



Università di Modena & Reggio Emilia
DIPARTIMENTO di BIOLOGIA ANIMALE
Laboratorio di Biochimica



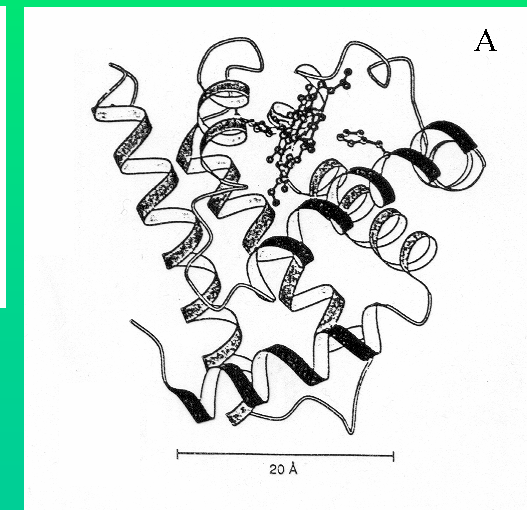
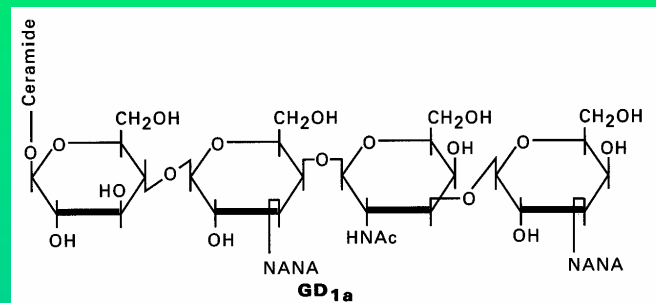
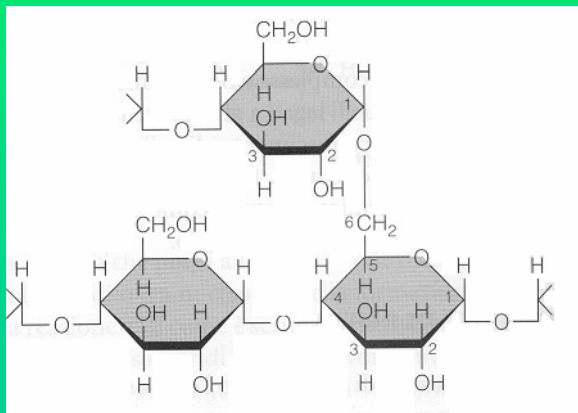
Il paradosso (termodinamico) degli organismi viventi e la soluzione bioenergetica

Nicola Volpi,
Prof. Associato di Biochimica
Dipartimento di Biologia Animale
Università di Modena & Reggio Emilia

Il criterio di spontaneità di un processo chimico è dato dalla **seconda legge della termodinamica**: qualsiasi processo naturale evolve spontaneamente nella direzione che comporta un aumento del disordine dell'Universo.

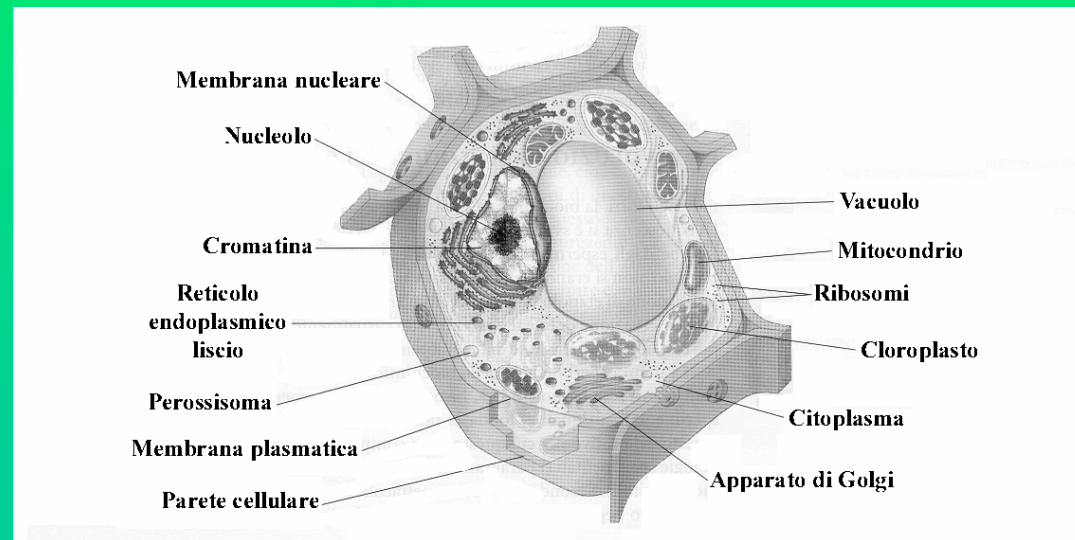
Il grado di disordine di un sistema è fornito da un'altra importante grandezza termodinamica, **l'entropia**.

I sistemi viventi rappresentano un vero **paradosso** ed una sfida alle leggi della termodinamica, soprattutto alla seconda:
Semplici precursori si uniscono covalentemente per formare macromolecole, con un notevole aumento dell'ordine e diminuzione dell'entropia.



I sistemi viventi rappresentano un vero **paradosso** ed una sfida alle leggi della termodinamica, soprattutto alla seconda:

Le macromolecole si aggregano in strutture non covalenti con un ulteriore notevole aumento dell'ordine, e questo stato viene mantenuto per tutta la durata della vita stessa dell'organismo.



Qual'è quindi la soluzione al paradosso termodinamico?

Mantenere l'ordine di un sistema è possibile solo investendo grandi quantità di energia

- La **prima legge della termodinamica** afferma che in un sistema isolato l'energia può essere convertita da una forma all'altra ma non può essere distrutta.

L'energia di un sistema isolato è costante.

- Le reazioni biologiche avvengono in un sistema chiuso, a **Pressione, Volume e Temperatura** costanti.

Equazione di GIBBS

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

ΔG = Variazione di Energia Libera

ΔH = Variazione di Entalpia

ΔS = Variazione di Entropia

G = Energia libera

Permette di conoscere la spontaneità di un fenomeno conoscendo solamente le proprietà del sistema in esame e ignorando quelle dell'ambiente circostante.

Ci dice se un fenomeno è una trasformazione spontanea o no:

$\Delta G < 0$ Processo Esoergonico, spontaneo

$\Delta G > 0$ Processo Endoergonico, non spontaneo

$\Delta G = 0$ Processo all'equilibrio.

Ci dice quindi se una trasformazione può compiere lavoro, generando energia, oppure no.

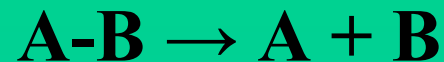
H = Entalpia

Esprime le variazioni termiche dell'ambiente.

Ci dice se una trasformazione produce calore o assorbe calore:

$\Delta H < 0$ Processo Esotermico, cessione di calore, favorito

$\Delta H > 0$ Processo Endotermico, assorbe calore, non favorito

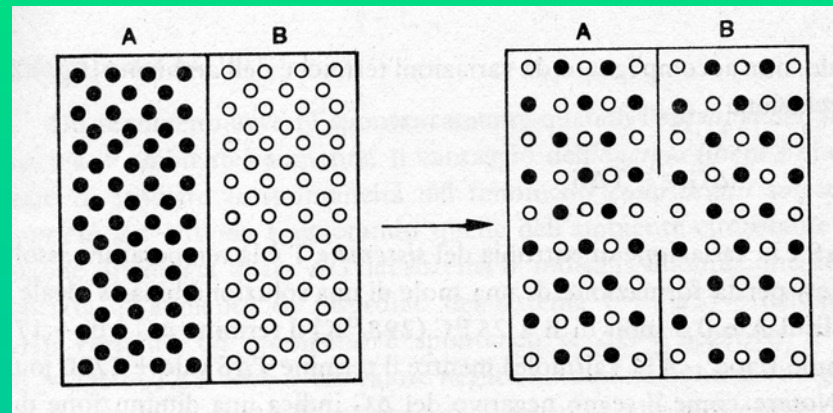


S = Entropia

Una trasformazione avviene spontaneamente quando l'entropia del sistema aumenta. Sono favoriti quindi i processi in cui aumenta il disordine.

$\Delta S < 0$ Aumenta l'ordine del sistema, Processo non spontaneo

$\Delta S > 0$ Aumenta il disordine del sistema, Processo spontaneo



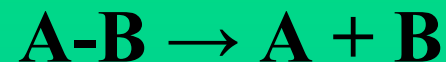
Equazione di GIBBS

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$\Delta G < 0$ Processo Esoergonico

$\Delta H < 0$ Processo Esotermico, cessione di calore

$\Delta S > 0$ Processo spontaneo, aumenta il disordine del sistema



$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln [B]/[A]$$

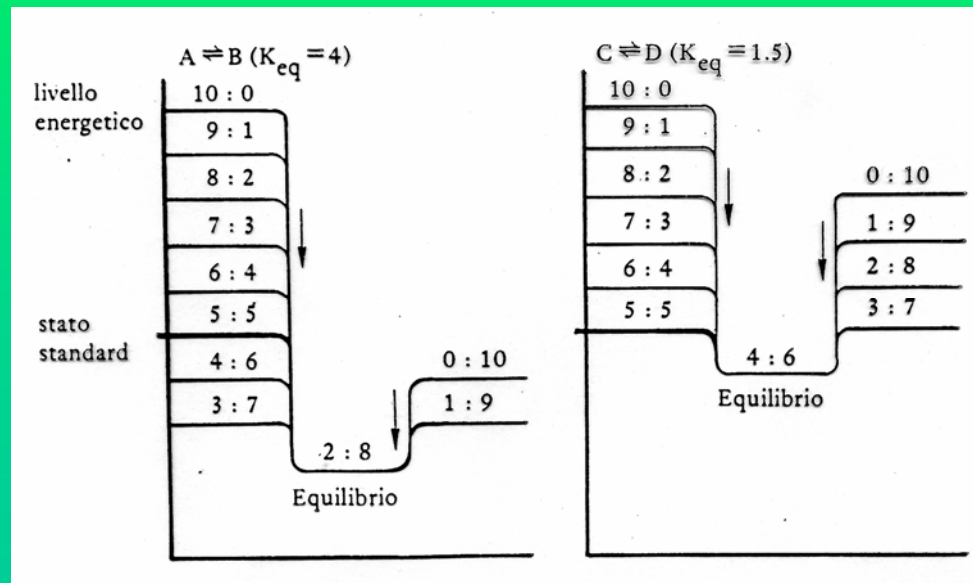
Per $A \rightarrow B$

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K_{eq}$$

$\Delta G < 0$ Processo Esoergonico, Favorito

$\Delta G > 0$ Processo Endoergonico, Non favorito

$\Delta G = 0$ Processo all'equilibrio

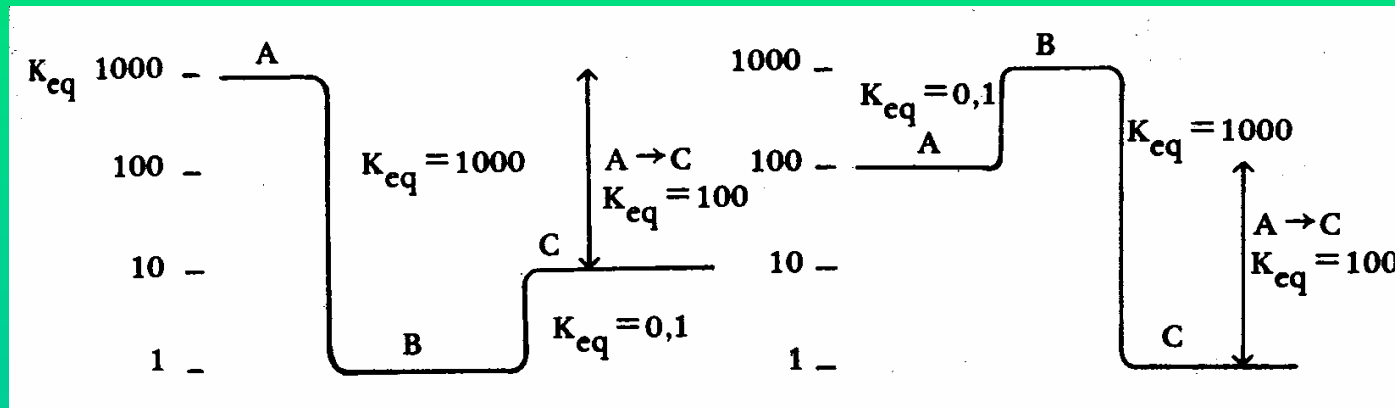




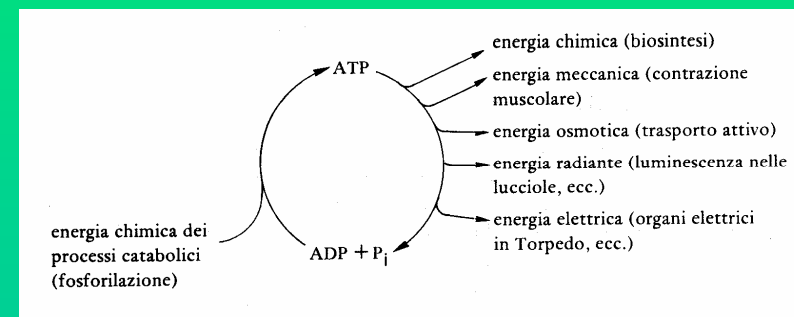
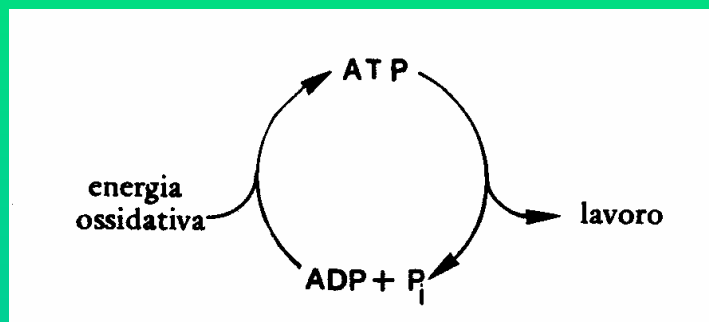
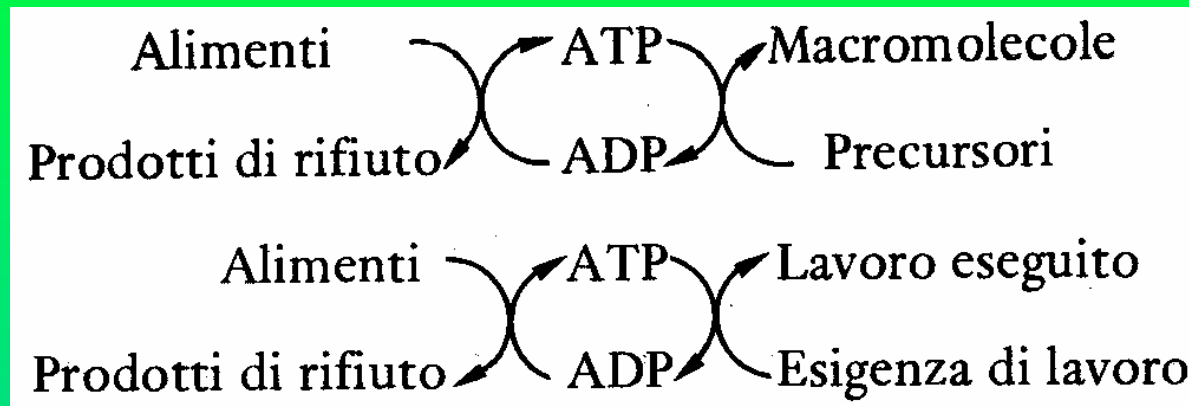
$$\Delta G3 = \Delta G1 + \Delta G2$$

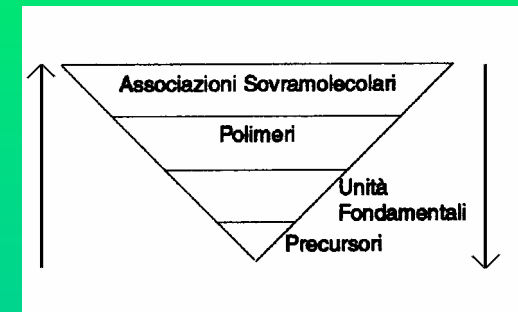
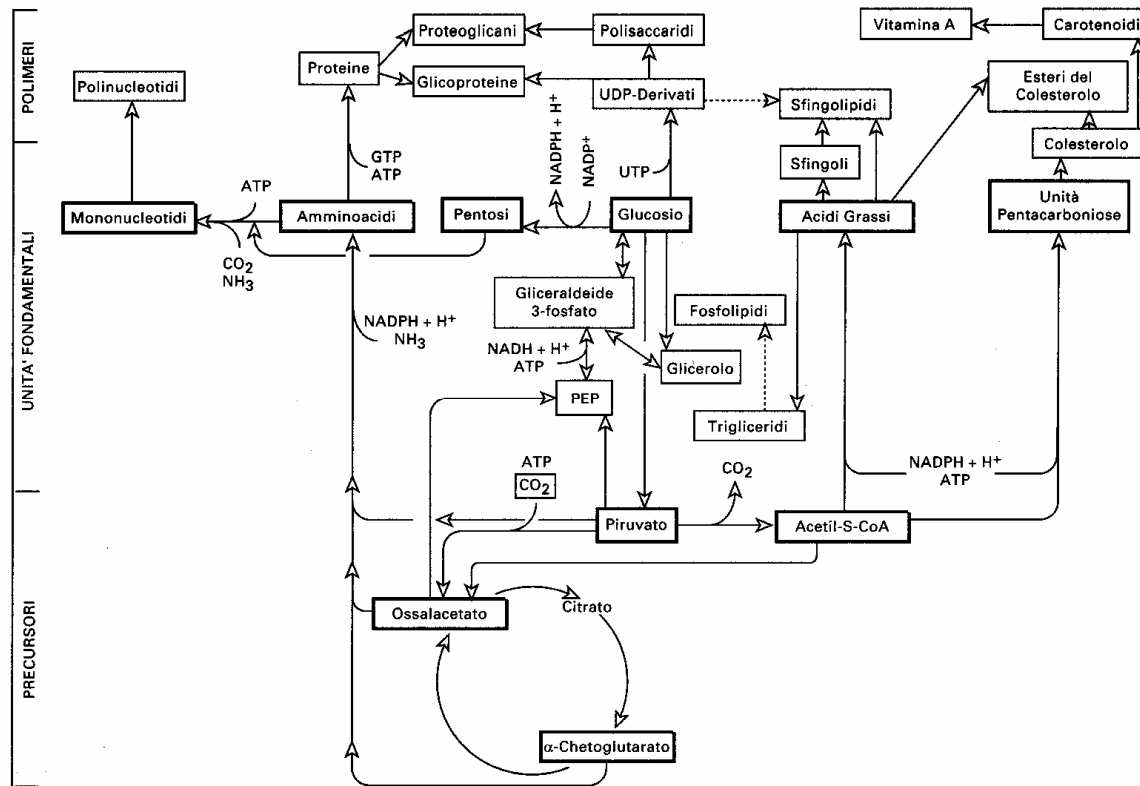
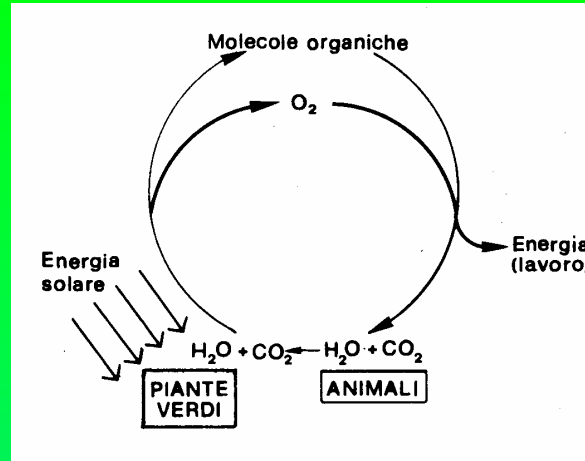


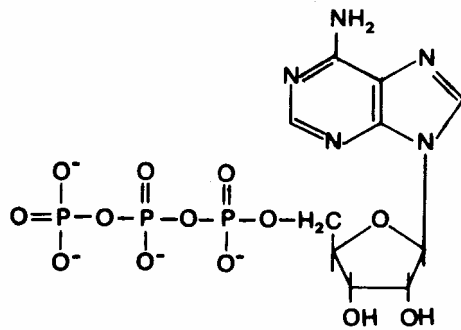
$$\Delta G3 = -1000 \text{ cal/mole}$$



Come fanno gli organismi viventi a produrre l'energia chimica che serve loro? E in una forma utilizzabile da tutti gli organismi?

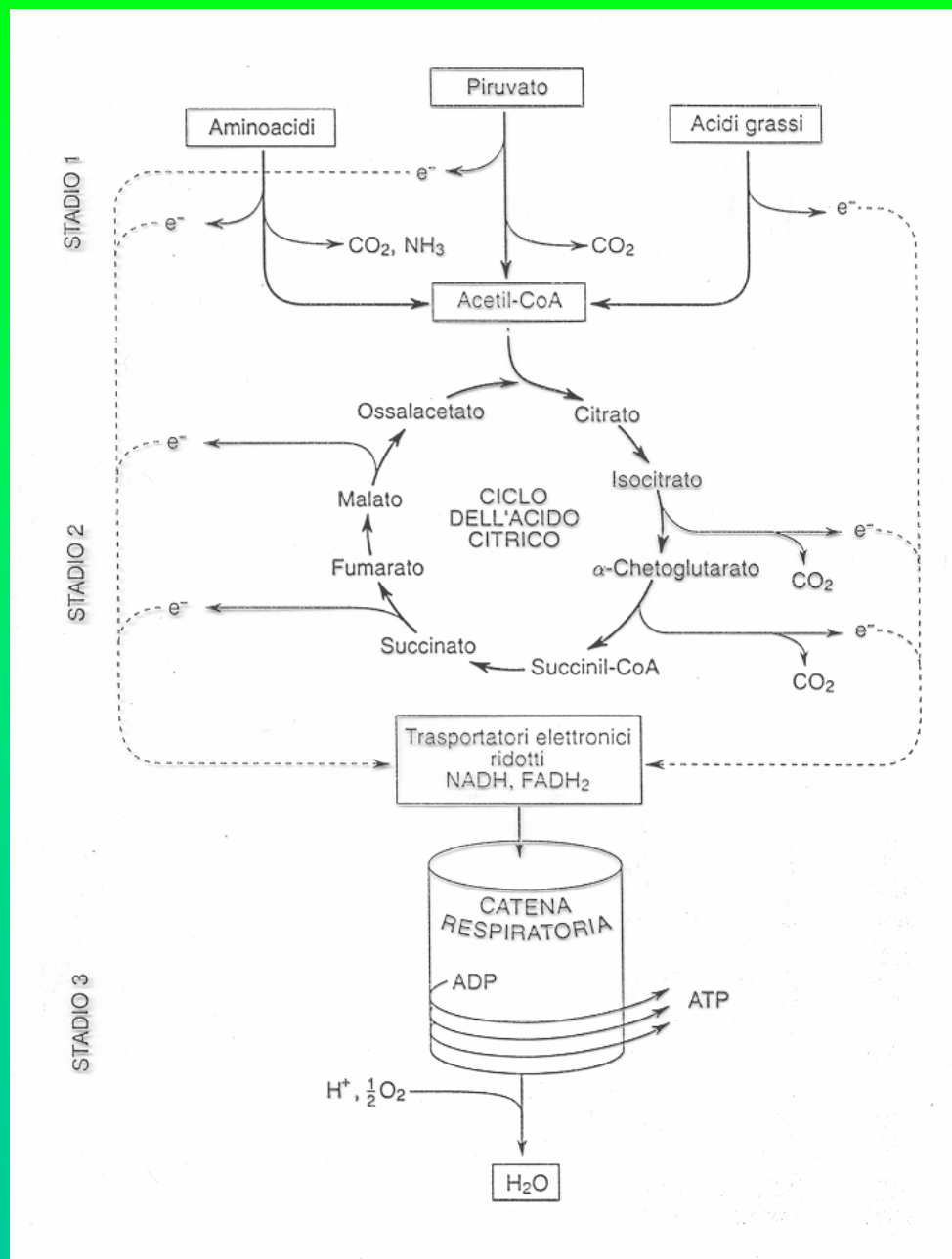




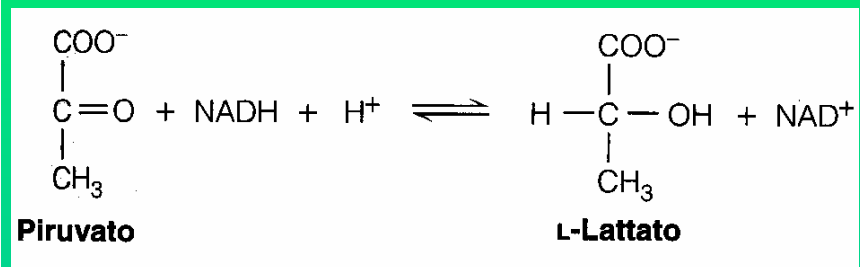
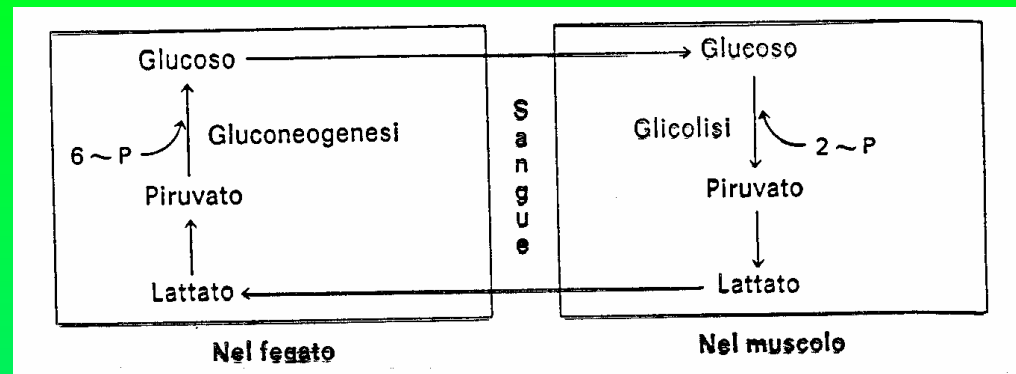
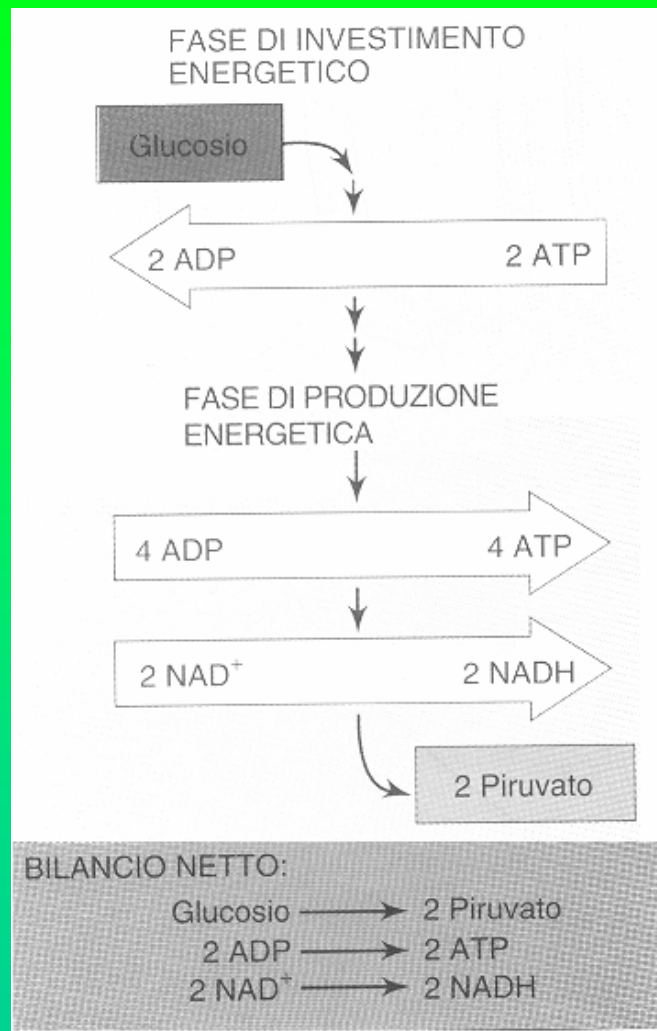


ATP → GTP Sintesi Proteine
ATP → CTP Sintesi Lipidi
ATP → UTP Sintesi Carboidrati

Composto	Prodotti di idrolisi	$\Delta G'^0$ (pH7) kcal/mole	P
Fosfoenolpiruvato	Piruvato + HPO_4^{2-}	- 14.800	14,8
1,3-difosfoglicerato	3-fosfoglicerato + HPO_4^{2-} + H^+	- 13.000	13,0
Carbamil-fosfato	$\text{H}_2\text{N-COO}^-$ + HPO_4^{2-} + H^+	- 12.300	12,3
Anidride acetica	2 acetato + 2H^+	- 11.800	11,8
Acetil-fosfato	acetato + HPO_4^{2-} + H^+	- 11.400	11,4
Succinil-CoA	Succinato $^{2-}$ + H^+ + CoA	- 10.400	10,4
Creatina-fosfato	Creatina + HPO_4^{2-}	- 10.300	10,3
Fosfoarginina	Arginina + HPO_4^{2-}	- 9.100	9,1
ATP $^{4-}$	AMP $^{2-}$ + pirofosfato $^{3-}$ + H^+	- 8.900	8,9
Acetil-CoA	acetato + H^+ + CoA	- 8.400	8,4
Valil-tRNA	Valina + tRNA + H^+	- 8.400	8,4
ATP $^{4-}$	ADP $^{3-}$ + HPO_4^{2-} + H^+	- 8.200 (- 7300)	8,2 (7,3)
Pirofosfato $^{3-}$	2HPO_4^{2-} + H^+	- 8.000	8,0
UDP-glucoso	glucoso + UDP $^{3-}$ + H^+	- 7.300	7,3
Saccarosio	glucoso + fruttosio	- 7.000	7,0
Mg ATP $^{2-}$	MgADP + HPO_4^{2-} + H^+	- 5.700	5,7
glucoso-1-P	glucoso + HPO_4^{2-}	- 5.000	5,0
maltoso (o glicogeno)	2 glucoso	- 4.000	4,0
asparagina	aspartato + NH_4^+	- 3.600	3,6
glucoso-6-P	glucoso + HPO_4^{2-}	- 3.300	3,3
AMP $^{2-}$	adenosina + HPO_4^{2-}	- 2.300	2,3
glicerolo-P	glicerolo + HPO_4^{2-}	- 2.200	2,2



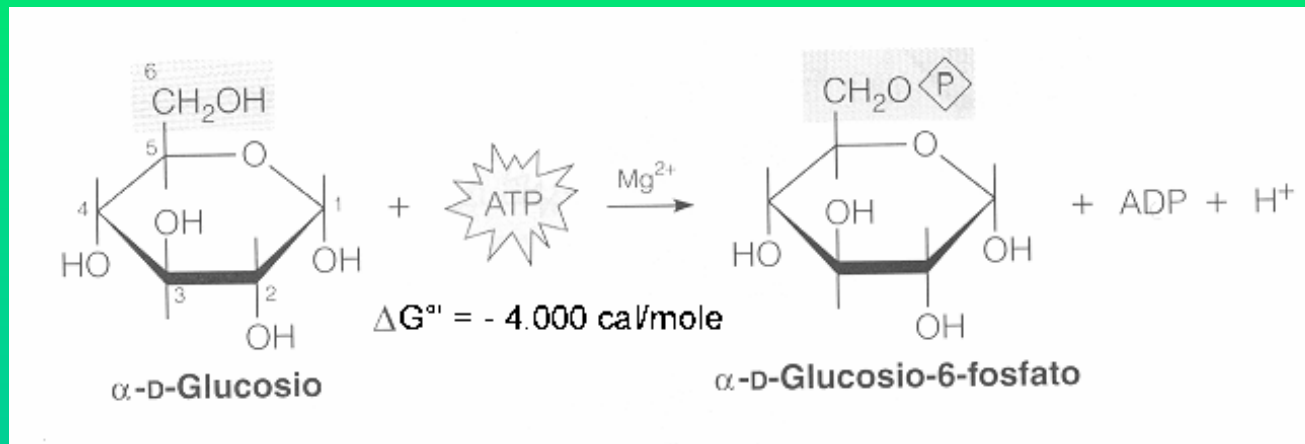
Carboidrati 4,3 kcal/gr
Lipidi 8,8 kcal/gr
Proteine 4,0 kcal/gr



OSSIDAZIONE DEL GLUCOSIO

Il glucosio ha un ruolo centrale nel metabolismo

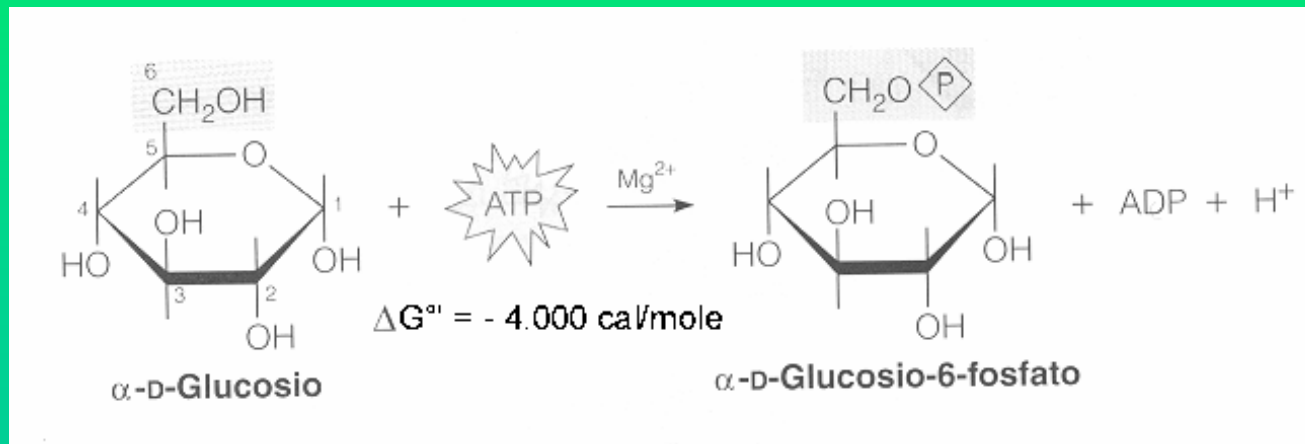
1. Produzione di energia, ATP, in diverse condizioni
2. Produzione di potere riducente per le biosintesi riduttive
3. Produzione di composti base per i processi biosintetici
4. Produzione di intermedi per altre vie metaboliche.

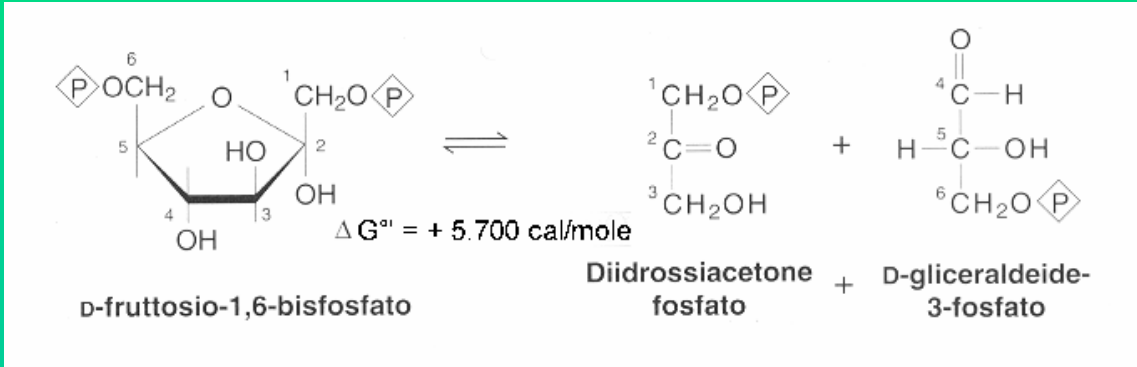
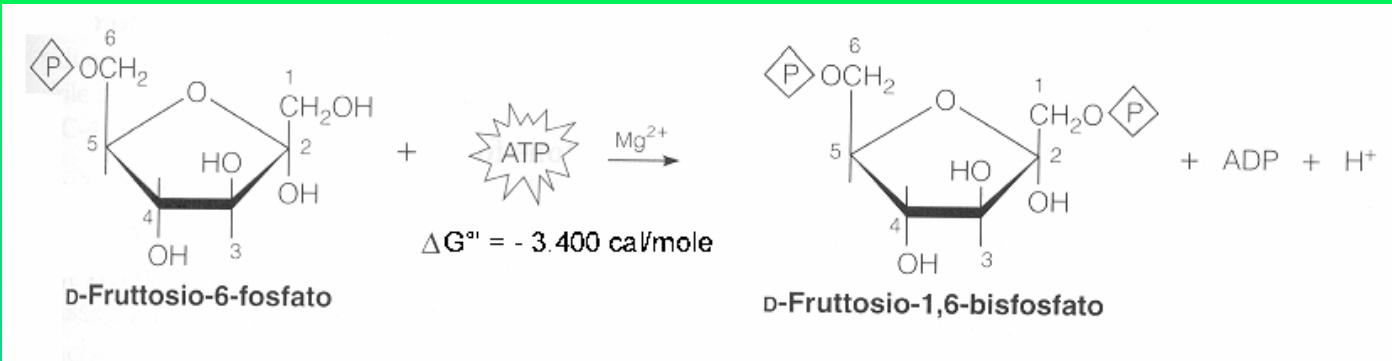
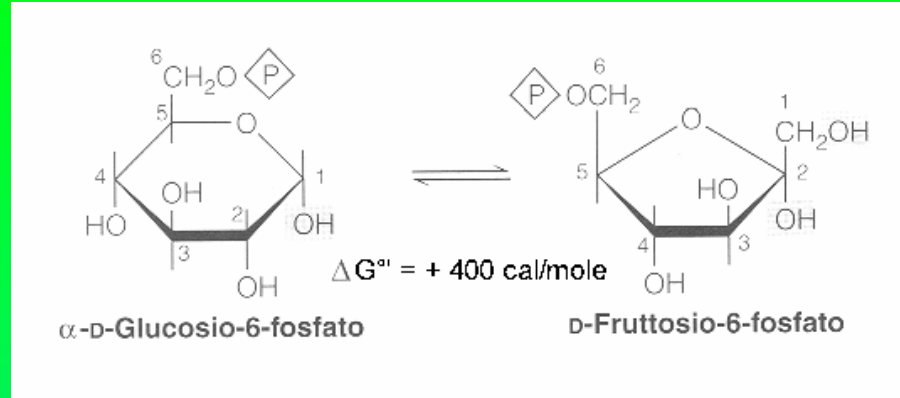


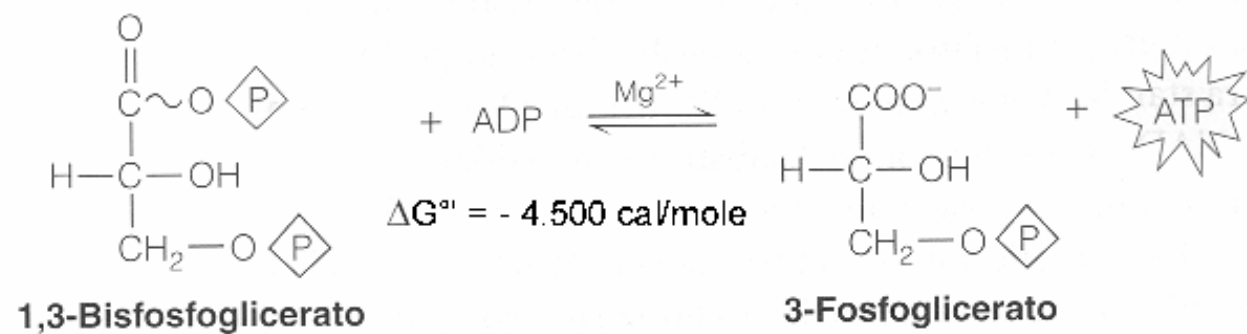
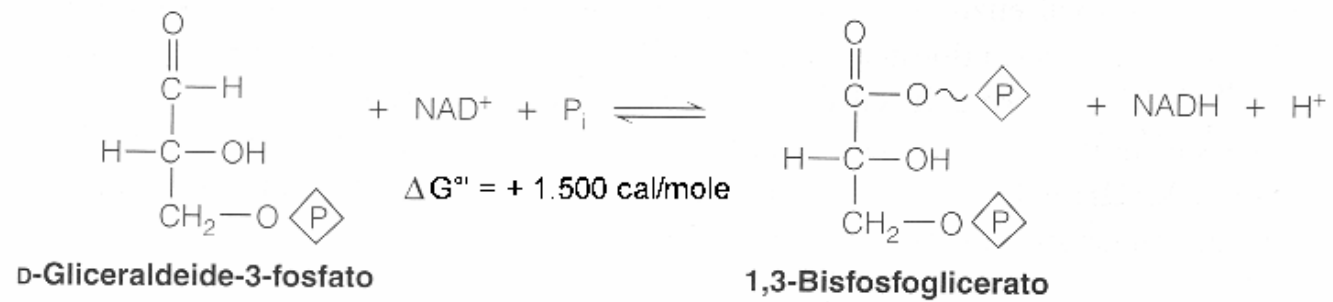
OSSIDAZIONE DEL GLUCOSIO

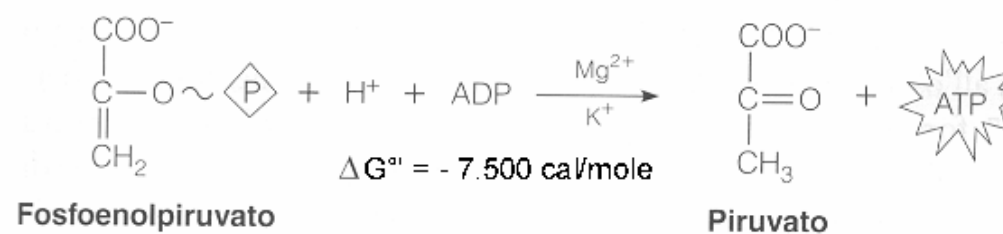
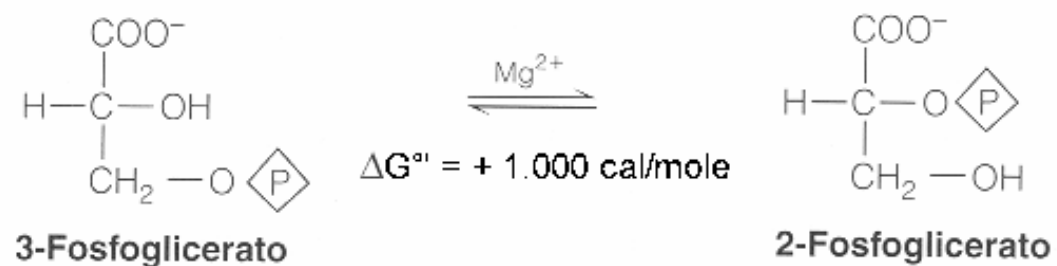
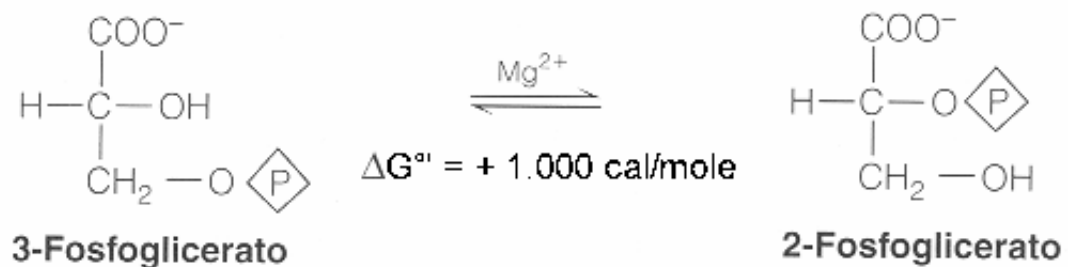
Il glucosio ha un ruolo centrale nel metabolismo

1. Alta solubilità senza carica ionica netta
2. Un gruppo carbonilico molto reattivo in grado di generare legami, protetto dal legame emiacetalico interno
3. Forte stabilità dell'anello piranosico con i gruppi idrossilici in posizione equatoriale.

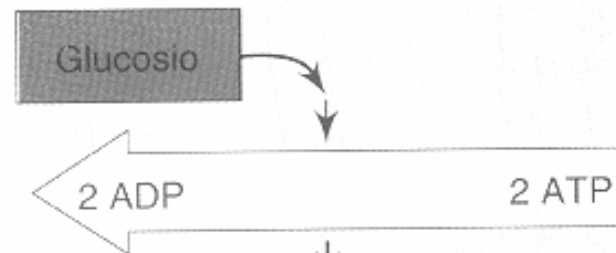




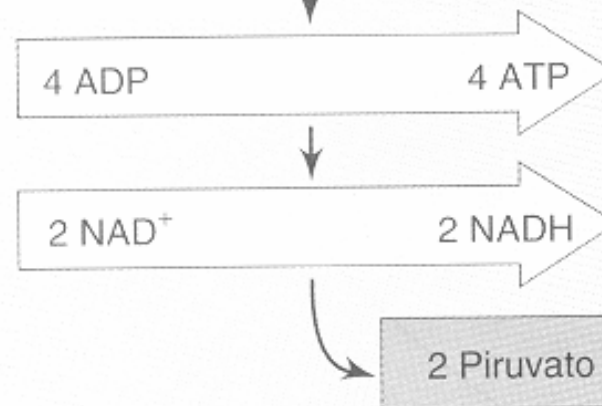




FASE DI INVESTIMENTO ENERGETICO



FASE DI PRODUZIONE ENERGETICA



BILANCIO NETTO:

Glucosio	→	2 Piruvato
2 ADP	→	2 ATP
2 NAD ⁺	→	2 NADH