

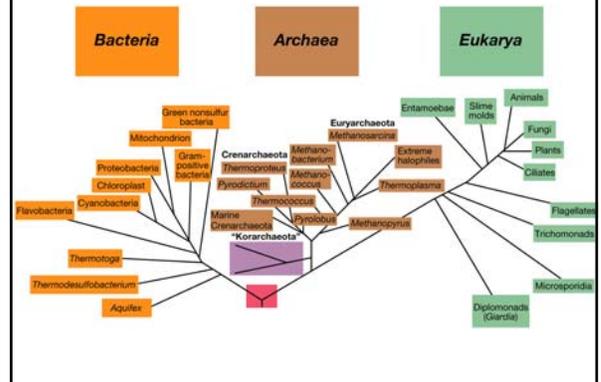
APPROVVIGIONAMENTO ENERGETICO NEI BATTERI:

**FERMENTAZIONE
RESPIRAZIONE
AEROBIA
ANAEROBIA**

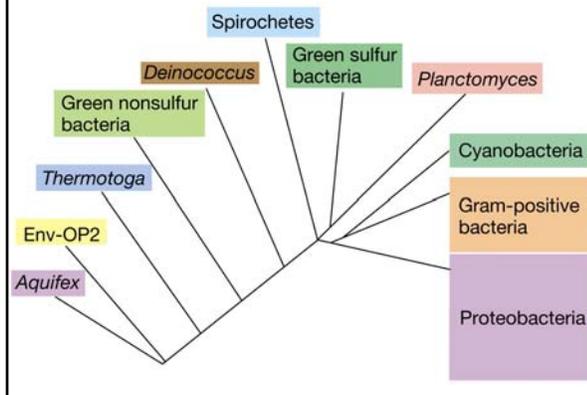
CONSIDERANDO ALCUNI GRUPPI TASSONOMICI

Riferimenti bibliografici:
Chimica biologica
Brock cap. 5, 20, 17

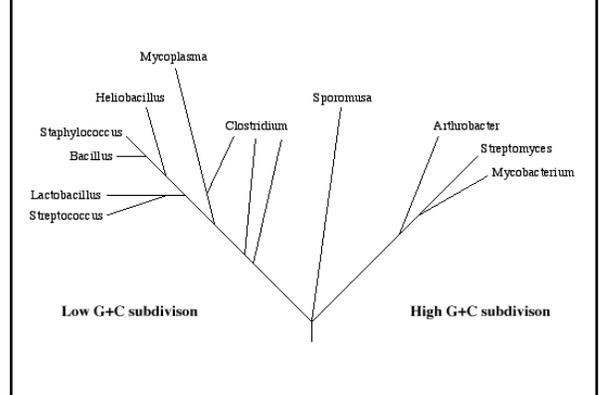
Albero filogenetico universale



Albero filogenetico dei principali gruppi batterici



BATTERI GRAM POSITIVI



BATTERI GRAM POSITIVI – Basso contenuto GC

Non-sporigeni:

Batteri lattici *Lactobacillus*: anaerobi aerotolleranti
Streptococcus: anaerobi aerotolleranti
 e affini *Staphylococcus*: aerobi facoltativi
Micrococcus: aerobi obbligati
Sarcina: anaerobii obbligati

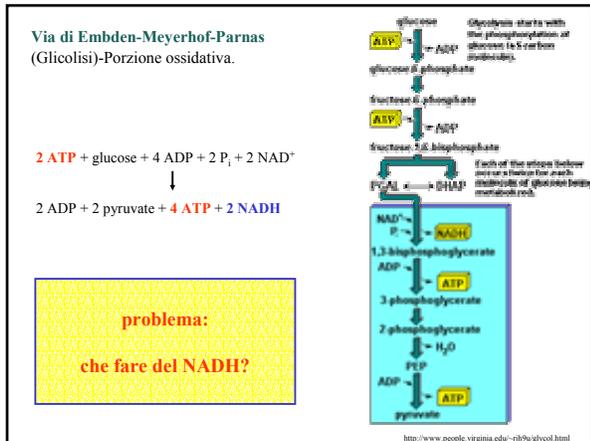
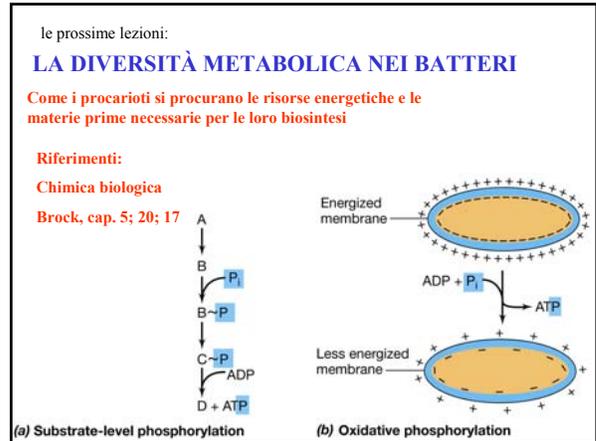
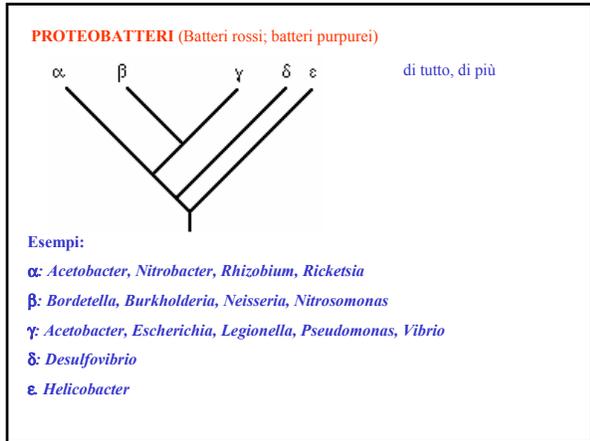
Sporigeni:

Bacillus: aerobi obbligati
Clostridium: anaerobi obbligati
Sporosarcina: aerobi, cocchi
Heliobacteria: fototrofi, anaerobi

Senza parete: *Mycoplasma*: molti patogeni; esigenti; aerobi e anaerobi

BATTERI GRAM POSITIVI – Alto contenuto GC

Corynebacterium aerobi; bastoncini a V
Propionibacterium anaerobi, esigenti
Mycobacterium aerobi; a crescita lenta
 a crescita rapida
Streptomyces,
Actinomyces aerobi; miceliari



FERMENTAZIONE

Processo di ossidriduzione anaerobio.

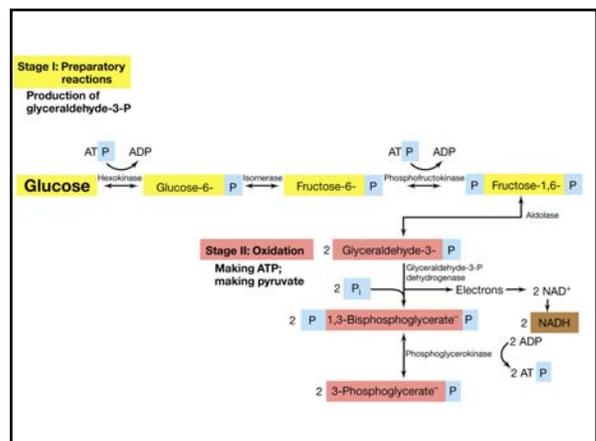
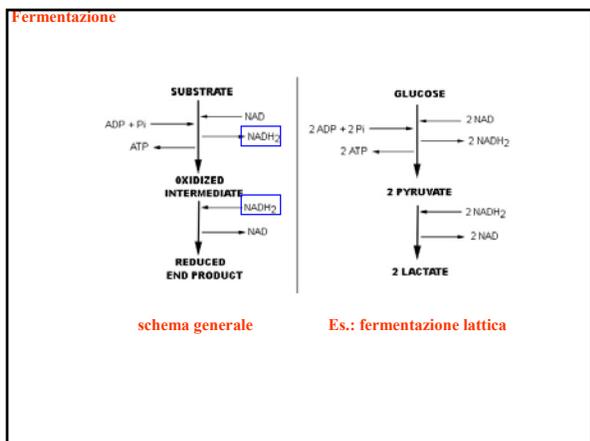
ATP prodotta mediante fosforilazione a livello di substrato (fase ossidativa del processo).

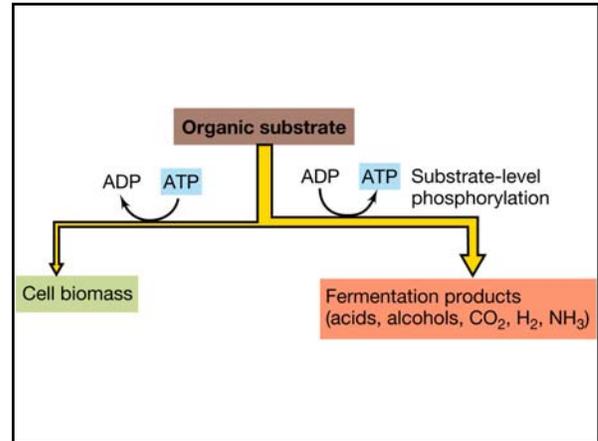
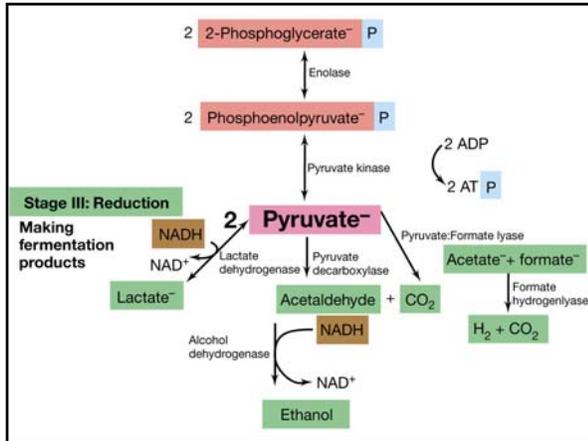
Il trasferimento di elettroni all'accettore finale (fase riduttiva) di norma non è accoppiato a reazioni di conservazione di energia

Le molecole donatrici e accettrici di elettroni derivano da molecole organiche in uno stato di ossidazione intermedio (zuccheri, aminoacidi, composti eterociclici, acidi organici). Composti molto ossidati o molto ridotti non sono adatti per processi fermentativi.

I prodotti finali possono essere CO₂, H₂, e sostanze organiche in stato di ossidriduzione comparabile a quello dei substrati fermentati (formiato, acetato, altri acidi organici a catena corta). L'ulteriore conversione di questi prodotti richiede di norma processi respiratori.

In molte fermentazioni un unico composto (o suoi derivati) funge sia da donatore sia da accettore di elettroni.





FERMENTAZIONE DI ZUCCHERI

ALCUNE VIE OSSIDATIVE CONVERTONO
ZUCCHERI → PIRUVATO (+ acetilfosfato*)

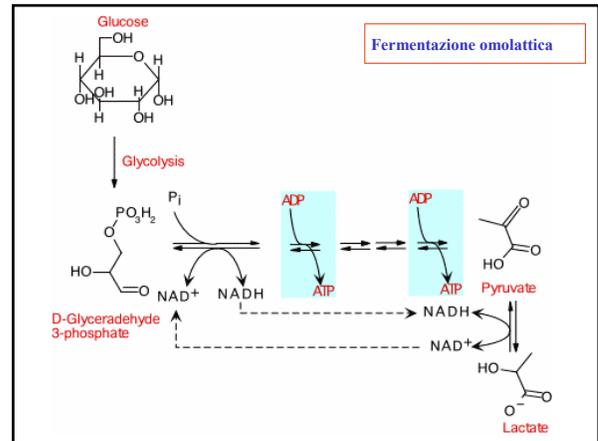
le più comuni:

GLICOLISI (via di Embden-Meyerhof-Parnas)
(comune ad animali, piante, funghi, lievito, batteri come E. coli, Clostridi, batteri lattici omofermentativi)

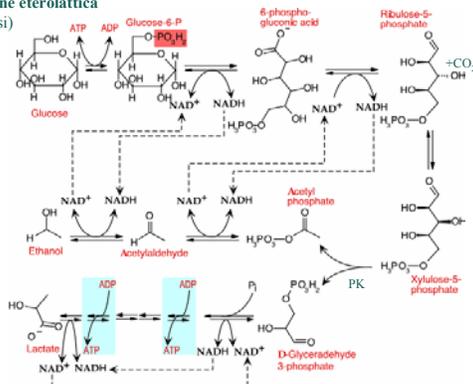
Via della fosfochetolasi (Via del pentoso fosfato)*
(fermentazione eterolattica)

Via di Entner-Doudoroff (Fosfogluconato)
(Zymomonas, ma comune in molte specie batteriche, anche capaci di respirazione anaerobica)

MOLTEPLICI SONO LE VIE RIDUTTIVE...



Fermentazione eterolattica (fosfochetolasi)



BATTERI LATTICI

anaerobi aerotolleranti,
mancano di porfirine e citocromi,
catalasi negativi,
auxotrofi
Importanza industria agroalimentare

Omofermentanti *Streptococcus, Pediococcus, Lactococcus, Lactobacillus*

Eterofermentanti *Leuconostoc*

Fermentazioni batteriche che utilizzano la via EMP

Batteri enterici:

proteobatteri γ
 bastoncelli non sporigeni
 Gram negativi

immobili o mobili con flagelli peritrichi
 aerobi facoltativi
 ossidasi negativi
 richieste metaboliche relativamente semplici
 fermentazione di zuccheri a prodotti finali diversi

molte patogeni; molti di rilevanza industriale

Acido mista (*E. coli*)

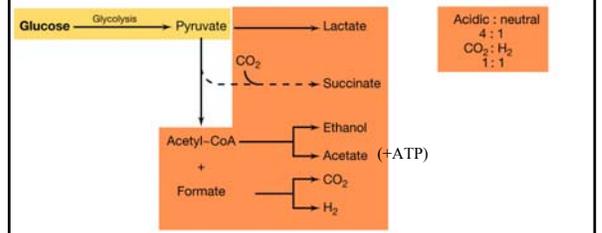
Lattato
 piruvato + $\text{CO}_2 \rightarrow$ succinato
 Etanolo, Acetato
 formiato $\rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$
 (formiato-H liasi)

Butandiolica (*Enterobacter*)

2,3-butandiolo + CO_2
 Etanolo
 Lattato
 (formiato + $\text{CO}_2 \rightarrow$ succinato)
 (Acetato)
 formiato $\rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$

Fermentazione acido mista

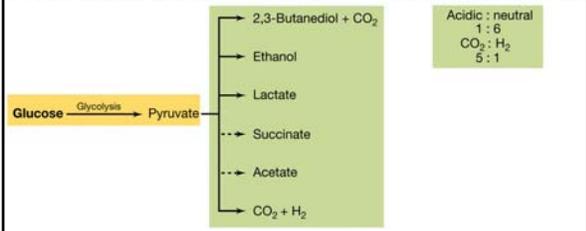
(a) Mixed acid fermentation (for example, *Escherichia coli*) Typical products (molar amounts)



Acidic : neutral
 4 : 1
 $\text{CO}_2 : \text{H}_2$
 1 : 1

Fermentazione butandiolica

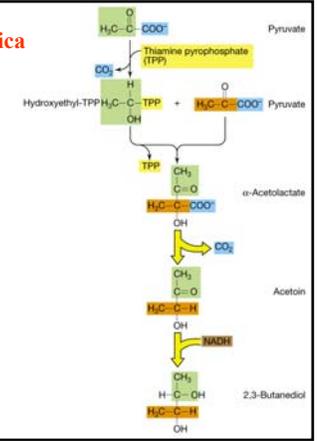
(b) Butanediol fermentation (for example, *Enterobacter*) Typical products (molar amounts)



Acidic : neutral
 1 : 6
 $\text{CO}_2 : \text{H}_2$
 5 : 1

Fermentazione butandiolica

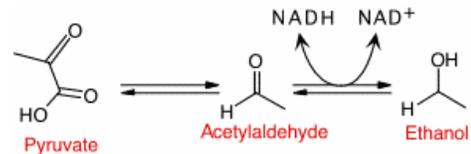
Klebsiella, Serratia, Enterobacter

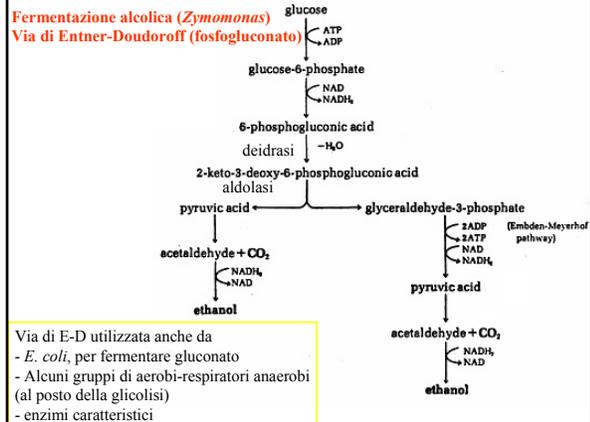


	Diagnostic test	Go to number
MR, methyl red (pH <4.3)	1 MR+; VP - (mixed-acid fermenters)	2
	MR -; VP + (butanediol producers)	7
VP, Voges-Proskauer (acetoina)	2 Urease +	Proteus
	Urease -	3
	3 H_2S (TSI) +	4
	H_2S (TSI) -	6
	4 KCN +	Citrobacter
	KCN -	5
	5 Indole +; citrate -	Edwardsiella
	Indole -; citrate +	Salmonella
	6 Gas from glucose	Escherichia
	No gas from glucose	Shigella
	7 Nonmotile; ornithine -	Klebsiella
	Motile; ornithine +	8
	8 Gelatin+; DNase +	Serratia
		(red pigment)
		Enterobacter

Gelatin slow; DNase -
 Key
 Mixed-acid fermenters
 Butanediol producers

Fermentazione alcolica (via EMP; lievito)



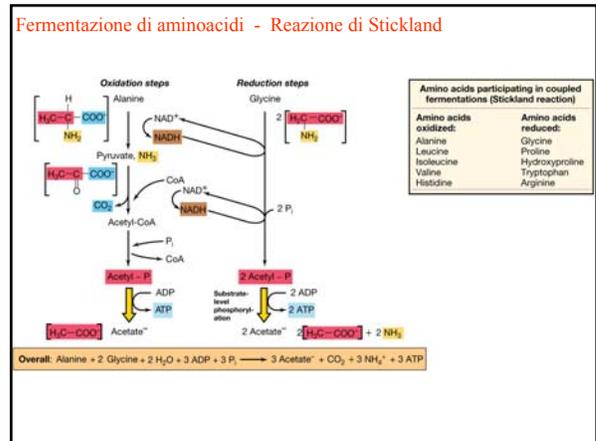


Prodotti finali di fermentazioni microbiche

Via	Enzima chiave	EtOH	Lattato	CO ₂	ATP
EMP					
<i>Saccharomyces</i>	fruttosio 1,6 diP-aldolasi	2	0	2	2
<i>Lactobacillus</i>	fruttosio 1,6 diP-aldolasi	0	2	0	2
ETEROLATTICA					
<i>Streptococcus</i>	fosfochetolasi	1	1	1	1
ED					
<i>Zymomonas</i>	2-keto-3-deossi-6-fosfogluconato (KDPG) aldolasi	2	0	2	1

Vie glicolitiche utilizzate da diversi gruppi batterici

Batterio	via catabolica		
	EMP	PPK	ED
<i>Acetobacter acetii</i>	-	+	-
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	-	-	+
<i>Azotobacter vinelandii</i>	-	-	+
<i>Bacillus subtilis</i>	princip.	second.	-
<i>Escherichia coli</i>	+	-	-
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	+	-	-
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	-	+	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	-	+
<i>Vibrio cholerae</i>	princip.	-	second.
<i>Zymomonas mobilis</i>	-	-	+



Fermentazione di aminoacidi - Reazione di Stickland

alanina + 2 glicina + 2H₂O + 3ADP + 3Pi → 3 acetate + CO₂ + 3NH₄ + 3ATP

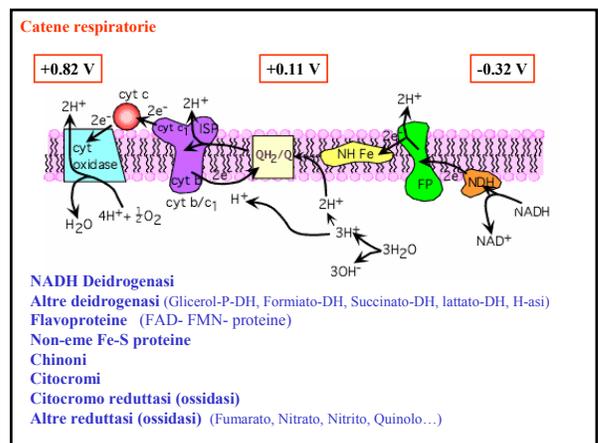
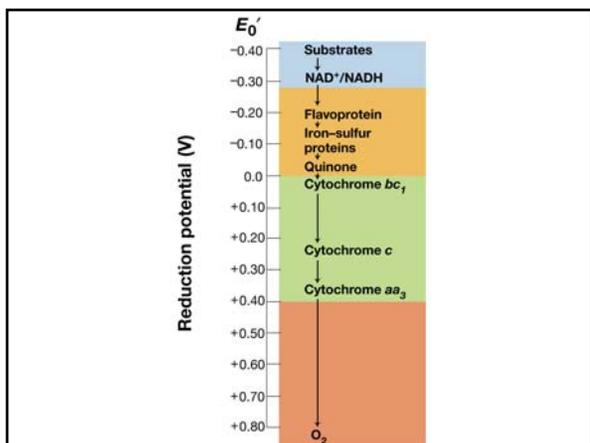
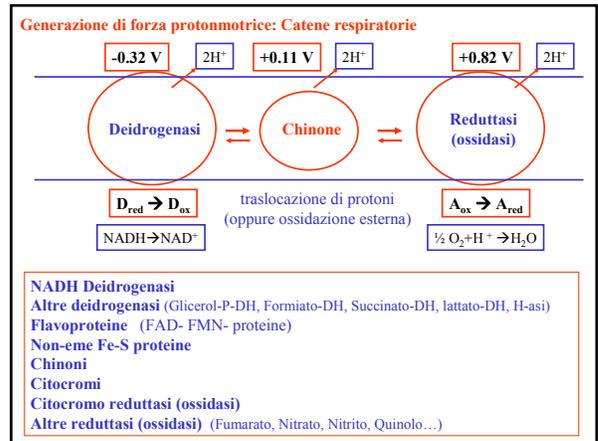
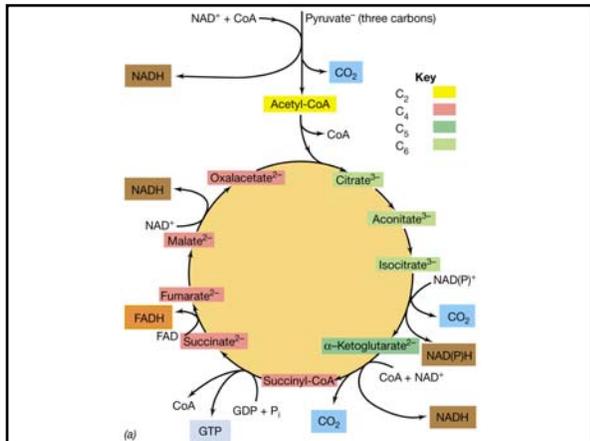
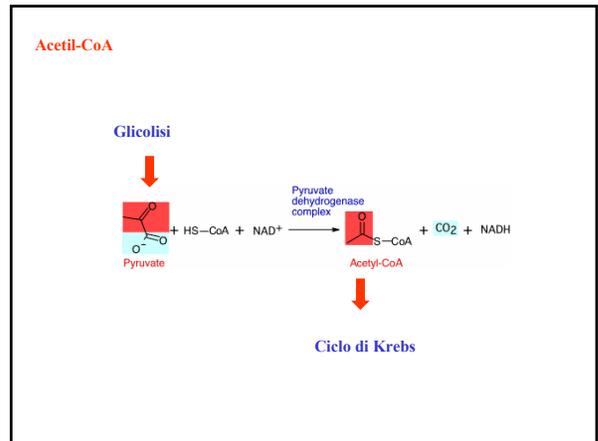
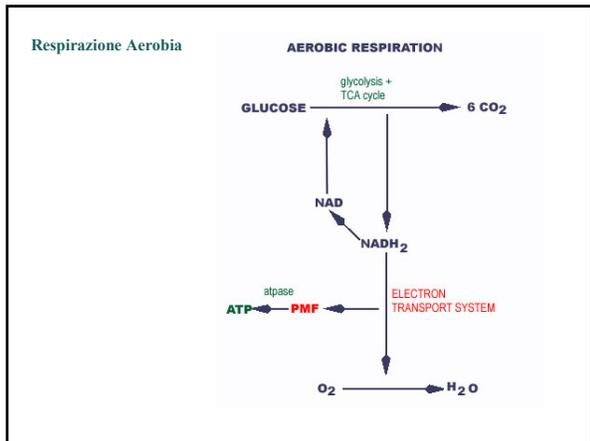
ossidazione di alanina
 CH₃-CH(NH₂)-COO⁻ → piruvato + NH₃ → acetilfosfato → CH₃-COO⁻

riduzione di glicina
 CH₂(NH₂)-COO⁻ → acetilfosfato → CH₃-COO⁻

Es.: Clostridi

Respirazione
 Respirazione aerobia
 Respirazione anaerobia

fosforilazione ossidativa



ATP sintasi

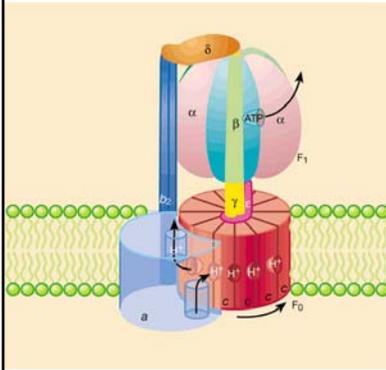


Figure 1 Model of the *Escherichia coli* ATP synthase. The enzyme consists of two parts known as the F_1 and F_0 portions. The F_1 portion comprises three α subunits, three β subunits, an ϵ , δ , and γ subunit. The F_0 portion contains one a subunit, one b subunit and 9–12 c subunits. (Courtesy of R. L. Cross, State Univ. New York, Syracuse.)

Sintesi di ATP

Overall reaction: $\text{Pyruvate}^- + 4 \text{NAD}^+ + \text{FAD} \rightarrow 3 \text{CO}_2 + 4 \text{NADH} + \text{FADH}$

- (1) Substrate-level phosphorylation: $\text{GDP} + \text{P}_i \rightarrow \text{GTP}$
 $\text{GTP} + \text{ADP} \rightarrow \text{GDP} + \text{ATP}$
- (2) Electron transport phosphorylation: $4 \text{NADH} \equiv 12 \text{ATP}$
 $\text{FADH} \equiv 2 \text{ATP}$
- (3) Sum: ATP dall'ossidazione di Glucosio a CO_2
 A - dalla glicolisi (1 glucosio \rightarrow 2 piruvato):
 a livello di substrato 2
 dall'ossidazione di 2 NADH 6
 B - dall'ossidazione di piruvato, 2×15 30
TOTALE: 38

Conservazione dell'energia in respirazione e fermentazione

	$\Delta G_0'$ (kJ/mole)	Efficienza
$\text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{ATP}$	+31.8	
Fermentazione		
Glucosio \rightarrow 2 Lattato	-196	
<u>2</u> ATP formati	+63.6	32 %
Fermentazione		
Glucosio \rightarrow 2 Etanolo + CO_2	-238.8	
<u>2</u> ATP formati	+63.6	27 %
Respirazione		
Glucosio + $6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	-2872.3	
<u>38</u> ATP formati	+1208.4	42%