

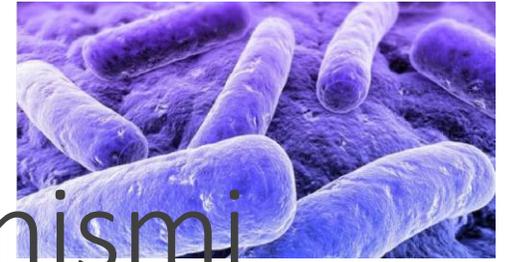


# Lezione 4: Energia per il metabolismo

---

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

EMAIL: ROSA.NASTRO@UNIPARTHENOPE.IT



# Diversità metabolica nei microrganismi

---

Precursori metabolici, fonti di energia e di potere riducente per effettuare i processi biosintetici, crescere, mantenere l'omeostasi cellulare

La possibilità di utilizzare nutrienti è influenzata dalla forma molecolare nella quale essi sono presenti nell'ambiente. Ogni microrganismo mostra uno spettro di capacità metaboliche che gli permettono di utilizzare un nutriente in una forma chimica ben definita e non in altre.

I microrganismi sono estremamente versatili dal punto di vista metabolico e sono in grado di utilizzare praticamente ogni composto organico o inorganico come fonte unica fonte di carbonio o di energia o di potere riducente.

A seconda delle abilità metaboliche dei diversi microrganismi si possono definire le loro nicchie ecologiche ed il loro contributo al ciclo dei nutrienti nella biosfera.

# Le basi del metabolismo

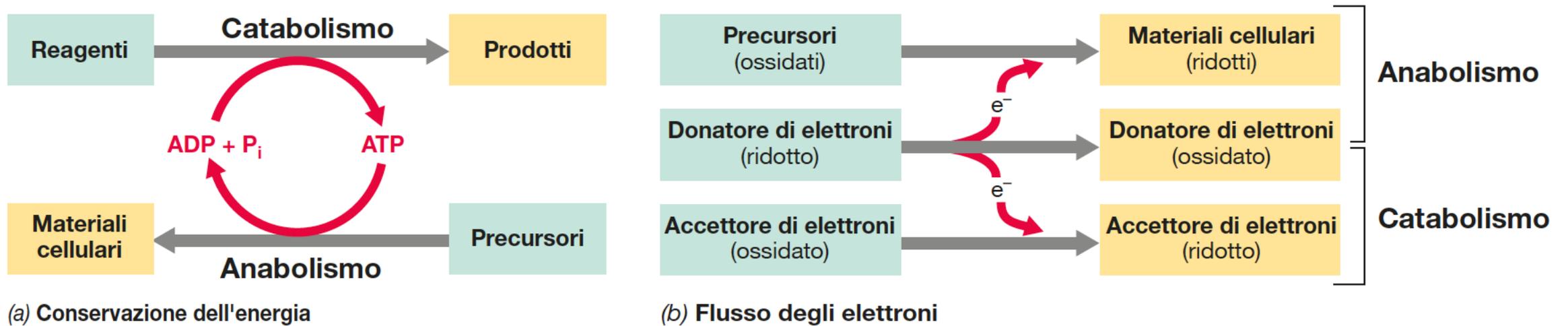
---

*«La bioenergetica è la trasformazione dell'energia durante i processi metabolici, caratterizzati da un flusso di elettroni all'interno della cellula . Il metabolismo utilizza l'ATP come «moneta corrente» per accoppiare le reazioni esoergoniche del catabolismo con quelle endoergoniche dell'anabolismo»*

*Tutte le cellule necessitano energia libera – energia disponibile per compiere un lavoro – e di potere riducente – una fonte di elettroni (e-) utilizzabile sia per generare energia libera che per reazioni biosintetiche.*

*Da Brock-Biologia dei microrganismi – Pearson Editore*

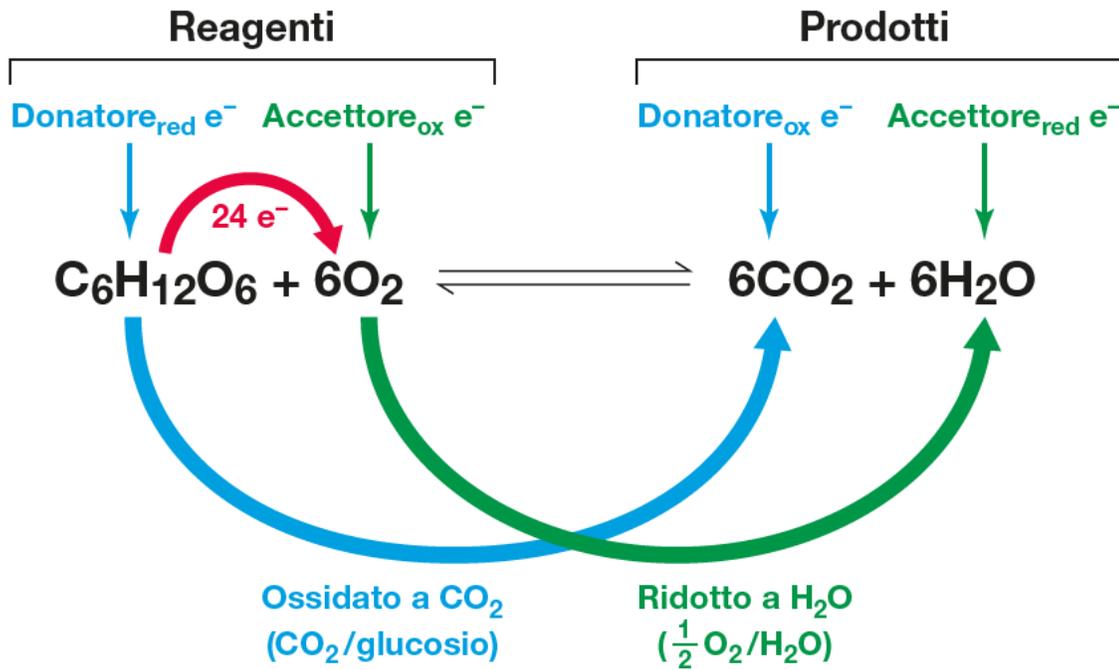
## Alcune nozioni di base...



### Figura 3.1 Accoppiamento tra reazioni metaboliche in base alla conservazione dell'energia e al flusso degli elettroni.

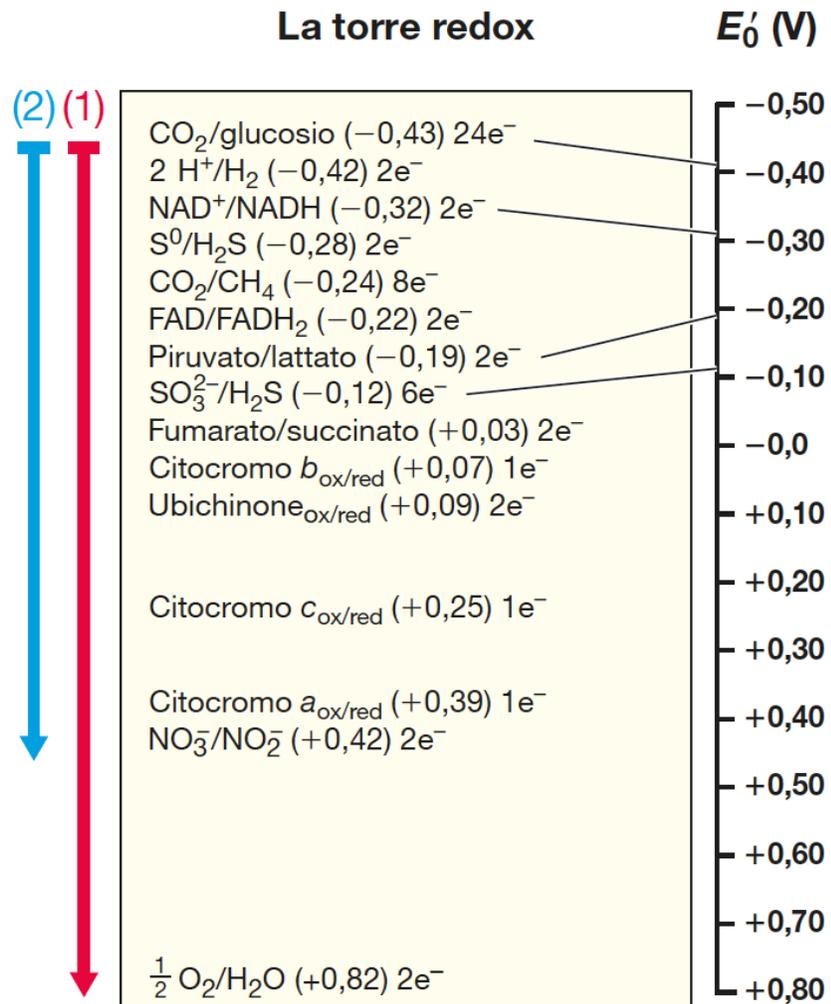
(a) Il catabolismo utilizza reazioni esoergoniche per alimentare la sintesi dell'ATP. L'anabolismo utilizza reazioni endoergoniche, che consumano ATP, per alimentare la biosintesi di materiale cellulare. Una parte dell'energia va persa sotto forma di calore

(non illustrata nella figura) e non può essere conservata con la formazione di ATP. (b) Le cellule richiedono potere riducente, sotto forma di un donatore di elettroni ridotto, come fonte degli elettroni ( $e^-$ ) necessari per eseguire le reazioni anaboliche e cataboliche. Le sostanze che entrano nei processi metabolici sono indicate in verde, quelle che escono sono indicate in giallo.



Il potere riducente è la capacità di composti chimici di donare elettroni nelle reazioni in cui avviene trasferimento di elettroni (ossidoriduzioni)

**Figura 3.2 Esempio di reazione di ossidoriduzione.** L'ossidazione del glucosio a CO<sub>2</sub> è accoppiata alla riduzione di O<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O negli organismi chemiorganotrofi aerobici. Questa reazione redox è composta da due semireazioni: CO<sub>2</sub>/glucosio e  $\frac{1}{2}$  O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O (Figura 3.4). La reazione complessiva è bilanciata: significa che nei reagenti e nei prodotti è presente la stessa quantità di ciascun elemento (C, H, O). L'ossidazione completa di una molecola di glucosio a 6CO<sub>2</sub> dona 24 elettroni, che vengono accettati da 6O<sub>2</sub>.



(1)  $\Delta G^{0'} = -2895 \text{ kJ}$

(2)  $\Delta G^{0'} = -1992 \text{ kJ}$

Il catabolismo dipende dal flusso orientato di elettroni da un donatore ad un accettore di elettroni durante le reazioni di ossidoriduzione. Queste possono essere intese come potenziale redox che misurano l'affinità per gli elettroni di una determinata sostanza.

L'energia libera di Gibbs una reazione ( $\Delta G^{0'}$ ) è proporzionale alla variazione di potenziale redox ( $\Delta E'$ ) tra il donatore e l'accettore di elettroni.

**Figura 3.4 Torre redox.** Le coppie redox sono disposte a partire dai donatori di elettroni più forti, in alto, fino agli accettori più forti, in basso. Maggiore è la differenza di potenziale di riduzione tra il donatore e l'accettore di elettroni, maggiore è l'energia libera che viene rilasciata. Si notino le differenze nell'energia libera prodotta quando il glucosio reagisce con O<sub>2</sub> (1) o nitrato (2).

**Tabella 3.1 Potenziali di riduzione,  $E'_0$  (volt), di alcune semireazioni redox comuni in microbiologia<sup>a</sup>**

Piruvato/glucosio (-0,70) 4e <sup>-</sup>	Flavodossina <sub>oss/rid</sub> (-0,12) 2e <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (+0,34) 8e <sup>-</sup>
Acetato/piruvato (-0,68) 4e <sup>-</sup>	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /H <sub>2</sub> S (-0,12) 6e <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /NO (+0,36) 2e <sup>-</sup>
Acetato/acetaldeide (-0,60) 2e <sup>-</sup>	Menachinone <sub>oss/rid</sub> (-0,07) 2e <sup>-</sup>	SeO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /SeO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (+0,48) 2e <sup>-</sup>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (-0,52) 2e <sup>-</sup>	APS/AMP + HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (-0,06) 2e <sup>-</sup>	Tetracloroetene/tricloroetilene + Cl <sup>-</sup> (+0,58) 2e <sup>-</sup>
Ferrodossina <sub>oss/rid</sub> (-0,42) 2e <sup>-</sup>	Rubredossina <sub>oss/rid</sub> (-0,06) 1e <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /1/2 N <sub>2</sub> (+0,74) 5e <sup>-</sup>
CO <sub>2</sub> /metanolo (-0,38) 6e <sup>-</sup>	Acrilil-CoA/proprionil-CoA (-0,02) 2e <sup>-</sup>	Fe <sup>3+</sup> /Fe <sup>2+</sup> (+0,77) 1e <sup>-</sup> (a pH 2)
Coenzima F420 <sub>oss/rid</sub> (-0,36) 2e <sup>-</sup>	Fe <sup>3+</sup> /Fe <sup>2+</sup> (+0,20) 1e <sup>-</sup> (a pH 7)	Mn <sup>4+</sup> /Mn <sup>2+</sup> (+0,80) 2e <sup>-</sup>
CO <sub>2</sub> /acetato (-0,28) 8e <sup>-</sup>	TMAO/TMA (+0,13) 2e <sup>-</sup>	ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /Cl <sup>-</sup> (+1,03) 4e <sup>-</sup>
Metanofenazina <sub>oss/rid</sub> (-0,26) 2e <sup>-</sup>	AsO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /AsO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> (+0,14) 2e <sup>-</sup>	NO/N <sub>2</sub> O (+1,18) 1e <sup>-</sup>
FMN/FMNH <sub>2</sub> (-0,22) 2e <sup>-</sup>	DMSO/DMS (+0,23) 2e <sup>-</sup>	N <sub>2</sub> O/N <sub>2</sub> (+1,36) 1e <sup>-</sup>
Acetaldeide/etanolo (-0,20) 2e <sup>-</sup>	Clorobenzoato/benzoato + Cl <sup>-</sup> (+0,30) 2e <sup>-</sup>	

<sup>a</sup>Le voci sono così indicate: forma ossidata/forma ridotta ( $E'_0$  in volt) e numero di e<sup>-</sup> trasferiti per semireazione.  
I valori sono disposti dal potenziale di riduzione più basso (più elettronegativo) a quello più alto (più elettropositivo).

### Tabella 3.2 Esempio di calcolo della variazione di energia libera sulla base dei potenziali elettrochimici o dei valori $G_f^0$

Per la reazione in cui l'acetato è ossidato completamente a  $\text{CO}_2$ :<sup>a</sup>



1. Calcolo sulla base dei valori  $E_0'$ :<sup>b</sup>

$$\begin{aligned}\Delta G^{0'} &= -nF\Delta E_0' \\ &= [-8(96,5)(1,1)] \\ &= -849 \text{ kJ/reazione}\end{aligned}$$

2. Calcolo sulla base dei valori  $G_f^0$ :<sup>b</sup>

$$\begin{aligned}\Delta G^{0'} &= [G_f^0 (\text{prodotti}) - G_f^0 (\text{reagenti})] \\ &= [G_f^0 (2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}) - (G_f^0 (\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{O}_2))] \\ &= -852 \text{ kJ/reazione}\end{aligned}$$

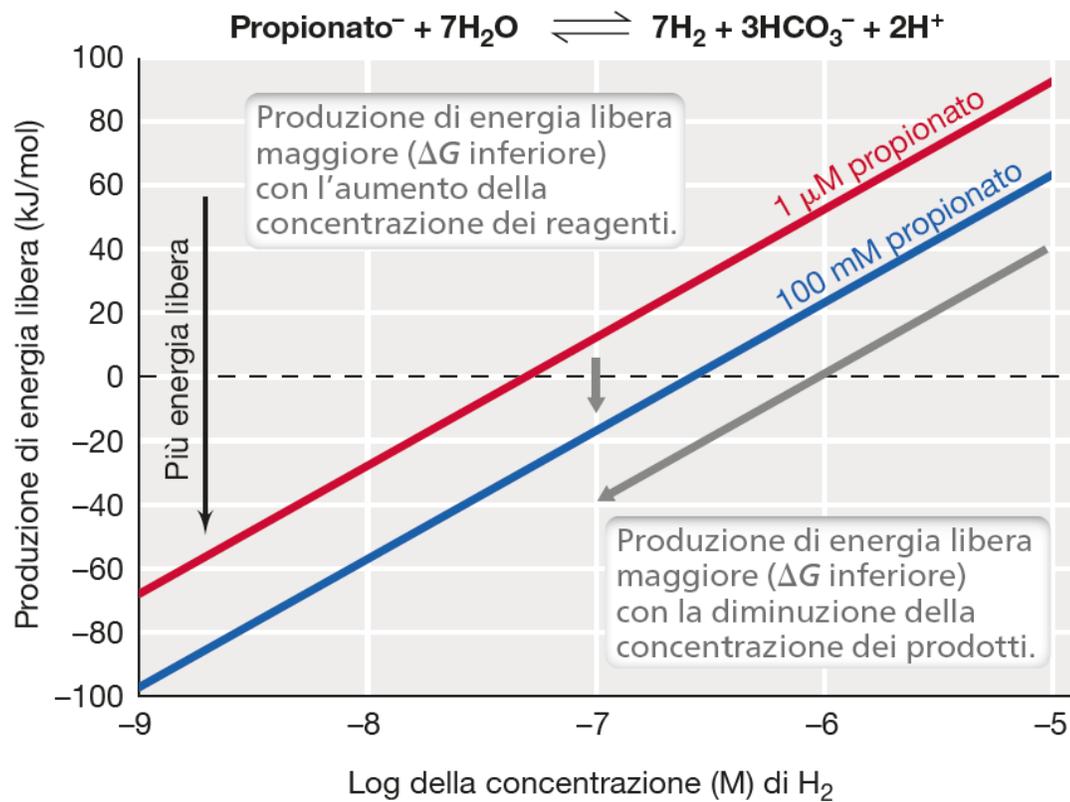
<sup>a</sup>La reazione è bilanciata ed è un'ossidazione che libera 8 elettroni ( $n = 8$  nell'equazione 2). I valori  $G_f^0$  sono stati presi dalla Tabella 3.3

<sup>b</sup> $F$  è la costante di Faraday (96,5 kJ/V) e  $\Delta E_0'$  è calcolato a partire dai valori  $E_0'$  della Figura 3.4 e della Tabella 3.1.

**Tabella 3.3 Energia libera di formazione ( $G_f^0$ , kJ/mol) di alcune sostanze comuni<sup>a</sup>**

Zuccheri	Acidi organici e grassi		Aminoacidi e alcoli	Gas e composti inorganici
Fruttosio (-951,4)	Acetato (-369,4)	Chetoglutarato (-797,5)	Alanina (-371,5)	O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , S <sup>0</sup> , Fe <sup>0</sup> (0)
Glucosio (-917,2)	Benzoato (-245,6)	Lattato (-517,8)	Aspartato (-700,4)	CH <sub>4</sub> (-50,8)
Lattosio (-1515,2)	Butirrato (-352,6)	Malato (-845,1)	<i>n</i> -butanolo (-171,8)	CO <sub>2</sub> (-394,4); CO (-137,4)
Ribosio (-369,4)	Caproato (-335,9)	Propionato (-361,1)	Etanolo (-181,7)	H <sub>2</sub> O (-237,2); H <sup>+</sup> (-39,8); OH <sup>-</sup> (-198,7)
Saccarosio (-757,3)	Citrato (-1168,3)	Piruvato (-474,6)	Glutammato (-699,6)	N <sub>2</sub> O (+104,2); NO (+86,6)
	Formiato (-351,1)	Succinato (-690,2)	Glutammina (-529,7)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (-37,2); NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (-111,3)
	Fumarato (-604,2)	Valerato (-344,3)	Glicerolo (-488,5)	NH <sub>3</sub> (-26,57); NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (-79,4)
	Gliossilato (-468,6)		Mannitolo (-942,6)	H <sub>2</sub> S (-27,87); HS <sup>-</sup> (+12,1)
			Metanolo (-175,4)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (-744,6); S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (-523,4)
			<i>n</i> -propanolo (-175,8)	Fe <sup>2+</sup> (-78,8); Fe <sup>3+</sup> (-4,6) FeS (-100,4)

<sup>a</sup>I valori relativi alla formazione dell'energia libera sono ricavati da: Speight, J. 2005. *Lange's Handbook of Chemistry*, XVI edizione, e da Thauer, R.K., K. Jungermann, e H. Decker. 1977. Energy conservation in anaerobic chemotrophic bacteria. *Bacteriol. Rev.* 41: 100-180.



**Figura 3.7** Calcolo dell'energia libera in condizioni naturali ( $\Delta G$ ).

La figura illustra a titolo di esempio l'ossidazione del propionato a  $\text{H}_2$  e  $\text{CO}_2$  (reazione riportata in cima alla figura, con  $\text{CO}_2$  indicato come  $\text{HCO}_3^-$  [bicarbonato] perché questa è la forma in cui esiste in natura in soluzione a pH neutro). Questa reazione è endoergonica in condizioni standard ( $\Delta G^{0'} = -304 \text{ kJ/mol}$ ) ma può essere esoergonica in condizioni naturali in un ambiente in cui l' $\text{H}_2$  prodotto nella reazione viene rapidamente consumato da altri microrganismi. Il valore di  $\Delta G$  è stato calcolato per diverse concentrazioni di reagenti (propionato) e prodotti ( $\text{H}_2$ ).



# Fonti di energia: la luce solare

Fototrofi: organismi che utilizzano la luce solare quale fonte di energia

Tipologia di fotosintesi	Donatore di potere riducente*	Fonte di Carbonio	Fonte di Energia	Organismi
Fotoautotrofa Anossigenica	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> S → (CH <sub>2</sub> O)+H <sub>2</sub> O+2S	Luce (ADP--> ATP)	Batteri sulfurei purpurei ( <i>Cromatiaceae</i> ); batteri sulfurei verdi ( <i>Chlorobiaceae</i> )
Fototrofica Ossigenica	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O → (CH <sub>2</sub> O)+H <sub>2</sub> O+O <sub>2</sub>	Luce (ADP--> ATP)	Alghe, cianobatteri, piante
Fotoorganotrofa/fotoeterotrofa	Composti organici	CO <sub>2</sub> + (butirrato, acetato, malato) → CH <sub>2</sub> O + piruvato	Luce (ADP--> ATP)	Batteri purpurei non sulfurei ( <i>Rhodospirillaceae</i> ); Archeobatteri alofili ( <i>Halobacteraceae</i> )

\*Donatore di potere riducente: specie chimica in grado di cedere elettroni

# Fonti di energia: i composti chimici

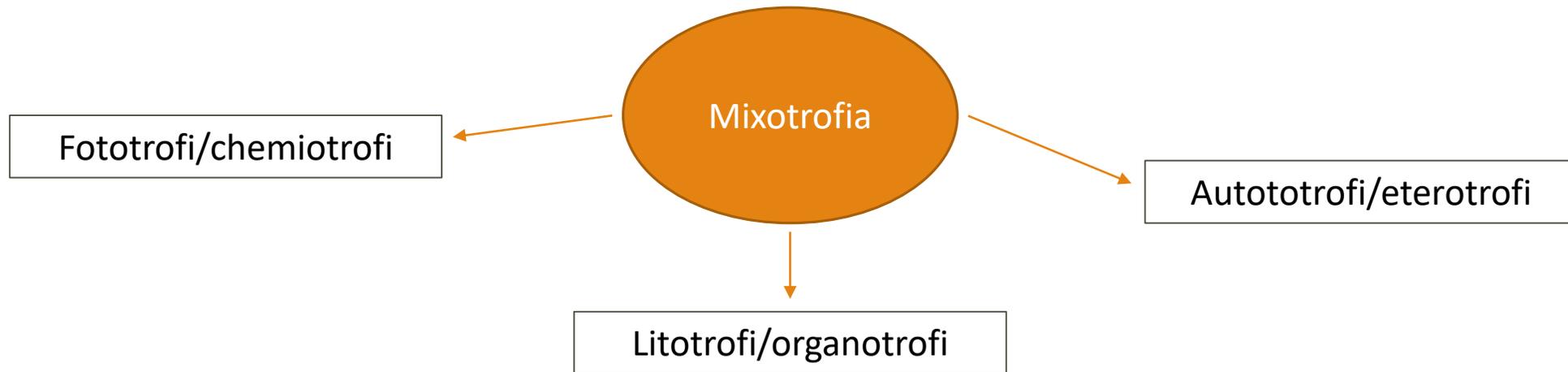
Batteri chemiotrofi: utilizzano l'energia chimica presente nei composti organici/inorganici per sostenere il loro metabolismo

Tipologia di chemiotrofia	Donatore di potere riducente*	Reazione	Fonte di Energia	Fonte di carbonio	Organismi
Chemiolitotrofi/chemioautotrofi	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> HS <sup>-</sup> H <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup>	$\text{NH}_4 + 3/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$ $\text{HS}^- + \text{H}^+ + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{S}^0 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ $\text{Fe}^{2+} + \text{H}^+ + 1/4 \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 1/2 \text{H}_2\text{O}$	Substrati inorganici ridotti	CO <sub>2</sub> o substrati organici	Batteri nitrificanti Batteri solfo-ossidanti Idrogenobatteri Ferrobatteri
Chemo-organotrofi/chemioeterotrofi	DH <sub>2</sub>	$\text{DH}_2 + \text{A} \rightarrow \text{D} + \text{AH}_2$	Substrati organici ridotti	Substrati organici	Animali, Vegetali senza clorofilla, microrganismi eterotrofi

# Mixotrofia

---

I microorganismi mixotrofi sono in grado di utilizzare più di una fonte di energia e/o di carbonio



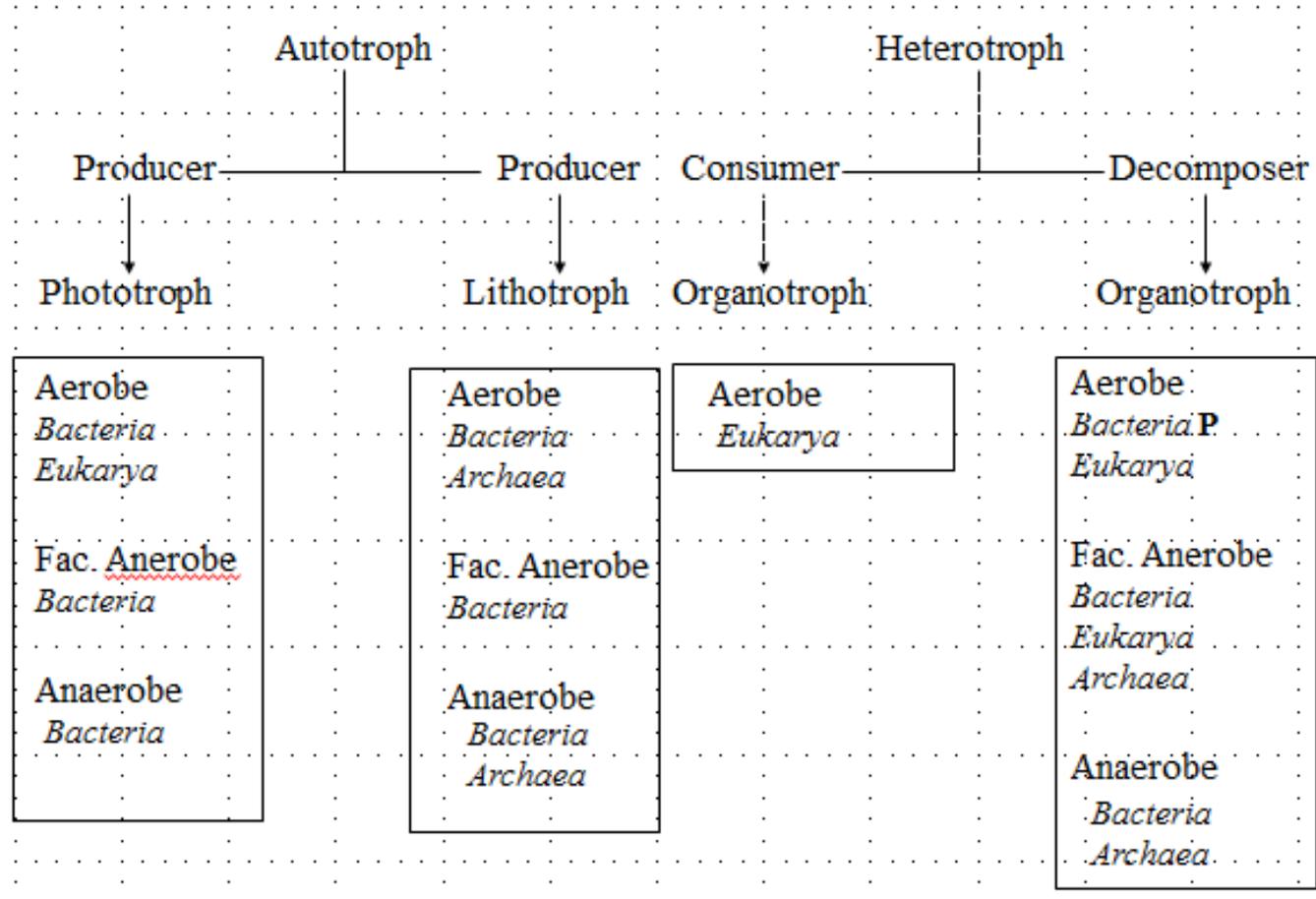
**Mixotrofi obbligati:** sono obbligati sia ad un metabolismo eterotrofo che autotrofo al fine di sopravvivere (molti protisti marini) (<https://www.no-regime.com/ru-it/wiki/Acantharian>)

**Autotrofi obbligati, eterotrofi facoltativi:** l'autotrofia è sufficiente ad assicurare la sopravvivenza degli organismi ma, in condizioni sfavorevoli (per esempio in assenza di luce) possono diventare eterotrofi (*Euglena viridis*)  
<https://www.microbiologiaitalia.it/protozoi/euglena-viridis/>)

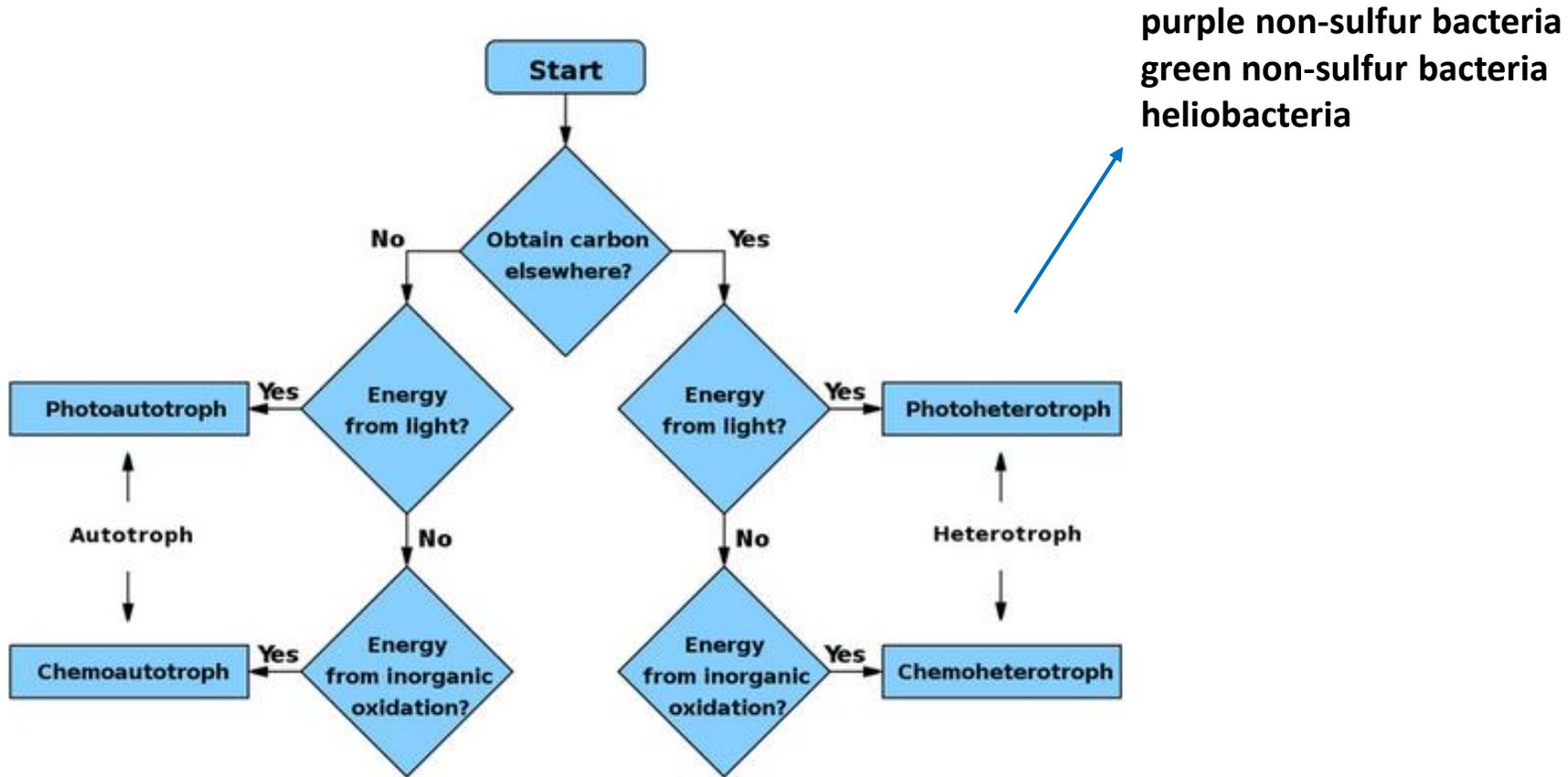
**Autotrofi facoltativi con eterotrofia obbligata:** normalmente eterotrofi, sono in grado di diventare autotrofi in condizione di scarsità di nutrienti organici (*Elysia chlorotica*)  
[https://it.wikipedia.org/wiki/Elysia\\_chlorotica](https://it.wikipedia.org/wiki/Elysia_chlorotica))

**Mixotrofi facoltativi:** organismi autotrofi o eterotrofi in condizioni ambientali favorevoli ma in grado di diventare mixotrofi in condizioni di necessità (*Paracoccus pantothrophus*)

# Uno sguardo d'insieme...



# Quale metabolismo per quale energia?





*The oriental hornet is thought to be a photoheterotroph, able to use light as a supplementary energy source.*

## Living solar cells power sun-loving hornet

BENEATH its yellow and brown stripes, the oriental hornet packs a power cell that would turn the Energizer bunny green with envy. This insect is known for being able to trap sunlight, and now we know more about how it's done.

More than 40 years ago, Jacob Ishay of Tel Aviv University in Israel noticed that unlike other similar insects, worker oriental hornets (*Vespa orientalis*) tend to be out and about in the midday sun. He went on to show that the insects - which live in underground nests hollowed out by armies of digging workers - can harvest solar energy through the hard cuticle covering their body.

Now a team led by Ishay's former student, Marian Plotkin, has shown how they do it.



HECKER/BLICKWINKEL/ALAMY

Feel the power

When Plotkin measured the reflectivity of the hornet's cuticle, he found it to be unusually absorbent, trapping 99 per cent of the sun's rays. Under a high-powered microscope, the yellow segments of the cuticle can be seen to be made up of layers of proteins and lipid, which form oval

lumps at the surface. Plotkin believes this structure explains why the surface is so absorbent. The deeper layers of the cuticle also act to trap light, but it is not yet clear how.

The fact that the yellow cuticle sucks in the sun's rays is key, because at the base of the structure is a

pigment called xanthopterin which can take in solar energy and convert it to electricity. To confirm this, the team built a mini solar panel that used xanthopterin to harvest light (*Naturwissenschaften*, DOI: 10.1007/s00114-010-0728-1).

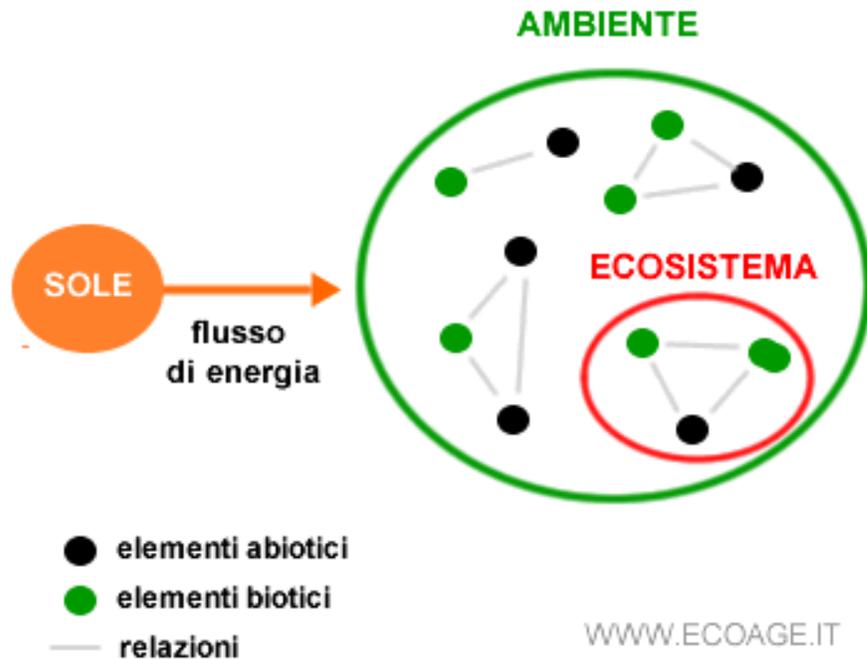
Why should a hornet need to charge itself up on solar energy? Last year Plotkin and Ishay (who has since died) showed that enzymes in the yellow cuticle perform metabolic functions similar to those of mammalian livers, and that they are more active when the insects were exposed to ultraviolet light. Plotkin believes the hornets may use the electricity they generate from solar radiation to drive the reactions catalysed by these enzymes.

The electricity might also give the hornets' wing muscles an extra jolt of energy. Anaesthetised hornets wake up faster, and immediately fly away, if ultraviolet light is shone on them. Solar power indeed. Michael Marshall ■

# L'energia solare alimenta la biosfera

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

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



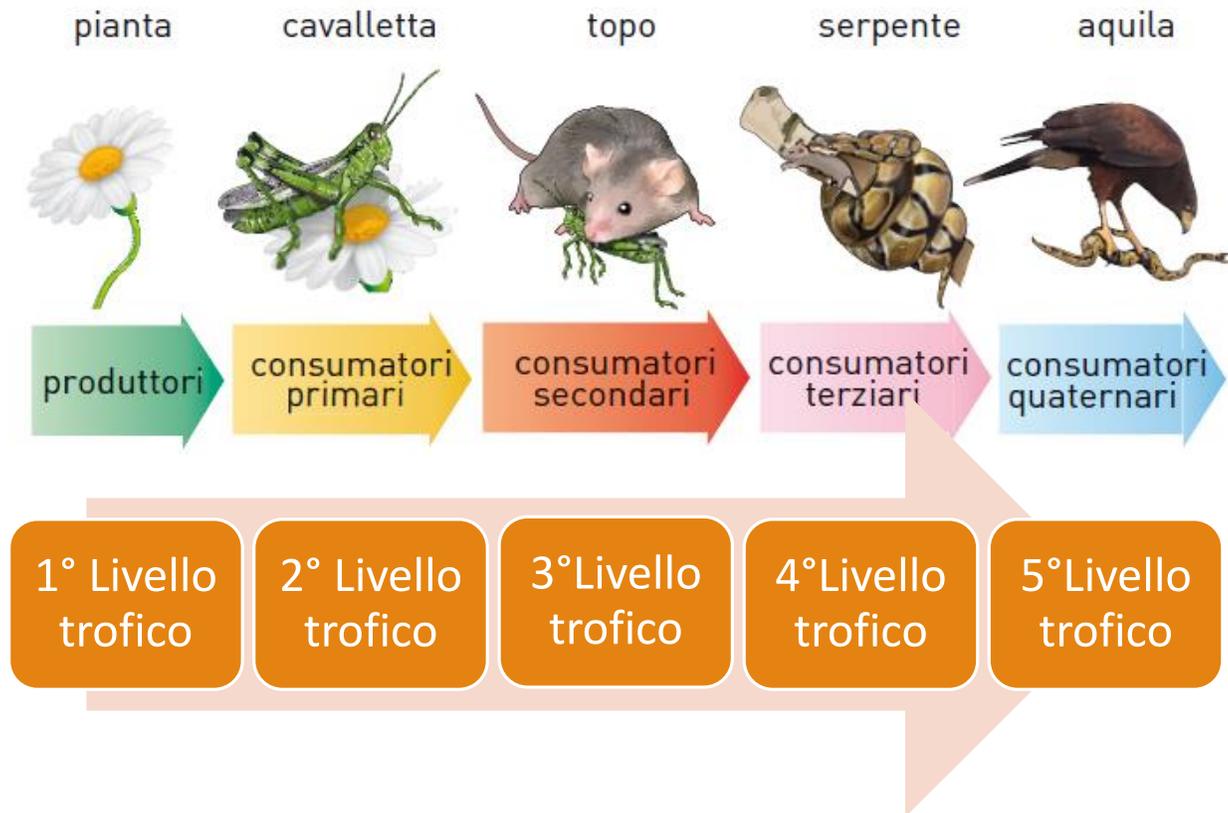
## Livelli trofici

- 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

Gilde funzionali: gruppi di organismi che effettuano processi metabolici simili( per esempio, i fotoautotrofi anossigenici)

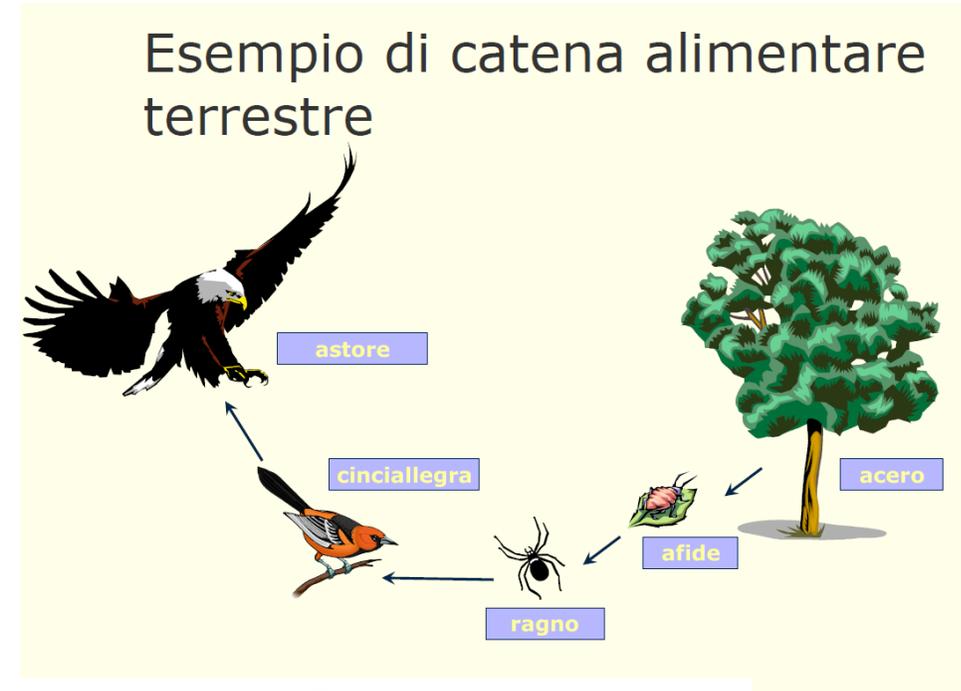
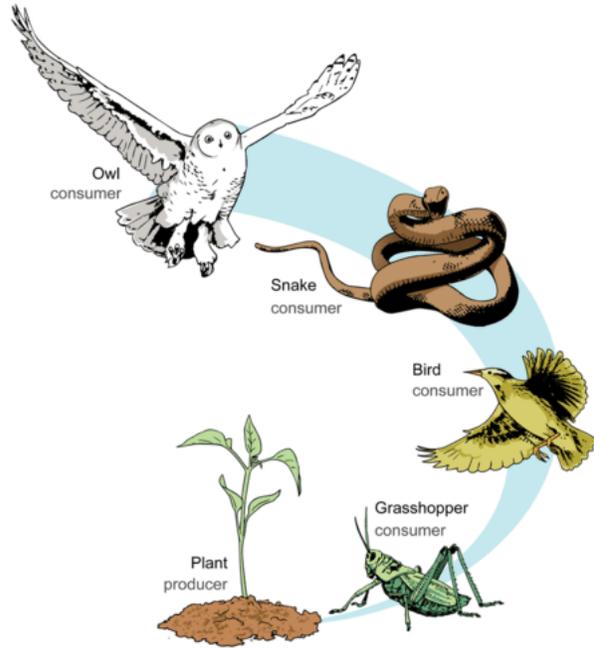
# Le catene alimentari: catena di predazione

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**. Quest'ultima descrive il trasferimento di energia alimentare a partire dagli autotrofi (piante) attraverso una serie di organismi che consumano e sono consumati.

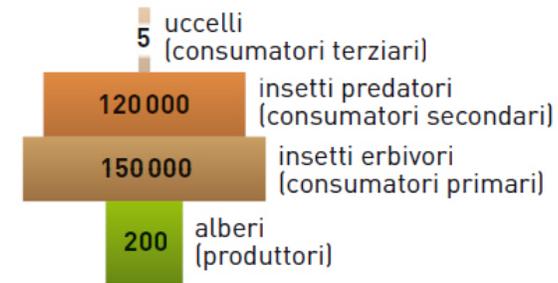


## Catena di predazione

- 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



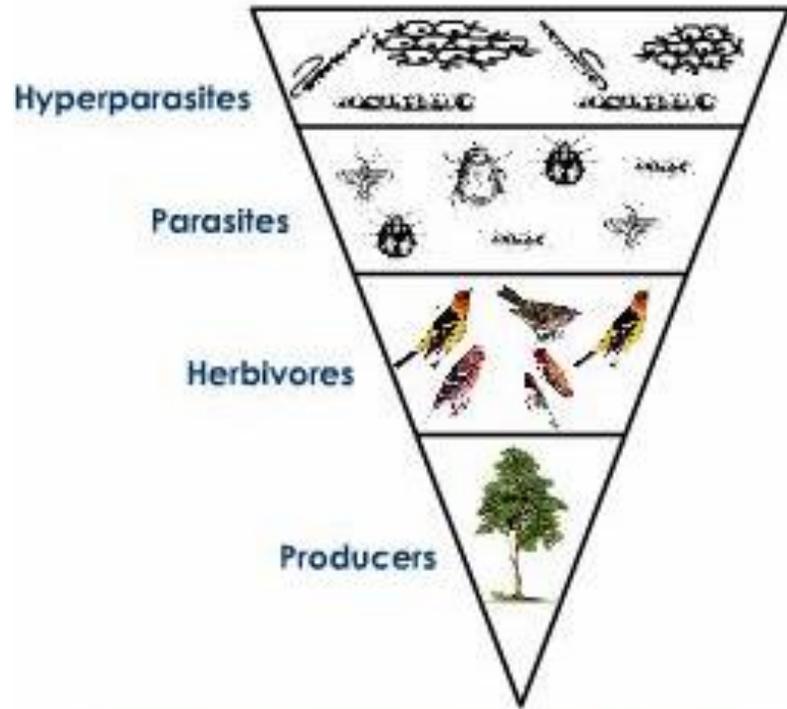
piramide dei numeri: prateria (individui/1000 m<sup>2</sup>)



piramide invertita dei numeri: foresta (individui/1000 m<sup>2</sup>)

[http://lnx.istitutoserpieri.gov.it/MANUALE%20TOLOMELLI/catene\\_alimentarilivelli\\_trofici.pdf](http://lnx.istitutoserpieri.gov.it/MANUALE%20TOLOMELLI/catene_alimentarilivelli_trofici.pdf)

# La catena di parassiti



Inverted pyramid of number

## 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)

[http://Inx.istitutoserpieri.gov.it/MANUALE%20TOLOMELLI/catene\\_alimentarilivelli\\_trofici.pdf](http://Inx.istitutoserpieri.gov.it/MANUALE%20TOLOMELLI/catene_alimentarilivelli_trofici.pdf)

# Parassitismo

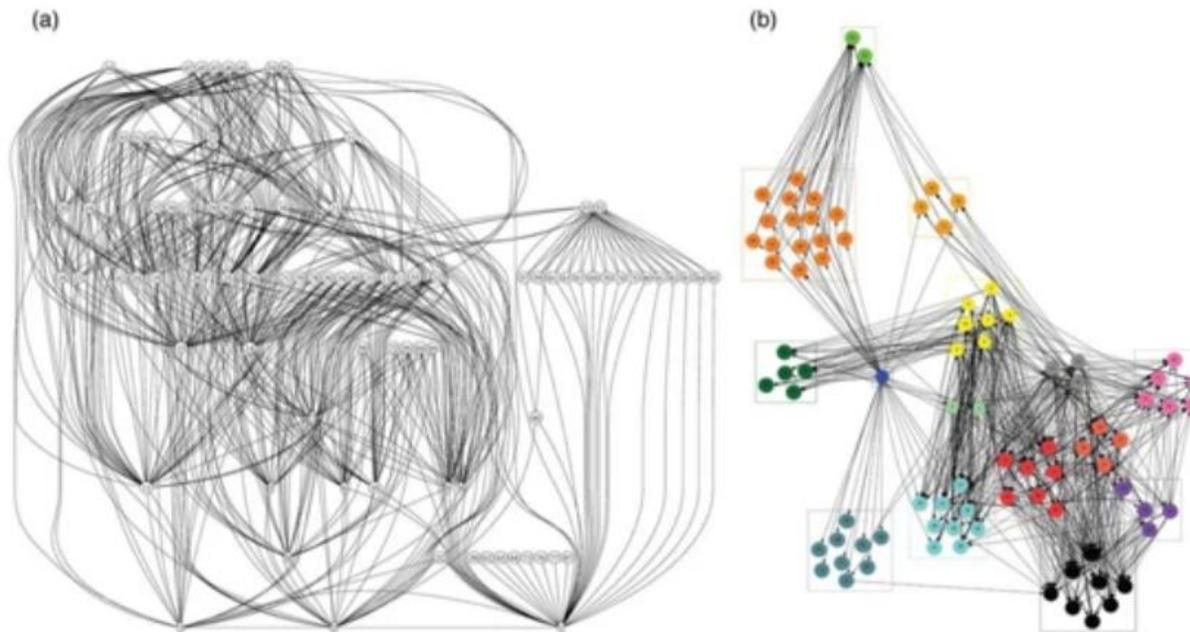


Parassita: il suo ciclo vitale si conclude prima che l'ospite muoia (per esempio elminti, sanguisughe)

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.



I parassiti parassitano preferibilmente ospiti che sono maggiormente interconnessi con altre specie nell'ambito della stessa rete trofica.

Le specie parassitate subiscono in genere meno fluttuazioni

La struttura della rete trofica dell'ospite può avere un effetto significativo sulla capacità del parassita di interagire con l'ospite e, quindi, sul potenziale evolutivo di parassiti contraddistinti da cicli vitali complessi

**Two analyses of the same topological data from a host food web in the Meadowlands salt marshes of New Jersey by Anderson and Sukhdeo 2011 [[24]].** (a) A traditional food web diagram showing linkages among participants. This is a parsimonious arrangement of species, so even though it seems as though there are 8 trophic levels, there are really only 4, with the graphing program spacing them out a little for the sake of visualization. (b) A network clustering algorithm partitioned the food web into 15 distinct modules of highly interacting species independent of trophic position, and suggested that parasites preferentially colonized highly connected modules of tightly interacting species which experience fewer fluctuations in abundance relative to those in the periphery.

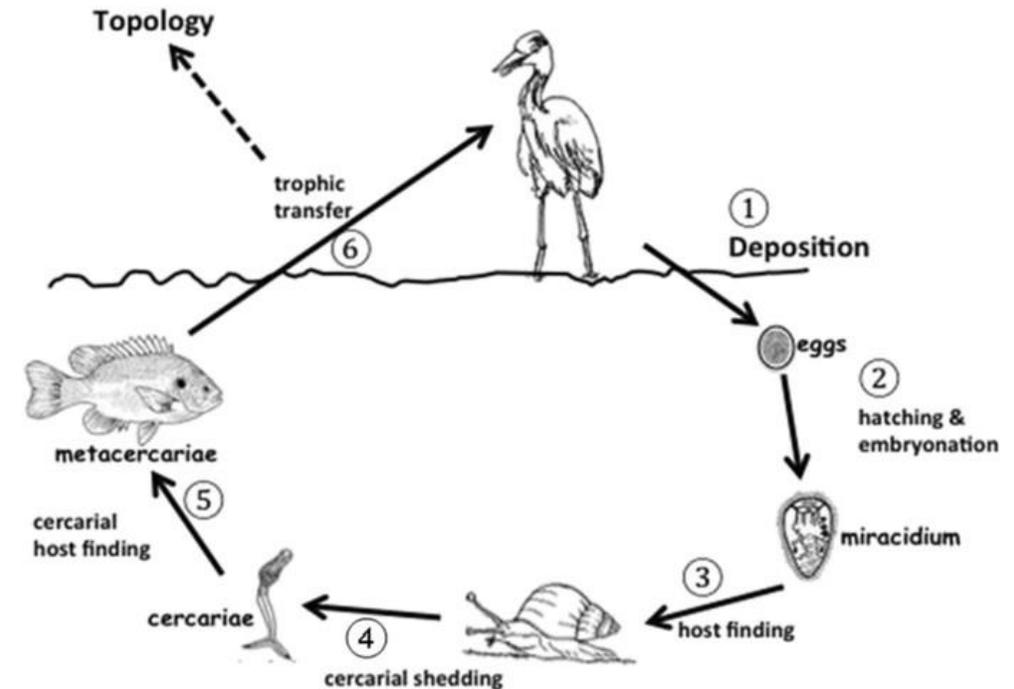
# L'importanza ecologica dei parassiti

“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”.

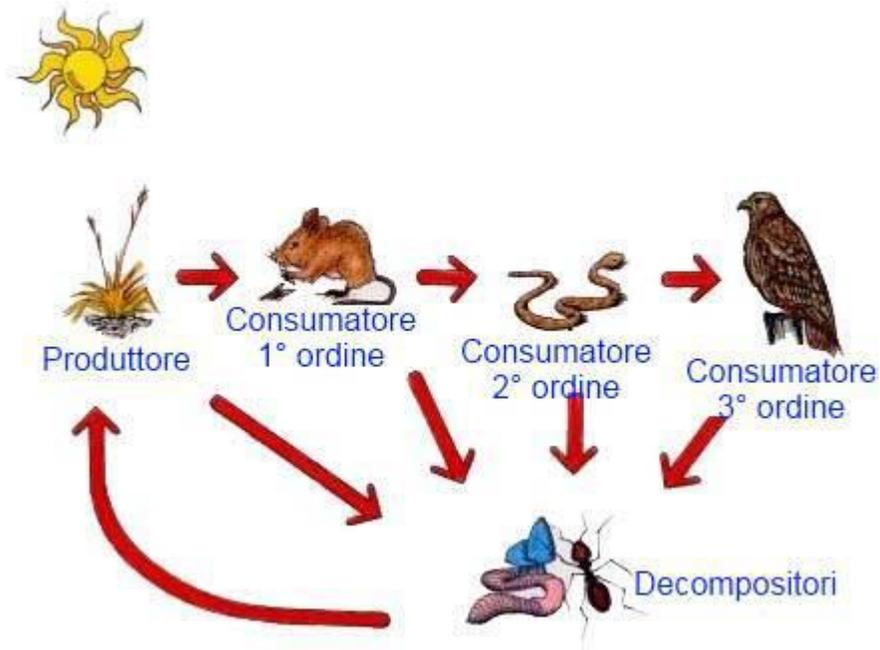
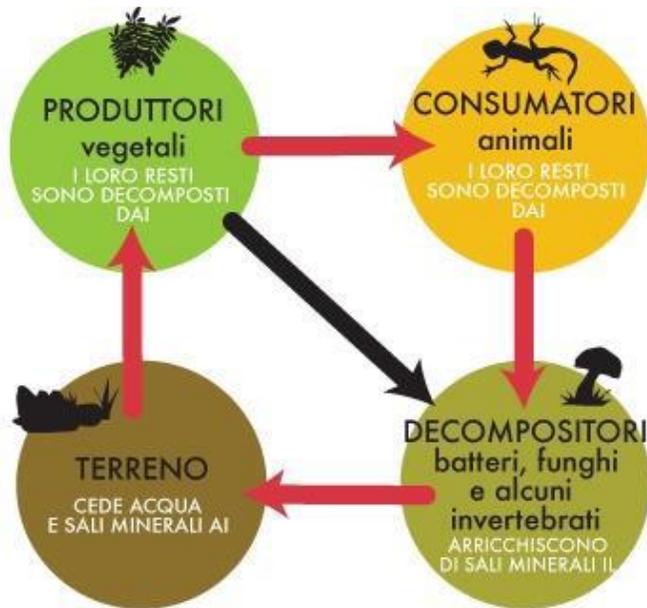
«I parassiti sono forse gli organismi più sensibili ai cambiamenti climatici e a rischio di estinzione»

Mackenzie Kwak

Università nazionale di Singapore.



# La catena del detrito



La **rete del detrito** ha inizio con la produzione di scarti; questi detriti diventano cibo per gli organismi del terreno, che vengono poi predati. E' fondamentale per la mineralizzazione della sostanza organica

## ➤ DEFINIZIONI

---

### ➤ Detrito



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

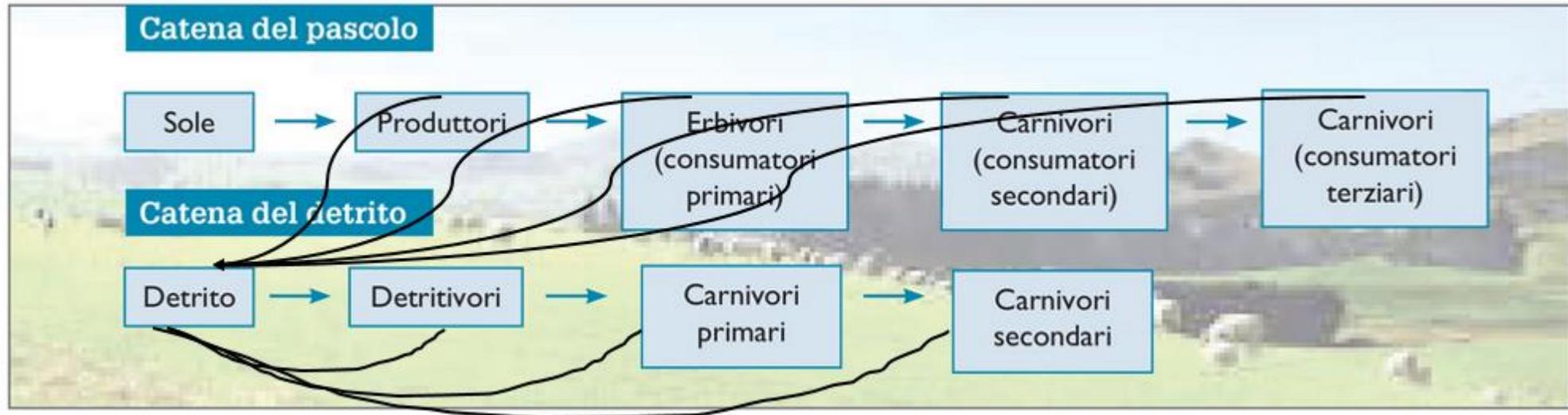
### ➤ Catena alimentare del detrito



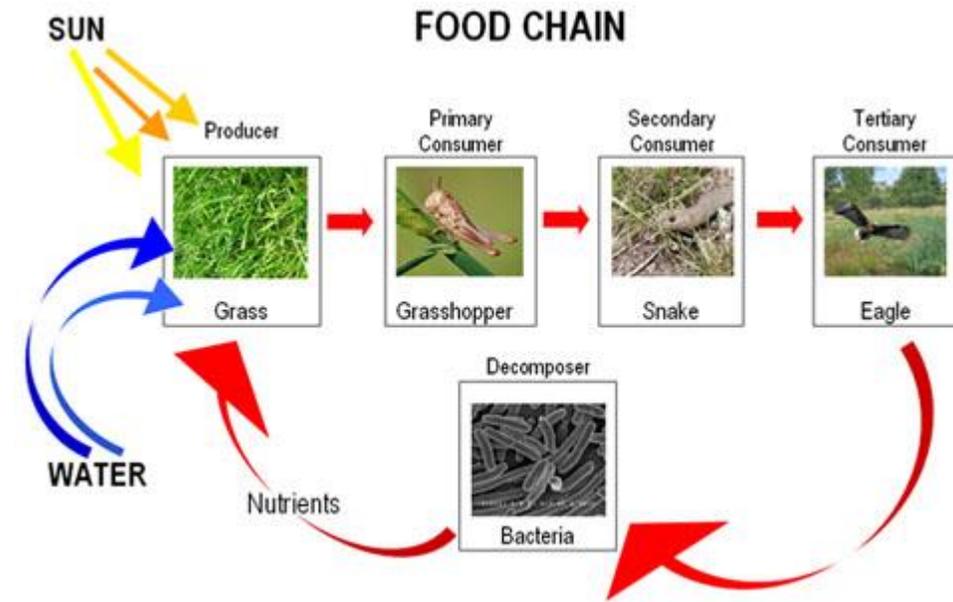
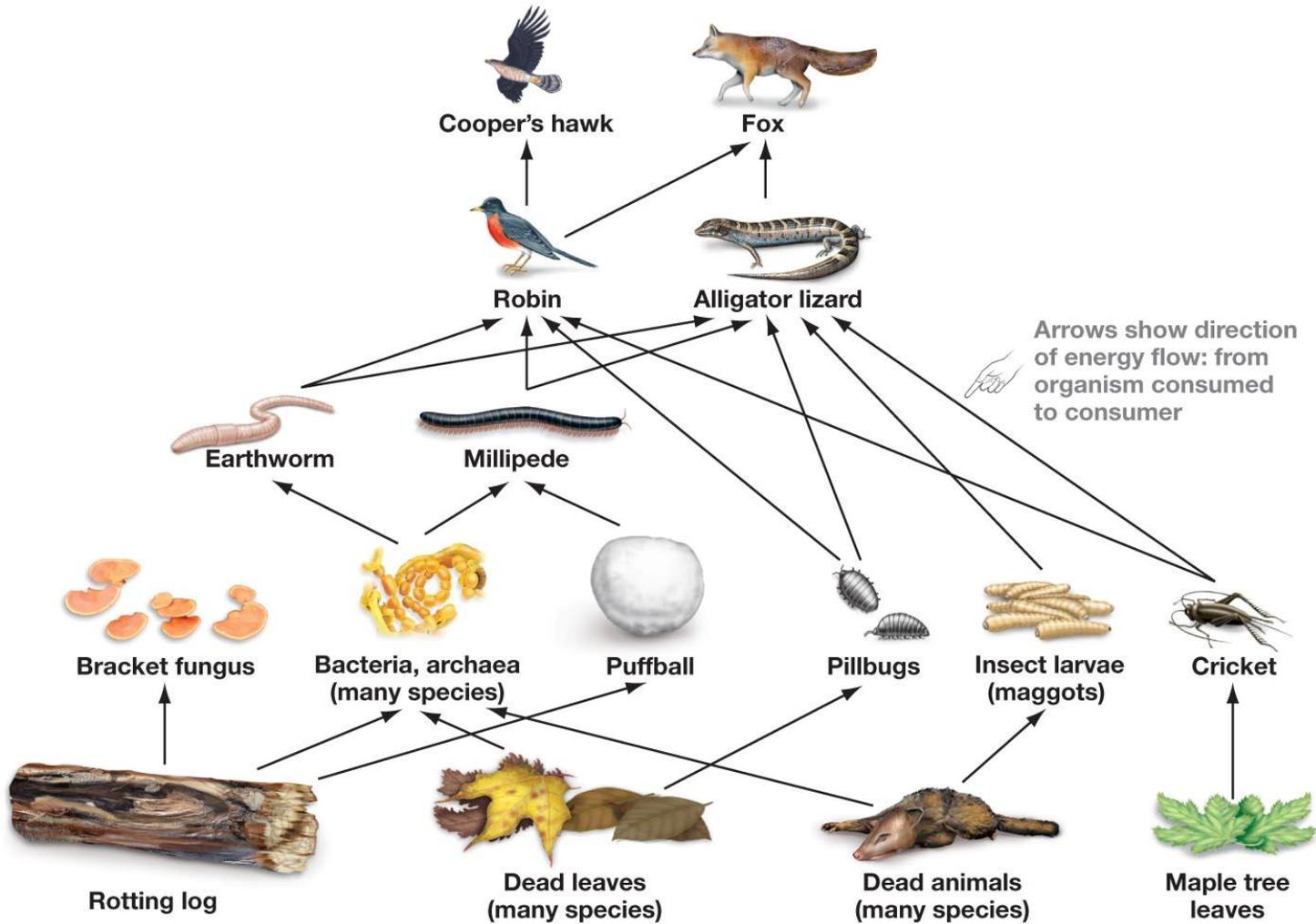
ogni via attraverso la quale l'energia contenuta nel carbonio organico del detrito diviene disponibile .

*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 .*

# La catena del detrito interseca le altre



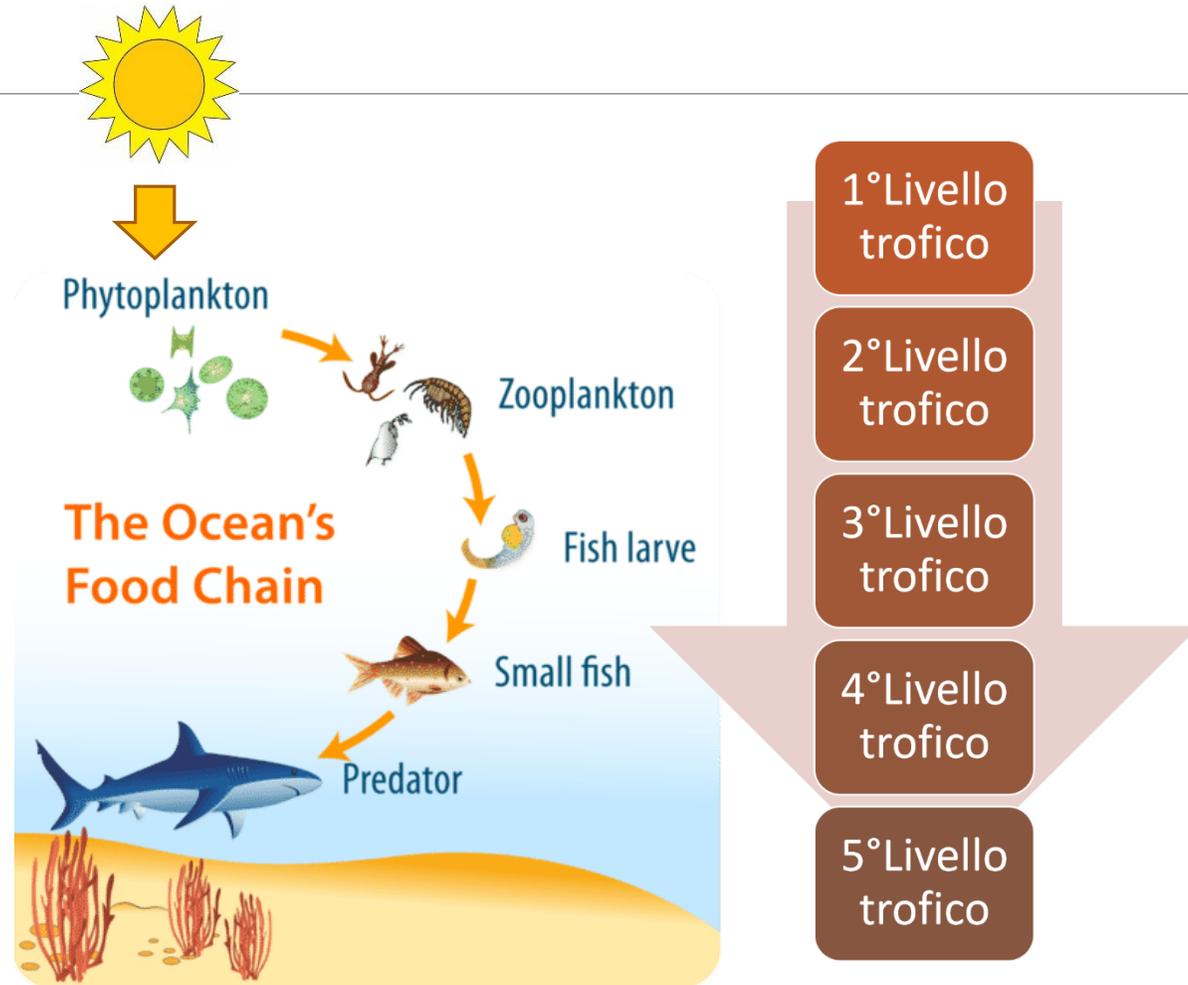
Decomposers and parasites can both be included in food webs and food chains.

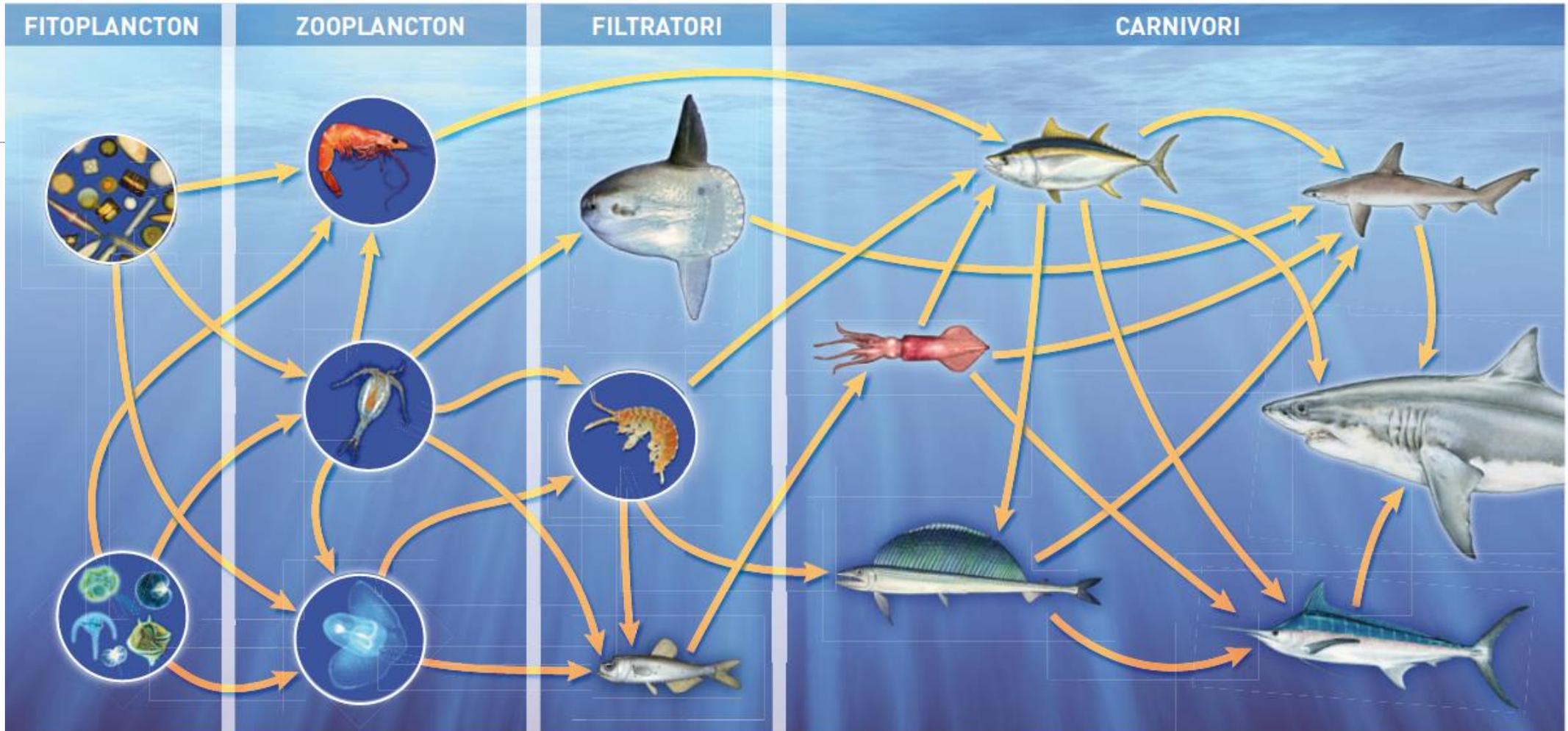


Copyright © 2008 Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

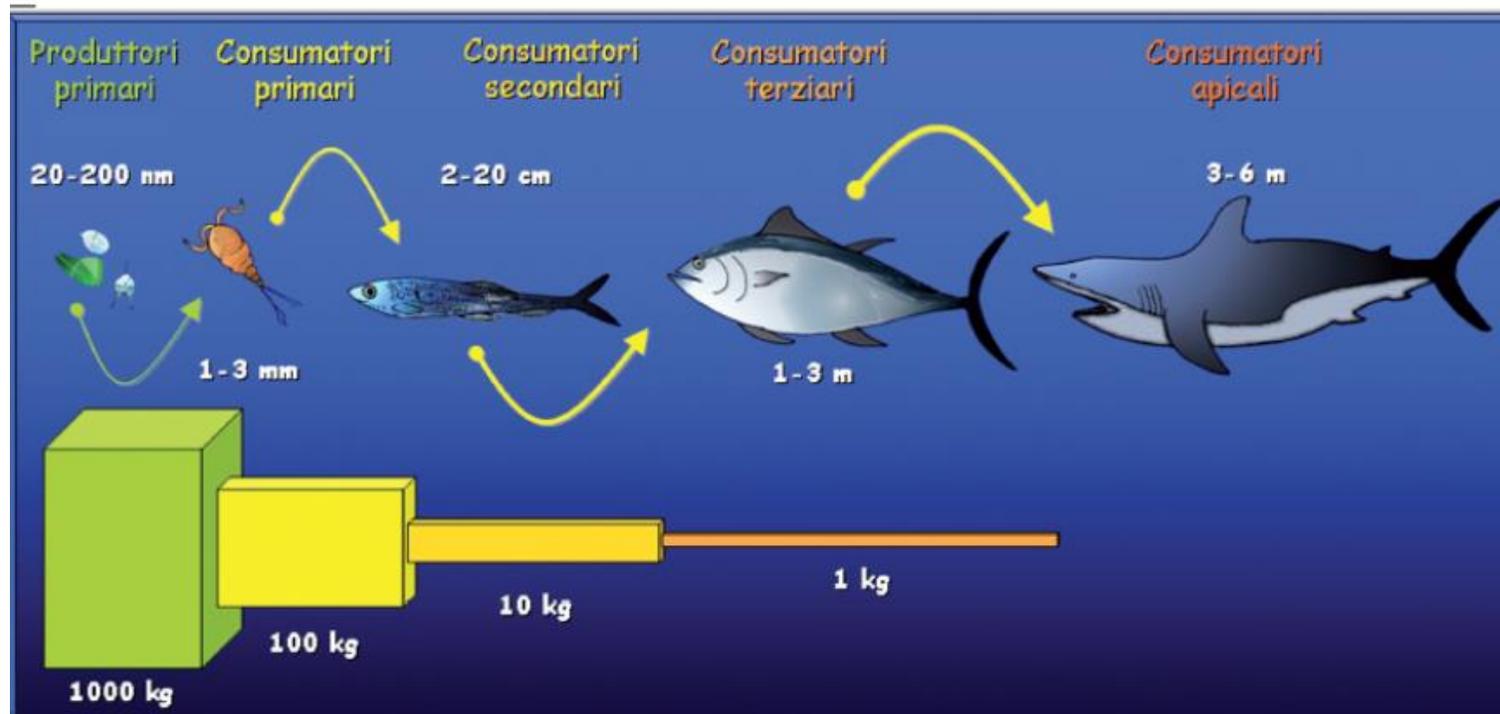
# La catene alimentare in ambiente marino

Il fitoplankton è alla base della catena alimentare in ambiente acquatico





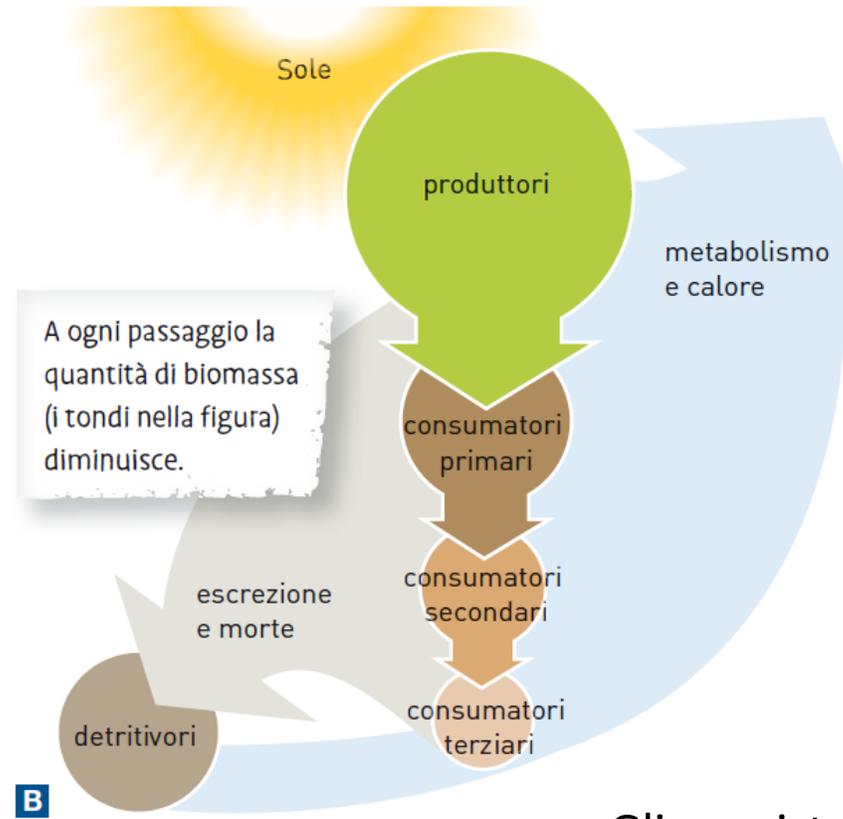
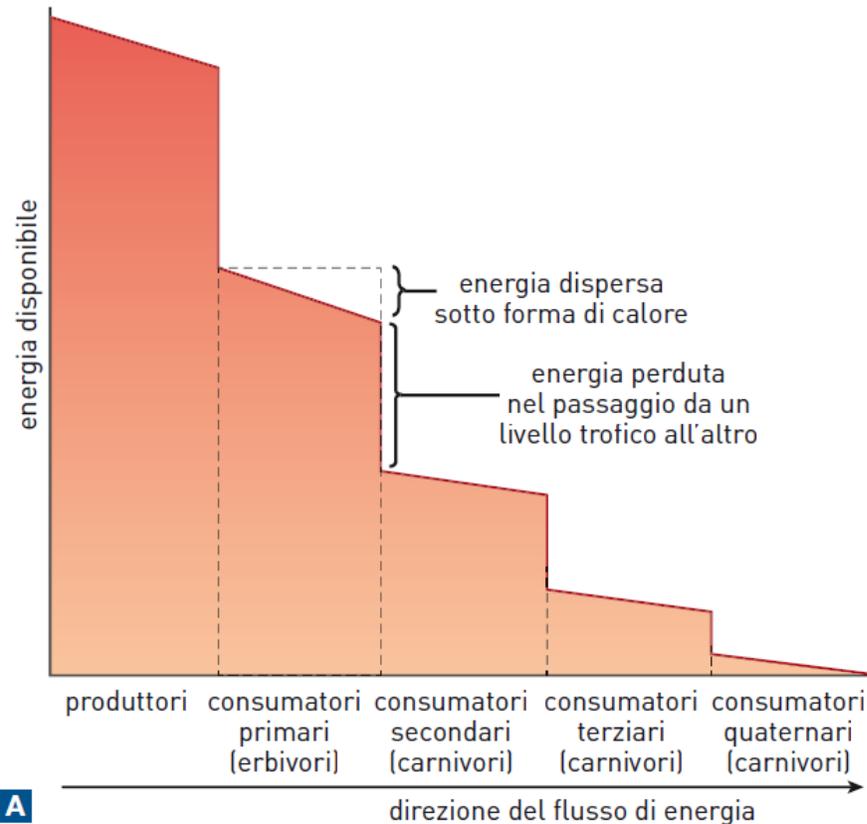
# L'energia fluisce lungo la catena alimentare



Il trasferimento di energia e materia lungo la catena trofica marina (Illustrazione di Franco Gambale)

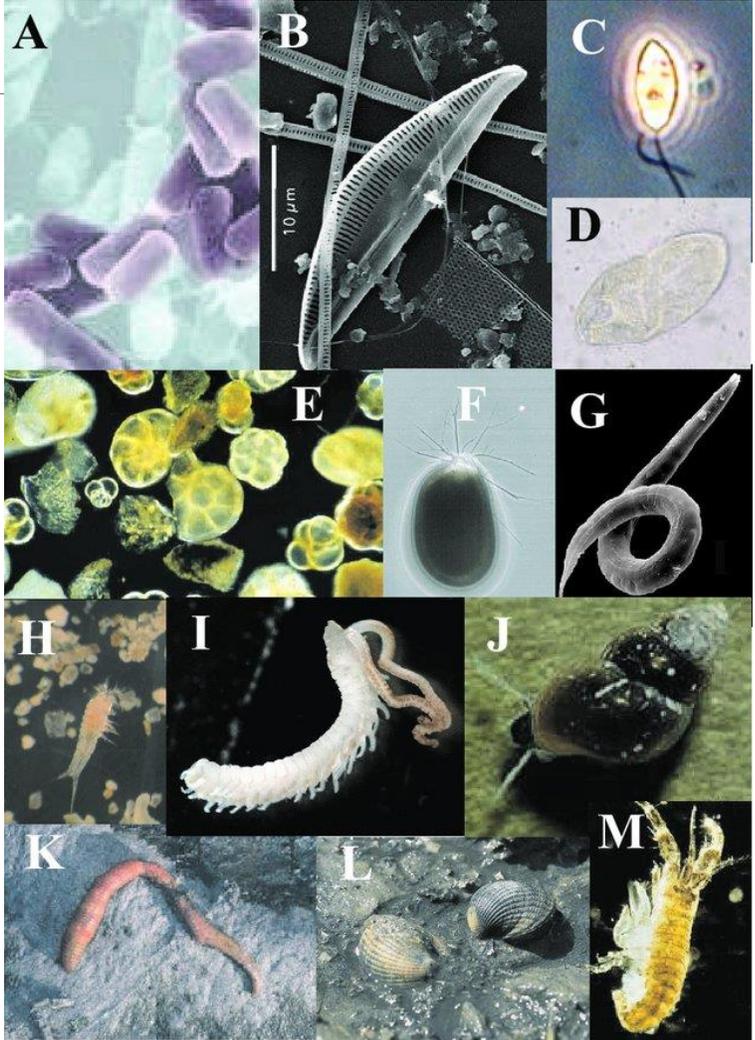
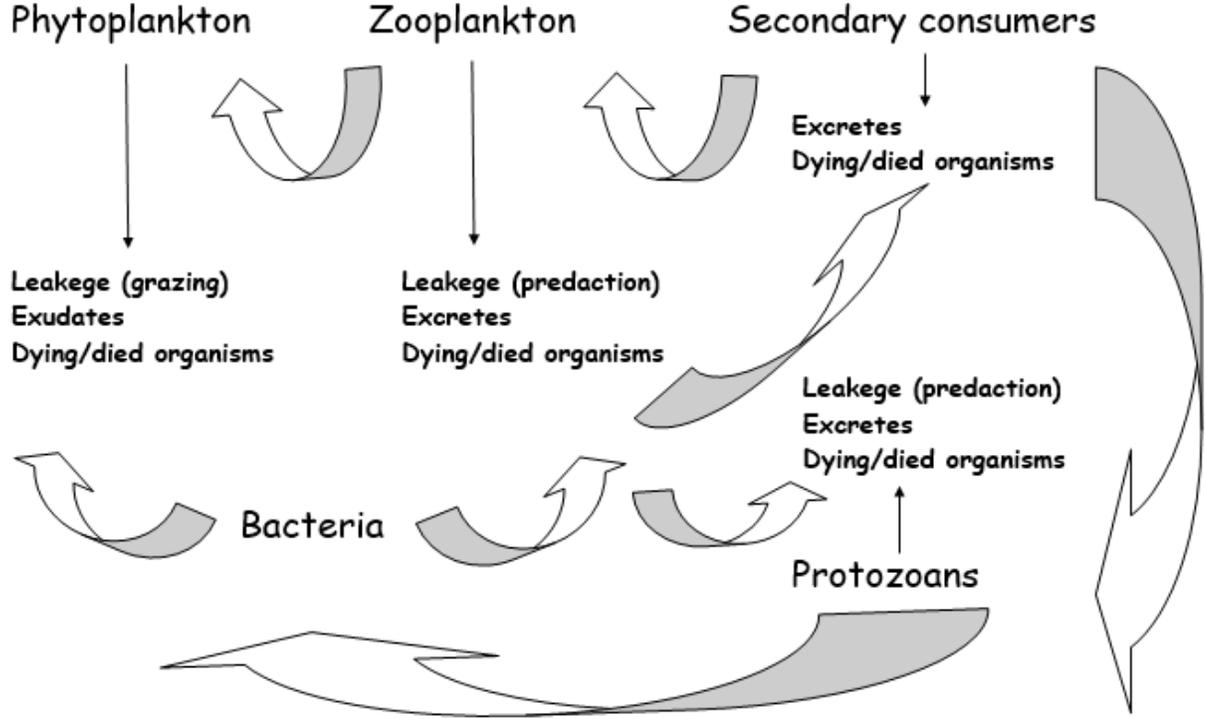
I ricercatori, misurando la quantità di “produzione primaria” degli oceani (l’insieme dei microscopici organismi alla base della rete alimentare marina) necessaria per produrre un chilogrammo di un determinato tipo di pesce, hanno scoperto che, per esempio, un chilo di superpredatore può richiedere anche più di 1.000 chili di produzione primaria come costo ecologico (impronta ecologica).

# L'energia fluisce lungo la catena alimentare



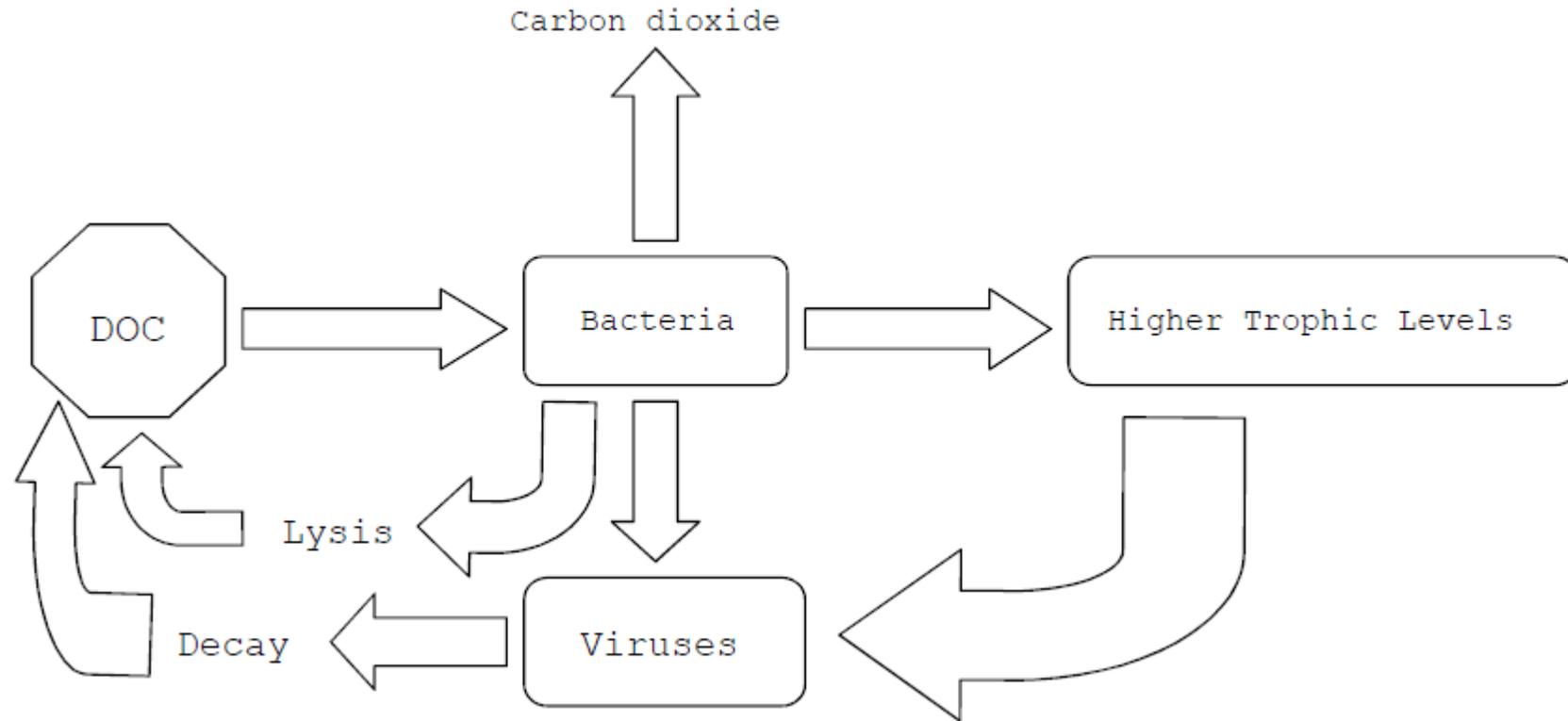
Gli ecosistemi sono sistemi aperti

# Complessità della catena alimentare in ambiente marino



# Ruolo batteri nella catena alimentare marina

---



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

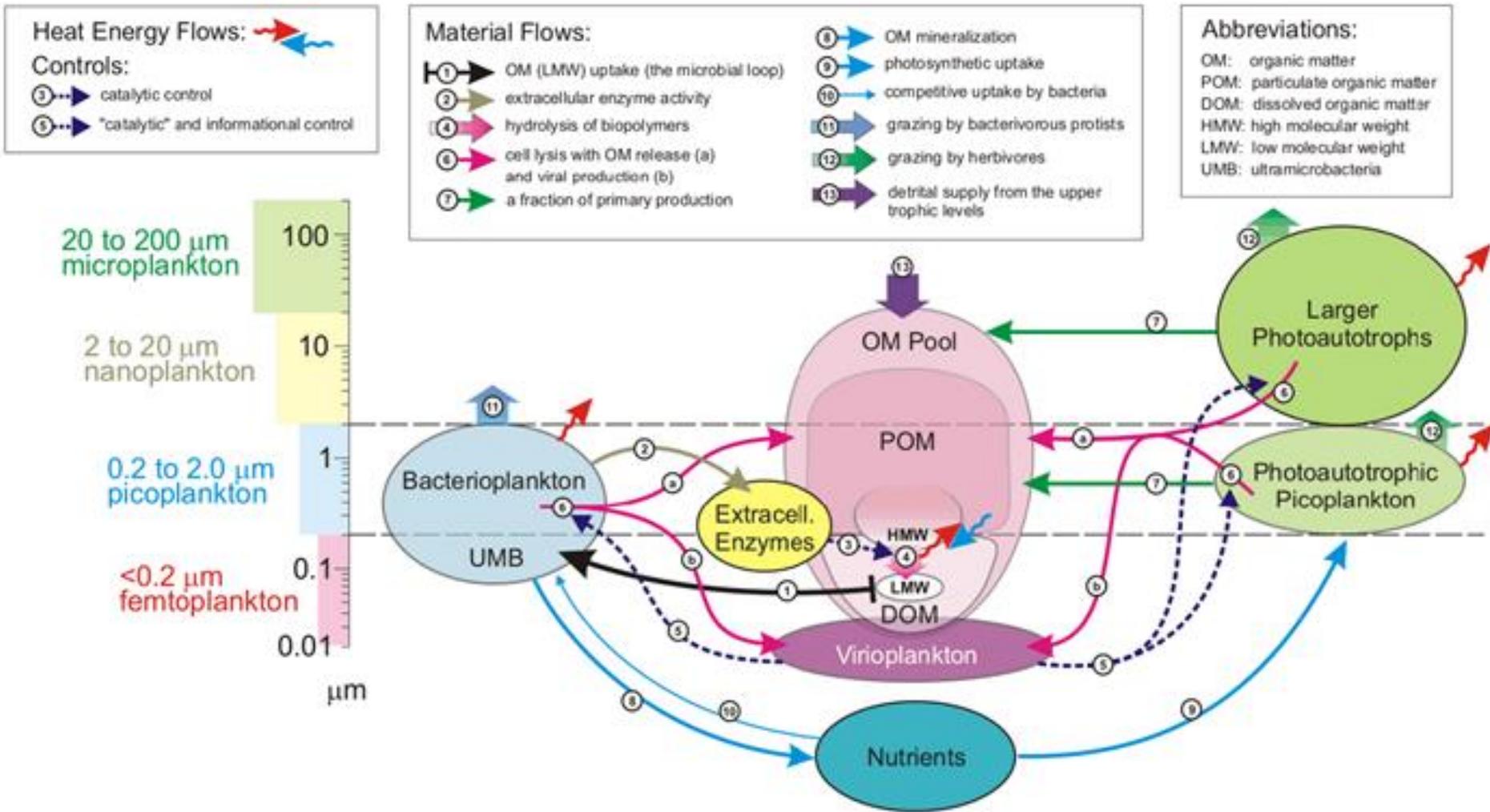
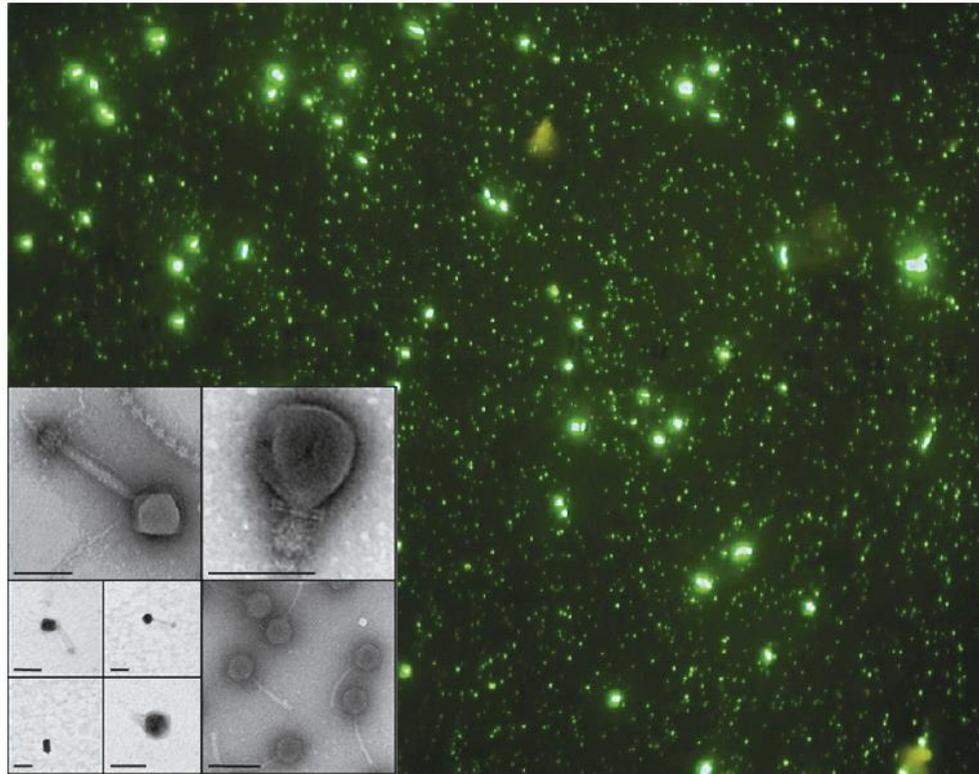


Fig. 1. Compartments of and material/energy flows through aquatic microbial food web. The web links to the upper trophic levels through the trophic flows 11 (grazing of bacteria by protozoa) and 12 (herbivory by protists and larger plankton) and supplied through the flows 7 (DOM release as a part of primary production) and 13 (downward detrital pathway from the upper trophic levels).



Jed Fuhrman, Jennifer R. Brum, Ryan O. Schenck, N. Solonenko, and Matt Sullivan

**Figura 20.32 Virus nelle acque di mare.** Campione di acqua, previamente filtrato attraverso pori di  $0,02 \mu\text{m}$  ( $20 \text{ nm}$ ) e colorato con SYBR Green, osservato al microscopio a epifluorescenza. I minuscoli punti verdi corrispondono a particelle virali mentre quelli più grandi a cellule di procarioti del diametro di circa  $0,5 \mu\text{m}$ . Nelle acque marine, i virus sono di solito 10 volte più abbondanti rispetto al numero totale delle cellule procariote. Le fotografie al microscopio elettronico a trasmissione nell'inserito mostrano vari virus batterici marini (la barra di riferimento in tutti i riquadri dell'inserito corrisponde a  $100 \text{ nm}$ ).

## 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 .

*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

# Dinamica delle comunità microbiche

Le comunità microbiche sono composte da diverse popolazioni di microrganismi che interagiscono all'interno dello stesso habitat nell'ambito della propria nicchia ecologica. Tali popolazioni tendono a uno stato di equilibrio dinamico dovuto all'azione di forze di disturbo e forze omeostatiche che portano allo stabilirsi di una successione di diverse popolazioni microbiche che, entro certi limiti è possibile prevedere. In questo senso la capacità di utilizzo dei nutrienti gioca un ruolo preponderante.

E' possibile differenziare e classificare i microrganismi presenti in un determinato habitat in base alle caratteristiche di crescita e di affinità per i substrati carboniosi.

Sergei  
Vinogradskij  
(1856-1956)



**Autoctoni:** metabolismo lento e costante, ben adattati e poco sensibili alle variazioni ambientali.

**Zimogeni:** adattati a un'alternanza di periodi di quiescenza e di crescita rapida

***Alloctoni:*** sono solitamente estranei ad un dato ambiente

In base alla diversa capacità di sfruttare risorse nutrizionali più o meno abbondanti i microorganismi sono divisi in:

**Oligotrofi:** crescono a basse concentrazioni di nutrienti

**Copiotrofi o eutrofi:** preferiscono alte concentrazioni di substrato



La diversa capacità di approvvigionamento dipende da differenze nei sistemi di trasporto dei soluti all'interno della cellula

## 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 .

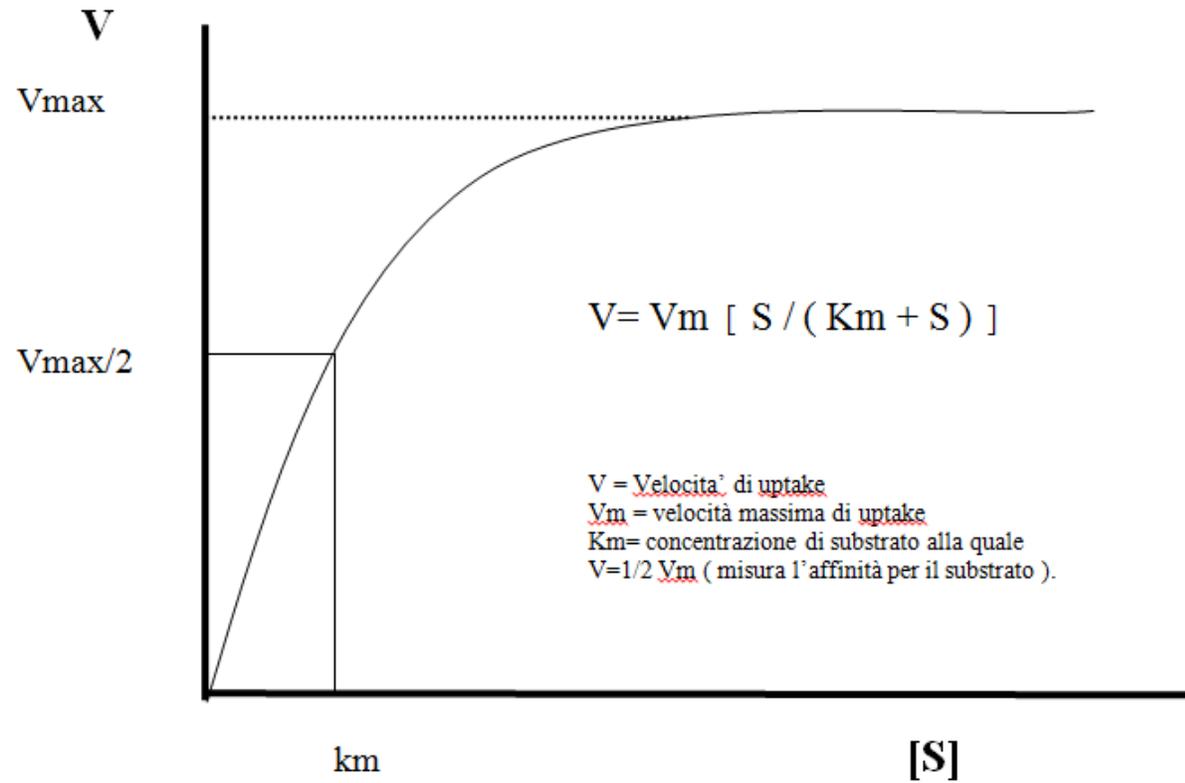
Tale cinetica può essere efficacemente descritta dall'equazione di Michaelis - Menten.

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

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:

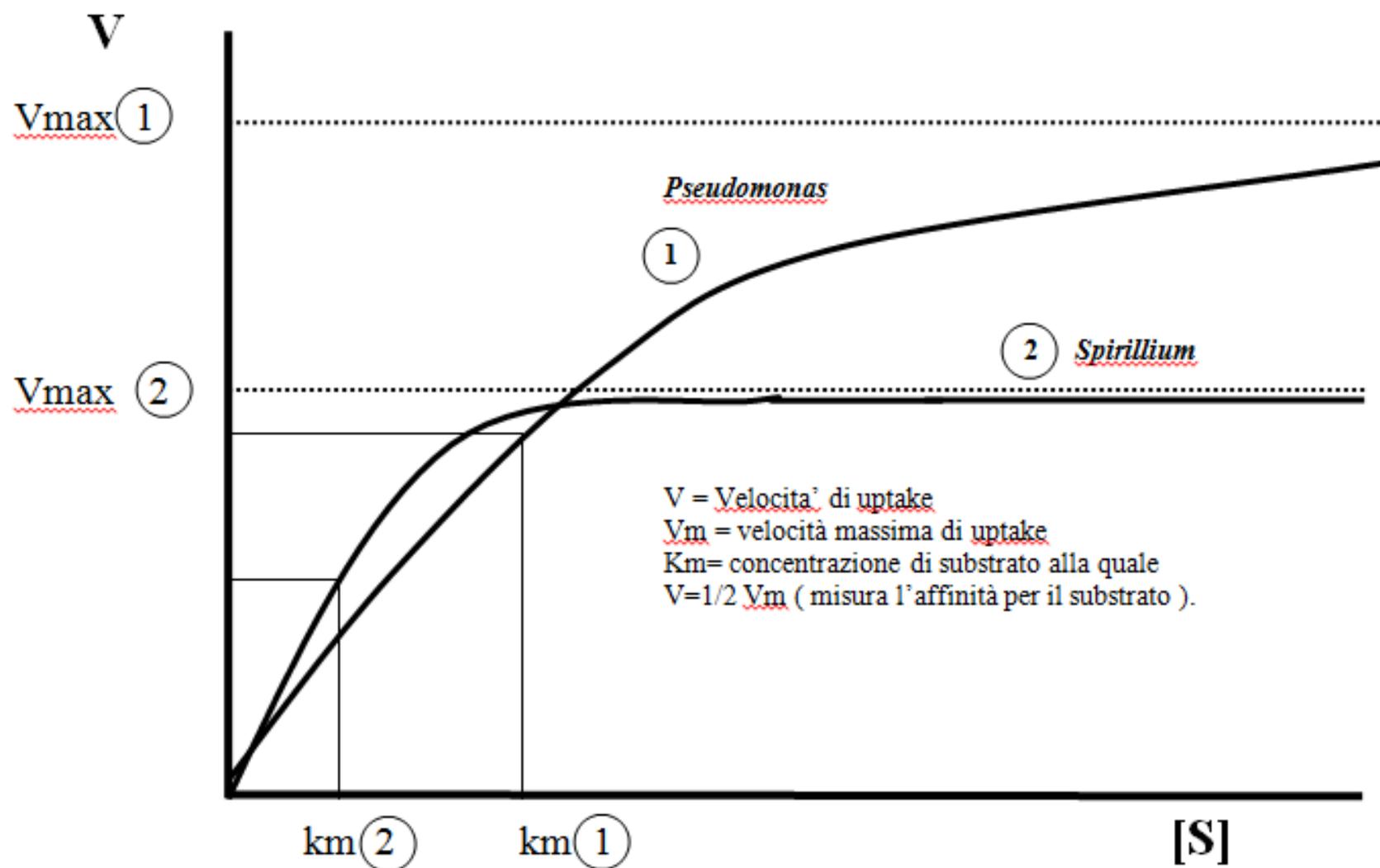
❖ i microrganismi possono specializzarsi nell'aver un elevato tasso di uptare ad elevate concentrazioni di substrato (  $K_m$  elevato)

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 )



La crescita di una popolazione in funzione della capacità dell'ambiente e quindi, indirettamente dalla disponibilità di nutrienti o concentrazioni di substrato può essere descritta dalla seguente equazione:

$$(dN/dt)/N = r - rN/K$$

$dN/dt/N$  = velocità specifica di incremento della popolazione

$N$  = Densità di popolazione (numero di cellule o biomassa per unità di volume)

$r$  = velocità di aumento procapite (probabilità che ciascun individuo di una popolazione si riproduca nell'intervallo di tempo considerato al netto delle morti)

$K$  = Capacità dell'ambiente (misura del valore limite di popolazione che può essere sostenuta dall'ecosistema).

Poiché  $r$  è indipendente dalle dimensioni della popolazione, può essere usato per confrontare popolazioni di differenti dimensioni: una popolazione con un valore  $r$  più piccolo aumenta più lentamente di una popolazione con una  $r$  più grande

Quando una popolazione è molto al di sotto il limite massimo di densità consentita da  $K$  in un dato ambiente, la sua crescita è di tipo esponenziale ma quando la popolazione si avvicina a  $K$ , incomincia ad incontrare una resistenza ambientale sempre maggiore

➤ **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**

➔ Competono con successo per l'uso di risorse limitate; la vita delle cellule è più lunga e si riproducono più lentamente (esempio: streptomiceti, basidiomiceti)

➔ Approfittano dell'abbondanza di risorse e scarso affollamento per realizzare rapidi aumenti della popolazione, investendo gran parte delle loro energie nella riproduzione, si riproducono e si diffondono velocemente (Saccharomices cerevisiae e Pseudomonas spp)

## In carenza di nutrienti....

- **Forme di resistenza:** forme di differenziamento cellulare altamente specializzate per garantire la sopravvivenza della specie (eterocisti nei cianobatteri, spore nei batteri sporigeni, pseudoife in *Saccharomyces cerevisiae*)
- **Diminuzione della velocità di processi metabolici** fino ad arrivare all'inattività della cellula e allo stop della replicazione cellulare
- **Modificazioni della membrana cellulare** per permettere l'ingresso di un nutriente la cui concentrazione diventa limitante
- **Riduzione della richiesta di un dato nutriente** attraverso la diminuzione della sintesi di un particolare costituente cellulare e sintetizzando delle molecole alternative
- **Polimeri di riserva:** riserve di carbonio (ma anche di fosfato) e di energia (poliidrossialcanoati)
- **Metaboliti secondari:** inibitori della crescita di altri organismi (antibiotici e sostanze bioattive)

# In carenza di nutrienti....e/o condizioni ambientali sfavorevoli

**Adattamento fisiologico:** variazione dell'espressione genica in seguito a variazioni nella disponibilità di un substrato. Comporta l'espressione di geni i cui prodotti sono indispensabili per il catabolismo di uno specifico substrato indispensabile per la crescita microbica e/o l'espressione di geni i cui prodotti sono indispensabili per la sopravvivenza della cellula microbica durante il prolungarsi di un particolare stress ambientale (stress response)\*

**Adattamento genetico:** comparsa di mutazioni nel DNA di individui di una popolazione sottoposta a forti e prolungati stress ambientali che ne rallentano significativamente o ne impediscono la proliferazione. I mutanti, una volta acquisito un vantaggio rispetto al ceppo selvatico sarà selezionato positivamente e diverrà prevalente nella popolazione.