

I batteri

I batteri, o procarioti, sono gli esseri viventi più diffusi sulla Terra: in un solo cucchiaino di terreno, per esempio, si possono trovare fino a 10.000 miliardi di batteri. Sono organismi unicellulari, ovvero sono costituiti da una sola cellula. Le loro dimensioni sono molto ridotte, infatti gran parte delle cellule batteriche ha un diametro compreso tra 1 e 10 micron (un micron equivale a un millesimo di millimetro): una fila ordinata di mille batteri misurerebbe solo un millimetro. Le cellule batteriche, a differenza di quelle degli organismi superiori (eucarioti), non hanno organelli delimitati da membrane (nucleo, apparato del Golgi...) e sono prive di cromosomi. I cromosomi sono strutture formate da DNA avvolto intorno a proteine (dette istoni), e hanno la funzione di rendere più compatte e ordinate le lunghe molecole di DNA contenute nel nucleo (vedi immagine).

I cromosomi sono fondamentali perché ordinano la grande quantità di materiale genetico contenuta nella cellula eucariota: infatti, se, per esempio, si svolgesse il DNA contenuto in una singola cellula somatica umana, si otterrebbe una molecola lunga circa due metri! Nei batteri, invece, il DNA non è contenuto in un nucleo ed ha una forma circolare. Altra caratteristica peculiare dei batteri è la presenza di una struttura protettiva (la parete) che circonda e racchiude l'intera cellula. La parete cellulare è costituita da proteine e zuccheri che, oltre a proteggere il microorganismo, mette in contatto la cellula con l'ambiente esterno e con le altre cellule batteriche.

I batteri vivono in ogni ambiente, anche nei più estremi dove nessuna altra forma di vita potrebbe sopravvivere. Se ne possono trovare sui fondali oceanici, nei deserti, nelle acque bollenti delle sorgenti vulcaniche, all'interno delle rocce, nel terreno ghiacciato del permafrost e persino in ambienti così acidi da distruggere qualsiasi altra forma di vita. Molte specie batteriche vivono all'interno o sulla superficie di altri organismi come simbionti o parassiti. La simbiosi è un'associazione tra due o più specie dalla quale ogni componente ricava un beneficio; al contrario, nel parassitismo solo uno dei membri trae vantaggio dall'associazione (il parassita) mentre l'altro (l'ospite) ne viene danneggiato.

Anche il nostro corpo è abitato da moltissime specie di batteri. Ogni centimetro quadrato della nostra pelle è popolato da migliaia di cellule batteriche che si riproducono in continuazione. Il nostro apparato gastro-intestinale contiene fino a 500 differenti specie batteriche, localizzate per la maggior parte nel colon.

I primi organismi

I batteri furono i primi organismi che vissero sulla terra. Apparvero 3 miliardi di anni fa nelle acque dei primi oceani. Inizialmente esistevano solo batteri eterotrofi anaerobi (l'atmosfera primordiale era pressoché priva di ossigeno). Circa 2 miliardi di anni fa apparvero i primi batteri autotrofi molto simili agli attuali cianobatteri. Questi organismi erano capaci di effettuare la fotosintesi, grazie alla quale l'atmosfera fu arricchita di prezioso ossigeno. I cianobatteri, o alghe azzurre, resero respirabile l'atmosfera primitiva e consentirono alla vita di colonizzare anche le terre emerse (vedi grafico). L'uomo conosce i batteri da poco tempo perché le loro minuscole dimensioni ne hanno reso possibile l'osservazione e lo studio solo dopo l'invenzione del microscopio.

Un mercante di stoffe scopre i batteri

Il primo studioso che osservò e descrisse i batteri fu Anton van Leeuwenhoek (1632-1723). Era un mercante di stoffe che viveva in Olanda e usava lenti di ingrandimento per valutare la qualità delle stoffe. Nel 1668, durante un viaggio di affari in Inghilterra, acquistò alcune lenti molto potenti con le quali costruì un rudimentale microscopio. La sua curiosità lo spinse a osservare un po' di tutto e fu così che casualmente vide per la prima volta i microbi. Nei suoi scritti van Leeuwenhoek descrisse i batteri come strani esseri dall'aspetto tondeggianti. Inizialmente furono incontrate numerose difficoltà per classificare questi nuovi organismi perché presentavano caratteristiche talmente peculiari da non poter essere assimilati a nessuno dei due gruppi con i quali si divideva l'intero regno dei viventi: i vegetali e gli animali. Un secolo dopo van Leeuwenhoek, Carlo Linneo concepì un nuovo regno nel quale riunire tutti i microorganismi conosciuti che chiamò chaos.

La scoperta dei batteri fermentanti

Tra i più importanti pionieri della microbiologia vi fu il francese Louis Pasteur che nel 1854 si occupò di fermentazione, spinto dalle richieste dei produttori di bevande alcoliche. Pasteur dimostrò il ruolo essenziale svolto dai microrganismi nei processi di fermentazione. Scopri, inoltre, che la riproduzione indesiderata di sostanze, quali l'acido lattico o l'acido acetico nelle bevande alcoliche, è dovuta alla presenza di microrganismi di varia natura, tra cui i batteri. Grazie a queste scoperte fu possibile elaborare i primi sistemi efficaci per eliminare i microrganismi dannosi. Il termine "microbo" fu coniato nel 1878 da Carlo Emanuele Sédillot che, all'Accademia delle Scienze di Francia, suggerì di chiamare microbe tutti gli organismi microscopici.

Tante forme per i batteri

I batteri vengono classificati a seconda della forma, delle modalità di nutrizione, del metabolismo e delle caratteristiche della parete. Mediante l'osservazione diretta al microscopio è possibile identificare diverse forme cellulari. I cocci (dal termine greco che significa bacche) hanno una forma sferica; quando si aggregano in gruppi vengono chiamati stafilococchi, mentre quando si riuniscono in catene sono definiti streptococchi. I procarioti a forma di bastoncino vengono chiamati bacilli. Di solito i bacilli si presentano come cellule separate, ma a volte si riuniscono in coppie (diplobacilli) oppure in catene (streptobacilli). Altri batteri hanno una forma ricurva oppure di tozza spirale. I primi vengono definiti vibroni, mentre i secondi sono chiamati spirilli. Infine, i batteri che si presentano sotto forma di una spirale lunga e flessibile sono detti spirochete. Tra le spirochete si trovano alcune forme batteriche "giganti" lunghe fino a 0,5 mm, ossia 500 volte più grandi di una comune cellula procariota. (Vedi immagine)

Batteri autotrofi ed eterotrofi

A seconda del modo con il quale si procurano le due risorse fondamentali per la vita, l'energia ed il carbonio (necessario per la sintesi dei composti organici), i batteri si dividono in autotrofi ed eterotrofi. I procarioti autotrofi sono in grado di sintetizzare le molecole organiche a partire da molecole inorganiche, come l'anidride carbonica. L'energia necessaria per alimentare queste sintesi può essere fornita dalla luce o da altri composti chimici. I batteri che, come le piante, sfruttano l'energia solare sono detti fotoautotrofi, mentre si dicono chemioautotrofi quelli che ricavano l'energia dalle reazioni chimiche. I batteri che hanno bisogno di nutrirsi di molecole organiche già sintetizzate, come fanno tutti gli animali, si chiamano eterotrofi. Questi batteri sono capaci di alimentarsi praticamente di tutto.

Chi ha bisogno di ossigeno e chi no

Per metabolismo si intende l'insieme di reazioni biochimiche necessarie alla vita che avvengono continuamente all'interno delle cellule di ogni essere vivente. Alcune di queste reazioni possono avvenire solo in presenza di ossigeno, altre, invece, non ne hanno bisogno. Si definiscono aerobici tutti i batteri che, come gli animali, "respirano" ossigeno, sono anaerobici i batteri che possono vivere in ambienti privi di questo gas.

La riproduzione dei batteri è di tipo asessuato: avviene per semplice scissione e non attraverso lo scambio di materiale genetico tra due individui di sessi diversi. Ogni cellula batterica si divide per dare origine a due cellule identiche le quali, a loro volta, si dividono e così via. Una singola cellula è capace di generare in poco tempo colonie di batteri che possono contare anche milioni di cellule.

Azotofissatori

L'azoto è importante per tutti gli organismi poiché è tra gli elementi che formano le proteine e gli acidi nucleici (DNA).

La maggior parte delle specie viventi non è in grado di assimilare azoto direttamente dall'atmosfera dove questo gas è il più abbondante (78%). Solo alcuni batteri riescono a trasformare l'azoto gassoso in composti assimilabili dagli altri esseri viventi (in particolare i vegetali) mediante una serie di reazioni metaboliche che prendono complessivamente il nome di "azotofissazione". Integrato in molecole più complesse, come l'ammoniaca e i nitrati, l'azoto entra nella catena alimentare. Gli organismi azotofissatori più importanti sono i cianobatteri, detti anche alghe azzurre, che vivono in ambienti acquatici. Sulla terraferma questa funzione è svolta principalmente dai batteri *Azotobacter* che vivono nel suolo e *Rhizobium* presenti in simbiosi nelle radici delle piante appartenenti alla famiglia delle leguminose (fagiolo, lenticchia e trifoglio).

Decompositori

I batteri sono tra i principali organismi decompositori: degradano le sostanze organiche fino a liberare nell'ambiente molecole semplici utilizzabili dagli altri esseri viventi. Il loro ruolo è fondamentale: senza i batteri decompositori le sostanze che permettono la vita non sarebbero più reperibili nell'ambiente. Alcuni batteri, i nitrificanti, demoliscono le proteine liberando composti ricchi di azoto, altri liberano fosforo, zolfo e altre utili sostanze.

In natura la cellulosa può essere decomposta da diversi organismi. Nelle feci di erbivori, ma anche dell'uomo, sono presenti batteri anaerobi decompositori del genere *Clostridium*. Importanti sono anche i batteri aerobi attribuibili alla famiglia delle *Corynebacteriaceae*, le *Myxobacterales* e anche diversi *Actinomiceti*. Attualmente si ammette che anche i funghi, specie gli *Eumiceti*, sono dotati di capacità di demolire la cellulosa.

Denitrificanti

I batteri denitrificanti sono in grado di operare la respirazione anaerobia dei nitrati, usando cioè il nitrato al posto dell'ossigeno come accettore degli elettroni liberati durante il processo respiratorio.

Alcuni batteri sono capaci di portare a compimento la denitrificazione, mentre altri soltanto stadi del meccanismo.

I batteri denitrificanti possiedono un'unica catena respiratoria che normalmente trasporta gli elettroni verso l'ossigeno.

Collegati alla catena respiratoria, a livello di citocromi, questi batteri possiedono enzimi speciali, la nitratoriduttasi e la nitritoriduttasi che, in assenza di ossigeno, permettono agli elettroni di fluire verso il nitrato o il nitrito.

Sono enzimi adattativi che si formano nella membrana cellulare solo in condizioni di anaerobiosi.

In presenza di ossigeno la sintesi delle riduttasi viene repressa. Il trasporto di elettroni lungo la catena respiratoria è accoppiato a processi di fosforilazione per produrre ATP.

Sono denitrificanti alcune specie batteriche dei generi *Pseudomonas*, *Thiobacillus*, *Paracoccus* e *Naisseria*.

Batteri e digestione

L'apparato gastro-intestinale dell'essere umano è in grado di contenere, in media, 300-500 differenti specie di batteri che prendono complessivamente il nome di "flora batterica intestinale" (vedi grafico). La maggior parte dei batteri è localizzata nel colon, mentre nello stomaco e nel primo tratto dell'intestino scarseggiano a causa della presenza di sostanze corrosive (acidi, bile e secrezioni pancreatiche), che rendono questi habitat inospitali per i microrganismi. La colonizzazione dell'intestino da parte dei batteri ha inizio fin dalla nascita e si completa nel giro di pochi giorni (vedi immagine). La flora batterica è costituita da batteri anaerobi e aerobi. (Vedi grafico). Tra i batteri del primo gruppo si ricordano i generi *Bifidobacterium*, *Eubacterium*, il *Clostridium* e il *Peptococcus*. Tra i batteri di tipo aerobico, invece, sono stati identificati, tra gli altri, l'*Escherichia*, l'*Enterobacter*, il *Lactobacillus* e il *Proteus*.

La flora batterica intestinale svolge diverse e importanti funzioni:

- protegge l'organismo dall'attacco dei microrganismi nocivi,
- sminuzza il cibo in particelle microscopiche così da rendere disponibili le vitamine, i sali minerali e tutti i micronutrienti necessari all'organismo,
- produce la vitamina K importante per la corretta coagulazione del sangue, il buon funzionamento del fegato e la calcificazione delle ossa
- produce la vitamina B12 importante per la riproduzione delle cellule e per la sintesi dell'emoglobina
- rende assimilabili alcuni alimenti di difficile digestione, come i vegetali.

La flora batterica dell'intestino viene indebolita da alcuni farmaci, come gli antibiotici. Per questo motivo le cure antibiotiche vengono spesso accompagnate dall'assunzione di fermenti lattici (tra i principali costituenti della flora batterica) che ristabiliscono il corretto equilibrio di questi piccoli e preziosi alleati.

I batteri del rumine

Gli erbivori non sono in grado di assimilare direttamente i vegetali di cui si nutrono, ma possono farlo solo grazie all'intervento dei batteri che colonizzano il loro apparato digerente. I bovini masticano a lungo i vegetali e li accumulano in grandi quantità nel rumine, ovvero il primo tratto dello stomaco. In questo ambiente caldo e molto umido i batteri si sviluppano velocemente e attaccano le fibre vegetali. L'azione dei batteri libera le sostanze nutritive contenute nelle erbe che vengono successivamente assorbite dall'intestino. I cavalli non hanno il rumine ma ospitano i preziosi batteri all'interno del loro lungo intestino.

Batteri, malattie e antibiotici

Non tutti i batteri sono utili o innocui; alcuni causano malattie anche gravissime che, soprattutto in passato, hanno provocato grandi epidemie. L'origine batterica di patologie come la peste, il colera, la polmonite o la meningite è nota solo da poco tempo. In tempi storici, quando si ignorava l'esistenza dei batteri, si pensava che queste malattie fossero provocate da sortilegi, maledizioni o dall'influenza degli astri. La scoperta dell'esistenza dei microrganismi portatori di malattie ha stimolato la ricerca di sistemi capaci di sconfiggerli.

Nel 1929 Alexander Fleming, un medico scozzese che svolgeva ricerche presso il St. Mary's Hospital di Londra, scoprì la penicillina: la prima sostanza conosciuta e studiata ad azione antibiotica. La scoperta della penicillina avvenne per caso durante alcune ricerche sugli stafilococchi. Fleming preparò diversi contenitori (piastre) dove faceva crescere le colonie di questo microrganismo (vedi immagine). Per consentire le osservazioni, le piastre dovevano essere aperte, azione che esponeva all'aria le colture batteriche, permettendo ad altri microrganismi di entrare. Fu così che alcune muffe iniziarono a crescere tra le colonie di stafilococchi. Lo studioso osservò che intorno alla muffa le colonie diventavano

sempre più trasparenti fino a scomparire, quindi ipotizzò che la muffa producesse una sostanza capace di annientare i batteri. Fleming studiò a fondo questa sostanza e, poiché veniva prodotta dalle muffe del genere *Penicillium*, la chiamò penicillina. La scoperta degli antibiotici ha debellato o ridotto moltissime tra le malattie più pericolose. Ma sconfiggere i batteri è un'operazione tutt'altro che facile. Questi microrganismi sono in grado di generare ceppi resistenti, cioè varianti genetiche che si evolvono spontaneamente all'interno della stessa specie, capaci di sopravvivere anche in presenza di sostanze antibiotiche. Per questo motivo la ricerca deve continuamente scoprire nuovi antibiotici. (Vedi grafico)

Agrobacterium Tumefaciens è un parassita dei vegetali, dal momento che induce la formazione di tumori (crescite incontrollate) dei tessuti vegetali situati nella regione della corona (la parte del fusto che emerge dal terreno). Può indurre il tumore perché è in grado di trasferire alle cellule una specifica sequenza di DNA che induce la crescita incontrollata. Dal momento che ha questa importante capacità di trasferire alle cellule vegetali tratti di DNA (il processo è detto trasformazione), *Agrobacterio* è spesso utilizzato nelle biotecnologie vegetali, dal momento che si può modificare la sequenza che verrà trasferita inserendovi un gene che vogliamo far esprimere nella pianta. La trasformazione tramite *Agrobacterio* è il metodo più utilizzato nella produzione di piante transgeniche (comunemente definite OGM)

Batteri nell'alimentazione

L'uomo utilizza i batteri da migliaia di anni, ma solo da poco più di un secolo ne fa un uso consapevole. Gli alimenti preparati grazie all'intervento dei batteri sono moltissimi. L'azione dei microrganismi modifica le materie prime alimentari e le trasforma in prodotti nuovi con caratteristiche chimico-fisiche, sensoriali e nutritive differenti. Questi alimenti presentano inoltre una maggiore conservabilità e talora anche un più alto grado di sicurezza d'uso. Grazie all'azione di diverse specie batteriche otteniamo il formaggio, lo yogurt, il pane, il vino, persino i salumi e le conserve.

L'industria casearia

I batteri lattici, come lo *Streptococcus thermophilus* e il *Lactobacillus bulgaricus*, sono tra i microrganismi maggiormente sfruttati dall'industria alimentare. Questi batteri, a forma di bacillo o di cocco, sono anaerobi (non richiedono ossigeno per vivere) e trasformano gli zuccheri semplici (glucosio e lattosio) in acido lattico mediante un processo metabolico chiamato fermentazione. L'acido lattico altera le caratteristiche chimiche e fisiche del latte trasformandolo in un nuovo alimento: lo yogurt. Anche la produzione di burro necessita dell'intervento di alcuni microrganismi: il caratteristico sapore di questo alimento è dovuto alla presenza di diacetile, una sostanza liberata dai batteri lattici che si sviluppano durante la fase di maturazione della crema di latte.

Altri batteri sono in grado di produrre sostanze, come le batteriocine e le nisine, che hanno una funzione antibiotica, ovvero sono attive contro i batteri nocivi che possono contaminare i formaggi.

In alcuni formaggi, come l'emmenthal e il gruviera, si sviluppano particolari batteri, detti "proponici", capaci di produrre grandi quantità di anidride carbonica. Il gas crea degli spazi vuoti nella pasta del formaggio che, al termine della maturazione, presenta i famosi "buchi".

Batteri dal buon sapore

I batteri lattici trovano impiego anche nella preparazione di molti prodotti da forno, come il panettone, il pandoro e i cracker. Questi alimenti, grazie all'azione batterica, acquistano un sapore e un aroma migliori.

Anche nella produzione di vino, specie per i vini rossi destinati all'invecchiamento, vi è l'intervento di alcuni batteri che, trasformando l'acido malico in acido lattico, migliorano il sapore del vino.

Nella preparazione dei salumi insaccati intervengono diversi batteri appartenenti ai generi *Lactobacillus*, *Pediococcus* e *Micrococcus*. Questi microrganismi producono sostanze antibatteriche che aumentano la conservabilità dei prodotti e liberano molecole che ne migliorano il sapore. I micrococchi, in particolare, trasformano i grassi contenuti nella carne e consentono una corretta maturazione dell'insaccato.

La pastorizzazione

La presenza dei batteri in alcuni alimenti non è gradita perché accelera i processi di decomposizione e potrebbe risultare dannosa per la salute umana. Il metodo più antico studiato per limitare la carica batterica in un alimento fu ideato da Louis Pasteur alla fine del XIX e per questo si chiama pastorizzazione. Si tratta di un procedimento che riduce la quantità di batteri ma non altera le caratteristiche nutrizionali e sensoriali dell'alimento. Questo processo consiste nel riscaldare il prodotto per qualche minuto a una temperatura compresa tra 55°C e 70°C. In questo modo la gran parte dei batteri muore migliorando le condizioni igieniche degli alimenti. Oggi il latte, le salse, le creme, le conserve e la birra vengono comunemente sottoposti a pastorizzazione prima di essere venduti al pubblico.

Curiamoci con i batteri

I batteri sono utilizzati nella produzione di moltissime sostanze importanti dal punto di vista farmacologico. Gli attinomiceti, per esempio, sono batteri filamentosi che morfologicamente ricordano le muffe. Sono tra i più importanti produttori di antibiotici, come la streptomina e le tetracicline. Anche la vitamina B12 (cobalamina) viene prodotta in laboratorio grazie ai batteri.

Alcuni particolari ceppi batterici vengono impiegati come microrganismi test per determinare la presenza di antibiotici e di vitamine negli alimenti o in preparati farmaceutici. Per ceppo microbico s'intende un batterio che, pur appartenendo a una determinata specie, presenta alcune caratteristiche morfologiche e metaboliche proprie, come ad esempio una specifica resistenza agli antibiotici, la produzione di determinate sostanze o la resistenza a particolari condizioni ambientali. Una colonia batterica è, invece, un aggregato di cellule visibile ad occhio nudo, per lo più di forma circolare, dovuto al moltiplicarsi di un ceppo. Una colonia quindi è costituita da un elevatissimo numero di batteri appartenenti allo stesso ceppo.

Le biotecnologie

Attraverso la biotecnologia è possibile introdurre segmenti di DNA umano all'interno del patrimonio genetico di un batterio. Il DNA umano fornisce alla cellula batterica le istruzioni per la sintesi di proteine che normalmente il batterio non sintetizza. In questo modo è stato possibile ottenere proteine molto importanti per la cura di alcune malattie. Oggi, sostanze che in passato erano estratte da fonti naturali, spesso disponibili in quantità limitata, sono ottenute in grande quantità e a basso costo dai batteri. Tra le molecole proteiche di origine batterica utili in campo medico vi sono l'insulina per il diabete, l'interferone per le infezioni virali e l'ormone della crescita.