

Piera Anna Martino, Giorgio Poli

Generalità

Il nostro mondo è popolato da un enorme e diversificato gruppo di esseri viventi, invisibili a occhio nudo, che esistono come singole cellule o come piccoli aggregati cellulari. Queste forme di vita, denominate **microrganismi** o **microbi**, hanno, a dispetto della loro dimensione estremamente ridotta, un ruolo cruciale nel mantenimento della vita sulla Terra. Le cellule microbiche sono diverse dalle cellule che costituiscono gli organismi superiori, animali e vegetali, che sono incapaci di vivere in natura come elementi indipendenti, ma possono esistere solo come parte di organismi multicellulari. Una singola cellula microbica, invece, è in genere capace di realizzare i suoi processi vitali di crescita, produzione di energia e riproduzione, indipendentemente da altre cellule sia dello stesso tipo sia di tipo diverso. Sebbene vi siano delle eccezioni, questa definizione fornisce una base per un'introduzione corretta al mondo dei microrganismi.

I MICRORGANISMI COME CELLULE

La cellula è l'unità fondamentale di tutta la materia vivente. Rappresenta un'entità opportunamente isolata dall'ambiente esterno, grazie a una parete o a una membrana, e contiene al suo interno una varietà di sostanze, organuli e strutture subcellulari. Tutte le cellule contengono proteine, acidi nucleici, lipidi e polisaccaridi. Poiché questi componenti chimici sono comuni a tutto il mondo vivente, si pensa che tutte le cellule siano derivate da qualche comune progenitore, una cellula primordiale. Attraverso un'evoluzione di centinaia di milioni di anni si sarebbe poi formata l'impressionante diversificazione tra i tipi cellulari attualmente esistenti. Le cellule variano notevolmente in dimensione: dai batteri, a volte così piccoli da non essere neppure visibili al microscopio ottico, all'uovo di struzzo, la più grossa singola cellula conosciuta, che raggiunge dimensioni pari a 17×13 cm. Gli organismi unicellulari presentano un più ristretto, ma comunque notevole, range di dimensioni, raggiungendo, alcuni, anche dimensioni superiori a quelle delle cellule degli animali: il protozoo *Paramecium* è centinaia di volte più grande di un globulo rosso. Sebbene ciascun tipo cellulare abbia dimensione e struttura ben definite, la cellula rappresenta un'unità estremamente

dinamica, sottoposta costantemente a modificazioni e a sostituzioni di sue parti. Anche quando non è in fase di crescita, una cellula introduce continuamente materiale dall'ambiente esterno e lo elabora a livello dei suoi apparati interni. Contemporaneamente espelle in continuazione nell'ambiente extracellulare prodotti di rifiuto e materiali vari. La cellula rappresenta quindi un sistema aperto e, seppure in continuo cambiamento, mantiene la propria individualità.

DIVERSITÀ DEI MICRORGANISMI: EUCARIOTI, PROCARIOTI, VIRUS

I microrganismi si dividono in sei gruppi principali: **protozoi**, **funghi**, **alghe**, **batteri**, **cianobatteri** e **virus**. La maggior parte di questi microrganismi è unicellulare, mentre alcuni (funghi e alghe) sono prevalentemente pluricellulari; diversamente da tutti gli altri, i virus, invece, non sono cellule ma strutture più semplici come anche i prioni. La Figura 1.1 riporta alcuni tipici membri di ciascun gruppo di microrganismi.

Prendendo in considerazione il tipo di organizzazione cellulare, si può effettuare un'ulteriore suddivisione tra cellule eucariote (protozoi, alghe e funghi) e cellule procariote (batteri e cianobatteri) a struttura meno complessa. La più importante differenza tra eucarioti e procarioti è rappresentata dalla diversa struttura del nucleo: gli **eucarioti** (dal greco: nucleo completo) hanno un vero nucleo e cioè una struttura delimitata da una membrana, al cui interno sono racchiusi i cromosomi, che contengono il materiale genetico; i **procarioti** (dal greco: nucleo primitivo), invece, non hanno un vero nucleo in quanto il materiale genetico (nucleoide) è contenuto in una singola molecola nuda di acido nucleico (DNA), libera nel citoplasma cellulare.

Le numerose altre differenze strutturali tra eucarioti e procarioti sono riportate nella Tabella 1.1 e nella Figura 1.2.

Microrganismi eucarioti

Caratteri distintivi consentono di suddividere i microrganismi eucarioti in tre gruppi: protozoi, funghi e alghe.

Tabella 1.1 Eucarioti e procarioti a confronto

| Caratteristiche della cellula | Eucarioti (vero nucleo) | Procarioti (nucleoide) |
|--|-------------------------|------------------------|
| DIMENSIONE DI UNA CELLULA TIPO (DIAMETRO) | 2-25 μm | 0,3-2 μm |
| REGIONE NUCLEARE | | |
| Membrana nucleare | + | - |
| Nucleolo | + | - |
| Numero di cromosomi | >1 | 1 |
| Presenza di istoni | + | - |
| Divisione nucleare per mitosi | + | - |
| STRUTTURE CITOPLASMATICHE | | |
| Flussi citoplasmatici e movimenti ameboidi | + | - |
| Mitocondri | + | - |
| Reticolo endoplasmatico | + | - |
| Apparato del Golgi | + | - |
| Lisosomi, vacuoli, cloroplasti | + | - |
| Ribosomi | 80S | 70S |
| Mesosomi | - | + |
| STRUTTURE DI SUPERFICIE | | |
| Membrana citoplasmatica | + | + |
| Steroli nella membrana | + | - (raramente +) |
| Peptidoglicano nella parete cellulare | - | + |
| Flagelli, se presenti | Con microtubuli | Composti di flagellina |

PROTOZOI

Si tratta di organismi unicellulari, con le caratteristiche tipiche delle cellule del mondo animale: mancanza della parete cellulare e incapacità di realizzare la fotosintesi. La maggior parte dei protozoi è estremamente mobile grazie alla presenza di pseudopodi, flagelli o ciglia (vedi Figura 1.1). I protozoi sono responsabili di molte malattie ad ampia diffusione; la malaria, per esempio, è una malattia protozoaria che colpisce più soggetti di qualunque altra malattia infettiva (*Plasmodium*). Anche gli agenti della tripanosomiasi o malattia del sonno (*Trypanosoma*) e della dissenteria amebica (*Entamoeba*) sono protozoi.

FUNGHI (MICETI)

Le caratteristiche salienti che contraddistinguono la maggior parte dei funghi sono: (1) presenza della parete cellulare; (2) mancanza di mobilità; (3) assenza della fotosintesi. Per

la loro crescita dipendono in genere da una fonte esterna di composti organici, rappresentata da organismi morti; alcuni funghi, però, possono utilizzare, quale fonte nutritiva, anche tessuti viventi, causando spesso malattie.

Sono denominati **lieviti** quei funghi rappresentati da singole cellule, mentre altri, denominati **muffe**, producono strutture multicellulari con caratteristici filamenti (ife), spesso forniti di fruttificazioni (conidi) (vedi Figura 1.1).

Alcuni funghi sono dimorfici: assumono cioè la forma di lievito o di muffa a seconda delle condizioni ambientali; questo è tipico di certi funghi patogeni che crescono come muffe nel suolo e come lieviti nei tessuti dell'ospite che infettano. Sono responsabili delle malattie più persistenti e sfiguranti che ancora prevalgono in quasi tutto il mondo. Tra le più comuni malattie causate da funghi vi sono le dermatomicosi, le dermatofitosi, le infezioni da lieviti della bocca e della vagina, oltre a numerose e gravi malattie sistemiche. I funghi patogeni saranno trattati ampiamente nel Capitolo 18.

ALGHE

Le alghe rappresentano un gruppo molto diversificato di microrganismi che vanno da singole cellule microscopiche (vedi Figura 1.1) alle alghe marine, che raggiungono notevoli dimensioni. Possono essere mobili o immobili e possiedono in prevalenza una parete cellulare che nelle **diatomee** è costituita da materiale siliceo. Con una sola eccezione, le alghe sono fotosintetiche e si riconoscono facilmente per la presenza di cloroplasti nel citoplasma.

Attraverso la **fotosintesi**, le alghe generano quasi la metà dell'ossigeno presente nell'atmosfera terrestre. Poiché per questo processo è indispensabile la luce solare, la maggior parte delle alghe necessita di habitat esposti alla luce e quindi non infetta animali o uomini. Unica eccezione è rappresentata da *Prototheca*, un'alga che ha apparentemente perso la sua capacità fotosintetica ed è responsabile della malattia, riscontrabile nell'uomo e negli animali, chiamata prototecosi. Altre alghe possono invece rilasciare tossine e contaminare così le acque in cui crescono; tali **tossine** sono poi responsabili di manifestazioni morbose nei pesci, negli animali e nell'uomo. Si rammenta che, in passato, tra le alghe venivano inclusi anche microrganismi procarioti, le **alghe verdi-blu**, che ora vengono classificate separatamente con il nome di **cianobatteri**.

I microrganismi procarioti, i virus e i miceti saranno trattati estesamente, ponendo particolare accento sul loro ruolo di agenti patogeni.

Dai procarioti agli eucarioti

Si pensa che tutti gli organismi che oggi vivono sulla Terra derivino da una cellula primordiale, formatasi alcuni miliardi di anni fa. Questa cellula, favorita rispetto a eventuali altre strutture, assunse la guida di quel processo di divisione cellulare e di evoluzione che alla fine avrebbe coperto la Terra di piante e animali, mutando la composizione della sua atmosfera e rendendola sede di vita intelligente.

Le affinità di origine fra gli organismi sono troppo marcate per essere spiegate in altro modo. Una pietra miliare importante,

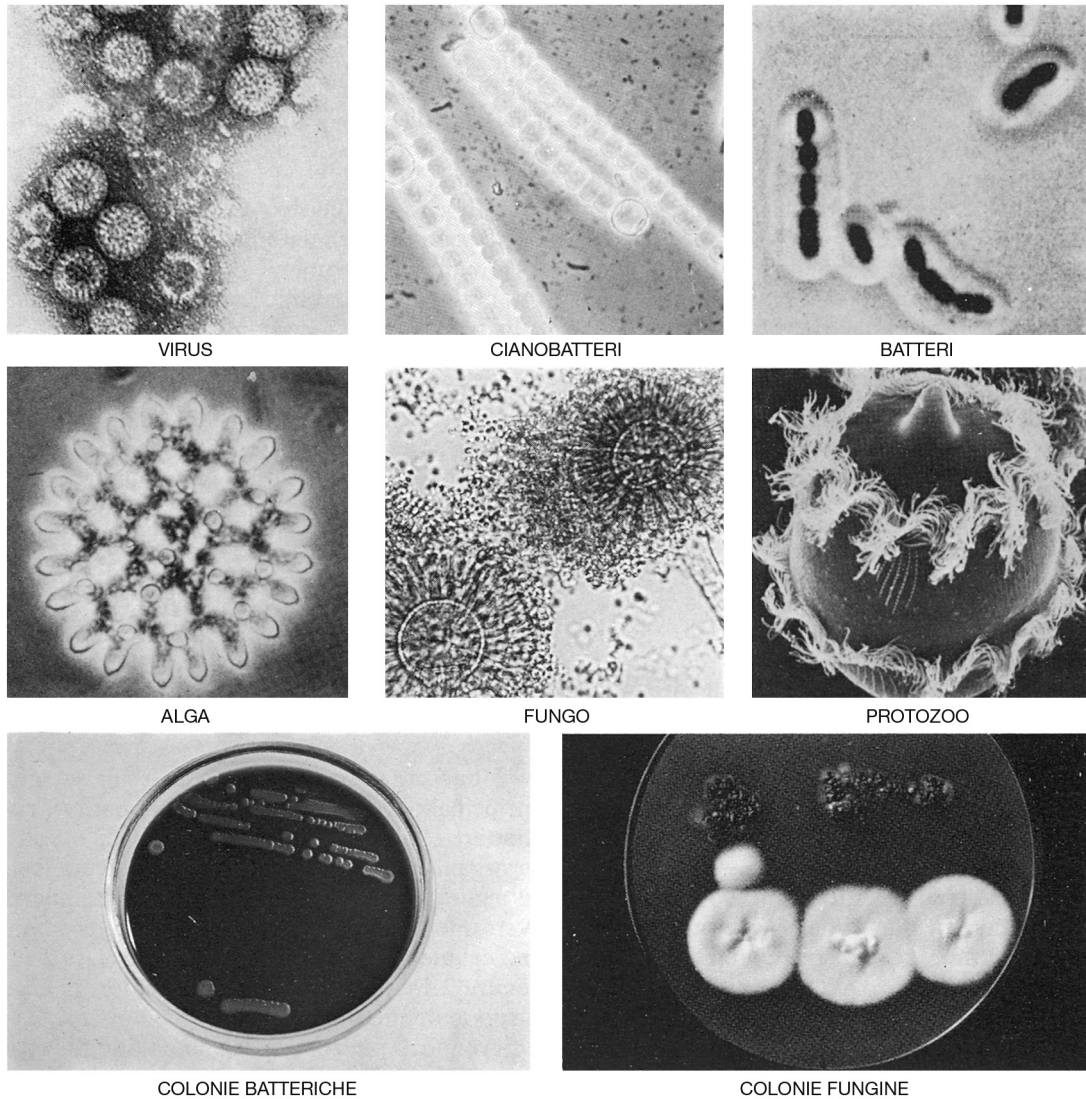


FIGURA 1.1 Prototipi dei principali gruppi di microrganismi e delle colonie.

lungo questa via evolutiva, si ebbe circa 1,5 miliardi di anni fa, quando si realizzò il passaggio da piccole cellule con una struttura interna relativamente semplice (i cosiddetti procarioti, che comprendono le differenti forme di batteri) alle più grandi e decisamente più complesse cellule eucariote, quali quelle che troviamo negli animali e nelle piante superiori.

È ovvio che l'evoluzione dei batteri è strettamente dipendente dall'evoluzione delle loro reazioni metaboliche. In effetti, i batteri possono duplicarsi rapidamente dividendosi semplicemente in due per **scissione binaria**: in condizioni ottimali una cellula procariota si può dividere ogni 20 min e perciò dà origine a miliardi di cellule (simile all'attuale popolazione umana sulla Terra), in circa 10 ore. Tale caratteristica consente la facile comparsa, in una popolazione così numerosa, di mutanti capaci di adattarsi celermente alle modificazioni dell'ambiente. In laboratorio, per esempio, una popolazione di batteri, mantenuta in adatte condizioni, in poche settimane potrà evolvere, per mutazione spontanea e selezione naturale,

in modo da poter utilizzare come fonte di carbonio nuovi tipi di molecole di carboidrati.

Vi sono batteri che virtualmente possono utilizzare come nutrienti ogni tipo di molecole organiche, fra cui carboidrati, aminoacidi, grassi, idrocarburi, polipeptidi e polisaccaridi. Alcuni sono in grado di ricavare atomi di carbonio dalla CO_2 e di azoto dall' N_2 . Poiché la maggioranza delle reazioni chimiche metaboliche e degli enzimi che le catalizzano sono in tutti gli esseri viventi, dai batteri all'uomo, si pensa che tali sistemi siano stati presenti nelle cellule ancestrali che diedero origine a tutti questi organismi (Figura 1.3).

I cambiamenti evolutivi hanno inizialmente previsto, da parte della cellula, un'acquisizione di ulteriore DNA con conseguente sviluppo di sistemi atti a ripiegarlo e compattarlo, mediante specifiche proteine, in complessi discreti (cromosomi) e a suddividerlo egualmente tra le cellule figlie. La Tabella 1.2 mette a confronto il differente contenuto in DNA dei diversi microrganismi e degli organismi superiori animali.

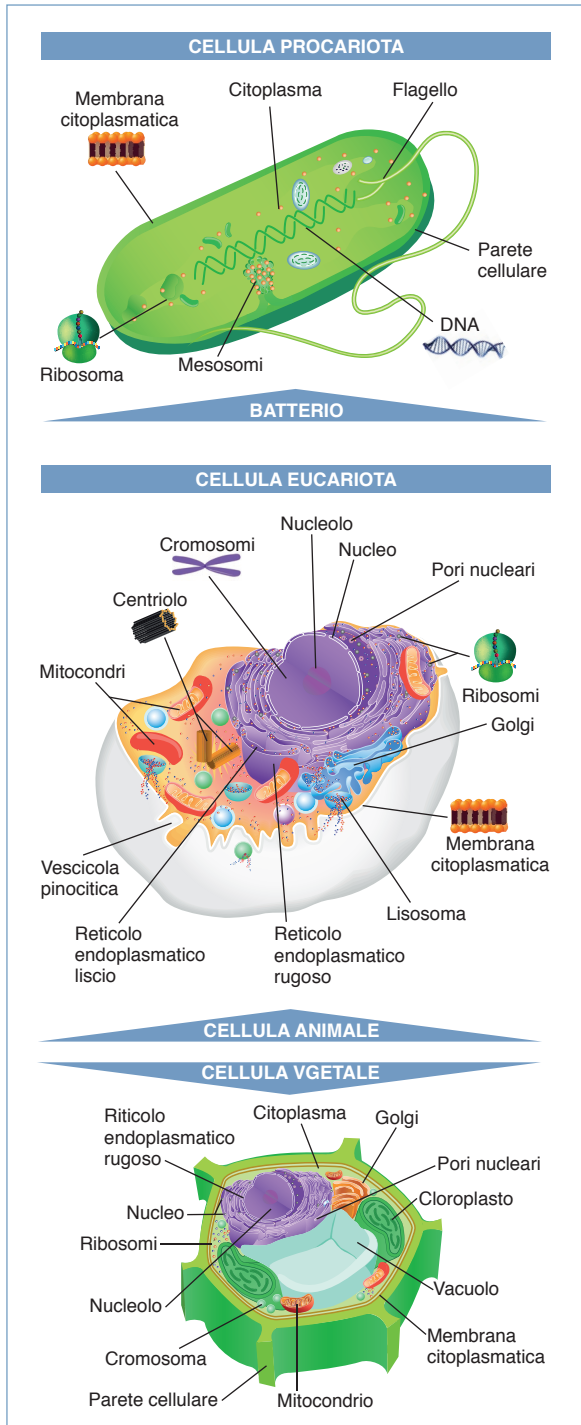


FIGURA 1.2 Struttura di cellule procariote ed eucariote a confronto.

Poiché le proteine che catalizzano le reazioni metaboliche fondamentali (enzimi), pur continuando ad assolvere le stesse funzioni essenziali, hanno subito progressive modificazioni man mano che gli organismi evolvevano in forme divergenti, è possibile avere indicazioni molto valide

sull'evoluzione delle specie analizzando le sequenze degli aminoacidi nelle proteine dello stesso tipo, presenti in specie differenti. Le indicazioni così ottenute concordano perfettamente con quelle derivate da altre fonti, per esempio i reperti fossili.

A tale proposito è interessante segnalare che ancora oggi, accanto alle comuni forme di batteri che vivono normalmente nel suolo, nell'acqua e negli organismi viventi (**eubatteri**), esistono anche batteri che hanno mantenuto caratteristiche primordiali (**archebatteri**).

GLI ARCHEBATTERI

La tradizionale e netta distinzione tra cellule procariote ed eucariote deve essere rivista alla luce delle recenti scoperte dei microbiologi, che hanno individuato particolari tipi batterici, denominati **archebatteri**, le cui caratteristiche li pongono come forme di passaggio tra procarioti ed eucarioti. Infatti, come i procarioti, hanno un diametro medio di circa 1 μm , mancano di organelli a doppia membrana, non possiedono un vero nucleo e i loro ribosomi hanno un coefficiente di sedimentazione 70S. D'altra parte, come gli eucarioti: (1) hanno una parete cellulare priva di peptidoglicano; (2) la loro sintesi proteica è influenzata dai tipici inibitori della sintesi eucariota; (3) possiedono proteine e pigmenti; (4) operano processi biochimici tipici delle cellule eucariote.

Questi batteri che vivono in habitat assolutamente ostili per altre forme di vita, quali profondità oceaniche ad alta concentrazione salina, elevate temperature e ambienti molto acidi, sono da alcuni considerati come l'anello mancante che può dimostrare, nella teoria evuzionistica della vita sulla Terra, lo sviluppo degli eucarioti a partire dai procarioti.

Secondo altri ricercatori, invece, e più verosimilmente, a partire da una cellula primitiva ritenuta progenitore universale, chiamata **progenote**, a struttura molto più semplice degli attuali procarioti, si sarebbero sviluppate tre diverse linee separate di evoluzione cellulare: gli archebatteri, i procarioti e gli eucarioti.

I MITOCONDRI SONO ANTICHI BATTERI

Le cellule procariote hanno caratteristiche molto simili a quelle dei mitocondri delle cellule eucariote: hanno dimensioni simili, contengono un singolo cromosoma circolare e in esse la sintesi proteica e il tipo di ribosomi sono sovrapponibili. Questi rilievi suggeriscono, pertanto, che i mitocondri si siano sviluppati da un antenato procariota, capace di penetrare nel citoplasma di cellule più grandi, con le quali stabiliva una relazione endosimbiotica. Tale "antenato" ospitato era probabilmente molto efficiente nel produrre, mediante respirazione, energia disponibile e quindi, dopo milioni di anni di coesistenza, ha perso la capacità di esistere in modo indipendente e si è trasformato in organello deputato a fornire energia alla cellula ospite.

Al di là dell'interesse speculativo a supporto della teoria evolutiva, tale rilievo assume notevole importanza se si pensa che le cellule eucariote animali possono essere danneggiate da alcuni farmaci antibatterici: tale fenomeno può essere, cioè, dovuto a un effetto dannoso sui mitocondri a causa della loro similarità funzionale con le cellule batteriche. Per esempio, antibiotici

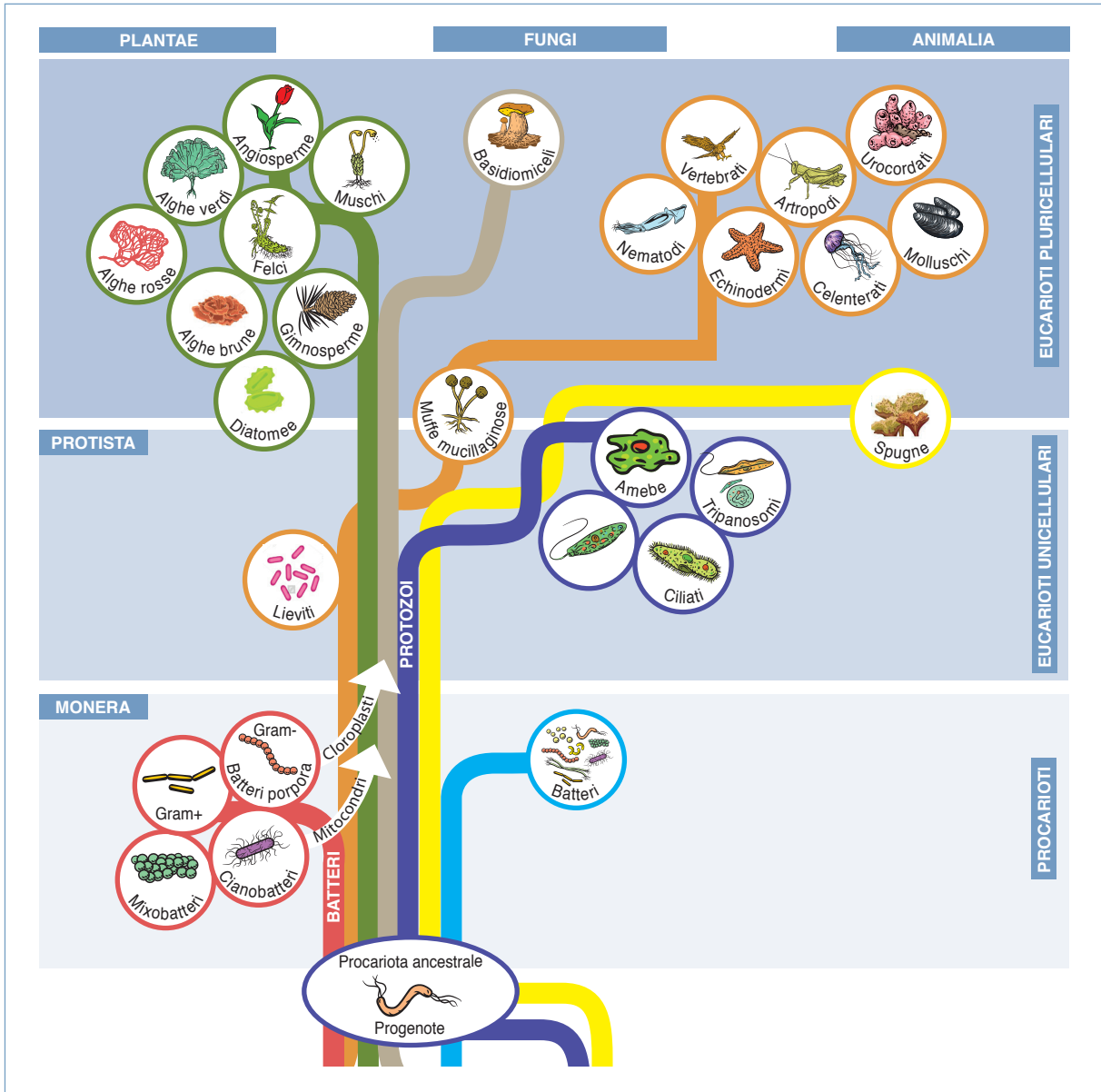


FIGURA 1.3 Rappresentazione schematica dei 5 regni del mondo vivente, secondo la classificazione di Whittaker. Sono evidenti i tre livelli di organizzazione: procariotico (regno *Monera*), eucariotico unicellulare (regno *Protista*) ed eucariotico pluricellulare (regni: *Fungi*, *Plantae* e *Animalia*).

quali la tetraciclina e l'eritromicina, che interferiscono con la sintesi proteica batterica, inibiscono anche la funzione dei ribosomi mitocondriali, sebbene più blandamente.

DISTRIBUZIONE DEI MICRORGANISMI IN NATURA

I microrganismi sono presenti virtualmente ovunque. Si riscontrano infatti nel suolo, nell'acqua, nell'aria, nei cibi e in tutti i materiali e utensili che utilizziamo. La loro enorme varietà ne consente la sopravvivenza nelle condizioni più im-

pensabili: microrganismi sono stati trovati nell'aria ad altezza di chilometri dal suolo; altri si moltiplicano in sorgenti calde naturali con temperature di 90 °C e almeno un tipo cresce bene anche a 250 °C; altri ancora possono crescere nell'acido solforico, nell'acqua distillata o deionizzata, utilizzando piccolissime quantità di metaboliti che si dissolvono dall'aria. I microrganismi sono ovviamente presenti in maggiore abbondanza dove trovano nutrimento, umidità e temperatura adatte al loro accrescimento e alla loro moltiplicazione. Poiché tali condizioni sono quelle in cui vivono ordinariamente animali e uomini, ci si spiega perché i microrganismi siano presenti su tutte le superfici degli organismi viventi vegetali e animali (uomo compreso) e crescano abbondantemente nel

Tabella 1.2 Complessità genomica e contenuto in DNA dei diversi microrganismi e degli organismi superiori animali

| | Dimensione del genoma (in paia di nucleotidi) | Massimo numero di proteine codificato* |
|-------------------------------|---|--|
| VIRUS | | |
| <i>Simian Virus 40</i> (SV40) | 5×10^3 | 4 |
| Fago T7 | 4×10^4 | 3×10 |
| Fago T2 | 2×10^5 | $1,6 \times 10^2$ |
| PROCARIOTI | | |
| Micoplasmii | 3×10^5 | $2,5 \times 10^2$ |
| <i>Bacillus</i> | 3×10^6 | $2,5 \times 10^3$ |
| <i>E. coli</i> | 4×10^6 | $3,3 \times 10^3$ |
| FUNGHI | | |
| Lieviti | 2×10^7 | $1,6 \times 10^4$ |
| ANIMALI | | |
| <i>Drosophila mel.</i> | 2×10^8 | $1,6 \times 10^5$ |
| Pollo | 2×10^9 | $1,6 \times 10^6$ |
| Uomo | 5×10^9 | $4,1 \times 10^6$ |

*Si calcolano 1.200 paia di basi per proteina.

Modificata da: A.L. Lehninger, D.L. Nelson, M.M. Cox. *Principles of biochemistry*. Worth Publishers, New York, 1993.

cavo orale, nell'apparato respiratorio e nel tratto intestinale: un terzo del peso secco delle feci è rappresentato da batteri. Talvolta non ci si rende conto della presenza di milioni di miliardi di microrganismi nei nostri corpi, in quanto normalmente questi microbi non stimolano risposte fisiologiche e non causano malattie. Tutti questi microrganismi innocui costituiscono la **flora microbica** e vivono in simbiosi con i loro ospiti (Figura 1.4). A oggi, il termine "flora microbica" è stato sostituito dal termine **microbiota** che sta a indicare l'insieme di tutti i singoli microrganismi (dai batteri, ai funghi, ai protozoi, ai virus), che convivono nel nostro organismo, in quello degli animali e nell'ambiente senza danneggiarli (Box 1.1). Ovviamente i tessuti e gli organi interni che non hanno comunicazione con l'ambiente esterno non contengono, in condizioni fisiologiche, alcun microrganismo.

SIMBIOSI INTRACELLULARE

I batteri non solo colonizzano le superfici cutanee, le mucose e le cavità degli organismi superiori (vegetali e animali), ma possono anche realizzare fenomeni di simbiosi intracellulare (**endosimbiosi**), colonizzando, per esempio, organismi unicellulari come i protozoi. È curioso rilevare che l'endo-

BOX 1.1 IL MICROBIOTA

I microrganismi che compongono il microbiota sono addirittura dieci volte più numerosi rispetto alle cellule del nostro organismo. Infatti, in ciascun individuo sono presenti più di 100 trilioni di microrganismi. Il microbiota si trova non solo nell'intestino, ma anche sulla pelle, sui capelli, nella cavità orale, nei polmoni, negli organi genitali (vagina), nelle narici, nella cavità oculare e nel canale uditivo.

Il microbiota intestinale è il più esteso (rappresenta circa il 70% del totale): qui vivono oltre 400 specie differenti di microrganismi. Il microbiota di ogni individuo è esclusivo e rappresenta, quindi, una vera e propria impronta biologica, capace di contraddistinguere gli uni dagli altri.

simbiosi nei protozoi può riguardare non solo i batteri, ma anche funghi, alghe e persino altri protozoi.

Poco si conosce sugli effetti del simbionte sul suo ospite; in qualche caso si è osservato che il batterio ospitato produce metaboliti importanti per l'ospite o, ancora, che alcuni simbionti batterici producono tossine, utilizzate dal protozoo per eliminare altri competitori biologici.

RUOLO DEI MICRORGANISMI

La varietà e l'importanza delle attività microbiche, che si esplicano in ogni processo biologico e ovunque in natura, sono dimostrate dallo sviluppo di numerose branche specialistiche della microbiologia e precisamente: la microbiologia degli ecosistemi acquatici (marini e di acqua dolce), la microbiologia delle acque per usi domestici e delle acque di rifiuto, la microbiologia dell'aria, del suolo, del latte, degli alimenti, vegetale, degli insetti, industriale (sfruttamento dei microrganismi per le produzioni), spaziale o esobiologia. Per ultima viene citata la microbiologia medica, che si occupa dei microbi patogeni, cioè capaci di causare malattie negli animali e nell'uomo, e che, ovviamente, sarà presa in particolare considerazione nei prossimi capitoli.

Attività benefiche dei microrganismi

Senza microrganismi ogni forma di vita presente sulla Terra finirebbe. Essi, infatti, sono in grado di decomporre ogni materiale organico morto in metaboliti semplici, che possono poi essere utilizzati dalle piante e da altri organismi fotosintetici. Come decompositori, i microbi svolgono una funzione essenziale per il **ciclo biogeochimico**, che garantisce il flusso degli elementi nutritivi nella **catena alimentare**. Questo processo di riciclo consente alla Terra, con la sua limitata fonte di elementi nutritivi, di mantenere la continuità della vita.

Alcuni batteri e i cianobatteri contribuiscono, inoltre, alla fertilità del suolo, trasformando l'azoto atmosferico in composti più facilmente utilizzabili, attraverso un processo noto come **fissazione dell'azoto**. In effetti, sebbene l'atmosfera terrestre sia costituita per l'80% da azoto molecolare (N_2), la

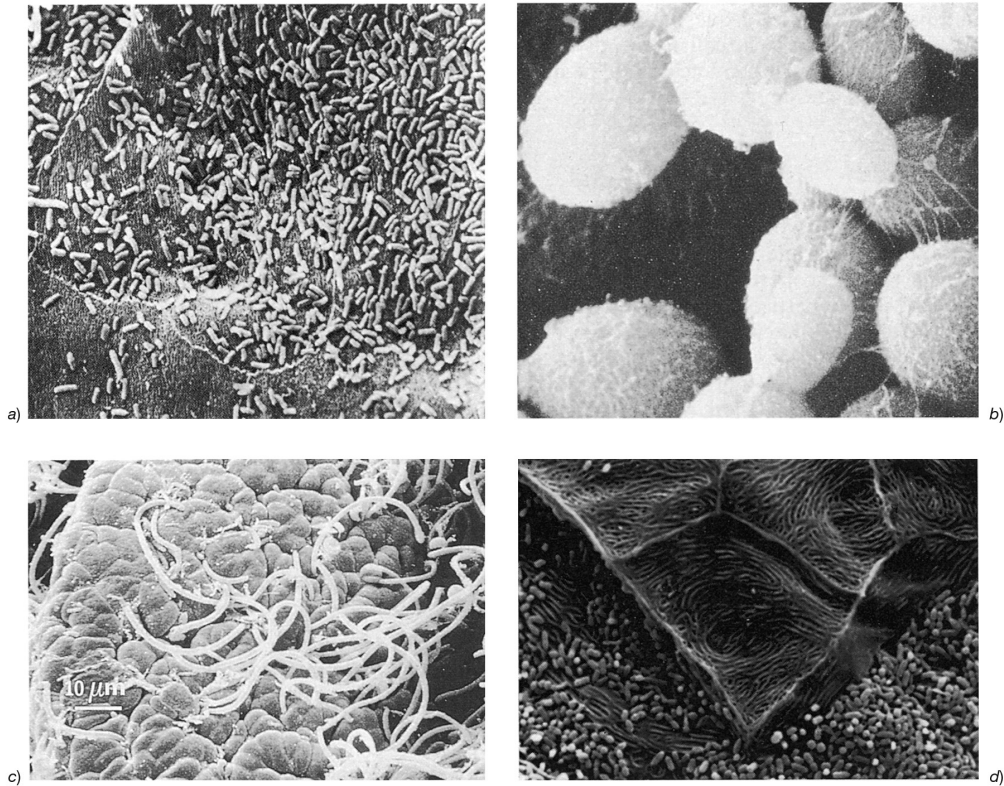


FIGURA 1.4 Flora microbica normale, presente sulle varie mucose, osservata al microscopio elettronico a scansione. a) Bacilli sulla mucosa esofagea. b) Lieviti adesi alla parete gastrica. c) *Streptobacillus moniliformis* che colonizza la mucosa dell'intestino, anche penetrandovi. d) Batteri che colonizzano le cellule epiteliali della vagina.

maggior parte degli organismi non è in grado di utilizzarlo in questa forma. È perciò indispensabile l'intervento dei microrganismi fissatori di azoto che lo convertono in ammoniaca, che viene poi trasformata in sostanza organica (proteine e acidi nucleici) dalle piante. I più importanti fissatori di azoto sono i batteri del genere *Rhizobium*, che hanno un peculiare rapporto simbiotico con le leguminose: infettano le radici di queste piante producendo i tipici **noduli radicalari**, contenenti milioni di cellule batteriche (Figura 1.5). Le connessioni fisiche e fisiologiche tra i noduli e il sistema vascolare delle radici permettono lo scambio dei materiali: la pianta, mediante i suoi carboidrati, fornisce la sorgente di carbonio e l'energia ai batteri, i quali, dal canto loro, apportano composti azotati attraverso la fissazione dell'azoto. Anche la produzione di carne per le nostre esigenze alimentari dipende dai microrganismi: i **ruminanti** infatti, incapaci di digerire da soli la cellulosa, l'amido e la pectina che costituiscono la base della loro dieta vegetale, possono sfruttare tali sostanze grazie ai **microrganismi celluloso-digestori** che vivono nel loro rumine (Box 1.2).

Ancora, alcuni dei nostri cibi, come i formaggi, sono prodotti ottenuti mediante l'azione di microrganismi che si sviluppano o vengono aggiunti nel latte (per es., nel caso dei formaggi erborinati) e così avviene per la lievitazione del pane e per la produzione di alcune bevande alcoliche, che sono possibili grazie all'intervento di particolari microrganismi: i lieviti.

Inoltre, i microrganismi vengono sfruttati per la produzione di parte dell'energia (trasformazione di detriti organici e letame in metano) e per la demolizione di rifiuti inquinanti prodotti dall'industria chimica e farmaceutica. Ancora, la microbiologia industriale sfrutta da anni i microrganismi per ottenere prodotti diversi, quali supplementi e stabilizzanti alimentari, solventi, additivi e, ovviamente, farmaci.

Attività nocive dei microrganismi

La moltiplicazione batterica non sempre porta a eventi benefici. Tra le conseguenze negative sono da menzionare la decomposizione di prodotti utili, la contaminazione di alimenti e bevande e, ovviamente, le numerose malattie dell'uomo, degli animali e delle piante.

Non esiste infatti sostanza che non possa essere modificata dall'intervento microbico: alimenti, prodotti biologici, gomme, vernici, isolanti elettrici, tessuti e persino metalli possono venire distrutti a opera del metabolismo microbico. Anche la decomposizione del legno da parte dei termiti è conseguenza dell'attività cellulolitica di batteri che colonizzano l'apparato gastroenterico dell'insetto.

I MICRORGANISMI QUALI AGENTI DI MALATTIA

I progressi della microbiologia, dell'immunologia, della chemioterapia e della vaccinologia hanno ridotto drasticamente

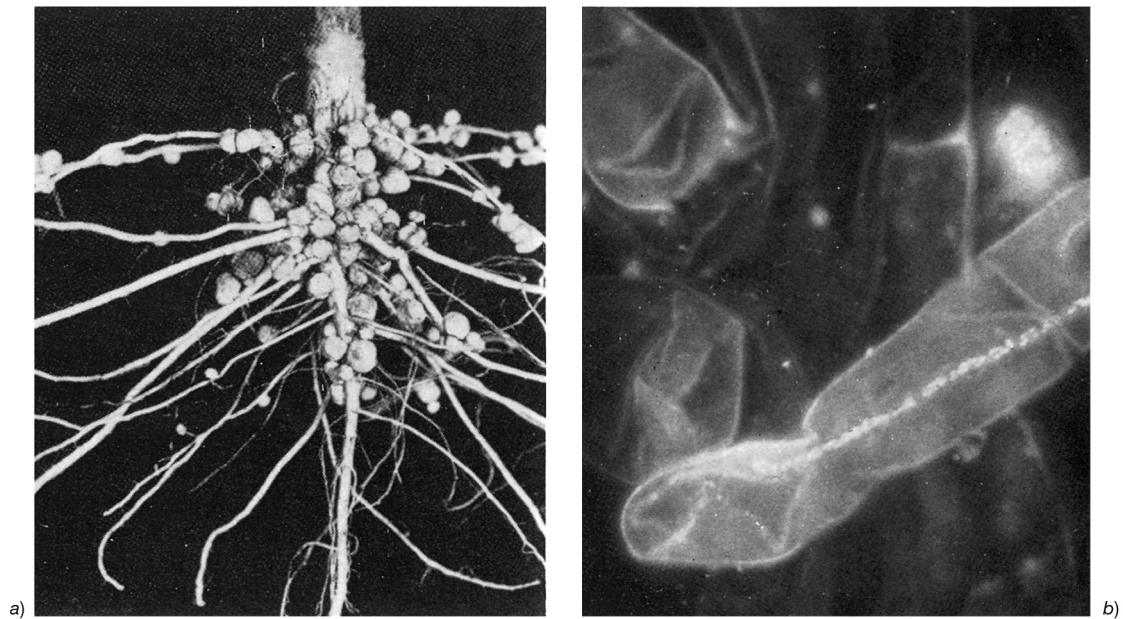


FIGURA 1.5 a) Noduli radicolari di una leguminosa, costituiti da cellule delle radici rigonfie di batteri azoto-fissatori del genere *Rhizobium*. I noduli si formano in risposta a secrezioni dell'apparato radicale stesso, che stimola l'infezione da parte di tali batteri. b) Particolare del fenomeno simbiotico dei batteri azoto-fissatori in una piantina di trifoglio: i microrganismi, sotto forma di catenelle, hanno invaso un pelo radicale per tutta la sua lunghezza.

BOX 1.2 I BATTERI DEL RUMINE: UN ESEMPIO DI BATTERI "POSITIVI"

I ruminanti, benché erbivori, sono incapaci di digerire da soli la cellulosa, l'amido e la pectina che costituiscono la base della loro dieta vegetale. Per fare questo "sfruttano" la presenza nel loro rumine di batteri cellulolitici. Inoltre, poiché si tratta di una sorta di "catena di smontaggio", nel loro rumine vi sono anche altri tipi di batteri (amilolitici, pectinolitici, lipolitici, proteolitici, zucchero-fermentanti ecc.) che permettono di digerire efficacemente le macromolecole e le molecole che via via vengono a essere prodotte.

Il loro ruolo positivo viene, inoltre, coadiuvato dalla presenza di una microfauna protozoaria che contribuisce alle attività cataboliche ruminali (simbiosi).

l'impatto delle malattie infettive, in relazione a morbilità e mortalità, per l'uomo e gli animali ma contemporaneamente altre problematiche sono intervenute (come per esempio la pandemia da SARS-CoV-2 e il problema dell'antimicrobico-resistenza), come vedremo più avanti.

I MICRORGANISMI E LA CONTAMINAZIONE DEGLI ALIMENTI

Gli alimenti sono particolarmente esposti alla decomposizione da parte dei microrganismi per la ricchezza in sostanze nutritive, che rappresentano un ottimo terreno culturale per numerose specie batteriche.

I cibi contaminati sono spesso immangiabili o, peggio, rappresentano fonte di malattie per il consumatore se il

microrganismo contaminante è un patogeno o produce tossine (vedi **Capitolo 7**). Analoga considerazione vale per le bevande.

Si vedrà in seguito che alcune misure precauzionali, quali la pastorizzazione, possono ridurre notevolmente l'incidenza sia delle alterazioni degli alimenti sia delle malattie da essi trasmesse.

Oltre che agendo sul prodotto pronto per il consumo, i microrganismi nocivi limitano notevolmente la produzione degli alimenti, già all'origine, attraverso le numerose malattie infettive che causano nei vegetali e negli animali, rispettivamente coltivati o allevati a scopo alimentare.

Le tossinfezioni alimentari

Esistono a tutt'oggi più di 250 tossinfezioni alimentari, che si manifestano con differenti sintomi e sono causate da diversi agenti patogeni, in genere batteri, virus e parassiti. I cosiddetti "patogeni emergenti" come *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* si diffondono anche per effetto dell'incremento di scambi commerciali, attraverso la ristorazione collettiva e i viaggi. Le tossinfezioni alimentari possono derivare dall'infezione da parte di microrganismi patogeni che colonizzano le mucose intestinali oppure dall'ingestione di alimenti contaminati da questi microrganismi o anche dalla presenza nei cibi di tossine di origine microbica, che causano malattia anche quando il microrganismo produttore non è più rilevabile (per es., *Staphylococcus aureus*, *Clostridium botulinum*, *Escherichia coli* enterotossico e *Bacillus cereus*).

La contaminazione dei cibi può avvenire in molti modi; alcuni microrganismi sono presenti nell'intestino di animali sani e

vengono in contatto con le loro carni durante la macellazione, trasmettendosi poi a chi le mangia. Frutta e verdura possono contaminarsi se lavate o irrigate con acqua contaminata da feci animali o umane. Fra gli altri, *Salmonella* può contaminare le uova dopo aver infettato il sistema ovarico delle ovaiole. I batteri del genere *Vibrio*, normalmente presenti nelle acque, vengono filtrati e concentrati dai frutti di mare, come ostriche e mitili, e possono causare infezioni se gli alimenti vengono ingeriti crudi. Le infezioni possono essere trasmesse al cibo, da parte degli operatori, anche durante la fase di manipolazione e preparazione degli alimenti (per es., *Shigella*, virus dell'epatite A) sia grazie al contatto con le mani sia con gli strumenti della cucina utilizzati, per esempio, nella preparazione di diversi alimenti e non disinfettati adeguatamente. Inoltre, grande importanza rivestono le condizioni in cui i cibi sono mantenuti durante le varie fasi di conservazione:

la catena del freddo, per esempio, previene lo sviluppo e la moltiplicazione di alcuni microrganismi patogeni.

In genere, l'apparato interessato dalle tossinfezioni alimentari è quello gastrointestinale con nausea, vomito, crampi addominali e diarrea, e con una insorgenza dei sintomi in un arco di tempo relativamente breve (da ore a giorni). Nel caso di ingestione di alimenti contaminati da microrganismi che producono tossine, viene solitamente colpita la prima parte dell'apparato gastroenterico e i sintomi (nausea e vomito più che diarrea e molto più raramente febbre e brividi) si manifestano in tempi piuttosto brevi. Nel caso, invece, di tossinfezioni causate da microrganismi che tendono a diffondersi anche per via ematogena, i tempi di manifestazione possono essere più lunghi e il sintomo più frequente è la diarrea, accompagnata da febbre e brividi.

Nella Tabella 1.3 sono riportate le più importanti tossinfezioni alimentari e alcune loro caratteristiche.

Tabella 1.3 Batteri che causano le tossinfezioni alimentari

| Microrganismo | Principali alimenti contaminati | Meccanismo |
|--|--|---|
| <i>Salmonella</i> spp. | Carne, pollame, uova e pesce | Colonizzazione enterica e liberazione di endotossine |
| <i>Clostridium perfringens</i> | Carne e pollame: alimenti riscaldati | Produzione dell'enterotossina durante la sporulazione dei batteri |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | Prosciutto, pollame, pasticci di carne, creme a base di uova e latte, gelati | Enterotossina prodotta negli alimenti (intossicazione) |
| <i>Bacillus cereus</i> | | |
| Sindrome emetica | Riso e occasionalmente spaghetti | Enterotossina prodotta negli alimenti (intossicazione) |
| Sindrome diarroica | Salsicce, carne, pollame, pesce e latticini | Enterotossine prodotte nell'intestino |
| <i>Vibrio parahemolyticus</i> | Piatti di pesce e molluschi crudi | Colonizzazione enterica |
| <i>Clostridium botulinum</i> | Alimenti affumicati, conservati in scatola, in salamoia e sottoaceti | Neurotossina preformata negli alimenti (intossicazione) |
| <i>Escherichia coli</i> | Alimenti crudi e cotti; acqua contaminata | Enterotossine termolabili o termostabili prodotte a livello intestinale |
| <i>Listeria monocytogenes</i> | Insalate di cavolo bianco, cioccolato al latte, latte crudo e latticini, salumi | Colonizzazione enterica |
| <i>Yersinia enterocolitica</i> | Acqua, latticini e carne (più frequentemente di maiale) contaminati | Colonizzazione enterica |
| <i>Campylobacter jejuni</i> | Pollame malcotto, pesci e molluschi, latte e acqua | Colonizzazione enterica |
| <i>Aeromonas hydrophila</i> | Acqua, latte e pesci di mare contaminati | Enterotossina prodotta negli alimenti e nell'intestino |
| Streptococchi del gruppo A <i>Enterococcus faecalis</i> | Latte, dolci al cioccolato, creme a base di latte e uova, prosciutto e cocktail di gamberi | Enterotossina probabilmente prodotta negli alimenti (intossicazione) |