

# C.I. SCIENZE BIOMEDICHE DI BASE

	TAF*	CFU	ORE	PERIODO	PROFESSORS	MATERIALE DIDATTICO
BIOLOGIA APPLICATA AGLI STUDI BIOMEDICI (025ME-3)	Base	2	20	Primo semestre	Rustighi Alessandra	
CHIMICA E BIOCHIMICA (025ME-2)	Base	4	40	Primo semestre	Marsich Eleonora	
GENETICA MEDICA (025ME-1)	Base	2	20	Primo semestre	Giroto Giorgia	

# Insegnamento **BIOCHIMICA e CHIMICA (40 ore, 4 CFU)**

Docente: Eleonora Marsich

email: emarsich@units.it

tel: 040 558 8733

Dipartimento Scienze della Vita, via Giorgieri 5, ed.Q, primo piano

Testo consigliato:

Principi di chimica generale e organica

E.Santaniello, M.Alberghina, M. Coletta, F. Malatesta, S.Marini.

Ed. Piccin

APPUNTI di BIOCHIMICA

Autori: Catani, Gasperi, Di Venere, Savini, Guerrieri, Avigliano

Ed. Piccin

Modalità d'esame: Esame scritto della durata di tre ore, con quesiti e esercizi di chimica  
Possibilità di implementare il voto dello scritto con un esame orale  
solo se allo scritto si è ricevuto un voto superiore o uguale a 18/30

***Sessione esami invernale:*** dal 20 gennaio 2020 al 28 febbraio 2020

***Sessione esami facoltativa:*** dal 14 al 21 aprile 2020

***Sessione esami estiva:*** dal 15 giugno 2020 al 31 luglio 2020

***Sessione esami autunnale:*** dal 1 settembre 2020 al 30 settembre 2020

***Sessione esami straordinaria:*** dal 18 gennaio 2021 al 26 febbraio 2021

Appelli di esame per il modulo di Chimica e Biochimica

martedì 21 gennaio e martedì 11 febbraio

mercoledì 14 aprile

martedì 16 giugno e lunedì 13 luglio

martedì 8 settembre

martedì 26 gennaio e martedì 16 febbraio 2021

Il voto del corso integrato verrà calcolato come media del voto ricevuto in ciascun insegnamento

# LA CHIMICA

- Studia la struttura, le proprietà e le trasformazioni di tutta la materia che ci circonda e di cui siamo fatti.





# COMPOSIZIONE DELLA MATERIA

## SOSTANZE PURE

## MISCELE

**Elementi**  
(carbonio,  
ossigeno, ferro,  
etc.)

**Composti**

- Molecolari (acqua)
- Ionici (cloruro di sodio)

**Soluzioni**

(acqua  
salata,  
aria, etc.)

**Miscugli**

(acqua e  
argilla)

*Non possono  
essere  
scomposti  
chimicamente  
in sostanze più  
semplici*

*Possono essere  
scomposti negli  
elementi  
costitutivi con  
mezzi chimici*

*Possono essere  
scomposti negli  
elementi  
costitutivi con  
mezzi fisici*

# Elementi

- Ogni elemento ha un nome e un simbolo (una o due lettere, la prima maiuscola).



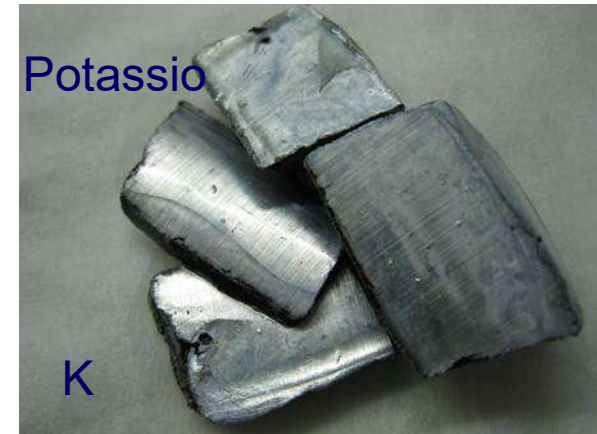
Oro

Au



Carbonio

C



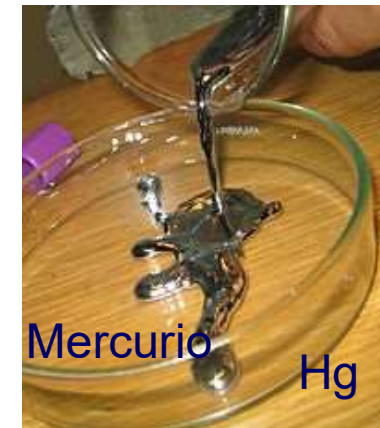
Potassio

K



Alluminio

Al



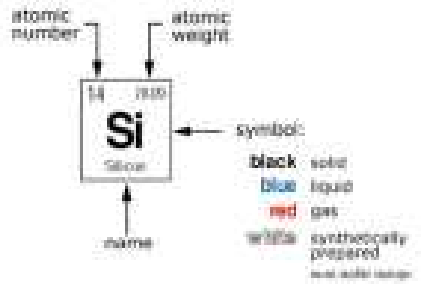
Mercurio

Hg

# Periodic Table of the Elements



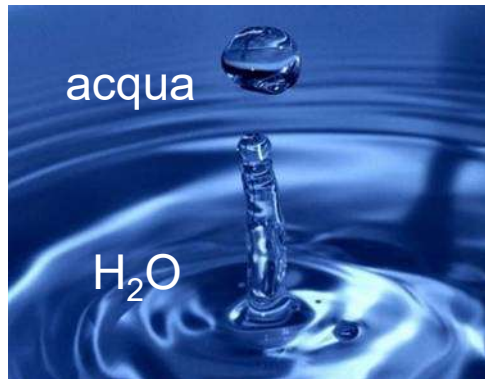
1 1.008 <b>H</b> Hydrogen																	2 4.003 <b>He</b> Helium	
3 6.941 <b>Li</b> Lithium	4 9.012 <b>Be</b> Beryllium																	10 20.18 <b>Ne</b> Neon
11 22.99 <b>Na</b> Sodium	12 24.31 <b>Mg</b> Magnesium																	18 39.95 <b>Ar</b> Argon
19 39.10 <b>K</b> Potassium	20 40.08 <b>Ca</b> Calcium	21 44.96 <b>Sc</b> Scandium	22 47.88 <b>Ti</b> Titanium	23 50.94 <b>V</b> Vanadium	24 51.99 <b>Cr</b> Chromium	25 54.94 <b>Mn</b> Manganese	26 55.85 <b>Fe</b> Iron	27 58.93 <b>Co</b> Cobalt	28 58.93 <b>Ni</b> Nickel	29 63.55 <b>Cu</b> Copper	30 65.39 <b>Zn</b> Zinc	31 69.72 <b>Ga</b> Gallium	32 72.64 <b>Ge</b> Germanium	33 74.92 <b>As</b> Arsenic	34 78.96 <b>Se</b> Selenium	35 79.90 <b>Br</b> Bromine	36 83.80 <b>Kr</b> Krypton	
37 85.47 <b>Rb</b> Rubidium	38 87.62 <b>Sr</b> Strontium	39 88.91 <b>Y</b> Yttrium	40 91.22 <b>Zr</b> Zirconium	41 92.91 <b>Nb</b> Niobium	42 95.94 <b>Mo</b> Molybdenum	43 98.91 <b>Tc</b> Technetium	44 101.07 <b>Ru</b> Ruthenium	45 102.91 <b>Rh</b> Rhodium	46 106.42 <b>Pd</b> Palladium	47 107.87 <b>Ag</b> Silver	48 112.41 <b>Cd</b> Cadmium	49 114.82 <b>In</b> Indium	50 118.71 <b>Sn</b> Tin	51 121.76 <b>Sb</b> Antimony	52 127.60 <b>Te</b> Tellurium	53 126.91 <b>I</b> Iodine	54 131.29 <b>Xe</b> Xenon	
55 132.91 <b>Cs</b> Cesium	56 137.33 <b>Ba</b> Barium	57 138.91 <b>La</b> Lanthanum	72 175.07 <b>Hf</b> Hafnium	73 180.95 <b>Ta</b> Tantalum	74 186.21 <b>W</b> Tungsten	75 186.21 <b>Re</b> Rhenium	76 186.21 <b>Os</b> Osmium	77 188.91 <b>Ir</b> Iridium	78 195.08 <b>Pt</b> Platinum	79 196.97 <b>Au</b> Gold	80 200.59 <b>Hg</b> Mercury	81 204.39 <b>Tl</b> Thallium	82 207.2 <b>Pb</b> Lead	83 208.98 <b>Bi</b> Bismuth	84 208.98 <b>Po</b> Polonium	85 209 <b>At</b> Astatine	86 222 <b>Rn</b> Radon	
87 223 <b>Fr</b> Francium	88 226 <b>Ra</b> Radium	89 227 <b>Ac</b> Actinium	104 261 <b>Rf</b> Rutherfordium	105 262 <b>Ha</b> Hassium	106 263 <b>Sg</b> Seaborgium	107 263 <b>Bh</b> Bohrium	108 265 <b>Hs</b> Hassium	109 265 <b>Mt</b> Meitnerium	110 270 <b>Ds</b> Darmstadtium	111 270 <b>Rg</b> Roentgenium	112 270 <b>Cn</b> Copernicium	(113)	(114)	(115)	(116)	(117)	(118)	



- alkali metals
  - alkaline earth metals
  - transitional metals
  - other metals
  - nonmetals
  - noble gases
- black solid  
 blue liquid  
 red gas  
 white synthetically prepared  
 grey water storage

58 140.12 <b>Ce</b> Cerium	59 140.91 <b>Pr</b> Praseodymium	60 140.91 <b>Nd</b> Neodymium	61 140.91 <b>Pm</b> Promethium	62 150.36 <b>Sm</b> Samarium	63 151.96 <b>Eu</b> Europium	64 157.25 <b>Gd</b> Gadolinium	65 158.93 <b>Tb</b> Terbium	66 158.93 <b>Dy</b> Dysprosium	67 162.50 <b>Ho</b> Holmium	68 167.26 <b>Er</b> Erbium	69 168.93 <b>Tm</b> Thulium	70 173.05 <b>Yb</b> Ytterbium	71 174.97 <b>Lu</b> Lutetium
90 232.04 <b>Th</b> Thorium	91 231.04 <b>Pa</b> Protactinium	92 238.03 <b>U</b> Uranium	93 237.05 <b>Np</b> Neptunium	94 244 <b>Pu</b> Plutonium	95 244 <b>Am</b> Americium	96 244 <b>Cm</b> Curium	97 247 <b>Bk</b> Berkelium	98 247 <b>Cf</b> Californium	99 251 <b>Es</b> Einsteinium	100 252 <b>Fm</b> Fermium	101 257 <b>Md</b> Mendelevium	102 258 <b>No</b> Nobelium	103 259 <b>Lr</b> Lawrencium

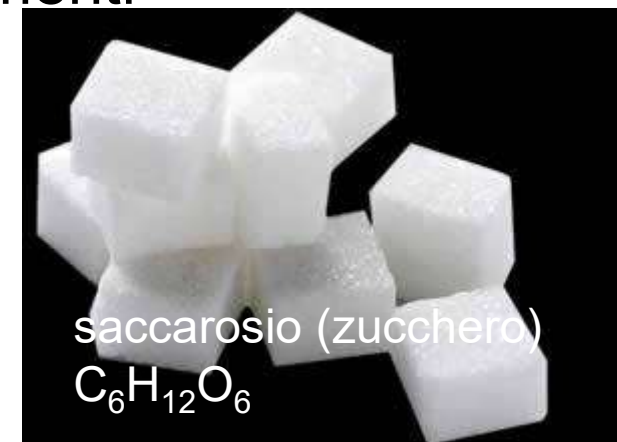
# Composti



- I composti derivano dalla combinazione chimica di due o più elementi.

- Un composto si forma mediante una reazione chimica.

- Hanno una composizione fissa (stessa percentuale in massa degli elementi)



Le proprietà dei composto sono molto diverse da quelle degli elementi

Sodio



Na

Cloro



Cl

Cloruro di sodio



NaCl



## Miscele eterogenee

insieme di due o più composti mescolati tra loro, ma tali da conservare ciascuno le proprie caratteristiche, identità chimica e per questo separabili e distinguibili

- Miscuglio solido: più sostanze solide, esempio la sabbia.
- Sospensione: solidi in liquidi o gas, esempio terra in acqua.
- Emulsione: due o più liquidi non miscibili, esempio acqua e olio.



# Alcune sostanze formano miscele omogenee: le soluzioni

- Cosa accade se mescoliamo acqua e zucchero?

L'acqua e lo zucchero formano una soluzione omogenea, cioè le particelle delle due sostanze, pur conservando le loro caratteristiche, formano una miscela in cui non sono più distinguibili l'una dall'altra e non si separano facilmente.



# Il solvente e il soluto

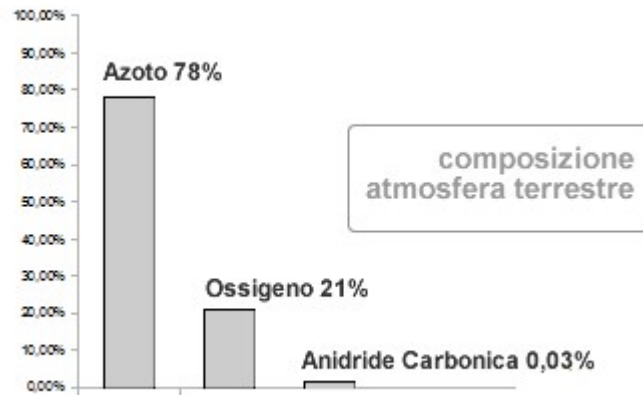


- In una soluzione (o miscela omogenea) la sostanza che è presente in maggiore quantità si chiama solvente, mentre quella che si disperde nel solvente, si chiama soluto.
- L'acqua è il solvente più diffuso in natura ed è indispensabile per il funzionamento di tutti gli organismi viventi.



# Altri tipi di soluzioni

- Soluzioni gassose: esempio l'aria.



Soluzioni solide: esempio le leghe metalliche.

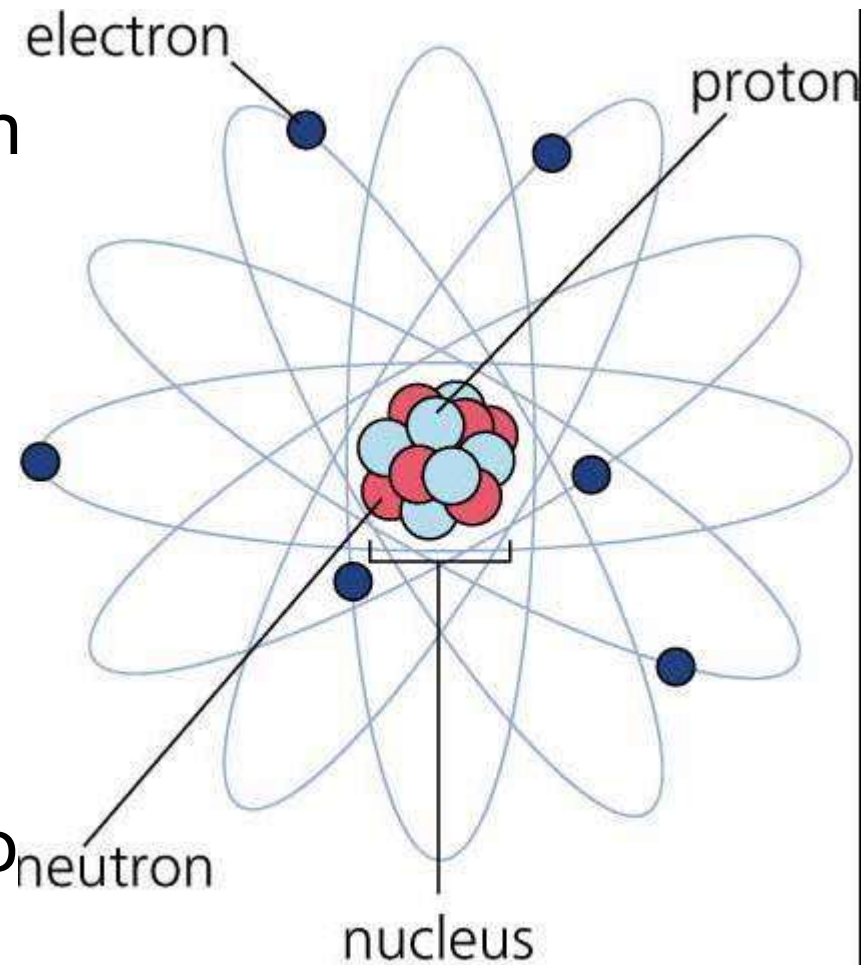
L'acciaio è una lega di ferro e carbonio.

Il bronzo è una lega di rame e stagno.

Una lega è una soluzione di due o più metalli mescolati quando si trovano allo stato fuso e lasciati poi solidificare.

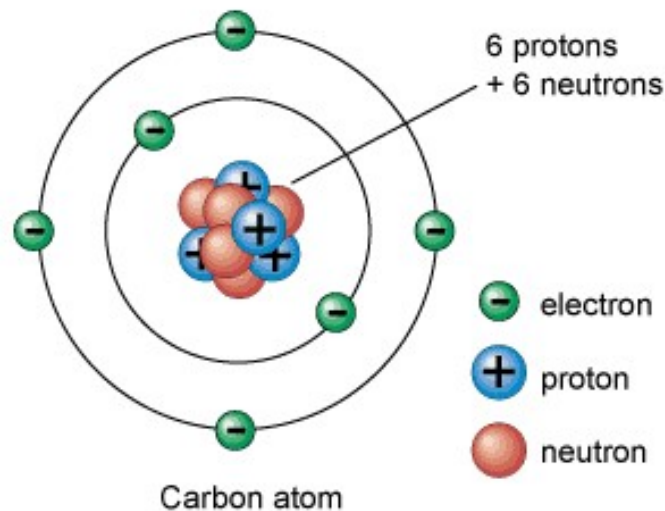
# La struttura dell'atomo (modello atomico della materia)

- Atomo...dal greco *atomos* che significa indivisibile...in realtà...
- È composto da tre particelle:
  - elettroni;
  - protoni;
  - neutroni.
- Neutroni e protoni formano il nucleo.



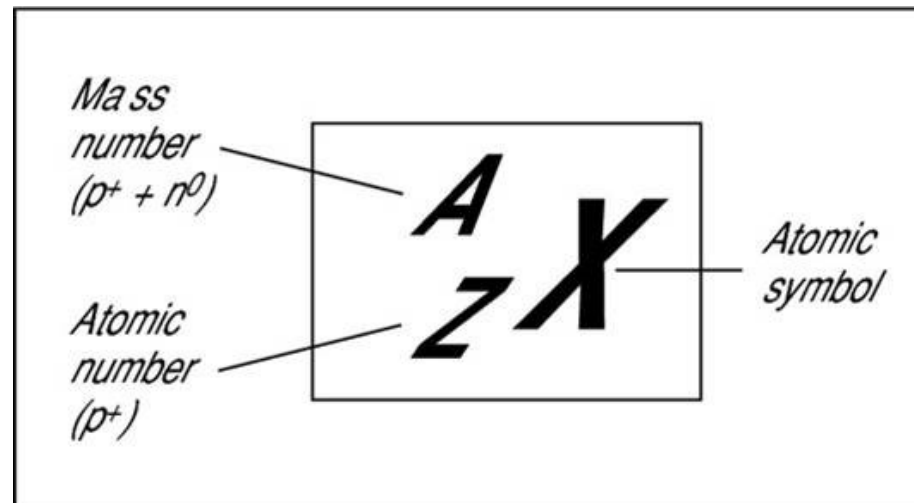
# La carica elettrica della materia

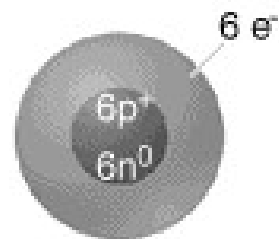
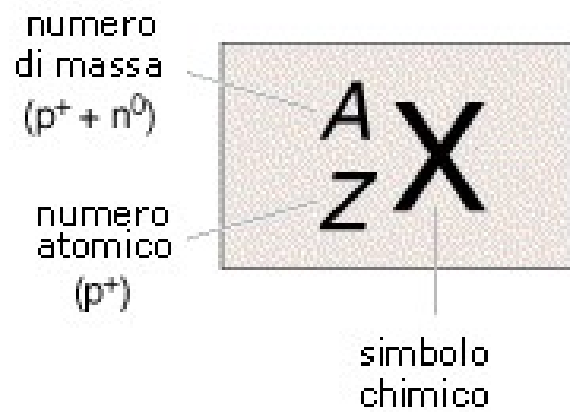
- Il neutrone è neutro.
- Il protone è carico positivamente.
- L'elettrone è carico negativamente.



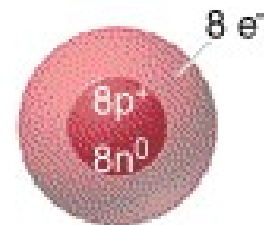
# Il numero atomico e di massa

- Il numero atomico di un atomo è il numero dei protoni contenuti nel suo nucleo e si indica con la lettera Z.
- Il numero di massa di un atomo è il numero di protoni e neutroni contenuti nel suo nucleo e si indica con la lettera A.





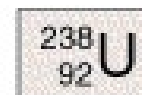
Carbonio-12



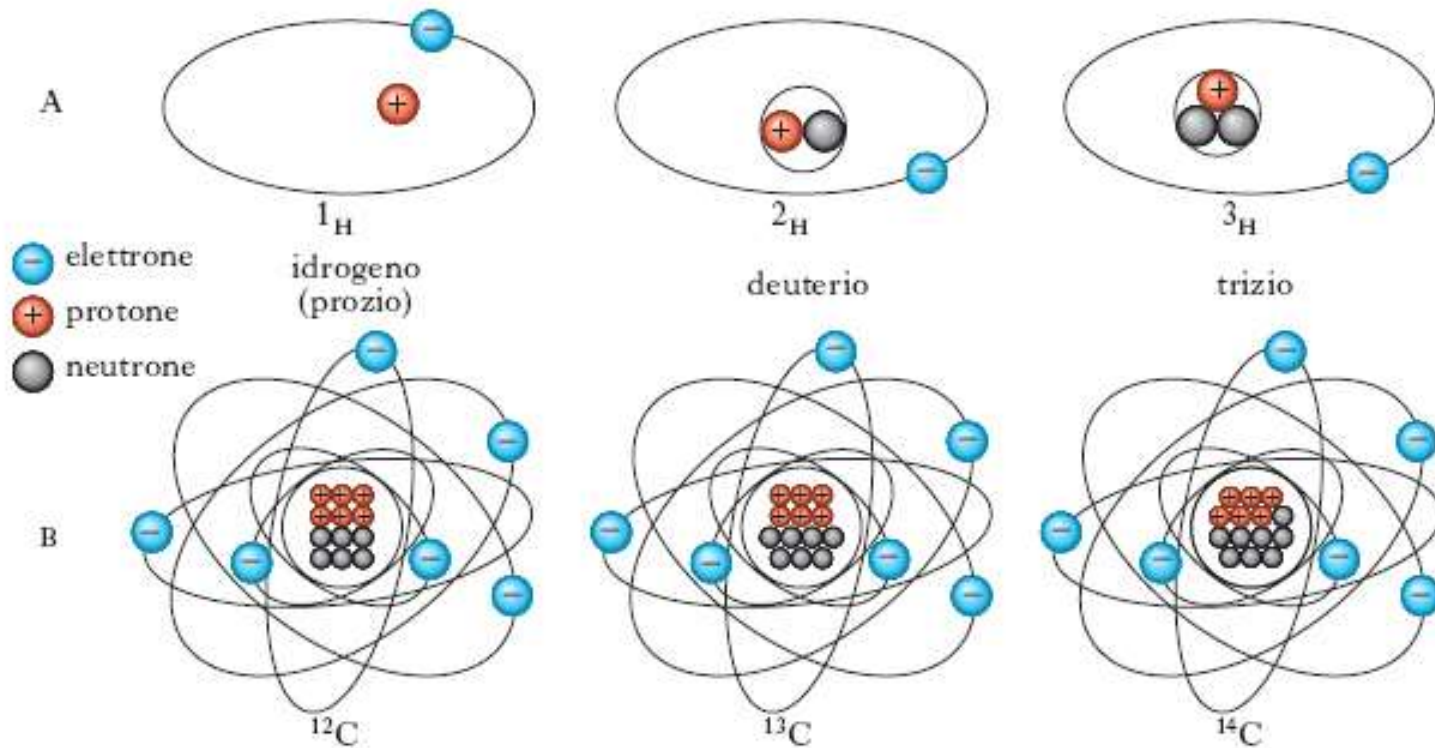
Ossigeno-16



Uranio-238



**ISOTOPI-ugual numero atomico  $Z$   
ma diverso numero  
di massa (  $A$ - perché diverso numero di neutroni)**



# Abbondanza isotopica (%)

$^1\text{H}$	99.985
$^2\text{H}$	0.015
$^3\text{H}$	tracce

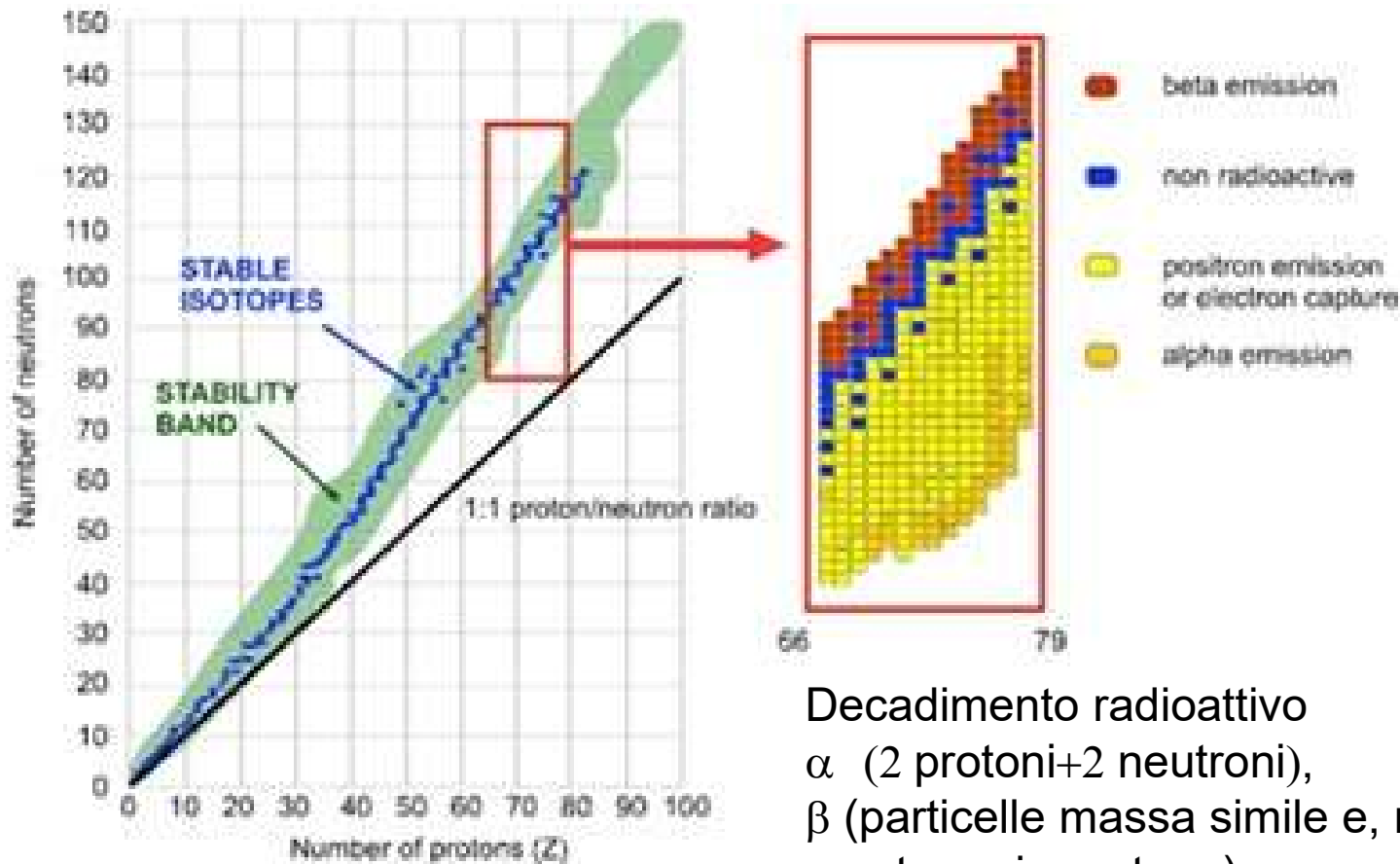
$^{12}\text{C}$	98,89
$^{13}\text{C}$	1.11
$^{14}\text{C}$	tracce

$^{14}\text{N}$	99.63
$^{15}\text{N}$	0.36

$^{16}\text{O}$	99.76
$^{17}\text{O}$	0.03
$^{18}\text{O}$	0.20

# Isotopi stabili ed instabili (267 stabili, 60 instabili)

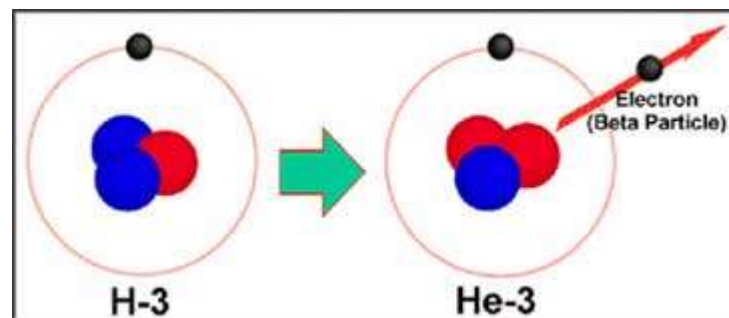
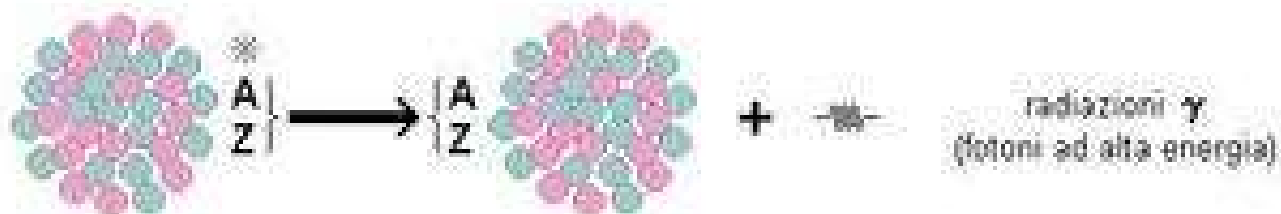
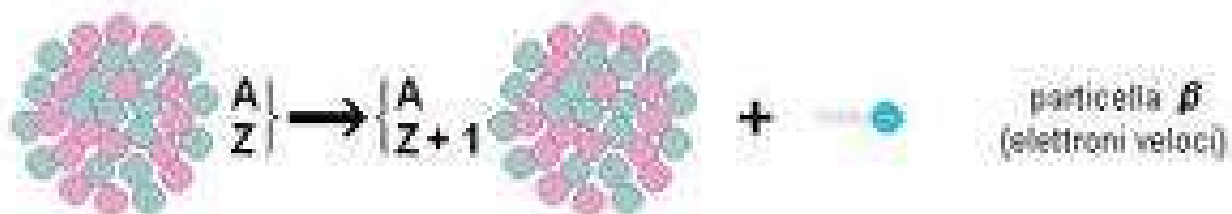
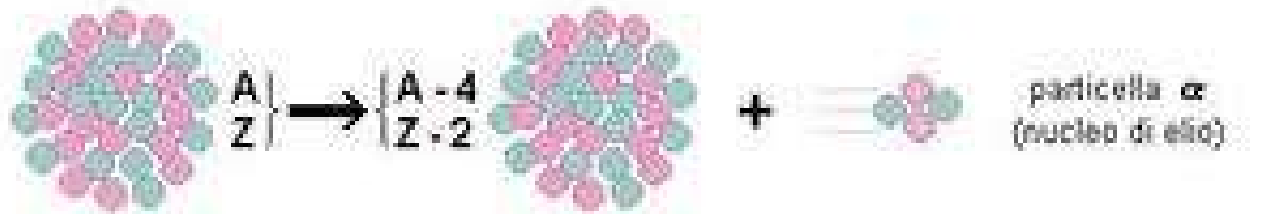
## Banda di stabilità dei nuclidi



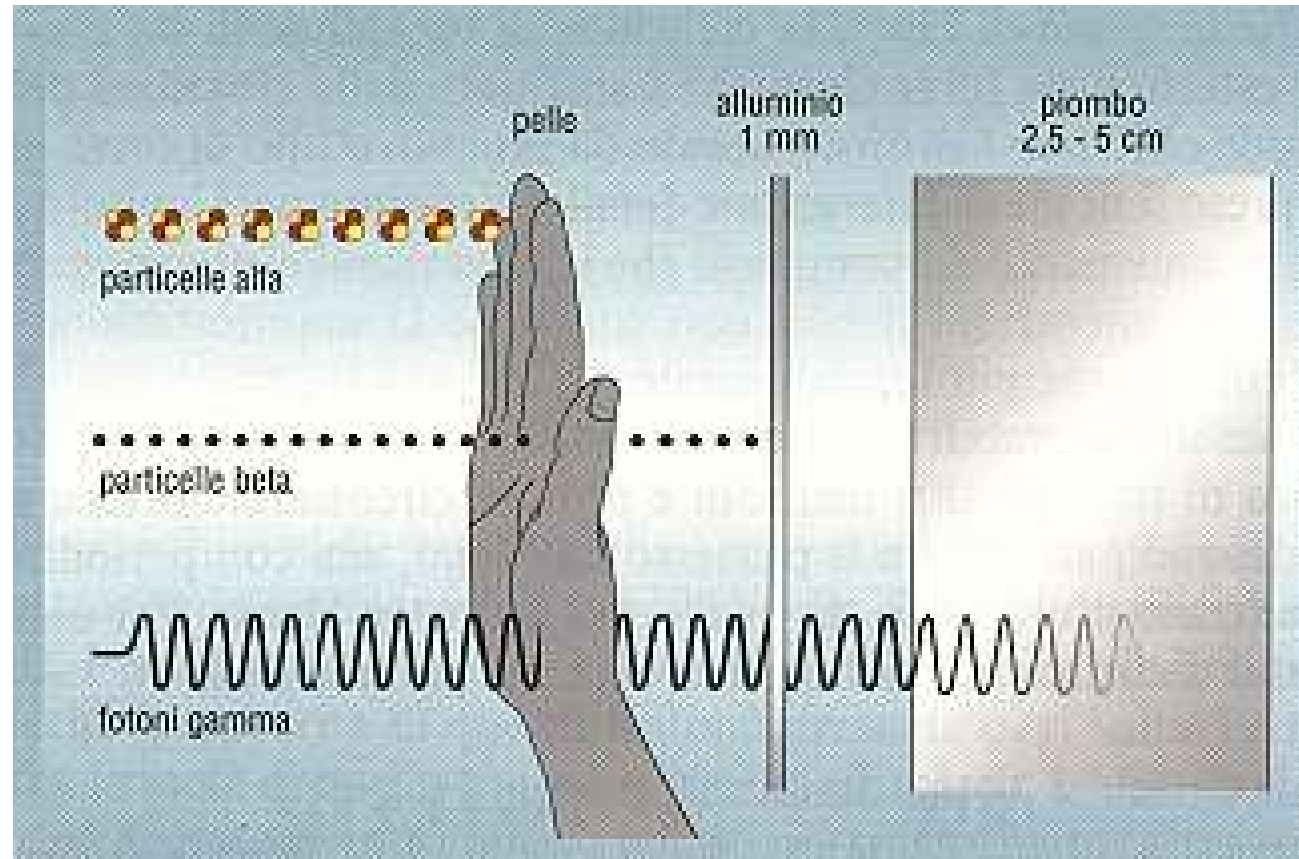
Decadimento radioattivo  
 $\alpha$  (2 protoni+2 neutroni),  
 $\beta$  (particelle massa simile e, neg. e pos.,  
neutrone in protone)  
 $\gamma$  (radiazioni elettromagnetiche)



## Emissioni dei nuclei radioattivi



## Potere penetrante delle particelle radioattive



**Emivita (o tempo di dimezzamento)** di un isotopo radioattivo è definita come il tempo occorrente perché la metà degli atomi di un campione puro dell'isotopo decadano in un altro elemento. L'emivita è una misura della stabilità di un isotopo: più breve è l'emivita, meno stabile è l'atomo

L'emivita dei materiali radioattivi varia da frazioni di secondo per i più instabili, fino a miliardi di anni per quelli che sono solo leggermente instabili

<b>Serie</b>	<b>Isotopo di partenza</b>	<b>Emivita (in anni)</b>	<b>Isotopo stabile finale</b>
radio	uranio-238	$4,47 \times 10^9$	piombo-206
attinio	uranio-235	$7,04 \times 10^8$	piombo-207
torio	torio-232	$1,41 \times 10^{10}$	piombo-208

# Massa atomica relativa ed assoluta

- **Massa atomica assoluta** ( o peso atomico assoluto) tra  $10^{-22}$  e  $10^{-23}$  gr

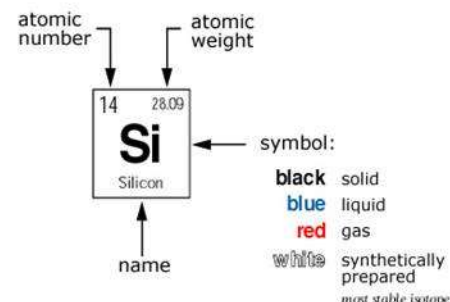
Difetto di massa (differenza tra la somma delle masse dei protoni e neutroni e la massa effettiva del nucleo)

- **Unità di misura di massa atomica** (u.m.a).-  
1 uma è la massa equivalente alla dodicesima parte della massa del nucleo del  $^{12}\text{C} = 1,660538 \cdot 10^{-24}$
- **Massa atomica relativa** = *massa atomica assoluta (g) /  $1,660538 \cdot 10^{-24}$  (g)* (peso atomico relativo o peso atomico)

# Periodic Table of the Elements



1 1.01 <b>H</b> Hydrogen																	2 4.003 <b>He</b> Helium						
3 6.94 <b>Li</b> Lithium	4 9.01 <b>Be</b> Beryllium																	5 10.81 <b>B</b> Boron	6 12.01 <b>C</b> Carbon	7 14.01 <b>N</b> Nitrogen	8 15.999 <b>O</b> Oxygen	9 18.998 <b>F</b> Fluorine	10 20.18 <b>Ne</b> Neon
11 22.99 <b>Na</b> Sodium	12 24.31 <b>Mg</b> Magnesium																	13 26.98 <b>Al</b> Aluminum	14 28.09 <b>Si</b> Silicon	15 30.97 <b>P</b> Phosphorus	16 32.06 <b>S</b> Sulfur	17 35.45 <b>Cl</b> Chlorine	18 39.95 <b>Ar</b> Argon
19 39.10 <b>K</b> Potassium	20 40.08 <b>Ca</b> Calcium	21 44.96 <b>Sc</b> Scandium	22 47.90 <b>Ti</b> Titanium	23 50.94 <b>V</b> Vanadium	24 51.996 <b>Cr</b> Chromium	25 54.94 <b>Mn</b> Manganese	26 55.85 <b>Fe</b> Iron	27 58.93 <b>Co</b> Cobalt	28 58.70 <b>Ni</b> Nickel	29 63.55 <b>Cu</b> Copper	30 65.37 <b>Zn</b> Zinc	31 69.72 <b>Ga</b> Gallium	32 72.59 <b>Ge</b> Germanium	33 74.92 <b>As</b> Arsenic	34 78.96 <b>Se</b> Selenium	35 79.90 <b>Br</b> Bromine	36 83.80 <b>Kr</b> Krypton						
37 85.47 <b>Rb</b> Rubidium	38 87.62 <b>Sr</b> Strontium	39 88.91 <b>Y</b> Yttrium	40 91.22 <b>Zr</b> Zirconium	41 92.91 <b>Nb</b> Niobium	42 95.94 <b>Mo</b> Molybdenum	43 (98) <b>Tc</b> Technetium	44 101.07 <b>Ru</b> Ruthenium	45 102.91 <b>Rh</b> Rhodium	46 106.40 <b>Pd</b> Palladium	47 107.87 <b>Ag</b> Silver	48 112.41 <b>Cd</b> Cadmium	49 114.82 <b>In</b> Indium	50 118.69 <b>Sn</b> Tin	51 121.75 <b>Sb</b> Antimony	52 127.60 <b>Te</b> Tellurium	53 126.90 <b>I</b> Iodine	54 131.30 <b>Xe</b> Xenon						
55 132.91 <b>Cs</b> Cesium	56 137.33 <b>Ba</b> Barium	57 138.91 <b>La</b> Lanthanum	72 178.49 <b>Hf</b> Hafnium	73 180.95 <b>Ta</b> Tantalum	74 183.85 <b>W</b> Tungsten	75 186.21 <b>Re</b> Rhenium	76 190.20 <b>Os</b> Osmium	77 192.22 <b>Ir</b> Iridium	78 195.09 <b>Pt</b> Platinum	79 196.97 <b>Au</b> Gold	80 200.59 <b>Hg</b> Mercury	81 204.37 <b>Tl</b> Thallium	82 207.19 <b>Pb</b> Lead	83 208.98 <b>Bi</b> Bismuth	84 (209) <b>Po</b> Polonium	85 (210) <b>At</b> Astatine	86 (222) <b>Rn</b> Radon						
87 (223) <b>Fr</b> Francium	88 226.03 <b>Ra</b> Radium	89 227.03 <b>Ac</b> Actinium	104 (261) <b>Rf</b> Rutherfordium	105 (262) <b>Ha</b> Hahnium	106 (266) <b>Sg</b> Seaborgium	107 (262) <b>Bh</b> Bohrium	108 (265) <b>Hs</b> Hassium	109 (266) <b>Mt</b> Meitnerium	110 (271) <b></b>	111 (272) <b></b>	112 (277) <b></b>	(113) <b></b>	114 (285) <b></b>	(115) <b></b>	116 (289) <b></b>	(117) <b></b>	118 (293) <b></b>						



- alkali metals
- alkaline earth metals
- transitional metals
- other metals
- nonmetals
- noble gases

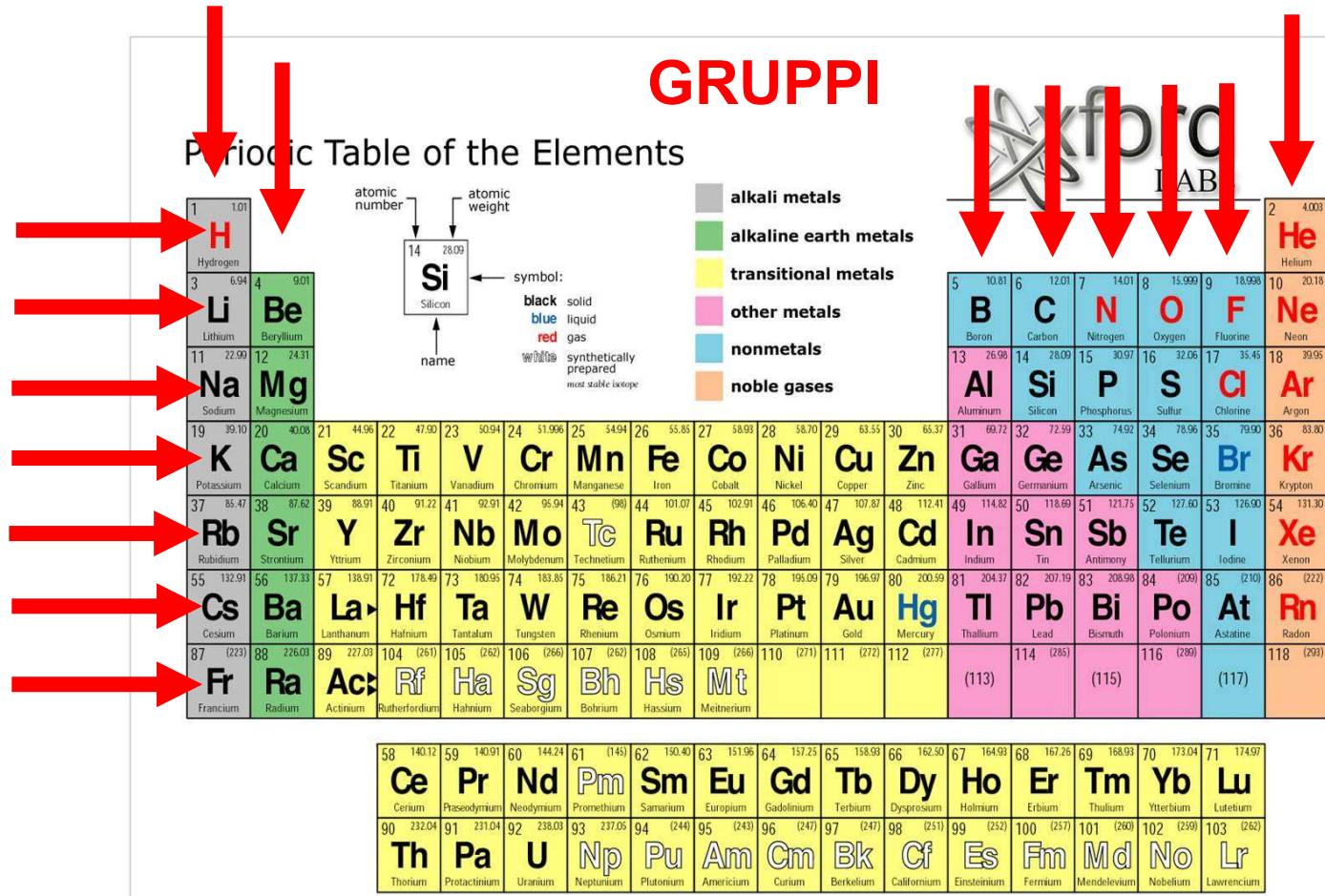
58 140.12 <b>Ce</b> Cerium	59 140.91 <b>Pr</b> Praseodymium	60 144.24 <b>Nd</b> Neodymium	61 (145) <b>Pm</b> Promethium	62 150.40 <b>Sm</b> Samarium	63 151.96 <b>Eu</b> Europium	64 157.25 <b>Gd</b> Gadolinium	65 158.93 <b>Tb</b> Terbium	66 162.50 <b>Dy</b> Dysprosium	67 164.93 <b>Ho</b> Holmium	68 167.26 <b>Er</b> Erbium	69 168.93 <b>Tm</b> Thulium	70 173.04 <b>Yb</b> Ytterbium	71 174.97 <b>Lu</b> Lutetium
90 232.04 <b>Th</b> Thorium	91 231.04 <b>Pa</b> Protactinium	92 238.03 <b>U</b> Uranium	93 237.05 <b>Np</b> Neptunium	94 (244) <b>Pu</b> Plutonium	95 (243) <b>Am</b> Americium	96 (247) <b>Cm</b> Curium	97 (247) <b>Bk</b> Berkelium	98 (251) <b>Cf</b> Californium	99 (252) <b>Es</b> Einsteinium	100 (257) <b>Fm</b> Fermium	101 (260) <b>Md</b> Mendelevium	102 (259) <b>No</b> Nobelium	103 (262) <b>Lr</b> Lawrencium



**PERIODI**

**GRUPPI**

Periodic Table of the Elements



Copyright © 2009 Oxford Labs

Gruppo: atomi di uguale comportamento chimico

# Tavola Periodica degli Elementi

1 IA	Nuovo Originale																18 VIIIA	
1 H Idrogeno 1.00794																	2 He Elio 4.002602	
2 Li Litio 6.941	3 Be Berillio 9.012182											5 B Boro 10.811	6 C Carbonio 12.0107	7 N Azoto 14.00674	8 O Ossigeno 15.9994	9 F Fluoro 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797	
3 Na Sodio 22.989770	4 Mg Magnesio 24.3050	3 III B	4 IV B	5 V B	6 VI B	7 VII B	8 VIII B	9 VIII B	10 VIII B	11 IB	12 IIB	13 Al Alluminio 26.981538	14 Si Silicio 28.0855	15 P Fosforo 30.973761	16 S Zolfo 32.066	17 Cl Cloro 35.453	18 Ar Argon 39.948	
4 K Potassio 39.0983	20 Ca Calcio 40.078	21 Sc Scandio 44.955910	22 Ti Titanio 47.867	23 V Vanadio 50.9415	24 Cr Cromo 51.9961	25 Mn Manganese 54.938049	26 Fe Ferro 55.8457	27 Co Cobalto 58.933200	28 Ni Nichel 58.6934	29 Cu Rame 63.546	30 Zn Zinco 65.409	31 Ga Gallio 69.723	32 Ge Germanio 72.64	33 As Arsenico 74.92160	34 Se Selenio 78.96	35 Br Bromo 79.904	36 Kr Kripton 83.798	
5 Rb Rubidio 85.4678	38 Sr Stronzio 87.62	39 Y Ittrio 88.90585	40 Zr Zirconio 91.224	41 Nb Niobio 92.90638	42 Mo Molibdeno 95.94	43 Tc Technezio (98)	44 Ru Rutenio 101.07	45 Rh Rodio 102.90550	46 Pd Palladio 106.42	47 Ag Argento 107.8682	48 Cd Cadmio 112.411	49 In Indio 114.818	50 Sn Stagno 118.710	51 Sb Antimonio 121.760	52 Te Tellurio 127.60	53 I Iodio 126.90447	54 Xe Xeno 131.293	
6 Cs Cesio 132.90545	56 Ba Bario 137.327	57 to 71		72 Hf Hafnio 178.49	73 Ta Tantalio 180.9479	74 W Tungsteno 183.84	75 Re Renio 186.207	76 Os Osmio 190.23	77 Ir Iridio 192.217	78 Pt Platino 195.078	79 Au Oro 196.96655	80 Hg Mercurio 200.59	81 Tl Tellurio 204.3833	82 Pb Piombo 207.2	83 Bi Bismuto 208.98038	84 Po Polonio (209)	85 At Astatio (210)	86 Rn Radon (222)
7 Fr Francio (223)	88 Ra Radio (226)	89 to 103		104 Rf Rutherfordio (261)	105 Db Dubnio (262)	106 Sg Seaborgio (266)	107 Bh Bohrio (264)	108 Hs Hassio (269)	109 Mt Meitnerio (268)	110 Ds Darmstadtio (271)	111 Rg Roentgenio (272)	112 Uub Ununbio (285)	113 Uut Ununtrio (284)	114 Uuq Ununquadio (289)	115 Uup Ununpentio (288)	116 Uuh Ununhexio (292)	117 Uus Ununseptio	118 Uuo Ununoctio

Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.

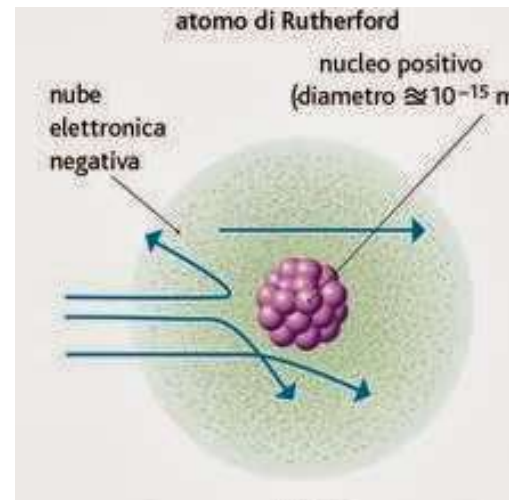
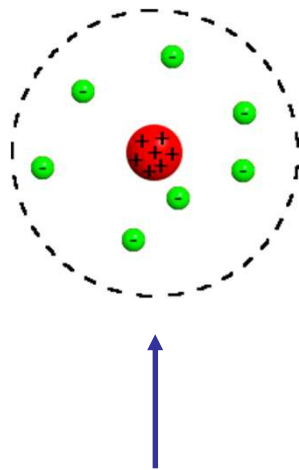
Design Copyright © 1997 Michael Davah (michael@davah.com), <http://www.davah.com/periodic/>

Nota: il sotto gruppo dei numeri 1-18 è stato adottato nel 1984 dalla International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). I nomi degli elementi 112-118 sono gli equivalenti latini di quei nomi.

57 La Lantanio 138.9055	58 Ce Cerio 140.116	59 Pr Praseodimio 140.90765	60 Nd Neodimio 144.24	61 Pm Promezio (145)	62 Sm Samario 150.36	63 Eu Europio 151.964	64 Gd Gadolinio 157.25	65 Tb Terbio 158.92534	66 Dy Disprosio 162.500	67 Ho Olmio 164.93032	68 Er Erbio 167.259	69 Tm Tulio 168.93421	70 Yb Itterbio 173.04	71 Lu Lutezio 174.967
89 Ac Attinio (227)	90 Th Torio 232.0381	91 Pa Protoattinio 231.03688	92 U Uranio 238.02891	93 Np Nettunio (237)	94 Pu Plutonio (244)	95 Am Americio (243)	96 Cm Curio (247)	97 Bk Berkelio (247)	98 Cf Californio (251)	99 Es Einsteinio (252)	100 Fm Fermio (257)	101 Md Mendelevio (258)	102 No Nobelio (259)	103 Lr Laurenzio (262)

## Struttura dell'atomo

- Ruolo chiave gli studi di Rutherford (1919-1920)
- ✓ fasci di particelle  $\alpha$  che bombardano una lastra sottile di oro



Atomo di Rutherford: tutta la carica + e la massa concentrata in una zona piccolissima (nucleo), resto del volume spazio vuoto in cui si muovono elettroni



# Teoria quantistica: Planck

Oggetto: studio delle leggi che regolano gli scambi di energia tra corpi di dimensione atomica e subatomica

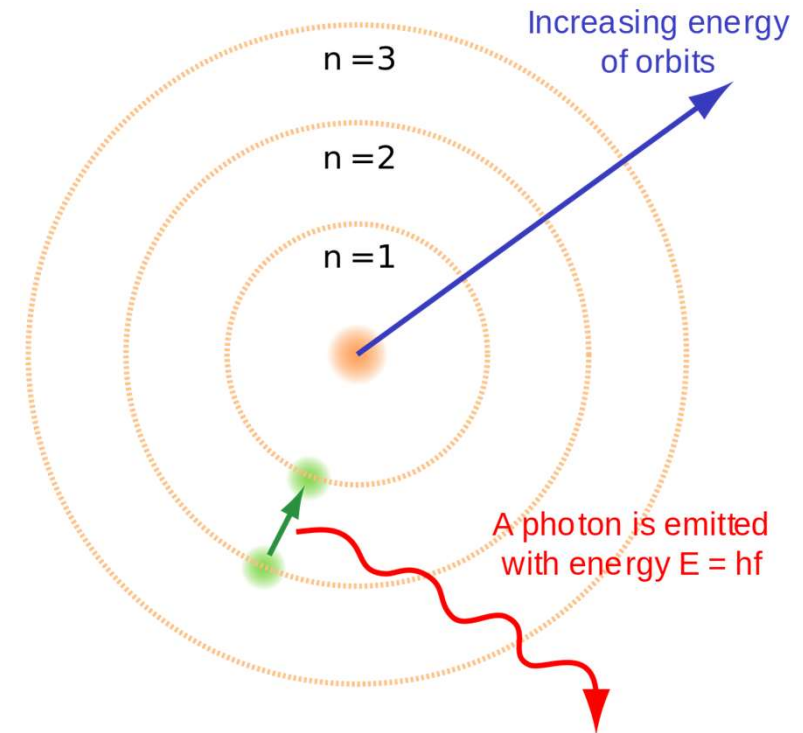
Basata sul concetto che quando nel corso di un evento due corpi si scambiano energia questa non può essere mai inferiore ad una certa quantità minima (QUANTO) e pari a suoi multipli.

$$\Delta E = h\nu; 2 h\nu; 3 h\nu \dots n h\nu$$

$$h \text{ costante di Planck } \quad 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

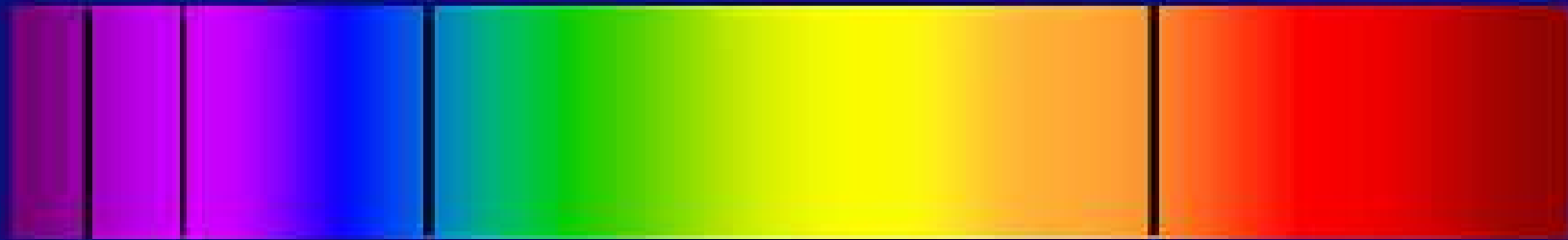
# Modello atomico di Bohr (introduzione concetto della natura quantica dell'energia degli elettroni nell'atomo)

- ✓ Orbite circolari designate da numero quantico principale (n)
- ✓ Ad ogni orbita corrisponde un determinato valore di energia
- ✓ Ammessi solo determinati valori di energia e quindi può muoversi solo in determinate orbite- stato energetico permesso
- ✓ In assenza di energia radiante gli non si possono muovere dal loro orbitale (stato fondamentale e stato eccitato)
- ✓ Energia radiante: passaggio da un orbitale ad un altro solo se  $\Delta E = h\nu$



Il passaggio di un elettrone da un orbita all'altra e' accompagnato dal rilascio o assorbimento di una quantità discreta e ben definita di energia (quanti di energia).

## Spettro di ASSORBIMENTO dell'idrogeno



Oggi atomo descritto dalla **meccanica ondulatoria o quanto-meccanica**

**Natura dualistica dell'energia radiante:** a seconda delle circostanze sperimentali l'energia radiante può esibire carattere ondulatorio (onda elettromagnetica) o corpuscolare (fasci di fotoni).

De Broglie- esteso il concetto anche all'atomo

Se energia si può comportare come una particella allora anche una particella può avere proprietà ondulatorie.

**AD OGNI ELETTRONE IN MOTO SI PUO' ASSOCIARE UNA LUNGHEZZA D'ONDA**  
(onde di materia)

$$\lambda = h/mv$$

$mv$  momento o quantità di moto

Dopo pochi anni proprietà ondulatorie dell'elettrone dimostrate sperimentalmente

## **Il principio di indeterminazione (Heisengerg)**

**Non è intrinsecamente possibile conoscere con il medesimo grado di precisione la quantità di moto della particella e la sua posizione nello spazio.**

Non è realistico immaginare gli elettroni ruotanti attorno al nucleo in traiettorie circolari.

Ipotesi di De Broglie e principio di indeterminazione hanno creato le basi per la moderna concezione della struttura dell'atomo

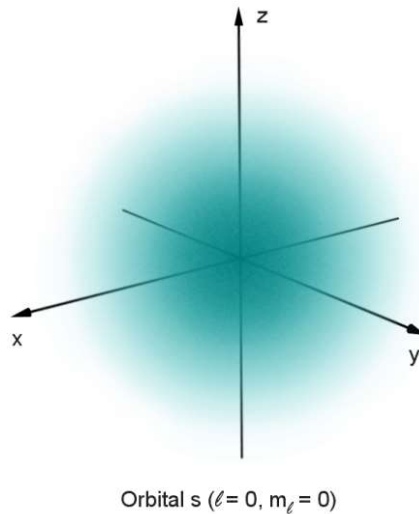
## Teoria quanto meccanica atomo

In meccanica quantistica l'**equazione di Schrödinger** è un'equazione differenziale con infinite soluzioni. Le soluzioni sono dette **funzioni d'onda**  $\psi$ . La funzione d'onda informa circa la posizione dell'elettrone nello spazio quando esso si trova in un determinato stato di energia.

Il quadrato di  $\psi$  esprime la probabilità che l'elettrone si trovi in una determinata regione dello spazio perinucleare.

Un **orbitale atomico** corrisponde a una zona dello spazio contrassegnata da un valore di energia definita attorno al nucleo dove l'elettrone può trovarsi con elevata probabilità.

Visivamente, tale orbitale può essere meglio rappresentato mediante una nuvola la cui intensità è proporzionale alla *densità di probabilità* di trovare l'elettrone in quel punto e con forme tali da comprendere il 95% della probabilità elettronica



Ogni orbitale possiede un certo contenuto di energia e una forma e una orientazione caratteristica caratteristica

La dimensione, l'orientamento e la forma dell'orbitale sono descritti dai **numeri quantici**.

I numeri quantici sono tre:

- **numero quantico principale;**
- **numero quantico secondario;**
- **numero quantico magnetico.**

Un quarto numero quantico

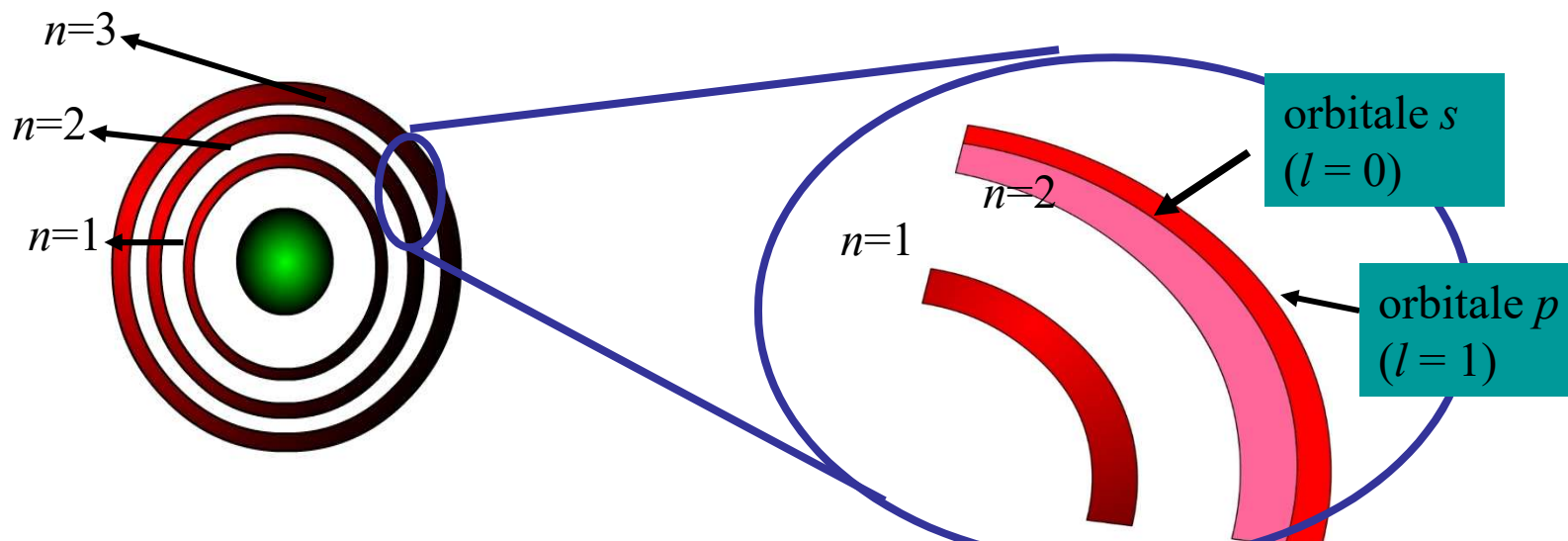
- **numero quantico di spin**

descrive invece una proprietà dell'elettrone.



# Numeri Quantici

- **Numero Quantico Principale  $n$  (orbitali con stesso  $n$  sono un livello elettronico)**
- **Rappresenta i livelli energetici principali**
- **$n = 1, \dots, 7$**
- **Descrive la distanza dal nucleo**
- **Maggiore è  $n$ , maggiore è l'energia**
- **Numero Quantico Angolare  $l$**
- **Rappresenta i livelli sub-energetici**
- **$l = 0, \dots, n-1$**
- **Descrive la geometria orbitale**
- **Rappresentato dalle lettere  $s, p, d$  e  $f$ .**



## Se $n = 1$

$l = 0 \rightarrow$  orbitale di tipo s

Ciò significa che nel primo livello di energia vi è un solo orbitale che è di tipo sferico, indicata con  $l = 0$ , o anche con la lettera "s".

## Se $n = 3$

$l = 0 \rightarrow$  orbitale di tipo s

$l = 1 \rightarrow$  orbitale di tipo p

$l = 2 \rightarrow$  orbitale di tipo d

## Se $n = 4$

$l = 0 \rightarrow$  orbitale di tipo s

$l = 1 \rightarrow$  orbitale di tipo p

$l = 2 \rightarrow$  orbitale di tipo d

$l = 3 \rightarrow$  orbitale di tipo f

A seconda del valore assunto dal numero quantico secondario  $l$ , l'orbitale assume una determinata forma.

Per  $l = 0$  l'orbitale è sferico (orbitale s). Al centro della sfera c'è il nucleo.

Per  $l = 1$  l'orbitale è a due lobi (orbitale p). Il nucleo dell'atomo sta al centro dei due lobi.

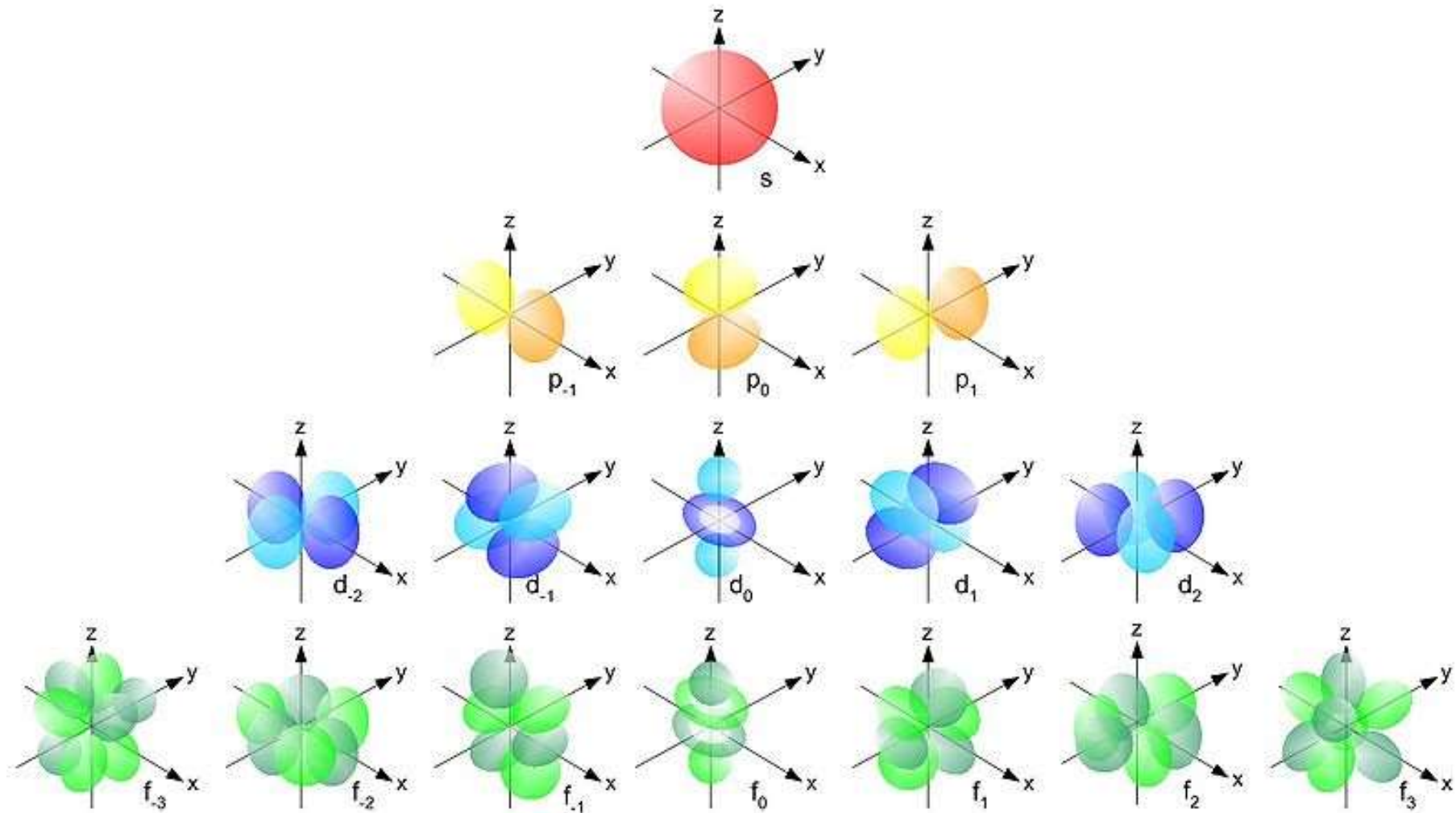
Per  $l = 2$  l'orbitale è a quattro lobi (orbitale d). Il nucleo dell'atomo sta al centro dei quattro lobi.

Per  $l = 3$  l'orbitale è a otto lobi (orbitale f).

# Numero quantico magnetico $m_l$

$(-l \dots 0 \dots l)$

Numero di orientazioni di un orbitale nello spazio-ORBITALI DEGENERI

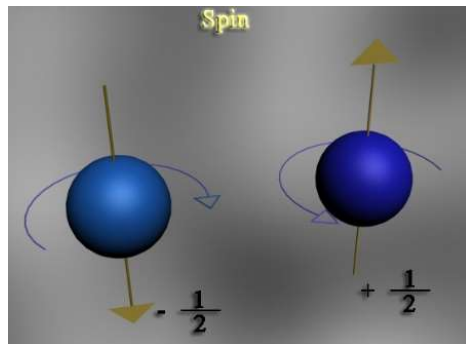


# Numeri quantici e orbitali

	$s (l=0)$	$p (l=1)$			$d (l=2)$					$f (l=3)$						
	$m=0$	$m=0$	$m=\pm 1$		$m=0$	$m=\pm 1$		$m=\pm 2$		$m=0$	$m=\pm 1$		$m=\pm 2$		$m=\pm 3$	
	$s$	$p_z$	$p_x$	$p_y$	$d_{z^2}$	$d_{xz}$	$d_{yz}$	$d_{xy}$	$d_{x^2-y^2}$	$f_{z^3}$	$f_{xz^2}$	$f_{yz^2}$	$f_{xyz}$	$f_{z(x^2-y^2)}$	$f_{x(x^2-3y^2)}$	$f_{y(3x^2-y^2)}$
$n=1$																
$n=2$																
$n=3$																
$n=4$																
$n=5$										...	...	...	...	...	...	...
$n=6$					...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$n=7$		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...



## Numero quantico di spin ( $m_s$ )



Il numero quantico di spin è il quarto numero quantico. Esso riguarda l'elettrone, viene indicato con la lettera  $m_s$  e può assumere soltanto due valori:  $m_s = +\frac{1}{2}$  e  $m_s = -\frac{1}{2}$ .

Nel novembre del 1925 due fisici olandesi, G.E. Uhlenbeck e S.A.

Goudsmit, formularono l'ipotesi che l'elettrone avesse la possibilità di ruotare attorno al proprio asse proprio come fa la Terra.

Come si distribuiscono gli elettroni negli orbitali ?

## Configurazione elettronica

**Principio di esclusione di Pauli:** in un atomo di un elemento, due elettroni non possono avere la stessa serie di quattro numeri quantici. **Ciascun orbitale puo' ospitare al massimo due elettroni con spin opposti**

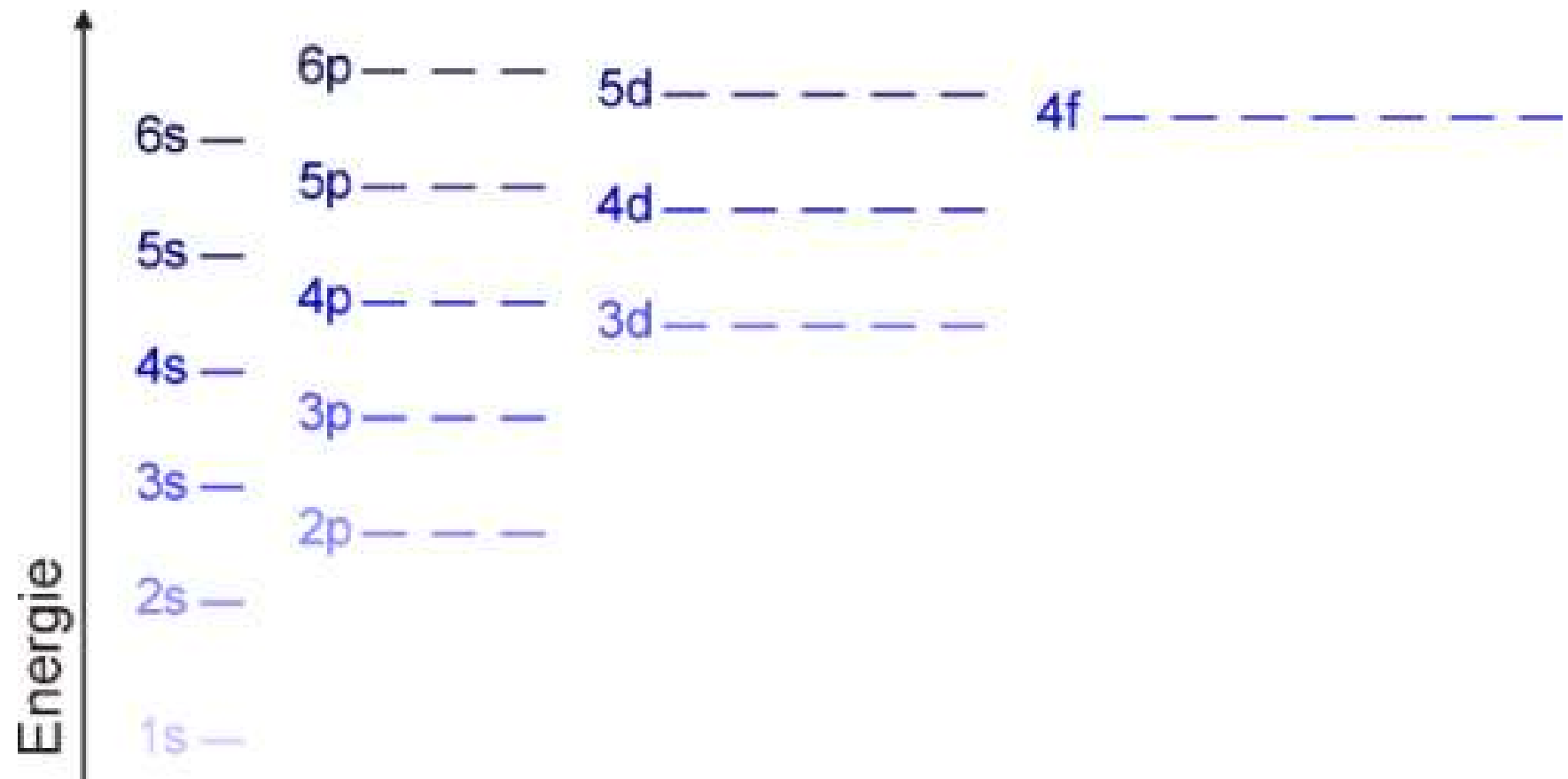
**Principio di Hund:** orbitali degeneri occupati da un solo elettrone finche' tutti non contengano almeno un elettrone; in questo caso hanno tutti spin paralleli

**Configurazione elettronica:** come sono distribuiti gli elettroni nei vari livelli, sottolivelli, ed orbitali

Come si rappresenta la configurazione elettronica?

9 elettroni (Fluoro-F)  $1s^2 2s^2 2p^5$     10 elettroni (Neon-Ne)  $1s^2 2s^2 2p^6$

11 elettroni (Sodio-Na)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$

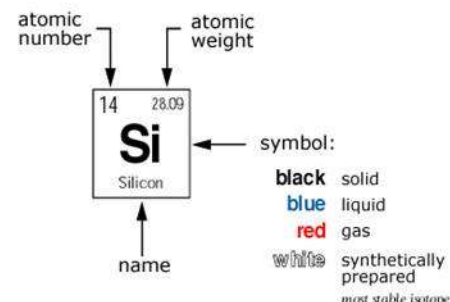




# Periodic Table of the Elements



1 1.01 <b>H</b> Hydrogen																	2 4.003 <b>He</b> Helium	
3 6.94 <b>Li</b> Lithium	4 9.01 <b>Be</b> Beryllium																	10 20.18 <b>Ne</b> Neon
11 22.99 <b>Na</b> Sodium	12 24.31 <b>Mg</b> Magnesium																	18 39.95 <b>Ar</b> Argon
19 39.10 <b>K</b> Potassium	20 40.08 <b>Ca</b> Calcium	21 44.96 <b>Sc</b> Scandium	22 47.90 <b>Ti</b> Titanium	23 50.94 <b>V</b> Vanadium	24 51.996 <b>Cr</b> Chromium	25 54.94 <b>Mn</b> Manganese	26 55.85 <b>Fe</b> Iron	27 58.93 <b>Co</b> Cobalt	28 58.70 <b>Ni</b> Nickel	29 63.55 <b>Cu</b> Copper	30 65.37 <b>Zn</b> Zinc	31 69.72 <b>Ga</b> Gallium	32 72.59 <b>Ge</b> Germanium	33 74.92 <b>As</b> Arsenic	34 78.96 <b>Se</b> Selenium	35 79.90 <b>Br</b> Bromine	36 83.80 <b>Kr</b> Krypton	
37 85.47 <b>Rb</b> Rubidium	38 87.62 <b>Sr</b> Strontium	39 88.91 <b>Y</b> Yttrium	40 91.22 <b>Zr</b> Zirconium	41 92.91 <b>Nb</b> Niobium	42 95.94 <b>Mo</b> Molybdenum	43 (98) <b>Tc</b> Technetium	44 101.07 <b>Ru</b> Ruthenium	45 102.91 <b>Rh</b> Rhodium	46 106.40 <b>Pd</b> Palladium	47 107.87 <b>Ag</b> Silver	48 112.41 <b>Cd</b> Cadmium	49 114.82 <b>In</b> Indium	50 118.69 <b>Sn</b> Tin	51 121.75 <b>Sb</b> Antimony	52 127.60 <b>Te</b> Tellurium	53 126.90 <b>I</b> Iodine	54 131.30 <b>Xe</b> Xenon	
55 132.91 <b>Cs</b> Cesium	56 137.33 <b>Ba</b> Barium	57 138.91 <b>La</b> Lanthanum	72 178.49 <b>Hf</b> Hafnium	73 180.95 <b>Ta</b> Tantalum	74 183.85 <b>W</b> Tungsten	75 186.21 <b>Re</b> Rhenium	76 190.20 <b>Os</b> Osmium	77 192.22 <b>Ir</b> Iridium	78 195.09 <b>Pt</b> Platinum	79 196.97 <b>Au</b> Gold	80 200.59 <b>Hg</b> Mercury	81 204.37 <b>Tl</b> Thallium	82 207.19 <b>Pb</b> Lead	83 208.98 <b>Bi</b> Bismuth	84 (209) <b>Po</b> Polonium	85 (210) <b>At</b> Astatine	86 (222) <b>Rn</b> Radon	
87 (223) <b>Fr</b> Francium	88 226.03 <b>Ra</b> Radium	89 227.03 <b>Ac</b> Actinium	104 (261) <b>Rf</b> Rutherfordium	105 (262) <b>Ha</b> Hahnium	106 (266) <b>Sg</b> Seaborgium	107 (262) <b>Bh</b> Bohrium	108 (265) <b>Hs</b> Hassium	109 (266) <b>Mt</b> Meitnerium	110 (271) <b></b>	111 (272) <b></b>	112 (277) <b></b>	(113) <b></b>	114 (285) <b></b>	(115) <b></b>	116 (289) <b></b>	(117) <b></b>	118 (293) <b></b>	



- alkali metals
- alkaline earth metals
- transitional metals
- other metals
- nonmetals
- noble gases

58 140.12 <b>Ce</b> Cerium	59 140.91 <b>Pr</b> Praseodymium	60 144.24 <b>Nd</b> Neodymium	61 (145) <b>Pm</b> Promethium	62 150.40 <b>Sm</b> Samarium	63 151.96 <b>Eu</b> Europium	64 157.25 <b>Gd</b> Gadolinium	65 158.93 <b>Tb</b> Terbium	66 162.50 <b>Dy</b> Dysprosium	67 164.93 <b>Ho</b> Holmium	68 167.26 <b>Er</b> Erbium	69 168.93 <b>Tm</b> Thulium	70 173.04 <b>Yb</b> Ytterbium	71 174.97 <b>Lu</b> Lutetium
90 232.04 <b>Th</b> Thorium	91 231.04 <b>Pa</b> Protactinium	92 238.03 <b>U</b> Uranium	93 237.05 <b>Np</b> Neptunium	94 (244) <b>Pu</b> Plutonium	95 (243) <b>Am</b> Americium	96 (247) <b>Cm</b> Curium	97 (247) <b>Bk</b> Berkelium	98 (251) <b>Cf</b> Californium	99 (252) <b>Es</b> Einsteinium	100 (257) <b>Fm</b> Fermium	101 (260) <b>Md</b> Mendelevium	102 (259) <b>No</b> Nobelium	103 (262) <b>Lr</b> Lawrencium

Group number

1 1A 2 2A 13 3A 14 4A 15 5A 16 6A 17 7A 18 8A

1 H  $1s^1$  2 He  $1s^2$

2 Li  $2s^1$  4 Be  $2s^2$  5 B  $2s^2 2p^1$  6 C  $2s^2 2p^2$  7 N  $2s^2 2p^3$  8 O  $2s^2 2p^4$  9 F  $2s^2 2p^5$  10 Ne  $2s^2 2p^6$

3 Na  $3s^1$  12 Mg  $3s^2$  3 3B 4 4B 5 5B 6 6B 7 7B 8 8B 9 9B 10 10B 11 11B 12 12B 13 Al  $3s^2 3p^1$  14 Si  $3s^2 3p^2$  15 P  $3s^2 3p^3$  16 S  $3s^2 3p^4$  17 Cl  $3s^2 3p^5$  18 Ar  $3s^2 3p^6$

4 K  $4s^1$  20 Ca  $4s^2$  21 Sc  $3d^1 4s^2$  22 Ti  $3d^2 4s^2$  23 V  $3d^3 4s^2$  24 Cr  $3d^5 4s^1$  25 Mn  $3d^5 4s^2$  26 Fe  $3d^6 4s^2$  27 Co  $3d^7 4s^2$  28 Ni  $3d^8 4s^2$  29 Cu  $3d^{10} 4s^1$  30 Zn  $3d^{10} 4s^2$  31 Ga  $4s^2 4p^1$  32 Ge  $4s^2 4p^2$  33 As  $4s^2 4p^3$  34 Se  $4s^2 4p^4$  35 Br  $4s^2 4p^5$  36 Kr  $4s^2 4p^6$

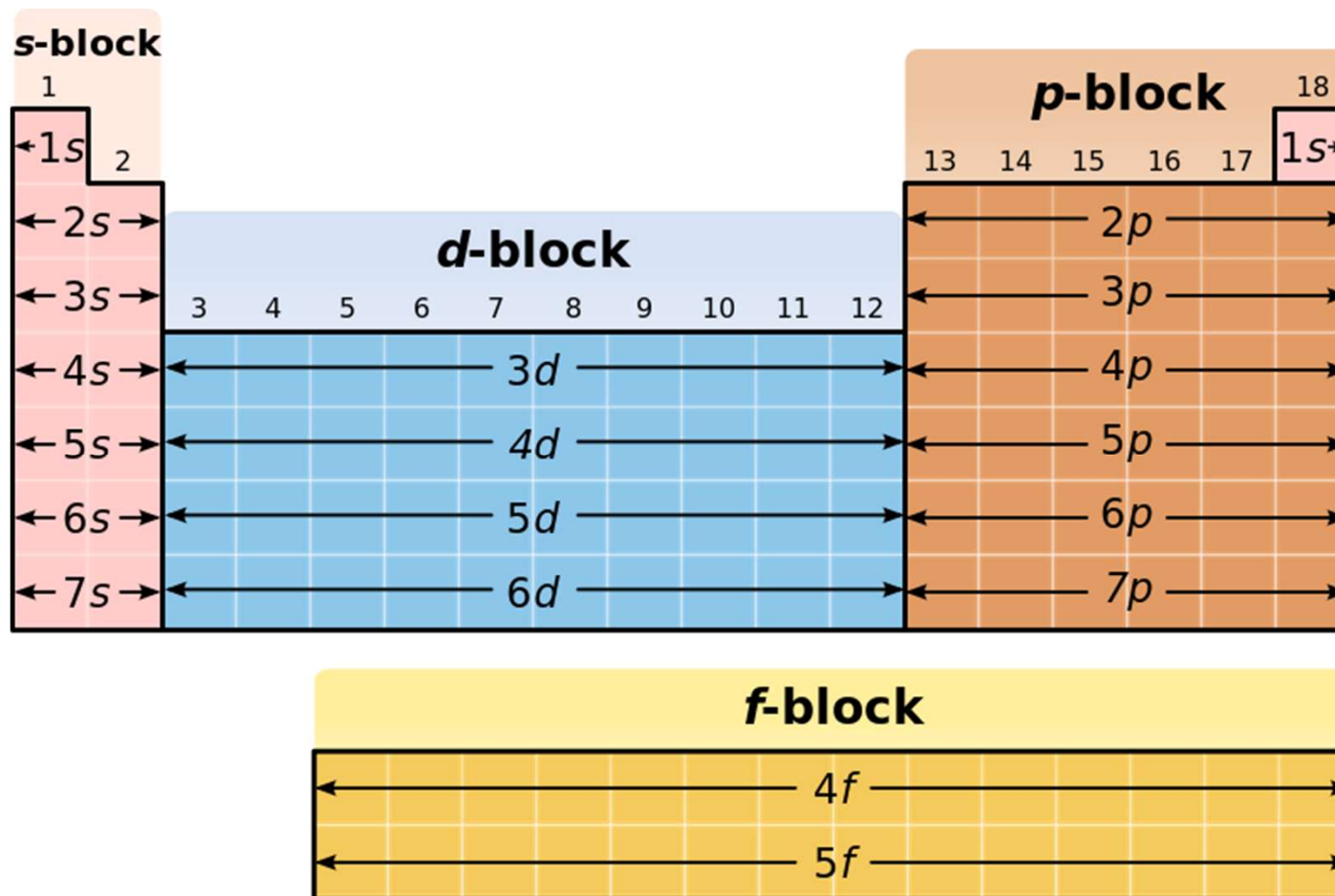
5 Rb  $5s^1$  38 Sr  $5s^2$  39 Y  $4d^1 5s^2$  40 Zr  $4d^2 5s^2$  41 Nb  $4d^4 5s^1$  42 Mo  $4d^5 5s^1$  43 Tc  $4d^5 5s^2$  44 Ru  $4d^7 5s^1$  45 Rh  $4d^8 5s^1$  46 Pd  $4d^{10}$  47 Ag  $4d^{10} 5s^1$  48 Cd  $4d^{10} 5s^2$  49 In  $5s^2 5p^1$  50 Sn  $5s^2 5p^2$  51 Sb  $5s^2 5p^3$  52 Te  $5s^2 5p^4$  53 I  $5s^2 5p^5$  54 Xe  $5s^2 5p^6$

6 Cs  $6s^1$  56 Ba  $6s^2$  57 \*La  $5d^1 6s^2$  72 Hf  $5d^2 6s^2$  73 Ta  $5d^3 6s^2$  74 W  $5d^4 6s^2$  75 Re  $5d^5 6s^2$  76 Os  $5d^6 6s^2$  77 Ir  $5d^7 6s^2$  78 Pt  $5d^9 6s^1$  79 Au  $5d^{10} 6s^1$  80 Hg  $5d^{10} 6s^2$  81 Tl  $6s^2 6p^1$  82 Pb  $6s^2 6p^2$  83 Bi  $6s^2 6p^3$  84 Po  $6s^2 6p^4$  85 At  $6s^2 6p^5$  86 Rn  $6s^2 6p^6$

7 Fr  $7s^1$  88 Ra  $7s^2$  89 †Ac  $6d^1 7s^2$  104 Rf  $6d^2 7s^2$  105 Db  $6d^3 7s^2$  106 Sg  $6d^4 7s^2$  107 Bh 108 Hs 109 Mt 110 111 112 (271.15) (272.15) (277) 114 (285) 116 (289)

s-block elements
  p-block elements  
 d-block elements
  f-block elements

Lanthanides	58 Ce $4f^2 6s^2$	59 Pr $4f^3 6s^2$	60 Nd $4f^4 6s^2$	61 Pm $4f^5 6s^2$	62 Sm $4f^6 6s^2$	63 Eu $4f^7 6s^2$	64 Gd $4f^7 5d^1 6s^2$	65 Tb $4f^9 6s^2$	66 Dy $4f^{10} 6s^2$	67 Ho $4f^{11} 6s^2$	68 Er $4f^{12} 6s^2$	69 Tm $4f^{13} 6s^2$	70 Yb $4f^{14} 6s^2$	71 Lu $4f^{14} 5d^1 6s^2$
Actinides	90 Th $6d^2 7s^2$	91 Pa $5f^2 6d^1 7s^2$	92 U $5f^3 6d^1 7s^2$	93 Np $5f^4 6d^1 7s^2$	94 Pu $5f^6 7s^2$	95 Am $5f^7 7s^2$	96 Cm $5f^7 6d^1 7s^2$	97 Bk $5f^9 7s^2$	98 Cf $5f^{10} 7s^2$	99 Es $5f^{11} 7s^2$	100 Fm $5f^{12} 7s^2$	101 Md $5f^{13} 7s^2$	102 No $5f^{14} 7s^2$	103 Lr $5f^{14} 6d^1 7s^2$



Gli elementi del gruppi 1 e 2 riempiono un sottolivello s

Gli elementi dei gruppi dal 13 al 18 riempiono i sottolivelli p

Gli elementi dei gruppi 3 al 12 riempiono i sottolivelli d

Gli elementi nel blocco separato presentano occupati i sottolivelli f

Le proprietà chimiche degli elementi dipendono dal numero di elettroni nel guscio esterno.

Sono questi elettroni ad essere coinvolti nelle reazioni chimiche.

Tutti gli elementi di uno stesso gruppo hanno le stesse proprietà chimiche perché hanno lo stesso numero di elettroni nel guscio più esterno.



# MOLECOLE

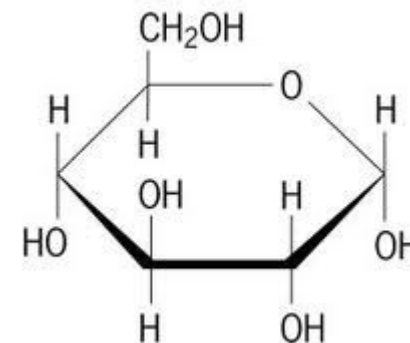
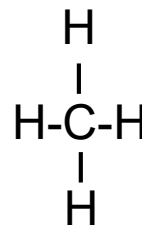
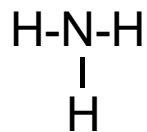
Formate dall'associazione di due o più atomi, tenuti insieme da legami covalenti, che consistono nella condivisione di elettroni. Le molecole di una sostanza sono tutte uguali fra loro.

- Una formula chimica indica quali e quanti atomi sono presenti in una molecola.
- I simboli degli elementi si scrivono uno di seguito all'altro; accanto ai simboli, al pedice, si scrive il numero di atomi di ogni tipo; 1 è sottinteso.

## Formule molecolari (brute)



## Formule strutturali



# Il legame covalente e la regola dell'ottetto (di Lewis)

I gas nobili hanno massima stabilità e sono caratterizzati dal possedere 8 elettroni Nello strato più esterno cioè configurazione  $s^2p^6$

Struttura di Lewis  
(elettroni di valenza)

Lewis Periodic Table Showing Outer Shell (Valence) Electrons

1	2	3	4	5	6	7	8
H•							•He•
Li•	•Be•	•B•	•C•	•N•	•O•	•F•	•Ne•
Na•	•Mg•	•Al•	•Si•	•P•	•S•	•Cl•	•Ar•
K•	•Ca•	•Ga•	•Ge•	•As•	•Se•	•Br•	•Kr•
Rb•	•Sr•	•In•	•Sn•	•Sb•	•Te•	•I•	•Xe•
Cs•	•Ba•						

**Regola dell'otteto:** ogni atomo tende ad acquistare, perdere o mettere in compartecipazione elettroni fino a raggiungere una condizione di stabilità corrispondente ad una configurazione elettronica esterna costituita da otto elettroni, uguale a quella del gas nobile più vicino nella tavola periodica

La regola dell'otteto permette di prevedere la reattività chimica di un elemento sulla base della sua posizione nella tavola periodica.

Group number

1 1A 2 2A 13 3A 14 4A 15 5A 16 6A 17 7A 18 8A

1 H  $1s^1$  He  $1s^2$

2 Li  $2s^1$  Be  $2s^2$  B  $2s^2 2p^1$  C  $2s^2 2p^2$  N  $2s^2 2p^3$  O  $2s^2 2p^4$  F  $2s^2 2p^5$  Ne  $2s^2 2p^6$

3 Na  $3s^1$  Mg  $3s^2$  3B 4B 5B 6B 7B 8B 9 10 11 12 Al  $3s^2 3p^1$  Si  $3s^2 3p^2$  P  $3s^2 3p^3$  S  $3s^2 3p^4$  Cl  $3s^2 3p^5$  Ar  $3s^2 3p^6$

4 K  $4s^1$  Ca  $4s^2$  Sc  $3d^1 4s^2$  Ti  $3d^2 4s^2$  V  $3d^3 4s^2$  Cr  $3d^5 4s^1$  Mn  $3d^5 4s^2$  Fe  $3d^6 4s^2$  Co  $3d^7 4s^2$  Ni  $3d^8 4s^2$  Cu  $3d^{10} 4s^1$  Zn  $3d^{10} 4s^2$  Ga  $4s^2 4p^1$  Ge  $4s^2 4p^2$  As  $4s^2 4p^3$  Se  $4s^2 4p^4$  Br  $4s^2 4p^5$  Kr  $4s^2 4p^6$

5 Rb  $5s^1$  Sr  $5s^2$  Y  $4d^1 5s^2$  Zr  $4d^2 5s^2$  Nb  $4d^4 5s^1$  Mo  $4d^5 5s^1$  Tc  $4d^5 5s^2$  Ru  $4d^7 5s^1$  Rh  $4d^8 5s^1$  Pd  $4d^{10}$  Ag  $4d^{10} 5s^1$  Cd  $4d^{10} 5s^2$  In  $5s^2 5p^1$  Sn  $5s^2 5p^2$  Sb  $5s^2 5p^3$  Te  $5s^2 5p^4$  I  $5s^2 5p^5$  Xe  $5s^2 5p^6$

6 Cs  $6s^1$  Ba  $6s^2$  \*La  $5d^1 6s^2$  Hf  $5d^2 6s^2$  Ta  $5d^3 6s^2$  W  $5d^4 6s^2$  Re  $5d^5 6s^2$  Os  $5d^6 6s^2$  Ir  $5d^7 6s^2$  Pt  $5d^9 6s^1$  Au  $5d^{10} 6s^1$  Hg  $5d^{10} 6s^2$  Tl  $6s^2 6p^1$  Pb  $6s^2 6p^2$  Bi  $6s^2 6p^3$  Po  $6s^2 6p^4$  At  $6s^2 6p^5$  Rn  $6s^2 6p^6$

7 Fr  $7s^1$  Ra  $7s^2$  †Ac  $6d^1 7s^2$  Rf  $6d^2 7s^2$  Db  $6d^3 7s^2$  Sg  $6d^4 7s^2$  Bh 108 Hs 109 Mt (271.15) (272.15) (277) 114 (285) 116 (289)

s-block elements
  p-block elements  
 d-block elements
  f-block elements

Lanthanides	58 Ce $4f^2 6s^2$	59 Pr $4f^3 6s^2$	60 Nd $4f^4 6s^2$	61 Pm $4f^5 6s^2$	62 Sm $4f^6 6s^2$	63 Eu $4f^7 6s^2$	64 Gd $4f^7 5d^1 6s^2$	65 Tb $4f^9 6s^2$	66 Dy $4f^{10} 6s^2$	67 Ho $4f^{11} 6s^2$	68 Er $4f^{12} 6s^2$	69 Tm $4f^{13} 6s^2$	70 Yb $4f^{14} 6s^2$	71 Lu $4f^{14} 5d^1 6s^2$
Actinides	90 Th $6d^2 7s^2$	91 Pa $5f^2 6d^1 7s^2$	92 U $5f^3 6d^1 7s^2$	93 Np $5f^4 6d^1 7s^2$	94 Pu $5f^6 7s^2$	95 Am $5f^7 7s^2$	96 Cm $5f^7 6d^1 7s^2$	97 Bk $5f^9 7s^2$	98 Cf $5f^{10} 7s^2$	99 Es $5f^{11} 7s^2$	100 Fm $5f^{12} 7s^2$	101 Md $5f^{13} 7s^2$	102 No $5f^{14} 7s^2$	103 Lr $5f^{14} 6d^1 7s^2$



Li  $1s^2 2s^1$  per raggiungere la configurazione dell'He perde l'elettrone più esterno (in catione)

Be  $1s^2 2s^2$  perde 2 elettroni (in catione bivalente)

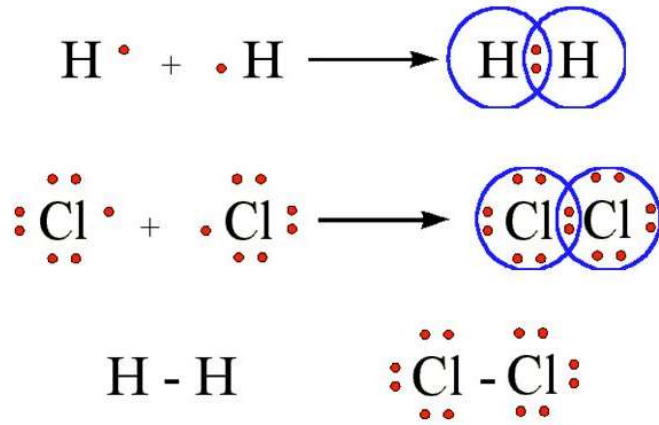
F  $1s^2 2s^2 p^5$  ha un solo elettrone in meno rispetto al gas nobile Neon ( $1s^2 2s^2 p^6$ ) tenderà o ad acquistare un elettrone oppure a dividerne il suo con un altro

Na  $1s^2 2s^2 p^6 3s^1$  un elettrone in più rispetto gas nobile Neon forte tendenza a perdere due elettroni ; trasformandosi in catione

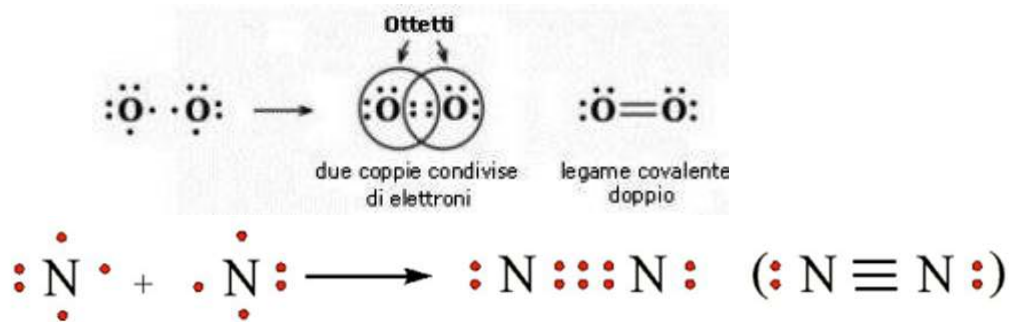
O  $1s^2 2s^2 p^4$  ha due elettroni in meno rispetto al gas nobile Neon tenderà o ad acquistare due elettroni oppure a dividerne due.

Cl  $1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^5$  ha un solo elettrone in meno rispetto al gas nobile Argon ( $1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6$ ) tenderà o ad acquistare un elettrone (ione positivo monovalente) oppure a dividerne il suo con un altro

C  $1s^2 2s^2 p^2$  gli mancano 4 elettroni per raggiungere la configurazione del gas nobile che lo segue il neon quindi condivisione di quattro elettroni con altri atomi



Covalente puro  
(apolare)



**Legame covalente polare:** si forma tra atomi diversi con **differente elettronegatività**



**indica il potere di attrazione di un atomo nei confronti degli elettroni del legame con un altro atomo (scala di Pauling, definito una scala arbitraria assegnando il valore minimo (0,7) al francio e massimo (4) al fluoro). Dipende dall'affinità elettronica e dall'energia di ionizzazione**

**L'affinità elettronica** viene definita come l'energia, espressa in Kcal/mol (o KJ/mol), liberata da una mole di atomi neutri allo stato gassoso quando si trasforma in una mole di anioni monovalenti.



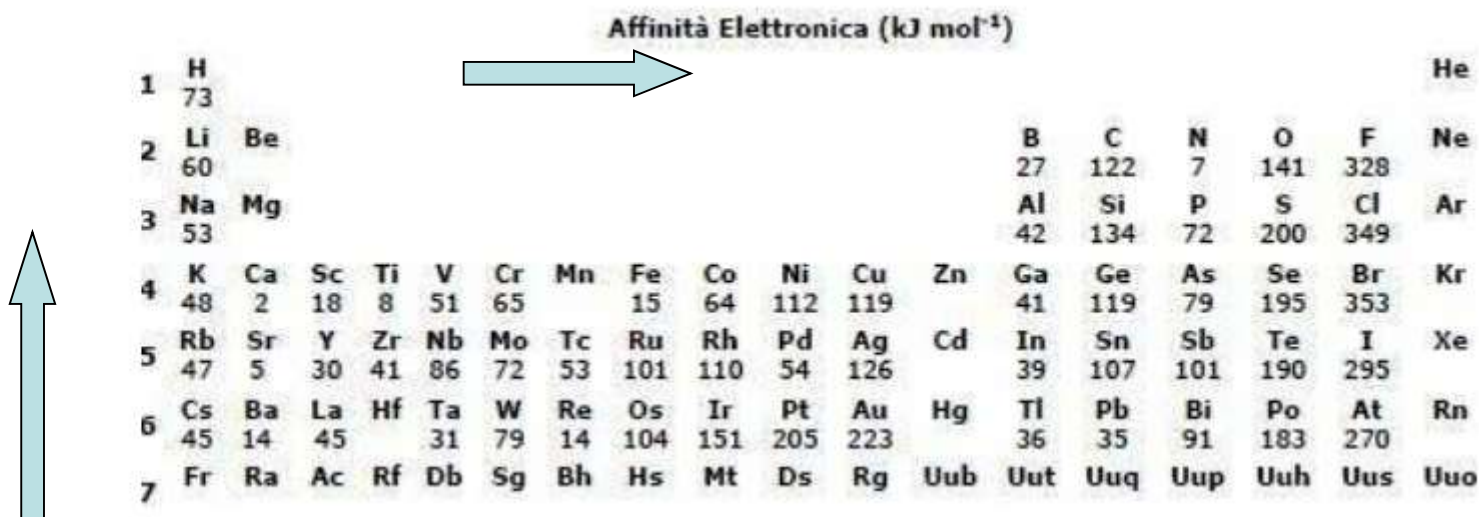
A.E. = affinità elettronica

### Andamento dell'affinità elettronica nella tavola periodica

Associabile alle dimensioni dell'atomo: è tanto maggiore quanto più piccolo è il volume atomico. Infatti più piccolo è un atomo, tanto più vicino al nucleo si collocherà l'elettrone acquistato, liberando maggiori quantità di energia.

**Pertanto: l'affinità elettronica aumenta dal basso verso l'alto in un gruppo e da sinistra a destra in un periodo.**

Affinità Elettronica (kJ mol<sup>-1</sup>)

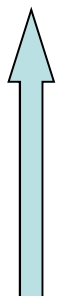


1	H 73																			He
2	Li 60	Be										B 27	C 122	N 7	O 141	F 328				Ne
3	Na 53	Mg										Al 42	Si 134	P 72	S 200	Cl 349				Ar
4	K 48	Ca 2	Sc 18	Ti 8	V 51	Cr 65	Mn	Fe 15	Co 64	Ni 112	Cu 119	Zn	Ga 41	Ge 119	As 79	Se 195	Br 353			Kr
5	Rb 47	Sr 5	Y 30	Zr 41	Nb 86	Mo 72	Tc 53	Ru 101	Rh 110	Pd 54	Ag 126	Cd	In 39	Sn 107	Sb 101	Te 190	I 295			Xe
6	Cs 45	Ba 14	La 45	Hf 31	Ta 79	W 14	Re 104	Os 151	Ir 205	Pt 223	Au	Hg	Tl 36	Pb 35	Bi 91	Po 183	At 270			Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus			Uuo





L'elettronegatività **aumenta dal basso verso l'alto** nei gruppi e **da sinistra a destra** in un periodo. Per questo motivo gli elementi più elettronegativi si trovano a destra in alto e quelli meno elettronegativi in basso a sinistra



Elettronegatività (Pauling)																																																																									
H																	He																																																								
2.20																																																																									
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																																																								
0.98	1.57											2.04	2.55	3.04	3.44	3.98																																																									
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																																																								
0.93	1.31											1.61	1.90	2.19	2.58	3.16																																																									
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																																																								
0.82	1.0	1.36	1.54	1.63	1.66	1.55	1.83	1.88	1.91	1.90	1.65	1.81	2.01	2.18	2.55	2.96	2.9																																																								
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																																																								
0.82	0.95	1.22	1.33	1.6	2.16	1.9	2.2	2.28	2.20	1.93	1.69	1.78	1.80	2.05	2.1	2.66	2.6																																																								
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																																																								
0.79	0.89	1.10	1.3	1.5	2.36	1.9	2.2	2.20	2.28	2.54	2.00	1.62	1.87	2.02	2.0	2.2																																																									
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo																																																								
0.7	0.9																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tbody> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>1.12</td><td>1.13</td><td>1.14</td><td>1.14</td><td>1.17</td><td>1.2</td><td>1.29</td><td>1.2</td><td>1.22</td><td>1.23</td><td>1.24</td><td>1.25</td><td>1.1</td><td>1.27</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> <tr> <td>1.1</td><td>1.5</td><td>1.38</td><td>1.36</td><td>1.28</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td></td> </tr> </tbody> </table>																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	1.12	1.13	1.14	1.14	1.17	1.2	1.29	1.2	1.22	1.23	1.24	1.25	1.1	1.27	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	1.1	1.5	1.38	1.36	1.28	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																																												
1.12	1.13	1.14	1.14	1.17	1.2	1.29	1.2	1.22	1.23	1.24	1.25	1.1	1.27																																																												
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																																												
1.1	1.5	1.38	1.36	1.28	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3																																																													

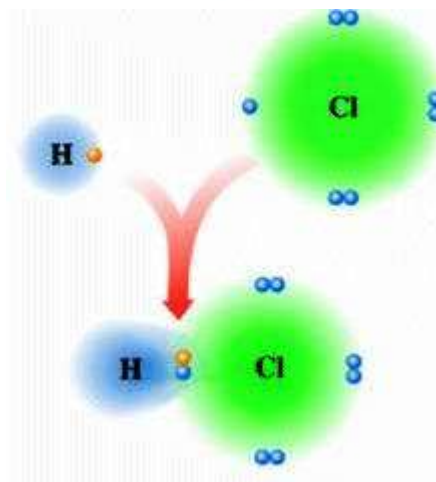
Quanto maggiore è la differenza di elettronegatività fra i due atomi che formano il legame, tanto più elevata è la polarità del legame. Quando la **differenza di elettronegatività fra i due elementi che intendono legarsi è superiore a 1.9**, avviene un trasferimento di elettroni dall'atomo meno elettronegativo all'atomo più elettronegativo. Si realizza in questo caso un legame ionico.



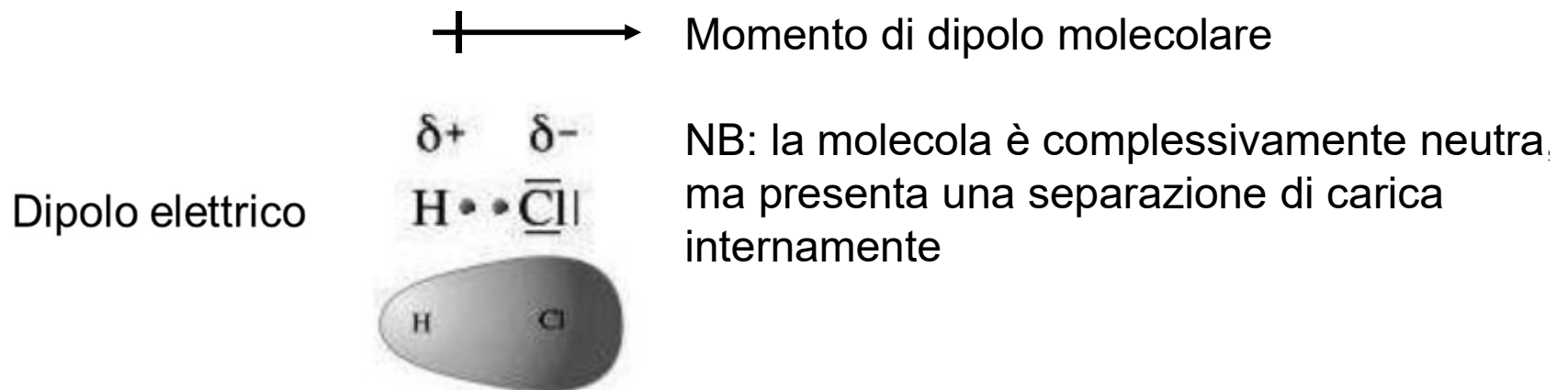
## Legame covalente polare

Quando il legame covalente si forma tra atomi che presentano un diverso valore di elettronegatività, la nube elettronica degli elettroni che costituiscono il legame covalente è concentrata sull'atomo più elettronegativo. Si parla in questo caso di **legame covalente polare**.

Abbiamo visto che nel legame covalente puro, gli elettroni vengono condivisi tra atomi dello stesso elemento. Ciascun atomo li attrae con la medesima elettronegatività e pertanto non c'è ragione di pensare che si possa avere un addensamento di **carica elettrica** negativa prevalentemente su uno o sull'altro dei due nuclei. In altri casi però gli atomi che formano il legame covalente appartengono ad elementi diversi che presentano una diversa elettronegatività. Consideriamo ad esempio la molecola dell'acido Cloridrico (HCl) nella quale H e Cl condividono una coppia di elettroni.



La coppia di elettroni che costituisce il legame covalente risulta spostata verso l'atomo più elettronegativo (in questo caso il Cl). Quest'ultimo acquista quindi una carica parzialmente negativa ( $\delta^-$ ), mentre l'altro atomo (nel nostro caso H) assume una carica parzialmente positiva ( $\delta^+$ ). Si viene a creare pertanto un dipolo (due poli) ed il legame corrispondente viene chiamato **legame covalente polare**.

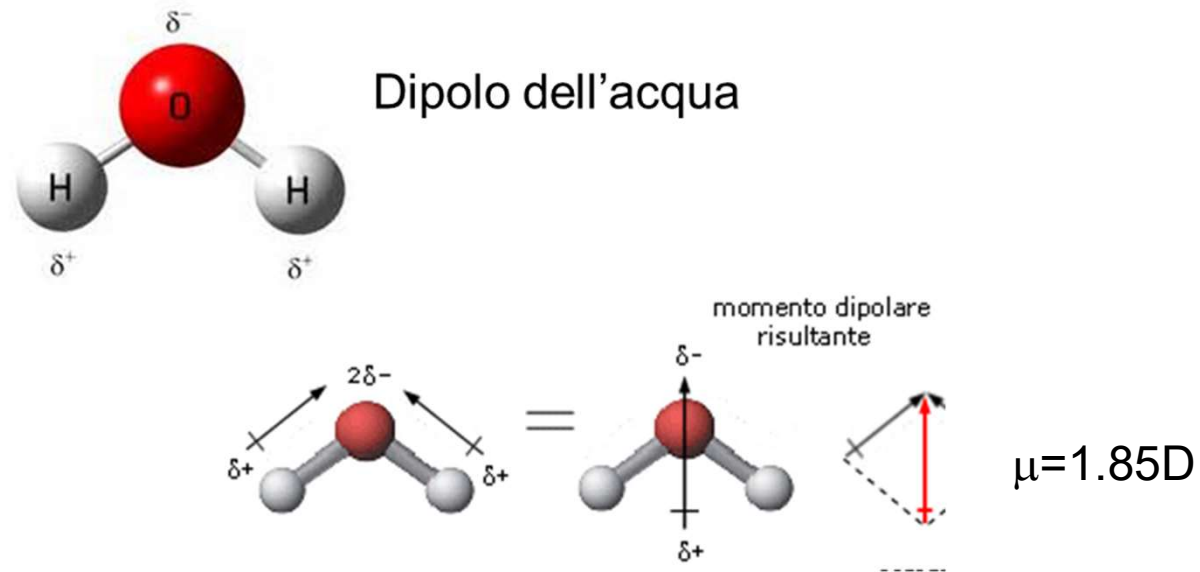


il momento dipolare di un simile dipolo viene definito dal prodotto della carica elettrica  $\delta$  positiva o negativa per la distanza  $r$  dei centri delle due cariche elettriche e cioè:

momento dipolare o dipolo elettrico =  $\mu = \delta \times r$  (debye, D; SI, Coulomb \* metro)

momento di dipolo, è una grandezza vettoriale con verso diretto verso il polo negativo

è una **grandezza vettoriale additiva** - il momento di dipolo di una molecola intera è la somma vettoriale dei singoli momenti dipolari

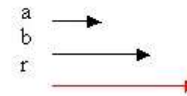


Il momento dipolare totale è uguale alla somma vettoriale dei momenti dipolari dei singoli legami

### Somma di vettori

1.

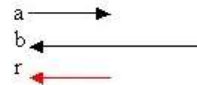
◆ *Stessa direzione e verso*



Il vettore somma  $av_r$ ◆ la stessa direzione e lo stesso verso dei primi due e per modulo la somma dei due moduli.

2.

◆ *Stessa direzione, ma verso opposto*

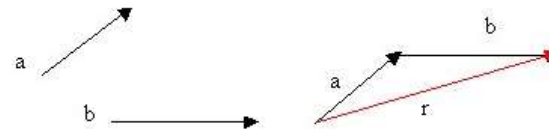


Il vettore somma  $av_r$ ◆ la stessa direzione dei due vettori, come verso quello con intensit◆ maggiore e come modulo la differenza dei moduli.

3.

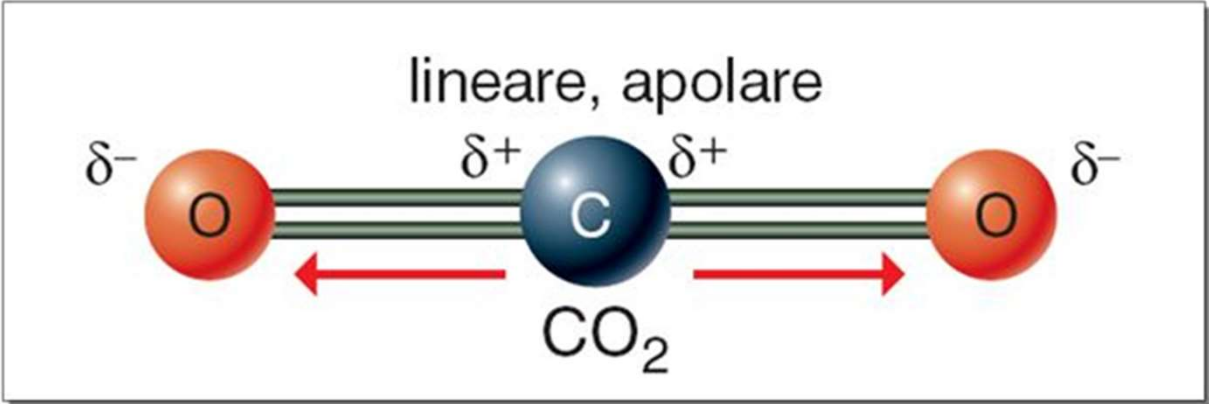
◆ *Direzione diversa*

3. Regola del triangolo:



Si fa coincidere il primo estremo di ◆b◆ con il secondo di ◆a◆. Il terzo lato che serve a completare il triangolo sar◆ il vettore somma.

La polarità di una molecola dipende sia dalla presenza di legami covalenti sia dalla geometria

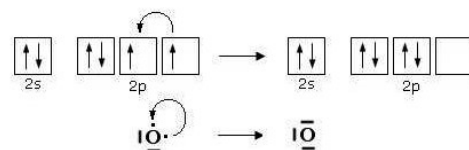
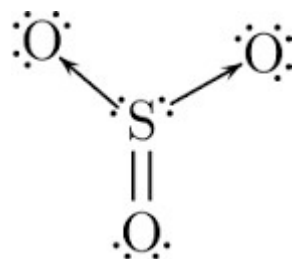


## Uno speciale legame covalente: il legame coordinativo o dativo

Si forma quando la coppia di elettroni di legame proviene da uno solo dei due atomi  
o tra due atomi stessa molecola o tra atomo di una molecola e catione  $H^+$

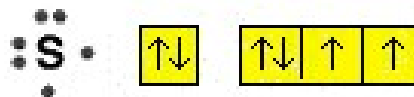
**atomo donatore** ed **atomo accettore**

Atomo donatore deve avere ancora una coppia di elettroni non di legame in uno stesso orbitale («**lone pair**» o **doppietto solitario**) e l'accettore deve avere un orbitale vuoto

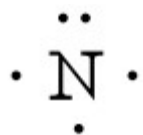
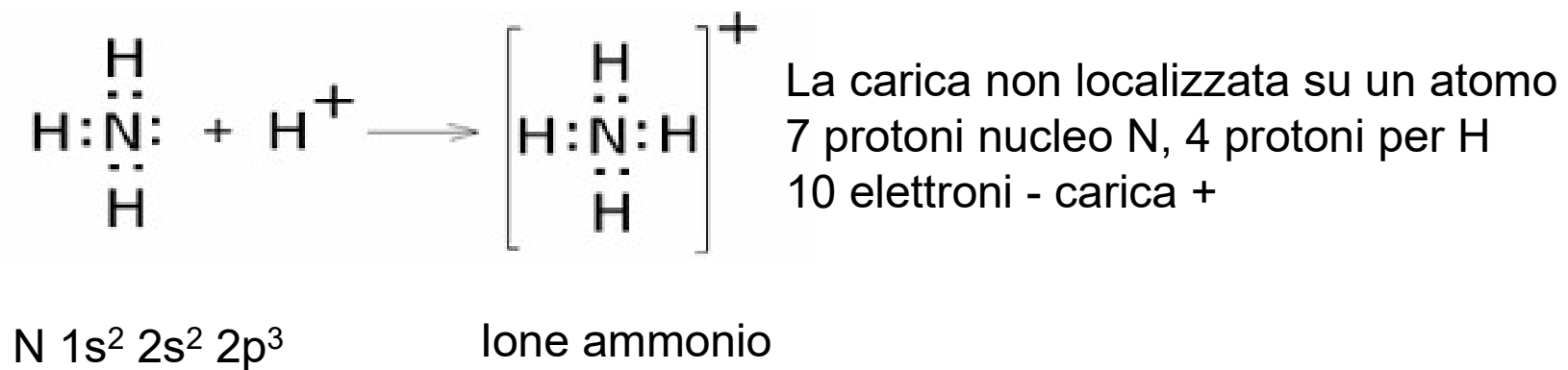
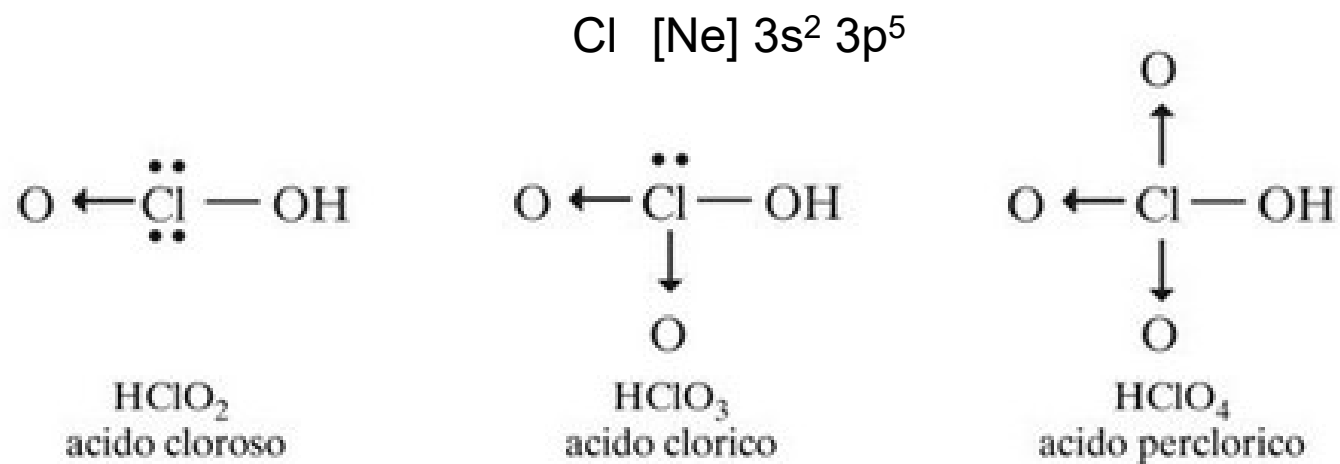


Un orbitale p rimane così vuoto,  
e può accettare la coppia di  
elettroni dallo zolfo

Anidride solforica



$[Ne] 3s^2 3p^4$





## Distanza (lunghezza) di legame

- Tanti più elettroni partecipano al legame, tanto minore
- Al diminuire della distanza di legame, aumenta energia di legame
- Dipende anche dalla natura degli atomi
- Unità di misura: angstrom ( $\text{\AA}$ )  $10^{-10}$  m

Legami semplici		Doppi legami		Tripli legami	
H-C	109	C=C	135	C $\equiv$ C	120
H-N	100	C=N	130	C $\equiv$ N	116
H-O	96	C=O	122		
C-C	154				
C-N	147				
C-O	143				
C-Cl	176				
C-Br	194				
C-I	214				

## Energia di legame

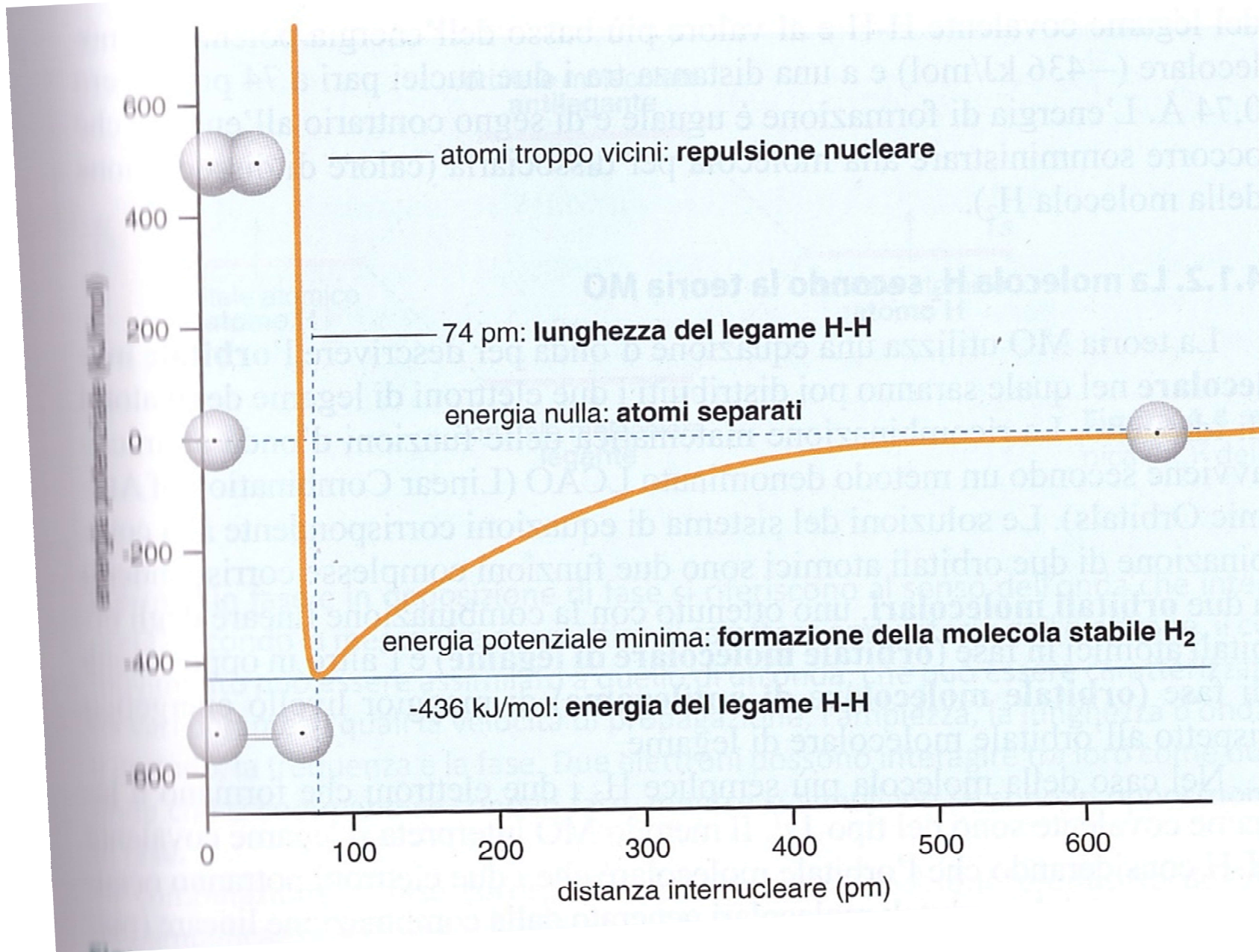
Legame - maggiore stabilità *energetica* (il contenuto energetico del composto finale è inferiore a quello complessivo degli atomi di partenza)

*Legame- liberazione di energia (energia di legame - kJ \* mol<sup>-1</sup>)* uguale e di segno opposto a quella necessaria a rompere il legame

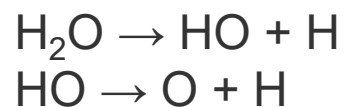
Tanto più alta, tanto più stabile il legame

### Molecole biatomiche

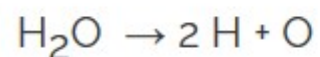
Molecola	Energia di dissociazione
H <sub>2</sub>	104 kcal mol <sup>-1</sup>
HF	135 kcal mol <sup>-1</sup>
HCl	103 kcal mol <sup>-1</sup>
HBr	87 kcal mol <sup>-1</sup>
HI	71 kcal mol <sup>-1</sup>
F <sub>2</sub>	38 kcal mol <sup>-1</sup>
Cl <sub>2</sub>	58 kcal mol <sup>-1</sup>
Br <sub>2</sub>	46 kcal mol <sup>-1</sup>
I <sub>2</sub>	36 kcal mol <sup>-1</sup>
N <sub>2</sub>	225 kcal mol <sup>-1</sup>
O <sub>2</sub>	118 kcal mol <sup>-1</sup>
Li <sub>2</sub>	26 kcal mol <sup>-1</sup>



## Molecole poliatomiche che contengono **più legami A-B**



legame O-H: le due energie di dissociazione sono diverse



Si definisce una energia di legame media

1

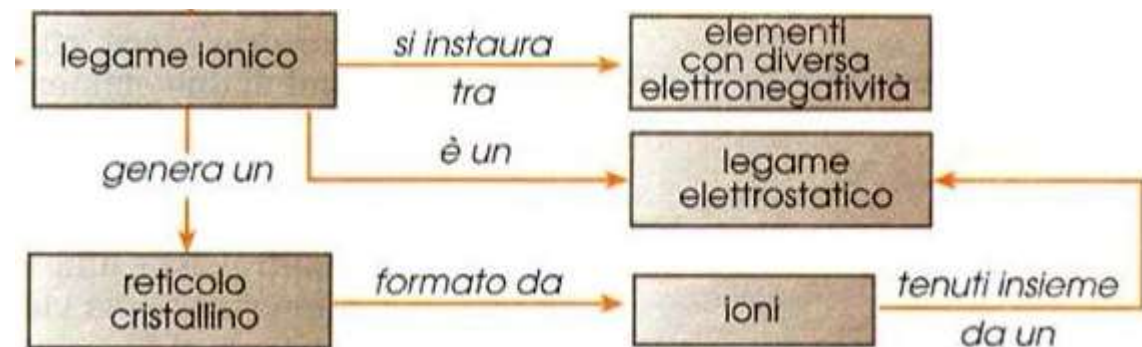
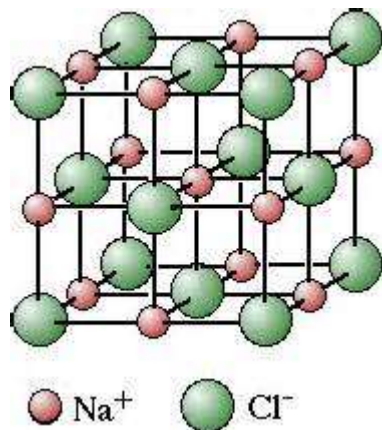
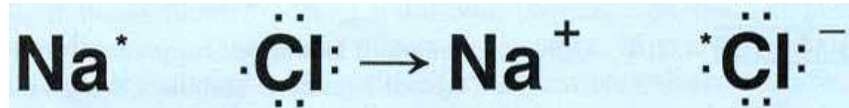
### Energie medie di legame

Legame	Energia
H-H	104 kcal mol <sup>-1</sup>
C-H	99 kcal mol <sup>-1</sup>
N-H	84 kcal mol <sup>-1</sup>
S-H	88 kcal mol <sup>-1</sup>
C-C	79 kcal mol <sup>-1</sup>
C=C	141 kcal mol <sup>-1</sup>
C≡C	150 kcal mol <sup>-1</sup>
C≡N	161 kcal mol <sup>-1</sup>
C=O	160 kcal mol <sup>-1</sup>
O-H	110 kcal mol <sup>-1</sup>
N≡N	170 kcal mol <sup>-1</sup>

Quanto maggiore è la differenza di elettronegatività fra i due atomi che formano il legame, tanto più elevata è la polarità del legame. Quando la differenza di elettronegatività fra i due elementi che intendono legarsi è superiore a 1.9, avviene un trasferimento di elettroni dall'atomo meno elettronegativo all'atomo più elettronegativo. Si realizza in questo caso un **legame ionico**.

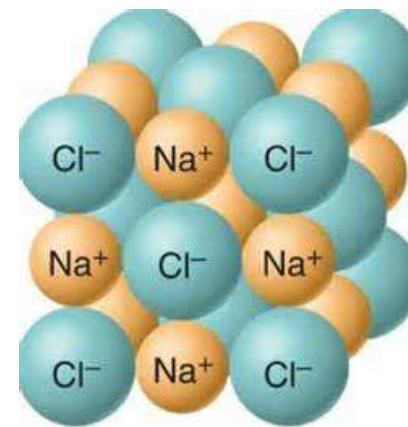
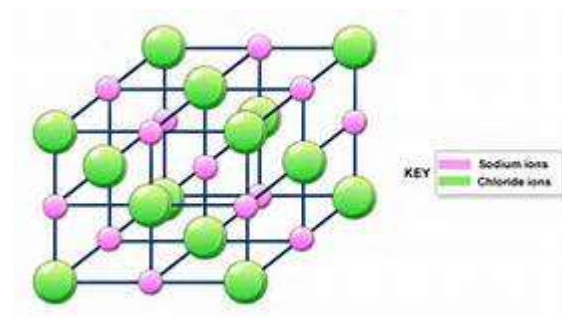
**Legame ionico:** forza di attrazione elettrostatica che si stabilisce tra due ioni di carica opposta.

- Il legame ionico si forma tra atomi o gruppi di atomi tra i quali sia avvenuto uno scambio di elettroni: l'atomo o il gruppo atomico che cede elettroni si trasforma in ione positivo (catione), l'atomo o il gruppo atomico che acquista elettroni si trasforma in ione negativo (anione).
- Questo legame comporta una forte interazione attrattiva elettrostatica e si definisce **ionico** perché l'attrazione riguarda ioni di segno opposto, che si formano a partire da atomi neutri di elementi diversi con elettronegatività differente





Poichè un campione massivo di materia è elettricamente neutro, i composti contenenti ioni, contengono sempre sia cationi che anioni, in modo da neutralizzare la carica complessiva



NaCl crystal



## Formule dei composti ionici (formule minime)

Riporta sia l'anione che il catione, e mostra il rapporto minimo tra i due, secondo il **principio della elettroneutralità** (la carica positiva totale dei cationi deve essere uguale alla carica negativa totale degli anioni). Nella formula il catione viene indicato prima dell'anione

Esempi NaCl

BaCl<sub>2</sub>

AlCl

## Legami deboli o Forze intermolecolari (di van der Waals)

- I legami deboli includono le interazioni tra molecole o molecole-ioni
- legami intermolecolari hanno una forza nettamente inferiore rispetto a quella dei legami interatomici; scisse per innalzamento della temperatura (0.05 e 40 kJ/mol)

### •interazioni dipolo/dipolo:

tra le estremità opposte delle molecole polari (forze di orientamento o di Keesom)

### •interazioni dipolo/dipolo

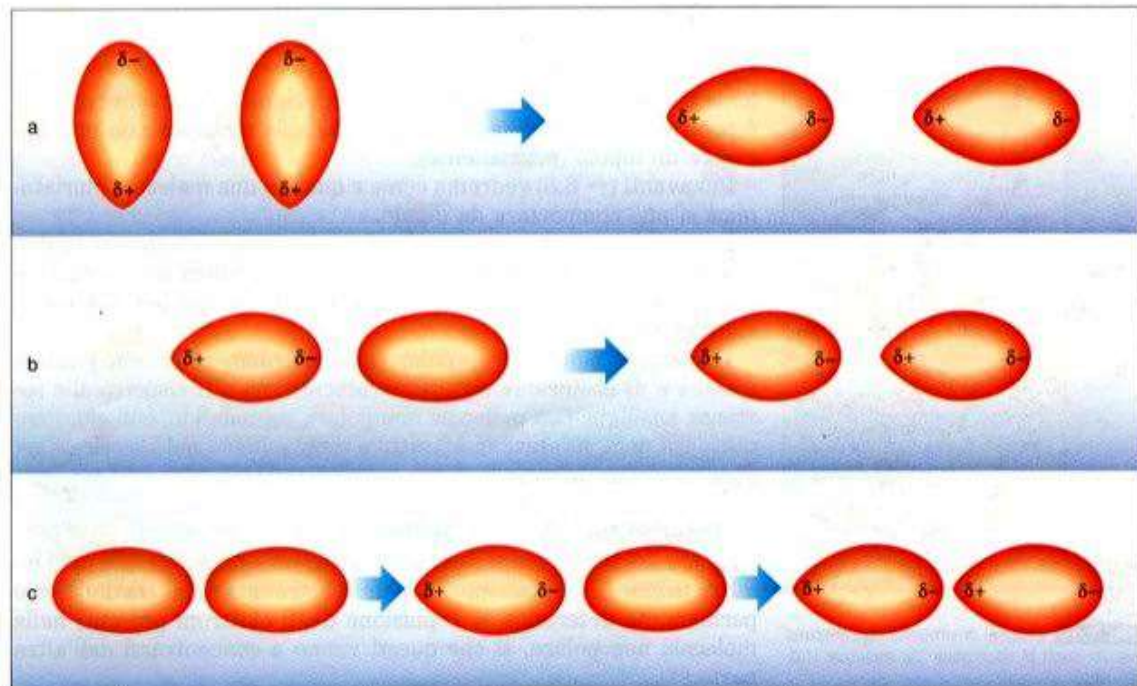
**indotto:** tra molecole con dipolo permanente che inducono la formazione di dipoli. (forze di Debye)

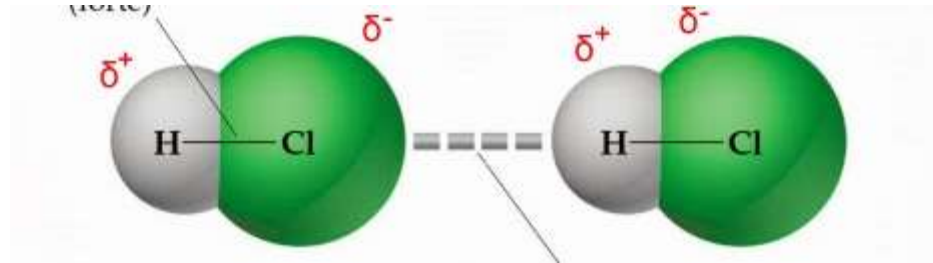
### • Forze di London o dipolo

**istantaneo:** interazioni tra molecole non polari, dovute a dipoli istantanei

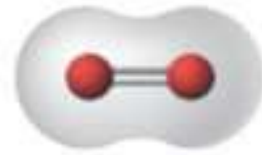
a) Interazioni dipolo-dipolo. Le due molecole si orientano in maniera tale che le polarità opposte siano vicine.

b) Un dipolo induce la polarizzazione in una molecola non polare.  
c) Una molecola non polare diventa un dipolo istantaneo.



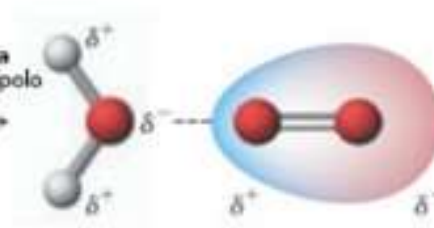


H<sub>2</sub>O



O<sub>2</sub>

Il dipolo dell'acqua  
distorce la nuvola elettronica  
di O<sub>2</sub>, trasformandola in dipolo



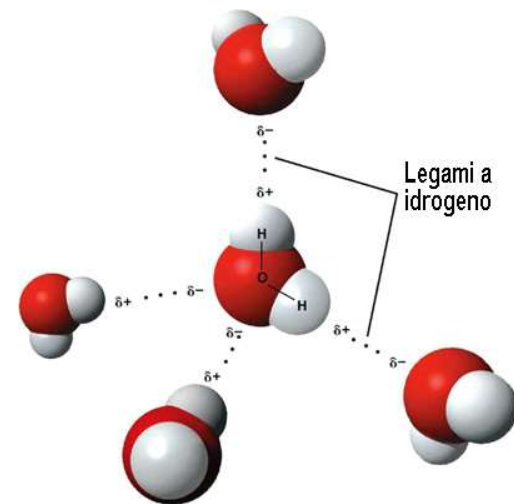
## Legame idrogeno

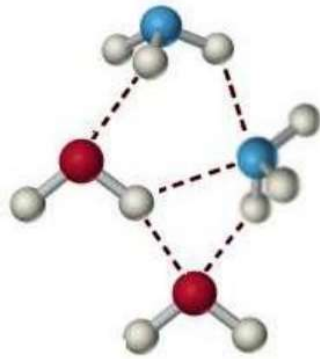
Il **legame a idrogeno** o **ponte a idrogeno** è un caso particolare di forza intermolecolare in cui è implicato un **atomo di idrogeno** coinvolto in un legame covalente con elementi **molto elettronegativi** (come fluoro (F), ossigeno (O), azoto (N)), i quali attraggono a sé gli elettroni di valenza, acquisendo una parziale carica negativa ( $\delta^-$ ) **lasciando l'idrogeno con una parziale carica positiva ( $\delta^+$ )**. Il legame a idrogeno si forma quando la parziale carica positiva dell'idrogeno viene in contatto con un doppietto elettronico di un elemento fortemente elettronegativo (fluoro, ossigeno o azoto), il quale lega l'H (che viene definito *accettore*, invece l'elemento dove è legato l'H viene definito *donatore*)

Acqua, ammoniaca, fluoruro di idrogeno

Energia di legame (20-50 kJ/mol) superiore a quella delle altre forze intermolecolari

E' un legame altamente direzionale, atomi devono essere allineati lungo lo stesso asse



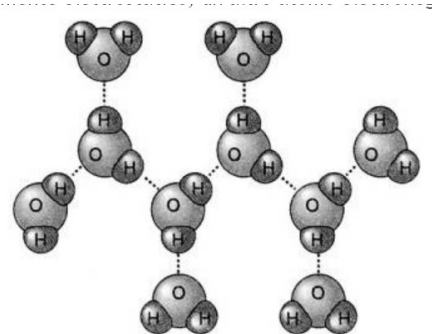


## Legami idrogeno tra ammoniaca e acqua

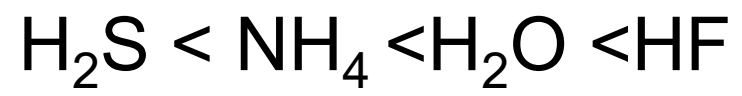
Proprietà fisiche delle sostanze che possono formare legami idrogeno

Mantiene le molecole interessate più distanti fra loro rispetto agli altri tipi di legami-densità.

Allo stato solido una molecola d'acqua è legata con legame idrogeno ad altre quattro molecole, allo stato liquido questa struttura viene demolita e le molecole non sono più costrette in una struttura espansa come quella del solido, è per questo che il ghiaccio è meno denso dell'acqua, la temperatura infatti induce la rottura di alcuni legami idrogeno presenti nel ghiaccio e ciò permette alle molecole di compattarsi



La forza del legame H cresce al crescere dell'elettronegatività dell'atomo a cui legato l'H

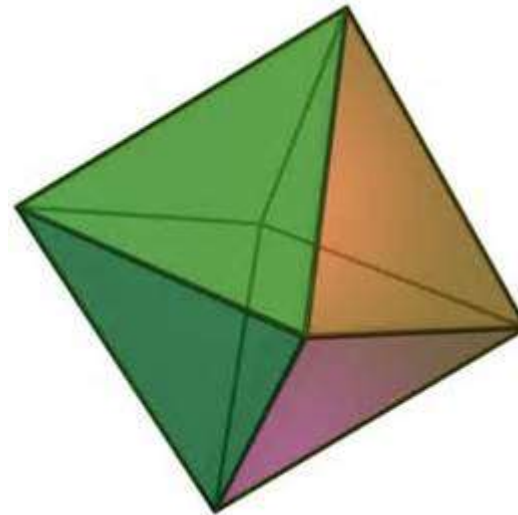
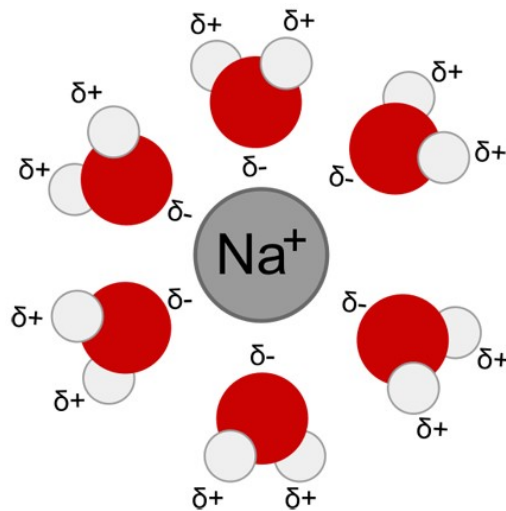


Elettronegatività (Pauling)

H																	He																																																								
2.20																																																																									
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																																																								
0.98	1.57											2.04	2.55	3.04	3.44	3.98																																																									
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																																																								
0.93	1.31											1.61	1.90	2.19	2.58	3.16																																																									
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																																																								
0.82	1.0	1.36	1.54	1.63	1.66	1.55	1.83	1.88	1.91	1.90	1.65	1.81	2.01	2.18	2.55	2.96	2.9																																																								
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																																																								
0.82	0.95	1.22	1.33	1.6	2.16	1.9	2.2	2.28	2.20	1.93	1.69	1.78	1.80	2.05	2.1	2.66	2.6																																																								
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																																																								
0.79	0.89	1.10	1.3	1.5	2.36	1.9	2.2	2.20	2.28	2.54	2.00	1.62	1.87	2.02	2.0	2.2																																																									
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo																																																								
0.7	0.9																																																																								
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>1.12</td><td>1.13</td><td>1.14</td><td>1.14</td><td>1.17</td><td>1.2</td><td>1.29</td><td>1.2</td><td>1.22</td><td>1.23</td><td>1.24</td><td>1.25</td><td>1.1</td><td>1.27</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> <tr> <td>1.1</td><td>1.5</td><td>1.38</td><td>1.36</td><td>1.28</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td></td> </tr> </tbody> </table>																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	1.12	1.13	1.14	1.14	1.17	1.2	1.29	1.2	1.22	1.23	1.24	1.25	1.1	1.27	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	1.1	1.5	1.38	1.36	1.28	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																																												
1.12	1.13	1.14	1.14	1.17	1.2	1.29	1.2	1.22	1.23	1.24	1.25	1.1	1.27																																																												
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																																												
1.1	1.5	1.38	1.36	1.28	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3																																																													

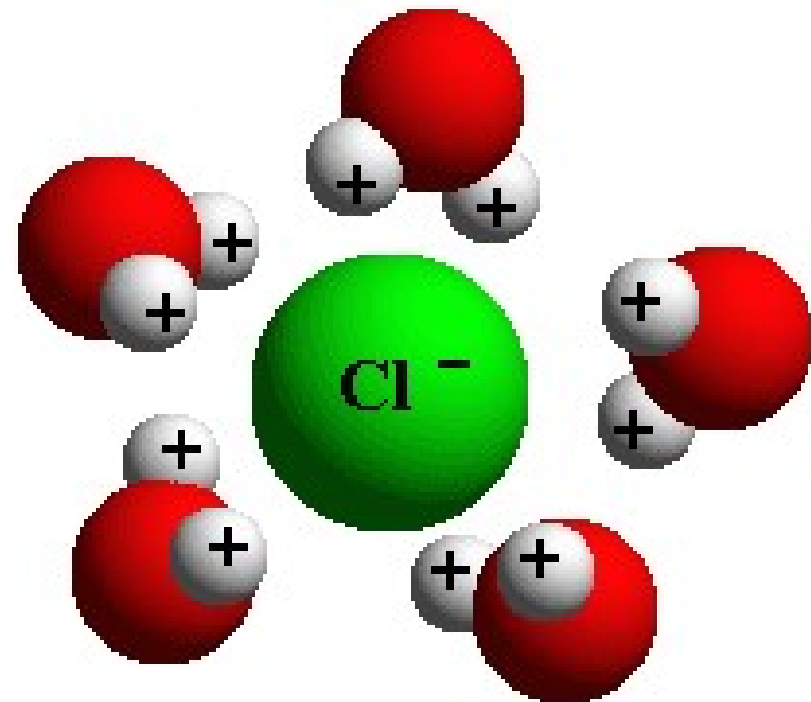
## Interazioni ione-dipolo

Tra le cariche unitarie di uno ione e la frazione di carica di segno opposto di un dipolo (tra 5 e 60 kJ/mol)



Solvatazione o idratazione dello ione





# Transizioni di fase

Una sostanza può esistere in tre stati fisici:

**solido liquido gassoso**

Il processo in cui una sostanza passa da uno stato fisico ad un altro è noto come **transizione di fase** o **cambiamento di stato**

Vi sono sei possibili tipi di transizione di fase:

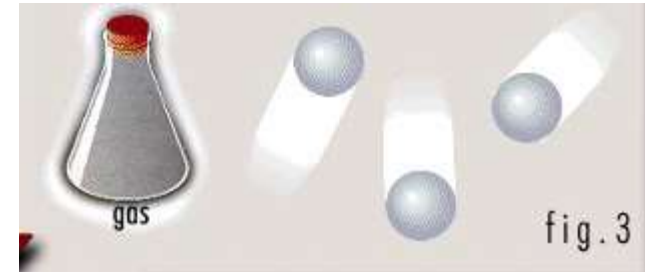
- solido → liquido      fusione
- solido → gas      sublimazione
- liquido → solido      congelamento o solidificazione
- liquido → gas      evaporazione
- gas → liquido      condensazione o liquefazione
- gas → solido      condensazione o deposizione (brinamento)

Scrittura in formule:

- $\text{H}_2\text{O (s)} \rightarrow \text{H}_2\text{O (l)}$       fusione
- $\text{H}_2\text{O (l)} \rightarrow \text{H}_2\text{O (g)}$       evaporazione
- $\text{H}_2\text{O (s)} \rightarrow \text{H}_2\text{O (g)}$       sublimazione

Stato gassoso: movimento disordinato delle molecole con elevata energia cinetica

- Non hanno forma
- Possono espandersi
- Possono essere compressi
- Sono completamente miscibili



Stato liquido: stato intermedio. Le molecole sono più vicine, meno libere di muoversi, ma ancora disordinate



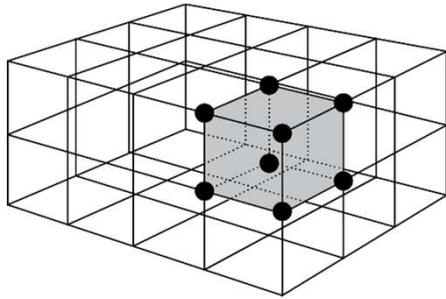
Stato solido: energia cinetica non prevale sulle forze di interazione intermolecolare. Non libertà di movimento ma solo possibilità di oscillazioni intorno ad una posizione di equilibrio (moti vibrazionali). Molecole occupano **posizioni stabili e, in molti solidi, regolari.**



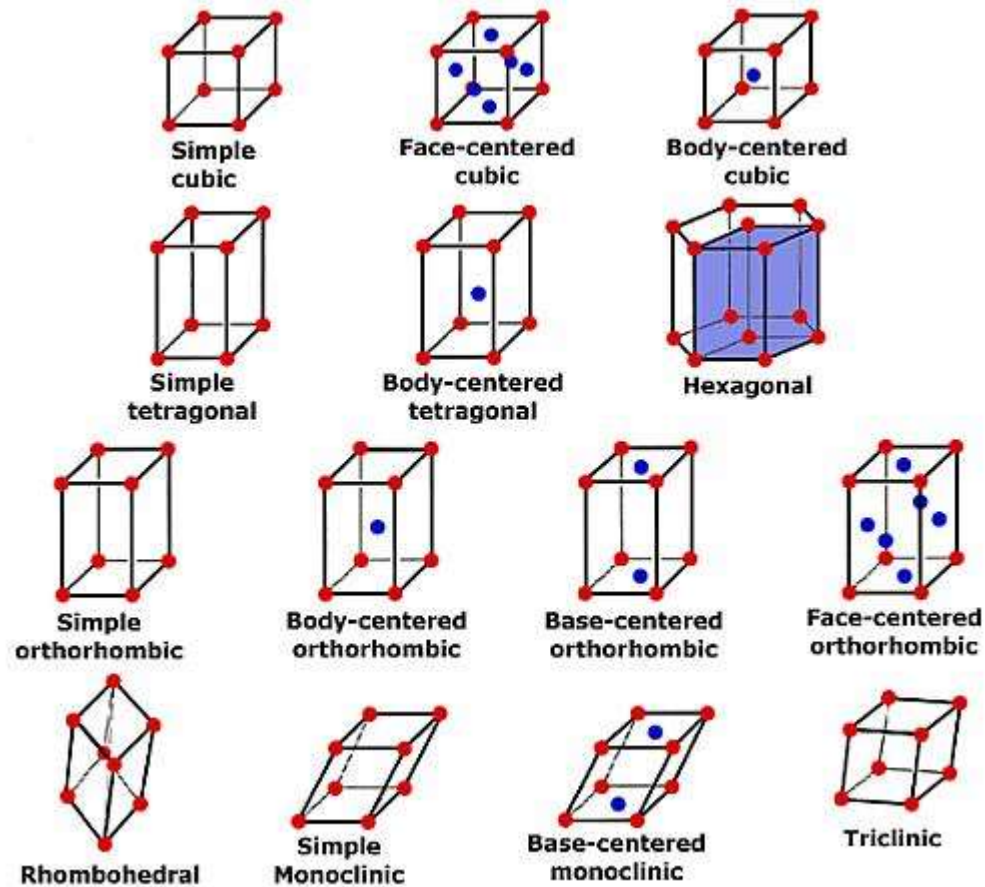
Normalmente i solidi hanno una struttura interna ordinata (STRUTTURA CRISTALLINA) Esistono anche solidi che non hanno una struttura cristallina: sono detti solidi-amorfi

Particelle (atomi, molecole o ioni) si presentano in una distribuzione regolare e periodica che può essere descritta con un modello geometrico regolare a reticolo formato da un insieme di punti detti nodi che sono le stesse particelle del solido

- ionici
- molecolari
- covalenti
- covalenti metallici

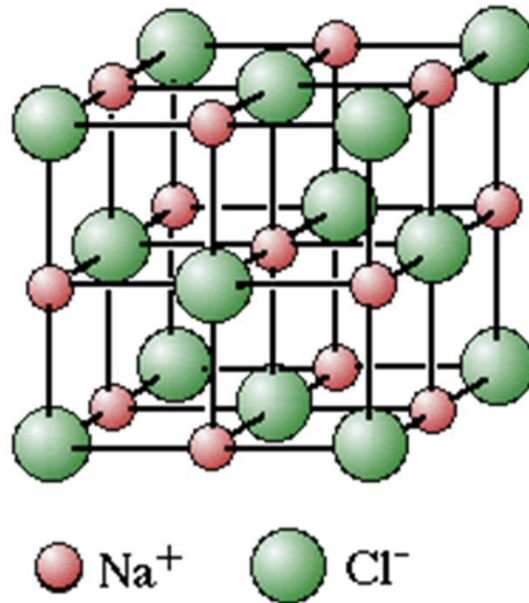


Unità strutturale ripetitiva nelle 3 dimensioni : cella elementare



## IONICI

L'edificio cristallino è costituito da ioni mono- o poliatomici trattenuti tra loro da intense interazioni elettrostatiche di tipo coulombiano



Duri e fragili, si sfaldano se colpiti lungo un piano  
Punti di fusione elevati  
Solubili in acqua (solventi polari)



# Solidi molecolari

Sono costituiti da singole molecole mono- o poliatomiche (  $I_2$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$  , e gran parte dei composti organici) tenute assieme nel reticolo cristallino dalle forze di van der Waals.

Le energie intermolecolari di natura attrattiva nei cristalli molecolari sono comprese fra 10-70 kJ/mol, energie molto inferiori a quella dei legami chimici (200-1000 kJ/mol)

I cristalli molecolari sono **molto teneri**, hanno **basse temperature di fusione** (< 400 °C o decompongono prima di fondere) e sono **molto volatili**

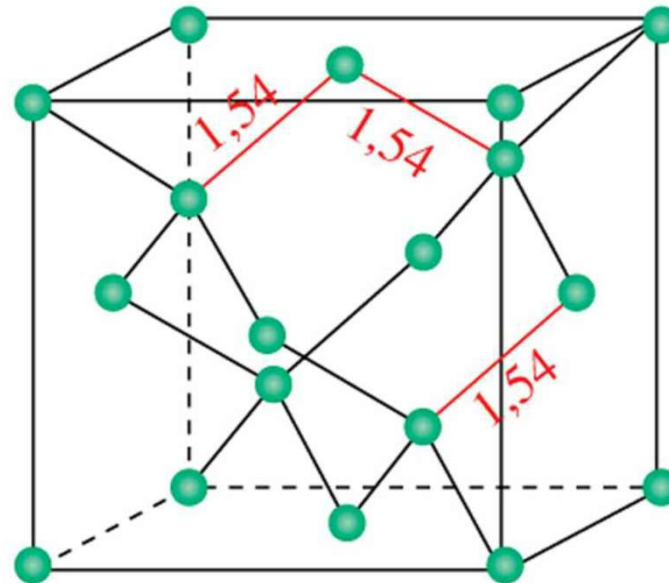
# Solidi Covalenti

Atomi nel cristallo sono tutti direttamente legati tramite legami di natura covalente, di modo che nel cristallo non sono individuabili singole molecole (il cristallo può essere visto come un'unica macromolecola)

L'energia dei legami nei cristalli covalenti è molto elevata, simile a quella dei legami covalenti.

**Diamante**, duro e alto fondente (4100 °C)

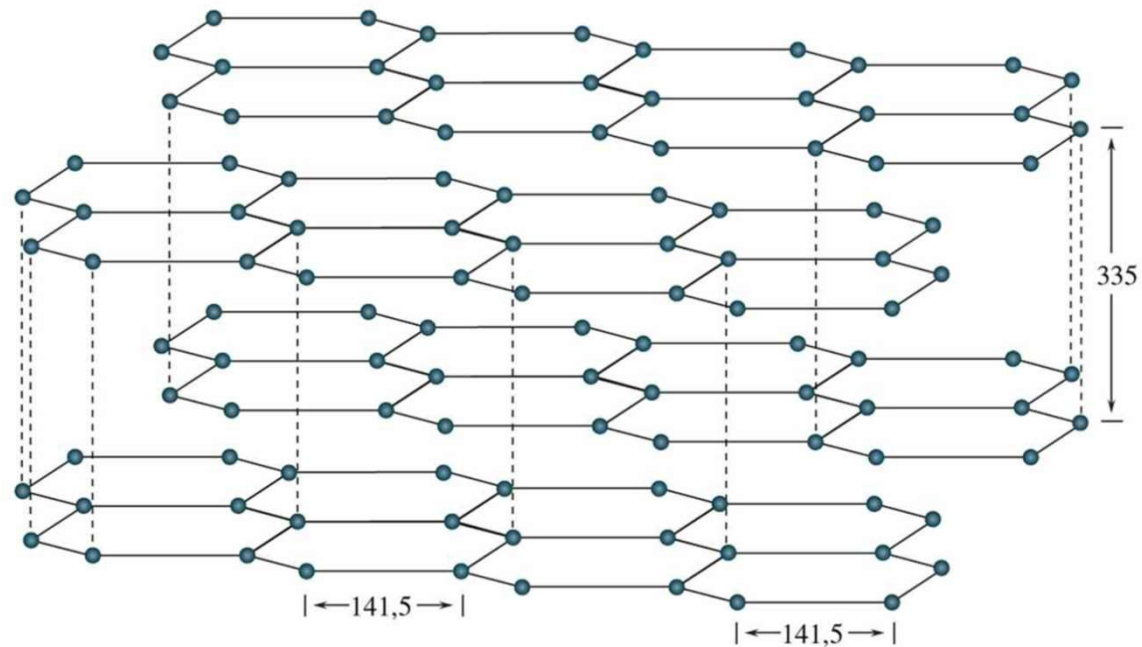
Ogni atomo di C lega covalentemente ai 4 atomi di C posti ai vertici di un tetraedro al cui centro c'è l'atomo in questione



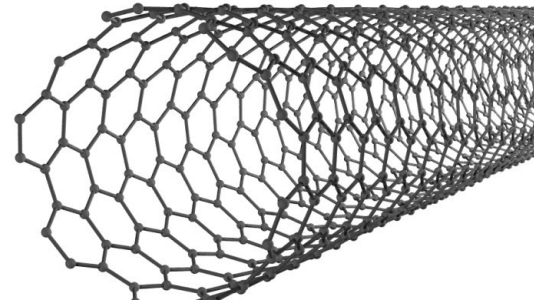
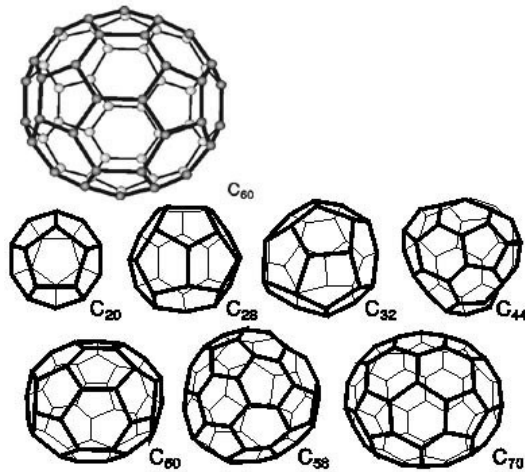
# Struttura della grafite

Costituiti da strati di atomi legati tra loro covalentemente (come nei cristalli covalenti) ma i cui singoli strati sono trattenuti tra loro solo dalle forze di *van der Waals* (come tra le molecole nei cristalli molecolari)

Strutture planari costituite da anelli esagonali condensati

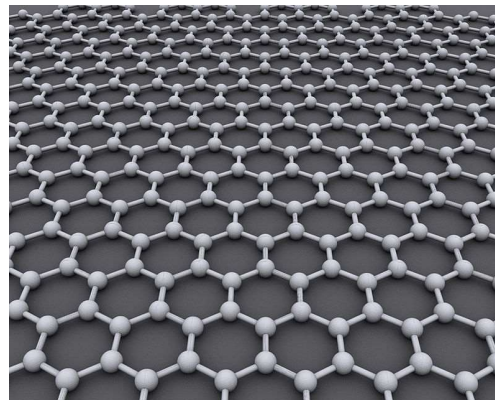


# Fullerene



# Grafene

Strato monoatomico di atomi di carbonio (avente cioè uno spessore equivalente alle dimensioni di un solo atomo). Ha la resistenza meccanica del diamante e la flessibilità della plastica



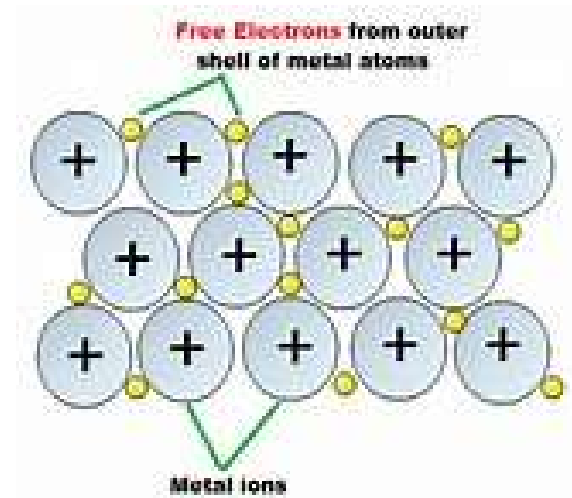
# Solidi Metallici

Tranne Hg, tutti i metalli solidi a T ambiente

Reticolo compatto di cationi (+) metalli  
elettroni di valenza delocalizzati (legame metallico)  
poco attratti dai cationi

Possiamo quindi immaginare un cristallo metallico come costituito da un reticolo di ioni positivi immersi in un mare di elettroni che ne costituiscono l'elemento legante.

Questo modello spiega alcune proprietà caratteristiche dei metalli: sono buoni conduttori infatti gli elettroni sono liberi di muoversi all'interno del reticolo cristallino; sono **duttili**, cioè possono essere trasformati in fili sottili e sono **malleabili** (cioè possono essere ridotti in lamine) infatti gli elettroni mobili permettono agli ioni positivi del metallo di "scivolare" gli uni sugli altri, senza compromettere la compattezza della struttura.



# I gas ideali

## Temperatura, Volume, Pressione

Per gas ideale si intende un gas che possieda le seguenti proprietà

- le molecole sono puntiformi e pertanto hanno un volume trascurabile;
- interagiscono tra loro e con le pareti del recipiente mediante urti perfettamente elastici (ovvero non vi è dispersione di energia cinetica durante gli urti);
- non esistono forze di interazione a distanza tra le molecole del gas: le molecole si dicono non interagenti;
- le molecole del gas sono identiche tra loro;
- il moto delle molecole è casuale e disordinato in ogni direzione

## Unità di misura della Pressione

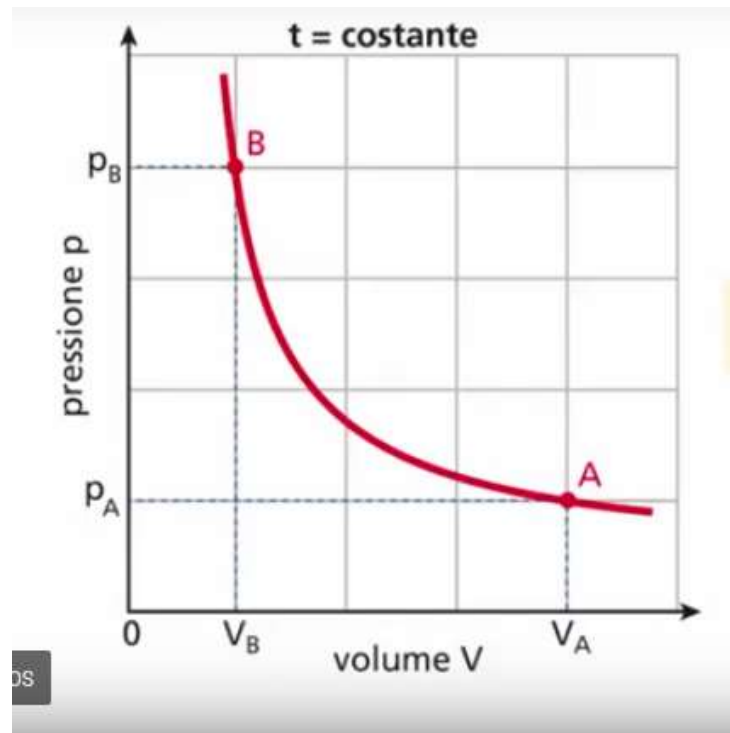
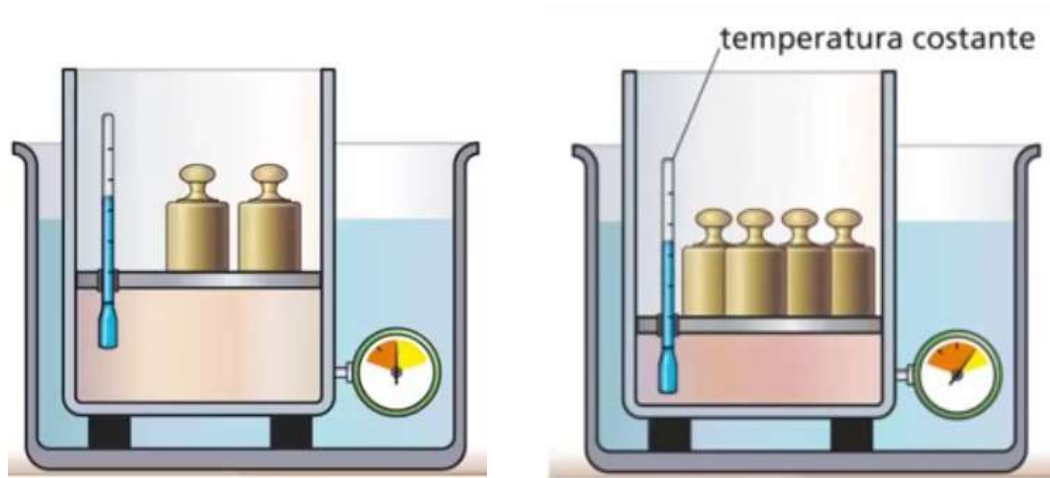
- pascal (Pa), nel Sistema internazionale, 1 newton su metro quadrato ( $1 \text{ N/m}^2$ ) o  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$ .
- bar ( $10^5 \text{ Pa} = 10 \text{ N/cm}^2$ ) (sono di larga diffusione anche alcuni dei sottomultipli del bar, in particolare il millibar e il microbar).
- Torr (mm Hg), pressione esercitata da una colonna di mercurio alta 1 mm ( $133,3 \text{ Pa}$ )
- atmosfera (atm), approssimativamente pari alla pressione esercitata dall'atmosfera terrestre al livello del mare ( $101325 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ torr}$ )
- chilogrammo forza ( $\text{kg}_f$ ), al  $\text{cm}^2$  o al  $\text{m}^2$ .



# Legge di Boyle (trasformazioni isoterme)

$$PV = \text{costante}$$

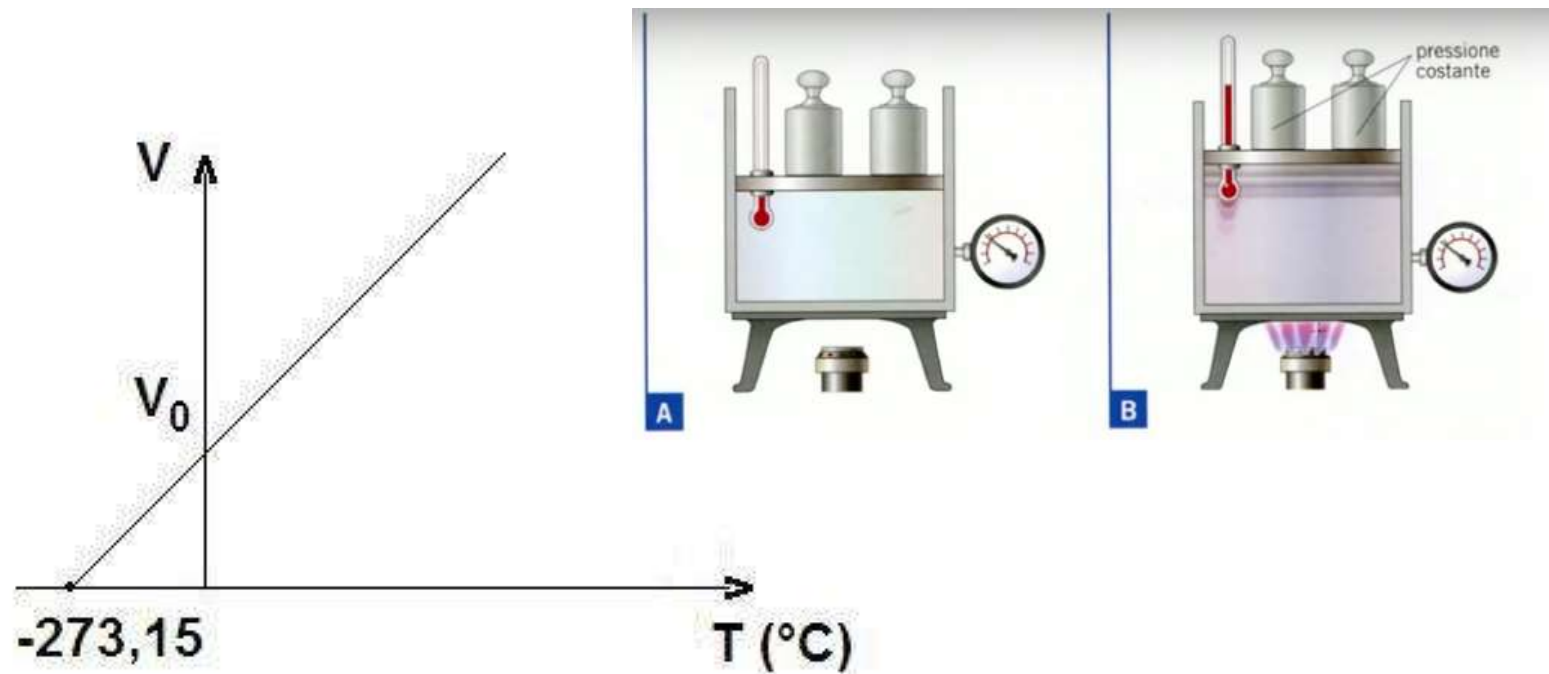
$$P_i V_i = P_f V_f$$



# Prima legge di Gay-Lussac o legge di Charles (trasformazioni isobare)

$$V/T = \text{costante}$$

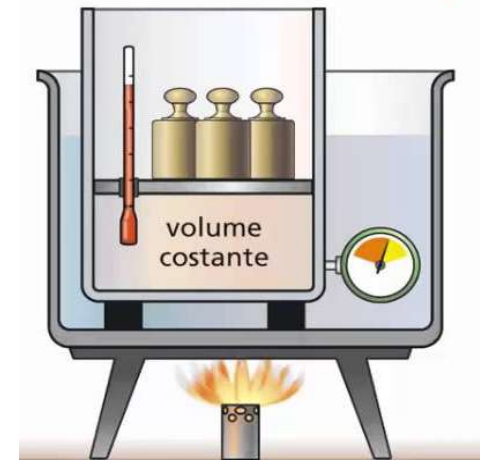
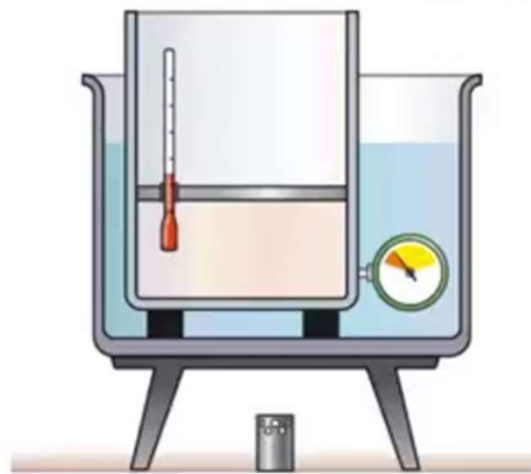
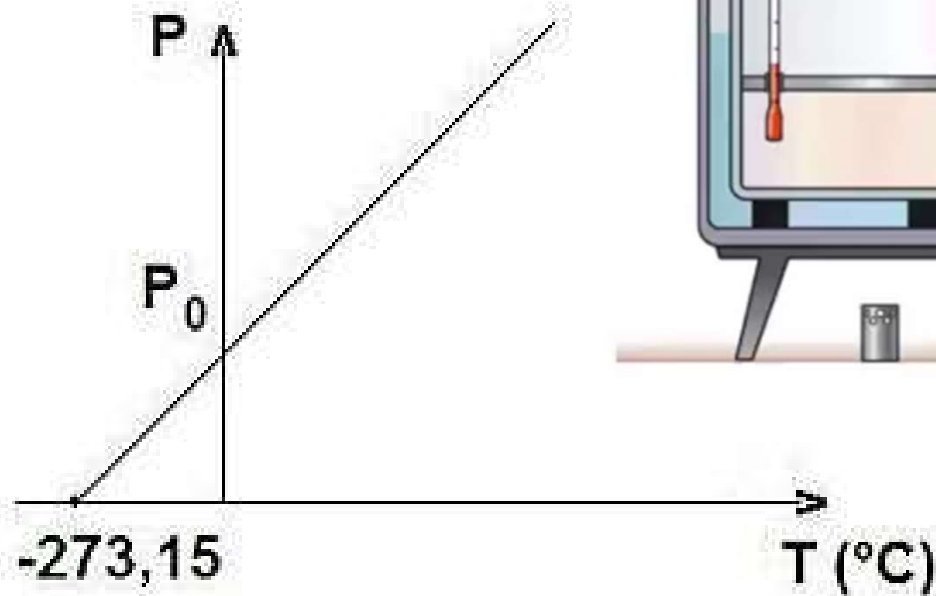
$$V_i/T_i = V_f/T_f$$



## Seconda legge di Gay-Lussac o legge di Avogadro (trasformazioni isocore)

$$P/T = \text{costante}$$

$$P_i/T_i = P_f/T_f$$



## Principali trasformazioni dei gas

Grandezze che variano	Grandezza che rimane costante	Nome della trasformazione
Pressione Volume	÷ Temperatura	Isoterma
Volume Temperatura	Pressione	Isòbara
Pressione Temperatura	Volume	Isocòra

## Equazione di stato dei gas perfetti (legge universale dei gas)

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

R = costante universale dei gas

Misurando la pressione P in atmosfere, il volume V in litri e la temperatura T in Kelvin, risulta:

$$R = 0,0821 \frac{l \cdot atm}{mol \cdot K}$$

Nel caso in cui la pressione P sia espressa in **Pascal**, il volume V in m<sup>3</sup> e la temperatura T in Kelvin, si ha:

$$R = 8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$$

# La mole

Se mettiamo a confronto un atomo di rame, Cu (massa atomica 64u), e un atomo di ossigeno, O (massa atomica 16u), notiamo che l'atomo di rame è 4 volte più pesante dell'atomo di ossigeno.

Se ora consideriamo 2 atomi di rame e due atomi di ossigeno, notiamo che il rapporto delle loro masse è sempre di 4 : 1.

Se ora consideriamo invece dieci atomi di rame e dieci atomi di ossigeno il rapporto delle loro masse sarà sempre di 4 : 1

In generale se consideriamo  $n$  atomi di rame e  $n$  atomi di ossigeno, il rapporto tra le loro masse è sempre 4 : 1.

Le  $n$  particelle con massa complessiva pari alla massa atomica espressa in grammi costituiscono una ben precisa quantità chiamata **mole**, che è l'**unità di misura** della **quantità di sostanza**, una delle sette **grandezze fondamentali** del **Sistema Internazionale**.

Lo stesso ragionamento resterà valido se anziché a degli atomi ci si riferisce a delle molecole.

1 mole =  $6,022 \cdot 10^{23}$  particelle (atomi o molecole)  $N_0$  numero di Avogadro



Conoscendo la **massa in grammi**  $m$  di una sostanza è possibile determinare il numero delle moli utilizzando la seguente formula:

$$n = \frac{m}{M}$$

nella quale:

$n$  = numero moli (mol)

$m$  = massa in grammi (g)

$M$  = **massa molare** (g/mol)

**La massa molare  $M$  di un composto rappresenta la massa in **grammi** di una mole.**

Essa coincide numericamente con il valore della **massa molecolare** (o eventualmente con la **massa atomica**) solo che la sua **unità di misura** è **g/mol**.

## Miscela di gas (ideale)

I singoli gas non reagiscono tra di loro, la miscela di gas si comporta come se fosse un unico gas ideale

$$P_{\text{tot}} \cdot V = n_{\text{tot}} \cdot R \cdot T$$

Pressione parziale : la P che il gas considerato eserciterebbe se fosse l'unico gas nel volume considerato.

LEGGE DI DALTON:  $P_{\text{tot}} = P_a + P_b + P_c$

$$P_a \cdot V = n_a \cdot R \cdot T$$

$$P_b \cdot V = n_b \cdot R \cdot T$$

$$P_c \cdot V = n_c \cdot R \cdot T$$

Sommando le 3 equazioni si ottiene:

$$P_a \cdot V + P_b \cdot V + P_c \cdot V = n_a \cdot R \cdot T + n_b \cdot R \cdot T + n_c \cdot R \cdot T$$

$$V (P_a + P_b + P_c) = RT (n_a + n_b + n_c)$$

$$P_a \cdot V = n_a \cdot R \cdot T$$

$$P_{\text{tot}} \cdot V = n_{\text{tot}} \cdot R \cdot T$$

$$P_a / P_{\text{tot}} = n_a / n_{\text{tot}} \quad n_a / n_{\text{tot}} \text{ frazione molare del gas a}$$

$$P_a = P_{\text{tot}} \chi$$

# Liquidi

## Viscosità

La facilità con cui le molecole scorrono le une sulle altre – misura della resistenza che un fluido oppone allo scorrimento

Dipende dalle entità delle forze intermolecolari, simmetria delle molecole e dalle dimensioni

Dipende dalle temperatura

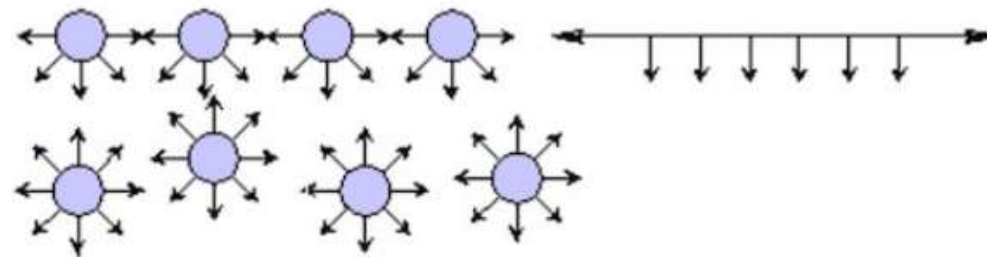
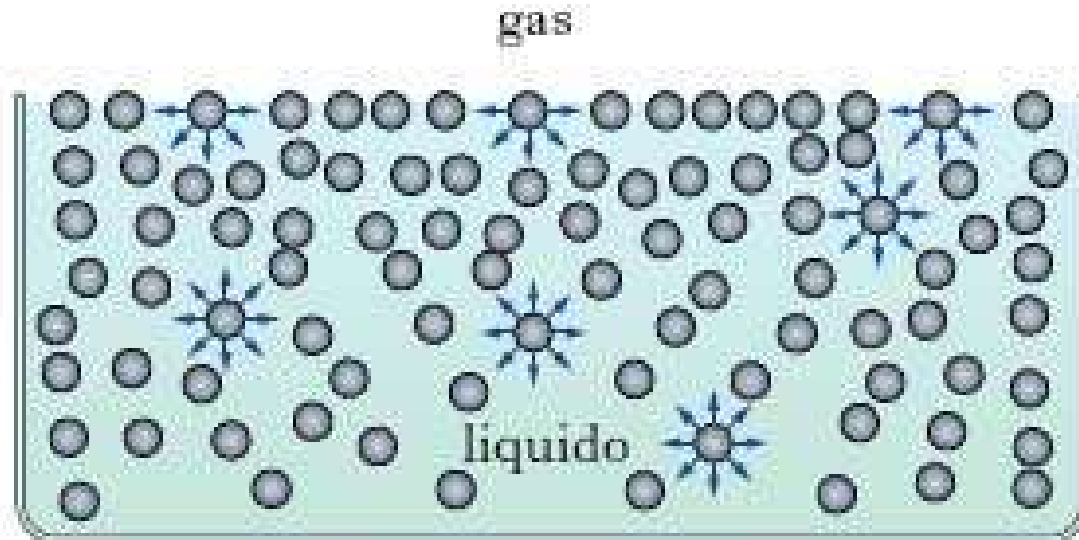


# Liquidi



## Tensione superficiale

Superficie di separazione →



## Definizione di tensione superficiale da un punto di vista quantitativo

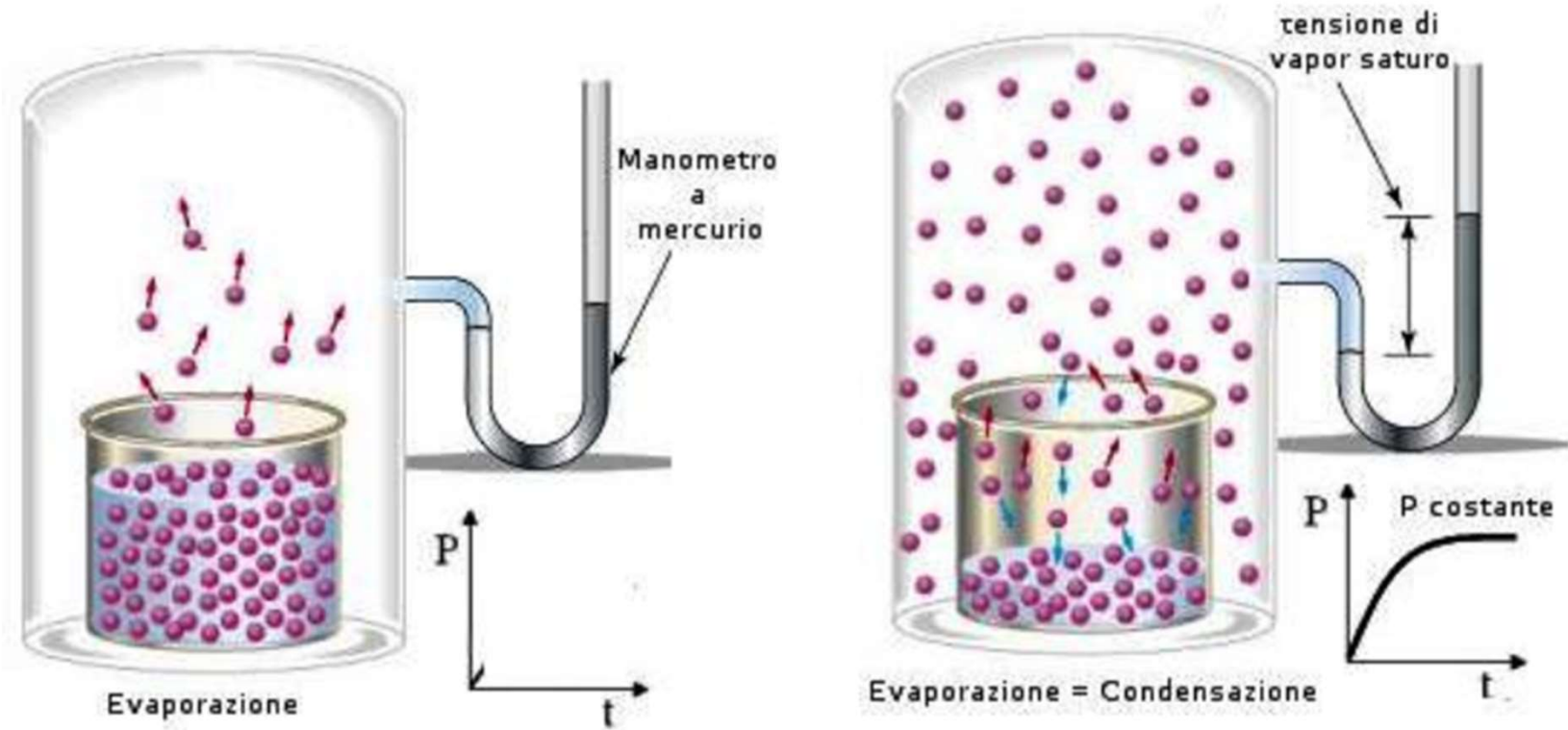
Immaginiamo di effettuare idealmente un taglio della lunghezza di 1 cm nello strato superficiale di un liquido: viene indicata come tensione superficiale del liquido la **forza**, tangente alla superficie e perpendicolare al taglio, che tiene unite le due labbra di questo.

La tensione superficiale viene espressa in N/m e indicata con la lettera greca  $\gamma$  (gamma).

Nella tabella seguente sono riportati i valori della tensione superficiale di alcuni liquidi a contatto con l'aria calcolati alla **temperatura** di 20° C.

Liquido	Tensione superficiale (N/m)
Acqua	0,073
Mercurio	0,559
Benzene	0,029
Olio di oliva	0,0319

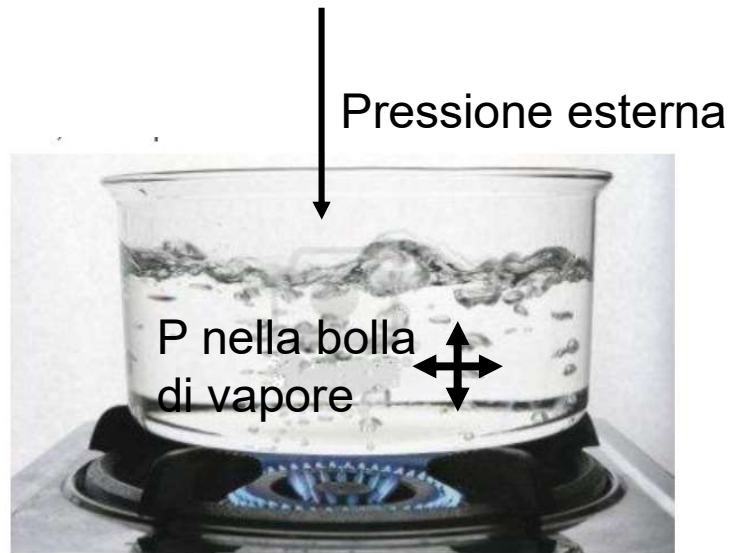
# La tensione di vapore



Temperatura, massa molecolare, forze intermolecolari



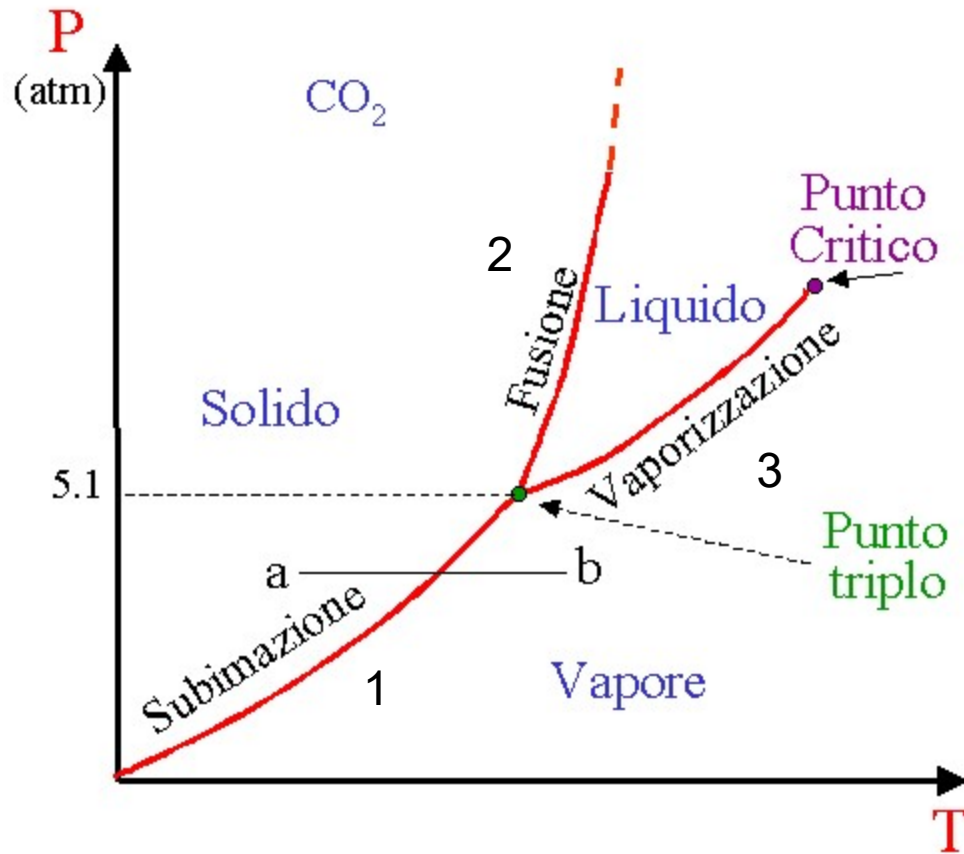
## Punto di ebollizione



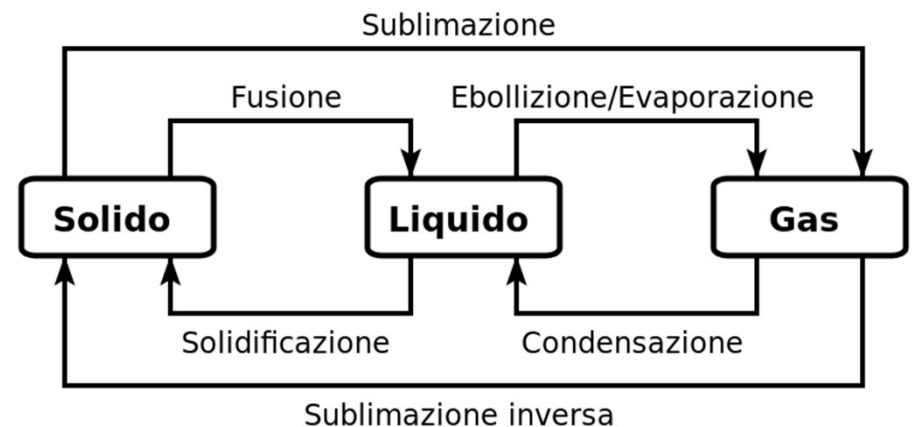
Il processo di ebollizione dell'acqua

**la temperatura di ebollizione di un liquido è quella temperatura alla quale la tensione di vapore del liquido diviene uguale alla pressione atmosferica. Durante ebollizione T costante.**

Un **diagramma di fase** rappresenta le regioni di temperatura e pressione di esistenza delle varie fasi di una sostanza (campi di esistenza)

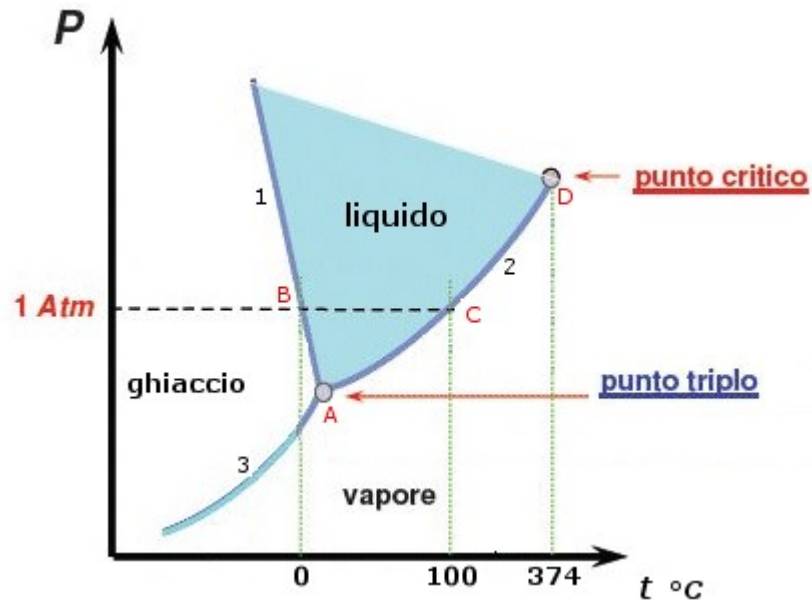


I punti di ebollizione e fusione sono di base correlati all'entità delle forze intermolecolari



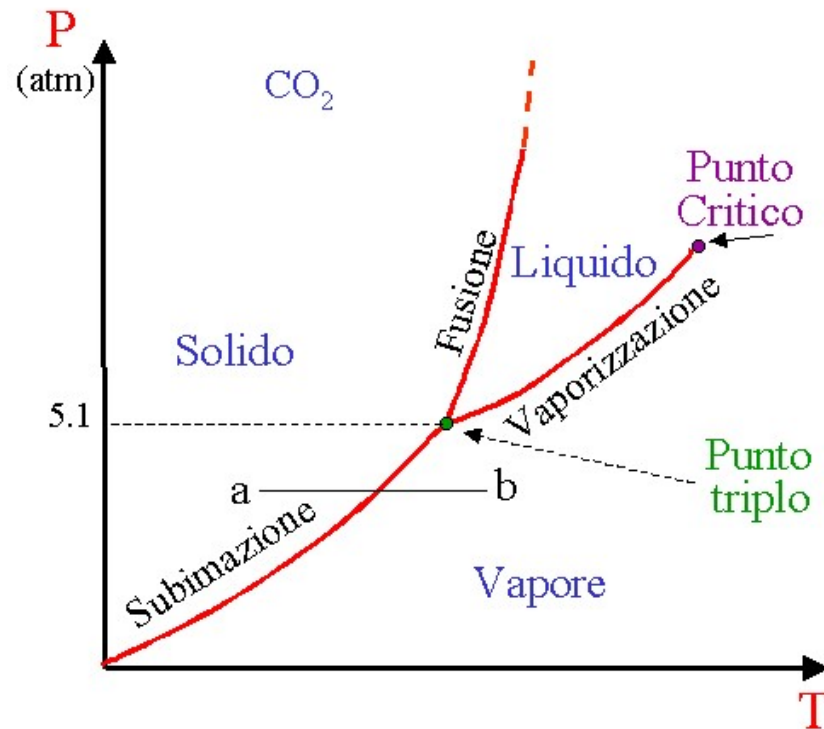
## Effetto della pressione sul punto di fusione di un solido: Diagramma di fase dell'acqua

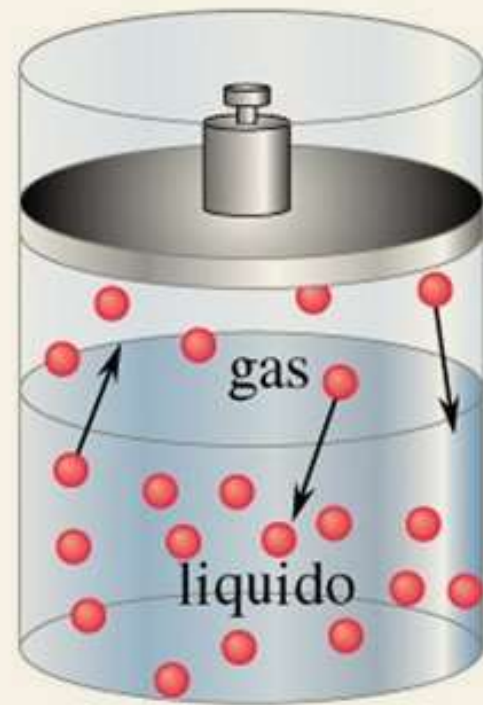
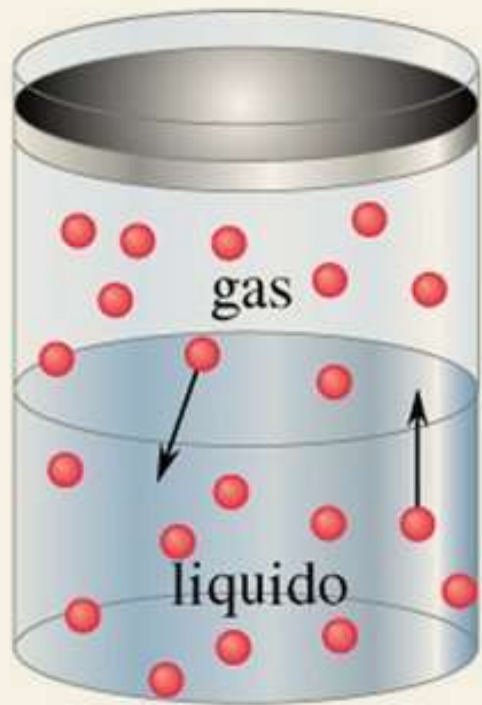
Per decidere se punto di fusione aumenta o diminuisca con la P: un aumento di pressione favorisce la formazione della fase più densa



Punto triplo 0.01°C, 4.56 Atm

Punto critico 374°C,  $1.66 \times 10^{-5}$  Atm





## Temperatura critica

Per ogni specie gassosa esiste una temperatura al di sopra della quale non è possibile liquefare il gas indipendentemente dalla pressione esercitata. Questa temperatura è detta **temperatura critica**.

Argon (-122,4 °C)

Bromo (310,8 °C)

Cloro (143,8 °C)

Fluoro (-128,85 °C)

Elio (-267,96 °C)

Idrogeno (-239,95 °C)

Kripton (-63,8 °C)

Neon (-228,75 °C)

Azoto (-146,9 °C)

Ossigeno (-118,6 °C)

Anidride carbonica (31,04 °C)

Xenon (16,6 °C)

Acqua (373,936 °C)

# Miscele omogenee: le soluzioni

- Cosa accade se mescoliamo acqua e zucchero?

L'acqua e lo zucchero formano una soluzione omogenea, cioè le particelle delle due sostanze, pur conservando le loro caratteristiche, formano una miscela in cui non sono più distinguibili l'una dall'altra e non si separano facilmente.

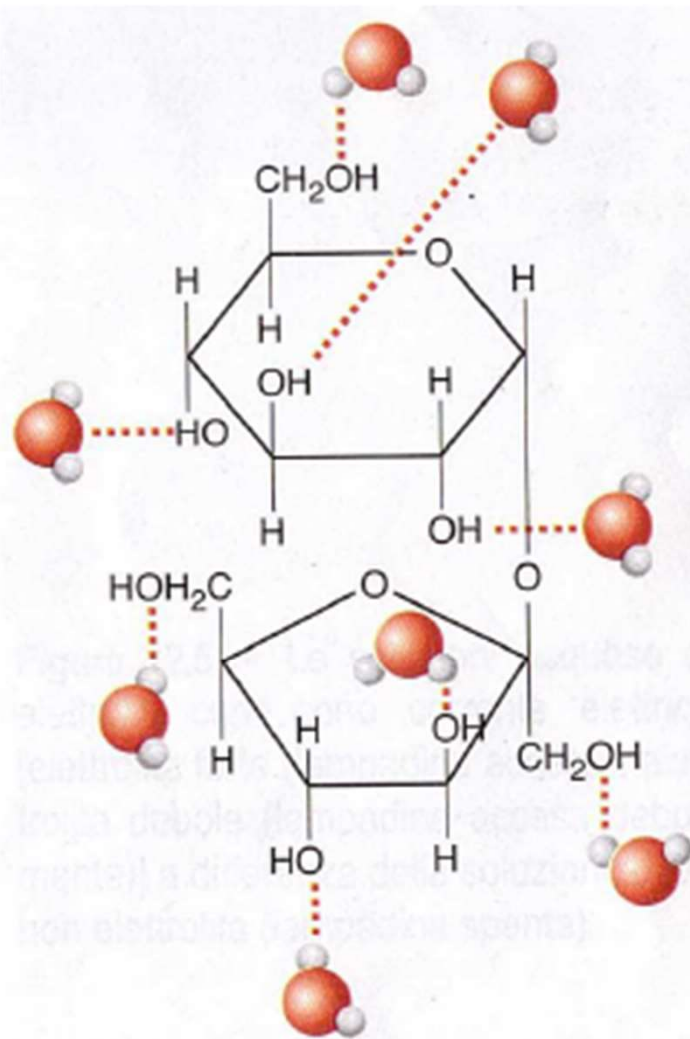


# Il solvente e il soluto

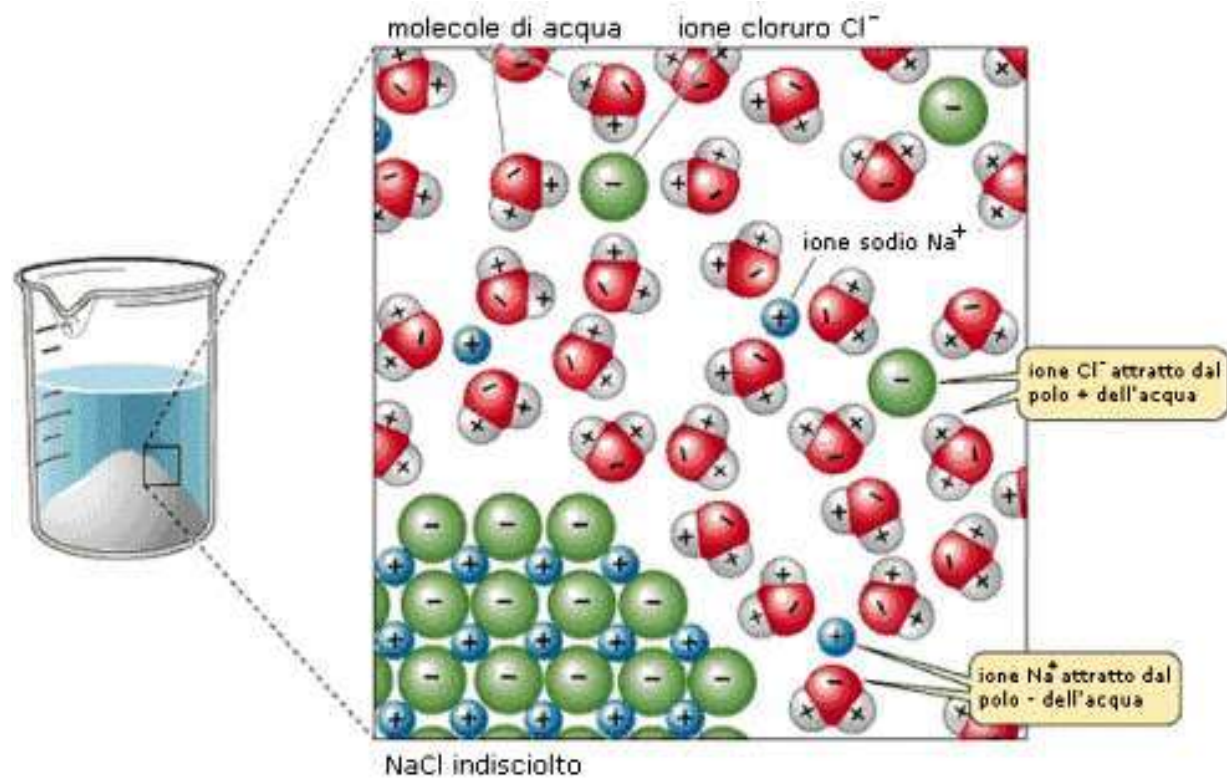


- In una soluzione (o miscela omogenea) la sostanza che è presente in maggiore quantità si chiama solvente, mentre quella che si disperde nel solvente, si chiama soluto.
- L'acqua è il solvente più diffuso in natura ed è indispensabile per il funzionamento di tutti gli organismi viventi.





**Figura 12.4.** • Solubilizzazione del saccarosio in ambiente acquoso.



# Concentrazione di una soluzione

Percentuale in peso  $(m \text{ soluto} / m \text{ soluzione}) \times 100$  (% m/m)

Rapporto percentuale massa su volume  $m \text{ soluto} / V \text{ soluzione}$  (% m/V)

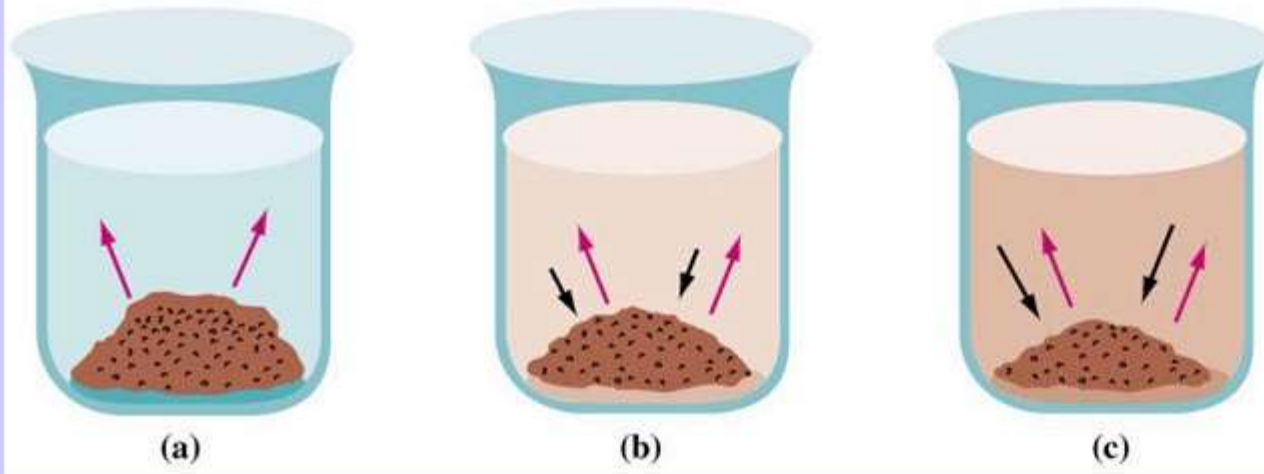
Percentuale in volume  $(V \text{ soluto} / V \text{ soluzione}) \times 100$  (% V/V)

Frazione molare  $n \text{ soluto} / n \text{ soluzione}$

Molalità  $n \text{ soluto} / m \text{ solvente (Kg)}$  (m)

Molarità  $n \text{ soluto} / V \text{ soluzione (L)}$

## Soluzione satura



**Equilibrio  
dinamico**

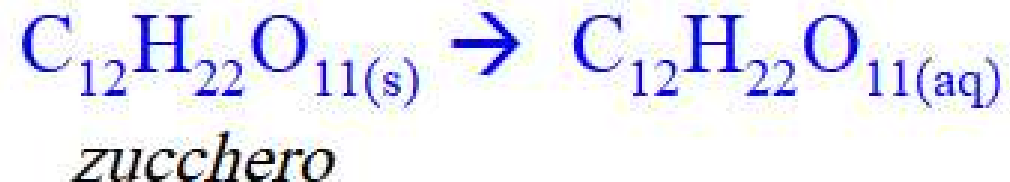
SOLUBILIZZAZIONE  
o DISSOLUZIONE



DISSOCIAZIONE

## *Non elettroliti*

Si disciolgono in acqua ma non si ionizzano, perciò non conducono la corrente elettrica.



## *Elettroliti forti*



Si dissociano completamente negli ioni corrispondenti.

Un'elevata concentrazione di ioni significa un valore elevato di conducibilità.

## Quali sono gli elettroliti forti?

Clip slide



- La maggior parte dei **sali** sono elettroliti forti: solo alcuni sali si comportano come elettroliti deboli, tra i quali vi è il solfato di cadmio,  $\text{CdSO}_4$ .
- Gli **acidi forti** come il solforico, cloridrico, nitrico, iodidrico, perclorico e bromidrico.
- Le **basi forti** come  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{Ba(OH)}_2$ ,  $\text{Sr(OH)}_2$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$

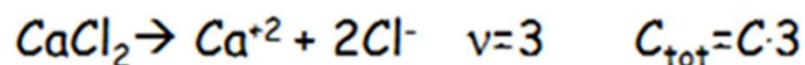
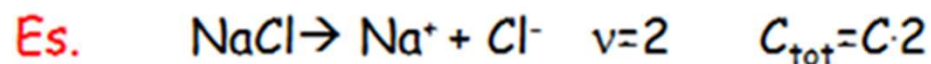


# Concentrazione effettiva

a) Soluzioni diluite di elettroliti forti  
totalmente dissociati:

$$C_{\text{tot}} = C \cdot v$$

Dove  $v$  è il numero di ioni formati  
dalla dissociazione di una singola molecola.



## *Elettroliti deboli*



Si dissociano solo parzialmente come acidi o basi deboli

# Elettroliti deboli

$\alpha$  = grado di dissociazione =  
moli dissociate / moli totali

$\alpha$  può assumere valori compresi tra 0 ed 1  
(0% e 100% di dissociazione)



$$n_{\text{tot}} = (n-n\alpha) + n\alpha v = n(1-\alpha+\alpha v) = n[1+\alpha(v-1)]$$

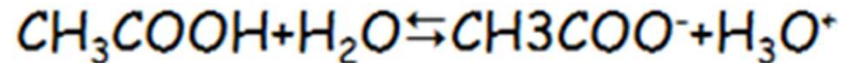
$$i = [1+\alpha(v-1)] = \text{fattore di vant'Hoff}$$

Se si hanno n moli totali e si indica con v il numero di particelle che si dissociano da una singola molecola

# CONCENTRAZIONE EFFETTIVA

$$C_{\text{tot}} = (C - C\alpha) + C\alpha v = C(1 - \alpha + \alpha v) = C[1 + \alpha(v - 1)]$$

**Es.** Considerando la soluzione acquosa  $10^{-2}$  M di acido acetico con  $\alpha = 0.041$ .



$$v = 2 \quad C_{\text{tot}} = C[1 + \alpha(v - 1)] =$$

$$= 10^{-2}[1 + 0.041(2 - 1)] = 1.041 \cdot 10^{-2}$$

Per gli elettroliti un indice della ionizzazione è il “grado di dissociazione”  $\alpha$ , definito come:

$$\text{grado di dissociazione} = \alpha = \frac{\text{numero di moli dissociate}}{\text{numero di moli INIZIALI}}$$

In base alla definizione del grado di dissociazione:

per i non elettroliti  $\alpha = 0$ ;

per gli elettroliti forti  $\alpha = 1$ ;

per gli elettroliti deboli  $0 < \alpha < 1$ .

Il grado di dissociazione  $\alpha$  si può esprimere pure in percentuale: così i valori vanno dallo 0 % sino al 100 %.

Gli elettroliti deboli hanno bassi valori di  $\alpha$ , tipicamente qualche unità percentuale.

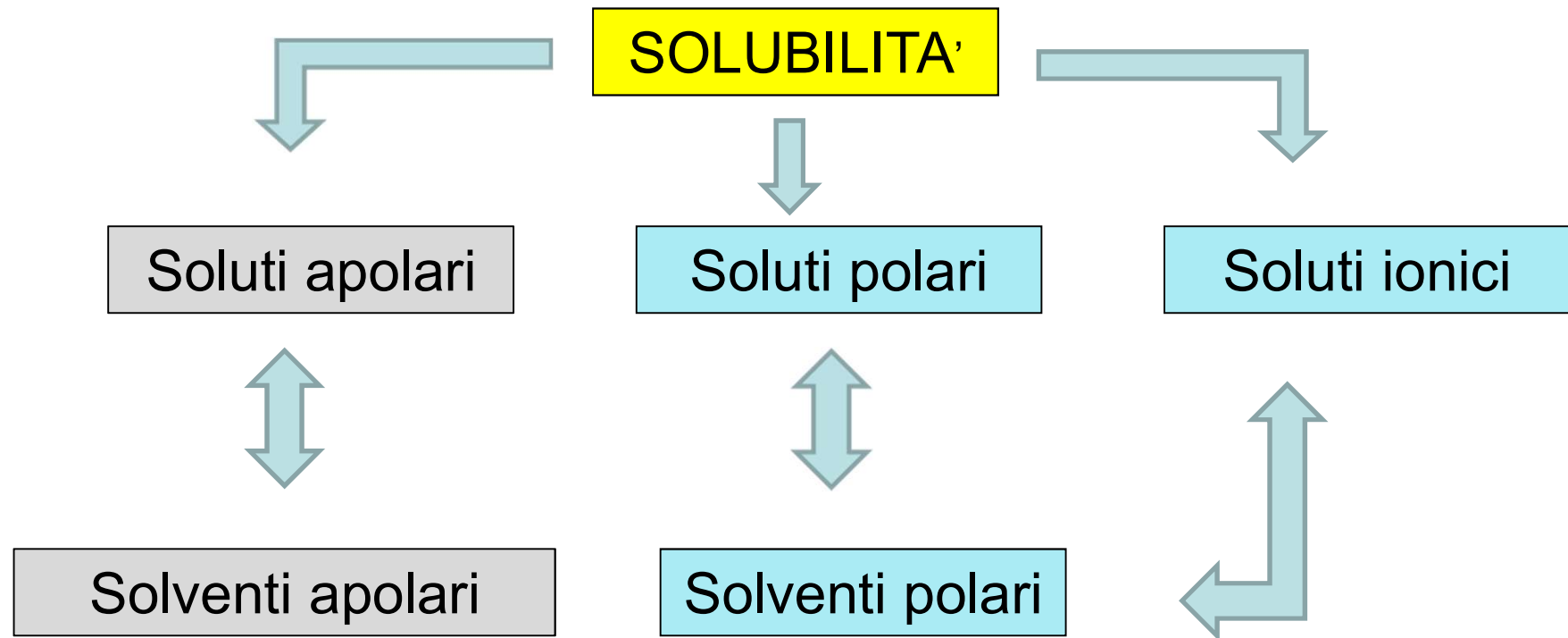
# La solubilità

NATURA CHIMICA

TEMPERATURA

PRESSIONE (gas)

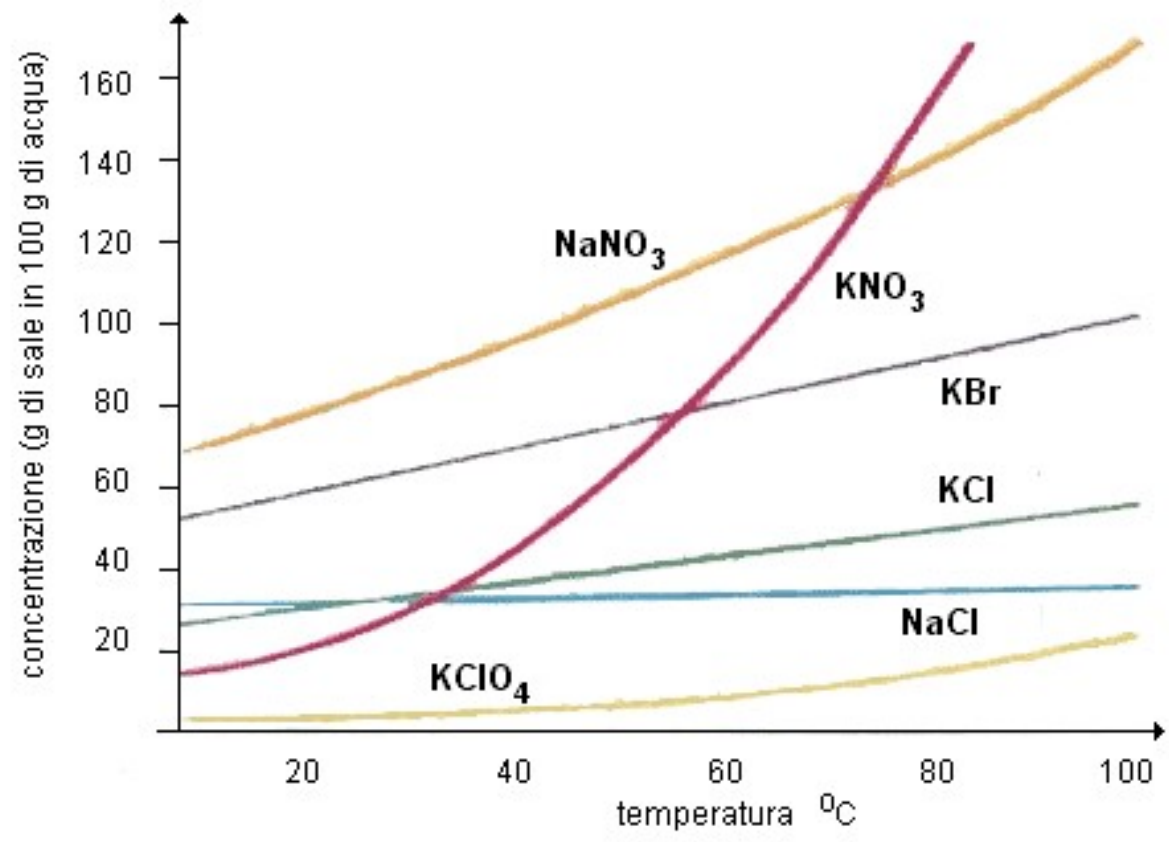
# NATURA CHIMICA





# Temperatura

- Reazione endotermica (assorbe calore)
- Non c'è variazione della temperatura
- Reazione esotermica (emette calore)



# PRESSIONE

**LEGGE di HENRY**

$$C_a = k \times P_a$$

**k costante di Henry**

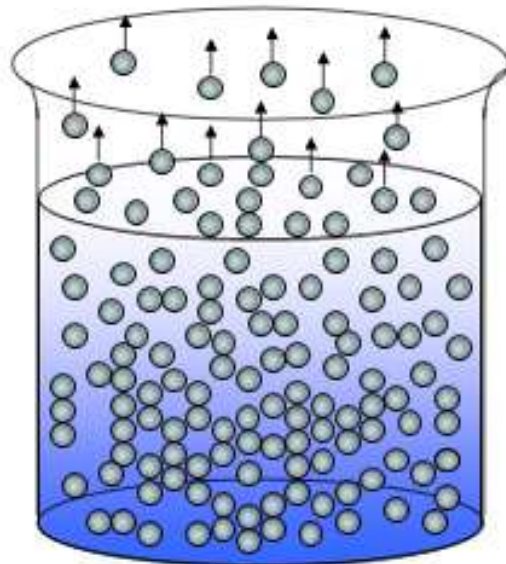
**Vale sia per gas puri che per miscele di gas (ogni singolo gas si comporta come se fosse il solo gas presente)**

# Proprietà colligative

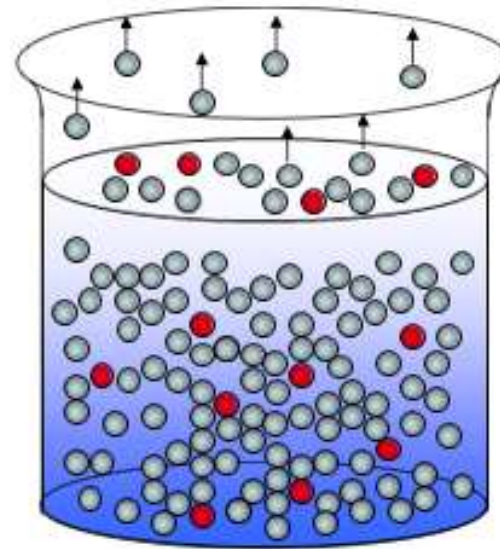
Proprietà delle soluzioni che dipendono esclusivamente dal numero di particelle di soluto

- abbassamento della pressione di vapore;
- innalzamento della temperatura di ebollizione;
- abbassamento della temperatura di solidificazione;
- pressione osmotica.

# Abbassamento della tensione di vapore

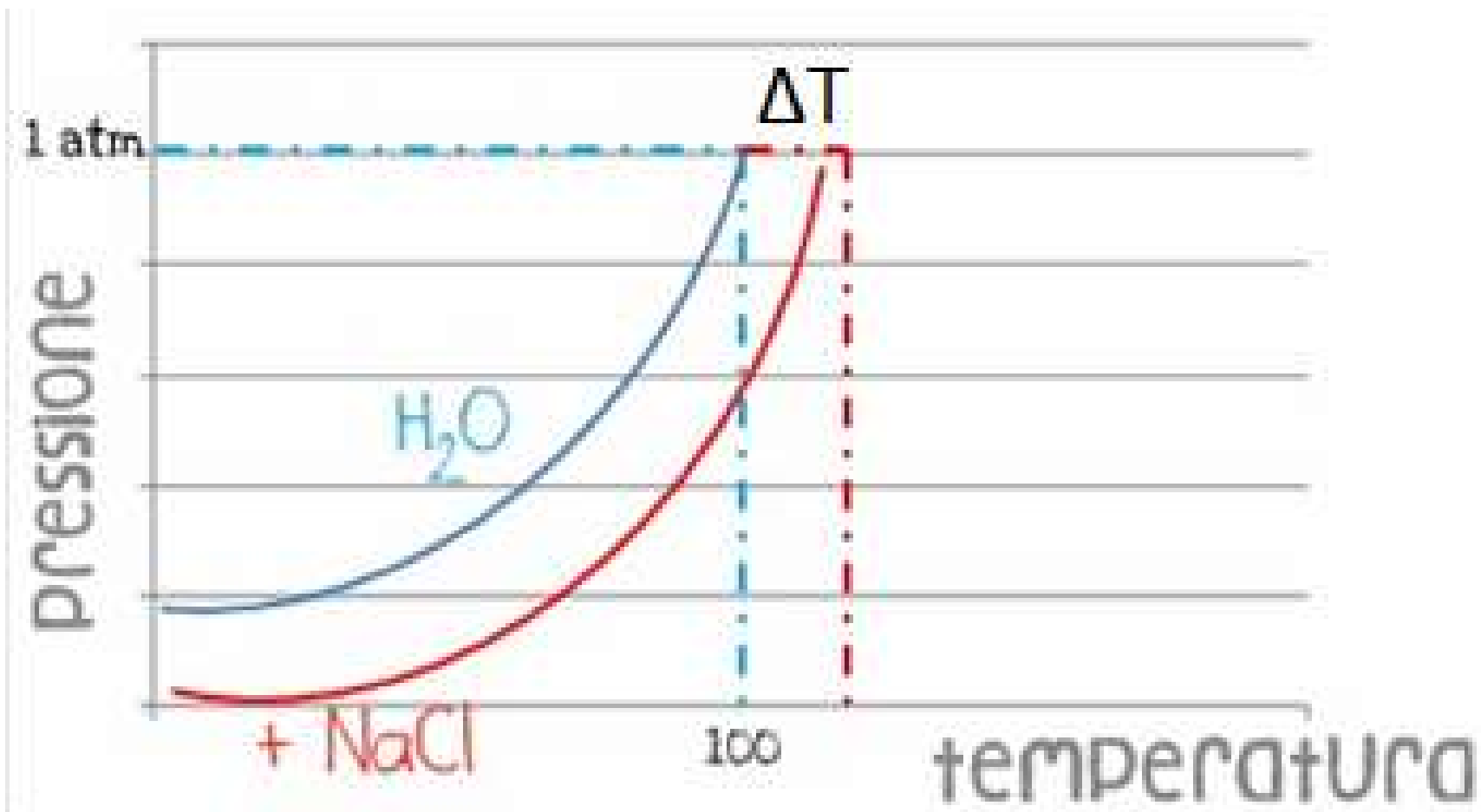


molecola del solvente ●



molecola del soluto ●

La **tensione di vapore** di una soluzione contenente un **soluto non volatile** è **minore di quella del solvente puro**: infatti alla superficie della soluzione alcune particelle di solvente sono sostituite da quelle di soluto, che non hanno alcuna tendenza ad evaporare.



## LEGGI DI RAOULT (soluzioni ideali)

$$P_A = X_A P_A^\circ$$

- In ogni soluzione la frazione molare del solvente sarà sempre minore di 1, perciò la tensione di vapore di una soluzione ideale sarà sempre minore della tensione di vapore del solvente puro.

$$\Delta P = P^0_{\text{solvente}} - P_{\text{soluzione}}$$

$$\Delta P = P^0 - P^0 * X_{\text{solvente}} = P^0 (1 - X_{\text{solvente}})$$

$$\Delta P = P^0 * X_{\text{soluto}}$$



## Innalzamento del punto di ebollizione

- Il punto di ebollizione normale di un liquido si raggiunge alla temperatura alla quale la pressione di vapore eguaglia quella atmosferica.



Un soluto non volatile abbassa la tensione di vapore del solvente in cui è disciolto e perciò una soluzione di questo tipo deve essere riscaldata ad una T più alta di quella di ebollizione del solvente puro perché raggiunga la P atmosferica, cioè



**Un soluto non volatile innalza il punto di ebollizione del solvente**

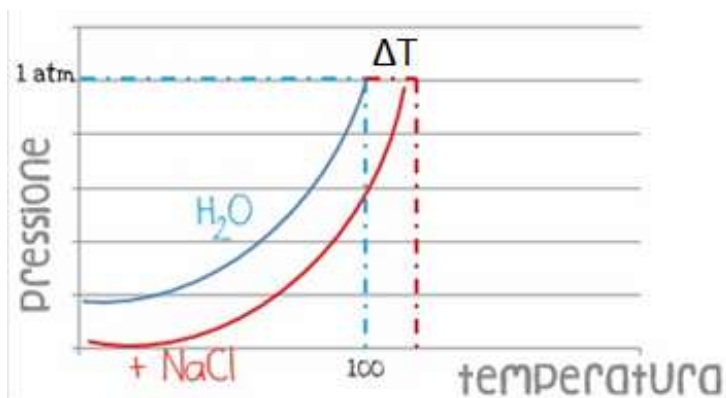
$$\Delta T = K_b m_{\text{soluto}}$$

$\Delta T =$  innalzamento del p. di eb.

$K_b =$  costante molale di innalzamento eb.

$m =$  molalità

(°C/m )



## Abbassamento del punto di congelamento

- Quando un soluto viene disciolto in un solvente, il punto di congelamento è inferiore a quello del solvente puro.

$$\Delta T = K_{cr} m_{\text{soluto}}$$

*$\Delta T$  = abbassamento del p. di congelamento.*

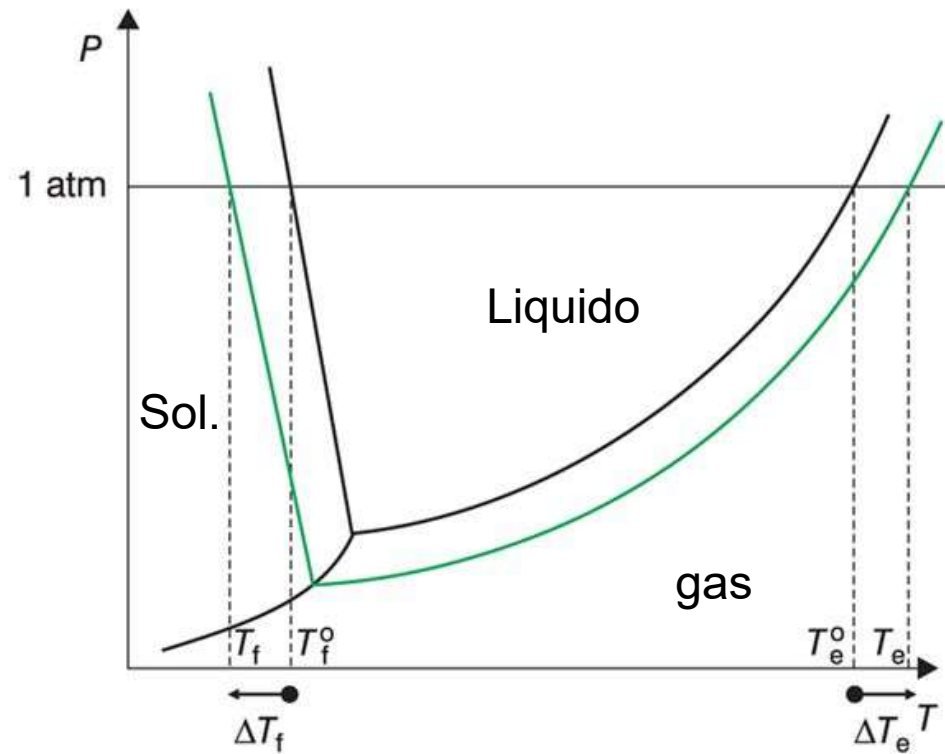
*$K_{cr}$  = costante molale di abbass. crioscopico.*

*$m$  = molalità*

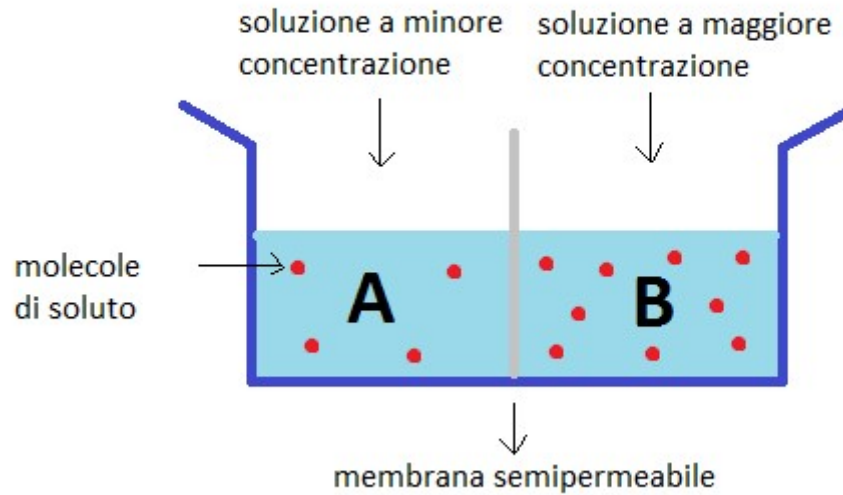
# Abbassamento crioscopico e innalzamento ebullioscopico di una soluzione

$$\Delta T_c = K_c m$$

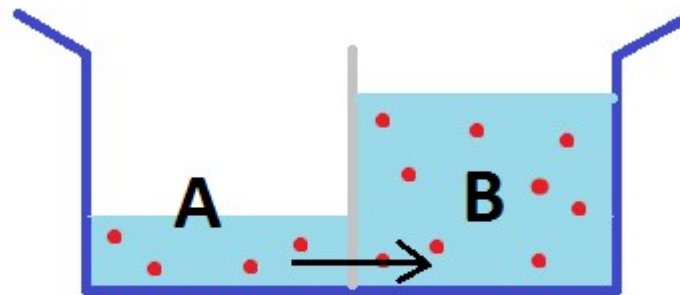
$$\Delta T_e = K_e m$$



## Situazione iniziale



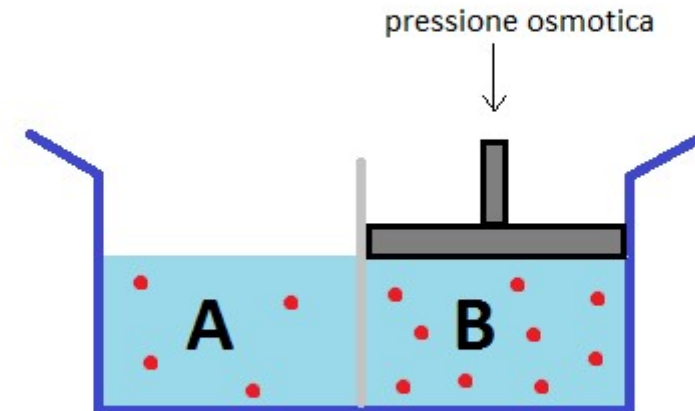
Le molecole di solvente si spostano dalla soluzione a minore concentrazione a quella con maggiore concentrazione.



OSMOSI



## Pressione osmotica



La pressione osmotica è la pressione che deve essere applicata a **B** per opporsi all'osmosi.

$$\pi = MRT$$

R è la costante dei gas  $0.0821 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

T è temperatura assoluta espressa in gradi Kelvin

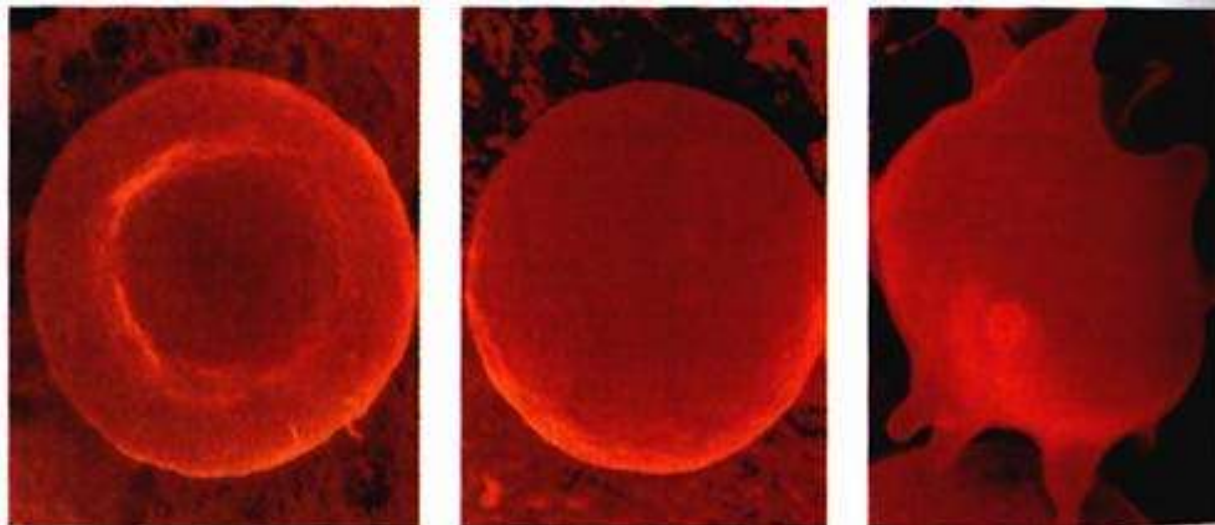
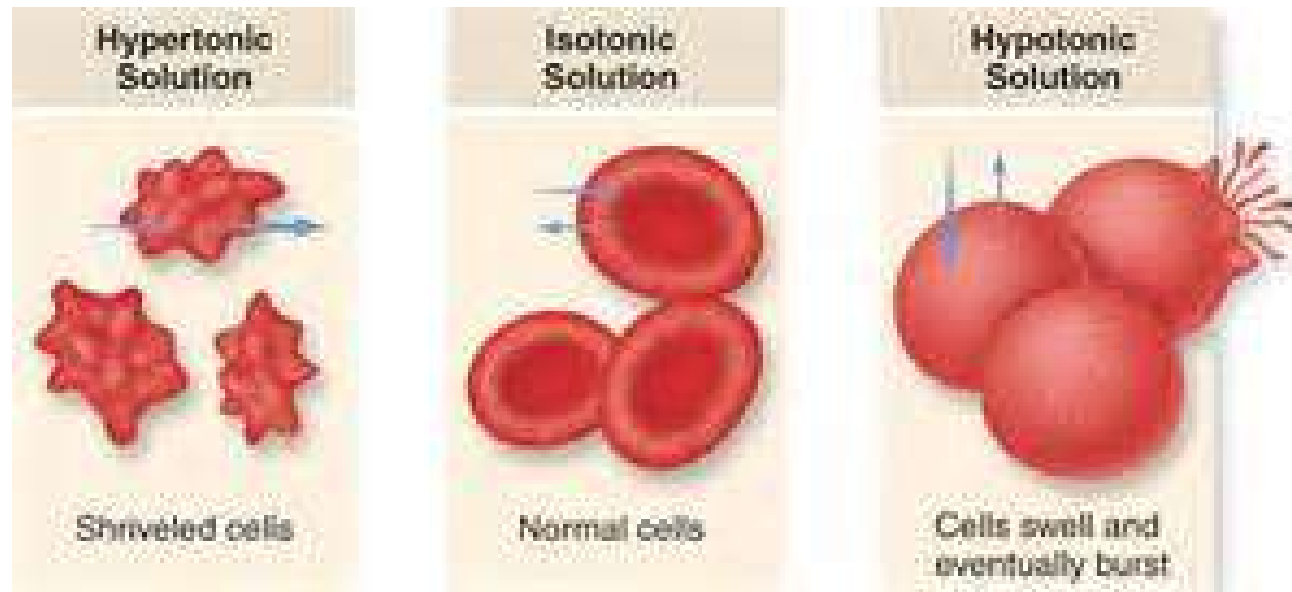
M è la concentrazione molare della soluzione

Una soluzione si dice

**ipertonica** (rispetto ad un'altra) se la concentrazione del soluto è maggiore

**ipotonica** se la concentrazione del soluto è minore,

**isotonica** se le due soluzioni hanno la stessa concentrazione





## Elettroliti e proprietà colligative

Elettroliti si dissociano quindi bisogna tener conto che aumenta il numero di particelle (moli) nella soluzione rispetto a quelle presenti nel soluto di partenza

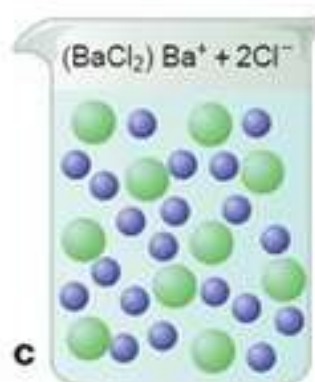
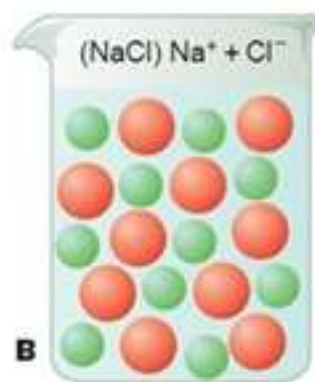
$$n_{\text{tot}} = n [1 + \alpha (v-1)]$$

$\alpha$  = grado di dissociazione = moli dissociate / moli iniziali

$v$  = numero particelle che si dissociano da una singola particella

$$i = [1 + \alpha(v-1)] = \text{fattore di vant'Hoff}$$

$$n_{\text{tot}} = n * i$$



Il fattore di vant' Hoff introdotto nelle formule delle proprietà colligative

Tensione vapore :  $P_a = X_a * P^0$

$$X_{ac} = n_a / (n_a + n_b) * i$$

$$P_a = X_{ac} * P_0$$

$$\Delta t_b = K_b * m_{particelle} = K_b * n_{particelle} / \text{Kg solvente} = n_{soluto} * i / \text{Kg solvente} \rightarrow K_b * m_{soluto} * i$$

$$\Delta t_c = K_c * m_{particelle} \rightarrow K_c * m_{soluto} * i$$

$$\pi = M_{particelle} * R * T = n_{tot} * R * T / L \text{ soluzione} = n_{soluto} * i * R * T / L \text{ soluzione}$$

$$\rightarrow M_{soluto} * i * R * T$$

$n * i$  osmole

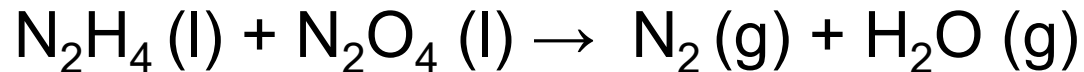
$M * i$  osmolarità

## Reazione chimica

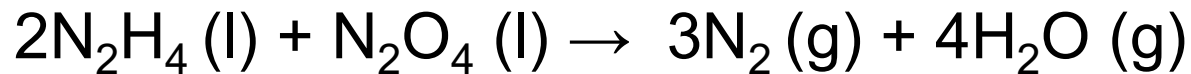
trasformazione in cui uno o più specie chimiche modificando la loro struttura e composizione originaria per generare altre specie chimiche



2. Indicare lo stato fisico dei reagenti e dei prodotti



3. Bilanciare l'equazione



## Bilanciamento reazioni chimiche

Legge di Lavoisier (legge di conservazione della massa)

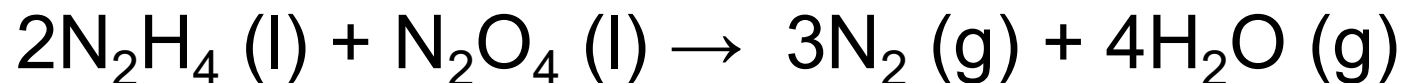
In una reazione chimica la somma delle masse dei reagenti uguale alla somma delle masse dei prodotti.



Numeri di atomi di un elemento uguale tra reagenti e prodotti

→ si deve quindi bilanciare la reazione chimica introducendo i

**COEFFICIENTI STECHIOMETRICI:** indicano il numero di molecole coinvolte nella reazione



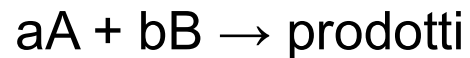
# Velocità di una reazione chimica

Viene quantitativamente espressa da una “espressione” di velocità, una equazione chimica che viene determinata sperimentalmente per ciascuna reazione chimica.



$$\text{Velocità} = k [A]^m$$

m = ordine della reazione (0,1,2,3.....)



$$\text{Velocità} = k [A]^m [B]^n$$

m ordine della reazione rispetto a A

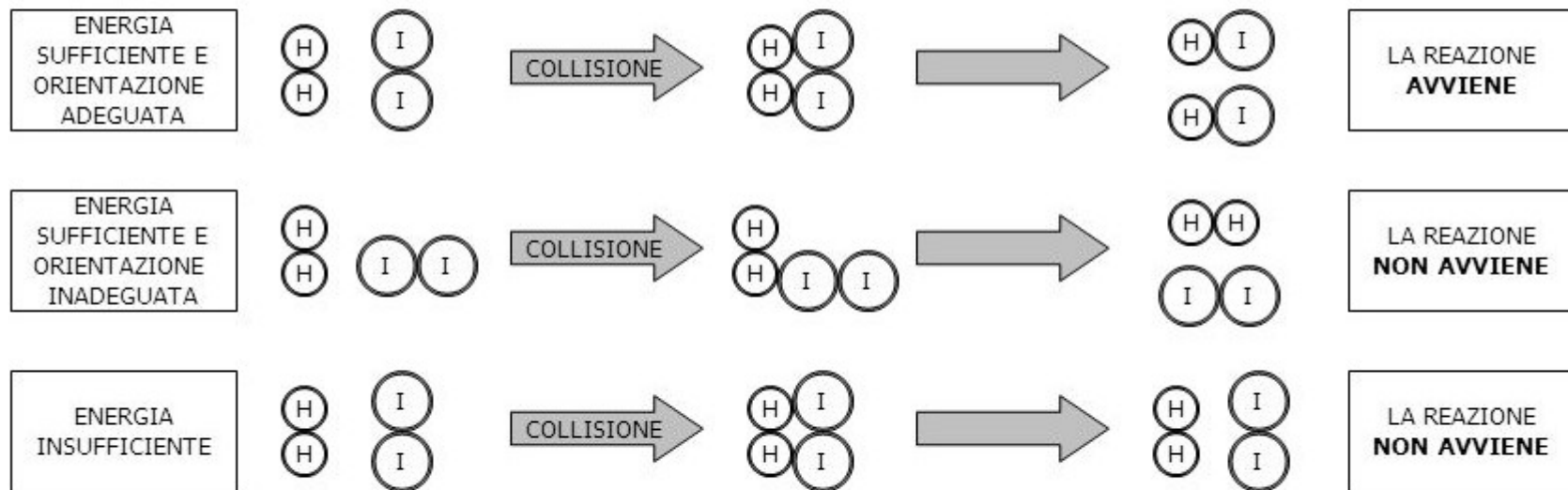
n ordine della reazione rispetto a B

m+n ordine totale della reazione

# Modello collisionale ed energia di attivazione

Affinché una reazione avvenga è necessario che:

- Le molecole collidano
- La collisione avvenga con sufficiente energia per rompere i legami dei reagenti e formare quelli dei prodotti
- Le particelle siano orientate in maniera opportuna



Tra le moltissime collisioni che interessano le molecole, solo un numero ristretto è efficace ai fini della reazione!!!



In tutte le reazioni esiste una quantità minima di energia che ogni molecola deve possedere perché la collisione sia efficace: **energia di attivazione**

$$E_a (\text{KJoule/mole})$$

**Il suo valore dipende dalla natura della reazione**

Il modello collisionale si può rendere quantitativo.

$$k = p \times Z \times f$$

p fattore sterico

Z frequenza degli urti/collisioni nell'unità di tempo con i reagenti a concentrazioni unitarie

f frazione delle collisioni in cui l'energia delle molecole in collisione è uguale o maggiore della  $E_a$

$$f = e^{-E_a/RT}$$

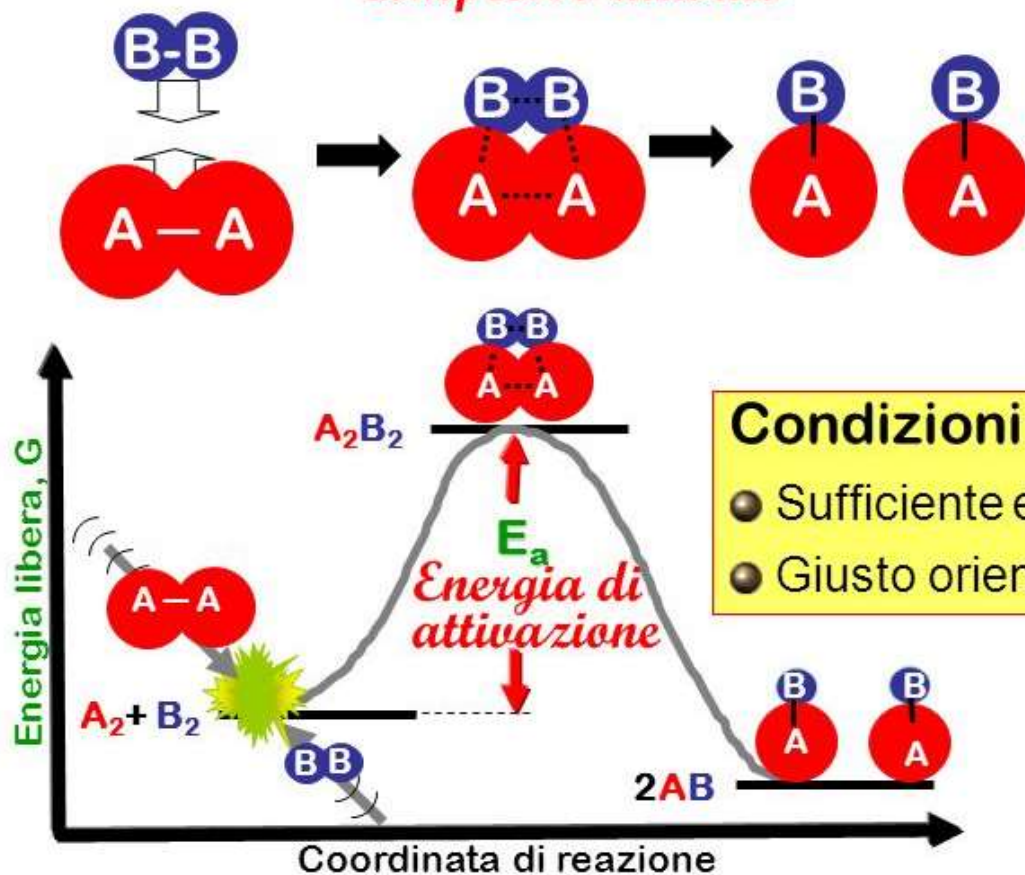
$k = p \times Z \times e^{-E_a/RT}$  **equazione fondamentale** del modello collisionale (... più alto è il valore di  $E_a$ , più bassa è la velocità di reazione)

## Modello dello stato di transizione

Diagramma dell'energia di attivazione



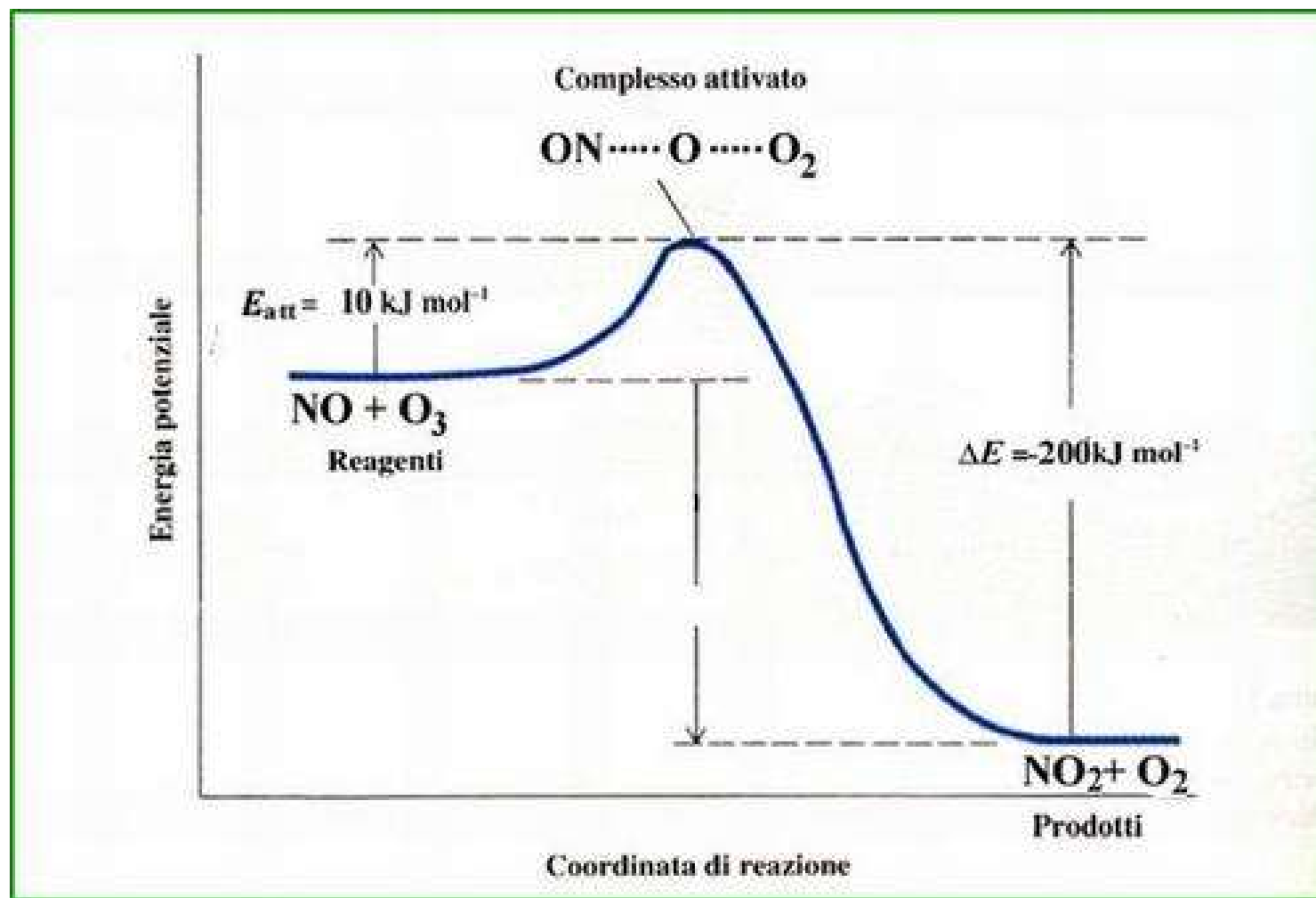
*Complesso attivato*



Ogni reazione chimica decorre attraverso la formazione di un "Complesso attivato" generato da un "urto efficace"

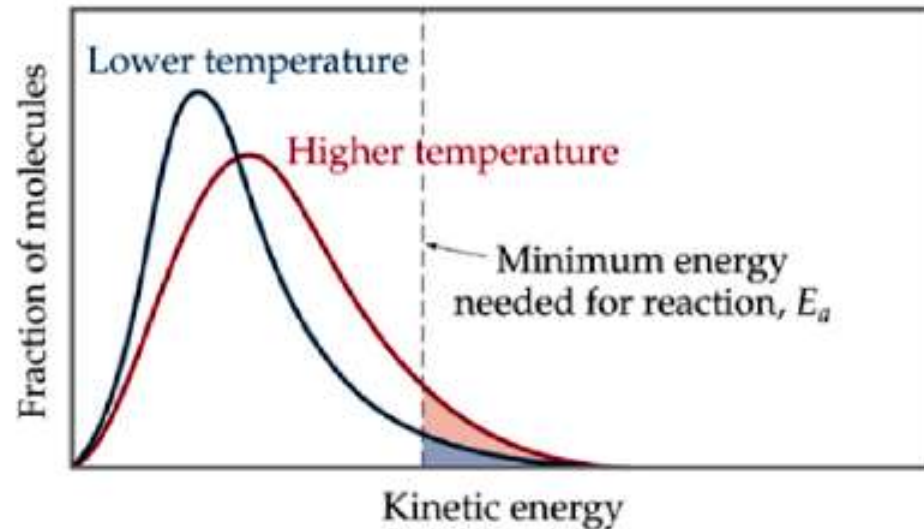
Condizioni per un "urto efficace":

- Sufficiente energia (almeno pari a  $E_a$ )
- Giusto orientamento (Effetto sterico)



## Velocità di reazione e temperatura

All'aumentare della T aumenta, aumenta la frazione di molecole aventi l' $E_a$  richiesta per la reazione.



Per quanto riguarda la dipendenza di k dalla T:

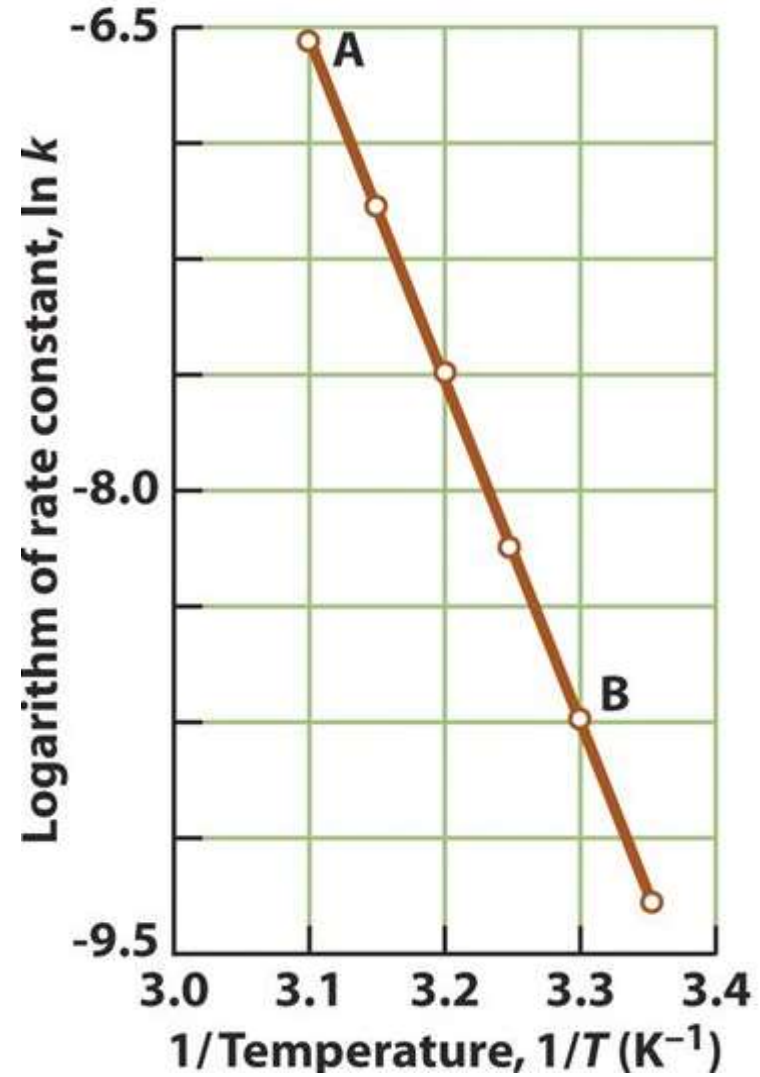
$$k = p \times Z \times e^{-E_a/RT}$$

$$k = A e^{-E_a/RT} \quad A \text{ fattore pre-esponenziale } R = 8,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$\ln k = \ln A - E_a/RT \quad \text{eq. di Arrhenius}$$

$$\ln k = \ln A - E_a/RT \quad y = b + mx$$

Pendenza della retta  $-E_a/R$



# Equilibrio chimico

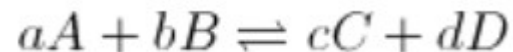
Che cosa si intende per equilibrio chimico?

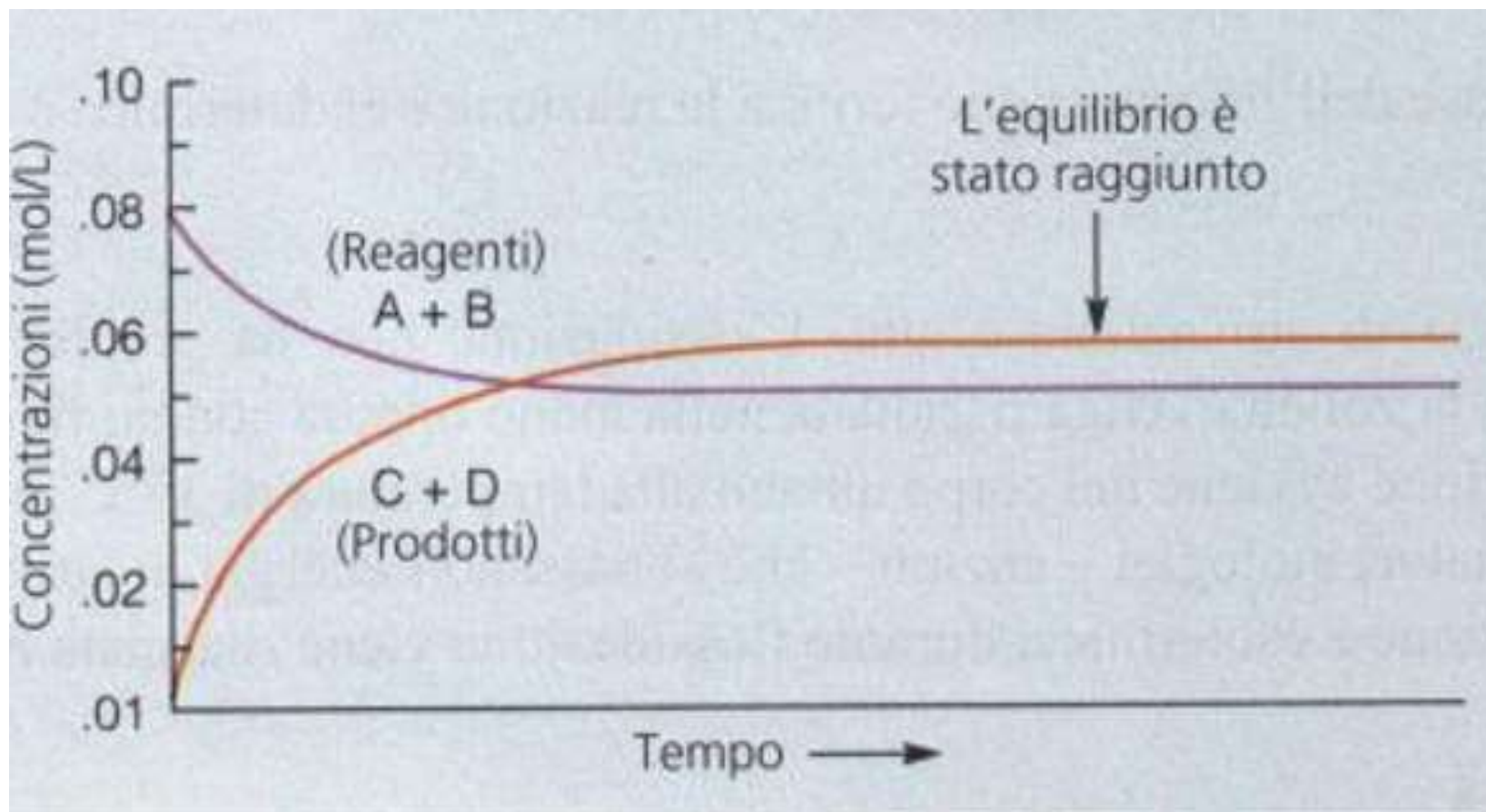
Una reazione chimica tra i reagenti A e B avviene **in modo completo** quando al termine della reazione non vi è più traccia dei reagenti A e B poichè si sono trasformati completamente nei prodotti C e D.

Tali reazioni si scrivono con un'unica freccia che va dai reagenti verso i prodotti:



Alcune reazioni chimiche non comportano la completa trasformazione dei reagenti in prodotti ma, man mano che i prodotti si formano, questi reagiscono tra loro per formare nuovamente i reagenti.





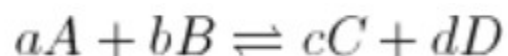
Macroscopicamente non si nota nessun cambiamento (le concentrazioni rimangono costanti) ma da un punto di vista microscopico le due reazioni continuano ad avere luogo ma con la stessa velocità



## Costante di equilibrio di una reazione

Per un sistema chimico all'equilibrio, il rapporto fra il prodotto delle concentrazioni molari dei prodotti di reazione e il prodotto delle concentrazioni molari dei reagenti, ciascuna concentrazione essendo elevata a una potenza pari al coefficiente stechiometrico con cui la specie compare nella reazione, è costante a T costante

Questo rapporto è chiamato **COSTANTE DI EQUILIBRIO DELLA REAZIONE**



$$K_c = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

Tale relazione è nota come **legge di azione di massa** .

Il suo valore numerico è caratteristico per ogni reazione chimica e dipende solo ed unicamente dalla temperatura

*K<sub>c</sub> (K<sub>eq</sub>) non dà alcuna informazione sul tempo con cui verrà raggiunto l'equilibrio e quindi sulla velocità di reazione*

Le reazioni reversibili possono essere condotte in fase omogenea o eterogenea

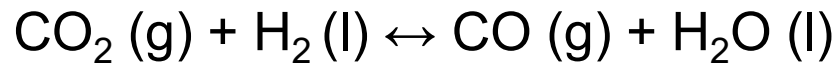
### Equilibri in fase omogenea gassosa



$P_i = n_i R T / V$  la pressione parziale di un gas è direttamente proporzionale al numero di moli

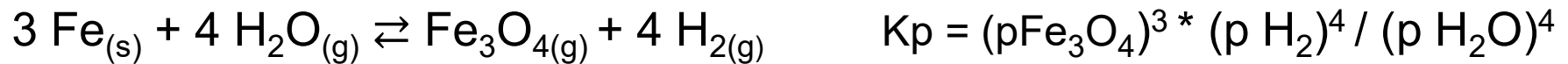
$$K_p = \frac{(p_C)^c (p_D)^d}{(p_A)^a (p_B)^b}$$

### Equilibri in fase eterogenea



$$K_c = \frac{[CO] [H_2O]}{[CO_2] [H_2]}$$

$$K_p = p_{CO} / p_{CO_2}$$



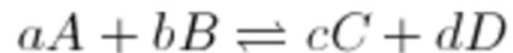
Nella costante di equilibrio i termini relativi ai solidi e ai liquidi vengono tralasciati in quanto essi sono già inglobati nella costante di equilibrio.

## Modificazioni di un equilibrio: principio di Le Chatelier

quando un sistema all'equilibrio chimico viene perturbato per effetto di un'azione esterna, il sistema reagisce in maniera da ridurre o annullare la sollecitazione stessa ristabilendo l'equilibrio. PRINCIPIO DELL'EQUILIBRIO MOBILE

### Variazioni delle concentrazioni

aumentando la concentrazione di uno dei reagenti l'equilibrio si sposta verso i prodotti; aumentando la concentrazione di uno dei prodotti, l'equilibrio si sposta verso i reagenti



$$K_c = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

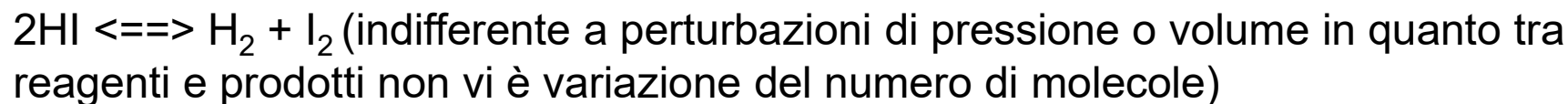
### Variazione della pressione o del volume

La variazione della pressione o del volume incide solo su reazioni che decorrono in fase gassosa

Un aumento della **pressione** (o una diminuzione del **volume**), determina lo spostamento dell'equilibrio verso il lato della reazione chimica in cui si ha una diminuzione della pressione (o aumento di volume)

$$PV=nRT$$
$$P= nRT/V$$

Aumento di pressione (diminuzione di Volume)



# Spontaneità di una reazione chimica

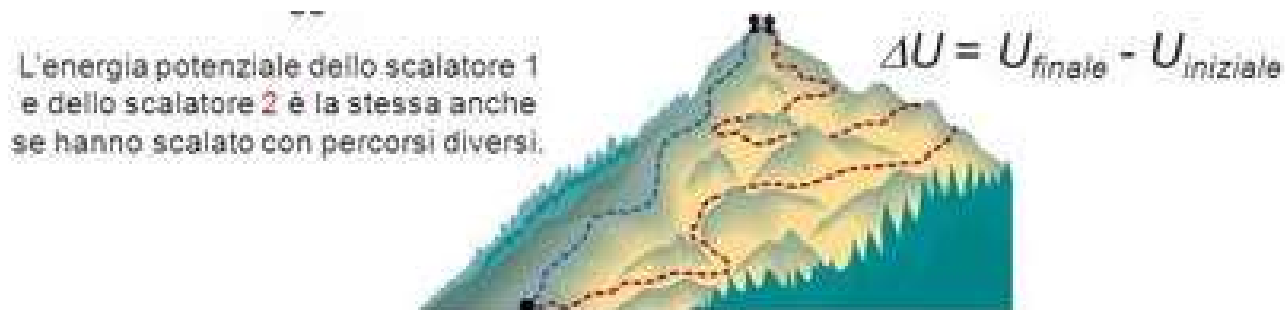
Un processo spontaneo fa evolvere il sistema di reazione verso l'equilibrio

## Fattore energia e un fattore casuale

Due grandezze termodinamiche influenzano la spontaneità di una reazione

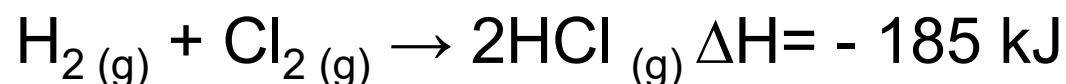
**Entalpia (H)** tipo di energia chimica che rappresenta il contenuto termico.

Proprietà di stato (funzione di stato) - una **funzione di stato** è una grandezza fisica il cui valore dipende solamente dalle condizioni assunte da un sistema all'inizio e alla fine di una trasformazione, cioè dallo stato iniziale e finale, e non dal particolare percorso seguito durante la trasformazione.



Reazione chimica viene scambiato calore, o ceduto (**esotermica**) o assorbito (**endotermica**).

$$\Delta H = H_{\text{prodotti}} - H_{\text{reagenti}} \text{ (a P costante)}$$

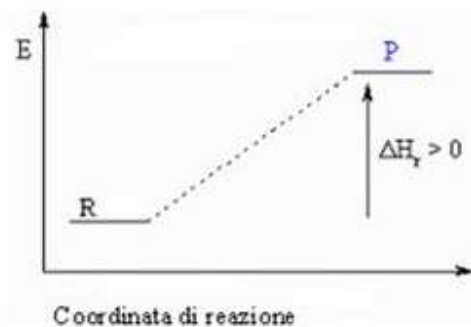


Il  $\Delta H$  di una reazione è uguale in valore ma di segno opposto al  $\Delta H$  per la reazione inversa

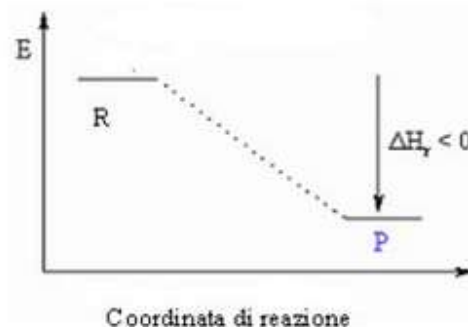
$\Delta H > 0$  ENDOTERMICA

$\Delta H < 0$  ESOTERMICA

Reazione ENDOTERMICA



Reazione ESOTERMICA



## Entropia (S)- proprietà di stato

Più la situazione è probabile, ovvero più disordinato, casuale, più grande è la sua entropia

$$\Delta s = S \text{ finale (prodotti)} - S \text{ iniziale (reagenti)}$$

## Combinata nell'energia libera di Gibbs (G)

$$G = H - TS$$

$\Delta G$  il segno della variazione di energia libera di una reazione ne definisce la spontaneità

$\Delta G < 0$  spontanea ESOERGONICA

$\Delta G > 0$  non spontanea ENDOERGONICA

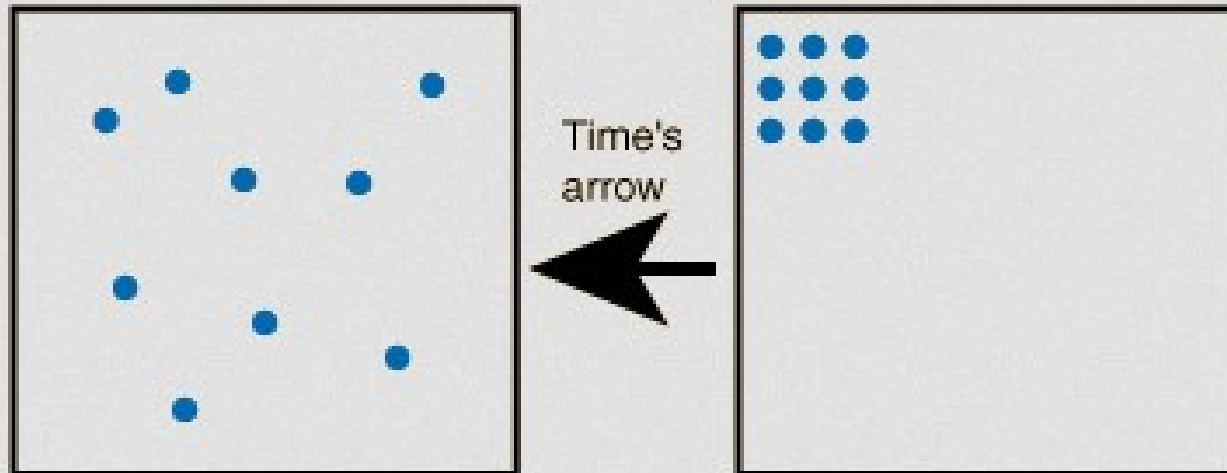
$\Delta G = 0$  all'equilibrio

Se una reazione avviene a T costante

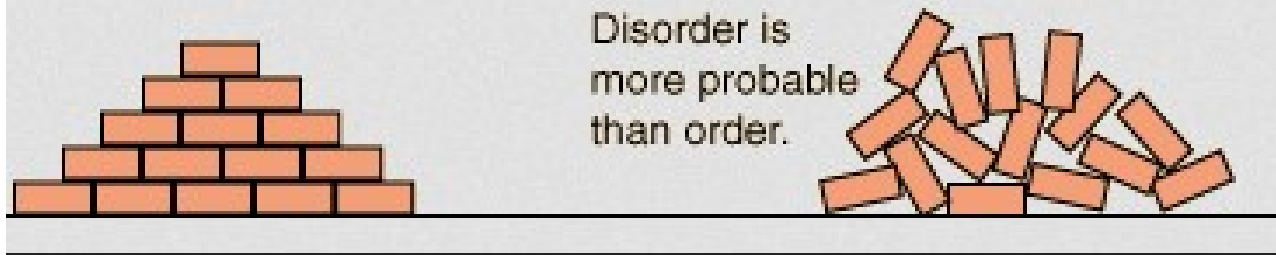
$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$



If the particles represent gas molecules at normal temperatures inside a closed container, which of the illustrated configurations came first?



If you tossed bricks off a truck, which kind of pile of bricks would you more likely produce?



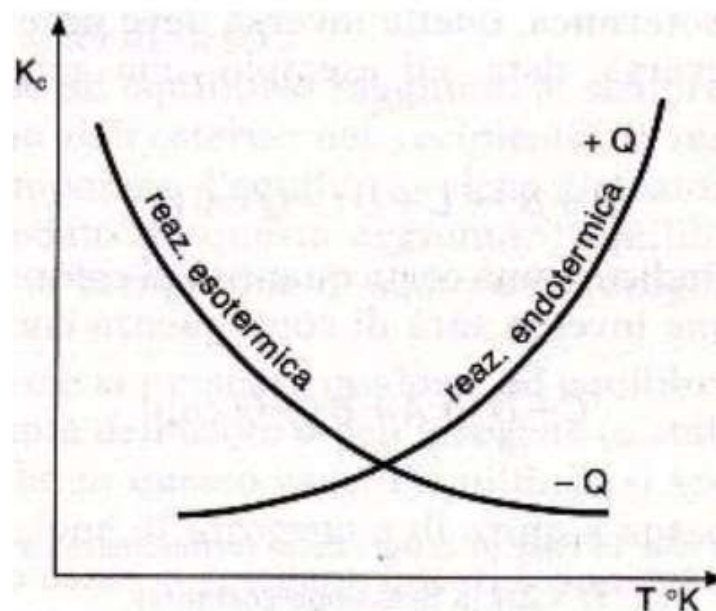
Per una data reazione, la costante di equilibrio  $K_{eq}$  ha un valore caratteristico a ogni data temperatura, al variare della temperatura anche la  $K_{eq}$  varia.

Per reazioni endotermiche ( $\Delta H > 0$ ) un aumento di temperatura provoca lo spostamento dell'equilibrio verso destra in quanto il calore fornito viene assorbito dai reagenti per formare i composti più energetici (prodotti).

reazione endotermica  $A + B + \text{calore} \rightleftharpoons C + D$

Per reazioni esotermiche ( $\Delta H < 0$ ) reazione esotermica un aumento di temperatura provoca lo spostamento dell'equilibrio verso sinistra. Come conseguenza si avrà una diminuzione del valore della  $K_{eq}$

reazione esotermica  $A + B \rightleftharpoons C + D + \text{calore}$

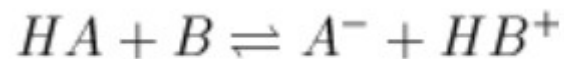


# Equilibri acidi e base in soluzione acquosa

Acidi e di basi secondo la teoria di Brønsted e Lowry

- acido una sostanza capace di cedere ioni H<sup>+</sup> (protoni)
- base una sostanza capace di acquistare ioni H<sup>+</sup> (protoni)

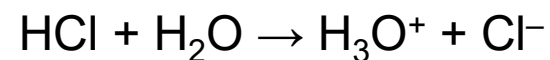
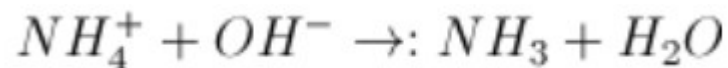
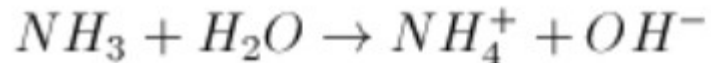
Secondo la teoria di Brønsted e Lowry, l'acido può donare il protone solo in presenza di una base che lo accetti. REAZIONE ACIDO-BASE



A<sup>-</sup> base coniugata di HA

HB<sup>+</sup> acido coniugato di B

Le coppie coniugate acido base differiscono solo per un protone

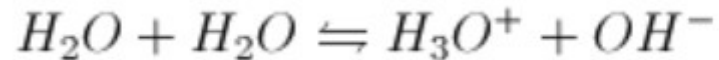


## Coppie acido-base coniugata

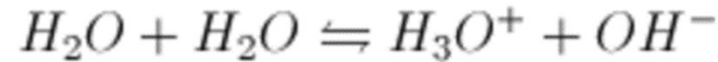
ACIDO				BASE			
pk <sub>a</sub>	k <sub>a</sub>	nome	formula	formula	nome	k <sub>b</sub>	pk <sub>b</sub>
3,74	1,8 x 10 <sup>-4</sup>	acido formico	HCOOH	HCOO <sup>-</sup>	ione formiato	5,5 x 10 <sup>-11</sup>	10,26
4,76	1,7 x 10 <sup>-5</sup>	acido acetico	CH <sub>3</sub> COOH	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	ione acetato	5,9 x 10 <sup>-10</sup>	9,24
6,35	4,5 x 10 <sup>-7</sup>	acido carbonico	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ione idrogeno-carbonato	2,2 x 10 <sup>-8</sup>	7,65
7,02	9,5 x 10 <sup>-8</sup>	acido solfidrico	H <sub>2</sub> S	HS <sup>-</sup>	ione idrogeno-solfuro	1,0 x 10 <sup>-7</sup>	6,98
7,02	9,5 x 10 <sup>-8</sup>	acido solfidrico	H <sub>2</sub> S	HS <sup>-</sup>	ione idrogeno-solfuro	1,0 x 10 <sup>-7</sup>	6,98
7,19	6,5 x 10 <sup>-8</sup>	ione idrogeno-solfito	HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	ione solfito	1,5 x 10 <sup>-7</sup>	6,81
7,20	6,3 x 10 <sup>-8</sup>	ione di-idrogeno-fosfato	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ione idrogeno-fosfato	1,6 x 10 <sup>-7</sup>	6,80
7,53	3,0 x 10 <sup>-8</sup>	acido ipo-cloroso	HClO	ClO <sup>-</sup>	ione ipo-clorito	3,4 x 10 <sup>-7</sup>	6,47
9,24	5,8 x 10 <sup>-10</sup>	acido borico	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ione di-idrogeno-borato	1,7 x 10 <sup>-5</sup>	4,76
9,24	5,8 x 10 <sup>-10</sup>	ione ammonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>3</sub>	ammoniaca	1,7 x 10 <sup>-5</sup>	4,76
10,33	4,7 x 10 <sup>-11</sup>	ione idrogeno-carbonato	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	ione carbonato	2,1 x 10 <sup>-4</sup>	3,67
12,38	4,2 x 10 <sup>-13</sup>	ione idrogeno-fosfato	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	ione fosfato	2,4 x 10 <sup>-2</sup>	1,62
12,89	1,3 x 10 <sup>-13</sup>	ione idrogeno-solfuro	HS <sup>-</sup>	S <sup>2-</sup>	ione solfuro	7,8 x 10 <sup>-2</sup>	1,11

## Prodotto ionico dell'acqua e acidità delle soluzioni

Le proprietà acide e basiche delle soluzioni acquose dipendono da un equilibrio che coinvolge l'acqua



Si tratta di un normale equilibrio acido-base secondo il quale una molecola d'acqua si comporta da acido e un'altra molecola di acqua si comporta da base. Questa reazione è detta di **autoionizzazione** o di autoprotolisi.



$$K_{eq} = \frac{[H_3O^+] \cdot [OH^-]}{[H_2O]^2}$$

$$K_{eq} \cdot [H_2O]^2 = [H^+] \cdot [OH^-]$$

$$K_w = [H^+] \cdot [OH^-]$$

Alla temperatura di 25°C, il suo valore determinato sperimentalmente risulta essere pari a  $1,0 \cdot 10^{-14}$ . Pertanto si ha:

$$K_w = [H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$$

vale non soltanto per l'acqua pura, ma **per qualsiasi soluzione acquosa**

$[H^+] = [OH^-]$ ovvero $[H^+] = 10^{-7}$	<i>soluzione neutra</i>
$[H^+] > [OH^-]$ ovvero $[H^+] > 10^{-7}$	<i>soluzione acida</i>
$[H^+] < [OH^-]$ ovvero $[H^+] < 10^{-7}$	<i>soluzione basica</i>

## pH e pOH

Essendo in soluzioni acquose le concentrazioni degli ioni  $H^+$  e degli ioni  $OH^-$  espresse da valori molto piccoli, da un punto di vista pratico è conveniente utilizzare un operatore matematico che permette di operare con numeri più semplici.

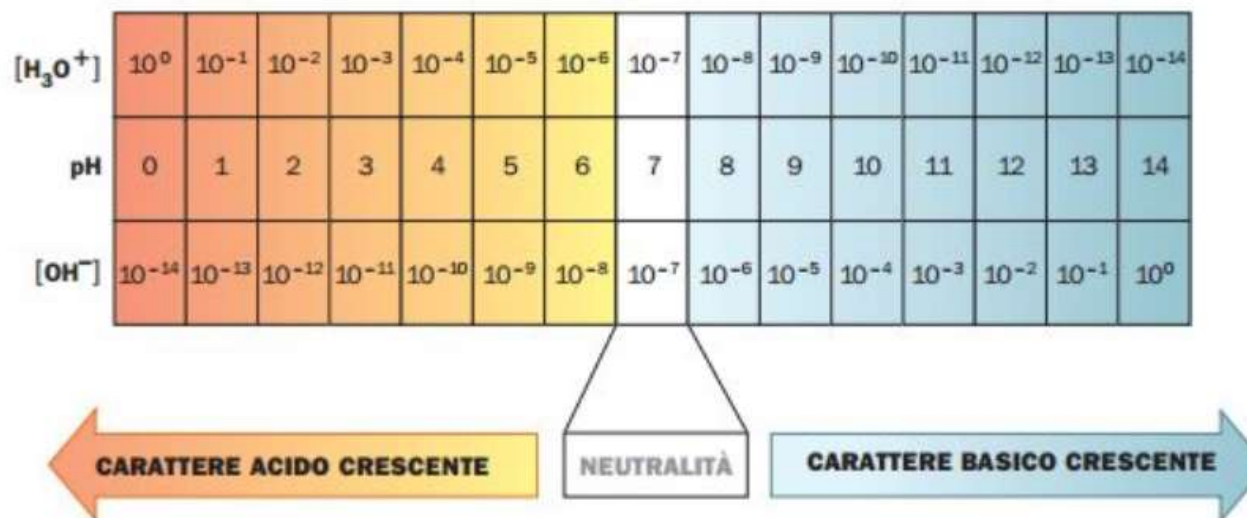
Tale operatore è il **pH**

**Si definisce pH il logaritmo decimale negativo della concentrazione degli ioni  $H^+$ :**

$$pH = -\log [H^+] \quad pOH = -\log [OH^-]$$

$$[H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$$

$$pH + pOH = 14$$

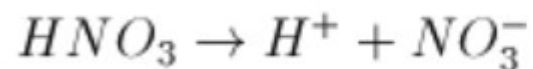




## Forza degli acidi e delle basi: acidi e basi deboli; acidi e basi forti

Sono considerati forti quegli acidi e quelle basi che in acqua sono completamente ionizzati.

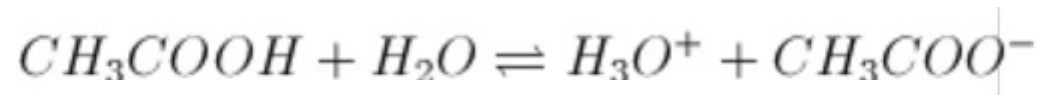
acido nitrico  $\text{HNO}_3$ ;  $\text{HCl}$ ;  $\text{HBr}$ ;  $\text{HI}$ ,  $\text{HClO}_4$



Gli idrossidi del I e del II gruppo della tavola periodica costituiscono invece le basi forti

$\text{NaOH}$ ;  $\text{LiOH}$ ;  $\text{KOH}$ ;  $\text{Ba(OH)}_2$

Gli acidi e le basi deboli invece, quando si sciolgono in acqua, si ionizzano solo in minima parte tendendo a rimanere in forma indissociata



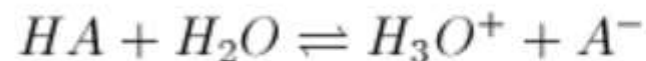
$$K_{eq} = \frac{[H_3O^+] \cdot [CH_3COO^-]}{[CH_3COOH] \cdot [H_2O]}$$

$$K_{eq} \cdot [H_2O] = \frac{[H_3O^+] \cdot [CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$

$$K_a = \frac{[H_3O^+] \cdot [CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$

La costante **Ka** è detta **costante di ionizzazione acida**

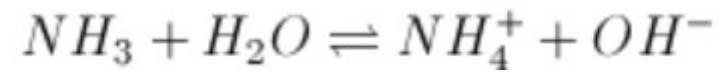
Per un generico acido HA che si dissocia secondo il seguente equilibrio:



possiamo scrivere:

$$K_a = \frac{[H_3O^+] \cdot [A^-]}{[HA]}$$

## Costante di ionizzazione basica



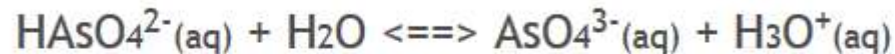
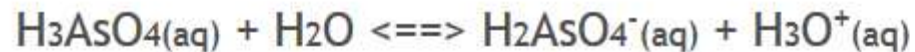
$$K_b = \frac{[NH_4^+] \cdot [OH^-]}{[NH_3]}$$

tanto più debole è la base, tanto più piccolo è il valore della sua costante basica.

Gli acidi poliprotici sono quegli acidi che in soluzione acquosa possono fornire più di un protone.

Essi, nella loro molecola, **contengono più di un atomo di idrogeno**

acido solforico  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , l'acido solforoso  $\text{H}_2\text{SO}_3$ , l'acido arsenico  $\text{H}_3\text{AsO}_4$  e l'acido fosforoso  $\text{H}_3\text{PO}_3$ .



per le quali possiamo scrivere tre costanti di dissociazione:

$$K_{a1} = \frac{[\text{H}_2\text{AsO}_4^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_3\text{AsO}_4]} = 5,0 \cdot 10^{-3}$$

$$K_{a2} = \frac{[\text{HAsO}_4^{2-}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{AsO}_4^-]} = 1,8 \cdot 10^{-7}$$

$$K_{a3} = \frac{[\text{AsO}_4^{3-}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HAsO}_4^{2-}]} = 3,9 \cdot 10^{-12}$$

## Soluzioni tampone

Una soluzione che contiene un acido debole in equilibrio con la sua base coniugata

In grado di mantenere inalterato il suo pH in seguito all'aggiunta di piccole quantità di acidi e basi forti.

La specie basica reagisce con i protoni, la specie acida con gli ioni OH<sup>-</sup>



$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$$

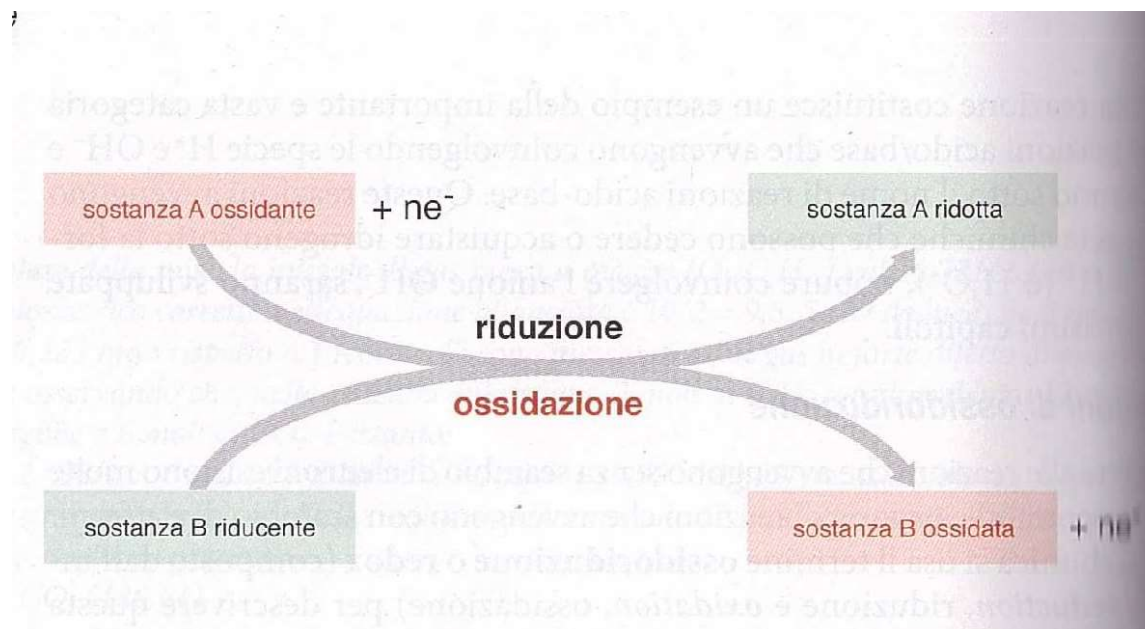
$$[H^+] = \frac{K_a [HA]}{[A^-]} \quad pH = pK_a + \log_{10} \frac{[A^-]}{[HA]} \quad \text{Eq. di Henderson-Hasselbach}$$

-

# Reazioni redox

Avvengono con scambio di elettroni tra gli atomi delle specie che reagiscono

Possono essere pensate come lo svolgersi contemporaneo di due semireazioni: **ossidazione e riduzione**



## NUMERO DI OSSIDAZIONE

Il numero di ossidazione di un elemento in un composto è la carica che l'elemento assumerebbe se tutti i legami fossero ionici

Si attribuiscono gli elettroni del legame all'elemento più elettronegativo



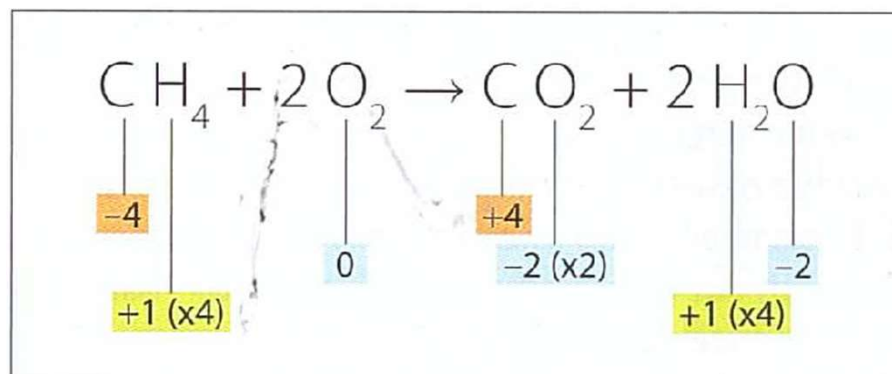


TABELLA 10.3 Le regole per la determinazione del numero di ossidazione di un elemento.

Elementi allo stato libero (cioè non combinati, come H <sub>2</sub> , Ag ecc.)	0
Elementi del I gruppo (come Na, K ecc.) allo stato combinato	+1
Elementi del II gruppo (come Ca, Mg ecc.) allo stato combinato	+2
Idrogeno in tutti i composti	+1
Eccezione: negli idruri dei metalli (esempio NaH, CaH <sub>2</sub> )	-1
Ossigeno in tutti i composti	-2
Eccezioni: perossidi (come H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	-1
superossidi (come K <sub>2</sub> O)	-1/2
fluoruro di ossigeno (F <sub>2</sub> O)	+2
Fluoro in tutti i composti	-1
Alluminio in tutti i composti	+3
Zinco in tutti i composti	+2
Somma algebrica dei n.o. di tutti gli atomi in una sostanza neutra	0
Somma algebrica del n.o. di tutti gli atomi di una specie carica	Valore della carica



## tabella dei potenziali di ossido - riduzione

	(specie ossidata)	(specie ridotta)	Potenziale normale E° (volt)	
<b>Agenti ossidanti molto energici</b>  ↑  Aumenta il potere ossidante Aumenta la capacità di acquistare elettroni	$F_2(g) + 2e^-$	$\rightleftharpoons 2F^-$	+ 2,85	<b>Agenti riducenti molto deboli</b>  ↓  Aumenta il potere riducente Aumenta la capacità di cedere elettroni
	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^-$	$\rightleftharpoons 2H_2O$	+ 1,77	
	$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^-$	$\rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$	+ 1,52	
	$PbO_2 + 4H^+ + 2e^-$	$\rightleftharpoons Pb^{2+} + 2H_2O$	+ 1,44	
	$Cl_2(g) + 2e^-$	$\rightleftharpoons 2Cl^-$	+ 1,36	
	$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^-$	$\rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O$	+ 1,33	
	$MnO_2 + 4H^+ + 2e^-$	$\rightleftharpoons Mn^{2+} + 2H_2O$	+ 1,28	
	$O_2(g) + 4H^+ + 4e^-$	$\rightleftharpoons 2H_2O(l)$	+ 1,23	
	$Br_2(l) + 2e^-$	$\rightleftharpoons 2Br^-$	+ 1,07	
	$NO_3^- + 4H^+ + 3e^-$	$\rightleftharpoons NO(g) + 2H_2O$	+ 0,95	
	$Hg^{2+} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Hg$	+ 0,85	
	$O_2 + 4H^+ + 4e^-$	$\rightleftharpoons 2H_2O$	+ 0,815	
	$Ag^+ + e^-$	$\rightleftharpoons Ag$	+ 0,81	
	$Hg_2^{2+} + 2e^-$	$\rightleftharpoons 2Hg$	+ 0,79	
	$NO_3^- + 2H^+ + e^-$	$\rightleftharpoons NO_2(g) + H_2O$	+ 0,78	
$Fe^{3+} + e^-$	$\rightleftharpoons Fe^{2+}$	+ 0,77		
$O_2(g) + 2H^+ + 2e^-$	$\rightleftharpoons H_2O_2$	+ 0,68		
$I_2(g) + 2e^-$	$\rightleftharpoons 2I^-$	+ 0,58		
$Cu^+ + e^-$	$\rightleftharpoons Cu(s)$	+ 0,52		
$Cu^{2+} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Cu$	+ 0,34		
$SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^-$	$\rightleftharpoons SO_2(g) + 2H_2O$	+ 0,17		
$Cu^{2+} + e^-$	$\rightleftharpoons Cu^+$	+ 0,15		
$S + 2H^+ + 2e^-$	$\rightleftharpoons H_2S$	+ 0,14		
$H^+ + e^-$	$\rightleftharpoons 1/2H_2(g)$	0,00		
$Pb^{2+} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Pb$	- 0,13		
$Sn^{2+} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Sn$	- 0,16		
$Ni^{2+} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Ni$	- 0,25		
$Co^{2+} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Co$	- 0,28		
$Cd^{2+} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Cd$	- 0,40		
$Cr^{3+} + e^-$	$\rightleftharpoons Cr^{2+}$	- 0,41		
$H^+ + e^-$	$\rightleftharpoons H(g)$	- 0,414		
$Fe^{2+} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Fe$	- 0,44		
$Cr^{3+} + 3e^-$	$\rightleftharpoons Cr$	- 0,74		
$Zn^{2+} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Zn$	- 0,76		
$2H_2O + 2e^-$	$\rightleftharpoons 2OH^- + H_2(g)$	- 0,83		
$Mn^{2+} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Mn$	- 1,18		
$Al^{3+} + 3e^-$	$\rightleftharpoons Al$	- 1,66		
$Mg^{2+} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Mg$	- 2,37		
$Na^+ + e^-$	$\rightleftharpoons Na$	- 2,71		
$Ca^{2+} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Ca$	- 2,87		
$Ba^{2+} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Ba$	- 2,90		
$K^+ + e^-$	$\rightleftharpoons K$	- 2,92		
$Li^+ + e^-$	$\rightleftharpoons Li$	- 3,02		
<b>Agenti ossidanti molto deboli</b>				<b>Agenti riducenti molto energici</b>

## I composti del carbonio – composti organici

Molecole a base di carbonio in legame più frequentemente con H, O e N (P e S)

Il carbonio è il solo elemento in grado di formare lunghe catene anche ramificate di atomi di carbonio legati da legami covalenti

## Idrocarburi

Formati da esclusivamente C e H

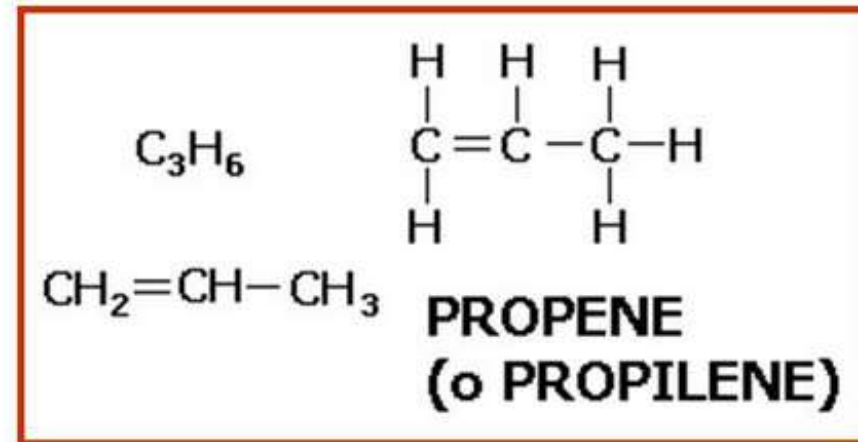
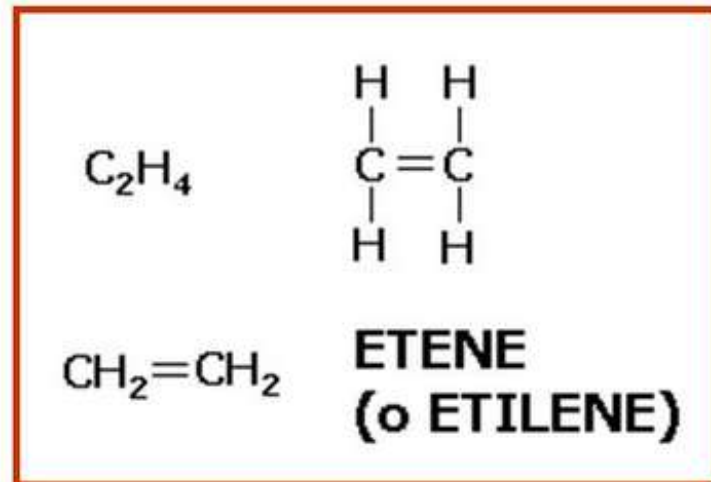


## Idrocarburi saturi (alcani)

Nomi	Formule
metano	CH <sub>4</sub>
etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
esano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>
eptano	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>
ottano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
nonano	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>
decano	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>

Sono apolari, le molecole interagiscono con interazioni di Van der Waals, fino a 4 atomi di carbonio sono gassosi a T ambiente

## Idrocarburi insaturi (alcheni)



## Gruppi funzionali dei composti organici

Idealmente gli altri composti organici si formano per sostituzione di un gruppo metile terminale o un gruppo  $-\text{CH}_2-$  intermedio con un altro gruppo chimico

$-\text{CH}_2\text{OH}$  gruppo alcolico

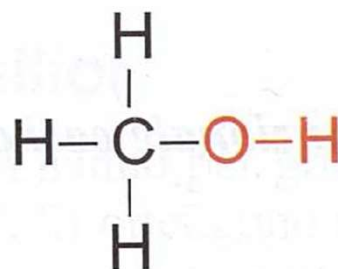
$\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ -\text{C}=\text{O} \end{array}$  gruppo aldeidico

$\text{>C}=\text{O}$  gruppo chetonico

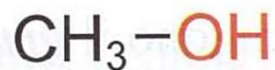
$-\text{COOH}$  gruppo carbossilico o carbossile

# Alcoli

-OH è un gruppo polare

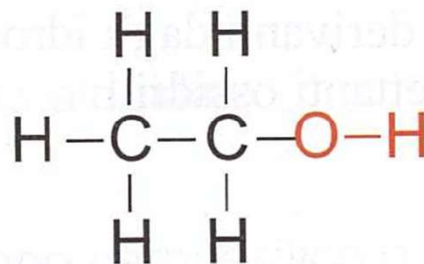


Formula di struttura



Formula condensata

## Metan-olo



Formula di struttura



Formula condensata

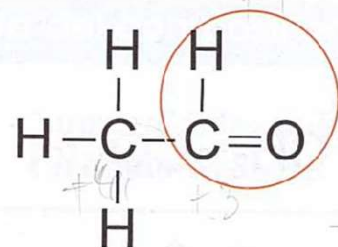
## Etan-olo

**TABLE 23.3 Solubilities of some Alcohols in Water and in Hexane\***

<b>Alcohol</b>	<b>Solubility in H<sub>2</sub>O</b>	<b>Solubility in C<sub>6</sub>H<sub>14</sub></b>
CH <sub>3</sub> OH (methanol)	∞	0.12
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH (ethanol)	∞	∞
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH (1-propanol)	∞	∞
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH (1-butanol)	0.11	∞
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH (1-pentanol)	0.030	∞
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH (1-hexanol)	0.0058	∞
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH (1-heptanol)	0.0008	∞

\* Expressed in mol alcohol/100 g solvent at 20°C. The infinity symbol indicates that the alcohol is completely miscible with the solvent.

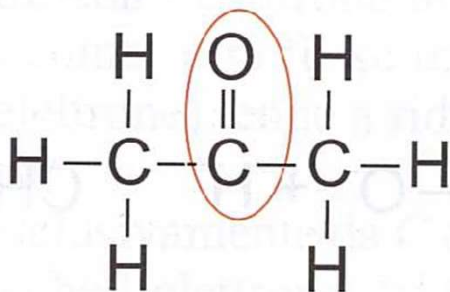
# Aldeidi



Formula di struttura di un'aldeide  
(acetaldeide, derivata dall'etanolo)

Formula condensata

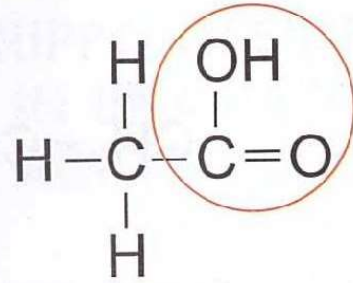
# Chetoni



Formula di struttura di un chetone (acetone)



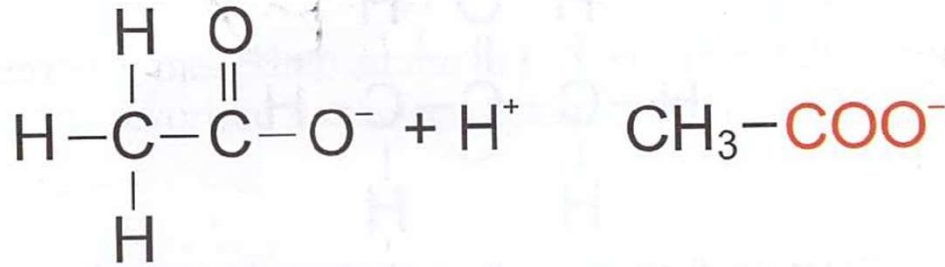
# Acidi carbossilici



Formula di struttura



Formula condensata

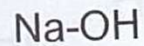


Nome dello ione = acetato

## IL GRUPPO OSSIDRILE -OH È PRESENTE IN UNA BASE, IN UN ALCOL, IN UN ACIDO MA HA REATTIVITÀ DIVERSA

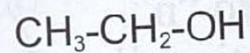
In acqua:

Base *soda*



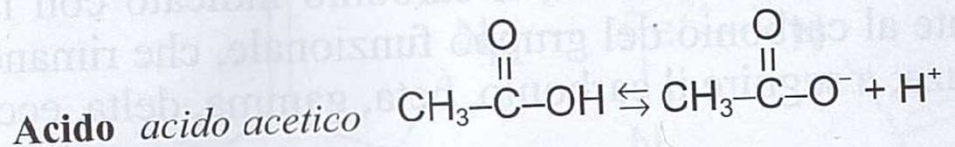
si formano  $\text{Na}^+$  e lo ione  
ossidrile  $\text{OH}^-$

Alcol *etanolo*



il gruppo ossidrile non dissocia

Acido *acido acetico*



il gruppo ossidrile dissocia  
liberando il protone  $\text{H}^+$

*La diversa reattività dell'-OH dipende dall'atomo a cui è legato.*

Nella *soda* il sodio ha forte tendenza a cedere l'elettrone e a diventare ione positivo  $\text{Na}^+$ , l'elettrone si trasferisce sull'ossigeno dell'-OH che si distacca come  $\text{OH}^-$ .

Nell'*alcol* il gruppo funzionale alcolico è tenuto saldamente insieme da legami covalenti e non dissocia; nell'alcol la differenza in elettronegatività fra C, O, H non è tale da consentire il trasferimento di elettroni e quindi la formazione di ioni con conseguente dissociazione.

Nell'*acido* la presenza sul medesimo atomo di C di due atomi di ossigeno elettronegativi, che attirano l'elettrone, favorisce il distacco del protone  $\text{H}^+$  positivo.



## ETERI

Questi composti si possono considerare derivati dal legame di due molecole di alcol (legame etere) con l'eliminazione di una molecola di acqua.

L'etere etilico era usato in medicina come anestetico.



Formazione dell'etere etilico per condensazione di due alcoli.

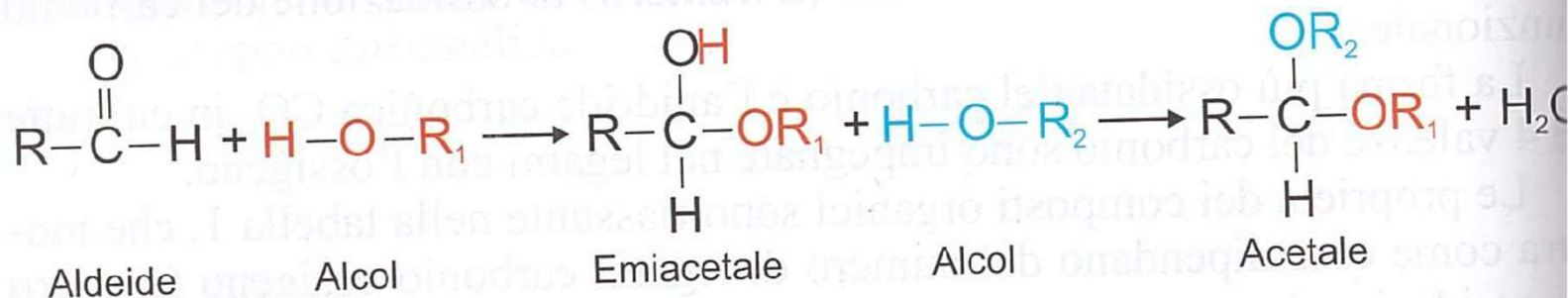
La formula condensata dell'etere etilico è:  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

## ACETALI

L'acetale si forma dalla reazione fra aldeide (o chetone) ed alcol con eliminazione di acqua.

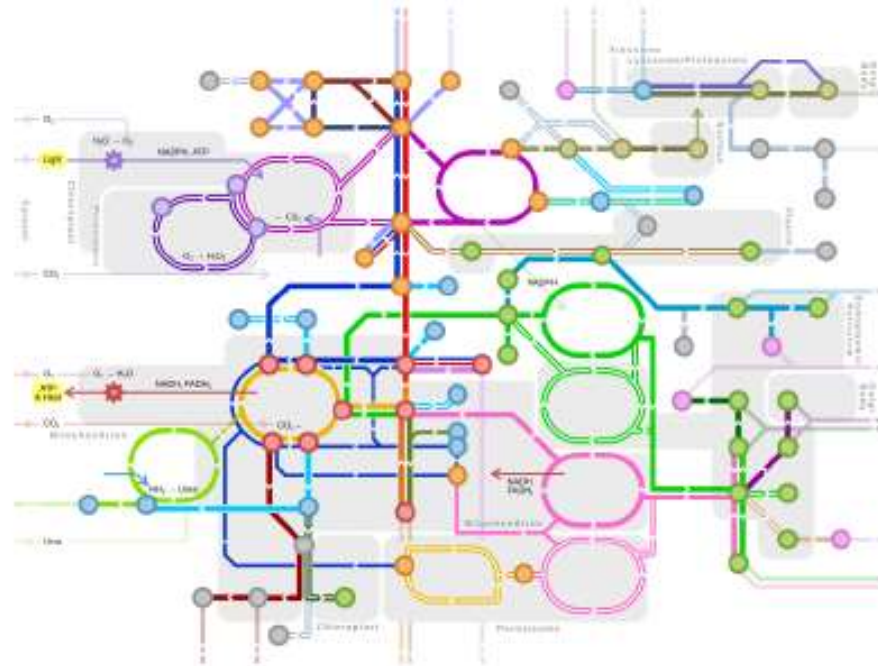
L'aldeide può legare una molecola di alcol: legame emiacetalico (presente nella struttura ad anello dei monosaccaridi) (vedi capitolo 4).

L'emiacetale può a sua volta legare una seconda molecola di alcol: legame acetalico propriamente detto (il legame acetalico unisce i monosaccaridi a dare glucidi complessi) (vedi capitolo 4).





## Il metabolismo



Una **pathway metabolica (via metabolica)** è una sequenza di reazioni chimiche in cui i prodotti di una reazione diventano i substrati della reazione successiva fino alla formazione di un metabolita finale



Tutte le pathways metaboliche hanno i seguenti protagonisti:

**1.SUBSTRATI** le molecole di partenza della pathway metabolica

**2.INTERMEDI DI REAZIONE** che si formano tra l'inizio e la fine della catena

**3.ENZIMI** catalizzano ognuna delle reazioni chimiche

**4.TRASPORTATORI di ENERGIA (ATP)** donano energia a reazioni che ne hanno bisogno (per formare legami chimici) o accumulano energia (chimica) quando viene prodotta (rilasciata) durante una reazione chimica (per rottura di legami chimici)

**5.PRODOTTI:** composti chimici generati al termine della catena metabolica

Le biomolecole sono ordinate in una GERARCHIA CRESCENTE  
nella complessità molecolare



Le macromolecole che costituiscono gli esseri viventi (ruolo strutturale e funzionale) :

**PROTEINE**

**GLUCIDI (ZUCCHERI, CARBOIDRATI, SACCARIDI)**

**LIPIDI (GRASSI)**

ACIDI NUCLEICI (DNA e RNA)

**VITAMINE e COENZIMI** (*coadiuvano l'attività di altre macromolecole*)

*Alcoli, acidi carbossilici, aldeide, chetoni.....*

*Composti organici (composti del carbonio): a base di carbonio legato ad ossigeno, idrogeno ed azoto*



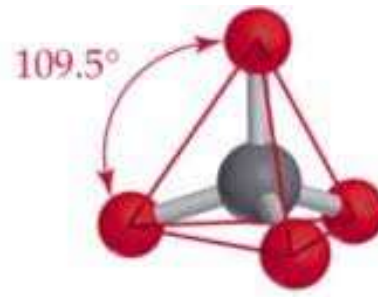
## La chimica dei viventi si basa sulla chimica dell'atomo di carbonio

Le proprietà chimiche e strutturali delle molecole organiche sono in gran parte conferite dalle proprietà chimiche dell'atomo di carbonio

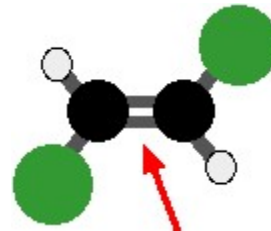
§ Forma sempre quattro legami covalenti (può legare covalentemente fino a quattro atomi, anche con altri atomi di carbonio)

§ E' il solo elemento che ha la capacità di formare stabili catene di atomi di C legati tra loro

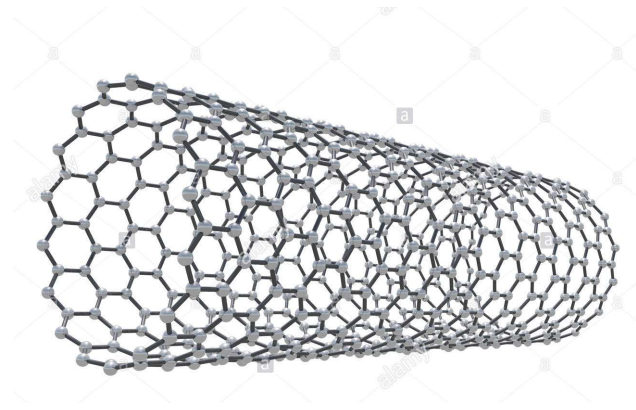
§ Un atomo di C legato ad altri quattro atomi genera una struttura tridimensionale tetraedrica



§ Un atomo di carbonio legato con doppio legame ad un altro atomo forma invece una struttura planare

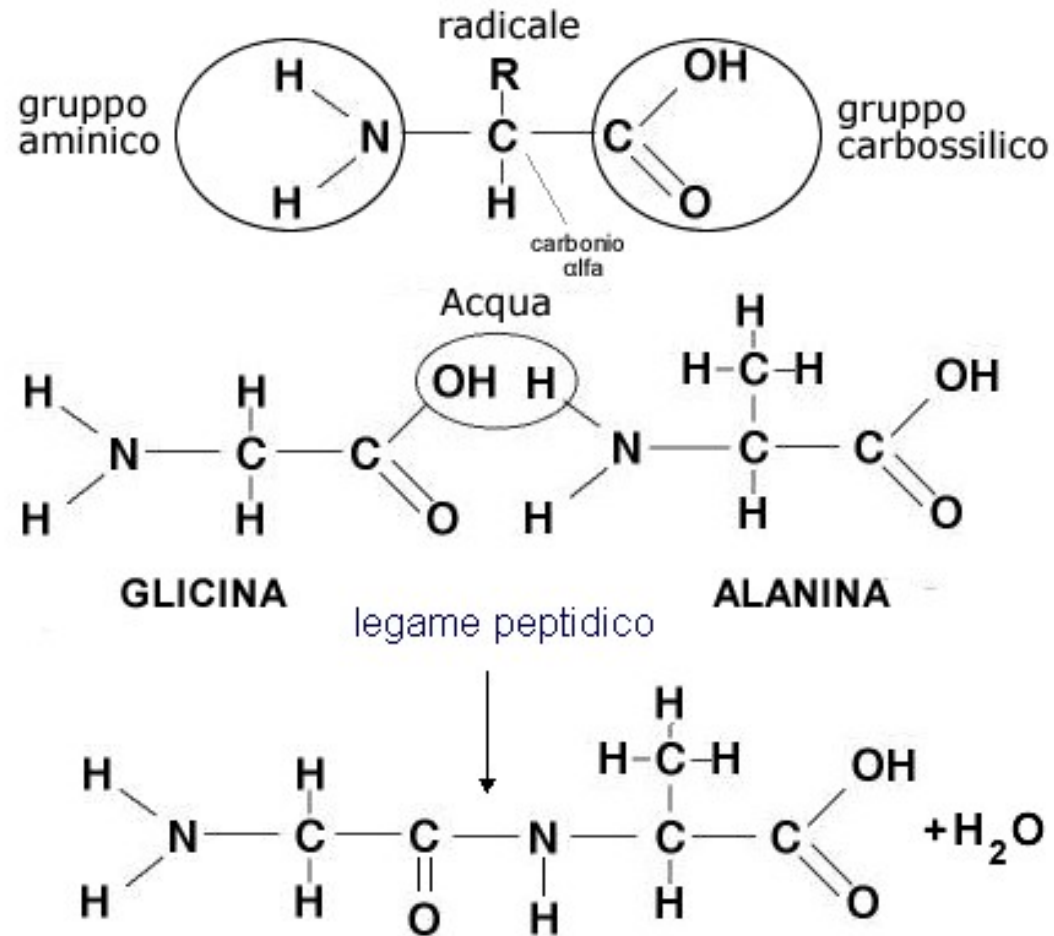


La diversa forma, tetraedrica o planare, che i diversi atomi di carbonio assumono in un composto organico permette di generare strutture molecolari tridimensionali anche molto complesse



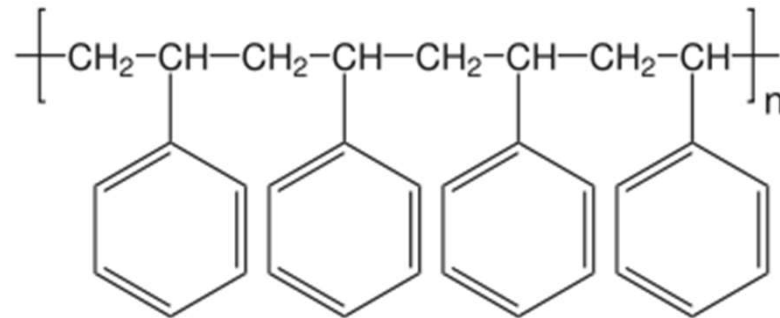
# *Le proteine: polimeri lineari non ramificati*

$\alpha$ -aminoacidi (20 tipi)

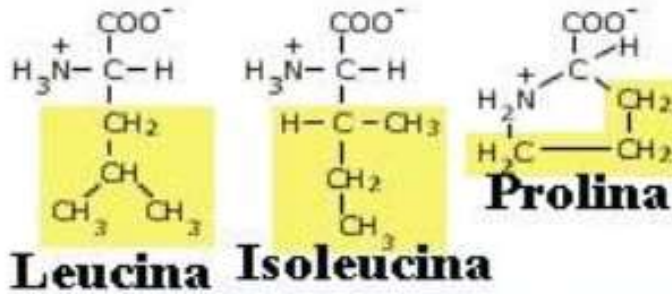
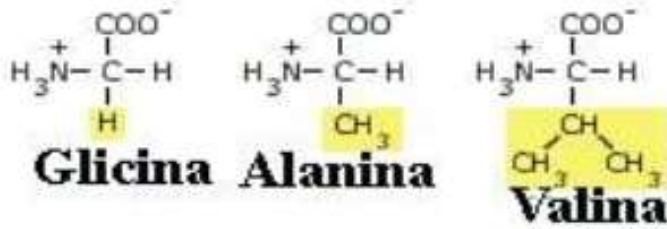


**Essenziali e non essenziali, semi-essenziali**

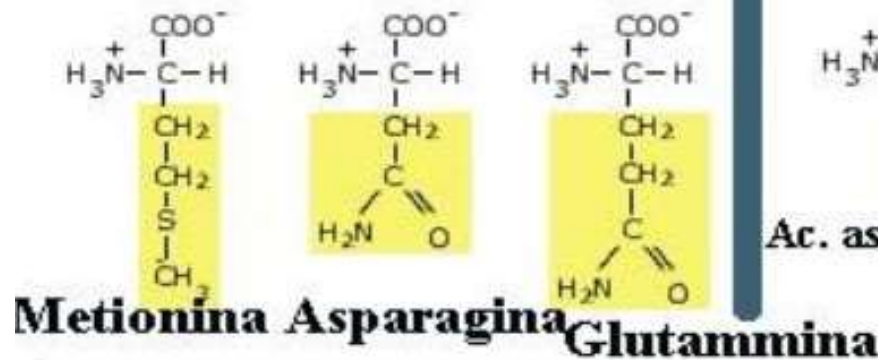
**Polimero:** Un polimero è una macromolecola, ovvero una molecola dall'elevato peso molecolare, costituita da un gran numero di molecole sottomultiple (dette unità ripetitive o monomeri), uguali o simili tra loro, unite "a catena" mediante la ripetizione dello stesso tipo di legame covalente.



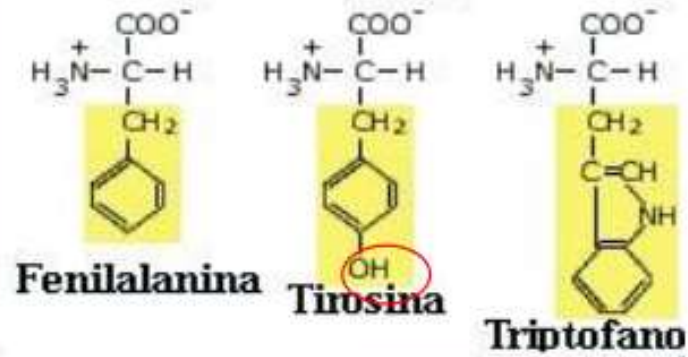
**Aminoacidi con R non polare**



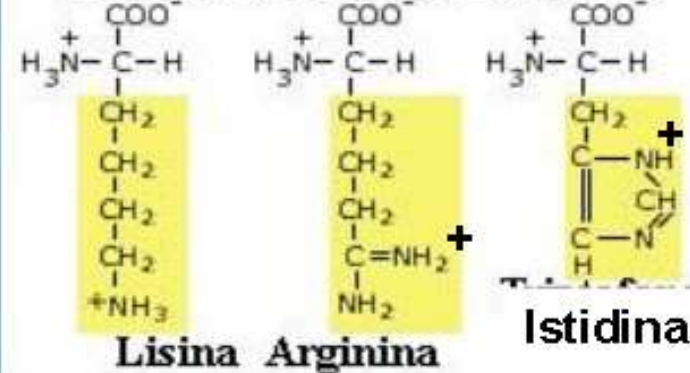
**Aminoacidi con R polare**



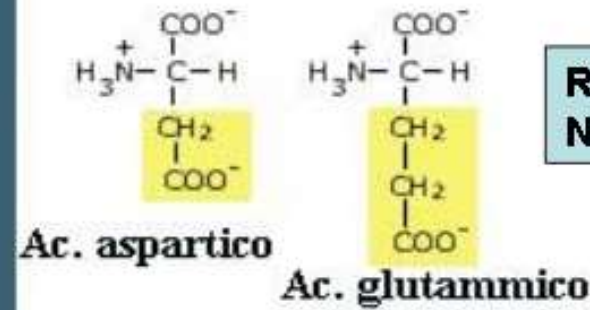
**Aminoacidi con gruppi aromatici**



**Aminoacidi con R carico posit.**



**R carico Negativ.**



**Tabella 3.1**  
*Abbreviazioni degli aminoacidi.*

<b>Amino acidi</b>	<b>tre lettere (*)</b>	<b>una lettera</b>
Alanina	Ala	A
Arginina	Arg	R
Asparagina	Asn	N
Aspartato	Asp	D
Cisteina	Cys	C
Glicina	Gly	G
Glutamina	Gln	Q
Glutammato	Glu	E
Istidina	His	H
Isoleucina	Ile	I
Leucina	Leu	L
Lisina	Lys	K
Metionina	Met	M
Fenilalanina	Phe	F
Prolina	Pro	P
Serina	Ser	S
Treonina	Thr	T
Triptofano	Trp	W
Tirosina	Tyr	Y
Valina	Val	V

## ***RUOLO DELLE PROTEINE IN UN ORGANISMO (estremamente versatili)***

### **Catalizzatori (enzimi)**

specie chimica che interviene durante lo svolgimento di reazione chimica aumentandone la velocità, rimanendo comunque inalterato al termine della stessa (a differenza dei reagenti, che si consumano al procedere della reazione)

### **Funzione strutturale**

Sono le principali componenti del tessuto connettivo, cartilagine, ossa, si trovano in tutti i tessuti dell'organismo negli spazi extracellulari (matrice extracellulare-Collagene, elastina), si trovano sulla membrana cellulare e in quella di tutti gli organelli cellulari.

### **Trasporto**

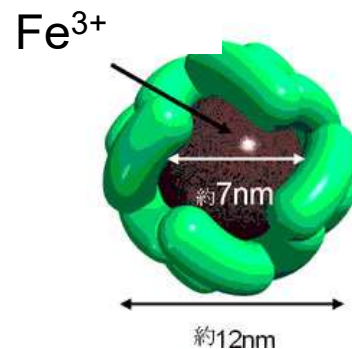
Dentro e fuori una cellula (proteine di membrana)

Da un compartimento cellulare all'altro

Da un tessuto all'altro attraverso il sangue (emoglobina-ossigeno, lipoproteine-grassi)

### **Deposito**

Ferritina: ferro





## Funzione contrattile

Muscolo: actina e miosina

## Regolazione ormonale

Insulina, glucagone, paratormone (cellule ad attività endocrina, gli ormoni agiscono su cellule bersaglio. Poste anche su tessuti molto distanti dal sito di produzione dell'ormone)

## Protezione

Gli anticorpi sono immunoglobuline ovvero proteine che legano il corpo estraneo che deve essere fagocitato dalle cellule del sistema immunitario.

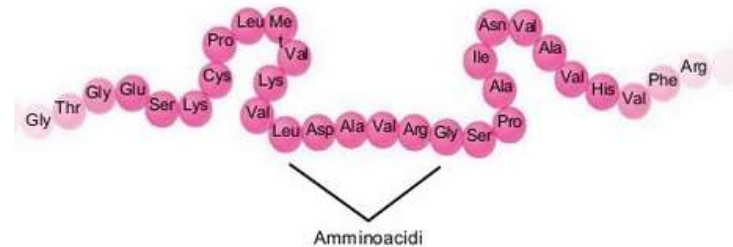
## Regolazione dell'espressione genica

Fattori di trascrizione

## Trasduzione del segnale

La **trasduzione intracellulare del segnale** è la catena di reazioni che, ricevendo segnali da molecole messaggere (es. ormoni) tramite recettori proteici della superficie cellulare, interagisce con bersagli molecolari intracellulari di vario tipo per attivare o disattivare l'espressione genica di fattori di trascrizione, i quali sono essenziali per la regolazione dell'espressione genica di altri geni.

Una catena lineare di amminoacidici è chiamata "**polipeptide**" (ovvero una catena di più amminoacidi legati da legami peptidici). Polipeptidi brevi, contenenti meno di circa 20-30 amminoacidi, sono comunemente chiamati **peptidi** o talvolta **oligopeptidi**.



**Per proteina si intende il polimero FUNZIONALE:** o da singola catena polipeptidica o da più catene polipeptidiche.

Quanto può essere lunga la catena polipeptidica di una proteina? Da qualche centinaio a qualche migliaio di a.a.

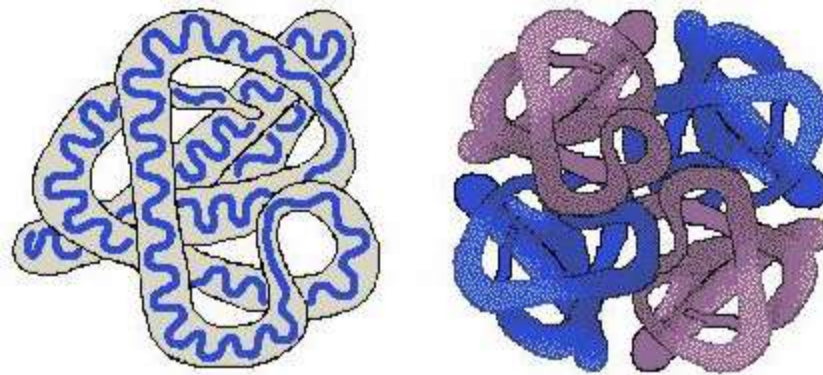
Quante proteine diverse possono essere espresse in una cellula?

19000-20000 geni ciascuno codifica per una (o più) catene polipeptidiche.

Cosa rende una proteina «funzionale»: l'assunzione di una specifica e caratteristica

## CONFORMAZIONE

struttura tridimensionale data dal ripiegamento nello spazio della catena polipeptidica e, per alcune proteine, dall'associazione di due o più catene polipeptidiche ripiegate



La **conformazione** di una proteina è in stretta relazione con la sua **funzione**....

**Il cambiamento o perdita della conformazione comporta perdita della funzionalità**

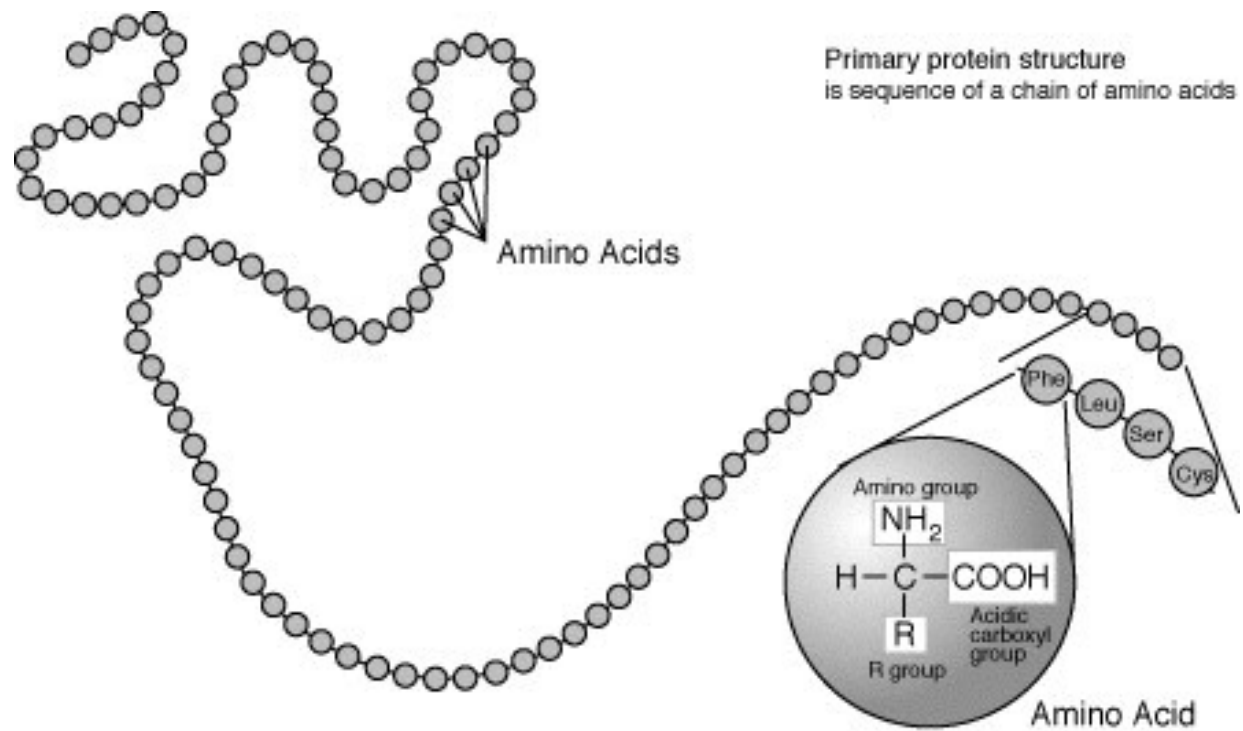
Nella **conformazione** di una proteina si possono distinguere quattro livelli gerarchici di strutturazione

Struttura primaria

Struttura secondaria

Struttura terziaria

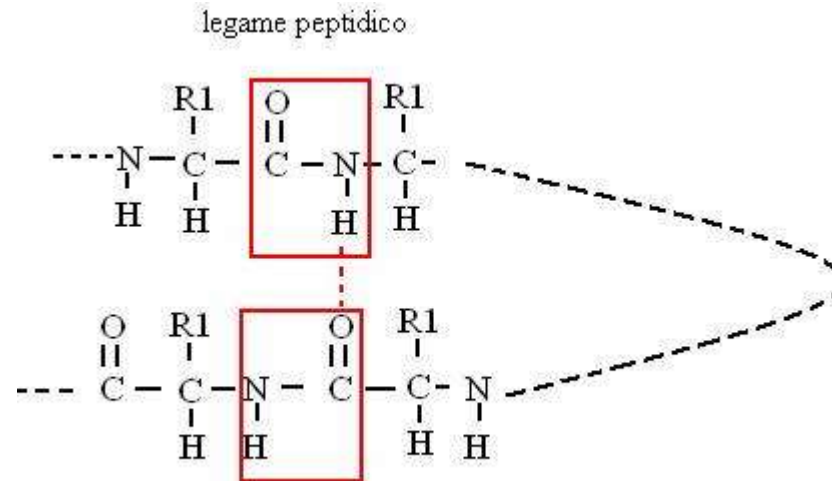
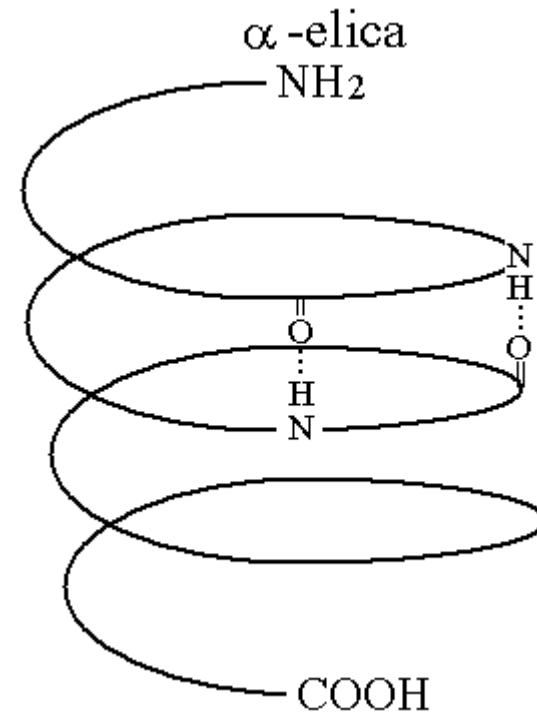
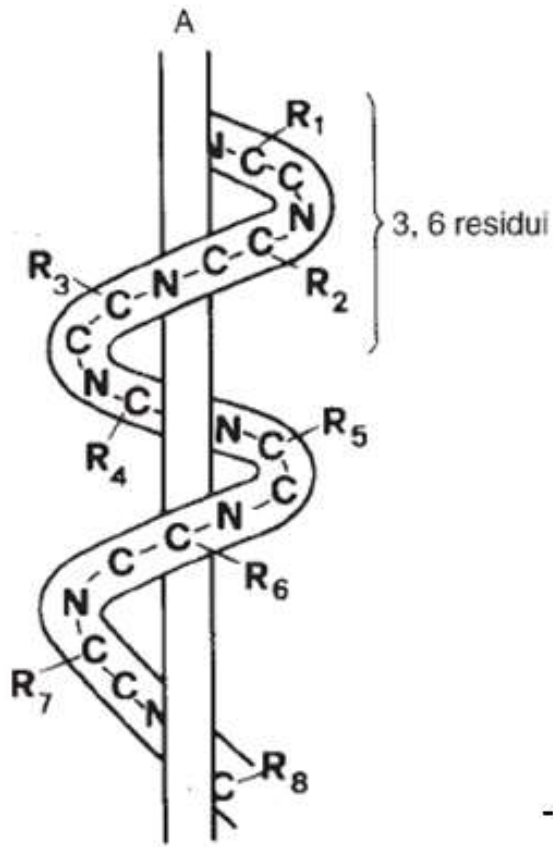
*Struttura quaternaria*



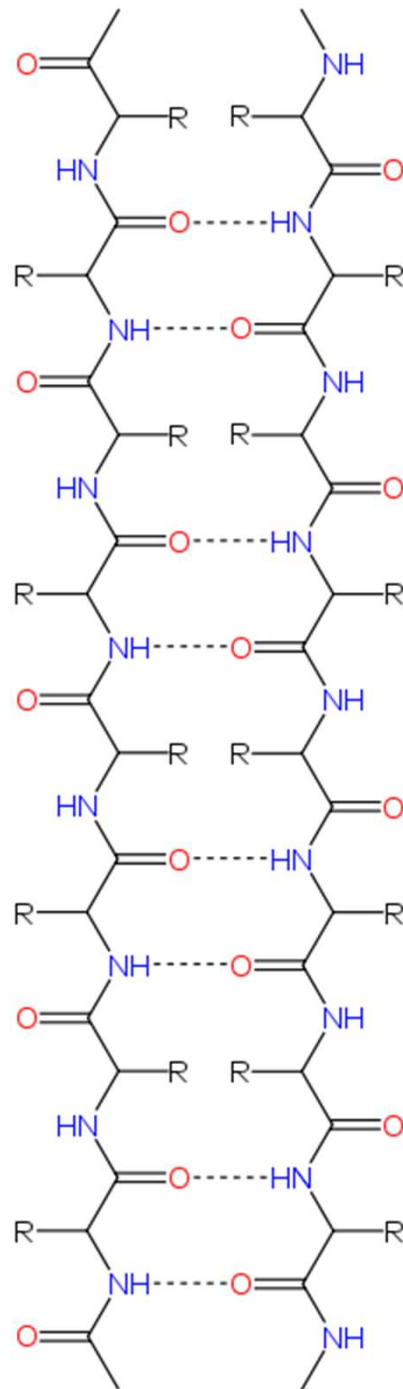
Struttura primaria: è una catena di aminoacidi

La struttura secondaria può avere due diverse conformazioni:

## **$\alpha$ -elica**



# $\beta$ -foglietto

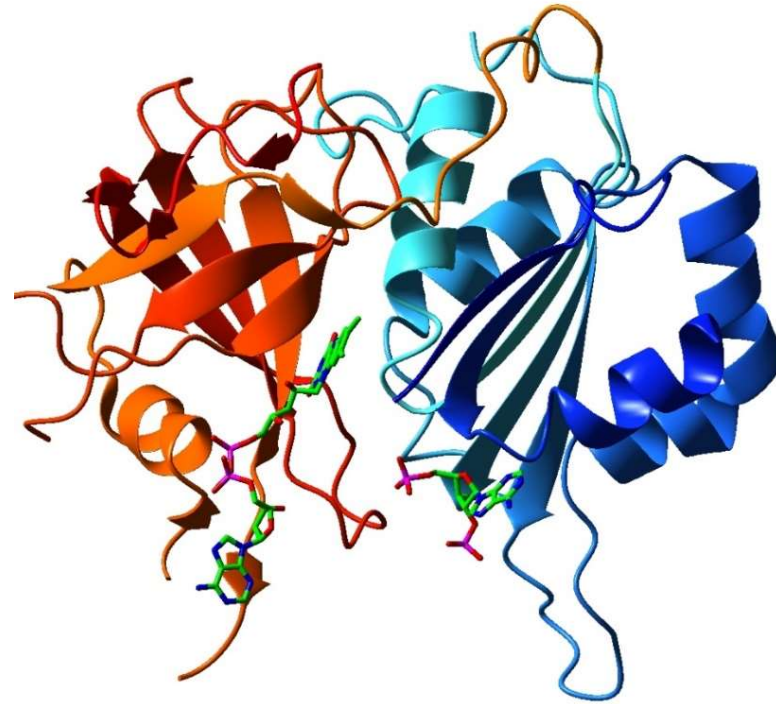


Struttura planare da cui i residui R sporgono alternativamente al di sotto ed al di sopra del piano



## Struttura terziaria

Si combinano regioni della proteina ad alfa elica, con regioni a beta foglietto collegate da regioni random coil (avvolgimento casuale)



**Gruppi prostetici**, gruppi molecolari di tipo non proteico che nelle **proteine**, cosiddette **coniugate**, sono uniti alla parte proteica della molecola

## Struttura quaternaria

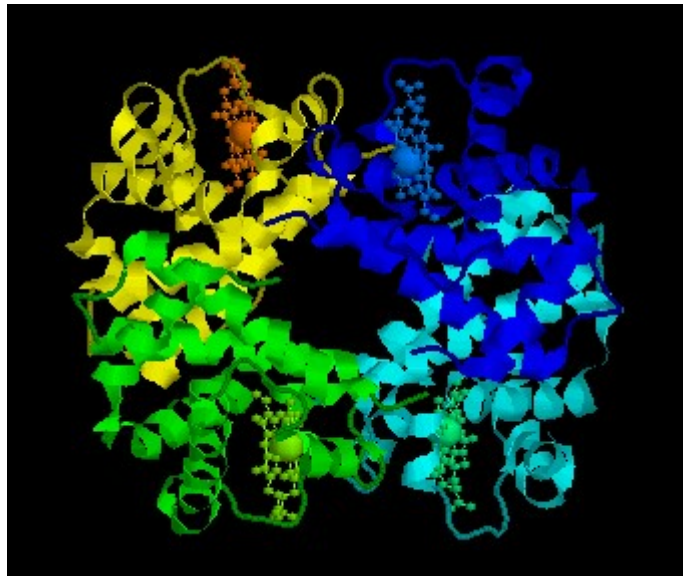
Dall'associazione di due o più catene polipeptidiche, ciascuna delle quali dotata di struttura terziaria.

Catena polipeptidica: subunità

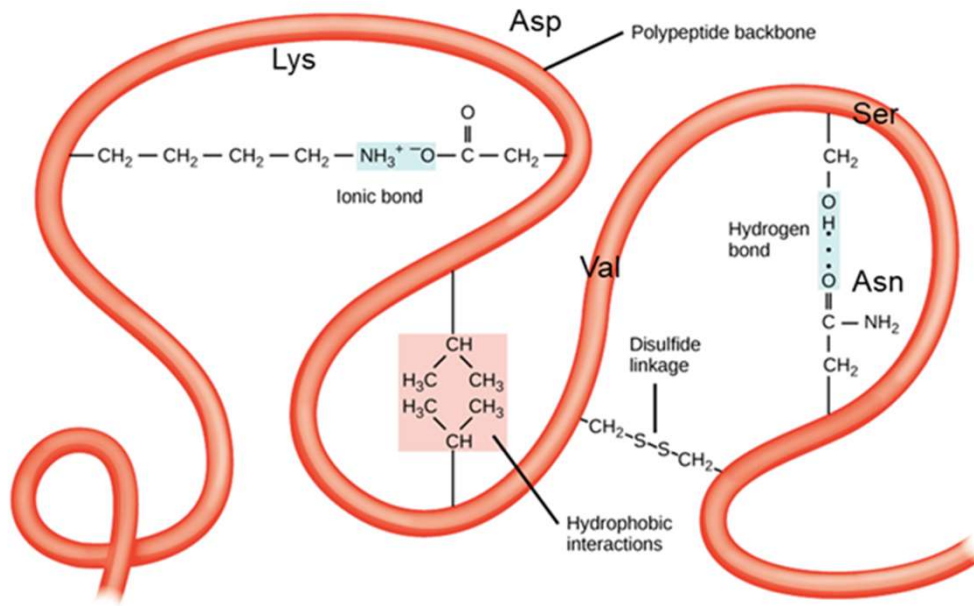
Dimero, trimero, tetramero.....

Le subunità possono essere identiche OMO-

Le subunità possono essere diverse ETERO-



Stabilizzata da interazioni deboli fra i gruppi laterali di a.a. anche distanti tra loro lungo la catena ma vicini a seguito del ripiegamento.

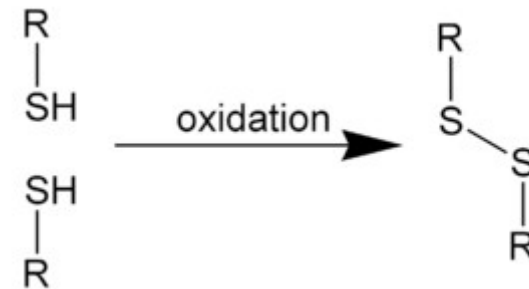


Interazioni elettrostatiche

Legami idrogeno

Interazioni di van der Waals

Legami disolfuro o ponte disolfuro (S-S)

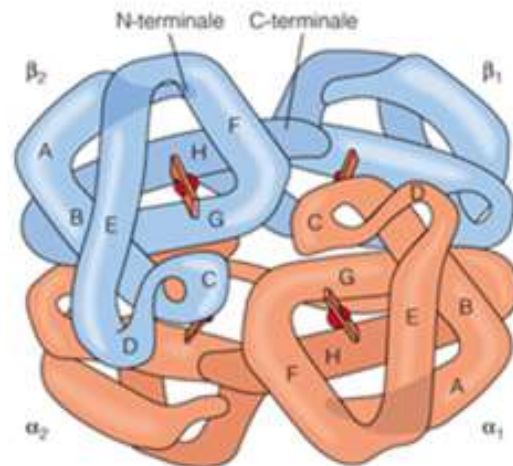


La struttura primaria di una proteina determina sia la conformazione sia, quindi, la funzione che essa svolge

Anche una piccola variazione nella sequenza può renderla inattiva se tale variazione interessa aminoacidi i cui gruppi laterali sono coinvolti nella stabilizzazione della sua struttura

L'anemia falciforme, per esempio, è una malattia molto grave del sangue causata da un'alterazione dell'emoglobina che la rende meno capace di trasportare ossigeno. Tale alterazione è dovuta alla sostituzione di un solo aminoacido

## EMOGLOBINA (Hb)



Piccole variazioni reversibili della conformazione di una proteina sono sfruttate in condizioni fisiologiche per modularne la funzione

Proteine di trasporto

Enzimi

Interazione actina-miosina

Interazione antigene-anticorpo

Interazioni ormone-recettore

I legami deboli che mantengono la conformazione della proteina possono essere rotti e riformati al variare di condizioni fisiologiche come pH, concentrazioni di ioni come  $\text{Ca}^{2+}$ , legame alla proteina di altre piccole molecole, con conseguenze sulla sua conformazione e quindi sulla sua funzione

# Modulazione del metabolismo

**1. La cellula è in grado di regolare il proprio metabolismo  
modificando la conformazione delle proteine**

## 2. Modulazione della concentrazione:

§ a livello dei meccanismi di sintesi e degradazione delle proteine

Più dispendioso dal punto di vista energetiche più lento (meno immediato)

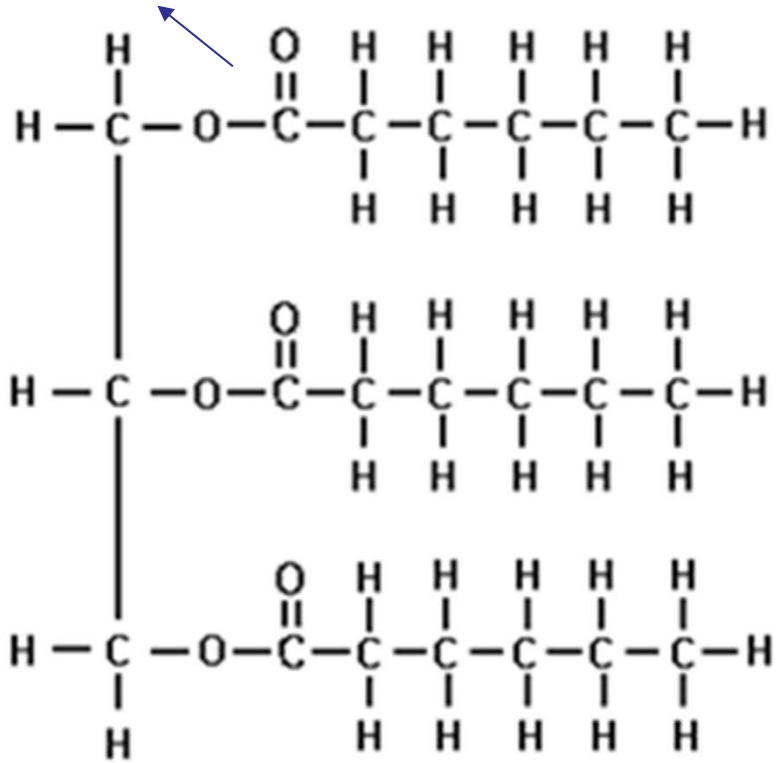
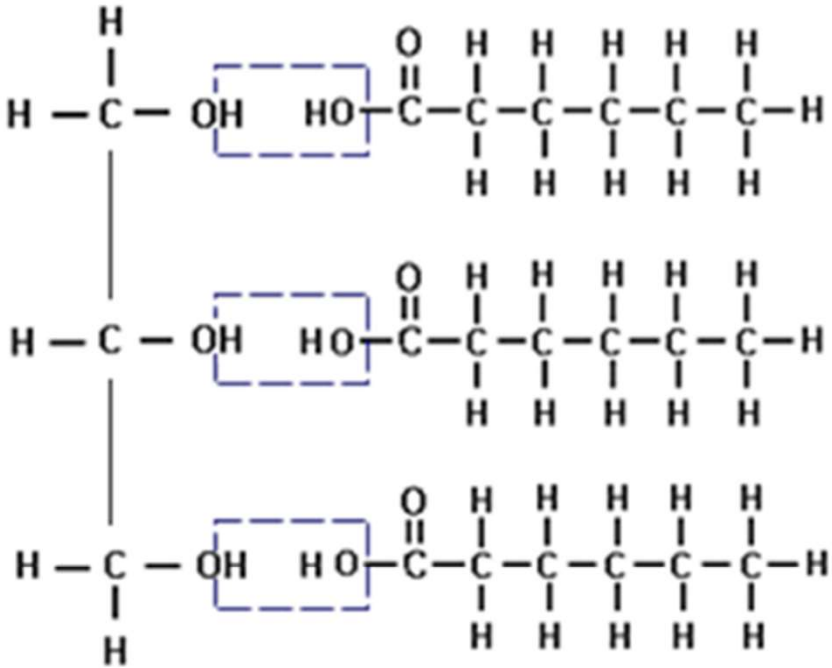
ma più duraturo nel tempo







Legame estere



Glicerolo + Tre acidi grassi - 3H<sub>2</sub>O = TRIGLICERIDE  
o  
Triacilglicerolo

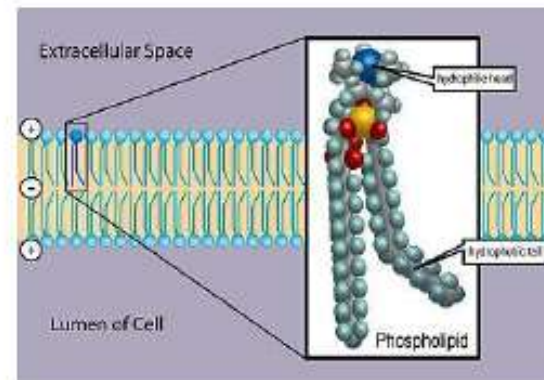
Forma in cui acidi grassi immagazzinati e trasportati nel sangue

## FOSFOLIPIDI ( glicerofosfolipidi )



- R gruppo carico o polare

## § MOLECOLA ANFIPATICA



## Ruolo dei fosfolipidi

§ **Strutturale** - membrane

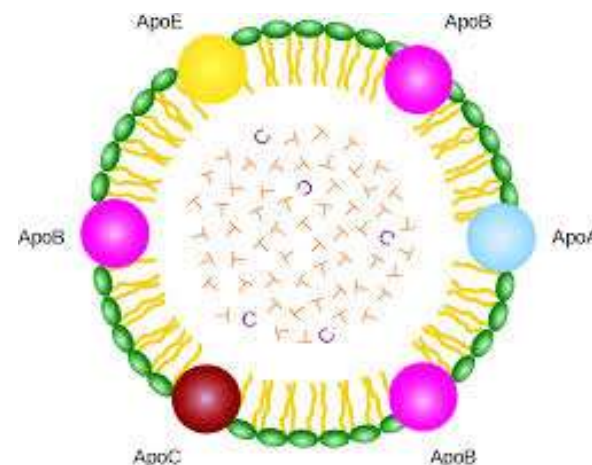
§ **Trasporto plasmatico dei lipidi**

I lipidi trasportati nel sangue in forma di aggregati sovramolecolari chiamati

### **LIPOPROTEINE**

- Le *Very Low Density Lipoproteins* (**VLDL**), lipoproteine a bassissima densità;
- Le *Intermediate Density Lipoproteins* (**IDL**), lipoproteine a densità intermedia;
- Le *Low Density Lipoproteins* (**LDL**), lipoproteine a bassa densità
- Le *High Density Lipoproteins* (**HDL**), lipoproteine ad elevata densità

Formate da trigliceridi, colesterolo, fosfolipidi e proteine



## § Precursori della sintesi di regolatori metabolici

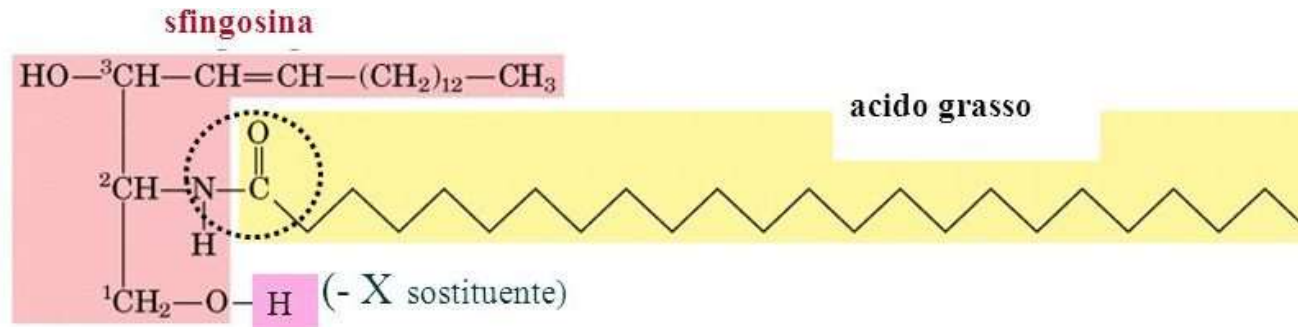
Quelli della serie  $\omega$  3 e  $\omega$ 6 precursori della sintesi per esempio degli eicosanoidi

quali prostaglandine, trombossani, leucotrieni che mediano importanti funzioni

biologiche come pressione sanguigna, processi infiammatori, aggregazione

piastrinica

# Sfingolipidi

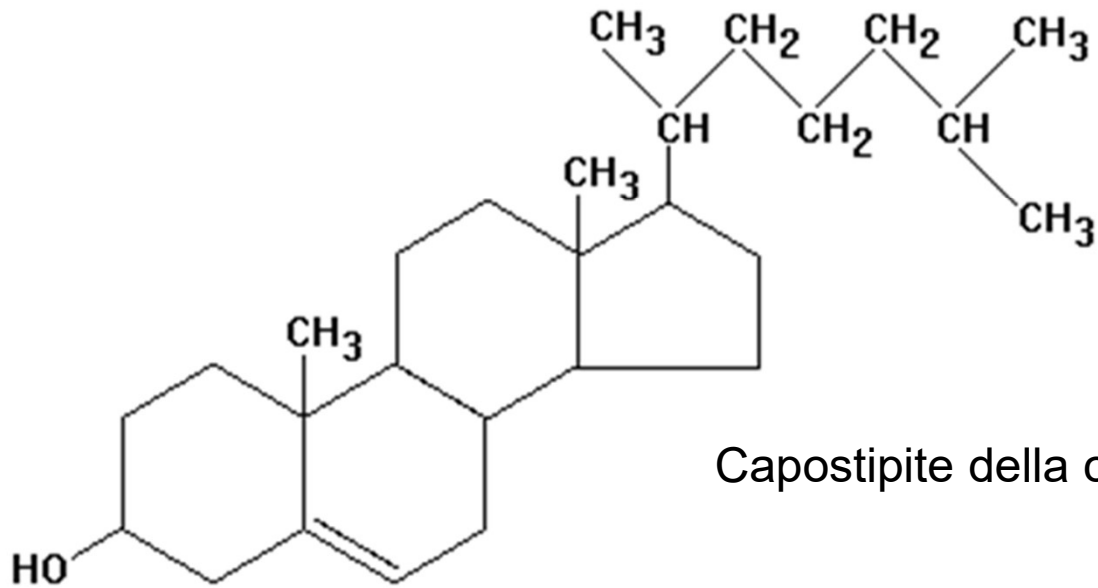


## SFINGOMIELINE, CEREBROSIDI, GANGLIOSIDI

Costituenti delle membrane dove la parte polare sporge e svolge funzione di riconoscimento per altre sostanze (recettore)

Alcuni gangliosidi definiscono i gruppi sanguigni

# Colesterolo



Capostipite della classe degli steroidi

Ruolo strutturale membrane

Sintesi acidi biliari

Sintesi ormoni steroidei (cortisolo, aldosterone, ormoni sessuali)

Sintesi vitamina D

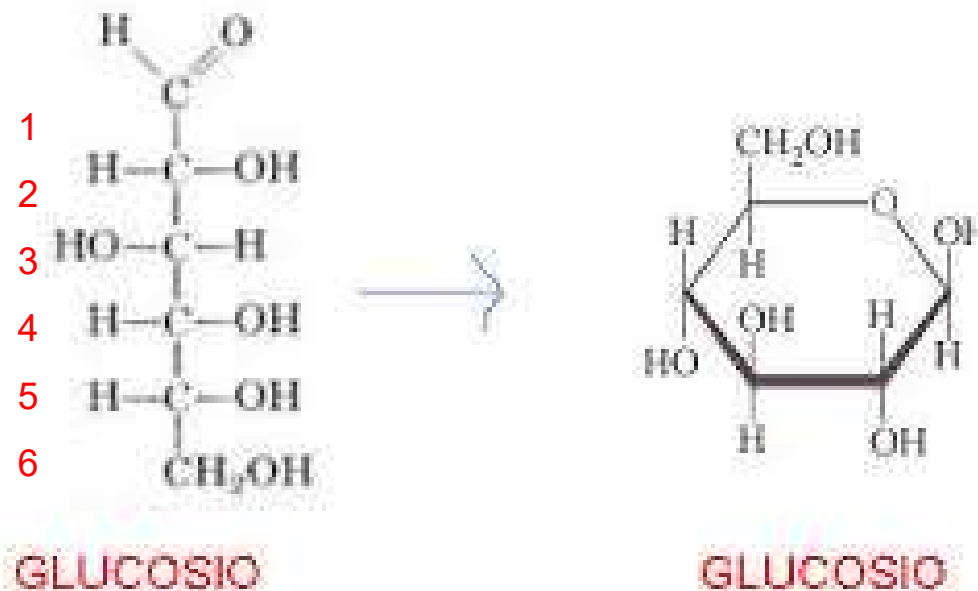
## CARBOIDRATI (zuccheri, glucidi, saccaridi)

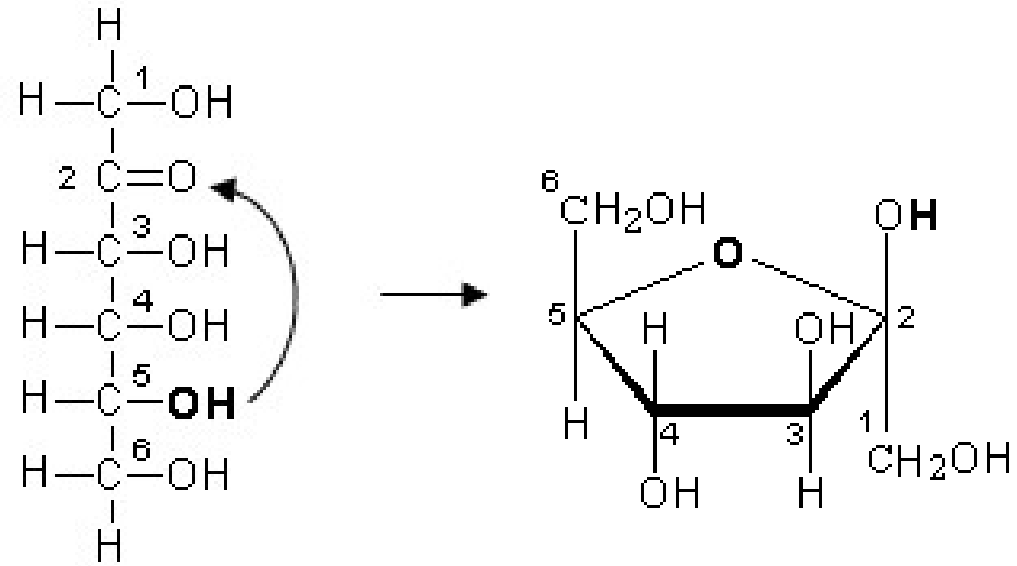
### Semplici (monosaccaridi)

Dal punto di vista chimico: derivato aldeidico o chetonico di un alcool polivalente

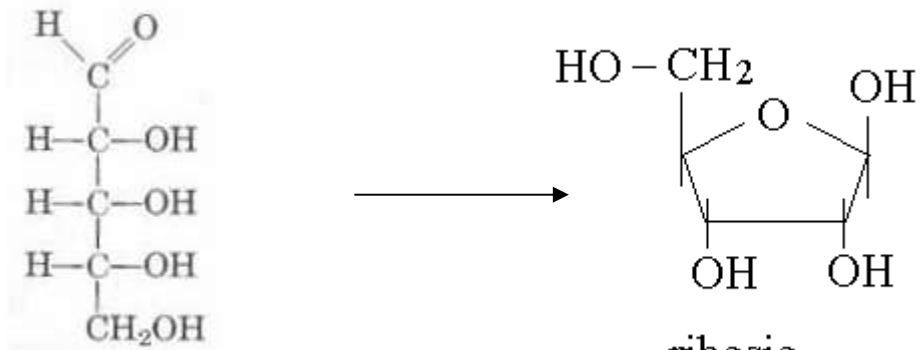
Le loro caratteristiche strutturali e la loro reattività chimica sono determinate dai gruppi funzionali che presentano, e cioè il gruppo alcolico  $-\text{CH}_2\text{-OH}$  e il gruppo aldeidico  $-\text{CHO}$  o il gruppo chetonico  $-\text{C}=\text{O}$ .

A seconda del numero di atomi di carbonio, si suddividono in triosi, tetrosi, pentosi, esosi





Fruttosio

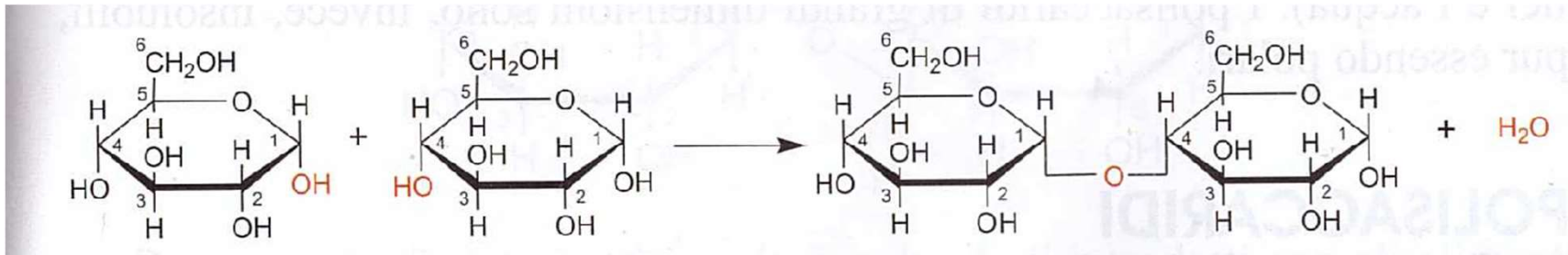


RIBOSIO

ribosio



# Legame glicosidico



**Disaccaridi** (in alimentazione col termine **zucchero** si fa comunemente riferimento a questa classe)

Lattosio - zucchero del latte

Saccarosio - zucchero di canna

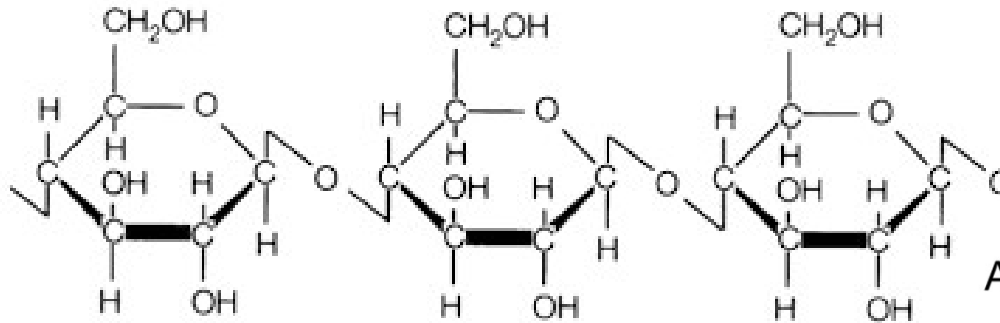
Maltosio - scissione dell'amido

Cellobiosio - scissione della cellulosa

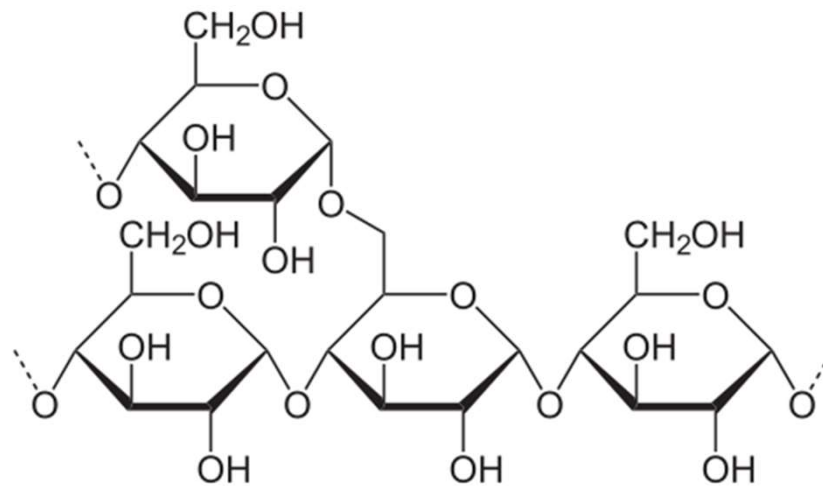
**Complessi** – più monosaccaridi legati chimicamente insieme (polimeri lineari e ramificati)

**Oligosaccaridi** (da 3 a 10 monomeri) e **polisaccaridi** (da 10 a migliaia di monomeri)

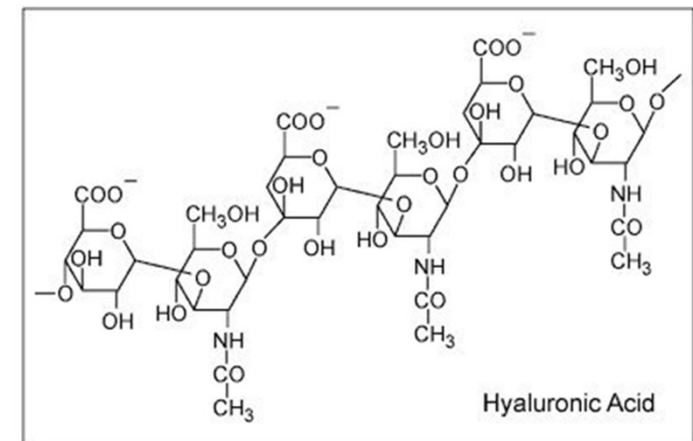
Strutturale: cellulosa (piante)



Riserva: amilopectina e glicogeno



Acido ialuronico (matrice extracellulare)



## FUNZIONI DEI CARBOIDRATI

**Ruolo energetico:** glucosio è la fonte energetica preferenziale per tutti le cellule  
tutti i disaccaridi e polisaccaridi digeribili scissi in unità  
monomeriche che vengono utilizzate per produrre energia

Polisaccaridi non digeribili: fibre (per esempio cellulosa)

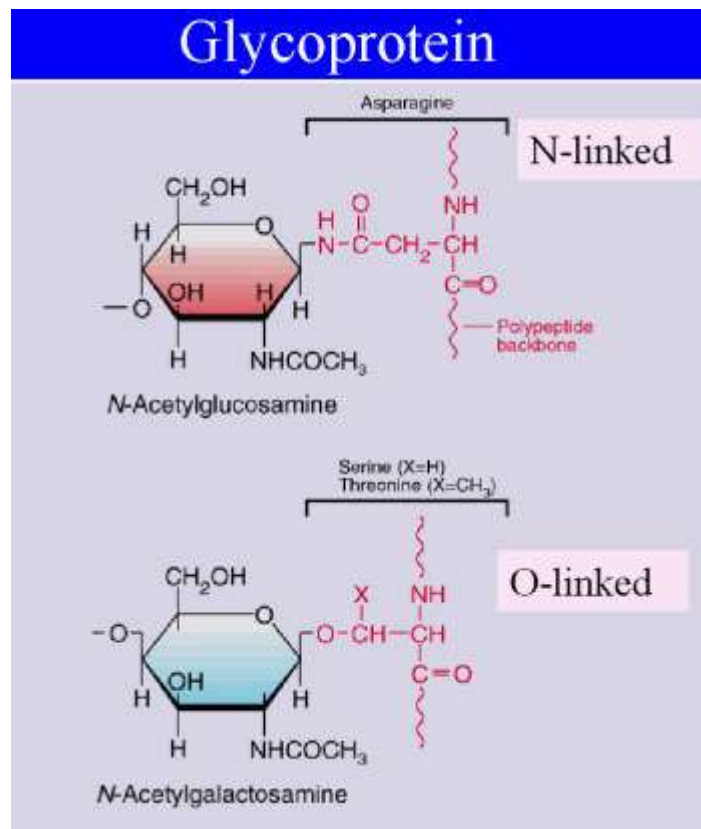
**Ruolo strutturale:** sono componenti della matrice extracellulare (proteoglicani per  
es. acido ialuronico, condroitin solfato..)

**Ruolo di riconoscimento :** sono legati covalentemente alle proteine di membrana,  
agli anticorpi, a proteine secrete (matrice extracellulare e  
seriche) dove codificano un segnale

# Glicoproteina (Proteina glicosilata)

Proteina è legata mediante legame chimico a una catena oligosaccaridica (definita glicano).

Il glicano è attaccato mediante una modificazione post-traduzionale della proteina, attraverso un processo genericamente definito glicosilazione (R.E. e Apparato Golgi).



## PROTEINE CHE LEGANO L'OSSIGENO

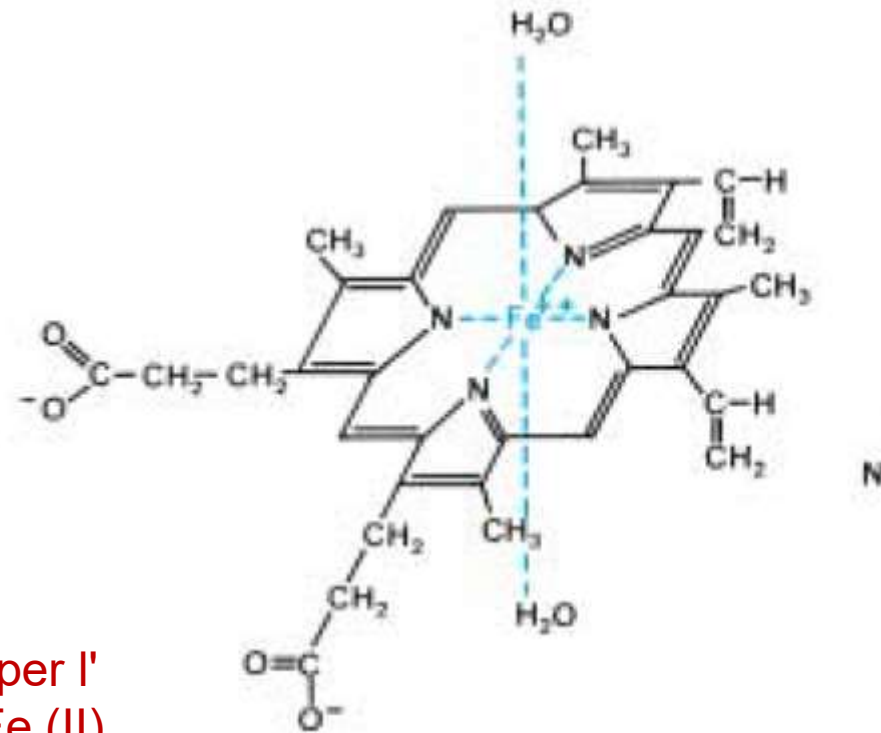
EMOGLOBINA

MIOGLOBINA

PROTEINE CONIUGATE AD UN GRUPPO PROSTETICO

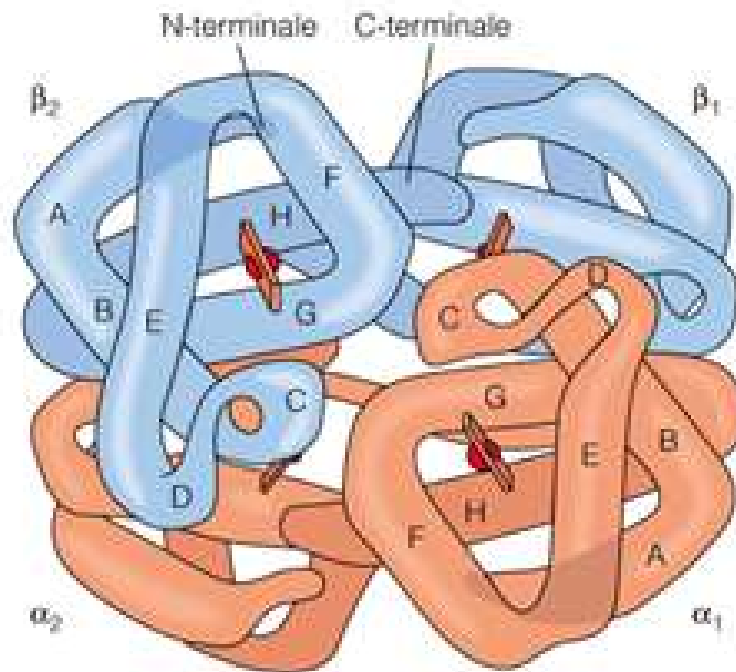
### EME

Ferroprotoporfirina IX

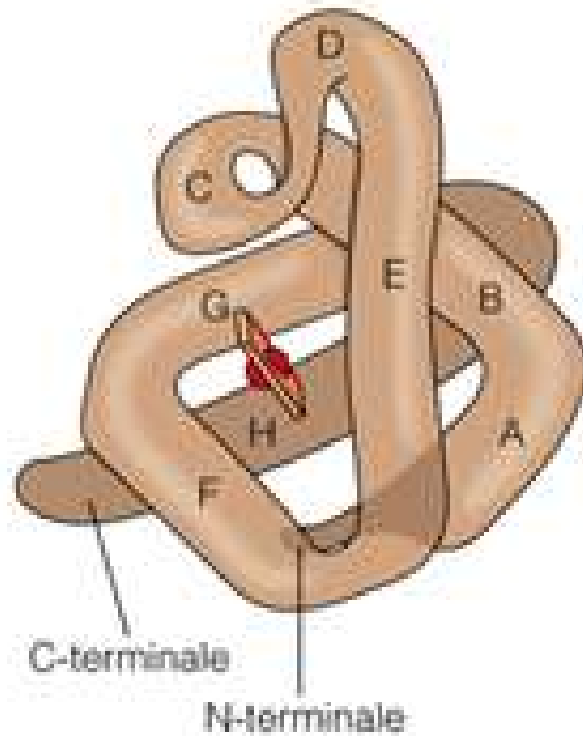


Sia nella Hb che Mb il sito di legame per l'ossigeno è rappresentato dallo ione Fe (II)

# EMOGLOBINA (Hb)

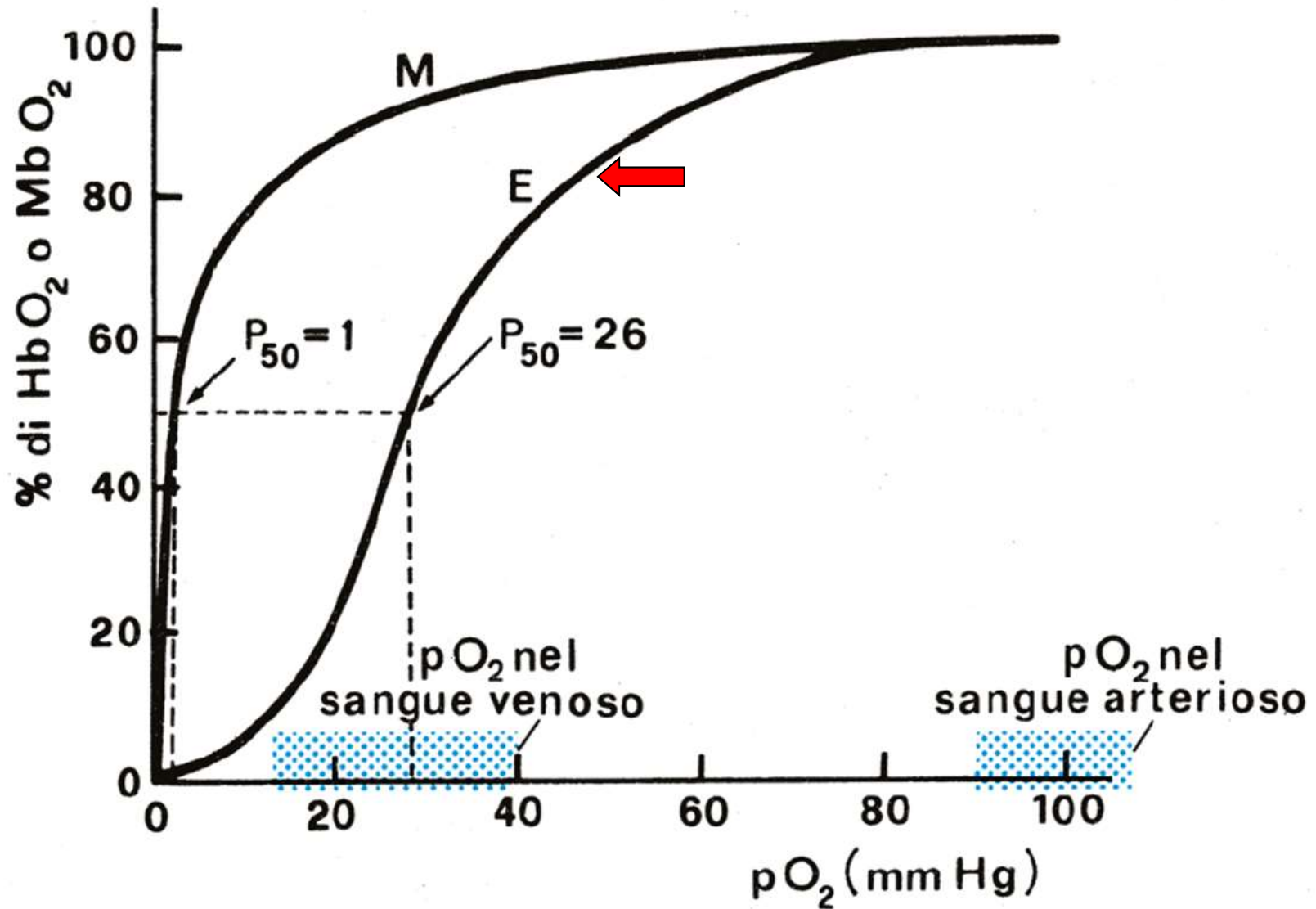
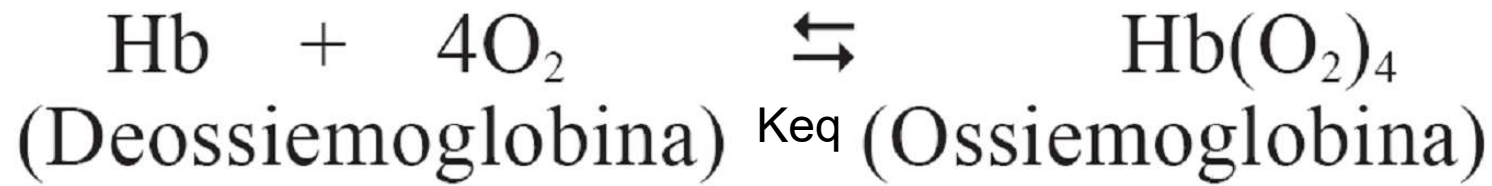


# MIOGLOBINA (Mb)

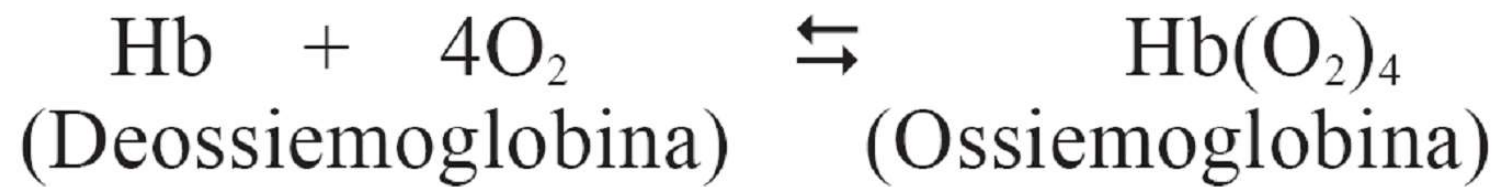








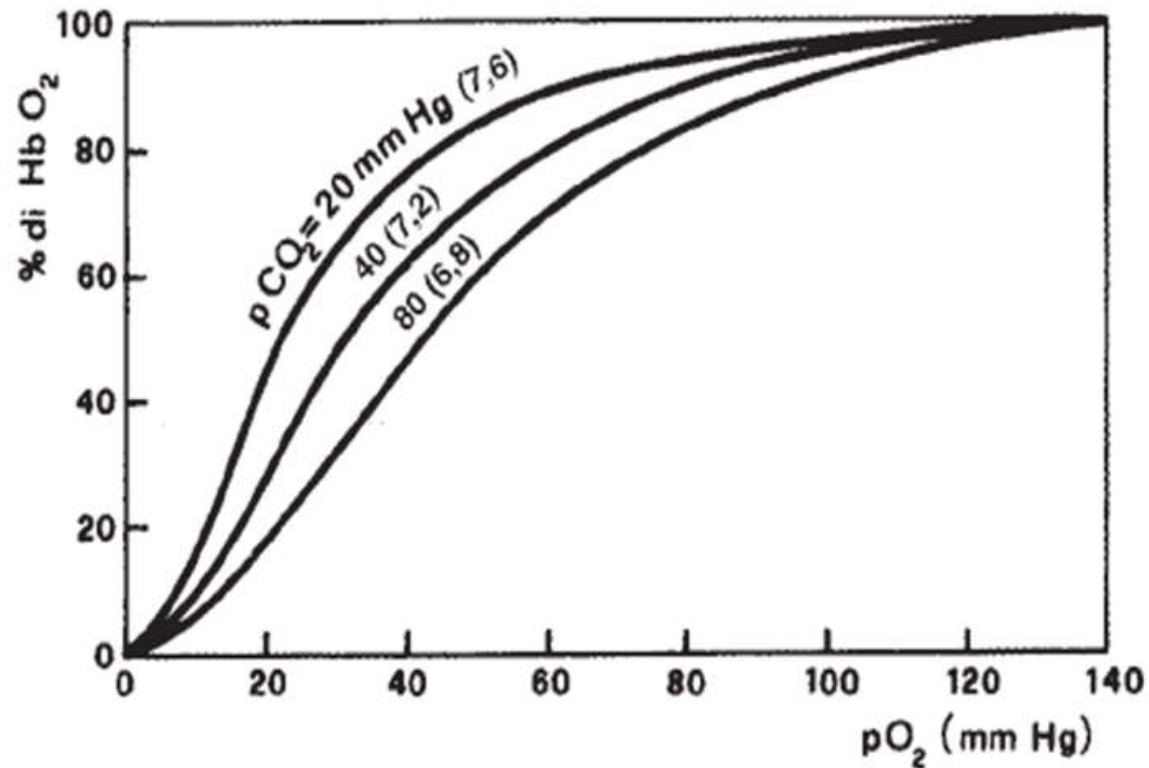
$$K_{eq} = \frac{[Hb(O_2)_4]}{[Hb] * [O_2]^4}$$



## Fattori che influenzano l'affinità dell'Hb per l'ossigeno

### Pressione parziale della CO<sub>2</sub> e pH

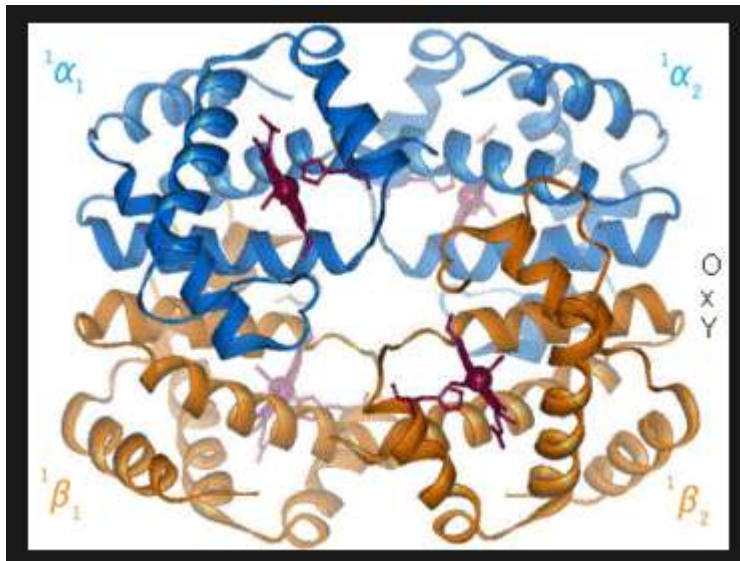
Aumento della **pCO<sub>2</sub>** determina una diminuzione della affinità per l'ossigeno



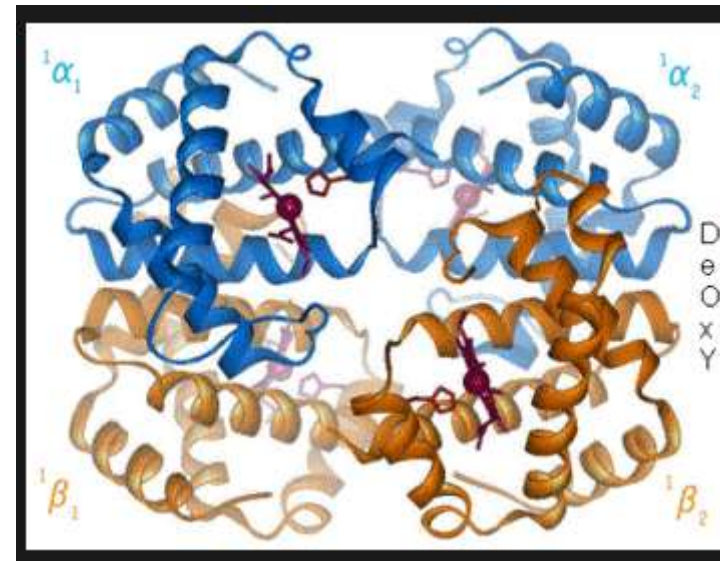
Aumento del **pH** determina un aumento della affinità per l'ossigeno—effetto Bohr



TESA



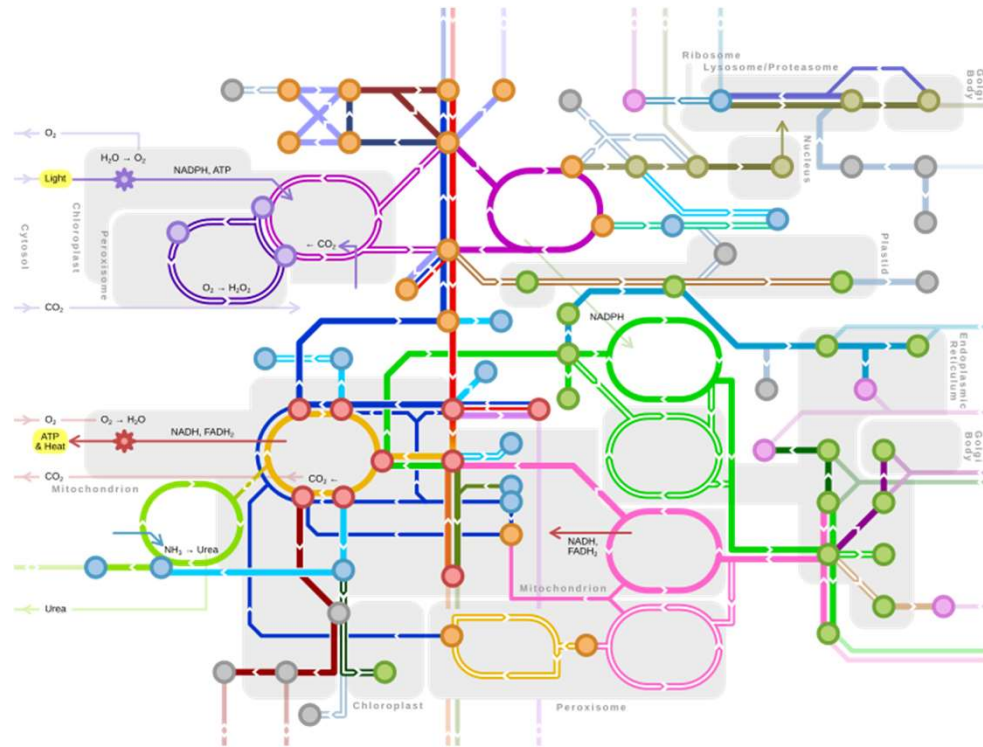
RILASSATA



La protonazione di alcuni a.a a pH bassi favorisce la conformazione tesa che ha minore affinità per l'ossigeno

**In ambiente acido l'emoglobina rilascia più facilmente l'ossigeno perchè ha una costante K di affinità (costante di equilibrio) più bassa**

# Il metabolismo



Una **pathway metabolica (via metabolica)** è una sequenza di reazioni chimiche in cui i prodotti di una reazione diventano i substrati della reazione successiva fino alla formazione di un metabolita finale

## Metabolismo

Tutte le pathways metaboliche hanno i seguenti protagonisti:

**1.SUBSTRATI** le molecole di partenza della pathway metabolica

**2.INTERMEDI DI REAZIONE** che si formano tra l'inizio e la fine della catena

**3.ENZIMI** catalizzano ognuna delle reazioni chimiche

**4.TRASPORTATORI di ENERGIA (ATP)** donano energia a reazioni che ne hanno bisogno (per formare legami chimici) o accumulano energia (chimica) quando viene prodotta (rilasciata) durante una reazione chimica (per rottura di legami chimici)

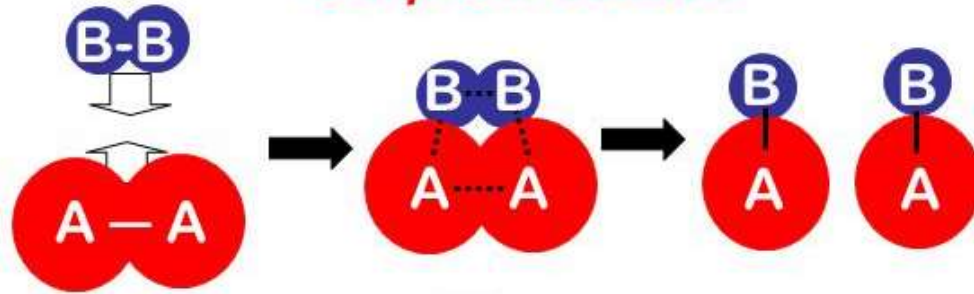
**5.PRODOTTI:** composti chimici generati al termine della catena metabolica

# Gli enzimi: catalisi enzimatica

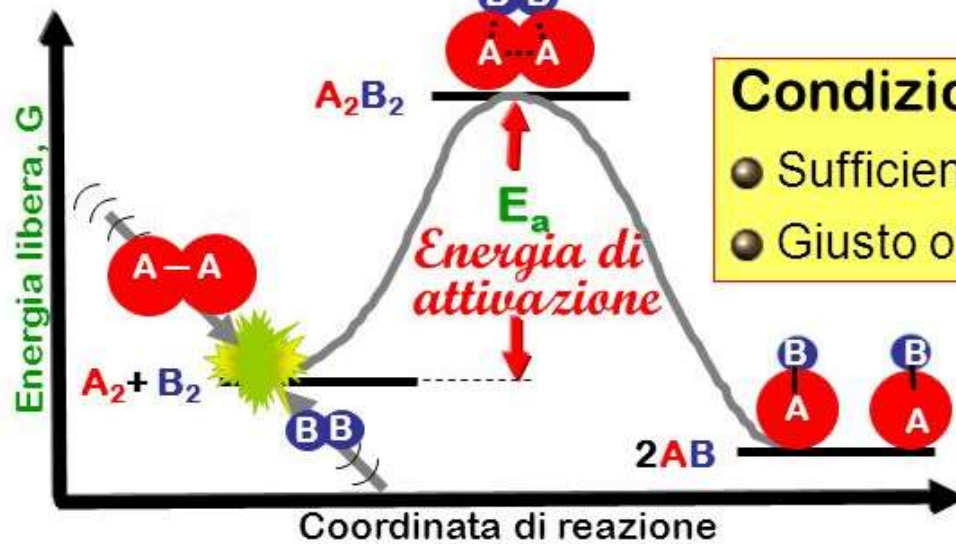
## Biocatalizzatori specifici di natura proteica

- Innalzano enormemente **la velocità** di reazioni chimiche **spontanee, senza alterare** la costante di equilibrio.

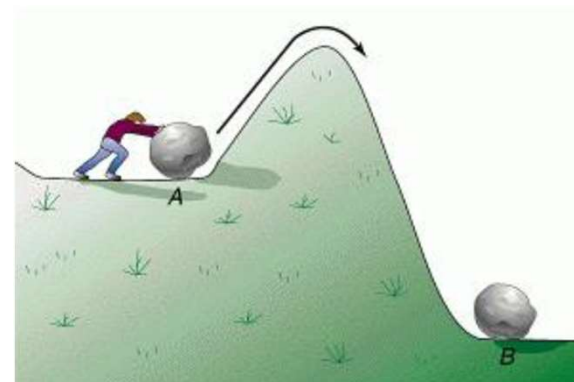




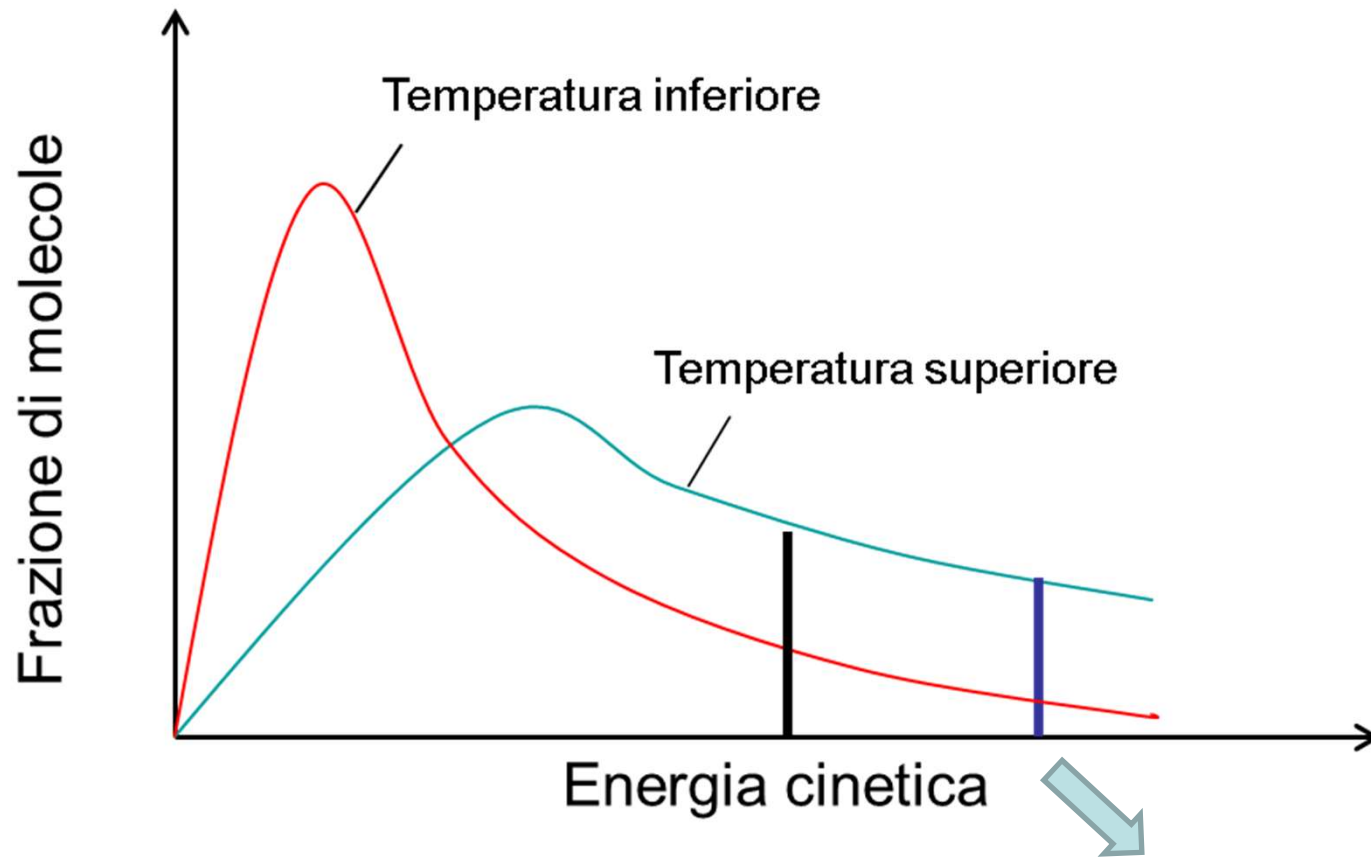
Ogni reazione chimica decorre attraverso la formazione di un "Complesso attivato" generato da un "urto efficace"



- Condizioni per un "urto efficace":**
- Sufficiente energia (almeno pari a  $E_a$ )
  - Giusto orientamento (Effetto sterico)

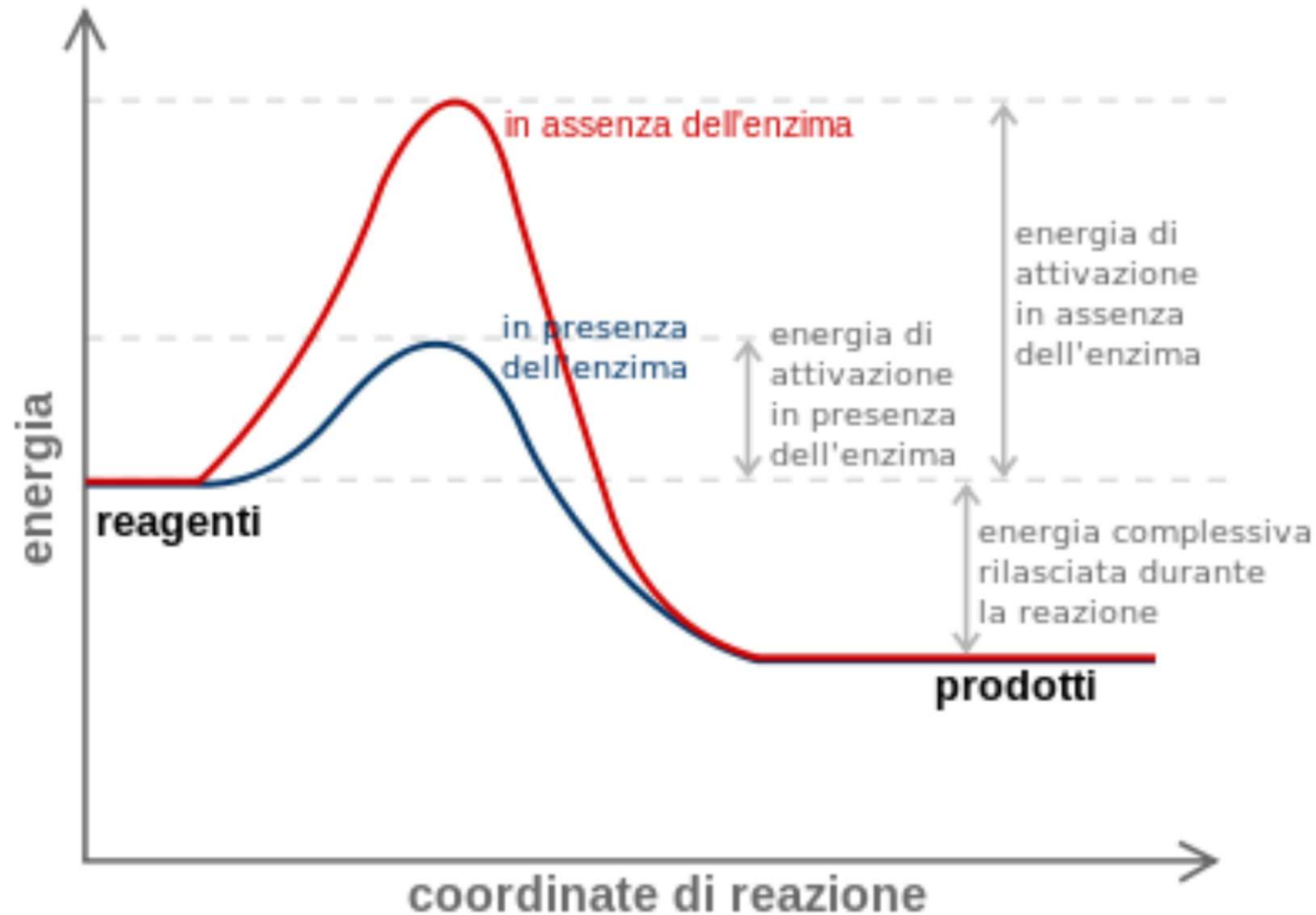


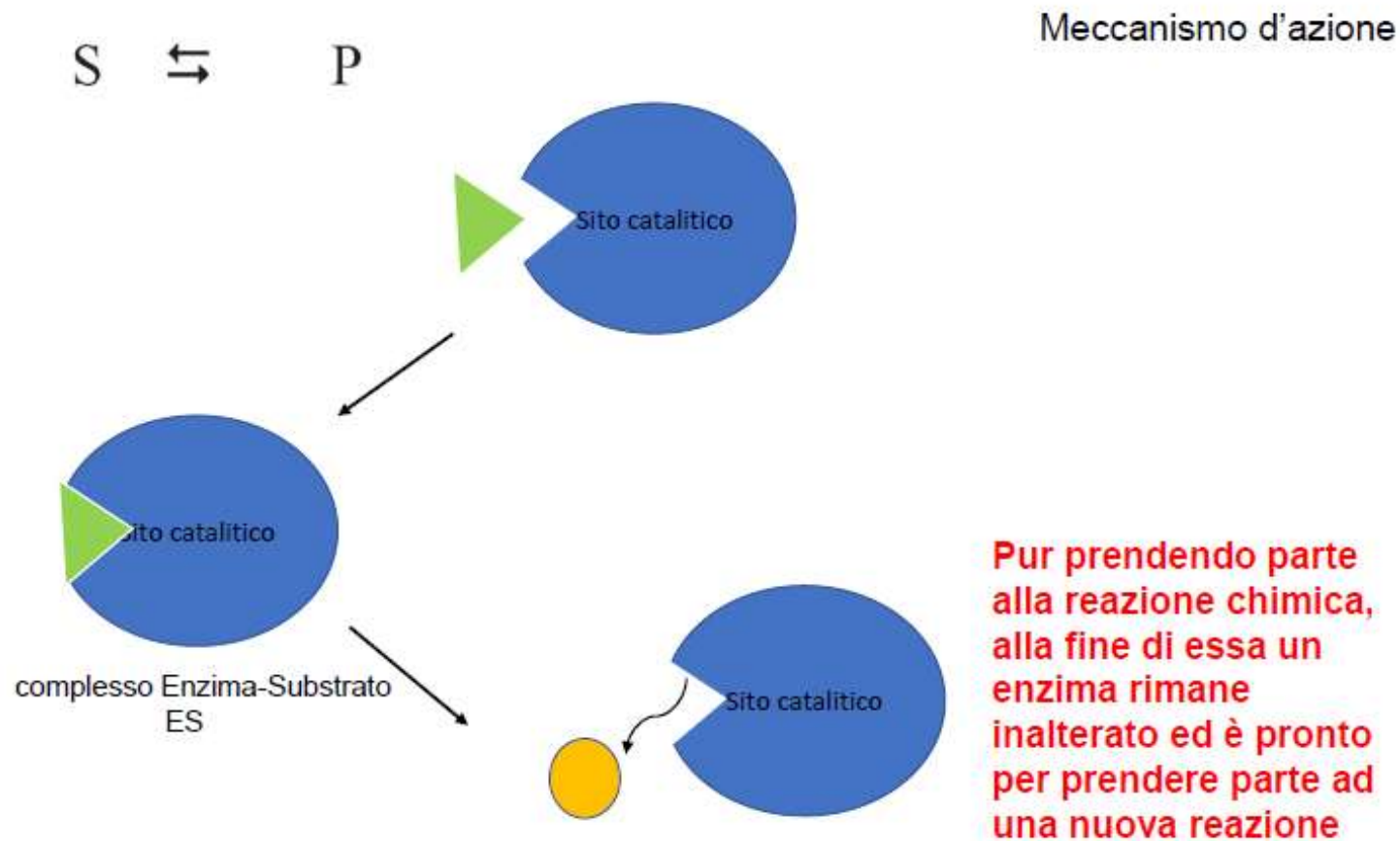




**Energia di attivazione:** solo le particelle che si urtano con energia uguale o superiore alla energia di attivazione formano il complesso attivato

Gli enzimi, come tutti i catalizzatori, accelerano la velocità di reazione *abbassando l'energia di attivazione*.





Gli enzimi abbassano  $E_a$  attraverso diversi meccanismi:

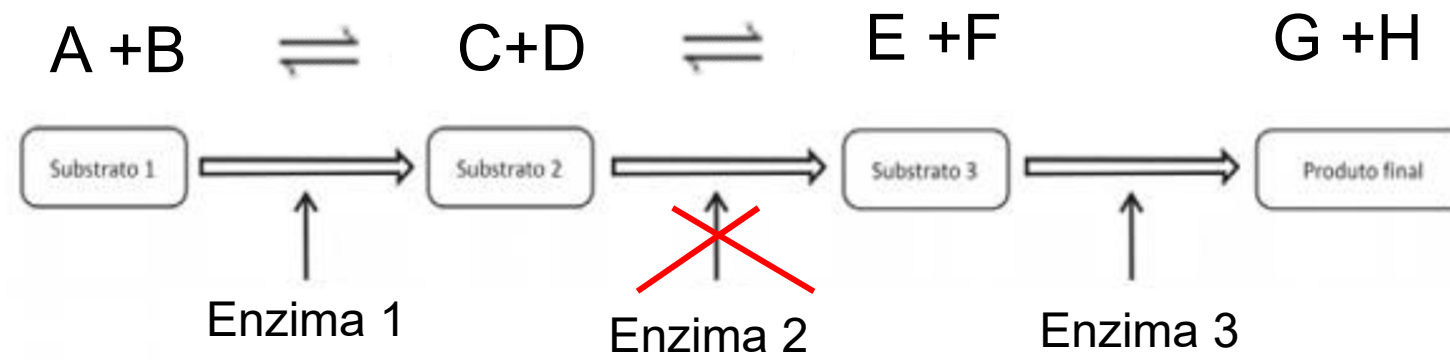
1. Favoriscono l'incontro dei substrati
2. Favoriscono il loro corretto orientamento
3. Partecipando essi stessi alla reazione chimica, questa si caratterizza dalla formazione di un complesso attivato a più bassa energia

**Specificità:** ogni enzima catalizza generalmente una ben determinata reazione a carico di un substrato specifico per generare uno specifico prodotto

**Regolabilità:** possibilità di variare il suo stato da normale a nulla attività, con meccanismo di regolazione modulato in vivo da specifici effettori intracellulari (prodotti e metaboliti finali), ormoni, variazioni chimico-fisiche del mezzo



La regolazione degli enzimi sta alla base della regolazione delle vie metaboliche



## REGOLAZIONE ATTIVITA' ENZIMI

### Enzimi a regolazione allosterica

Gli **enzimi allosterici** hanno **struttura quaternaria** (più subunità polipeptidiche).  
Le subunità possono essere uguali o diverse.

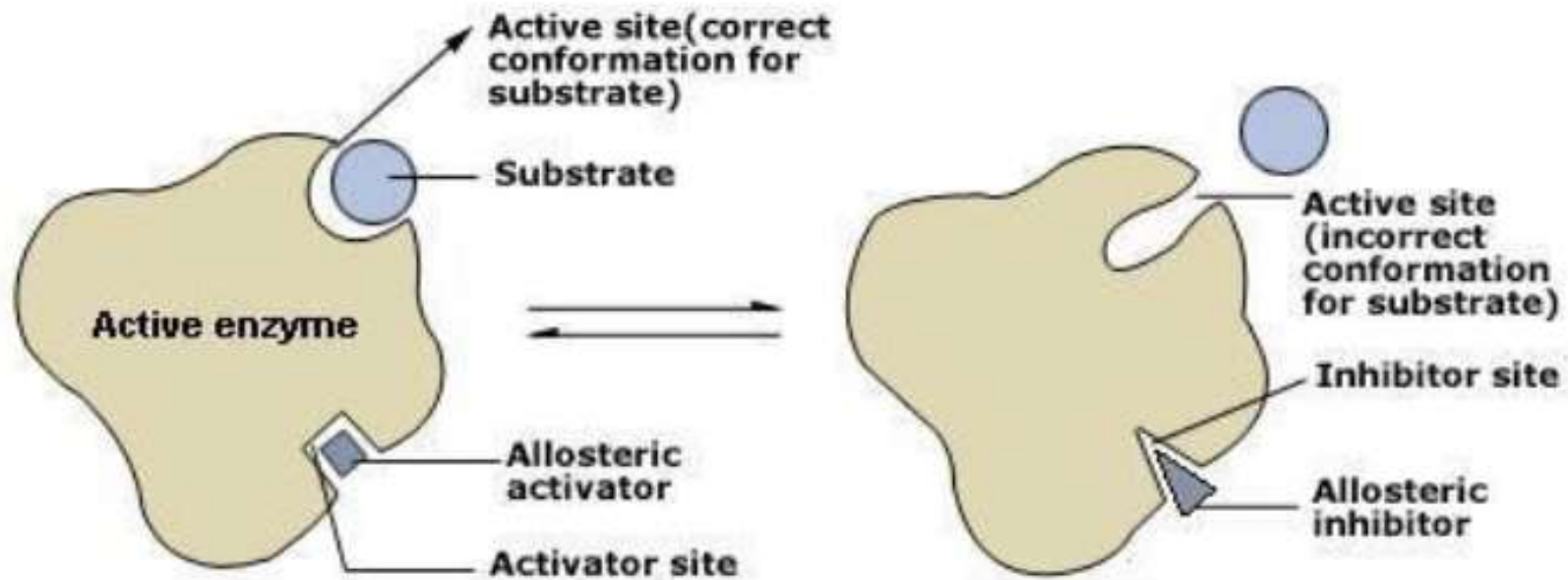
Gli enzimi allosterici possiedono:

un **sito catalitico** al quale si lega il substrato/i;

un **sito regolatore** o **allosterico** al quale si lega il modulatore/i (effettore/i).

Il legame dell'effettore presso tali siti è in grado di modificare leggermente la **struttura terziaria** dell'**enzima** e quindi di variare la sua capacità di legare il substrato, consentendo cambiarne l'attività catalitica a seconda delle esigenze della cellula.

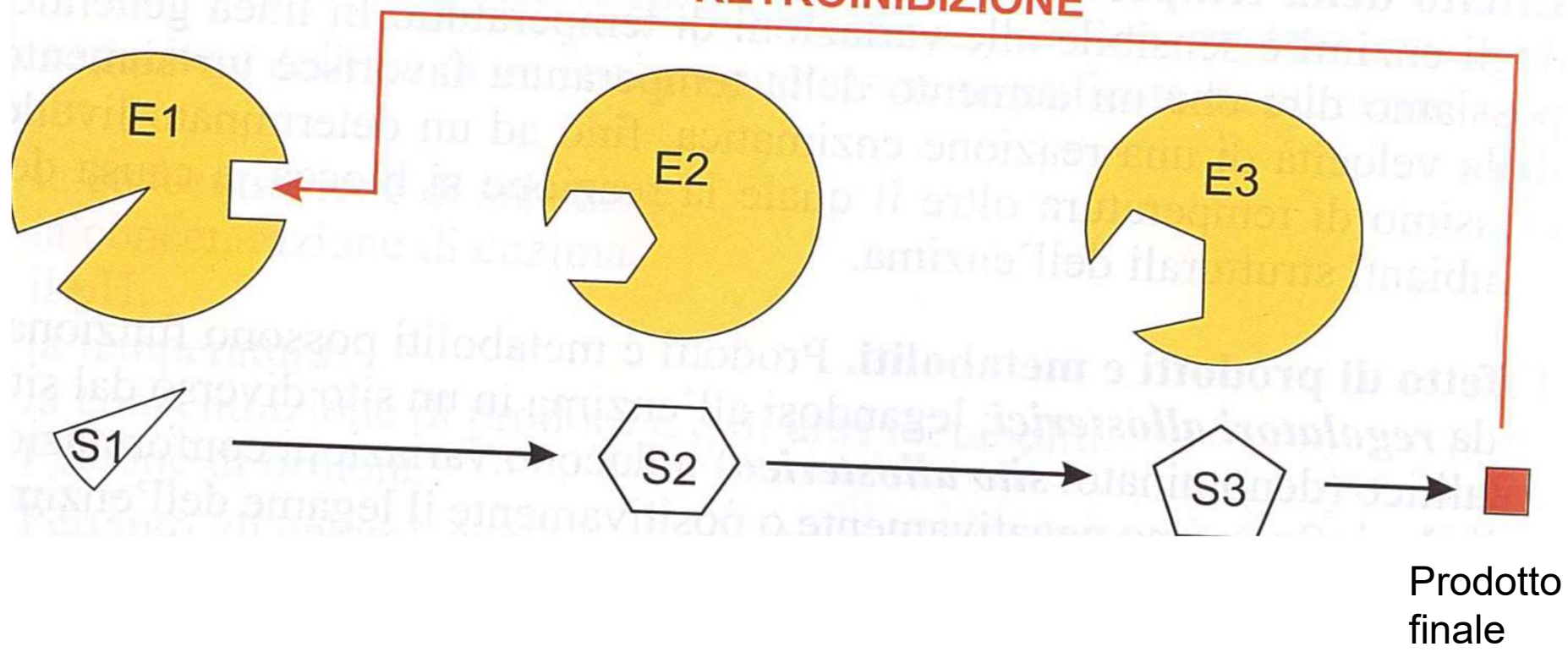
Regolazione allosterica è una regolazione da metaboliti



Schematic representation of allosteric enzyme activity



# RETROINIBIZIONE



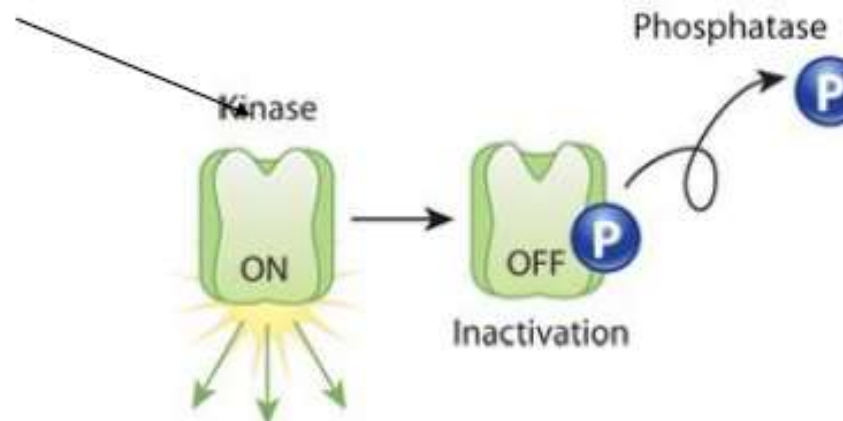
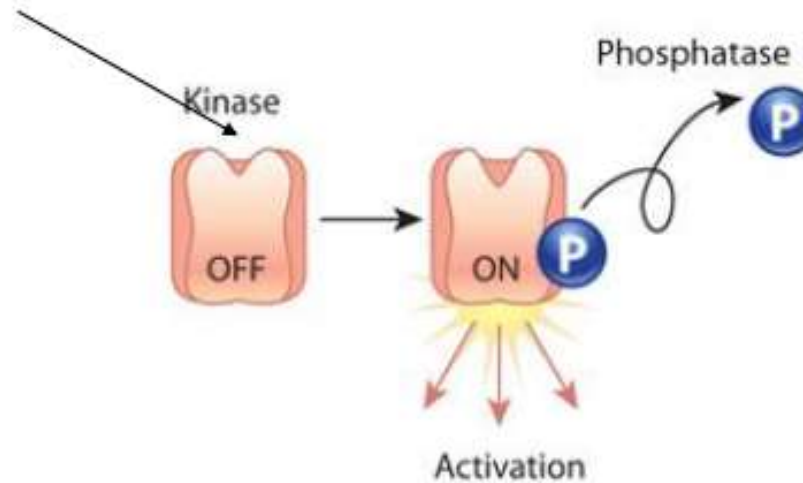


## Enzimi regolati mediante modificazioni covalenti reversibili- processo di solito controllato dagli ormoni

La modificazione covalente reversibile consiste nell'aggiunta o rimozione di alcuni gruppi chimici su determinati residui amminoacidici della molecola di enzima.

I gruppi chimici sono il fosfato, l'adenosina monofosfato, l'uridina monofosfato e i gruppi metilici.

Questi gruppi possono legarsi all'enzima ed essere rimossi mediante l'azione di specifici enzimi



Oltre che attraverso la modificazione conformazionale di un enzima ci sono altri meccanismi con cui una cellula regola il suo metabolismo:

- Concentrazione del substrato



- Concentrazione di prodotto

- Modulazione dei livelli enzimatici (la cellula regola la velocità di degradazione e sintesi dell'enzima)

In una stessa via metabolica sono molto spesso operativi **CONTEMPORANEAMENTE**  
vari meccanismi di regolazione

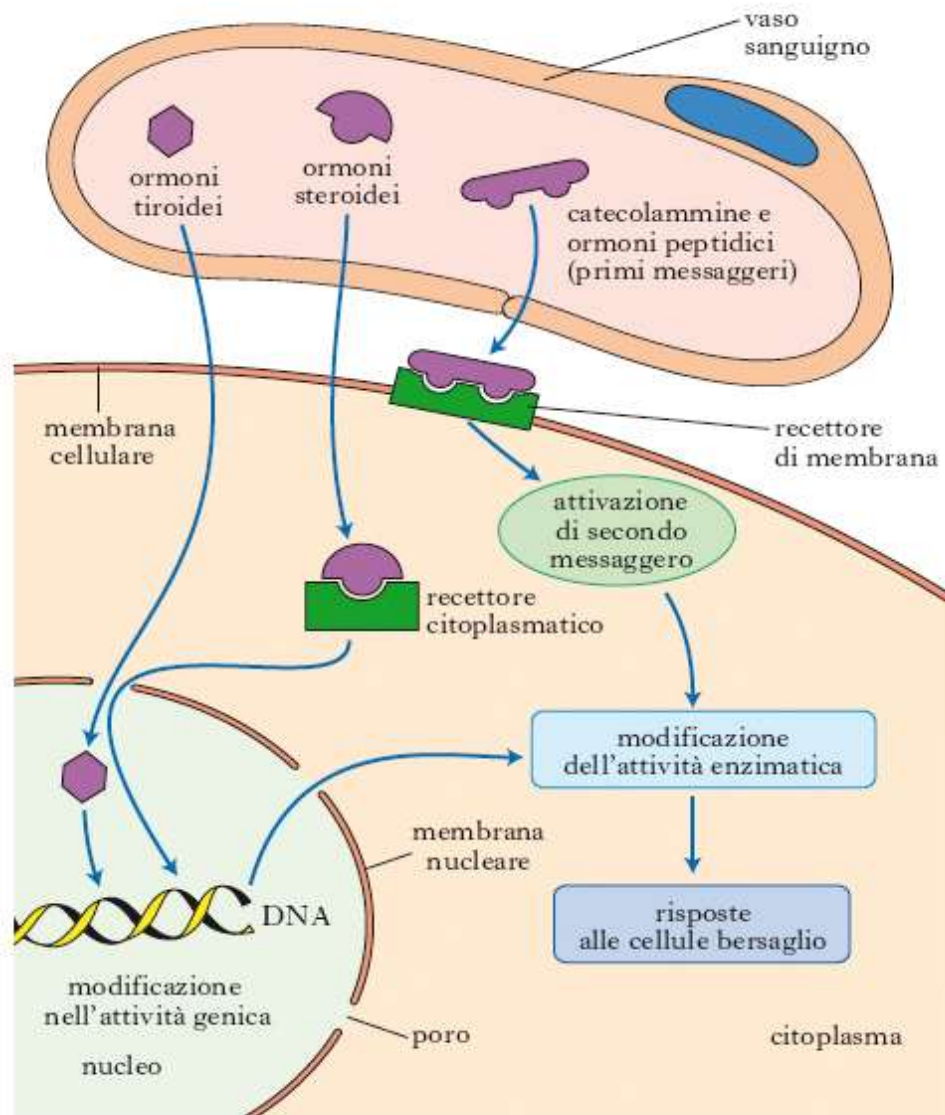
# ORMONI

Negli organismi superiori **integrano funzionalmente** i vari organi in modo che agiscano in concerto (in associazione al sistema nervoso) agendo come **trasportatori di informazione**

**Sistema nervoso ed umorale sono coordinati dall'ipotalamo**

Sintetizzati dalle cellule endocrine (ormoni paracrini ed autocroni)

Nessun ormone viene escreto in maniera costante ma secondo cicli (ormoni sessuali femminile) o a seguito di stimoli ( metabolici o neuronali)



Sono messaggeri chimici che agiscono solo su cellule bersaglio che hanno i **RETTORI** per quell'ormone.

I recettori sono quasi sempre proteine che fanno parte di un complesso molecolare che traduce lo stimolo ormonale in modificazioni metaboliche e funzionali – **TRASDUZIONE** del segnale

## “SETTORI”

### **ANABOLISMO** (montaggio)

SINTESI delle molecole biologiche che costituiscono una cellula e servono al suo funzionamento (proteine, lipidi, glucidi) come componenti strutturali, riserva di energia, molecole segnale

Le reazioni anaboliche **RICHIEDONO** energia (endoergoniche)

*Da dove deriva questa energia?*

## **CATABOLISMO** ( Respirazione cellulare - richiede ossigeno)

Insieme delle reazioni chimiche in cui vengono scissi i legami chimici dei composti organici ingeriti (zuccheri, lipidi e proteine) e l'energia immagazzinata per sostenere le reazioni dell'anabolismo

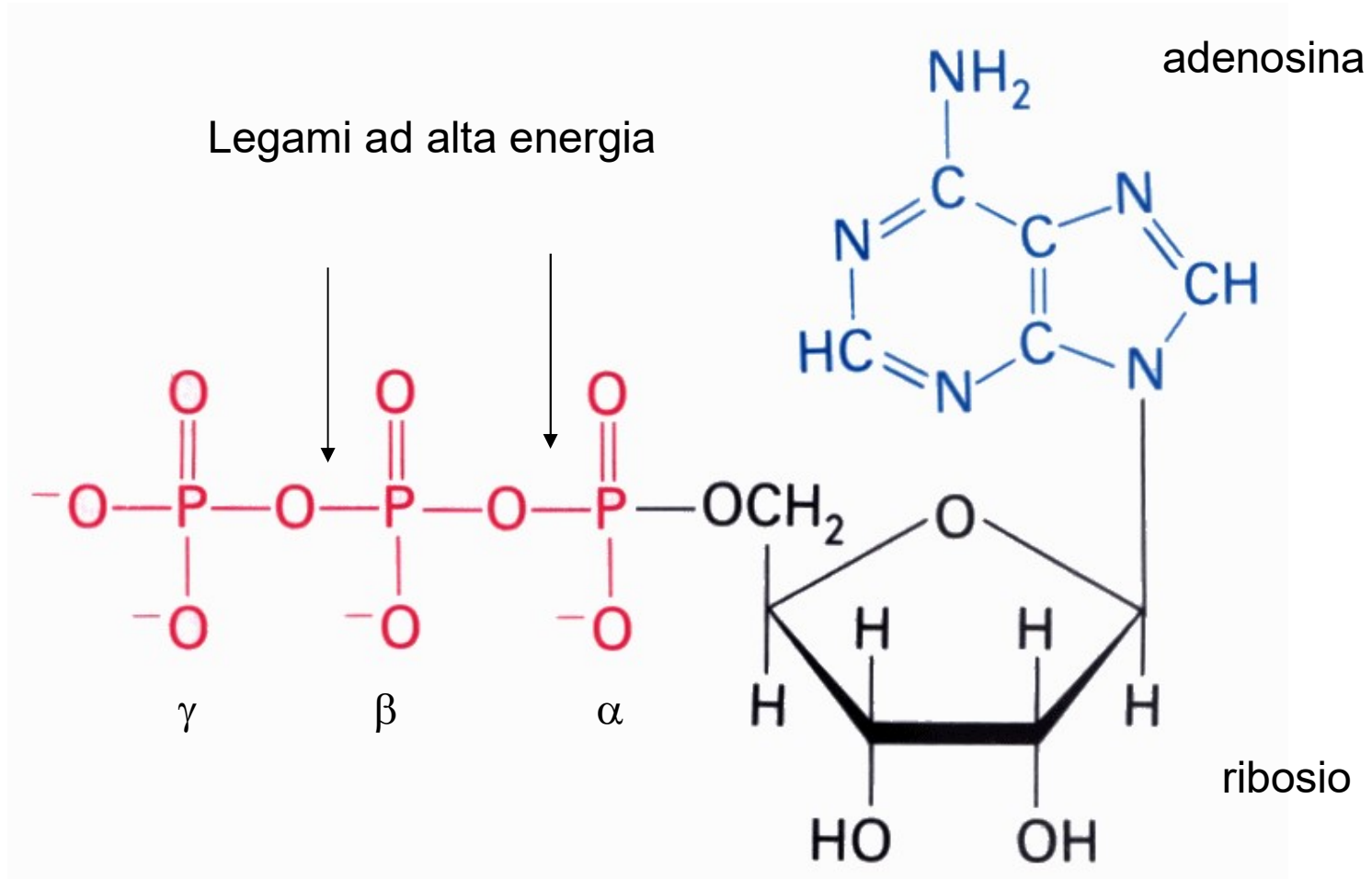
L'energia liberata è accumulata sotto forma di **ENERGIA DI LEGAME IN ATP**

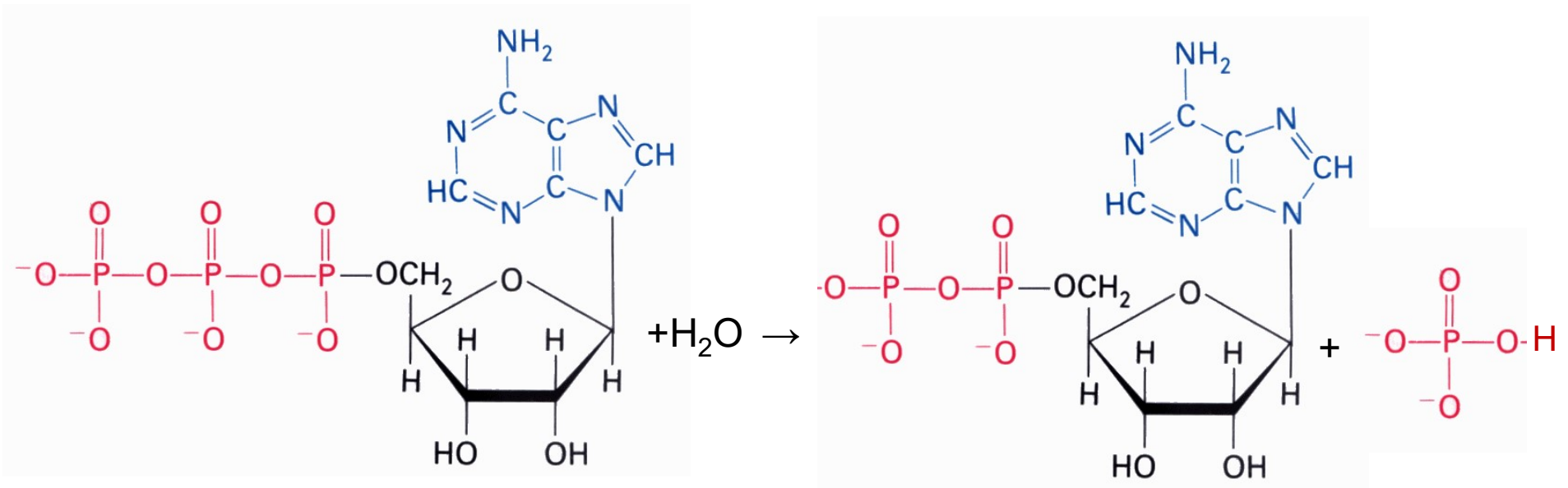
ATP libera questa energia per sostenere le reazioni anaboliche

E' un processo che richiede ossigeno e che trasforma i prodotti iniziali (nutrienti- proteine, grassi, zuccheri) in molecole molto semplici come **CO<sub>2</sub>**, **H<sub>2</sub>O** e **NH<sub>3</sub>**

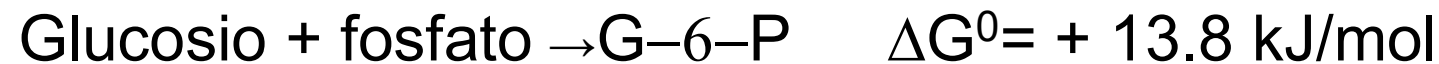
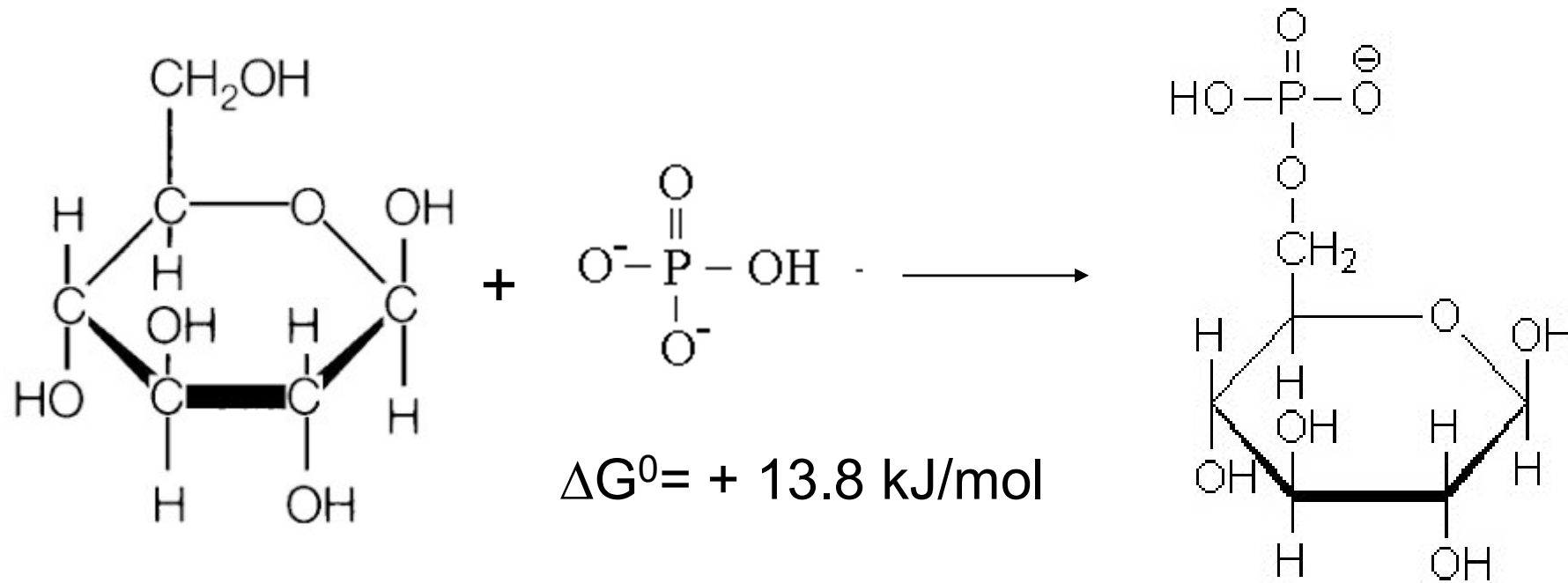
## Come fa l'ATP ad essere usato come moneta energetica?

Struttura dell'ATP (adenosina trifosfato)









Le due reazioni vengono fatte avvenire contemporaneamente (**accoppiate**) per cui la reazione netta avrà un  $\Delta G^0 = - 30.5 \text{ kJ/mol} + 13.8 \text{ kJ/mol} = - 16.7 \text{ kJ/mol}$  (**esoergonica**)

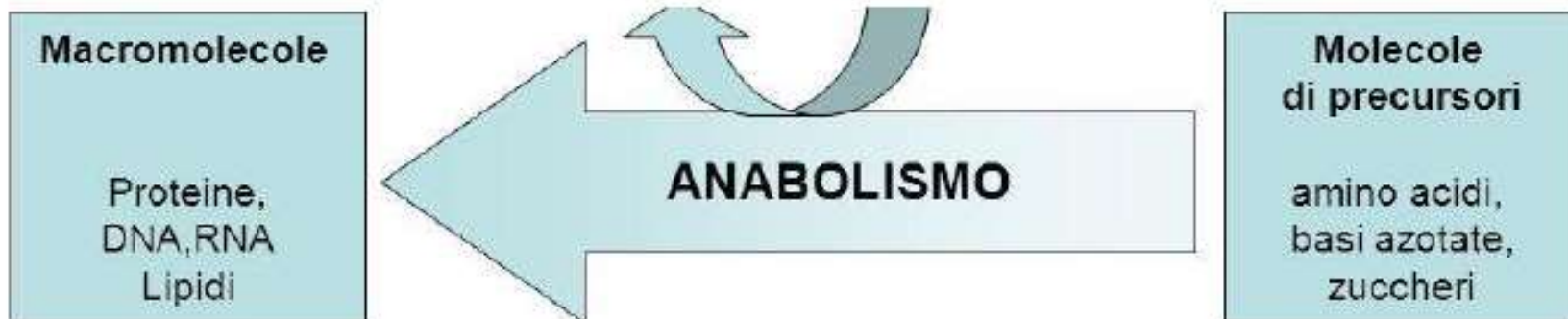
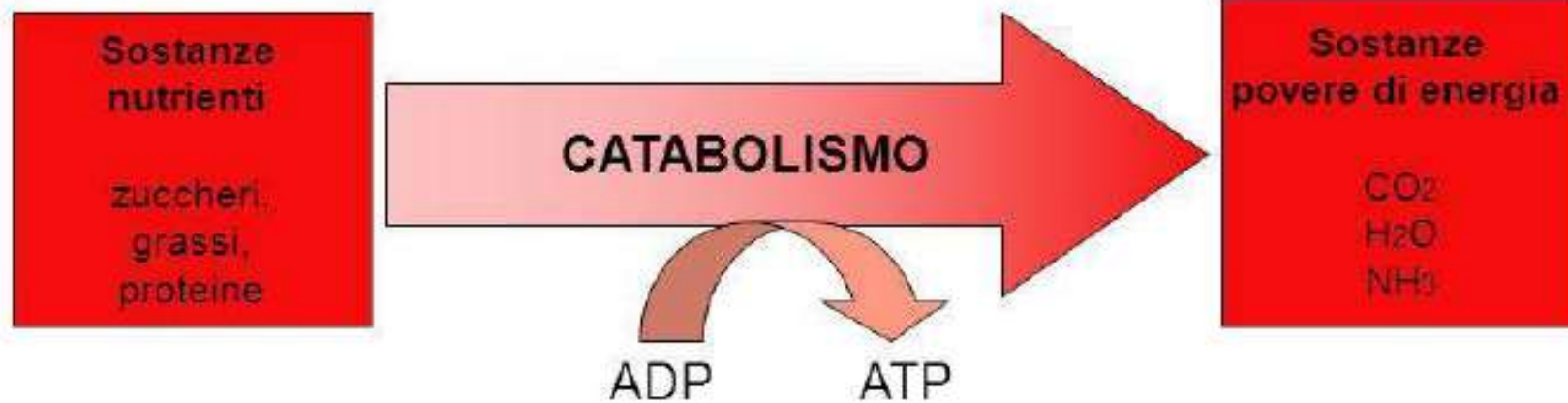


## Come viene prodotto l'ATP?

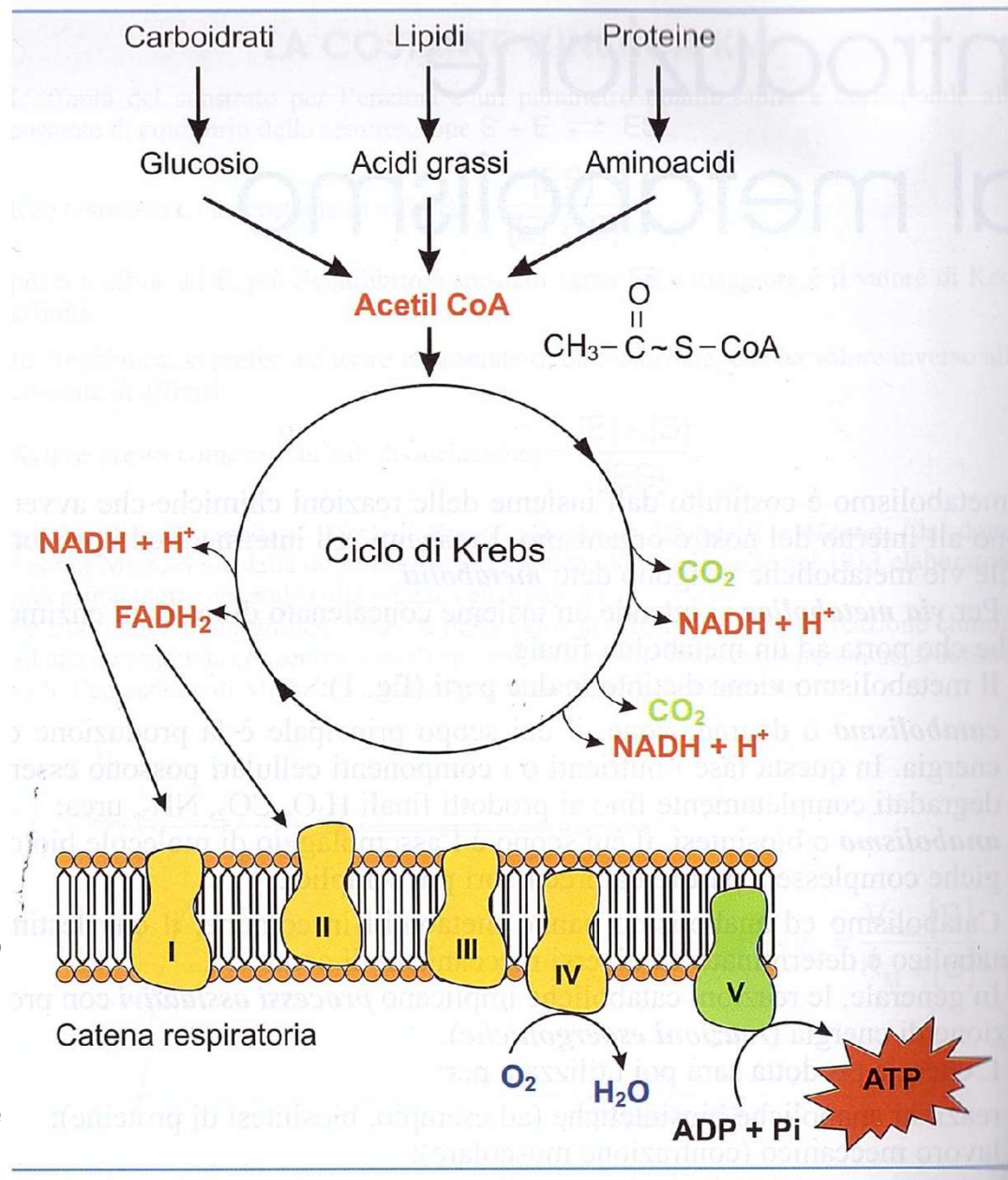
L'ATP VIENE PRODOTTO A PARTIRE DA ADP E FOSFATO ACCOPPIANDO  
QUESTA REAZIONE ENDOERGONICA A **REAZIONI BIOCHIMICHE**  
**ESOERGONICHE**----- REAZIONI DI DEGRADAZIONE OSSIDATIVA DEI  
NUTRIENTI (CATABOLISMO)

## Utilizzo dell'ATP

1. Energia per la biosintesi
2. Energia per il trasporto attivo di molecole attraverso le membrane plasmatiche
3. Energia per la contrazione muscolare
4. Fornisce il gruppo fosfato per la fosforilazione degli enzimi
5. Prende parte alla trasduzione dei segnali (attraverso fosforilazione di proteine di membrana che traslocano il segnale)



# Come viene prodotto l'ATP?



**Fosforilazione ossidativa:** ha luogo nei mitocondri, quantitativamente è il processo più rilevante nella formazione dell'ATP

Il glucosio è la più importante fonte energetica per tutte le cellule

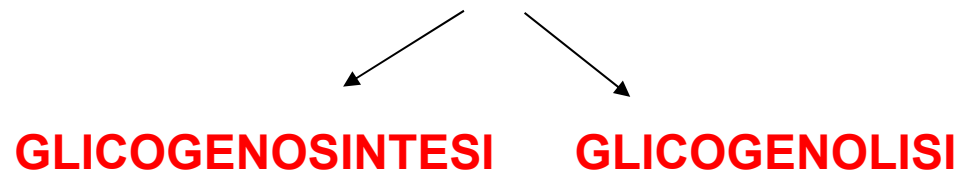
Assunto dalla dieta principalmente in forma di amido

In tutti gli organismi esiste anche una **via metabolica di sintesi del glucosio** a partire da acetil-CoA derivante dagli acidi grassi e dagli amminoacidi **GLUCONEOGENESI** (**fegato**)

Per l'organismo è importante mantenere costante la glicemia

Il fegato è l'organo principale deputato al mantenimento della glicemia

- Gluconeogenesi
- E' in grado di accumulare glucosio sotto forma di GLICOGENO



**INSULINA:** prodotta da cellule beta del pancreas – azione ipoglicemizzante, stimola la captazione di glucosio da parte delle cellule, stimola la glicogenosintesi nel fegato e nel muscolo, inibisce la glicogenolisi e la gluconeogenesi

**GLUCAGONE :** prodotto dalle alfa del pancreas - azione iperglicemizzante- attiva la glicogenolisi, inibisce la glicogenosintesi

**CORTISOLO:** dalle ghiandole surrenali- azione ipoglicemizzante – attiva la gluconeogenesi

# GLICOLISI

E' il processo attraverso il quale vengono degradati tutti gli zuccheri (monosaccaridi) dopo essere stati convertiti in glucosio

Produce:

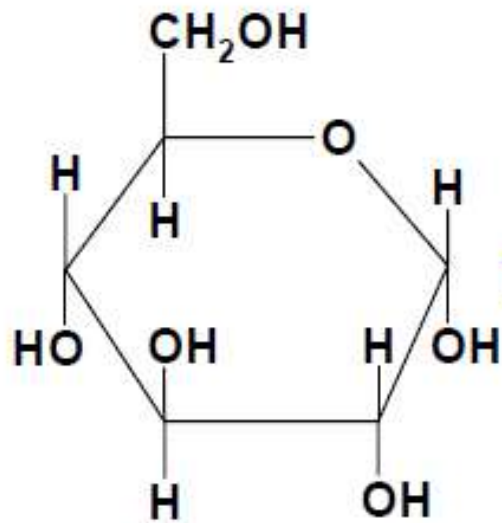
1.ATP

2.NADH e NADPH

3.Intermedi metabolici utilizzabili per la biosintesi di composti non glucidici come aminoacidi e lipidi

Si svolge nel citoplasma e si compone di 11 reazioni metaboliche che si svolgono sequenzialmente



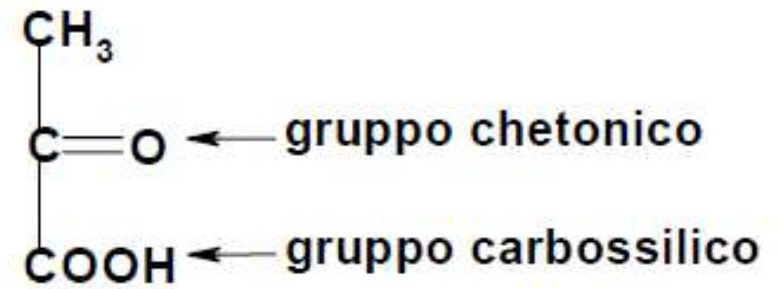


*glucosio*

11 reazioni



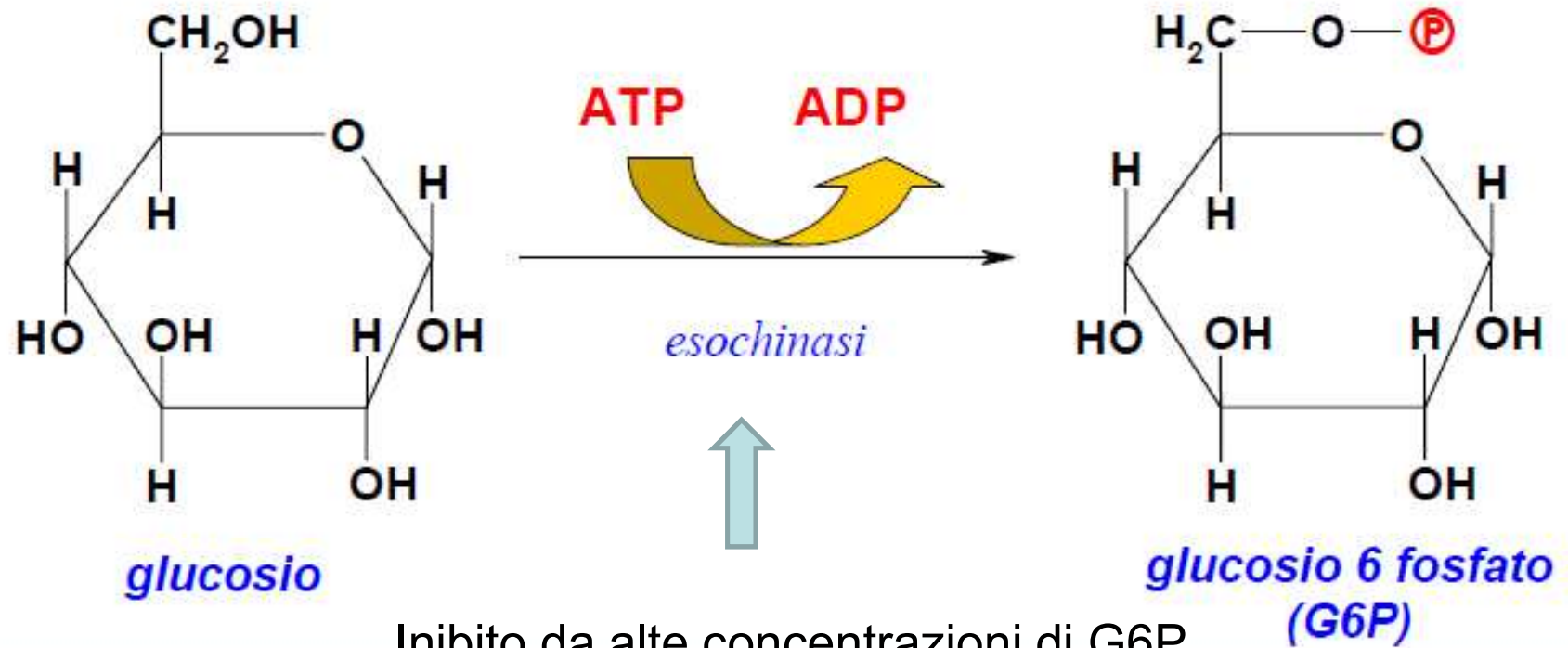
**2**



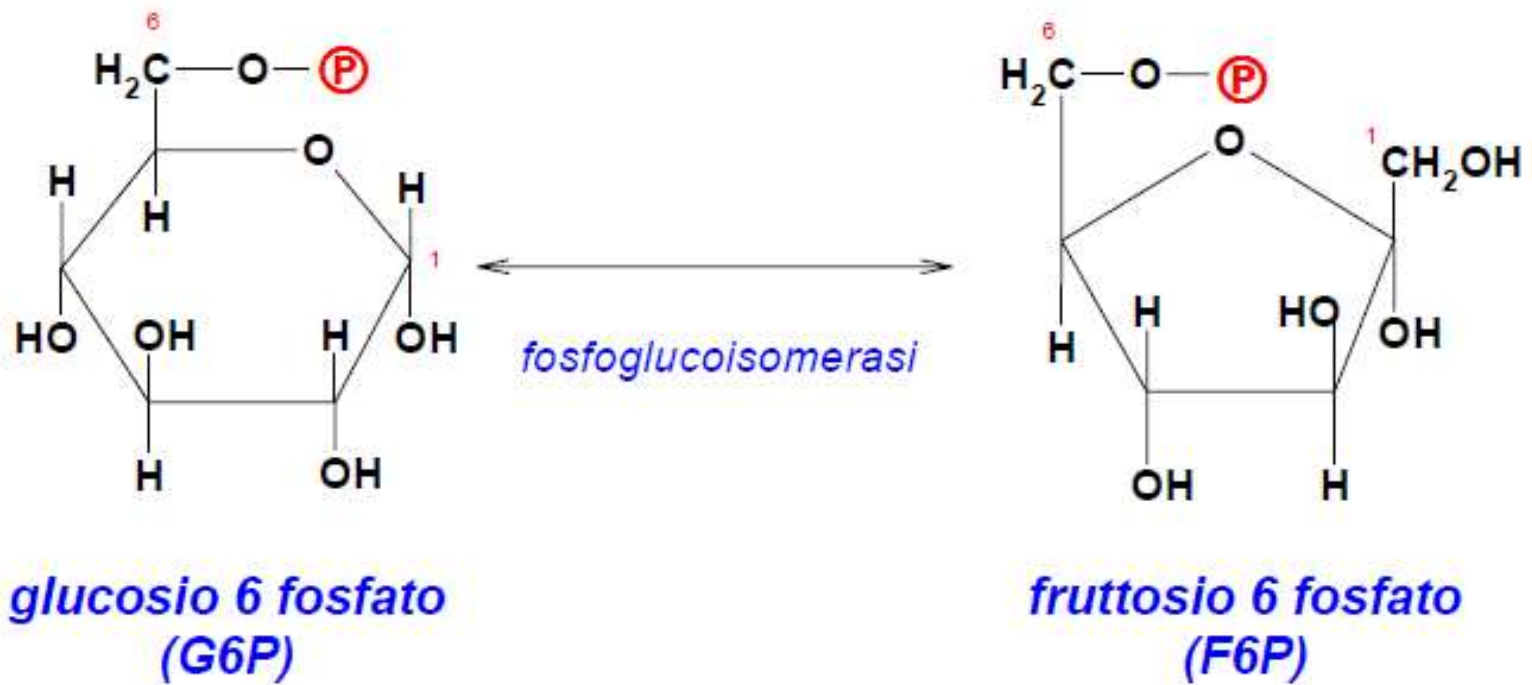
*acido piruvico*

## Fase Endoergonica

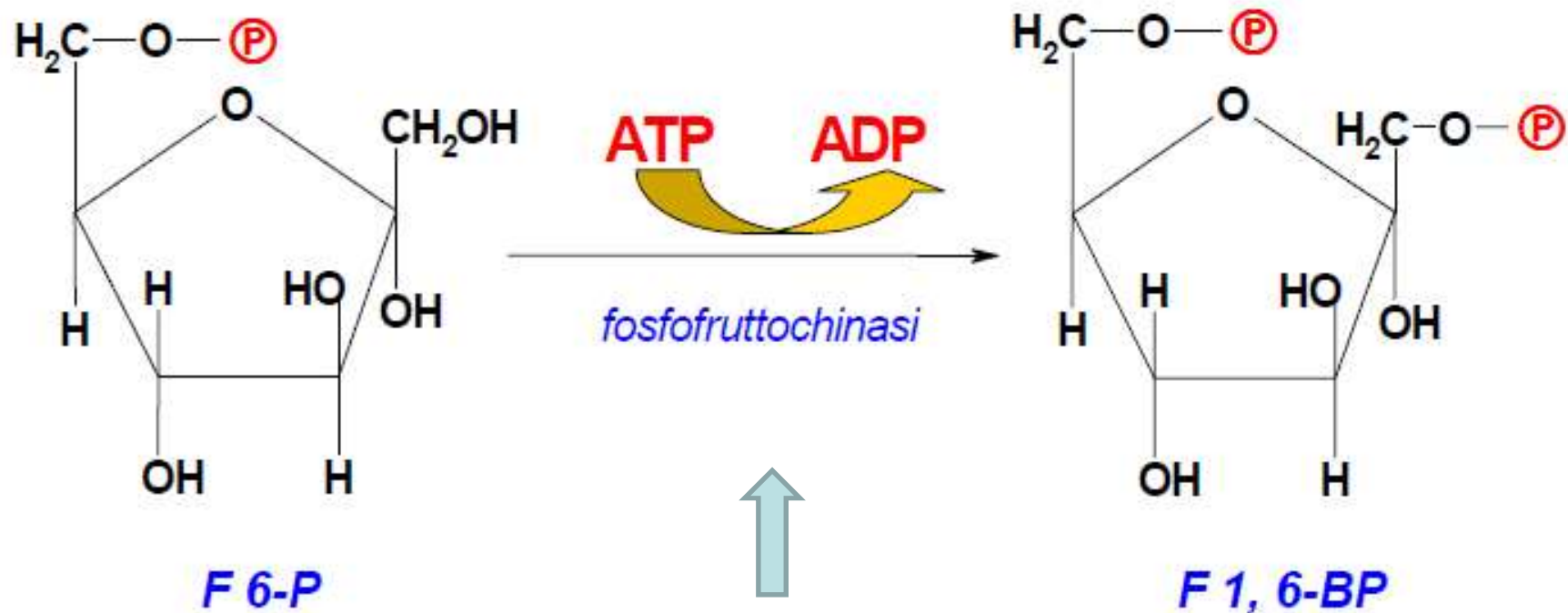
- **Prima reazione:** fosforilazione del glucosio



● **Seconda reazione: Isomerizzazione del glucosio 6-P a fruttosio 6-P**



- **Terza reazione:** fosforilazione del F 6-P in fruttosio 1,6 bisfosfato (F1,6BP)



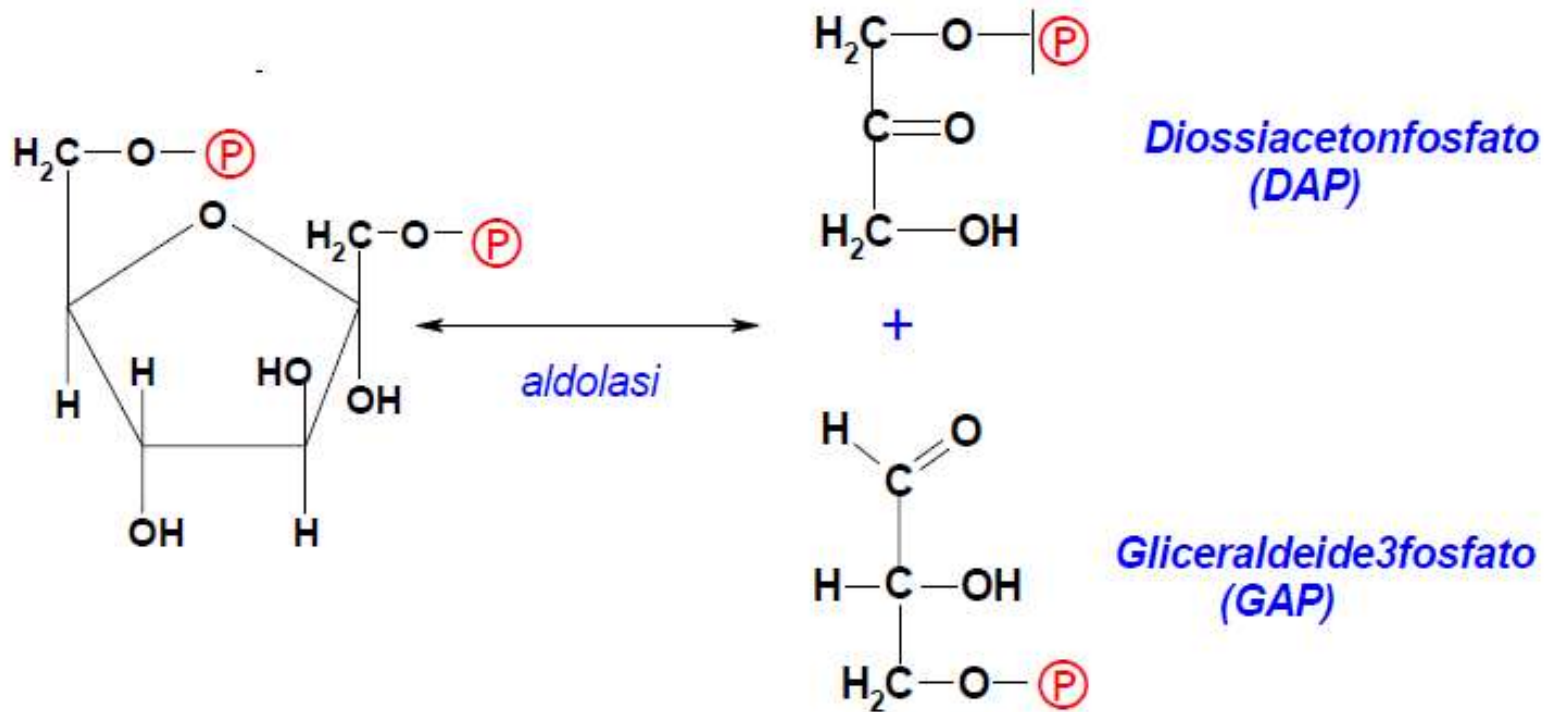
**Inibita da alte concentrazioni di ATP e citrato ed attivata da AMP e fosfato**

Ciò significa che se i livelli energetici intracellulari sono elevati, la glicolisi rallenta, mentre se sono bassi la glicolisi accelera.

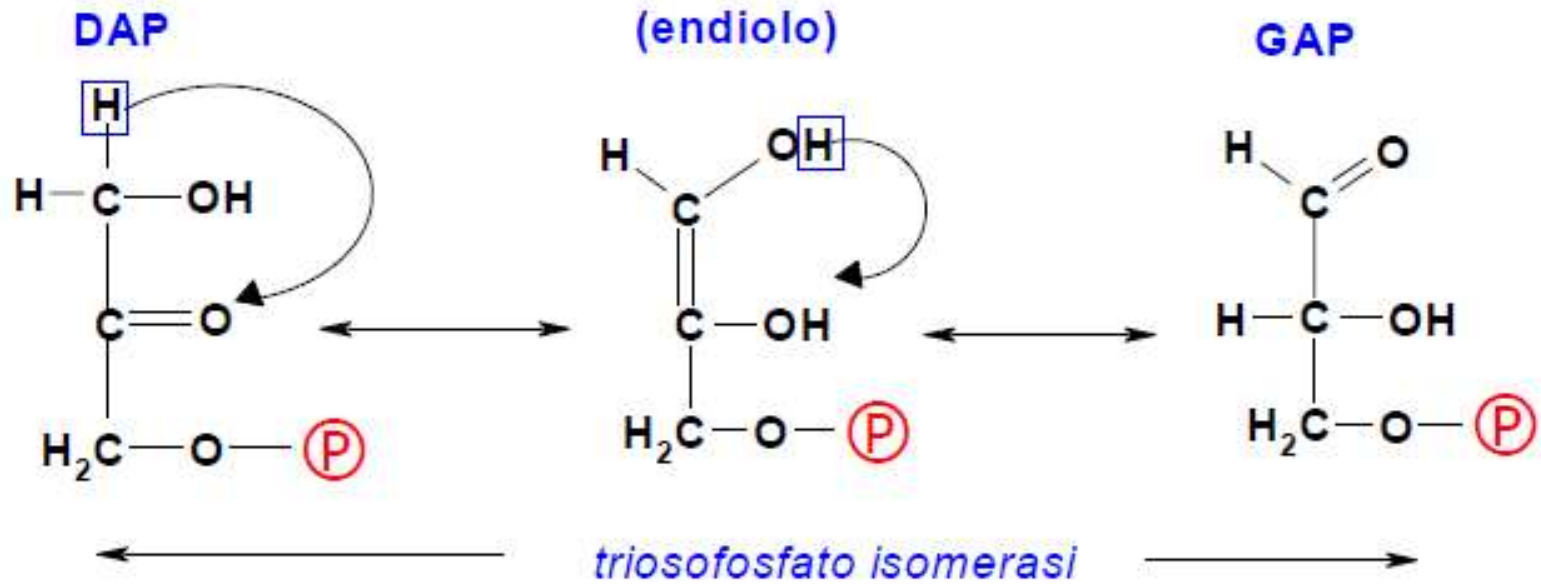
## Fase Intermedia

- **Quarta reazione** :degradazione del fruttosio 1, 6 BP ( F1,6 BP).

Demolizione di uno zucchero a 6 carboni in 2 composti a 3 carboni



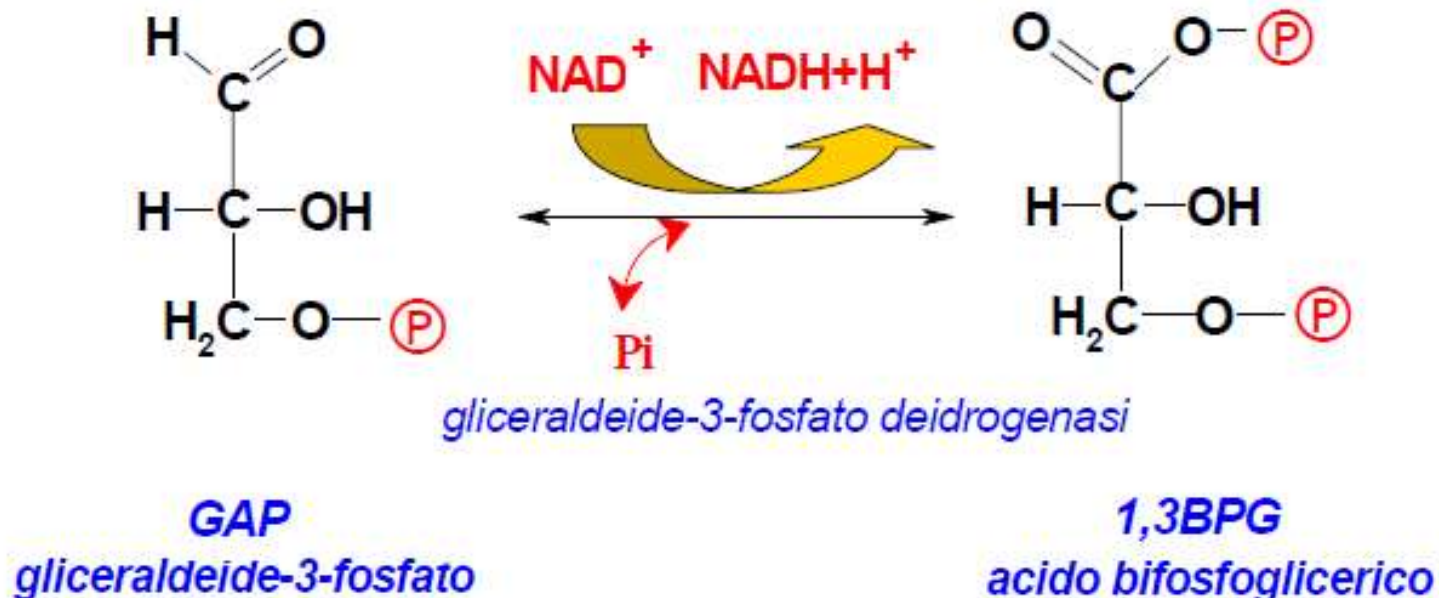
● Quinta reazione: isomerizzazione del DAP in GAP





## Fase Esoergonica

- **Sesta reazione** : deidrogenazione e fosforilazione del GAP



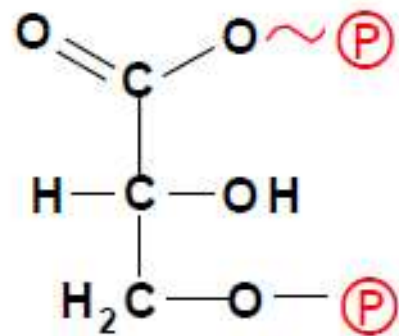
L'Acido 1,3 Bisfosfoglicerico è un composto ad alta energia. La variazione di energia libera nella reazione di distacco idrolitico del fosfato in posizione 1 è pari a 12 kcal/mole.  $\Delta G^\circ = -12 \text{ kcal/mole}$  (notare il simbolo ~ di legame ad alta energia utilizzato per indicare il legame fosfoanidridico del 1,3 BPG). L'energia derivante dall'ossidazione dell'aldeide è stata utilizzata per la formazione del composto ad alta energia.

## Sesta reazione della glicolisi

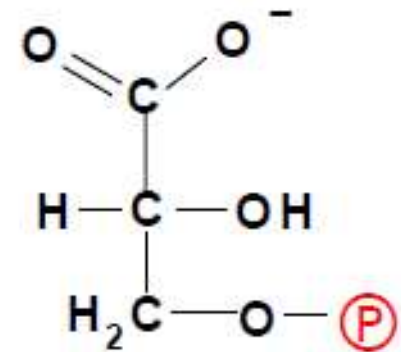
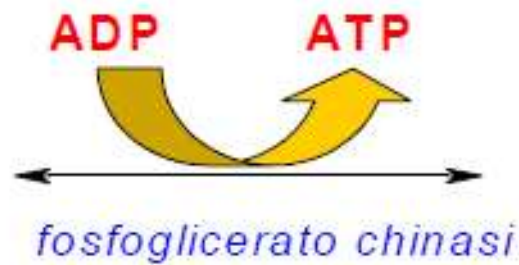
- I. Formazione di un composto ad alta energia (1,3 BPG) che nella reazione successiva sarà utilizzato per la sintesi di una molecola di ATP (fosforilazione a livello del substrato);
- II. Formazione di NAD ridotto che nel processo della fosforilazione ossidativa potrà consentire la sintesi di 3 molecole di ATP.



● **Settima Reazione : 1<sup>a</sup> fosforilazione a livello del substrato**



**1,3 Bisfosfoglicerato**



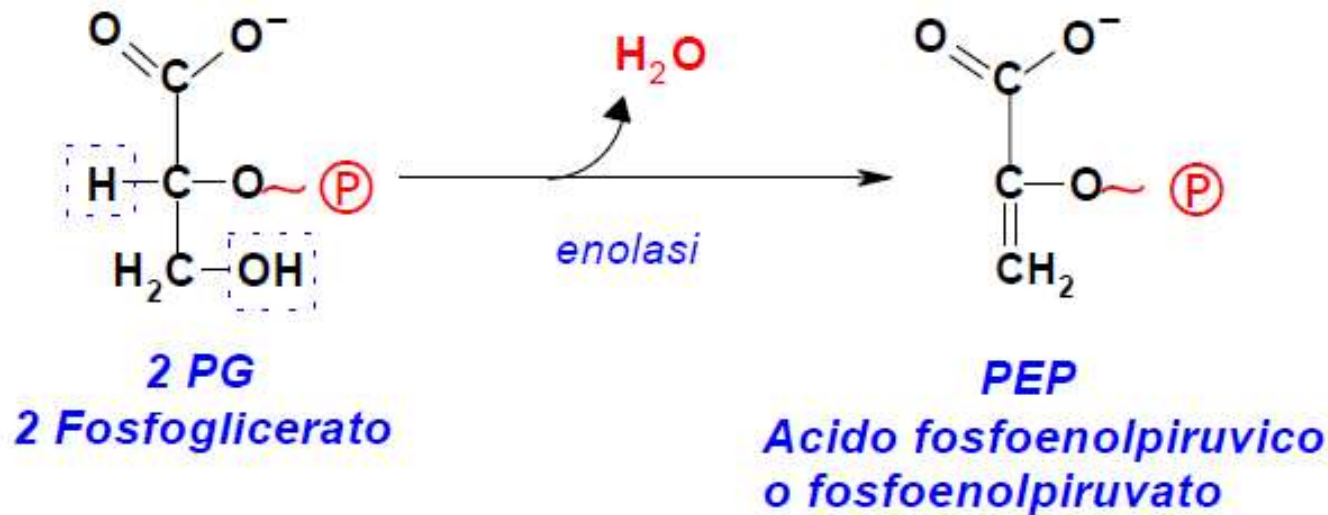
**3 Fosfoglicerato**

● **Ottava reazione: isomerizzazione del 3PG**



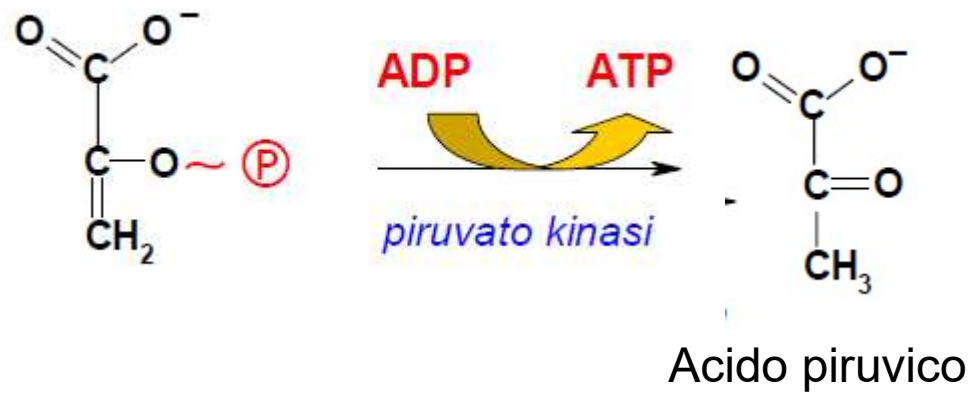
Si realizza lo spostamento del fosfato da C3 a C2 catalizzato dall'enzima *fosfoglicerato mutasi*. Si ricorda che il termine mutasi indica enzimi che catalizzano il trasferimento di un raggruppamento da una posizione ad un'altra posizione della stessa molecola.

- **Nona reazione:** rimozione di una molecola di acqua e formazione del fosfoenolpiruvato



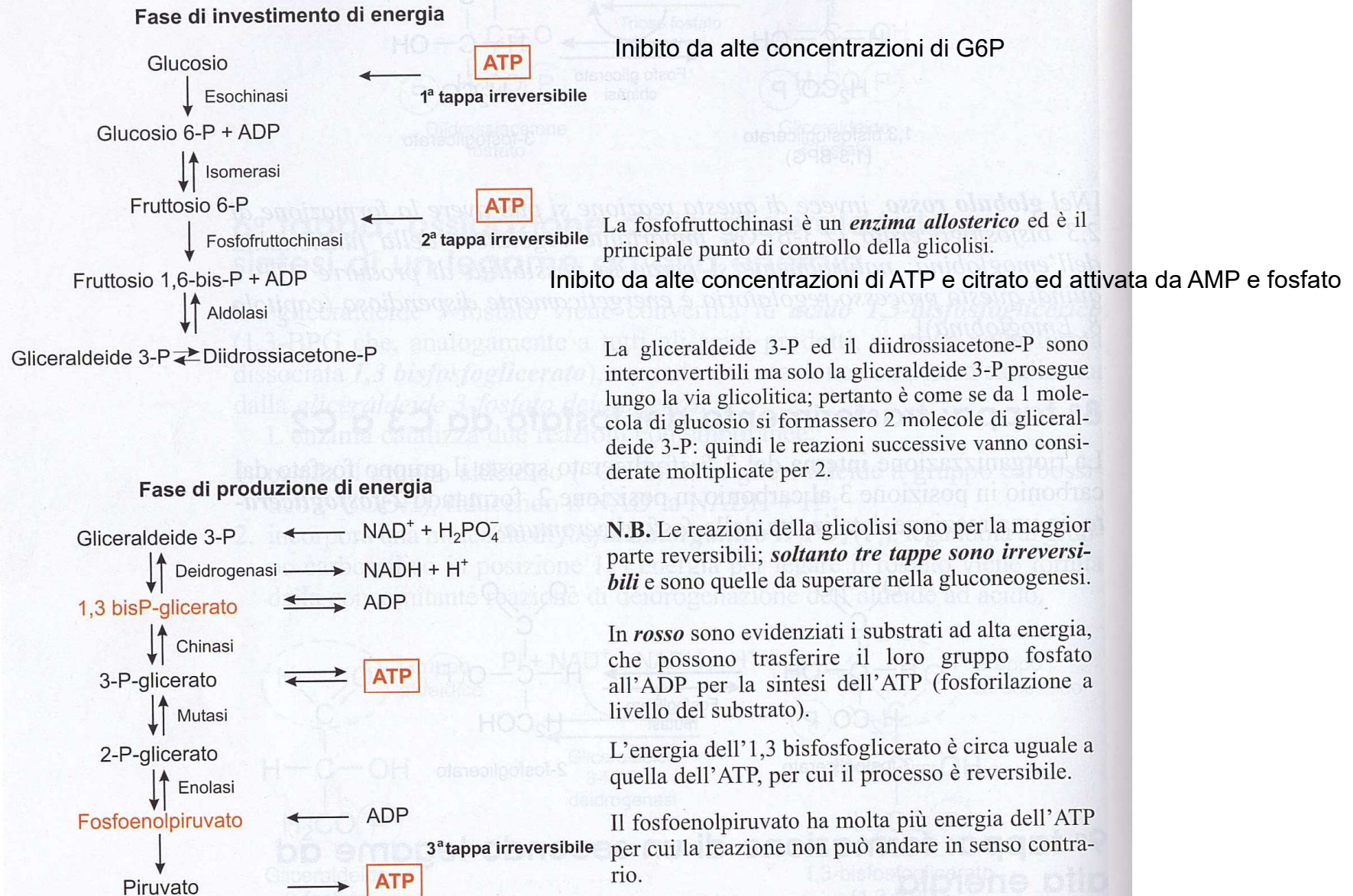
La reazione catalizzata dall'enolasi trasforma un composto in cui il legame con il gruppo fosfato è a bassa energia **in un composto in cui il legame diventa ad alta energia**

● **Decima reazione:** seconda fosforilazione a livello del substrato

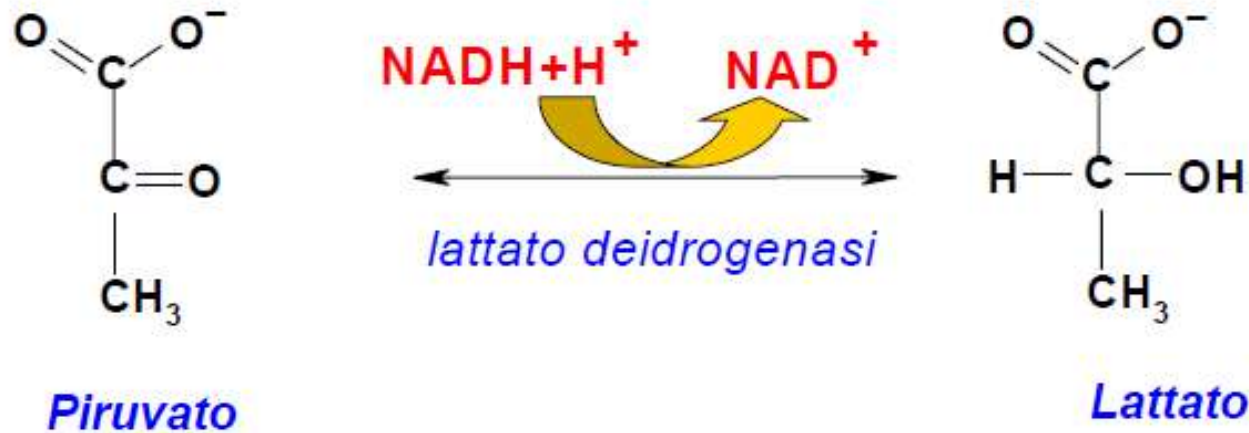




## SCHEMA RIASSUNTIVO DELLA GLICOLISI



# La glicolisi anaerobica e la riduzione del piruvato a lattato



Eritrociti, cellule muscolari, cellule embrionali e tumorali

↓ Fuori dalla cellula da trasportatori specifici

## Gluconeogenesi

Processo endoergonico a partire da acido lattico



Captato da altri tessuti o per la *sintesi di glucosio* (fegato) o per entrare nel ciclo aerobico riconvertendolo in piruvato

## Bilancio energetico della glicolisi

Quanto ATP prodotto per molecola di glucosio

Tappa	ATP
1) glucosio → G-6-P	-1
2) F-6-P → F-1,6-dP	-1
3) 1,3-bifosfoglicerato → 3-fosfoglicerato	+2
3) PEP → piruvato	+2
	Netto +2
- = ATP consumato	
+ = ATP prodotto	

**Efficienza:** quanta energia libera rilasciata dalla via metabolica è accumulata in forma di energia libera di idrolisi dell' ATP

2 ATP

Resa energetica è del 28%

## DESTINO del PIRUVATO in condizioni aerobiche

In condizioni aerobiche il piruvato che si forma direttamente dalla glicolisi o indirettamente dall'ossidazione del lattato passa all'interno dei mitocondri (matrice mitocondriale) dove viene trasformato in *acetil-CoA* mediante decarbossilazione ossidativa, catalizzata dal *complesso multienzimatico della piruvato deidrogenasi*.



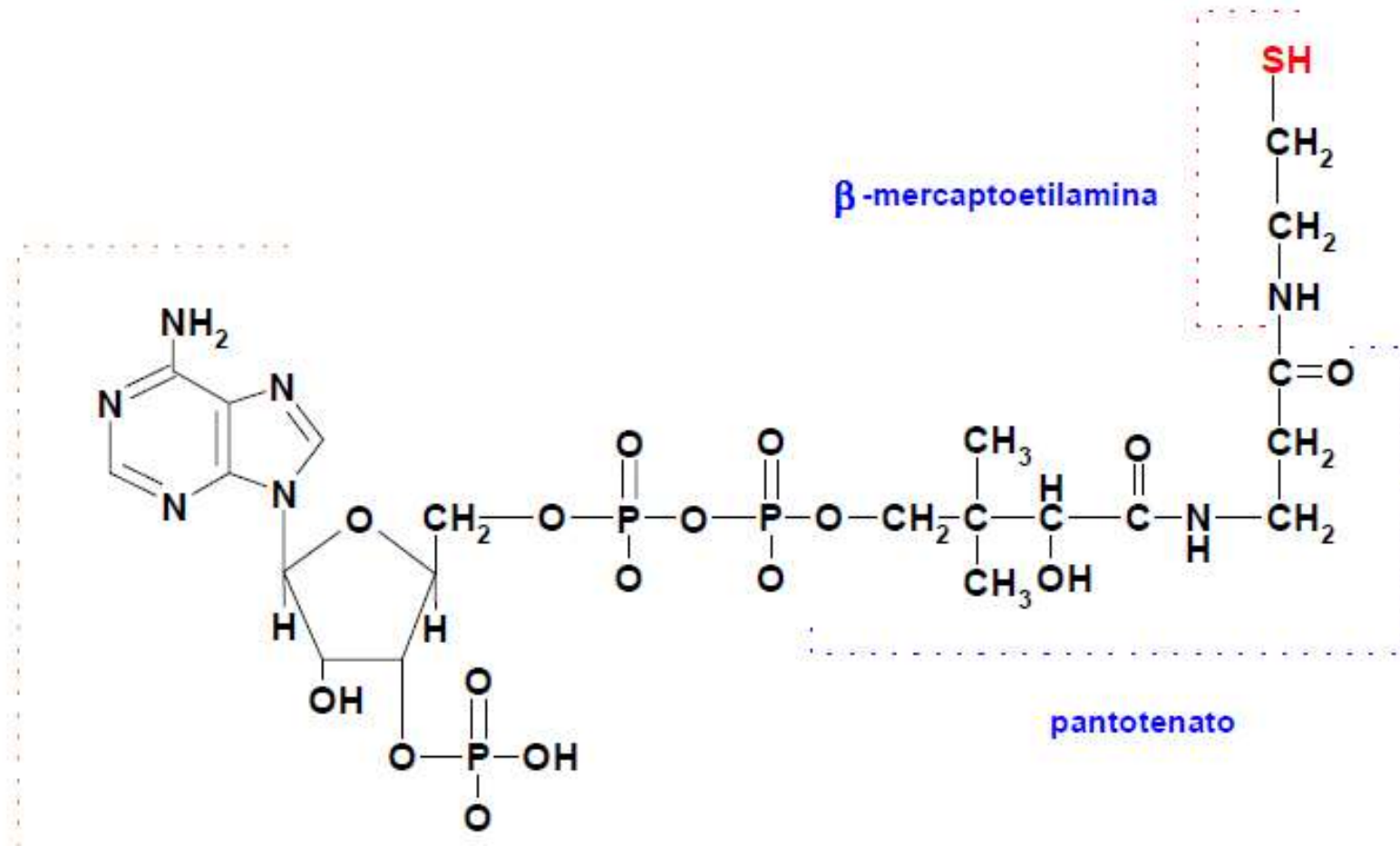
3 enzimi e loro cofattori (5) tra cui la vitamina B1 (tiamina) e l'acido folico

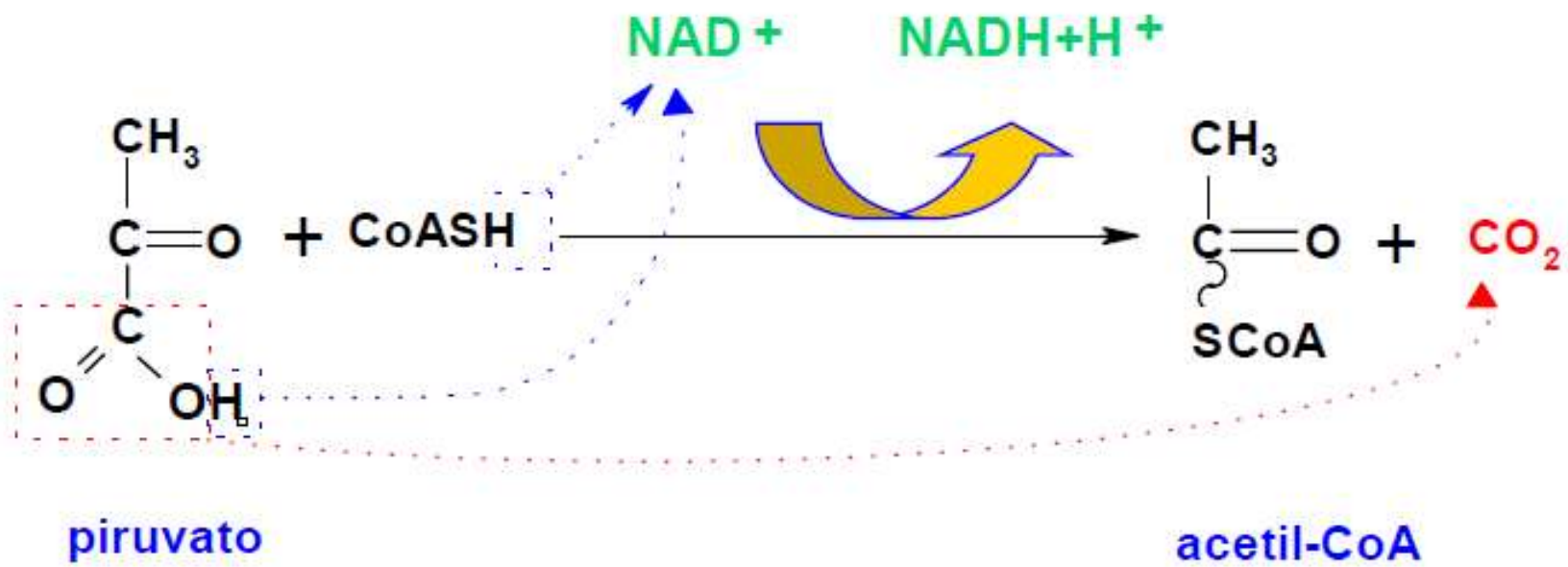
**Le reazioni di ossidoriduzione sono quelle reazioni in cui si ha uno scambio di elettroni tra due specie chimiche;** una specie subisce una reazione di ossidazione, l'altra subisce una reazione di riduzione.

E' chiaro che se in una reazione chimica un elemento si ossida perdendo elettroni, dovrà esistere un altro elemento che, acquistando gli elettroni, si riduce. Pertanto le reazioni di ossidazione e di riduzione devono avvenire contemporaneamente. Si parla quindi di reazioni di ossidoriduzione o di reazioni redox.

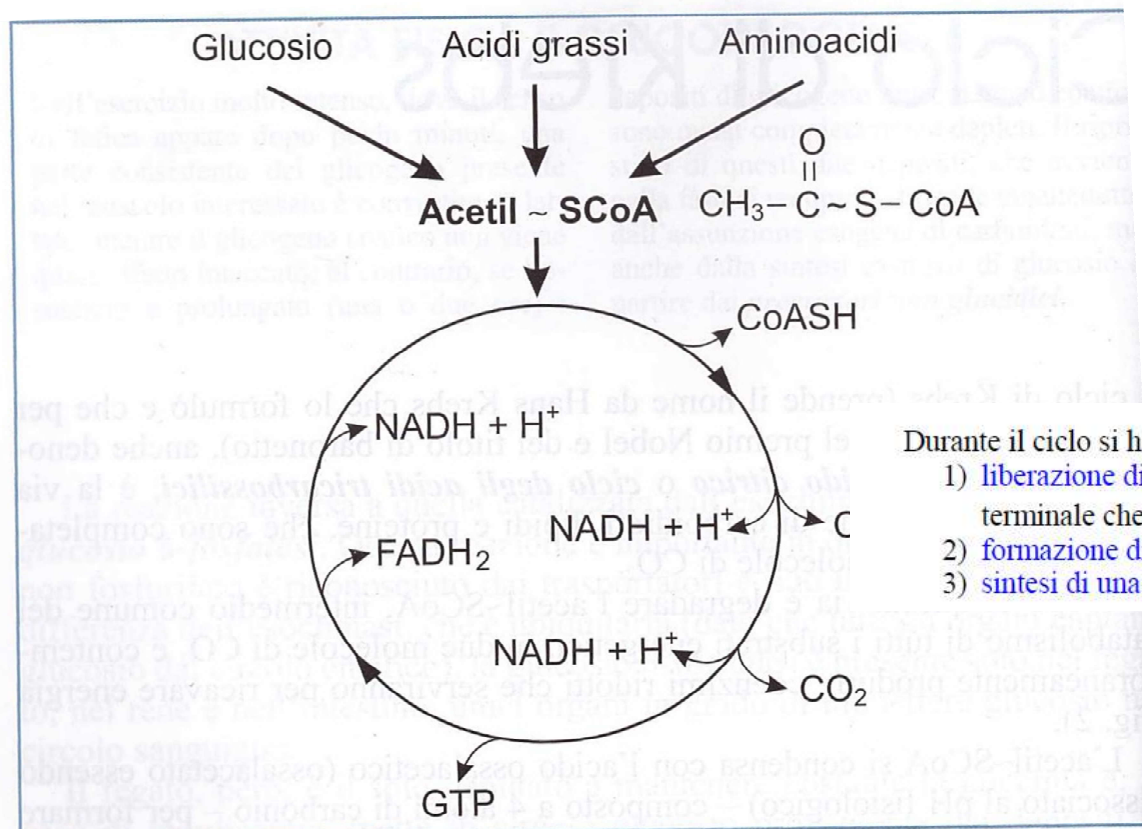


# COENZIMA A





**Acetil-CoA** , prodotto anche dalla  $\beta$ -ossidazione degli acidi grassi e dal catabolismo di alcuni aminoacidi, passa al **ciclo di Krebs** (detto anche **ciclo degli acidi tricarbossilici o ciclo dell'acido citrico**) dove viene ossidato fino a **CO<sub>2</sub>**



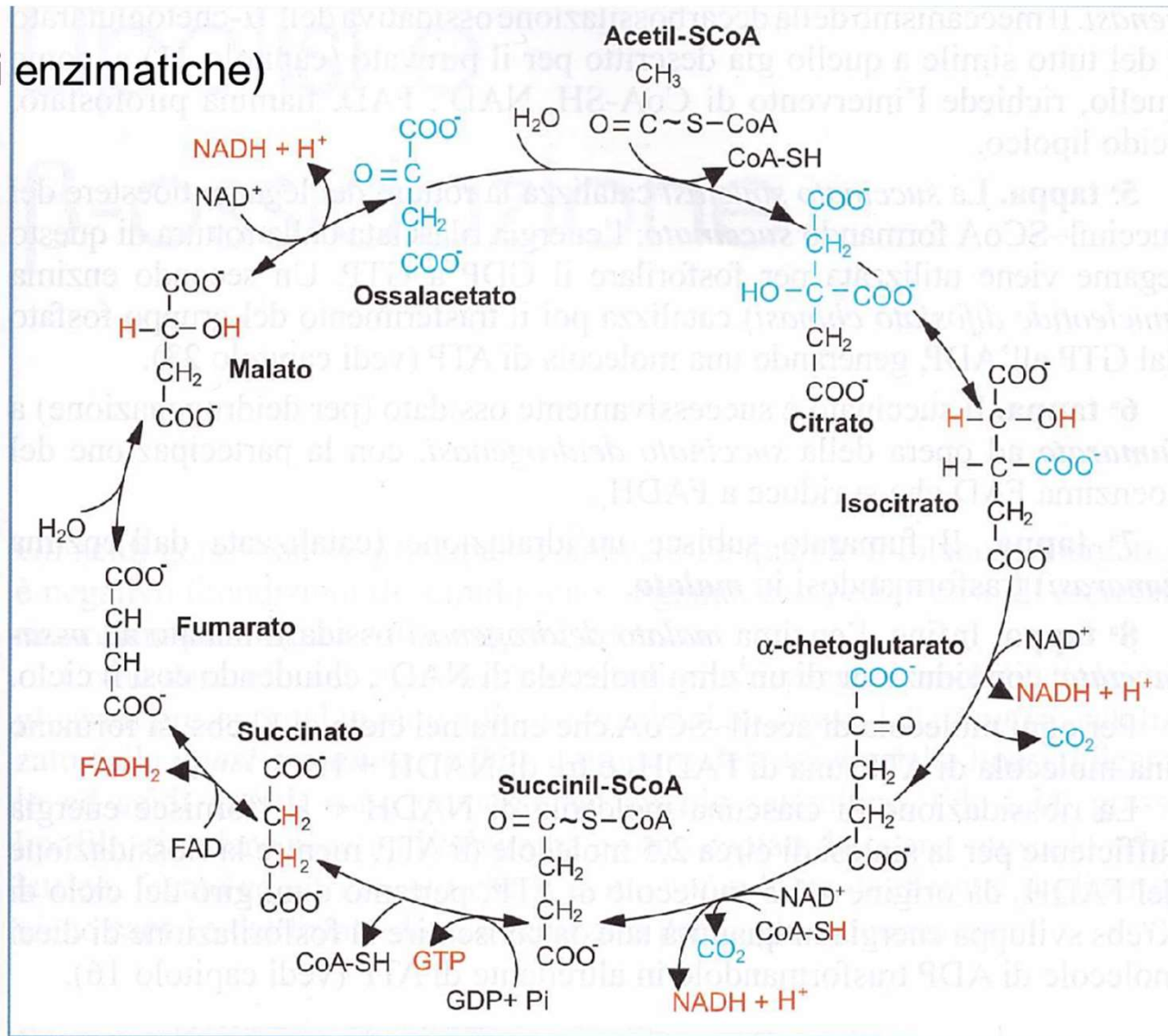
Durante il ciclo si ha:

- 1) liberazione di due atomi di carbonio sotto forma di **CO<sub>2</sub>**, catabolita terminale che sarà eliminato con la respirazione polmonare;
- 2) formazione di coenzimi **NAD** e **FAD** ridotti;
- 3) sintesi di una molecola di **GTP**.

Figura 2. Rappresentazione schematica del ciclo di Krebs.

# Ciclo di Krebs

(8 reazioni enzimatiche)



**Figura 3.** Nella figura sono rappresentate in dettaglio le diverse tappe del ciclo di Krebs.

**Nel ciclo di Krebs degli intermedi metabolici servono da precursori di vie biosintetiche**

Ossalacetato-----aspartato

Ossalacetato-----gluconeogenesi (glucosio)

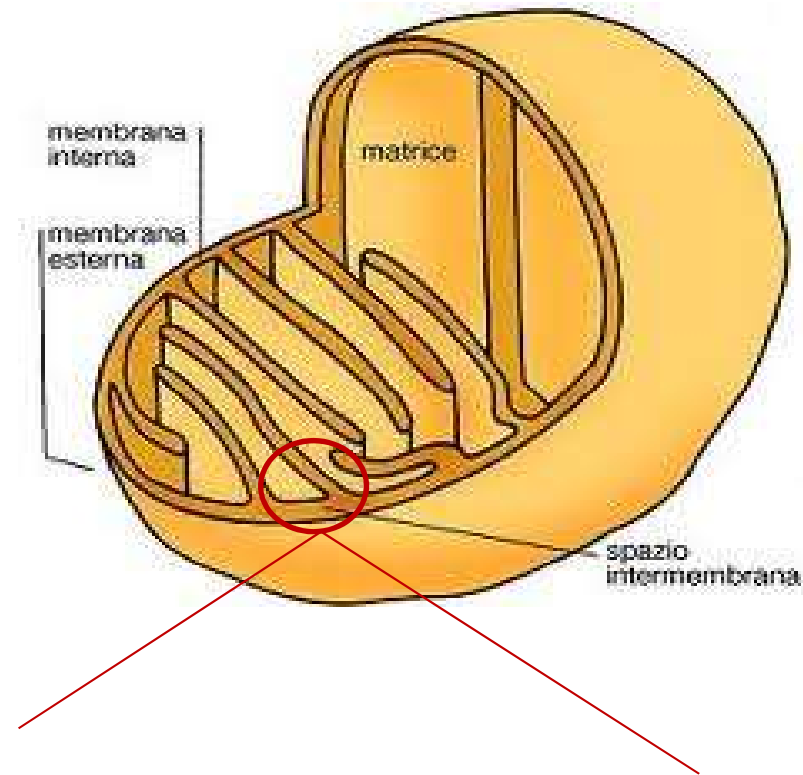
Citrato -----acidi grassi

Durante il ciclo si ha:

- 1) liberazione di due atomi di carbonio sotto forma di  $\text{CO}_2$ , catabolita terminale che sarà eliminato con la respirazione polmonare;
- 2) formazione di coenzimi NAD e FAD ridotti;
- 3) sintesi di una molecola di GTP.

## Fosforilazione ossidativa

La fosforilazione ossidativa è costituita da una serie (catena) di reazioni in sequenza in cui gli elettroni vengono trasferiti da una molecola all'altra fino ad arrivare all'ossigeno che si riduce ad acqua: **CATENA DI TRASPORTO DEGLI ELETTRONI**



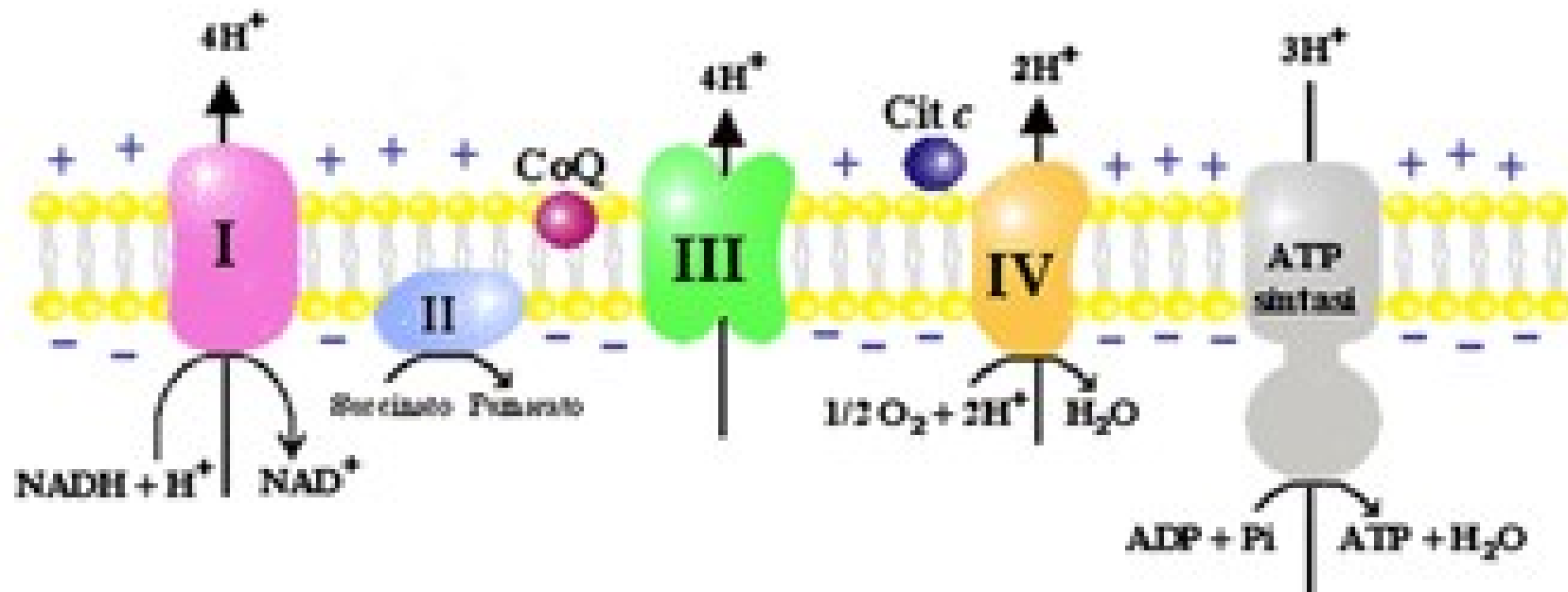
Trasportatori di elettroni

5 complessi multienzimatici (complesso I,II,III,IV e V)

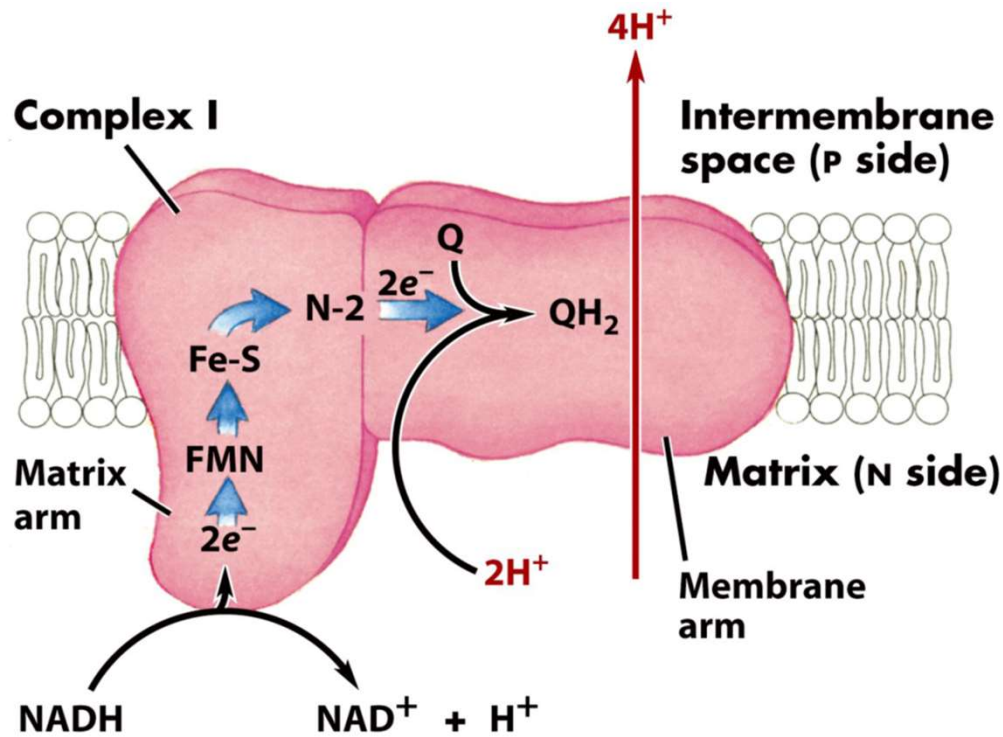
Coenzima Q

Citocromo c



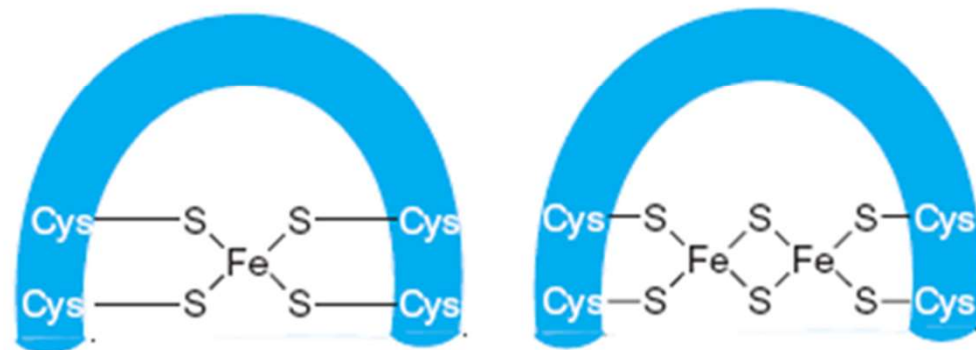


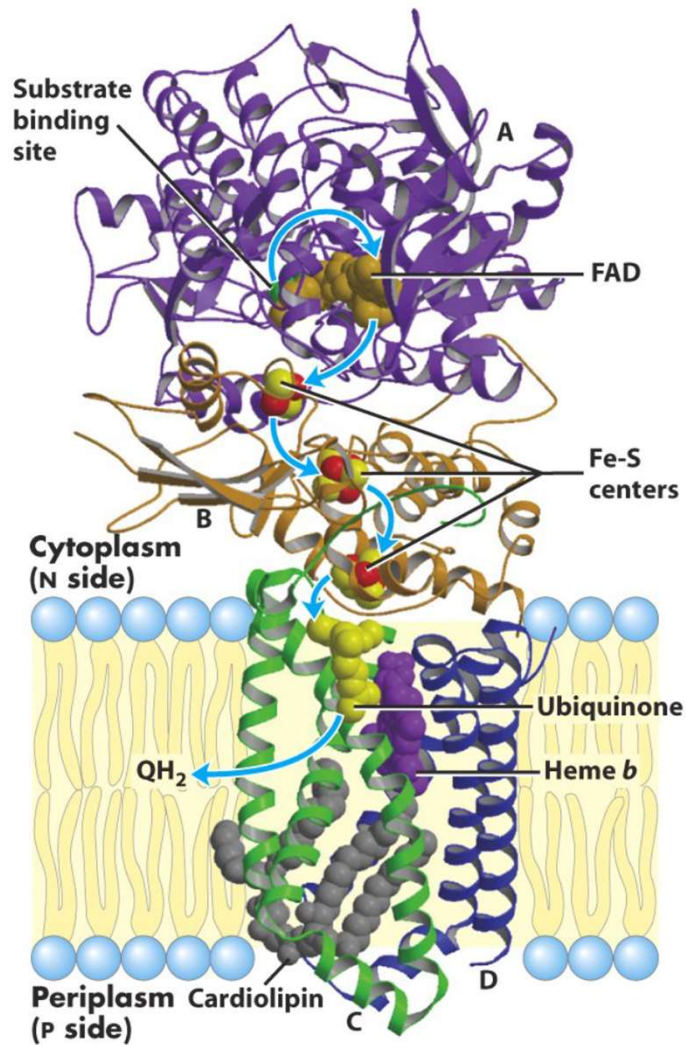
→



Il trasferimento di elettroni porta anche all'espulsione dalla matrice di protoni (4H<sup>+</sup> per ogni coppia di e<sup>-</sup>)

**NADH** - elettroni **al complesso I**: gruppo prostetico **FMN** si riduce a **FMNH<sub>2</sub>**  
 → **6 centri ferro-zolfo**





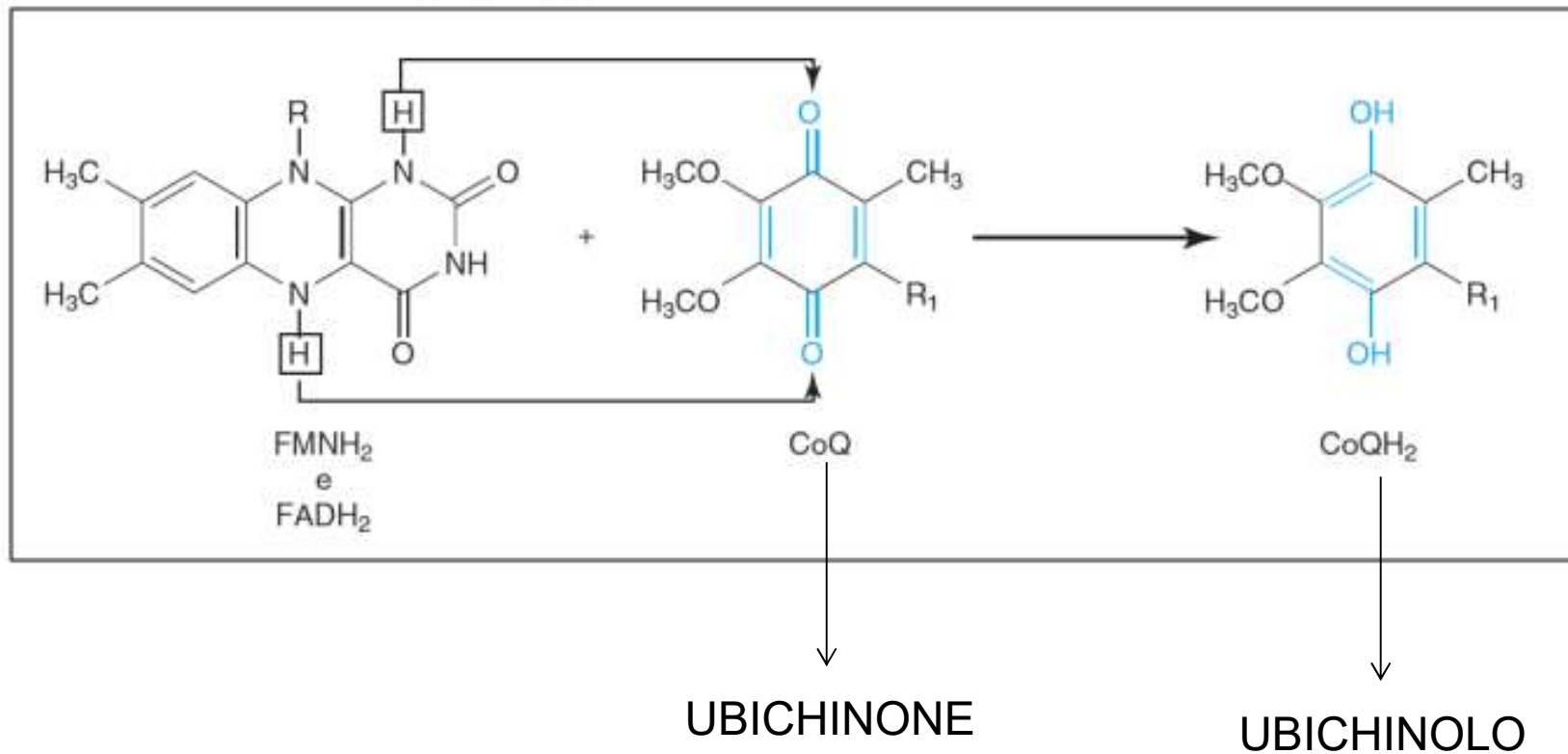
Gli elettroni si muovono dal succinato a FAD, quindi attraversano tre centri Fe-S fino all'ubichinone

Il percorso degli elettroni è:

**Succinato** → **FAD** → **proteine Fe-S** → **coenzima Q**

Struttura del complesso II di E.coli

Entrambi questi complessi consegneranno gli elettroni al **Coenzima Q**, una molecola liposolubile della membrana interna mitocondriale (carrier mobile), che si ossiderà consegnando **gli elettroni al complesso III**



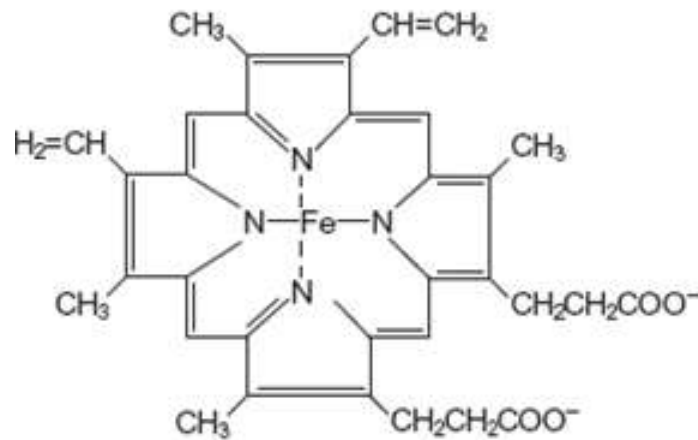
## Complesso III (citocromo c riduttasi) : 3 cromoproteine

**(emoproteine)** : sono proteine legate ad un gruppo eme che lega un atomo di ferro.

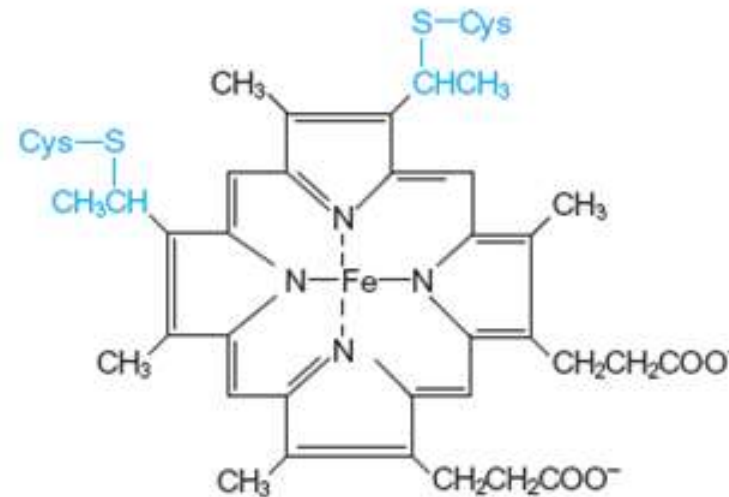
Il complesso III riceve gli elettroni dal coenzima Q e li trasferisce al citocromo c.  
Il percorso degli elettroni è:

**coenzima Q** → **proteine FeS** → **cit c1** → **cit c**

Il complesso III è un altro sito dove i protoni fuoriescono dalla matrice.



Eme (Fe- protoporfirina IX)  
presente nei citocromi b



Eme C  
presente nel citocromo c

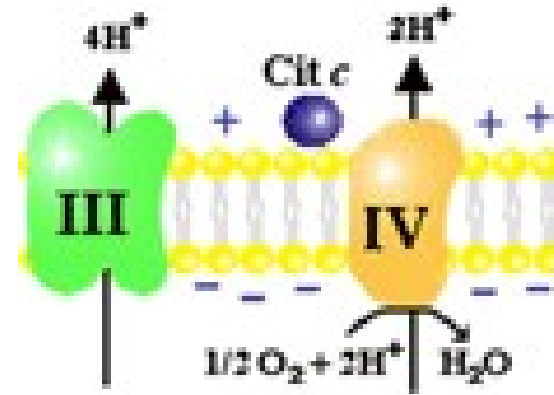
Nei citocromi gli elettroni vengono acquisiti e ceduti dal Fe dell'eme, passando da Fe<sup>3+</sup> a Fe<sup>2+</sup> e viceversa

coenzima Q → proteine FeS → cit c1 →  
cit c



Carrier mobile

## Complesso IV



Il **complesso IV (citocromo c ossidasi)** è costituito da proteine rame-zolfo (CuA, CuB), citocromo a, citocromo a3.

Il complesso IV riceve gli elettroni dal citocromo c e li trasferisce all'ossigeno che si riduce ad H<sub>2</sub>O.

Il percorso degli elettroni è:

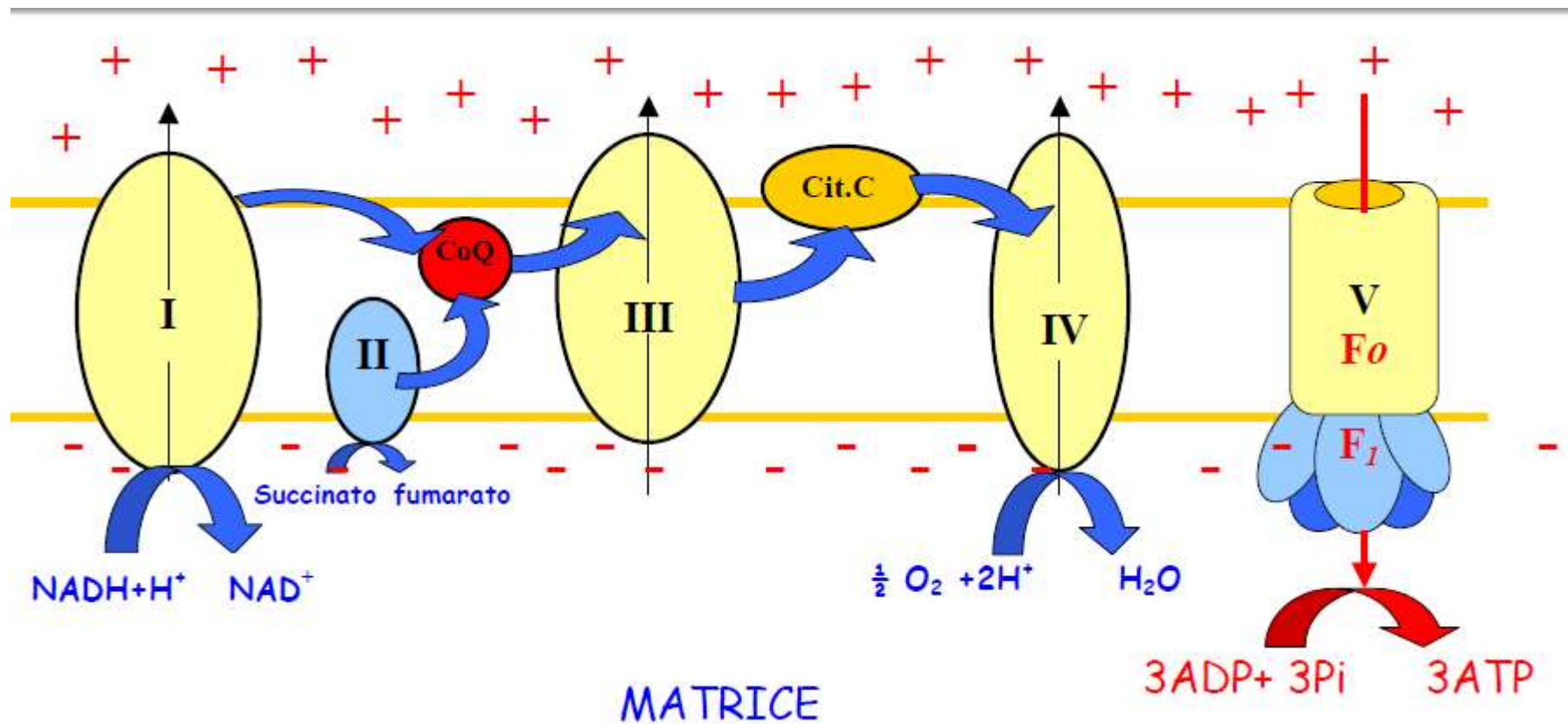
**Cit c → CuA → cit a → cit a3 → CuB → O<sub>2</sub>**

Al trasferimento degli elettroni si associa la fuoriuscita di protoni (H<sup>+</sup>) dalla matrice verso lo spazio intermembrana

## ATPasi (complesso V, ATP sintasi $F_0F_1$ )

L'energia liberata durante il trasporto degli elettroni viene utilizzata per pompare ioni idrogeno dalla matrice mitocondriale allo spazio intermembrana

### GRADIENTE ELETTROCHIMICO PROTONICO (forza motrice protonica)



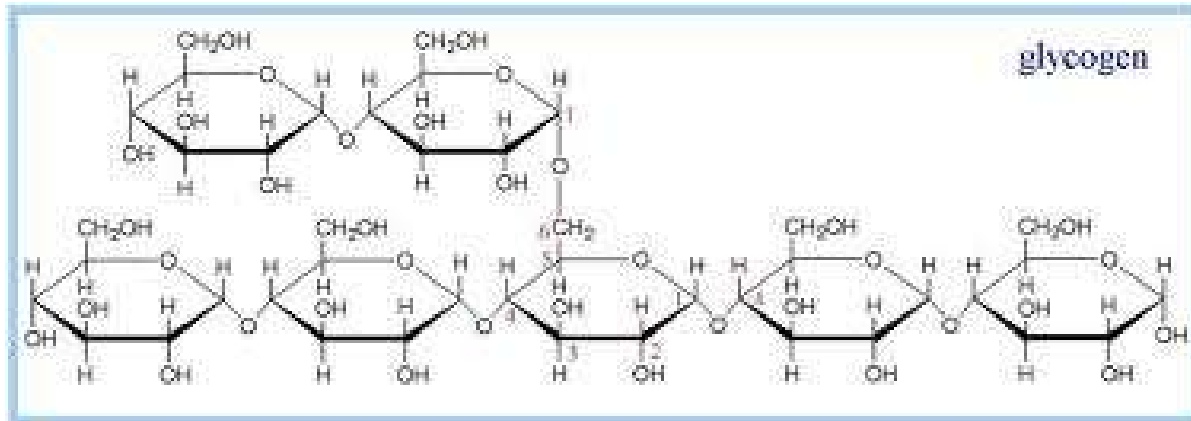


Si ottiene complessivamente il seguente rendimento di ATP e produzione di CO<sub>2</sub>

Via metabolica	Substrato	Fosforilazione a livello del substrato	Fosforilazione ossidativa	ATP prodotto	Co <sub>2</sub> prodotta
Glicolisi aerobica	1 glucosio	2	6 (2 NADH+H <sup>+</sup> )	8	no
Decarbossilazione ossidativa del piruvato	2 piruvato	no	6 (2 NADH+H <sup>+</sup> )	6	2 CO <sub>2</sub>
Ciclo di Krebs	2 acetil-CoA	2	22 (6 NADH+H <sup>+</sup> 2 FADH <sub>2</sub> )	24	4 CO <sub>2</sub>
<b>TOTALE</b>		4	34	38	6 CO <sub>2</sub>

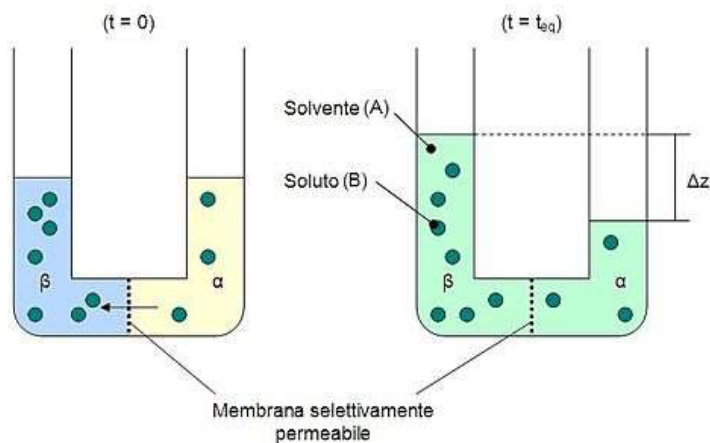


## IL GLICOGENO



Nei muscoli e nel fegato

Fino a 30.000 unità di glucosio possono partecipare alla formazione di una molecola di glicogeno (peso molecolare  $5 \times 10^6$ ).



Perché non viene accumulato direttamente glucosio: **A CAUSA DELLA PRESSIONE OSMOTICA**

Un quantità di glucosio libero pari a quella contenuta nel glicogeno porterebbe la concentrazione di glucosio all'interno della cellula epatica ad un valore di 400 mM. La pressione osmotica dipende dalla concentrazione delle molecole (concentrazione espressa in molarità). Una concentrazione intracellulare di glucosio pari a 400 mM causerebbe l'ingresso di acqua nella cellula ed il suo rigonfiamento fino alla rottura della membrana plasmatica (lisi osmotica). 400 mM di glucosio possono essere invece conservati con una concentrazione intracellulare di glicogeno di circa 0,01 mM. Possiamo quindi conservare un gran numero di molecole di glucosio all'interno delle cellule senza provocare drastici incrementi della pressione osmotica. Inoltre la concentrazione intracellulare di glucosio varia

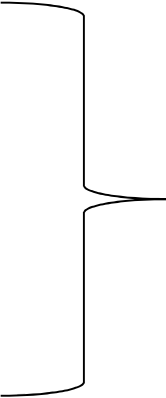
Il fegato ha una straordinaria capacità di immagazzinare glicogeno. In un uomo ben nutrito il contenuto di glicogeno epatico può ammontare a più del 10% del peso totale dell'organo. Il muscolo ha una concentrazione di glicogeno inferiore (al massimo 1-2%). Tuttavia, poiché la massa complessiva del tessuto muscolare (35 kg) è nettamente superiore a quella del fegato (1,8 Kg), in totale il glicogeno muscolare è circa il doppio di quello epatico.

*I depositi di glicogeno muscolare ed epatico hanno ruoli funzionali differenti.*

Il glicogeno muscolare serve come deposito di glucosio per la fibrocellula muscolare in cui è contenuto. Il glicogeno epatico è invece una riserva di glucosio per il mantenimento dei livelli glicemici e, quindi, a disposizione degli altri tessuti dell'organismo.

GLICOGENOSINTESI

GLICOGENOLISI



Finemente regolate e sensibili alle variazioni metaboliche

# Glicogenolisi



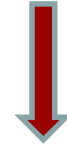
Fosforolisi

e

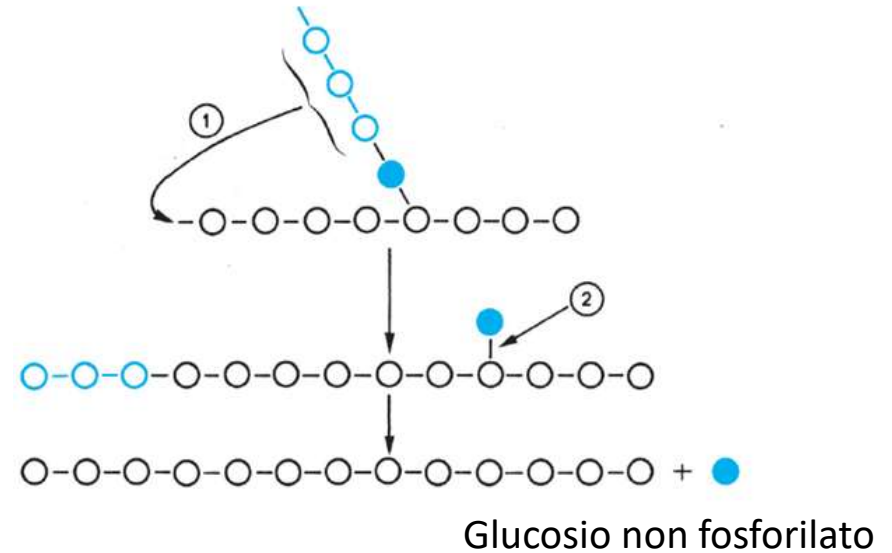
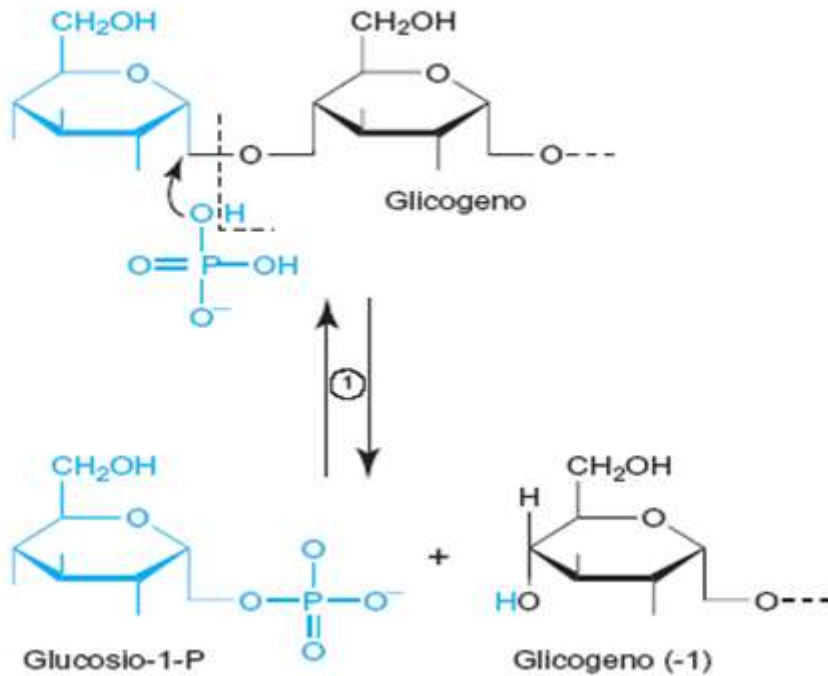
deramificazione



Glicogeno fosforilasi



Enzima deramificante  
(2 attività catalitiche)

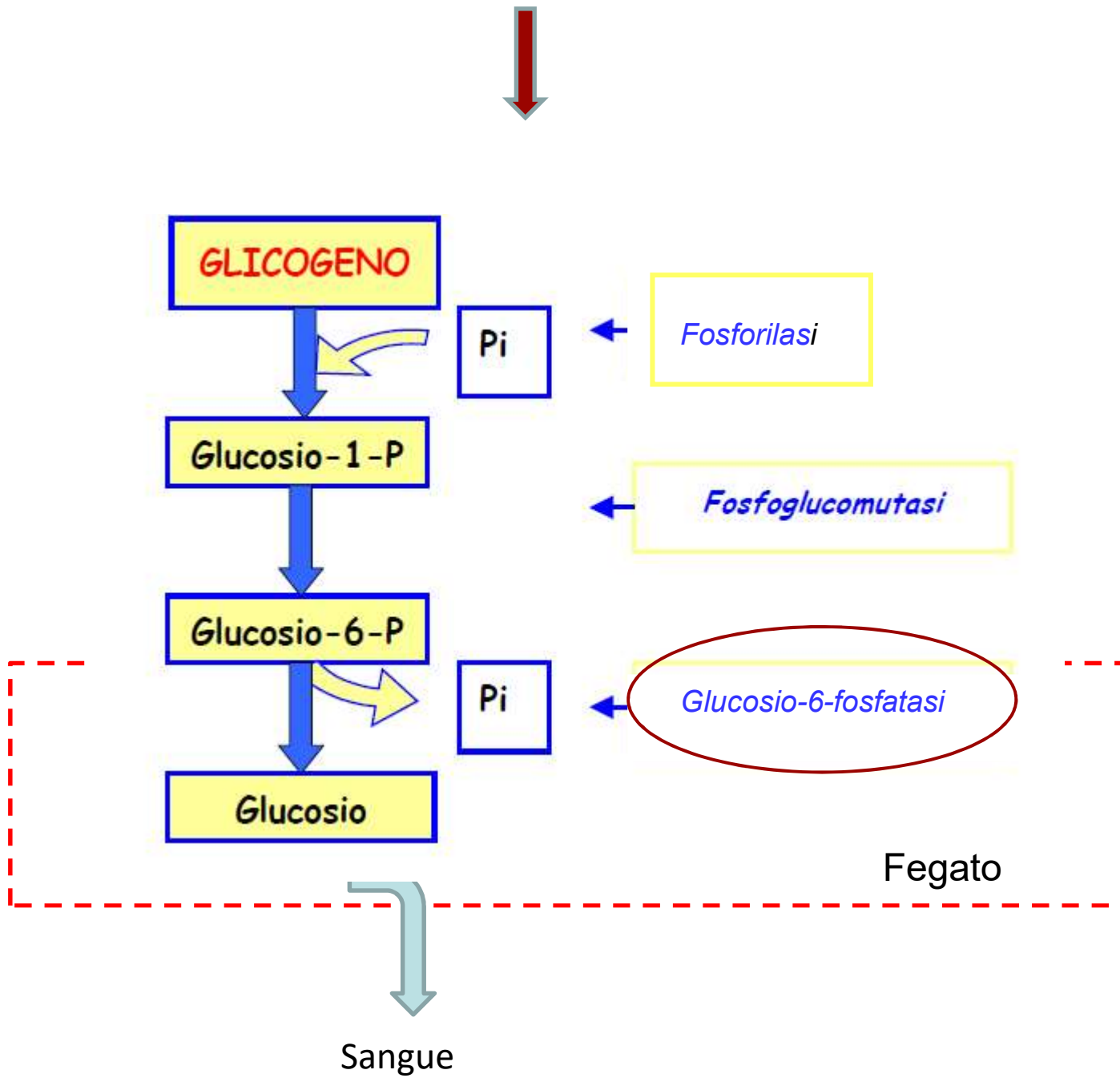


1. Transglicosilazione (trasferimento frammento triglicosidico sull'estremità di una catena)

2. Idrolisi (liberazione 1 glucosio)







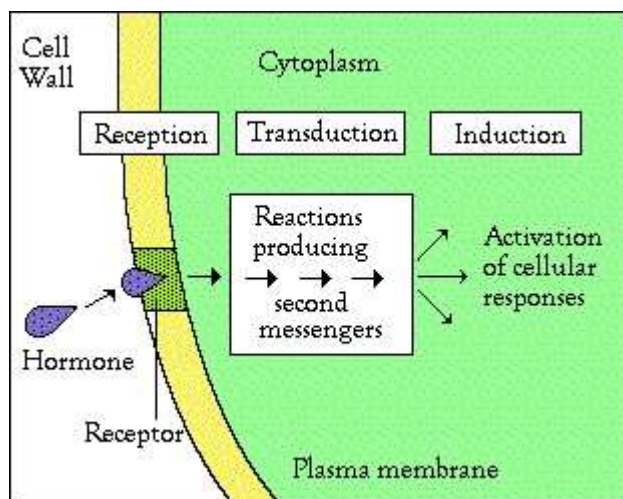
## Regolazione della glicogenolisi.

Esistono due isoenzimi della *glicogeno fosforilasi* (l'enzima responsabile della glicogenolisi) espressi nel fegato e nel muscolo. La loro regolazione è diversa in accordo con le differenti funzioni del glicogeno epatico e muscolare.

**Nel muscolo**

Fosforilasi a (attiva-fosforilata)  $\leftrightarrow$  Fosforilasi b (inattiva-defosforilata)

Concentrazione di **AMP** (attivatore allosterico), **adrenalina**, concentrazione di **calcio citosolico**



cAMP

**Attivatori allosterici**

**Fosforilasi chinasi**

Fosforilazione della glicogeno fosforilasi b che viene attivata prendendo la conformazione di fosforilasi a

## Nel fegato

Fosforilasi a  $\leftrightarrow$  Fosforilasi b

Concentrazione di **glucosio intracellulare** (inibitore allosterico, si lega alla fosforilasi nella conformazione a)

**Adrenalina e glucagone**



cAMP



**Fosforilasi chinasi**

Fosforilazione della glicogeno fosforilasi b che viene attivata a fosforilasi a

## Regolazione della glicogenolisi

	<b>Muscolo</b>	<b>Fegato</b>
Regolazione da metaboliti	AMP (+)	Glucosio (-)
Regolazione ormonale	Adrenalina (+) Insulina (-)	Adrenalina (+) Glucagone (+) Insulina (-)
Regolazione dai livelli di calcio citosolico	(+) $\uparrow(\text{Ca}^{++})_i \rightarrow$ fosforilasi chinasi $\rightarrow$ glicogeno fosforilasi	

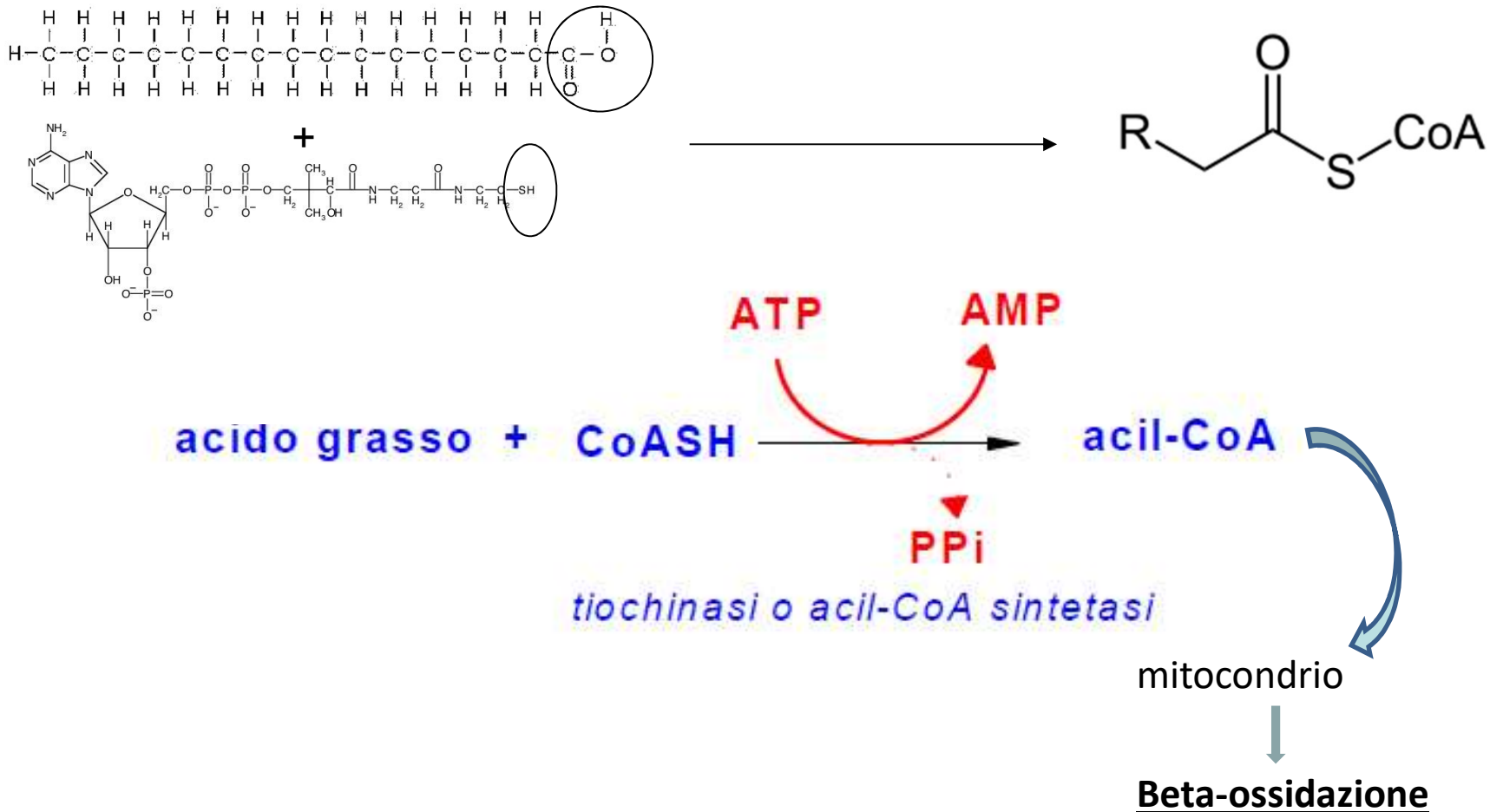


## Beta-ossidazione- catabolismo degli acidi grassi

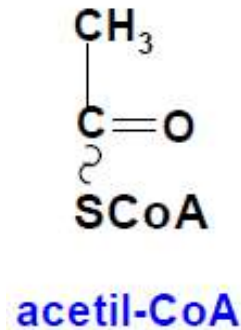
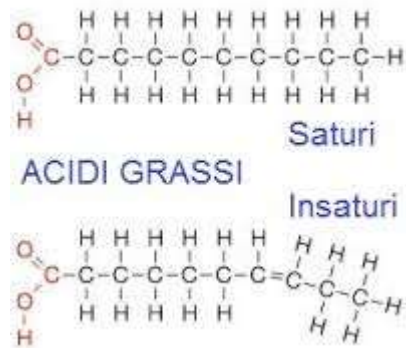
Usati come combustibile quando il bilancio energetico è negativo e in caso di esercizio  
Muscolare prolungato e di moderata intensità

**Devono essere attivati da condensazione con CoA-SH**

Gli acidi grassi a catena corta entrano per diffusione nel mitocondrio  
Quelli a catena lunga attivati già nel citosol



Le molecole di acil-CoA giunte nella matrice mitocondriale vanno incontro al processo catabolico della beta-ossidazione: attraverso tale via le molecole dell'acido grasso vengono accorciate di due molecole di carbonio per volta dando come prodotti delle unità di acetil-CoA.



Ogni acetil-CoA rimosso da **4 reazioni enzimatiche in sequenza**

L'acil-CoA viene così accorciato di due carboni e può diventare substrato per un nuovo ciclo di 4 reazioni e liberare un altro acetil-CoA. E così via.....

**Alla fine un acido grasso con un numero pari n di atomi di C genera n/2 molecole di acetil-CoA**

**Se l'acido grasso a numero dispari di atomi di C si libera acetil-CoA e una molecola di propionil-CoA a 3 atomi di carbonio**



Delle 4 reazioni che si ripetono ciclicamente nella beta-ossidazione due sono reazioni redox che generano una molecola di **NADH** e una di **FADH<sub>2</sub>**

↓  
**3 ATP**

↓  
**2 ATP**

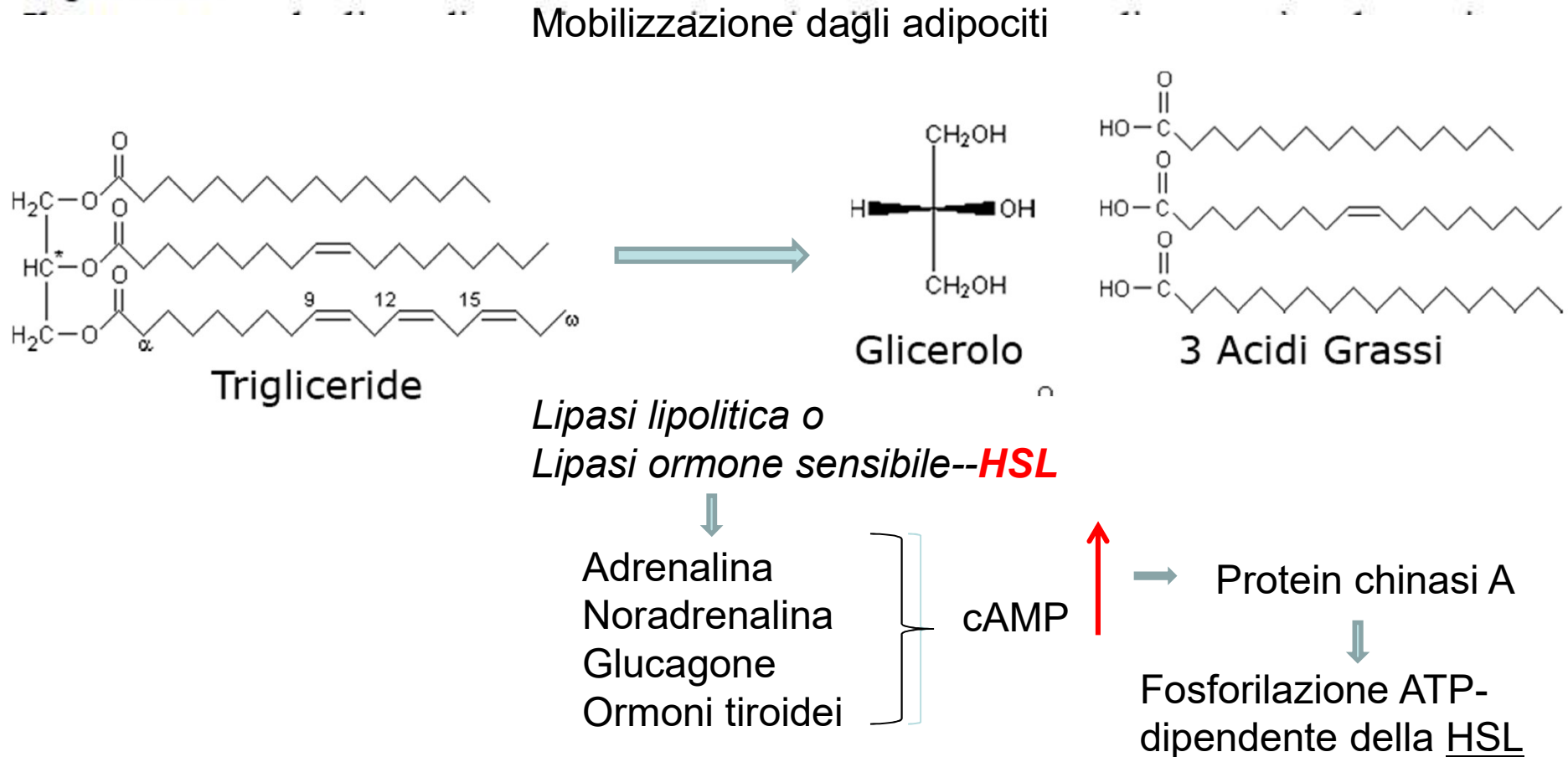
Esempio: Acido palmitico a 16 atomi carbonio

<b>Bilancio energetico della beta-ossidazione dell'acido palmitico</b>		
7 ripetizioni di beta ossidazione	7 FADH <sub>2</sub> (x 2 ATP) 7 NADH+H <sup>+</sup> (x 3 ATP)	<b>+35 ATP</b>
8 Acetil-CoA	8 x 12 ATP ( Krebs)	<b>+96 ATP</b>
attivazione acido palmitico		<b>-2 ATP</b>
<b>TOTALE</b>		<b>129 ATP</b>

Quindi l'ossidazione completa di una mole di acido palmitico a CO<sub>2</sub> ed acqua (ricordiamo che l'acetil-CoA che si forma nella beta-ossidazione viene trasformato in CO<sub>2</sub> ed acqua nel ciclo di Krebs e nella catena respiratoria) fornisce 129 moli di ATP.

## Catabolismo dei trigliceridi nel tessuto adiposo: la lipolisi

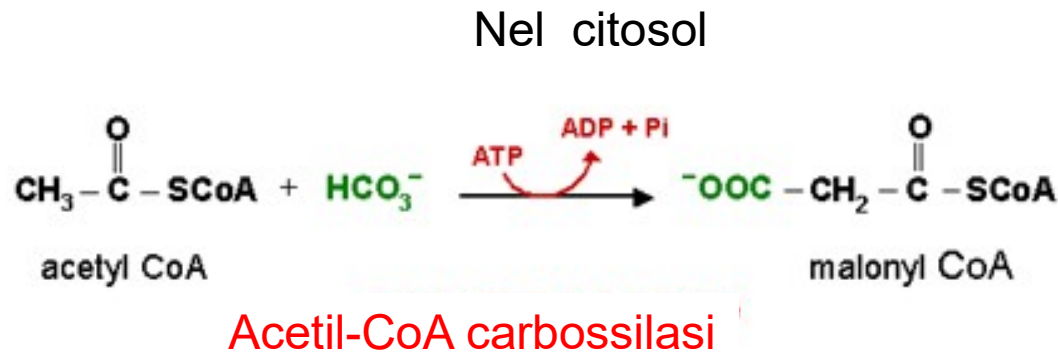
I trigliceridi accumulati all'interno degli adipociti vengono costantemente mobilizzati e ridepositati grazie al processo di idrolisi (*lipolisi*) e di sintesi (*lipogenesi*). L'adipocita, la cellula costituente il tessuto adiposo, contiene tutti gli organelli presenti nelle cellule eucariotiche ma il 95-99% del volume citoplasmatico è occupato dai trigliceridi.



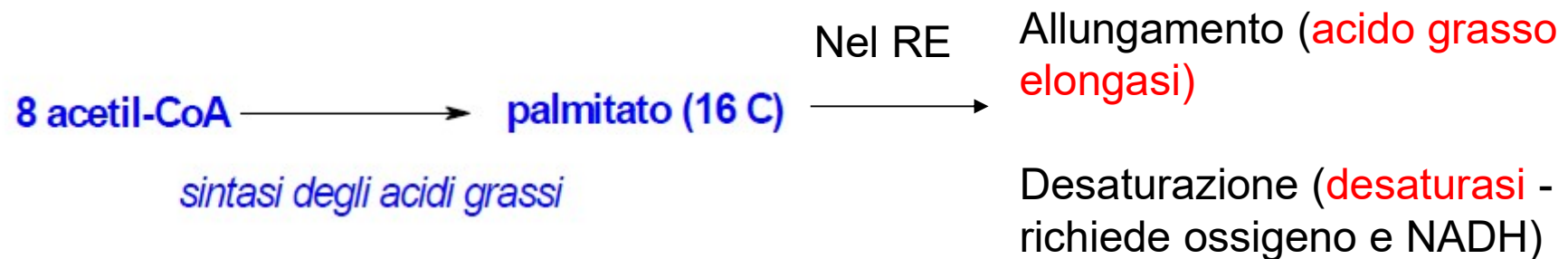
INSULINA- EFFETTO INIBITORIO = attiva una fosfatasi che defosforila HSL e lo inattiva

Gli acidi grassi rilasciati dalla LIPOLISI, lasciano adipocita e raggiungono i vari tessuti legati all'ALBUMINA

**LIPOGENESI** (nel citosol cell. fegato e tessuto adiposo, cellule intestinali, ghiandola mammaria) - consente immagazzinare energia chimica quando livelli energetici alti

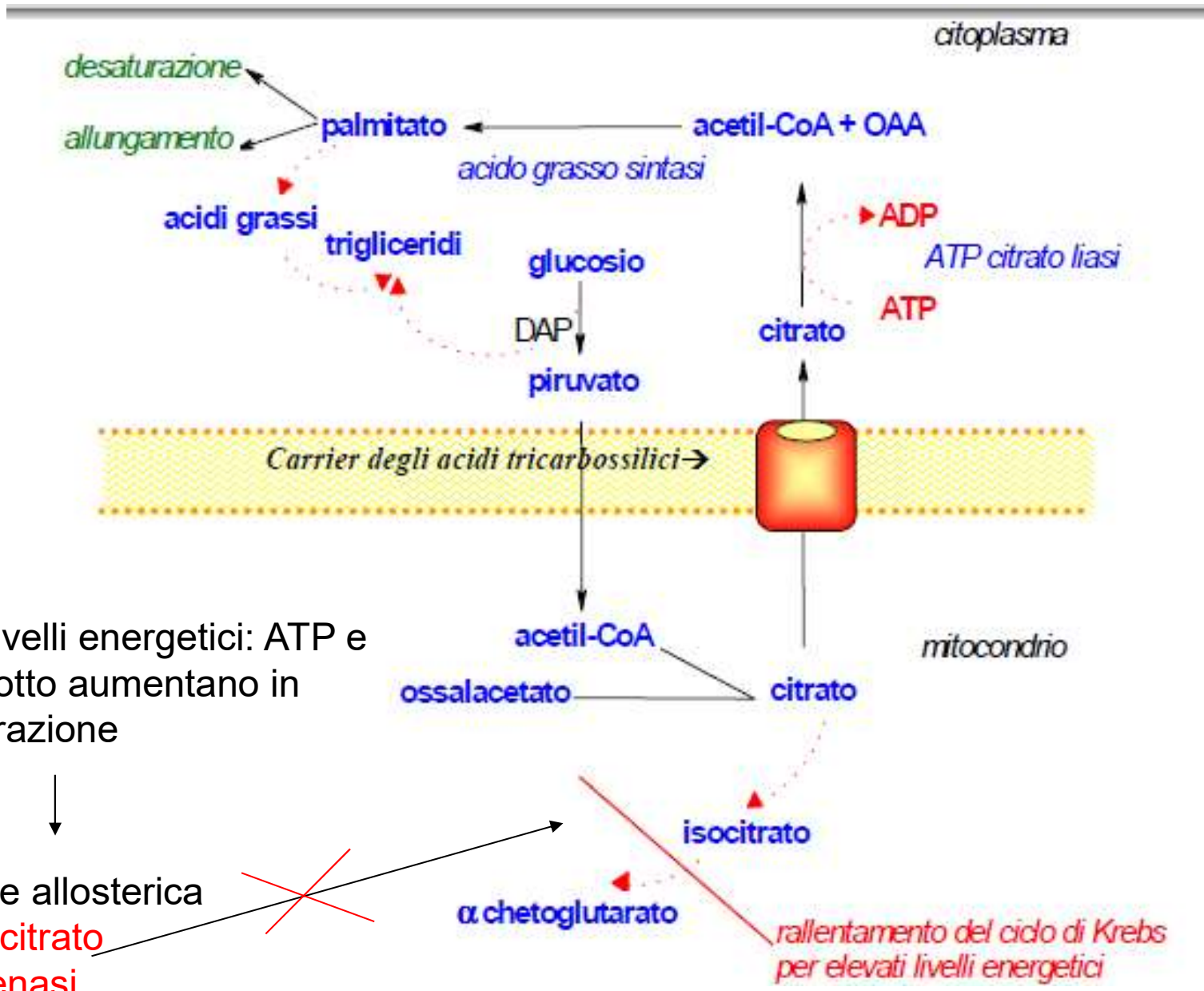


Substrato per la **sintasi degli acidi grassi** che può iniziare l'allungamento della catena (aggiunta di molecole di malonil-CoA all'estremità carbossilica della catena nascente)



La sintesi di una molecola di palmitato richiede complessivamente 7 ATP e 14 NADPH convertiti in ADP e NADP+





Elevati livelli energetici: ATP e NAD ridotto aumentano in concentrazione

Inibizione allosterica della **isocitrato deidrogenasi**

*rallentamento del ciclo di Krebs per elevati livelli energetici*

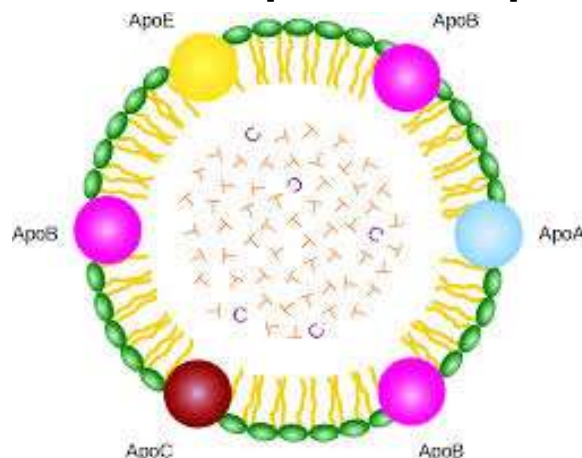


L'Acetil CoA carbossilasi è l'enzima chiave a livello del quale avviene la regolazione della lipogenesi

	+	-
A breve termine { Metaboliti	Citrato (attivatore allosterico)	Palmitoil-CoA (inibitore allosterico)
Ormonale	Insulina	Glucagone Adrenalina
A lungo termine Genetica	Dieta	Dieta

## LIPOPROTEINE PLASMATICHE

I grassi nel sangue trasportati anche sotto forma di **lipoproteine plasmatiche**: differiscono per la composizione in proteine e per la composizione in grassi



Le proteine idrofile che rientrano nella costituzione delle lipoproteine plasmatiche sono chiamate *apoproteine*, *apolipoproteine* o semplicemente *apo*.

Le apoproteine sono riconosciuti da recettori presenti sulla membrana delle cellule, legano in maniera non covalente i grassi, permettendo il trasferimento dei grassi all'interno delle cellule ed attivano alcuni enzimi coinvolti nel loro metabolismo

I lipidi sono legati alla apoproteine mediante legami non covalenti: ciò consente lo scambio dei costituenti lipidici e proteici sia tra le stesse lipoproteine sia tra lipoproteine e membrane cellulari.

- Le *Very Low Density Lipoproteins* (**VLDL**), lipoproteine a bassissima densità;
- Le *Intermediate Density Lipoproteins* (**IDL**), lipoproteine a densità intermedia;
- Le *Low Density Lipoproteins* (**LDL**), lipoproteine a bassa densità
- Le *High Density Lipoproteins* (**HDL**), lipoproteine ad elevata densità

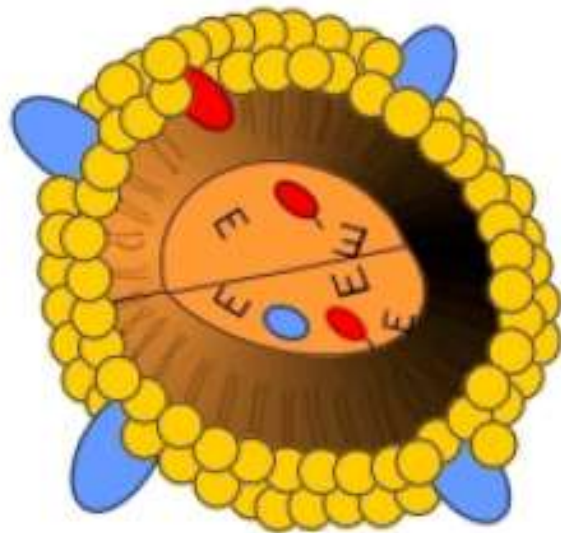
### *Composizione delle lipoproteine plasmatiche.*

Lipoproteina	densità g/ml	trigliceridi %	fosfolipidi %	colesterolo libero %	colesterolo esterificato %	Proteine %
Chilomicroni	0,90 -0,95	83-88	4-7	1-3	3-5	1-2
VLDL (pre $\beta$ )	0,95 -1,006	50-60	18-20	10-12	4-6	8-15
IDL	1,006-1,019	18-20	24-25	8-12	25-28	20-22
LDL ( $\beta$ )	1,019-1,063	9-11	22-24	8-13	34-36	20-22
HDL ( $\alpha$ )						
HDL <sub>1</sub>	1,019-1,063	1-2	35-36	7-8	22-23	32
HDL <sub>2</sub>	1,063-1,125	10-11	28-29	6-7	20-21	33
HDL <sub>3</sub>	1,125-1,210	5-6	20-21	2-3	12-13	57



Trigliceridi a lunga catena (> 10 C) e fosfolipidi neosintetizzati, insieme al colesterolo libero e esterificato formano nella cellula intestinale degli aggregati micellari nelle quali i fosfolipidi e il colesterolo libero, insieme a proteine idrofiliche sintetizzate a livello delle stesse cellule intestinali, formano un involucro esterno che racchiude i componenti fortemente idrofobici (trigliceridi e colesterolo esterificato) al

### Struttura dei chilomicroni



Linfa



Vena succlavia

W trigliceridi

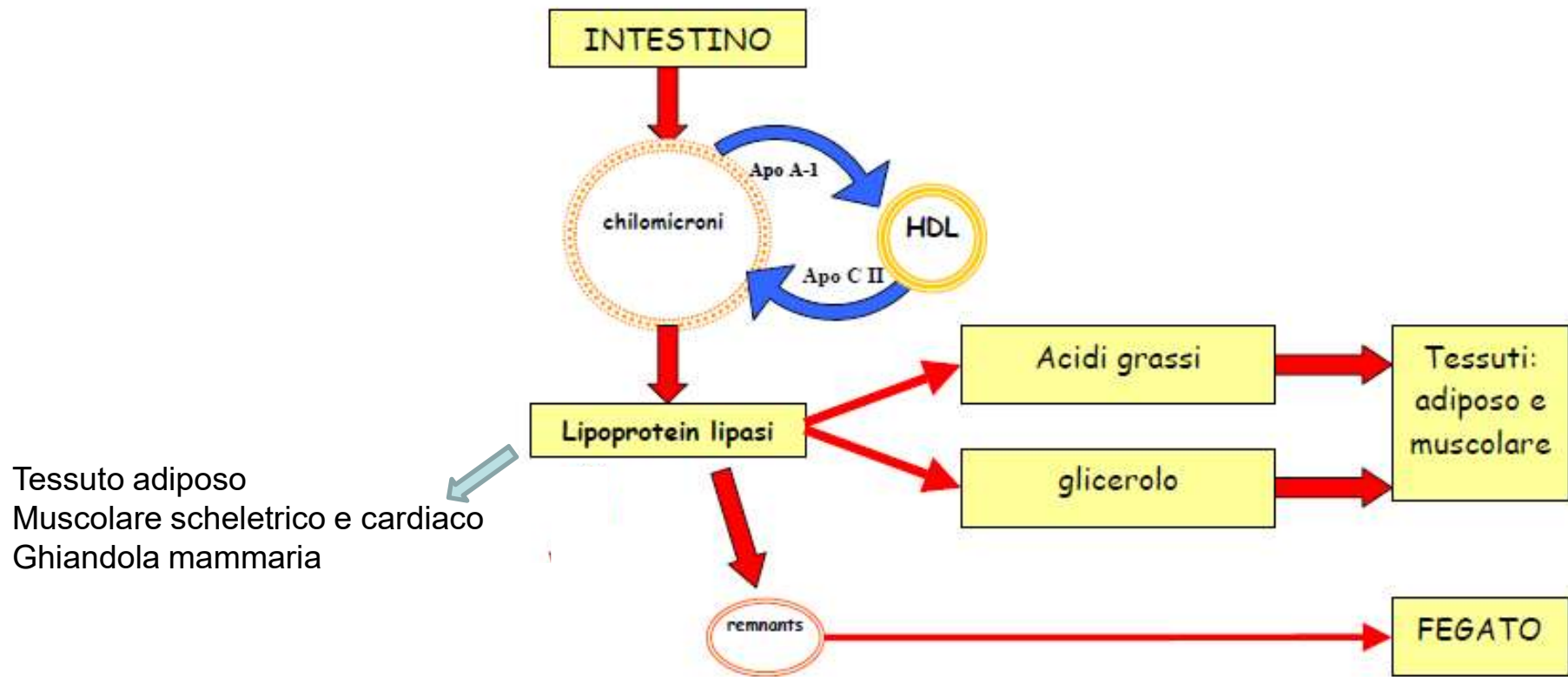
● proteine

● colesterolo libero

● fosfolipidi

● colesterolo esterificato

I trigliceridi a media catena (8-10 C) vengono assorbiti dalle cellule intestinali e quindi idrolizzati. Gli acidi grassi che si formano non vengono esterificati in nuovi trigliceridi ma vengono riversati direttamente nei vasi sanguigni e trasportati legati all'albumina direttamente al fegato.



# VLDL

Circa il 90% sintetizzati nel **fegato**, trasportano i trigliceridi sintetizzati a partire dagli zuccheri, il rimanente 10% sintetizzati nelle **cellule intestinali**



## Trigliceridi da lipogenesi (liposintesi)

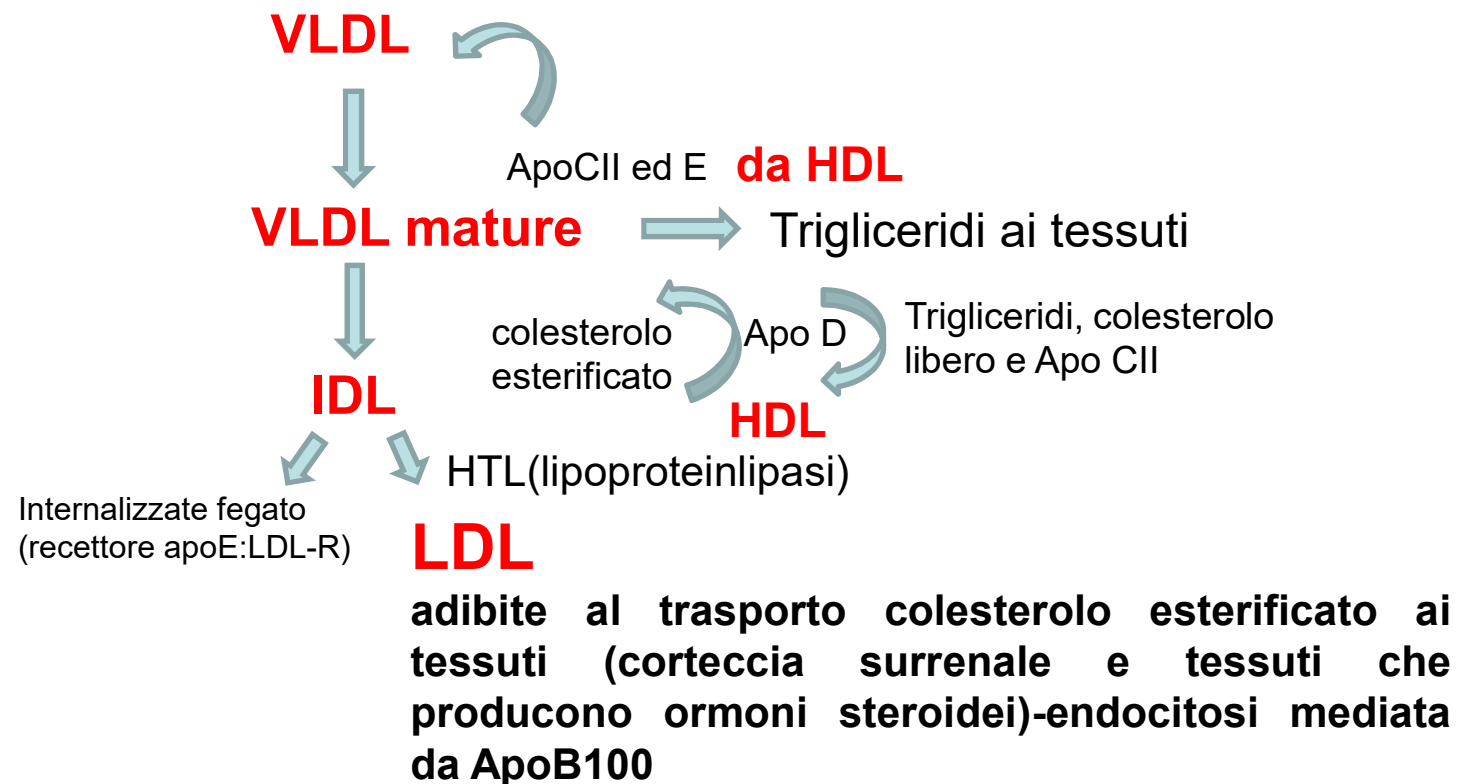
Appena immesse in circolo un alto contenuto di trigliceridi e una quantità ridotta di colesterolo libero e esterificato (apoB100 e apo D)

*Composizione delle lipoproteine plasmatiche.*

Lipoproteina	densità g/ml	trigliceridi %	fosfolipidi %	colesterolo libero %	colesterolo esterificato %	Proteine %
Chilomicroni	0,90 -0,95	83-88	4-7	1-3	3-5	1-2
VLDL (pre $\beta$ )	0,95 -1,006	50-60	18-20	10-12	4-6	8-15
IDL	1,006-1,019	18-20	24-25	8-12	25-28	20-22
LDL ( $\beta$ )	1,019-1,063	9-11	22-24	8-13	34-36	20-22
HDL ( $\alpha$ )						
HDL <sub>1</sub>	1,019-1,063	1-2	35-36	7-8	22-23	32
HDL <sub>2</sub>	1,063-1,125	10-11	28-29	6-7	20-21	33
HDL <sub>3</sub>	1,125-1,210	5-6	20-21	2-3	12-13	57

Raggiunto il circolo sanguigno le VLDL acquisiscono l'Apo C-II dalle HDL e così come avviene per i chilomicroni, anche le VLDL hanno in tal modo la possibilità di attivare le lipoprotein lipasi. Le VLDL interagiscono in prevalenza con le lipoprotein lipasi del tessuto adiposo che quindi assume gli acidi grassi provenienti dall'idrolisi dei trigliceridi in esse contenuti.

In condizioni di elevato apporto energetico i lipidi provenienti dalla lipogenesi (conversione zuccheri-grassi) vengono trasferiti dal fegato prevalentemente al tessuto adiposo dove vengono immagazzinati negli adipociti.

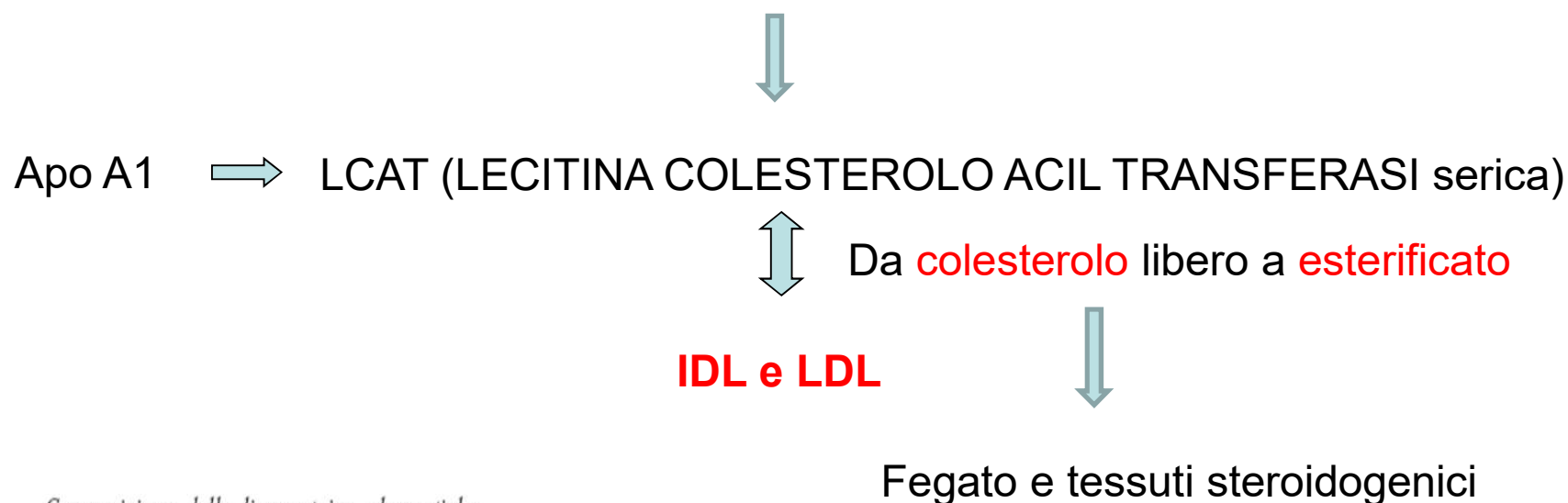




## HDL (in forma nascente dal fegato e formate da fosfolipidi e colesterolo libero)

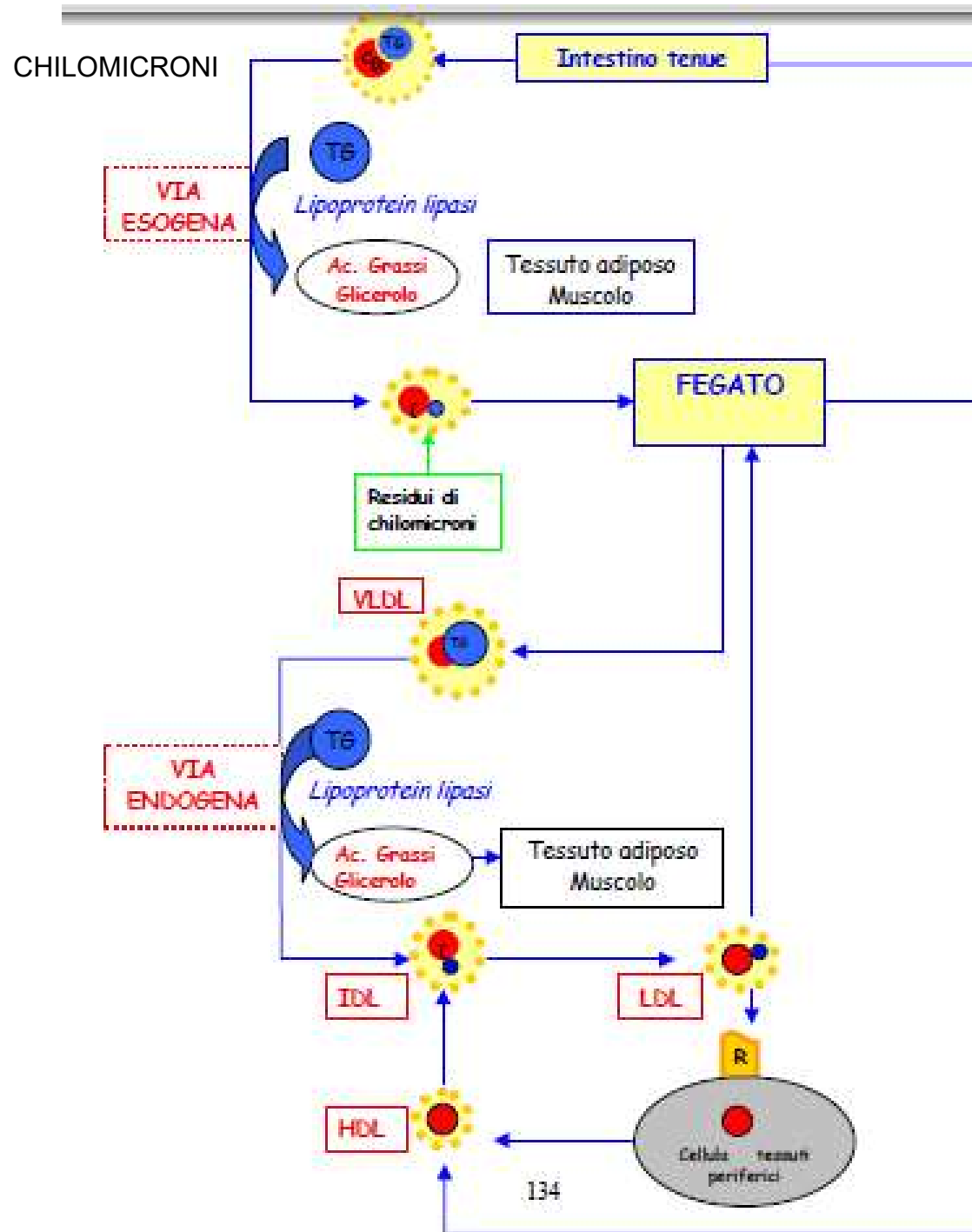
La funzione delle HDL è quella di “recuperare” colesterolo dai tessuti, come ad esempio dai vasi arteriosi. Per questo motivo vengono considerate lipoproteine “buone” poiché proteggono dallo sviluppo di aterosclerosi. Lo portano al fegato o ai tessuti steroidogenici, come le ghiandole surrenali o le gonadi.

Il meccanismo di recupero è favorito dalla presenza dell’enzima LCAT (L-colesterolo aciltrasferasi), che aggiunge un gruppo acile al carbonio 3 del colesterolo, rendendo il colesterolo ancor più liposolubile, e favorendo quindi il suo ingresso nel core della HDL

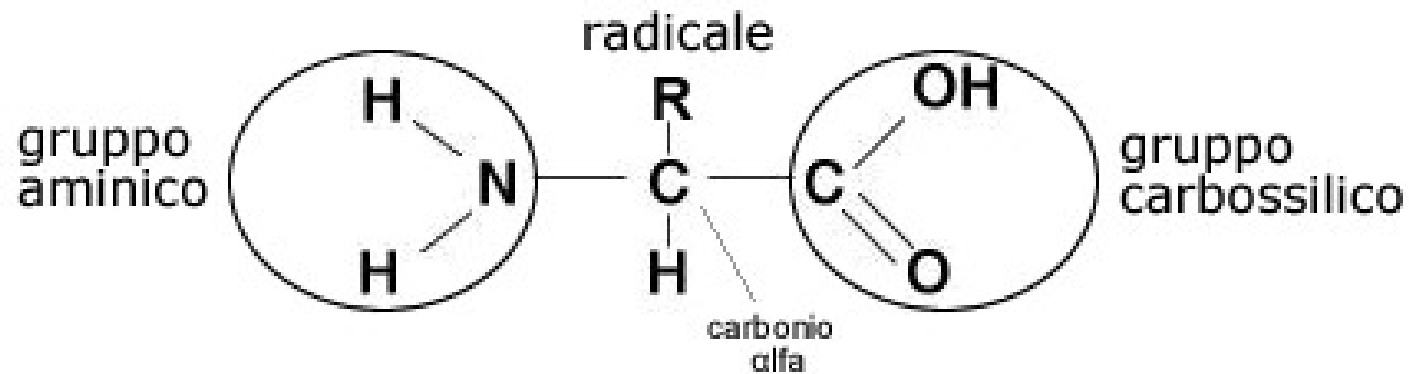


*Composizione delle lipoproteine plasmatiche.*

Lipoproteina	densità g/ml	trigliceridi %	fosfolipidi %	colesterolo libero %	colesterolo esterificato %	Proteine %
Chilomicroni	0,90 -0,95	83-88	4-7	1-3	3-5	1-2
VLDL (pre β)	0,95 -1,006	50-60	18-20	10-12	4-6	8-15
IDL	1,006-1,019	18-20	24-25	8-12	25-28	20-22
LDL (β)	1,019-1,063	9-11	22-24	8-13	34-36	20-22
HDL (α)						
HDL <sub>1</sub>	1,019-1,063	1-2	35-36	7-8	22-23	32
HDL <sub>2</sub>	1,063-1,125	10-11	28-29	6-7	20-21	33
HDL <sub>3</sub>	1,125-1,210	5-6	20-21	2-3	12-13	57



## Metabolismo degli amminoacidi



### AMMINOACIDI ESSENZIALI:

*devono necessariamente essere introdotti preformati con la dieta*

valina  
leucina  
isoleucina  
metionina  
fenilalanina  
triptofano  
istidina  
lisina  
treonina

(alcuni importanti per la sintesi di componenti non proteici: fenilalanina e tirosina-adrenalina e ormoni tiroidei)

In caso di ridotto apporto: organismo ricava a.a da demolizione di proprie proteine



LE **PROTEASI** SONO prevalentemente INTRACELLULARI :

Libere nel citosol - Calpaine (calcio dipendenti)

Proteosoma (ATP-dipendente, proteasi multimerica)

Nei lisosomi – Catepsine (attive a pH acido, in concerto con altri enzimi)

**Ubiquitinazione:** alla proteina da degradare viene legata l'UBIQUITINA  
proteina di 76 a.a. in tutte le cellule

L'ubiquitina riconosciuta dal proteosoma e la proteina "marcata"  
viene degradata

**Ossidazione dei residui amminoacidici:** in presenza di Ferro e radicali liberi alcuni a.a. ossidati. L'accumulo di proteine danneggiate ed ossidate per superamento della capacità di degradazione e risintesi è un fattore che porta all'invecchiamento cellulare.

**Sequenze PEST:** caratterizzano proteine a vita breve con regioni ricche di prolina, glutammato, serina e treonina. E' un sistema di marcatura di riconoscimento di sistemi di proteasi (spesso coinvolta anche l'ubiquitina)

**Residui all'N-terminale:** Alcuni a.a. all'N terminale rendono più breve la vita media di una proteina rispetto ad altri. Prove di mutagenesi a conferma

## Digestione delle proteine

Durante il processo digestivo la maggior parte delle proteine è ridotta completamente nei singoli aminoacidi. La digestione di queste macromolecole inizia nello stomaco dove l'azione combinata di pepsinogeno ed acido cloridrico porta alla formazione di oligopeptidi (corte catene di aminoacidi formate da meno di dieci unità). Tutti enzimi rilasciati nel lume in forma di proenzimi o zimogeni

A livello intestinale la digestione delle proteine è completata ed i singoli **aminoacidi, dipeptidi e tripeptidi**, possono essere assorbiti e trasportati al fegato da carriers specifici attraverso la vena porta. Assorbiti da **proteine di trasporto attivo** dell'orletto a spazzola-**sinporto con Na<sup>+</sup>** (4 tipi con specificità di gruppo: neutri, basici, aspartico e glutammico, glicina e prolina) Per diffusione nella vena porta.

- Essere distribuiti ai vari organi
- Partecipare alla sintesi proteica
- Se presenti in eccesso vengono utilizzati a scopi energetici o convertiti in grasso di deposito e glucosio.

Solo nel neonato è possibile l'assorbimento di proteine intere, non digerite. Tale fenomeno è fondamentale per l'assorbimento degli anticorpi trasmessi attraverso il latte materno (pinocitosi non selettiva)-nel colostro inibitori delle proteasi.

Proteine alimentari

Proteine cellulari

amminoacidi

- sintesi proteica
- eme
- ormoni
- neurotrasmettitori
- ammine biologiche
- nucleotidi

Scheletro carbonioso  
 $\alpha$ -chetoacidi

$NH_4^+$

urea

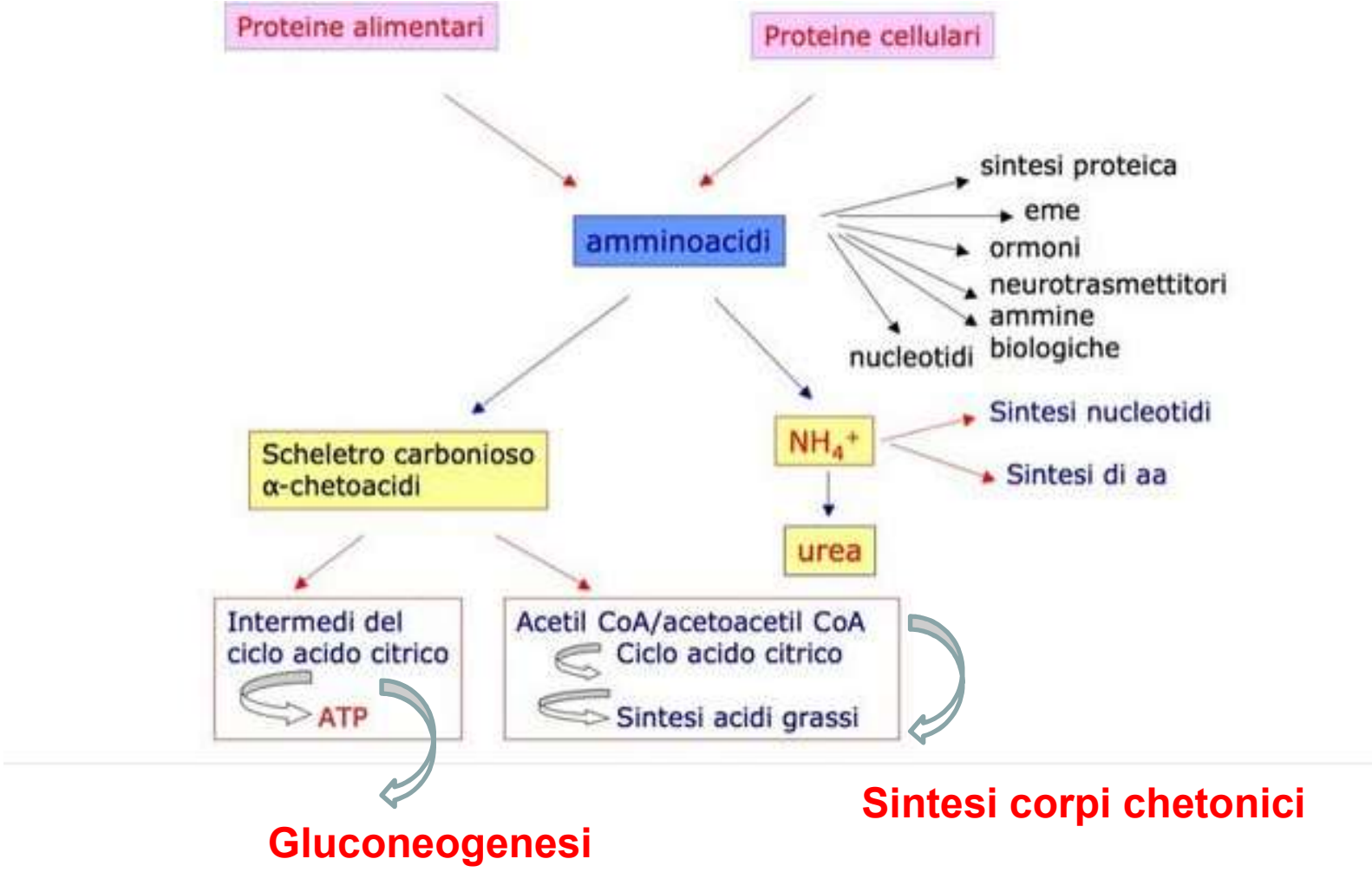
- Sintesi nucleotidi
- Sintesi di aa

Intermedi del  
ciclo acido citrico  
ATP

Acetil CoA/acetoacetil CoA  
Ciclo acido citrico  
Sintesi acidi grassi

**Gluconeogenesi**

**Sintesi corpi chetonici**





## Scheletro carbonioso



<b>Piruvato</b>	Alanina, cisteina, glicina serina, treonina, triptofano
<b><math>\alpha</math>-chetoglutarato</b>	glutammato, arginina, glutammina, istidina, prolina
<b>Succinil CoA</b>	isoleucina, metionina treonina, valina
<b>Fumarato</b>	fenilalanina, tirosina
<b>Ossalacetato</b>	asparagina, aspartato



### Amminoacidi glucogenici

<b>acetil CoA</b>	isoleucina, leucina treonina, triptofano
<b>acetoacetil CoA</b>	leucina, lisina, fenilalanina triptofano, tirosina

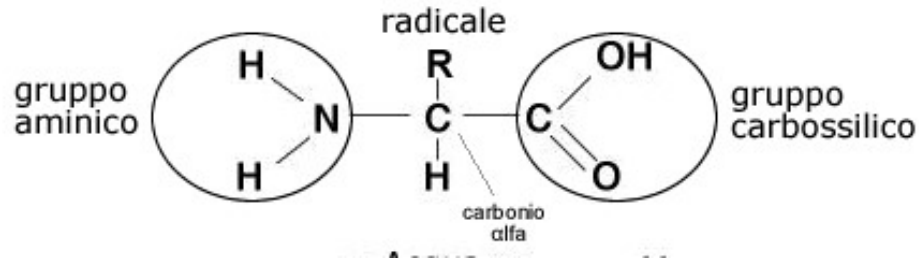


### Amminoacidi chetogenici

Aminoacidi glucogenici e chetogenici		
Glucogenici	Chetogenici	Glucogenici e chetogenici
<i>glicina</i>	<i>leucina</i>	<i>treonina</i>
<i>serina</i>	<i>lisina</i>	<i>isoleucina</i>
<i>valina</i>		<i>fenilalanina</i>
<i>istidina</i>		<i>tirosina</i>
<i>arginina</i>		<i>triptofano</i>
<i>cisterna</i>		
<i>prolina</i>		
<i>idrossiprolina</i>		
<i>alanina</i>		
<i>glutammato</i>		
<i>glutammina</i>		
<i>aspartato</i>		
<i>asparagina</i>		
<i>metionina</i>		

## Degradazione degli a.a. e metabolismo dei prodotti finali azotati

1° passaggio: rimozione dell' $\alpha$ -ammino gruppo



Per transaminazione si intende staccare il gruppo amminico dall'aminoacido che dovrà avere un accettore

Queste reazioni sono catalizzate da enzimi citoplasmatici o mitocondriali chiamati **transaminasi o aminotransferasi**

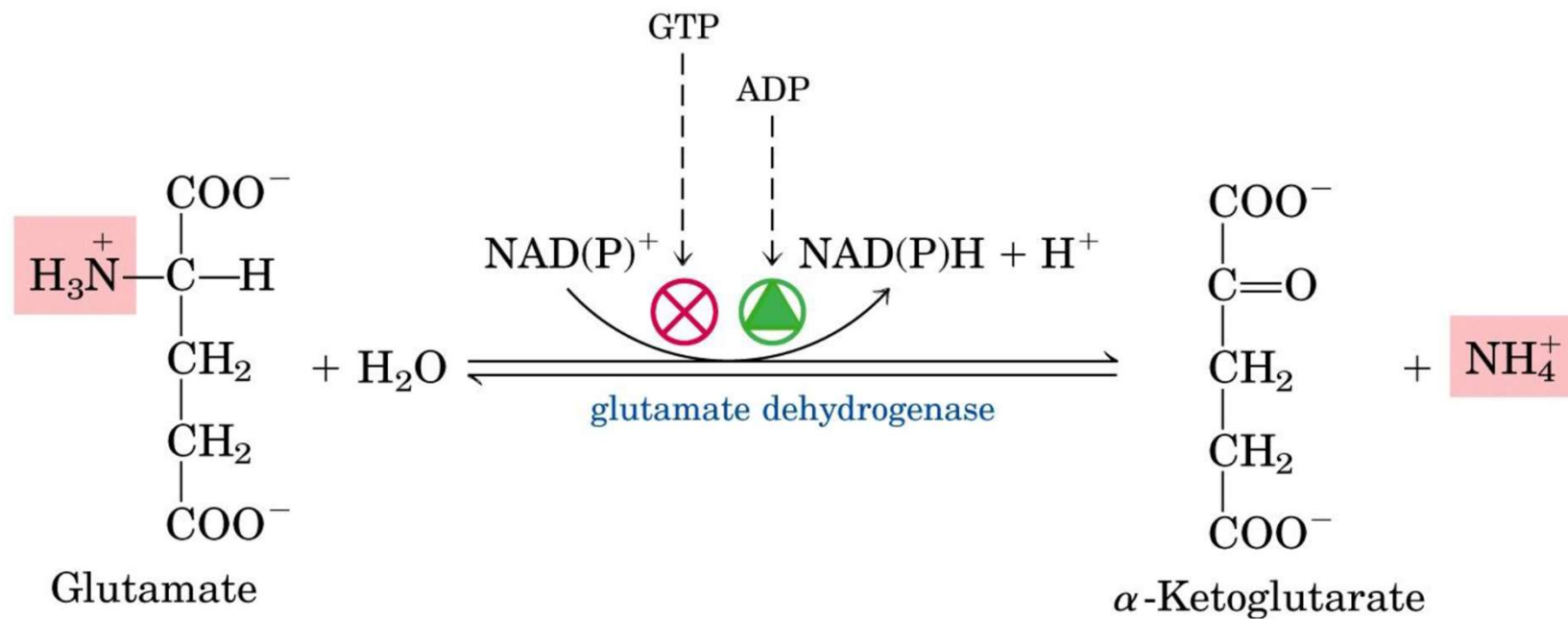
Transaminazione (deaminazione)



Come accettore anche l'ossalacetato per dare aspartato

## Degradazione degli a.a. e metabolismo dei prodotti finali azotati

La reazione che permette di riottenere alfa-chetoglutarato dal glutammato è catalizzata dall'enzima **glutammato deidrogenasi** (deaminazione ossidativa)



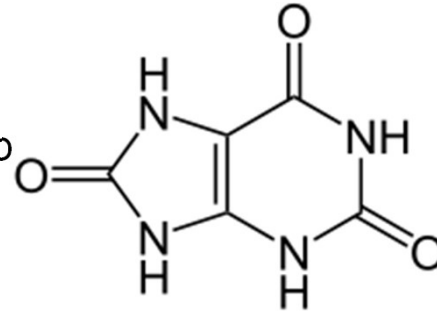
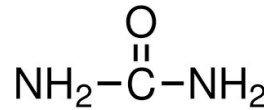
La glutammato deidrogenasi è inibito dal GTP ed attivato dall'ADP e Ammoniaca.

## Escrezione dell' ammoniaca (detossificazione)

Pesci – ammoniaca

Uccelli, rettili terrestri e insetti – acido urico

Mammiferi (urotelici) - Urea



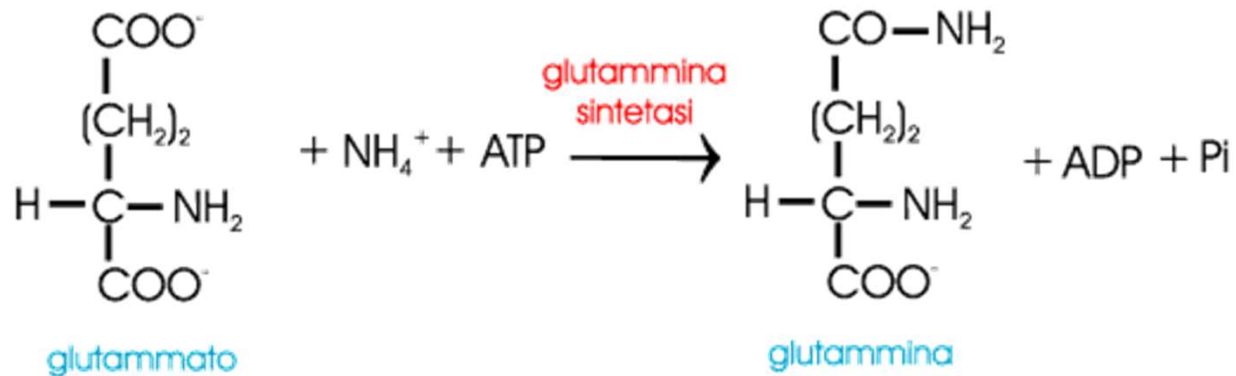
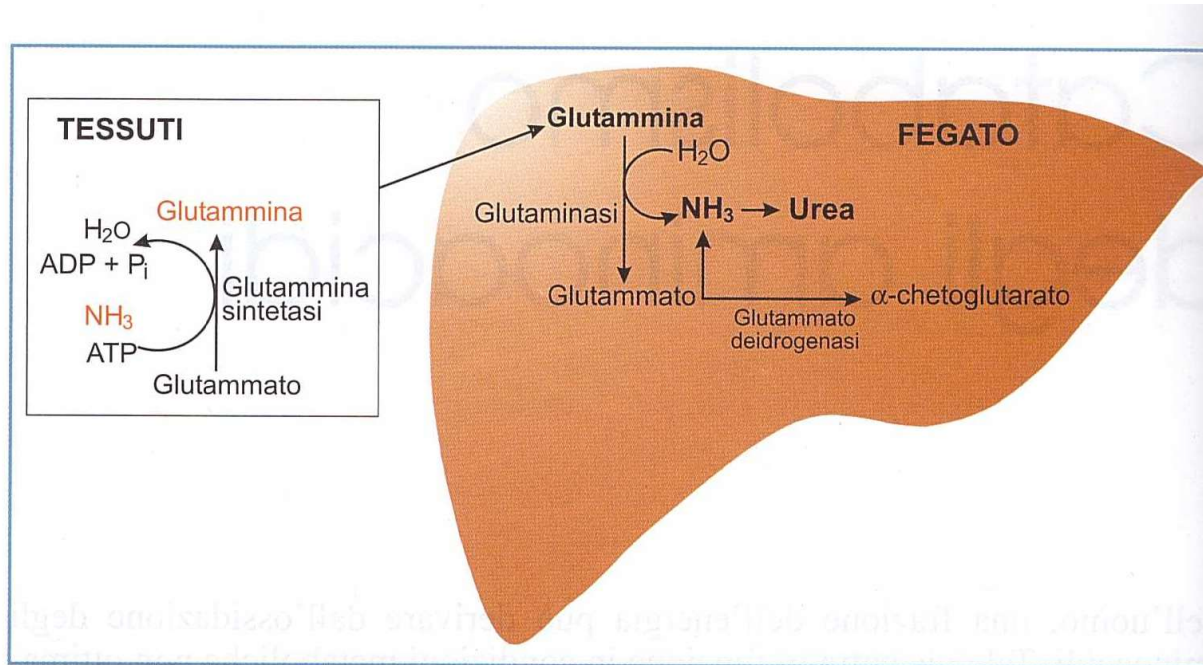
Sintetizzata nel fegato (**ciclo dell'urea** nei mitocondri e citoplasma) e quindi ai reni dove filtrata ed escreta con l'urina

Fegato: capacità urogenetica – 5 micromoli/l(2.5 e 6 micromoli/l)

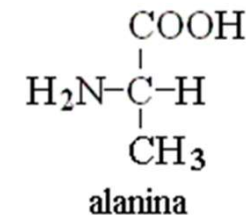
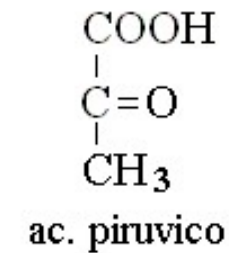
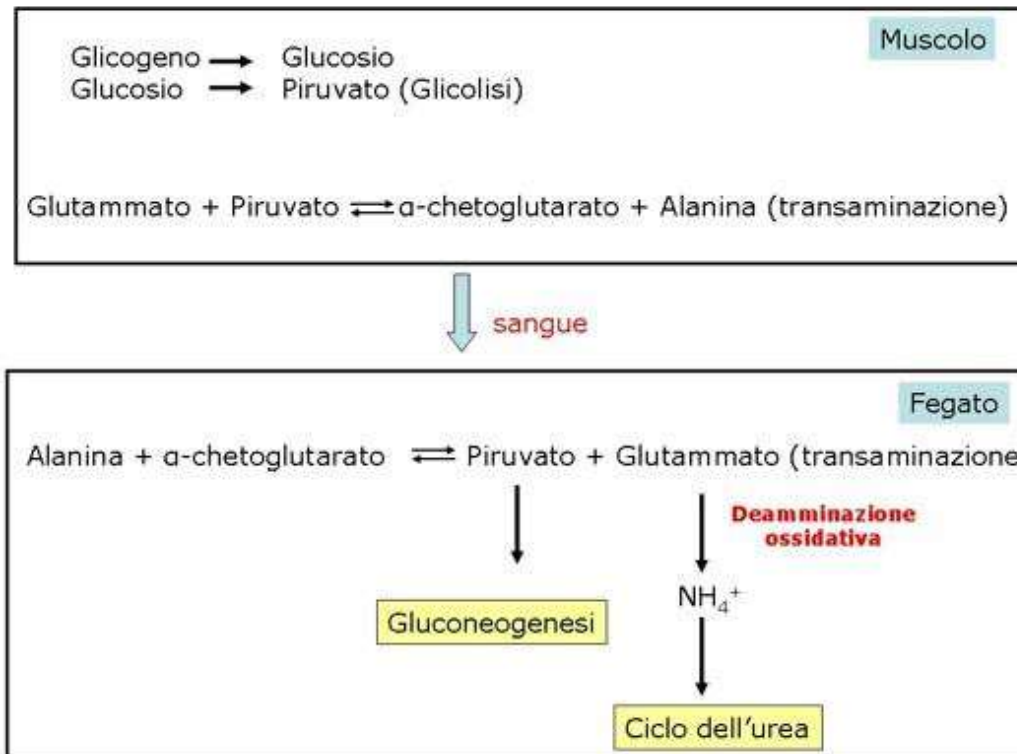
Valori elevati in caso di insufficienza epatica e renale (encefalopatia epatica)

## Come l'ammoniaca dai tessuti periferici al fegato?

Come glutammina - trasportatore non tossico di gruppi amminici che può attraversare le membrane cellulari.



Il secondo meccanismo, attivo soprattutto nel muscolo, prevede l'incorporazione dei gruppi aminici nel piruvato; pertanto il trasportatore ematico dei gruppi aminici derivanti dal catabolismo muscolare è l'*alanina*. Nel fegato, l'alanina, per azione di una transaminasi, si trasforma in piruvato. Il piruvato può essere trasformato in glucosio nella gluconeogenesi e ritornare così al muscolo; questo trasferimento muscolo/fegato genera il cosiddetto *ciclo glucosio-alanina* (fig. 2).

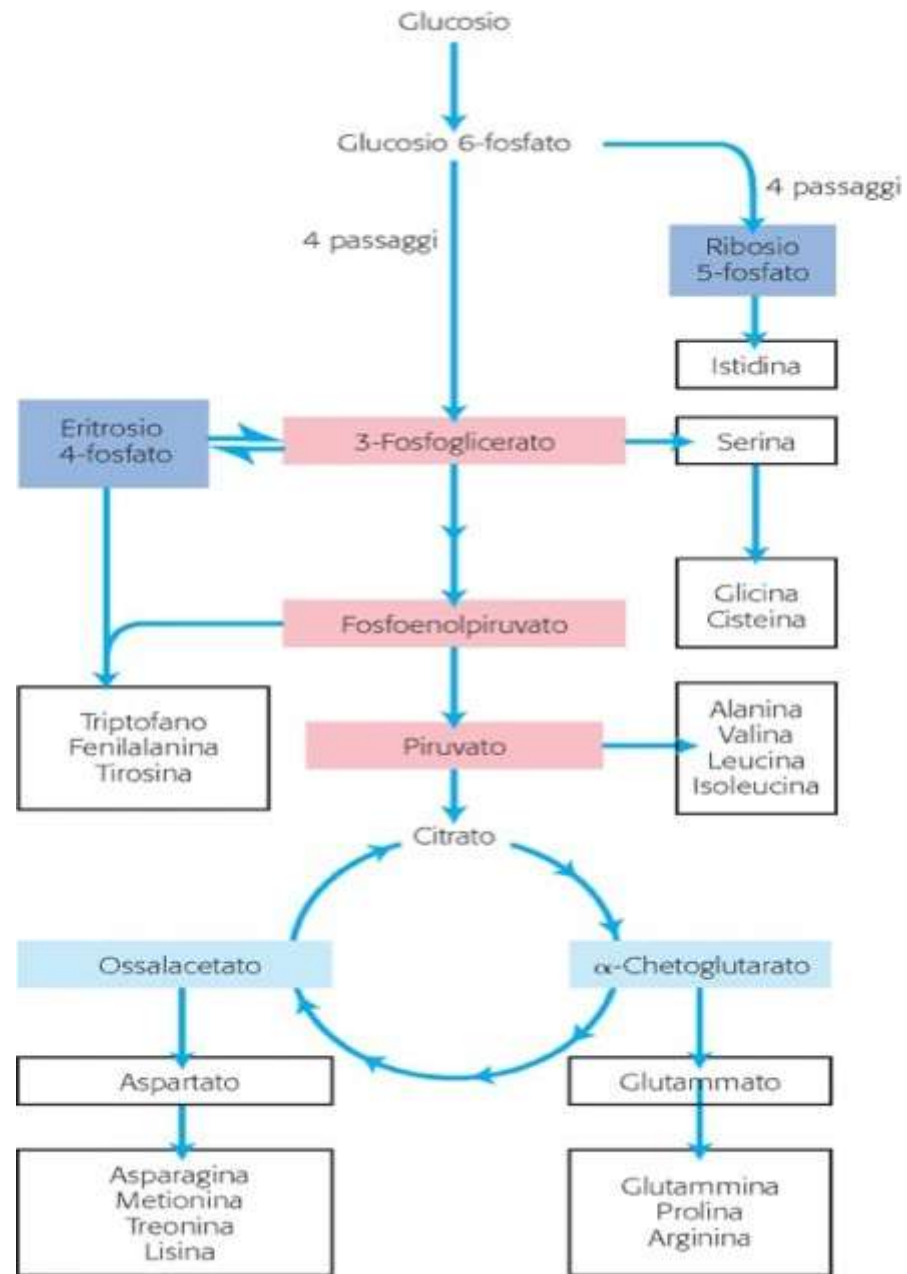


I 20 a.a si possono raggruppare in 6 famiglie biosintetiche in base agli intermedi da cui provengono

## Biosintesi degli aminoacidi

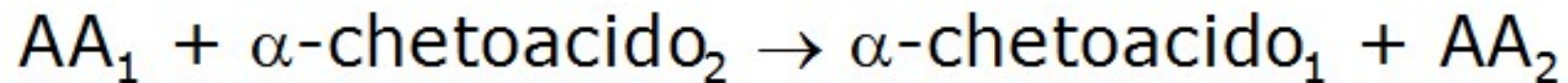
- Gli aminoacidi possono essere raggruppati in base agli intermedi dai quali provengono:
  - Famiglia dell' $\alpha$ -chetogluturato:
    - Glu, Gln, Pro, **Arg, Lys**.
  - Famiglia dell'aspartato:
    - Asp, Asn, **Met, Thr, Ile, Lys**.
  - Famiglia del fosfoenolpiruvato e dell'eritrosio-4-fosfato:
    - Phe, **Tyr, Trp**
  - Famiglia del piruvato:
    - Ala, **Val, Leu**
  - Famiglia del 3-fosfoglicerato:
    - Ser, Gly, Cys
  - Dal fosforibosilpirofosfato:
    - **His**





## Biosintesi degli aminoacidi

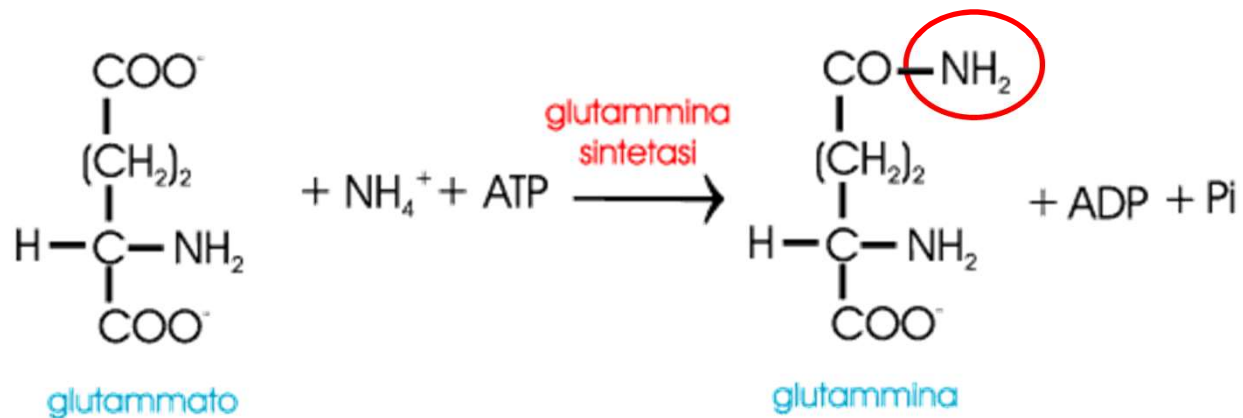
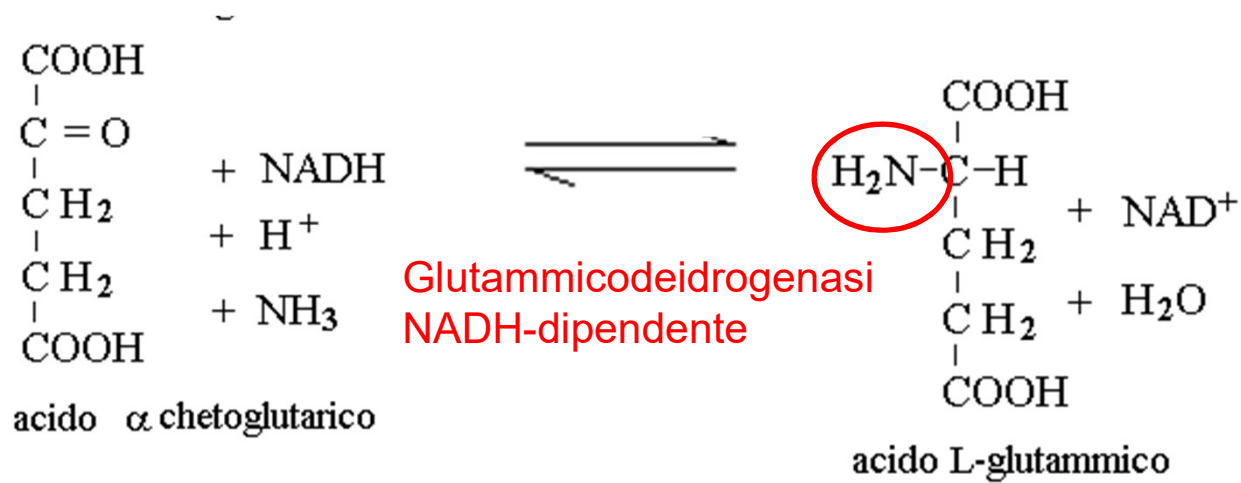
- Gli aminoacidi vengono, nella maggior parte dei casi, sintetizzati a partire dall'  $\alpha$ -chetoacido corrispondente attraverso una specifica aminotransferasi (transaminasi):

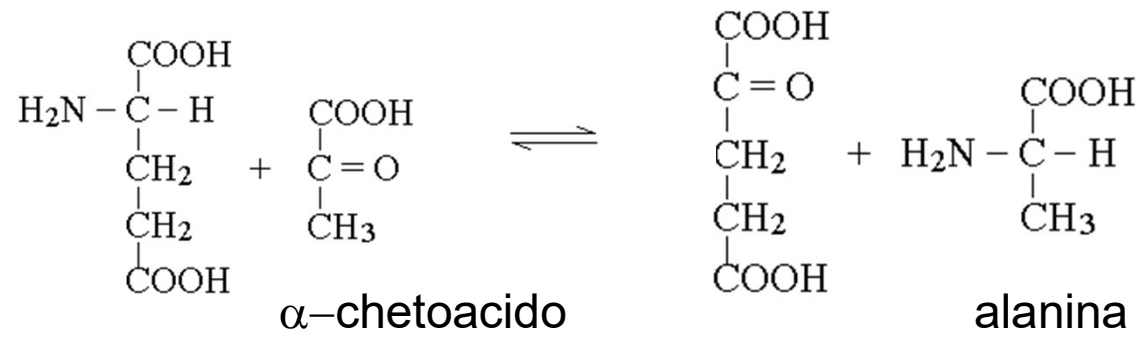
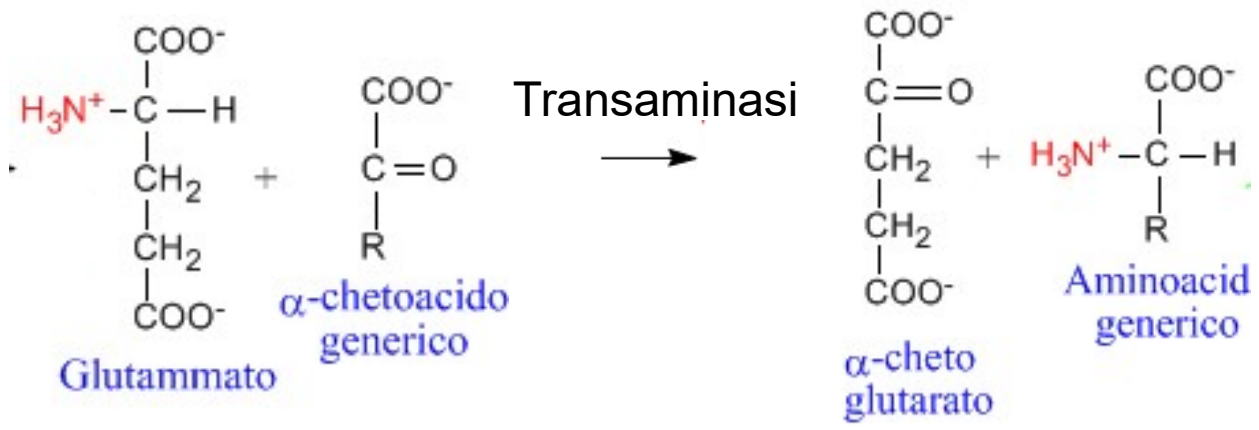


- Le transaminasi trasferiscono un gruppo aminico da un AA ad un  $\alpha$ -chetoacido

**Reazione di transaminazione**

L'ammoniaca è incorporata negli a.a. attraverso l'a. glutammico e la glutammina





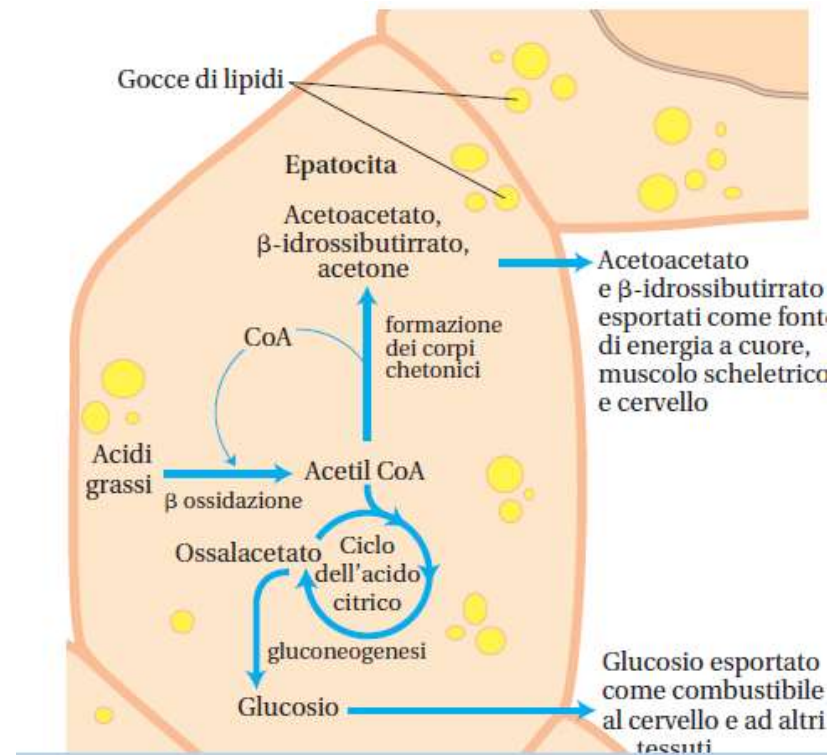
## CORPI CHETONICI

I **corpi chetonici** sono tre composti che sono normalmente presenti nel sangue in piccole quantità. Sono **l'acetone, l'acido acetoacetico e l'acido beta-idrossibutirrico**

In condizioni normali e con una dieta equilibrata i corpi chetonici vengono prodotti in piccole quantità perché acetilCoA viene utilizzato principalmente nel ciclo dell'acido citrico

L'acetone è un prodotto di scarto, che si produce casualmente nella via dei corpi chetonici e viene espulso per espirazione e traspirazione.

Sintetizzati dalla cellula epatica da acetil-CoA durante il **digiuno** o **di compromessa utilizzazione metabolica glucosio-** **chetogenesi prevalentemente da acidi grassi ma anche a.a**



Lo squilibrio nella presenza ematica di corpi chetonici è di notevole rilevanza in eventi fisiologici e patologici

La **chetoacidosi diabetica** è una grave complicanza del diabete mellito (soprattutto di tipo I)

Il glucosio non riesce ad entrare nelle cellule, infatti, queste si adattano ad utilizzare prevalentemente acidi grassi, il fegato sintetizza grandi quantità di corpi chetonici.

Una situazione simile, ma molto meno grave (si parla semplicemente di chetosi e non di chetoacidosi), si verifica nelle persone che seguono una dieta particolarmente povera di carboidrati o rimaste a digiuno per lungo tempo.