

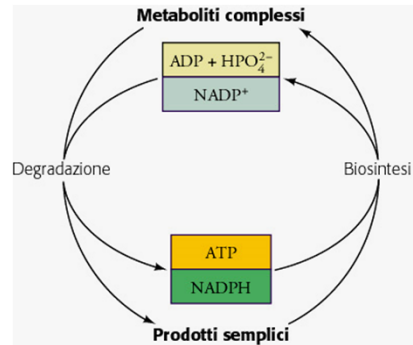
Energia

- ✚ **Capacità di svolgere lavoro.**
- ✚ A livello cellulare tale lavoro include lo **svolgimento** e la **regolazione** di una miriade di:
 - ◆ **reazioni chimiche**
 - ◆ **processi di trasporto**
 - ◆ **accrescimento**
 - ◆ **divisione cellulare**
 - ◆ generazione e mantenimento di una **struttura** altamente **organizzata**
 - ◆ **interazioni con altre cellule**
 - ◆ ecc

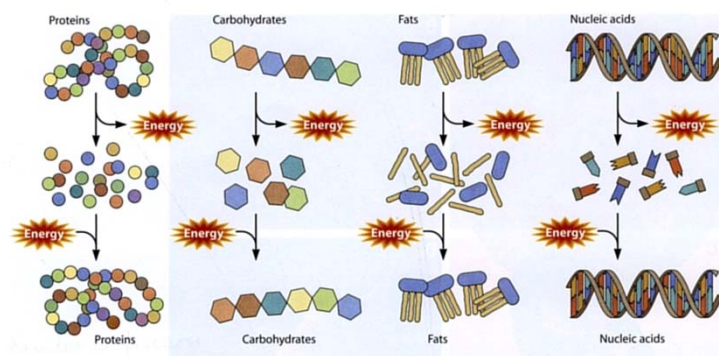
- ✚ **Catabolismo** o **degradazione** (ossidazioni esoergoniche-rilasciano energia)
- ✚ **Anabolismo** o **sintesi** (processi endoergonici – richiedono energia)

I processi **esoergonici** ed **endoergonici** sono **accoppiati** mediante la sintesi intermedia di

- ✚ **composti "ad alta energia"** come l'ATP
- ✚ **coenzimi trasportatori di elettroni** (es. NAD(P)H) oppure **trasportatori di gruppi chimici** (es. coA)



Metabolismo cellulare



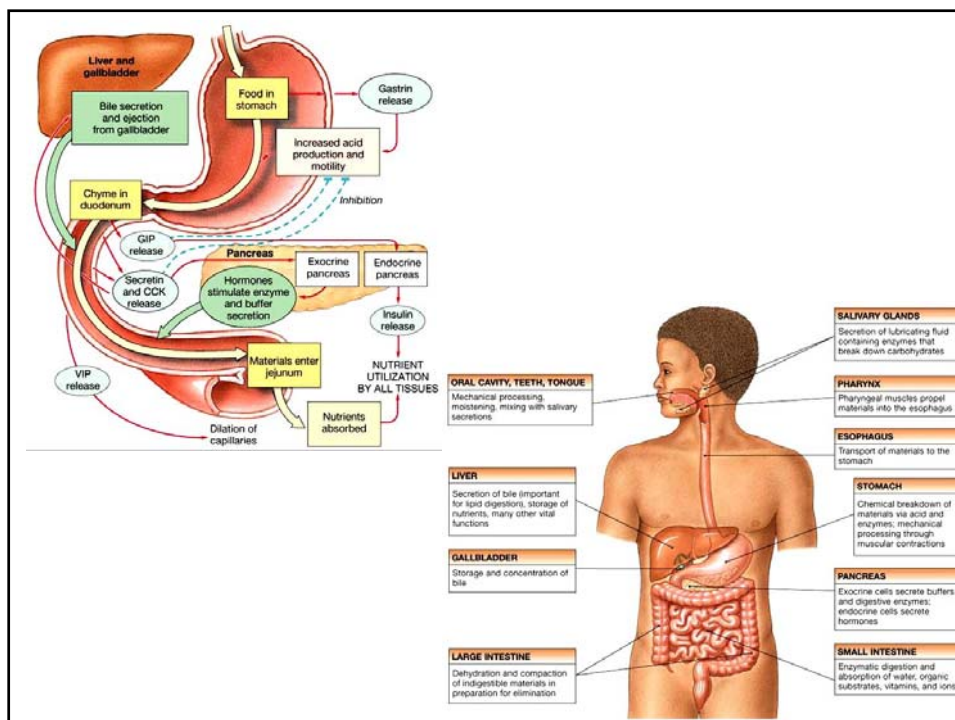
Le molecole biologiche del **cibo** vengono degradate producendo **energia** e **molecole elementari** che possono in un secondo tempo servire da **precursori** che si ricongiungono (**con apporto di energia**) dando origine ad altre molecole, a seconda delle necessità della cellula.

H. Kreuzer & A. Massey: *Biology and Biotechnology: Science, Applications and Issues* ASM Press, Washington, D.C., 2005

Il catabolismo del cibo inizia nel sistema digerente

- ✚ Nel corpo umano, l'energia e i materiali per sintetizzare tutti i tessuti sono ottenuti mediante la degradazione - **catabolismo** - di **carboidrati**, **lipidi** e **proteine**.
- ✚ Il primo passo del catabolismo, in cui le le macromolecole sono degradate nei loro componenti (carboidrati in zuccheri, proteine in amminoacidi, trigliceridi in acidi grassi e glicerolo) ha luogo nel tratto digerente:
 - La degradazione dell'**amido** ha luogo nella cavità orale ed è mediata da enzimi quali l'amilasi, che degrada l'amido in glucosio.
 - La degradazione delle **proteine** inizia nello stomaco.
 - La degradazione dei **grassi** inizia nell'intestino tenue.

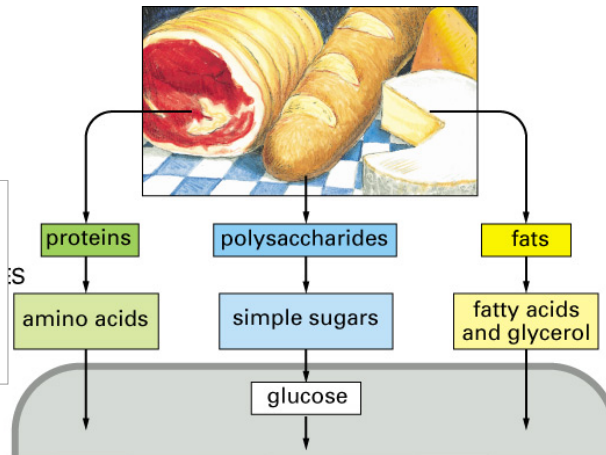
H. Kreuzer & A. Massey: *Biology and Biotechnology: Science, Applications and Issues* ASM Press, Washington, D.C., 2005



I tre stadi del metabolismo cellulare che portano dal cibo ai prodotti di scarto in una cellula animale

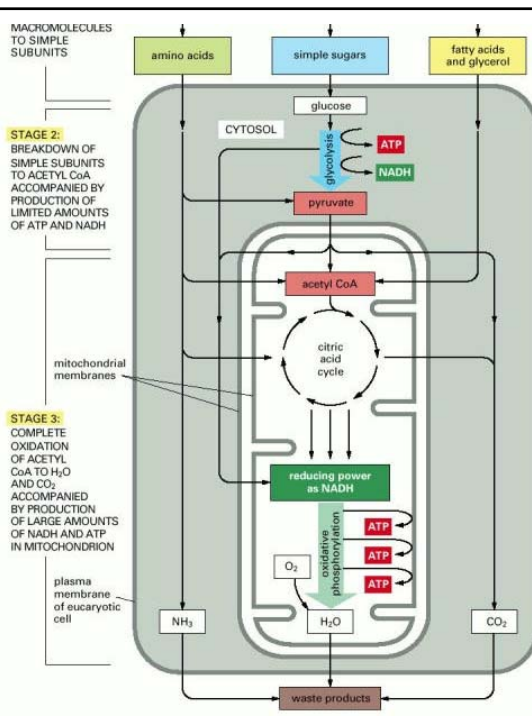
- [1]

Stadio 1.
Degradazione di macromolecole di grandi dimensioni in subunità semplici



<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NB26882/figure/A290/?report=objectonly>

I tre stadi del metabolismo cellulare che portano dal cibo ai prodotti di scarto in una cellula animale - [2-3]



Stadio 2: Degradazione (nel citosol) di subunità semplici fino a acetylCoA, accompagnata dalla produzione di ridotte quantità di ATP e di NADH.

Stadio 3: Ossidazione completa dell'acetyl CoA ad H₂O e CO₂ accompagnata dalla produzione di grandi quantità di NADH ed ATP nei mitocondri.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26882/figure/A290/?report=objectonly>

Nella cellula le vie metaboliche hanno localizzazioni specifiche

- ✚ **Vantaggio:** compartimentazione di vie metaboliche opposte e di attività enzimatiche “antagoniste”
- ✚ **Svantaggio:** necessità di **trasportatori intermedi** che possano attraversare le membrane che delimitano i compartimenti cellulari


Una via catabolica nel suo insieme può essere fortemente esoergonica

- ✚ Ad es. ossidazione completa del glucosio $\Delta G^{\circ} = -2850 \text{ kJ} \cdot \text{mole}^{-1}$
- ✚ Le cellule **decompongono la reazione in diversi passi intermedi** in cui **la quantità di energia rilasciata è perfettamente appaiata alla quantità di energia che può essere immagazzinata**, ad es. in **ATP**, oppure **può essere adoperata per svolgere il successivo passo della reazione.**
- ✚ Se non ci fosse questo perfetto appaiamento, **l'energia rilasciata in eccesso verrebbe sprecata sotto forma di calore**, oppure non si formerebbe energia sufficiente per generare molecole di ATP o per rendere possibile la reazione successiva.

Lodish, 7° ed.

Seminario

COLD TEMPERATURES ACTIVATE CALORIE-BURNING FAT
 Below, PET scans show deposits of brown fat, which can rapidly burn glucose to produce heat when activated by the cold.



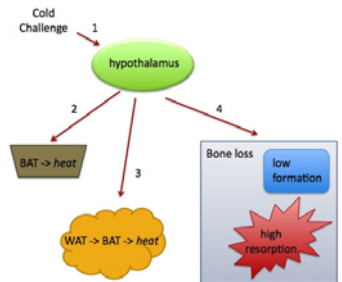
... Non sempre il calore rilasciato viene spreco....

Lean person
At room temperature
72 degrees F (22,2°C)

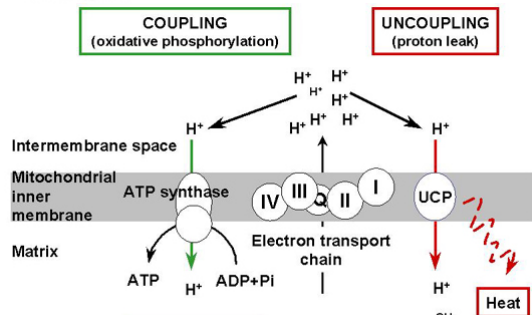
Lean person
At cool temperature
61 degrees F (16,1°C)

Obese person
At cool temperature
61 degrees F (16,1°C)

SOURCE: New England Journal of Medicine NEW YORK TIMES NEWS SERVICE





http://www.discoverymedicine.com/Katherine-J-Moty/files/2011/03/discovery_medicine_clifford_j_ros_en_no_58_figure_1.png

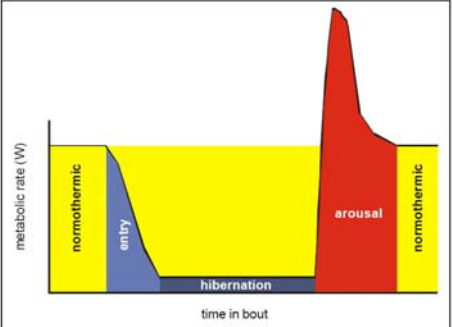


<http://people.duke.edu/~sc9/pics/figure1.jpg>

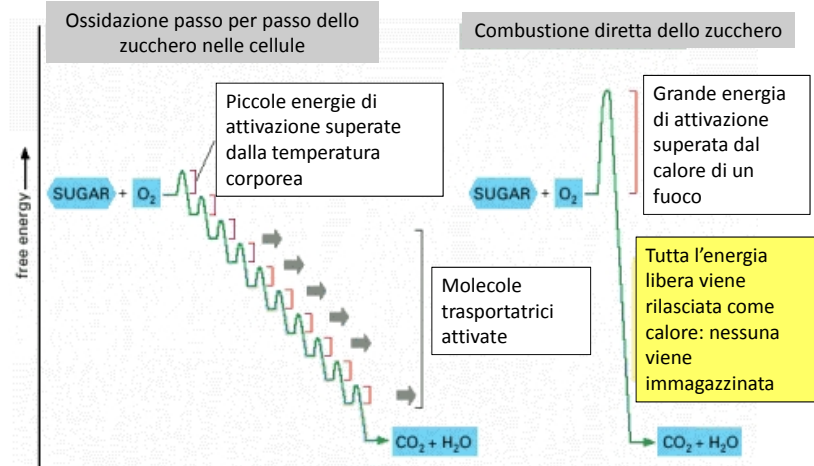
Risveglio dopo ibernazione







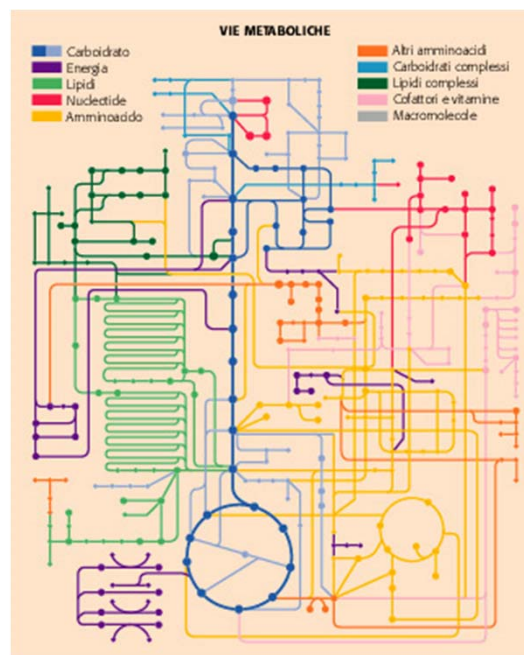
Rappresentazione schematica dell'**ossidazione controllata** dello zucchero, passo per passo in una cellula, paragonata con la **combustione diretta**



<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26882/figure/A288/?report=objectonly>

✚ I processi mediante i quali le molecole biologiche vengono decomposte o resintetizzate formano una **rete di reazioni enzimatiche**, complessa e **finemente regolata**: **metabolismo** dell'organismo.

✚ Questa rete consente non solo di **produrre** ma anche di **utilizzare energia libera**.



Seminario

OSSIDAZIONE vs. RIDUZIONE – [1]

- ✚ Reazioni in cui vengono trasferiti elettroni da un atomo all'altro
 - **OSSIDAZIONE**: Rimozione di elettroni
 - **RIDUZIONE** (opposto dell'ossidazione): **Aggiunta di elettroni**
- ✚ Quando una molecola di una cellula cattura un **elettrone** (e^-), essa spesso **cattura contemporaneamente anche un protone** (H^+) (i protoni sono liberamente disponibili dall'acqua).
- ✚ L'effetto netto è quello di **aggiungere un atomo di idrogeno** alla molecola:



Seminario

OSSIDAZIONE vs. RIDUZIONE – [2]

- ✚ Nonostante vengano coinvolti un protone più un elettrone (invece soltanto di un elettrone), le reazioni di **idrogenazione sono** in realtà delle **riduzioni**, e le reazioni opposte di **deidrogenazione** sono delle **ossidazioni**.
- ✚ E' molto semplice distinguere se una molecola organica viene ossidata oppure ridotta:
 - **Riduzione**: numero di **legami C-H aumenta**
 - **Ossidazione**: numero di **legami C-H diminuisce**.

Seminario

Equivalente riducente

✚ In Biochimica, il termine **equivalente riducente** si riferisce a **qualsiasi specie chimica che trasferisce l'equivalente di un elettrone nelle reazioni redox**. Es:

- Un singolo elettrone (per es. nelle reazioni che coinvolgono ioni metallici).
- Un atomo di idrogeno (che consiste di un protone e di un elettrone)
- Un ione idruro (:H^-) che trasporta due elettroni (ad es. nelle reazioni che coinvolgono il NAD^+)

http://en.wikipedia.org/wiki/Reducing_equivalent

OSSIDAZIONE vs. RIDUZIONE

Ossidazione	Riduzione
Perdita di elettroni	Guadagno di elettroni
Guadagno di ossigeno	Perdita di ossigeno
Perdita di idrogeno	Guadagno di idrogeno
Perdita di energia (rilascio di energia)	Guadagno di energia (immagazzina energia nei composti riducenti)
Esotermica; esergonica (rilascia energia termica)	Endotermica; endergonica (richiede energia, ad esempio calore)

Seminaro

OSSIDAZIONE vs. RIDUZIONE – [3]

L'ossidazione e la riduzione sono processi appaiati

Il composto A viene ossidato e il composto B viene ridotto in una reazione redox. In questo processo, **A perde elettroni** e **B guadagna elettroni**.

Purves et al. *Life, The Science of Biology*

Seminaro

Stadi di Ossidazione del Carbonio

(B)

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26838/figure/A245/?report=objectonly>
<https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/Images/redox1.gif>
http://www.meta-synthesis.com/webbook/15_redox/redox04.jpg

adenine

ATP

three phosphates

ribose

ATP: Conveniente fonte di **gruppi fosfato** pronti per essere **trasferiti**.

Energy is released when ATP is hydrolyzed

ATP + H₂O → ADP + P_i + 7.3 kcal/mol ATP Energy

Inorganic phosphate

<http://www.pleasanton.k12.ca.us/avhsweb/thiel/bio/labs/images/atp.jpg>

http://www.davidfunesbiomed.eu/2016_06_01_archive.html

© 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

ATP MONETA ENERGETICA PER LE REAZIONI BIOLOGICHE

phosphoanhydride bonds

energy from sunlight or from food

energy available for cellular work and for chemical synthesis

inorganic phosphate (P_i)

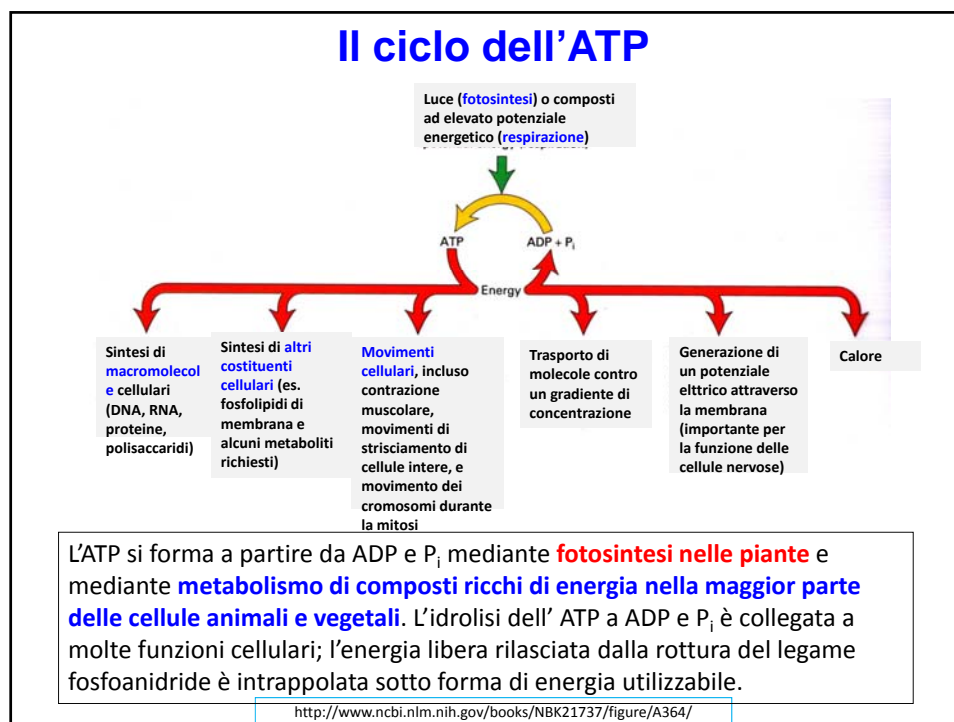
ADP

ATP

ADENINE

RIBOSE

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26883/figure/A219/?report=objectonly>



Come funziona l'ATP?

- ✚ L'ATP funziona **perdendo il gruppo fosfato terminale** mediante una reazione catalizzata da un enzima.
- ✚ Questa reazione **rilascia molta energia** che gli organismi possono a loro volta **utilizzare per le più svariate funzioni**.
- ✚ Il prodotto della reazione è **l'adenosina difosfato** (ADP) e il gruppo fosfato rilasciato finisce o sotto forma di ortofosfato (HPO₄⁻) oppure viene legato ad un'altra molecola (ad es. ad un alcool).
- ✚ Un'energia molto superiore può venire estratta se viene rimosso un secondo gruppo fosfato con produzione di **adenosina monofosfato** (AMP).
- ✚ Quando **l'organismo è a riposo e l'energia non è necessaria immediatamente** si svolge la reazione inversa, e **il gruppo fosfato viene riattaccato** ad una molecola che utilizza l'energia ottenuta dal cibo o dalla radiazione solare.
- ✚ Perciò la molecola di ATP funziona come una «**pila chimica**» che **immagazzina energia** quando è **in eccesso** ma è in grado di **rilasciarla** istantaneamente quando l'organismo lo richiede.

Cofattori – [1]

Without the cofactor attached, the protein is not active.

Cofactor binding activates the protein.

Fig. 2-18

Figure 3.3 Enzyme cofactor classification

```

graph TD
    Cofactors --> Metal_ions[Metal ions]
    Cofactors --> Coenzymes[Coenzymes]
    Coenzymes --> Cosubstrates[Cosubstrates]
    Coenzymes --> Prosthetic_groups[Prosthetic groups]
  
```

http://2.bp.blogspot.com/_gu5OnFRs_Ks/TQXyKW1jWNI/AAAAAAAAAQ4/P_PhLCJsh00/s1600/cofactor.jpg

<https://s3.amazonaws.com/classconnection/774/flashcards/1403774/jpg/cofactor-14FA32A50A91EEF03E1.jpg>

© 2008 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

19

Cofattori – [2]

- ✚ Un **cofattore** è un composto chimico **non proteico** che si **lega ad una proteina** ed è necessario per l'attività biologica di tale proteina. Di solito queste proteine sono **enzimi**, e i cofattori possono considerarsi **molecole che collaborano alle trasformazioni biochimiche**.
- ✚ I cofattori possono essere sia **organici** che **inorganici**.
- ✚ Possono essere classificati a seconda di quanto strettamente **si legano all'enzima**:
 - I cofattori **legati debolmente** sono designati **coenzimi**.
 - I cofattori **legati fortemente** sono designati **gruppi prostetici**.

Seminario

Cofattori – [3]

- ✦ Un enzima inattivo, senza il suo cofattore è detto **apoenzima**, mentre l'enzima completo con il suo cofattore è un **oloenzima**.
- ✦ **Alcuni enzimi** o **complessi enzimatici richiedono diversi cofattori**. Ad esempio, il complesso multienzimatico della **piruvato deidrogenasi**, che funziona nel punto di collegamento fra la glicolisi (citosol) e il ciclo dell'acido citrico (ciclo di Krebs; matrice mitocondriale) richiede **cinque cofattori organici** e **un ione metallico**:
 1. **Tiamina pirofosfato (TPP)**, legato debolmente;
 2. **Lipoamide e flavina adenina dinucleotide (FAD)**, legate covalentemente;
 3. **Nicotinamide adenina dinucleotide (NAD⁺)**;
 4. **Coenzima A (CoA)**
 5. Un **ione metallico (Mg²⁺)**.

Table 8.2 Enzyme cofactors

Seminario

Cofactor	Enzyme
Coenzyme	
Thiamine pyrophosphate	Pyruvate dehydrogenase
Flavin adenine nucleotide	Monoamine oxidase
Nicotinamide adenine dinucleotide	Lactate dehydrogenase
Pyridoxal phosphate	Glycogen phosphorylase
Coenzyme A (CoA)	Acetyl CoA carboxylase
Biotin	Pyruvate carboxylase
5'-Deoxyadenosyl cobalamin	Methylmalonyl mutase
Tetrahydrofolate	Thymidylate synthase

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK22380/table/A1018/>

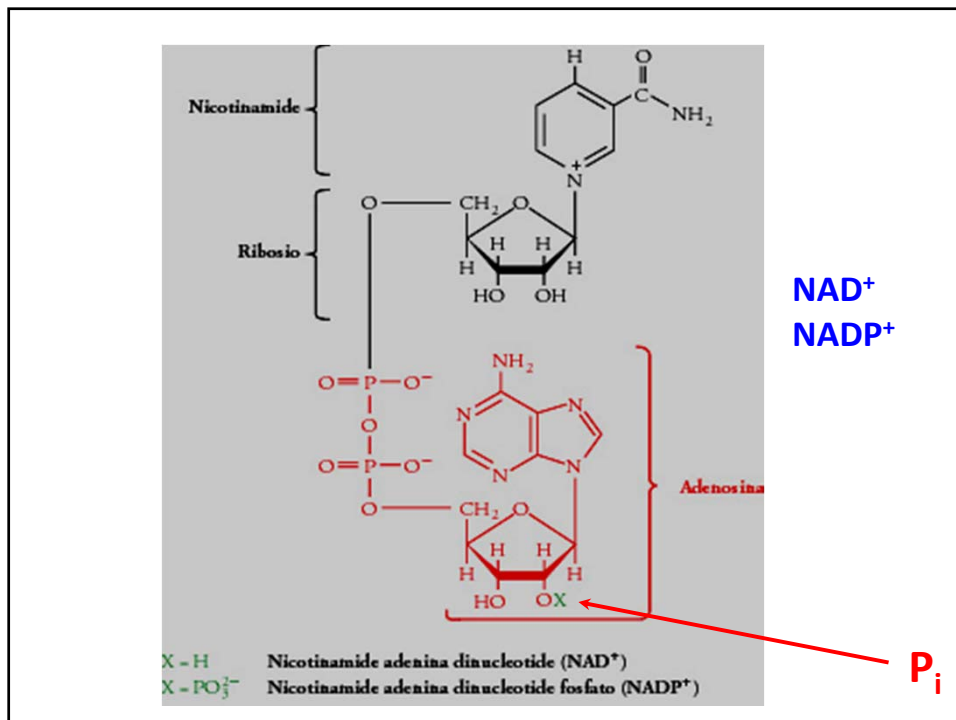
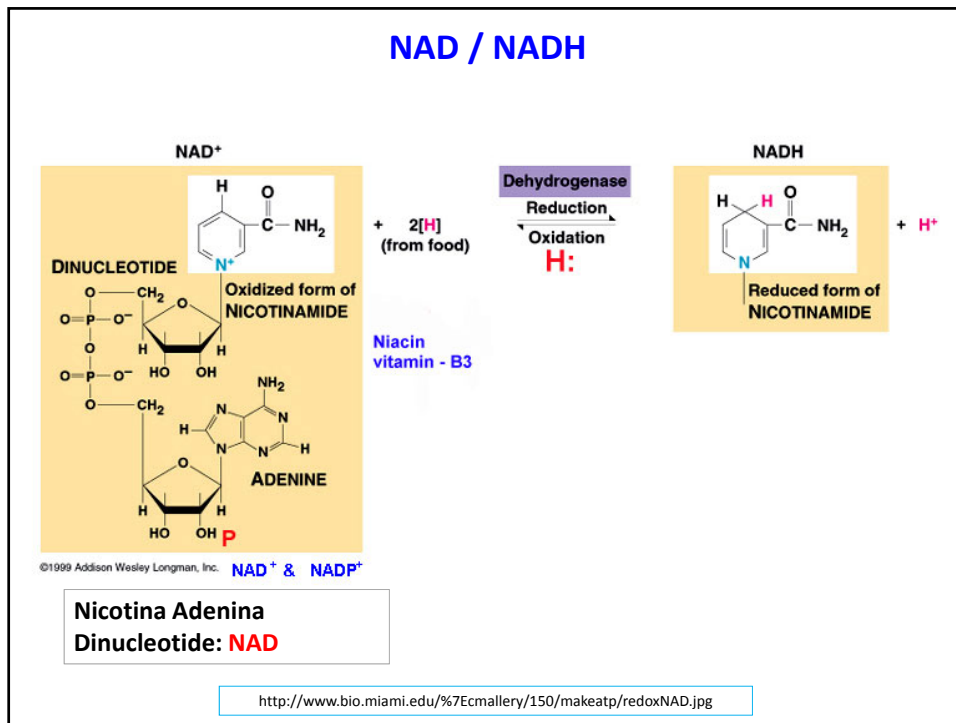
Seminario

Metal	
Zn ²⁺	Carbonic anhydrase
Zn ²⁺	Carboxypeptidase
Mg ²⁺	<i>EcoRV</i>
Mg ²⁺	Hexokinase
Ni ²⁺	Urease
Mo	Nitrate reductase
Se	Glutathione peroxidase
Mn ²⁺	Superoxide dismutase
K ⁺	Propionyl CoA carboxylase

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK22380/table/A1018/>

- ✚ La **conservazione dell'energia** durante l'ossidazione dei substrati può avvenire anche **mediante trasporto di elettroni**, scambiati in reazioni di ossido-riduzione.
- ✚ Ad es. nella **fosforilazione ossidativa il trasporto di elettroni**, che porta alla **formazione di un gradiente di protoni transmembrana**, **promuove la formazione di ATP**.
- ✚ I più comuni **trasportatori intermedi di elettroni** sono la **Nicotinamide Adenina Dinucleotide (NAD⁺)** e la **Flavina Adenina Dinucleotide (FAD)**.

www.uniroma2.it/didattica/biochimbiotec/.../IntroMETA_07.ppt

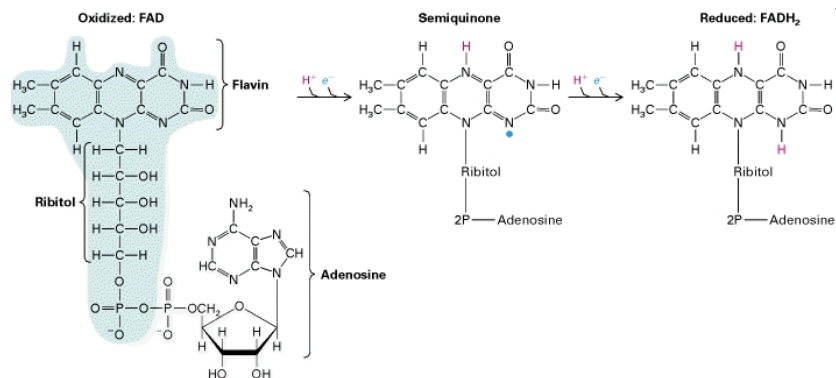


Flavina adenina dinucleotide (FAD) – [1]

- ✚ La **flavina adenina dinucleotide (FAD)**, è un importante **fattore ossidante del ciclo di Krebs** ed **interviene nel trasporto degli elettroni nel processo biochimico chiamato catena di trasporto degli elettroni**.
- ✚ È un coenzima ossidoriduttivo e partecipa a innumerevoli reazioni che comportano il trasferimento di 1 o 2 elettroni.

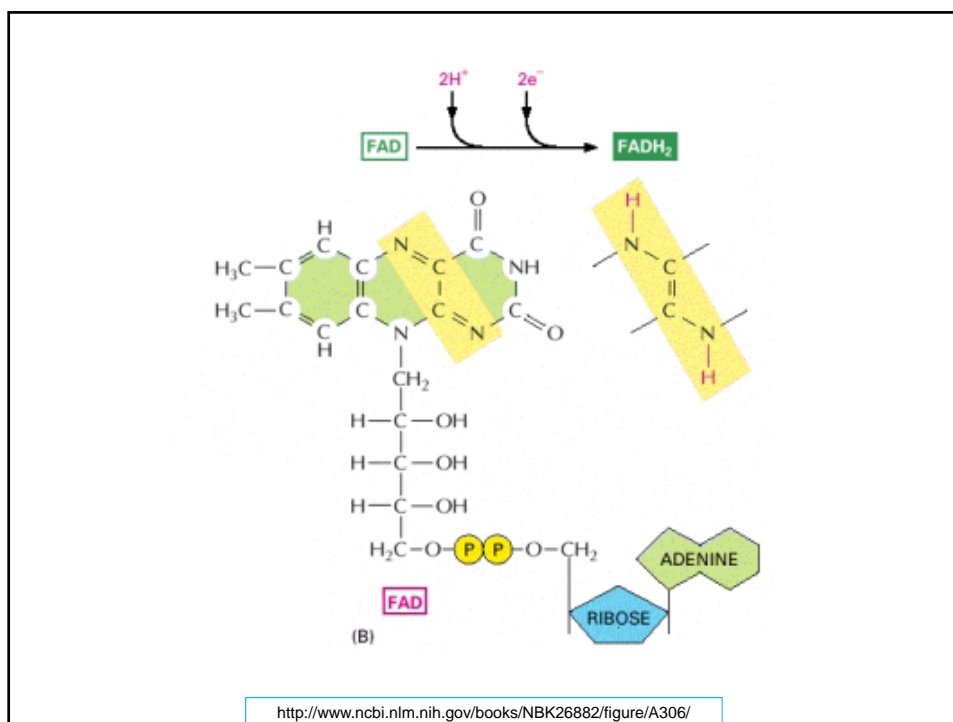
http://it.wikipedia.org/wiki/Flavina_adenina_dinucleotide

Struttura del FAD e la sua riduzione a FADH₂



Il coenzima **Flavina Adenina Dinucleotide (FAD)** può accettare uno o due atomi di idrogeno. L'aggiunta di un elettrone insieme ad un protone (ossia di un atomo di idrogeno) genera un intermedio semiquinone. Il semiquinone è un radicale libero in quanto contiene un elettrone spaiato (indicato da un punto blu), che si delocalizza mediante risonanza a tutti gli atomi degli anelli flavinici. L'aggiunta di un secondo elettrone e protone (ossia di un secondo atomo di idrogeno) genera la forma ridotta, FADH₂. Il **Flavina Mononucleotide (FMN)** è un coenzima correlato che contiene soltanto la componente flavina-ribitolo fosfato del FAD (sottolineato in blu).

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK21624/figure/A4347/?report=objectonly>



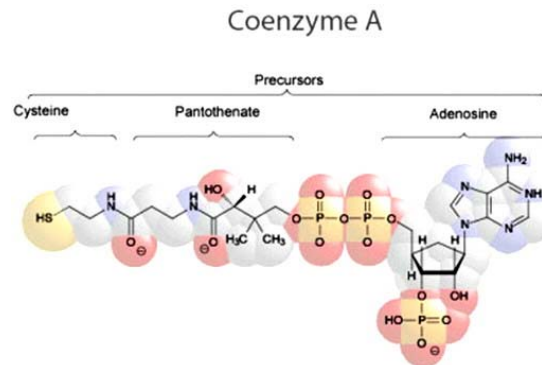
Forme ridotte del FAD - Il FADH e FADH₂

- ✚ La forma ridotta della molecola interviene in diverse reazioni biochimiche di trasporto degli elettroni e nella ossidazione degli acidi grassi.
- ✚ Gli atomi di idrogeno (H) possono essere uno o due, legati al gruppo isoalloxazinico. Se all'anello c'è legato *un solo atomo di idrogeno*, allora prenderà il nome di **FADH** (radicale semichinonico). Quest'atomo di idrogeno sarà legato all'azoto in posizione *para* sull'anello centrale del gruppo isoalloxazinico, ed il doppio legame presente nell'anello centrale scompare.
- ✚ Se all'anello ci sono legati *due atomi di idrogeno*, allora prenderà il nome di **FADH₂**. Questo secondo atomo di idrogeno sarà legato all'azoto in posizione *para* sull'anello terminale del gruppo isoalloxazinico, ed il doppio legame presente nell'anello terminale scompare, formandosi invece un doppio legame tra l'anello centrale e quello terminale affinché le valenze dell'atomo di carbonio vengano rispettate.

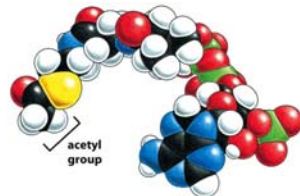
http://it.wikipedia.org/wiki/Flavina_adenina_dinucleotide

Coenzima A (CoA)

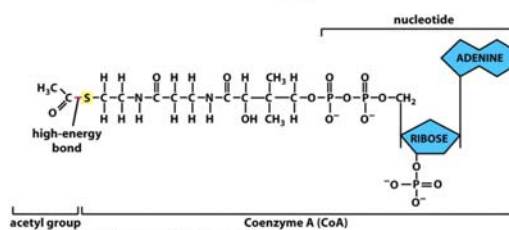
- Il **coenzima A** svolge importanti ruoli nella **sintesi** ed **ossidazione** degli acidi grassi e nell'**ossidazione del piruvato nel ciclo dell'acido citrico** (ciclo di Krebs, ciclo degli acidi tricarbossilici).



<http://www.sigmaaldrich.com/life-science/metabolomics/enzyme-explorer/enzyme-reagents/coenzyme-a.html>



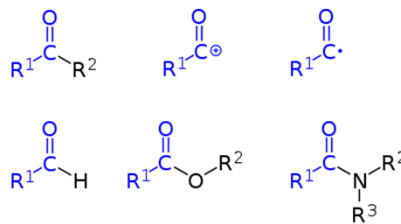
Funzione del Coenzima A



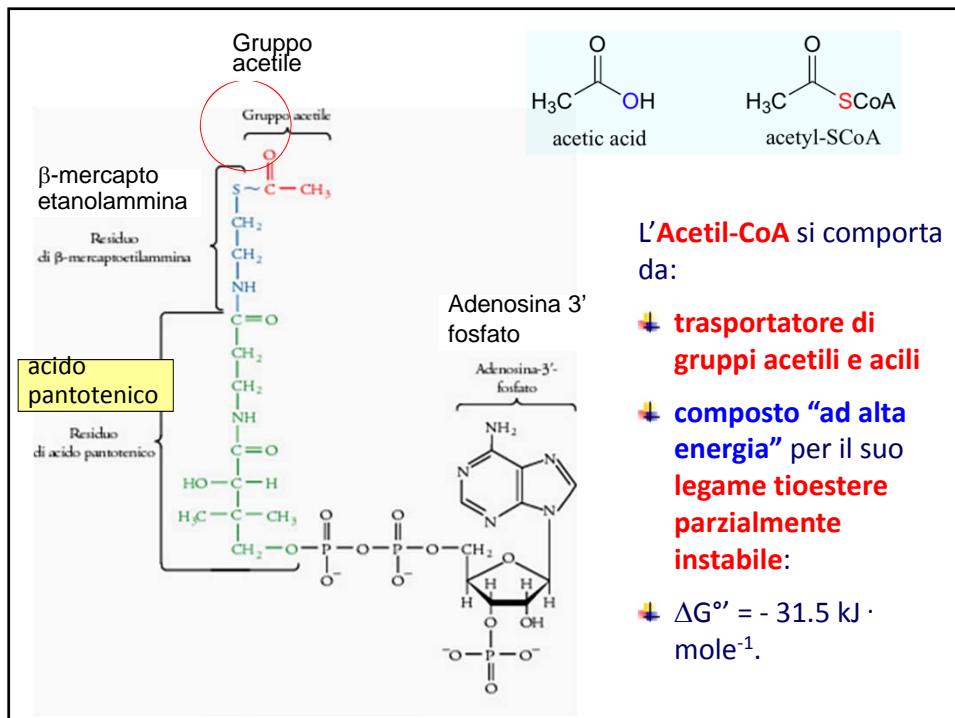
- Il **coenzima A** è un tiolo (composto con un gruppo $-SH$) che può reagire con gli acidi carbossilici per formare **tiosteri**, funzionando perciò come un **trasportatore** ("carrier") di **gruppi acilici**.
- Collabora al **trasferimento dei gruppi acilici derivati dalla decarbossilazione del piruvato ai mitocondri**.
- Collabora inoltre al **trasferimento degli acidi grassi ai mitocondri**.

Gruppi acilici

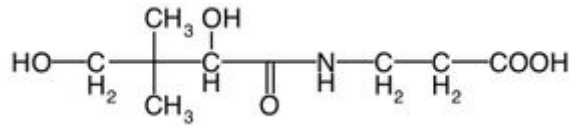
- Un gruppo acilico è un gruppo funzionale derivato dalla rimozione di uno o più gruppi ossidrilici da un ossoacido.
- In chimica organica il **gruppo acilico** è di solito **derivato da un acido carbossilico**. Quindi ha la formula RCO^- , dove R rappresenta un gruppo alchilico che è legato al gruppo CO mediante un legame singolo.



<http://en.wikipedia.org/wiki/Acyl>



Acido pantotenico (Vitamina B5)



L'acido pantotenico sembra essere ubiquitario. Si trova, in particolare, nel fegato, nel tuorlo dell'uovo, nei cereali e nei legumi. Data la grande diffusione dell'acido pantotenico in natura, non è possibile avere un quadro chiaro degli effetti della carenza di acido pantotenico in quanto si accompagnano a stati di denutrizione e di ipovitaminosi. La carenza nella dieta provocava la **pellagra** dei polli.

Seminario

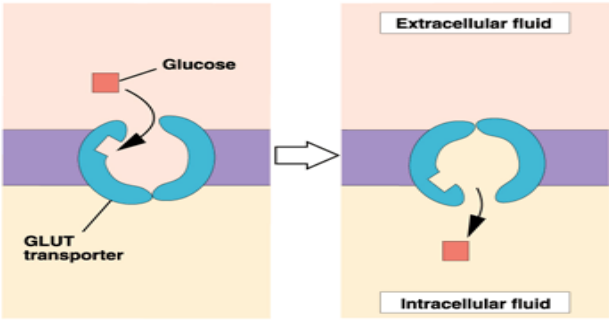
Glicolisi: Ossidazione del glucosio



Metabolismo

GLICOLISI

Glucose transport



The diagram shows a GLUT transporter protein embedded in a cell membrane. On the left, the transporter is open to the extracellular fluid, where a red square representing glucose is being loaded. An arrow points to the right, where the transporter is now open to the intracellular fluid, releasing the red square. Labels include 'Glucose', 'GLUT transporter', 'Extracellular fluid', and 'Intracellular fluid'.

C(C1C(C(C(C(O1)O)O)O)O)O
 Glucose

+ ATP

$\xrightleftharpoons{\text{Hexokinase}}$

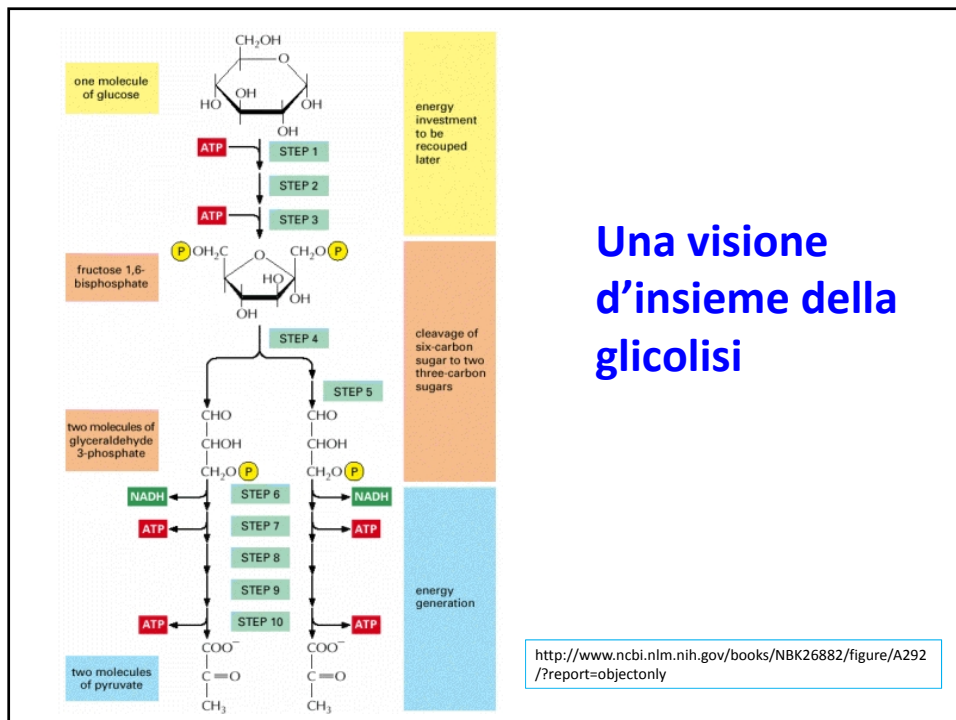
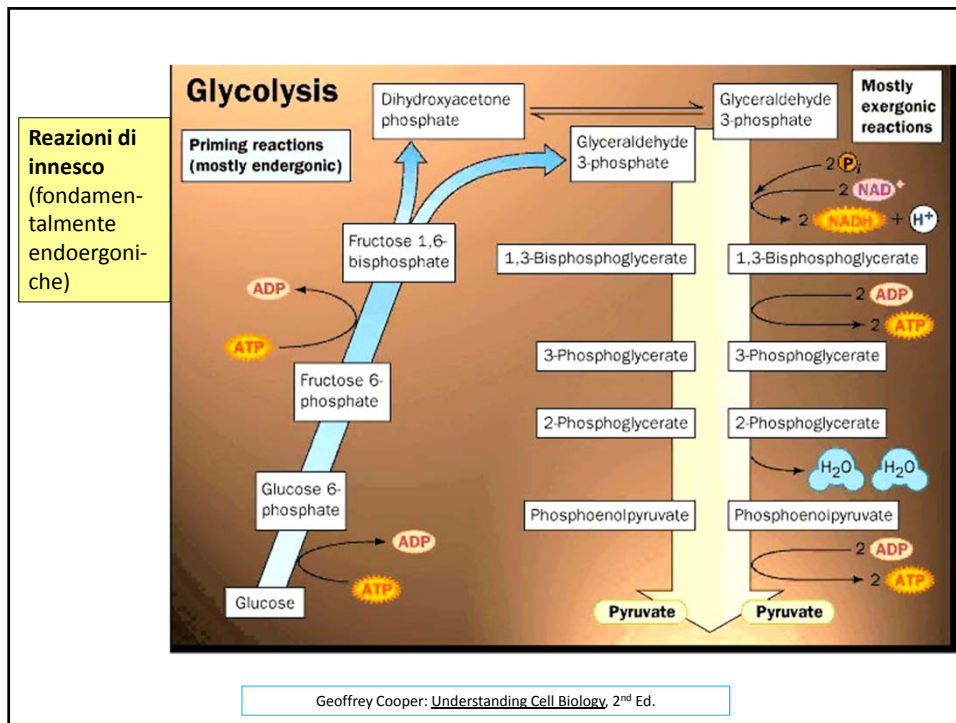
C(C1C(C(C(C(O1)O)O)O)OP(=O)([O-])[O-])
 Glucose 6-phosphate (G-6P)

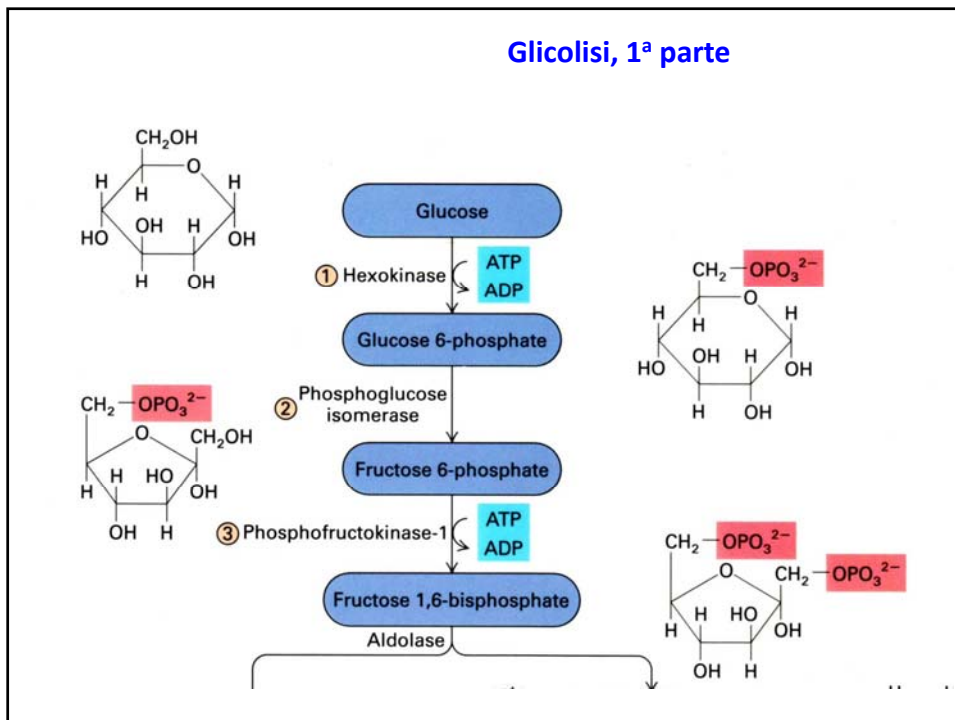
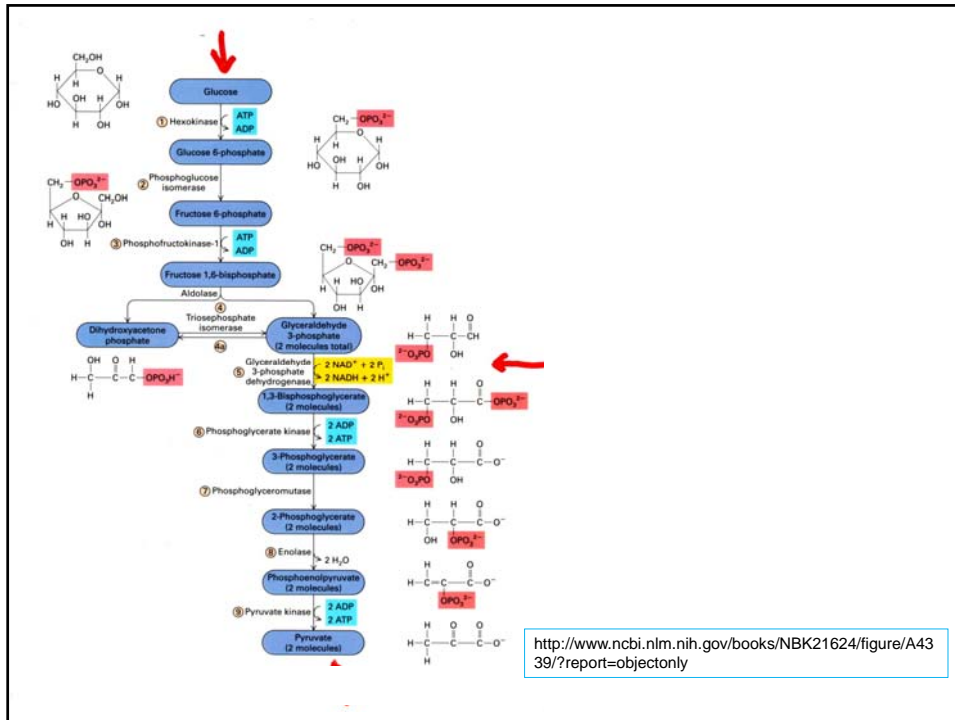
+ ADP + H⁺

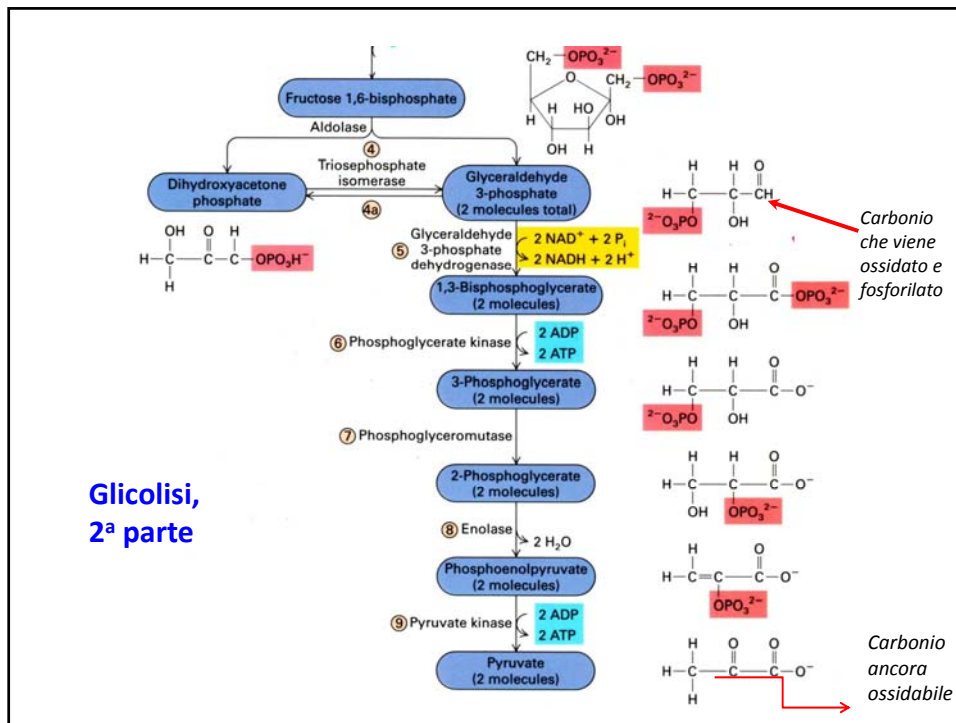
Il **glucoso-6-fosfato** **non** viene trasportato dal «carrier» per il glucosio e quindi rimane intrappolato nel citosol

Glicolisi

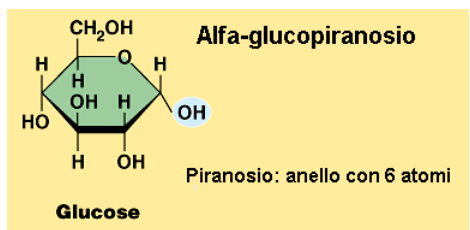
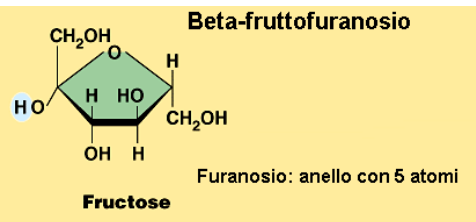
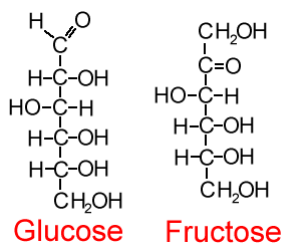
- ✚ E' una via presente in praticamente tutte le cellule, sia procariotiche che eucariotiche.
- ✚ Si svolge nel **citiosol**.
- ✚ Può essere vista come suddivisa in tre stadi:
- ✚ **STADIO 1:** Conversione del glucosio in fruttosio 1,6-bisfosfato (3 passi).
 - ▶ **Strategia:** intrappolare il glucosio nella cellula e formare un composto che possa essere prontamente scisso in unità tricarboniose fosforilate.
- ✚ **STADIO 2:** Scissione del fruttosio 1,6-bisfosfato in due frammenti con 3 atomi di carbonio, rapidamente interconvertibili.
- ✚ **STADIO 3:** Viene raccolto ATP quando i frammenti tricarboniosi sono ossidati a piruvato.





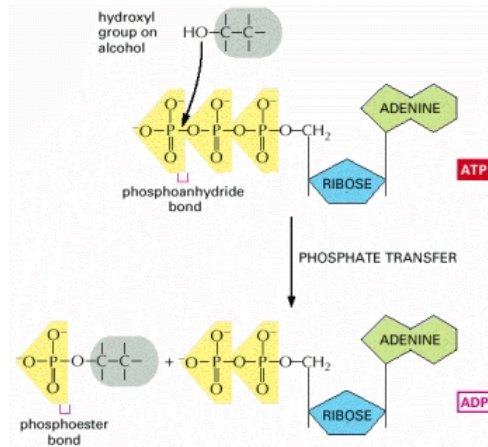


Glucosio vs Fruttosio



- ✚ L'**anello** aldopiranosico del glucosio è molto **più stabile** dell'anello aldofuranosico del fruttosio.
- ✚ In soluzione acquosa quindi predomina la forma aldopiranosica (glucosio).

Seminario



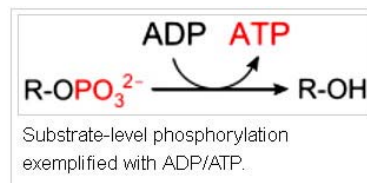
Un esempio di reazione di **trasferimento di fosfato**

Poichè un **legame fosfoanidride**, ricco di energia, dell'ATP viene convertito in un **legame fosfoesterico**, la reazione è energeticamente favorevole, in quanto ha un elevato **ΔG negativo**. Reazioni di questo tipo sono coinvolte nella sintesi dei fosfolipidi e nei passi iniziali delle reazioni di catabolismo degli zuccheri.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26838/figure/A270/?report=objectonly>

Un processo inverso: Fosforilazione a livello di substrato

- Tipo di metabolismo che deriva dalla **formazione e creazione di adenosina trifosfato (ATP)**, o di guanosina trifosfato (GTP), mediante **trasferimento diretto e donazione di un gruppo fosforile (PO_3^{2-}) all'adenosina difosfato (ADP)**, o alla guanosina difosfato (GDP), a partire da un intermedio fosforilato reattivo. Per convenzione, il gruppo fosforile trasferito è designato come "gruppo fosfato".

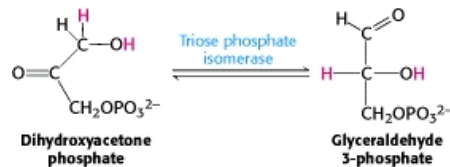


http://en.wikipedia.org/wiki/Substrate-level_phosphorylation

Seminario

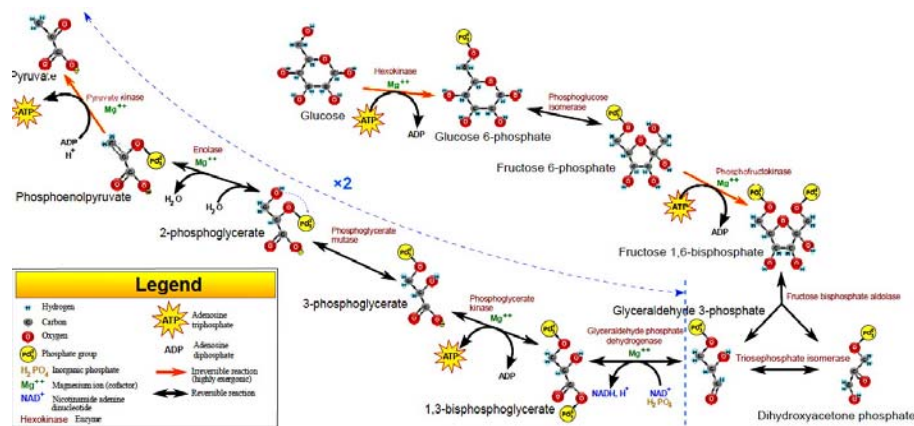
La triosofosfato deidrogenasi salva un frammento con tre atomi di carbonio

- Il **gliceraldeide-3-fosfato** partecipa alla via diretta della glicolisi mentre il **diidrossiacetone fosfato** non lo fa.
- Se non esistesse un mezzo per convertire il diidrossiacetone fosfato in gliceraldeide-3-fosfato, un frammento con 3 atomi di carbonio utile per generare ATP andrebbe perso.
- Questi composti sono isomeri che si possono rapidamente interconvertire: il diidrossiacetone fosfato è un chetoso mentre il gliceraldeide-3-fosfato è un aldoso.
- L'isomerizzazione di questi zuccheri fosforilati con 3 atomi di carbonio è catalizzata dalla triosofosfato isomerasi.



<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK22593/>

GLICOLISI



<https://figures.boundless-cdn.com/23960/raw/glycolysis2.svg>

Stadi della glicolisi

✚ Stadio preparatorio:

- Nessuna reazione di ossido-riduzione
- ATP è consumato (2x)
- Intermediario chiave: gliceraldeide 3-fosfato

✚ Stadio di conservazione di energia:

- NAD^+ ridotto a $\text{NADH} + \text{H}^+$
- ATP generato mediante fosforilazione a livello di substrato (4x)
- Piruvato

Riassunto

✚ Inizia con:

- Glucosio

✚ Finisce con:

- 2 molecole di Piruvato
- 2 molecole di ATP mediante fosforilazione a livello di substrato
- 2 molecole di NADH

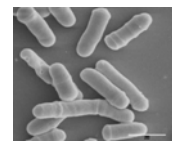
- ✚ ATTENZIONE: **Non** viene utilizzato ossigeno (**anche quando è presente**)

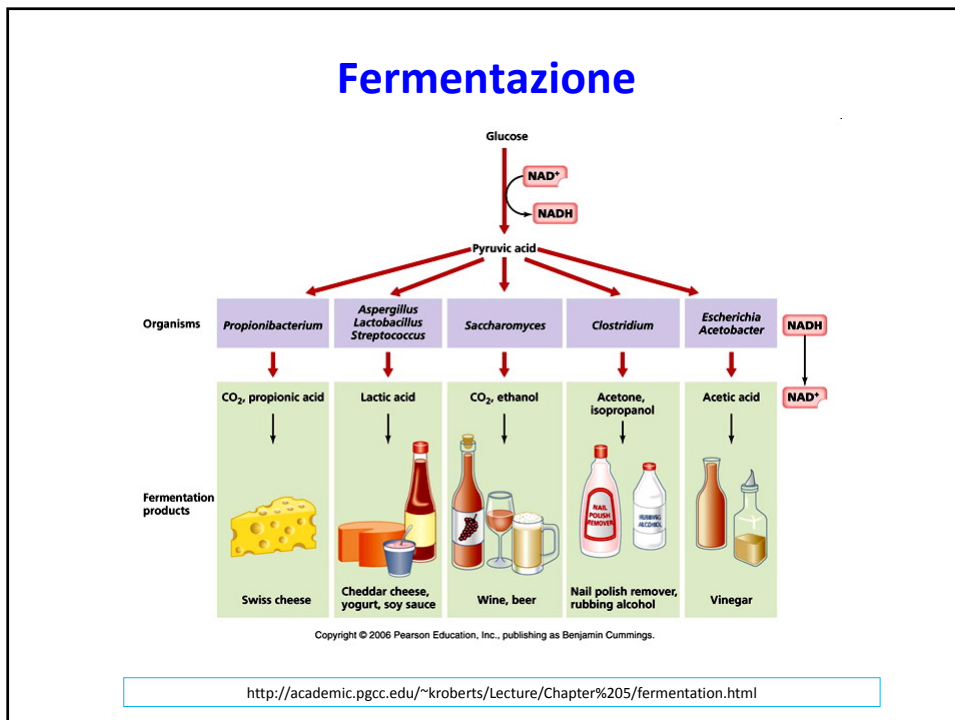
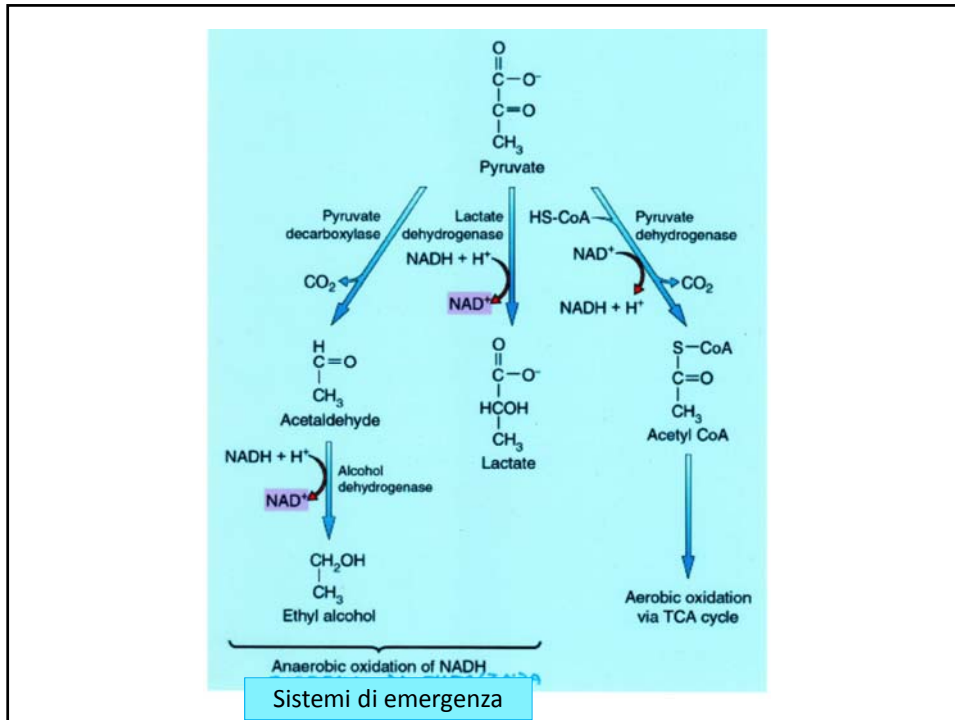
Fermentazione

- ✚ Via metabolica per **produrre energia in situazioni di anaerobiosi**, in cui il piruvato, prodotto nella glicolisi, è convertito ad esempio in **lattato** (es. muscolo) o in **etanolo** (lieviti), con l'ossidazione di NADH in NAD⁺.
- ✚ **Importante per il ripristino del NAD⁺ dato che le riserve cellulari di NAD⁺ sono limitate.**

Il glucosio viene fermentato quando l'ossigeno è scarso

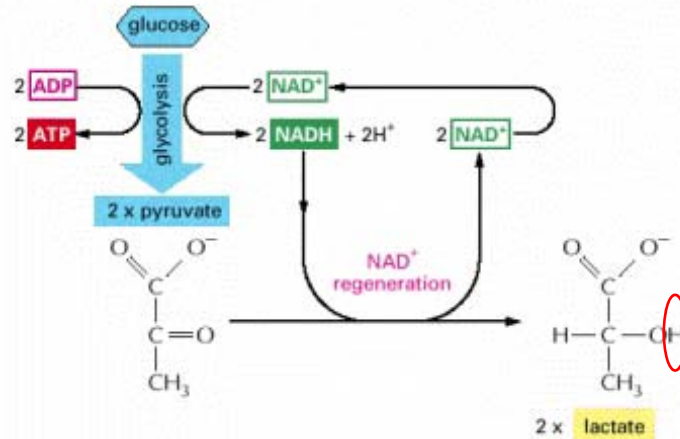
- ✚ Molti eucarioti, incluso gli esseri umani, sono **aerobi obbligati**: **cregono soltanto in presenza di ossigeno molecolare e possono metabolizzare il glucosio** (o zuccheri equivalenti) **completamente fino a CO₂**, con la **concomitante produzione di una grande quantità di ATP**.
- ✚ Tuttavia, la maggior parte degli **eucarioti** può **generare una certa quantità di ATP mediante metabolismo anaerobico**.
- ✚ Alcuni eucarioti sono **anaerobi facoltativi**: crescono sia in presenza che in assenza di ossigeno.
 - Es: anellidi, molluschi e alcuni lieviti possono sopravvivere senza ossigeno, basandosi sull'ATP prodotto mediante fermentazione.





Rigenerazione del NAD⁺ mediante fermentazione lattica

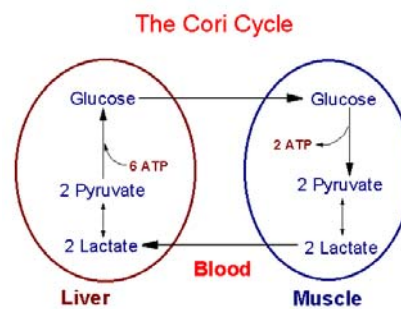
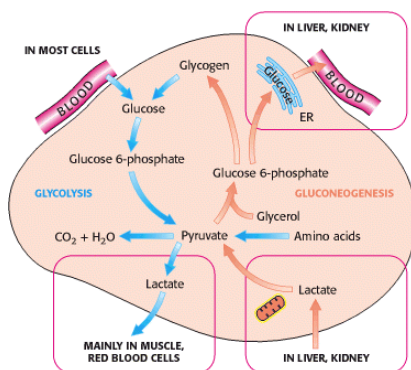
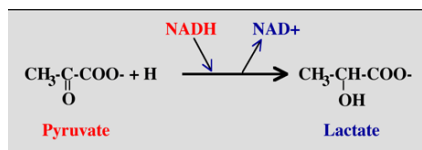
(A) FERMENTATION LEADING TO EXCRETION OF LACTATE



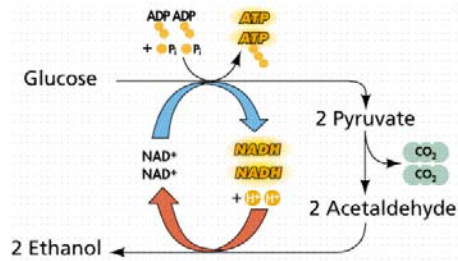
Il piruvato viene ridotto a lattato mentre il NADH viene ossidato a NAD⁺.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26882/figure/A295/?report=objectonly>

Fermentazione lattica e ciclo di Cori

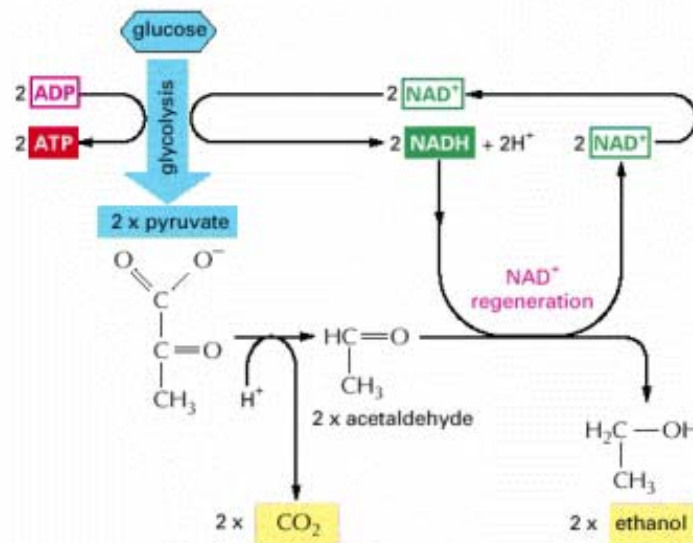


Rigenerazione del NAD⁺ mediante fermentazione alcolica



<http://www.emc.maricopa.edu/faculty/farabee/biobk/biobookglyc.html>

(B) FERMENTATION LEADING TO EXCRETION OF ALCOHOL AND CO₂



<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26882/figure/A295/?report=objectonly>