

I processi metabolici cellulari

La respirazione cellulare

IL METABOLISMO

- Il termine metabolismo si riferisce a tutte quelle reazioni che avvengono nell'organismo; esse si possono dividere in **anaboliche e cataboliche**.
- L'**anabolismo** comprende le reazioni di **sintesi o di formazione**, cioè consiste nel mettere insieme molecole più piccole per formarne altre più grandi. (es. fotosintesi clorofilliana), la sintesi di emoglobina, la sintesi di glicogeno, la sintesi dei lipidi.
- **Catabolismo** significa decomposizione, rompere il legame di grandi molecole per formarne di più piccole. Durante il catabolismo, viene spesso liberata energia usata per sintetizzare ATP.
- La maggior parte delle reazioni anaboliche e cataboliche è catalizzata da enzimi, ciascuno specifico per un solo tipo di reazione.

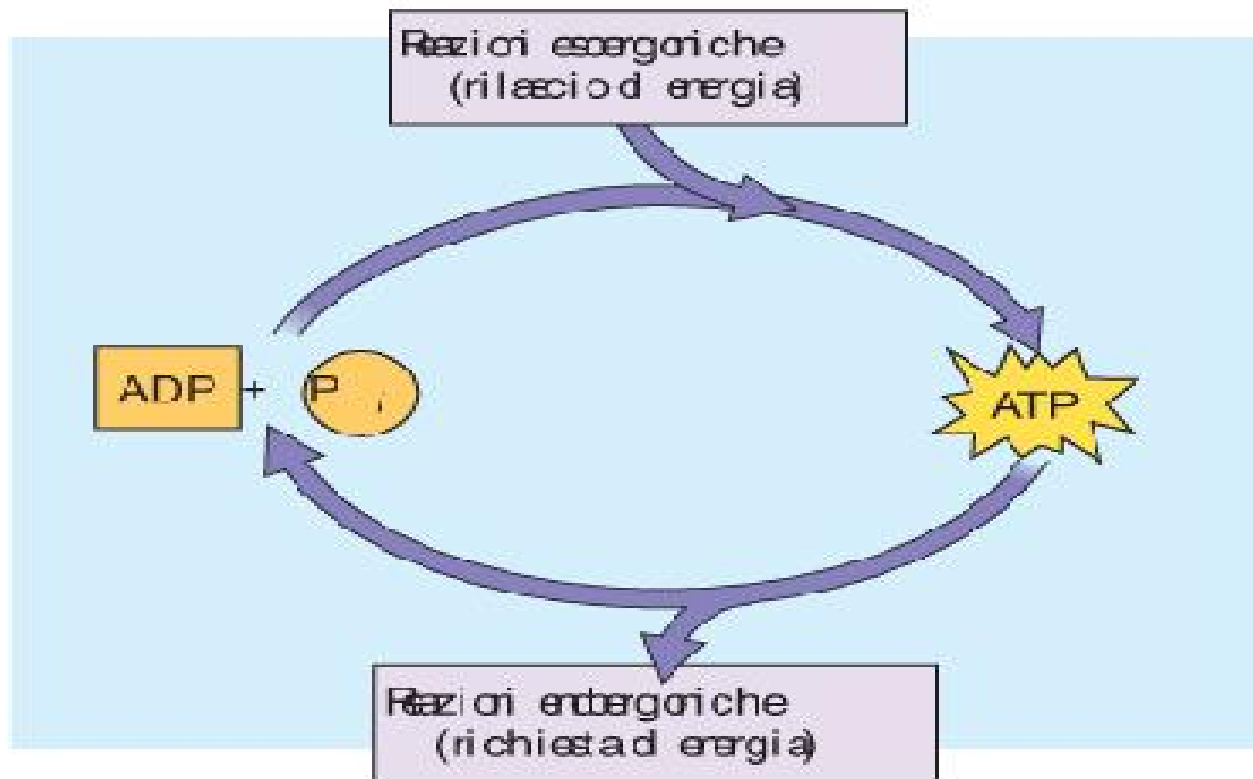


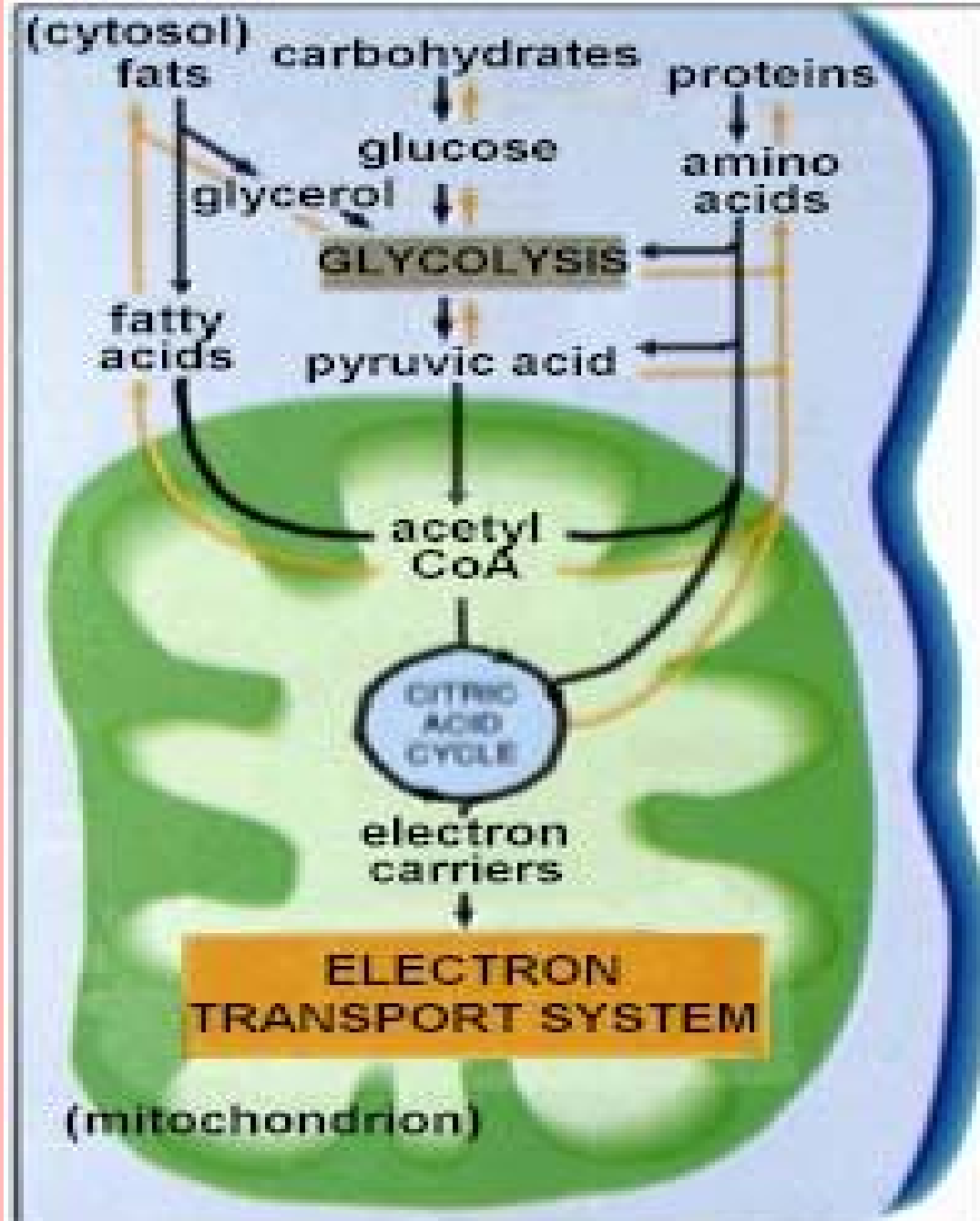
FIGURA 6-6

L'ATP accoppia le reazioni esoergoniche a reazioni endoergoniche.

Le reazioni esoergoniche delle vie cataboliche (*in alto*) forniscono l'energia per la formazione endoergonica di ATP dall'ADP. Al contrario, l'idrolisi esoergonica dell'ATP fornisce l'energia per spingere le reazioni endoergoniche delle vie anaboliche (*in basso*).

RESPIRAZIONE CELLULARE

- È il processo inverso della fotosintesi e si compie all'interno dei mitocondri, organelli presenti anche nelle cellule vegetali.
- **$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{energia}$**
 - **(38 ATP e calore)**
-
- È un processo che avviene in presenza di ossigeno e che comporta la trasformazione dell'energia contenuta nel glucosio in energia chimica sotto forma di legami altamente energetici, contenuti nella molecola di ATP. Per ogni molecola di glucosio si formano 38 molecole di ATP (7.000 calorie x molecola).
- Sotto il profilo energetico, il rendimento della respirazione cellulare è elevato, pari a circa il 40%:
 - 266.000 (calorie in 38 ATP) / 686.000 (calorie in 1 molecola glucosio)
-
- Nelle fermentazioni (strada alternativa per produrre energia) per ogni molecola di glucosio si formano solo 2 molecole di ATP (rendimento energetico del 2%).
-



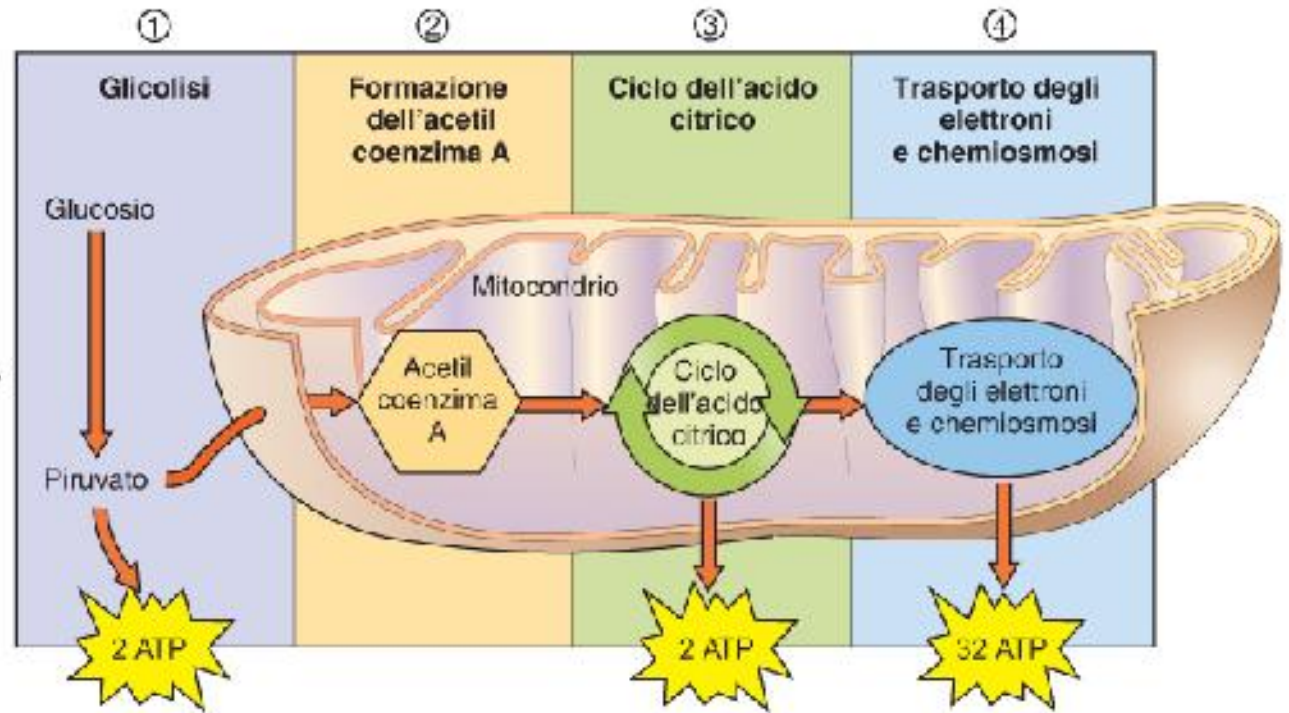


FIGURA 7-2

Le quattro fasi della respirazione aerobica.

① Il primo stadio, la glicolisi, avviene nel citosol. ② Il piruvato, prodotto nella glicolisi, entra nei mitocondri dove la respirazione cellulare prosegue con la formazione dell'acetil coenzima A, ③ il ciclo dell'acido citrico, ④ il sistema di trasporto degli elettroni e la chemiosmosi. La maggior parte dell'ATP è sintetizzata mediante la chemiosmosi.

Glycogen,
starch, sucrose

storage

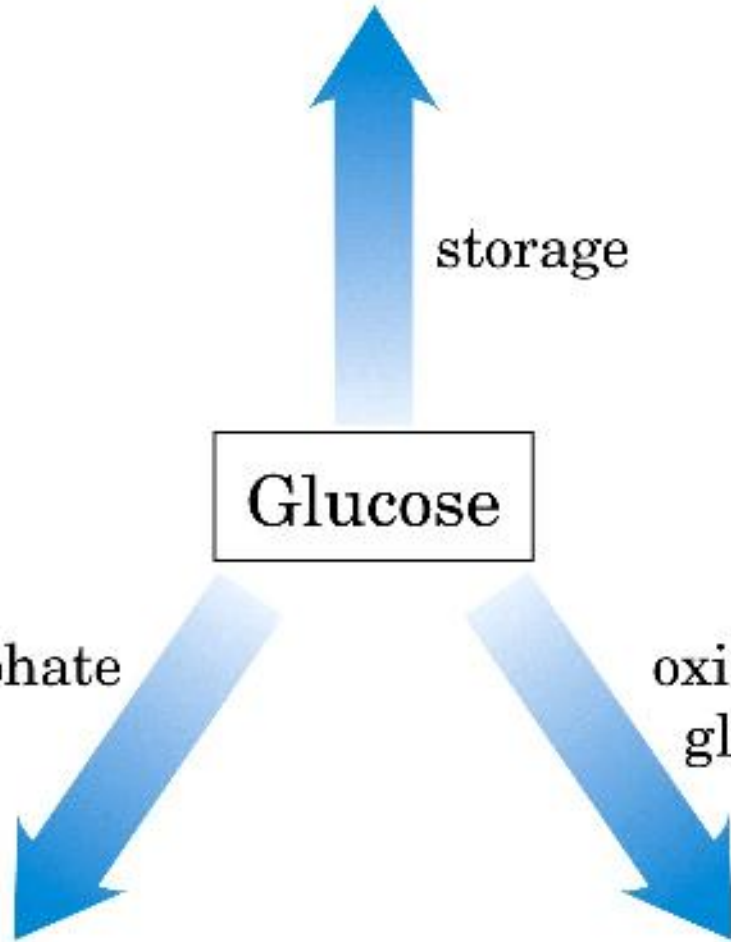
Glucose

oxidation via
pentose phosphate
pathway

oxidation via
glycolysis

Ribose 5-phosphate

Pyruvate



Glucosio viene ossidato attraverso tre sottocicli differenti

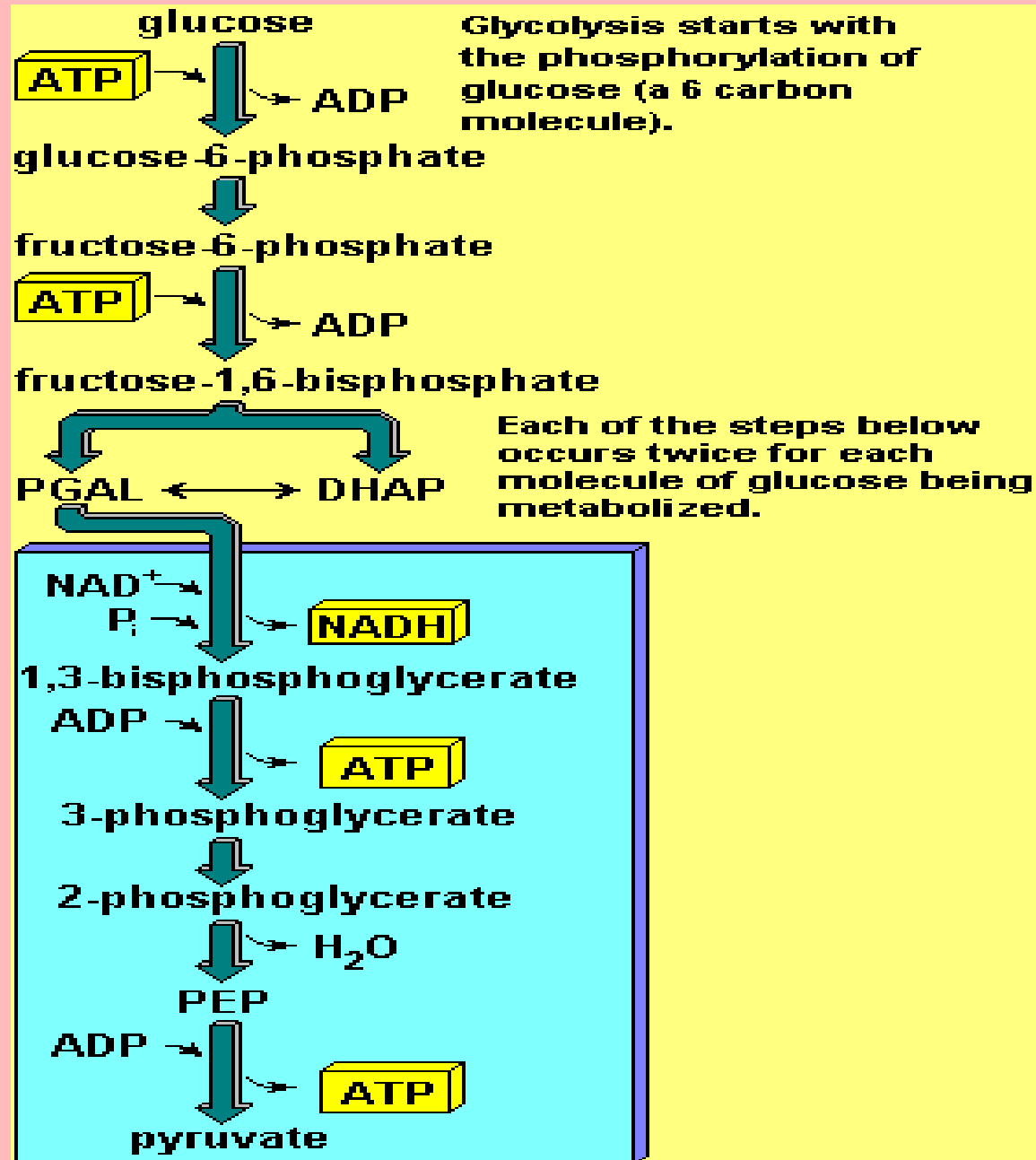
- GLICOLISI (citosol)
- CICLO DI KREBS (mitocondri)
- CATENA DI TRASPORTO DEGLI ELETTRONI (mitocondri)

- Nella glicolisi si ha la scissione della molecola a 6 atomi di carbonio in 2 molecole di acido piruvico a 3 atomi di carbonio.
- L'acido piruvico entra nel ciclo di Krebs e vengono prodotti:
- NADH₂ e FADH₂ che contengono elettroni ad elevati livelli energetici e giocano un ruolo fondamentale nella catena di trasporto degli elettroni.
- In quest'ultima fase vi è la degradazione completa del iniziale piruvato anidride Carbonica ed acqua.

GLICOLISI

- La glicolisi si svolge in nove stadi catalizzati ognuno da un enzima particolare
- Si svolge in tutti gli organismi dai procarioti fino agli eucarioti più complessi.
- Essa avviene nel citoplasma ed in particolare nel citosol a conferma di una certa primitività del processo.
- Nel corso della degradazione vi è un continuo riarrangiamento strutturale ma la peculiarità sta nella produzione di ATP da ADP e NADH₂ da NAD, entrambe molecole ad alta energia.

SCHEMA DELLA GLICOLISI (inserire fig. a pag. 81 del Raven)



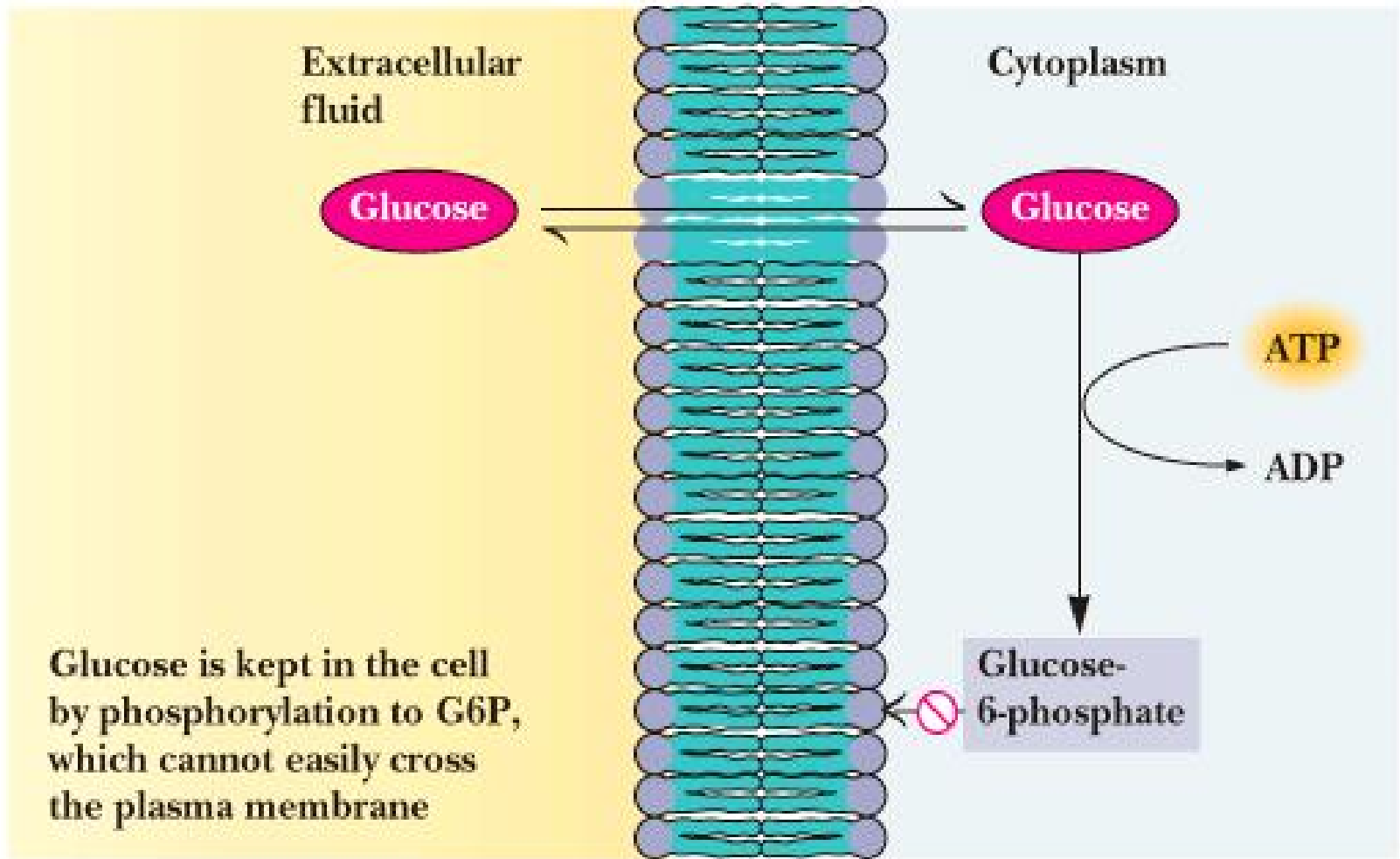
La glicolisi si può riassumere nella seguente reazione generale

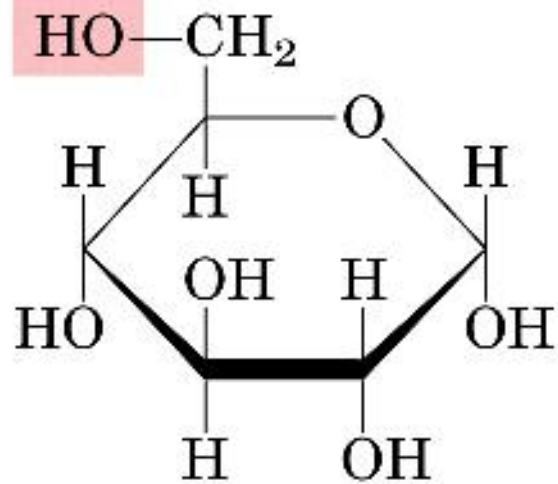


GLUCOSIO

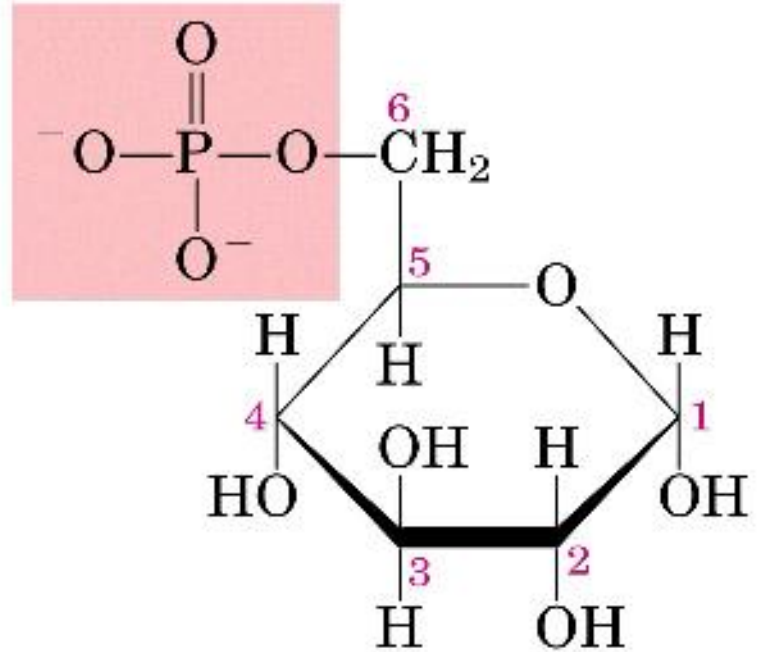
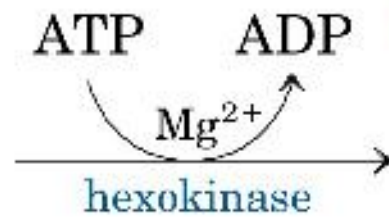
PIRUVATO

una molecola di glucosio è convertita in due molecole di piruvato
Con un guadagno energetico di 2 molecole di ATP e di NADH₂.





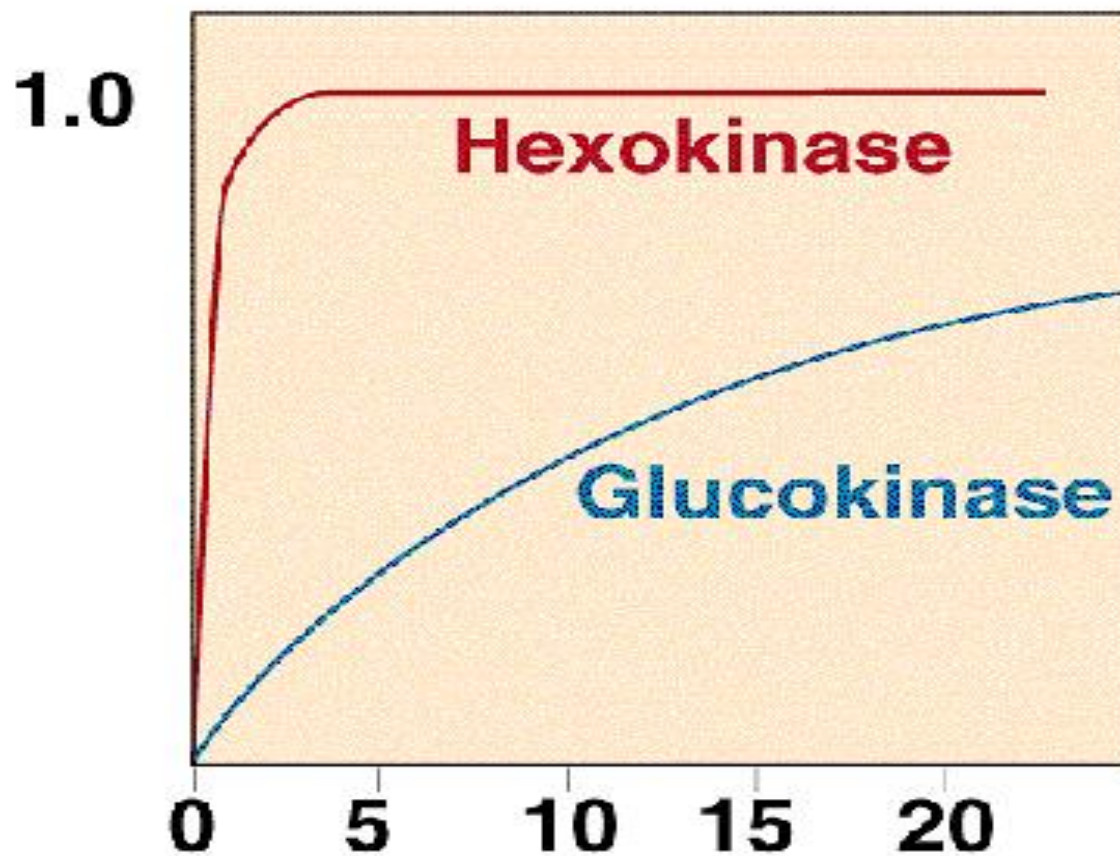
Glucose



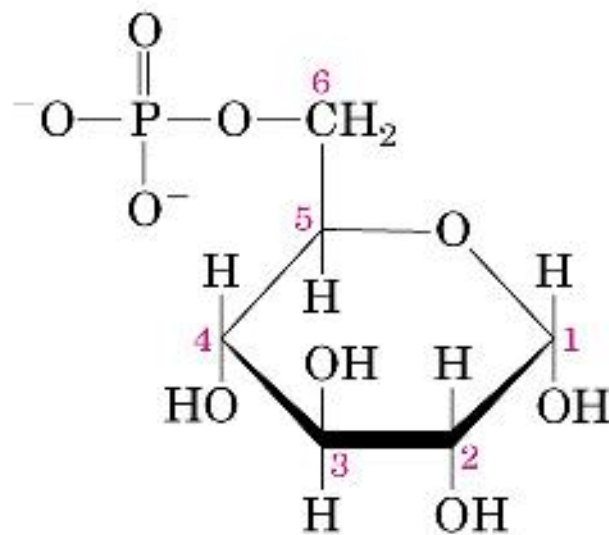
Glucose 6-phosphate

$$\Delta G'^{\circ} = -16.7 \text{ kJ/mol}$$

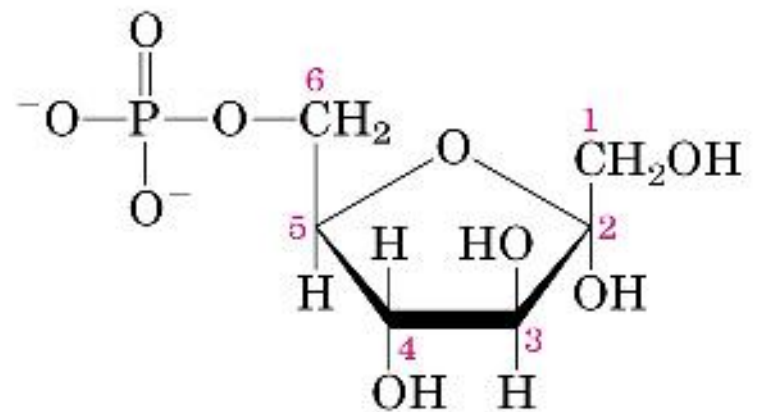
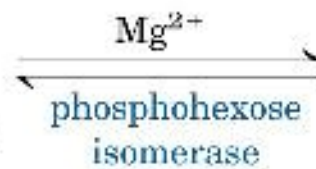
Relative enzyme activity



Glucose concentration (mM)

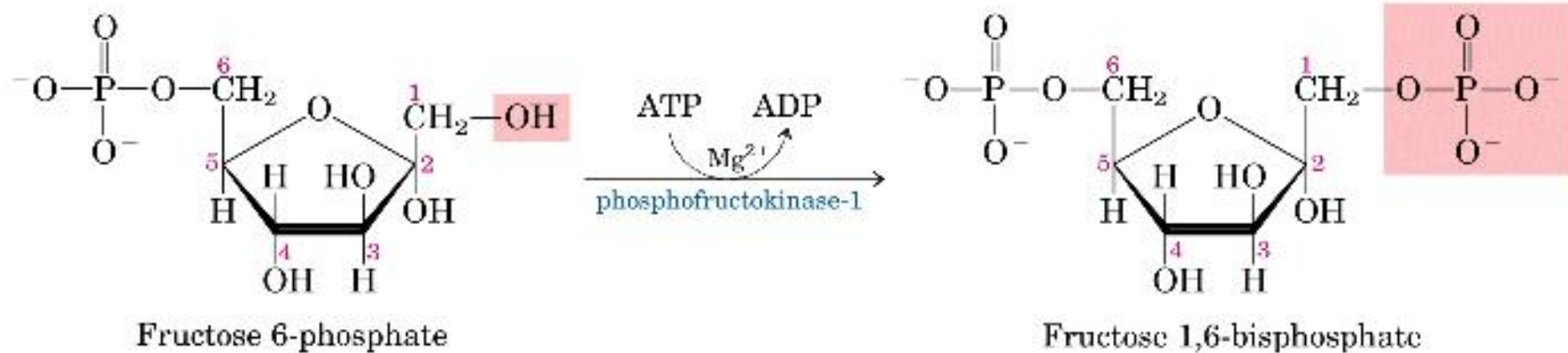


Glucose 6-phosphate

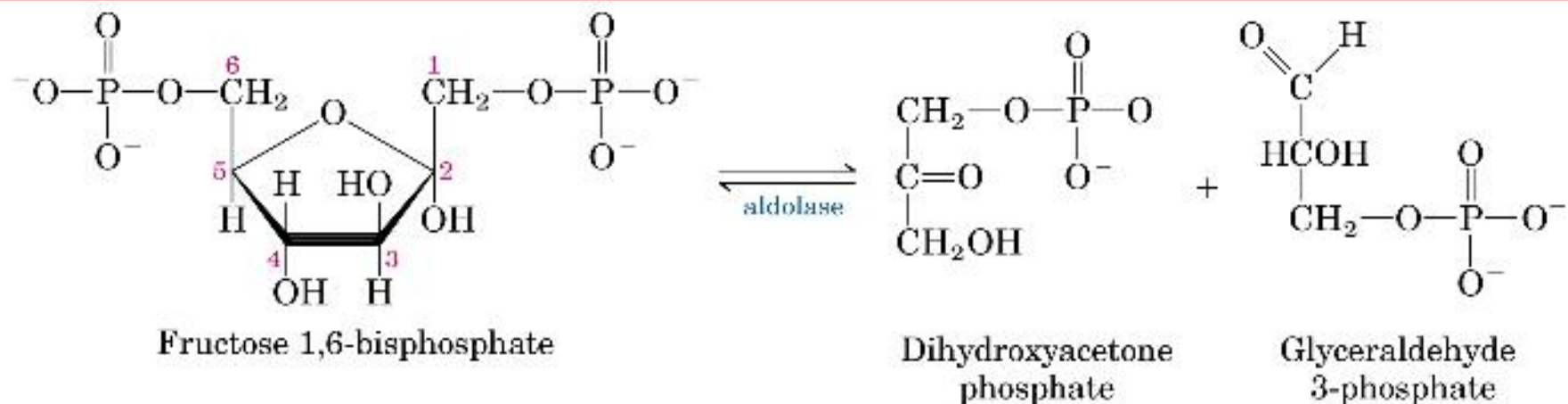


Fructose 6-phosphate

$$\Delta G'^{\circ} = 1.7 \text{ kJ/mol}$$

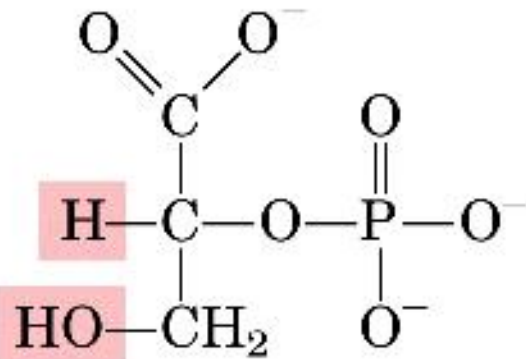


$$\Delta G'^{\circ} = -14.2 \text{ kJ/mol}$$

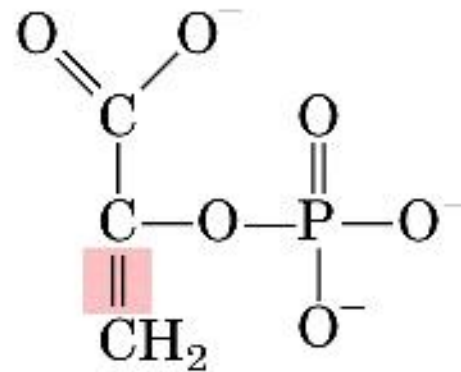
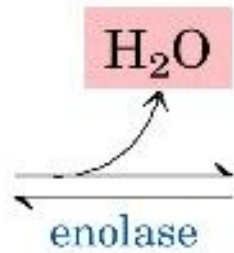


$$\Delta G'^{\circ} = 23.8 \text{ kJ/mol}$$

(bypassando alcuni passaggi biologici)

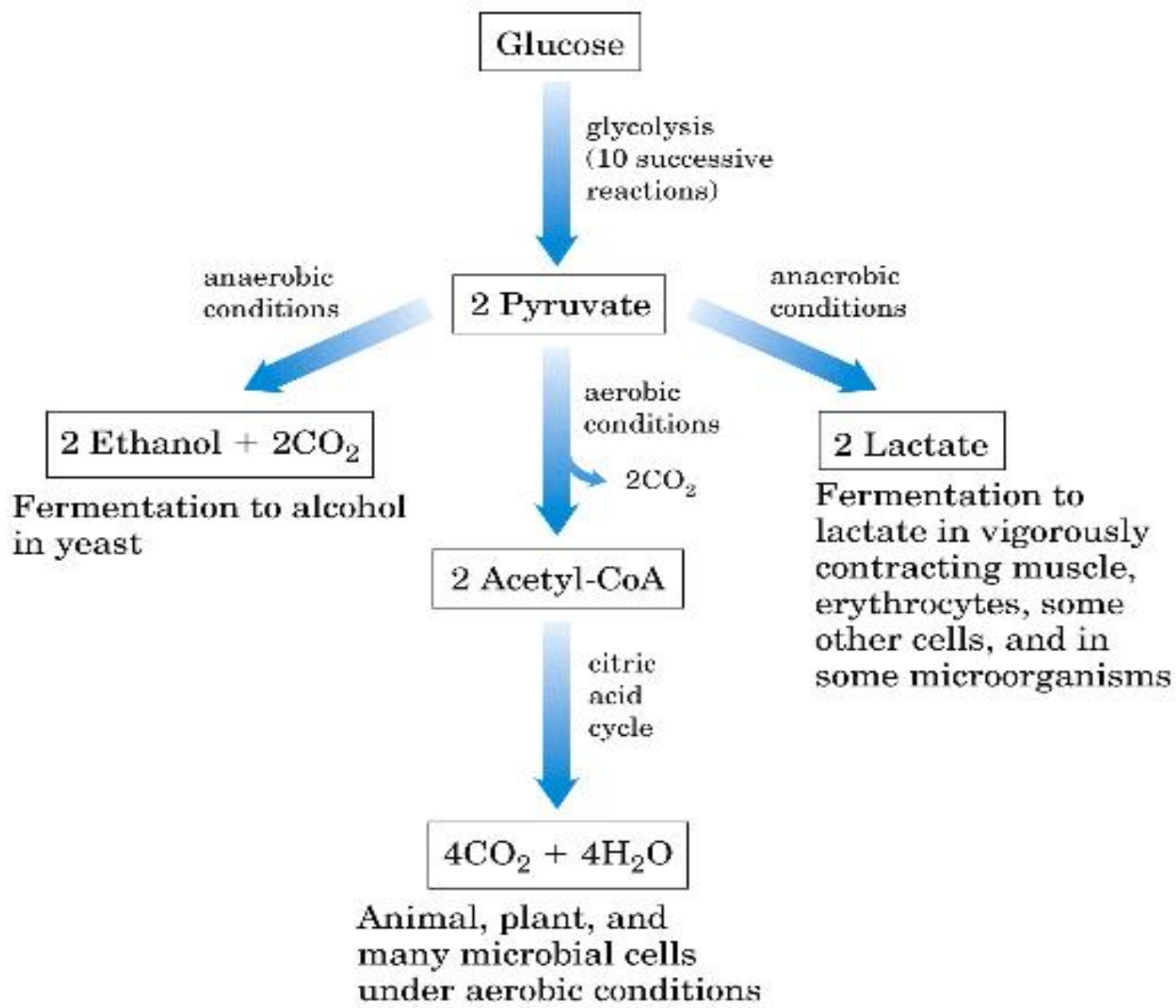


2-Phosphoglycerate



Phosphoenolpyruvate

$$\Delta G'^{\circ} = 7.5 \text{ kJ/mol}$$



CICLO DI KREBS

Prende il nome da sir Hans Krebs che ipotizzò questa via metabolica e per questo ebbe il Premio Nobel nel 1937.

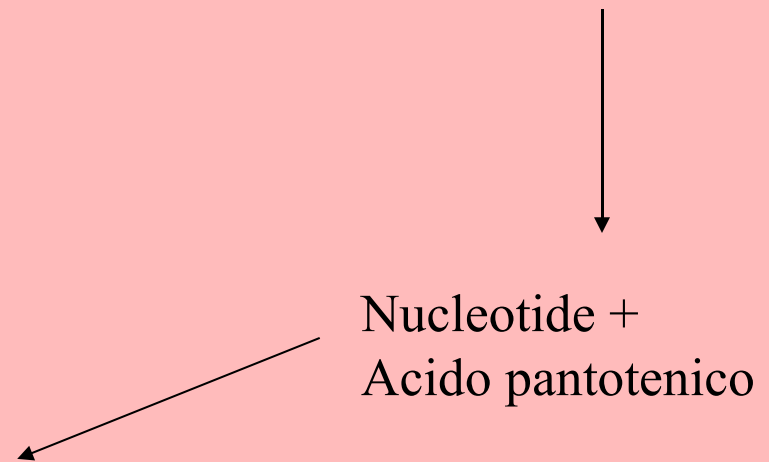
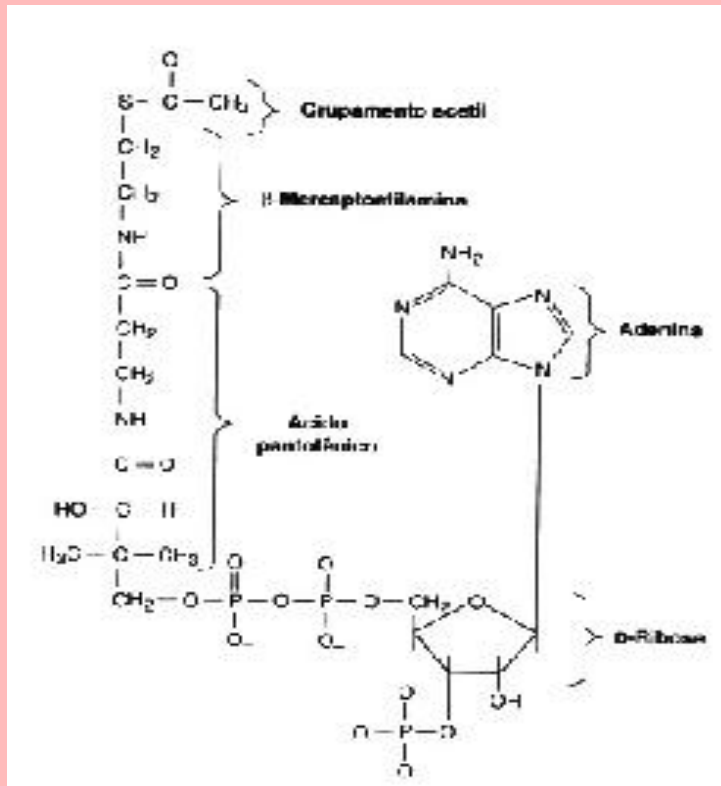
E' anche detto ciclo degli acidi tricarbossilici (TCA) poiché inizia con la formazione di un acido organico, il CITRATO, che presenta tre gruppi carbossilici nella molecola.

Avviene precisamente nella matrice mitocondriale, lo spazio tra la membrana esterna e quella interna, in cui sono presenti enzimi, coenzimi, fosfati presenti in soluzione e coinvolti nella respirazione

Pre-ciclo

Il piruvato non entra direttamente nel ciclo di Krebs ma viene ossidato e Decarbossilato con formazione di 1NADH₂, 1CO₂ e e 1CH₃CO- (GRUPPO ACETILICO).

Quest'ultimo si lega al coenzima A per formare l'acetil-coenzima A (CoA)



Oltre ai carboidrati anche i grassi e gli aminoacidi possono entrare nel ciclo di Krebs in quanto formano Acetil-Coenzima A.

QUASI CICLO

L'acetil-CoA si lega si combina con un composto a 4 atomi di C, l' OSSALACETATO, dando un composto a 6 atomi di C, il CITRATO

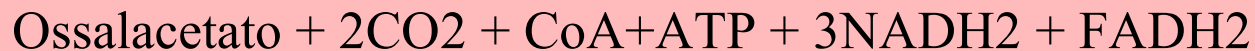
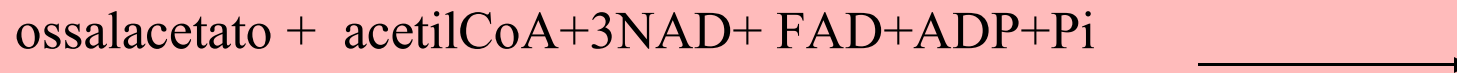
E FINALMENTE.....CICLO DI KREBS (FUOCHINO!)

Per ogni giro del ciclo si ha la degradazione di un gruppo acetilico e la rigenerazione Di ossalacetato che permette al ciclo di ricominciare.
Il passaggio energetico permette la produzione di FADH₂ e NADH₂ e ATP.

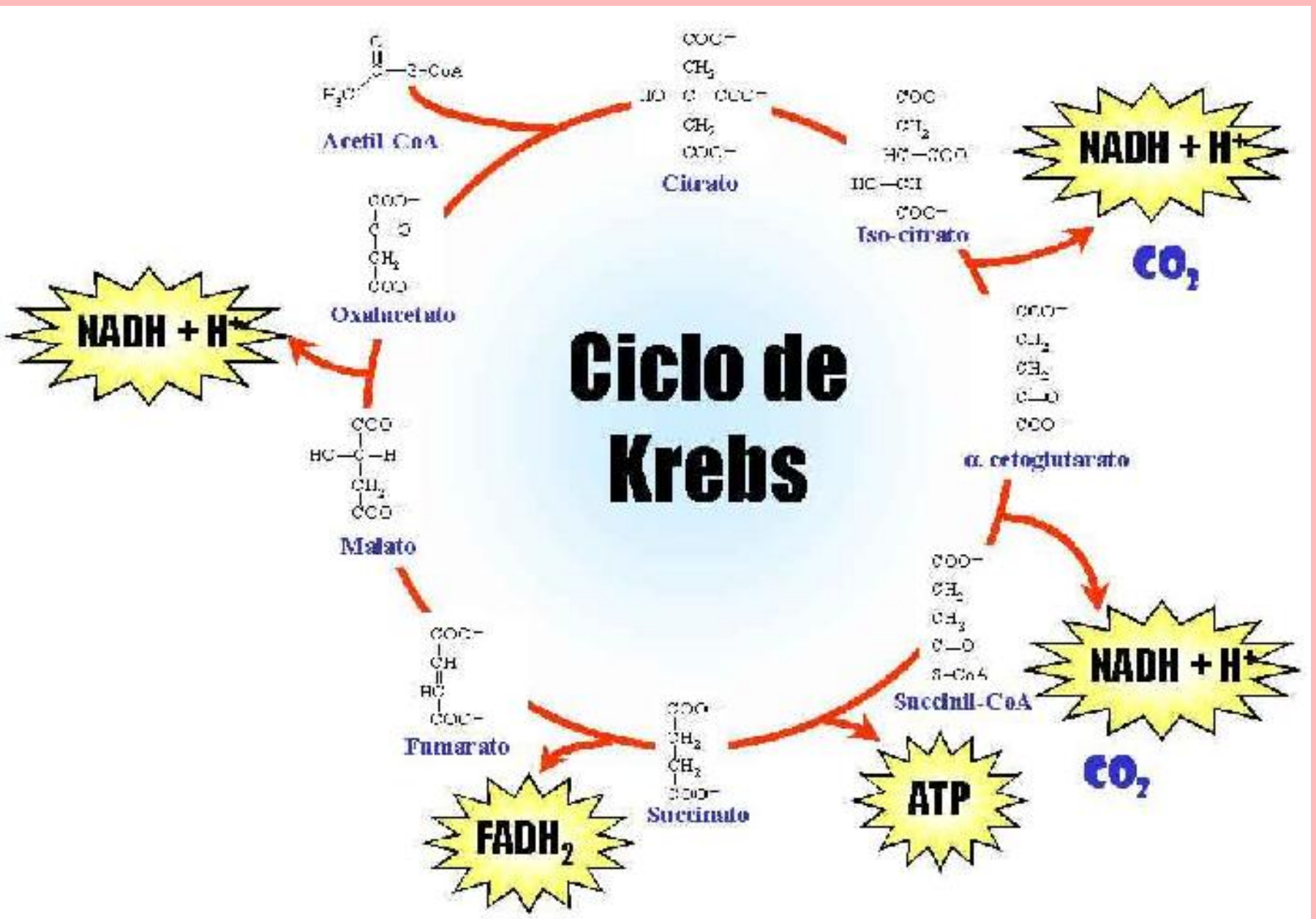
CICLO DI KREBS

Inserire FIG. 6.6 a pag. 84

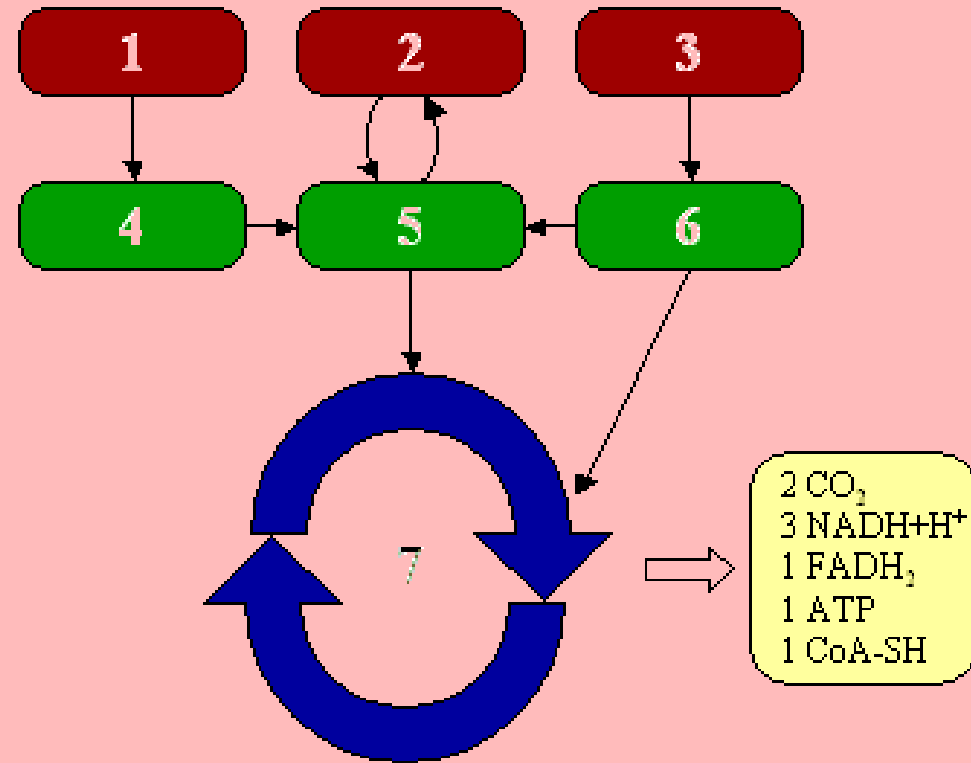
La reazione totale del ciclo di Krebs è così sintetizzata:



Molecola	Enzima	Tipo di reazione	Reagenti/ Coenzimi	Prodotti/ Coenzimi
I. Citrato	1. Aconitase	Deidratazione		H ₂ O
II. <i>cis</i> -Aconitate	2. Aconitasi	Idratazione	H ₂ O	
III. Isocitrato	3. Isocitrato Deidrogenasi	Ossidazione	NAD ⁺	NADH+H ⁺
IV. Oxalosuccinato	4. Isocitrato Deidrogenasi	Decarbossilazione		
V. α -Chetoglutarato	5. α -Chetoglutarato Deidrogenasi	Decarbossilazione ossidativa	NAD ⁺ CoA-SH	NADH+H ⁺ CO ₂
VI. Succinil-CoA	6. Succinil-CoA sintetasi	Idrolisi	GDP P _i	GTP CoA-SH
VII. Succinato	7. Succinato deidrogenasi	Ossidazione	FAD	FADH ₂
VIII. Fumarato	8. Fumarasi	Addizione (H ₂ O)	H ₂ O	
IX. L-Malato	9. Malato deidrogenasi	Ossidazione	NAD ⁺	NADH+H ⁺
X. Acido ossalacetico	10. Citrato sintetasi	Condensazione		
XI. Acetil-CoA				



Schema delle maggiori vie metaboliche che sono associate con il ciclo di Krebs



Legenda

1. Catabolismo dei grassi
2. Carboidrati
3. Amminoacidi
4. Acetil-CoA
5. Piruvato
6. Ciclo dell'Acido citrico

CATENA DI TRASPORTO DEGLI ELETTRONI

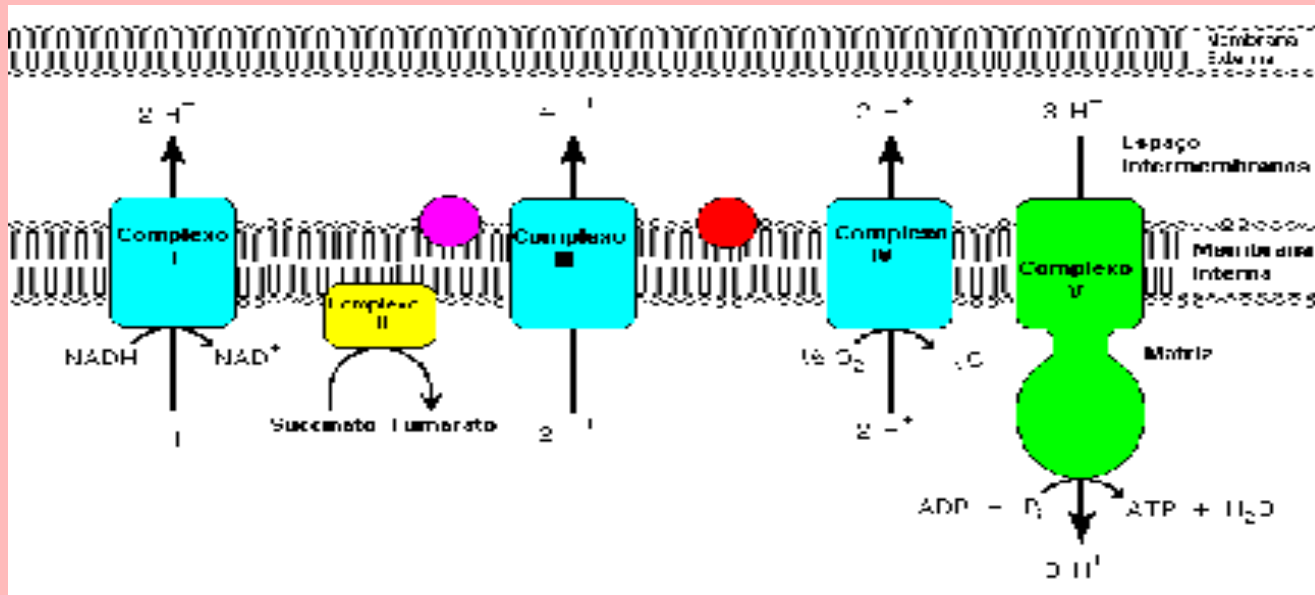
La respirazione cellulare si conclude con la cessione degli atomi di H^+ Da $NADH_2$ E $FADH_2$ all'ossigeno con la produzione di acqua.

Questa ultima fase della respirazione cellulare produce la maggior parte delle Molecole di ATP sintetizzate.

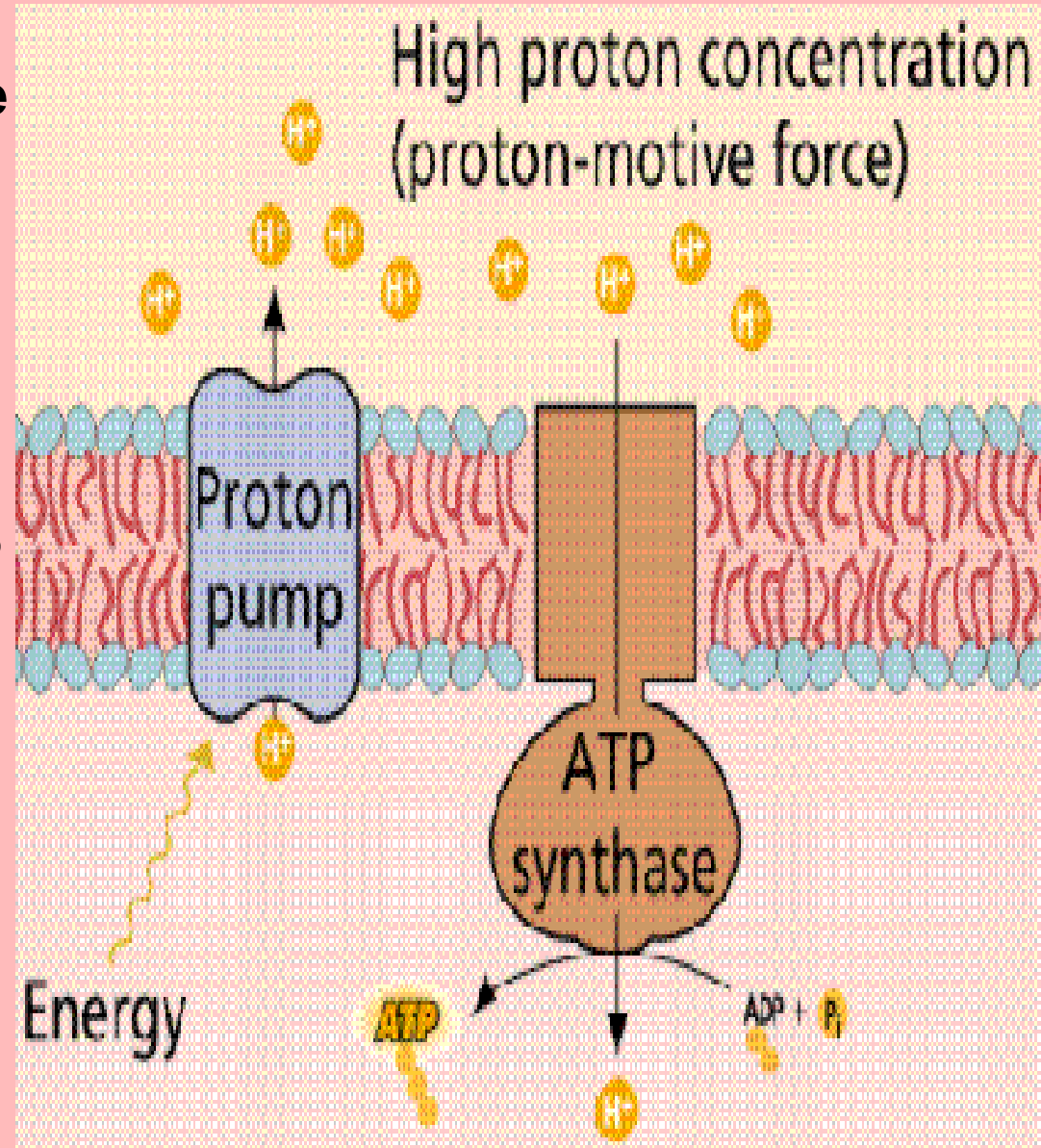
I trasportatori di elettroni trasferiscono l'energia accumulata soprattutto ad una catena Di trasporto degli elettroni costituiti prevalentemente da citocromi.

Fig. 8 a pag. 91 del libro di biologia.

Spiegare FMN e CoenzimaQ.

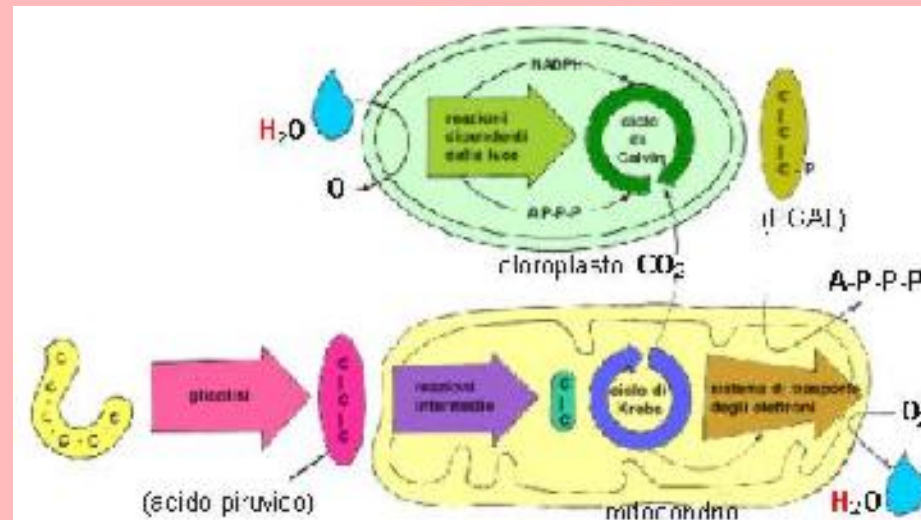


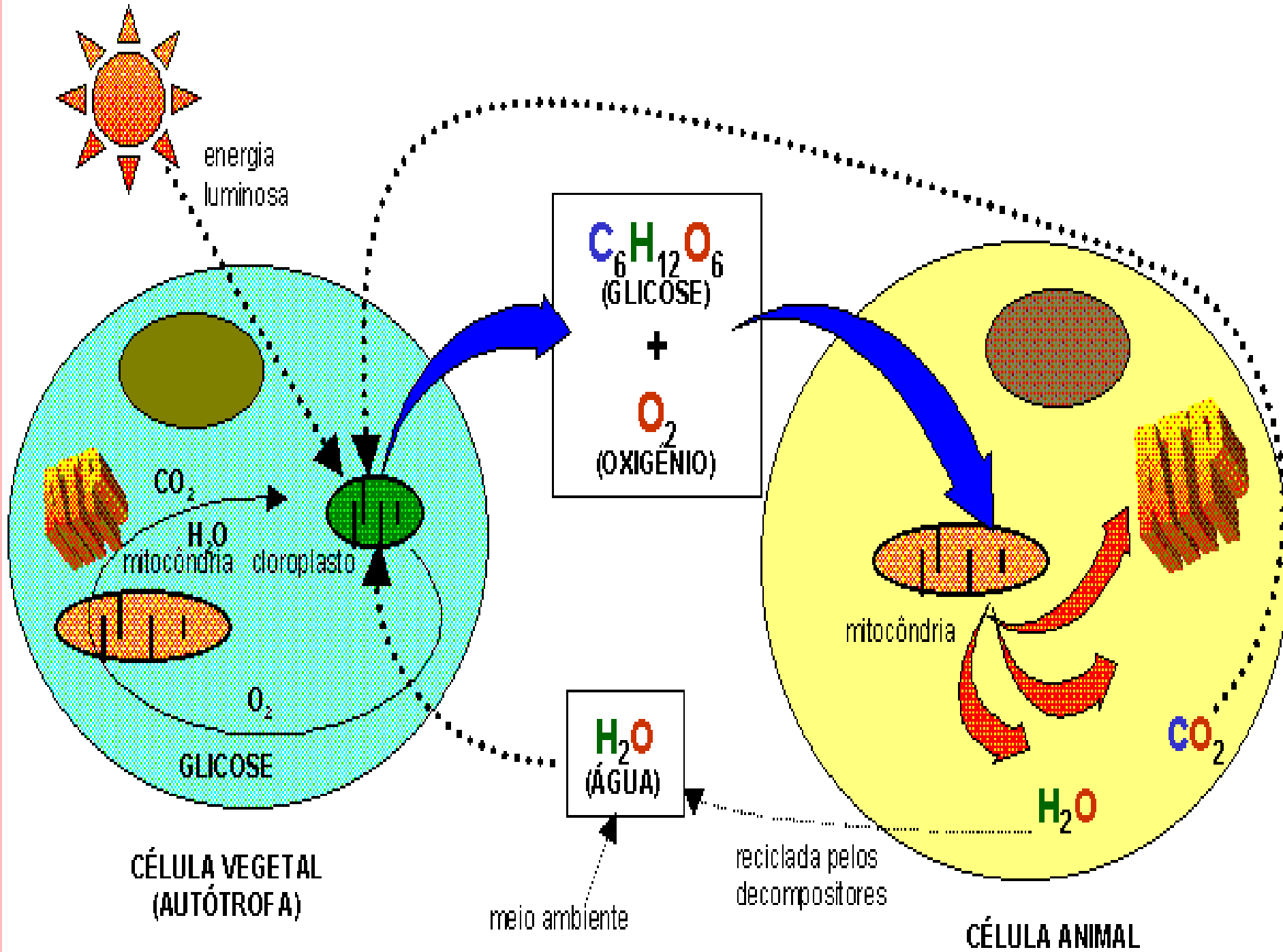
- Il trasporto degli elettroni e la sintesi dell' ATP sono **accoppiati da un gradiente protonico** che si forma attraverso la membrana mitocondriale interna
- I protoni vengono pompati attraverso la membrana mitocondriale interna nello **spazio intermembrana** dove si ha una **concentrazione protonica >> di quella della matrice mitocondriale**



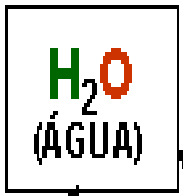
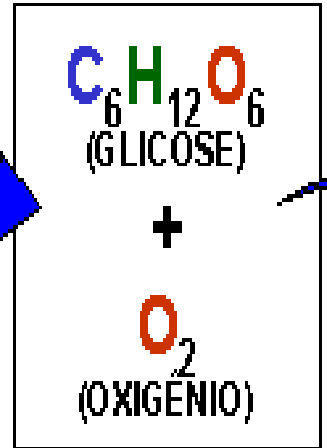
Relazione fra fotosintesi e respirazione (1)

Osservando le equazioni generali della fotosintesi, e della respirazione cellulare si può considerare che i reagenti della prima reazione (acqua e diossido di carbonio) sono i prodotti finali della respirazione cellulare; la prima reazione, inoltre, è endoergonica, mentre la respirazione cellulare è esoergonica. I due processi possono quindi essere considerati interdipendenti. Nella fotosintesi le piante e le alghe producono glucosio, composto ad alto contenuto energetico.





energia luminosa



CÉLULA VEGETAL
(AUTÓTROFA)

meio ambiente

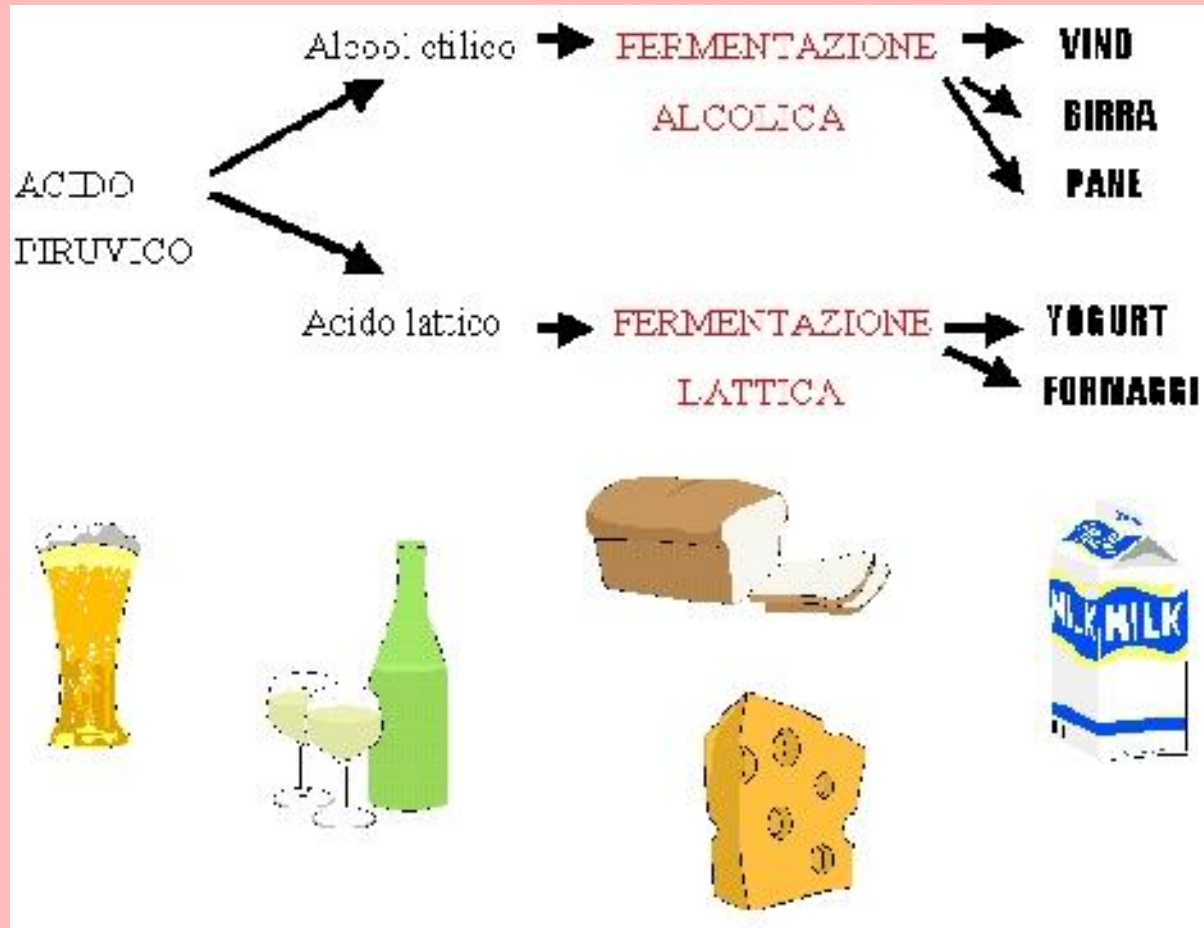
reciclada pelos decompositores

CÉLULA ANIMAL

Quando un erbivoro si nutre di una pianta (che è un produttore) trasferisce l'energia chimica del glucosio in una catena alimentare. Nelle cellule il glucosio viene demolito, generalmente per via ossidativa attraverso la respirazione cellulare, liberando la propria energia chimica che è utilizzata per ricaricare l'ATP, disponibile per le diverse attività cellulari. L'energia del Sole passa in questo modo a tutti gli organismi viventi, autotrofi o eterotrofi. L'acqua e il biossido di carbonio, prodotti finali della respirazione cellulare possono essere nuovamente utilizzati dagli autotrofi per produrre glucosio attraverso la fotosintesi.

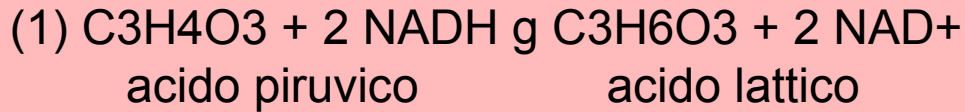
	Fotosintesi	Respirazione cellulare
reagenti	acqua e anidride carbonica	glucosio e ossigeno
prodotti	glucosio e ossigeno	acqua e anidride carbonica
equazione generale	$6H_2O + 6CO_2 \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$	$6H_2O + 6CO_2 \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$
metabolismo energetico	endoergonica	esoergonica

METABOLISMO ANAEROBICO

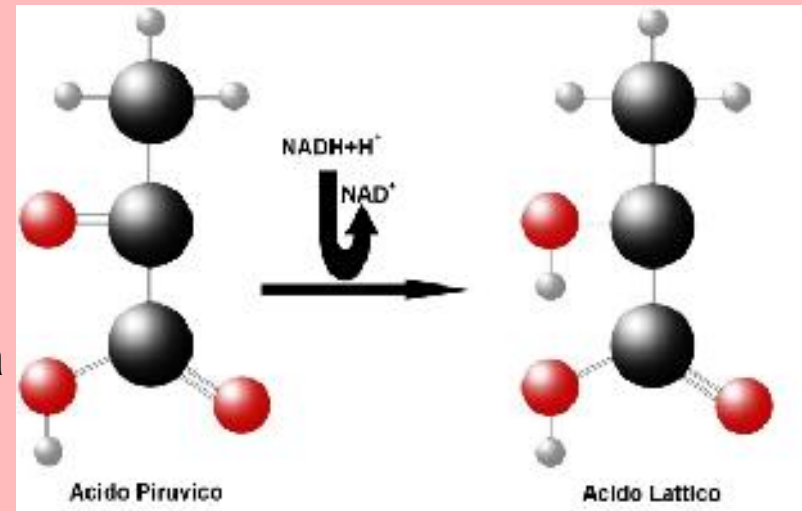


fermentazione lattica

Un gruppo di organismi anaerobi degrada l'acido piruvico producendo come prodotto finale acido lattico.



I batteri che determinano questa reazione appartengono al genere *Lactobacillus* e vengono utilizzati nell'industria casearia per la produzione delle diverse qualità di yogurt. Questa reazione avviene anche a carico degli organismi aerobi durante periodi di scarsa ossigenazione cellulare, ad esempio durante uno sforzo muscolare prolungato. Le cellule muscolari dopo aver consumato tutto l'ossigeno non possono fare altro che fermentare l'acido piruvico per recuperare i trasportatori di idrogeni ed elettroni. L'accumulo di acido lattico provoca dolori muscolari e riduce le prestazioni durante lo sforzo. Un adeguato periodo di riposo permetterà di allontanare l'acido lattico e di demolirlo nel fegato, restituendo la piena efficacia muscolare all'individuo.

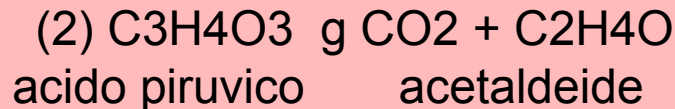


Fermentazione alcolica

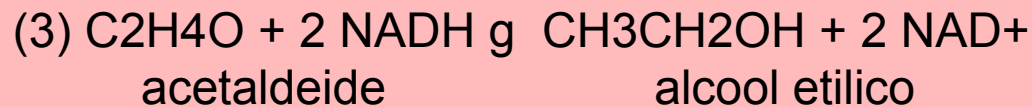
Un altro tipo di fermentazione, molto utilizzato in ambito alimentare, è la fermentazione alcolica, prodotta dai lieviti, appartenenti al genere *Saccharomyces*, presenti sulle bucce dell'uva al momento della raccolta.

Gli zuccheri presenti nel mosto verranno degradati liberando CO₂ e alcool etilico, consumando in questo modo l'*NADH* prodotto dalla glicolisi.

La reazione comincia con la liberazione di una molecola di CO₂ e produzione di acetaldeide.



La seconda parte della fermentazione trasforma l'acetaldeide in alcool etilico.



L'effervescenza del vino nuovo deriva dalla produzione di anidride carbonica durante la prima parte della fermentazione.

- L'acido piruvico entra nel ciclo di Krebs
- vengono prodotti NADH_2 e FADH_2 che contengono elettroni ad elevati livelli energetici e giocano un ruolo fondamentale nella catena di trasporto degli elettroni.

