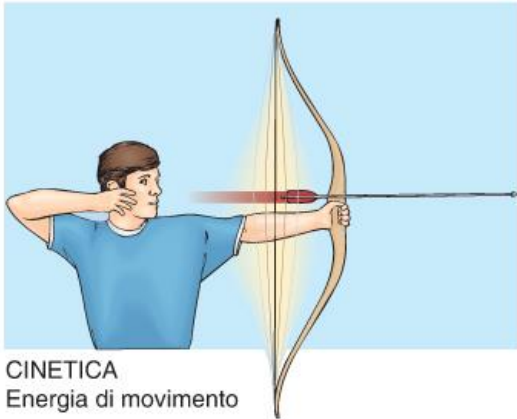


# Energia, enzimi e reazioni biologiche



**POTENZIALE**  
Energia di posizione



**CINETICA**  
Energia di movimento



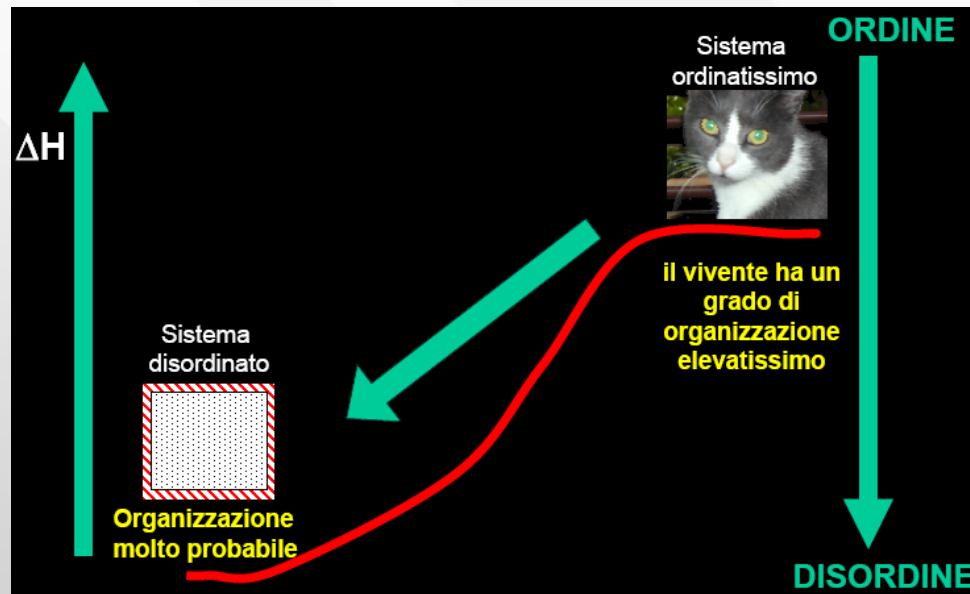
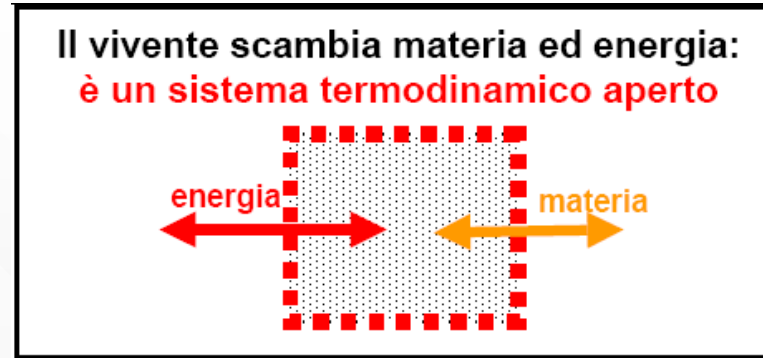
# Principi della termodinamica

- Principio “Zero”, o dell’equilibrio termico  
→ se due corpi A e B sono rispettivamente in equilibrio termico con un terzo corpo C, allora sono in equilibrio termico anche tra loro
- Legge di conservazione dell’energia ( $\Delta E = Q - W$ )  
→ in un sistema isolato l’energia non si crea né si distrugge
- Legge delle trasformazioni unidirezionali ( $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ )  
→ non tutto il calore può essere trasformato in lavoro, ma solo una parte: il resto è dissipato sotto forma di “energia degradata” (“entropia”)
- Legge dell’entropia ( $\Delta S \geq 0$ )  
→ in un sistema isolato (universo) l’entropia non decresce nel tempo  
→ nei processi reversibili l’entropia totale resta costante  
→ **nei processi spontanei l’entropia totale aumenta**

In altre parole....

- **Life is a zero sum game**
- **You can't win**
- **You can't get out of the game**

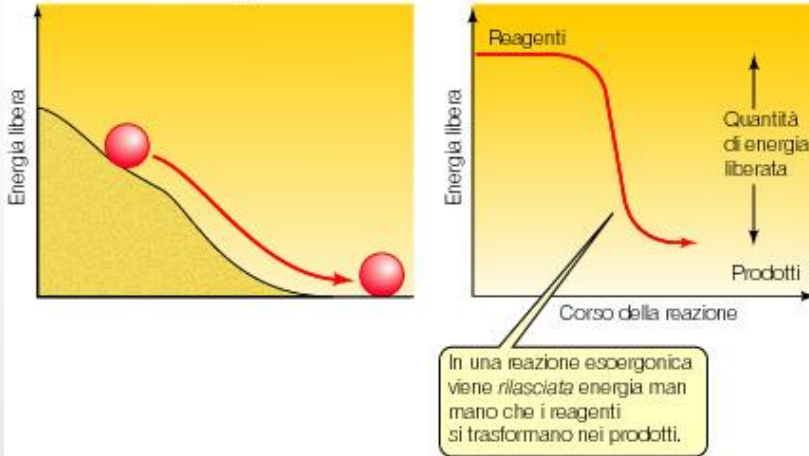
## Termodinamica del vivente (**semplificata...**)



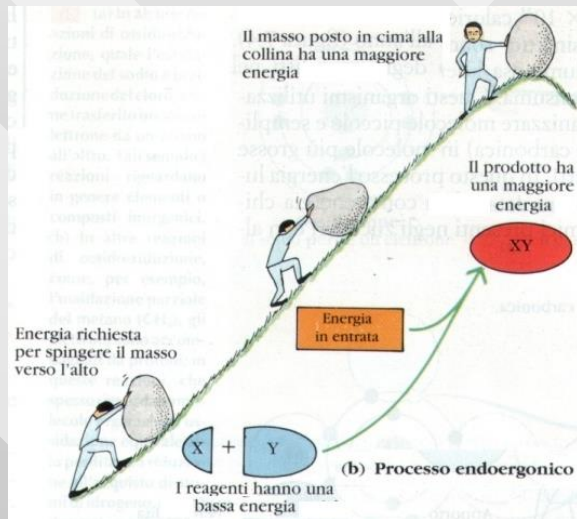
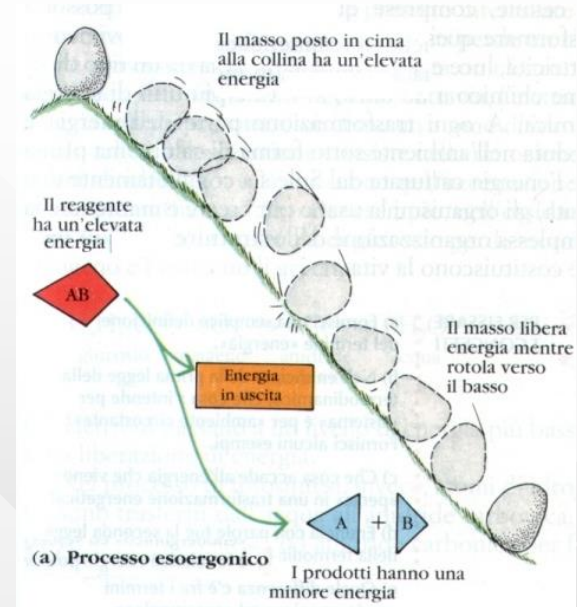
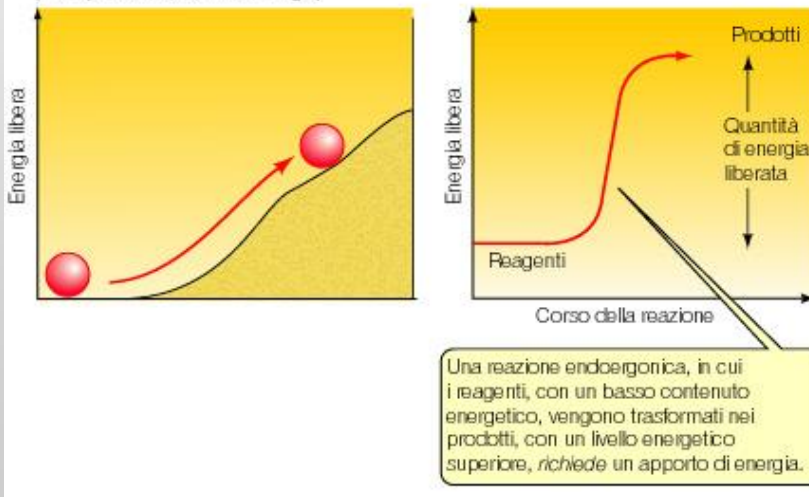
Il vivente è un sistema termodinamico aperto, ma **estremamente ordinato e “antientropico”** (cioè riesce ad opporsi, almeno per un certo tempo, allo stato di disordine e disgregazione che determina un aumento di entropia)

# Reazioni esoergoniche ed endoergoniche

(a) Reazione esoergonica  
(spontanea: libera energia)



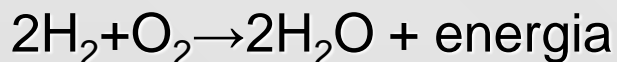
(b) Reazione endoergonica  
(non spontanea; richiede energia)



## Reazioni esoergoniche (spontanee)

### REAGENTI

Legami più deboli, stabilità minore



La reazione produce energia

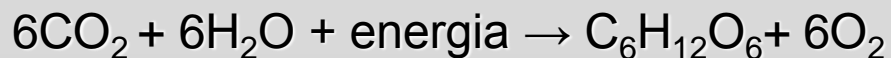
### PRODOTTI

Legami più forti, stabilità maggiore

## Reazioni endoergoniche (non spontanee)

### PRODOTTI

Legami più deboli, stabilità minore



La reazione assorbe energia

### REAGENTI

Legami più forti, stabilità maggiore

La seconda legge della termodinamica, o legge della “freccia del tempo”,  
indica la direzione delle reazioni biochimiche

Il segno di  $\Delta G$  indica la spontanea direzione di una reazione:

$\Delta G < 0$ , va avanti

$\Delta G > 0$ , al contrario

$\Delta G = 0$ , equilibrio

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

Una reazione sfavorevole può procedere se è accoppiata ad  
una favorevole

Le 2 reazioni:



$$\Delta G^{\circ} = +20 \text{ kJ mol}^{-1}$$



$$\Delta G^{\circ} = -30 \text{ kJ mol}^{-1}$$

e la reazione combinata:



Adenosina Trifosfato (ATP) – è un “accoppiante”,  
un deposito universale di energia libera istantanea  
 $\Delta G^{\circ}$  per l'idrolisi dell' ATP è  $-30,5 \text{ kJ mol}^{-1}$

ATP è usata per energizzare molti  
processi biologici tra i quali:

*mantenimento di differenze  
di potenziale di membrana  
sintesi di proteine,  
contrazione muscolare,  
trasporti intracellulari,  
eccetera*



Fonte: Alberts et al., 2002

# Adenosintrifosfato (ATP)

“moneta” energetica fondamentale

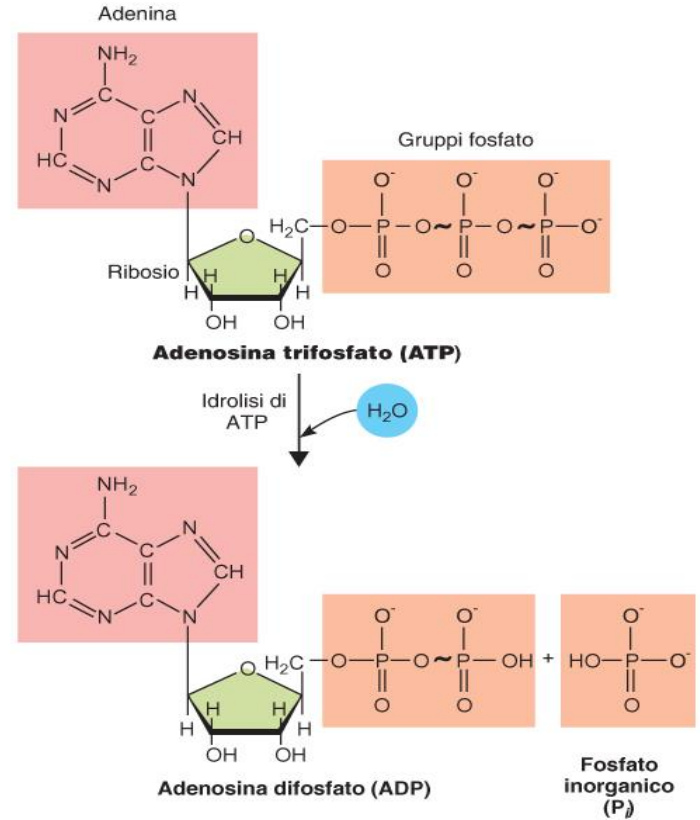
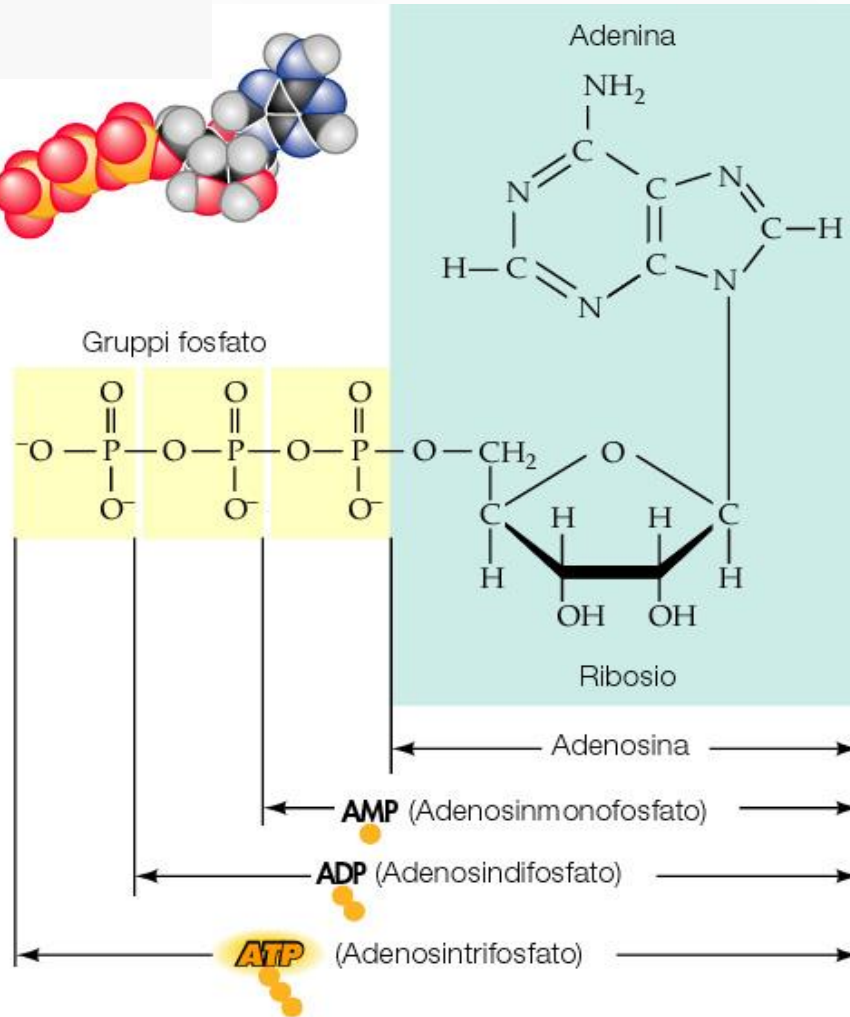
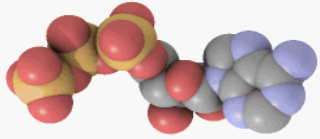
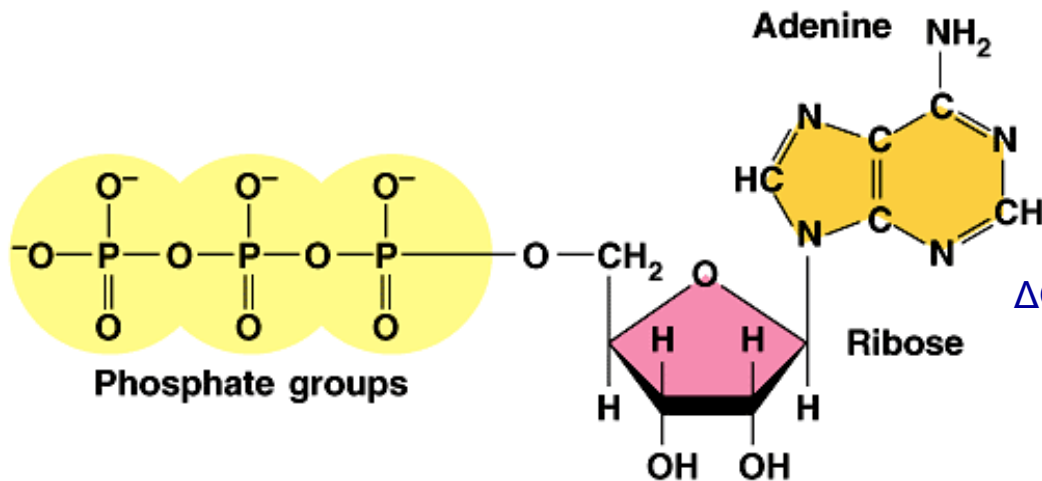


FIGURA 6-5 ATP e ADP.

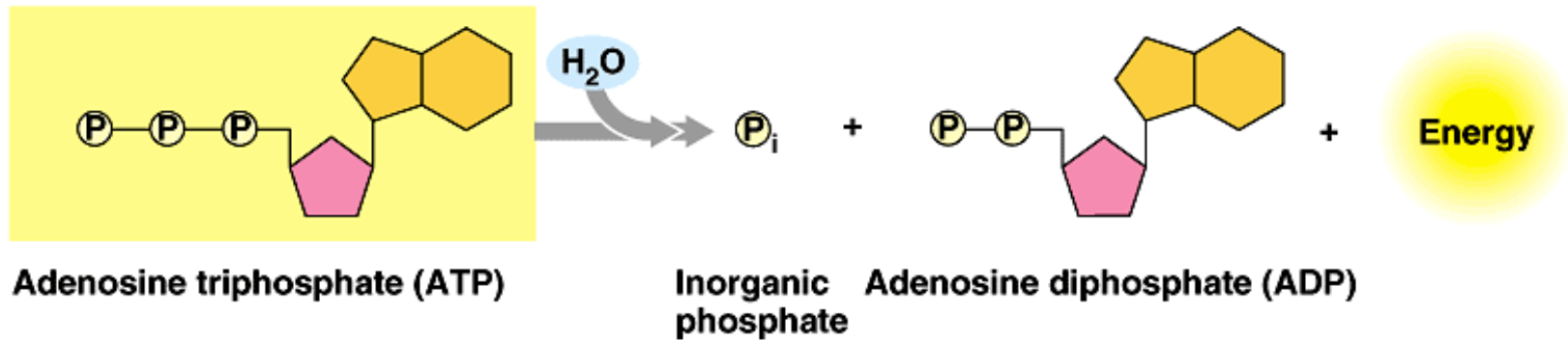
L'ATP, “valuta” energetica di tutti gli organismi viventi, è composta di adenina, ribosio e tre gruppi fosfato. L'idrolisi di ATP, una reazione esoergonica, produce ADP e fosfato inorganico. (Le linee nere ondulate indicano legami instabili. Questi legami permettono di trasferire i fosfati ad altre molecole, rendendole più reattive).



$\Delta G = -30.5 \text{ kJ mol}^{-1}$  ( $-7.5 \text{ kcal mol}^{-1}$ )  
a pH 7 e concentrazione 1 M

$\Delta G = -50 \text{ kJ mol}^{-1}$  ( $-12 \text{ kcal mol}^{-1}$ )  
nelle condizioni della cellula vivente

(a) Structure of adenosine triphosphate

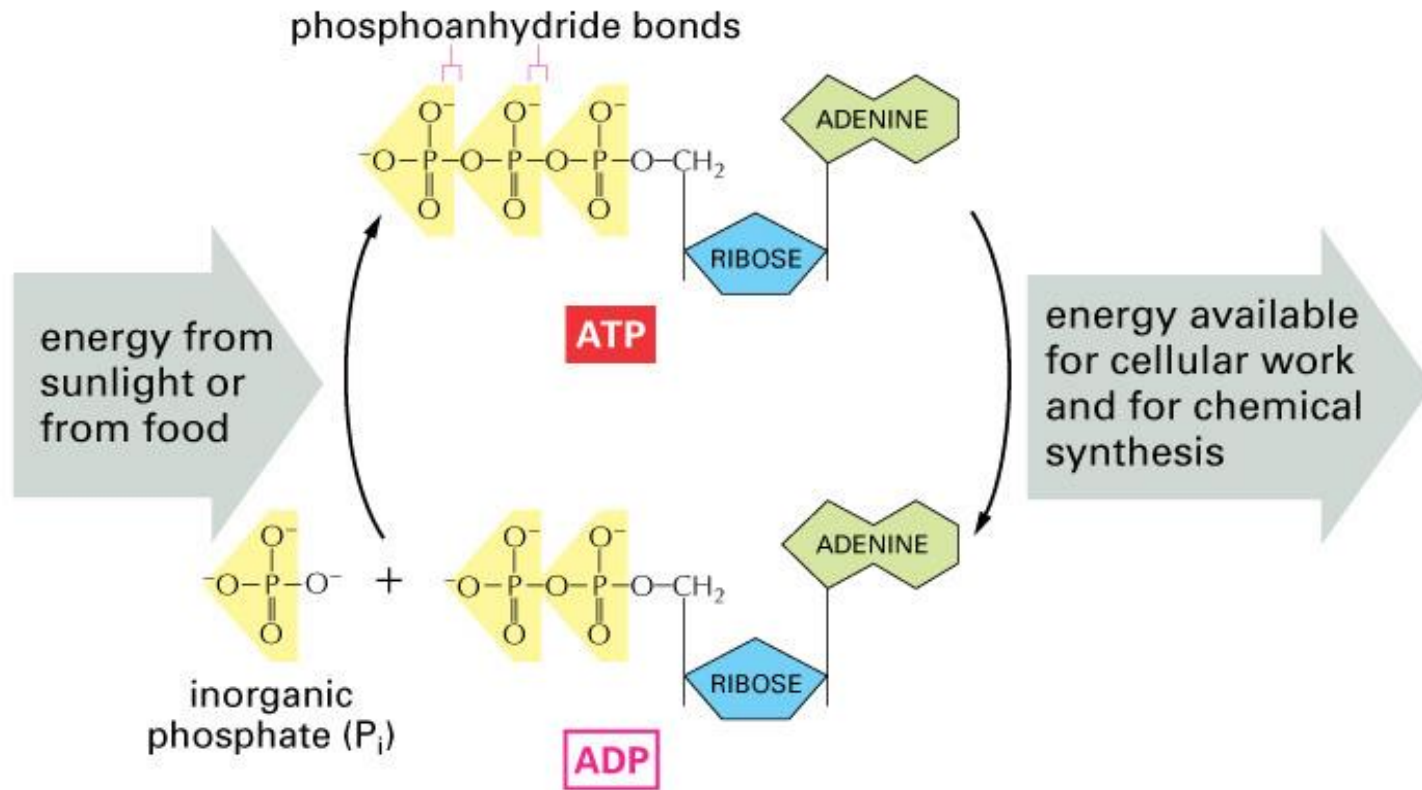


(b) Hydrolysis of ATP

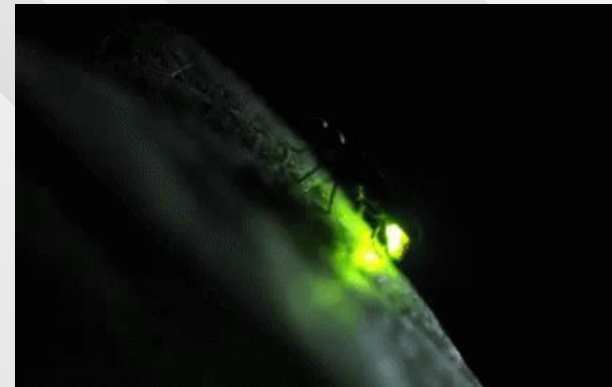
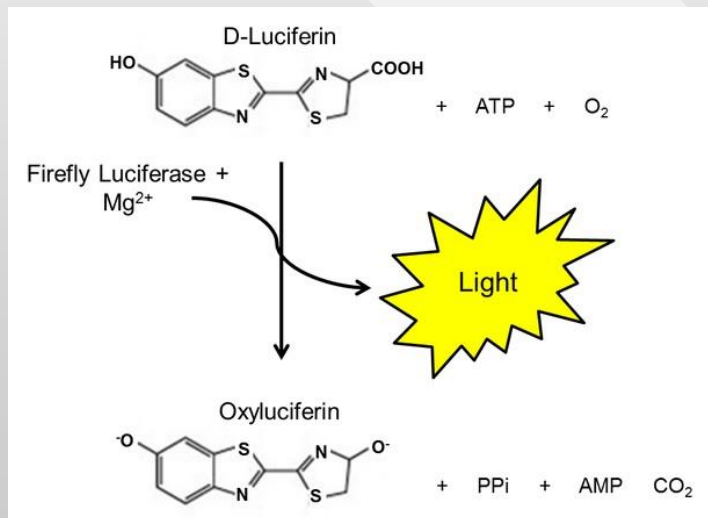
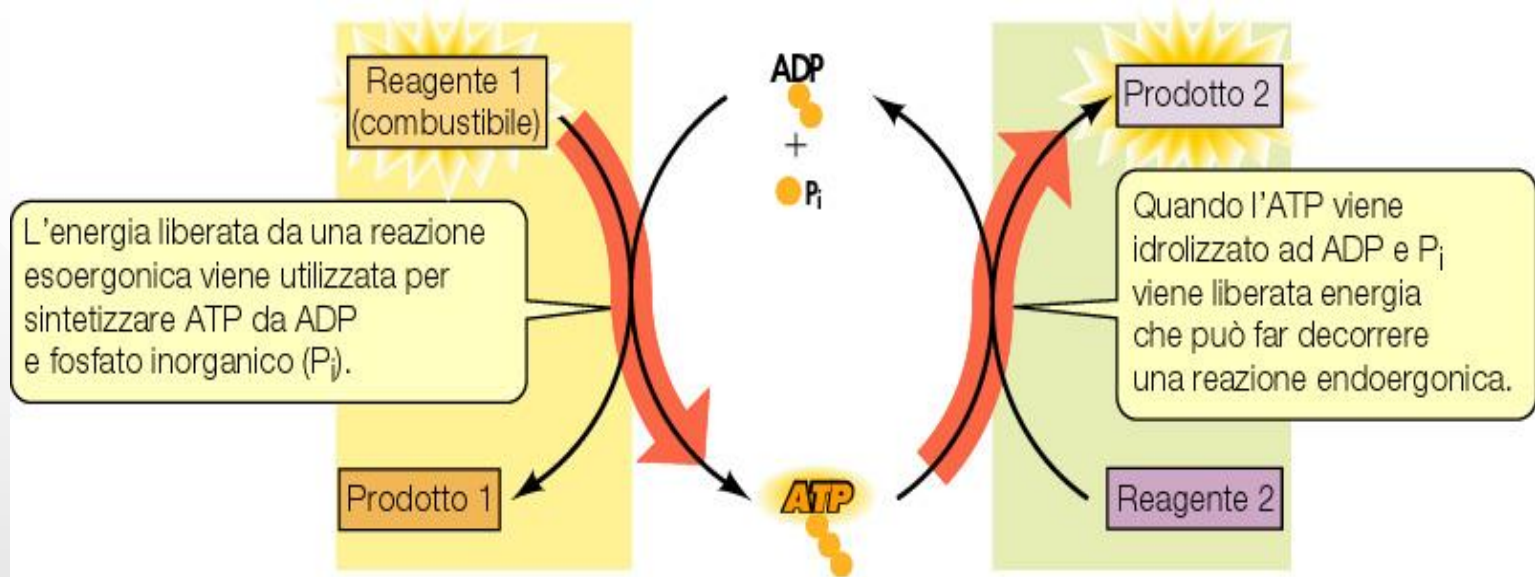
Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.



L'energia della luce solare (negli organismi fotosintetici) o degli alimenti è immagazzinata nei legami fosfoanidridici ad alta instabilità dell'ATP

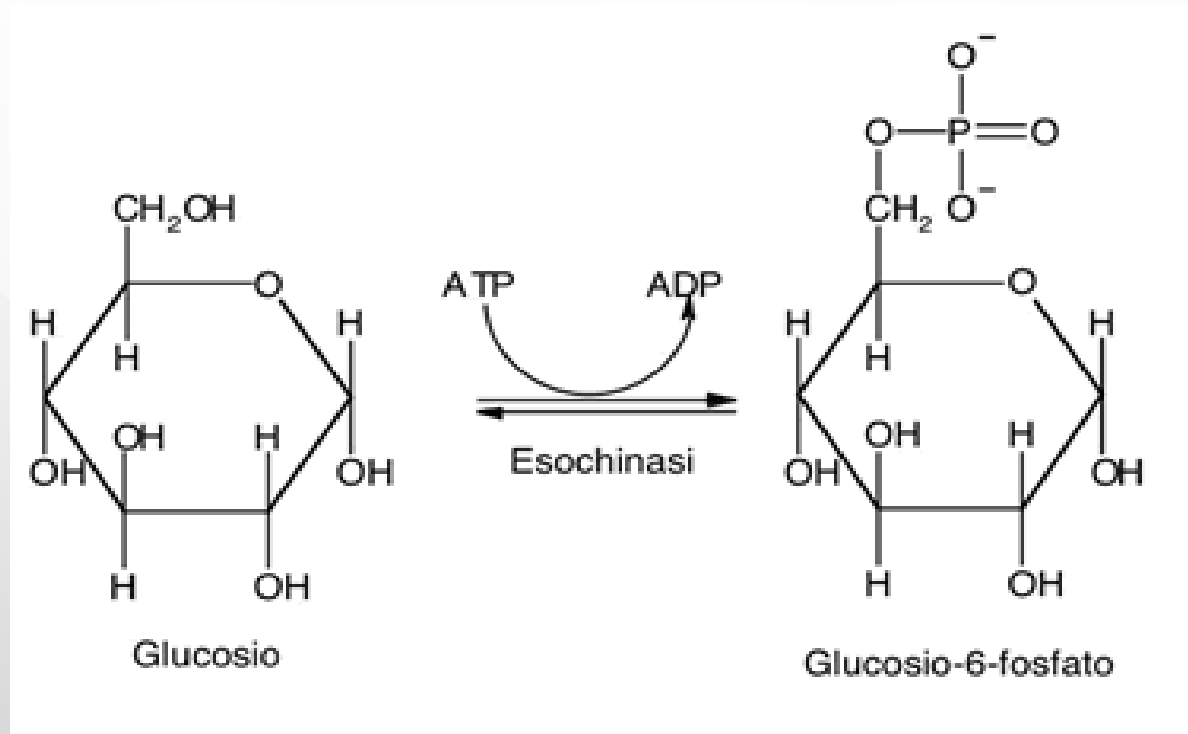


# Ruolo energetico dell'ATP



*Lampyris noctiluca* (Coleoptera Lampyridae)

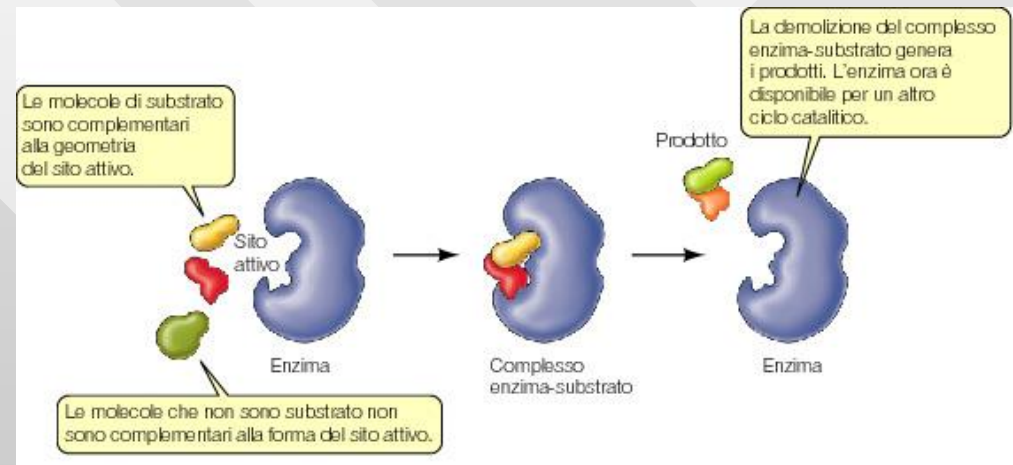
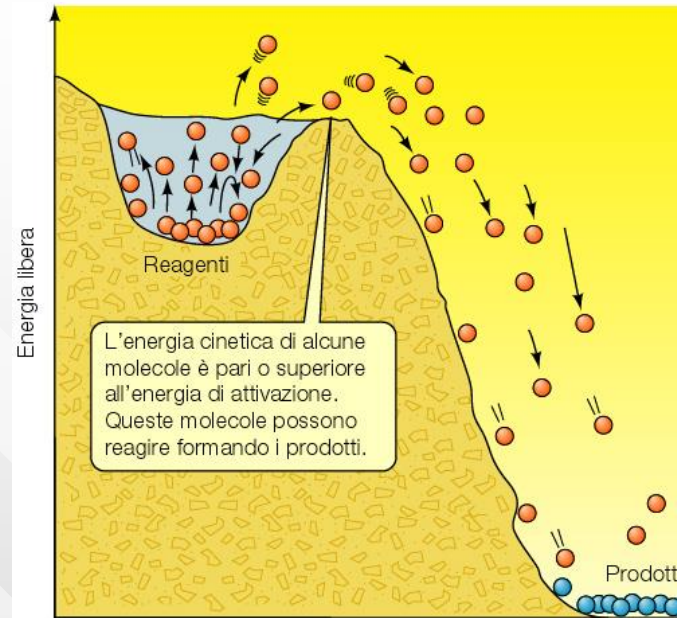
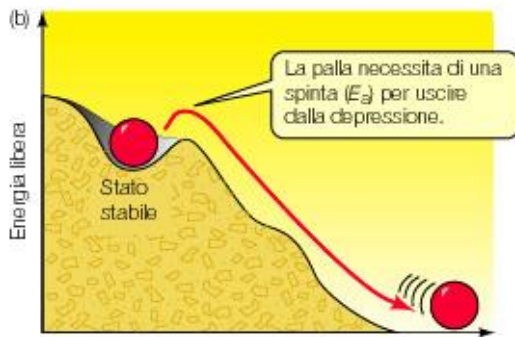
Uno dei compiti dell'ATP è la **fosforilazione (attivazione)** di altre molecole



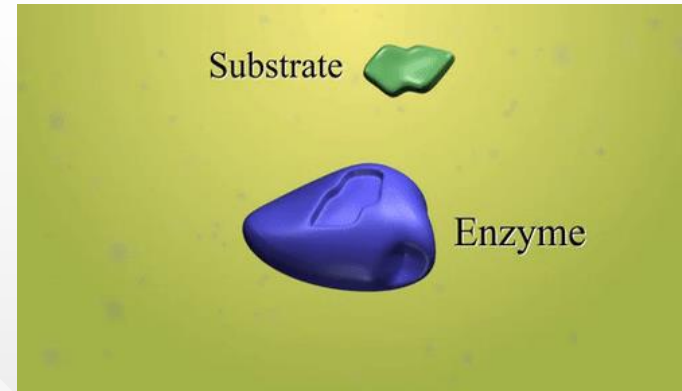
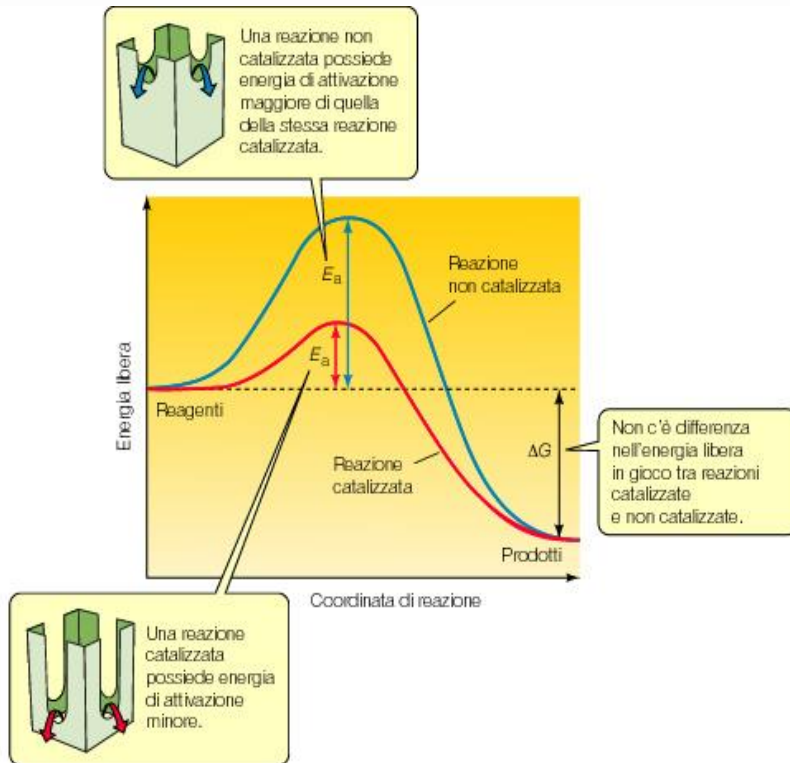
La **fosforilazione** è eseguita da particolari enzimi, generalmente detti “**chinasi**”

Il processo inverso, la **defosforilazione (disattivazione)** è eseguito da altri enzimi, detti “**fosfatasi**”

L'**enzima**, catalizzatore fondamentale che **accelera le reazioni biologiche** senza (generalmente) subire modificazioni permanenti



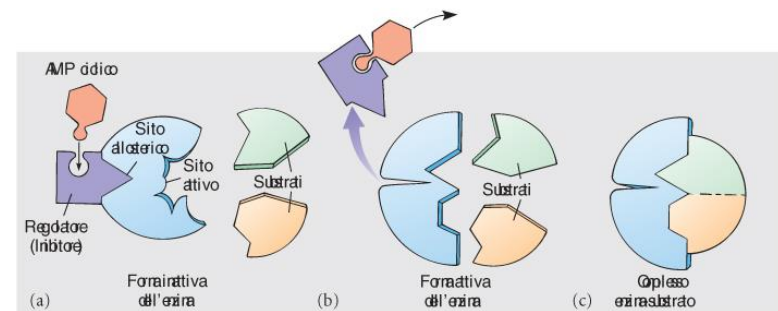
L'enzima abbassa l'energia di attivazione della reazione, permettendo alla reazione di avvenire in condizioni di temperatura e pressione **compatibili con la vita**



Il **substrato**, o i substrati, si inseriscono nel **“sito attivo”**

FIGURA 6-16 Un enzima allosterico.

(a) L'enzima protein chinasi è inibito da una proteina regolatrice che si lega reversibilmente al suo sito allosterico. Quando l'enzima si trova in forma inattiva, la forma del sito attivo è tale che il substrato non si può adattare ad esso. (b) L'AMP ciclico rimuove l'inibitore allosterico attivando l'enzima. (c) Di conseguenza, il substrato può combinarsi con il sito attivo.



...quasi tutti gli enzimi sono proteine

Un **inibitore** (o un **“attivatore”**) può inserirsi nel **“sito allosterico”** e bloccare (o attivare) l'enzima

# Come agisce un enzima

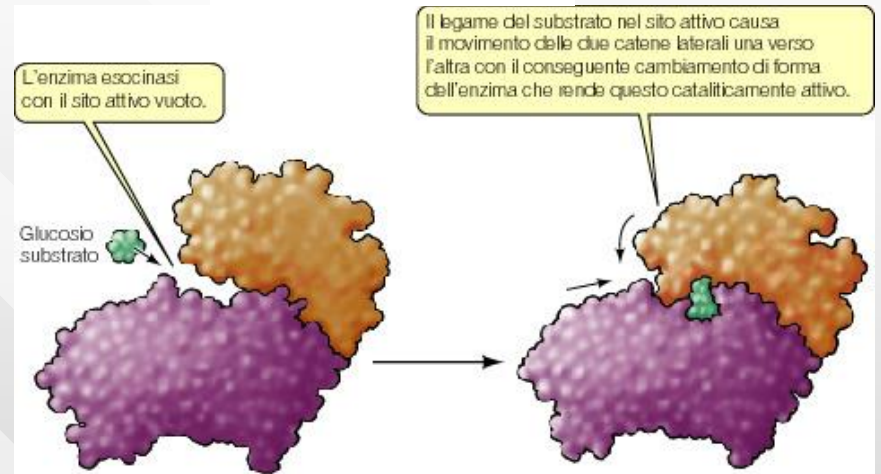
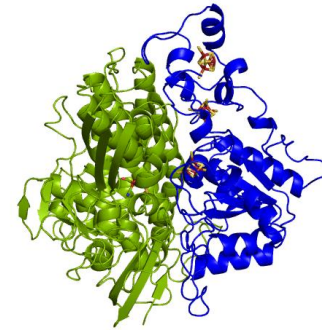
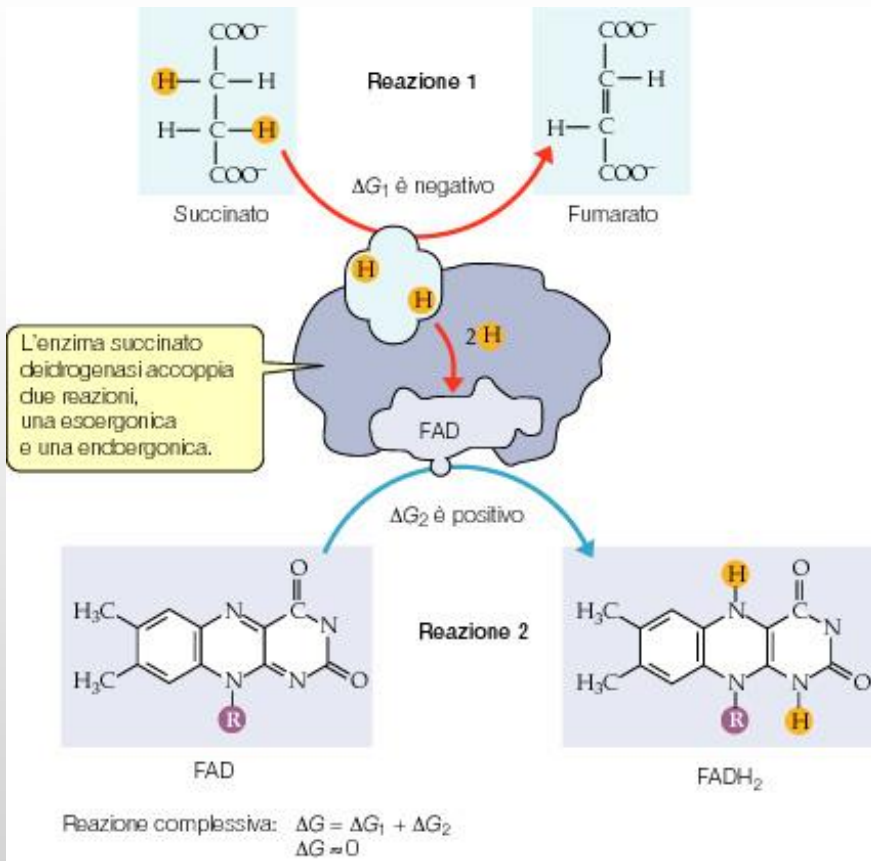
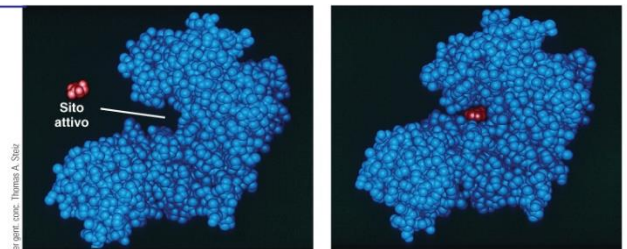


FIGURA 6-11

## Un complesso enzima-substrato

Modello in grafica computerizzata dell'enzima esochinasi (blu) e del suo substrato, il glucosio (rosso). (a) Prima che si formi il complesso ES, il sito attivo dell'enzima è situato nel solco in cui va a legarsi il glucosio. (b) Il legame del glucosio al sito attivo dell'esochinasi modifica la conformazione del sito attivo dell'enzima.



L'enzima lega il substrato al sito attivo, "costringendolo" a scindersi, a modificare la propria struttura o a fondersi con altri substrati