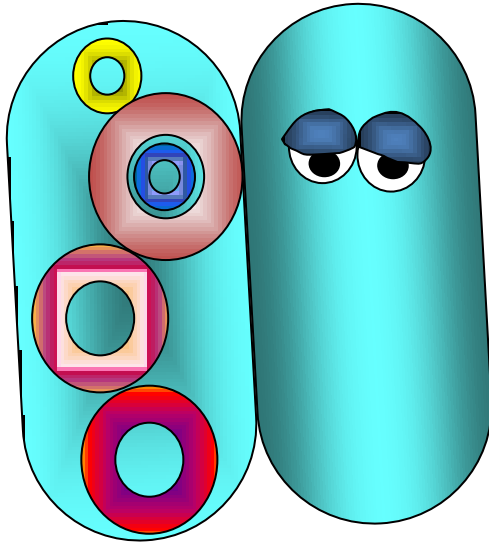


DIVERSITÀ METABOLICA



i procarioti, nel loro insieme,
possono utilizzare:

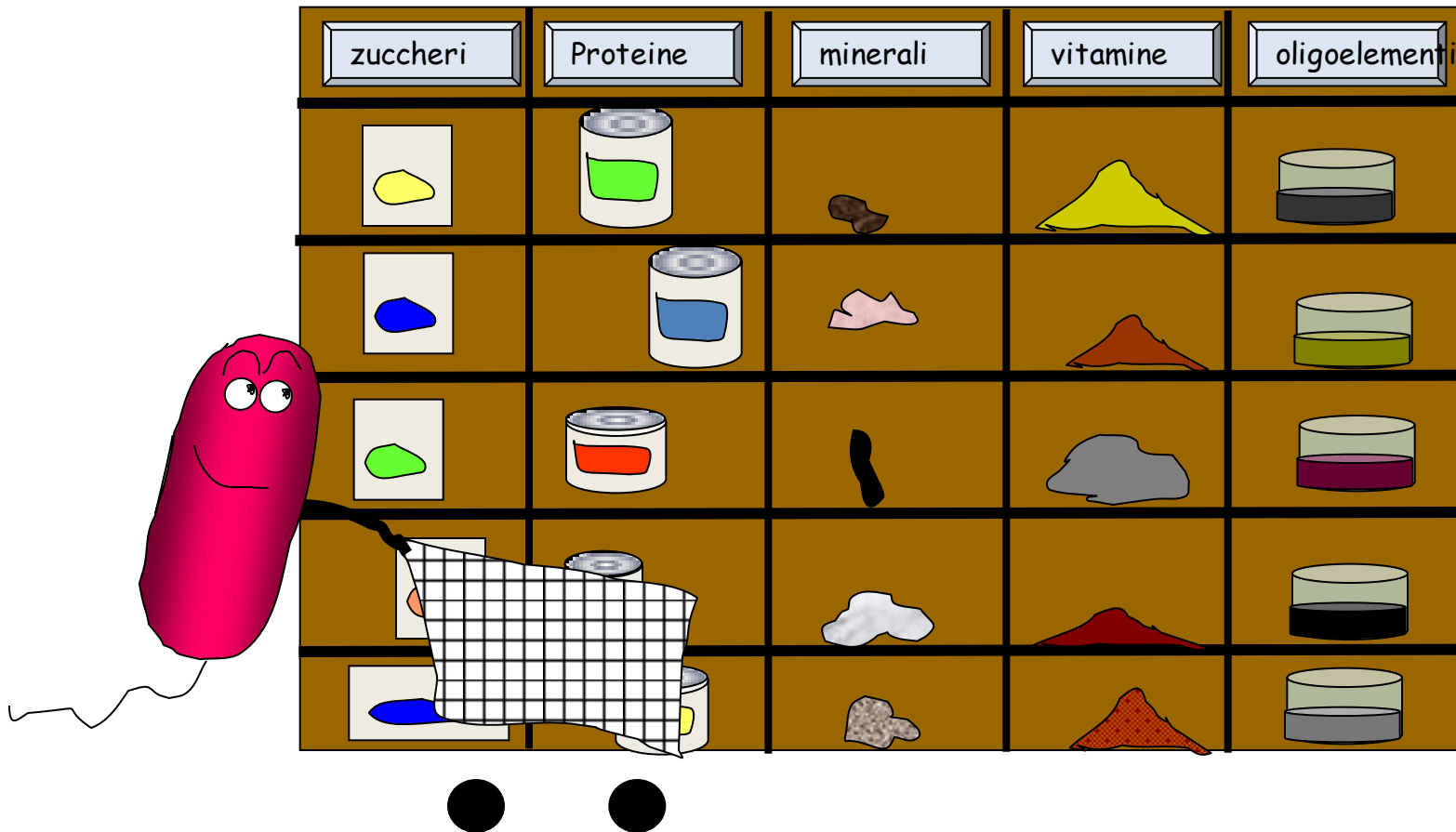
quasi tutti i
composti naturali

Qualche composto
xenobiotico

Sono quindi importanti per i
cicli biogeochimici

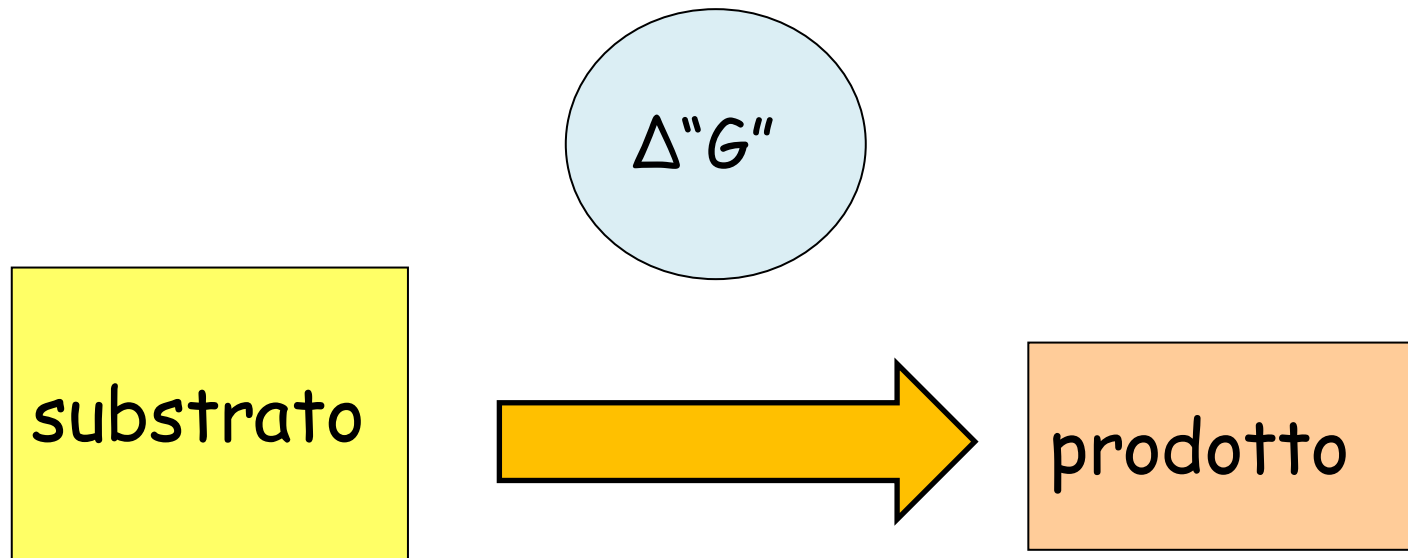
Per il biorisanamento

Per acquisire nutrienti e trasformarli in macromolecole organiche, i procarioti possono usare molte e diverse strategie



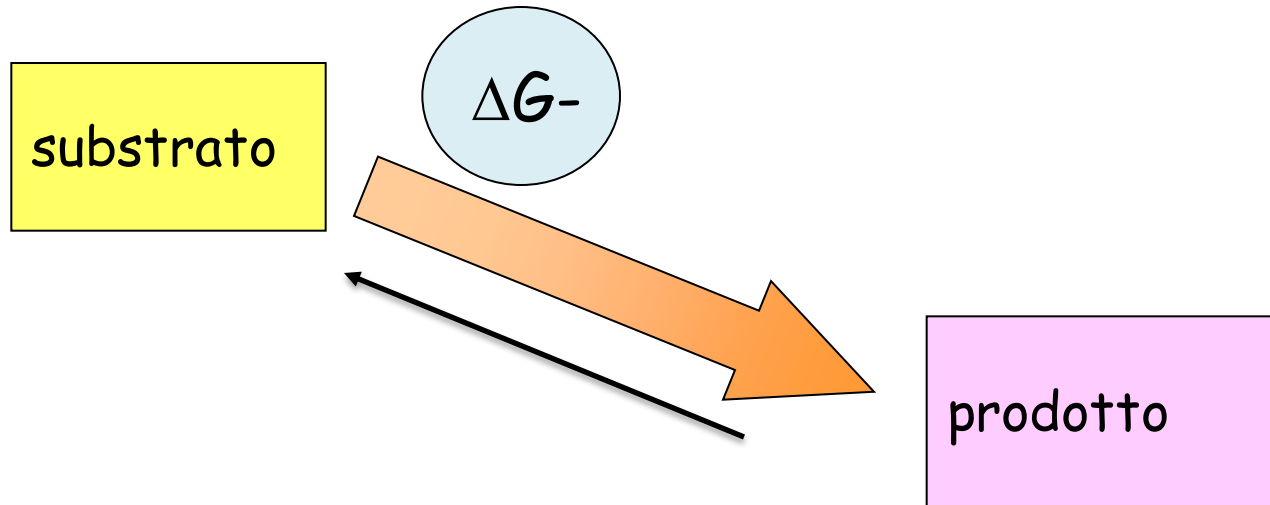
Il metabolismo energetico è l'insieme delle reazioni biochimiche che si verificano in una cellula vivente

L'energia liberata in una reazione, che diventa disponibile per svolgere un lavoro utile alla cellula batterica è "energia libera": un fattore determinante nel metabolismo microbico

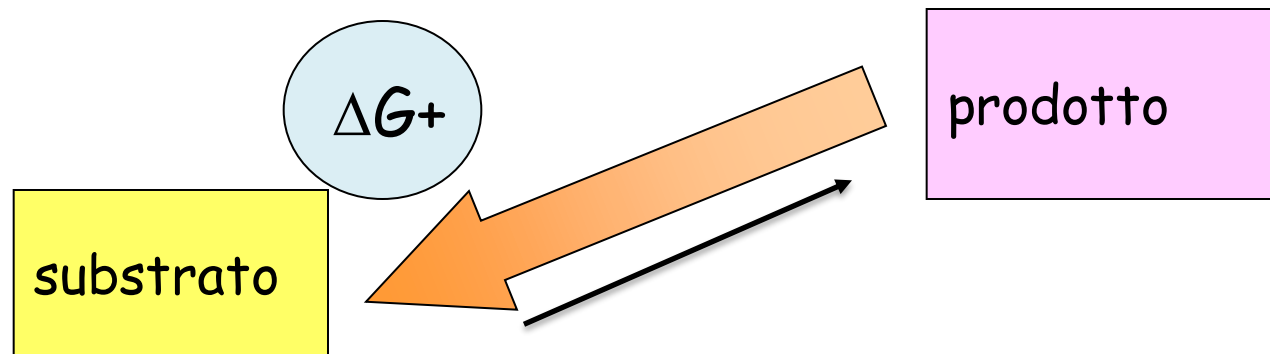


La variazione di energia libera (ΔG) in una reazione, dipende dalla concentrazione di substrato e prodotto e dal pH

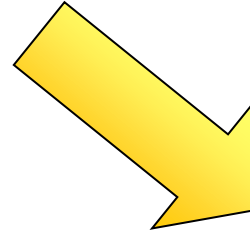
Una reazione, con ΔG negativo (che rilascia energia libera) è spontanea e si definisce ESOERGONICA



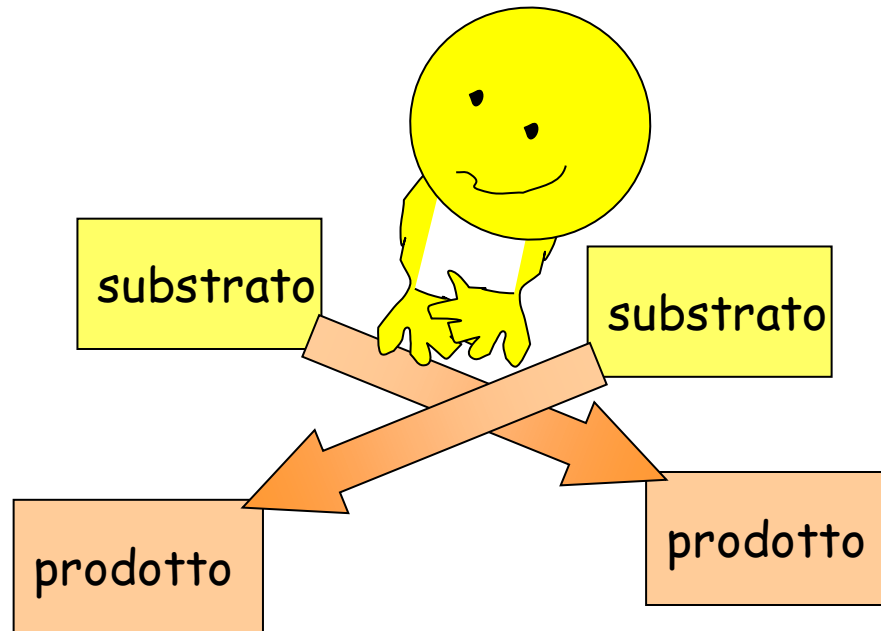
se il ΔG di una reazione è positivo, la reazione non è spontanea (tenderà a verificarsi invece la reazione contraria) e si dice ENDOERGONICA



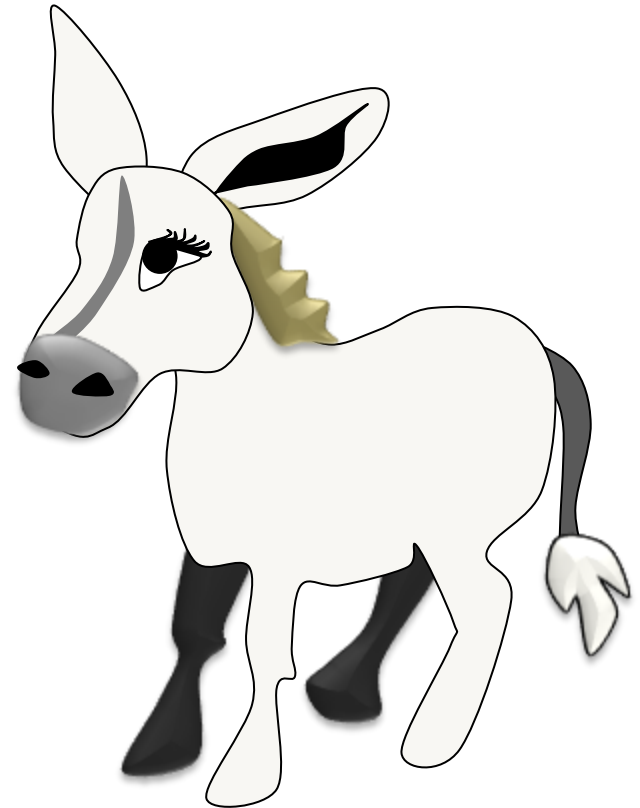
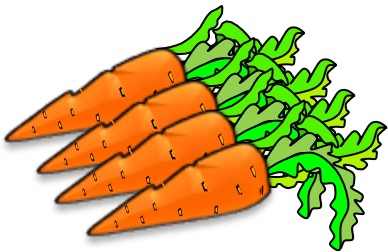
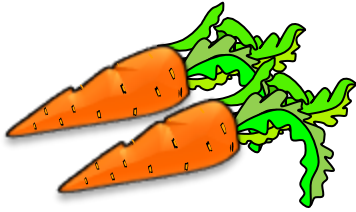
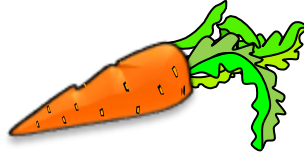
Gli enzimi accoppiano una reazione esoergonica e una reazione endoergonica



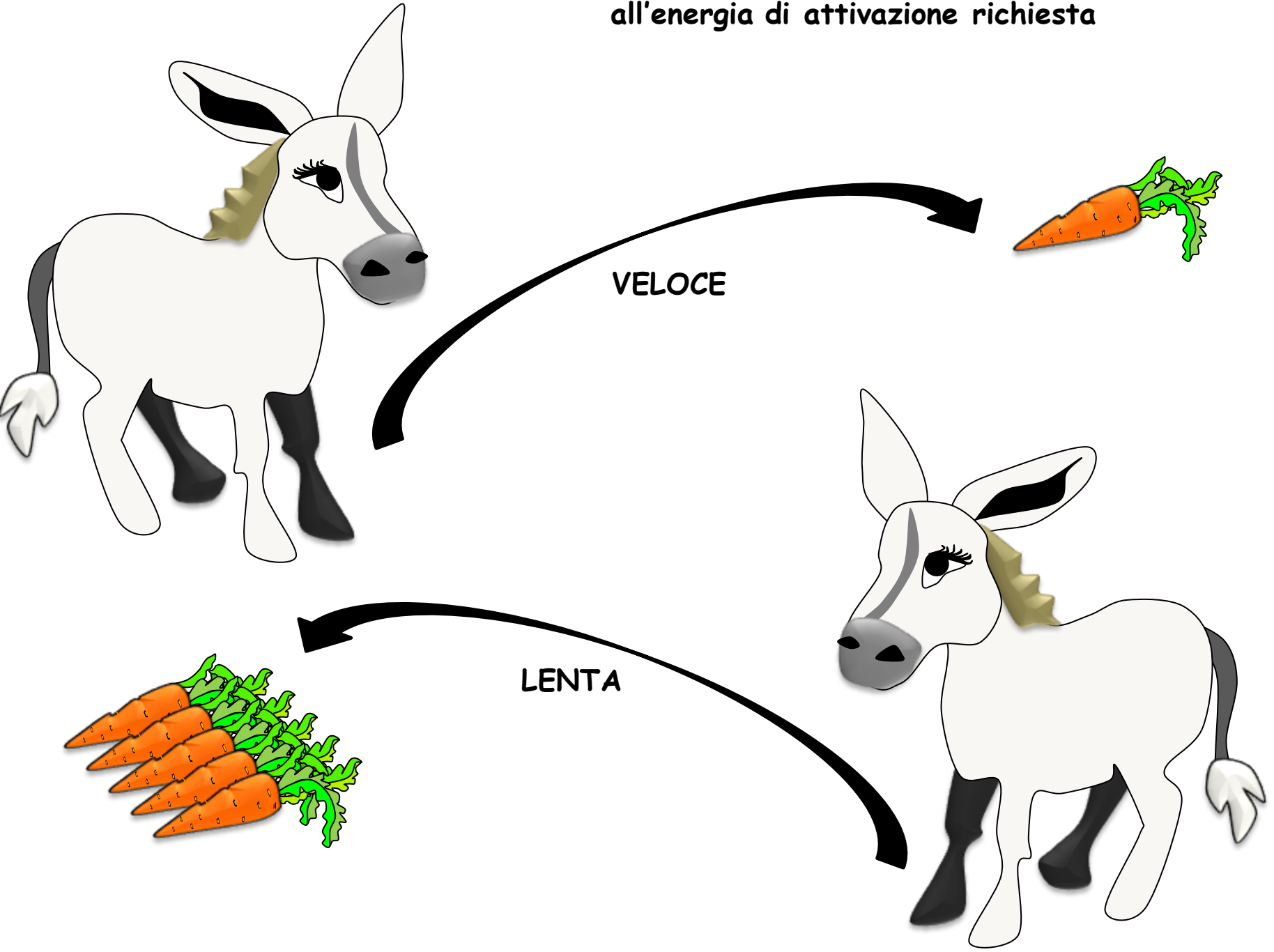
abbassano l'energia di attivazione di una reazione e facilitano il metabolismo



L'energia di attivazione è l'energia libera richiesta da una molecola per entrare in una determinata reazione



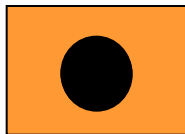
La velocità della reazione è inversamente proporzionale
all'energia di attivazione richiesta



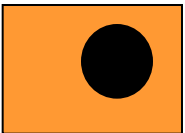
L'uso dell'energia chimica coinvolge reazioni redox

Si ossida

-



+



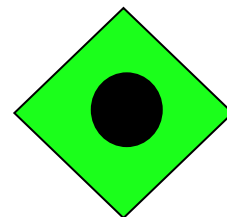
idrogeno



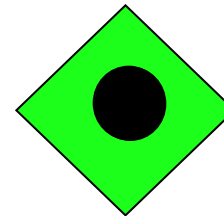
ossigeno



Si riduce

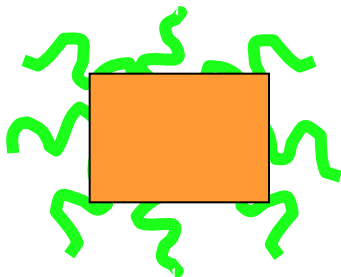


+

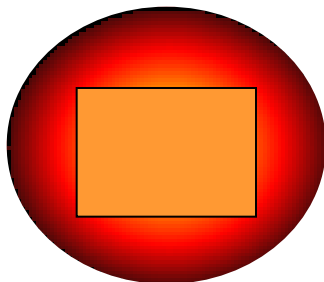


-

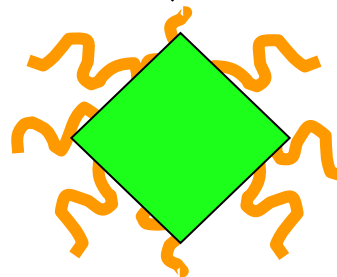
Libera energia



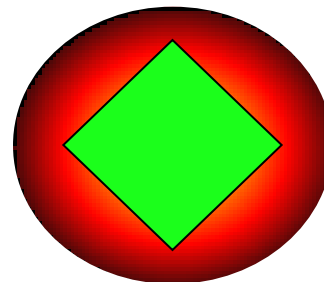
Esotermica
(esoergonica)

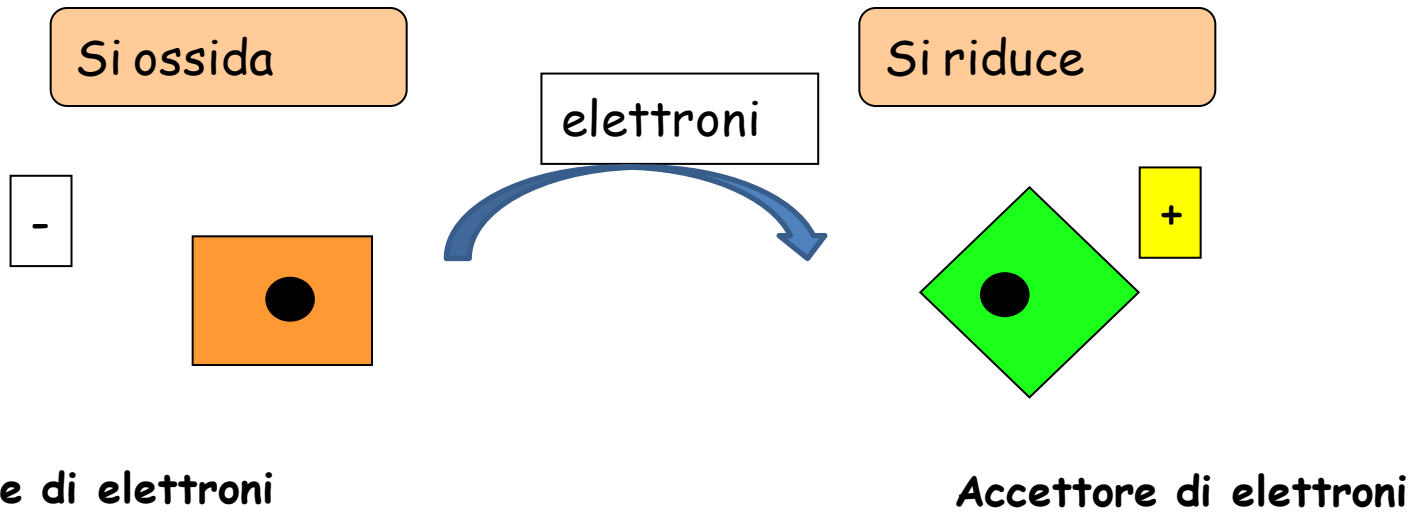


assorbe energia



endotermica
(endoergonica)





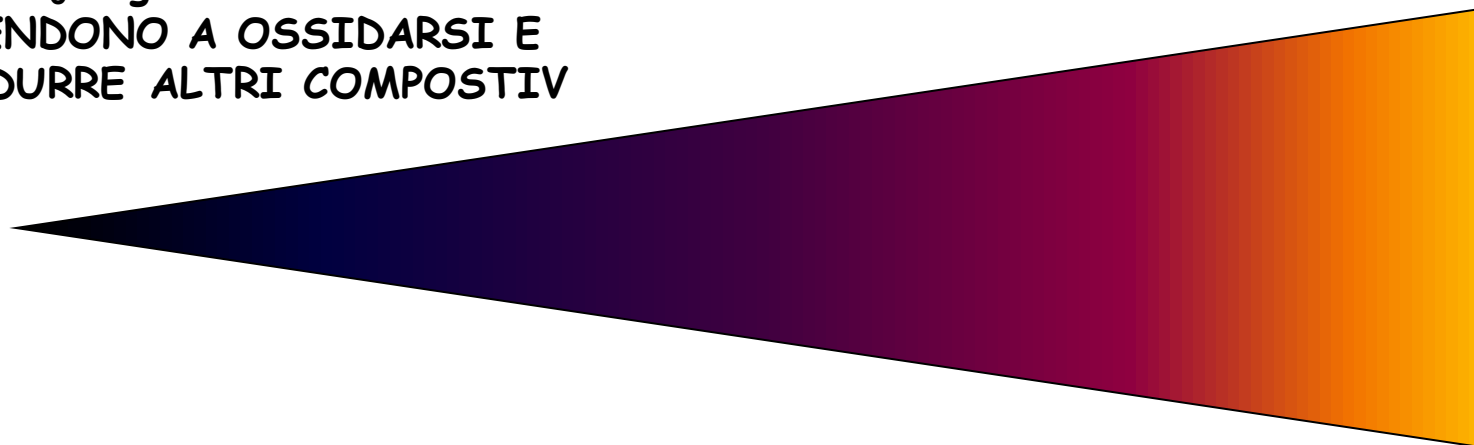
FONTE DI ENERGIA

La tendenza a cedere o acquisire e^-
è il potenziale redox (E_0)

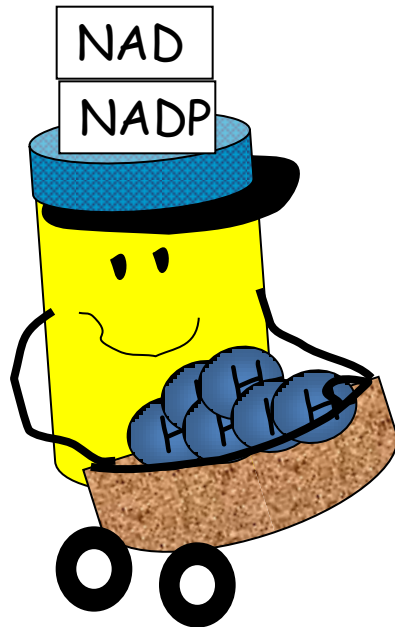
L'energia liberata in una reazione è proporzionale
alla differenza di E_0 tra i composti coinvolti nella reazione

E_0 positivo: ossidanti
TENDONO A RIDURSI
OSSIDANDO ALTRI COMPOSTI

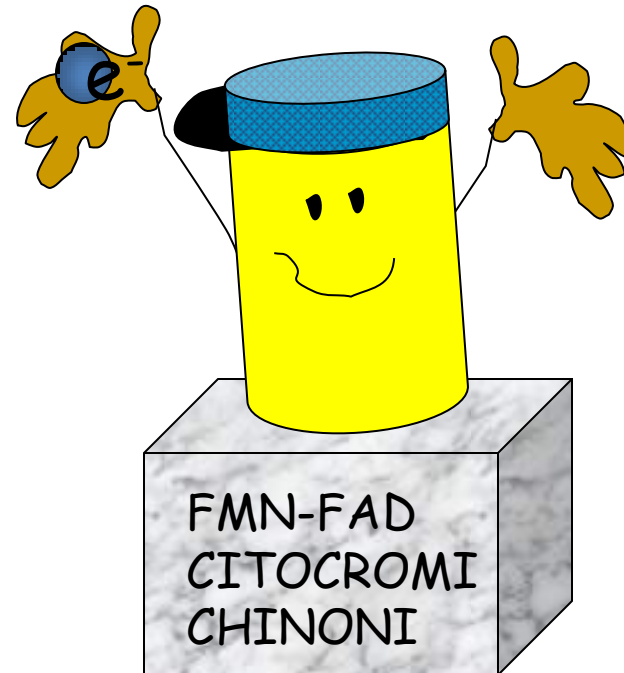
E_0 negativo: riducenti
TENDONO A OSSIDARSI E
RIDURRE ALTRI COMPOSTI



Nei processi di produzione di energia intervengono i trasportatori intermedi di elettroni



Coenzimi
LIBERI

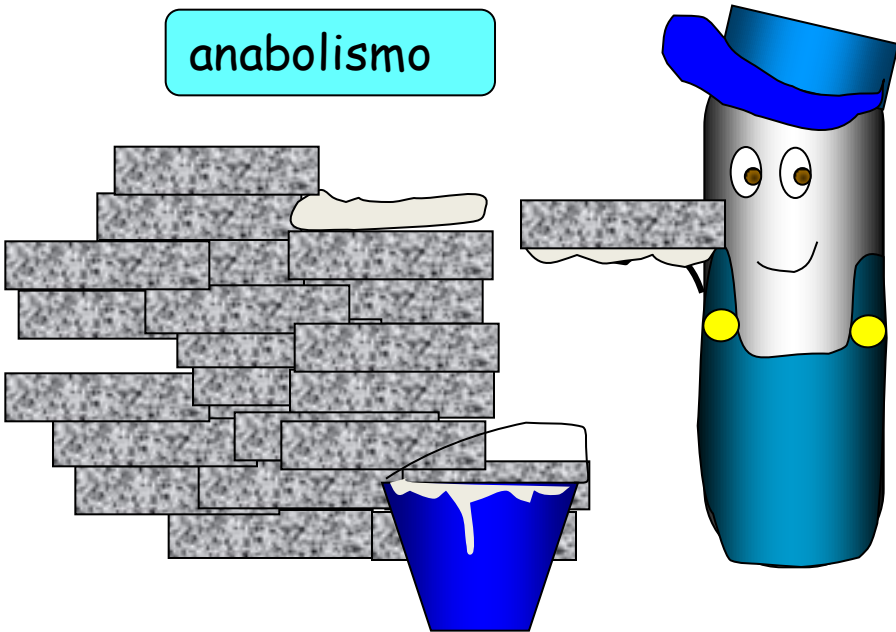


FISSATI

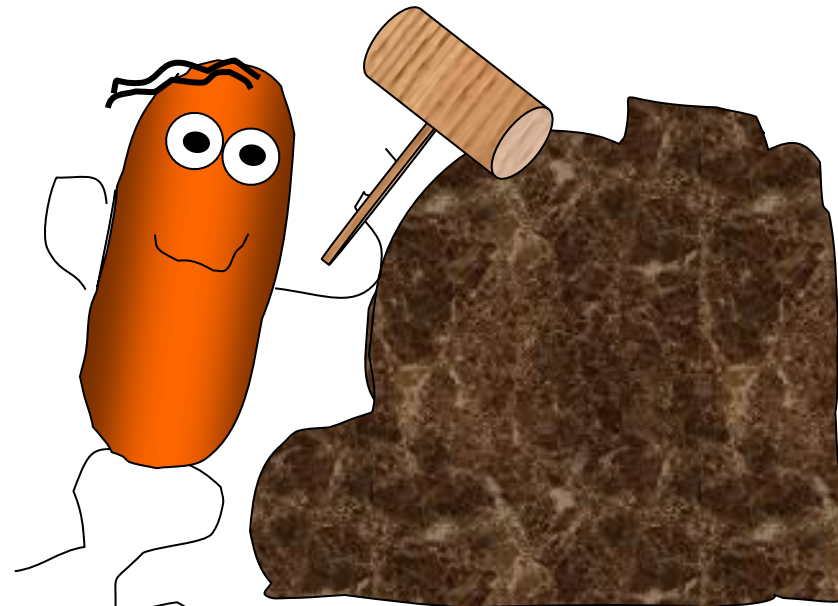
CHE PERMETTONO IL TRASFERIMENTO DEGLI ELETTRONI DAL
DONATORE PRIMARIO ALL'ACCETTORE TERMINALE

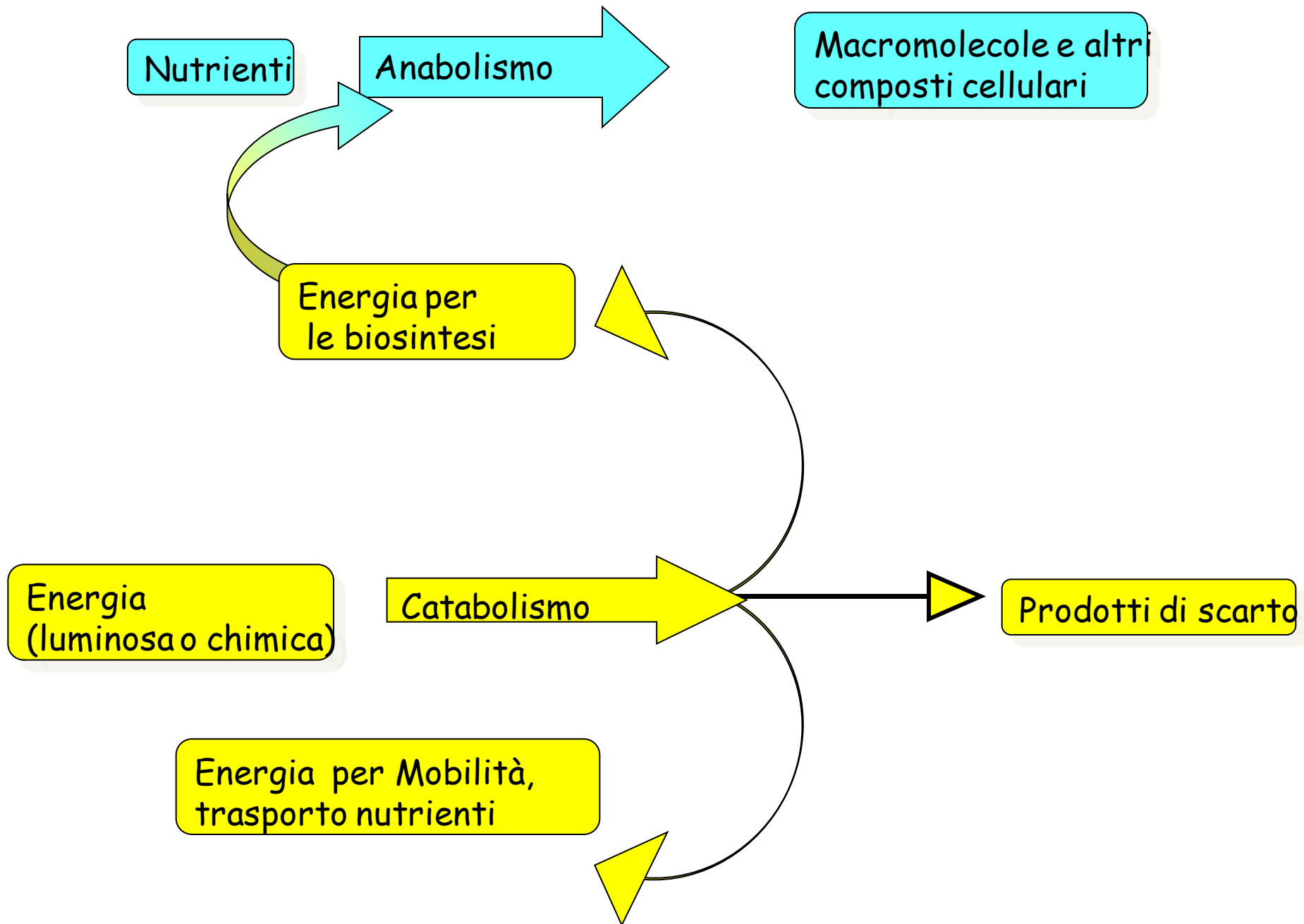
Il metabolismo ha due facce

anabolismo



catabolismo

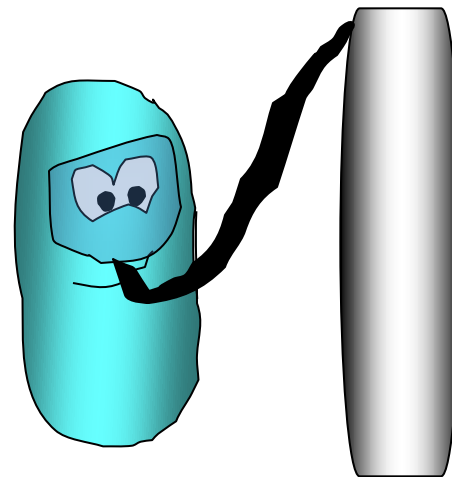
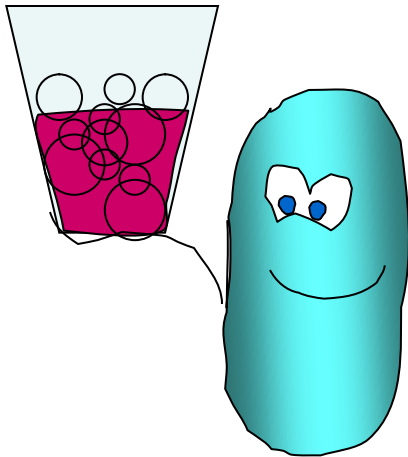




Catabolismo

Fermentazione
(Anaerobia)

Respirazione
Aerobia-Anaerobia



Nello studiare le strategie metaboliche microbiche si tiene conto della fonte di energia, del composto che cede gli elettroni e della fonte di carbonio

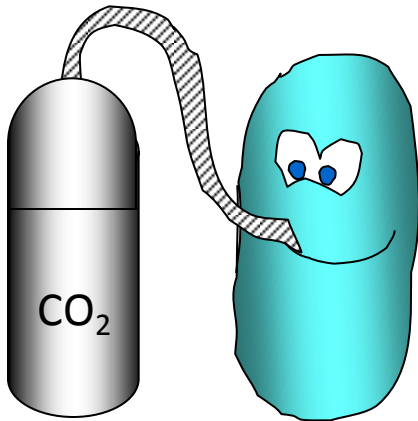
Foto-	energia : direttamente dalla luce
chemo-	energia : da reazioni chimiche, non direttamente dalla luce
organo-	donatore di elettroni: organico
lito-	donatore di elettroni: inorganico
auto-	Carbonio (fonte di) = CO_2
etero-	Carbonio (fonte di) composti organici

Le categorie si combinano definendo gruppi microbici metabolicamente differenti

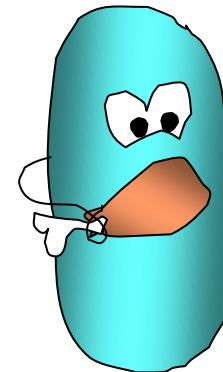
Tutte le combinazioni possono esistere, ma le più comuni sono quattro

I MICRORGANISMI

Fonte di carbonio: CO_2 inorganico
AUTOTROFI
Sintetizzano il proprio nutrimento
riducendo CO_2



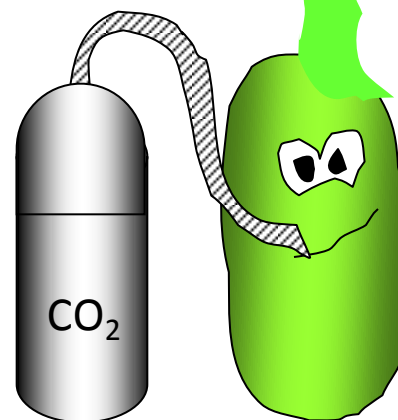
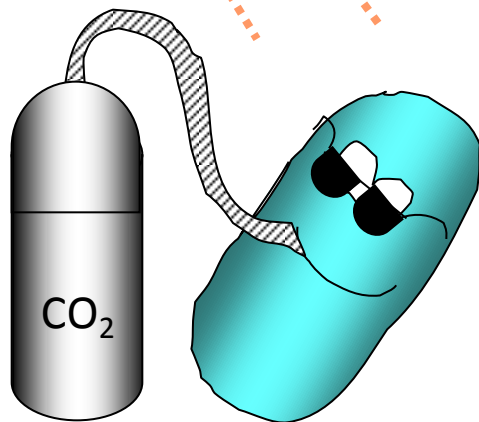
Fonte di carbonio: molecole organiche
ETEROTROFI
Usano come nutrienti
molecole organiche



AUTOTROFI

Fonte di energia: luce solare
FOTOAUTOTROFI

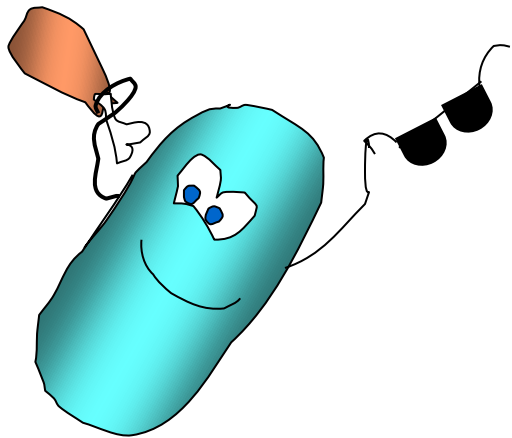
Fonte di energia: legami chimici
CHEMOAUTOTROFI



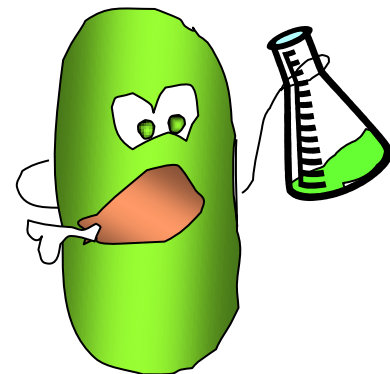
ETEROTROFI

```
graph TD; A[ETEROTROFI] --> B[Fonte di energia: luce solare  
FOTOETEROTROFI]; A --> C[Fonte di energia: legami chimici  
CHEMOETEROTROFI];
```

Fonte di energia: luce solare
FOTOETEROTROFI



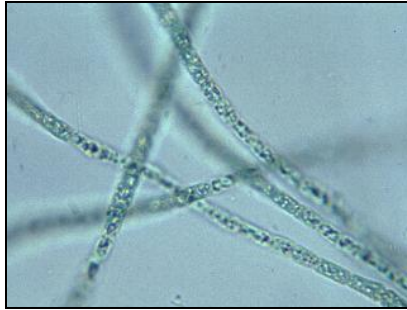
Fonte di energia: legami chimici
CHEMOETEROTROFI



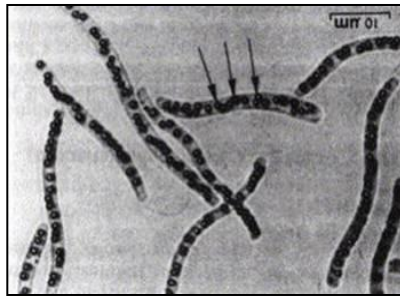
microrganismi che possono vivere in assenza di composti organici

Fotoautotrofi

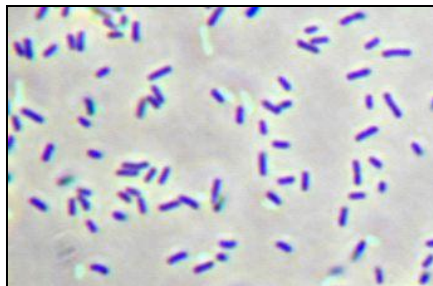
Cianobatteri



rossi
sulfurei

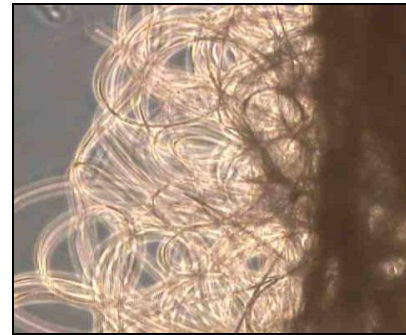


verdi
sulfurei

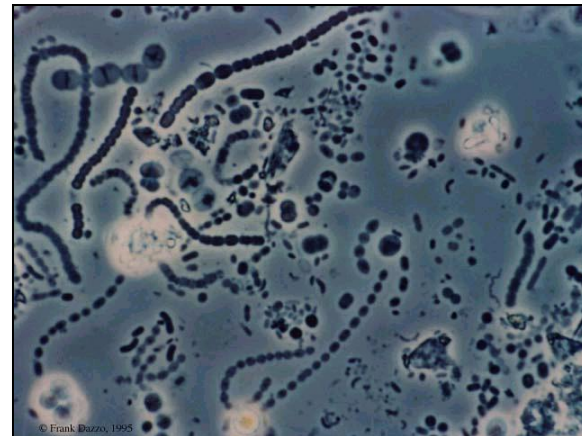


Chemoautotrofi.

batteri che ossidano lo zolfo



archaebatteri metanogeni

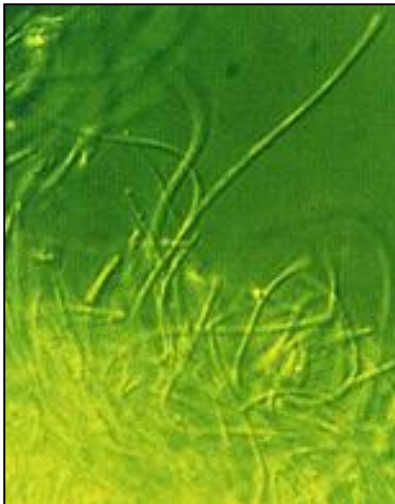


Fotoeterotrofi

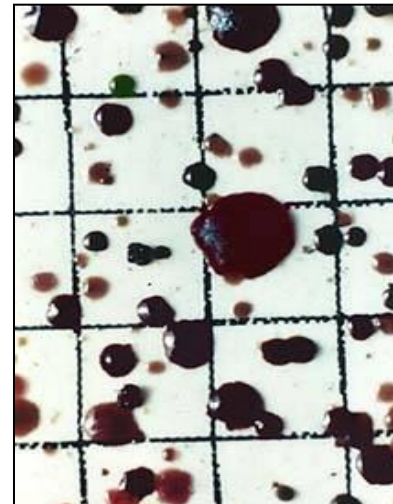
Di questo gruppo fanno parte
gli archibatteri alofili



I batteri non sulfurei



verdi



rossi

hanno bisogno di composti organici come fonte di carbonio
cellulare ma non per l'energia

FERMENTAZIONE

reazione redox tra due molecole organiche
con stato di ossidazione simile

Composto organico
(donatore)



Composto organico ossidato
(accettore)

l'ossidazione del
substrato è incompleta

l'energia non si libera
completamente

Composto organico ridotto
(prodotto)

La resa energetica è bassa

L'energia liberata viene immagazzinata come ATP

prodotto durante il catabolismo
dei composti organici fermentati

Composto organico
(donatore)

Composto organico ossidato
(accettore)

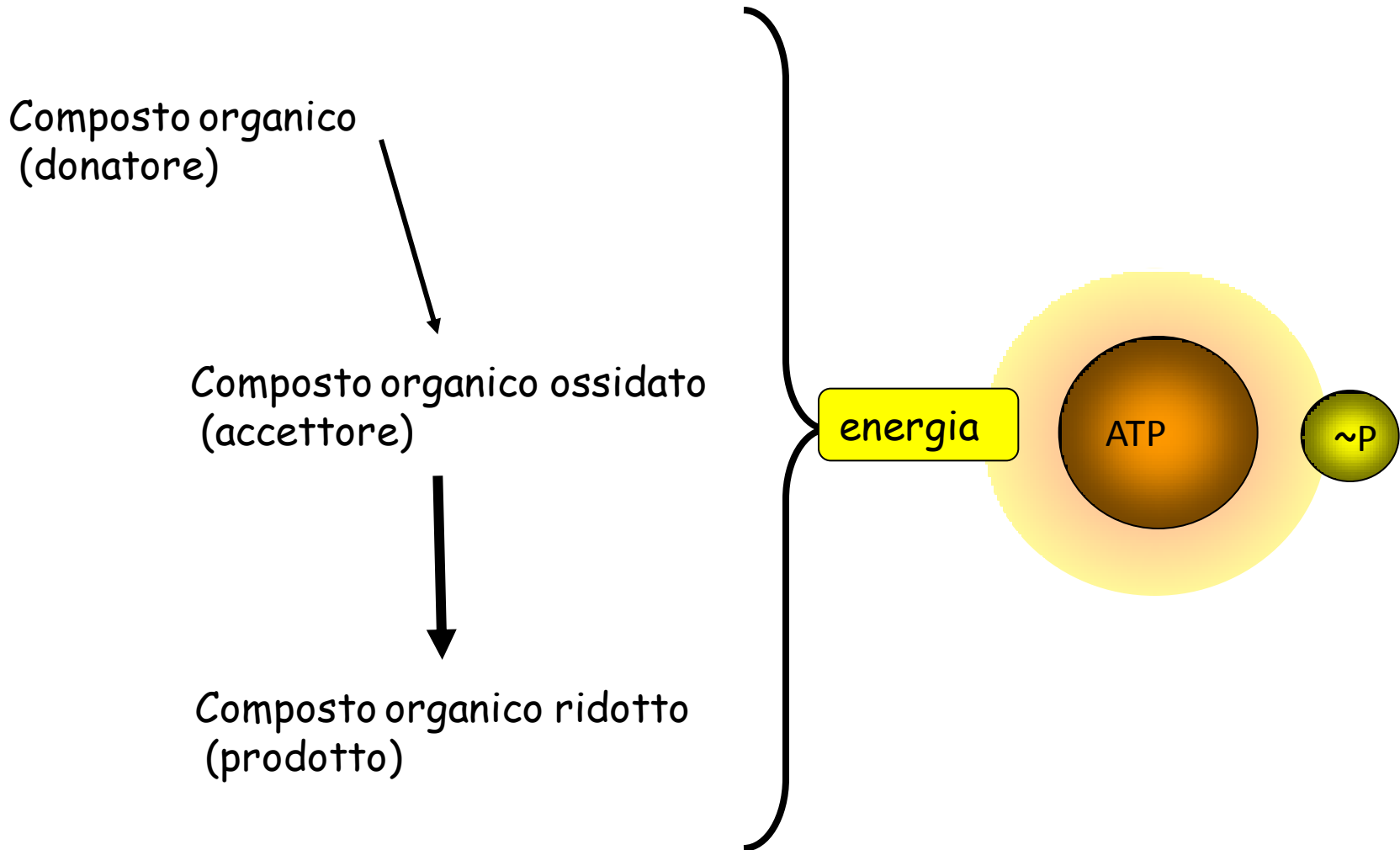
Composto organico ridotto
(prodotto)

energia

ATP

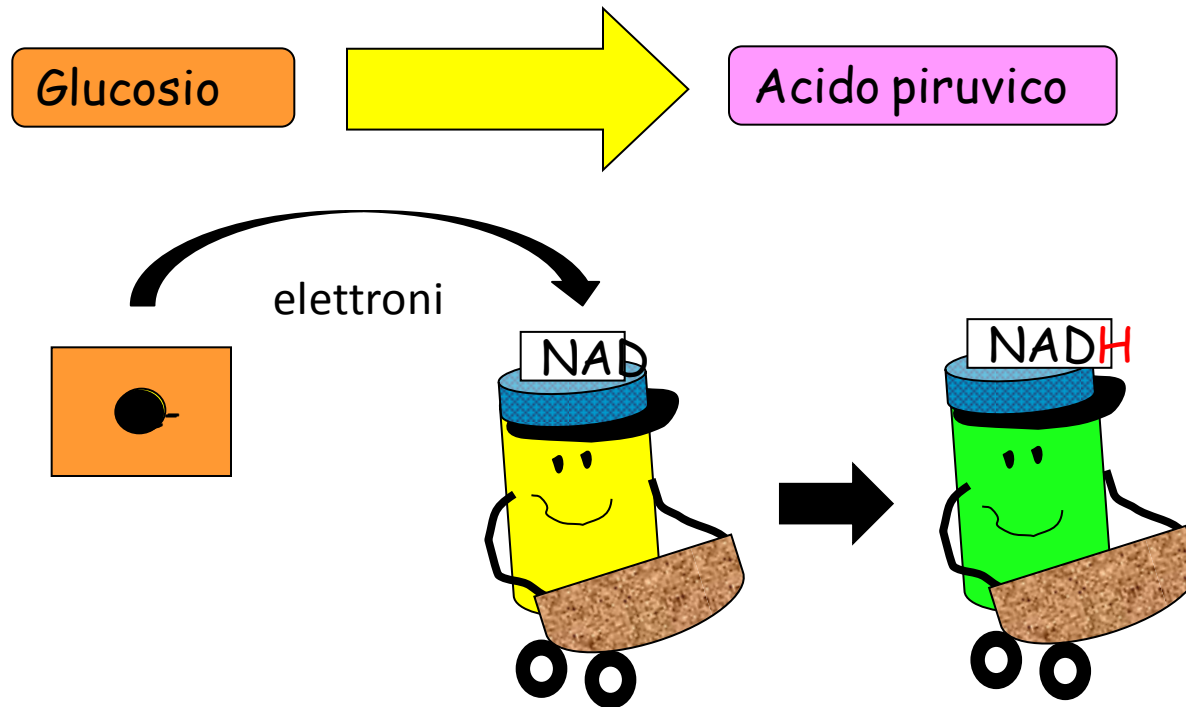
~P

Con un processo di fosforilazione a livello del substrato



fermentazione del glucosio:
due passi

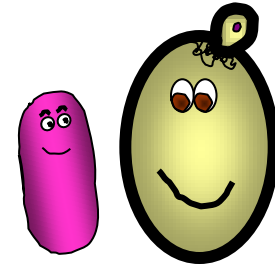
1) il glucosio viene
ossidato e si forma
piruvato (glicolisi)



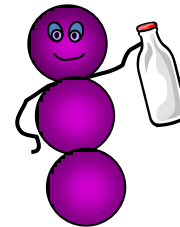
Gli elettroni vengono accettati dal coenzima NAD, che si riduce

I batteri impiegano vie diverse
per svolgere questo processo

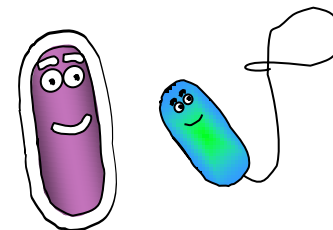
Via di Embden-Meyerhoff (EM)
(eucarioti e batteri enterici)



Via dei pentoso-fosfati
(tipica dei batteri acidolattici)



Via di Entner-Doudoroff (ED)
(*Pseudomonas*; *Archibatteri*)

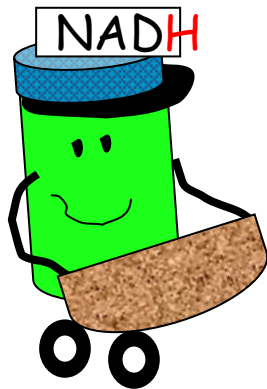


fermentazione del glucosio:

Glucosio

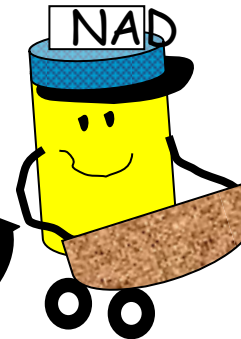
GLICOLISI
ossidazione del glucosio
+ riduzione coenzimi

**Acido piruvico
(INTERMEDIO)**



elettroni

piruvato

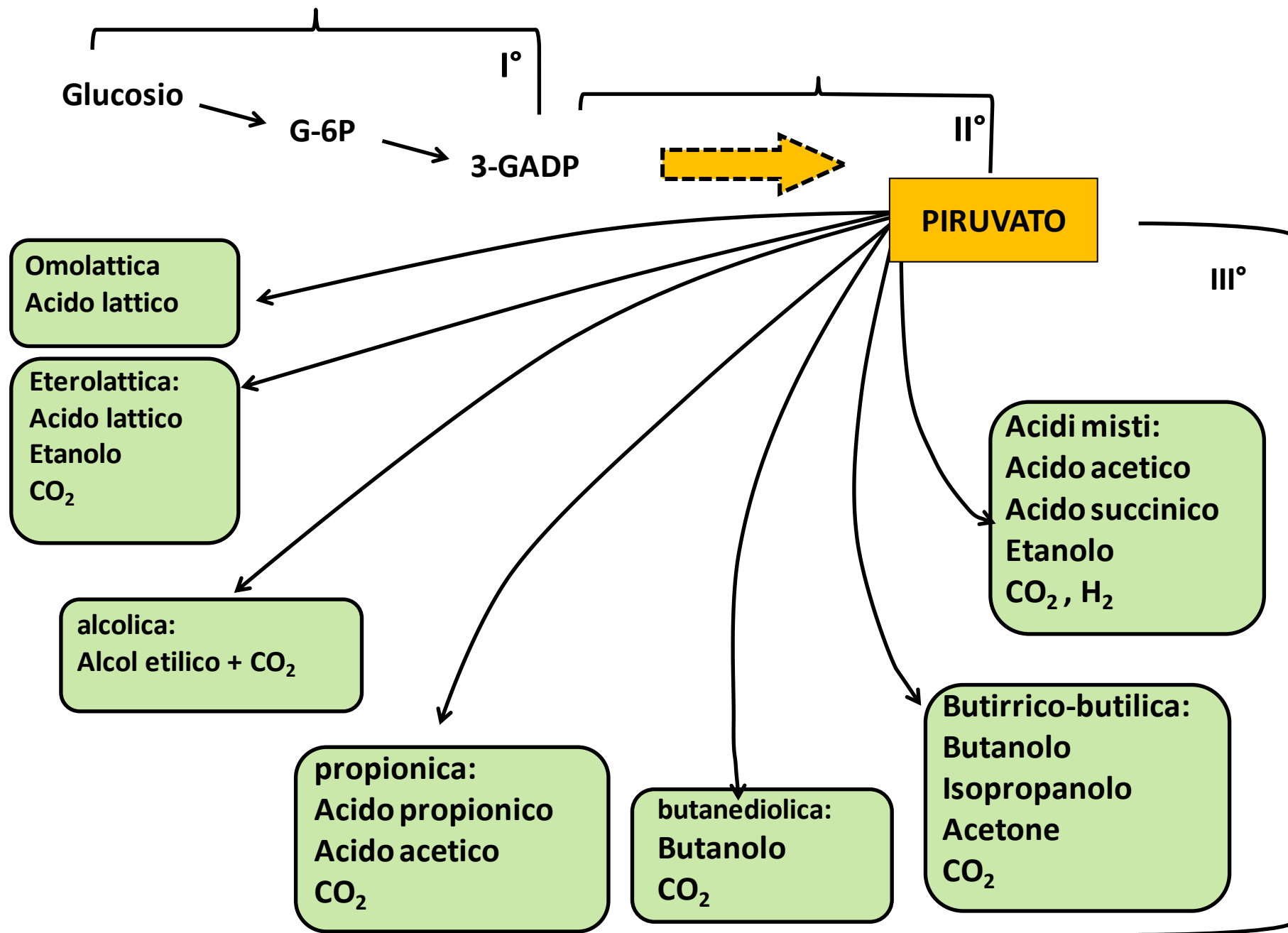


Prodotti finali

**Acido piruvico
(INTERMEDIO)**

FERMENTAZIONI
riduzione del piruvato
+ ossidazione coenzimi

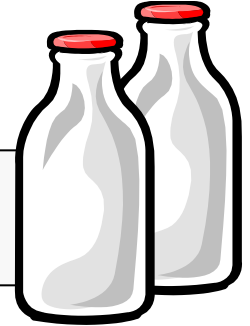
**PRODOTTI
FINALI**





Fermentazione etanolica (*Saccharomyces cerevisiae*)

Fermentazioni acidolattiche
(*Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Lactococcus*)

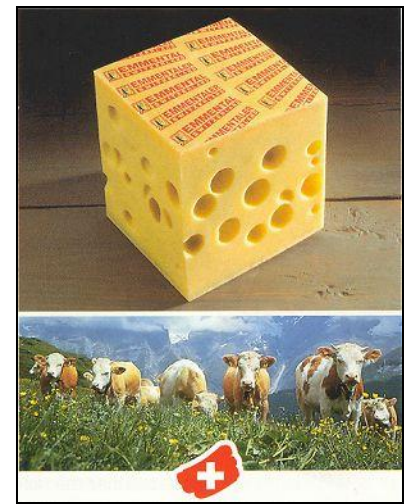


Omolattica (produzione di formaggio, yoghurt..):
ottiene acido lattico come unico prodotto

Eterolattica (produzione dei crauti): ottiene acido
lattico, etanolo e CO_2



fermentazione propionica (substrato acido lattico)
tipica di *Propionobacterium*,
importante nella produzione di Emmenthal.

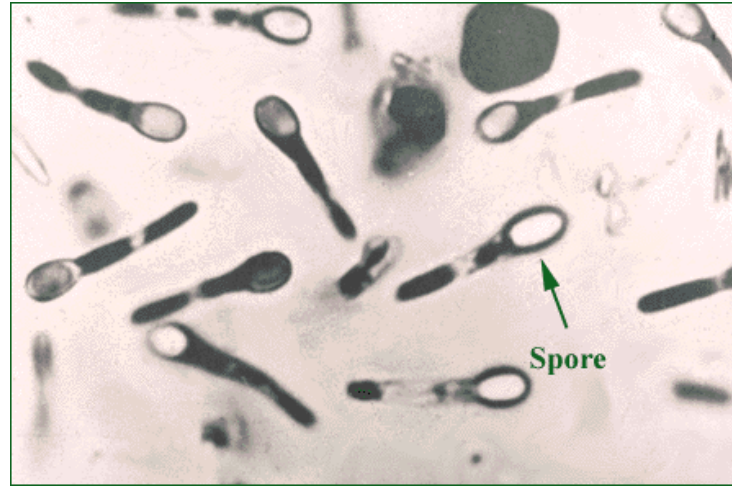


fermentazione ad acidi misti

caratteristica della famiglia delle *Enterobacteriaceae*, per la
quale può avere valore diagnostico

Il piruvato è convertito in molti prodotti, specialmente acido acetico, acido
lattico ed etanolo
(la composizione esatta dei vari prodotti è specie-specifica)

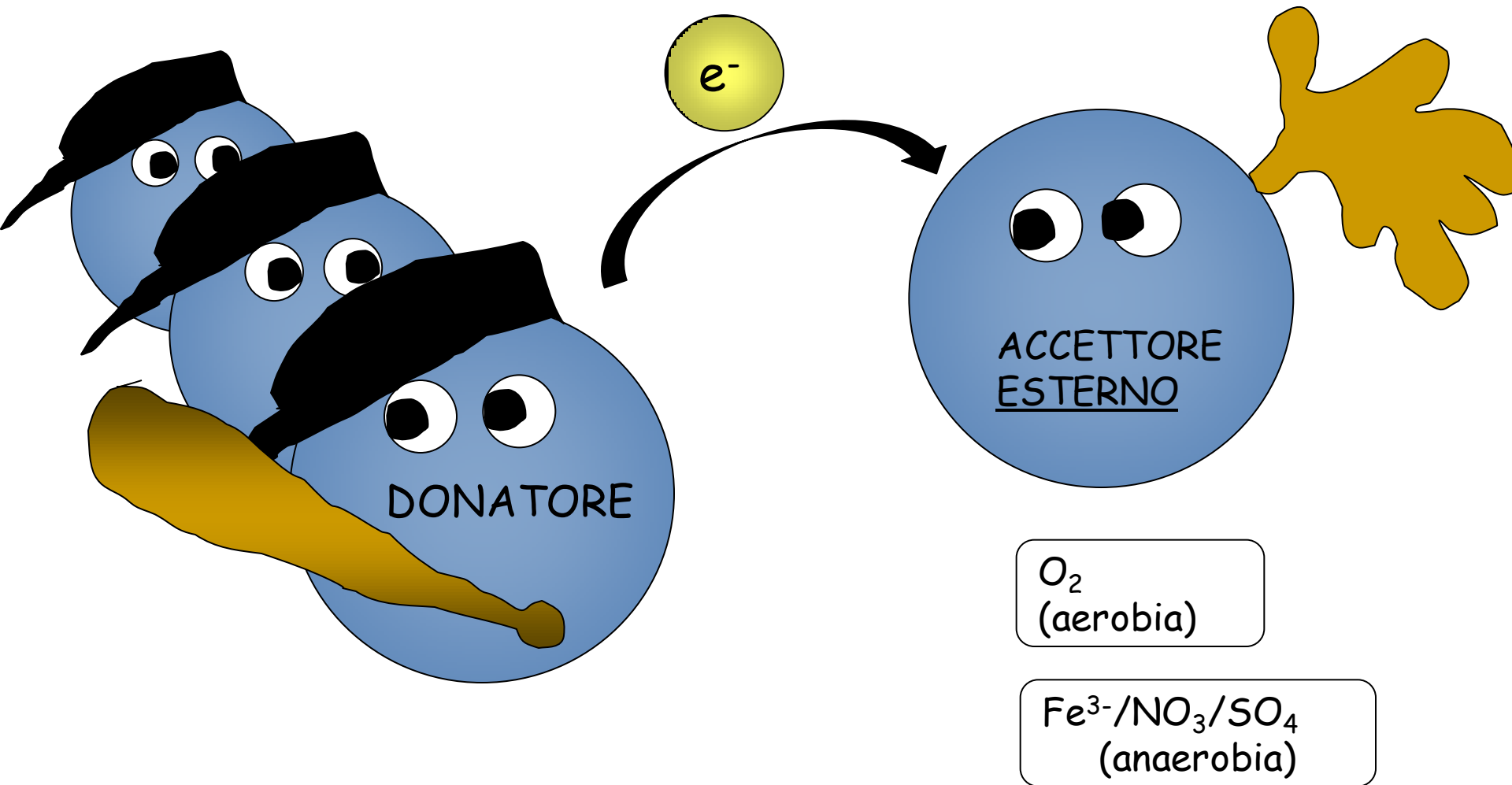
Fermentazione butanolica (acido butirrico) alcune specie di *Clostridium*.
I prodotti sono acido butirrico (odore di burro rancido), n-butanolo e acetone
(importanti prodotti industriali)



Fermentazione ad aminoacidi misti: vengono deaminati e decarbossilati
(ridotti e ossidati simultaneamente) diversi aminoacidi.
Molto importante per conferire aromi particolari ad alcuni vini e formaggi.



A differenza di quanto accade nella fermentazione, il processo di respirazione può sfruttare un accettore di e^- che non fa parte della catena (esterno)



la presenza di un accettore di elettroni "esterno" comporta notevoli vantaggi

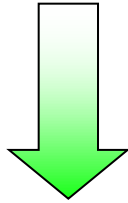


L'ossidazione è completa $C_{org} \rightarrow CO_2$

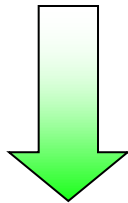
La netta differenza redox tra donatore iniziale e accettore terminale permette la sintesi di un numero maggiore di molecole di ATP

IL METABOLISMO RESPIRATORIO SI SVOLGE IN TRE FASI:

GLICOLISI

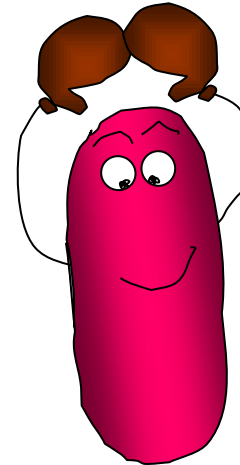


CICLO DI KREBS



FOSFORILAZIONE
OSSIDATIVA

Attraverso le stesse
vie usate dalla
fermentazione



Ma con una resa
energetica superiore

Ciclo di Krebs o dell'acido tricarbossilico (TCA)

Ottiene 3 molecole di CO_2 attraverso l'ossidazione completa dell'acido piruvico

Trasportatori di
elettroni: NAD/FAD

FOSFORILAZIONE OSSIDATIVA

generazione di ATP durante l'ossidazione dei coenzimi ridotti (NADH, FADH) attraverso una catena di trasporto di e^-

Il trasporto genera un gradiente di protoni attraverso la membrana

il gradiente di protoni permette la sintesi di ATP

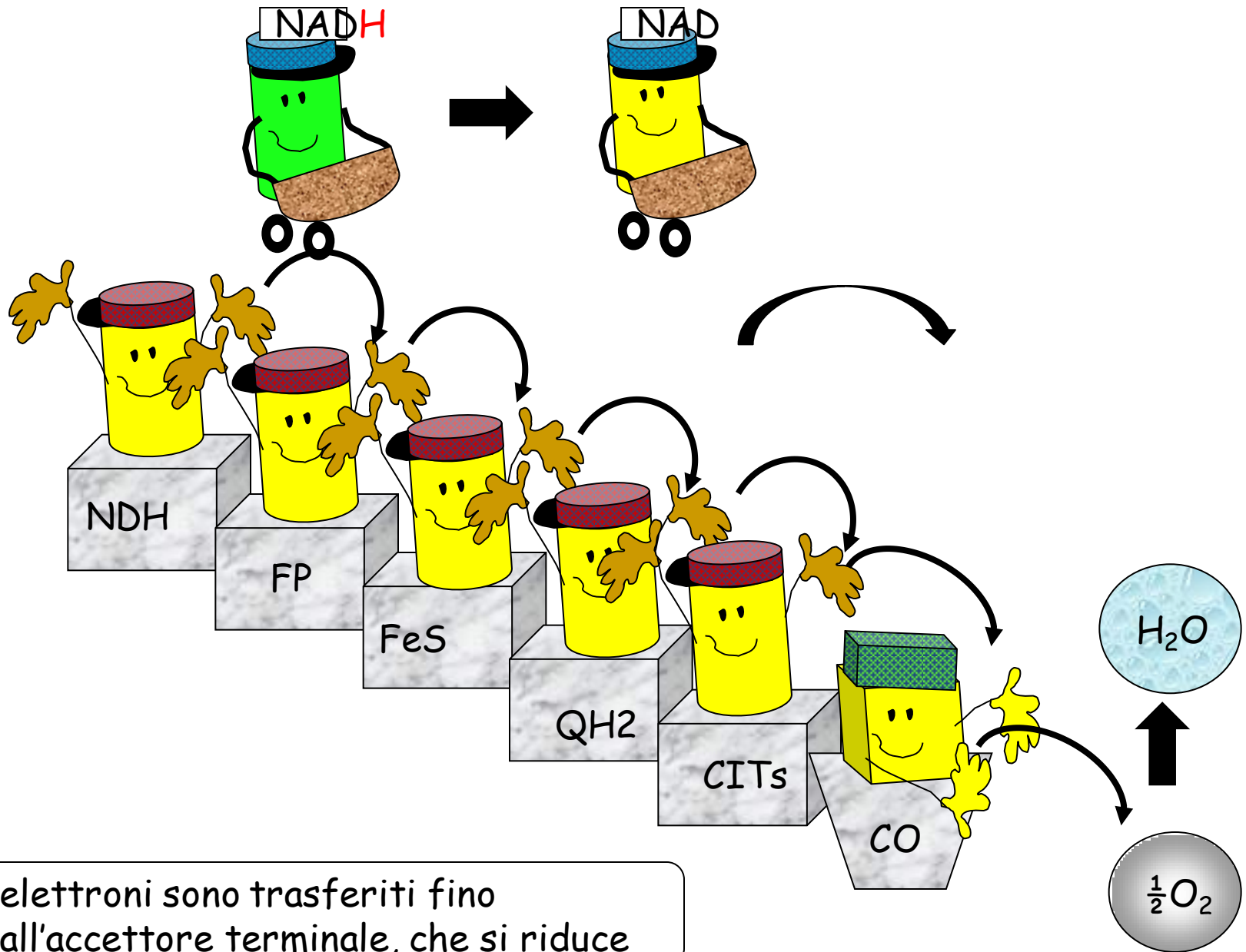
FOSFORILAZIONE OSSIDATIVA

generazione di ATP durante l'ossidazione dei coenzimi ridotti (NADH, FADH) attraverso una catena di trasporto di e^-

Il trasporto genera un gradiente di protoni attraverso la membrana

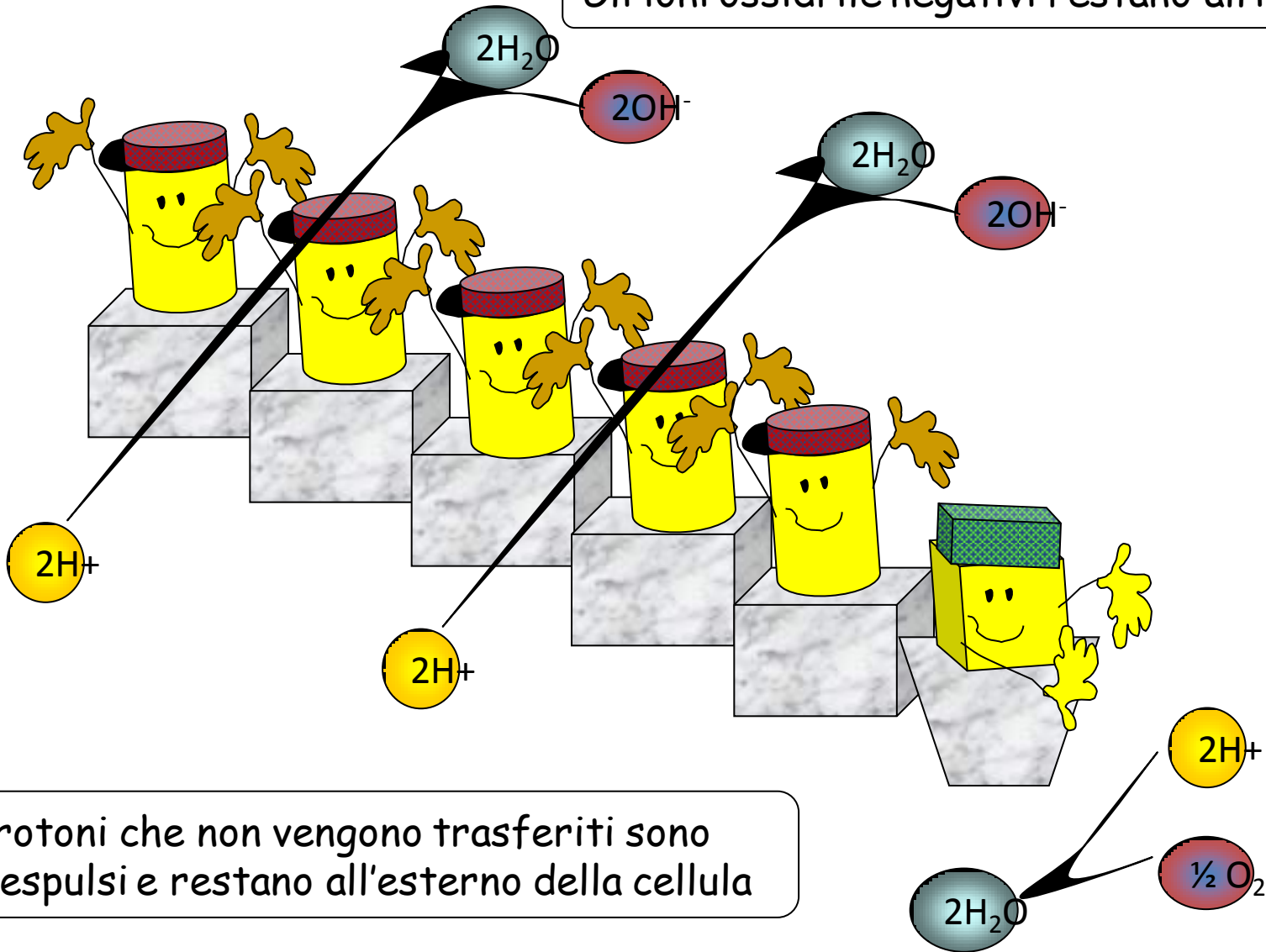
il gradiente di protoni permette la sintesi di ATP

i trasportatori sono disposti secondo il potenziale redox



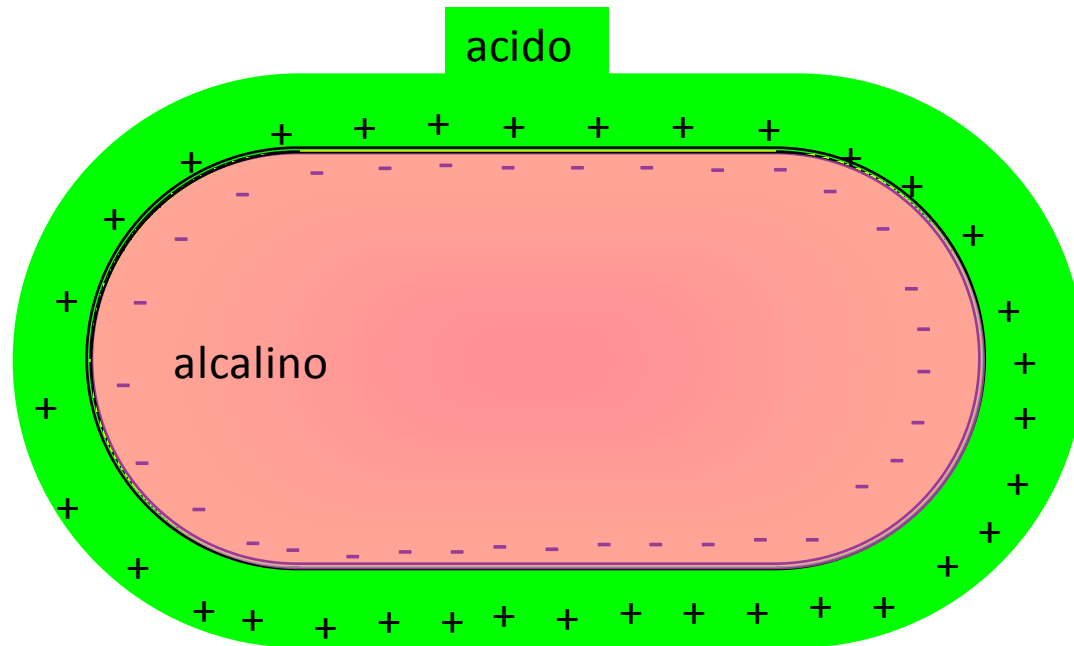
i trasportatori che trasferiscono anche protoni si alternano con quelli che trasferiscono solo elettroni

Gli ioni ossidrile negativi restano all'interno

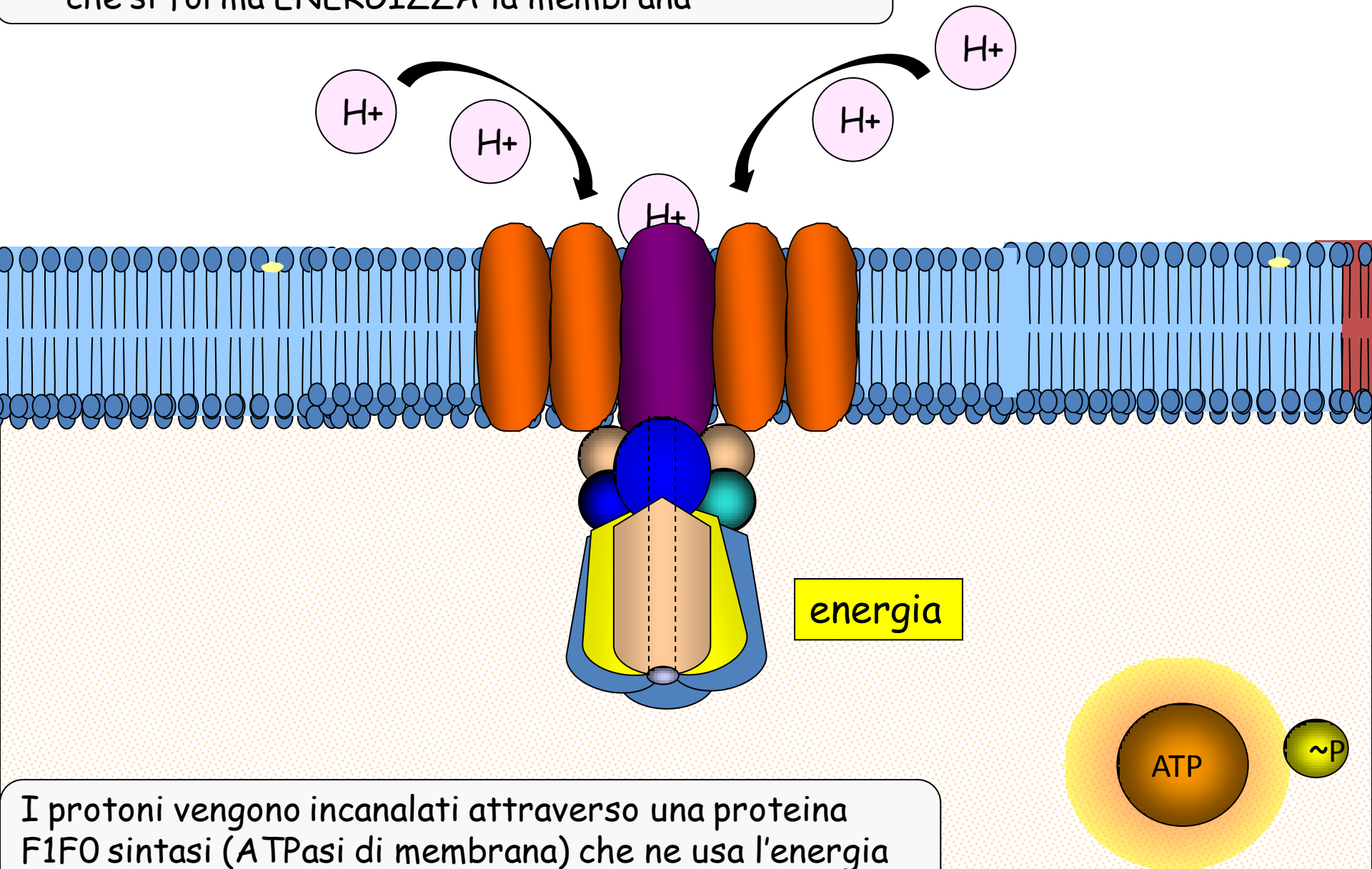


I protoni che non vengono trasferiti sono espulsi e restano all'esterno della cellula

La separazione delle cariche sui due versanti della membrana crea una forza protomotrice che guida la sintesi di ATP



Il trasporto di elettroni, con il gradiente di protoni che si forma **ENERGIZZA** la membrana



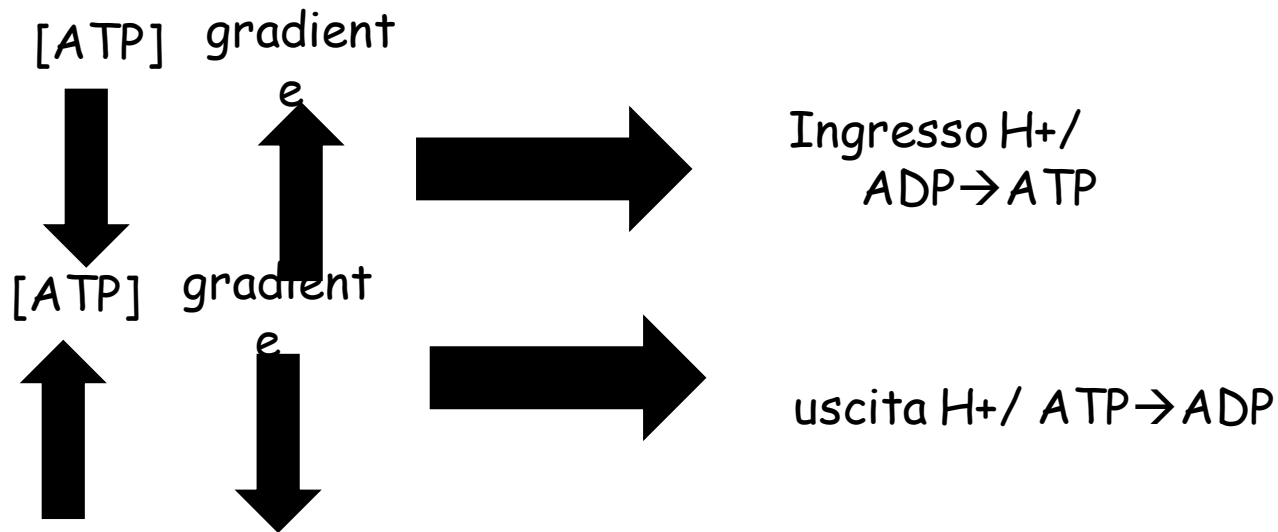
I protoni vengono incanalati attraverso una proteina F1F0 sintasi (ATPasi di membrana) che ne usa l'energia per la sintesi di ATP

F₀ è una proteina idrofoba che attraversa la membrana e porta gli ioni a F₁, che aggetta sul versante citoplasmatico

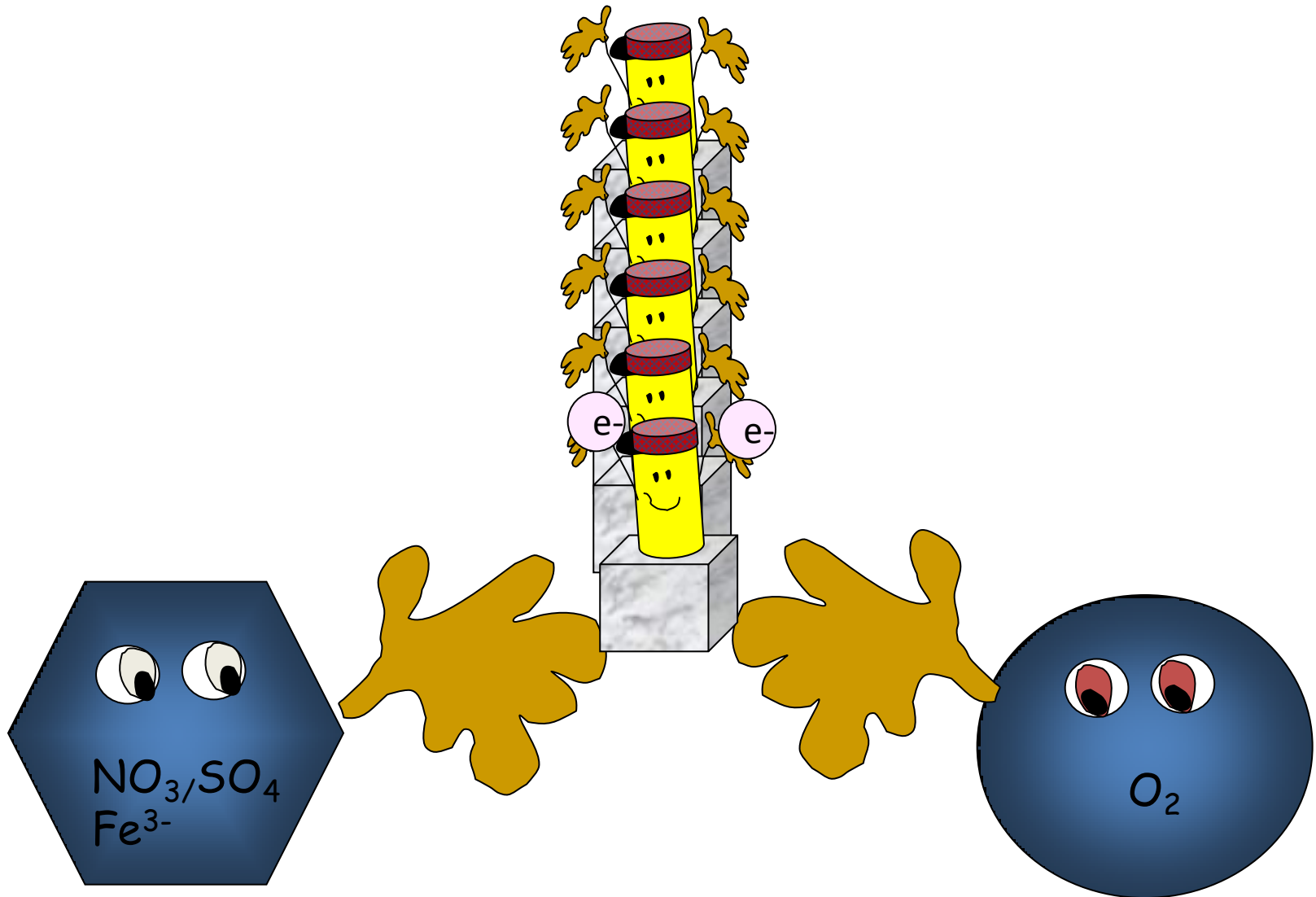
F₁ catalizza due tipi di reazione



A seconda della [ATP] e dall'entità del gradiente attraverso la membrana



RESPIRAZIONE AEROBIA E ANAEROBIA
HANNO IN COMUNE ALCUNI COMPONENTI DEL TRASPORTO



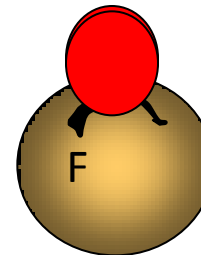
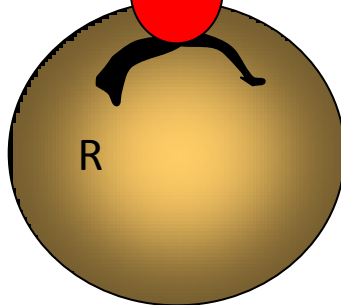
MA ACCETTORI TERMINALI DIVERSI

La produzione di energia è maggiore nella respirazione

La variazione di energia libera infatti è profondamente diversa

Glucosio $\rightarrow$ CO_2 + H_2O , $\Delta G = -686$ kcal/mole (respirazione)

Glucosio $\rightarrow$ acido lattico, $\Delta G = -58$ kcal/mole (fermentazione)



Nella respirazione vengono prodotte 38 molecole di ATP per molecola di glucosio
Nella fermentazione solo due

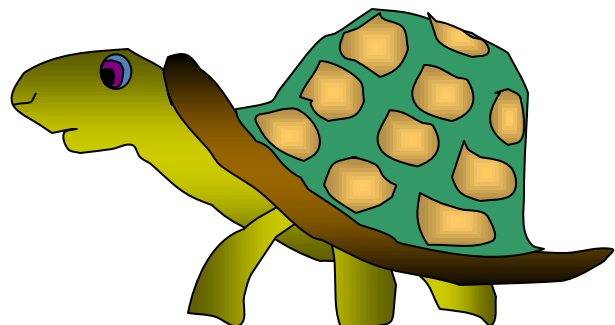
LA FERMENTAZIONE PERO' GARANTISCE LA VITA
DI MOLTISSIMI MICRORGANISMI

? COME MAI ?

La Risposta è nel concetto di efficienza

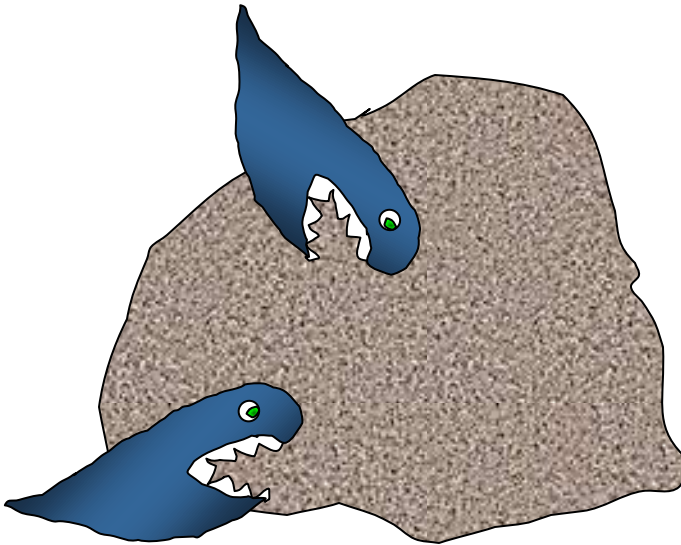
quanta dell'energia rilasciata viene
effettivamente immagazzinata?

La respirazione ha un'efficienza del 40% circa; la
fermentazione ha un'efficienza di oltre il 50%



Chemoeterotrofi

dipendono completamente dai composti organici.



Saprofiti
(Materia morta)



e patogeni
(Materia organica viva)

si trovano in questo gruppo