la pianta cede al fungo zuccheri. La grande maggioranza delle piante terrestri forma micorrize. Anche i tartufi, così apprezzati in cucina, sono i corpi fruttiferi sotterranei di funghi che formano micorrize con querce, noccioli, pioppi e altri alberi.

ERRORE FREQUENTE

«Il lichene è una pianta» oppure «è un organismo di una sola specie». Un lichene è una **simbiosi**: un fungo e un partner fotosintetico (un'alga o un cianobatterio) di specie diverse, che vivono così strettamente associati da formare un corpo con una forma propria. Il nome scientifico di un lichene è quello del suo fungo.

12.5.3 Funghi in tavola, in farmacia, nel bosco

Oltre ai lieviti del pane e del vino, molte muffe sono usate per fare i formaggi: il *Penicillium roqueforti* forma le venature verdi-azzurre del gorgonzola e del roquefort. Dai funghi derivano farmaci fondamentali: la penicillina e altri antibiotici, e la ciclosporina, che impedisce il rigetto degli organi trapiantati. Altre muffe, al contrario, producono sostanze tossiche, le micotossine,

che possono contaminare cereali e frutta secca conservati male: un alimento ammuffito, come il pane, va eliminato.

Infine, alcuni funghi a cappello sono mortali. L'esempio classico è l'*Amanita phalloides*, detta tignosa verdognola, responsabile della maggior parte degli avvelenamenti mortali da funghi in Europa: le sue tossine danneggiano il fegato e i sintomi compaiono solo molte ore dopo il pasto, quando il danno è già in corso.

DA RICORDARE

Nessun «metodo casalingo», come la moneta d'argento o l'aglio che anneriscono, permette di riconoscere un fungo velenoso, e un libro o un'app non bastano. Il riconoscimento dei funghi è un lavoro da esperti: in Italia gli ispettorati micologici delle ASL controllano gratuitamente i funghi raccolti. Chi non è un esperto non raccoglie funghi per mangiarli. In caso di sospetto avvelenamento ci si rivolge subito al pronto soccorso o a un centro antiveleni.

Tabella 12.1 Procarioti, protisti e funghi a confronto.

	Batteri	Archei	Protisti	Funghi
Cellula	procariotica	procariotica	eucariotica	eucariotica
Organizzazione	unicellulari	unicellulari	unicellulari o pluricellulari semplici	lieviti unicellulari; gli altri formano ife e micelio
Parete	di peptidoglicano	senza peptidoglicano	presente in molte alghe, assente nei protozoi	di chitina
Nutrizione	autotrofi (fotosintesi, chemiosintesi) o eterotrofi	autotrofi o eterotrofi	autotrofi (alghe) o eterotrofi (protozoi)	eterotrofi per assorbimento
Esempi	*Escherichia coli*, cianobatteri, *Rhizobium*	metanogeni, alofili, termofili	paramecio, ameba, *Plasmodium*, diatomee, laminarie	lievito di birra, *Penicillium*, porcino, *Amanita*

IN SINTESI

Crescita batterica: dopo n generazioni, $N = N_0 \times 2^n$, con n = tempo trascorso : tempo di generazione. **Virus:** acido nucleico + capside (+ involucro), parassita obbligato, nessun metabolismo; gli antibiotici non agiscono. **Licheni:** fungo + alga o cianobatterio. **Micorrize:** fungo + radici di una pianta. Il confronto fra i gruppi è nella Tabella 12.1.

SINTESI

- I procarioti appartengono a due domini, Bacteria e Archaea: cellule piccole, senza nucleo, con DNA circolare nel nucleoide, ribosomi e parete.
- I batteri hanno forme di cocco, bacillo, spirillo o vibrione; la colorazione di Gram distingue i Gram-positivi (parete spessa di peptidoglicano) dai Gram-negativi.
- Fra i batteri ci sono autotrofi fotosintetici (cianobatteri) e chemiosintetici, ed eterotrofi saprofiti, simbionti e parassiti.
- I batteri si riproducono per scissione binaria; con un tempo di generazione costante la popolazione cresce in modo esponenziale (2^n). Le endospore resistono a condizioni estreme; la coniugazione scambia geni.
- I batteri decompongono, fissano l'azoto (*Rhizobium*), formano il microbiota e producono alimenti; pochi sono patogeni. Gli antibiotici agiscono sui batteri, non sui virus; il loro abuso seleziona batteri resistenti.
- Molti archei sono estremofili (termofili, alofili, metanogeni); non si conoscono archei patogeni per l'uomo.
- I virus non sono cellule: acido nucleico e capside, a volte un involucro lipidico; si moltiplicano solo dentro una cellula ospite.
- I protisti sono eucarioti unicellulari o pluricellulari semplici, un gruppo di comodo: protozoi (paramecio, ameba, *Plasmodium*), alghe (diatomee, dinoflagellati, alghe rosse, brune e verdi) e muffe mucillaginose.
- Il fitoplancton è alla base delle reti alimentari acquatiche; le alghe verdi sono le antenate delle piante terrestri.
- I funghi sono eucarioti eterotrofi per assorbimento, con ife, micelio e parete di chitina; si riproducono con spore. Lieviti, muffe e funghi a cappello sono le tre forme principali.
- I funghi sono decompositori, parassiti (micosi, malattie delle piante) e simbionti: i licheni (fungo + alga o cianobatterio) e le micorrize (fungo + radici).
- Dai funghi otteniamo alimenti e farmaci; alcuni producono micotossine o sono mortali (*Amanita phalloides*): solo un esperto può riconoscere i funghi commestibili.

ESERCIZI

Comprendere e ricordare

1. ● Quale di queste strutture è presente in tutte le cellule procariotiche?
   - **A.** il nucleo con involucro
   - **B.** i ribosomi
   - **C.** i mitocondri
   - **D.** il flagello

2. ● Un batterio a forma di bastoncello si chiama:

   A. cocco
   B. spirillo
   C. vibrione
   D. bacillo

3. ● I cianobatteri sono:

   A. batteri fotosintetici che liberano ossigeno
   B. alghe verdi unicellulari
   C. funghi unicellulari
   D. archei che vivono nelle saline

4. ●● La coniugazione batterica:

   A. produce due cellule figlie identiche
   B. è la formazione di una spora resistente
   C. trasferisce DNA da una cellula a un'altra attraverso un pilo
   D. è la fusione di due batteri in una sola cellula

5. ● Quale affermazione sui virus è corretta?

   A. sono batteri molto piccoli
   B. si moltiplicano solo all'interno di una cellula ospite
   C. si curano con gli antibiotici
   D. hanno ribosomi propri

6. ●● I vacuoli contrattili di un paramecio d'acqua dolce servono a:

   A. digerire il cibo
   B. espellere l'acqua che entra nella cellula per osmosi
   C. muovere la cellula
   D. produrre ATP

7. ● La parete cellulare dei funghi è formata da:

   A. cellulosa
   B. peptidoglicano
   C. silice
   D. chitina

8. ●● Un lichene è:

   A. l'associazione fra un fungo e un'alga o un cianobatterio
   B. una pianta senza radici
   C. un'alga pluricellulare che vive sulle rocce
   D. un fungo parassita delle piante

9. ●● Quale di questi organismi NON è un fungo?
   A. il lievito di birra
   B. il *Penicillium*
   C. la laminaria
   D. l'*Amanita phalloides*

Vero o falso

10. ● Gli archei sono procarioti, come i batteri.

11. ● La maggior parte dei batteri è patogena per l'uomo.

12. ●● Un'endospora è un modo con cui un batterio si moltiplica rapidamente.

13. ● Le alghe verdi sono i parenti più stretti delle piante terrestri.

14. ●● Il «fungo» che raccogliamo nel bosco è l'intero organismo.

Applicare

15. ● Un batterio si divide ogni 30 minuti. Partendo da una sola cellula, quante cellule ci saranno dopo 3 ore, se le condizioni restano ideali?

16. ●● Una coltura di *Escherichia coli*, con tempo di generazione di 20 minuti, contiene all'inizio 100 cellule. Quante cellule contiene dopo 4 ore di crescita esponenziale?

17. ●●● Con un tempo di generazione di 20 minuti, quanto tempo serve perché una sola cellula dia origine a più di un milione di cellule? ($2^{20} = 1\,048\,576$)

18. ●● Una coltura passa da 500 a 32 000 batteri in 2 ore di crescita esponenziale. Quante generazioni ci sono state? Qual è il tempo di generazione?

19. ●●● Un batterio si divide ogni 20 minuti a 37 °C e ogni 60 minuti a 20 °C. Un alimento contiene inizialmente 10 batteri. Quanti saranno dopo 6 ore nei due casi? Quante volte più numerosi sono a 37 °C? Che cosa insegna il risultato sulla conservazione dei cibi?

20. ● Al microscopio, con un ingrandimento totale di 200×, l'immagine di un paramecio è lunga 44 mm. Qual è la sua lunghezza reale in micrometri?

21. ●● Assegna ciascun organismo al suo gruppo (batteri, archei, protisti, funghi): *Escherichia coli*; lievito di birra; paramecio; archeo metanogeno; laminaria; *Penicillium*; cianobatterio; *Plasmodium*.

Leggere dati e figure

22. ● Osserva la Figura 12.2b. Quanti batteri ci sono dopo 3 ore? Di quante volte aumenta il numero di batteri in ogni ora? Perché sull'asse logaritmico la crescita appare come una retta?

23. ●●● In una coltura batterica si contano queste cellule (dati di esempio): 0 h, 1 000; 1 h, 8 000; 2 h, 64 000; 3 h, 512 000; 4 h, 3 000 000; 5 h, 8 000 000; 6 h, 8 500 000. In quale intervallo la crescita è esponenziale? Ricava il tempo di generazione in quell'intervallo. Perché dopo 4 ore la crescita rallenta?

24. ●● Osserva la Figura 12.6. In quale strato si trovano le cellule fotosintetiche? Perché è vantaggioso che si trovino proprio lì? Che cosa riceve il fungo dal partner e che cosa gli offre?

Indagare e argomentare

25. ●● Progetta un esperimento controllato per verificare se la temperatura influisce sulla comparsa delle muffe sul pane. Indica la variabile indipendente, la variabile dipendente, le variabili da tenere costanti e una regola di sicurezza.

26. ●● Un compagno dice: «I batteri sono tutti nemici: bisognerebbe eliminarli ovunque con disinfettanti e antibiotici». Rispondigli con almeno tre esempi di batteri utili, presi da ambiti diversi (alimentazione, salute, ambiente), e spiega perché l'uso degli antibiotici senza bisogno è dannoso per tutti.

27. ●●● Immagina che da un bosco scompaiano all'improvviso tutti i batteri e i funghi. Descrivi che cosa accadrebbe, nel giro di alcuni anni, alla lettiera, al suolo e alle piante.

Approfondimento

28. ●●● La penicillina impedisce la costruzione del peptidoglicano. Spiega perché non danneggia le cellule umane e perché non ha alcun effetto sui virus. Che cosa ti aspetti se la si usa contro un batterio privo di parete cellulare, come quelli del genere *Mycoplasma*?

PER APPROFONDIRE

- [CAM] L. A. Urry et al., *Campbell Biology*: le unità sui procarioti, sui protisti e sui funghi, e il capitolo sui virus.
- [SAD] D. Sadava et al., *Life: The Science of Biology*: i capitoli sulla diversità dei procarioti e degli eucarioti unicellulari, con molti esempi di ambienti estremi.
- [WIL] E. O. Wilson, *The Diversity of Life*: un grande naturalista racconta quanto poco conosciamo ancora la diversità della vita, microbi compresi.

Glossario del capitolo

Antibiotico
Sostanza, prodotta in origine da funghi o batteri, che uccide i batteri o ne blocca la crescita senza danneggiare in modo grave le cellule dell'organismo che la assume; non agisce sui virus.

Batteri
Procarioti del dominio Bacteria, con parete di peptidoglicano; comprendono autotrofi ed eterotrofi.

Capside
Rivestimento di proteine che racchiude l'acido nucleico di un virus.

Chitina
Polisaccaride resistente che forma la parete cellulare dei funghi e l'esoscheletro degli artropodi.

Cianobatteri
Batteri fotosintetici che usano la clorofilla e liberano ossigeno.

Colorazione di Gram
Tecnica di colorazione (1884) che distingue i batteri Gram-positivi, viola, con parete spessa di peptidoglicano, dai Gram-negativi, rosa, con parete sottile e membrana esterna.

Coniugazione
Trasferimento di una copia di DNA, di solito un plasmide, da un batterio a un altro attraverso un pilo.

Endospora
Struttura di resistenza formata all'interno di alcuni batteri, capace di sopravvivere a lungo a calore, siccità e sostanze chimiche.

Fitoplancton
Insieme degli organismi fotosintetici, soprattutto alghe unicellulari e cianobatteri, che galleggiano negli strati illuminati delle acque.

Ifa
Filamento sottile, spesso diviso da setti forati, che costituisce il corpo dei funghi pluricellulari.

Lichene
Associazione simbiotica stabile fra un fungo e un partner fotosintetico, un'alga verde o un cianobatterio.

Micelio
Insieme ramificato delle ife di un fungo.

Micorriza
Associazione fra le ife di un fungo e le radici di una pianta, con scambio di sali minerali e acqua contro zuccheri.

Microbiota
Comunità di microrganismi, soprattutto batteri, che vive in un ambiente del corpo, come l'intestino.

Pseudopodo
Prolungamento temporaneo del citoplasma con cui alcuni protozoi, come l'ameba, si muovono e catturano il cibo.

Tempo di generazione
Intervallo di tempo fra due divisioni successive di una cellula batterica; in esso la popolazione raddoppia.

Vacuolo contrattile
Vacuolo dei protisti d'acqua dolce che raccoglie l'acqua entrata per osmosi e la espelle all'esterno.

Virus
Particella non cellulare formata da un acido nucleico e da un capside, a volte con un involucro; si moltiplica solo dentro una cellula ospite.

Soluzioni

1. B. I ribosomi sono presenti in tutte le cellule, procariotiche ed eucariotiche; i procarioti non hanno nucleo né mitocondri, e non tutti hanno flagelli.

2. D. Bacillo; i cocchi sono sferici, gli spirilli a spirale, i vibrioni a virgola.

3. A. I cianobatteri sono batteri che fanno la fotosintesi con la clorofilla e liberano ossigeno.

4. C. Nella coniugazione una cellula trasferisce a un'altra una copia di un pezzo di DNA, di solito un plasmide, attraverso un pilo; non si formano cellule nuove.

5. B. I virus sono parassiti obbligati: senza la cellula ospite non si moltiplicano. Non sono batteri, non hanno ribosomi e gli antibiotici non agiscono su di loro.

6. B. L'acqua dolce è ipotonica rispetto al citoplasma: l'acqua entra per osmosi e i vacuoli contrattili la espellono.

7. D. La parete dei funghi è di chitina; la cellulosa è delle piante, il peptidoglicano dei batteri, la silice delle diatomee.

8. A. Un lichene è una simbiosi fra un fungo e un partner fotosintetico (alga verde o cianobatterio).

9. C. La laminaria è un'alga bruna, cioè un protista; gli altri sono funghi.

10. V.

11. F. Solo una piccola parte delle specie batteriche è patogena; la maggior parte è innocua o utile.

12. F. L'endospora è una forma di resistenza: da una cellula si forma una sola spora, quindi non c'è moltiplicazione.

13. V.

14. F. Il «fungo» del bosco è il corpo fruttifero; l'organismo è soprattutto il micelio nel suolo.

15. 3 h = 180 min; 180 : 30 = 6 generazioni; $2^6 = 64$ cellule.

16. 4 h = 240 min; 240 : 20 = 12 generazioni; $100 \times 2^{12} = 100 \times 4\,096 = 409\,600$ cellule.

17. $2^{19} = 524\,288$ è ancora meno di un milione, $2^{20} = 1\,048\,576$ lo supera: servono 20 generazioni, cioè $20 \times 20 = 400$ minuti = 6 h 40 min.

18. $32\,000 : 500 = 64 = 2^6$: 6 generazioni in 120 minuti; tempo di generazione 120 : 6 = 20 minuti.

19. A 37 °C: 360 : 20 = 18 generazioni, $10 \times 2^{18} = 2\,621\,440$ batteri. A 20 °C: 360 : 60 = 6 generazioni, $10 \times 2^6 = 640$ batteri. Rapporto 2 621 440 : 640 = 4 096 ($= 2^{12}$). A temperatura più bassa i batteri si moltiplicano molto più lentamente: i cibi vanno conservati al fresco e non lasciati a lungo a temperatura ambiente o tiepida.

20. Dimensione reale = dimensione dell'immagine : ingrandimento = 44 mm : 200 = 0,22 mm = 220 µm.

21. Batteri: *Escherichia coli*, cianobatterio. Archei: archeo metanogeno. Protisti: paramecio, laminaria, *Plasmodium*. Funghi: lievito di birra, *Penicillium*.

22. Dopo 3 ore: $2^9 = 512$ batteri. In un'ora ci sono 3 generazioni: il numero si moltiplica per $2^3 = 8$. Sull'asse logaritmico ogni moltiplicazione per lo stesso fattore corrisponde allo stesso spostamento verso l'alto: in tempi uguali la crescita sale di tratti uguali, quindi i punti stanno su una retta.

23. Da 0 a 3 h il numero si moltiplica per 8 ogni ora (1 000 → 8 000 → 64 000 → 512 000): crescita esponenziale. $8 = 2^3$: 3 generazioni all'ora, tempo di generazione 60 : 3 = 20 minuti. Da 3 a 4 h il fattore scende a circa 5,9, poi a circa 2,7 e quasi a 1: la crescita rallenta perché il nutrimento si esaurisce e si accumulano i prodotti di rifiuto.

24. Nello strato delle alghe, appena sotto il cortex superiore: lì arriva la luce necessaria alla fotosintesi, ma il cortex protegge le cellule dalla disidrata-

zione e dalla luce troppo intensa. Il fungo riceve zuccheri prodotti con la fotosintesi; offre protezione, acqua e sali minerali assorbiti dal substrato e dall'aria.

25. Traccia: fette dello stesso pane, senza conservanti, in sacchetti chiusi, inumidite allo stesso modo ed esposte all'aria per lo stesso tempo prima della chiusura; un gruppo in frigorifero (circa 4 °C), uno a temperatura ambiente (circa 20 °C), uno in un luogo tiepido (circa 30 °C), con più fette per gruppo. Variabile indipendente: temperatura; variabile dipendente: giorni necessari alla comparsa delle muffe, o superficie coperta dopo un certo numero di giorni; costanti: tipo di pane, umidità, luce, dimensione delle fette. Sicurezza: i sacchetti non si aprono mai (le spore possono provocare allergie) e alla fine si eliminano chiusi.

26. Traccia: solo una piccola parte delle specie batteriche è patogena. Esempi di batteri utili: i batteri lattici che trasformano il latte in yogurt e formaggi; il microbiota intestinale, che aiuta a digerire alcuni alimenti, produce vitamine e ostacola i patogeni; i decompositori, che riciclano la materia organica; i batteri azotofissatori come *Rhizobium*, che arricchiscono il suolo di azoto; i cianobatteri, che producono ossigeno. Gli antibiotici presi senza bisogno uccidono anche i batteri utili del nostro corpo e, soprattutto, selezionano i batteri resistenti, che possono diffondersi ad altre persone e rendere inefficaci le cure quando servono davvero (Capitolo 9).

27. Traccia: senza decompositori foglie, rami, tronchi e animali morti non verrebbero demoliti e si accumulerebbero; le sostanze minerali (azoto, fosforo…) resterebbero bloccate nei resti e il suolo si impoverirebbe; mancherebbero anche i batteri azotofissatori e le micorrize, che aiutano le piante ad assorbire acqua e sali; le piante crescerebbero sempre peggio, con effetti su tutti i consumatori. Il ciclo della materia si interromperebbe (Capitolo 15).

28. Traccia: le cellule umane non hanno parete né peptidoglicano, quindi il bersaglio della penicillina non esiste; i virus non sono cellule, non hanno parete e non costruiscono peptidoglicano. Un batterio senza parete, come *Mycoplasma*, non ha il bersaglio dell'antibiotico: ci si aspetta che la penicillina non abbia effetto (è naturalmente resistente).