

SOMMARIO: CONCENTRARSI SUGLI OBIETTIVI DI APPRENDIMENTO

19.1

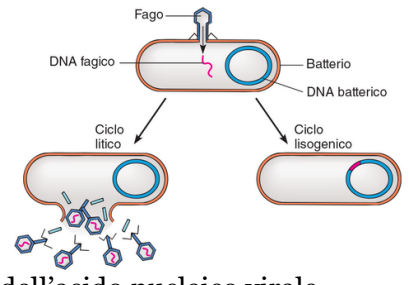
1. Confrontare un virus con un organismo cellulare.
 - Un virus è un piccolo agente infettivo costituito da un core di acido nucleico e dipendente da una cellula vivente per la sua sopravvivenza. I virus contengono gli acidi nucleici necessari per produrre copie di se stessi, ma per riprodursi devono invadere cellule viventi e prendere il controllo del loro macchinario metabolico.
2. Descrivere la struttura di un virus.
 - Un virus è una particella costituita da un genoma a DNA o RNA circondato da un rivestimento proteico, detto capside. Alcuni virus presentano un involucro esterno.

19.2

3. Identificare tre caratteristiche utilizzate per classificare i virus.
 - I virus sono classificabili in base alla gamma di ospiti, ai tipi di organismi che infettano, al tipo di acido nucleico che contengono, e se l'acido nucleico è a filamento singolo o doppio filamento. Altri fattori da utilizzare per classificare i virus includono la dimensione e la forma, la presenza di un involucro e il metodo di trasmissione da ospite ad ospite.

19.3

4. Caratterizzare i batteriofagi.
 - I fagi (batteriofagi) sono virus che infettano i batteri. Essi in genere sono costituiti da una lunga molecola di dsDNA ripiegata all'interno di una testa poliedrica
5. Confrontare un ciclo litico con un ciclo lisogenico.
 - In un ciclo litico , il virus distrugge la cellula ospite. Le cinque fasi di un ciclo litico sono: l' adesione alla cellula ospite; la penetrazione dell'acido nucleico virale nella cellula ospite; la replicazione dell'acido nucleico virale; l' assemblaggio dei componenti neosintetizzati in nuovi virus; il rilascio dalla cellula ospite.
 - I virus temperati non sempre uccidono il loro ospite. In un ciclo lisogenico, il genoma virale viene replicato insieme al DNA dell'ospite.
 - L'acido nucleico di alcuni fagi si integra nel DNA batterico e viene quindi chiamato profago . Le cellule batteriche contenenti profagi sono dette cellule lisogeniche. Nella conversione lisogenica , le cellule batteriche contenenti alcuni virus temperati esibiscono nuove proprietà.



19.4

6. Confrontare l'infezione virale di animali e piante ed identificare specifiche malattie causate dai virus.
 - La maggioranza dei virus che infettano le piante sono virus a ssRNA senza involucro. Essi possono essere trasmessi grazie a insetti che fungono da vettori. I virus si diffondono in tutta la pianta attraverso i plasmodesmi.
 - I virus penetrano nelle cellule animali per fusione con la membrana o per endocitosi. All'interno della cellula ospite, viene replicato l'acido nucleico virale, vengono sintetizzate le proteine e vengono assemblati nuovi virioni che sono poi rilasciati dalla cellula. Tra le malattie causate dai virus a DNA, vi sono il vaiolo, l'herpes, le infezioni respiratorie e i disturbi gastrointestinali. I virus ad RNA sono responsabili di influenza, infezioni delle alte vie respiratorie, AIDS ed alcuni tipi di cancro.
7. Descrivere il ciclo riproduttivo di un retrovirus, come il virus dell'immunodeficienza umana (HIV).
 - I retrovirus , come l'HIV, utilizzano la trascrittasi inversa per trascrivere il loro RNA genomico in un intermedio a DNA, che si integra nel DNA dell'ospite. Successivamente, vengono sintetizzate le copie dell'RNA virale.

19.5

8. Dissertare sull'origine evolutiva dei virus secondo le ipotesi attuali e descrivere le recenti ricerche sull'evoluzione dei polidnavirus.
 - Secondo l' ipotesi cellulare i virus potrebbero essere frammenti di acidi nucleici "fuggiti" da cellule animali, vegetali o batteriche.
 - Secondo l'ipotesi della coevoluzione i virus si sarebbero evoluti prima della divergenza tra i tre domini. I biologi che sostengono questa ipotesi ritengono improbabile che le caratteristiche di similarità tra i virus che infettano gli archeobatteri e quelli che infettano i batteri si siano evolute due volte.
 - Secondo l'ipotesi regressiva i virus si sarebbero evoluti da cellule indipendenti, parassiti di cellule più grandi.
 - Recenti ricerche suggeriscono che i polidnavirus si siano evoluti da virus che infettavano le vespe. Sono diventati partner mutualistici con i loro ospiti vespa.

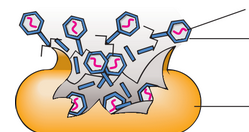
19.6

9. Confrontare i satelliti, i viroidi e i prioni.

- Satelliti, viroidi e prioni sono più piccoli dei virus. I satelliti si riproducono solo con l'aiuto di virus helper. I viroidi sono fatti da un breve sequenza di RNA a singola elica senza involucro proteico. Molti viroidi causano malattie nelle piante. I prioni causano le encefalopatie spongiformi trasmissibili (TSE).

AUTOVERIFICHE

1. Il genoma di un virus è costituito da: (a) DNA; (b) RNA; (c) prioni; (d) DNA e RNA; (e) DNA o RNA.
2. Il capsido di un virus è costituito da: (a) subunità proteiche; (b) acidi nucleici; (c) lipidi elicoidali; (d) un involucro carboidratico; (e) RNA e lipidi.
3. I virus che uccidono la cellula ospite sono: (a) lisogenici; (b) litici; (c) viroidi; (d) profagi; (e) temperati.
4. Disponete le fasi elencate di seguito nella corretta sequenza della riproduzione virale. 1. Penetrazione 2. Assemblaggio 3. Replicazione 4. Adesione Rilascio (a) 1, 2, 3, 4, 5 (b) 5, 2, 3, 4, 1 (c) 4, 1, 3, 2, 5 (d) 4, 1, 2, 3, 5 (e) 3, 1, 2, 4, 5.
5. Nella conversione lisogenica: (a) le cellule batteriche possono esibire nuove proprietà; (b) la cellula ospite muore; (c) i prioni talvolta si trasformano in viroidi; (d) la trascrittasi inversa trascrive il DNA in RNA; (e) i virus litici diventano temperati.
6. I tipi di organismi che un determinato virus può infettare costituiscono il/la suo/a: (a) assemblaggio; (b) coorte di commensali; (c) gamma di ospiti; (d) gamma di profagi; (e) ciclo di restrizione.
7. Virus delle piante (a) tipicamente causano una rapida morte delle piante infette, (b) sono soprattutto retrovirus, (c) vengono uccisi dagli antibiotici, (d) sono trasmessi per tutto il corpo della pianta per mezzo degli insetti, (e) possono essere trasmessi da una generazione alla successiva attraverso semi infetti.
8. Quando un virus si inserisce in una cellula animale per fusione della membrana (a) il rivestimento virale si fonde con la membrana plasmatica della cellula ospite, (b) il capsido rimane intatto fino a quando il virus è rilasciato dalla cellula ospite, (c) si forma una vescicola endosomale, (d) il DNA virale si replica nel citoplasma ospite, (e) il rivestimento virale si fonde con la membrana nucleare della cellula ospite.
9. Organizzate la seguente lista di eventi nella corretta sequenza di un ciclo retrovirale 1. dsDNA integrato nel DNA dell'ospite, 2. proteine virali sintetizzate nei ribosomi dell'ospite, 3. il DNA virale usa gli enzimi dell'ospite per trascrivere l'RNA virale, 4. la trascrittasi inversa catalizza la sintesi di ssDNA, 5. sintesi del filamento complementare di DNA (a) 5, 2, 1, 3, 4 (b) 5, 2, 3, 4, 1 (c) 4, 5, 1, 3, 2 (d) 4, 1, 2, 3, 5 (e) 2, 1, 3, 4, 5
10. In accordo con l'ipotesi dell'origine cellulare, i virus (a) sono comparsi prima della divergenza dei tre domini, (b) vengono da elementi genetici mobili ed hanno avuto origine multipla, (c) si sono evoluti da cellule vegetali, (d) sono pezzi di acidi nucleici sfuggiti a cellule di organismi viventi, (e) si sono evoluti da cellule parassite di cellule più grandi
11. I prioni: (a) consistono di una corta catena di RNA priva di un rivestimento proteico; (b) sono proteine mal ripiegate; (c) causano diverse malattie nelle piante; (d) sono la causa di diverse malattie emergenti importanti; (e) sono costituite da proteine che stimolano l'RNA dell'ospite a produrre DNA.
12. Cosa illustra il seguente diagramma? Completatelo.



PENSIERO CRITICO

1. In che modo i genomi virali differiscono da quelli delle cellule vegetali o animali?
2. Per cosa differiscono viroidi e prioni? In che modo sono entrambi differenti dai virus?
3. CONNESSIONE EVOLUTIVA. Discutere la coevoluzione degli organismi che sono partner mutualistici. Suggerimento: è possibile utilizzare l'esempio di polidnavirus. (Si veda la discussione e Esperimento chiave sui polidnavirus).
4. CONNESSIONE EVOLUTIVA. Storicamente, i biologi pensavano che i virus, data la loro semplice struttura, si fossero evoluti prima degli organismi pluricellulari. Più tardi, hanno guadagnato favore le ipotesi che i virus siano "scappati" dalle cellule. Recentemente, i microbiologi hanno di nuovo suggerito che i virus si siano evoluti molto precocemente nella storia della vita. Basandovi su ciò che avete imparato sui virus, argomentate a favore di una di tali ipotesi.
5. SCIENZA, TECNOLOGIA E SOCIETÀ. Qual è la sfida continua che il virus dell'influenza presenta agli scienziati ed ai professionisti della sanità pubblica? Come possono affrontare questa sfida?

I procarioti (batteri ed archeobatteri) abitano il nostro pianeta da più di 3,5 miliardi di anni, a differenza degli eucarioti che sono apparsi circa 1,5-1,6 miliardi di anni fa. Circa la metà della biomassa, cioè l'insieme della materia vivente presente sulla Terra, è costituita da microrganismi, prevalentemente procarioti e funghi. Al contrario, le piante e gli animali rappresentano, rispettivamente, circa il 35% e il 15% della biomassa del nostro pianeta.

Il microscopista olandese Anton van Leeuwenhoek scoprì i batteri ed altri microrganismi nel 1674, mentre osservava una goccia d'acqua di lago attraverso una lente di vetro. Negli ultimi anni del 1800, molti microrganismi — batteri, protozoi e funghi — furono identificati come patogeni, cioè agenti in grado di provocare malattie (vedi fotografia). Sebbene i batteri siano responsabili di molte malattie dell'uomo, tra cui le infezioni delle vie respiratorie e le intossicazioni alimentari, solamente una piccola minoranza di specie è patogena. Infatti, i batteri svolgono un ruolo essenziale nella biosfera come decompositori, scindendo le molecole organiche nei loro componenti più semplici. I procarioti, insieme ai funghi, sono i riciclatori della natura. Senza questi microrganismi, tutto il carbonio, l'azoto, il fosforo e lo zolfo resterebbero legati ai rifiuti e ai resti di piante ed animali, e non sarebbero disponibili per la sintesi di nuove cellule ed organismi.

Alcuni procarioti sono produttori capaci di effettuare la fotosintesi. Altri trasformano l'azoto atmosferico in ammoniaca e quindi in nitrati, la forma in cui l'azoto può essere assimilato dalle piante (vedi FIG. 55-8). La fissazione dell'azoto consente a piante ed animali (che si nutrono di piante) di fabbricare molecole essenziali contenenti azoto, come proteine ed acidi nucleici.

Cominciamo questo capitolo con la descrizione della struttura di batteri ed archea per poi discutere la riproduzione e l'evoluzione dei procarioti. Descriveremo alcuni degli adattamenti nutrizionali e metabolici di questi organismi, e successivamente discuteremo la filogenesi dei due domini dei procarioti. Presenteremo una visione d'insieme dell'impatto dei procarioti su ecologia, tecnologia e commercio. Alla fine del capitolo discuteremo batteri e patologie.

20.1 LA STRUTTURA DI BATTERI E ARCHEOBATTERI

OBIETTIVO DI APPRENDIMENTO

1. Descrivere la struttura e le forme comuni delle cellule procariotiche.
2. Mettere a confronto la parete batterica dei gram-positivi e dei gram-negativi.
3. Descrivere i movimenti dei procarioti, e la struttura del flagello nei batteri.

A differenza di virus, viroidi e prioni, che sono costituiti solo da acidi nucleici e/o proteine, i procarioti sono organismi cellulari. Si ricordi dai Capitoli 4 e 23 che la struttura cellulare dei procarioti è sostanzialmente diversa da quella delle cellule degli altri organismi viventi. La maggior parte dei microbiologi assegna i procarioti a due domini: Archaea e Bacteria.

La maggior parte delle cellule procariotiche ha dimensioni molto piccole. Generalmente, il loro diametro è compreso tra 0,5 e 1,0 μm e la loro lunghezza tra 1,0 e 5,0 μm . Il loro volume cellulare è solo un millesimo di quello di una piccola cellula eucariotica e la loro lunghezza circa un decimo. Quasi tutti i procarioti sono unicellulari, anche se alcuni formano colonie o filamenti caratterizzati dalla presenza di cellule specializzate.

I procarioti presentano diverse forme comuni

I procarioti hanno due forme principali: sferica e bastoncellare. I procarioti di forma sferica, conosciuti con il nome di cocci, si presentano in forma unicellulare in alcune specie e in gruppi di cellule indipendenti in altre (FIG. 20-1a). Le cellule possono essere raggruppate in coppie (*diplococchi*), in lunghe catene (*streptococchi*) o in aggregati irregolari simili a grappoli d'uva (*stafilococchi*). I procarioti bastoncellari, noti come bacilli, possono apparire come singoli bastoncelli o come lunghe catene (FIG. 20-1b). Alcuni procarioti hanno una forma elicoidale. Se l'elica è rigida, il procariote è chiamato spirillo (FIG. 20-1c); se l'elica è flessibile, è detto spirocheta. Uno spirillo a forma di virgola è detto vibrione. Alcuni archeobatteri hanno forma inusuale, ad esempio triangolare o quadrata.

Le cellule procariotiche sono prive di organelli circondati da membrana

Si ricorda che le cellule procariotiche mancano degli organelli circondati da membrana tipici delle cellule eucariotiche. Così, queste cellule non hanno un nucleo, né mitocondri, né cloroplasti, né reticolo endoplasmatico, né complesso di Golgi, né lisosomi (FIG. 20-2 ; vedi Capitolo 4). Benché la cellula procariotica sia priva di un nucleo circondato da membrana, essa possiede un' area nucleare , anche detta nucleotide , che contiene il DNA.

Il denso citoplasma di una cellula procariotica contiene ribosomi (più piccoli di quelli eucariotici) e granuli di riserva contenenti glicogeno, lipidi o composti fosforilati. Gli enzimi necessari per le attività metaboliche possono essere localizzati nel citoplasma. Sebbene gli organelli membranosi di tipo eucariotico siano

assenti, in alcune cellule procariotiche la membrana plasmatica è introflessa in elaborate invaginazioni. Gli enzimi necessari per la respirazione e la fotosintesi possono trovarsi associati alla membrana plasmatica o alle sue introflessioni.

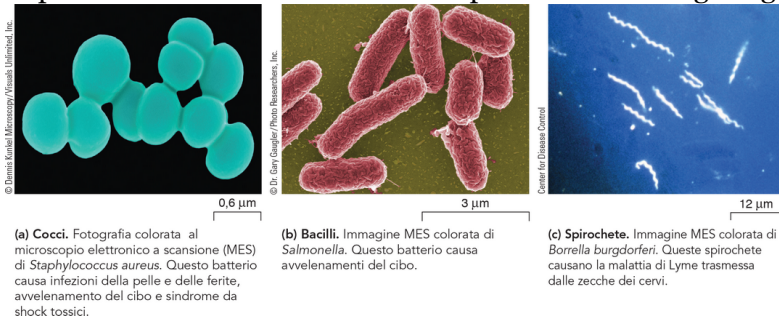
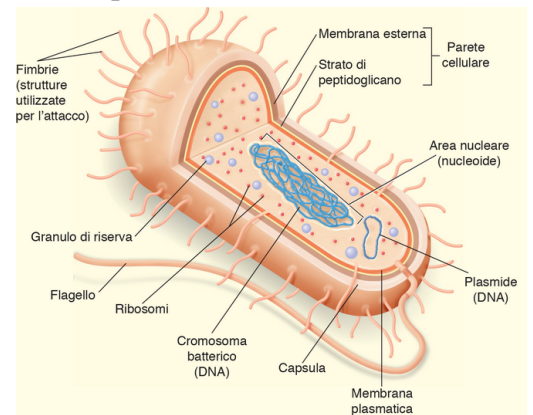


FIGURA 20-1

Forme comuni di procarioti

PUNTO CHIAVE Diversamente dalle cellule eucariotiche, le cellule procariotiche non hanno un nucleo o altri organelli delimitati da membrana. Tipicamente esse contengono un'area nucleare con una singola molecola di DNA circolare.

FIGURA 20-2 *Struttura di una cellula procariotica*
Questo bacillo è un batterio gram-negativo (discusso nel testo). Si noti l'assenza di un involucro nucleare che avvolga il DNA del batterio.



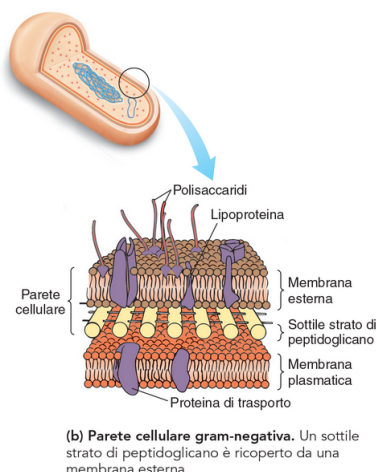
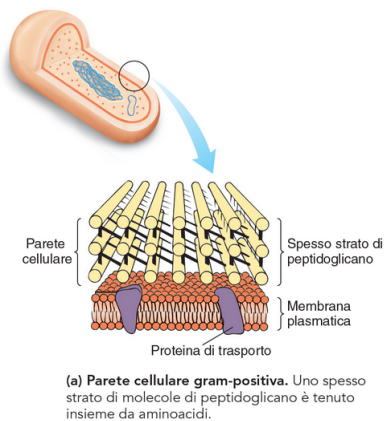
La superficie della cellula è generalmente coperta da una parete cellulare

La maggior parte delle cellule procariotiche ha una parete cellulare che circonda la membrana plasmatica. La parete cellulare fornisce una struttura rigida che sostiene la cellula, ne mantiene la forma. Le cellule batteriche hanno un'elevata concentrazione di soluti e la parete impedisce che esplodano in condizioni ipotoniche (vedi Capitolo 5). La maggior parte dei batteri sembra essersi adattata all'ambiente ipotonico circostante. Quando si producono sperimentalmente forme prive di pareti, queste vanno tenute in soluzioni isotoniche per evitare che scoppino. Tuttavia, le pareti cellulari sono di poco aiuto quando il batterio si trova in un ambiente ipertonico, come avviene negli alimenti conservati ad elevate concentrazioni di zucchero o di sale. Ecco perché la maggior parte dei batteri cresce male nelle gelatine e nelle conserve di frutta, nel pesce sotto sale e in altri cibi così conservati.

La parete cellulare dei batteri è costituita da peptidoglicano, un polimero complesso composto da due tipi insoliti di zuccheri (amminozuccheri), legati a corti polipeptidi. Gli zuccheri e i polipeptidi sono legati per formare un'unica macromolecola che circonda l'intera membrana plasmatica. Il peptidoglicano è assente nella parete cellulare degli archeobatteri.

Le diverse composizioni della parete cellulare batterica sono di grande interesse per i biologi e di grande importanza clinica. Nel 1888, il medico danese Christian Gram mise a punto la colorazione di Gram. I batteri che assorbono e mantengono la colorazione al violetto di genziana sono classificati come grampositivi , mentre quelli che la perdono in seguito al trattamento con alcool sono detti gram-negativi . La parete dei batteri gram-positivi è molto spessa ed è formata principalmente da peptidoglicani. La parete cellulare di una cellula batterica gram-negativa è costituita da due strati, una sottile parete di peptidoglicano ed una spessa membrana esterna. Quest'ultima è simile alla membrana plasmatica, ma contiene polisaccaridi legati a lipidi (FIG. 20-3).

La differenza tra batteri gram-positivi e gram-negativi è di grande importanza nel trattamento di alcune malattie. Ad esempio, l'antibiotico penicillina interferisce con la sintesi di peptidoglicano, rendendo così fragile la parete cellulare, da renderla iandeguata a proteggere efficacemente la cellula (vedi nel Capitolo 7 la discussione sui farmaci inibitori degli enzimi). Di conseguenza, la penicillina risulta più efficace contro i batteri gram-positivi.



Alcuni batteri producono capsule o strati mucosi

Alcune specie di batteri producono una capsula, uno strato mucoso che circonda la parete cellulare. Lo strato mucoso è legato alla parete cellulare meno saldamente rispetto alla capsula. Questi strati esterni sono fatti di polisaccaridi e proteine.

Nelle specie che vivono libere, questo rivestimento esterno può fornire alla cellula un'ulteriore protezione contro la fagocitosi (vedi Capitolo 5) da parte di altri microrganismi. Nei batteri patogeni, la capsula o lo strato mucoso può proteggerle dalla fagocitosi da parte dei globuli bianchi (leucociti) dell'ospite. Per esempio, la capacità dello *Streptococcus pneumoniae* di causare la polmonite batterica dipende dalla presenza della capsula. Un ceppo di *S. pneumoniae* privo di capsula non provoca la malattia. I batteri utilizzano la loro capsula anche per attaccarsi a superfici come pietre, radici di piante o ai denti dell'uomo (provocando la comparsa della placca batterica).

Alcuni procarioti hanno fimbrie o pili

Molti procarioti hanno appendici simili a capelli chiamati fimbrie. Le fimbrie sono fatte di proteine e sono più corte dei flagelli. I pili sono normalmente più lunghi delle fimbrie. Sulla superficie delle cellule ci sono meno pili e più fimbrie. I batteri usano fimbrie e pili per attaccarsi alla superficie della cellula, incluse le superfici delle cellule che infettano. Queste strutture proteiche aiutano anche i batteri ad aderire gli uni con gli altri. Alcuni pili allungati, chiamati *pili sessuali*, sono importanti per permettere il trasferimento del DNA da un batterio all'altro.

FIGURA 20-3 Le pareti cellulari batteriche.

Alcuni batteri formano endospore

Quando l'ambiente diventa sfavorevole, ad esempio molto secco o povero di nutrimento, molte specie di batteri diventano dormienti. La cellula perde acqua e rimane quiescente finché l'acqua non diventa nuovamente disponibile. Altre specie formano cellule dormienti estremamente durevoli, chiamate endospore.

Dopo la formazione dell'endospora, la parete cellulare della cellula di origine si lisa per liberare l'endospora. La formazione delle endospore non rappresenta una modalità di riproduzione batterica; le endospore non sono comparabili alle spore riproduttive dei funghi e delle piante. Si forma un'unica endospora per cellula; quindi, il numero totale degli individui non aumenta. Non sono state trovate endospore in associazione con gli archeobatteri; questi producono degli enzimi unici sulla superficie cellulare, che li proteggono dal freddo, dal caldo e dalla disidratazione.

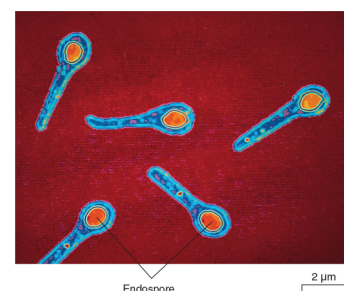
FIGURA 20-4 Le endospore. Immagine MET a colori intensificati di *Clostridium tetani*, il batterio che causa il tetano. Ogni cellula batterica (in blu) contiene una sola endospora (in arancio), una cellula disidratata e resistente che si forma all'interno della cellula originaria.

Le endospore possono sopravvivere in ambienti molto secchi, caldi o ghiacciati, o quando il cibo è scarso (FIG. 20-4). Alcune endospore sono così resistenti che possono sopravvivere per un'ora o più in acqua bollente o per centinaia di anni se congelate. Quando le condizioni ambientali ritornano ad essere favorevoli per la crescita, l'endospora germina, formando una cellula batterica in attiva crescita.

Parecchi tipi di batteri che formano endospore sono importanti da un punto di vista medico. Le endospore del *Bacillus anthracis*, il batterio che causa l'antrace, sono così resistenti che questo patogeno è diventato un problema come possibile agente per la guerra batteriologica. I batteri che causano il tetano (*Clostridium tetani*) e la cancrena gassosa (*C. perfringens*) normalmente penetrano nell'organismo insieme al terreno quando una persona presenta un taglio profondo o una ferita aperta. I pazienti possono anche essere esposti a queste gravi malattie quando gli strumenti chirurgici non sono ben sterilizzati, con conseguente sopravvivenza delle endospore.

Molti tipi di procarioti sono mobili

Immaginate lo sforzo necessario per nuotare nella melassa? L'acqua ha, per i batteri, la stessa viscosità



relativa della melassa per l'uomo. La maggior parte dei batteri si muove grazie alla presenza di flagelli. Il numero e la posizione di questi rappresentano un dato importante per la classificazione di alcune specie batteriche.

La struttura del flagello dei procarioti è abbastanza diversa da quella dei flagelli degli eucarioti (vedi Capitolo 4). Il flagello batterico non è costituito da microtubuli. Esso è formato da tre parti: il corpo basale, l'uncino ed un filamento singolo (FIG. 20-5). Il corpo basale è una struttura complessa che ancora il flagello alla parete cellulare tramite dei dischi appiattiti. L'uncino unisce il corpo basale al lungo filamento cavo che si estende nell'ambiente circostante.

Il corpo basale è il motore. Il batterio utilizza ATP per pompare protoni fuori dalla cellula. La diffusione di questi protoni nella cellula dà energia al motore, sostenendo il movimento rotatorio propulsivo del flagello. Così, il flagello produce un movimento rotatorio che spinge la cellula come un'elica spinge una barca sull'acqua. Il flagello ruota in senso antiorario, spingendo la cellula in avanti.

Anche gli archea sono provvisti di flagelli, ma più sottili di quelli dei batteri. I biologi non sanno ancora la struttura del motore nei flagelli degli archea. Alcuni procarioti che mancano di flagelli si muovono per scivolamento.

Molti procarioti mostrano chemiotassi, il movimento in risposta a composti chimici presenti nell'ambiente. Ad esempio, i batteri si muovono verso il nutrimento, mentre si allontanano da certe sostanze chimiche dannose. Alcuni batteri si muovono anche l'uno verso l'altro.

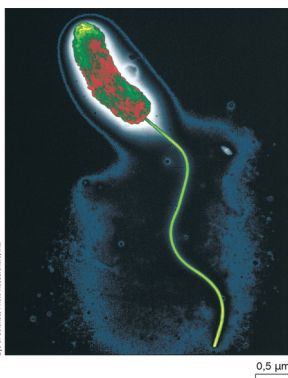
Verifica

- Sotto quali aspetti le cellule procariotiche differiscono dalle cellule eucariotiche?
- In cosa differiscono i batteri gram-positivi e gram-negativi? Perché questa differenza è importante?
- In cosa differisce un flagello batterico da un flagello di una cellula eucariote?

20.2 RIPRODUZIONE ED EVOLUZIONE DEI PROCARIOTI

OBIETTIVO DI APPRENDIMENTO

4. Descrivere la riproduzione asessuata nei procarioti e riassumere i tre meccanismi (trasformazione, coniugazione e trasduzione) che possono portare alla ricombinazione genetica.
5. Indicare alcuni fattori specifici che contribuiscono alla rapida evoluzione dei batteri.

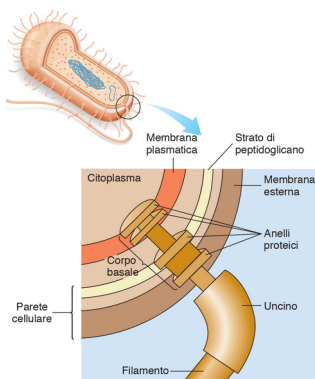


(a) Immagine MET a colori intensificati di *Vibrio cholerae*. Il batterio flagellato che causa il colera nell'uomo.

Il materiale genetico dei procarioti si trova nel citoplasma e non è circondato da un involucro nucleare. Nella maggior parte delle specie, esso è costituito da una singola molecola di DNA circolare. Se distesa completamente, questa molecola avrebbe una lunghezza all'incirca 1000 volte superiore a quella della cellula. Diversamente dai cromosomi eucariotici, il DNA procariotico ha poche proteine associate.

In aggiunta al DNA genomico, nella maggior parte dei batteri una parte limitata di informazione genetica può essere presente sotto forma di plasmidi, piccole molecole di DNA circolari. I plasmidi batterici spesso portano geni che codificano gli enzimi per il catabolismo, per gli scambi di materiale genetico e per la resistenza agli antibiotici. I plasmidi possono replicarsi indipendentemente dal DNA genomico (vedi Capitolo 15) o integrarsi in esso.

FIGURA 20-5
I flagelli batterici



(b) Struttura di un flagello batterico. Il motore è il corpo basale, che è formato da una serie di piastre discoidali che ancorano il flagello alla parete cellulare e alla membrana plasmatica e

La riproduzione rapida contribuisce al successo dei procarioti

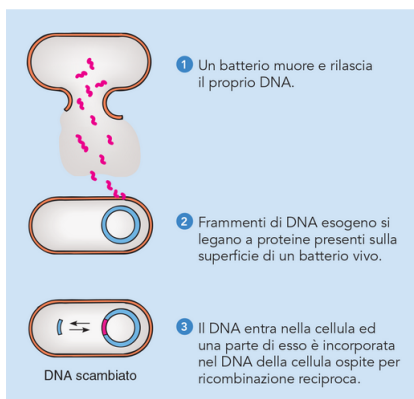
I procarioti sono organismi di grande successo in termini di numero e distribuzione. Il loro successo è in gran parte dovuto alla loro capacità di riprodursi rapidamente. I procarioti si riproducono asessualmente, in genere per scissione binaria, un processo mediante il quale una cellula si divide in due cellule figlie simili (vedi foto di apertura del capitolo e FIG. 10-12). Prima avviene la replicazione del cromosoma batterico circolare, poi si forma una parete trasversale per accrescimento sia della membrana plasmatica sia della parete cellulare.

La scissione binaria procede a notevole velocità. In condizioni ideali, alcune specie si dividono in meno di 20 minuti. A questo ritmo, se nulla intervenisse, un batterio darebbe origine a più di un miliardo di batteri nel giro di 10 ore! Fortunatamente, i batteri non possono riprodursi a questa velocità per molto tempo, perché devono affrontare il problema della mancanza di cibo o dell'accumulo di prodotti di scarto.

I batteri possono riprodursi asessualmente anche per gemmazione o per frammentazione. Nella gemmazione, la cellula produce una protuberanza, o gemma, che cresce, matura e infine si separa dalla cellula madre. Nella frammentazione (tipica di poche specie, ad esempio gli attinomiceti), le pareti cellulari si accrescono all'interno della cellula, che viene scissa in numerose cellule di nuova costituzione.

I batteri trasferiscono l'informazione genetica

Sebbene la riproduzione sessuale, che coinvolge la fusione dei gameti, non avvenga nei procari, a volte si osserva uno scambio di materiale genetico tra i batteri e tra gli archeobatteri. Tale scambio di geni, o trasferimento genico, porta alla ricombinazione genetica. Il trasferimento genico orizzontale si verifica quando un organismo trasferisce materiale genetico ad un altro organismo che non appartiene alla sua prole. (Il trasferimento di materiale genetico dai genitori ai figli è detto **trasferimento genico verticale**). Il trasferimento genico tra i batteri avviene con tre meccanismi diversi: trasformazione, trasduzione e coniugazione.



← FIGURA 20-6 La trasformazione

In questo processo, DNA esogeno derivante da un batterio morto entra in un batterio ospite. Avviene uno scambio di DNA per ricombinazione.

FIGURA 20-7 La trasduzione →

In questo processo, un fago trasferisce il DNA batterico da un batterio ad un altro. La trasduzione è un importante mezzo di trasferimento genico orizzontale.

1. Quando i batteri muoiono, rilasciano il loro DNA, che può essere incorporato da altri batteri. Nella trasformazione, i

frammenti di DNA (o di RNA) rilasciati da una cellula sono assunti da un'altra cellula. Il DNA deve legarsi a proteine presenti sulla superficie del batterio. Una volta all'interno della cellula batterica, parte del DNA è incorporato nel genoma dell'ospite per ricombinazione reciproca (avviene uno scambio di DNA) tra il nuovo DNA e il cromosoma dell'ospite (FIG. 20-6). Si ricordi dal Capitolo 12 che Oswald T. Avery e colleghi identificarono nel DNA l'agente che trasformava le cellule batteriche nel corso dei loro esperimenti e dimostrarono che il DNA è la base chimica dell'ereditarietà.

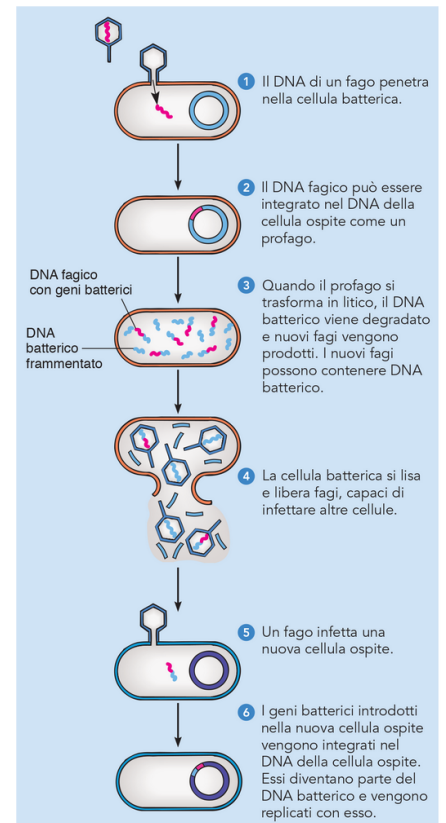
DNA estraneo può anche essere incorporato in forma di plasmidi. Quando ciò avviene, il DNA non va incontro a ricombinazione, ma resta in forma di plasmide separato dal cromosoma batterico.

2. Nel secondo processo di trasferimento genico, la trasduzione, i geni batterici sono trasportati da una cellula batterica ad un'altra tramite un batteriofago (FIG. 20-7). Normalmente, un fago contiene soltanto il proprio DNA. Tuttavia, talvolta un fago incorpora parte del DNA batterico del suo ospite. Pertanto, quando il fago infetta un altro batterio, trasferisce quel DNA al nuovo ospite. Il cromosoma batterico di questo nuovo ospite diviene quindi una ricombinazione del suo DNA e del DNA di un altro batterio.

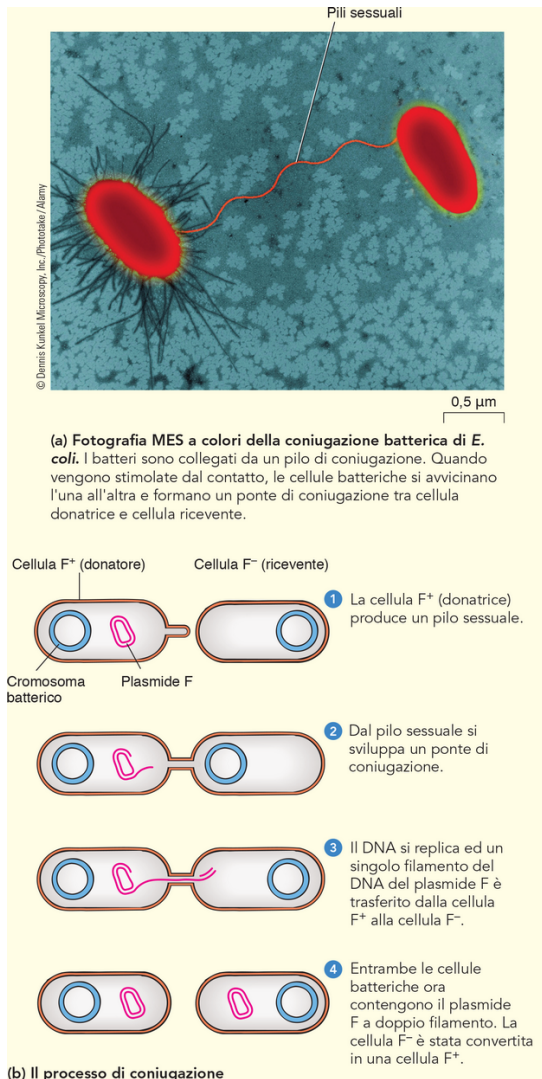
3. Nella coniugazione, due cellule con polarità di accoppiamento diversa si uniscono e il materiale genetico si trasferisce da una all'altra (FIG. 20-8). Diversamente dalla trasformazione e dalla trasduzione, la coniugazione prevede il contatto tra due cellule.

La coniugazione è stata studiata ampiamente nel batterio *Escherichia coli*. In una popolazione di *E. coli* vi sono cellule donatrici, o cellule F⁺, che possiedono DNA trasmissibile alle cellule riceventi, o cellule F⁻. Le cellule F⁺ posseggono una sequenza di DNA, nota come fattore F (F sta per fertilità), che è necessaria perché un batterio funga da donatore durante la coniugazione. Il fattore F, che è costituito da circa 20 geni, può trovarsi in forma di plasmide o far parte del DNA del cromosoma batterico.

I geni del fattore F codificano enzimi essenziali per il trasferimento del DNA. Alcuni di essi codificano per i



pili sessuali, lunghe estensioni simili a peli che si proiettano dalla superficie cellulare. Il pilo sessuale riconosce e lega la superficie di una cellula F⁻, formando un ponte di coniugazione citoplasmatico tra le due cellule. Il plasmide F si replica e il DNA è trasferito dal batterio donatore a quello ricevente attraverso il ponte di coniugazione. I plasmidi F possono contenere anche altri tipi di geni, inclusi quelli che conferiscono resistenza agli antibiotici.



Nelle popolazioni batteriche l'evoluzione procede rapidamente

I batteri si riproducono rapidamente per scissione binaria, cosicché le mutazioni vengono trasmesse velocemente di generazione in generazione e, di conseguenza, anche gli effetti della selezione naturale divengono evidenti rapidamente. I batteri che presentano qualche vantaggio trasmettono rapidamente alle generazioni successive i geni che ne favoriscono la sopravvivenza.

FIGURA 20-8 La coniugazione

Nella coniugazione, un batterio donatore trasferisce DNA plasmidico ad un batterio ricevente.

Il trasferimento genico orizzontale contribuisce notevolmente alla rapida evoluzione dei procarioti. L'acquisizione di nuovo DNA e la ricombinazione genetica sono importanti fonti di diversificazione ed adattamento. Il nuovo DNA introdotto nel genoma di un batterio rappresenta nuova materia prima per l'evoluzione. I nuovi geni subiscono mutazioni e sono sottoposti alle forze della selezione naturale. I cambiamenti nel materiale genetico sono trasferiti alle generazioni successive attraverso la scissione binaria. I cambiamenti che risultano adattativi possono diffondersi rapidamente nelle popolazioni batteriche successive. Recenti studi forniscono prove che la ricombinazione genetica sia un meccanismo importante anche nell'evoluzione degli archeobatteri.

Verifica

- Quali sono le modalità di riproduzione dei batteri? Quali meccanismi portano al trasferimento genico?
- In che modo la trasduzione ha contribuito a favorire la rapida evoluzione delle popolazioni batteriche?
- Quali eventi hanno luogo durante la coniugazione batterica?

20.3 ADATTAMENTI NUTRIZIONALI E METABOLICI

OBIETTIVO DI APPRENDIMENTO

6. Descrivere le modalità principali con cui i procarioti si nutrono e catturano l'energia, e confrontare la diversa richiesta di ossigeno.

Sulla base delle **due principali modalità di ottenimento dei nutrienti**, i procarioti sono classificati come eterotrofi o come autotrofi. Molti procarioti sono eterotrofi, cioè ricavano atomi di carbonio dai composti organici di altri organismi. Alcuni batteri sono autotrofi, cioè producono le loro molecole organiche utilizzando come fonte di carbonio l'anidride carbonica.

Sulla base delle **due principali modalità di cattura dell'energia**, i procarioti sono classificati come chemiotrofi o come fototrofi. I chemiotrofi ottengono energia dai composti chimici. I fototrofi catturano l'energia luminosa. Più di tre miliardi di anni fa i primi batteri svilupparono la capacità di sfruttare la luce del sole come fonte di energia. I primi fototrofi usarono l'idrogeno solforato per ridurre il biossido di carbonio (anidride carbonica) rilasciando zolfo come prodotto di scarto. Circa 2,7 miliardi di anni fa, la capacità di usare l'acqua, invece dell'idrogeno solforato, per ridurre l'anidride carbonica ha dato origine ai primi cianobatteri. Come prodotto di scarto fu rilasciato ossigeno. Quando consideriamo la fonte di carbonio e la fonte di energia possiamo classificare i procarioti in quattro gruppi principali (Capitolo 20).

Quando si considerano sia la fonte di carbonio sia la fonte di energia, i procarioti possono essere classificati

in quattro gruppi principali:

1. I fotoautotrofi, come i cianobatteri, utilizzano l'energia luminosa per sintetizzare i composti organici a partire da anidride carbonica ed altri composti inorganici.
2. Anche i chemioautotrofi utilizzano l'anidride carbonica come fonte di carbonio, ma non utilizzano la luce solare come fonte di energia. Invece, essi ottengono energia mediante l'ossidazione di composti inorganici, come l'ammoniaca (NH_3) e l'acido solfidrico (H_2S).
3. I fotoeterotrofi, come i batteri purpurei non sulfurei, ottengono il carbonio da altri organismi, ma utilizzano la clorofilla ed altri pigmenti fotosintetici per catturare l'energia luminosa.
4. La maggior parte dei procarioti è rappresentata da chemioeterotrofi, che dipendono dalle molecole organiche sia per il carbonio che per l'energia. Molti di loro sono decompositori a vita libera (talvolta chiamati saprotrofi), che ottengono carbonio ed energia dalla materia organica morta. Alcuni chemioeterotrofi sono patogeni, e ricavano il loro nutrimento dagli organismi che infettano e danneggiano i loro ospiti causando malattie. Altri batteri eterotrofi procurano un vantaggio ai loro ospiti, ad esempio producendo vitamine essenziali.

La maggior parte dei procarioti necessita di ossigeno

Siano essi eterotrofi o autotrofi, la maggior parte dei batteri ha un metabolismo aerobico, in quanto richiede ossigeno atmosferico per la respirazione cellulare. Molti batteri sono anaerobi facoltativi, cioè possono usare ossigeno per la respirazione cellulare se è disponibile, ma conducono il metabolismo anaerobicamente se necessario. Altri batteri sono anaerobi obbligati e possono sostenere un metabolismo energetico solo anaerobicamente. Essi respirano utilizzando come accettori finali di elettroni molecole diverse dall'ossigeno, per esempio il solfato (SO_4^{2-}), il nitrato (NO_3^-) o il ferro (Fe^{2+}). Alcuni anaerobi obbligati, inclusi certi archeobatteri, vanno incontro alla morte se esposti anche a basse concentrazioni di ossigeno.

TABELLA 20-1 Modalità di ottenimento dei nutrienti e di cattura dell'energia

Modalità di nutrimento	Fonte di energia	Fonte di carbonio	Esempi di organismi
Autotrofo			
Fotoautotrofo	Luce solare	CO_2	Cianobatteri; batteri purpurei sulfurei
Chemioautotrofo	Composti inorganici (ad es., NH_3 , H_2S , Fe^{2+})	CO_2	Alcuni proteobatteri; la maggior parte degli archeobatteri, ad esempio metanogeni, alofili estremi
Eterotrofo			
Fotoeterotrofo	Luce solare	Composti organici	Batteri non sulfurei, purpurei e verdi
Chemioeterotrofo	Composti organici	Composti organici	Decompositori che vivono liberi; la maggior parte dei batteri patogeni

Alcuni batteri fissano e metabolizzano l'azoto

Tutti gli organismi hanno bisogno di azoto per poter produrre proteine ed acidi nucleici. Alcuni batteri (per esempio alcuni cianobatteri) ed archea (per esempio metanogeni) possono ridurre l'azoto atmosferico in ammoniaca. Il processo si chiama fissazione dell'azoto. L'ammoniaca prodotta dalla fissazione dell'azoto è convertita in ioni ammonio (NH_4^+). I batteri che fissano azoto possono usare questa semplice forma di azoto per produrre componenti organici.

Certi batteri convertono ammoniaca o ioni ammonio in nitrito (NO_2^-), mentre altri convertono nitrito in nitrato (NO_3^-). Questo processo, chiamato nitrificazione, converte l'azoto in una forma che può essere usata da piante e funghi. Gli animali ottengono azoto dai composti organici quando mangiano altri organismi. Come discuteremo più avanti, tutti gli altri organismi, in ultima analisi, dipendono per la loro sopravvivenza dal processo di fissazione dell'azoto e dalla nitrificazione operata dai procarioti (vedi Capitolo 55).

Verifica

- Come ottengono energia i chemioeterotrofi?
- Qual è la differenza tra anaerobi facoltativi e anaerobi obbligati? In che modo entrambi differiscono dagli aerobi?
- In che modo i batteri ottengono l'azoto necessario per la produzione di aminoacidi e acidi nucleici?

20.4 LA FILOGENESI DEI DUE UOMINI PROCARIOTI

OBIETTIVO DI APPRENDIMENTO

7. Par Confrontare i tre domini: Bacteria, Archaea ed Eukarya.
8. Fare una distinzione tra i principali gruppi di archeobatteri sulla base della loro ecologia ed identificare i tipi specifici di archeobatteri appartenenti a questi gruppi.
9. Descrivere i principali gruppi di batteri discussi in questo capitolo (vedi TABELLA 20-4).

Al microscopio, la maggior parte dei procarioti appare simile per forma e dimensione. Tuttavia, utilizzando l'analisi di sequenza dell'RNA ribosomiale 16S della subunità minore (SSU rRNA), Carl Woese e collaboratori hanno dimostrato che esistono fondamentalmente due gruppi diversi di procarioti (vedi Capitolo 23). Ciascun gruppo possiede “ sequenze firma ”, regioni dell'SSU rRNA che presentano sequenze nucleotidiche uniche. Queste differenze sono dovute al fatto che, dopo la loro separazione, le popolazioni di procarioti si sono diversificate ed hanno subito mutazioni che hanno alterato le sequenze dell'RNA. Basandosi su tali analisi, Woese ha ipotizzato che i procarioti antichi si siano divisi molto presto nella storia della vita in due linee.

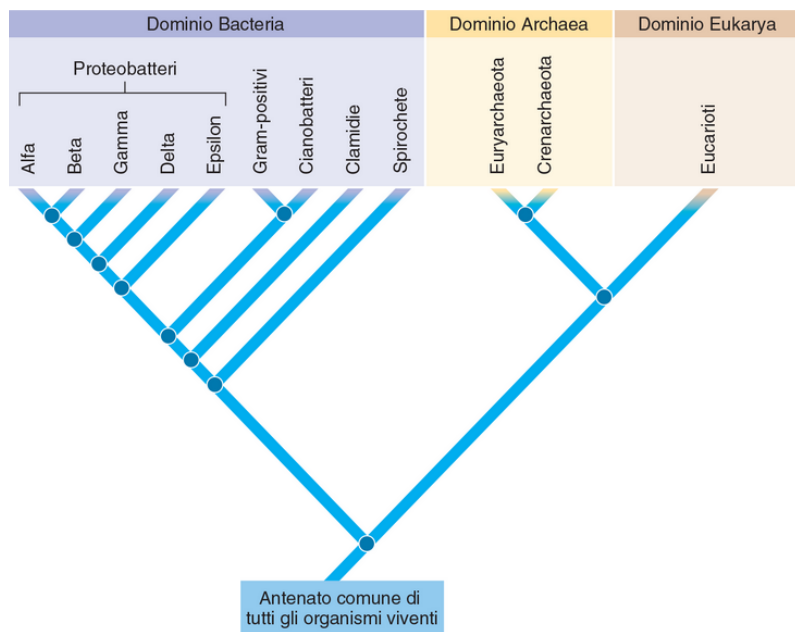


FIGURA 20-9

I tre domini Questo diagramma altamente semplificato riporta alcuni taxa rappresentativi dei domini Bacteria ed Archaea. Le relazioni evolutive sono basate sull'analisi delle sequenze nucleotidiche dell'rRNA. Ogniqualvolta si considerano dati aggiuntivi, queste relazioni vengono modificate.

Sulla base del lavoro di Woese, i microbiologi classificano i discendenti odierni di queste due linee antiche in due domini: Archaea e Bacteria (FIG. 20-9). Questi gruppi si pensa si siano differenziati da un antenato comune circa quattro miliardi di anni fa. Batteri ed archea sono stati gli unici organismi viventi sul nostro pianeta per circa due miliardi di anni. Pertanto, archea e batteri hanno avuto molto tempo per evolvere ed adattarsi a tutti i tipi di ambiente. La loro diversità è

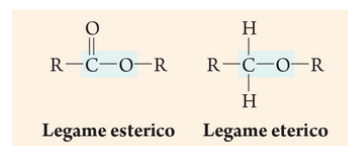
sorprendente. Anche il trasferimento genico orizzontale ha contribuito a questa diversità. Come conseguenza del trasferimento di geni, talvolta tra specie evolutivamente lontane, il genoma di archea e batteri è, di fatto, un mix di geni di molti procarioti.

Le caratteristiche chiave che distinguono i tre domini

Le caratteristiche chiave che distinguono gli archeobatteri dai batteri sono l'assenza del peptidoglicano nelle loro pareti cellulari e la struttura unica delle loro membrane cellulari. Nei fosfolipidi dei batteri e degli eucarioti, gli acidi grassi sono attaccati al glicerolo mediante **legami esterici**, mentre negli archeobatteri non sono presenti i componenti di acidi grassi. Invece, idrocarburi a catena ramificata (sintetizzati a partire da unità isoprenoidi) sono legati al glicerolo mediante **legami eterici** (Capitolo 20).

TABELLA 20-2 Comparazione dei tre domini

Caratteristiche	Bacteria	Archaea	Eukarya
Involucro nucleare	Assente	Assente	Presente
Organelli delimitati da membrane	Assenti	Assenti	Presenti
Cromosoma circolare	Presente (lineare in alcune specie)	Presente	Assente
Numero di cromosomi	Tipicamente uno (possono essere presenti anche plasmidi)	Tipicamente uno (possono essere presenti anche plasmidi)	Tipicamente molti
Istoni associati al DNA	Assenti	Presenti	Presenti
Peptidoglicano nella parete cellulare	Presente	Assente	Assente
Struttura dei lipidi nella membrana	Acidi grassi a catena lineare legati al glicerolo attraverso legami esterici	Idrocarburi a catena plasmatica ramificata legati al glicerolo attraverso legami eterici	Acidi grassi a catena lineare legati al glicerolo attraverso legami esterici
Dimensioni dei ribosomi	70S*	70S	80S, ad eccezione di quelli di mitocondri e cloroplasti
RNA polimerasi	Una sola RNA polimerasi relativamente semplice	Diverse RNA polimerasi relativamente complesse	Diverse RNA polimerasi relativamente complesse
Traduzione	Inizia con la formilmetionina	Inizia con la metionina	Inizia con la metionina
Crescita sopra i 70°C	Sì	Sì	No



L'assenza di un secondo atomo di ossigeno elettronegativo rende il legame eterico più forte di quello esterico. Questa struttura unica della membrana degli archeobatteri potrebbe contribuire alla loro capacità di sopravvivere e prosperare in ambienti inospitali.

Sotto certi aspetti, gli archeobatteri sono più simili agli eucarioti che ai batteri. Infatti, essi non possiedono la semplice RNA polimerasi presente nei batteri. Come negli eucarioti, il loro processo traduzionale inizia con la metionina, mentre nei batteri inizia con la formilmetionina (vedi Capitolo 13). Inoltre, diversi antibiotici che hanno effetto sui batteri non danneggiano né gli archeobatteri né gli eucarioti.

I batteri condividono anche alcuni caratteri (assenti negli archea) con gli eucarioti. Per esempio, come affermato precedentemente, sia i batteri che gli eucarioti hanno lipidi di membrana con legami esterici, mentre gli archea hanno lipidi di membrana con legami eterici. Alcuni microbiologi pensano che gli eucarioti siano il prodotto della fusione tra archea, che hanno fornito il macchinario trascrizionale e traduzionale, e batteri che hanno invece fornito gli enzimi necessari al metabolismo energetico.

La tassonomia degli archea e dei batteri cambia continuamente

La tassonomia dei procarioti si basa sempre più su dati molecolari, principalmente sul sequenziamento degli RNA e, più recentemente, di interi genomi. I gruppi che si sono separati precocemente hanno avuto più tempo per accumulare mutazioni nei propri SSU rRNA, per cui le loro sequenze nucleotidiche sono meno simili rispetto a quelle dei gruppi la cui divergenza è avvenuta più di recente. Tuttavia, alcuni microbiologi stanno sviluppando alberi filogenetici basati sull'intero genoma. Essi sostengono che ci sono probabilmente 1000 geni che codificano proteine per ogni gene che codifica un rRNA. Per questo, questi ricercatori preferiscono prendere in considerazione le proporzioni di geni (o di proteine) che i genomi di vari gruppi hanno in comune.

Benché la tassonomia dei procarioti sia controversa e in continuo cambiamento, sono stati classificate più di 7000 specie di procarioti. Gli autori del *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, considerato da molti microbiologi il testo di riferimento, hanno diviso i gli Archaea in 2 phyla e i Bacteria in oltre 20 phyla sulla base dell'analisi dell'rRNA 16S.

Molti archea vivono in ambienti inospitali

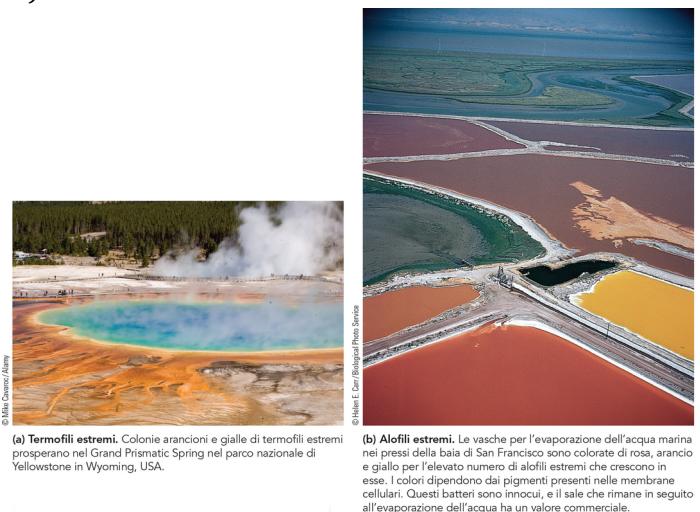
Il dominio degli archea comprende due gruppi principali (phyla): *Crenarchaeota* ed *Euryarchaeota* (Capitolo 20). Questa filogenesi è basata su sequenze del 16S rRNA e su informazioni di sequenza di interi genomi. La sistematica non ha ancora definito se i due gruppi sono phyla diversi o ranghi sistematici più alti; in quest'ultimo caso i rami di ogni gruppo potrebbe rappresentare dei phyla.

I Crenarchaeota comprendono principalmente termofili estremi, archea che vivono a temperature estremamente alte o basse. La temperatura ottimale per molti di questi è superiore agli 80°C. Questi archea normalmente crescono in ambienti caldi e talvolta acidi. È stata individuata una specie nelle calde sorgenti solforose del parco di Yellowstone, che vive a temperature vicine agli 80 °C e a valori di pH tra 1 e 2, il pH dell'acido solforico concentrato (FIG. 20-10 a). Altre specie abitano le aree vulcaniche sottomarine. Una specie, isolata dai soffioni delle profondità marine, cresce a temperature di 80-120°C. Al contrario, altri *Crenarchaeota* vivono in ambienti molto freddi (sotto 15°C). Alcuni vanno alla deriva nell'oceano e costituiscono una parte importante del plancton.

FIGURA 20-10
Archeobatteri che abitano gli ambienti estremi

Gli Euryarchaeota includono anche molti archea che abitano ambienti estremi: metanogeni, alofili estremi e termofili estremi. I metanogeni sono un ampio gruppo eterogeneo che vive in ambienti privi di ossigeno, come le acque putride e gli acquitrini, e sono comunemente presenti nel tratto digerente dell'uomo e di altri animali. I metanogeni sono anaerobi obbligati, caratterizzati dalla produzione di gas metano a partire da composti carboniosi semplici. Essi sono molto importanti nel processo di riciclaggio dei composti organici derivati dagli organismi che vivono nelle paludi. I metanogeni che vivono nel tratto digerente dei bovini e di altri ruminanti producono metano che viene emesso dagli animali per ruttazione. Questi archeobatteri sono responsabili della produzione di oltre l'80% (più di 2 miliardi di tonnellate all'anno) del metano presente nell'atmosfera terrestre. Il metano è un importante gas-serra.

Gli alofili estremi sono eterotrofi che vivono in soluzioni sature di sali, come le acque saline del Mar Morto e del Gran Lago Salato (FIG. 20-10 b). Gli alofili estremi utilizzano la respirazione aerobica per produrre ATP. Tuttavia, essi svolgono anche una forma di fotosintesi in cui catturano l'energia solare grazie ad un pigmento porpora (*batteriorodopsina*, pigmento molto simile al pigmento rodopsina coinvolto nella visione animale).



Nanoarchaeum è un piccolo (400 nm) termofilo estremo che è oggi classificato come euryarchaeote. Questo microbo è uno dei più piccoli organismi cellulari identificati fino ad oggi. Ha anche uno dei più piccoli genomi conosciuti (500.000 nucleotidi). Nanoarchaeum vive adeso ad un altro archaea e dipende dall'ospite per molti dei suoi processi metabolici.

Alcuni archeobatteri abitano anche ambienti con condizioni meno estreme; ad esempio, sono abbondanti nel terreno e nelle acque superficiali fredde dell'oceano vicino all'Antartide. I microbiologi suggeriscono che gli archeobatteri possano essere importanti nei cicli biogeochimici e nelle catene alimentari marine. Non sono stati identificati archeobatteri patogeni.

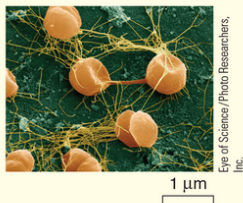
I batteri sono i procarioti più noti

I batteri sono ampiamente distribuiti nell'ambiente e sono conosciuti dai microbiologi meglio degli archeobatteri. Qui sono considerati i cinque gruppi principali: proteobatteri (gram-negativi), i cianobatteri (gram-negativi), i batteri gram-positivi, le clamidie (gram-negativi) e le spirochete (gram-negativi). Tali gruppi sono descritti nella Capitolo 20 .

Verifica

- Quali sono i due tipi di archeobatteri che abitano ambienti estremi?
- Quali sono le differenze tra i seguenti batteri (elencati nella TABELLA 20-4): (1) proteobatteri, (2) cianobatteri, (3) clamidie?

Crenarchaeota



Fotografia MES del *Pyrococcus furiosus*, un anaerobio che vive nella sabbia marina. Questo metanogeno è altamente resistente alle alte temperature; il suo optimum di temperatura è circa 100°C. *Pyrococcus* cresce utilizzando zuccheri e piccoli peptidi come donatori di elettroni. LA DNA polimerasi di *P. furiosus* viene usata per l'amplificazione del DNA in PCR (Polymerase Chain Reaction) grazie alla sua stabilità ad alta temperatura ed alla sua accuratezza.

Euryarchaeota

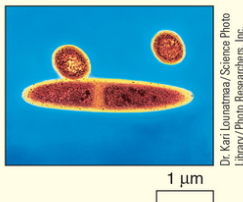


Immagine MET di un metanogeno (*Methanospirillum hungatii*) durante la divisione cellulare.

Altri due archeobatteri sono visibili in sezione trasversale. Quando non si dividono, questi archeobatteri hanno una forma a spirale.

Alcuni sono termofili estremi (prosperano a 70°C, alcuni addirittura al di sopra dei 100°C); altri sono psicrofili (possono vivere a temperature inferiori a 15°C). Molti sono chemioautotrofi. Sono una componente importante del plancton nei mari freddi ricchi di ossigeno.

TABELLA 20-3 I due gruppi di archeobatteri

Proteobatteri (Gram-negativi)

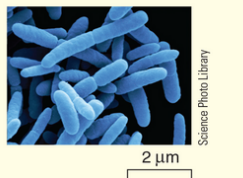


Immagine MES di una colonia di *Escherichia coli*. *E. coli* sono proteobatteri gamma.



Immagine MES del corpo fruttifero del mixobatterio *Stigmatella aurantiaca*.

Le cellule quiescenti protettive all'interno dei corpi fruttiferi sono estremamente resistenti al calore e alla disidratazione. I mixobatteri sono proteobatteri delta.

Ampio gruppo diversificato di batteri gram-negativi. Sulla base delle sequenze dell'rRNA, il gruppo è suddiviso in cinque sottogruppi, detti alfa, beta, gamma, delta ed epsilon.

Proteobatteri alfa

Includono molti simbiosi di piante ed animali, ed alcuni patogeni. I batteri del genere *Rhizobium* vivono simbioticamente nei noduli radicali delle leguminose (es., fagioli) e convertono l'azoto atmosferico in una forma utilizzabile dalle piante (fissazione dell'azoto). Le **rickettsie** sono piccolissimi batteri di forma bastoncellare. Alcune specie sono patogene per l'uomo ed altri animali; le malattie sono trasmesse attraverso il morso degli artropodi o il contatto con i loro escrementi. Esse includono il tifo (trasmesso da pulci e pidocchi) e la febbre delle Montagne Rocciose (trasmessa dalle zecche).

Proteobatteri beta

Vari gruppi diversificati, che comprendono i batteri del genere *Nitrosomonas*, che ossidano l'ammoniaca. I batteri patogeni di questo gruppo includono *Neisseria gonorrhoeae*, che causa la gonorrea.

Proteobatteri gamma

Comprendono gli **enterobatteri**, rappresentati da decompositori che vivono sui detriti vegetali, patogeni ed una varietà di batteri che vivono nell'organismo umano. Benché *Escherichia coli* viva normalmente nel tratto intestinale degli animali, alcuni ceppi possono provocare forme moderate o gravi di diarrea. Una specie di *Salmonella* infetta i cibi e produce una tossina che provoca una forma di avvelenamento alimentare; un'altra specie causa la febbre tifoide.

I **vibrioni** sono prevalentemente marini; alcuni sono bioluminescenti. *Vibrio cholerae* causa il colera.

Gli **pseudomonadi** sono eterotrofi che producono pigmenti non fotosintetici. Causano malattie in piante ed animali, compreso l'uomo.

I **batteri purpurei** sulfurei sono fotoautotrofi che non producono ossigeno.

Proteobatteri delta

Includono i **mixobatteri** (batteri mucilluginosi), che secernono un muco sul quale scivolano e si spostano. Se le sostanze nutritive si esauriscono, questi batteri si aggregano in strutture riproduttive pluricellulari peduncolate, dette corpi fruttiferi. Le cellule batteriche all'interno del corpo fruttifero entrano in uno stato di quiescenza. Quando le condizioni diventano favorevoli, le cellule quiescenti tornano attive.

Proteobatteri epsilon

Piccolo gruppo di batteri che vivono nel tratto digerente degli animali. *Helicobacter* può causare ulcere peptiche.

TABELLA 20-4 I principali gruppi di batteri

Cianobatteri (gram-negativi)

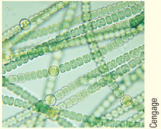


Immagine al microscopio ottico di *Anabaena*, un cianobatterio filamentoso che fissa l'azoto
La fissazione dell'azoto ha luogo nelle cellule tondeggianti, dette *eterocisti*.

I **cianobatteri** contengono clorofilla e sono gli unici procarioti che, come le piante e le alghe, svolgono la fotosintesi che genera ossigeno. I cianobatteri sono stati i primi organismi ad effettuare la fotosintesi che libera ossigeno; sono considerati molto importanti nell'evoluzione delle forme di vita perché la loro fotosintesi ha trasformato l'atmosfera della Terra da riducente, come era inizialmente, ad ossidante. I cloroplasti si pensa si siano evoluti da cianobatteri endosimbionti. Vivono in stagni, laghi, piscine, nel terreno umido, nei tronchi morti e nelle cortecce d'albero. Alcune specie formano filamenti; altre sono solitarie. Come produttori primari sono un'importante fonte di cibo per gli organismi marini e d'acqua dolce. Alcune specie hanno strutture speciali che fissano l'azoto.

Batteri gram-positivi

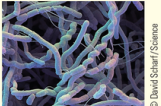


Immagine MES di *Actinomyces naeslundii*, un batterio del suolo che forma colonie filamentose

Gruppo estremamente diversificato. Seguono alcuni esempi.
Gli attinomiceti ricordano superficialmente i funghi. Ma contengono peptidoglicano nella loro parete cellulare, mancano di involucro nucleare e hanno altre caratteristiche tipiche dei procarioti. La maggior parte degli attinomiceti è saprofita e decompone materiale organico nel suolo. Alcuni sono anaerobi. Diverse specie del genere *Streptomyces* producono antibiotici come la streptomicina, l'eritromicina, il cloramfenicolo e le tetraciline. Alcuni attinomiceti provocano una grave malattia polmonare e altre infezioni nell'uomo e altri animali.

I **batteri acido-lattici** fermentano gli zuccheri, producendo acido lattico come principale prodotto finale. Vivono nel materiale vegetale in decomposizione, nel latte ed in altri prodotti caseari; sono responsabili del caratteristico gusto di yogurt, sottaceti, crauti ed olive verdi. Nell'uomo, fanno parte della normale flora batterica del cavo orale e della vagina.

I **micobatteri** sono bastoncini sottili ed irregolari; contengono una sostanza cerosa nelle loro pareti cellulari. Una specie provoca la tubercolosi ed un'altra la lebbra.

Gli **streptococchi** vivono nella bocca e nel tratto digerente dell'uomo e di alcuni altri animali. Tra le specie dannose, vi sono quelle che provocano il mal di gola, la carie dentale, una forma di polmonite, la scarlattina e la febbre reumatica.

Gli **stafilococchi** vivono normalmente nel naso e sulla pelle. Sono patogeni opportunisti che causano malattie quando il sistema immunitario dell'ospite è compromesso. *Staphylococcus aureus* è responsabile dei foruncoli e di infezioni cutanee anche molto gravi; può infettare le ferite. Alcuni ceppi di *S. aureus* causano una forma di avvelenamento alimentare; altri ceppi provocano la sindrome da shock tossico (vedi Figura 25-14).

I **clostridi** sono anaerobi. Una specie causa il tetano, un'altra la cancrena gassosa. *Clostridium botulinum* può provocare il botulismo, un tipo di avvelenamento alimentare spesso letale.

I **micoplasm**i sono un gruppo di batteri privi di parete cellulare. Potrebbero essersi evoluti da batteri con pareti cellulari gram-positive. Vivono nel suolo e nelle acque di scarico; alcuni sono parassiti di piante o animali. Alcuni vivono nelle membrane mucose dell'uomo, ma generalmente non provocano malattie; una specie causa una forma lieve di polmonite batterica nell'uomo.

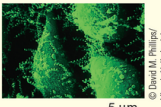


Immagine MES di *Mycoplasma* su cellule fibroblastiche

Clamidio (gram-negativi)

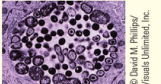


Immagine MET di *Chlamydia trachomatis* in una cellula dell'ovidotto umano

Le **clamidio** sono prive di peptidoglicano nella loro parete cellulare. Sono parassiti energetici, completamente dipendenti dall'ospite per l'ATP. Infettano quasi tutte le specie di uccelli e mammiferi. Un ceppo di *Chlamydia* causa il tracoma, la principale causa di cecità nel mondo. Le clamidio trasmesse per via sessuale sono la causa principale della malattia da infiammazione pelvica nelle donne.

Spirochete (gram-negativi)

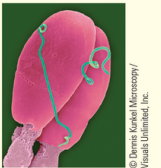


Immagine al microscopio ottico di *Treponema pallidum*, la spirocheta che causa la sifilide

Le **spirochete** sono batteri a spirale con pareti cellulari flessibili. Si muovono per mezzo di peculiari flagelli interni, detti *filamenti assiali*. Alcune specie sono a vita libera, mentre altre formano associazioni simbiotiche; alcune sono parassite. La spirocheta di maggiore rilevanza medica è *Treponema pallidum*, che causa la sifilide. La malattia di Lyme, una patologia dell'uomo e di alcuni altri animali, trasmessa dalle zecche, è causata da una spirocheta del genere *Borrelia*.

Malattia	Patogeno	Epidemiologia/Commenti
Antrace	<i>Bacillus anthracis</i>	Colpisce più comunemente gli animali domestici, come il bestiame. Può essere trasmesso all'uomo da animali o da prodotti di animali infetti. Le endospore possono sopravvivere nel suolo per molti anni. L'antrace non si trasmette da persona a persona. L'infezione può verificarsi in tre forme: cutanea, per inalazione e gastrointestinale.
Botulismo	<i>Clostridium botulinum</i>	Si contrae consumando alimenti che contengono l'endotossina o attraverso ferite infette. Il botulismo infantile è causato dall'ingestione di endospore. Causa paralisi muscolare e può determinare la morte per blocco respiratorio.
Clamidia	<i>Chlamydia trachomatis</i>	Una delle più frequenti malattie a trasmissione sessuale negli Stati Uniti. Circa il 75% delle donne infette ed il 50% degli uomini infetti sono asintomatici. Se non trattata, l'infezione si diffonde e danneggia gli organi riproduttivi; può portare all'infertilità. Questo patogeno può anche infettare gli occhi ed è responsabile di milioni di casi di cecità in tutto il mondo ogni anno.
Colera	<i>Vibrio cholerae</i>	Si contrae consumando alimenti o acqua contaminati dal batterio. È comune nelle zone con acque impure ed inadeguati trattamenti delle acque di scarico. In batterio infetta l'intestino e può causare una grave diarrea. La rapida perdita di liquidi può portare alla disidratazione e alla morte.
Difterite	<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Si trasmette da persona a persona attraverso stretti contatti respiratori e fisici. È endemica nei paesi in via di sviluppo. Negli Stati Uniti non è più comune dagli anni '20, quando si rese disponibile il vaccino. Il batterio infetta il muscolo cardiaco e le vie respiratorie.
Tifo epidemico	<i>Rickettsia prowazekii</i>	È trasmesso da pidocchi del corpo infetti. Dopo un periodo di incubazione di 8-12 giorni, si sviluppano i sintomi, che includono febbre, forte emicrania, dolori muscolari e brividi. Dopo diversi giorni, compare un'eruzione cutanea. Circa il 40% dei pazienti non trattati muore.
Gonorrea	<i>Neisseria gonorrhoeae</i>	Comune malattia a trasmissione sessuale.
Malattia di Hansen (lebbra)	<i>Mycobacterium leprae</i>	Si pensa che possa essere trasmessa da persona a persona attraverso le secrezioni nasali. Questa malattia ha provocato la morte di 2 milioni di persone in tutto il mondo. Tipicamente, colpisce la pelle, i nervi e le membrane mucose.
Malattia di Lyme	<i>Borrelia burgdorferi</i>	È trasmessa all'uomo dal morso di zecche infette. I sintomi includono eruzioni cutanee, emicrania, febbre ed affaticamento. Se non trattata, l'infezione può diffondersi alle articolazioni, al cuore ed al sistema nervoso.
Ulcera peptica	<i>Helicobacter pylori</i>	L'ulcera peptica è una lesione nel rivestimento interno dello stomaco o del duodeno (parte superiore dell'intestino tenue).
Pertosse	<i>Bordetella pertussis</i>	È altamente trasmissibile da persona a persona. Causa violenti spasmi di tosse. È disponibile la vaccinazione.
Peste	<i>Yersinia pestis</i>	È trasmessa all'uomo da roditori, scoiattoli e gatti selvatici attraverso pulci infette. Se non trattata, può portare alla morte. Ha ucciso milioni di persone in Europa durante il Medioevo.
Polmonite	<i>Streptococcus pneumoniae</i>	È trasmessa da persona a persona. Ceppi di <i>S. pneumoniae</i> sono resistenti ad uno o più antibiotici comunemente utilizzati per il trattamento di questa infezione. L'incidenza è diminuita in seguito all'introduzione di un vaccino.
Salmonellosi	<i>Salmonella</i> sp.	È trasmessa all'uomo da polli, uova o altri alimenti contaminati. È trasmessa anche attraverso le feci di animali infetti, come lucertole, tartarughe, pulcini, uccelli, cani e gatti. I sintomi includono febbre, diarrea e mal di stomaco.
Tetano	<i>Clostridium tetani</i>	I batteri penetrano nell'organismo attraverso una ferita cutanea. Colpisce il sistema nervoso; causa blocco mandibolare, rigidità del collo, difficoltà di deglutizione, febbre e spasmi muscolari. È disponibile la vaccinazione.
Diarrea del viaggiatore	<i>Escherichia coli</i> enterotossigenico è la causa più comune	Si contrae consumando alimenti o acqua contaminati. Colpisce dal 30% al 50% dei viaggiatori nelle aree ad alto rischio (Centro e Sud America, Africa, Medio Oriente e gran parte dell'Asia).
Sifilide	<i>Treponema pallidum</i>	È una malattia a trasmissione sessuale che si trasmette attraverso il contatto diretto con una piaga da sifilide. Se non trattata, arriva a danneggiare cervello, fegato, ossa e milza, e può portare alla morte.
Tubercolosi	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	È trasmessa da persona a persona attraverso l'inalazione di aria contenente il patogeno. I sintomi includono affaticamento, tosse, febbre e perdita di peso. Non è comune negli Stati Uniti. Tuttavia, una forma resistente a molti farmaci costituisce una minaccia crescente.
Febbre tifoide	<i>Salmonella typhi</i>	È trasmessa da persona a persona attraverso la contaminazione fecale di alimenti o acqua. Il rischio massimo è a carico dei viaggiatori nei paesi in via di sviluppo, ma è disponibile il vaccino. I sintomi includono febbre alta, emicrania ed inappetenza. Se non trattata, può portare alla morte.

TABELLA 20-5
I principali gruppi di batteri

20.5 L'IMPATTO DEI PROCARIOTI SU ECOLOGIA, TECNOLOGIA E COMMERCIO

OBIETTIVO DI APPRENDIMENTO

10. Par Discutere il ruolo ecologico dei procarioti.
11. Discutere alcuni dei più importanti ruoli dei procarioti nel commercio e nella tecnologia.

I procarioti abitano virtualmente ogni ambiente della Terra e sono membri vitali delle biosfera. Essi influenzano gli altri organismi viventi sia direttamente sia indirettamente per il ruolo ecologico che svolgono. I procarioti producono azoto in una forma utilizzabile dagli altri organismi e rappresentano una riserva di nutrienti. Questi organismi microscopici riciclano nutrienti e giocano un ruolo fondamentale nei cicli biogeochimici.

I procarioti stabiliscono relazioni con altri organismi

Essi interagiscono con gli altri organismi in molti modi. Una relazione intima tra membri di due o più specie è detta simbiosi. I partner di una relazione simbiotica sono detti simbionti. Le relazioni simbiotiche si originano per coevoluzione. Le tre forme di simbiosi sono il mutualismo, il commensalismo e il parassitismo.

Il mutualismo è una relazione simbiotica in cui entrambi i partner traggono un beneficio. Le mucche ed altri ruminanti hanno relazioni mutualistiche con batteri che vivono nel loro tratto digerente. I ruminanti sono privi degli enzimi che digeriscono la cellulosa, per cui forniscono ai batteri un ambiente ricco di nutrienti ed i batteri digeriscono la cellulosa per loro.

Alcuni studiosi stimano che nell'ambiente ricco di nutrienti dell'intestino umano vivano fino a 100.000 miliardi di batteri. Ad esempio, in cambio di nutrienti e di un posto per vivere, il *Bacteroides thetaiotaomicron* degrada carboidrati complessi indigeribili in zuccheri che il suo ospite umano può assorbire. Essi producono anche alcune vitamine che possono essere assorbite ed utilizzate dall'ospite. Questi batteri promuovono anche la proliferazione dei vasi sanguigni che migliora la funzionalità intestinale. È stato riportato che il *B. thetaiotaomicron* è capace di attivare specifici geni nelle cellule intestinali dell'ospite; sembra che questi batteri possano indurre la sintesi di un composto capace di uccidere i batteri con cui competono.

Nel commensalismo, uno dei partner trae un beneficio, mentre l'altro non è né danneggiato né avvantaggiato. Molti batteri che vivono nell'intestino umano sono commensali che si nutrono del cibo non utilizzato. Nel parassitismo, uno dei partner vive sopra o all'interno dell'altro. Il parassita trae un beneficio, mentre l'ospite è danneggiato. I batteri patogeni sono parassiti. I batteri patogeni non sono di solito considerati parassiti obbligati in quanto essi possono generalmente sopravvivere in altri modi.

Alcuni tipi di batteri possono influenzare il corso evolutivo di altre specie

Il proteobatterio *Wolbachia* infetta numerosi invertebrati, inclusi insetti, ragni, crostacei e nematodi (vermi cilindrici). I *Wolbachia* vengono trasmessi di generazione in generazione attraverso le uova dei loro ospiti, cosicché gli ospiti di sesso maschile non risultano utili. Di conseguenza, questi parassiti riducono o eradicano i maschi dalla popolazione. In alcune specie di insetti, i maschi infetti possono riprodursi soltanto nel caso in cui si accoppino con femmine infettate dallo stesso ceppo di *Wolbachia*. In altre specie, questi parassiti trasformano gli insetti maschi in femmine. Alcune femmine infette si riproducono per partenogenesi (le loro uova si sviluppano senza essere state fecondate). Dal momento che influiscono sulla riproduzione dei loro ospiti, i *Wolbachia* ed altri parassiti dell'apparato riproduttore possono avere effetti sulla divergenza evolutiva di alcune specie e persino causarne l'estinzione. *Wolbachia* può influenzare l'evoluzione anche mediante trasferimento genico orizzontale.

Molti batteri formano biofilm

Molti tipi di batteri che vivono in ambienti acquosi formano dense pellicole, dette biofilm, che aderiscono a superfici solide. I batteri presenti in un biofilm formano strati spessi fino a 200 µm. I batteri secernono una sostanza melmosa simile alla colla, ricca di polisaccaridi, e restano immersi in questa matrice. La maggior parte dei biofilm è costituita da numerose specie di batteri e può includere altri tipi di organismi, come funghi e protozoi. Sono state trovate prove di antichi biofilm in sedimenti di ambienti costieri marini risalenti a 3,5 miliardi di anni fa.

La placca dentale è un esempio familiare di biofilm (FIG. 20.11) ed è costituita da diverse centinaia di tipi

differenti di batteri ed archea. Tali film si formano comunemente anche sulla superficie delle lenti a contatto e dei cateteri. Talvolta, si sviluppano su impianti chirurgici, come pacemaker e protesi articolari.

I procarioti svolgono ruoli ecologici chiave

I batteri, in particolare gli attinomiceti e i mixobatteri, sono i più numerosi abitanti del suolo. Come descritto in precedenza in questo capitolo, i procarioti sono decompositori essenziali, chemioeterotrofi che degradano la materia organica morta e i prodotti di rifiuto, ed utilizzano i prodotti della decomposizione come fonte di energia. Mediante la degradazione dei composti organici, i procarioti riciclano molti nutrienti, inclusi l'azoto, l'ossigeno, il carbonio, il fosforo, lo zolfo ed altri elementi in tracce. (Una discussione sul ruolo dei batteri nei cicli biogeochimici, particolarmente quello dell'azoto, si trova nel Capitolo 55).

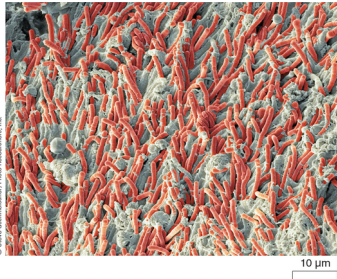


FIGURA 20-11 *Un biofilm familiare: placca dentale*

Fotografia MES colorata di una placca dentale che consiste di un film di batteri (in rosso) inseriti in una matrice di glicoproteine (in blu). I batteri nella placca possono produrre acidi che erodono lo smalto dei denti causando le carie dentali.

L'azoto viene continuamente rimosso dal terreno da parte delle piante, da altri processi naturali e dalle attività antropiche, come l'agricoltura. Poiché la crescita delle piante dipende dalla disponibilità di azoto in forma utilizzabile, esso deve essere continuamente aggiunto al terreno. Parecchi tipi di batteri, inclusi i

cianobatteri, trasformano l'azoto atmosferico in forme che possono essere utilizzate dalle piante (vedi Capitolo 20). Alcuni crenarcheoti marini effettuano la nitrificazione e possono essere importanti nel ciclo dell'azoto negli oceani.

I rizobi, batteri mobili che vivono nel terreno, formano associazioni mutualistiche con le radici delle leguminose, una grande famiglia che comprende importanti piante alimentari, come fagioli, piselli e arachidi. Le cellule vegetali infettate formano noduli simili a tumori in cui i batteri risiedono e fissano l'azoto (vedi FIG. 55-9). I batteri fissano l'azoto per la pianta, mentre la pianta fornisce ai batteri i composti organici, inclusi gli zuccheri necessari per la respirazione cellulare. Poiché molti terreni sono poveri di azoto, le leguminose che hanno instaurato associazioni mutualistiche con rizobi hanno un deciso vantaggio sulle altre piante. Quando le leguminose muoiono e vengono decomposte, l'azoto fissato è rilasciato nel terreno, arricchendolo.

Molti procarioti, come i cianobatteri, svolgono la fotosintesi utilizzando l'acqua come fonte di elettroni e producendo ossigeno. Nel corso di questo processo, essi fissano enormi quantità di anidride carbonica nelle molecole organiche.

I microbiologi stanno solo cominciando a svelare i misteri dell'ecologia dei procarioti. Ad esempio, i proteobatteri appartenenti al clade SAR11 sono tra gli organismi che riscuotono più successo sulla Terra. Pur essendo tra gli organismi più numerosi dell'Oceano Atlantico, fino al 2002 non si è riusciti a farli crescere in coltura, per cui molto poco si conosce del loro ruolo ecologico. Esistono prove della loro importanza nei cicli oceanici del carbonio, dell'azoto e dello zolfo.

I procarioti sono utilizzati in numerosi processi commerciali e nella tecnologia

Alcuni tipi di microrganismi producono *antibiotici*, composti che limitano la competizione per i nutrienti inibendo o uccidendo gli altri microrganismi. A partire dagli anni '50, gli antibiotici sono diventati un importante strumento clinico che ha trasformato il trattamento delle malattie infettive. Ad oggi, sono disponibili circa 100 antibiotici clinicamente utili, di cui ogni anno ne vengono prodotte tonnellate. Le industrie farmaceutiche ottengono la maggior parte degli antibiotici da tre gruppi di microrganismi: un ampio gruppo di batteri gram-positivi del terreno, detti *attinomiceti*; i batteri gram-positivi del genere *Bacillus*; le muffe, eucarioti appartenenti al regno Funghi.

Grazie alla loro elevata velocità di riproduzione, i batteri rappresentano "fabbriche" ideali per la produzione di biomolecole. Essi sono utilizzati, attraverso tecniche di ingegneria genetica (vedi Capitolo 15), per la produzione di alcuni vaccini, dell'ormone della crescita, dell'insulina e di molti altri composti clinicamente importanti per l'uomo. La maggior parte dell'insulina utilizzata nel trattamento del diabete proviene da batteri geneticamente ingegnerizzati. I ricercatori sono in procinto di sviluppare batteri geneticamente modificati da utilizzare per la produzione di numerosi altri prodotti utili in campo medico ed agricolo.

Molti cibi e bevande sono ottenuti con l'ausilio della fermentazione microbica. I batteri lattici vengono utilizzati nella produzione di panna acida, yogurt, sottaceti, olive e crauti. Molti altri tipi di batteri sono

utilizzati per la produzione di formaggi. I batteri sono coinvolti anche nella lavorazione di carni fermentate, come il salame, e nella produzione dell'aceto, della salsa di soia, del cioccolato e di certe vitamine del gruppo B (la vitamina B₁₂ e la riboflavina). I batteri sono usati anche nella produzione di acido citrico, un composto aggiunto ai dolciumi e alla maggior parte delle bevande analcoliche.

I batteri sono utilizzati nel trattamento delle acque nere e nello smaltimento dei rifiuti solidi. Essi sono anche usati nel biotrattamento, un processo di risanamento delle aree contaminate attraverso l'esposizione a microrganismi capaci di demolire le sostanze tossiche, producendo metaboliti innocui come l'anidride carbonica e i cloruri (FIG. 20-12). Ad oggi, più di 1000 specie tra batteri e funghi sono state utilizzate per bonificare numerose aree inquinate. Per esempio, batteri ed altri microrganismi vengono utilizzati quando si verificano fuoriuscite di petrolio per ossidare il petrolio in anidride carbonica. Microrganismi vengono anche utilizzati nel trattamento dei liquami per trasformare gli scarti in concime.

Anche gli archeobatteri hanno assunto una certa importanza economica. Ad esempio, alcuni dei loro enzimi sono stati aggiunti a detersivi industriali e di lavanderia per aumentarne l'efficacia a valori più elevati di temperatura e di pH. Un altro enzima è invece risultato utile all'industria alimentare per convertire l'amido del granturco in destrine.



FIGURA 20-12 *Biotrattamento*

Alcuni batteri si nutrono di petrolio o di altri prodotti di scarto che contaminano il suolo convertendo gli idrocarburi in anidride carbonica e acqua. Fotografia effettuata nei pressi di una raffineria di petrolio.

Verifica

- In che modo i batteri stabiliscono relazioni con altri organismi?
- Qual è la composizione del biofilm?
- Perché i procarioti sono ecologicamente importanti?
- Che cos'è il biotrattamento?

20.6 BATTERI E MALATTIA

OBIETTIVO DI APPRENDIMENTO

12. Para Descrivere i ruoli svolti da Louis Pasteur e Robert Koch nella comprensione delle malattie infettive; elencare i postulati di Koch.
13. Identificare adattamenti che hanno contribuito al successo dei patogeni.

Alcune specie di procarioti si sono evolute insieme agli eucarioti e sono con essi interdipendenti. Tutte le piante e gli animali ospitano una popolazione di microrganismi, considerati il normale microbiota (o microflora) — cioè innocui batteri simbiotici. Infatti, il numero di batteri normalmente presenti nel corpo umano (circa 700.000 miliardi di cellule) supera il numero delle stesse cellule umane (circa 70.000 miliardi di cellule). La presenza di alcune di queste popolazioni batteriche ostacola la proliferazione di microrganismi dannosi (inclusi altri batteri).

Una piccola percentuale di specie batteriche sono importanti patogeni di piante e animali. Alcuni dei normali batteri sono patogeni opportunisti, che causano malattie solo in certe condizioni. Per esempio, se il sistema immunitario è compromesso, i batteri opportunisti possono aumentare di numero e causare malattie. Alcune importanti malattie batteriche e i patogeni che le causano sono elencati nella Capitolo 20. Nessun archea è stato dimostrato essere causa di malattia.

Numerosi scienziati hanno contribuito alla comprensione delle malattie infettive

L'idea che alcuni agenti non noti fossero la causa di malattie è stata a lungo dibattuta prima che Leeuwenhoek, nel XVII secolo, scoprisse i microrganismi con il suo microscopio. Tuttavia, solo molto più tardi i ricercatori svilupparono gli strumenti e i metodi necessari per correlare i batteri con le malattie. Alla fine del diciannovesimo secolo, parecchi medici, microbiologi e chimici, indipendentemente, posero le fondamenta della microbiologia. Un chimico francese, Louis Pasteur, confutò l'idea prevalente della generazione spontanea, dimostrando che la sterilizzazione preveniva la crescita batterica. Pasteur, inoltre, mise a punto il vaccino contro la rabbia, dimostrando che le persone possono essere stimulate a sviluppare un'immunità contro le malattie.