

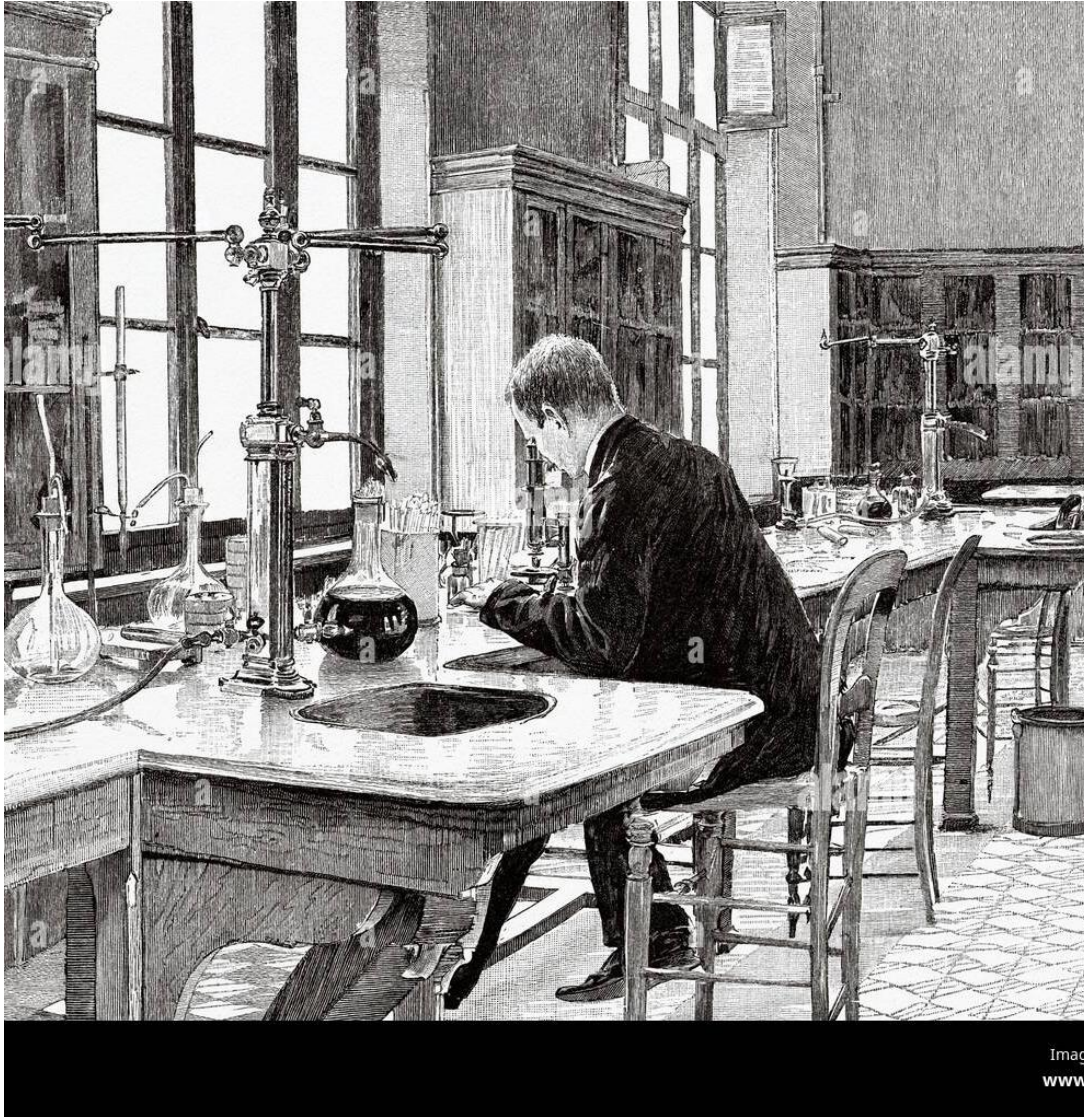


# Lezione 1: Introduzione allo studio della microbiologia ambientale

---

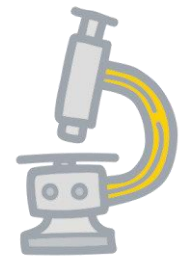
DOTT. ROSA ANNA NASTRO – STANZA 425° -  
4°PIANO, LATO NORD

EMAIL: [ROSA.NASTRO@UNIPARTHENOPE.IT](mailto:ROSA.NASTRO@UNIPARTHENOPE.IT)



# La microbiologia ambientale

La microbiologia ambientale nasce a fine '800 partire da studi sulla microflora del suolo grazie agli studi di Sergej Vinogradskij, scopritore della **chemiosintesi**. In seguito, Robert Edward Hungate pose le basi per lo studio delle interazioni tra i microrganismi e l'ambiente che colonizzano grazie ai suoi studi sul rumine



# Oggetto ed ambito di studio

La **microbiologia ambientale** studia le relazioni tra i batteri e gli elementi biotici ed abiotici presenti nell'ambiente.



Classificazione e studio della fisiologia di microrganismi che colonizzano habitat terrestri ed acquatici (.. E non solo..)



Ecologia  
microbica



Risanamento  
ambientale  
Depurazione delle acque  
Bioenergie e Bioprocessi



Content

# Contenuti del Corso

- L'energia per la vita
- Catene e reti trofiche
- Evoluzione microbica
- Biodiversità microbica
- Metabolismi microbici
- Ambienti microbici
- Cicli biogeochimici
- Biotecnologie per l'ambiente e bioprocessi
- Cenni di elettromicrobiologia

# Energia e vita: un indissolubile connubio

---

## Che cos'è la natura?

- L'Oxford Dictionary definisce la natura come "fenomeni del mondo fisico che includono collettivamente piante, animali, il paesaggio e altre caratteristiche e prodotti della terra, diversi dagli esseri umani o dalle creazioni umane".

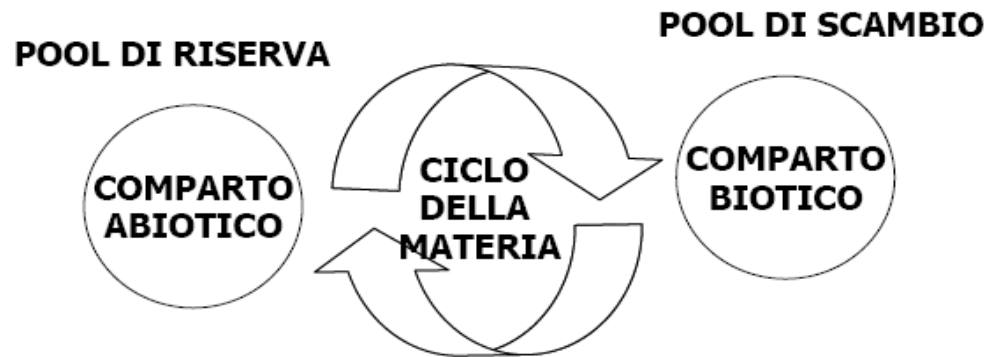
La natura è un sistema che fa circolare al suo interno materia ed energia:

- Cicli biogeochimici
- Catene e reti trofiche

# *“Nulla si crea né si distrugge ma si trasforma”:* i cicli biogeochimici:

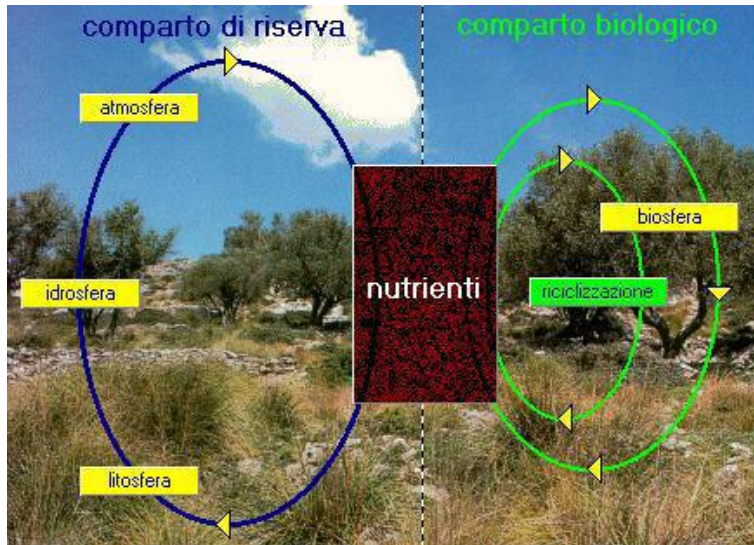
---

Nei cicli biogeochimici si ha un continuo passaggio di sostanze inorganiche attraverso litosfera, idrosfera, atmosfera e biosfera. Il passaggio avviene tra un comparto (pool) di riserva (abiotico) ed un compartimento (pool) di scambio (biotico)



A seconda della localizzazione del comparto di riserva (atmosfera o suolo, ad esempio) i cicli possono essere gassosi o sedimentari

# Cicli biogeochimici ed i microrganismi



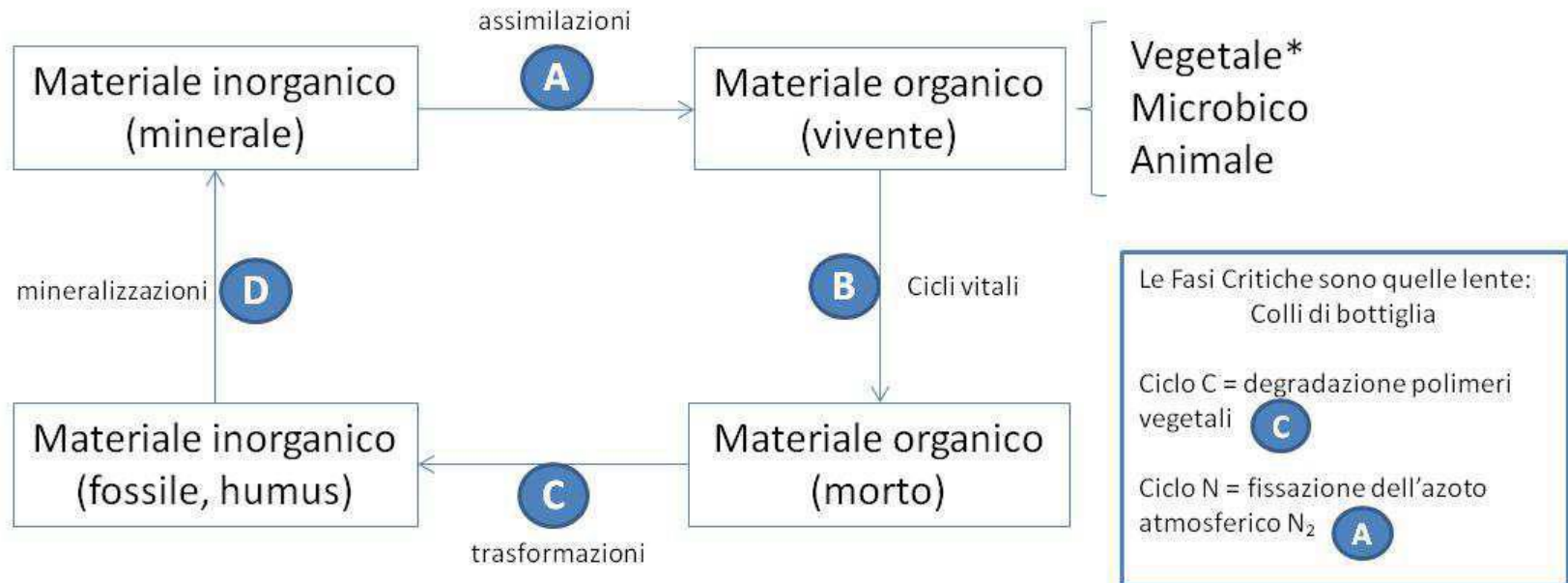
*Perché questo tema viene affrontato in microbiologia?*

I microrganismi svolgono un ruolo fondamentale nel ciclo della materia, ed in particolare sono gli unici organismi in grado di chiudere anello del ciclo tra materia organica ed inorganica (**MINERALIZZAZIONE**), permettendo il flusso continuo degli elementi

*Inoltre:*

L'attuale stato chimico degli elementi sul pianeta dipende in gran misura dalle attività degli organismi viventi, in particolare alcune forme di elementi sono comparse, o sono tutt'ora dovute, esclusivamente al metabolismo microbico

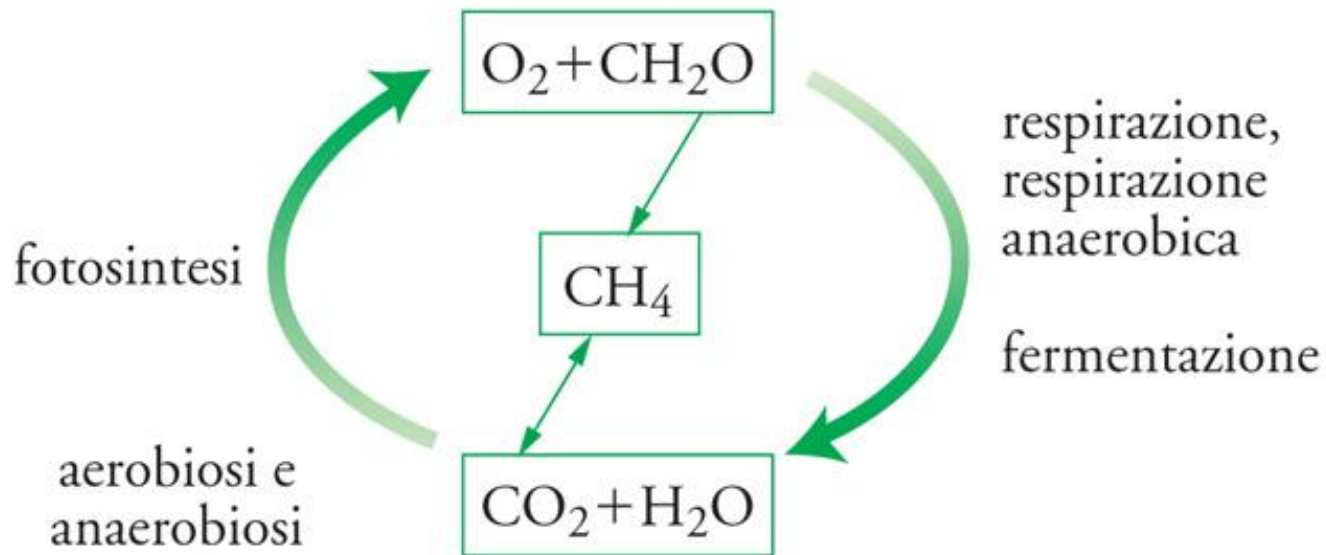
# Cicli della biosfera: ruolo primario dei microrganismi



\* Materiale organico (biomassa vivente) maggioritario



# Cicli della biosfera: ruolo primario dei microrganismi



Non c'è fase del ciclo del carbonio in cui non siano coinvolti i microrganismi!!

# Principale ruolo ecologico dei microrganismi

I cicli microbici degli elementi sono condotti principalmente dalla energia chimica della sostanza organica morta ,anche se i donatori di elettroni dei batteri fotosintetici sono composti organici parzialmente mineralizzati .

## Ruolo ecologico principale dei microrganismi



*mineralizzazione della sostanza organica*

In molti ecosistemi una larga parte della sostanza organica prodotta non è consumata da erbivori o carnivori , ma si aggiunge al pool di **DETRITO** demolito dall'azione microbica .

## ➤ DEFINIZIONI

### ➤ Detrito



Carbonio organico perso da processi che non comprendono la predazione a tutti i livelli trofici .

### ➤ Catena alimentare del detrito



ogni via attraverso la quale l'energia contenuta nel carbonio organico del detrito diviene disponibile .

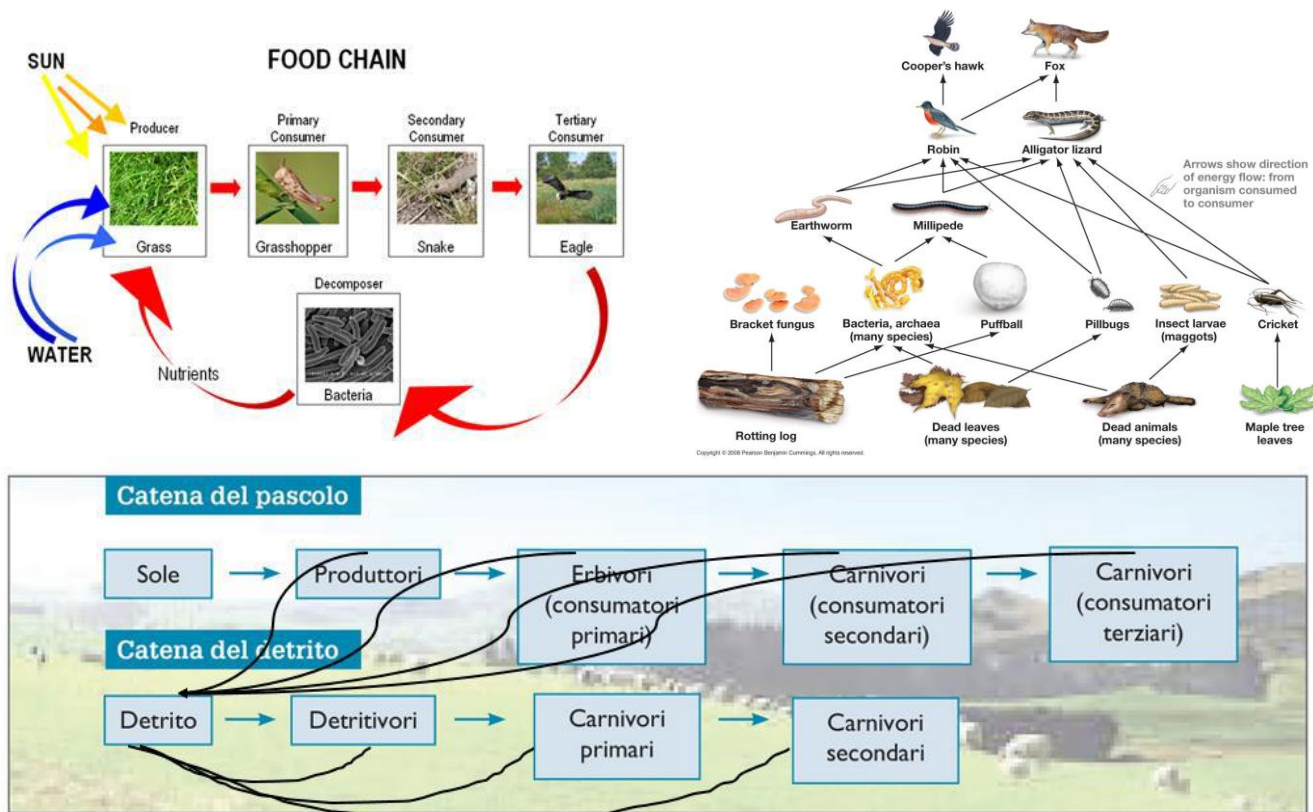
*Questa definizione esclude la sostanza organica viva ed include i composti organici solubili. Riconosce, inoltre, che il trasferimento di energia nella catena alimentare del detrito coinvolge composti inorganici .*

# Le caratteristiche della catena del detrito



- q **Detritus food chain is not limited to single habitat**, as it is found in several different locations like the bottom of lakes and oceans. These locations are too dark to carry the process of photosynthesis. Therefore, the **ecosystems of the detritus food chain are rarely dependent on solar energy**.
- q **Detritus food chain has continuous energy flow** compared to other food chains. For instance, in the grazing food chain, there is a distinct transfer of energy flow between different trophic levels.
- q **Energy for this type of food chain is from the dead and decomposed matter** known as detritus.
- q This type of food chain acquires energy from detritus, **utilizing the detritus to its fullest, with minimum wastage**.
- q **The detritus food chain helps in solving inorganic nutrients**.
- q **Detritus food chain includes sub soil species that can be macroscopic or microscopic in nature**.
- q Compared to other kinds of food chains, **the detritus food chain has much larger energy flow in a terrestrial ecosystem**.

# La catena del detrito interseca tutte le altre



Decompositori e parassiti possono essere entrambi inclusi nelle reti e catene trofiche

*Motivi che spiegano il ruolo dominante dei microrganismi come decompositori primari del detrito .*

- 1) Possono utilizzare una varietà di composti organici , alcuni totalmente indigeribili dagli animali .
- 2) Possono utilizzare nutrienti in concentrazioni estremamente diluite.
- 3) La loro piccola taglia e gli enzimi idrolitici legati alla loro superficie esterna rendono possibile un contatto stretto tra substrato nutritivo e cellule minimizzando le perdite di prodotti .
- 4) Hanno una grande superficie specifica
- 5) Possono efficacemente mineralizzare substrati organici in anaerobiosi

## CINETICHE DI ASSUNZIONE DI SOSTANZE ORGANICHE DISCIOLTE

I microrganismi hanno meccanismi di “uptake” per substrati organici ed inorganici .

Questi meccanismi possono essere saturati.

Nelle condizioni ambientali la cinetica di “uptake” per un dato substrato ed un dato microrganismo è del primo ordine .

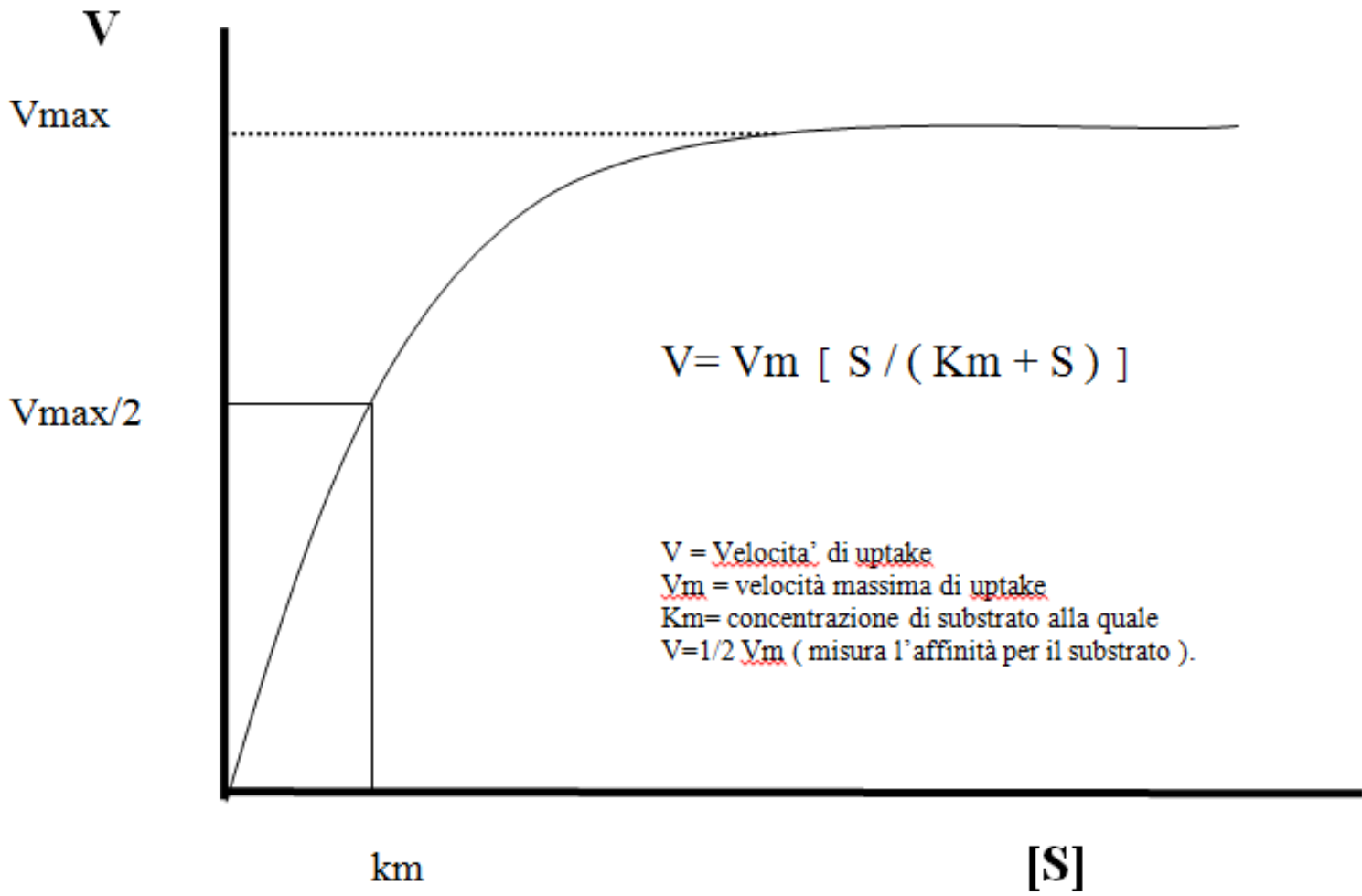
Tale cinetica può essere efficacemente descritta dall'equazione di Michaelis - Menten.

$$V = V_m [ S / ( K_m + S ) ]$$

V = Velocità di uptake

V<sub>m</sub> = velocità massima di uptake

K<sub>m</sub> = concentrazione di substrato alla quale  $V = 1/2 V_m$  ( misura l'affinità per il substrato ).



$V_m$  alto = alta capacità di uptake

$K_m$  basso = alta affinità per il substrato



**In natura i valori di  $V_m$  e  $K_m$  di differenti microrganismi per un dato substrato sono correlati in modo che :**

- microrganismi con alto  $V_m$  per un substrato hanno alto  $K_m$ .
- microrganismi con bassa  $V_m$  per un substrato hanno basso  $K_m$

Il significato ecologico di questa situazione può essere evidenziato considerando che:

❖ i microrganismi possono specializzarsi nell' avere un elevato tasso di uptare ad elevate concentrazioni di substrato (  $K_m$  elevato)

oppure

❖ i microrganismi possono essere competitori efficienti a basse concentrazioni di substrato ( $K_m$  basso) .

Queste considerazioni evidenziano due comportamenti distinti :

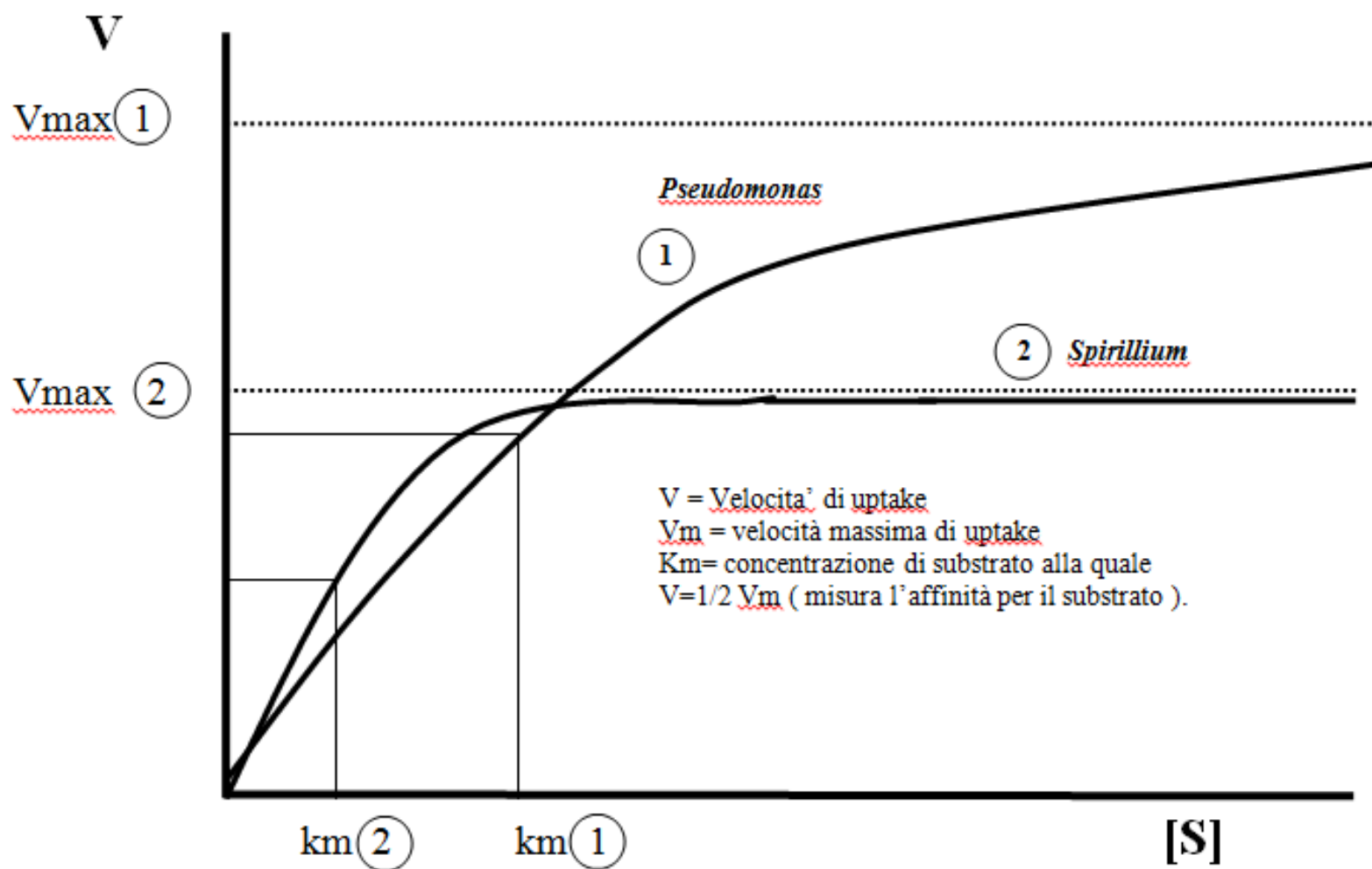
- batteri che crescono lentamente ,che hanno un'alta capacità competitiva a basse concentrazioni di substrato (autoctoni)
- batteri con alta capacità di crescita ad alte concentrazioni di substrato (zimogeni )

➤ **STRATEGIA K** Batteri capaci di crescere in ambienti oligotrofi (bassa concentrazione di nutrienti). Questi batteri sono detti

- paucitrofi
- **oligotrofi (obbligati o facoltativi)**
- **autoctoni**

➤ **STRATEGIA r** Batteri forti competitori in ambienti eutrofi (alta concentrazione di nutrienti). Questi batteri sono detti

- **copiotrofi**
- **eutrofi**
- **zimogeni**



# Cicli biogeochimici ed i microrganismi

---

Il ruolo dei microrganismi nei cicli biogeochimici dipende da:

- 1) Distribuzione nell'ambiente (ubiquità) e velocità di duplicazione
- 2) Duttilità e capacità metabolica di popolazioni (e comunità microbiche)

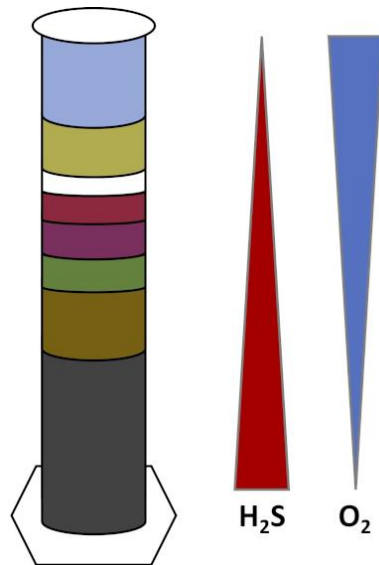


Successioni microbiche

**Successioni microbiche primarie:** i batteri colonizzano ambienti sterili e li preparano alla colonizzazione di altri organismi

**Successioni microbiche secondarie:** i batteri si stabiliscono in ambienti disturbati rendendoli nuovamente adatti alla crescita di altri organismi

# Le successioni microbiche



**Figura 1:** Rappresentazione dei gradienti di ossigeno ( $O_2$ ) e solfuro ( $H_2S$ ) che si sviluppano in una colonna di Winogradsky.

I batteri sono generalmente i primi colonizzatori che iniziano i processi-chiave per permettere lo stabilirsi degli ecosistemi e forniscono risorse per la successiva colonizzazione da parte di piante ed animali. Tali microorganismi colonizzatori possono avere vari ruoli funzionali come erodere e detossificare gli ambienti per aumentare l'abitabilità, fornire carbonio organico ed azoto biodisponibile, formare relazioni mutualistiche con le piante. Con l'aumentare della diversità tassonomica e funzionale prima su base annua e poi decennale, le transizioni successionali ecosistemiche passano da poche specie pioniere ad un robusto e complesso ecosistema. Successioni microbiche su scala di laboratorio sono riproducibili nelle colonne di Winogradsky dove si realizzano, alle diverse profondità della Colonna, differenti condizioni ambientali portando allo stabilirsi di popolazioni microbiche con attività metaboliche differenti.

# Successioni di gruppi funzionali nella Colonna di Winogradsky

**Tabella 1:** I principali gruppi di batteri che possono apparire in una classica colonna Winogradsky, dall'alto verso il basso.

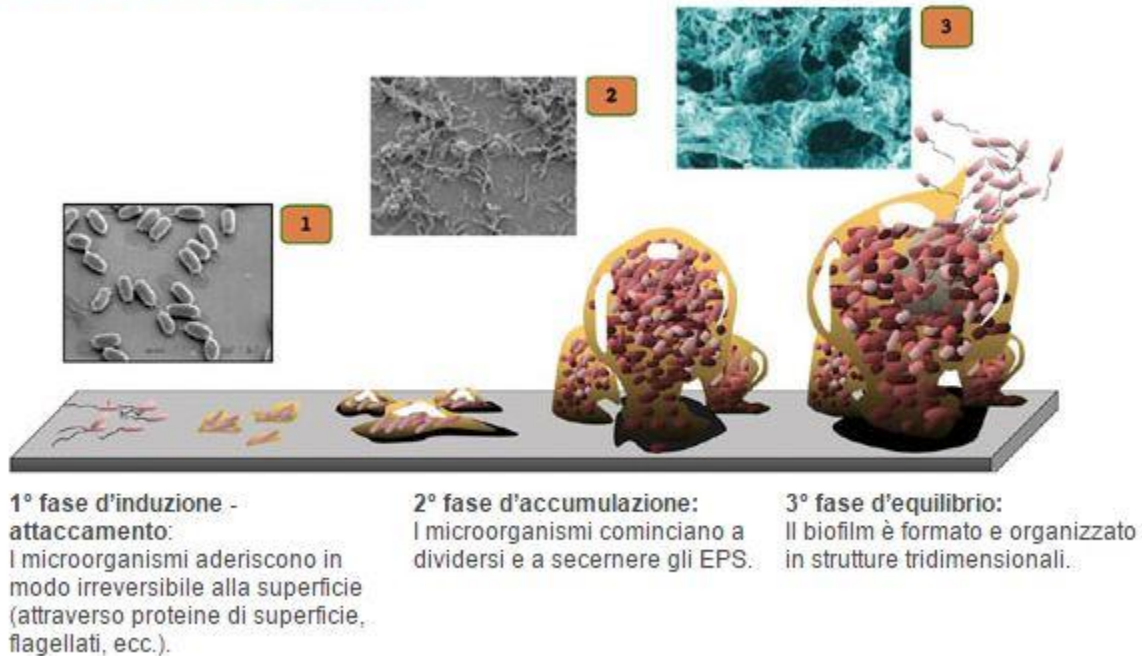
Vengono forniti esempi di organismi di ciascun gruppo e vengono elencati gli indicatori visivi di ciascuno strato di organismi. Basato su Perry et al. (2002) e Rogan et al. (2005).

Posizione nella colonna	Gruppo funzionale	Esempi di organismi	Indicatore visivo
In alto	Fotosintetici	Cianobatteri	Strato verde o bruno-rossastro. A volte bolle di ossigeno.
	Ossidanti dello zolfo non fotosintetici	<i>Beggiatoa</i> , <i>Thiobacillus</i>	Strato bianco.
	Batteri viola nonsolfuro	<i>Rhodomicrobium</i> , <i>Rhodospirillum</i> , <i>Rhodopseudomonas</i>	Strato rosso, viola, arancione o marrone.
	Batteri dello zolfo viola	<i>Cromatium</i>	Strato viola o rosso porpora.
	Batteri dello zolfo verde	<i>Clorobium</i>	Strato verde.
	Batteri che riducono il solfato	<i>Desulfovibrio</i> , <i>Desulfotomaculum</i> , <i>Desulfobacter</i> , <i>Desulfuromonas</i>	Strato nero.
Fondo	Metanogeni	Metanococco, Metanosarcina	A volte bolle di metano.

# I biofilm: esempio di colonizzazione e successione primaria

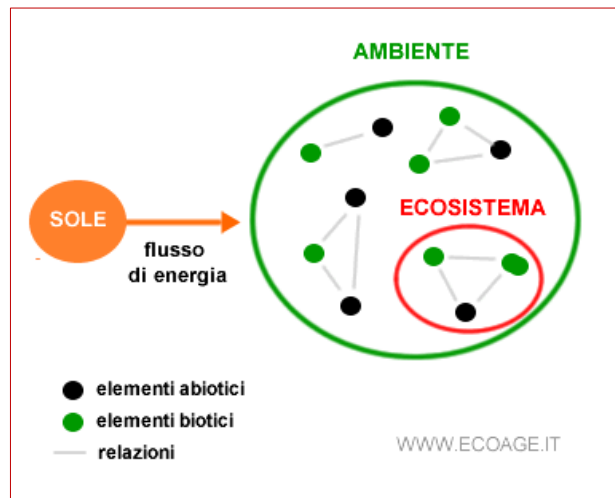
---

## Crescita di un biofilm - le diverse fasi



# Dal macroscopico al microscopico....

La fonte primaria di energia di un ecosistema naturale, essenziale per la vita di qualunque organismo è il **sole**.



## Livelli trofici

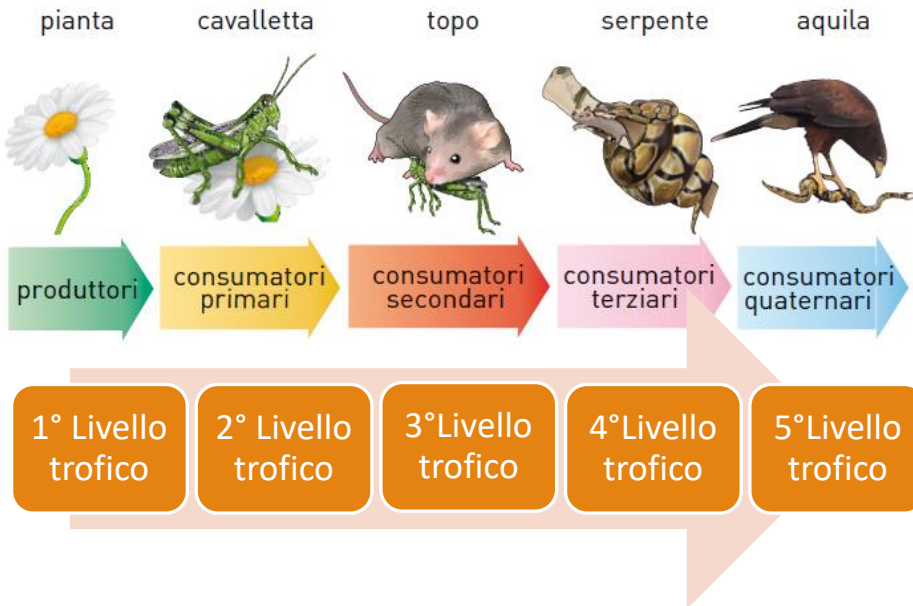
- ✦ Al primo livello trofico si trovano tutti i produttori (piante, alghe, batteri fotosintetici)
- ✦ Al secondo livello trofico si trovano i consumatori primari (tutti gli erbivori o **pascolatori**)
- ✦ Al terzo livello trofico si trovano i **consumatori secondari**, ovvero i carnivori che si nutrono di erbivori
- ✦ A livelli trofici superiori  $n+1$  si trovano i carnivori che si nutrono di carnivori al livello  $n$
- ✦ Nella pratica non si riscontrano mai più di 5 livelli trofici

Attraverso i livelli trofici degli ecosistemi, l'energia solare fluisce attraverso la biosfera



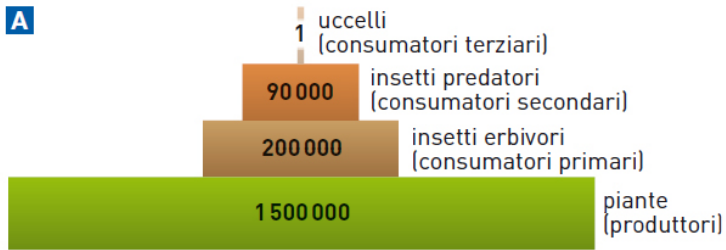
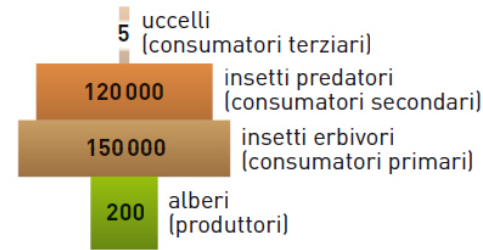
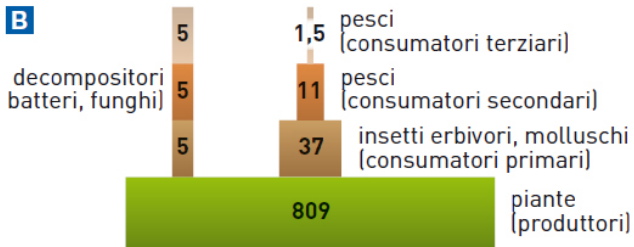
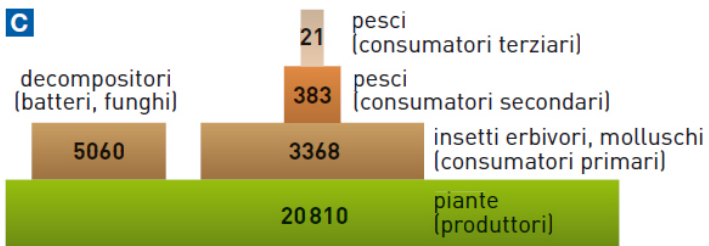
# Dal macroscopico al microscopico....

Le relazioni alimentari tra le specie che popolano un ecosistema si chiamano **relazioni trofiche**: ogni specie rappresenta un anello o livello trofico della **catena alimentare**.



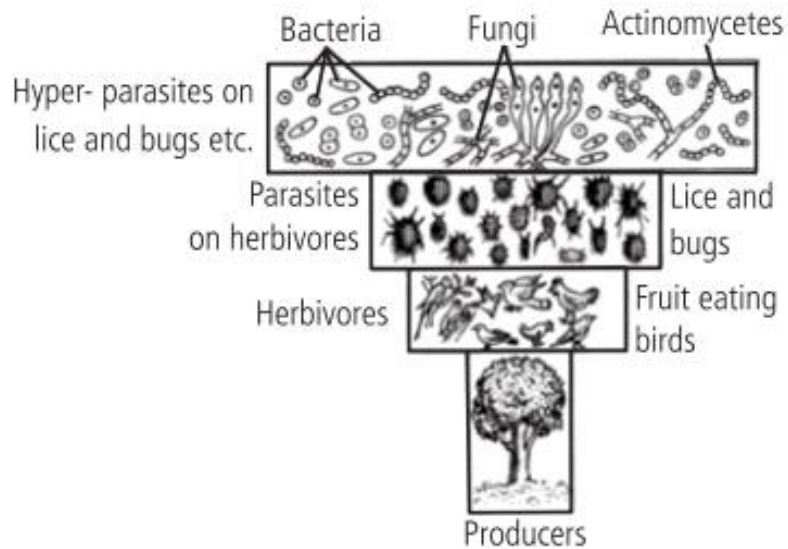
## Catena di predazione

- ✦ Le catene alimentari di predazione (dette anche "catene di pascolo") portano dai produttori agli erbivori che sono a loro volta mangiati da carnivori di piccola taglia e questi ultimi sono mangiati da carnivori più grandi e così via
- ✦ Quando si procede lungo la catena di predazione gli individui divengono sempre più grandi e meno numerosi

**A**piramide dei numeri: prateria (individui/1000 m<sup>2</sup>)piramide invertita dei numeri: foresta (individui/1000 m<sup>2</sup>)**B**piramide della biomassa: ecosistema di acqua dolce (g/m<sup>2</sup>)piramide invertita della biomassa: ecosistema marino (g/m<sup>2</sup>)**C**

A differenza delle piramidi dei numeri e della biomassa, la **piramide dell'energia** non può mai essere invertita.

Molti microrganismi sono parassiti di piante, animali e di altri microrganismi!  
*Entamoeba histolytica*, *Plasmodium malariae*,  
*Chlamidia trachomatis*, *Pyrenophora teres*,  
*Bdellovibrio* spp.,



Pyramid of numbers in parasitic food chain

## Catena di parassiti

- ✦ Porta verso organismi di dimensioni sempre più piccole e sempre più numerosi
- ✦ Esempio
  - Erba → erbivoro → pulci (insetti) → batteri
  - Bruco di farfalla → mosca → microimenotteri (insetti)

# Parassitismo



Parassita: il suo ciclo vitale si conclude prima che l'ospite muoia (per esempio elminti, sanguisughe)

Parassitoide: termina il suo ciclo vitale oppure la fase parassitica del suo ciclo vitale causando la morte dell'ospite (alcuni insetti ausiliari)

Iperparassita: parassita di parassita (la vespa *Hyposoter horticola*, che è parassitata da *Mesochorus cf. stigmaticus*, un'altra vespa che depone le sue uova nella larva della vespa *H. horticola*).

Iper-iperparassita: parassita di iperparassita



il fungo *Rhinotrichella globulifera* mangia le parti morte del fungo *Hypomyces c.f. aurantius*, che a sua volta mangia il fungo poliporo *Fomes hemitephrus*, che colonizza i faggi.

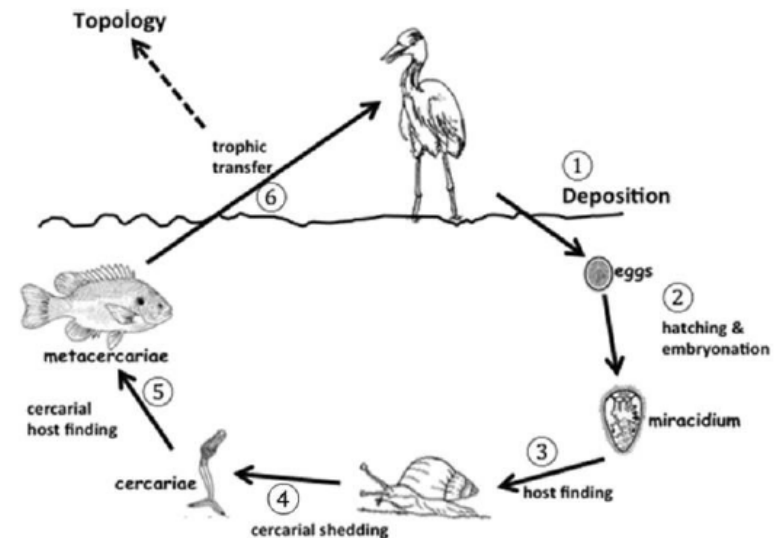
# L'importanza ecologica dei parassiti

“Quando sviluppiamo catene alimentari o reti ecologiche, in alcuni casi scopriamo che i parassiti compongono oltre la metà dei collegamenti tra le specie”, “Quindi se vogliamo trovare l'elemento che agisce da “collante” negli ecosistemi, si tratta proprio dei parassiti”.

«I parassiti sono forse gli organismi più sensibili ai cambiamenti climatici e a rischio di estinzione»

Mackenzie Kwak

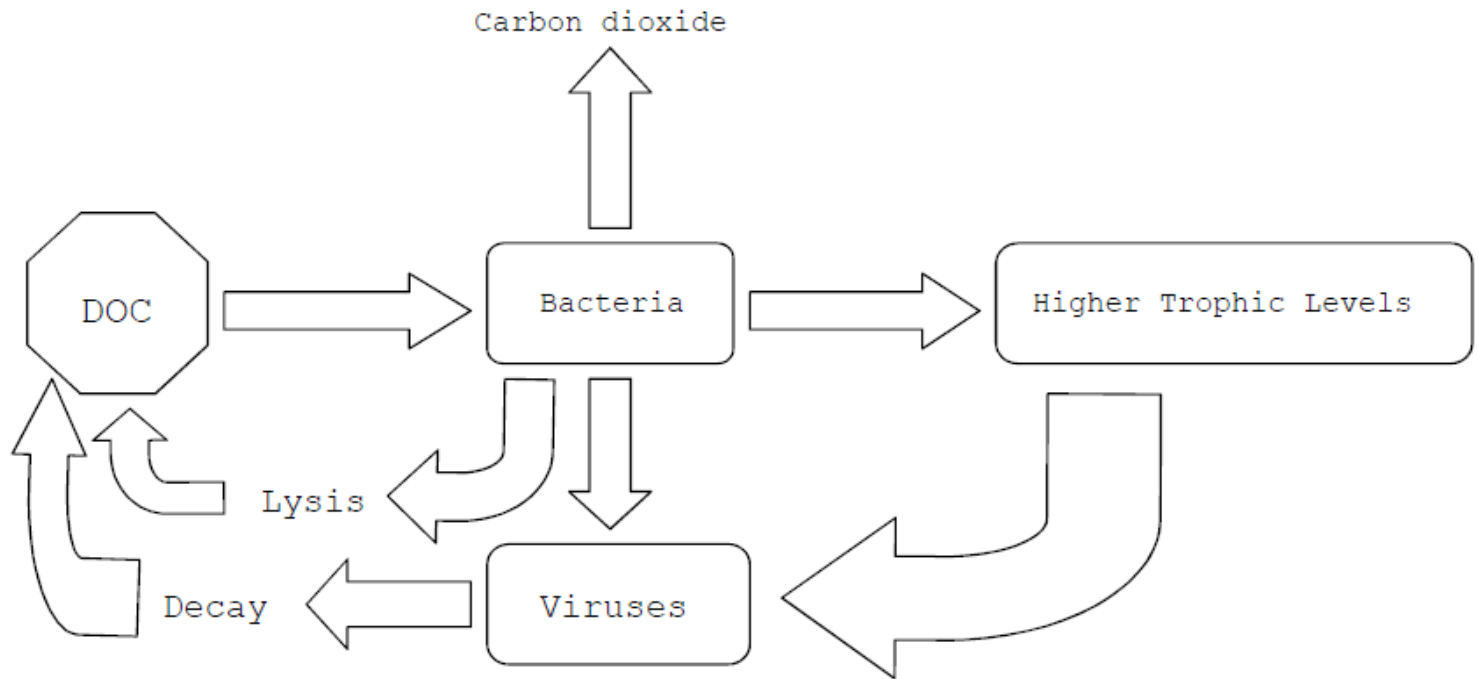
Università nazionale di Singapore.



# I microrganismi nella catena alimentare marina

## Ruolo batteri nella catena alimentare marina

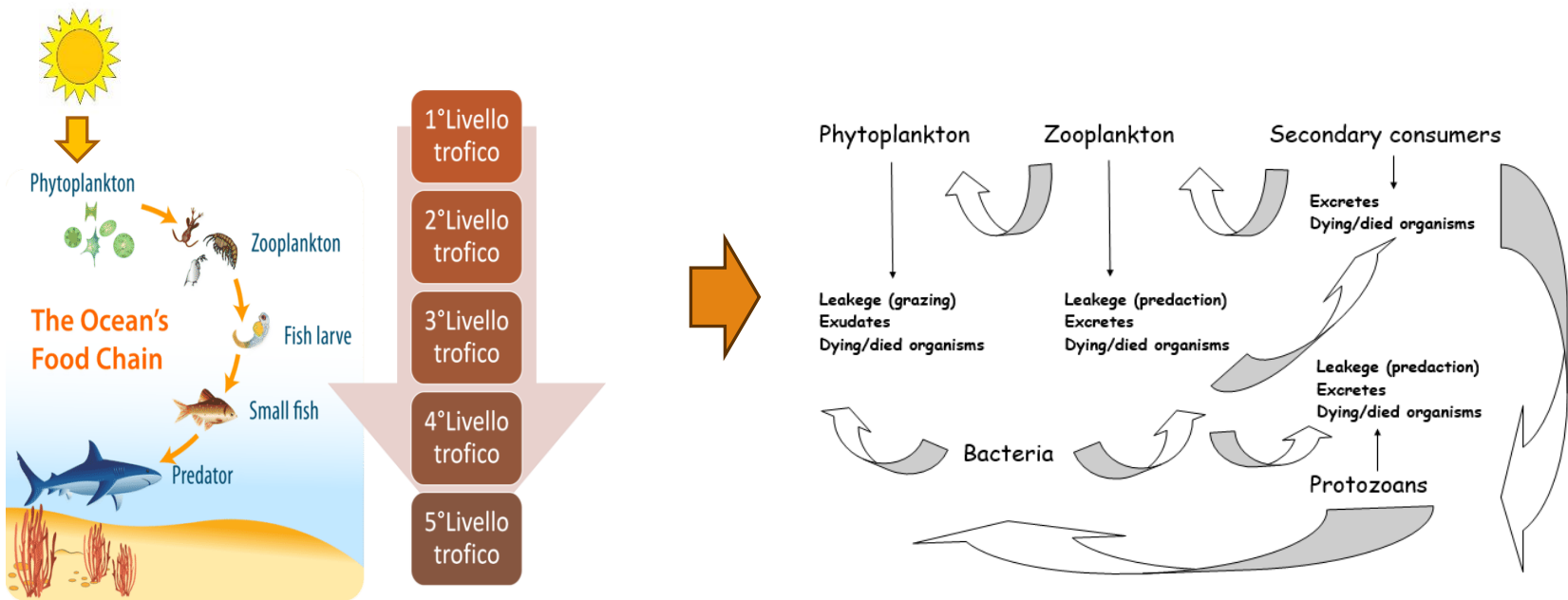
---



$10^{30}$  virioni negli oceani, circa 10 volte superiore al numero di batteri ed archea!

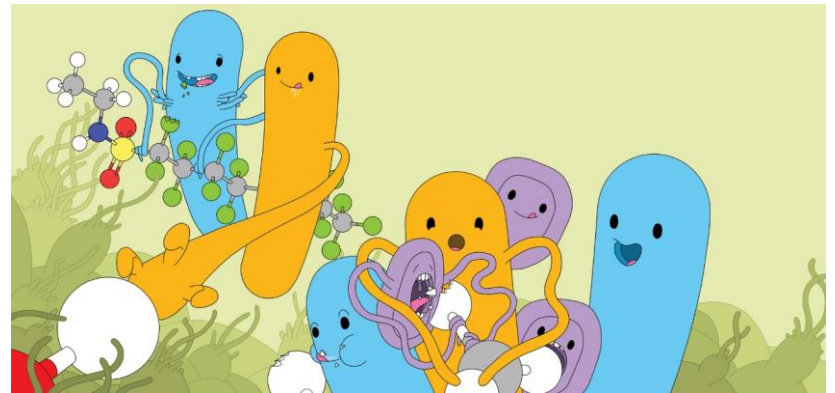
# I microrganismi nelle catene trofiche

Il fitoplankton è alla base della catena alimentare acquatica/marina



---

Nel suo libro di testo del 1951, *The Chemical Activities of Bacteria*, il microbiologo britannico Ernest Gale avanzò l'ipotesi dell'"infallibilità microbica": *se c'è energia da ottenere da un composto, un microrganismo sarà in grado di estrarla e creare una nicchia per se stesso* [\*].



\*E. F. Gale, *The Chemical Activities of Bacteria*, Academic Press, London, 1951.

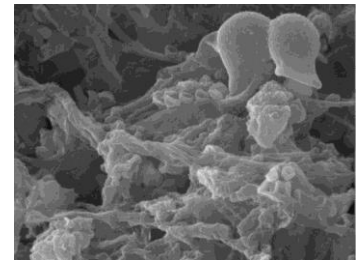


# Ipotesi Gaia

---

L'ipotesi Gaia, nota anche come teoria di Gaia, propone che tutti i microorganismi e loro componenti inorganiche sono strettamente integrati per formare un unico sistema complesso autoregolante che mantiene in tal modo le condizioni di vita sul pianeta. L'indagine scientifica dell'ipotesi Gaia si concentra sull'osservazione di come la biosfera e l'evoluzione delle forme di vita contribuiscono alla stabilità della temperatura globale, salinità, ossigeno nell'atmosfera e di altri fattori di abitabilità del Pianeta in una omeostasi perfetta. L'ipotesi Gaia è stata formulata dal medico, biofisico e chimico James Lovelock e co-sviluppati dalla microbiologa Lynn Margulis nel 1970.

Tale ipotesi è, tuttavia, oggetto di critiche in quanto essenzialmente in contrasto con il principio della selezione naturale.



---

## Effetti ambientali sulla crescita microbica

*«Conoscere le influenze ambientali consente di comprendere la distribuzione dei microrganismi in natura e rende possibile sviluppare metodi per il controllo o l'incremento di attività microbiche»\**

Da Brock – Biologia dei microrganismi - CEA

# Il vantaggio di essere un batterio...

---

- ❑ I batteri sono di piccole dimensioni e, quindi, hanno un elevato rapporto tra volume e superficie cellulare che gli permette di assorbire in maniera molto efficiente i nutrienti dall'ambiente circostante
- ❑ possono crescere molto velocemente: il loro metabolismo è da 10 a 1000 volte più veloce di quello eucariotico
- ❑ hanno eccezionali capacità di adattamento a condizioni di crescita sfavorevoli e, se necessario, possono rallentare la loro crescita e la velocità di moltiplicazione per tempi prolungati
- ❑ alcuni tipi di batteri possono crescere senza alcun apporto da parte di altri organismi viventi, utilizzando solo materiale inorganico e luce solare

**La crescita è un parametro fondamentale per valutare l'adattamento di una specie a svolgere un determinato ruolo funzionale nell'ambito di una nicchia ecologica**

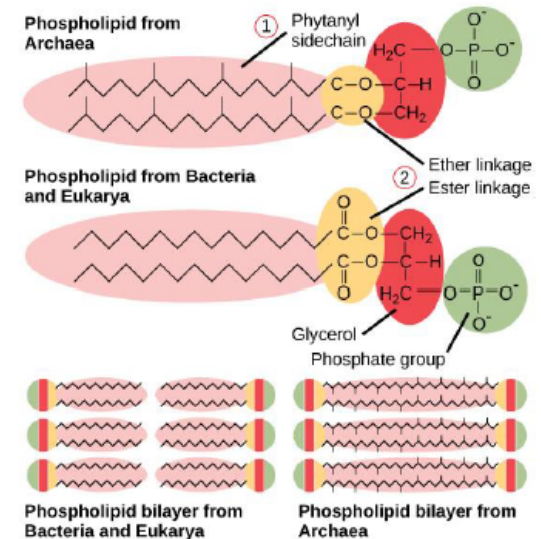
# Il vantaggio di essere un batterio...

## L'involucro cellulare negli archeobatteri

I lipidi di membrana sono eteri del glicerolo ( glicerol-dietero, diglicerol-tetraetero) e possono contenere lipidi isoprenoidi come il creanarcheolo (contiene anelli aromatici)

La membrana puo' essere composta da un singolo o da un doppio strato o da una combinazione di questi

Manca il peptidoglicano e la membrana esterna, presente strato S nella parete cellulare → Guscio proteico che previene la lisi osmotica



**Figure 22.15** Bacterial and archaeal phospholipids. Archaeal phospholipids differ from those found in Bacteria and Eukarya in two ways. First, they have branched phytanyl sidechains instead of linear ones. Second, an ether bond instead of an ester bond connects the lipid to the glycerol.

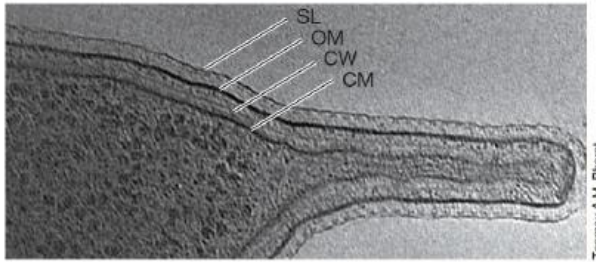
# Il vantaggio di essere un batterio...

## Strutture esterne dell'involucro cellulare

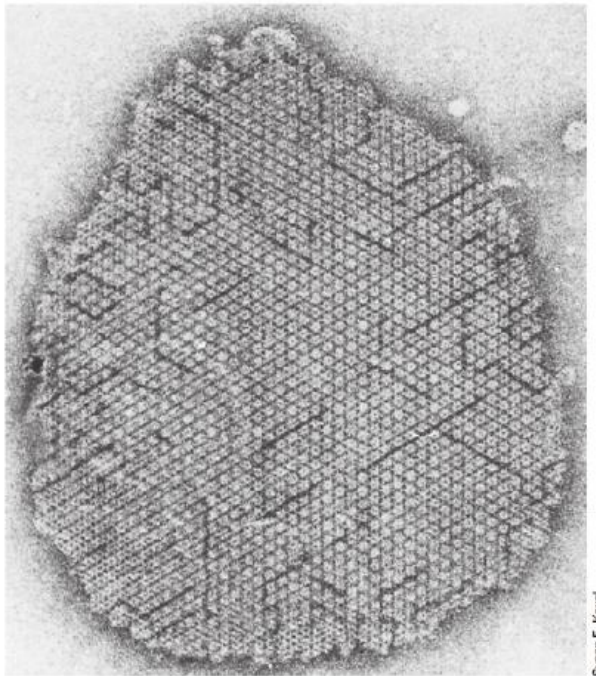
L'involucro delle cellule procariotiche può essere rivestito da ulteriori strutture di natura lipopolisaccaridica o proteica che conferiscono alle cellule microbiche particolari caratteristiche fisiologiche

- ❑ Lipopolisaccaride (batteri Gram negativi): media il riconoscimento delle superfici di adesione, è un fattore di virulenza per alcune specie (*Escherichia coli*, *Salmonella enterica*, *Shigella* spp) e contribuisce alla resistenza meccanica della cellula.
- ❑ Lo strato S (in molti batteri e quasi tutti gli archeobatteri): formato da proteine e/o glicoproteine che formano delle «piastrelle» autoassemblanti a struttura esagonale, tetragonale o trimerica che si ripetono. Conferisce resistenza cellulare, funge da setaccio per il passaggio di molecole verso la membrana citoplasmatica, forma un compartimento che ha funzione simile a quello dello spazio periplasmatico presente nei batteri Gram negativi, media le interazioni tra le cellule e le superfici (fattore di virulenza)

# Il vantaggio di essere un batterio...



(a) Involucro cellulare di *Caulobacter crescentus*



(b) Frammento dello strato S in *Aquaspirillum*

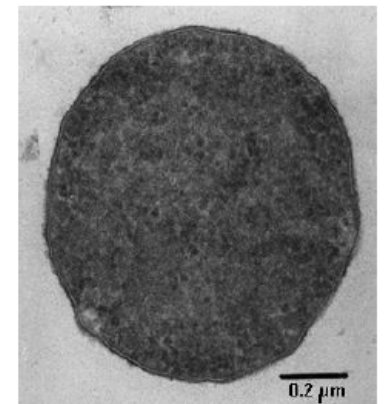
**Figura 2.14 Strato S.** (a) Lo strato S (SL), la membrana esterna (OM), la parete cellulare di peptidoglicano (CW) e la membrana citoplasmatica (CM) sono chiaramente visibili in questa tomografia elettronica di una sezione cellulare di *Caulobacter crescentus*, batterio pedunculato con un involucro cellulare gram-negativo e uno strato S esterno. (b) Micrografia elettronica a trasmissione di una porzione di strato S prelevato dal batterio *Aquaspirillum*, appiattita per mostrare la natura paracristallina e la simmetria esagonale dello strato S. Il peduncolo in a ha un diametro esterno di circa 150 nm e le due immagini sono rese nella stessa scala.

# Il vantaggio di essere un batterio...

La parete cellulare è assente in *Thermoplasma* (Archea) ed alcuni batteri patogeni in grado di crescere all'interno della cellula ospite, come i micoplasmi i quali non hanno necessità di contrastare la pressione osmotica in quanto vivono e riproducono in ambiente isosmotico.

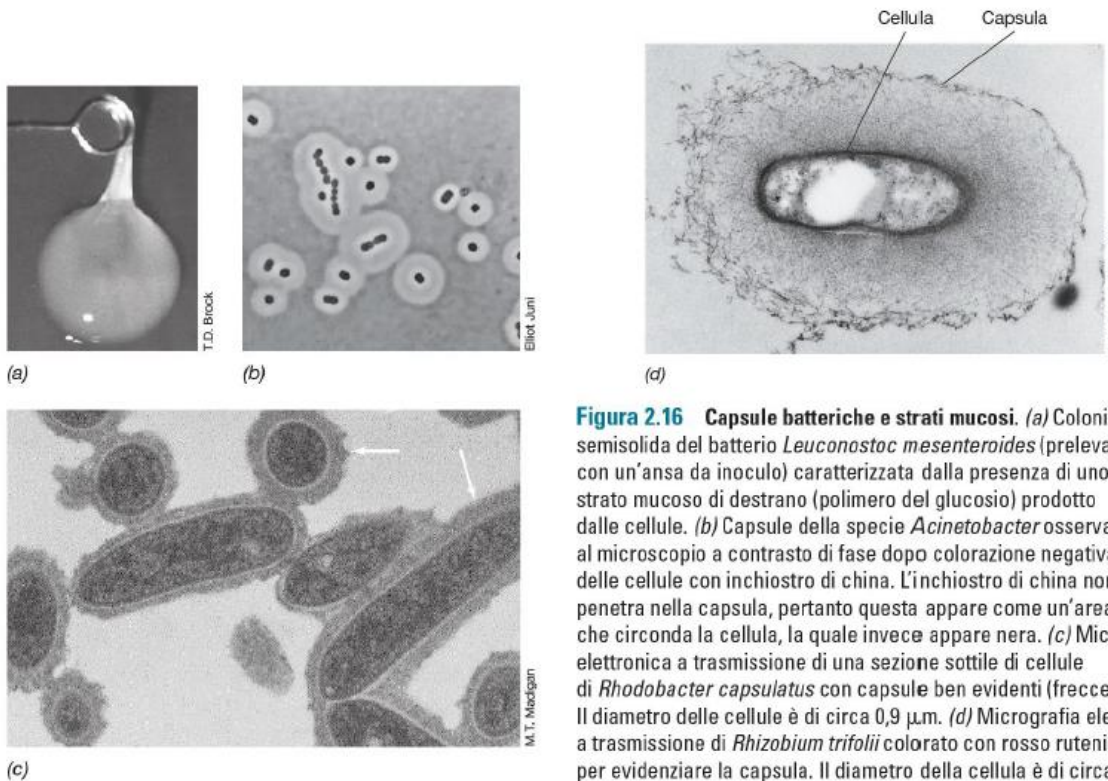
L'assenza del peptidoglicano sembra permettere ai micoplasmi di eludere le difese dell'organismo ospite.

*Thermoplasma* is a thermophile, meaning that it grows best in hot environments, usually between 55 and 60 degrees Celsius. This genus is most famous for its acidophilia, preferring pH range of 0.5-4. *Thermoplasma* cells lyse at a neutral pH. It has plasma membranes which consists of diether and tetraether lipids(Microbewiki)



Da Microbewiki

# Il vantaggio di essere un batterio...



**Figura 2.16 Capsule batteriche e strati mucosi.** (a) Colonia semisolida del batterio *Leuconostoc mesenteroides* (prelevata con un'ansa da inoculo) caratterizzata dalla presenza di uno spesso strato mucoso di destrano (polimero del glucosio) prodotto dalle cellule. (b) Capsule della specie *Acinetobacter* osservate al microscopio a contrasto di fase dopo colorazione negativa delle cellule con inchiostro di china. L'inchiostro di china non penetra nella capsula, pertanto questa appare come un'area chiara che circonda la cellula, la quale invece appare nera. (c) Micrografia elettronica a trasmissione di una sezione sottile di cellule di *Rhodobacter capsulatus* con capsule ben evidenti (frecche). Il diametro delle cellule è di circa  $0,9 \mu\text{m}$ . (d) Micrografia elettronica a trasmissione di *Rhizobium trifolii* colorato con rosso rutenio per evidenziare la capsula. Il diametro della cellula è di circa  $0,7 \mu\text{m}$ .

Le capsule e gli strati mucosi svolgono un ruolo fondamentale nella sopravvivenza a stress ed aggressioni ambientali (essiccazione).

In microorganismi patogeni costituiscono un fattore di virulenza.

Costituiscono una parte di fondamentale importanza dei biofilm microbici (EPS – Extracellular Polymeric Substance)



# Il vantaggio di essere un batterio...

## Inclusioni cellulari

Le cellule procariotiche contengono spesso inclusioni costituite da materiale che funge da riserva di energia e di elementi nutritivi. Tali inclusioni si formano in presenza di eccesso di nutrienti.

Sono tuttavia presenti anche inclusioni che conferiscono alle cellule delle proprietà particolari alle cellule, per esempio la resistenza allo stress osmotico.

Sono inclusioni cellulari:

- granuli di polimeri carboniosi quali poli- $\beta$ -idrossibutirrato (PHB) e di glicogeno
- granuli di polifosfato, zolfo (batteri zolfo-ossidanti) e carbonati (cianobatteri)
- Vescicole gassose
- Magnetosomi (magnetite o greigite)

# Il vantaggio di essere un batterio...

## Forme di tassaia nei procarioti

---

*La tassaia è la capacità dei microrganismi di orientarsi e spostarsi nell'ambiente in seguito alla presenza di stimoli di diversa natura. Recettori per determinati fattori chimico-fisici «comunicano» con le proteine che regolano la rotazione dei flagelli*

**Chemiotassi:** movimento in risposta alla presenza di nutrienti o di sostanze tossiche.

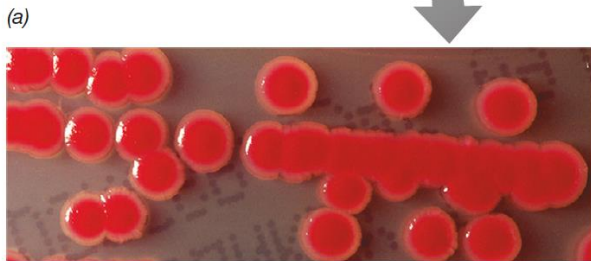
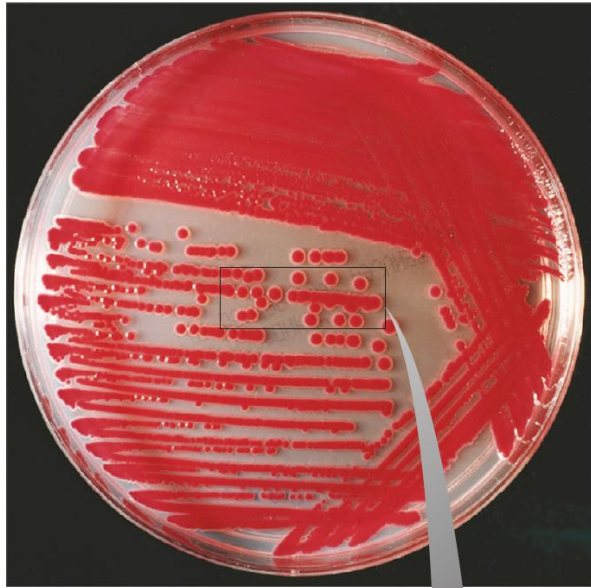
**Fototassi:** movimento in risposta alla variazione di intensità luminosa

**Scotofobotassi:** risposta che batteri fotosintetici assumono quando si trovano in assenza di luce.

**Aerotassi:** le cellule si muovono in funzione della concentrazione di O<sub>2</sub> (batteri microarofili)

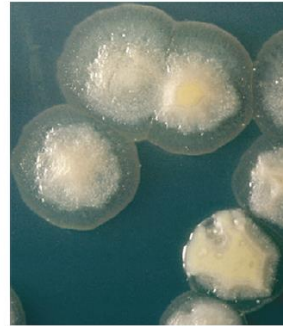
**Magnetotassi:** tipica di batteri che vivono in laghi, sedimenti, stagni in cui O<sub>2</sub> è scarso. Permette ai batteri di spostarsi verso l'alto o verso il basso, seguendo le linee del campo magnetico, dirigendosi verso zone più ricche o meno ricche di O<sub>2</sub> (i batteri magnetotattici sono microarofili)

# Fattori che influenzano la crescita batterica...



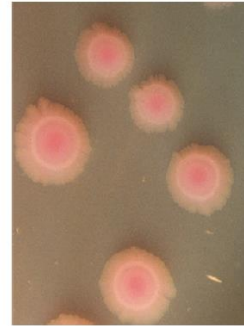
James A. Shapiro, University of Chicago

James A. Shapiro, University of Chicago



(c)

James A. Shapiro, University of Chicago



(d)

James A. Shapiro, University of Chicago

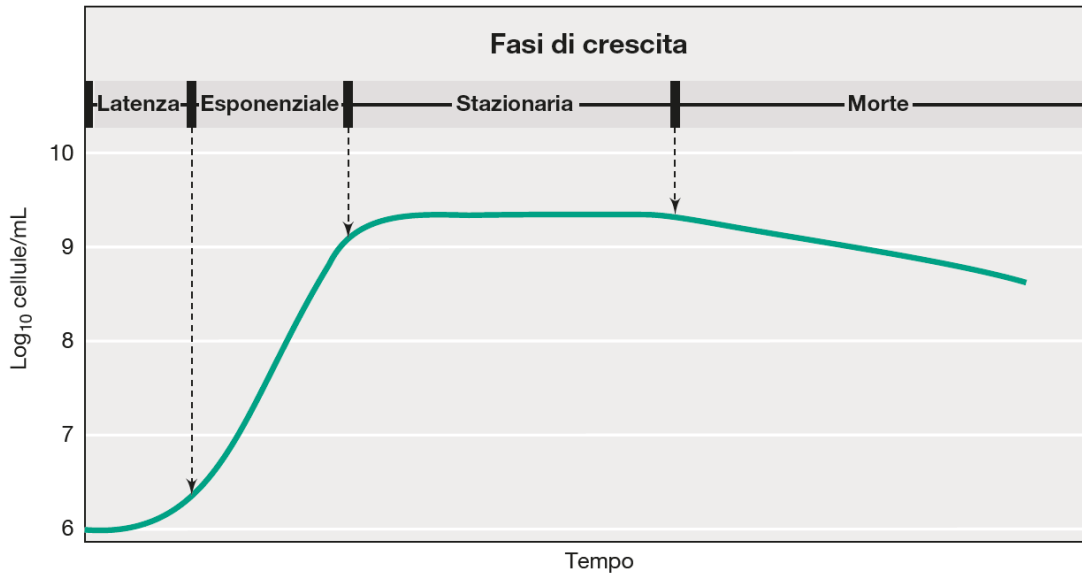


(e)

Paul V. Dunlap

**Figura 4.2** Colonie batteriche. Le colonie sono masse visibili di cellule formate dalle successive divisioni di una o poche cellule e possono contenere oltre un miliardo ( $10^9$ ) di cellule.

(a) *Serratia marcescens* coltivata su agar MacConkey.  
(b) Ingrandimento delle colonie nel riquadro (a). (c) *Pseudomonas aeruginosa* coltivata su Agar Soy Trypticase. (d) *Shigella flexneri* coltivata su agar MacConkey. (e) Piastra di agar contenente molte colonie batteriche differenti, sviluppatesi dalla piastratura di una diluizione di acqua marina.



**Figura 4.10** Tipica curva di crescita di una popolazione batterica. La conta vitale permette di determinare il numero di cellule di una coltura microbica capaci di riprodursi. La densità ottica (torbidità), misura quantitativa della luce assorbita da una coltura liquida (si veda la Figura 4.7), aumenta all'aumentare del numero di cellule.

Negli ambienti naturali, la fase di latenza può prolungarsi rispetto alla crescita in laboratorio.

I microrganismi possono andare incontro ad adattamento o acclimatazione



Fasi di latenza più brevi

Crescita esponenziale di solito breve (r-strateghi)

Fase stazionaria di solito breve

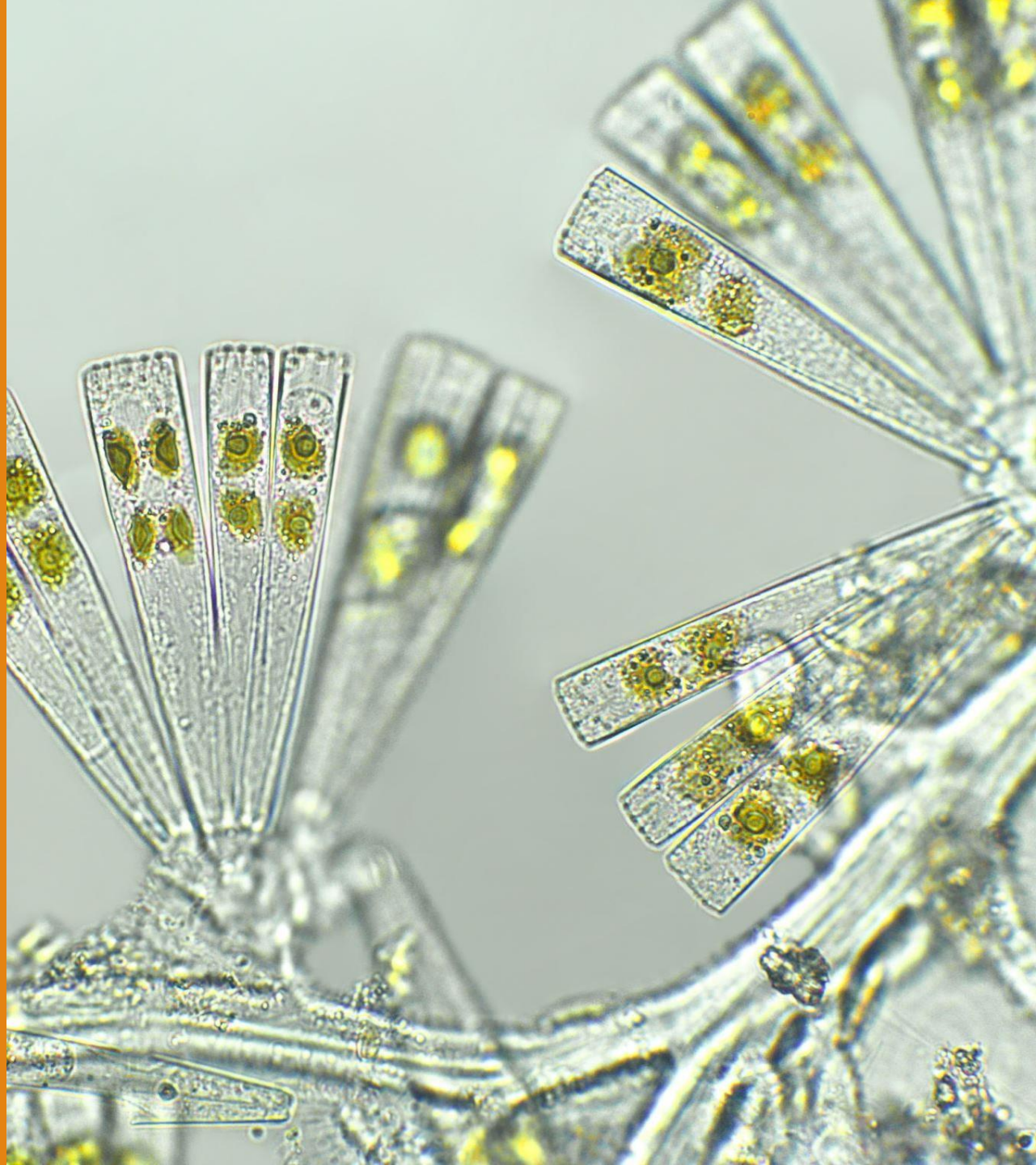
Fase di morte piuttosto rapida



Negli ambienti naturali, i batteri sono preda di protozoi

# Fattori che influenzano la crescita batterica...

- ✓ Disponibilità di nutrienti
- ✓ Temperatura
- ✓ pH
- ✓ Attività dell'acqua ( $a_w$ )
- ✓ Potenziale redox
- ✓ Disponibilità di ossigeno
- ✓ Pressione idrostatica



# Legge di Shelford o della tolleranza

La legge di Shelford dice che\* :

- 1) Ogni specie, per ogni fattore ambientale ha un intervallo ottimale di crescita in cui riesce a prosperare.
- 2) Quando uno o più fattori sono limitanti le specie hanno un intervallo di tolleranza entro il quale riescono a sopravvivere in attesa di condizioni migliori.
- 3) Oltre questo limite la specie non può esistere in un certo ambiente.

## ... E nei batteri??

- ❑ I microrganismi presentano intervalli di tolleranza più o meno ampi per vari fattori
- ❑ Gli organismi con maggiori intervalli di tolleranza sono più diffusi
- ❑ In prossimità dei limiti di tolleranza, il microrganismo è sottoposto a condizioni crescenti di stress
- ❑ Se le condizioni per un fattore non sono ottimali, i limiti di tolleranza per altri fattori possono restringersi
- ❑ La competizione, presenza di predatori e parassiti, limitano o annullano i vantaggi provenienti da condizioni ambientali favorevoli
- ❑ Lo sviluppo di forme di differenziamento (spore, biofilm, etc) possono modificare i limiti di tolleranza per alcuni fattori
- ❑ Limiti di tolleranza stretti possono essere interpretati come una forma di specializzazione

