



Lezione 11: La Biodiversità microbica

PROF.STEFANO DUMONTET – DOTT.SSA ROSA ANNA NASTRO

Avvertenza

I MATERIALI PRESENTI IN QUESTE DIAPOSITIVE SONO FRUTTO SIA DI LAVORO PERSONALE CHE DI RICERCHE EFFETTUATE SUL WEB, SU LIBRI E SU ARTICOLI SCIENTIFICI E DIVULGATIVI.

OVE POSSIBILE, SONO STATE RIPORTATE LE FONTI DA CUI SI È DESUNTO IL MATERIALE.

Biodiversità e funzionamento degli ecosistemi microbici

La variabilità biologica tra popolazioni e comunità di organismi (macrorganismi e microrganismi) è il risultato di pressioni selettive imposte dalle condizioni dell'ambiente accoppiate a mutazioni o ricombinazioni del genoma (mutazioni spontanee, duplicazioni, perdite geniche, trasferimenti laterali). Molti dei processi che creano biodiversità si verificano su scale temporali o in condizioni ambientali difficili da riprodurre in laboratorio. La biodiversità delle popolazioni o delle comunità è come un archivio della storia adattativa degli organismi.

Una delle ragioni principali per studiare la biodiversità è quello di «consultare» questi archivi per comprenderne i fattori che controllano l'ecologia e l'evoluzione degli organismi e come questa biodiversità sia correlata al modo in cui funzionano gli ecosistemi.

Queste informazioni sono essenziali per la **gestione** della biodiversità sul nostro pianeta, per limitare la diffusione di parassiti, sfruttare meglio gli organismi che hanno carattere industriale o medico o **per preservare gli organismi coinvolti in importanti processi ecosistemici**.

Il significato di biodiversità

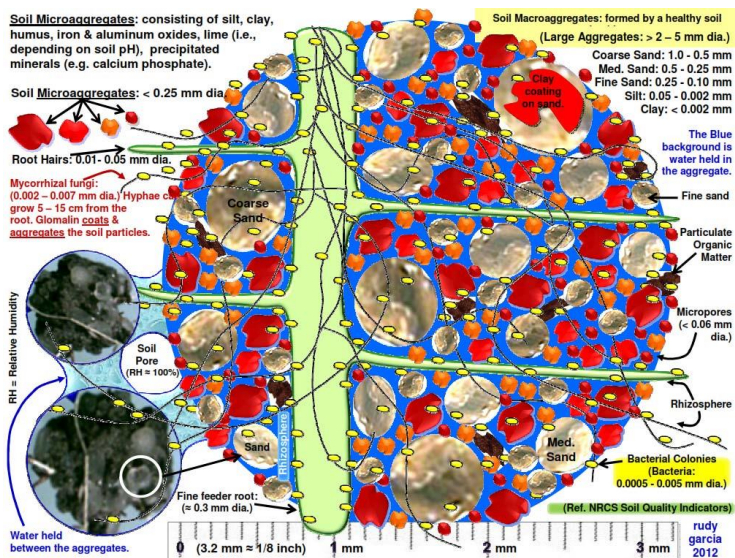
La biodiversità, o diversità biologica, è definita dalla Conferenza dell'ONU su ambiente e sviluppo tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992 (art. 2 della Convenzione sulla diversità biologica) "ogni tipo di variabilità tra gli organismi viventi, compresi, tra gli altri, gli ecosistemi terrestri, marini e altri acquatici e i complessi ecologici di cui essi sono parte; essa comprende la diversità entro specie, tra specie e tra ecosistemi".

La diversità biologica è di fondamentale importanza per la continuità della vita; essa consente agli ecosistemi, alle specie e alle popolazioni di adattarsi, superando i cambiamenti che gli eventi impongono.

La biodiversità attualmente esistente è il risultato di circa 4 miliardi di anni di evoluzione. Tutti gli organismi viventi o vissuti in passato si sono sviluppati da un microrganismo originario attraverso processi di mutazione e selezione. (Enciclopedia Treccani)

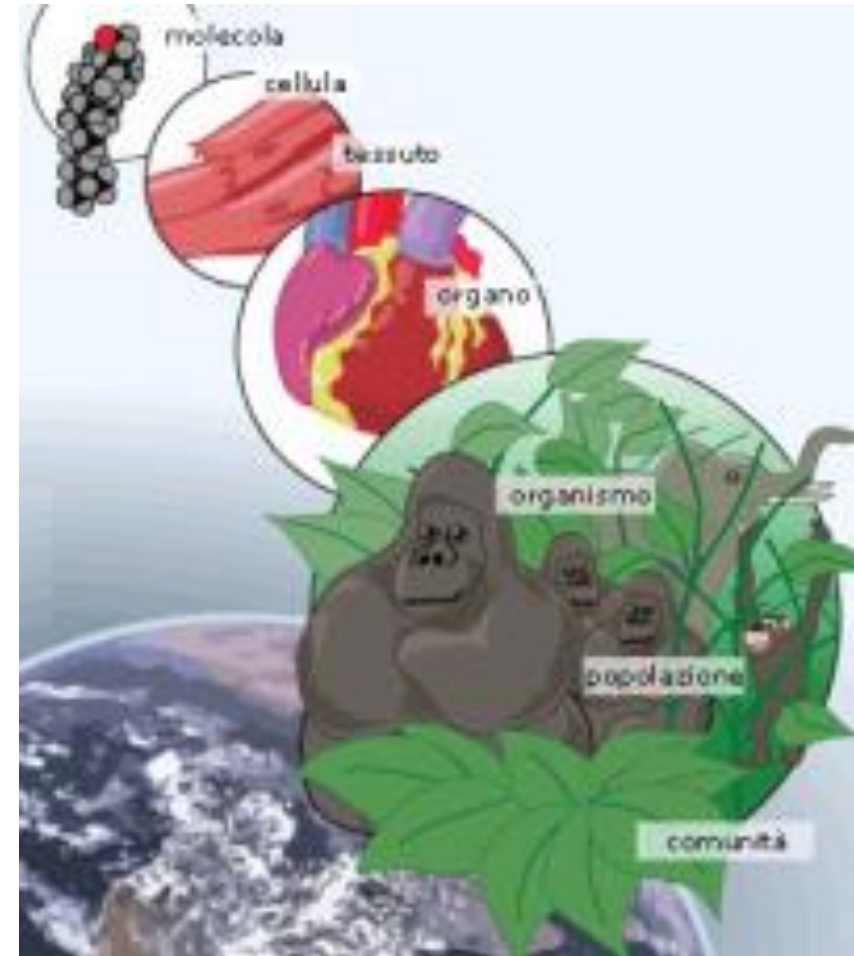
La biodiversità è un attributo specifico di un'area determinata e si riferisce alla varietà all'interno dell'area in termini di organismi, di interazioni tra organismi, di comunità biotiche e i processi biotici, sia naturali che modificati dall'uomo. La biodiversità può essere misurata in termini di diversità genetica, tipologia e numero di specie, di interazioni tra specie e tra comunità biotiche e processi biotici e di quantità di organismi (ad es. abbondanza, biomassa, copertura spaziale).

La biodiversità può essere osservata e misurata a qualsiasi scala spaziale, dai micrositi, ai gruppi di habitat sino all'intera biosfera.

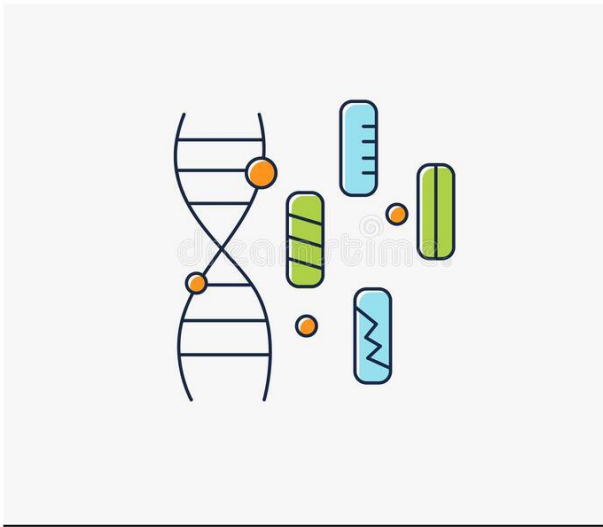


I quattro momenti della biodiversità

- 1) La diversità genetica
- 2) La diversità speciografica
- 3) La diversità ecosistemica
- 4) La diversità metabolica



BIODIVERSITY ICON



La *diversità genetica* definisce la differenza dei geni all'interno di una determinata specie; essa corrisponde quindi alla totalità del patrimonio genetico a cui contribuiscono tutti gli organismi che popolano la Terra.

<https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/biodiversita/le-domande-piu-frequenti-sulla-biodiversita/cose-la-biodiversita#:~:text=La%20diversit%C3%A0%20di%20ecosistema%20definisce,organismi%20vivono%20e%20si%20evolvono.>

La diversità genetica

Solo una piccola frazione ($\approx 1\%$) del materiale genetico degli organismi superiori è espressa nelle forme e nelle funzioni dell'organismo (functional coding sequence).

Non è ancora completamente chiaro lo scopo del rimanente 99% del DNA e non è altresì chiaro il significato delle possibili variazioni al suo interno.

Ciascuno dei 10^9 geni diversi, che si stima siano distribuiti in tutto il bioma, non dà un identico contributo alla diversità genetica globale. In particolare, i geni che controllano i processi biochimici fondamentali sono fortemente conservati in diversi taxa e generalmente mostrano poche variazioni, visto che tali variazioni possono esercitare un forte effetto sulla vitalità dell'organismo. Quest'osservazione non però estendibile a tutti i geni. I geni non essenziali hanno, dunque, più probabilità di mutare senza mettere a rischio l'esistenza dell'organismo. La diversità genica è alla base dell'evoluzione di una popolazione

Panoramica sulla mutazione

Mutazione = un processo che produce un gene o cromosoma diverso dal tipo selvatico

Mutazione = il gene o il cromosoma che risulta da un processo mutazionale

Mutante = organismo o cellula il cui fenotipo modificato è attribuito alla mutazione

Mutazione genica = cambia l'allele di un gene

Mutazione cromosomica = cambiamo segmenti di cromosomi, cromosomi interi, o intere serie di cromosomi

Tipo selvatico (*wilde type*) = Il tipo selvatico è uno standard arbitrario che indica l'organismo «normale» o, per meglio dire, l'organismo di riferimento. Ciò che oggi è considerato *wild type* potrebbe essere stato un mutante nel passato evolutivo recente o remoto.

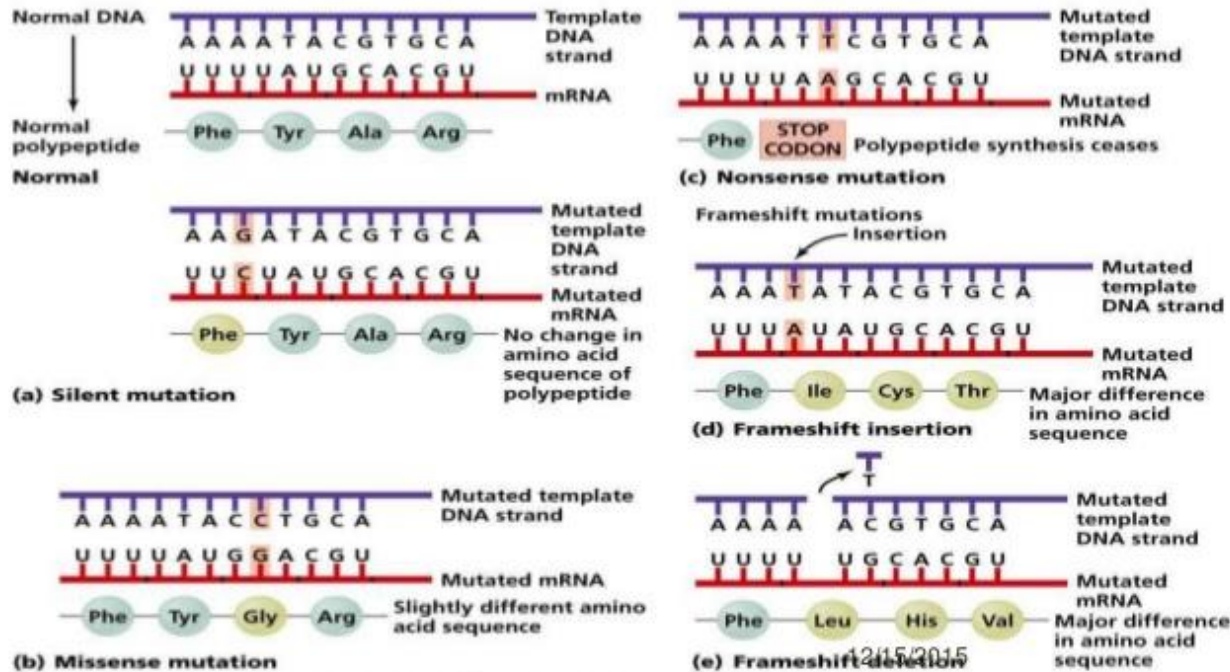
Direzione della mutazione = le «mutazioni in avanti» (*forward mutations*) sono cambiamenti che allontanano dal *wild type*

Direzione della mutazione = le mutazioni inverse (*reverse mutations*) sono cambiamenti che riportano al *wild type*.

Meccanismi di mutazione = Errori nella replicazione del DNA. Errori nella riparazione del DNA. Il mutageno ambientale causa danni al DNA che non vengono riparati correttamente. Trasposoni e sequenze di inserzione (elementi mobili del DNA che possono spostarsi da una posizione del cromosoma a un'altra)

Types of Mutation

43



Copyright © 2006 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

- **Mutazione silente:** la sostituzione di una base azotata in una sequenza di DNA non determina variazione della sequenza amminoacidica della proteina interessata.
- **Mutazione nonsense:** mutazione ad un nucleotide di una tripletta determina la trasformazione di un codone codificante un amminoacido in un codone di stop
- **Inserzione in frame:** inserzione di una tripletta non influenza «il quadro di lettura» dell'RNA polimerasi
- **Mutazione missenso:** all'interno di una sequenza di DNA viene sostituita una base azotata in modo tale che la sequenza amminoacidica sia modificata
- **Delezioni in frame:** perdita di nucleotidi che, però, non alterano la cornice di lettura dell'RNA polimerasi

<https://image.slidesharecdn.com/bacterialgenetics-24-10-2015-151215144723/95/bacterial-genetics-2015-december-second-mbbs-students-microbiology-43-638.jpg?cb=1450190864>

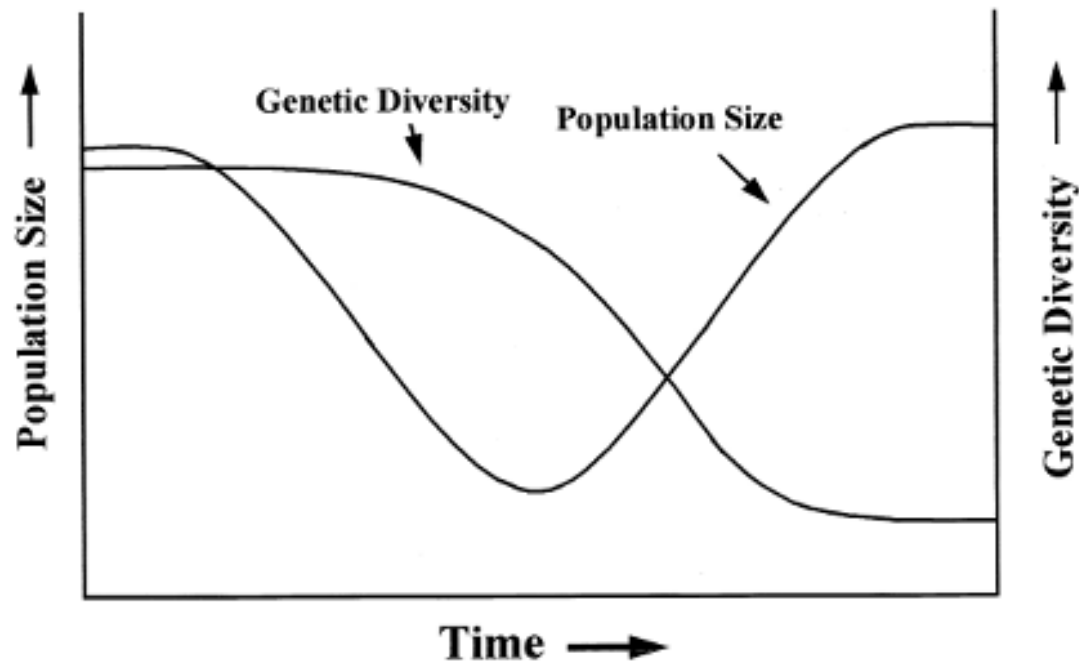


Fig. 2. The relationship between genetic diversity and population numbers. As a population goes through a bottleneck (severe reduction in numbers) genetic diversity is gradually or rapidly lost depending on the size of the population, breeding structure, and other factors. If the population adapts to the new conditions, or the stress is removed, population numbers can recover relatively rapidly. However, genetic diversity does not recover because (in the absence of gene flow from other populations) new mutations that are beneficial or even neutral accrue very slowly.

È comunemente accettato che la diversità genetica sia un carattere positivo per una specie o per un ecosistema in quanto garantirebbe agli organismi la possibilità di adattarsi ai mutamenti delle condizioni ambientali; viceversa, la perdita di diversità viene considerata un evento negativo e viene spesso associata ai mutamenti ambientali, in particolare quelli causati dalla attività umana.

Diversità a livello di specie

Le specie sono le unità descrittive fondamentali del mondo vivente ed è per questo che la biodiversità è comunemente, ma erroneamente, usata come sinonimo di diversità delle specie, in particolare di «ricchezza di specie» (numero di specie in un sito o habitat).

Si stima siano state descritte fino ad oggi circa 1,7 milioni di specie, mentre il numero totale delle specie esistenti attualmente sulla terra dovrebbe variare da 5 a circa 100 milioni. Una stima conservativa suggerisce che potrebbero esserci circa 12,5 milioni di specie viventi sul nostro pianeta.

Quando si considera solo il numero di specie, la vita sulla terra sembra consistere principalmente di insetti e microrganismi. Mentre le specie sono l'obiettivo principale dei meccanismi evolutivi, l'origine e l'estinzione delle specie sono i principali agenti che governano la diversità biologica.

Diversità a livello di specie

Il concetto di cosa sia una specie differisce notevolmente in funzione degli organismi considerati. È per questo motivo, tra l'altro, che la diversità di specie da sola non è una base soddisfacente per definire biodiversità.

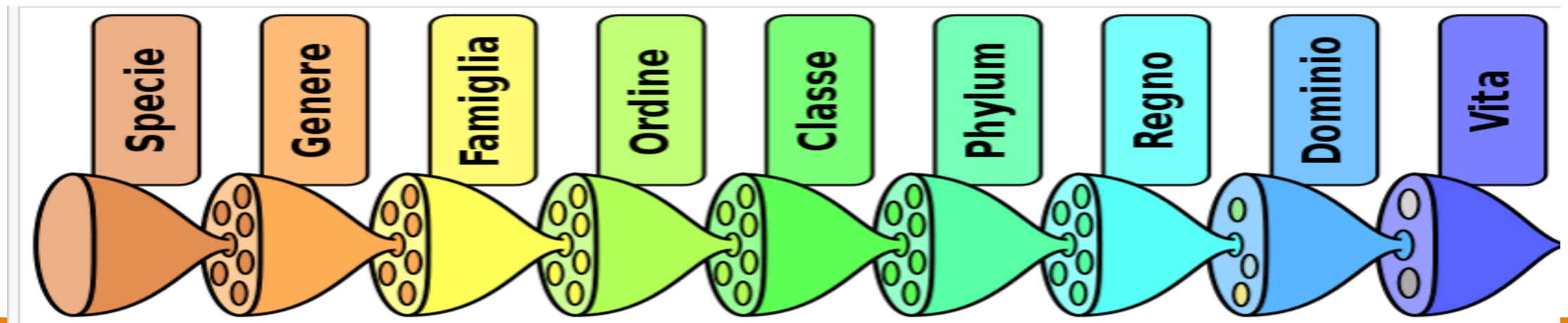
È più difficile sviluppare un sistema naturale di classificazione per i Procarioti rispetto a piante e animali, per i quali, il concetto di SPECIE è legato a due criteri fondamentali:

- 1) essere in grado di incrociarsi e di dare progenie fertile;
- 2) essere isolata, dal punto di vista riproduttivo, da altre popolazioni.

CONCETTO NON VALIDO PER I PROCARIOTI

Un altro motivo, per cui un semplice conteggio del numero delle specie fornisce solo un'indicazione parziale della diversità biologica, riguarda il concetto di grado o entità della variazione, concetto implicito nel termine biodiversità. Per definizione, organismi che differiscono ampiamente l'uno dall'altro, per un certo parametro, contribuiscono più alla diversità complessiva rispetto a quelli che sono molto simili. Maggiori sono le differenze interspecifiche maggiore sarà il contributo alla misura complessiva della diversità biologica. Un sito con molti diversi taxa superiori (Ordine, Classe, Phylum, Regno, dominio) possiede una maggiore diversità tassonomica rispetto a un altro sito con meno taxa superiori, ma molte più specie.

L'importanza ecologica di una specie può avere un effetto diretto sulla struttura della comunità, e quindi sulla diversità biologica in generale.



Diversità ecosistemica

La *diversità di ecosistema* definisce il *numero* e l'*abbondanza* degli *habitat*, delle comunità viventi e degli ecosistemi all'interno dei quali i diversi organismi vivono e si evolvono.



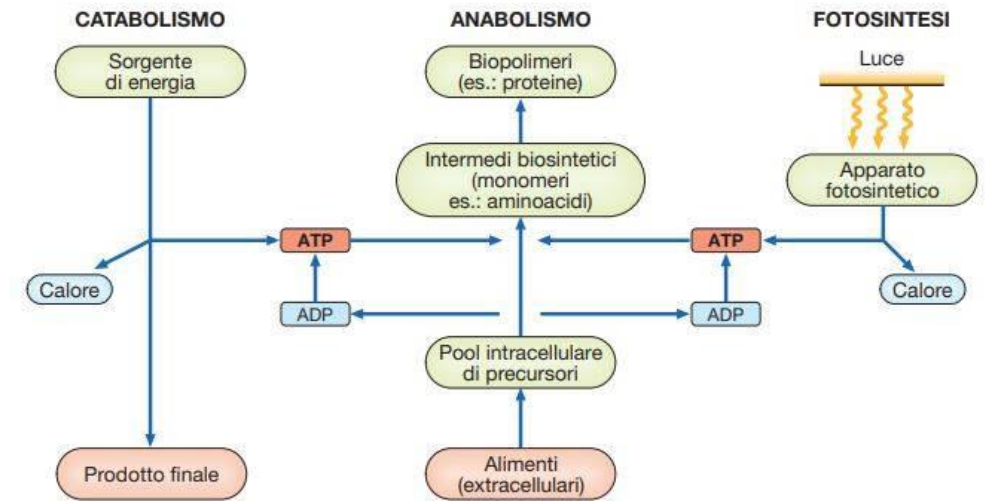
Diversità degli ecosistemi

Sebbene sia possibile definire cosa si intende in linea di principio con diversità genetica e di specie, è difficile fare una valutazione quantitativa della diversità nell'ecosistema, habitat o a livello di comunità di organismi ed è difficile valutare la diversità dell'ecosistema su scala diversa da quella locale o regionale, in mancanza di parametri specifici. Gli ecosistemi sono formati dall'insieme delle specie che costituiscono la comunità di una data area (biocenosi) e l'insieme delle caratteristiche abiotiche dell'ambiente (biotipo) in cui le biocenosi si stabiliscono. Essi si differenziano per la loro variabilità genetica, speciografica e dalle componenti abiotiche, poiché la loro stessa struttura biotica dipende dal suolo, dal clima, dai regimi pluviali e altre componenti abiotiche.

La diversità dell'ecosistema è spesso valutata attraverso misure della diversità relative al numero e la diversità di specie. Si valutano, dunque, sia l'abbondanza relativa di specie diverse che la diversità speciografica dell'ecosistema. Più le specie sono abbondanti, più è diversificata una specifica area o habitat. **Nella valutazione della diversità si attribuisce un peso al numero di specie in differenti classi di abbondanza, a differenti livelli trofici e in diversi gruppi tassonomici.** Un ipotetico ecosistema costituito solo da un numero N di specie vegetali avrebbe una diversità biologica inferiore a un ecosistema con lo stesso numero N di specie ma con una più complessa struttura trofica (presenza di più livelli trofici → produttori, consumatori primari, consumatori secondari, etc)

Diversità metabolica

La *diversità metabolica* è definita in base ai *processi cellulari* che rendono possibile la crescita microbica



Il metabolismo microbico può essere suddiviso in tre livelli, a seconda delle diverse esigenze delle cellule. In base a come ottengono il carbonio per sintetizzare biomassa, distinguiamo batteri autotrofi (dalla CO₂), batteri eterotrofi (da composti organici) e batteri mixotrofi (da entrambi)

Tabella 4.1

Fonti di carbonio, energia ed elettroni

Fonti di carbonio

Autotrofi	La CO ₂ è l'unica o la principale fonte di carbonio per le biosintesi
Eterotrofi	Molecole organiche ridotte, preformate, derivanti da altri organismi

Fonti di energia

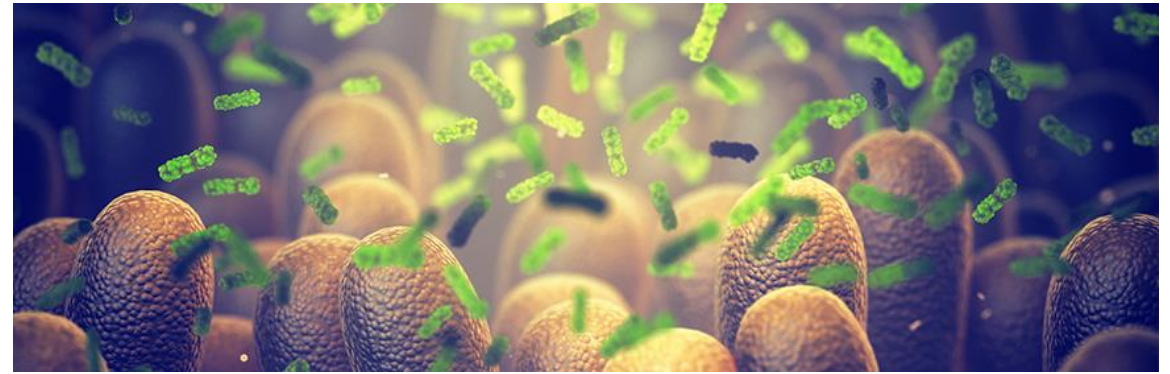
Fototrofi	Luce
Chemiotrofi	Ossidazione di composti organici o inorganici

Fonti di elettroni

Litotrofi	Molecole inorganiche ridotte
Organotrofi	Molecole organiche

Schema riassuntivo dei principali metabolismi batterici.

Riassumendo...



La **diversità microbica** descrive la complessità degli ambienti a due livelli:

- 1) genetico, con la struttura tassonomica cioè le specie, il loro numero (la ricchezza), e la loro abbondanza relativa (l'uniformità);
- 2) funzionale, con la definizione dei gruppi responsabili di attività metaboliche specifiche (per esempio utilizzo dell'ossigeno come accettore di elettroni, utilizzo di composti organici come fonte di carbonio ed energia, capacità di fotosintesi, etc).

Per l'ecologia microbica un **aspetto importante della biodiversità risiede nel tipo di interazioni che si stabiliscono tra i microrganismi**. Per questo lo studio della diversità microbica si avvale di metodi che integrano l'approccio olistico sulla comunità totale (per es., lo studio della complessità) con quello specifico su sottoinsiemi strutturali e funzionali (l'identificazione dei gruppi). **La biodiversità di una comunità microbica può essere in ultima analisi considerata la quantità di informazione genetica in essa contenuta; rappresenta quindi la potenzialità della comunità stessa di svolgere determinate funzioni nell'ambito di un ecosistema e di evolversi nel tempo.**



LA BIODIVERSITA' MICROBICA

La caratterizzazione della biodiversità microbica presenta alcuni problemi:

- 1) Qual è il tipo di biodiversità da considerare: a) diversità globale dei taxa (batteri, funghi, protozoi, ecc.), b) diversità all'interno dei gruppi funzionali, c) diversità tra gruppi funzionali, ecc.
- 2) Qual è la rappresentatività di stime basate su campioni prelevati dall'ambiente in esame. E' stato stimato che la Terra ospita circa 10^{30} procarioti. Un grammo di suolo può contenere 10^4 o anche 10^5 taxa diversi e 10^9 microorganismi.
- 3) La difficoltà di coltivare la maggior parte dei microrganismi limita la nostra capacità di comprendere la loro diversità.

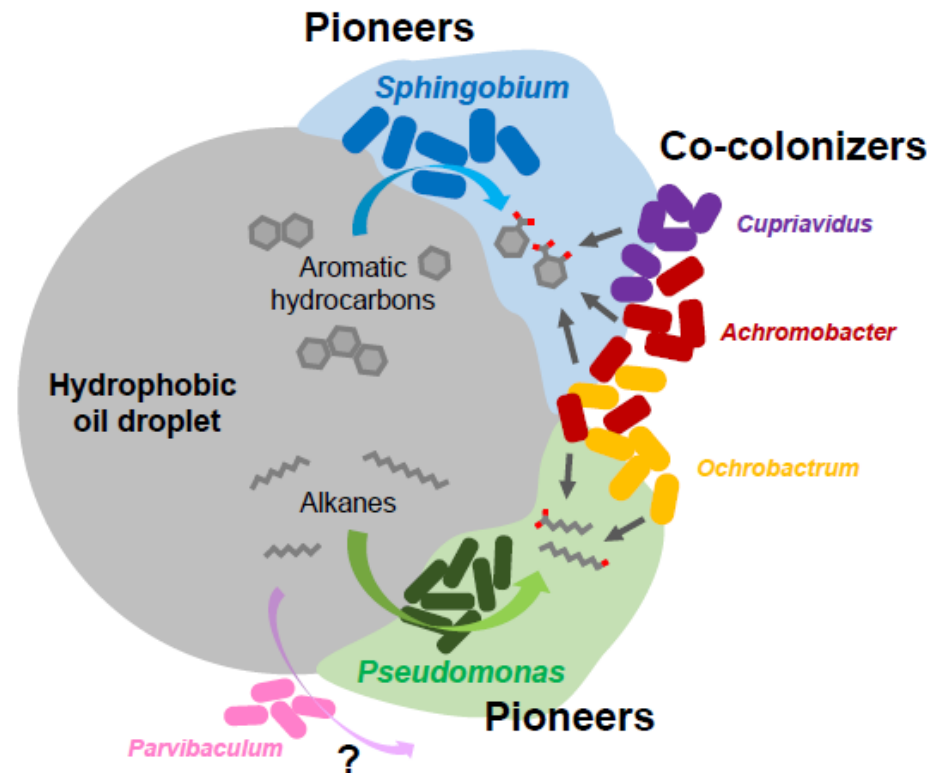
Le popolazioni naturali di organismi non crescono indefinitamente, sia in termini di numero di individui o i termini dei diversi taxa presenti (specie, razze, biotipi, ecc.).

Tra i processi che regolano la crescita delle popolazioni e la composizione, la struttura e il funzionamento delle comunità i concetti di **nicchia**, **reti alimentari**, **successione** e **collegamento tra biodiversità e stabilità ecologica** di una comunità o di un intero ecosistema sono particolarmente pertinenti all'ecologia microbica.

Negli ambienti naturali convivono molti tipi di microrganismi diversi che interagiscono strettamente tra di loro e con il microambiente che occupano, la loro 'micronicchia' ecologica; il termine 'comunità microbica' è stato adottato proprio per definire questi gruppi di microrganismi, batteri, funghi, virus, alghe e protozoi, le loro funzioni e le loro interazioni.

La disponibilità di risorse in un habitat è considerato uno dei fattori fondamentali che determinano l'abbondanza di specie e diversità. Il termine «**nicchia**» definisce il campo delle risorse in termini di nutrienti e di spazio in cui esiste una specie. Uno dei principali paradigmi dell'ecologia è che due specie non possono occupare la stessa nicchia. La coesistenza implica che ogni organismo debba avere una sua nicchia, anche se le nicchie possono sovrapporsi in termini di spazio. Per molti sistemi microbici, è stato dimostrato che la coesistenza di diverse specie o biotipi di microrganismi aumentano quando l'ambiente è altamente strutturato. Il grado di strutturazione di un ambiente è dato dalla sua dimensione, la forma, il tipo di vegetazione, la ricchezza biologica, l'abbondanza degli organismi e il flusso dei nutrienti.

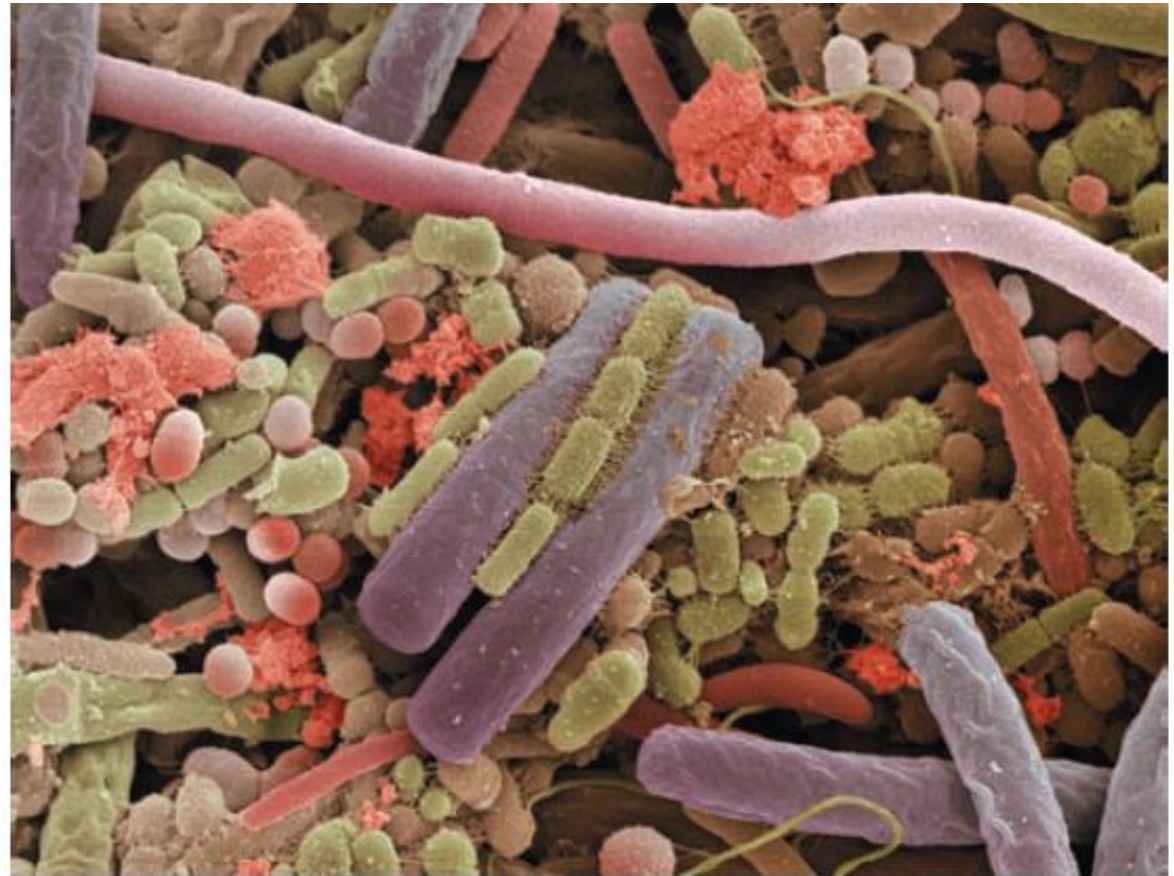
Modello ipotetico di biodegradazione batterica multi-specie del gasolio da parte di un consorzio microbico



Le goccioline idrofobe di gasolio vengono prima colonizzate dalle specie batteriche pioniere che degradano gli idrocarburi aromatici (*Sphingobium*) e gli alcani (*Pseudomonas*) le quali iniziano la biotrasformazione degli idrocarburi formando biofilm. I prodotti di trasformazione degli idrocarburi e i metaboliti secondari prodotti dai batteri pionieri sono utilizzati da altri batteri co-colonizzatori (*Ochrobactrum*, *Achromobacter* e *Cupriavidus*) che incrementano la formazione di biofilm e accelerano la completa biodegradazione degli idrocarburi. Un altro importante genere batterico (*Parvibaculum*) è responsabile della biodegradazione di alcani a catena corta e media.



Una comunità batterica che si è sviluppata sui fondali di un piccolo lago nel Michigan. Si notano cellule di vari batteri fototrofici verdi e porpora (grandi cellule con granuli di zolfo)



Micrografia elettronica a scansione di una comunità microbica prelevata da una lingua umana.

La **diversità microbica** può essere intesa in termini sia **filogenetici** che **funzionali**. La diversità filogenetica è la componente della diversità microbica che si occupa delle relazioni evolutive tra microrganismi. La diversità filogenetica si occupa della diversità di linee evolutive come phyla, generi e specie. Nella sua più ampia accezione la diversità filogenetica comprende la genetica e diversità genomica delle linee evolutive e quindi può essere definita sulla base di geni o di organismi, a loro volta definiti in funzione del loro corredo genetico. Comunemente la diversità filogenetica è definita sulla base della filogenesi dei geni dell'RNA ribosomiale, che si ritiene rifletta la storia filogenetica dell'intero organismo.

La **diversità funzionale** può essere ulteriormente definita in termini di:

diversità
fenotipica

- 1) **diversità morfologica**: si riferisce all'aspetto esteriore di un organismo. In alcuni casi, la morfologia di un gruppo non è tanto distintiva da permettere la discriminazioni con altri gruppi
- 2) **diversità fisiologica**: si riferisce alle funzioni e alle attività del metabolismo microbico e alla biochimica cellulare
- 3) **diversità ecologica**: si riferisce alle relazioni tra gli organismi e il loro ambiente. Organismi con caratteristiche fisiologiche simili possono avere caratteristiche ecologiche differenti

Diversità fenotipica dei batteri (morfologia)

Diversità fenotipica (morfologia batterica)

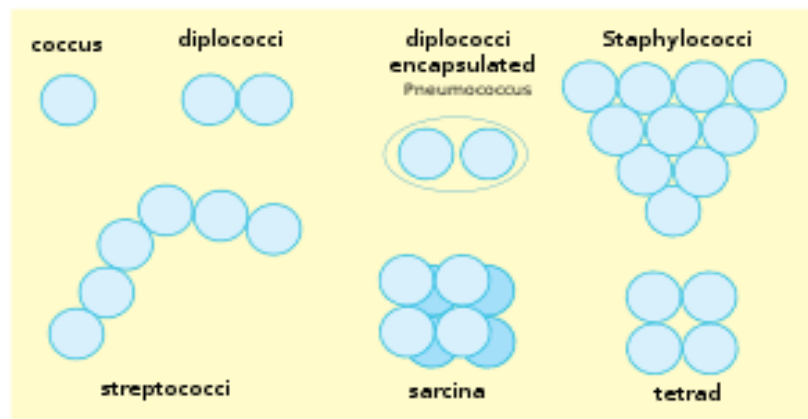
Sia le sospensioni di cellule batteriche osservate a fresco che quelle adeguatamente colorate possono fornire molte informazioni.

Questi semplici test possono indicare la reazione Gram dell'organismo (G positivo e G negativo); se è acido-resistente; la sua motilità; la disposizione dei suoi flagelli; la presenza di spore, capsule e corpi di inclusione e la sua forma.

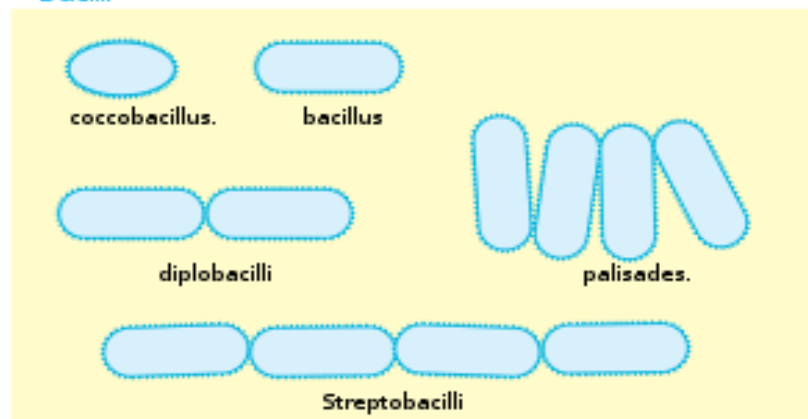
Queste informazioni spesso possono consentire l'identificazione di un organismo a livello di genere o possono aiutare molto nel classificarlo.

La colorazione di Gram caratterizza i batteri in base alle caratteristiche strutturali delle loro pareti cellulari. Combinando la morfologia e la colorazione Gram, la maggior parte dei batteri può essere classificata come appartenente a uno dei 4 gruppi (cocchi Gram-positivi, bacilli Gram-positivi, cocchi Gram-negativi e bacilli Gram-negativi). Ci sono alcune differenze fondamentali tra batteri, archaea ed eucarioti nella morfologia e struttura delle cellule che aiutano nella classificazione e identificazione fenotipica.

Cocci



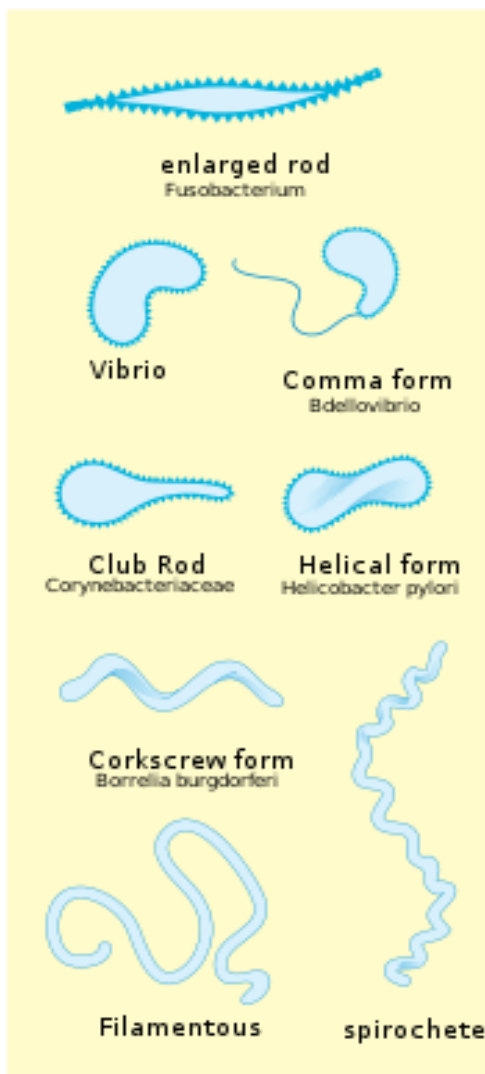
Bacilli



Budding and appendaged bacteria



Others



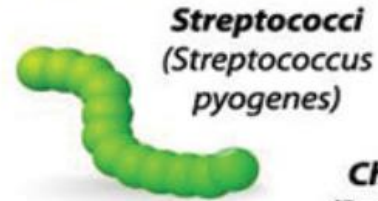
Morfologia batterica: differenze morfologiche di base tra i batteri. Forme più frequenti e loro associazioni.

Classification of Bacteria on the Basis of Shape

SPHERES (COCCI)

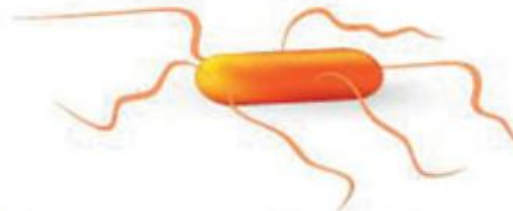


Staphylococci
(*Staphylococcus aureus*)



Sarcina
(*Sarcina ventriculi*)

RODS (BACILLI)



Flagellate rods
(*Salmonella typhi*)



Spore-former
(*Clostridium botulinum*)

SPIRALS



Vibrios
(*Vibrio cholerae*)



Spirilla
(*Helicobacter pylori*)



Spirochaetes
(*Treponema pallidum*)

A) Cocchi: batteri di forma unicellulare, sferica o ellittica. Possono rimanere come una singola cella o possono aggregarsi insieme per varie configurazioni.

Monococco: chiamati anche micrococchi, sono rappresentati da una unica tondo discreto
Esempio: *Micrococcus luteus*.

Diplococco: le cellule si dividono in un piano particolare e rimangono unite l'una all'altra.
Esempio: *Neisseria meningitidis*.

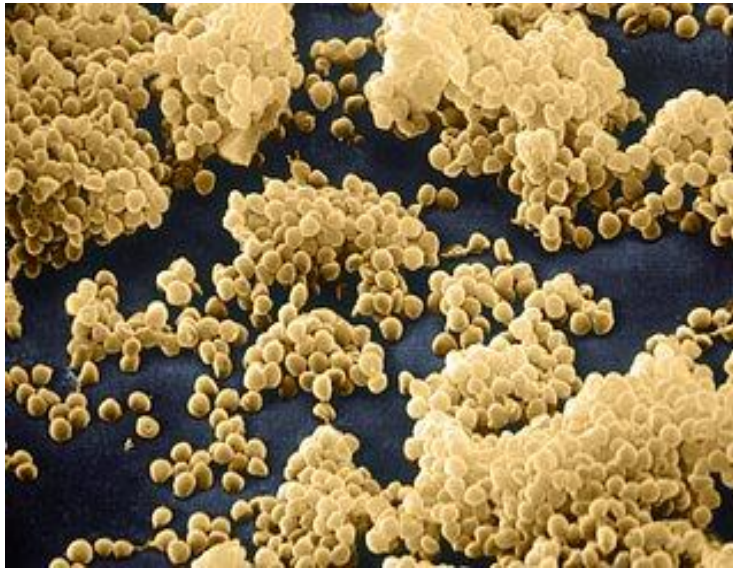
Streptococco: le cellule si dividono ripetutamente su un piano per formare una catena di cellule.
Esempio: - *Streptococcus pyogenes*.

Tetracocco: quattro cellule rotonde che rimangono unite su due piani ad angolo retto l'uno rispetto all'altro. Esempio: *Gaffkya tetragena*.

Staphylococcus: le cellule si dividono su tre piani formando una struttura tipo grappoli d'uva
Esempio: *Staphylococcus aureus*.

Sarcina: le celle si dividono su tre piani e formano una configurazione cubica composta da otto o sedici celle con forma regolare. Esempio: *Sarcina lutea*.

Micrococcus



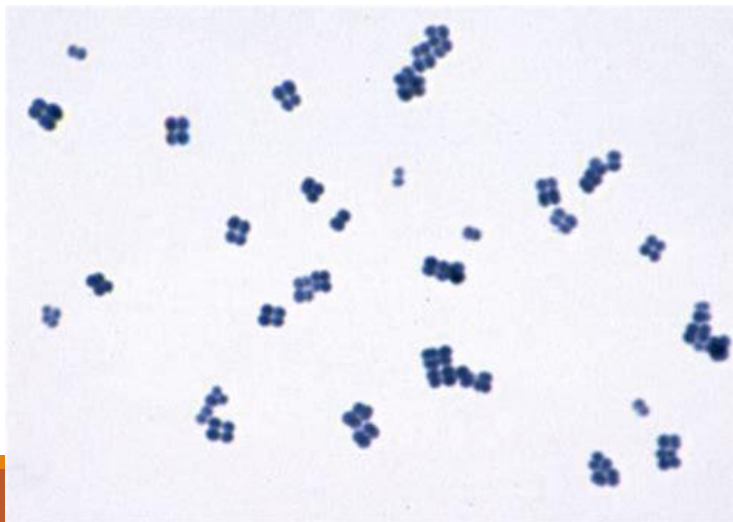
Neisseria meningitidis



Streptococcus pyogenes



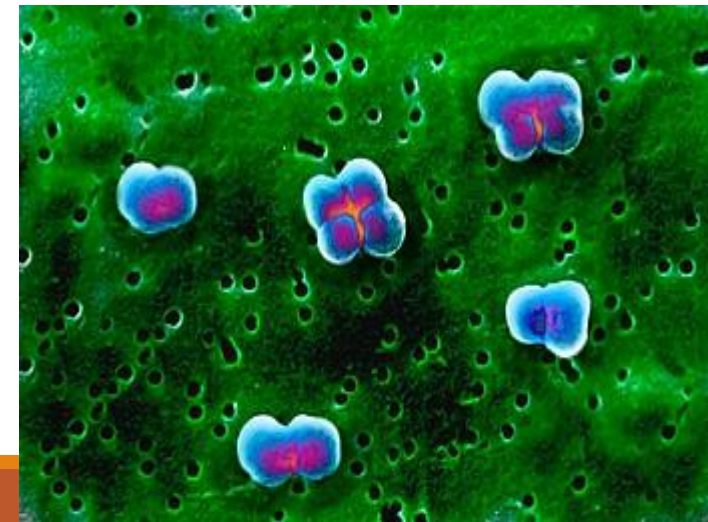
Gaffkya tetragena



Staphylococcus aureus



Sarcina



B) Bacilli: batteri a forma di bastoncino o cilindrici che dopo la divisione producono cellule singole o in coppia. Esempio: *Bacillus cereus*.

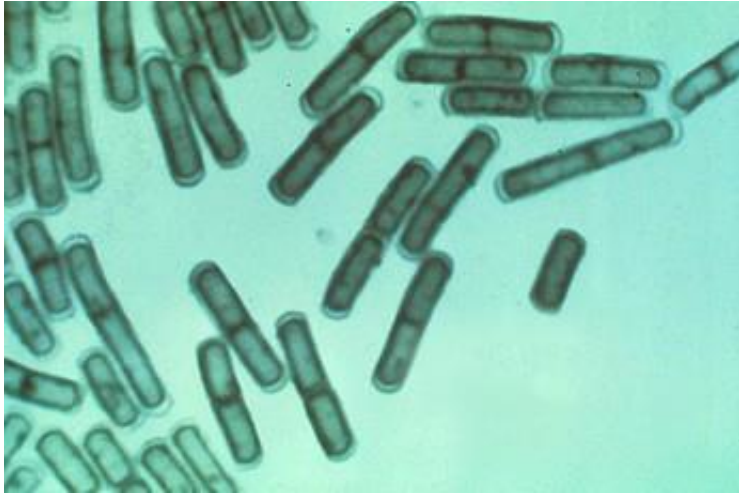
C) Vibrio: batteri curvi, a forma di virgola e rappresentati da un unico genere. Esempio: *Vibrio cholerae*.

D) Spirilla: batteri sono a spirale o forma di molla con curvatura multipla e flagelli terminali. Esempio: *Spirillum volutans*.

E) Attinomiceti: batteri filamentosi ramificati, così chiamati a causa di una somiglianza immaginaria con i raggi irradianti del sole quando vengono visti nelle lesioni dei tessuti (solo per le specie patogene, da *actis* che significa raggio e *mykes* che significa fungo).

F) Micoplasmi: batteri carenti di parete cellulare e, quindi, senza morfologia stabile. Si presentano come corpi rotondi o ovali e come filamenti intrecciati.

Bacillus cereus



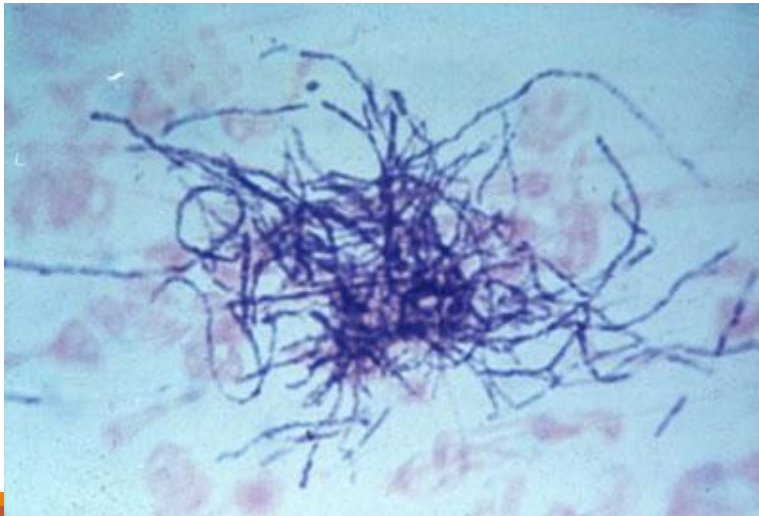
Vibro cholerae



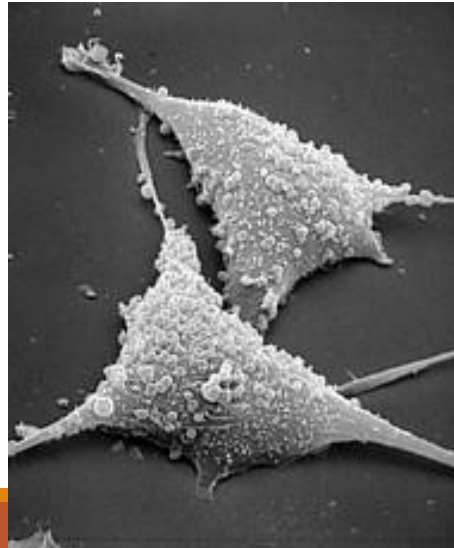
Spirillum volutans



Actinomyces

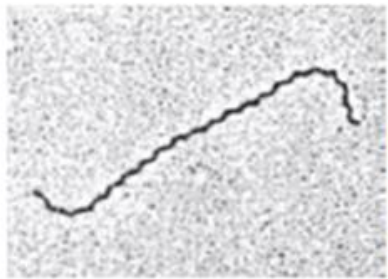


Mycoplasma



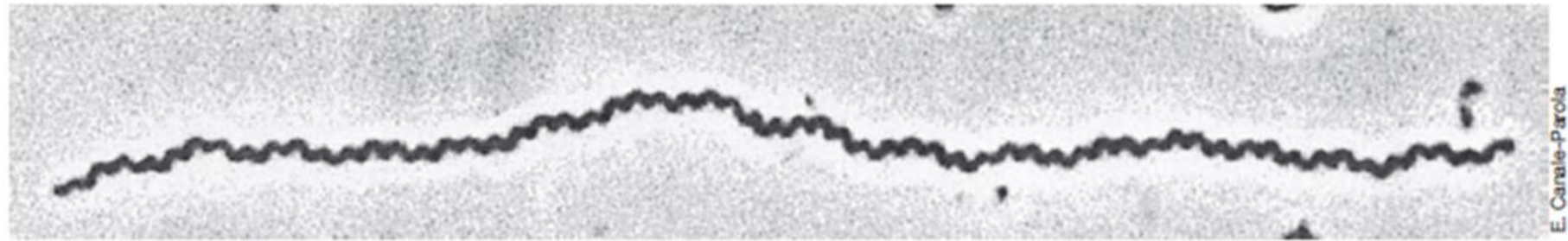
Mycoplasma pneumoniae





E. Canale-Parola

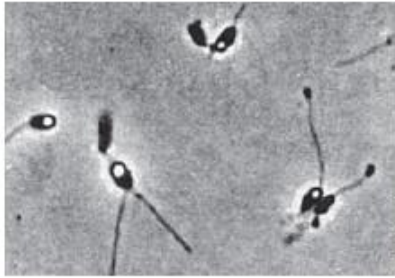
(a)



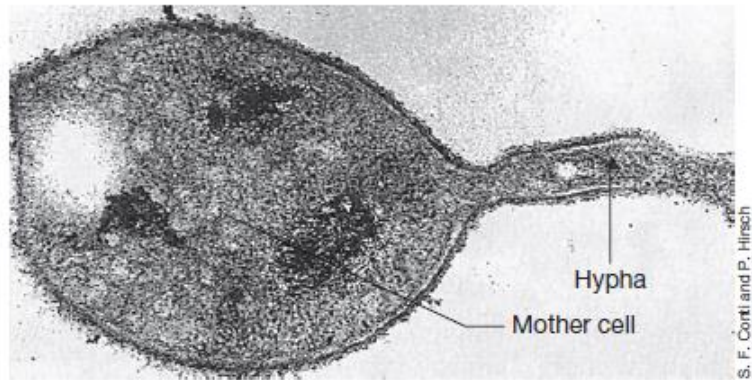
E. Canale-Parola

(b)

Due spirochete, allo stesso ingrandimento, che mostrano un ampio intervallo di dimensioni. (a) *Spirochaeta stenostrepta* (microscopia a contrasto di fase). Una singola cella ha un diametro di $0,25\ \mu\text{m}$. (b) *Spirochaeta plicatilis*. Una singola cella ha un diametro di $0,75\ \mu\text{m}$ e può essere lunga fino a $250\ \mu\text{m}$ ($0,25\ \text{mm}$).

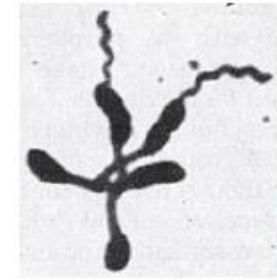
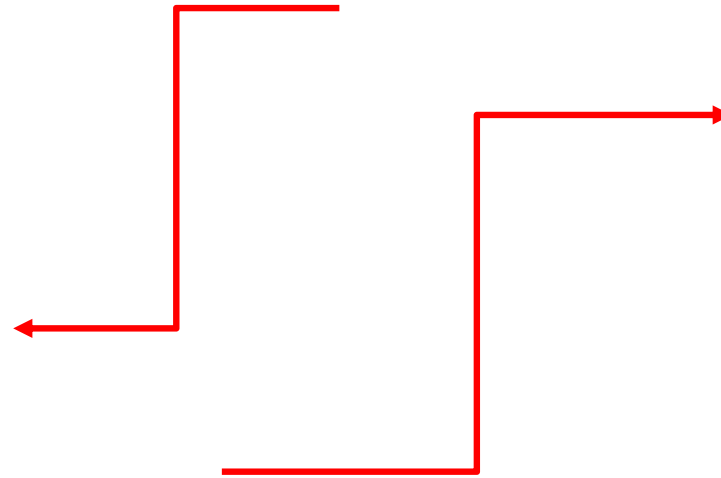


(a)

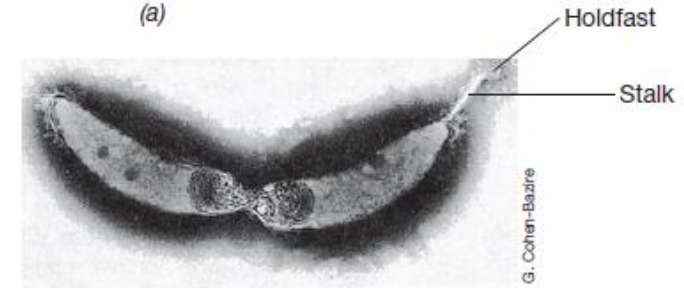


(b)

a) Micrografia a contrasto di fase di cellule di *Hyphomicrobium*. Le cellule sono larghe circa $0,7 \mu\text{m}$. (b) Micrografia elettronica della sezione sottile di una singola cellula di *Hyphomicrobium*. L'ifa è larga circa $0,2 \mu\text{m}$.



(a)

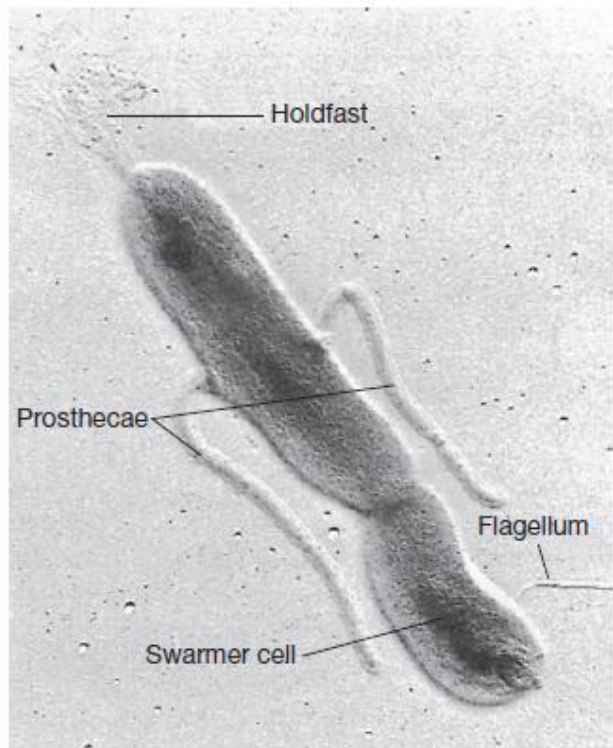


(b)

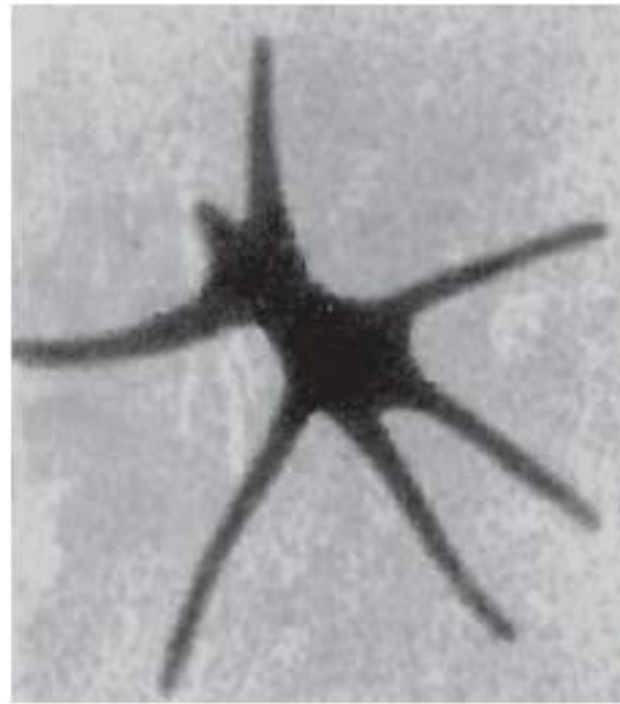
a) Una «rosetta» di *Caulobacter*. Una singola cella è circa $0,5 \mu\text{m}$ di larghezza. Le cinque cellule sono unite da peduncoli (prostheca). Due cellule si sono divise e le cellule figlie hanno formato flagelli. (b) cellula di *Caulobacter* in divisione. (c) Una sezione sottile di *Caulobacter* che mostra il citoplasma presente nel gambo.



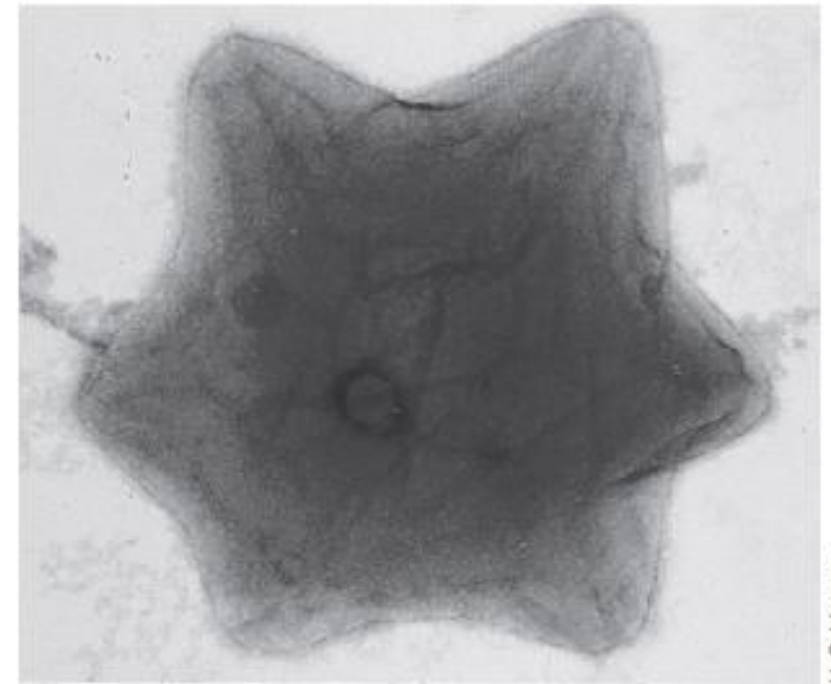
(c)



(a)



(b)



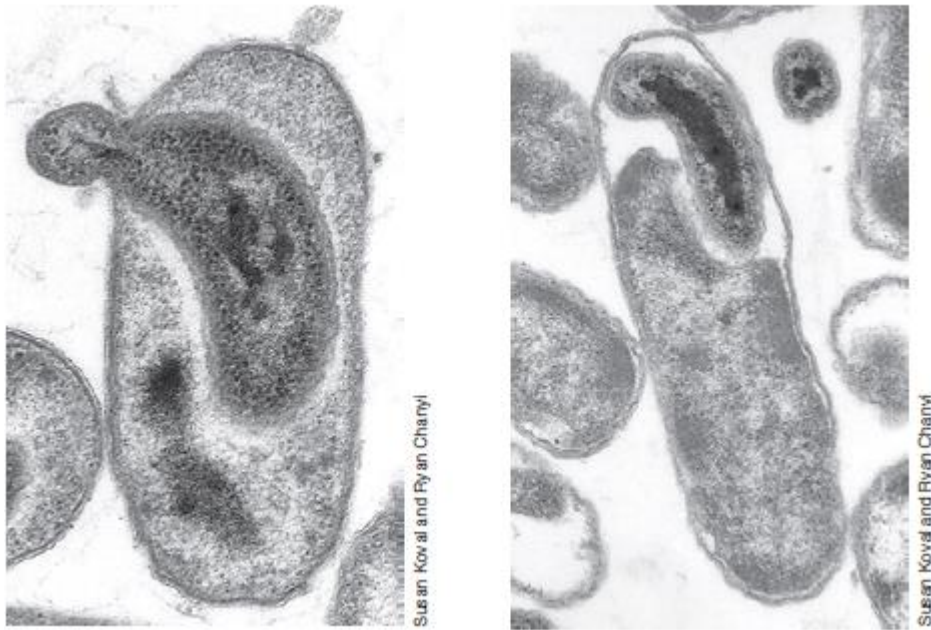
(c)

Batteri con prostheca. (a) Micrografia elettronica di *Asticcacaulis biprosthecum*, che illustra la posizione e la disposizione delle prostheche, del peduncolo (holdfast) e di una cellula sciamante. La cellula sciamante si allontana dalla cellula madre e inizia un nuovo ciclo cellulare. Le celle sono larghe circa $0,6 \mu\text{m}$. (b) Micrografia elettronica a colorazione negativa di una cellula di *Acalomicrobium adetum*. Le prostheche sono delimitate dalla parete cellulare, contengono citoplasma e sono circa $0,2 \mu\text{m}$ di diametro. (c) Micrografia elettronica di un batterio a forma di stella. Le cellule hanno un diametro di circa $0,8 \mu\text{m}$.

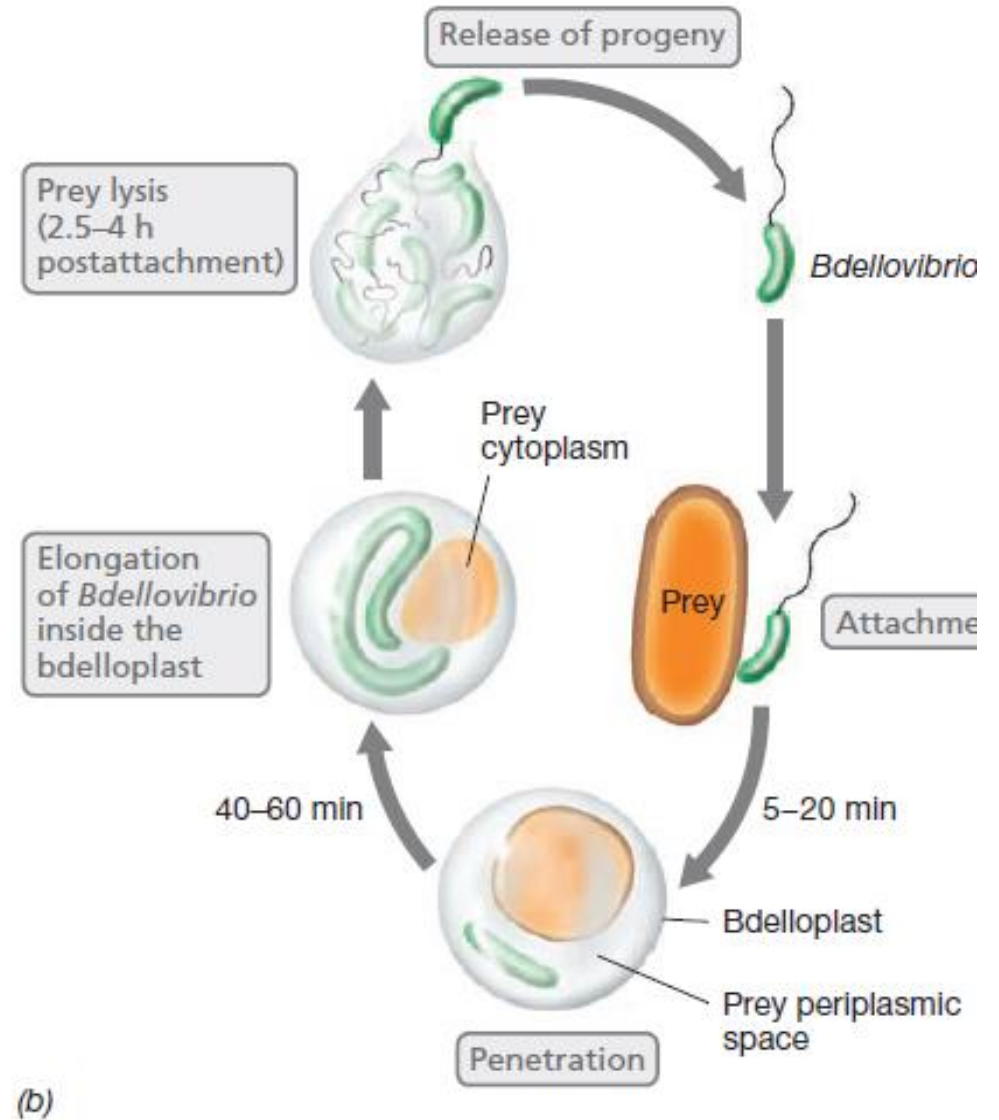
Batteri con guaina: batteri di molti differenti phyla formano guaine di polisaccaridiche o proteiche che racchiudono una o più cellule. Le guaine spesso legano insieme le cellule in lunghi filamenti multicellulari. *Sphaerotilus* e *Leptothrix* sono Betaproteobatteri filamentosi con guaina. In condizioni favorevoli, le cellule crescono vegetativamente, portando alla formazione di lunghe guaine che racchiudono più cellule. Cellule flagellate si formano all'interno della guaina e in condizioni di crescita sfavorevoli tali cellule si disperdono nell'ambiente lasciando dietro di sé la guaina vuota.

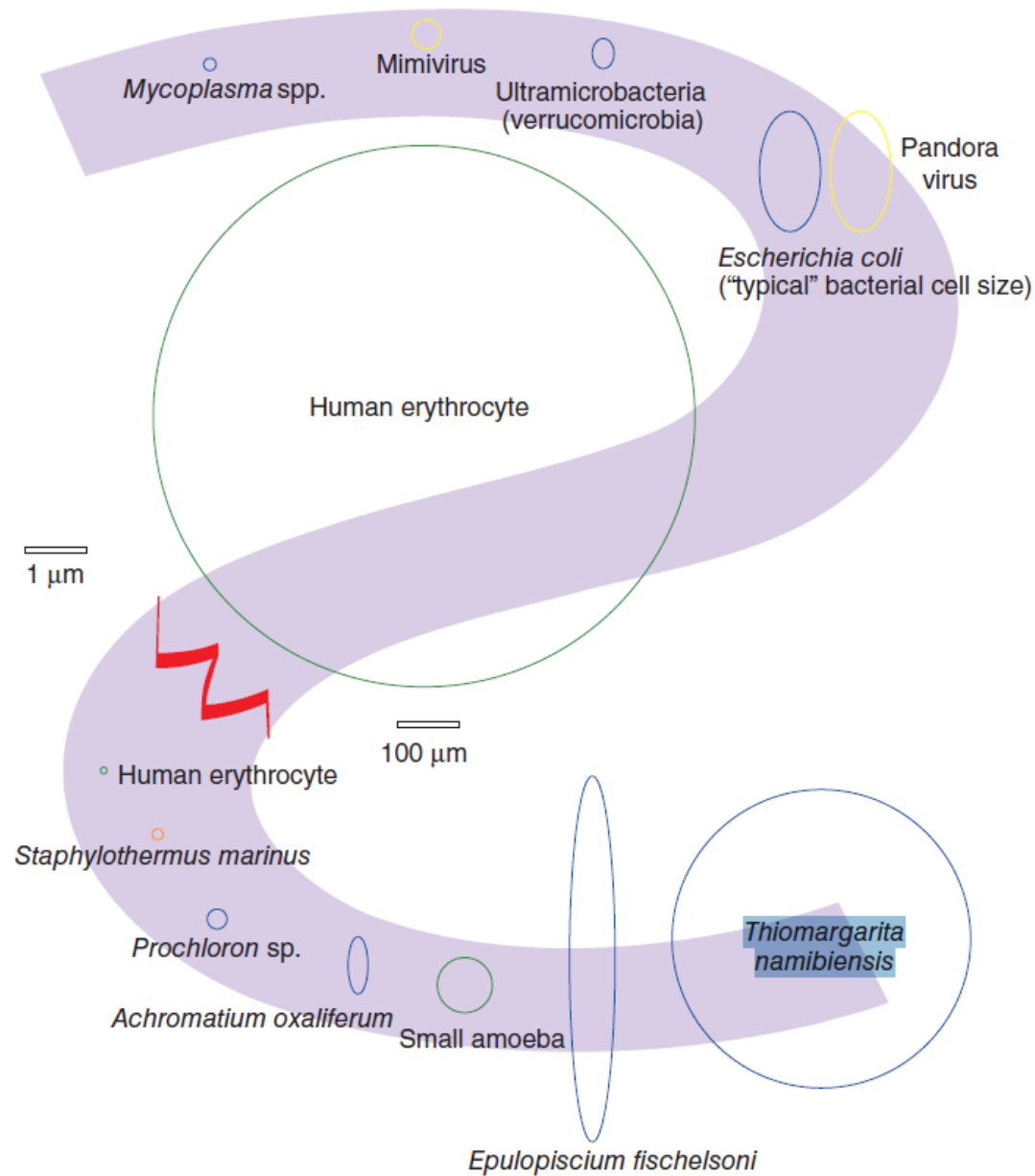
Leptothrix





Fotografia al microscopio elettronico di *Bdellovibrio* che attacca una cellula di *Delftia acidovorans*. (a) Inserimento di *Bdellovibrio* nella preda. (b) cella *Bdellovibrio* all'interno dell'ospite. La cellula del *Bdellovibrio* è racchiusa nel bdelloplasto e si replica nello spazio periplasmatico. Una cellula *Bdellovibrio* misura circa $0,3 \mu\text{m}$ di diametro.



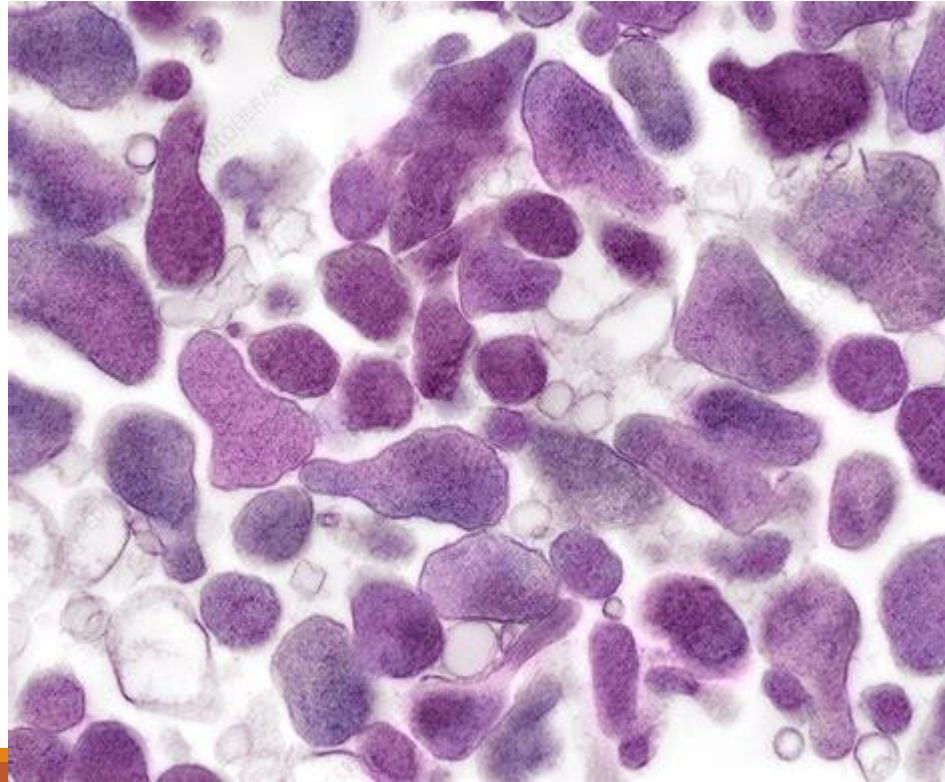


Rappresentazione della dimensione delle cellule di batteri (blu), Archaea (arancione), Eukarya (verde) e virus (giallo). Il diagramma è diviso in due diverse scale, con la parte superiore che mostra le dimensioni delle cellule relative di batteri piccoli e "normali", nonché di un mimivirus, in relazione a un eritrocita umano (~9 μm di diametro). Lo stesso eritrocita viene utilizzato nella parte inferiore ingrandita del diagramma per dimostrare le grandi dimensioni delle cellule di alcuni batteri, che culminano nelle cellule giganti del batterio solfureo *Thiomargarita namibiensis* (diametro medio 500 μm).

Il più piccolo

Le dimensioni di *Mycoplasma genitalium* è compresa tra 200 e 300 nm (circa) con un volume di di $0,1 \mu\text{m}^3$, misure che lo rendono il più piccolo batterio conosciuto. E' un parassita obbligato e si trova nella vescica dei primati, e nei tratti genitali e respiratori. La dimensione del genoma di *Mycoplasma genitalium* è da 577 a 590 kilobasi e contiene circa 525 geni. Questo genoma è 1/4 più piccolo di quello di *Mycoplasma pneumoniae*, che è considerato tra i più piccoli genomi di organismi autoreplicanti.

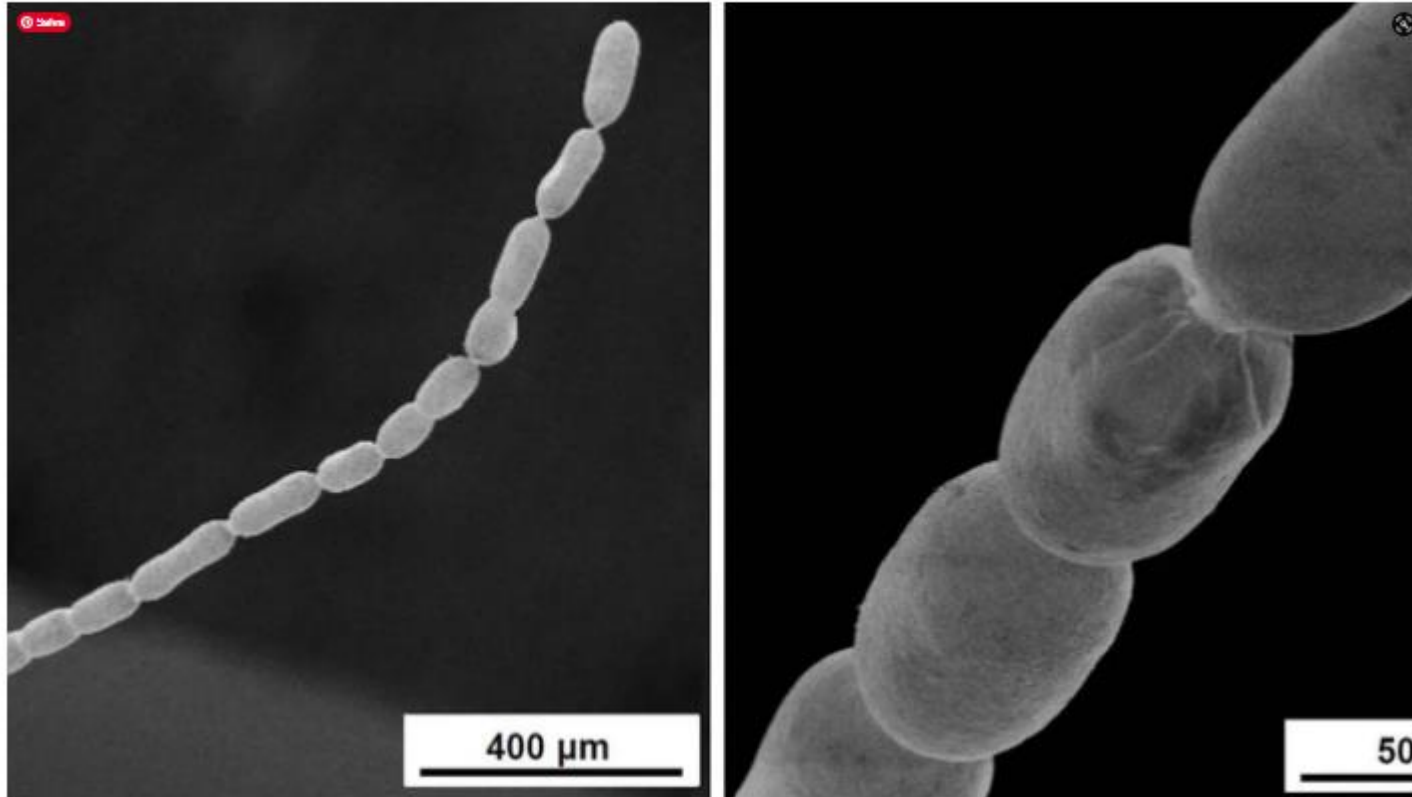
https://external-content.duckduckgo.com/iu/?u=https%3A%2F%2Ftse1.mm.bing.net%2Fth%3Fid%3DOIP.ckHbilge9tQOU1s17_yCFAHaGH%26pid%3DApi&f=1



LIFE — MARCH 6, 2022

“Impossibly big” bacteria rattle the field of microbiology

A gigantic bacterium evolved differently than fundamental models of biology would have predicted. Simply put, these bacteria shouldn't exist.



Credit: Jean-Pierre Gilard et al., present

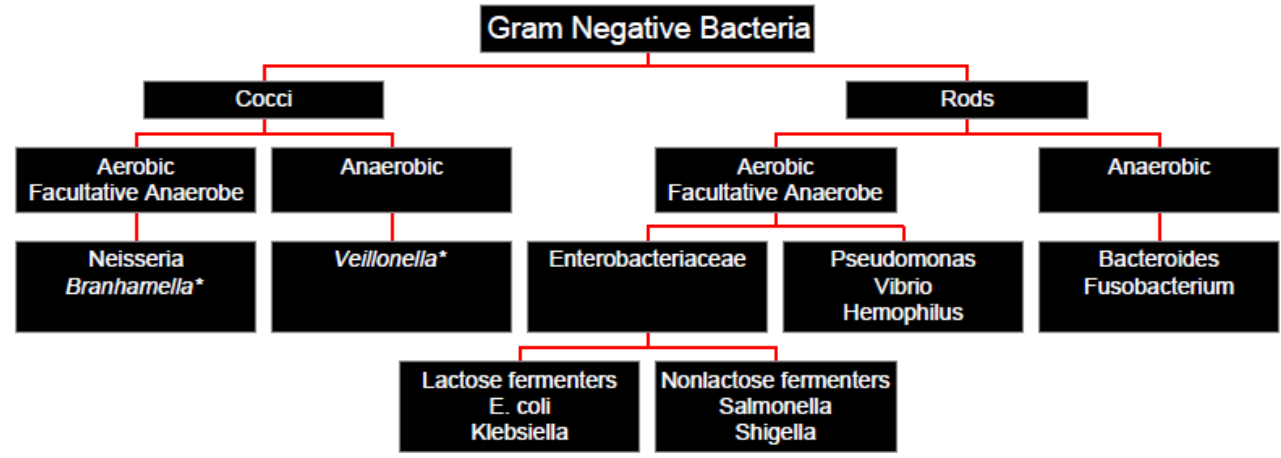
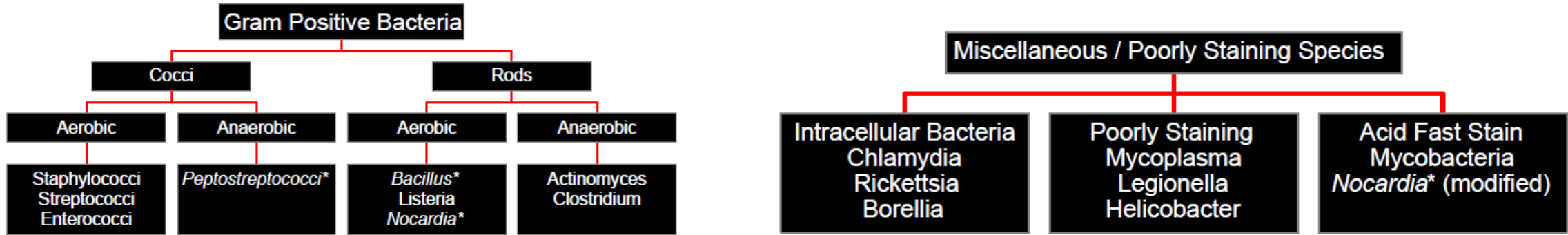
KEY TAKEAWAYS

Il più grande

Olivier Gros, un biologo marino dell'Università delle Antille Francesi ha pubblicato uno studio sull'isolamento da foglie di mangrovie sommerse e caratterizzazione di *Thiomargarita magnifica* che è il batterio più grande mai trovato (2 cm di lunghezza!!)

Possiede DNA racchiuso in un involucro
Presenta un vacuolo centrale che «schiaccia» il citoplasma lungo la parete cellulare.

Da un punto di vista filogenetico, questo organismo si collocherebbe non lontano dai grandi virus!



Diversità morfologica dei batteri

Presenza di flagelli

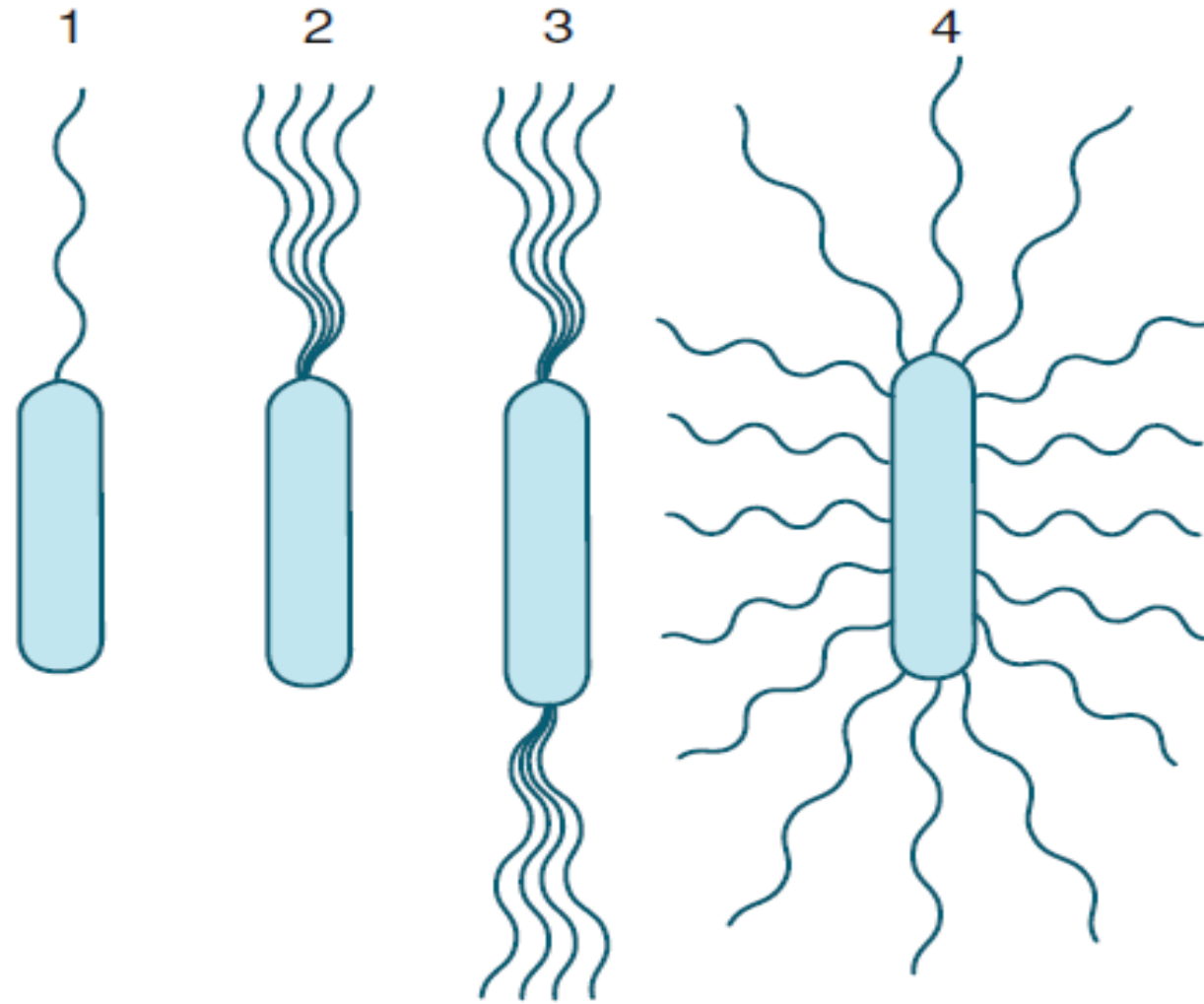
Atrichi: batteri senza flagelli. Esempio: *Corynebacterium diphtherae*.

Monotrichi: batteri con un flagello a un'estremità della cellula. Esempio: *Vibro cholerae*.

Lofotrichi: batteri con un grappolo di flagelli a un'estremità della cellula. Esempio: *Pseudomonas*.

Anfitrichi: batteri con un gruppo di flagelli a entrambe le estremità della cellula batterica. Esempio: *Rhodospirillum rubrum*.

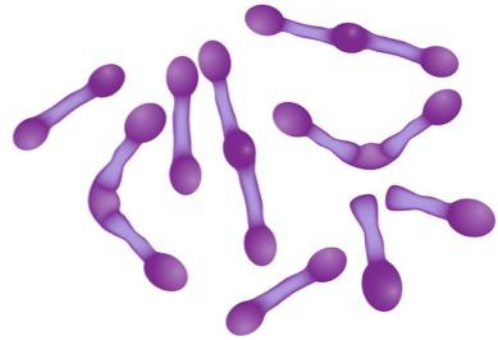
Peritrichi: batteri con flagelli distribuiti uniformemente intorno all'intera cellula. Esempio: *Bacillus*.



Flagellar organization in prokaryotes

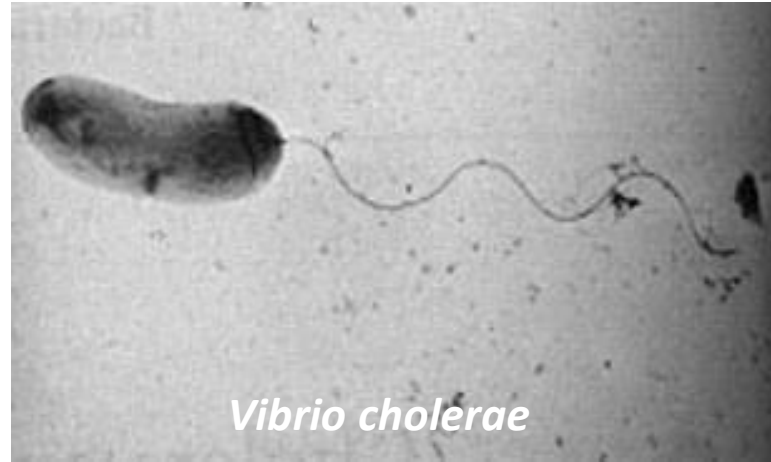
**1: Monotrichous (polar); 2: Lophotrichous;
3: Amphitrichous; 4: Peritrichous**

https://prod-dovemed.s3.amazonaws.com/media/images/shutterstock_74112061_8.original.png



Corynebacterium diphtheriae

http://microbewiki.kenyon.edu/images/a/a8/V_cholerae.jpg



Vibrio cholerae

<https://enciclopediamedica.es/wp-content/uploads/2020/07/Pseudomana-1024x593.jpg>



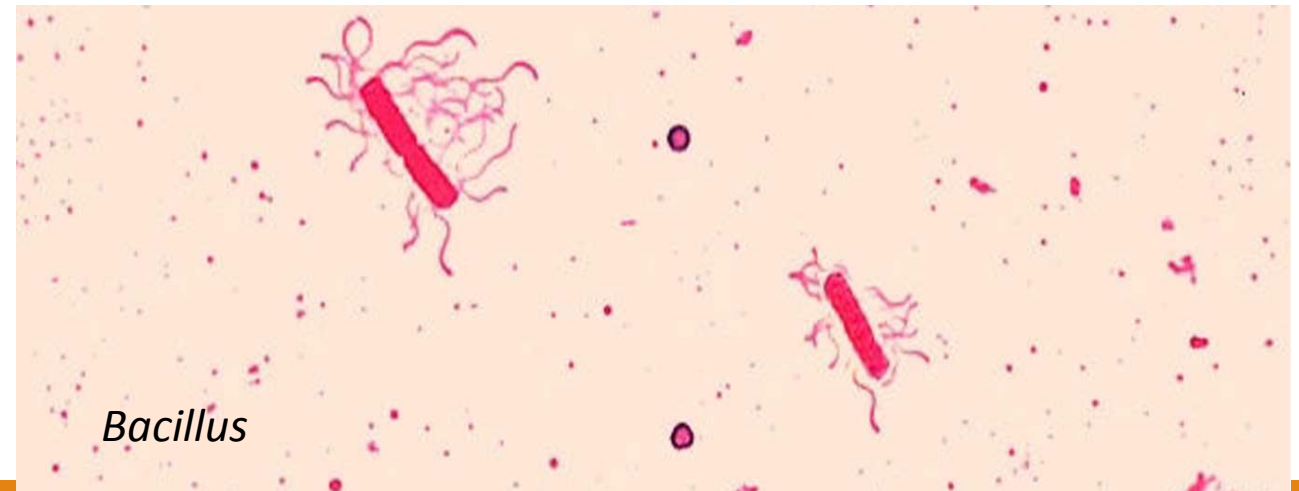
Pseudomonas

http://www.3bscientific.com/imagelibrary/W13011/W13011_01_Bacteria-Basic-Set-German-Slides.jpg



Rhodospirillum rubrum

<https://assets.beta.meta.org/discover/thematic-feed/300-bacillus-cereus.jpg>



Bacillus

Diversità morfologica dei batteri
Presenza di spore

Alcuni taxa batterici sono in grado di produrre spore come strategia di sopravvivenza in condizioni sfavorevoli. Possono essere ulteriormente suddivisi in due gruppi.

Batteri che formano endospore: le spore vengono prodotte all'interno della cellula.
Esempi. *Bacillus*, *Clostridium*, *Sporosarcina*.

Batteri che formano esospore: le spore vengono prodotte al di fuori della cellula
Esempio. *Metilobacterium*

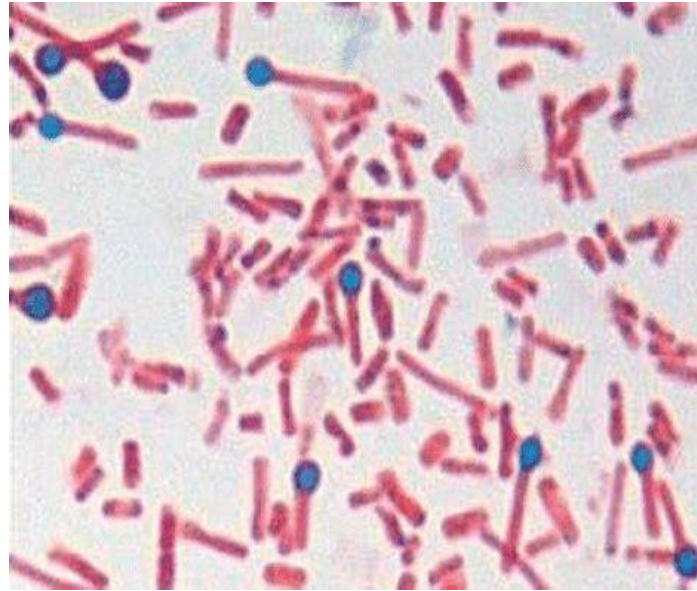
Batteri non sporigeni: batteri che non producono spore. Per esempio. *E. coli*, *Salmonella*.

<https://microbewiki.kenyon.edu/images/thumb/8/80/Sporosarcina.jpeg/200px-Sporosarcina.jpeg>



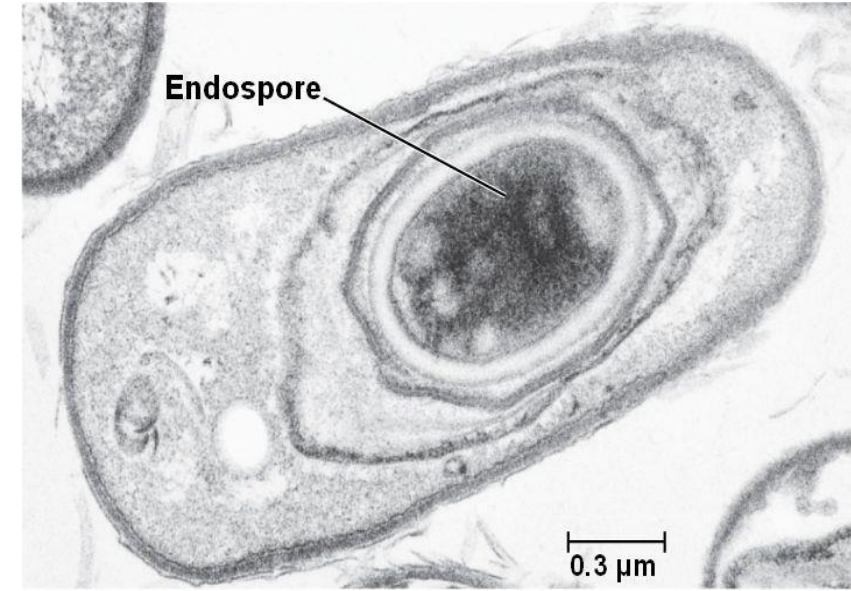
Sporosarcina

https://www.researchgate.net/profile/Bart_Pardon/publication/277205153/figure/fig1/AS:294510841090048@1447228264193/a-Spores-and-bacteria-of-Clostridium-tetani-with-a-typical-drum-stick-shape-isolated.png



Clostridium tetani

http://bio1151b.nicerweb.net/Locked/media/ch27/27_09Endospore.jpg



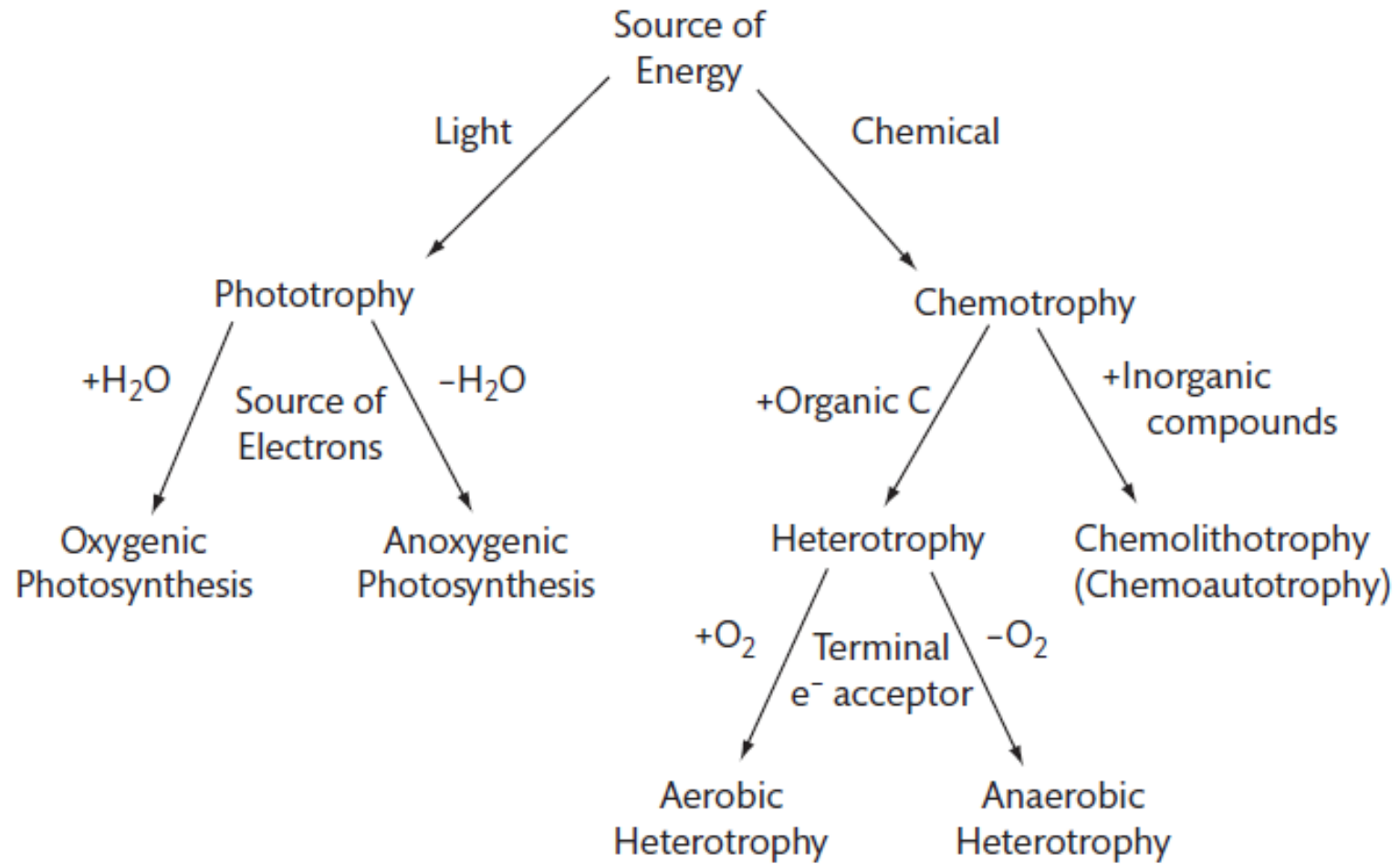
Bacillus anthracis

Diversità funzionale dei batteri

Diversità funzionale

La **diversità funzionale** considera la diversità di funzione in relazione alla fisiologia e all'ecologia microbica. È utile considerare diversità microbica in termini di raggruppamenti funzionali perché organismi con tratti comuni e geni comuni spesso condividono caratteristiche fisiologiche e hanno ruoli ecologici simili. In molti casi, i tratti funzionali si allineano con i gruppi filogenetici. Non sempre la diversità funzionale corrisponde alla diversità filogenetica, come definita dai geni 16S ribosomiali.

Diversità funzionale dei batteri
Diversità nutrizionale



Fototrofi: batteri che traggono energia dalla luce.

I fototrofi sono ulteriormente suddivisi in due gruppi sulla base della sorgente del potere riducente.

Fotolitotrofi: batteri che ottengono energia dalla luce e utilizzano composti inorganici ridotti come H_2S come fonte di elettroni.

Fotorganotrofi: batteri ottengono energia dalla luce e utilizzano composti organici come il succinato come fonte di elettroni.

Chemiotrofi: batteri che ottengono energia dall'ossidazione di composti chimici. Non possono eseguire la fotosintesi. I chemiotrofi sono ulteriormente suddivisi in due gruppi sulla base del loro combustibile (composto ridotto da ossidare).

Chemolitotrofi: ottengono energia dall'ossidazione di composti chimici e riducono i composti inorganici come NH_3 che fungono da fonte di potere riducente.

Chemiorganotrofi: traggono energia ossidando composti organici, ad esempio il glucosio e gli amminoacidi, che fungono da combustibili.

Autotrofi: batteri che utilizzano anidride carbonica come unica fonte di carbonio. Gli autotrofi si dividono in due tipologie in base all'energia utilizzata per assimilare l'anidride carbonica.

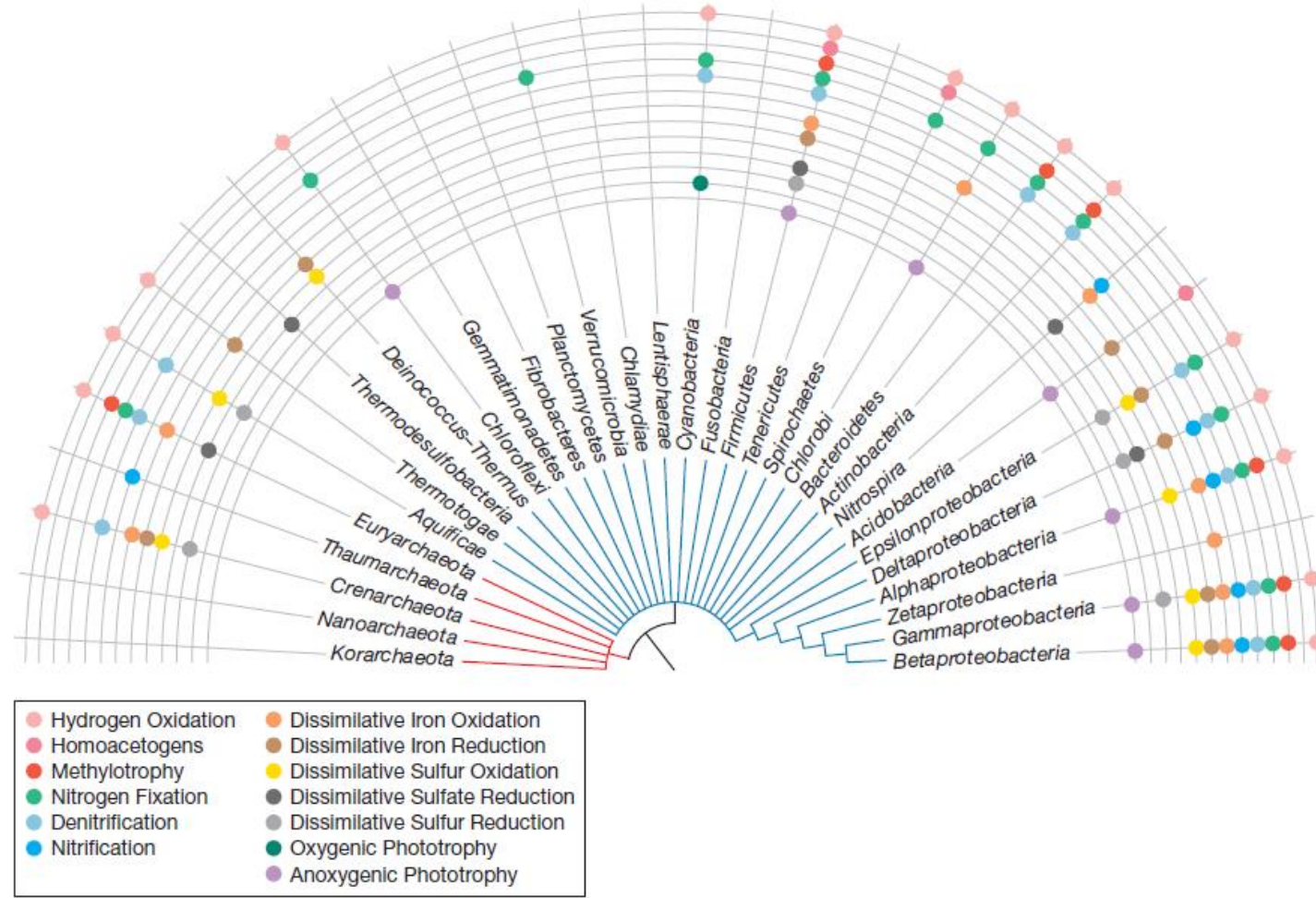
Fotoautotrofi: utilizzano la luce per assimilare la CO₂. Sono ulteriormente suddivisi in due gruppi sulla base della loro fonte di potere riducente:

- a) autotrofi fotolitotrofici
- b) autotrofi fotorganotrofici

Chemoautotrofi: utilizzano energia chimica per l'assimilazione della CO₂.

Eterotrofi: batteri che utilizzano composti organici come fonte di carbonio. Non hanno la capacità di fissare la CO₂. La maggior parte dei batteri patogeni umani sono eterotrofi. Alcuni eterotrofi hanno semplici esigenze nutritive, altri batteri richiedono nutrienti particolari per la loro crescita e sono noti come *eterotrofi esigenti*

Diversità funzionale dei batteri
Diversità metabolica



Mappa dei principali tratti funzionali dei principali phyla di batteri e archaea e relazioni tra i phyla microbici come dedotto dall'analisi delle sequenze dei geni RNA ribosomiale 16S. I rami blu indicano phyla di batteri e i rami rossi phyla di Archaea. I cerchi colorati indicano phyla che contengono almeno una specie con un tratto funzionale indicato nella legenda.

Ci sono almeno tre ragioni per spiegare perché un tratto funzionale è condiviso tra organismi divergenti con differenti caratteristiche dei geni che codificano per l'unità ribosomiale 16S.

- 1) Perdita di geni.** Una caratteristica presente in un antenato comune di diverse discendenze viene successivamente perso in alcuni ma conservato in altri.
- 2) Evoluzione convergente.** Una caratteristica specifica si è evoluta in modo indipendente, in due o più discendenze, e non è codificato da geni omologhi.
- 3) Trasferimento genico orizzontale.** Una situazione in cui i geni che conferiscono una caratteristica particolare sono omologhi e sono stati scambiati tra discendenze lontanamente imparentati.

Diversità funzionale dei batteri

Esigenze in temperatura

I batteri possono essere classificati nei seguenti tipi principali in base alla loro risposta alla temperatura

Psicrofili: batteri che possono crescere a 0°C o meno, con temperatura ottimale di crescita di 15°C e temperatura massima di 20°C. Gli psicrofili hanno acidi grassi polinsaturi nella loro membrana cellulare che assicurano la natura fluida anche a basse temperature. Esempi: *Vibrio psychroerythrus*, *Vibrio marinus*, *Polaromonas vacuolata*, *Psychroflexus*.

Psicrofili facoltativi: batteri che possono crescere anche a 0 ° C ma la cui temperatura ottimale per la crescita è 20-30°C. Esempio: *Yersinia enterocolitica*, *Aeromonas hydrophila*

Mesofili: batteri che possono crescere tra 25 e 40°C, con temperatura ottimale di 37°C. La maggior parte degli agenti patogeni umani sono di natura mesofila. Esempi: *E. coli*, *Salmonella*, *Klebsiella*, *Staphylococcus*.

Termofili: batteri che possono crescere al di sopra di 45°C. I termofili in grado di crescere nella gamma di temperature mesofile sono chiamati termofili facoltativi. I veri termofili sono chiamati **Stenotermofili** o termofili obbligati. I termofili contengono acidi grassi saturi nella loro membrana cellulare in modo da evitare che questa diventi troppo fluida anche a temperature più elevate. Esempi: *Streptococcus thermophilus*, *Bacillus stearothermophilus*, *Thermus aquaticus*.

Ipertermofili: batteri che hanno una temperatura ottimale di crescita superiore a 80 ° C. Per lo più gli archeobatteri sono ipertermofili. La membrana cellulare monostrato degli Archeobacteria è più resistente al calore della membrana dei batteri. Esempi: *Thermodesulfobacterium*, *Aquifex*, *Pyrolobus fumari*, *Thermotoga*.

Diversità funzionale dei batteri

Esigenze in ossigeno

Aerobi obbligati: richiedono ossigeno per vivere. Esempio: *Pseudomonas*

Anaerobi facoltativi: possono usare l'ossigeno, ma possono crescere anche in sua assenza.
Esempi: *E. coli*, *Staphylococcus*, lieviti e molti batteri intestinali.

Anaerobi obbligati: non possono usare l'ossigeno e sono danneggiati dalla sua presenza.
Esempi: *Clostridium*

Anaerobi aerotolleranti: non possono usare l'ossigeno, ma tollerano la sua presenza.
Esempio: *Lactobacillus*

Microaerofili: richiedono ossigeno, ma a basse concentrazioni. Esempio: *Campylobacter*

Diversità funzionale dei batteri

Esigenze in pH

Acidofili: batteri che hanno un optimum di crescita a pH acido. Alcuni acidofili sono termofili e vengono chiamati termoacidofili. Esempi: *Thiobacillus thiooxidans*, *Thiobacillus ferrooxidans*, *Thermoplasma*, *Sulfolobus*

Alcalofili: batteri che hanno un optimum di crescita a pH alcalino. Il pH ottimale di crescita di *Vibrio cholerae* è 8,2.

Neutrofili: batteri con optimum di crescita a pH neutro (6,5-7,5). La maggior parte dei batteri è neutrofilo. Esempio: *E. coli*

Diversità funzionale dei batteri
Esigenze in concentrazione salina

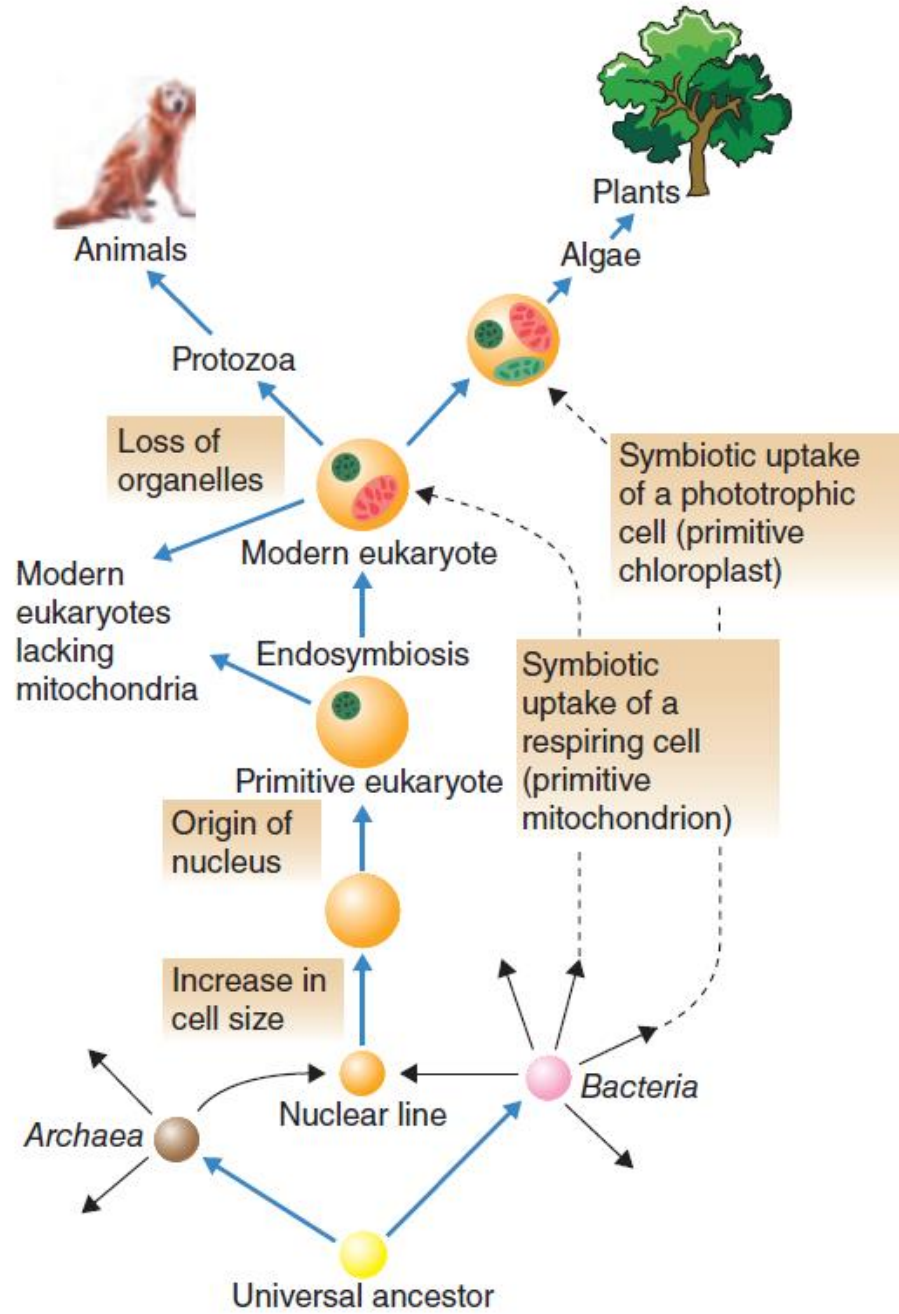
Alofili: batteri che richiedono concentrazioni saline da moderate a grandi. La membrana cellulare dei batteri alofili è costituita da glicoproteine con un alto contenuto di acido glutammico a carica negativa e acidi aspartici. Quindi è necessaria un'elevata concentrazione di ioni Na^+ per schermare le cariche negative i membrana.

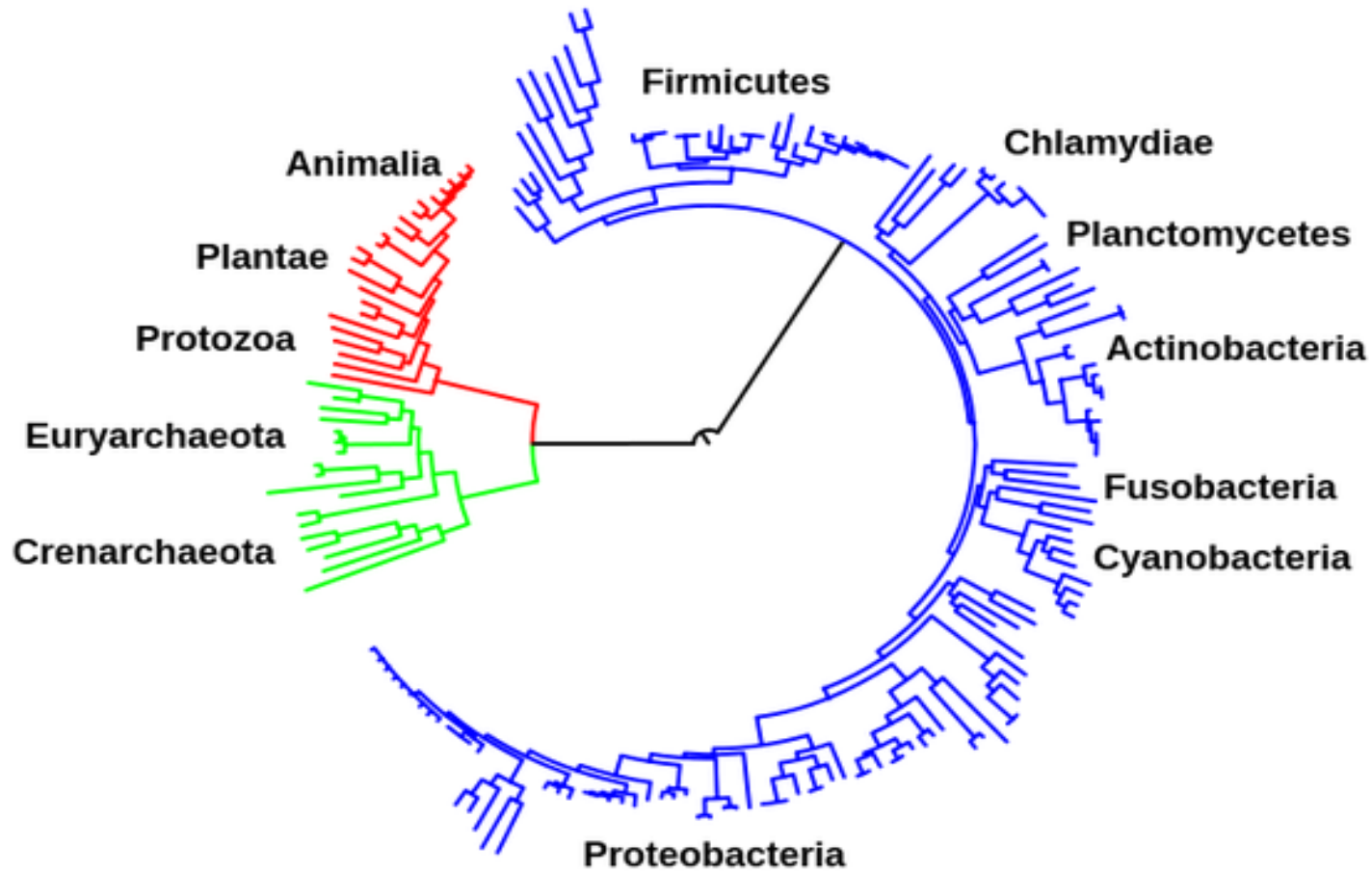
L'acqua dell'oceano contiene il 35‰ di sale. La maggior parte di questi batteri sono presenti negli oceani. Esempi: *Archea*, *Halobacterium*, *Halococcus*.

Alofili estremi o obbligati: batteri che richiedono concentrazioni di sale molto elevate (dal 20 al 30%). Esempi: batteri che vivono nel Mar Morto, vasche di salamoia nelle industrie alimentari.

Alofili facoltativi: batteri che non richiedono alte concentrazioni di sale per la crescita, ma tollerano fino al 2% o più di sale.

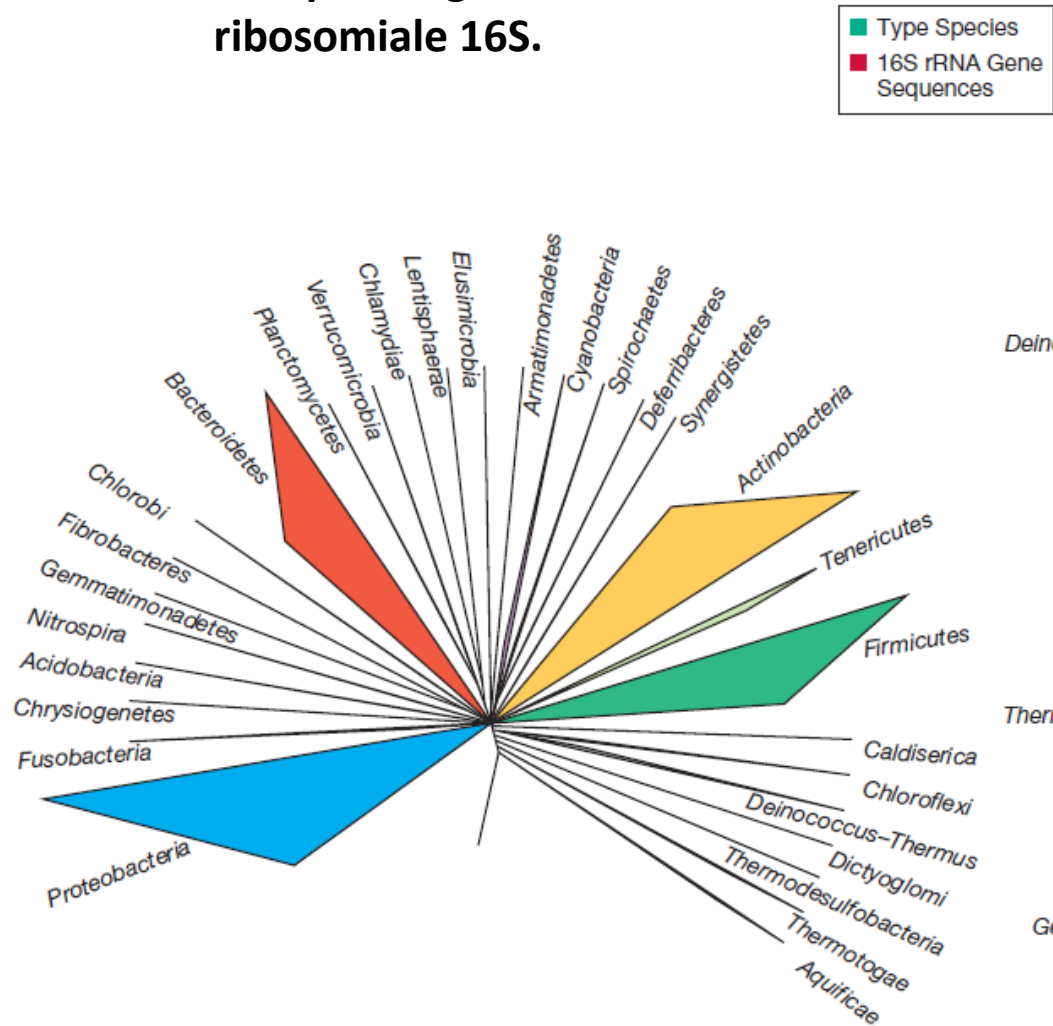
Diversità genotipica



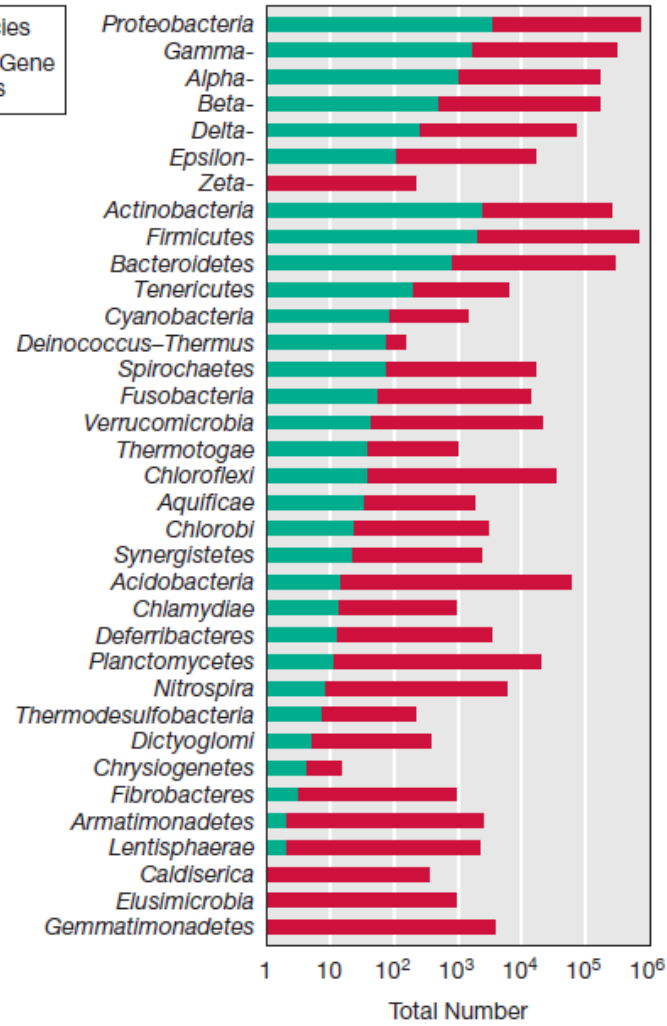


Evolutionary tree showing the common ancestry of all three domains of life: A highly resolved Tree Of Life, based on completely sequenced genomes. Bacteria are colored blue, eukaryotes red, and archaea green. Relative positions of some phyla are shown around the tree.

Alcuni dei principali phyla di batteri identificati da sequenze geniche dell'RNA ribosomiale 16S.



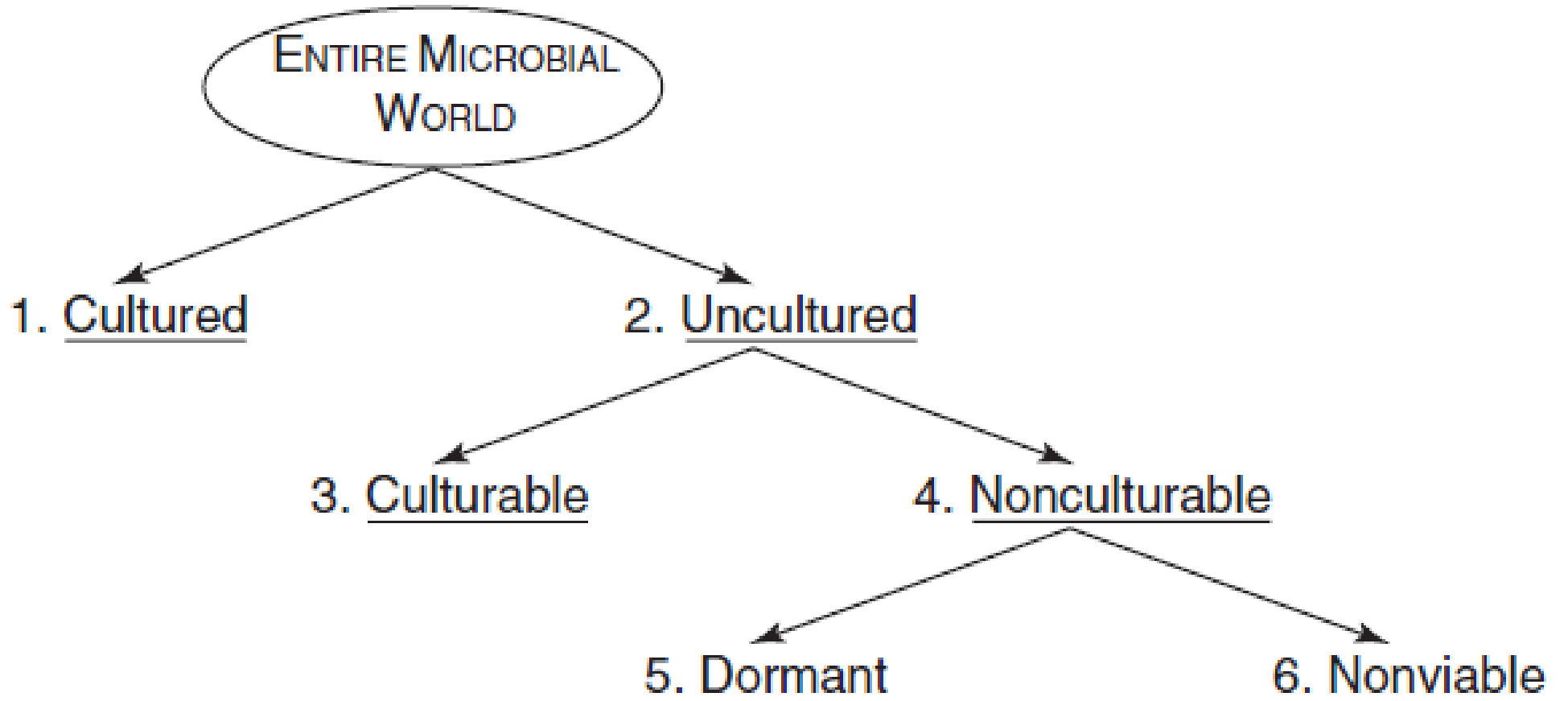
(a) Major phyla of Bacteria



(b) Cultured representatives versus phylotypes

(a) I 29 principali phyla di batteri di cui si sono coltivate le specie. Analisi delle sequenze dei gene 16S rRNA da ambienti naturali suggeriscono che ci siano più di 80 phyla batterici.

(b) Numero di specie caratterizzate e coltivate (barre verdi) e sequenze note del gene 16S rRNA (filotipi, barre rosse) per ciascuno dei 29 principali phyla batterici che hanno almeno una specie caratterizzata in coltura pura. Differenze tra le dimensioni delle barre rosse e verdi indicano quanto i membri di ciascun gruppo siano difficili da isolare e coltivare.



Le sei categorie di coltivabilità dei microrganismi in natura. Le categorie sono definite operativamente e sono basate su tecniche di microscopia e procedure tradizionali e innovative di isolamento e crescita.

J.L. Garland, in: Microbial Biosystems: New Frontiers; Proc. 8th Int. Symp. Microbial Ecology, Bell CR, Brylinsky M, Johnson-Green P (ed), Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax, Canada, 1999.

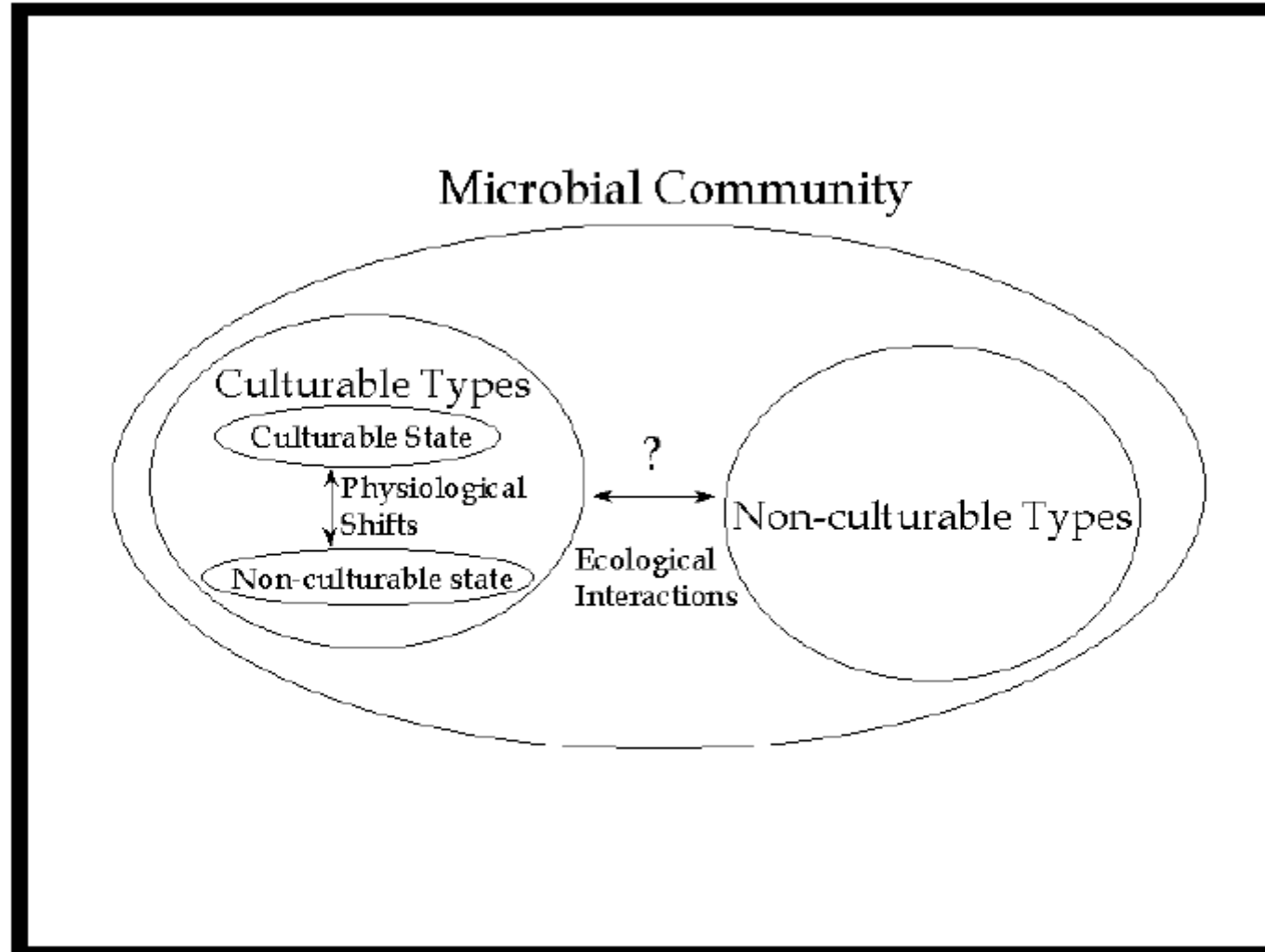


Fig. 2. Conceptual model of microbial community indicating culturable and non-culturable types, and the shift in the physiological state of culturable types from a culturable and non-culturable state.

I **microrganismi coltivati** sono quelli isolati con successo e purificati in laboratorio. Questi sono rappresentati nelle collezioni di microrganismi come quelli negli Stati Uniti e Germania, Belgio, Paesi Bassi, Giappone, Cina, Stati Uniti, Regno Unito, Francia e Polonia (ad es. American Type Culture Collection, ATCC) e Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen (DSMZ). L'informazione derivata da questi microrganismi conservati nelle collezioni microbiche è alla base, per ~99%, di ciò che sappiamo sulla microbiologia.

Il numero e la diversità dei microrganismi coltivati è in costante crescita perché i microbiologi escogitano costantemente nuovi modi per soddisfare le esigenze nutrizionali e i bisogni fisiologici dei microrganismi prelevati dai loro habitat nativi (ad es. suolo, sedimenti, acque, tratti gastrointestinali di animali) e trasportati in terreni di coltura sintetici in laboratorio. Nel 2005 il numero di microrganismi procarioti coltivati era di 6466, appartenenti a 1194 generi e 240 famiglie. Nel 2014 il totale delle specie coltivate era tra > 10.000 a ~ 14.000.

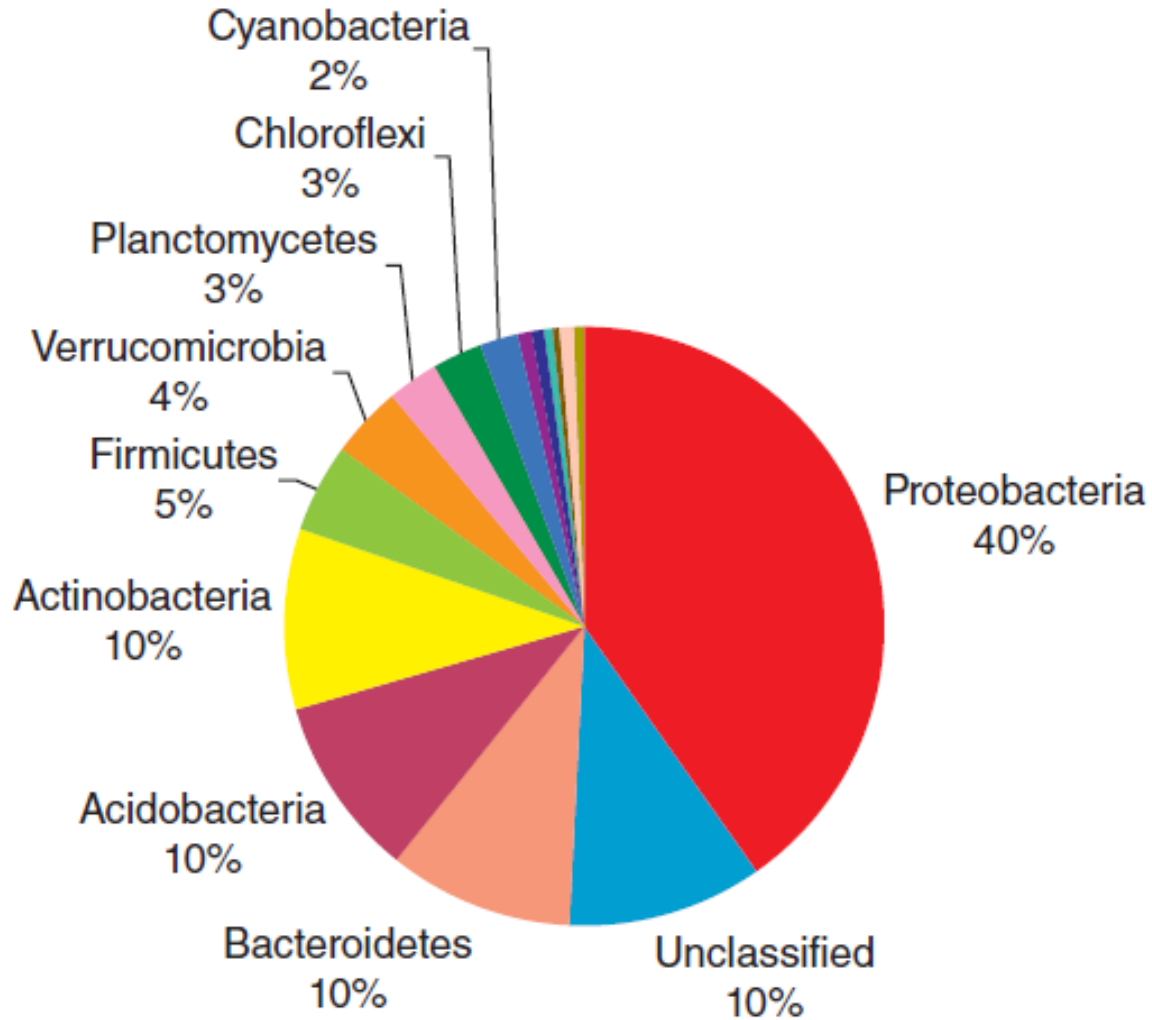
I **microrganismi non coltivati**. Nessuno conosce il grado di diversità microbica nella biosfera. Si stima che il numero di specie non coltivate possa essere può essere 10^4 volte a quello delle specie coltivate. I microrganismi non coltivati sono quelli per i quali non è stato ancora trovato un mezzo idoneo di crescita. Concettualmente categoria dei microrganismi non coltivati può essere ulteriormente suddivisa in :

I **microrganismi potenzialmente coltivabili**, sono quelli che verranno coltivati quando un microbiologo intelligente escogiterà un mezzo di crescita che corrisponda alle esigenze nutrizionali dell'organismo, in termini di condizioni di crescita fisiche e chimiche. Quindi, da un punto di vista tassonomico non esistono "microrganismi non coltivabili".

I **microrganismi non coltivabili**, sono quelli presenti nei suoli, nei sedimenti, nelle acque, o in altri habitat il cui stato fisiologico impedisce loro di essere coltivati. Questi possono essere divisi in due ulteriori categorie: dormienti e non vitali

Cellule dormienti, sono cellule che potrebbero essere state in quiescenza per così tanto tempo che la loro crescita non è più possibile.

Cellule non vitali, sono quelle che non possono essere riportate in vita.



Abbondanza relativa di Phyla batterici isolati da molti habitat acquatici e terrestri. I dati si riferiscono alla comparazione di 28.115 sequenze di rRNA 16S ottenute da 14 diversi tipi di habitat (238 campioni ambientali di estuari, sedimenti, ghiaccio, insetti, laghi, acqua di mare, suolo). Nel grafico sono indicati i Phyla che rappresentano almeno il 2% delle sequenze.