

Metabolismo microbico

Richieste per la crescita microbica

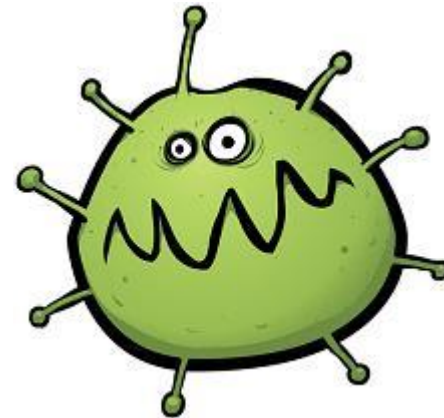


Assenza di
prodotti
tossici

Fonte di C e di energia

Condizioni ambientali
(temperatura, pH, Eh)

Acettori di elettroni
(O_2 , NO_3^- , SO_4^{2-} , et c.)



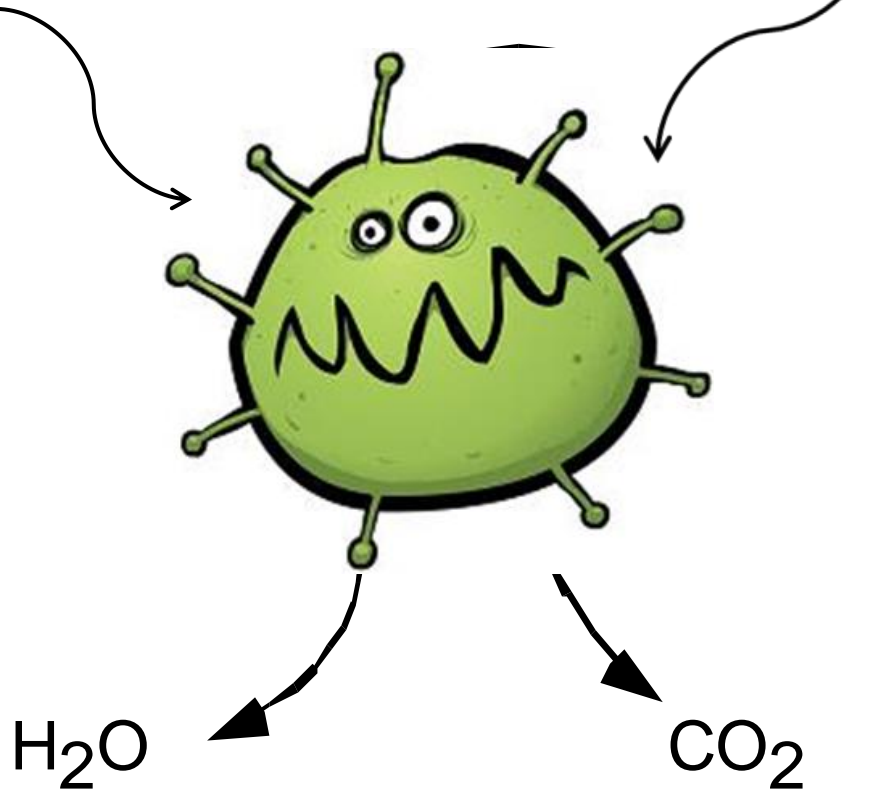
Nutrienti (N,P,K)

Elementi traccia

Flusso di elettroni

Accettori di elettroni
(O_2 , NO_3^- , SO_4^{2-} , etc.)

Donatori di elettroni



IL METABOLISMO MICROBICO

Gli esseri viventi hanno bisogno di spendere energia per mantenere e moltiplicare le proprie strutture ed, eventualmente, per compiere alcune funzioni particolari, come movimento, trasporto attivo di molecole ect.. Non tutte le forme di energia sono utilizzabili da parte degli esseri viventi: gli strumenti che essi hanno a disposizione non sono certo tali da poter sfruttare l'energia nucleare, l'elettricità ad alto potenziale, le radiazioni cosmiche. Queste forme di energia sono troppo concentrate, esse anzi sono pericolose per i danni che possono fare alle stesse strutture viventi. Altre forme di energia sono troppo diluite od intrasformabili con i meccanismi messi a punto nella cellula, come le onde a bassa frequenza, il calore etc. Nelle condizioni attuali della Terra, l'energia si ritrova sotto varie forme alcune delle quali raggiungono la densità e si presentano sotto forme che ne permettono l'uso con i metodi utilizzabili dalla cellula.

Il contenuto energetico medio dei costituenti delle cellule è superiore a quello ambientale medio; ciò comporterebbe la inesorabile degradazione della cellula fino a raggiungere lo stesso livello energetico dell'ambiente: in altri termini, l'estinzione della vita. Gli esseri viventi invece riescono a mantenere e moltiplicare le loro strutture pompando energia dall'ambiente, immagazzinandola in composti particolari e passandola da questi ai propri costituenti funzionali. A queste trasformazioni si dà il nome di *metabolismo*.

Metabolismo

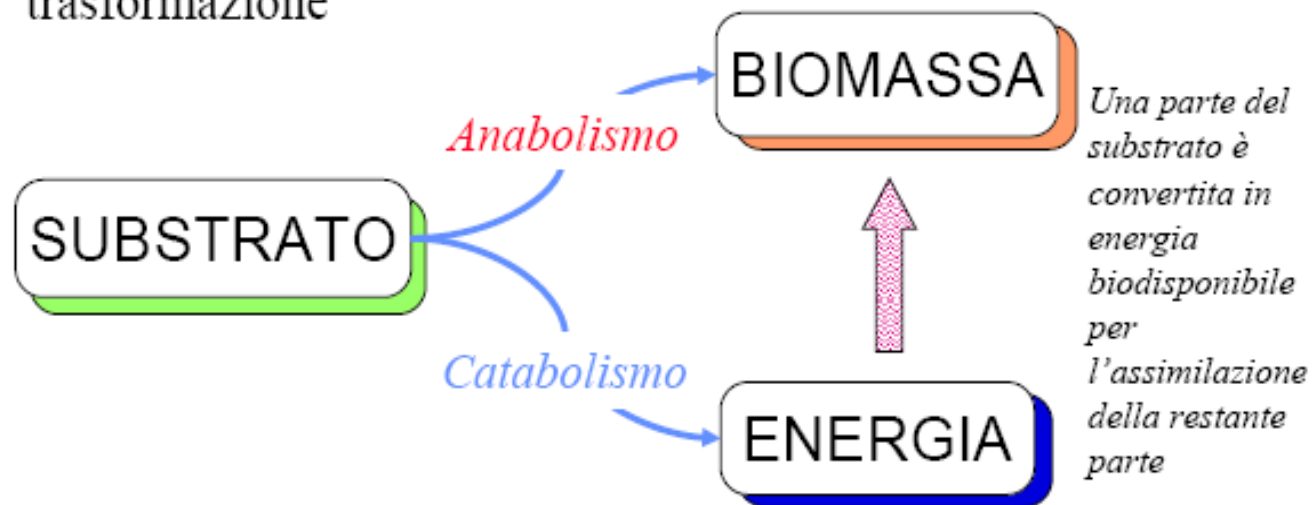
Il termine "metabolismo" si riferisce a tutte le reazioni biochimiche che avvengono in una cellula o in un organismo e può essere diviso concettualmente in:

CATABOLISMO → reazioni di ossidazione e dissimilazione del substrato. Queste reazioni sono indirizzate verso l'ottenimento di energia. Le reazioni cataboliche sono **esoergoniche** (si ricava energia).

ANABOLISMO → assunzione ed utilizzazione di composti organici ed inorganici richiesti per la crescita e per il mantenimento delle strutture e funzioni cellulari (reazioni assimilative). Le reazioni anaboliche sono **endoergoniche** (richiedono energia) e consumano l'energia prodotta dalle reazioni cataboliche.

Metabolismo cellulare

- Il metabolismo dei microorganismi sfrutta il substrato attraverso due diversi percorsi metabolici
- Il cammino *anabolico* converte il Substrato in Biomassa
- Il cammino *catabolico* produce l'Energia necessaria a questa trasformazione



Ingredienti per il metabolismo cellulare

- ☞ La cellula ricava energia per la crescita ed il mantenimento attraverso reazioni di *Ossido-Riduzione* (RedOx)
- ☞ Esse hanno bisogno dei seguenti quattro elementi:
 - ⇒ *Sorgente di Energia*
 - ☞ Fornisce l'energia per le reazioni Anaboliche (Sintesi)
 - ⇒ *Sorgente di Carbonio* (e di N, P, K, S, Na, Fe, ecc.)
 - ☞ Viene convertito in materiale cellulare (protoplasma)
 - ⇒ *Donatore di Elettroni*
 - ☞ Alimenta la semireazione di ossidazione
 - ⇒ *Accettore di Elettroni*
 - ☞ Alimenta la semireazione di riduzione

Metabolismo cellulare

- *Le macromolecole costituiscono circa il 30% del materiale cellulare (**biomassa**)*

Macromolecule	Percentage of total dry weight	Different kinds of molecules
Protein	55.0	1050
RNA	20.5	
rRNA	16.7	3
tRNA	3.0	60
mRNA	0.8	400
DNA	3.1	1
Lipid	9.1	4
Lipopolysaccharide	3.4	1
Peptidoglycan	2.5	1
Glycogen	2.5	1
Soluble pool	3.9	

- *Le macromolecole sono sintetizzate molto velocemente a partire da riserve di composti a basso peso molecolare. Tali riserve sono continuamente ripristinate dalla degradazione di metaboliti derivanti dalle fonti di carbonio.*

Reazioni del Metabolismo

- **Reazioni di ossidazione e degradazione**

*Producono i 12 metaboliti, il potere riducente (i trasportatori di elettroni NADH e NADPH) necessari alla biosintesi, nonché l'energia libera (sotto forma di ATP) richiesta da tutte le altre reazioni. Le reazioni di ossidazione e degradazione costituiscono il **catabolismo** (degradazione ed ossidazione dei substrati).*

- **Reazioni di biosintesi**

*Producono le molecole attive necessarie alle reazioni di polimerizzazione. Inoltre formano co-enzimi, co-fattori e molecole usate nella trasmissione dei segnali. Le reazioni di biosintesi costituiscono l'**anabolismo** della cellula e coinvolgono tutte (direttamente o indirettamente) 12 precursori metabolici.*

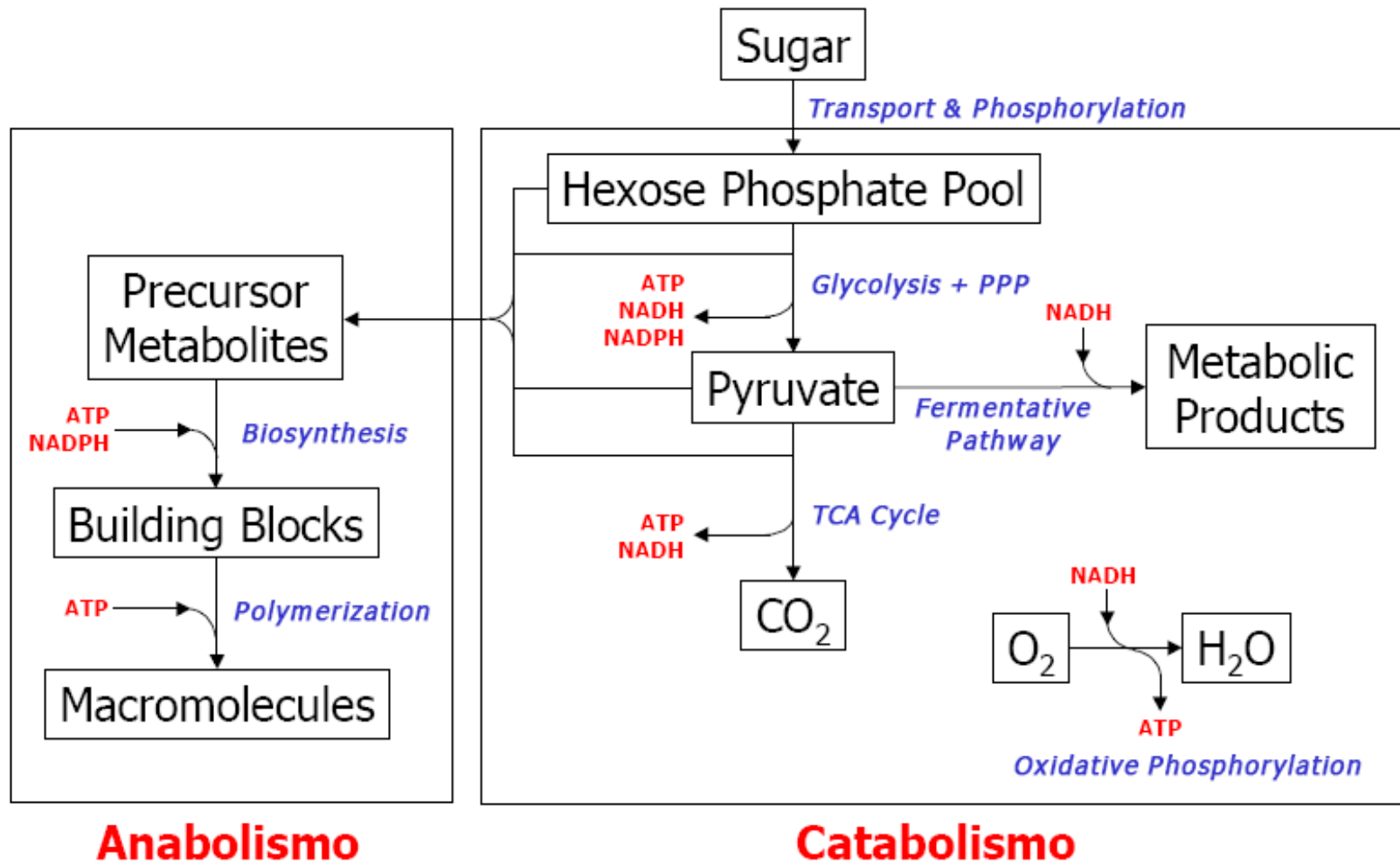
- **Reazioni di assemblaggio**

Comprendono la modificazione chimica delle macromolecole, il loro trasporto in luoghi specifici della cellula e la loro associazione per formare strutture cellulari (membrane, nucleo, pareti cellulari).

- **Reazioni di polimerizzazione**

Rappresentano l'assemblaggio di molecole chimicamente attive (building blocks) per formare lunghe catene polimeriche.

Reazioni del Metabolismo



Metabolismo batterico

1) Fonte di Energia

↳ fototrofia (luce)

↳ chemiotrofia (donatore di elettroni)

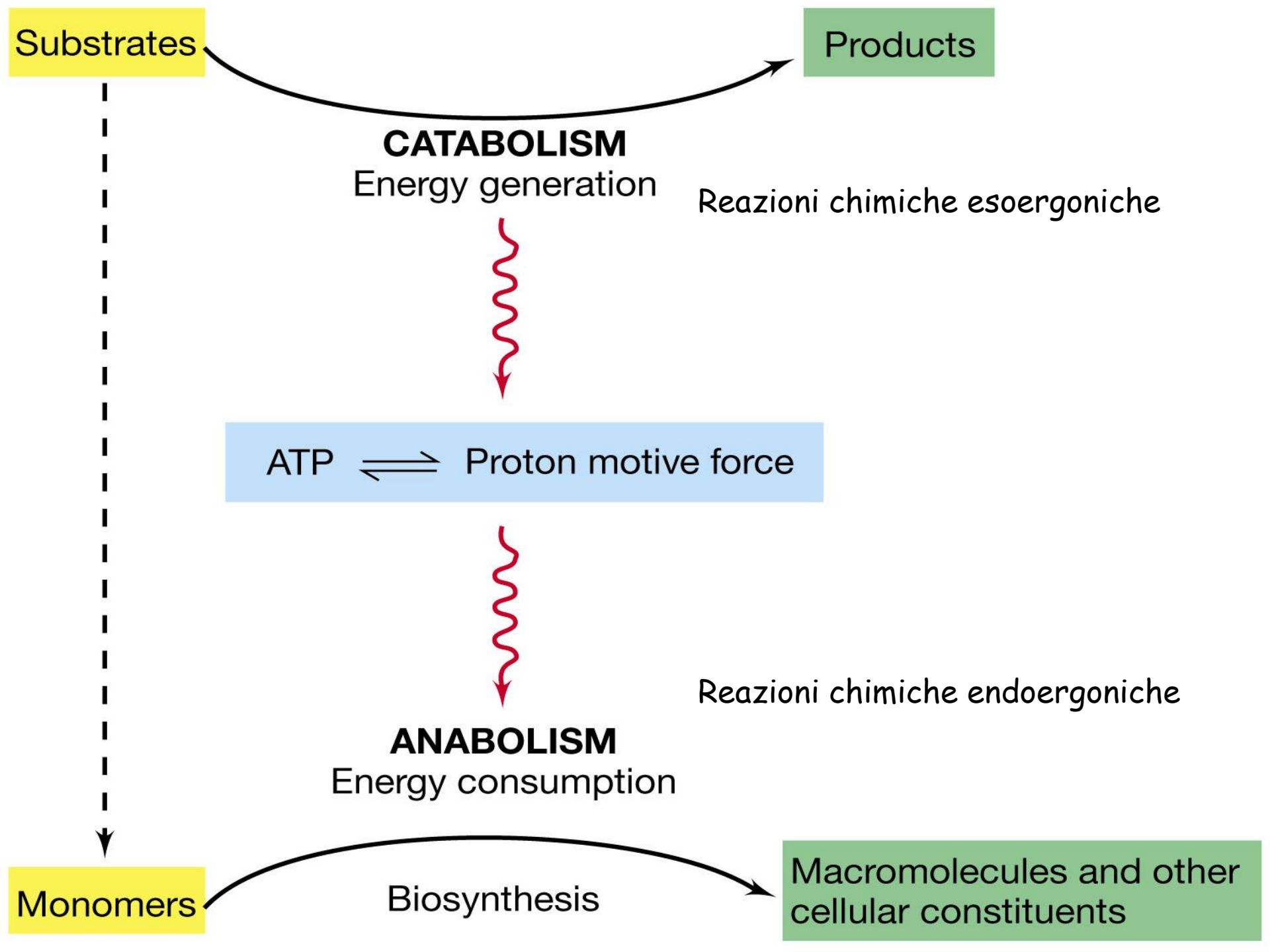
2) Accettore di elettroni

3) C, N, P ed altri macronutrienti

4) Micronutrienti (Fe, Cu, ecc..)

H₂O	Rappresenta l'80-90% del peso totale della cellula ed è perciò sempre l'elemento nutritivo fondamentale.
Fonte di carbonio	È utilizzata per: <ul style="list-style-type: none"> ✓ sintesi dei composti organici ✓ produzione di energia A seconda di quale forma di Carbonio utilizzano, i microrganismi si distinguono in: <ul style="list-style-type: none"> ✓ autotrofi (CO₂; carbonio inorganico) ✓ eterotrofi (zuccheri, amido: carbonio organico)
Fonte di azoto	È il costituente principale delle proteine (10% del peso secco dei batteri) Capacità di utilizzare varie forme di azoto (N) <ul style="list-style-type: none"> ✓ N atmosferico (pochi batteri) ✓ N inorganico (sali di ammonio, NO₃, NO₂ ecc.) ✓ N organico (aminoacidi, peptoni, urea)
O₂	Esigenze e tolleranze molto diverse tra i batteri
Fosforo	Componente di acidi nucleici (DNA, RNA), fosfolipidi
Zolfo	Componente di alcuni aminoacidi (cisteina, metionina)
Altri elementi	K, Mg, Ca, Na
Fattori di crescita organici	Composti di cui il batterio ha assoluta necessità per il proprio accrescimento, ma che non è capace di sintetizzare. Devono essere forniti al batterio preformati Le esigenze di fattori di crescita variano da batterio a batterio <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aminoacidi ✓ Vitamine ✓ Alcune purine o pirimidine

Macro-nutrienti



Substrates

Products

CATABOLISM

Energy generation

Reazioni chimiche esoergoniche



ATP \rightleftharpoons Proton motive force



Reazioni chimiche endoergoniche

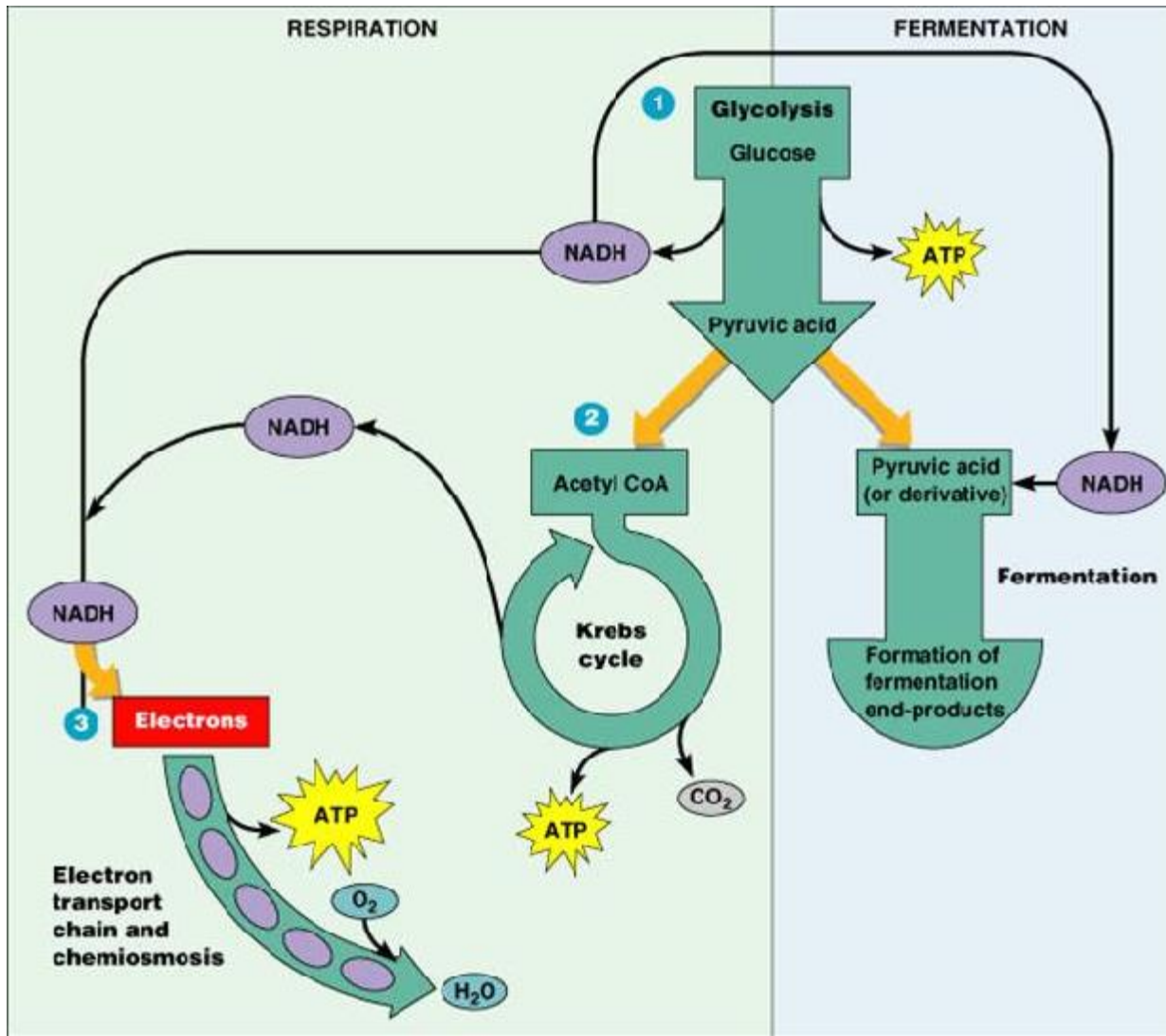
ANABOLISM

Energy consumption

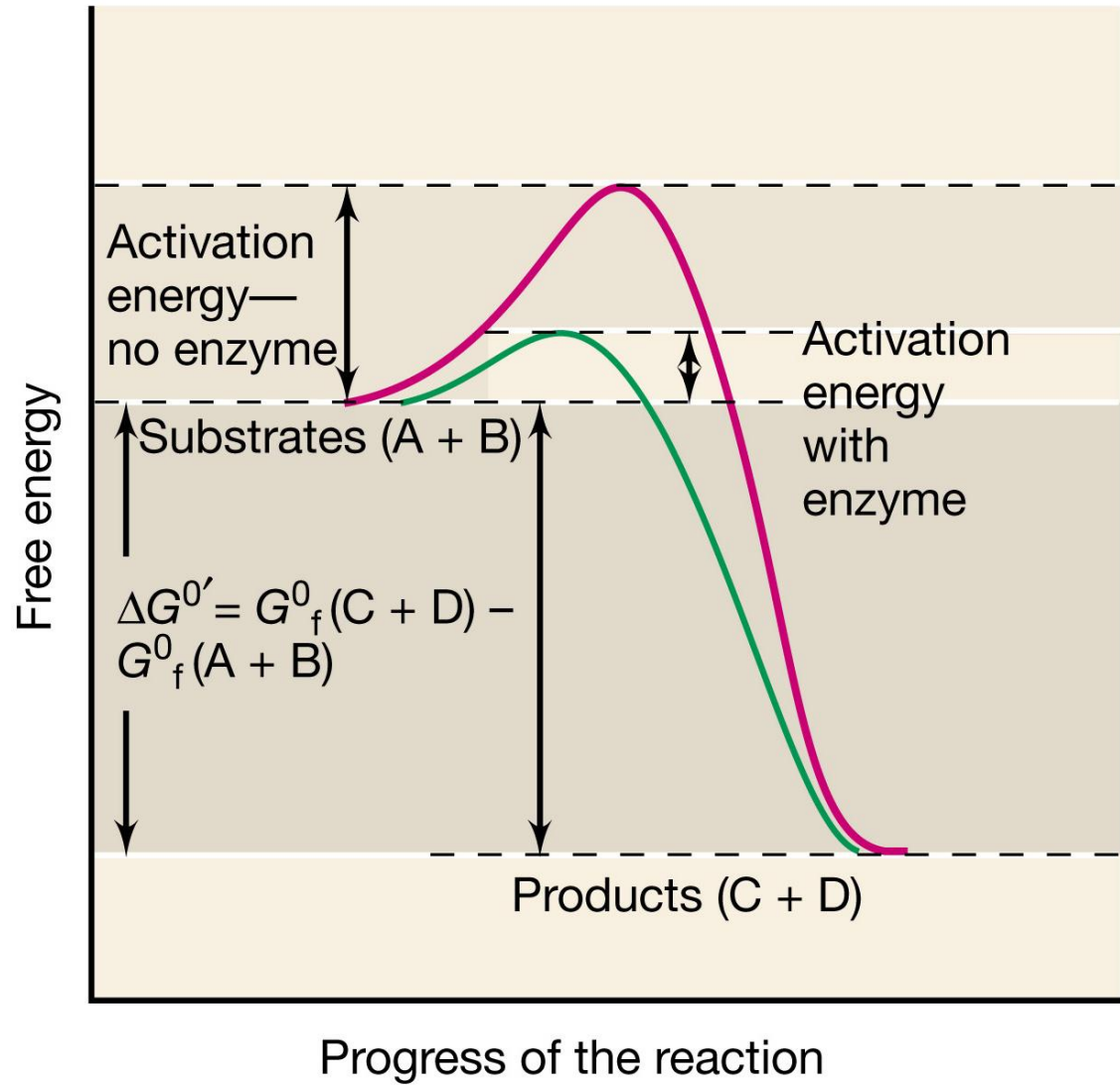
Monomers

Macromolecules and other cellular constituents

Biosynthesis



Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.



- Cellular Fuel
- carbohydrates (sugars)
 - lipids (fatty acids)
 - proteins (amino acids)

Each of these components will enter the cell using membrane transport pathways. Once in the cell they can be utilized in a number of different capacities

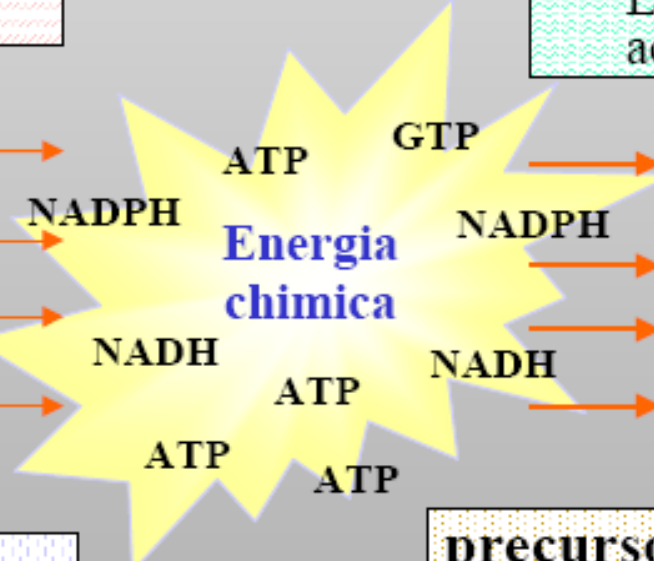
- 1) used to build macromolecular structures unique to that particular cell
- 2) lipids and sugars can be polymerized and stored for future utilization.
- 3) metabolized for the energy liberated

Nutrienti
carboidrati
grassi
Proteine

Macromolecole
Proteine
Polisaccaridi
Lipidi
acidi nucleici

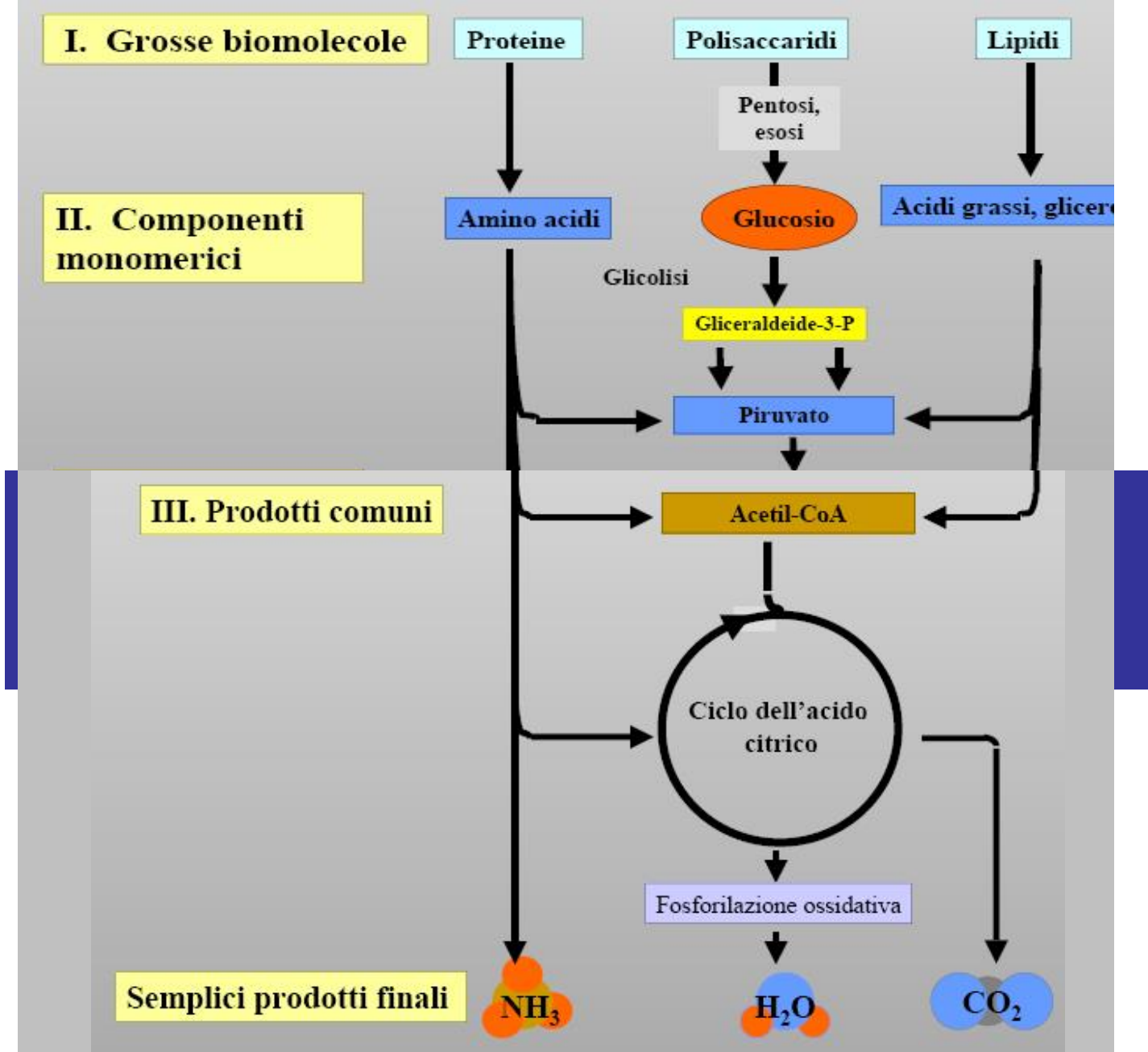
Catabolismo
(ossidativo,
esoergonico)

Anabolismo
(riduttivo,
endoergonico)



Prodotti finali
H₂O, CO₂, NH₃

precursori
Amino acidi
zuccheri
acidi grassi
basi azotate



Biodegradazione

- Tutti I composti organici sono teoricamente biodegradabili, ma la biodegradazione richiede specifiche condizioni
- There is no Superbug !!
- I contaminanti devono essere biodisponibili
- La quantità ed il tasso di biodegradazione sono controllati da fattori limitanti

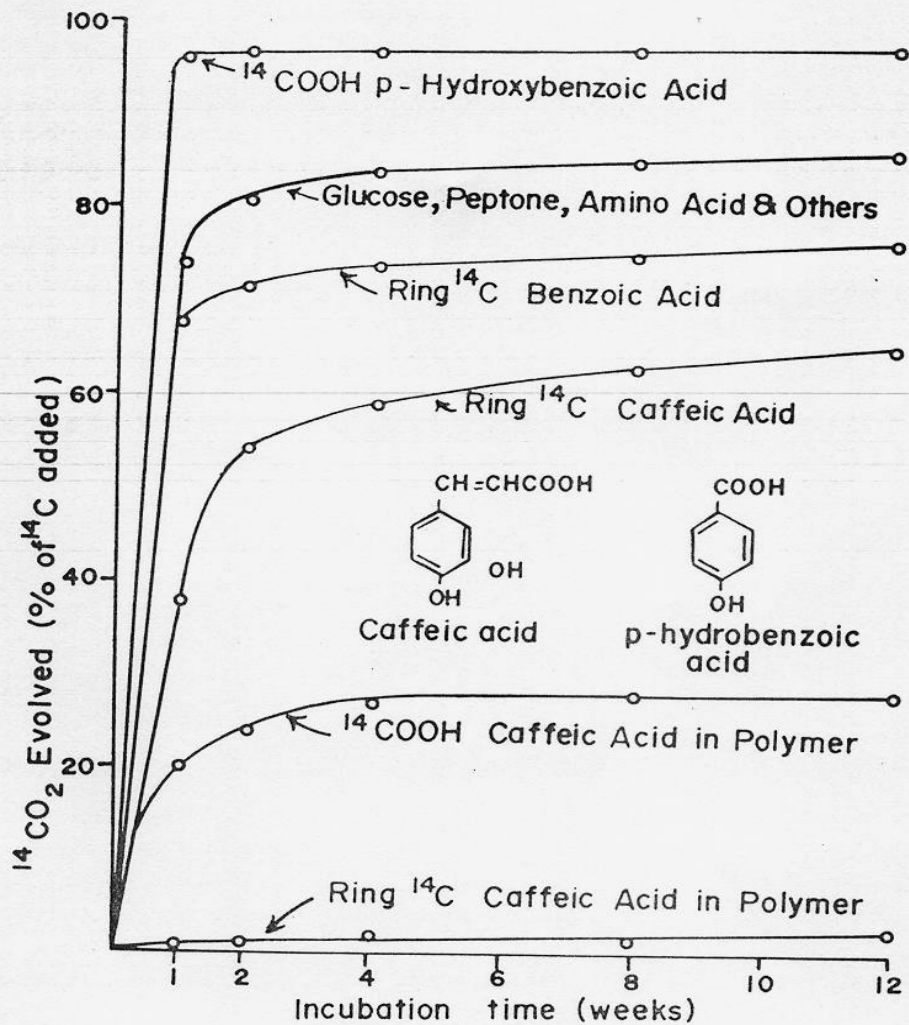
Processi di biodegradazione e biotrasformazione degli inquinanti

- **Biodegradazione**: conversione dei contaminanti in prodotti minerali (CO_2 , H_2O , sali minerali) attraverso meccanismi biologici
- **Biotrasformazione**: processo biologico che trasforma composti organici (per esempio la trasformazione di Tricloroetano a Dicloroetano) e non porta a prodotti minerali

Microbial Metabolism

- Need nitrogen, phosphorus, sulfur, and a variety of trace nutrients other than carbon
- Carbon is often the limiting factor for microbial growth in most natural systems
- Acclimatization period - a period during which no degradation of chemical is evident; also known as adaptation or lag period
- Length of acclimatization period varies from less than 1 h to many months
- Acclimatization of a microbial population to one substrate frequently results in the simultaneous acclimatization to some structurally related molecules

Figure 6.5. Decomposition of specifically ^{14}C -labeled benzoic and caffeic acids, caffeic acid linked into phenolic polymers, and several simple organic compounds in Greenfield sandy loam. (From Haider and Martin, 1975).



Classificazione nutrizionale degli organismi

Energia per il metabolismo

Luminosa

Chimica

Donatore potere riducente inorganico

↳ Fotolitotrofi

Donatore potere riducente inorganico

↳ Chemiolitotrofi

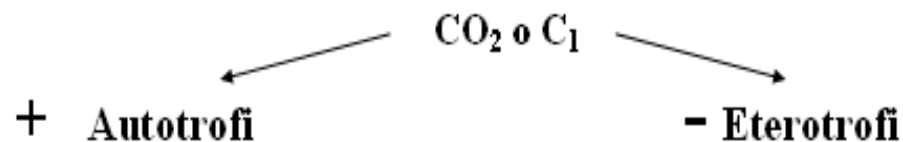
Donatore di potere riducente organico

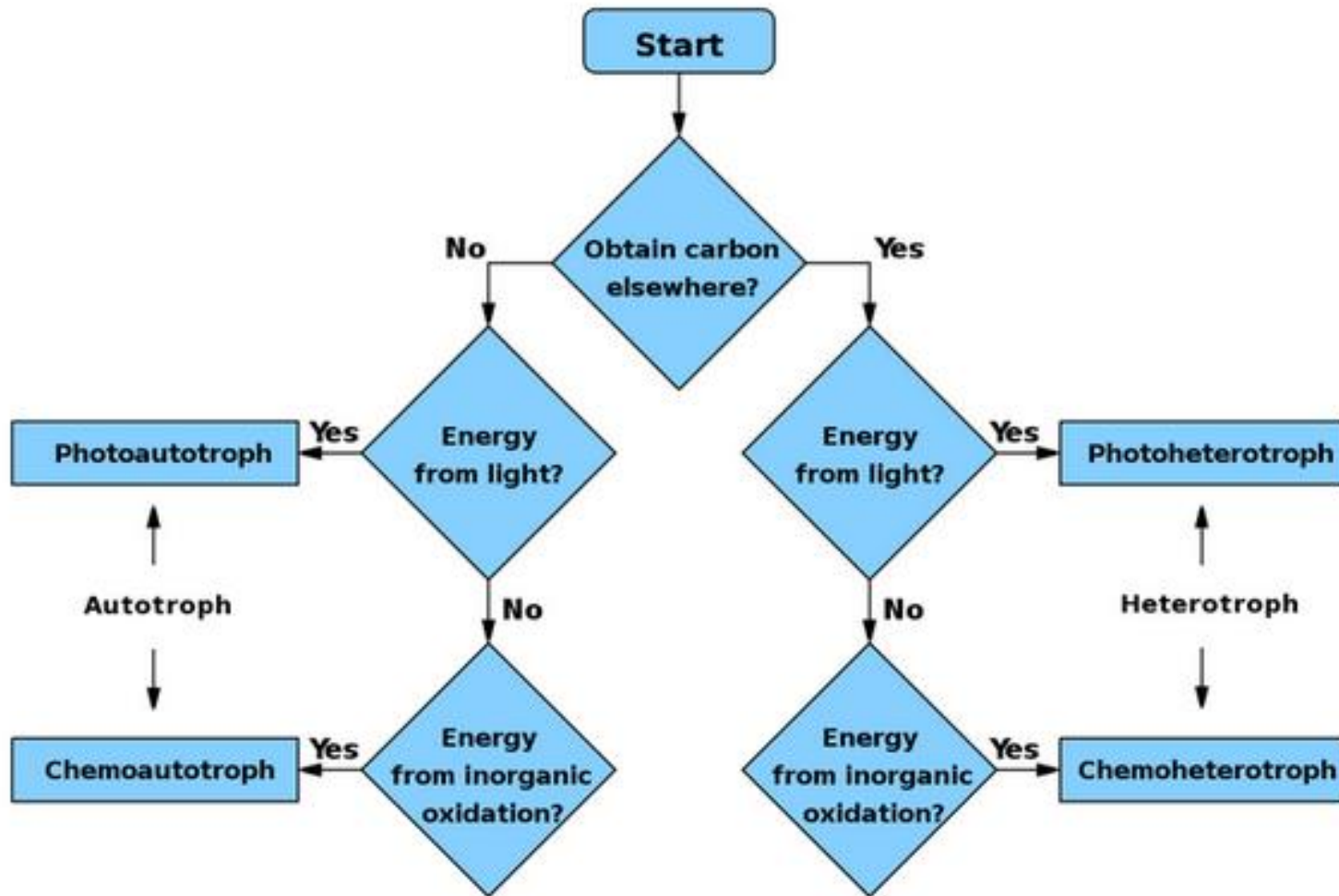
↳ Foto-organotrofi

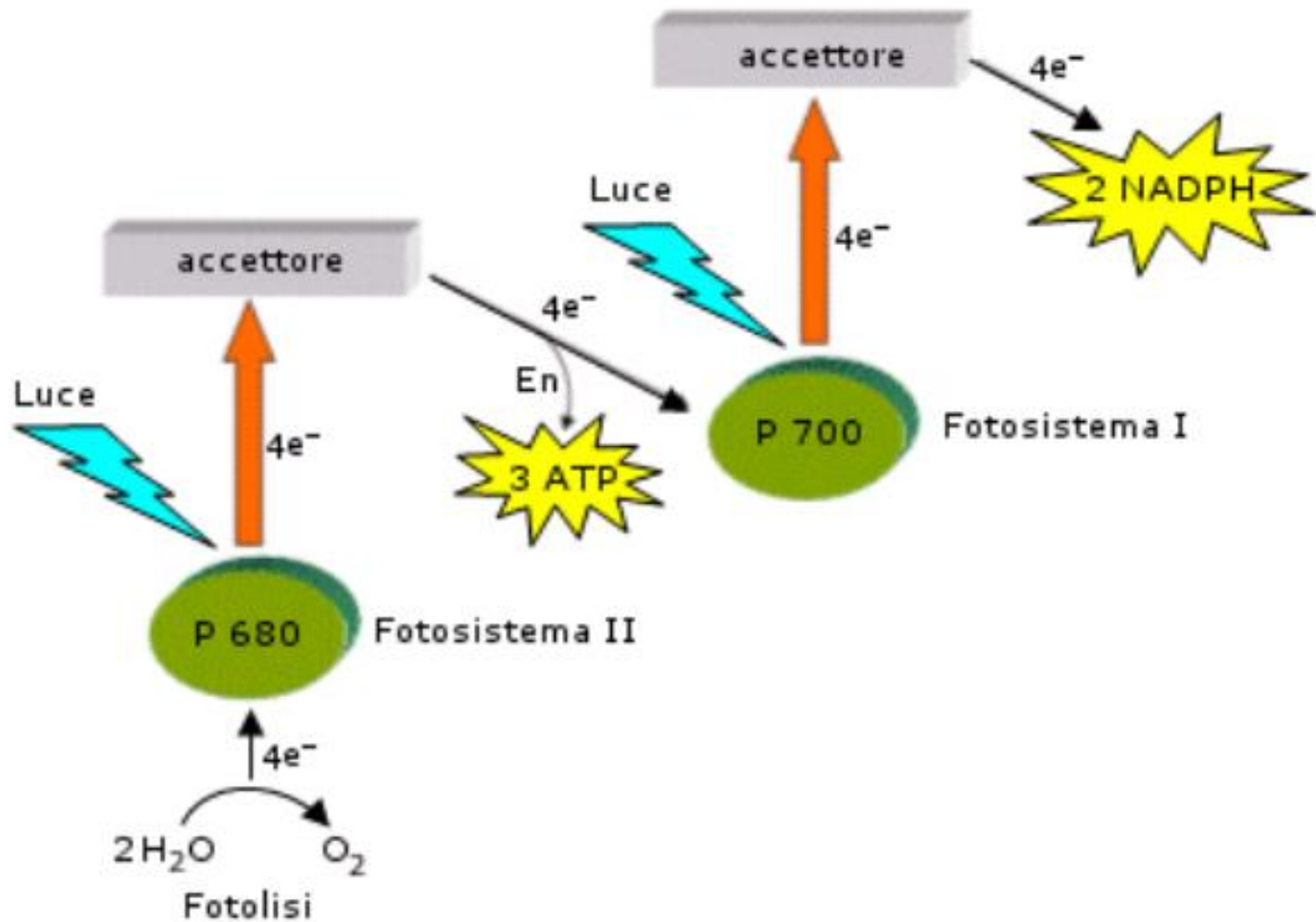
Donatore di potere riducente organico

↳ Chemio-organotrofi

Assimilazione del Carbonio







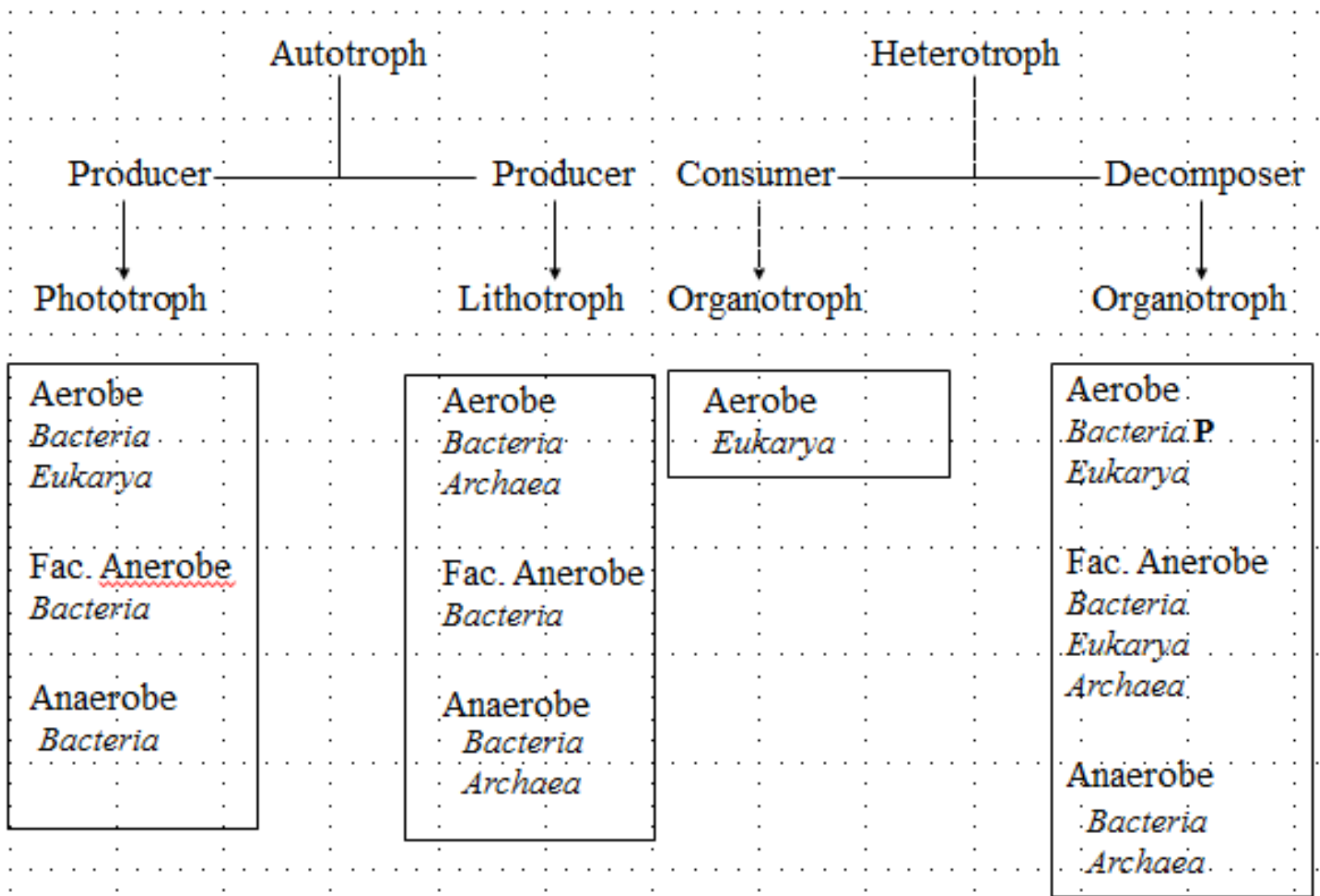
FOTOAUTOTROFI (Fotolitotrofi) - Il carbonio cellulare deriva dalla fissazione della CO_2 e l'energia dalla luce. Questi organismi non necessitano di composti organici. La maggior parte dei cianobatteri, i batteri rossi fotosintetici e le piante usano questo meccanismo.

FOTOETEROTROFI - Il carbonio cellulare viene ricavato da composti organici, ma l'energia deriva dalla luce. Di questo gruppo fanno parte gli archibatteri alofili e i batteri rossi e verdi non sulfurei.

CHEMOETEROTROFI (anche detti eterotrofi chemo-organotrofi; o semplicemente eterotrofi) - I microrganismi che richiedono una fonte di carbonio organica hanno la tendenza a impiegare un donatore di elettroni organico anche nei processi di produzione di energia, se la fonte dell'energia è chimica.

CHEMOAUTOTROFI (autotrofi chemiolitotrofi): il carbonio cellulare viene ricavato fissando CO_2 , e l'energia in genere da fonti inorganiche come composti dello zolfo o dell'azoto, ferro, idrogeno etc.. La produzione di ATP avviene per mezzo della respirazione (aerobia o anaerobia) e i donatori di elettroni possono essere:

	<u><i>Donatore di e minerale</i></u> <u><i>LITOTROFI</i></u>	<u><i>Donatore di e organico</i></u> <u><i>ORGANOTROFI</i></u>
Energia luminosa FOTOTROFI	FOTOLITROFI Piante verdi Alghe $CO_2 + 2H_2O \rightarrow$ $\rightarrow (CH_2O) + H_2O + O_2$ Batteri sulfurei porpora Batteri sulfurei verdi $CO_2 + 2H_2A \rightarrow (CH_2O) + H_2O + 2A$	FOTO-ORGANOTROFI Batteri porpora non sulfurei $CO_2 + (\text{piruvato}) \rightarrow$ $(CH_2O) + (\text{malato})$
Energia chimica CHEMIOTROFI	CHEMIOLITOTROFI Batteri nitrificanti Batteri solfo-ossidanti. Ferrobatteri $NH_4^+ + 3/2O_2 \rightarrow$ $\rightarrow NO_2^- + H_2O + 2H^+$	CHEMIO-ORGANOTROFI Animali Vegetali senza clorofilla Microrganismi eterotrofi $DH_2 + A \rightarrow D + AH_2$
RESPIRAZIONE	ACCETTORE DI $e \rightarrow O_2$	
RESPIRAZIONE ANAEROBIA	ACCETTORE FINALE DI e COMPOSTO MINERALE DIVERSO DALL' O_2 (ad esempio NO_3^- ; SO_4^{2-})	
FERMENTAZIONE	ACCETTORE FINALE DI $e \rightarrow$ COMPOSTO ORGANICO interno alla cellula	



Fonte di Energia

LUCE



fotosintetici (fotoautotrofi)

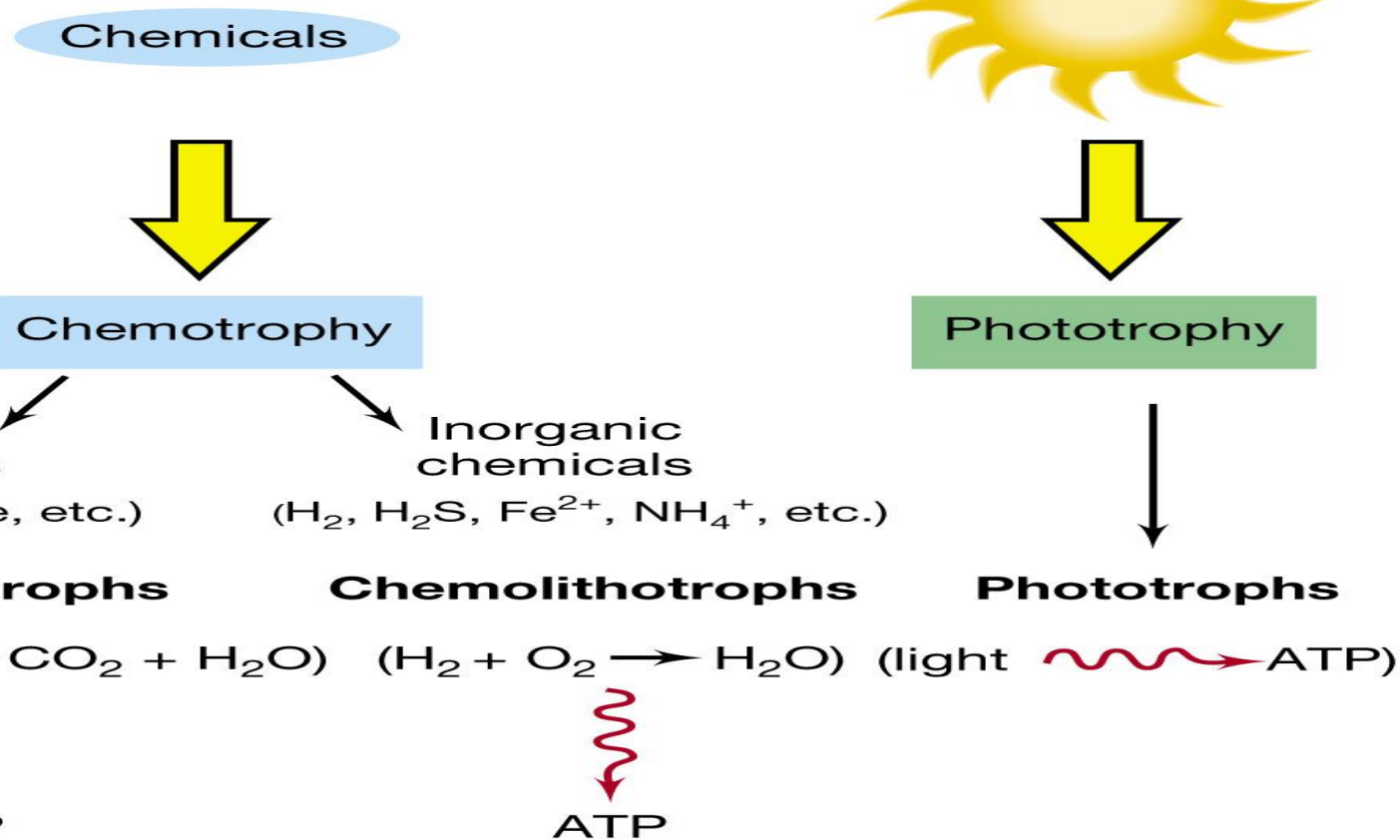
ENERGIA CHIMICA

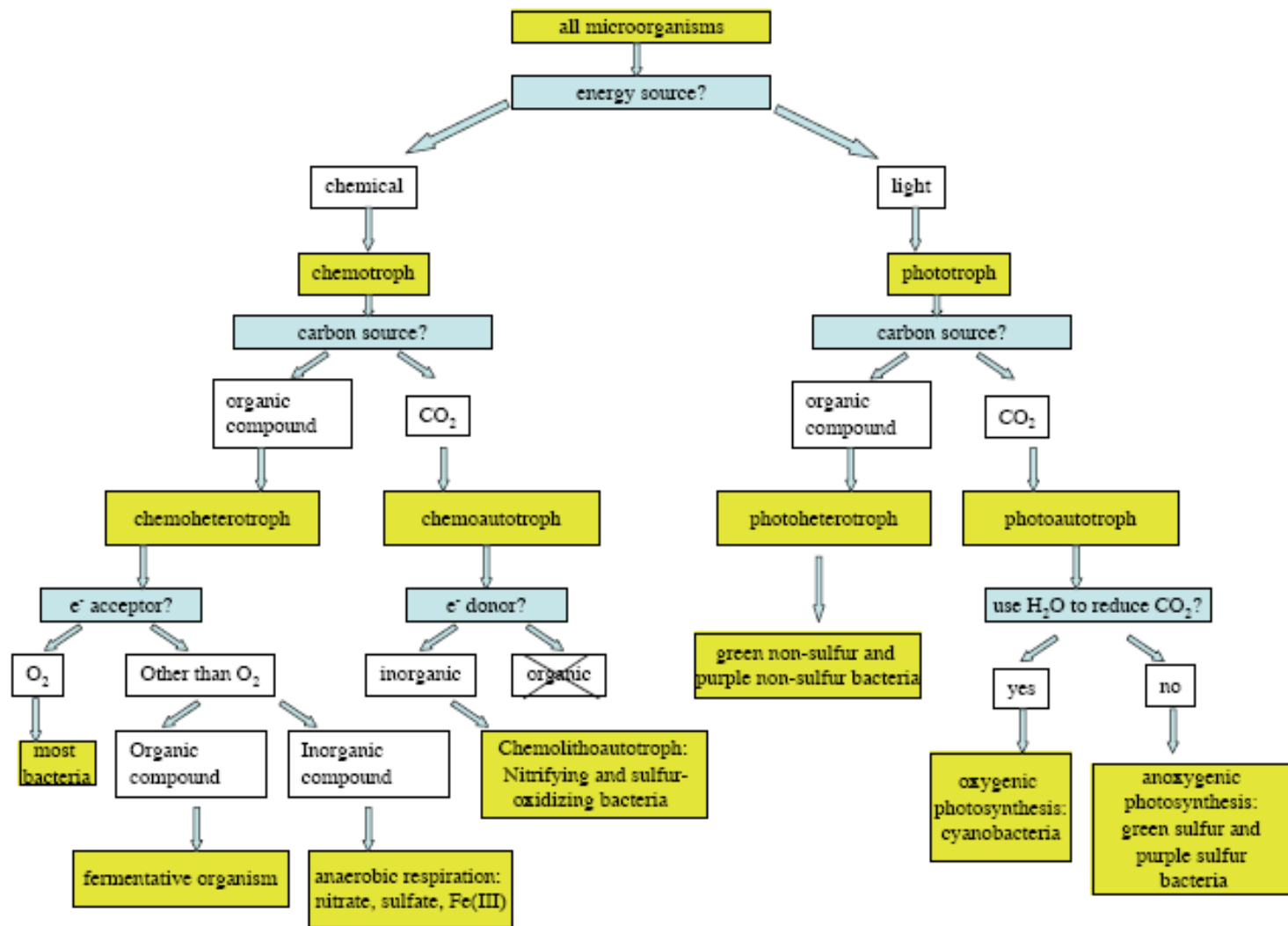


chemioorganotrofi



chemioautotrofi (chemiolitotrofi)





Versatilità metabolica

La versatilità dei procarioti risiede nel loro metabolismo. Tutti i procarioti hanno un meccanismo simile per la conservazione dell'energia (generazione di un gradiente protonico attraverso la membrana) e la produzione di ATP, essi differiscono molto in termini di varietà di substrati che possono essere utilizzati e di accettori di elettroni che possono ossidare tali substrati.

<i>Processo</i>	<i>Dettagli</i>	<i>Procarioti</i>	<i>Eucarioti</i>
Fotoautotrofia	<u>Ossigenica</u> Donatore di e ⁻ H ₂ O	si	si
	<u>Anossigenica</u> Donatori di e ⁻ H ₂ ; S ²⁻ ; S ⁰ ; C org; Fe ²⁺	si	no
Litoautotrofia	Donatori di e ⁻ H ₂ ; S ²⁻ ; S ⁰ ; S ₂ O ₃ ²⁻ ; NH ₄ ⁺ ; NO ₂ ⁻ ; Fe ²⁺ ; Mn ²⁺ ; Accettori di e ⁻ O ₂ ; NO ₃ ⁻ ; SO ₄ ²⁻ ; CO ₂	si	no
chemio-orga- notrofia	<u>Composti organici come donatori di e⁻</u>		
	Respirazione aerobica (O ₂ accettore di e ⁻)	si	si
	Fermentazione	si	alcuni lieviti
	Respirazione anaerobica (NO ₃ ⁻ ; S ⁰ ; SO ₄ ²⁻ accettori di e ⁻)	si	e ciliati no

Principali forme minerali di C, N, S e P

Elemento	In ambiente ossigenato	In ambiente anossico
C	CO ₂	CO ₂ , CH ₄
N	NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , N ₂	N ₂ , NH ₄ ⁺
S	SO ₄ ²⁻	S, SH ⁻
P	PO ₄ ³⁻	PO ₄ ³⁻

Reazioni chemiotrofiche che sostengono la crescita batterica

Ossidanti	Riducenti							
	H ₂	CHO	CH ₄	HS ⁻	NH ₄ ⁺	N ₂	NO ₂ ⁻	Fe ⁺²
CHO	si	si	no	no	no	no	no	no
CO ₂	si	si	no	no	no	no	no	no
SO ₄ ²⁻	si	si	?	no	no	no	no	no
NO ₃ ⁻	si	si	no	si	no	no	no	no
O ₂	si	si	si	si	si	no	si	si

Composizione della cellula batterica

Elemento	% del peso secco
C	55
O	20
N	10
H	8
P	3
S	1

Monomero	Elementi	Polimero	%Polimero nella cellula.
Amino acido	CHNOS	Proteine	52.4
Basi organiche	CNOHP	Acidi nucleici	19.9
Zuccheri	CHO	Polisaccaridi	16.6
Acidi grassi a C16+P	CHOP	Fosfolipidi	9.4
		Totale	97.3

I valori percentuali sono riferiti al peso secco

Batteri

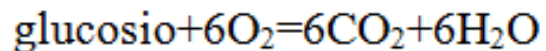
C/N = 5

C/P = 20

Optimun nutrizionale microflora eterotrofa

C /N /P = 133 / 8.6 /3

C/N = 15.5



$$\Delta G_o' = -686 \text{ kcal mole}$$

Processo	% di ATP utilizzato in ciascun processo
----------	--

Sintesi:

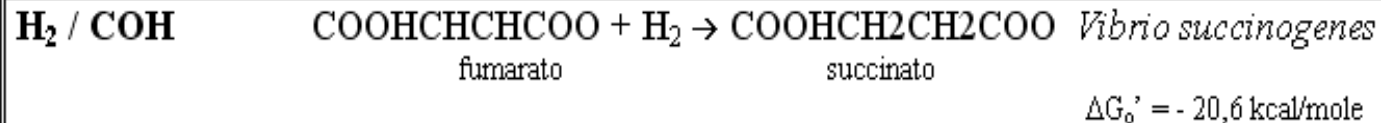
Polisaccaridi	6.5
Proteine	61.1
Lipidi	0.4
Ac. nucleici	13.5
Trasporto nella cellula	18.3

Per una cellula che cresce su glucosio

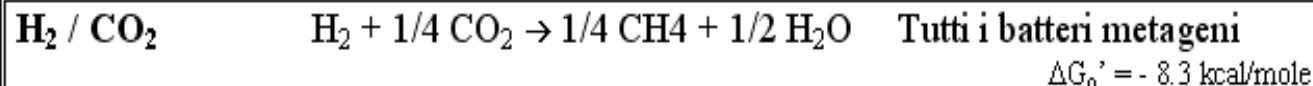
REAZIONI DI OSSIDO RIDUZIONE CHEMIOTROFICHE

Ossidazioni H₂

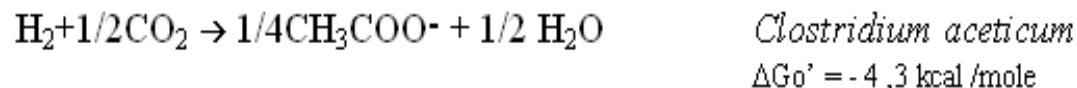
L'idrogeno molecolare è molto reattivo e raramente si accumula nell'ambiente ed è prodotto in quantità significative solo in ambienti anossici



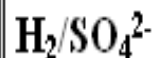
Questa reazione non è comune perchè è difficile che coesistano nell'ambiente concentrazioni sufficienti di accettori di e⁻ organici e H₂



Quantitativamente questo è il più importante processo che coinvolge H₂ in ambiente senza SO₄²⁻



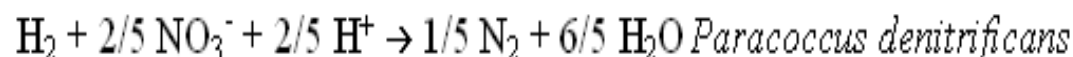
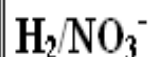
Reazione energeticamente meno favorevole della produzione di metano. Avviene nei fanghi degli impianti di depurazione. L'acetato è poi convertito di nuovo in metano da altri batteri (acetoclastici)



Desulfovibrio

$$\Delta G_o' = -9.1 \text{ kcal/mole}$$

Questa ossidazione produce maggiore energia di quella con CO_2 e probabilmente avviene preferenzialmente quando ambedue gli ossidanti sono presenti .

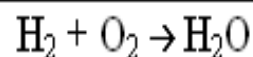
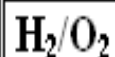


Paracoccus denitrificans

Alcaligenes eutrophus

$$\Delta G_o' = -53.6 \text{ kcal/mole}$$

Questo processo rilascia un considerevole quantitativo di energia. E' improbabile che nitrato ed idrogeno raggiungano concentrazioni significative nello stesso ambiente



molti batteri chemioautotrofi

$$\Delta G_o' = -56.7 \text{ kcal/mole}$$

Benché molti chemioautotrofi possano vivere ossidando l'idrogeno con ossigeno è molto improbabile che questi due composti raggiungano concentrazioni significative nello stesso ambiente

Ossidazioni CHO

Queste ossidazioni sono eseguite da batteri chemiorganotrofi (eterotrofi). Sono molto importanti perché la maggior parte delle reazioni dissimilative del ciclo del C passano attraverso di esse.

CHO/CHO

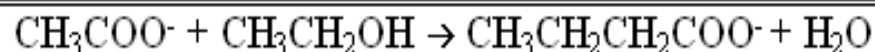
Queste ossidazioni, in cui una parte del substrato è ossidato a spese di una parte di substrato ridotto e dove si ottiene ATP per fosforilazione a livello di substrato, si chiamano **FERMENTAZIONI**. È importante osservare che non è necessario nessun accettore di e⁻ esterno. (vedi anche pagine 17 e 18)

Il tipo più comune di fermentazioni è quello che coinvolge zuccheri. Sono portate avanti da una gran varietà di batteri *E.coli*, *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Bacillus*, *Lactobacillus* ecc. e producono una gran varietà di prodotti finali:

CO_2 , HCOO^- , CHCOO^- , $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^-$, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^-$, $\text{HOOCCH}_2\text{COO}^-$, $\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^-$, H_2 , $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$.

Alcuni anaerobi fermentanti possono incorporare sino al 30% del substrato.

Fermentazioni non
a carico di zuccheri



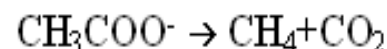
Acetato

etanolo

butirrato

Clostridium kluyveri

$\Delta G_o' = -9,2$ kcal/mole



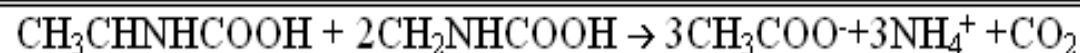
Methanosarcina barkeri

$\Delta G_o' = -6,6$ kcal/mole

Queste due reazioni successive sono un buon esempio di come acetato ed etanolo, loro stessi prodotti di fermentazione, possano essere ulteriormente metabolizzati per produrre energia.

La reazione acetoclastica è un'importante via per la produzione di CH_4 nei fanghi degli impianti di depurazione

Fermentazione
dell'alanina



alanina

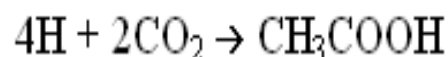
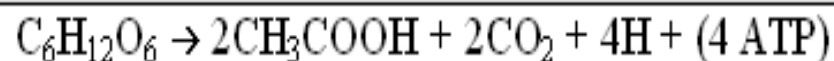
glicina

Clostridium spp.

$\Delta G_o' = 147.9$ Kcal

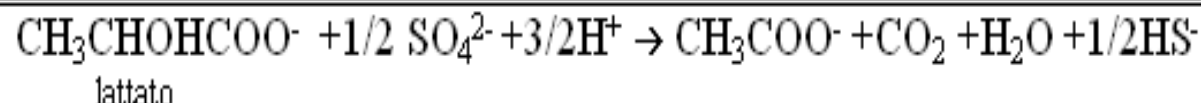
Di solito l'alanina (donatore di e^-) è ossidato ad AcetilCoA via piruvato. L'AcetilCoA può fornire ATP per fosforilazione a livello di substrato

CHO/CO₂



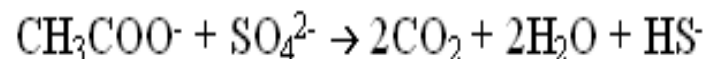
Clostridium thermoaceticum

CHO /SO₄²⁻



Desulfovibrio spp.

$\Delta G_0' = -8.9 \text{ kcal}$

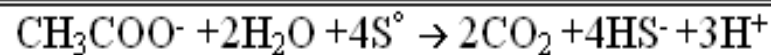


Desulfotomaculum acetoxidans

$\Delta G_0' = -9.7 \text{ kcal/mole}$

Respirazione solfato. Importante in ambienti anaerobi ricchi in solfato, dove il lattato è disponibile da altre fermentazioni.

CHO /S°



Desulfuromonas acetoxidans

$\Delta G_o' = -6.0 \text{ kcal}$

CHO /NO₃⁻

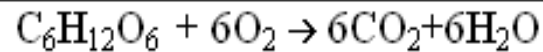


E. coli, *Bacillus*, *Proteus* ecc.

$\Delta G_o' = -649 \text{ kcal}$

Molti batteri aerobi/anerobi facoltativi sono capaci di effettuare la respirazione nitrato. Questa riduzione dissimilativa del NO₃⁻ avviene solo in assenza di O₂

CHO /O₂



Processo eseguito da tutti i batteri aerobi dotati di catena respiratoria .

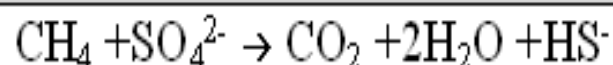
$\Delta G_o' = -686 \text{ Kcal}$

Gli aerobi sono un gruppo di batteri molto importante. Predominano negli ambienti ossigenati grazie alla grande quantità di energia che questa reazione produce

Ossidazioni CH₄

Il metano è ossidato principalmente con O₂ e richiede l'intervento di una ossigenasi. I batteri che respirano NO₃⁻ non possono utilizzare CH₄

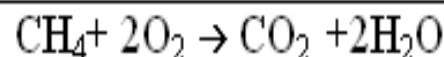
CH₄ /SO₄²⁻



$$\Delta G_o' = -3.1 \text{ kcal/mole}$$

Vista la bassa resa energetica di questa reazione vi è qualche dubbio che vi possano essere dei batteri in grado di vivere solo su CH₄. Vi sono comunque evidenze che dimostrano che quest'ossidazione avviene in sedimenti anossici e ricchi di SO₄²⁻.

CH₄/O₂



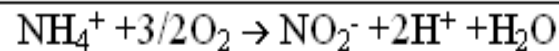
*Pseudomonas, Methylomonas, Methylobacter
Methylococcus.*

$$\Delta G_o' = -193,5 \text{ kcal/mole}$$

Ossidazioni con composti inorganici di N

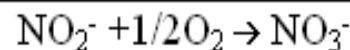
L'ossigeno è l'unico accettore di elettroni in grado di ossidare i composti ridotti dell'azoto

NH₄⁺/O₂



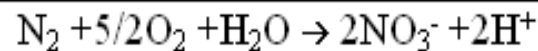
Nitrosomonas, Nitrosospira, Nitrosolobus
 $\Delta G_o' = -65.7 \text{ kcal/mole}$

NO₂⁻/O₂



Nitobacter, Nitrococcus, Nitrospina
 $\Delta G_o' = -18.1 \text{ kcal/mole}$

N₂/O₂

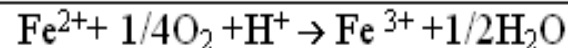


$\Delta G_o' = -15,6 \text{ kcal/mole}$

Benchè la reazione sia termodinamicamente favorita nessun batterio è in grado di utilizzare questa fonte di energia vista la stabilità della molecola di N₂.

Ossidazioni Fe⁺

Fe²⁺/O₂

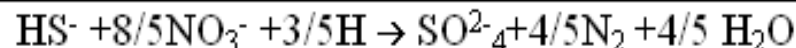


Thiobacillus ferrooxidans
 $\Delta G_o' = -10,6 \text{ kcal/mole (a pH 2)}$

Ossidazioni HS⁻

I batteri possono ossidare non solo HS⁻, ma anche S⁰ ed S₂O₃²⁻ per generare energia

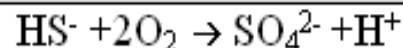
HS⁻/NO₃⁻



Thiobacillus denitrificans

$\Delta G_0' = -177.9 \text{ Kcal}$

HS⁻/O₂



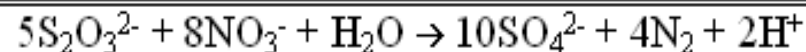
Thiobacillus, Beggiatoa, Thioploca,

Achromatium, Thiovolum

$\Delta G_0' = -190.4 \text{ Kcal}$

La biochimica di quest'ossidazione è complessa e coinvolge un composto inusuale l'adenosina 5-fosfosulfonato (APS). E' l'unica reazione litotrofica ad avere fosforilazione a livello di substrato.

S₂O₃²⁻/NO₃⁻

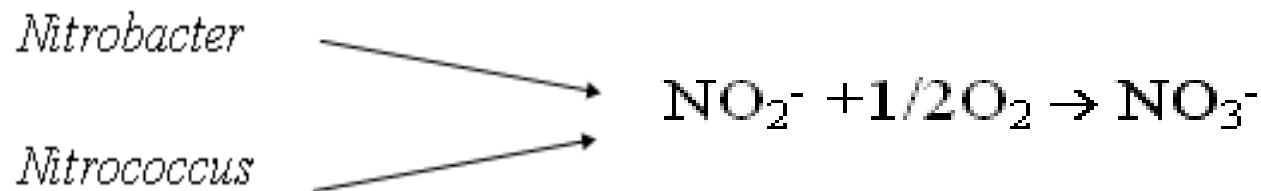
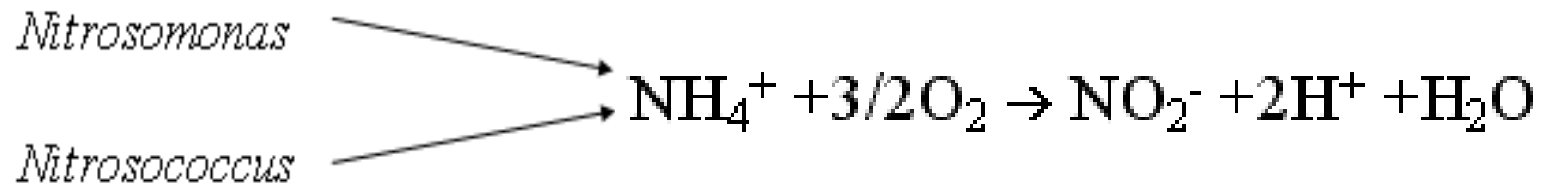


Thiobacillus denitrificans

$\Delta G_0' = -193 \text{ kcal/mole}$

**Schema riassuntivo delle reazioni
condotte da batteri chemiolitotrofici
autotrofi (usano il ciclo di Calvin per organizzare la CO₂)**

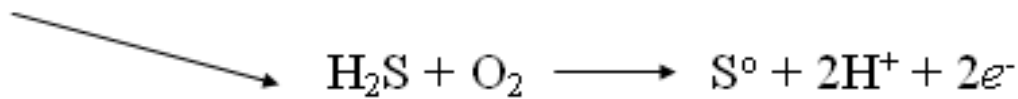
Batteri nitrificanti



Batteri solfo-ossidanti

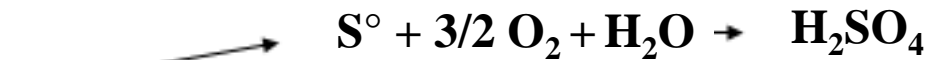
(depositano lo zolfo all'interno della cellula)

Beggiatoa



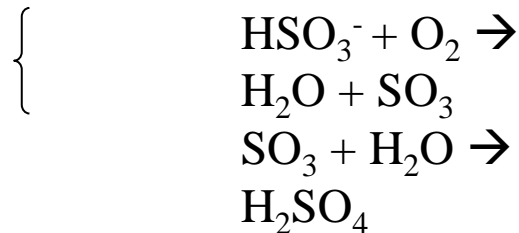
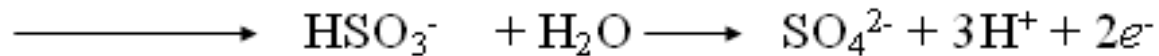
Thiotrix

Thiovolum



(non depositano lo zolfo all'interno della cellula)

Thiobacillus



Batteri metano-ossidanti

Methylococcus

Methylobacter

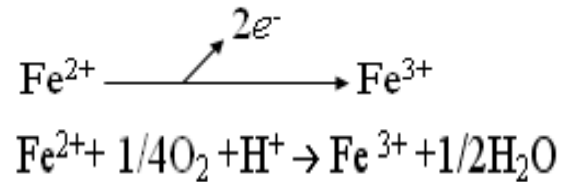
Methylomonas



Batteri ferro-ossidanti

Galionella (pH neutro)

Thiobacillus ferroxidans (pH 2)

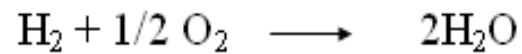


Batteri idrogeno-ossidanti

(aerobi)

Molti batteri batteri possono vivere

chemioautotroficamente
utilizzando H_2 e O_2



(anaerobi)

Methanobacterium \longrightarrow $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ (metanobatteri)

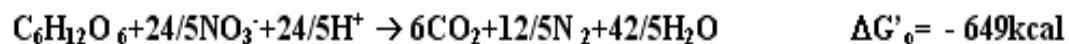
Acetobacterium \longrightarrow $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O}$ (acetobatteri)

Alcuni accettori finali di elettroni

O₂ Respirazione



NO₃⁻ Respirazione nitrato



CHO Fermentazione *Gran varietà di prodotti finali (vedi pagina seguente)*

SO₄²⁻ Respirazione solfato



CO₂ Metanogenesi



Riducente	Ossidante	Prodotto	Organismo
Composto organici	O_2	$CO_2 + H_2O$	Piante, animali, molti batteri
H_2	O_2	H_2O	Idrogenobatteri
NH_3	O_2	$NO_2^- + H_2O$	Batteri nitrificanti
NO_2^-	O_2	$NO_3^- + H_2O$	Batteri nitrificanti
Fe^{2+}	O_2	Fe^{3+}	Ferrobacillus
S^{2-}	O_2	$SO_4^{2-} + H_2O$	Thiobacillus
H_2	SO_4^{2-}	$H_2O + S^{2-}$	Batteri desolforanti
Composto organici	NO_3^-	$N_2 + CO_2$	Batteri denitrificanti
Glucosio (H_2)	(CO_2)	acido acetico	Batteri acetogenici
H_2	CO_2	CH_4	Metanobatteri

Summary of Metabolism Modes

Reductant electron donor	Oxidant electron acceptor	End products
Aerobic respiration		
Organic substrates (benzene, toluene, phenol)	O_2	CO_2, H_2O
NH_4	O_2	NO_2^-, NO_3^-, H_2O
Fe^{2+}	O_2	Fe^{3+}
S^{2-}	O_2	SO_4^{--}
Anaerobic respiration		
Organic substrates (benzene, toluene, phenol, trichloroethylene)	NO_3^-	N_2, CO_2, H_2O, Cl^-
Organic substrates (benzene, trichloroethylene)	SO_4^{2-}	S^{2-}, H_2O, CO_2, Cl^-
H_2	SO_4^{2-}	S_2^-, H_2O
H_2	CO_2	CH_4, H_2O
Fermentation		
Organic substrates	Organic compounds	Organic compounds CO_2, CH_4

*I MICRORGANISMI E LA CATENA ALIMENTARE
DEL DETRITO*

I MICRORGANISMI E LA CATENA ALIMENTARE DEL DETRITO

- ▶ Il mantenimento della vita sulla terra è basato su disequilibri ossido-riduttivi locali generati dalla radiazione solare.
- ▶ L'energia chimica delle molecole organiche e di quelle inorganiche ridotte è la base energetica della vita. Tale energia è tanto maggiore quanto più l'ambiente è ossidante.
- ▶ La causa principale dell'arricchimento in ossigeno dell'atmosfera è la fotosintesi, attiva da circa 3×10^9 anni.
- ▶ La biosfera attuale presenta uno **squilibrio redox tra atmosfera e idrosfera ossidanti e:**
 - 1) l'ambiente riducente costituito dagli **organismi viventi** e dal compartimento temporaneo della **sostanza organica morta**
 - 2) gli ambienti divenuti riducenti a causa dell'ossidazione della sostanza organica

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 .

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 .

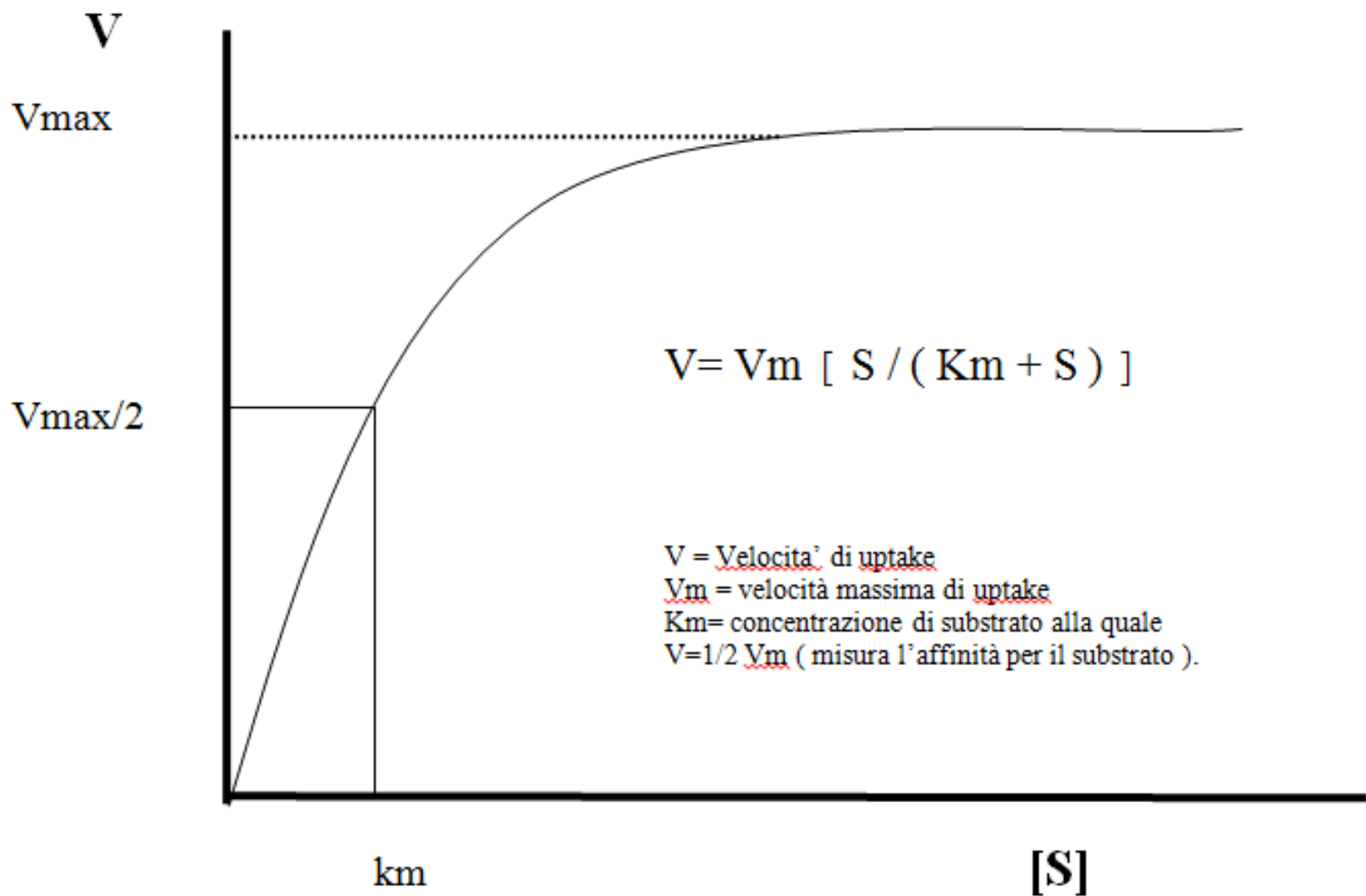
Tale cinetica può essere efficacemente descritta dall'equazione di Michaelis -
Menten.

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

V = Velocità di uptake

V_m = velocità massima di uptake

K_m = 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:

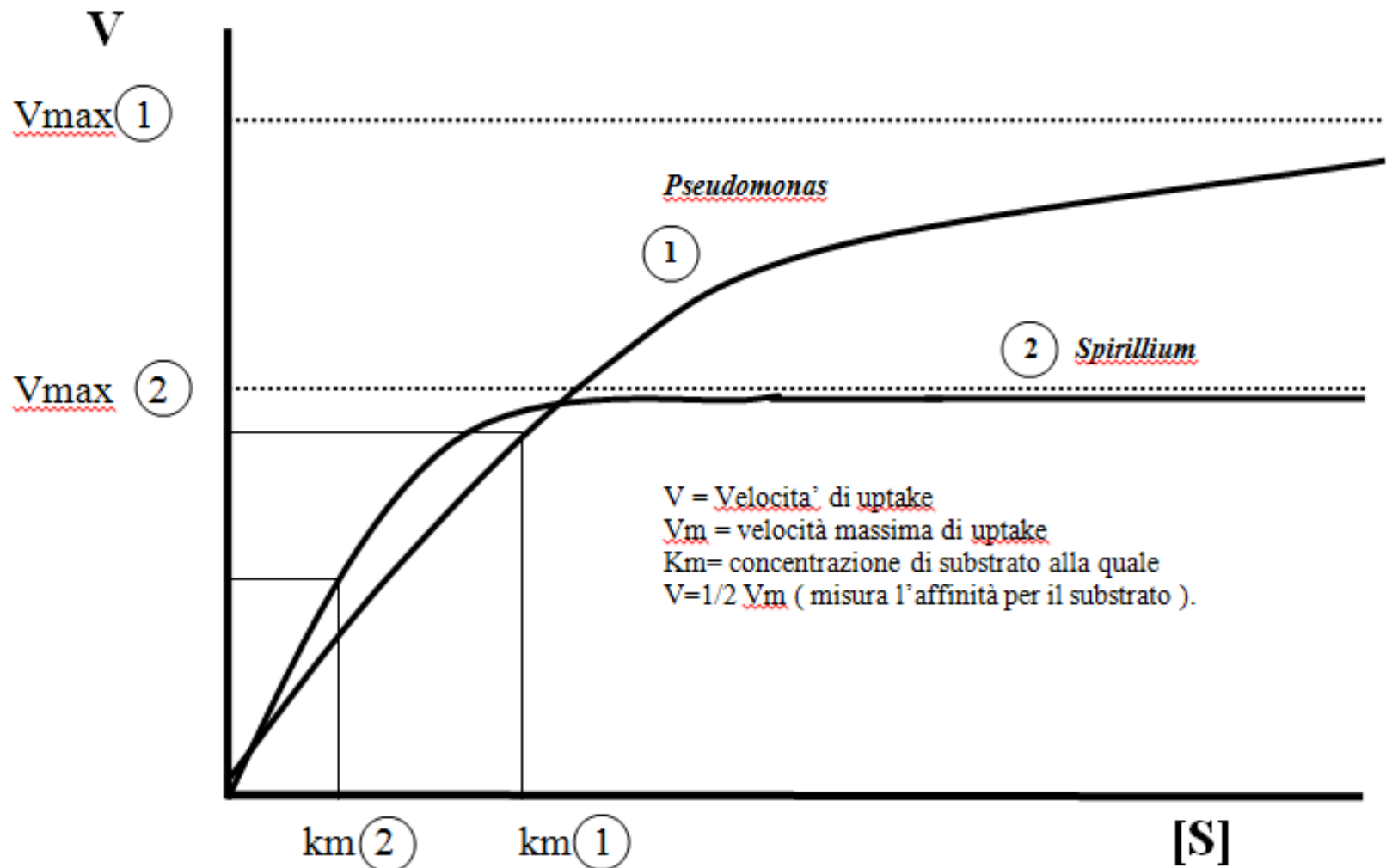
- ❖ i microrganismi possono specializzarsi nell' avere un elevato tasso di uptare ad elevate concentrazioni di substrato (K_m elevato)

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**

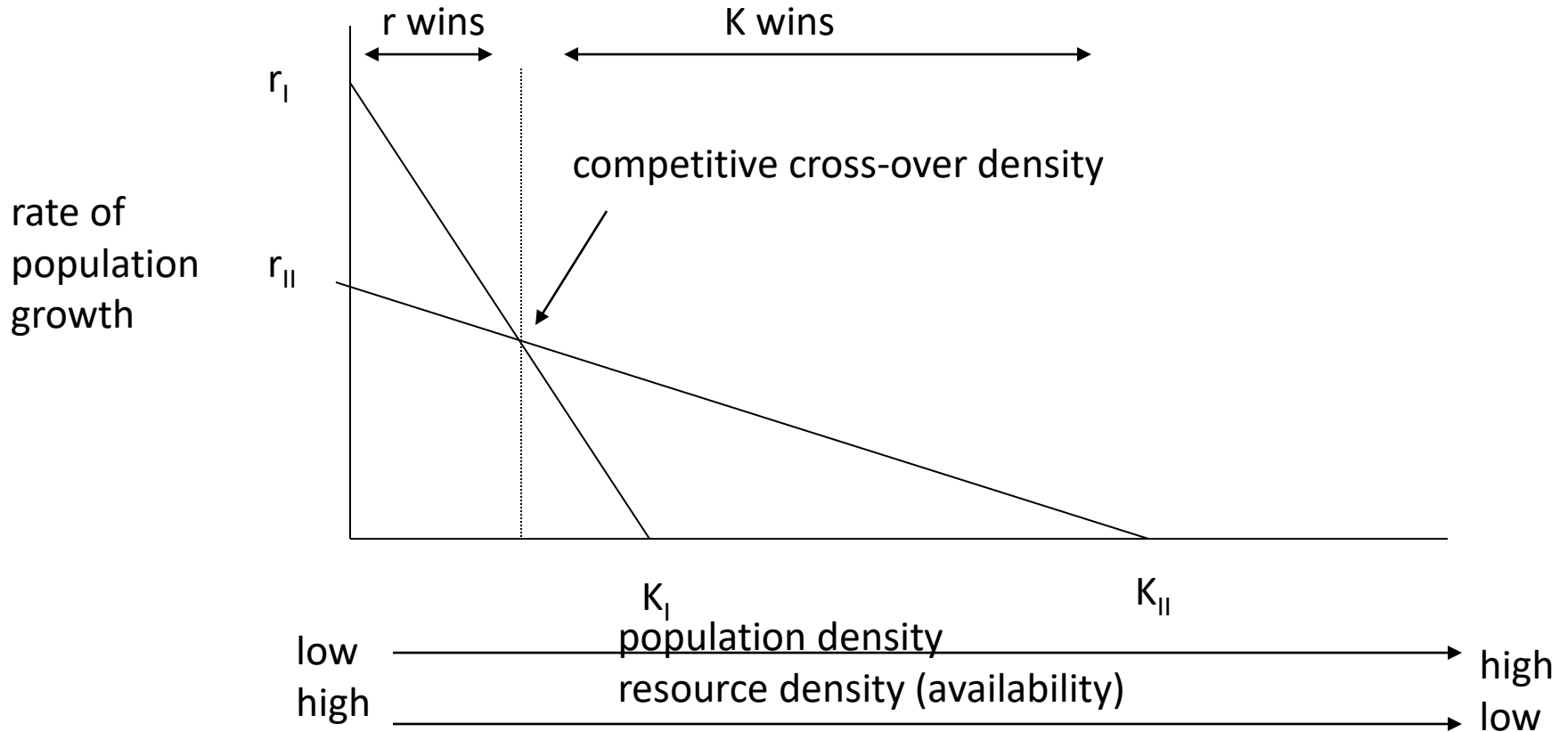
➤ **STRATEGIA r** Batteri forti competitori in ambienti eutrofi (alta concentrazione di nutrienti). Questi batteri sono detti

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

r- and K-strategists

- Mathematical model developed from studies on population dynamics of animals and plants
- r = rate of population increase, K = carrying capacity of the environment (carrying capacity = density of organisms that can be supported)
- K -strategists: optimized to function at high population sizes (high K), but low growth rate (low r).
- r-selected: optimized to function at low population sizes (low K), but high growth rates (high r)

Organism type	r value	K value
r-strategist	high	low
K-strategist	low	high



r-strategist favored when resources are high relative to population
 K-strategist favored when resources are low relative to population

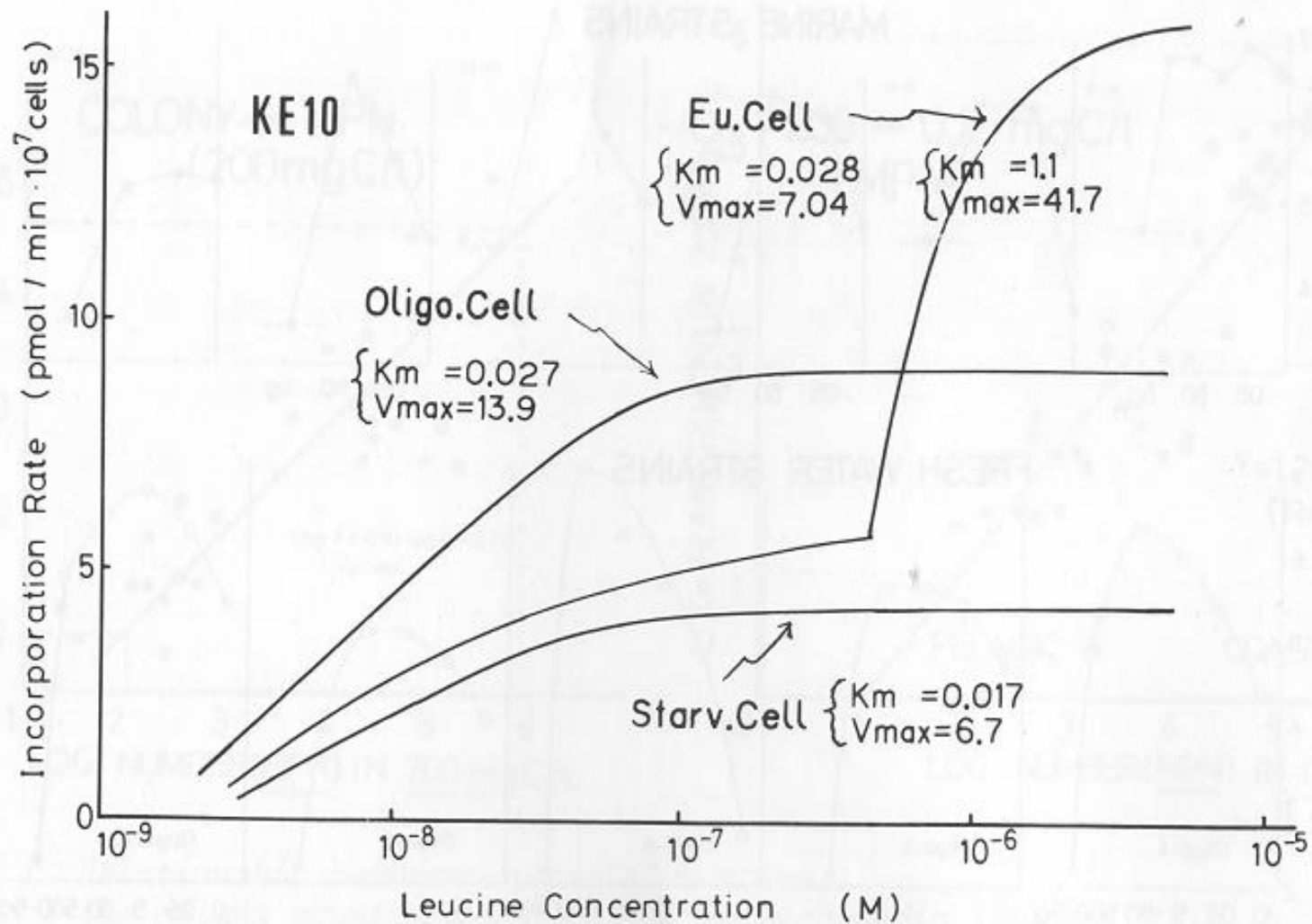
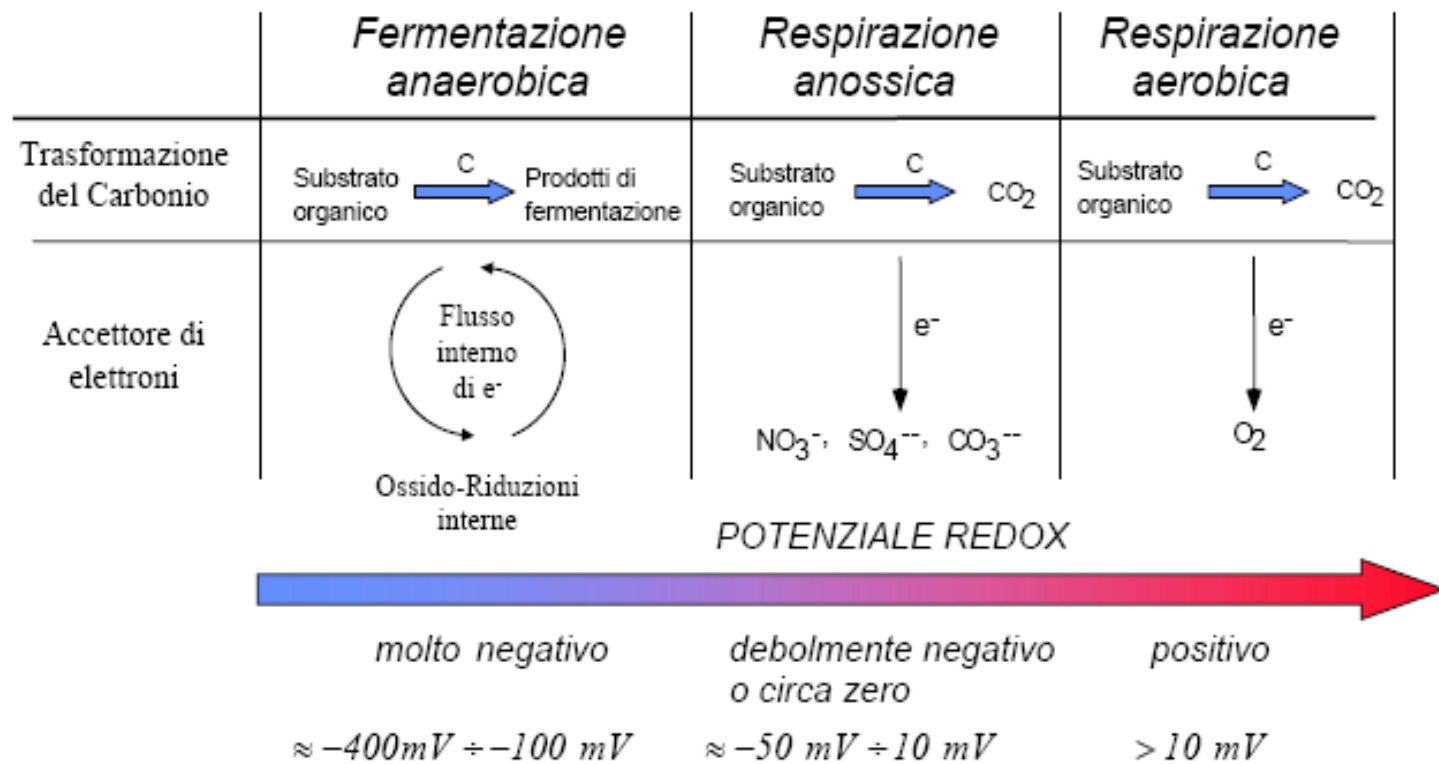


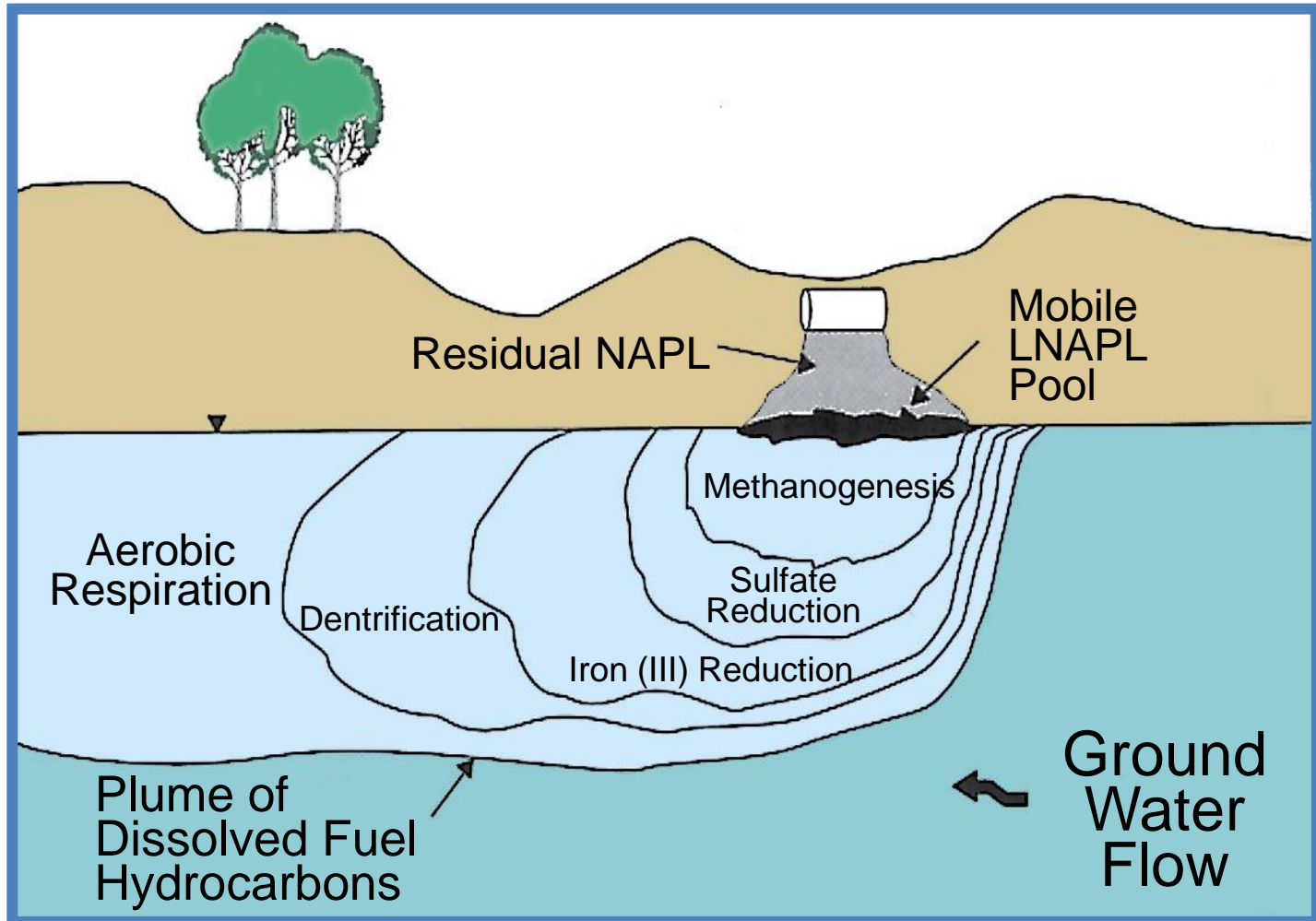
Fig. 3. Leucine uptake patterns among the oligotrophic cells, starved cells and eutrophic cells prepared from KE-10 (FO).

Scambio elettronico nei vari metabolismi eterotrofi

Il tipo di trasformazione che il Carbonio organico subisce dipende dai livelli energetici disponibili, che sono tipici di ciascun metabolismo.

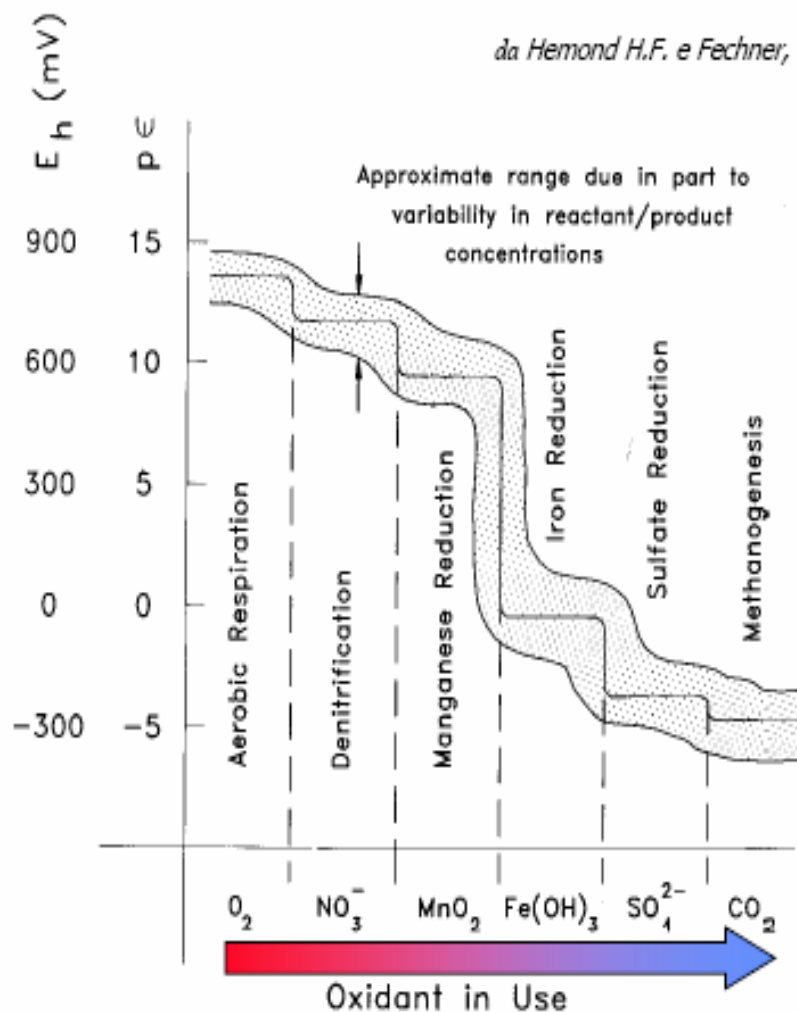


Electron Acceptor Zone Formation



(Source: W,R, N, & W, 1999.) (Adapted from Lovley et al., 1994b.)

La sequenza RedOx nei processi naturali



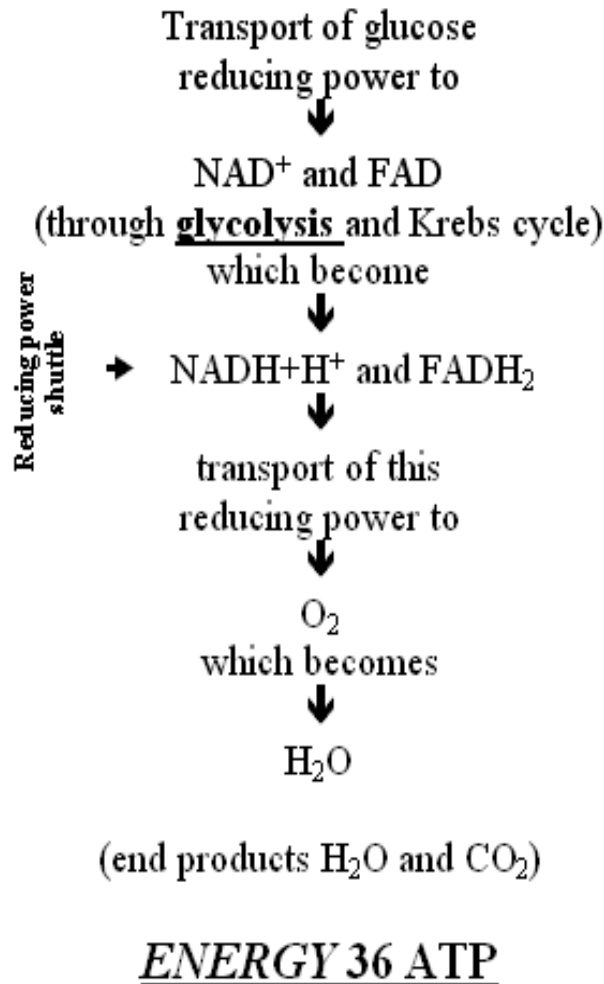
In un ambiente ricco di sostanze organiche ed isolato dall'atmosfera i batteri, dopo aver consumato tutto l'ossigeno disponibile, utilizzano ossidanti alternativi, nella sequenza mostrata a lato.

Durante l'utilizzo di ciascun ossidante, il potenziale E_h si trova nei valori indicati.

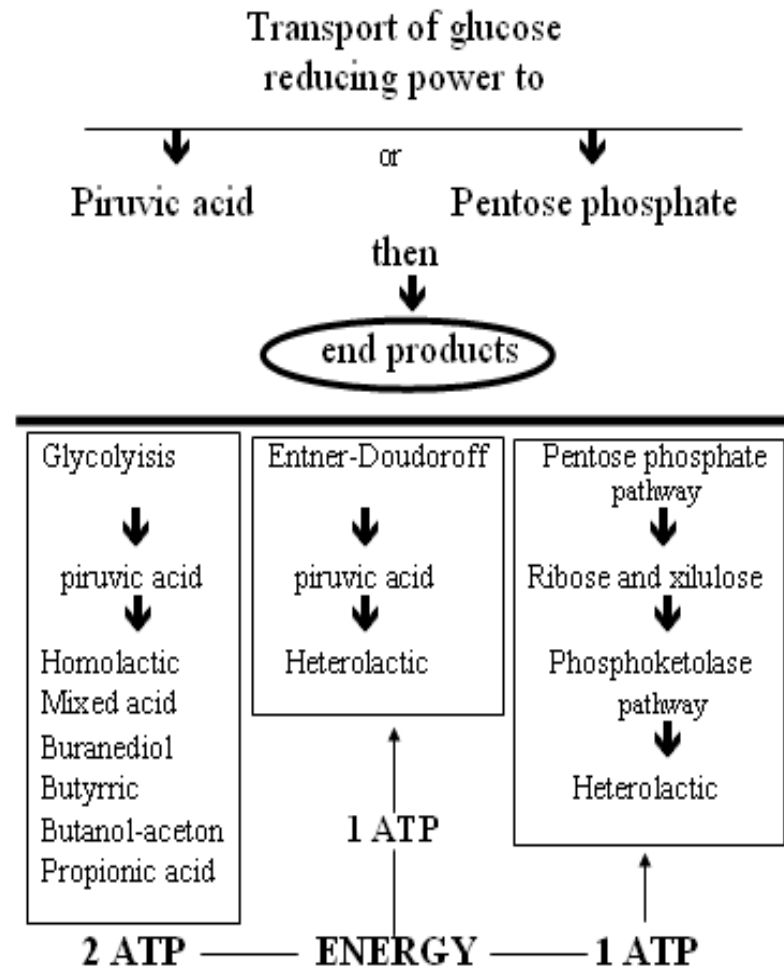
La fascia indica le possibili variazioni di E_h dovute alla concentrazione dell'ossidante, considerato all'equilibrio, mentre in natura i sistemi RedOx non sono in equilibrio.

RIASSUMENDO

RESPIRATION



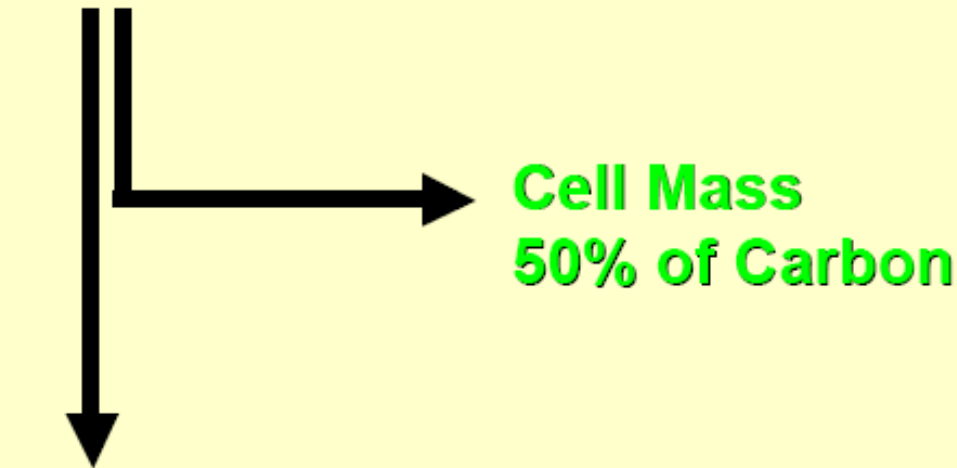
FERMENTATION



Overview of Metabolism

Aerobic, + oxygen

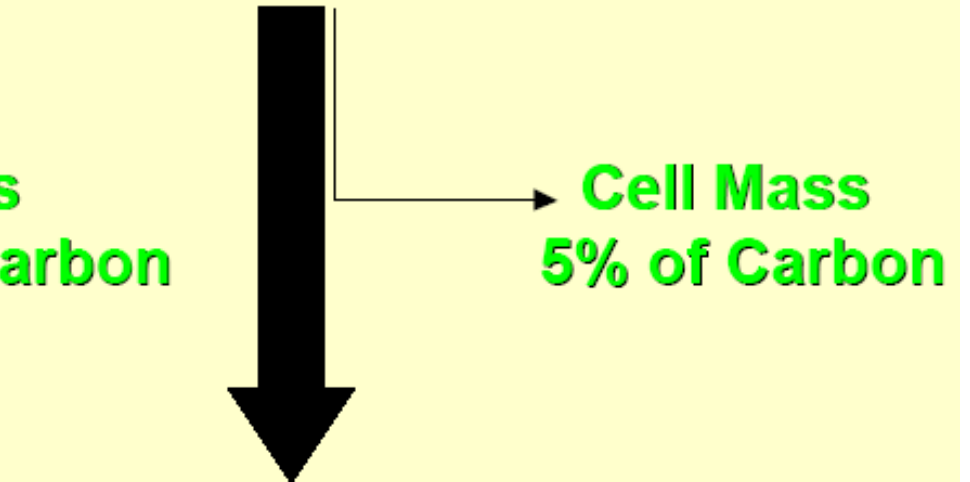
Glucose, $C_6H_{12}O_6$



CO₂ + 36 ATP (max)
50% of carbon

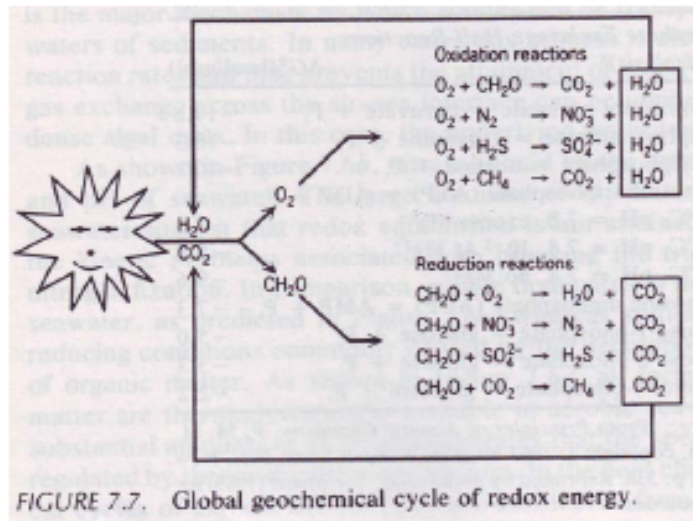
Anaerobic, - oxygen

Glucose, $C_6H_{12}O_6$



Fermentation Products + 2 ATP
95% of Carbon
(most commodity products)

Global Redox Cycle



- 1) This cycle is driven by solar energy;
- 2) Solar energy is converted into thermodynamically unstable chemical species;
- 3) Electron transfer from H_2O to CO_2 ;
- 4) Organic matter is electron-rich and O_2 electron-poor;
- 5) The heterotrophic organisms restore the system in equilibrium by catalyzing the oxidation of organic matter;
- 6) Electron from organic matter reduce O_2 , nitrate, sulfate, and CO_2 to H_2O , N_2 , H_2S , and CH_4 , respectively;
- 7) In present O_2 , the above reduced compounds is regenerated to the oxidized species (NO_3^- , SO_4^{2-} , and CO_2) for the cycle.
- 8) Marine sediments are one part of the global geochemical cycle.