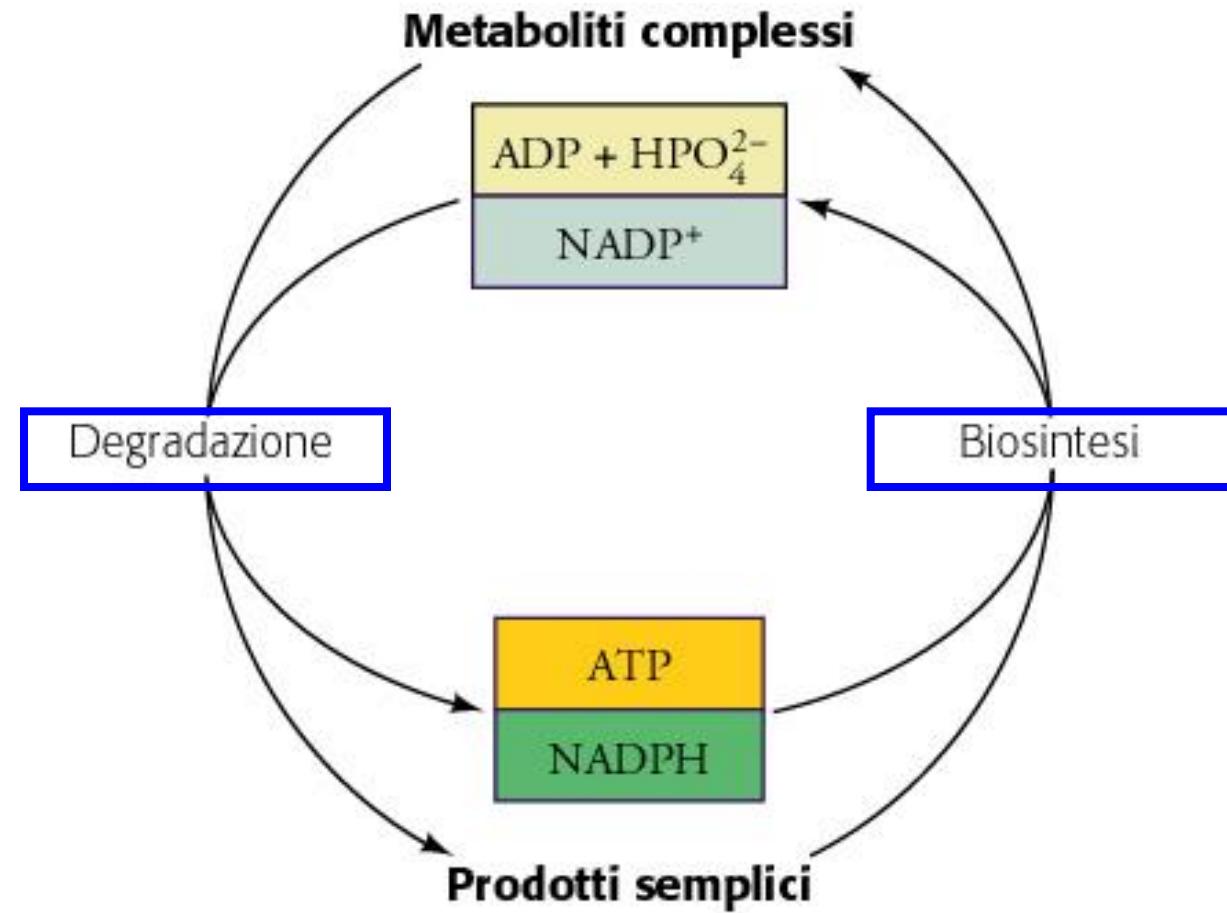


Il **METABOLISMO** comprende la totalità dei processi attraverso i quali gli esseri viventi ricavano e utilizzano energia secondo i limiti imposti dalle leggi della termodinamica :

**Catabolismo** = degradazione di composti per recuperare i loro componenti e/o produrre energia

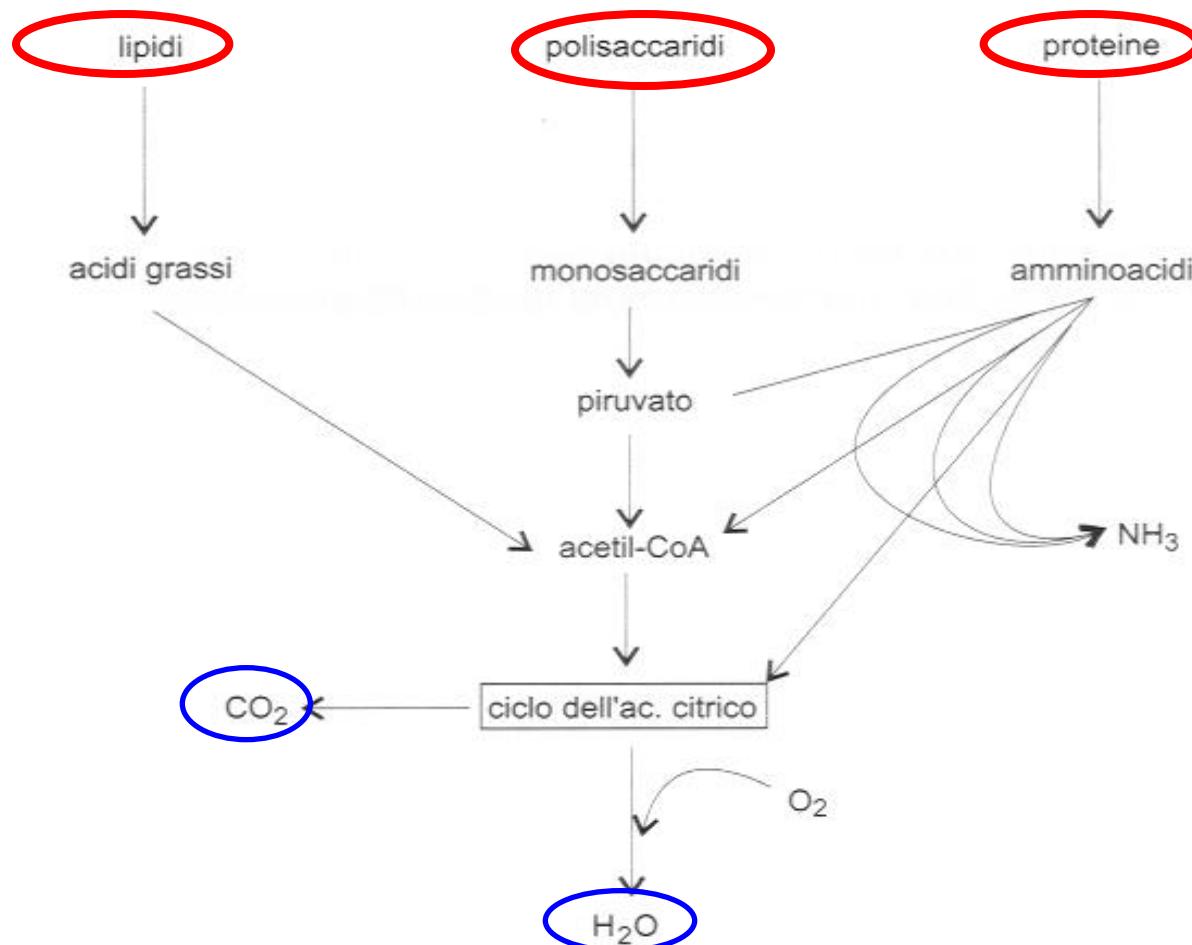
**Anabolismo** = biosintesi di molecole a partire da composti più semplici.

Le vie anaboliche e cataboliche sono in relazione fra loro

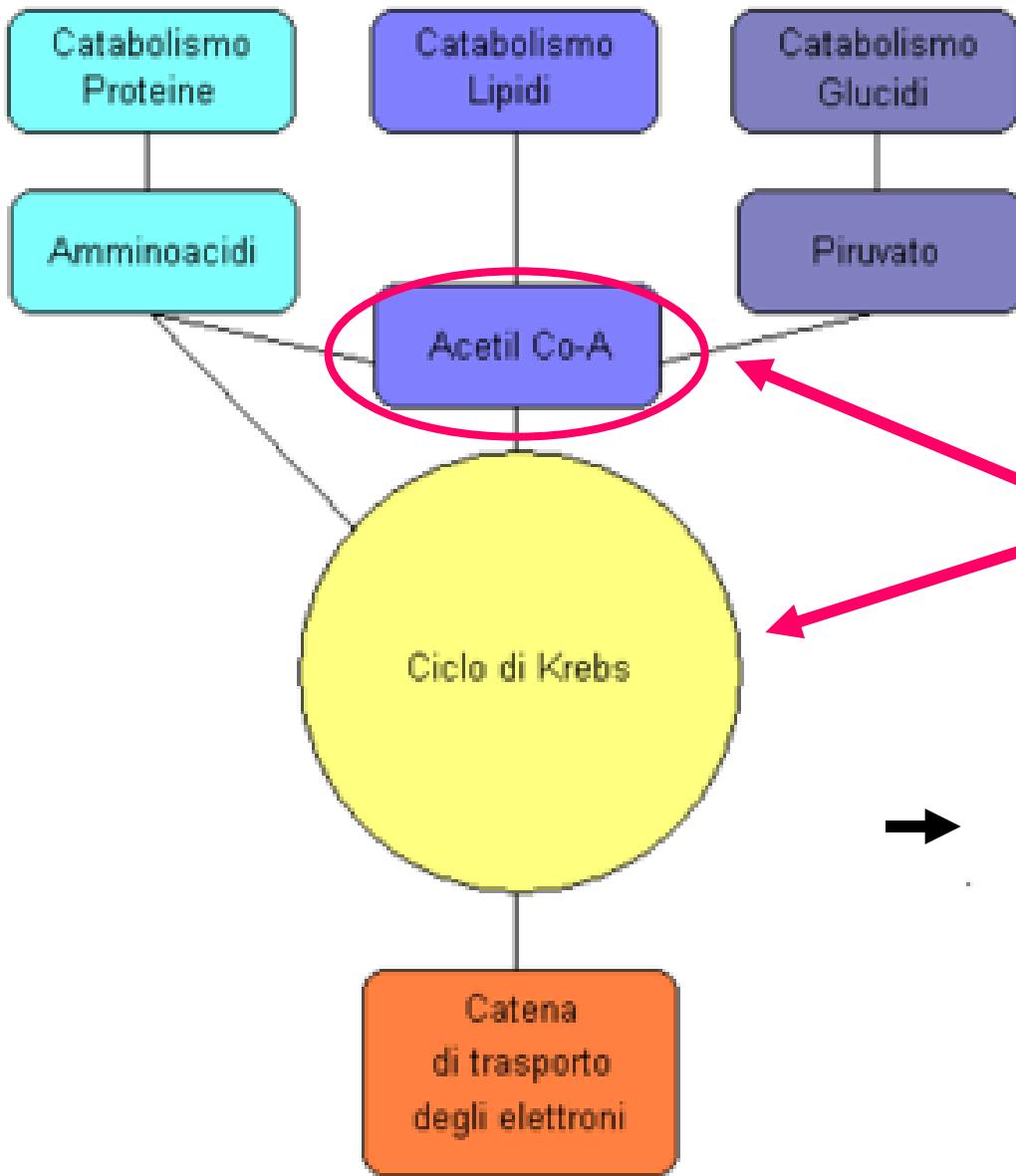


**Le vie cataboliche** di : lipidi, proteine, carboidrati convergono verso la sintesi di *intermedi comuni* che vengono successivamente ossidati in una via metabolica centrale.

La via catabolica finale è comune  $\longrightarrow$  ossidazione a  $CO_2$  e  $H_2O$



**Nelle vie biosintetiche** avviene il processo opposto: un numero relativamente basso di metaboliti serve da materiale di partenza per la produzione di una grande varietà di prodotti



*le grosse molecole sono degradate nei loro costituenti principali e poi in intermedi ancora + semplici*

punto di incontro = ***Via anfibolica***

può essere usata nel senso del catabolismo o nel senso dell'anabolismo

Il ***ciclo dell'acido citrico o ciclo di Krebs*** oltre ad essere centrale nel metabolismo energetico è anche una fonte di precursori fondamentali per alcune biosintesi ***è una via anfibolica***

**Le vie cataboliche sono convergenti**

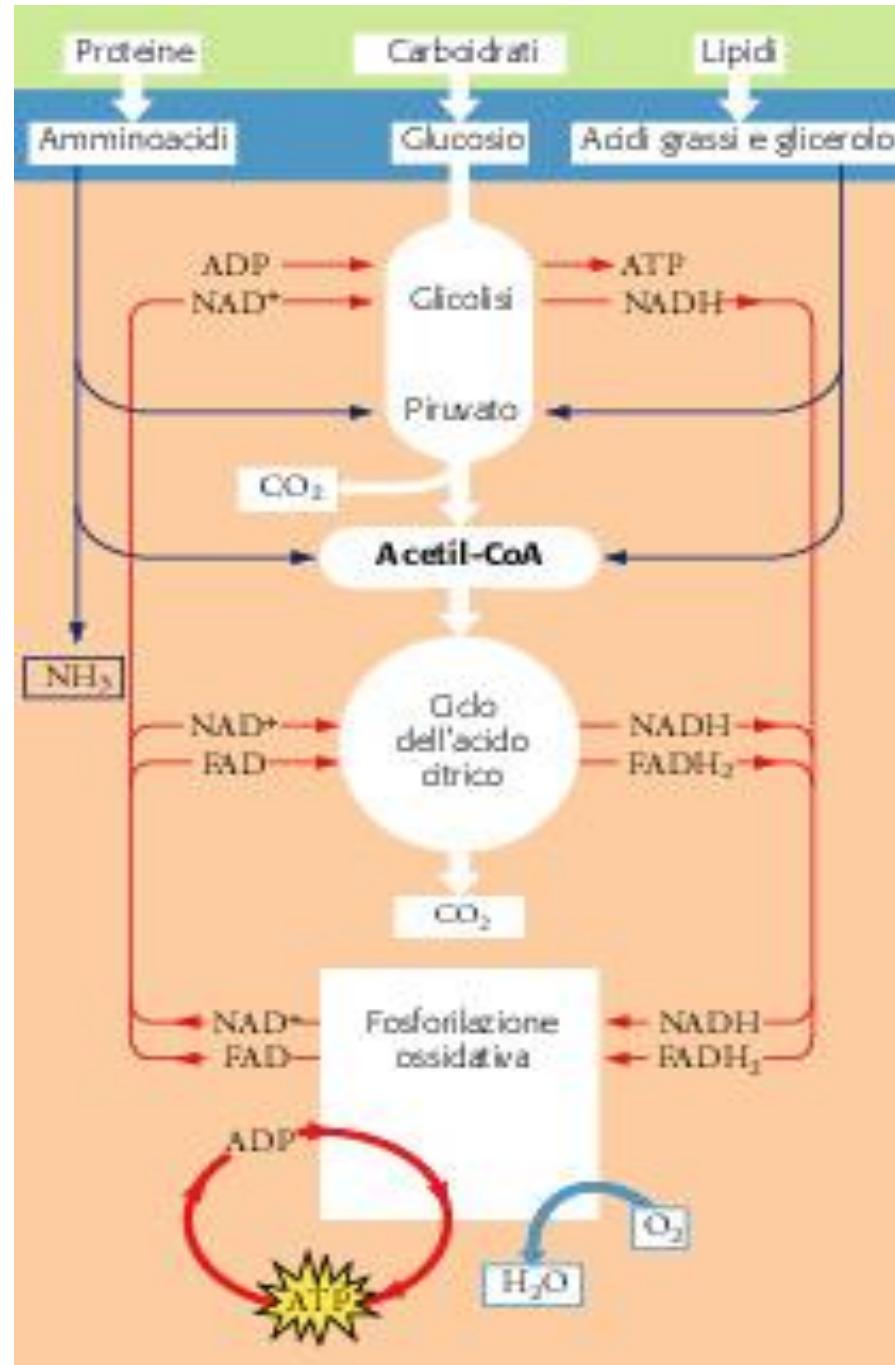
**Le vie anaboliche sono divergenti**

Le vie cataboliche e anaboliche

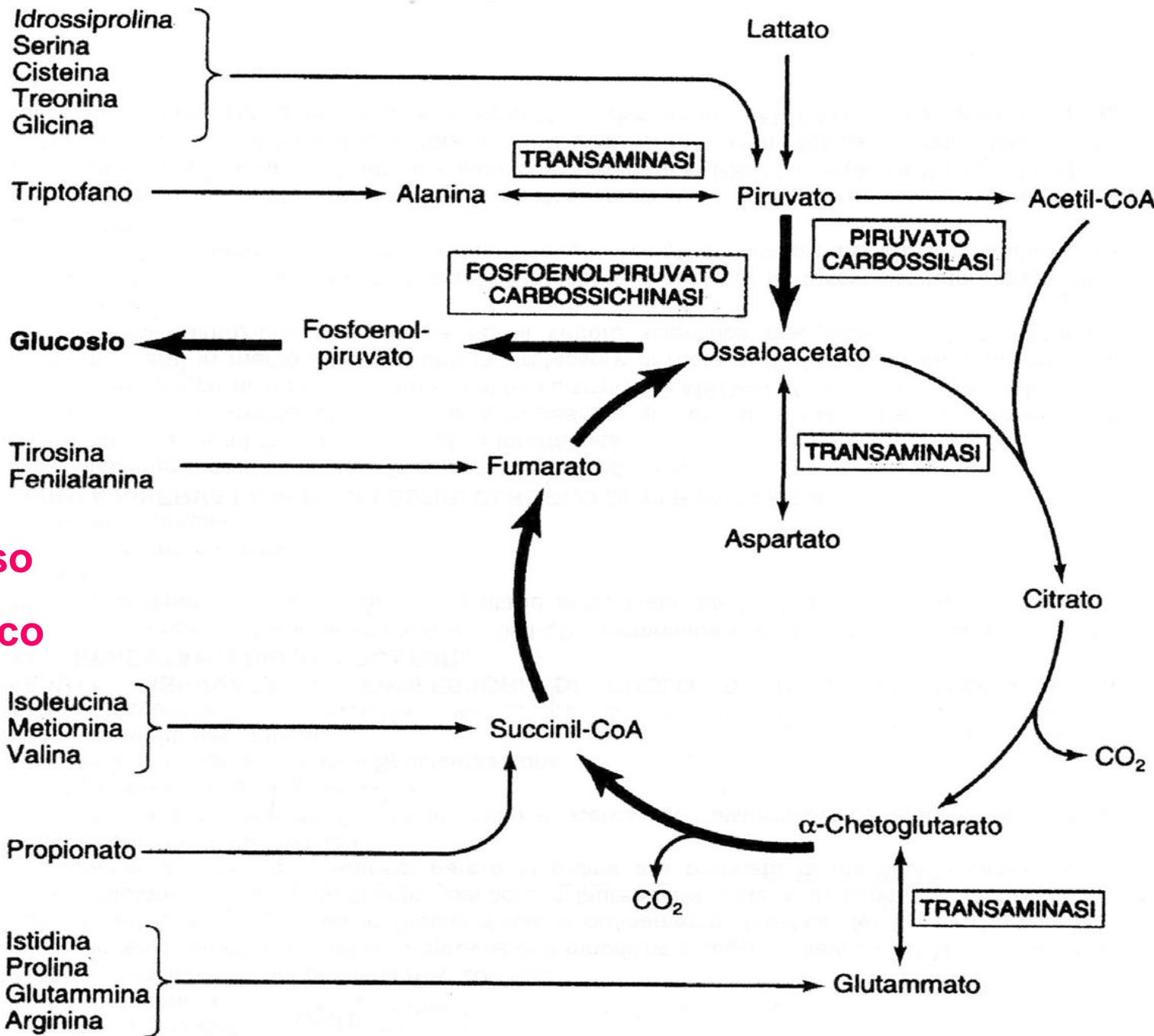
non sono in genere l'inverso l'una dell'altra

*La degradazione di una molecola organica complessa è un processo in discesa dal punto di vista energetico,  
la sua sintesi è un processo in salita*

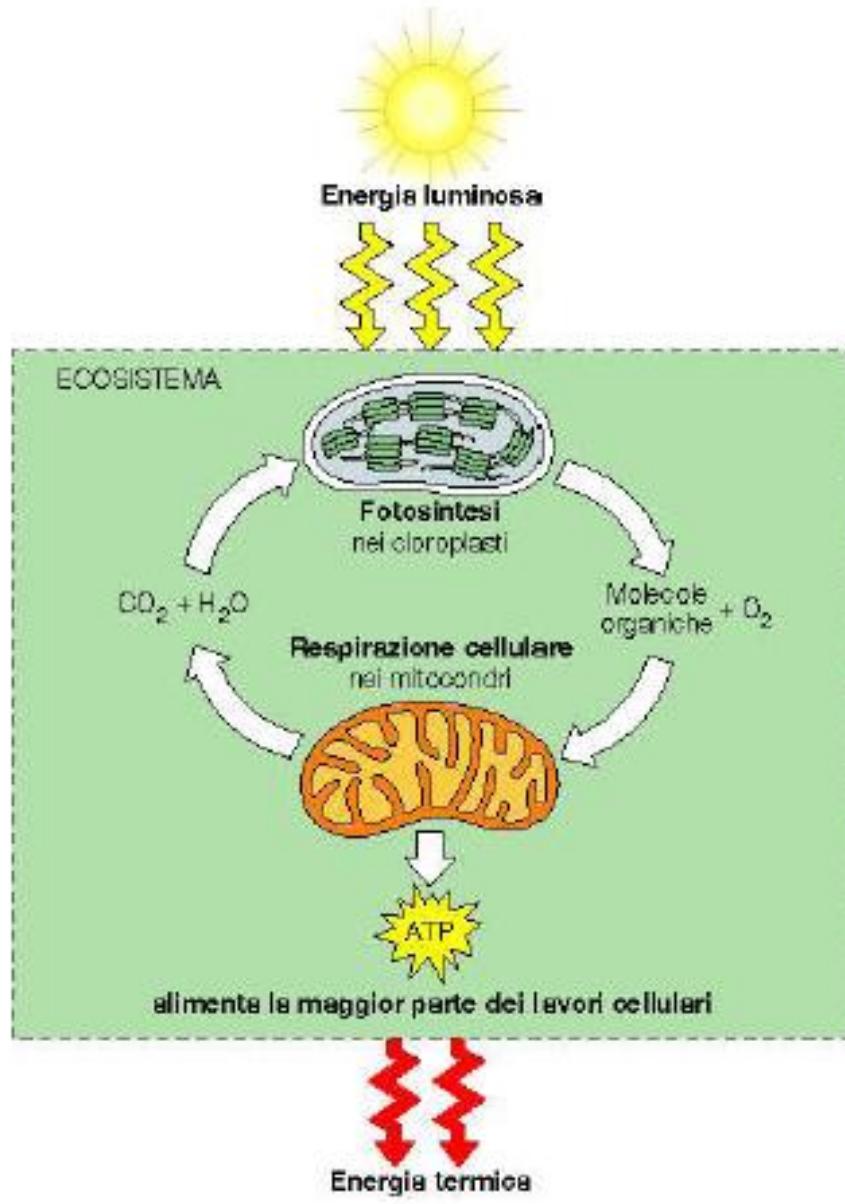
**La via seguita nel catabolismo è energeticamente impossibile per l'anabolismo**



**Ciclo  
di  
Krebs:  
processo  
anfibolico**

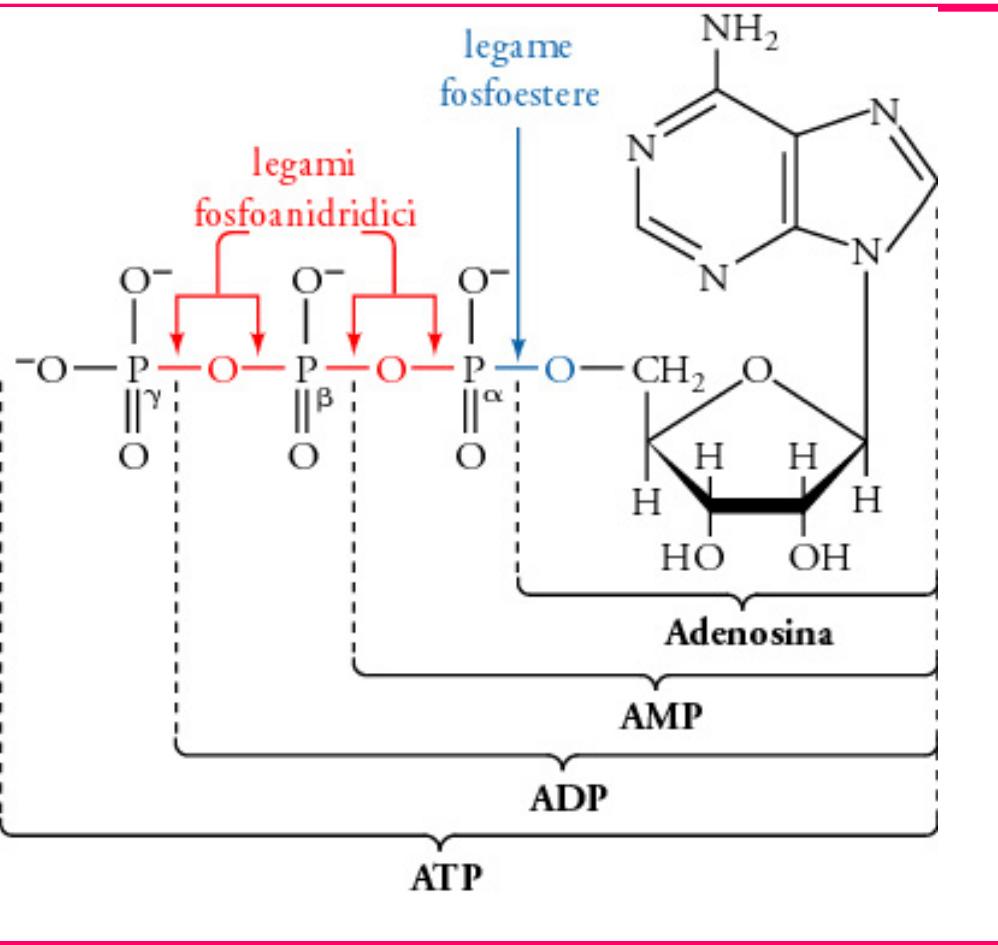


# Flusso dell'energia



Il **catabolismo ossidativo** procede a tappe e l'energia rilasciata viene recuperata e conservata mediante la sintesi di **pochi intermedi ad alta energia**.

→ La conseguente demolizione di tali intermedi consente lo svolgimento dei processi endoergonici



I legami anidride dell'ATP sono ad alta energia  
 La loro rottura porta a forti riduzioni di en.libera  
 del sistema con un

$$\Delta G \text{ di idrolisi} = -30,5 \text{ kJ/mole}$$

$$-7 \text{ Kcal/mole}$$

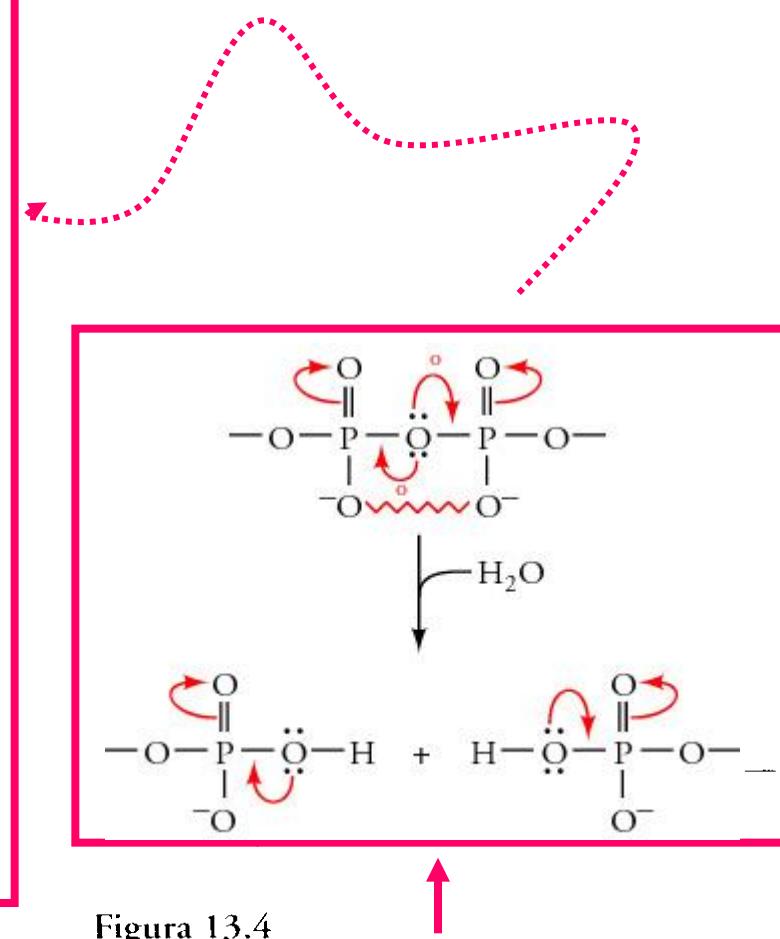


Figura 13.4

Risonanza e stabilizzazione elettrostatica in una fosfoanidride e nei suoi prodotti di idrolisi. Le risonanze in competizione tra loro (frecce curve che partono dall'O centrale) e le repulsioni carica-carica (linea rossa a zig zag) tra i gruppi fosforici diminuiscono la stabilità della fosfoanidride rispetto ai suoi prodotti di idrolisi.

## Oltre all'ATP ci sono altri composti ad alta energia

una **tabella termodinamica** classifica

*i composti in grado di trasferire*

*i loro gruppi fosforici e*

si basa sui  **$\Delta G$  di idrolisi =**

**potenziale di trasferimento**

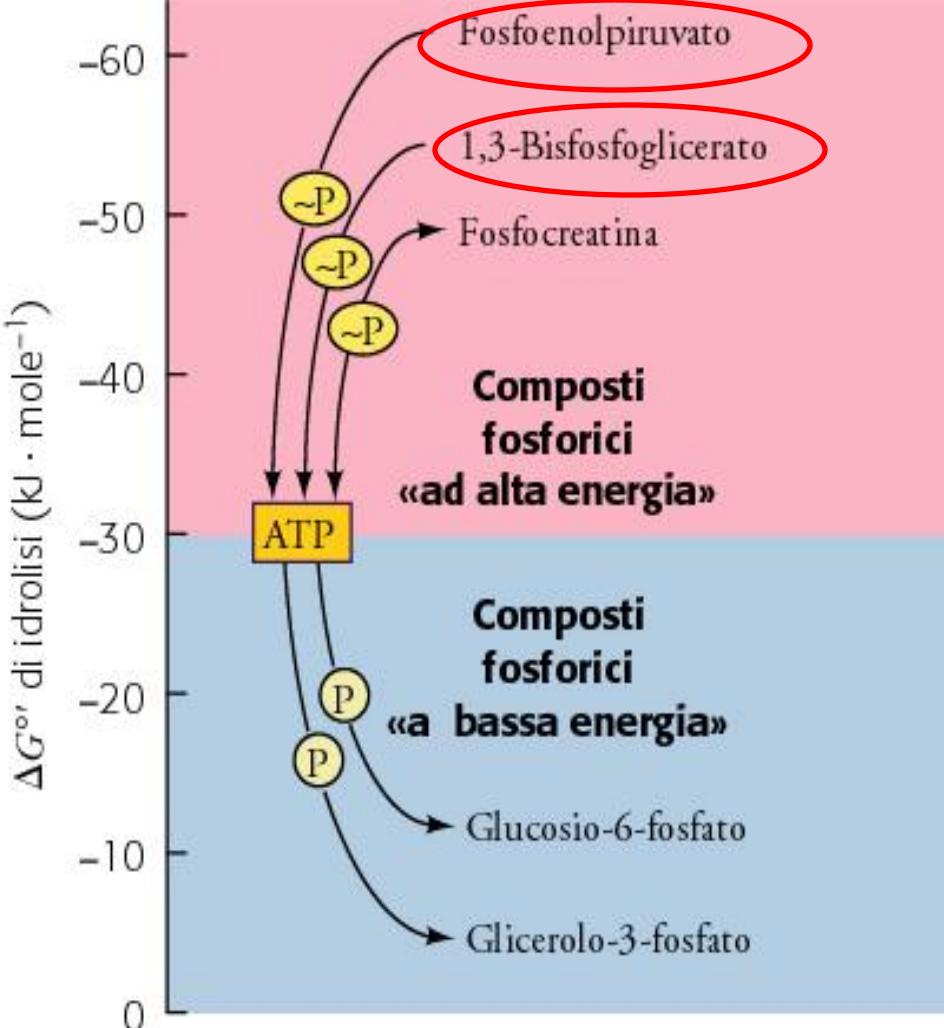
**del gruppo fosforico**

❖ *i composti fosforici a + alta energia*

*hanno  $\Delta G$  di idrolisi + negativi e*

possono trasferire spontaneamente un gruppo fosforico all'ADP che si trova in una posizione intermedia con formazione di ATP

❖ *L'ATP a sua volta può trasferire spontaneamente un gruppo fosforico e formare i composti che si trovano + in basso*



**Tabella 13.2. Energia libera standard di idrolisi del gruppo fosforico di alcuni composti di interesse biologico**

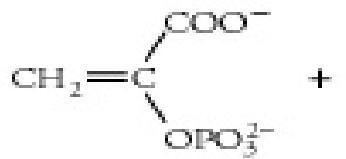
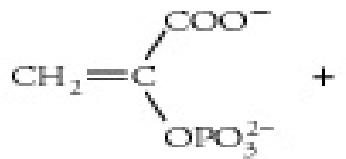
<i>Composto</i>	$\Delta G^{\circ'} (kJ \cdot mole^{-1})$
Fosfoenolpiruvato	- 61,9
1,3-Bisfosfoglicerato	- 49,4
Acetil fosfato	- 43,1
Fosfocreatina	- 43,1
PP <sub>j</sub>	- 33,5
ATP ( $\rightarrow$ AMP + PP <sub>j</sub> )	- 32,2
ATP ( $\rightarrow$ ADP + P <sub>j</sub> )	- 30,5
Glucosio-1-fosfato	- 20,9
Fruttosio-6-fosfato	- 13,8
Glucosio-6-fosfato	- 13,8
Glicerolo-3-fosfato	- 9,2

*Fonte:* Jencks, W.P., in Fasman, G.D. (a cura di), *Handbook of Biochemistry and Molecular Biology* (3<sup>a</sup> ed.), Physical and Chemical Data, Vol. 1, pp. 296-304, CRC Press (1976).

(a)

			$\Delta G^{\circ r}$ (kJ·mole <sup>-1</sup> )
Semi-reazione endoergonica 1	$P_i$ + glucosio	$\rightleftharpoons$	glucosio-6-fosfato + $H_2O$ +13,8
Semi-reazione endoergonica 2	$ATP + H_2O$	$\rightleftharpoons$	$ADP + P_i$ -30,5
Reazione complessiva accoppiata	$ATP + \text{glucosio}$	$\rightleftharpoons$	$ADP + \text{glucosio-6-fosfato}$ -16,7

(b)

			$\Delta G^{\circ r}$ (kJ·mole <sup>-1</sup> )
Semi-reazione esoergonica 1	$CH_3-COO^-$ 	$\rightleftharpoons$	$CH_3-C(=O)-COO^- + P_i$ -61,9
	<b>Fosfoenolpiruvato</b>		<b>Piruvato</b>
Semi-reazione esoergonica 2	$ADP + P_i$	$\rightleftharpoons$	$ATP + H_2O$ +30,5
Reazione complessiva accoppiata	$CH_3-COO^-$ 	$\rightleftharpoons$	$CH_3-C(=O)-COO^- + ATP$ -31,4

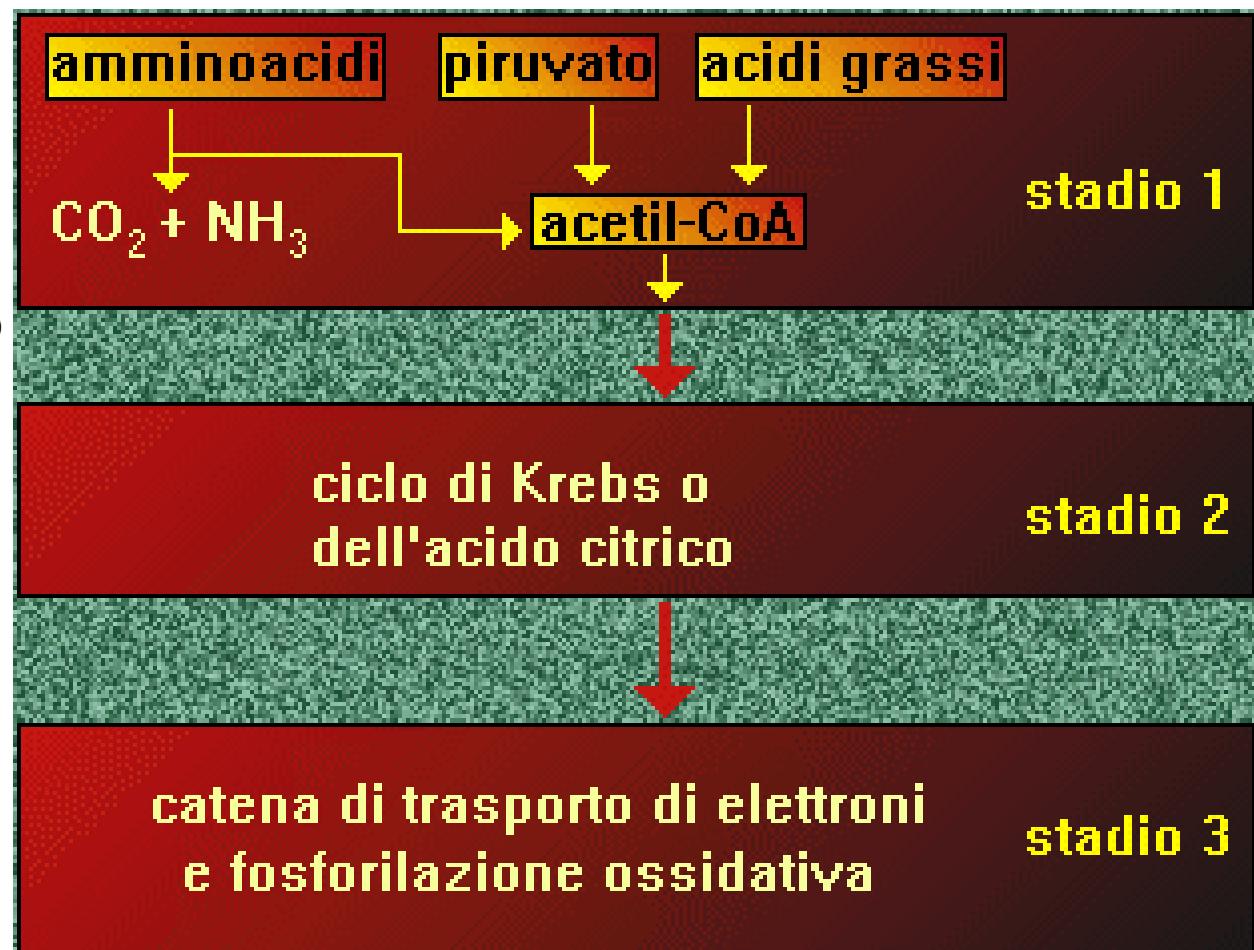
Le reazioni esoergoniche dei composti ad alta energia possono essere accoppiate a processi endoergonici per portarli a completamento

**la via metabolica totale è esoergonica**

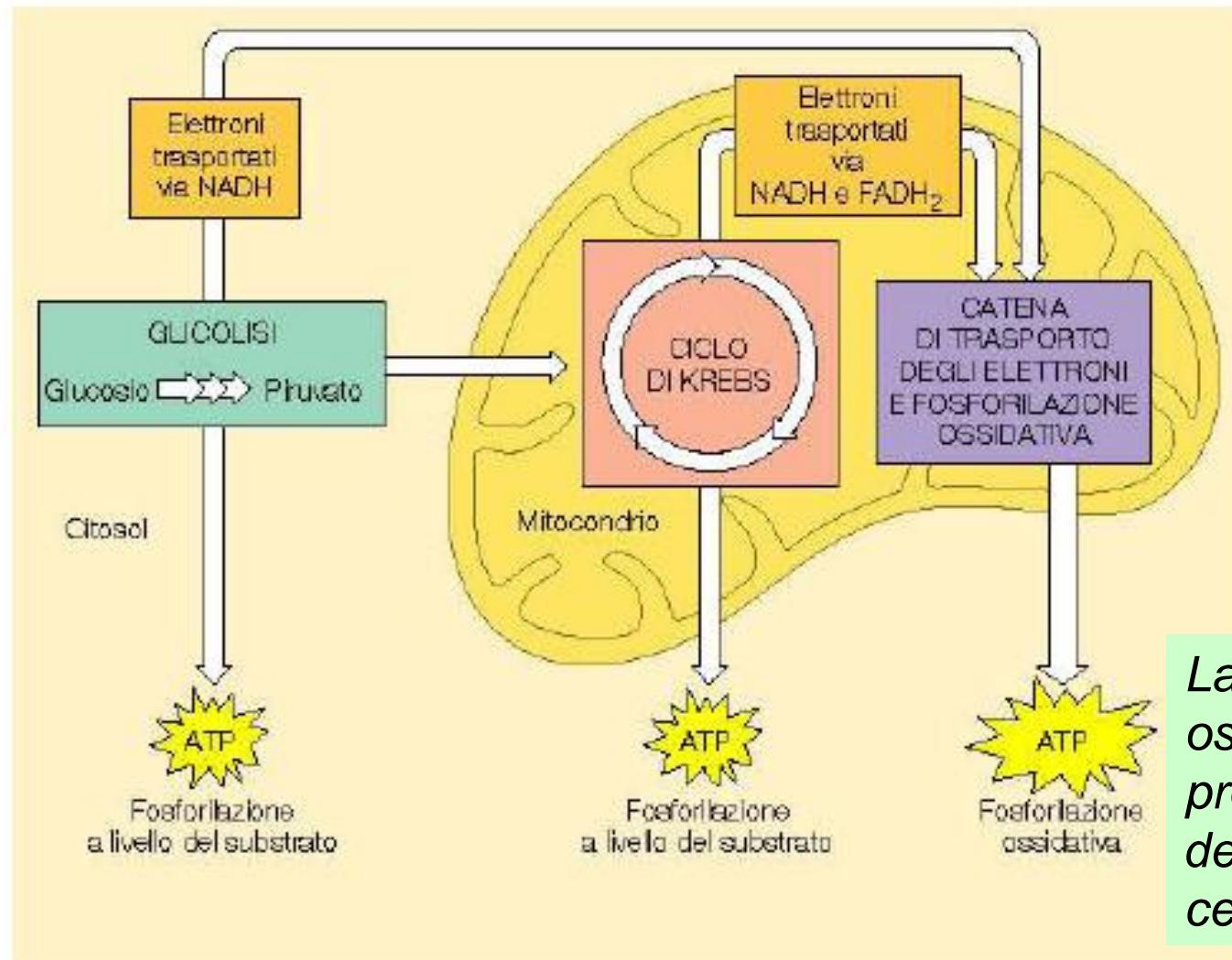
la **respirazione cellulare** avviene **fondamentalmente in tre stadi**:

1. il primo porta alla formazione dell'acetil Coenzima A partendo da amminoacidi, da carboidrati (piruvato) e da acidi grassi (negli animali);
2. il secondo stadio corrisponde al ciclo dell'acido citrico o di Krebs;

3. il terzo,  
corrisponde alla  
catena di trasporto  
di elettroni e alla  
fosforilazione-  
ossidativa.



# Respirazione cellulare



*La fosforilazione ossidativa produce il 90% dell'ATP cellulare*

**L'ATP è la moneta metabolica**

## GLICOLISI = lisi dello zucchero

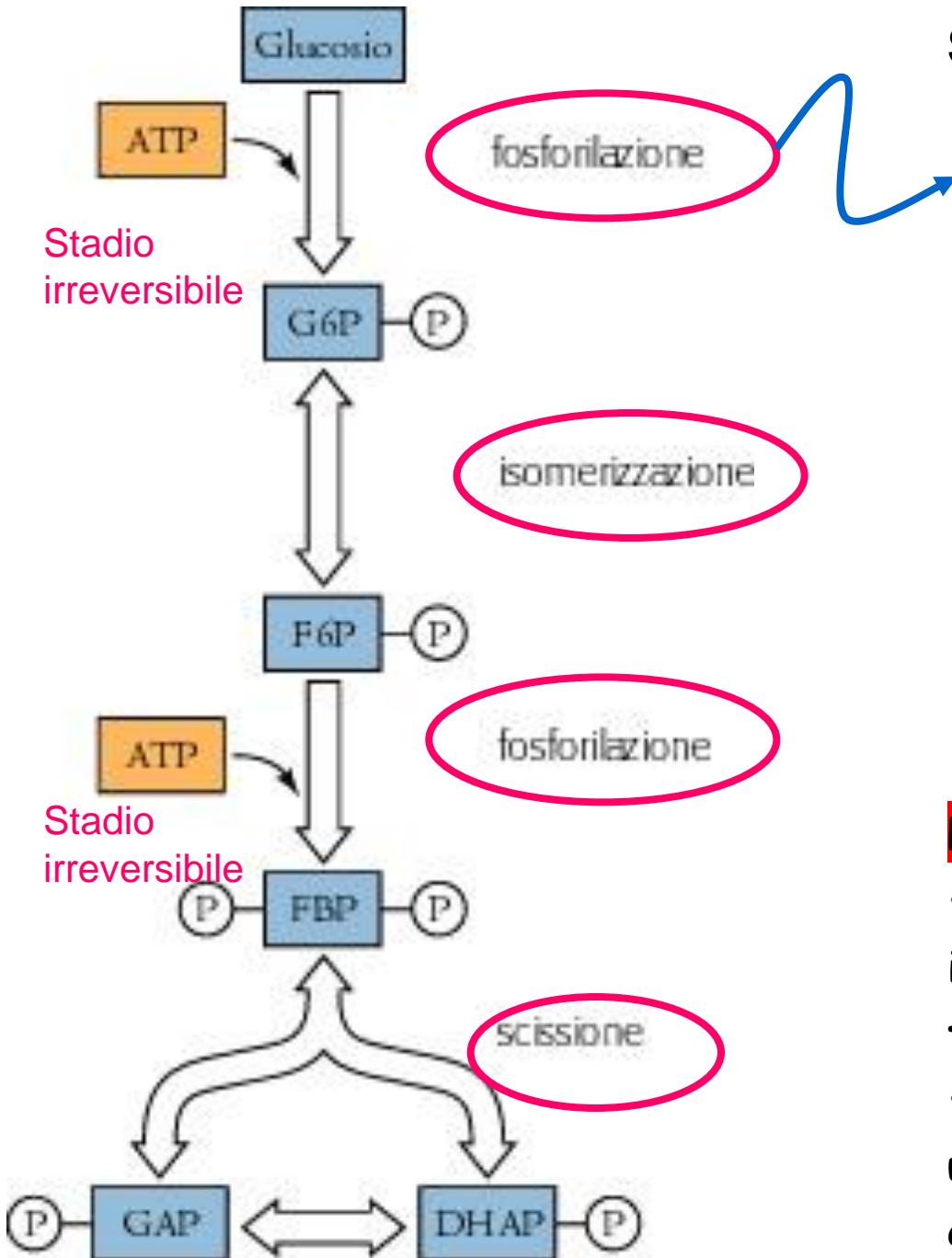
Si riferisce alla *degradazione degli esosi nel citoplasma* che porta alla produzione di **acido piruvico**. E' una sequenza di 10 reazioni

L'equazione globale è:



*Non si ha consumo di  $O_2$  né produzione di  $CO_2$*

2 NADH vengono nuovamente ossidati nei mitocondri  
producendo  $NAD^+$  e ATP



## Stadio I della Glicolisi

Ad opera di una **esochinasi**,

un E. allosterico

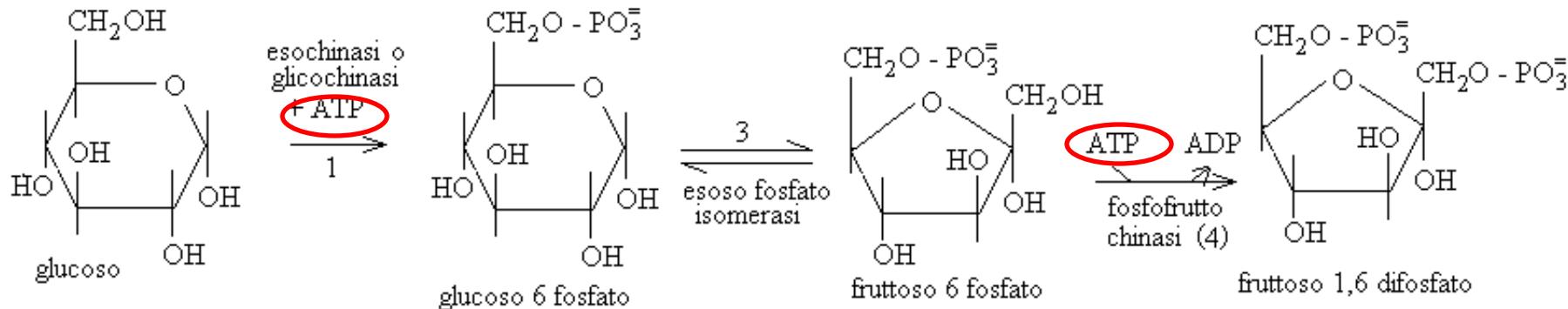
La reazione è caratterizzata  
da un  $\Delta G^\circ = - 16,7 \text{ KJ/mole}$   
che la rende praticamente  
irreversibile

Il G6P è il modulatore  
negativo dell'E. ( feed-back )

**Perché si spende ATP ??**

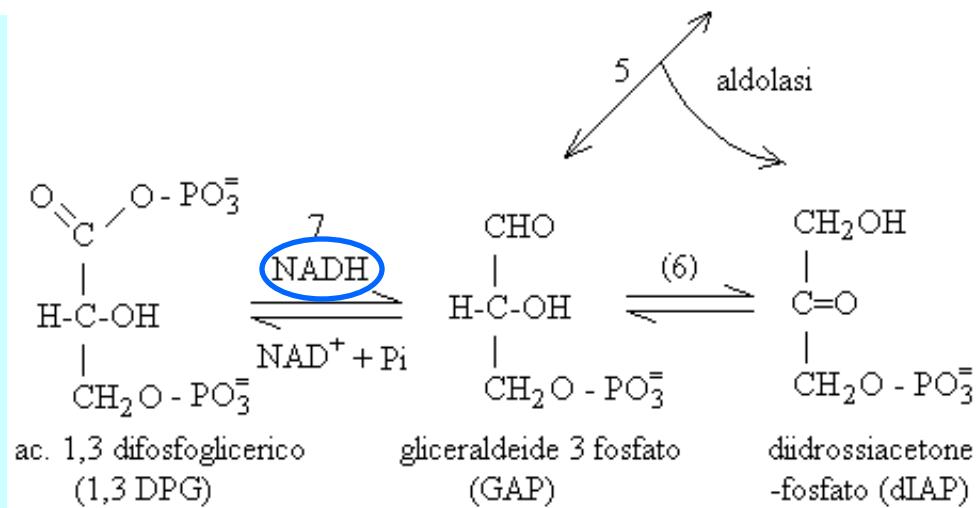
- Le cellule sono impermeabili ai composti fosforilati
- Lo zucchero fosforilato è un composto ad alta energia

# STADIO I DELLA GLICOLISI: demolizione del glucosio a gliceraldeide 3P (C3)



Una isomerasi trasforma il  
**Glu-6-P in Fru-6-P**

Fosforilazione del  
**Fru-6-P a Fru-1,6-difosfato** ad opera  
della **Fosfofruttochinasi**= enzima  
allosterico la cui attività è controllata da  
Effettori positivi : AMP, ADP  
Effettori negativi: ATP, Fosfoenolpiruvato,  
Citrato



**Scissione** del composto doppiamente fosforilato da parte di un'**aldolasi** in 2 frammenti fosforilati a 3 C:

La **Gliceraldeide-3-P** e il **dihidrossiacetone-P**

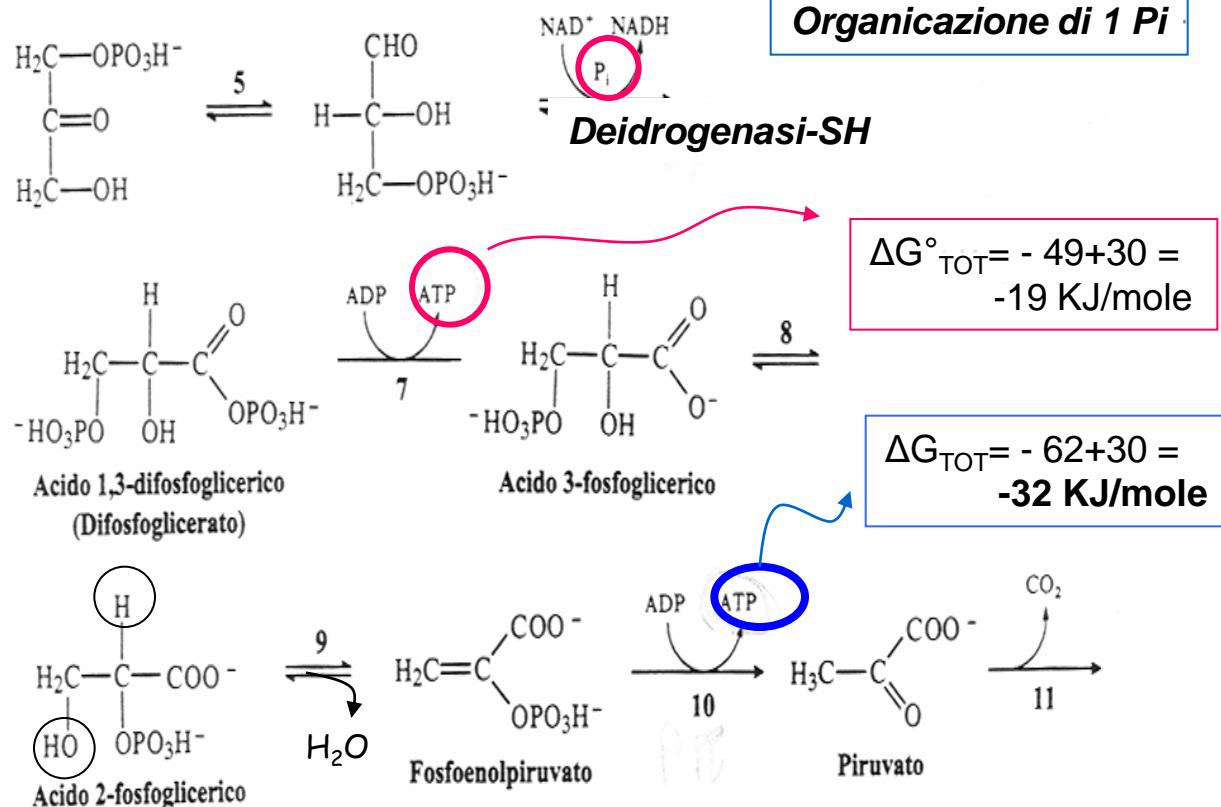
2 molecole interconvertibili

**2 molecole di Gliceraldeide-3-P**

## STADIO II DELLA GLICOLISI

### La gliceraldeide-3-P

Piruvato



- Ossidazione della Gliceraldeide-3-P accompagnata da incorporazione di P
- **Ac1,3-Difosfoglicerico** è un composto ad alta energia che cedendo 1 Pi all'ADP

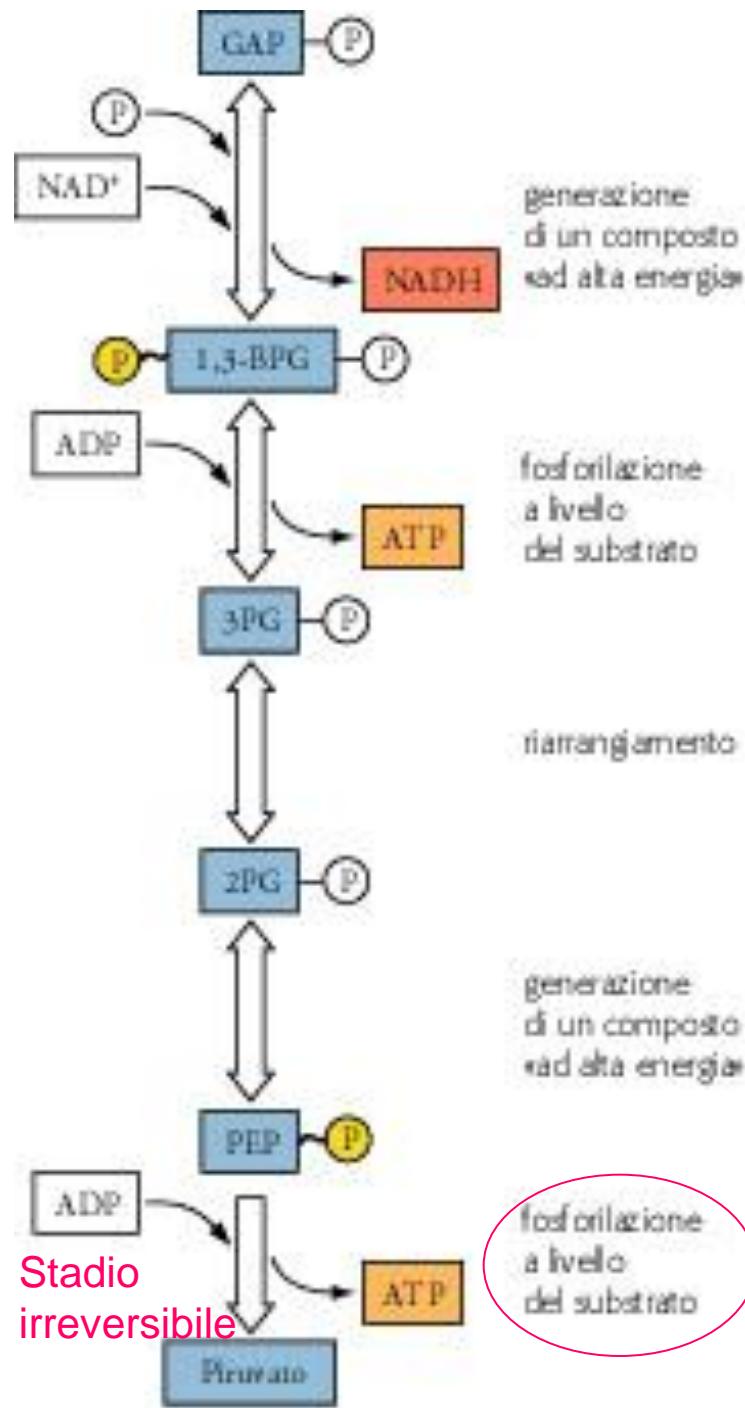
→ **ATP e Ac 3-Fosfoglicerico**

*Sono stati prodotti 2 ATP e 2 ATP erano stati consumati*



*il bilancio è in pareggio*

- Passaggio da **3-Fosfoglicerato** a **2-Fosfoglicerato** ad opera di una mutasi
  - Eliminazione di  $\text{H}_2\text{O}$  (enolasi) → **Fosfoenolpiruvato** composto ad alta energia che
- Tramite la **Piruvato Chinasi** reagisce con ADP → **ATP e Piruvato**
- Sono 2 ATP prodotti e 2 moli Piruvato per mole di Glu**

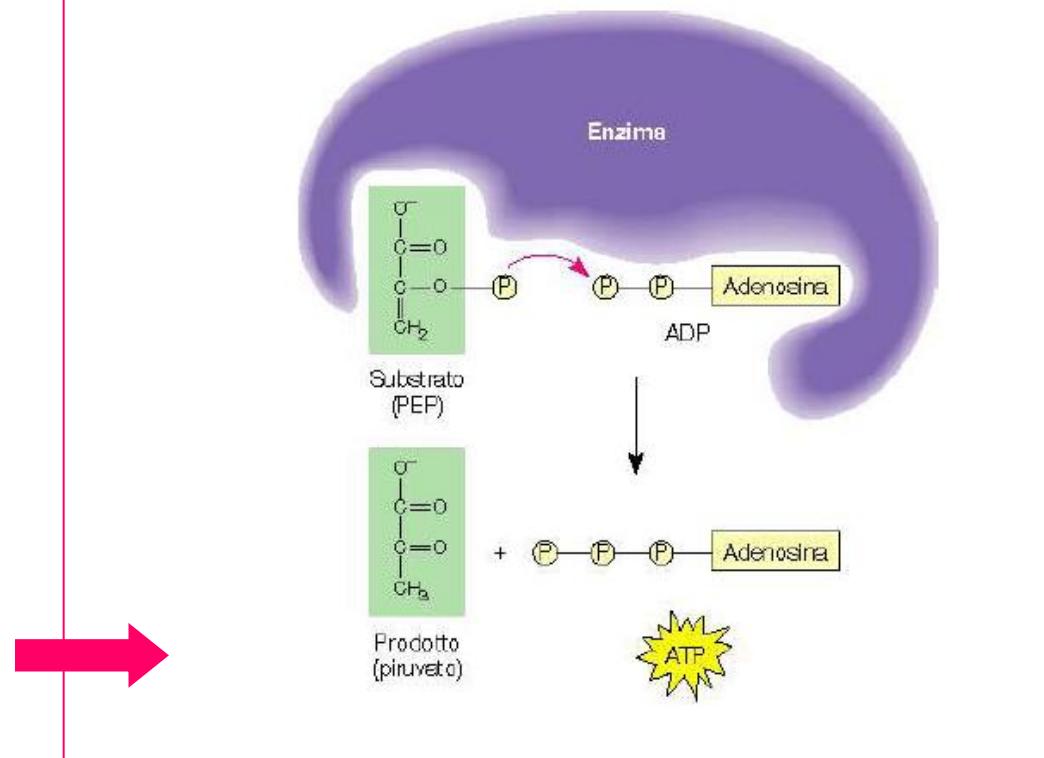


## Stadio II della Glicolisi

La Piruvato chinasi è un enzima allosterico

Fungono da inibitori le alte concentrazioni di: ATP, Acetil-CoA, acidi grassi e alcuni a.a.

Fosforilazione a livello del substrato



FASE DI INVESTIMENTO ENERGETICO

Glucosio

2 ADP



FASE DI LIBERAZIONE DELL'ENERGIA

4 ADP



2 NAD<sup>+</sup>

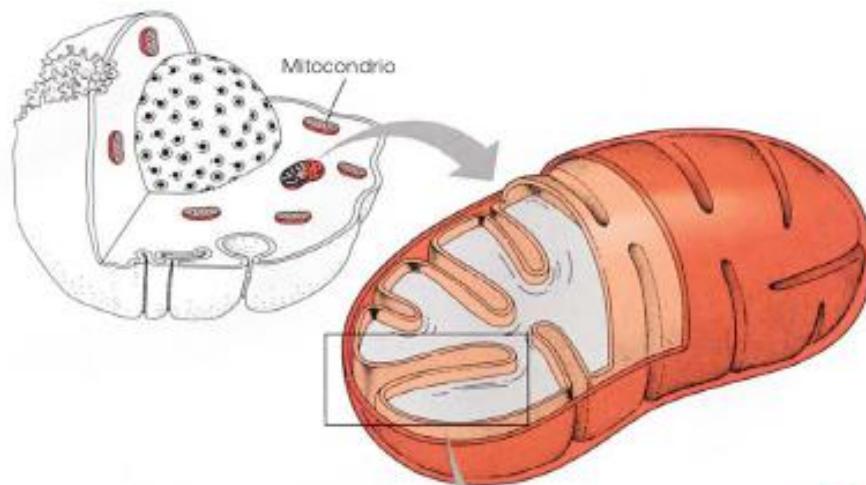
2 NADH

2 Piruvato

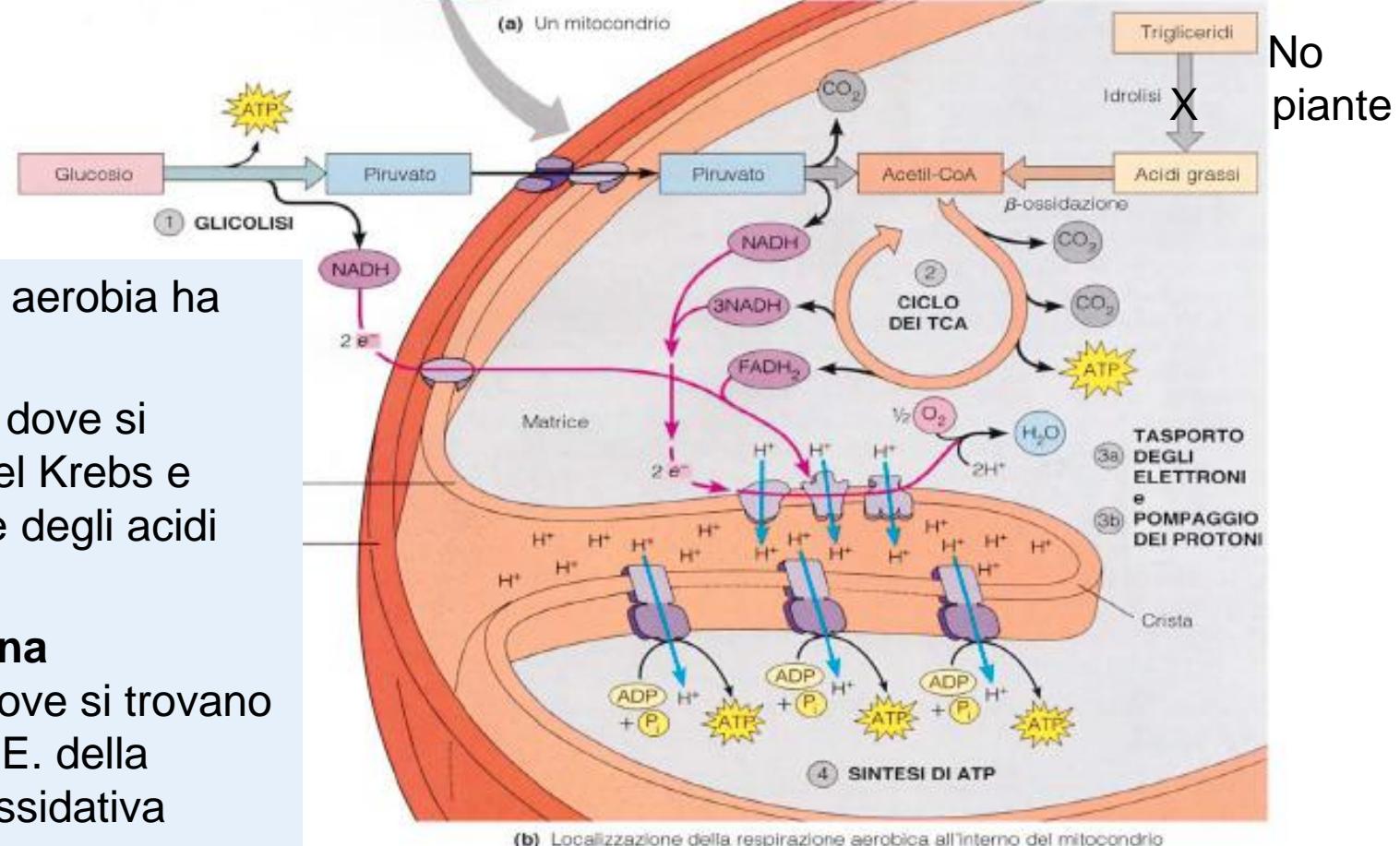
NETTO



Bilancio energetico della glicolisi o processo di decomposizione dello zucchero



(a) Un mitocondrio



La respirazione aerobia ha luogo :

**-nella matrice** dove si trovano gli E. del Krebs e dell'ossidazione degli acidi grassi

**-nella membrana** mitocondriale dove si trovano i citocromi e gli E. della fosforilazione ossidativa

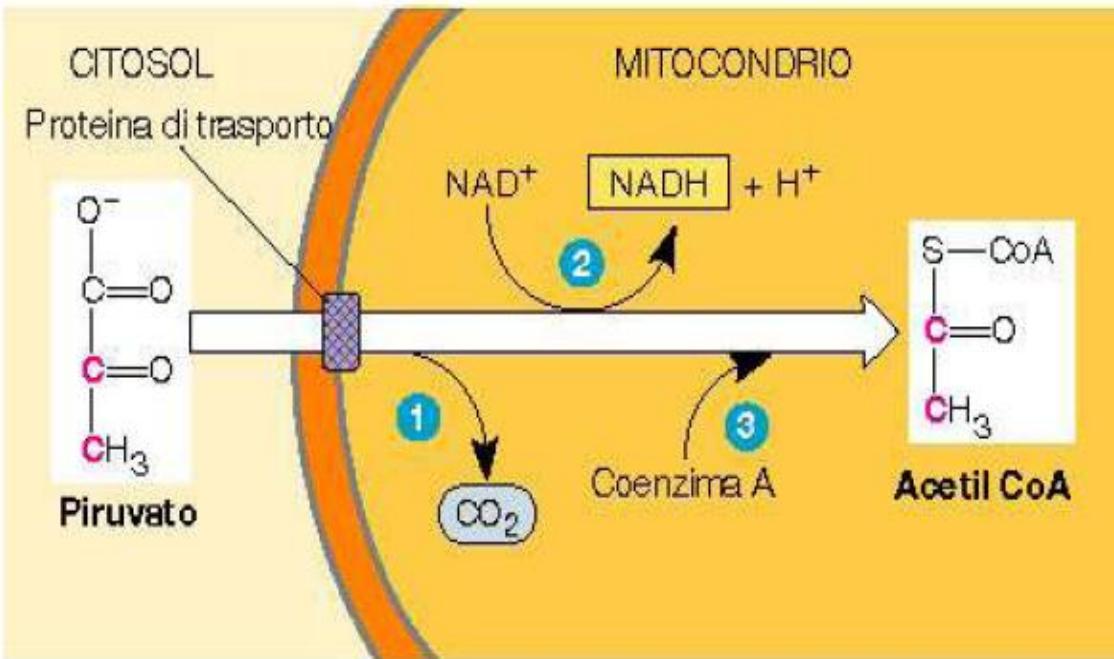
Prima di entrare nel ciclo il piruvato viene trasformato in AcetilCoA:



È una decarbossilazione ossidativa

ad opera della **PIRUVATO DEIDROGENASI**

un complesso enzimatico che opera 3 passaggi:



1. -COOH in  $\text{CO}_2$
2. Ossidazione ad acetato con produzione di NADH
3. Aggiunta di Acetile al CoA-SH

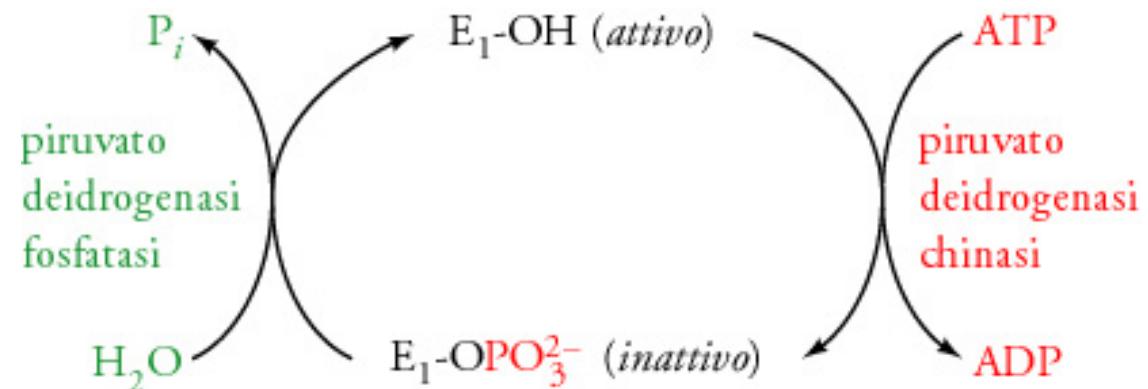
La **piruvato deidrogenasi** ha un ruolo importante nel catabolismo dei carboidrati: controlla l'ingresso del piruvato nel ciclo dell'acido citrico  $\longrightarrow$  *catabolismo aerobio* piuttosto che verso altri destini metabolici

Duplice meccanismo di regolazione:

1. **Intervento di 2 enzimi**

*Piruvato fosfatasi* e

*Piruvato chinasi*



2. **Regolazione di natura allosterica**

modulatori negativi: ATP, acetil-CoA e NADH

modulatori positivi: AMP, PEP

La **piruvatodeidrogenasi** non rifornisce il ciclo di Krebs quando  
è già disponibile  
Acetil-CoA, potere riducente (NADH) ed energia (ATP)

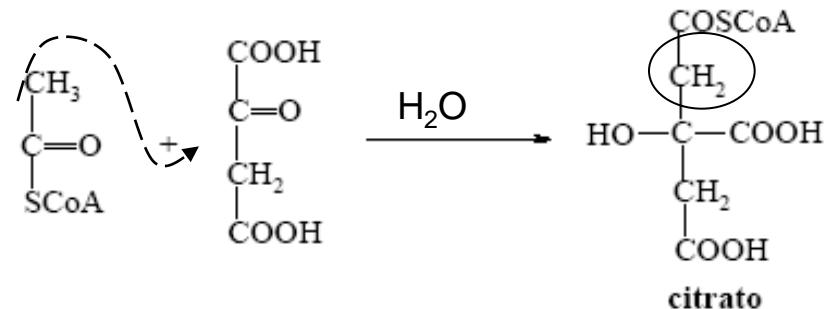
### Reazione 1: citrato sintasi

Il meccanismo prevede un attacco nucleofilo dell'enolato del tioestere al gruppo carbonilico dell'ossalacetato con formazione di citrato

$$\Delta G^\circ = -32,2 \text{ KJ/mole}$$

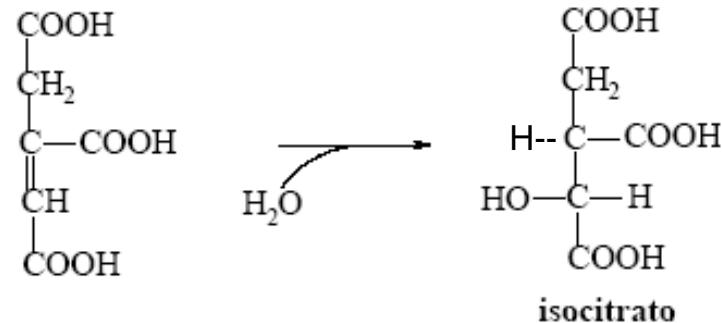
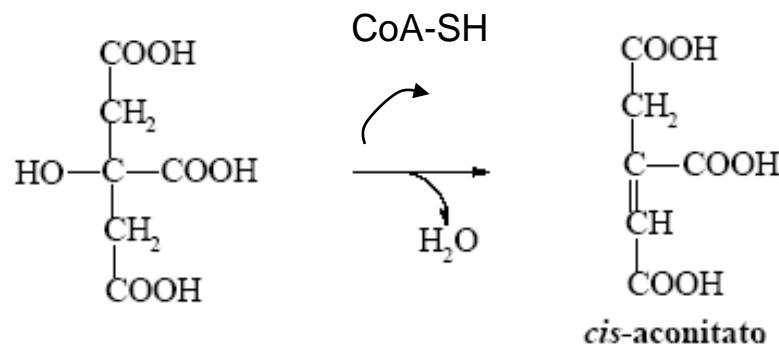
### Reazione 2: aconitasi

E' un'eliminazione di  $\text{H}_2\text{O}$  favorita dalla formazione di un acido  $\alpha,\beta$  insaturo in equilibrio con l'idratazione ad acido isocitrico



### Reazione 3: idrataasi

Gli equilibri di disidratazione e idratazione sono spostati verso la formazione di  $\alpha$ -chetoglutarato grazie ad una decarbossilazione con ossidazione dell'ossidrile in  $\alpha$  al carbossile



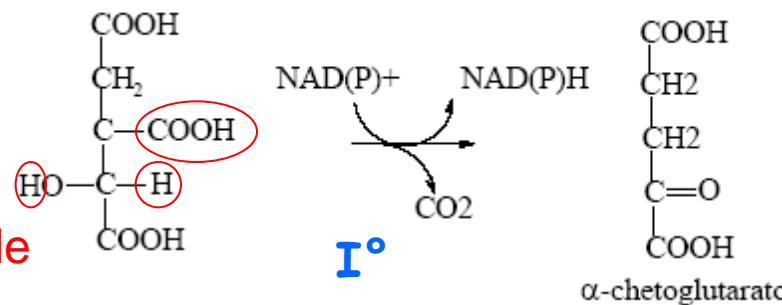
**Le 2 reazioni sono in equilibrio, ma la reazione è spostata verso la formazione di isocitratato che viene continuamente sottratto per il procedere del ciclo**

### Reazione 4: isocitrato deidrogenasi

$\beta$ -decarbossilazione che coinvolge un'ossidazione ad ossalosuccinato intermedio.

Decarbossilazione ossidativa

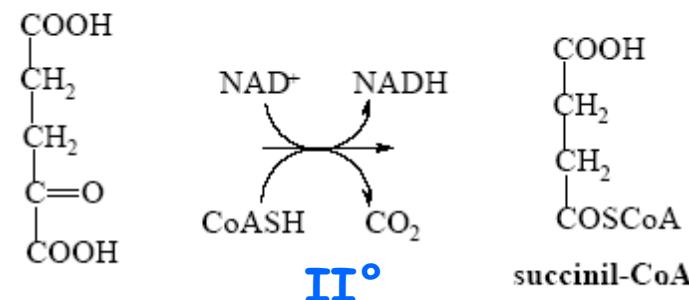
$$\Delta G^\circ = -21 \text{ KJ/mole}$$



### Reazione 5: 2-chetoglutarato deidrogenasi

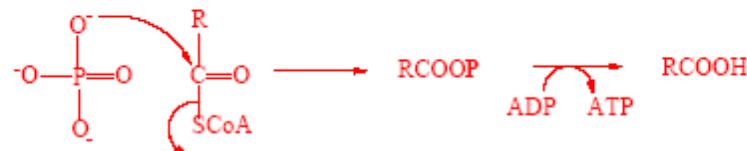
Questa è una decarbossilazione ossidativa analoga a quella osservata nel caso della trasformazione di piruvato in acetil-CoA.

$$\Delta G^\circ = -35,5 \text{ KJ/mole}$$



### Reazione 6: succinato tiokinasi

La rottura idrolitica del legame C-S è accompagnata dalla formazione di ATP

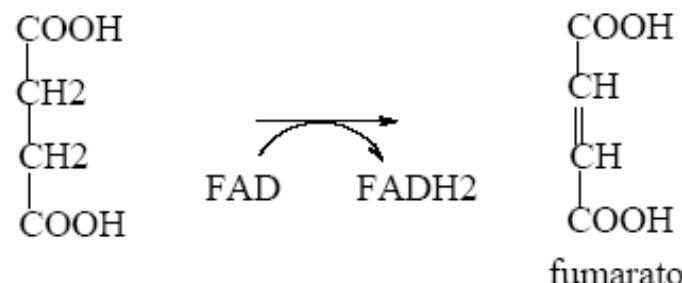


- Il<sup>a</sup> decarbossilazione e condensazione con CoASH per dare un composto ad alta energia il **Succinil CoA**  
Sono state formate 2 CO<sub>2</sub> e 2 NADH :  
*lo scheletro carbonioso del glucosio è stato completamente demolito*

Nelle fasi finali del ciclo il **succinato** è convertito a **ossalacetato**:

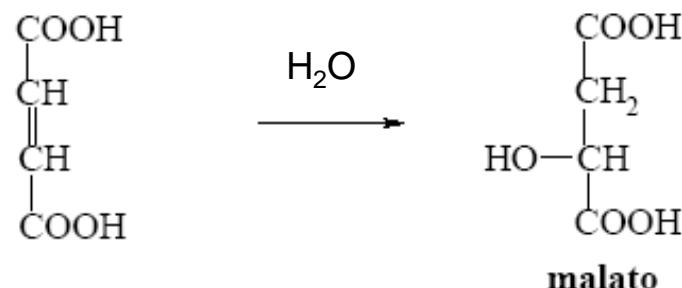
#### Reazione 7: succinato deidrogenasi

L'ossidazione del succinico a fumarico è collegata ad una catena di trasporto elettronica che permette la riossidazione del  $\text{FADH}_2$ .



#### Reazione 8: fumarasi

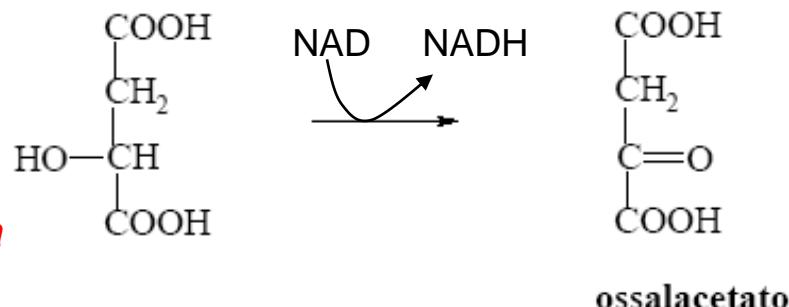
Idratazione simile a quella vista nel caso del *cis*-aconitato.



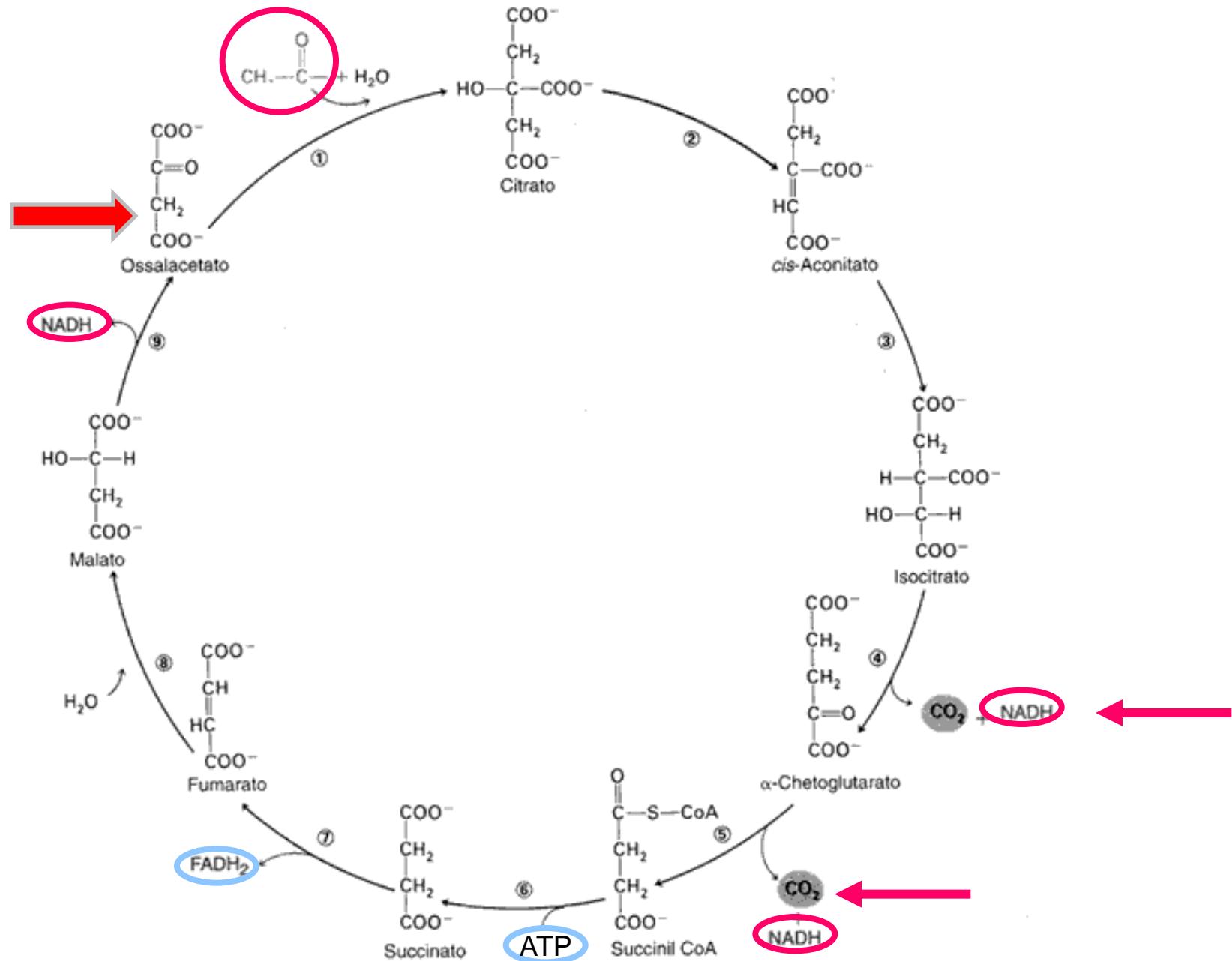
#### Reazione 8: malato deidrogenasi

Reazione di ossidazione che porta ad una molecola di ossalacetato che può riprendere il ciclo.

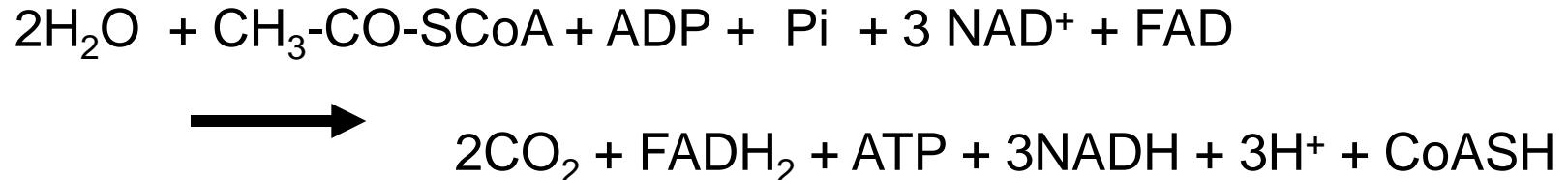
**$\Delta G^\circ = 29,7 \text{ KJ/ mole reazione endoergonica spostata verso sinistra}$**



# Schema riassuntivo del Ciclo di Krebs



La stechiometria del ciclo TCA :



- *Solo Acetil-CoA viene consumato :*
- I 2 C della porzione acetilica sono trasformati in  $2\text{CO}_2$
- Gli enzimi del ciclo del TCA si trovano nel mitocondrio
- Negli animali si forma GTP e non direttamente ATP

# Fosforilazione ossidativa e fotofosforilazione

- In entrambi i processi è coinvolto un flusso di elettroni attraverso intermedi redox
- L'accettore finale è l'  $O_2 \leftrightarrow H_2O$
- L'energia resa disponibile dal flusso di elettroni è accoppiata al trasporto di protoni
- il flusso di protoni in senso inverso fornisce l'energia libera per la sintesi di ATP

Alla catena respiratoria partecipano:

1. Coenzimi (NADH, FADH<sub>2</sub>,)
2. Proteine integrali di membrana :
  - citocromi (contenenti gruppi eme)
  - proteine ferro-zolfo
3. Ubichinone o Coenzima Q = molecola idrofobica  
**diffusibile** nel doppio strato
4. Citocromo c, piccola proteina periferica (**diffusibile** )

## Potenziali redox dei trasportatori di e<sup>-</sup> nella catena respiratoria

### Standard Reduction Potentials of Respiratory Chain and Related Electron Carriers

Redox reaction (half-reaction)	$E^{\circ}$ (V)
$2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2$	-0.414
$\text{NAD}^+ + \text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{NADH}$	-0.320
$\text{NADP}^+ + \text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{NADPH}$	-0.324
$\text{NADH dehydrogenase (FMN)} + 2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{NADH dehydrogenase (FMNH}_2\text{)}$	-0.30
$\text{Ubiquinone} + 2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{ubiquinol}$	0.045
$\text{Cytochrome } b (\text{Fe}^{3+}) + e^- \longrightarrow \text{cytochrome } b (\text{Fe}^{2+})$	0.077
$\text{Cytochrome } c_1 (\text{Fe}^{3+}) + e^- \longrightarrow \text{cytochrome } c_1 (\text{Fe}^{2+})$	0.22
$\text{Cytochrome } c (\text{Fe}^{3+}) + e^- \longrightarrow \text{cytochrome } c (\text{Fe}^{2+})$	0.254
$\text{Cytochrome } a (\text{Fe}^{3+}) + e^- \longrightarrow \text{cytochrome } a (\text{Fe}^{2+})$	0.29
$\text{Cytochrome } a_3 (\text{Fe}^{3+}) + e^- \longrightarrow \text{cytochrome } a_3 (\text{Fe}^{2+})$	0.55
$\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$	0.816

❖ I valori positivi indicano una maggiore tendenza ad acquistare elettroni

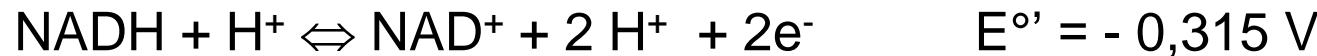
*I potenziali redox consentono di valutare la variazione di energia libera*

**l'equazione di NERST:  $\Delta G^\circ = - n F \Delta E^\circ$**

$n = e^-$

$F = \text{cost. Faraday} = 96485 \text{ mole}^{-1} e^-$

Ad esempio:  $\Delta E^\circ = E^\circ_{\text{(accettore di } e^-)} - E^\circ_{\text{(donatore di } e^-)}$



*L'ossigeno ha maggior tendenza a ridursi:*

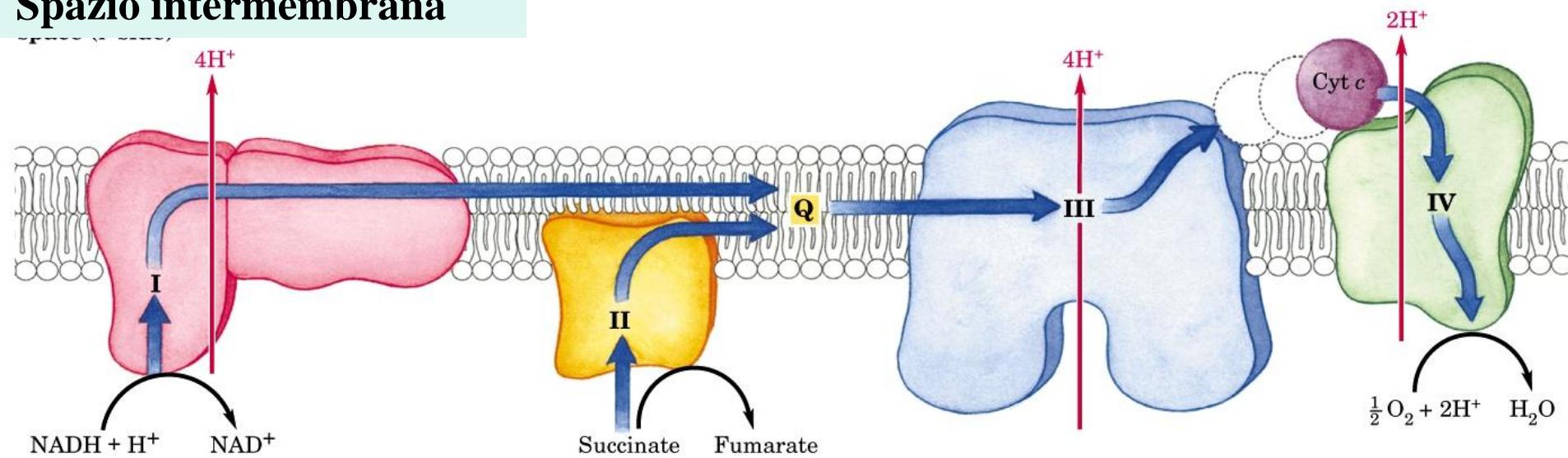


$$\Delta E^\circ' = 1,130 \text{ V}$$

$$\Delta G^\circ' = - (2 \times 96485 \times 1,13) = -237051 \text{ J/mole} = -237 \text{ kJ/mole}$$

# Schema del trasferimento elettronico

## Spazio intermembrana



## matrice

**Complesso I**  
**NADH**  
**DEIDROGENASI**  
trasferisce  
elettroni dal  
**NADH** al **Q**

**Complesso II**  
**SUCCINATO**  
**DEIDROGENASI**  
trasferisce  
elettroni dal  
**FADH<sub>2</sub>** al **Q**

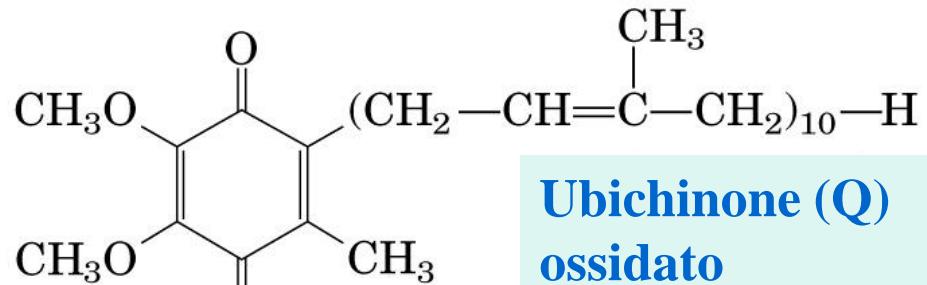
**Complesso III**  
**UBICHINONE-**  
**CITOCROMO C**  
**REDUTTASI**  
trasferisce  
elettroni dal **Q**  
al **citocromo c**

**Complesso IV**  
**CITOCROMO**  
**OSSIDASI**  
trasferisce  
elettroni dal  
**citocromo c**  
all'**O<sub>2</sub>**

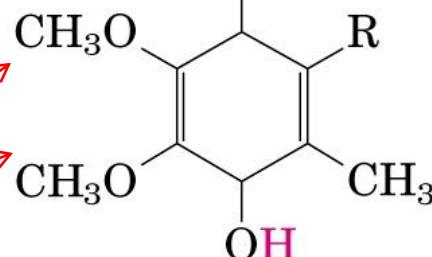
# L'ubichinone o coenzima Q è liberamente diffusibile nella membrana

L'ubichinone mitocondriale differisce dal plastochinone dei cloroplasti per i gruppi metossilici anzichè metilici e 10 unità isopreniche contro le 9 del plastochinone

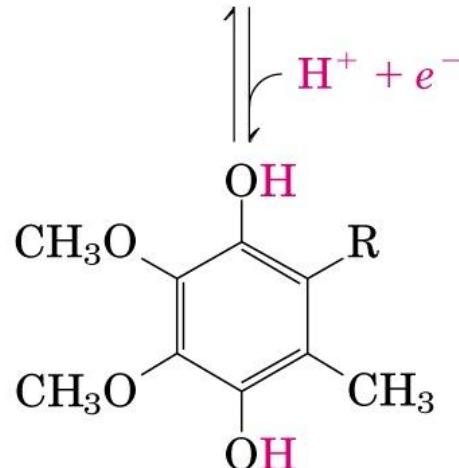
Nella forma di semichinone è altamente reattivo e può formare radicali liberi dell'O



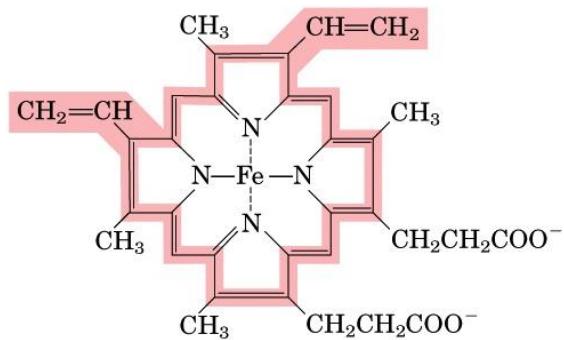
Ubichinone (Q) ossidato



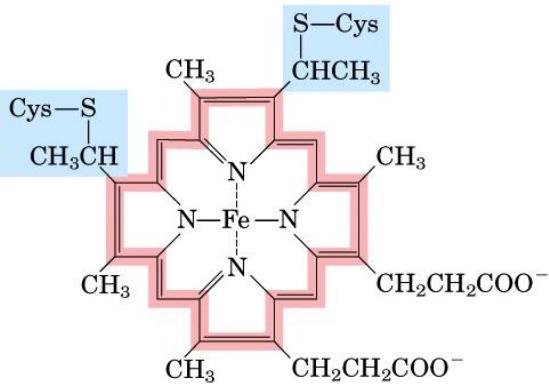
Radicale semichinone (QH<sup>•</sup>)



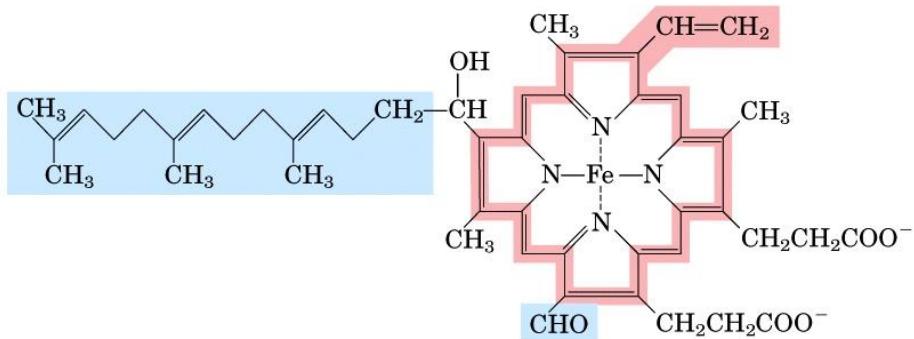
Ubichinolo (QH<sub>2</sub>) ridotto



Iron protoporphyrin IX  
(in *b*-type cytochromes)



Heme C  
(in *c*-type cytochromes)



Heme A  
(in *a*-type cytochromes)

I citocromi  
contengono gruppi  
prostetici a Ferro

## Complesso I NADH DEIDROGENASI

- Trasferimento di elettroni da NADH a Q (ubichinone o Coenzima Q)
- Più di 30 subunità proteiche
- Quattro  $H^+$  trasportati fuori per 2  $e^-$

## Complesso II SUCCINATO DEIDROGENASI

- è lo stesso enzima del ciclo di Krebs, unico ad essere legato alla membrana mitocondriale interna
- Trasferisce  $e^-$  direttamente al Q
- **Non è associato trasporto di  $H^+$**

## Complesso III UBICHINONE-CITOCROMO C REDUTTASI

- Q passa elettroni al cyt c (e pompa  $H^+$ )
- La principale proteina transmembrana nel complesso III è il citocromo b
- I citocromi sono agenti che trasferiscono un elettrone
- Il *citocromo c* è un trasportatore di elettroni idrosolubile (è una piccola proteina periferica di membrana)

## Complesso IV

### CITOCROMO OSSIDASI

*Trasferisce elettroni dal citocromo c all'O<sub>2</sub>:*

riduzione con 2 elettroni di  $\frac{1}{2}$  O<sub>2</sub> per produrre H<sub>2</sub>O

*Il complesso trasporta anche H<sup>+</sup>:*

Per ogni coppia di e- → 2 H<sup>+</sup> **2 protoni si spostano dalla matrice allo spazio intermembrana**

**L'ossigeno è dunque l'accettore terminale di elettroni nella catena di trasporto**

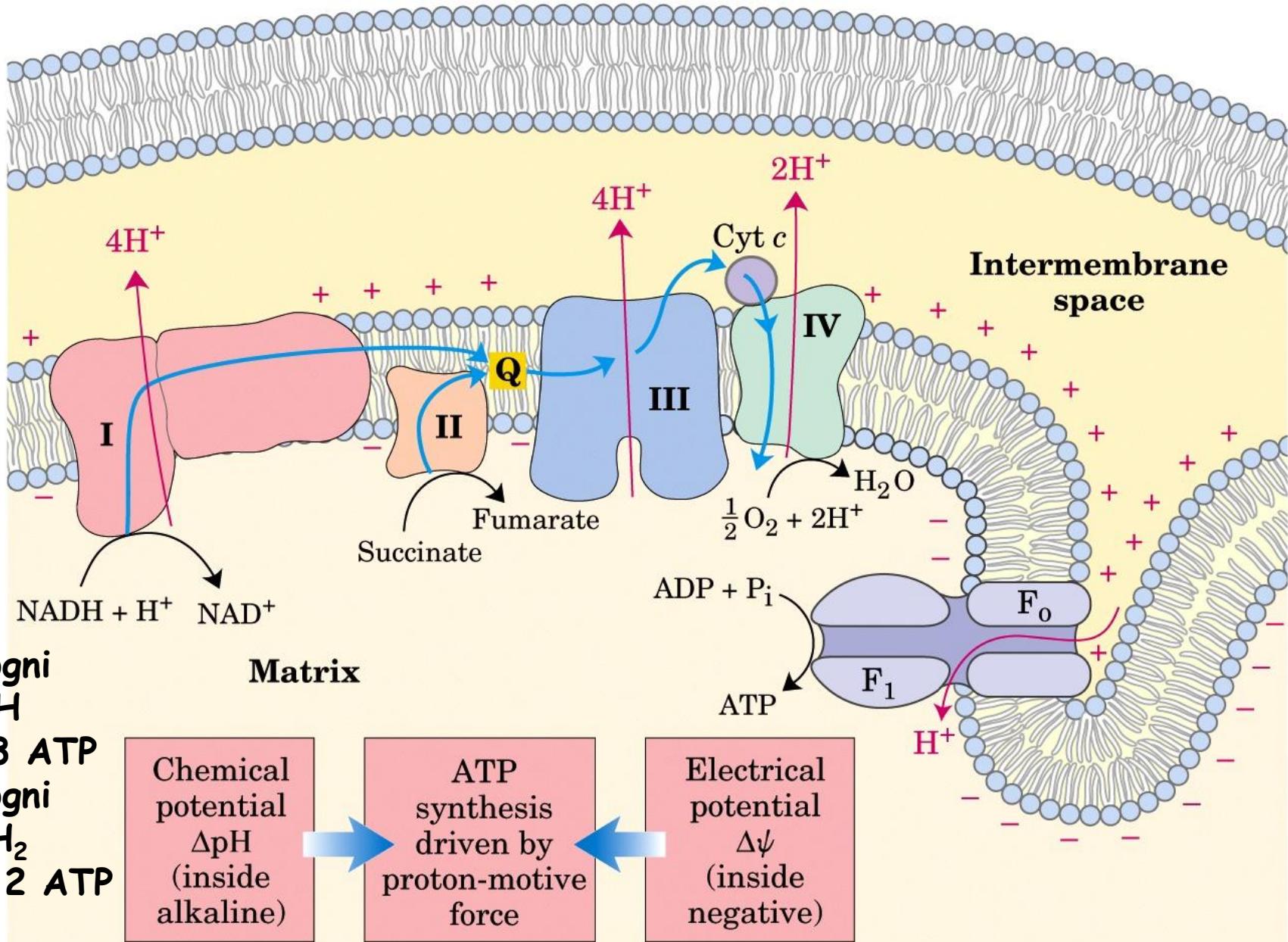
# Fosforilazione ossidativa e teoria chemiosmotica

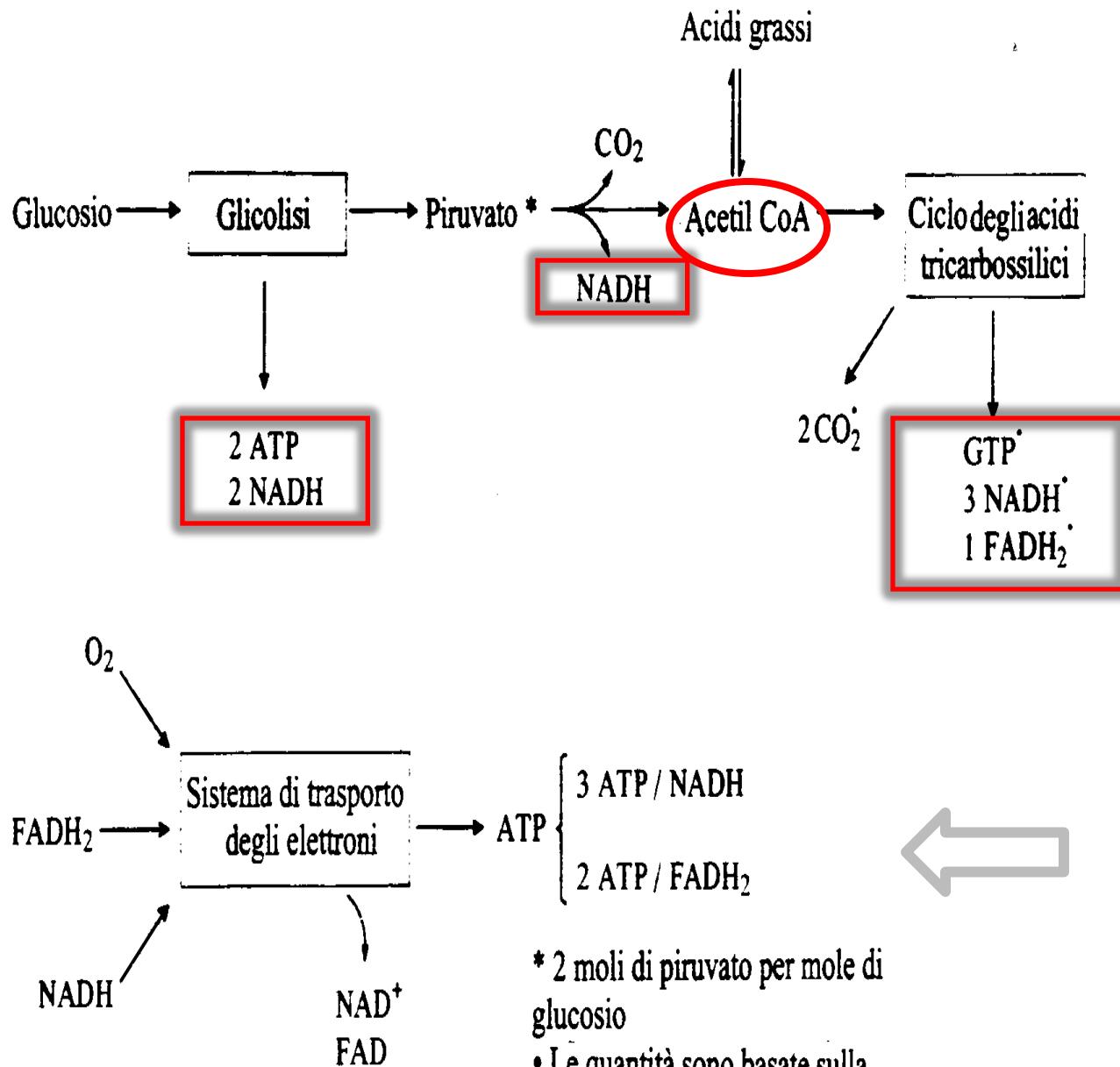
- La sintesi dell'ATP è catalizzata dalla **ATP sintasi** (o complesso V);  
l'energia liberata dal trasporto di elettroni e di  $H^+$  crea un gradiente elettrochimico (pH e carica);  
L'ossidazione di NADH permette il pompaggio di 10  $H^+$   
L'ossidazione del  $FADH_2$  di 6  $H^+$

*Il potenziale del gradiente è sfruttato per la sintesi di ATP*

- l'accoppiamento fra **trasporto di  $H^+$  e produzione di ATP** dipende dall'integrità della membrana: composti che dissipano il gradiente protonico (**disaccoppianti**) impediscono la sintesi di ATP ma non la "respirazione"

# La sintesi di ATP è “guidata” dal gradiente protonico



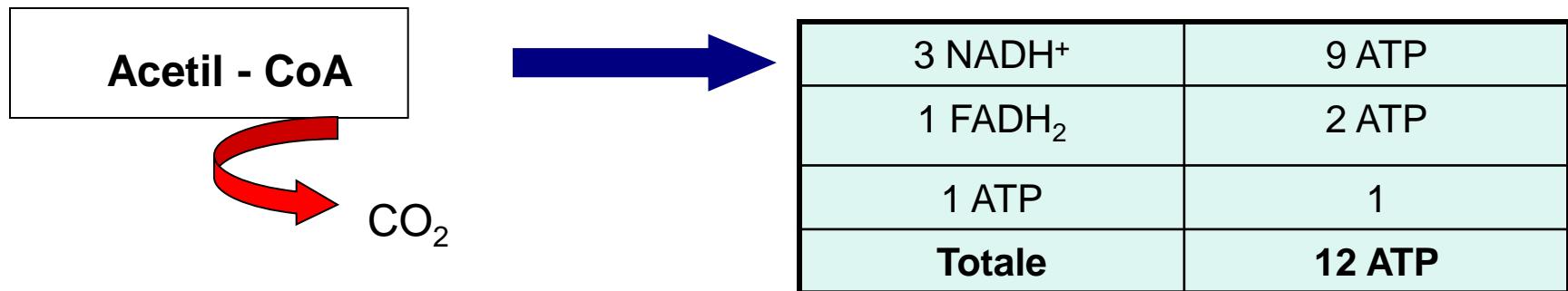


**organismi aerobici:**  
 Nel **CICLO DI KREBS**  
 o **Ciclo degli Acidi Tricarbossilici (TCA)**  
**2 moli di piruvato**  
 vengono trasformate in  
**2 moli di acetil CoA e**  
**2 NADH :**

- L'**AcetylCoA** viene quindi ossidato a **CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O** e il **NADH e FADH<sub>2</sub>** prodotti vengono riossidati a **NAD e FAD**

- \* 2 moli di piruvato per mole di glucosio
- Le quantità sono basate sulla utilizzazione di una mole di acetil CoA

# Bilancio Energetico del Ciclo di Krebs



Per ogni molecola di Acetyl –CoA che entra nel Ciclo di Krebs si producono 12 molecole di ATP

Reazione catalizzata da	Metodo di produzione	ATP formato
Isocitratodeidrogenasi	Ossidazione del NADH nella CTE	3
$\alpha$ -chetoglutarato deidrogenasi	Ossidazione del NADH nella CTE	3
Succinato tiochinasi	Fosforilazione a livello del substrato	1
Succinato deidrogenasi	Ossidazione del FADH <sub>2</sub> nella CTE	2
Malato deidrogenasi	Ossidazione del NADH nella CTE	3
		<b>Totale: 12</b>

# Numero di moli di ATP prodotte nelle varie fasi dell'ossidazione aerobica del glucosio

<b>moli di ATP</b>	<b>tappe di produzione</b>
2	a livello di substrato nella <b>glicolisi</b> Dai <u>2 NADH</u> citoplasmatici
6	dai <u>2 NADH</u> prodotti da deidrogenazione del piruvato (piruvato DH)
2	ATP prodotti nel ciclo di <b>Krebs</b>
6 x3= <b>18</b>	dalla riossalidazione dei <u>6 NADH</u> prodotti nel ciclo di <b>Krebs</b>
2 x 2= <b>4</b>	dalla riossalidazione dei <u>2 FADH<sub>2</sub></u> prodotti nel ciclo di <b>Krebs</b>
<b>TOTALE = 38moli</b>	

## AGENTI DISACCOPPIANTI:

(Antibiotici, 2,4-dinitrofenolo) = acidi deboli con molecola idrofobica

→ Diffusione nella membrana interna mitocondriale

Rilascio di H<sup>+</sup> nella matrice

- Dissipazione gradiente protonico  
- Mancata produzione di ATP ma  
la respirazione va avanti

**Disaccoppiamento per via naturale**

→ viene prodotto calore invece di ATP

Es: I mammiferi che cadono in letargo

Nei mitocondri delle cellule del grasso bruno :

La **termogenina o proteina disaccoppiante** consente  
il ritorno degli H<sup>+</sup> nella matrice senza passare nella ATP sintasi

→ L'energia viene rilasciata sottoforma di calore

Mantenimento della temperatura corporea durante il letargo

## *Effetto simile in alcuni funghi, batteri e specie vegetali*

### **Meccanismo di respirazione cianuro-resistente o dell'ossidasi alternativa**

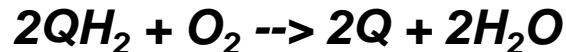
La tossicità del cianuro deriva dalla sua capacità, nei tessuti animali in respirazione, di inibire la citocromo ossidasi (complesso IV).

Molti vegetali hanno via alternativa per il trasporto degli e<sup>-</sup> sull'O<sub>2</sub>.

l'enzima responsabile è

**l' ossidasi cianuro-resistente o ossidasi alternativa**,  
nella catena di trasporto degli elettroni dei mitocondri vegetali.

L'enzima catalizza la reazione:



Gli elettroni passano alla via alternativa dal pool dell'ubichinone e

**vengono by-passati i complessi III e IV**



**non si forma ATP e l'energia che avrebbe dovuto normalmente essere  
accumulata in questo composto viene liberata sottoforma  
di energia termica (calore).**

## Funzione ed effetti della via dell'ossidasi alternativa:

- **Impollinazione entomofila.**

Durante lo sviluppo fiorale di alcuni membri della famiglia delle aracee (Sauromatum guttatum):

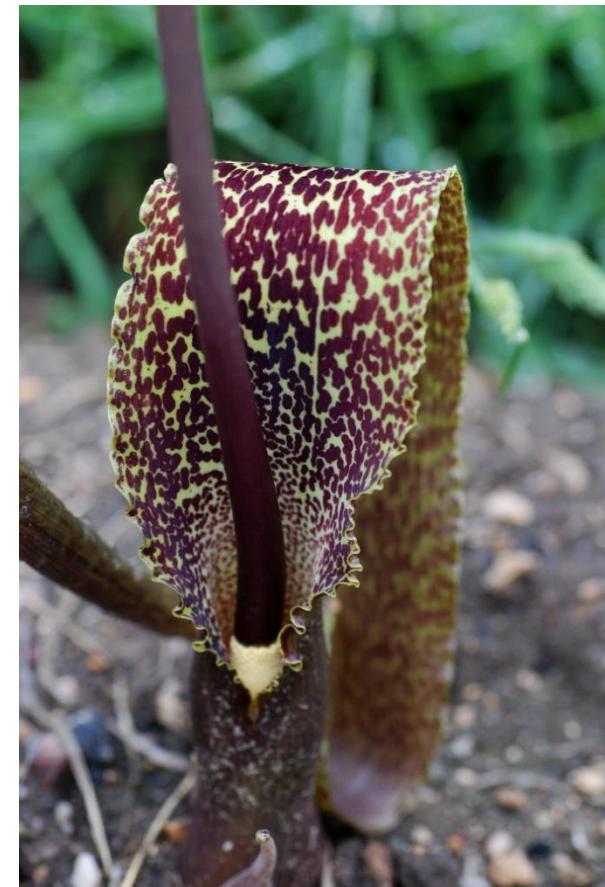
Poco prima dell'impollinazione il riscaldamento

→ *volatilizzazione di determinate ammine ed indoli  
odore putrido che attira gli insetti impollinatori*

- **valvola di sfogo di energia** in grado di ossidare substrati respiratori che si accumulano più del necessario:

gli elettroni finiscono nella via alternativa quando la **velocità di respirazione > richiesta di ATP**

- **in condizioni di stress quali gelo, siccità e osmotici, inibenti la respirazione** mitocondriale, l'ossidasi alternativa previene la sovrapproduzione di pool dell'ubichinone e di **specie tossiche reattive dell'ossigeno** (anioni superossido e radicali ossidrilici).

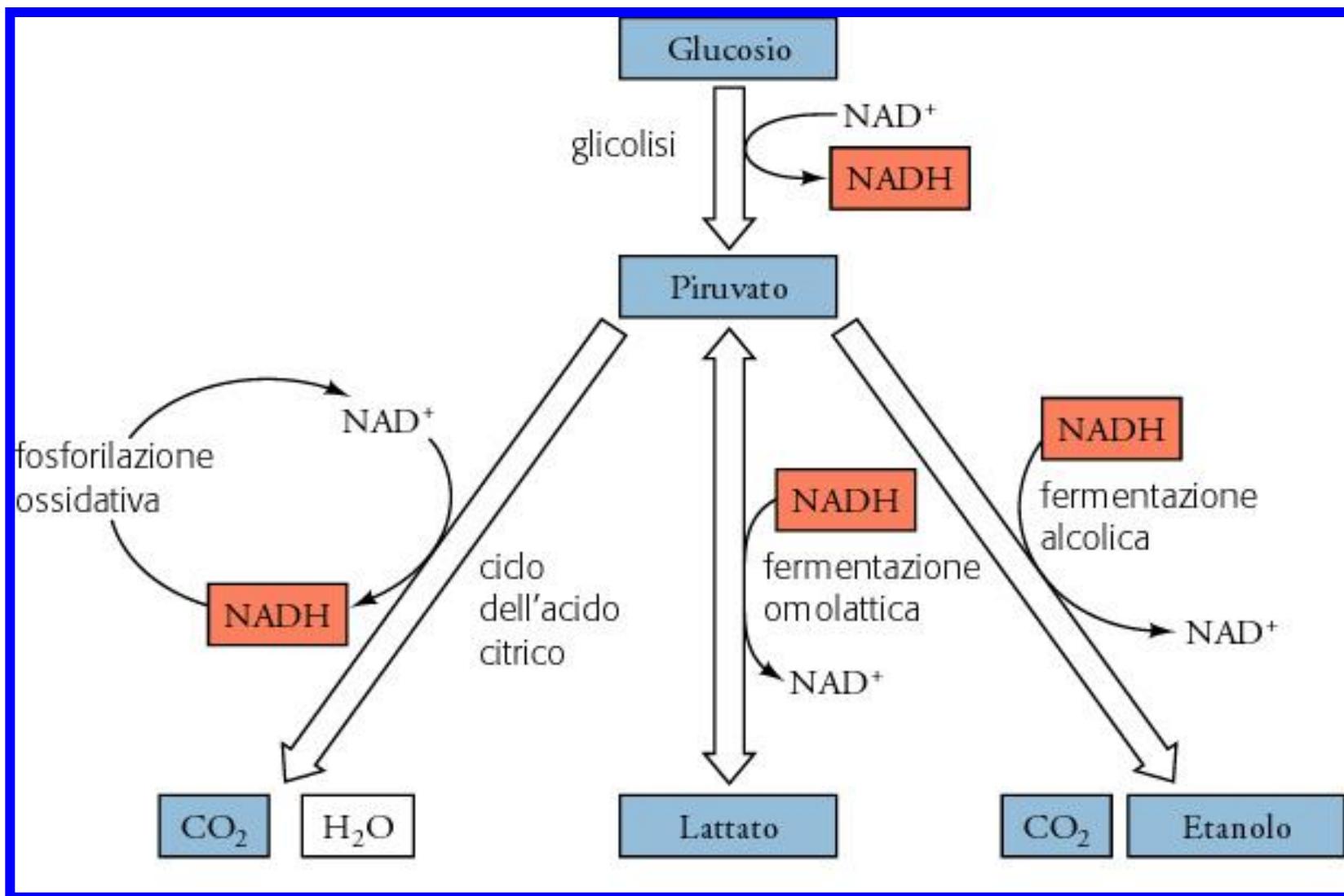


La velocità di respirazione di una pianta dipende da diversi fattori: la specie di pianta e il suo habitat, il tipo di organo che si considera e la sua età, le condizioni ambientali quali la concentrazione esterna di ossigeno, la temperatura e lo stato idrico della pianta.

Le maggiori attività respiratorie sono mostrate dalle cellule dei tessuti in via di sviluppo (gemme, apici meristematici). Nei tessuti adulti le attività sono inferiori e tendono a diminuire durante la senescenza.

Una eccezione per i frutti con CLIMATERIO (banane, pesche, mele, pere, mele cotogne, kiwi, pere, cotogne, kaki, meloni, fico, angurie, albicocche, avocado, manghi, susine, papaya)

- continuano la maturazione anche se staccati dalla pianta degradando amido
- si ha un notevole e rapido aumento della respirazione durante la senescenza di foglie e fiori recisi.
- **L' aumento climaterico è associato alla produzione di etilene e sembra essere particolarmente attiva la via cianuro-resistente**



Il destino anaerobico del piruvato è chiamato **fermentazione**:

**Omolattica** in alcuni batteri e nel muscolo in intensa attività

**Alcolica** nelle piante e si forma **etanolo**

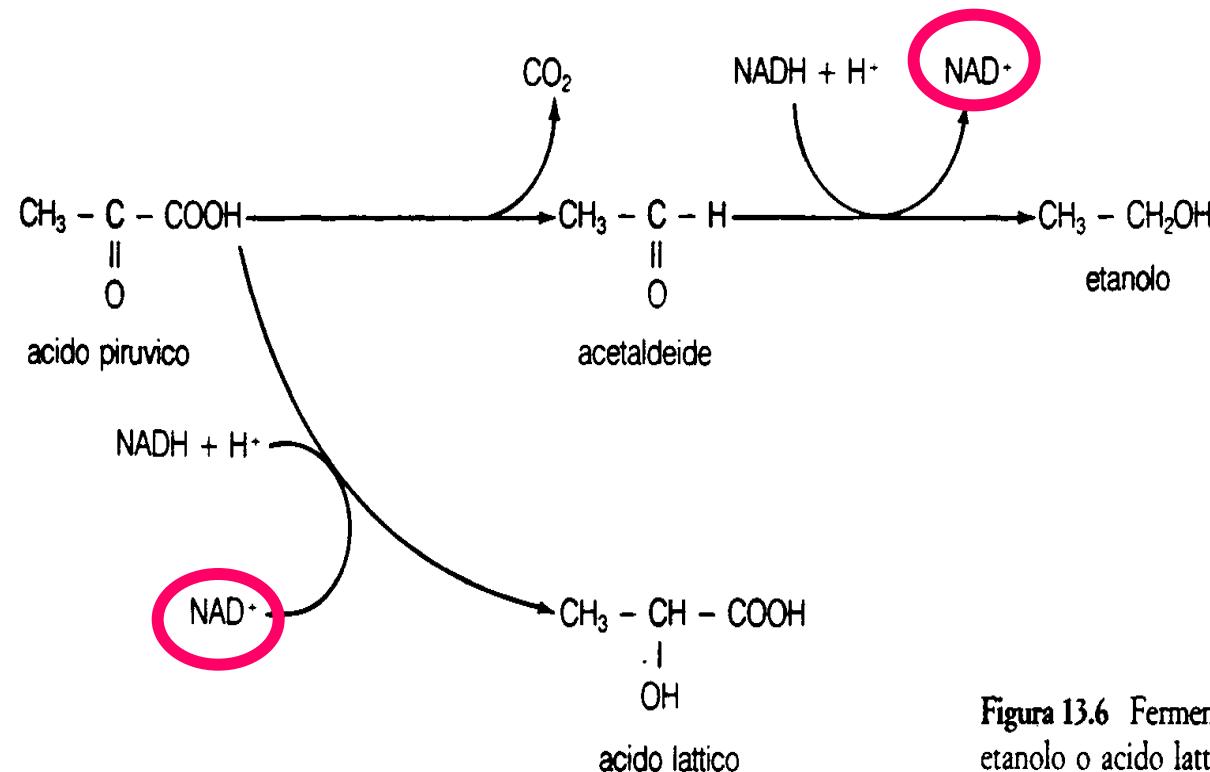


Figura 13.6 Fermentazione del piruvato per formare etanolo o acido lattico.

Viene riossidato il NADH formatosi durante la via glicolitica

## Energetica della

### Fermentazione omolattica :



### Fermentazione alcolica



Con la fosforilazione ossidativa si ha una resa di **38 ATP**  
per molecola di glucosio degradata



- La fermentazione anaerobica utilizza il glucosio in modo assolutamente inefficiente.



- La velocità di produzione di ATP può essere 100 volte maggiore a quella della fosforilazione ossidativa:

Nei tessuti come il **muscolo** in condizioni di rapido consumo di energia ATP viene rigenerato mediante la glicolisi anaerobica.