

Gian Carlo PEROSINO

## **CHIMICA E PROCESSI MINIMI INDISPENSABILI PER LA BIOLOGIA**

	<b>CAPITOLO</b>	<b>pag.</b>
<b>1</b>	<b>ATOMI E MATERIA VIVENTE</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>IL LINGUAGGIO CHIMICO</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>L'ACQUA</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>SALI MINERALI</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>EQUILIBRIO ACIDO - BASE NELL'ACQUA</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>ZUCCHERI (GLICIDI)</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>GRASSI (LIPIDI)</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>AMMINOACIDI E PROTEINE</b>	<b>23</b>
<b>9</b>	<b>ENZIMI</b>	<b>27</b>
<b>10</b>	<b>VITAMINE</b>	<b>29</b>
<b>11</b>	<b>L'ADENOSINTRIFOSFATO</b>	<b>30</b>
<b>12</b>	<b>METABOLISMO</b>	<b>32</b>
<b>13</b>	<b>FABBISOGNO ENERGETICO</b>	<b>35</b>
<b>14</b>	<b>ACIDI NUCLEICI</b>	<b>38</b>
<b>15</b>	<b>IL CARBONIO E GLI ORGANISMI</b>	<b>41</b>
<b>16</b>	<b>METABOLISMO E REAZIONI CHIMICHE</b>	<b>43</b>
<b>17</b>	<b>RESPIRAZIONE</b>	<b>45</b>
<b>18</b>	<b>RESPIRAZIONE ANAEROBICA</b>	<b>47</b>
<b>19</b>	<b>AUTOTROFIA</b>	<b>50</b>
<b>20</b>	<b>METABOLISMO E CLASSIFICAZIONE</b>	<b>53</b>
<b>21</b>	<b>CICLO DEL CARBONIO</b>	<b>56</b>

Torino, **Settembre 2007**

## 1 - ATOMI E MATERIA VIVENTE

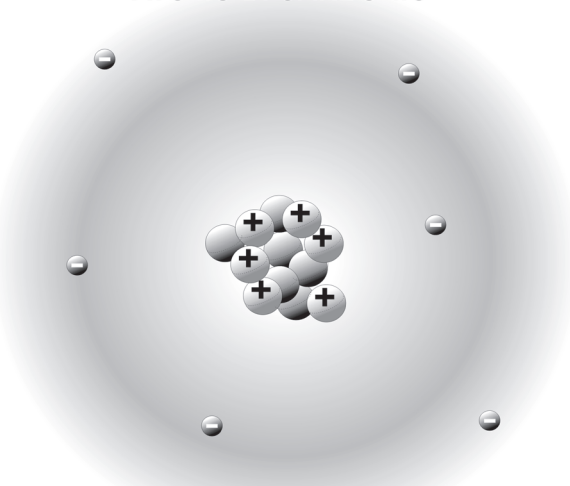
La materia che ci circonda e lo stesso nostro corpo sono costituiti da un enorme numero di sostanze diverse. La materia è costituita da **atomi**, invisibili anche con il più potente microscopio ( $10^{-8}$  cm, cioè un diametro pari alla centesima di milionesima parte di 1 cm). Si conoscono un centinaio di atomi diversi tra loro per dimensioni e massa. La **tab. 1** riporta l'elenco degli elementi secondo l'ordine alfabetico. La **tab. 2** riporta gli elementi caratteristici dell'atmosfera. La **tab. 3** riporta gli elementi caratteristici della litosfera. Infine la **tab. 4** quelli caratteristici della biosfera.

Una sostanza formata da atomi di una sola specie viene detta **elemento** (o **sostanza elementare**); per esempio il ferro (Fe), il silicio (Si), l'alluminio (Al), il carbonio (C), l'idrogeno (H), l'ossigeno (O), l'azoto (N), il fosforo (P),... Il comune sale da cucina è costituito dagli elementi sodio (Na) e cloro (Cl); l'ammoniaca da azoto e da idrogeno; l'acqua da ossigeno e da idrogeno. Questi tre sono esempi di **composti** (o **sostanze composte**), costituite da due o più elementi. L'alcool etilico, altro esempio, è costituito da atomi di carbonio, idrogeno e ossigeno.

Gli atomi sono costituiti da particelle ancora più piccole:

- **protoni**, con una carica elettrica positiva ( $e^+$ );
- **neutroni**, con massa uguale alle precedenti, ma privi di carica;
- **elettroni**, con massa 2.000 volte più piccola e con carica elettrica negativa ( $e^-$ ).

### ATOMO DI CARBONIO



- **protone (carica elettrica positiva  $e^+$ )**
- **neutrone (privo di carica)**
- **elettrone (carica elettrica negativa  $e^-$ )**

**relativa (MAR)** è un numero semplice (non accompagnato da unità di misura) che indica quante volte l'atomo di un dato elemento ha massa più grande rispetto a quella dell'atomo di idrogeno il quale, essendo il più piccolo, è utilizzato come riferimento.

Per esempio l'atomo di ossigeno ha massa 16 volte più grande di quella dell'atomo di idrogeno. La MAR dell'idrogeno dovrebbe essere pari a 1,0000... invece che 1,00797 come indicato nella **tab. 1**; ciò perché alcuni rari atomi di idrogeno, pur costituiti da un solo protone, nel nucleo presentano anche uno (idrogeno deuterio) o due neutroni (idrogeno trizio).

Protoni e neutroni sono estremamente piccoli ( $10^{-27}$  g, una massa pari a milionesimi di milionesimi di milionesimi di grammo) e concentrati in un **nucleo** centrale circondato da una sorta di "nuvola" di elettroni (**guscio elettronico**). Il numero di protoni e di elettroni è uguale; il numero di cariche positive è uguale a quello delle cariche negative: l'atomo, nel suo complesso, è neutro, apparentemente privo di cariche elettriche.

Per esempio l'idrogeno è costituito dagli atomi più piccoli, quasi tutti con un nucleo costituito da un solo protone (mancano i neutroni) e con un guscio elettronico costituito da un solo elettrone. Il carbonio è costituito da atomi con un nucleo con 12 particelle (6 protoni più 6 neutroni) "avvolto" da un guscio elettronico contenente 6 elettroni.

La carica del nucleo è il **numero atomico (Z)** dei protoni in esso contenuti. In linea di massima, negli atomi piccoli il numero di neutroni è uguale a quello dei protoni; nel nucleo degli atomi più grandi i neutroni sono più numerosi dei protoni. La **massa atomica**

Ingrandendo l'atomo di carbonio 10.000 miliardi di volte, risulterebbe una sfera con un diametro di 1 km; il nucleo avrebbe dimensioni di 10 cm, mentre gli elettroni avrebbero diametro di quasi 1 cm. Se un atomo di cloro (17 protoni e 18 neutroni nel nucleo e 17 elettroni nel guscio elettronico) venisse ingrandito fino a diventare grande come uno stadio, il nucleo risulterebbe poco più di 1 cm nel centro, mentre gli elettroni apparirebbero come capocchie di spillo che si muoverebbero velocissimi sulle gradinate.

Tab. 1 - Tabella degli elementi (Z = numero atomico; MAr = massa atomica relativa).							
elemento	simbolo	Z	MA	elemento	simbolo	Z	MAr
Afnio	Hf	72	178,49	Mendelvio	Md	101	200,59
Alluminio	Al	13	26,9815	Mercurio	Hg	80	256
Americio	Am	95	243	Molibdeno	Mo	42	95,94
Antimonio	Sb	51	121,75	Neodimio	Nd	60	144,24
Argento	Ag	47	107,868	Neon	Ne	10	20,183
Argon	Ar	18	39,948	Neptunio	Np	93	237
Arsenico	As	33	74,9216	Nichel	Ni	28	58,71
Astato	At	85	210	Niobio	Nb	41	92,906
Attinio	Ac	89	227	Nobelio	No	102	254
Azoto	N	7	14,0067	Olmio	Ho	67	164,930
Bario	Ba	56	137,34	Oro	Au	79	196,967
Berillio	Be	4	9,0122	Osmio	Os	76	190,2
Berkelio	Bk	97	249	Ossigeno	O	8	15,9994
Bismuto	Bi	83	208,980	Palladio	Pd	46	106,4
Boro	B	5	10,811	Piombo	Pb	82	207,19
Bromo	Br	35	79,904	Platino	Pt	78	195,09
Cadmio	Cd	48	112,40	Plutonio	Pu	94	242
Calcio	Ca	20	40,08	Polonio	Po	84	210
Californio	Cf	98	251	Potassio	K	19	39,102
Carbonio	C	6	12,0112	Prascodimio	Pr	59	140,907
Cerio	Ce	58	140,12	Prometeo	Pm	61	145
Cesio	Cs	55	132,905	Protattinio	Pa	91	231
Cloro	Cl	17	35,453	Radio	Ra	88	226
Cobalto	Co	27	58,9332	Radon	Rn	86	22
Cromo	Cr	24	51,996	Rame	Cu	29	63,546
Curio	Cm	96	247	Renio	Re	75	186,2
Disprosio	Dy	66	162,50	Rodio	Rh	45	102,905
Einstenio	Es	99	254	Rubidio	Rb	37	85,47
Elio	He	2	4,0026	Rutenio	Ru	44	101,07
Erbio	Er	68	167,26	Samario	Sm	62	150,35
Europio	Eu	63	151,96	Scandio	Sc	21	44,956
Fermio	Fm	100	253	Selenio	Se	34	78,96
Ferro	Fe	26	55,847	Silicio	Si	14	28,086
Fluoro	F	9	18,9984	Sodio	Na	11	22,9898
Fosforo	P	15	30,9738	Stagno	Sn	50	118,69
Francio	Fr	87	223	Stronzio	Sr	38	87,62
Gadolino	Gd	64	157,25	Tallio	Tl	81	204,37
Gallio	Ga	31	69,72	Tantalio	Ta	73	180,948
Germanio	Ge	32	72,59	Tecneto	Tc	43	99
Idrogeno	H	1	1,00797	Tellurio	Te	52	127,60
Indio	In	49	114,82	Terbio	Tb	65	158,924
Iodio	I	53	126,904	Titanio	Ti	22	47,90
Iridio	Ir	77	192,2	Torio	Th	90	232,038
Itterbio	Yb	70	173,04	Tullio	Tm	69	168,934
Ittrio	Y	39	88,905	Tungsteno	W	74	183,85
Kripto	Kr	36	83,80	Uranio	U	92	238,03
Lantanio	La	57	138,91	Vanadio	V	23	50,942
Laurencio	Lw	103	257	Xenon	Xe	54	131,30
Litio	Li	3	6,939	Zinco	Zn	30	65,37
Lutezio	Lu	71	174,97	Zirconio	Zr	40	91,22
Magnesio	Mg	12	24,312	Zolfo	S	16	32,064
Manganese	Mn	25	54,9380				

elemento	simbolo	Z	M <sub>Ar</sub>	% in volume	elemento	simbolo	Z	M <sub>Ar</sub>	% in peso	% in volume
azoto	N	7	14,01	<b>78,08</b>	ossigeno	O	8	15,99	<b>46,6</b>	<b>93,8</b>
ossigeno	O	8	15,99	<b>20,97</b>	silicio	Si	14	55,85	<b>27,7</b>	<b>0,9</b>
argon	Ar	18	39,95	<b>0,93</b>	alluminio	Al	13	26,98	<b>8,1</b>	<b>0,5</b>
carbonio	C	6	12,01	<b>0,017</b>	ferro	Fe	26	55,85	<b>5,0</b>	<b>0,4</b>
neon	Ne	10	20,18	<b>0,002</b>	calcio	Ca	20	40,08	<b>3,6</b>	<b>1,0</b>
elio	He	2	4,00	<b>0,0005</b>	sodio	Na	11	22,99	<b>2,8</b>	<b>1,3</b>
idrogeno	H	1	1,01	<b>0,0002</b>	potassio	K	19	39,10	<b>2,6</b>	<b>1,8</b>
kripton	Kr	36	83,80	<b>0,0001</b>	magnesio	Mg	24	24,31	<b>2,1</b>	<b>0,3</b>
xenon	Xe	54	131,30	<b>0,000009</b>	tutti gli altri	-	-	-	<b>1,5</b>	<b>0,9</b>
<b>Tab. 2</b> - Gli elementi dell'atmosfera (Z = numero atomico; M <sub>Ar</sub> = massa atomica relativa).					totali	-	-	-	<b>100</b>	<b>100</b>
					<b>Tab. 3</b> - Gli elementi della litosfera (Z = numero atomico; M <sub>Ar</sub> = massa atomica relativa).					

<b>Tab. 4</b> - Elementi della biosfera (Z = numero atomico; M <sub>Ar</sub> = massa atomica relativa).				
elementi primari (plastici)				
Elemento	simbolo	Z	M <sub>Ar</sub>	Partecipano alla formazione della materia vivente per il 97 % in peso e costituiscono la struttura macromolecolare del protoplasma. Il carbonio è sempre presente, H e O quasi sempre in tutti composti organici. L'N è il quarto elemento in ordine di abbondanza e caratterizza molti composti, tra i quali le importantissime proteine.
<b>Carbonio</b>	<b>C</b>	<b>6</b>	12,01115	
<b>Idrogeno</b> ( <i>Hydrogenium</i> )	<b>H</b>	<b>1</b>	1,00797	
<b>Ossigeno</b>	<b>O</b>	<b>8</b>	15,9994	
<b>Azoto</b> ( <i>Nitrogenum</i> )	<b>N</b>	<b>7</b>	14,0067	
Elementi secondari indispensabili (oligodinamici)				
Elemento	simbolo	Z	M <sub>Ar</sub>	Concorrono alla formazione del protoplasma in proporzione molto limitata (2,5 % in peso), ma sono indispensabili, in quanto quasi sempre costituenti materiali utili al buon funzionamento della macchina vivente. Il F caratterizza le molecole fondamentali degli acidi nucleici; lo S è presente in alcuni aminoacidi costituenti le proteine; Na, K, Ca e Cl sono presenti come ioni salini nei liquidi corporei.
<b>Fosforo</b> ( <i>Phosphorum</i> )	<b>P</b>	<b>15</b>	30,9738	
<b>Zolfo</b> ( <i>Sulphur</i> )	<b>S</b>	<b>16</b>	32,064	
<b>Sodio</b> ( <i>Natrium</i> )	<b>Na</b>	<b>11</b>	22,9898	
<b>Potassio</b> ( <i>Kalium</i> )	<b>K</b>	<b>19</b>	39,102	
<b>Calcio</b>	<b>Ca</b>	<b>20</b>	40,08	
<b>Cloro</b>	<b>Cl</b>	<b>17</b>	35,453	
<b>Magnesio</b>	<b>Mg</b>	<b>12</b>	24,312	
Elementi rari indispensabili (oligodinamici)				
Elemento	simbolo	Z	M <sub>Ar</sub>	Presenti in tracce in <i>tutti</i> gli organismi. Il ferro fa parte della emoglobina nel sangue dei vertebrati; il rame esercita la stessa funzione nei molluschi. Lo Iodio fa parte dell'ormone tiroideo.
<b>Ferro</b>	<b>Fe</b>	<b>26</b>	55,847	
<b>Rame</b> ( <i>Cuprum</i> )	<b>Cu</b>	<b>29</b>	63,546	
<b>Zinco</b>	<b>Zn</b>	<b>30</b>	65,37	
<b>Iodio</b>	<b>I</b>	<b>53</b>	129,9044	
<b>Fluoro</b>	<b>F</b>	<b>9</b>	18,9984	
<b>Bromo</b>	<b>Br</b>	<b>35</b>	79,904	
Elementi rari speciali (oligodinamici)				
Elemento	simbolo	Z	M <sub>Ar</sub>	Diversamente dai precedenti, compaiono solo in alcuni casi (es. gusci silicei delle diatomee). Sono anch'essi elementi oligodinamici, perché, anche se in quantità molto limitate, sono in grado di influenzare in modo importante le attività cellulari.
<b>Vanadio</b>	<b>V</b>	<b>23</b>	50,942	
<b>Boro</b>	<b>B</b>	<b>5</b>	10,811	
<b>Silicio</b>	<b>Si</b>	<b>14</b>	28,086	
<b>Bario</b>	<b>Ba</b>	<b>56</b>	137,34	
<b>Stronzio</b>	<b>Sr</b>	<b>38</b>	87,62	
<b>Manganese</b>	<b>Mn</b>	<b>25</b>	54,9380	
<b>Cobalto</b>	<b>Co</b>	<b>27</b>	58,9332	

## 2 - IL LINGUAGGIO CHIMICO

Fra tutte le specie atomiche studieremo soprattutto le seguenti:

**carbonio (C)   idrogeno (H)   ossigeno (O)   azoto (N)   zolfo (S)   fosforo (P)**

Si tratta di elementi comuni nel mondo vivente e quattro di essi (primari: C, H, O, N) si incontrano molto frequentemente. Sono costituiti da carbonio (puro o quasi puro) il carbone (sia fossile, sia quello di legna), la fuliggine e la grafite delle matite. Anche il diamante è una forma speciale di carbonio. Il 99 % dell'aria che respiriamo è un miscuglio di ossigeno e azoto in rapporto 1:4. Lo zolfo è un solido giallo chiaro. L'idrogeno è un gas molto leggero ed infiammabile. Il fosforo è un solido rossastro.

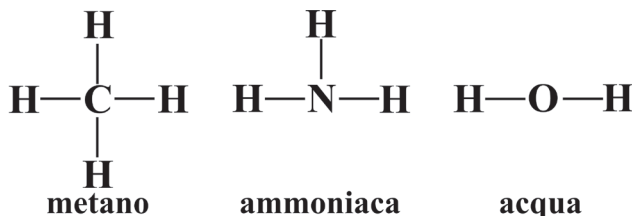
Quasi sempre un atomo si trova associato con uno o più altri. Quando, molto raramente, un materiale è costituito dall'associazione fra atomi tutti della stessa specie, si utilizza il termine "**elemento**" (*sostanza elementare*). Molto più spesso i materiali sono costituiti dall'associazione di due o più specie atomiche diverse; in tal caso si utilizza il termine "**composto**" (*sostanza composta*). Si utilizza il termine "**molecole**" per indicare i gruppi di atomi, uguali o diversi, associati molto strettamente tra loro.



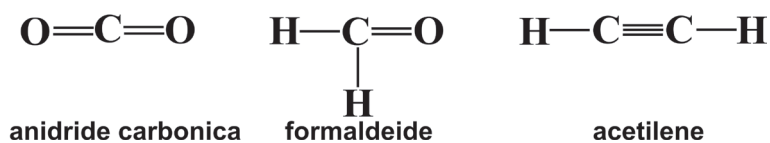
Considerando gli atomi come lettere del linguaggio chimico, le molecole del regno vivente costituiscono le parole. La formazione delle parole chimiche ha precise regole: ogni specie atomica viene rappresentata con il suo simbolo e con tanti tratti intorno, quanto sono i possibili "punti di aggancio" caratteristici di ogni elemento. I tratti (punti di aggancio)

vengono detti "**legami**". Gli atomi di ossigeno (O) e di zolfo (S) hanno ciascuno due legami, grazie ai quali possono unirsi ad altri atomi, così come le lettere dell'alfabeto che compongono le parole sono legate ognuna con una lettera che la precede e con una che la segue. L'atomo di idrogeno (H) ha un solo legame, come una lettera che sta al principio o alla fine di una parola. Gli atomi di azoto (N) e di fosforo (P) hanno la possibilità di formare tre legami, mentre l'atomo di carbonio (C) ne può formare quattro.

È facile costruire semplici molecole con gli atomi con il sistema sopra illustrato. Le prime costruzioni che possiamo sperimentare consiste nell'attaccare atomi di idrogeno ai punti di aggancio di alcuni degli altri atomi. Come risultato abbiamo le **formule di struttura** di sostanze reali ben conosciute. I chimici conoscono tanto bene le formule di struttura di queste semplici molecole che, di solito, si limitano ad elencare le diverse specie di atomi e, se ci sono più atomi di una stessa specie, ne scrivono il numero accanto al simbolo. Così viene scritto CH<sub>4</sub> il metano, NH<sub>3</sub> l'ammoniaca e H<sub>2</sub>O l'acqua. Quelle appena scritte sono le cosiddette "**formule empiriche**" (o **grezze**); esse

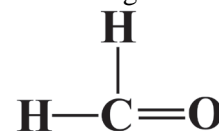


indicano quali sono le specie atomiche che compongono le molecole ed in quali rapporti numerici. Qualche volta due atomi si agganciano tra loro con due legami o anche con tre, cioè con legami doppi o tripli; per esempio l'anidride



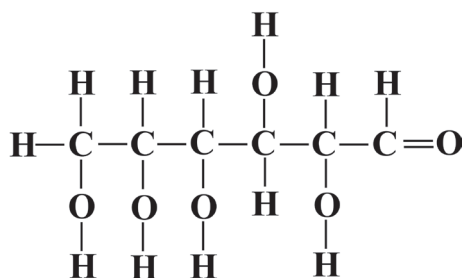
carbonica (CO<sub>2</sub>), la formal-deide (CH<sub>2</sub>O) e l'acetilene (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>).

Le sostanze che abbiamo considerato quali esempi sono facili da studiare e da rappresentare mediante il linguaggio chimico. La maggior parte di quelle presenti nella natura che ci circonda e che costituiscono gli organismi sono più difficili da descrivere, non tanto perché le regole cambiano o diventano più complicate, ma soprattutto perché tali sostanze sono formate da molecole più complesse, con un più grande numero di atomi. Consideriamo una sostanza molto importante e neppure fra le più complicate da descrivere: il *glucosio*, uno zucchero. Esso ha formula empirica CH<sub>2</sub>O, cioè si tratta di una sostanza formata da atomi di carbonio (C), da un ugual numero di atomi di ossigeno (O) e da un numero doppio di atomi di idrogeno. In una tazzina piena a metà di zucchero (circa 30 grammi), ci sono 600.000 miliardi di miliardi di atomi di carbonio ed altrettanti di ossigeno e 1.200.000 miliardi di miliardi (il doppio) di atomi di idrogeno. Applicando le regole succitate la formula di struttura del glucosio potrebbe essere quella a fianco rappresentata.



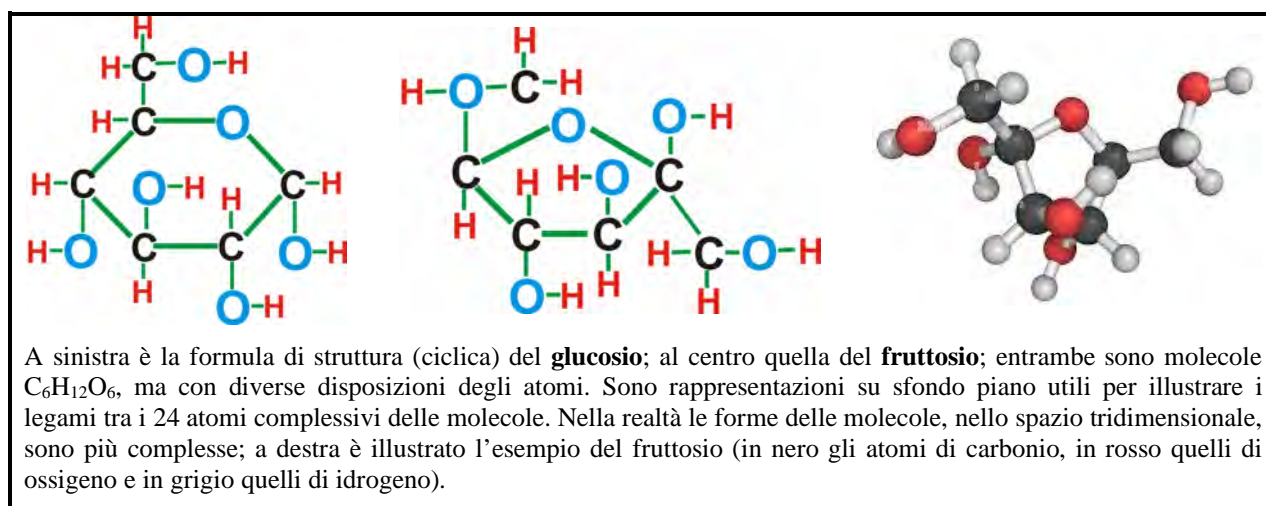


In realtà la molecola di glucosio è formata da un numero di atomi sei volte più grande, cioè 6 atomi di carbonio, 6 di ossigeno e 12 di idrogeno. Il rapporto numerico fra gli atomi è lo stesso: quelli di idrogeno sono sempre il doppio di quelli di ossigeno e di carbonio, ma la molecola è più grande. Per tale motivo i chimici preferiscono scrivere la formula empirica in modo diverso:  $C_6H_{12}O_6$ . A questo punto occorre rifare il gioco con le stesse regole, ma questa volta con 24 atomi; il risultato, potrebbe essere quello sotto rappresentato.



Studi condotti nei primi decenni del secolo scorso hanno permesso di verificare che, in effetti, la molecola di glucosio è costituita da 6 atomi di carbonio, 6 di ossigeno e 12 di idrogeno, ma che possono esserci delle posizioni diverse degli atomi e che la forma non è una catena di atomi di carbonio, ma un anello, o meglio una sorta di esagono. I chimici usano il termine “*struttura ciclica*”. La rappresentazione di una particolare forma di glucosio risulta come un anello con 6 vertici di cui 5 occupati da altrettanti atomi di carbonio, mentre il sesto vertice è occupato da un atomo di

ossigeno. In questa disposizione le regole sono rispettate: 6 atomi di carbonio con 4 punti di aggancio, altrettanti di ossigeno con 2 punti di aggancio e 12 atomi di idrogeno che possono formare un solo legame. Tutto funziona, ma la struttura della molecola appare piuttosto complicata.



Se volessimo studiare altri esempi di rappresentazione di molecole caratteristiche di sostanze che compongono la materia vivente, scopriremmo ulteriori complicazioni (la molecola che abbiamo appena rappresentato non è una delle più complesse). Data la situazione, conviene allora accontentarci di sapere che le molecole della vita sono assai complicate e che sarebbe necessario un approfondito corso di chimica per poterle descrivere. Ciò non rappresenta, per ora, il nostro obiettivo e ci limiteremo ad utilizzare rappresentazioni molto schematiche e con un livello di approfondimento diverso a seconda delle necessità.

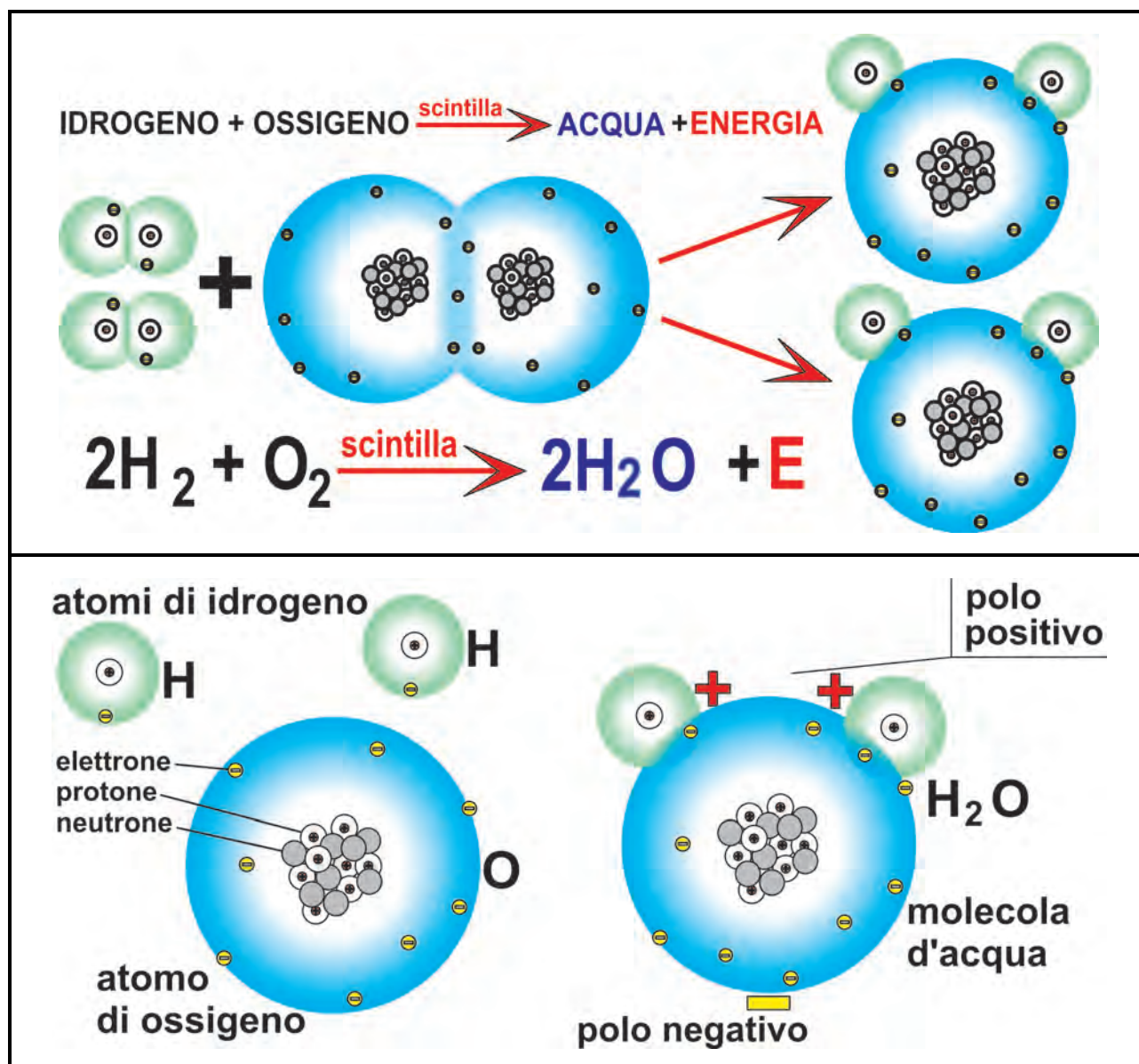
Le “sostanze della vita”, quelle che compongono il corpo dei viventi; esse possono essere distinte da tutte le altre. Si usa la seguente distinzione:

**SOSTANZE ORGANICHE** - sono tutti i composti del carbonio, salvo rare eccezioni quali anidride carbonica ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ), carbonato di calcio ( $CaCO_3$ ),... nella cui formula empirica compare sempre il simbolo del carbonio (C); la loro origine è organogena (fanno parte o hanno fatto parte del corpo di organismi); sono esempi il legno (derivato dai tronchi di alberi), la carta (dalla cellulosa delle piante), la plastica (derivata dal petrolio, dalle antiche origini organogene), il nostro corpo e quello di tutti i viventi (vivi o morti ed i loro residui),... Nella maggior parte dei casi sono combustibili.

**SOSTANZE INORGANICHE** - sono tutti i composti che non contengono carbonio (con le eccezioni succitate) nella cui formula empirica non compare il simbolo del carbonio; appartengono al dominio minerale e non hanno origine organogena; sono esempi il vetro, le lamiere di un'auto, l'acqua, la roccia,... Nella maggior parte dei casi non sono combustibili.

### 3 - L'ACQUA

I due gas, idrogeno e ossigeno, sotto lo stimolo di una scintilla, reagiscono tra loro con un processo molto rapido che libera energia. Si tratta di una reazione nella quale il combustibile idrogeno viene “bruciato” grazie al comburente ossigeno, con conseguente formazione di **acqua**.



L'acqua è una sostanza composta da **idrogeno (H)** e **ossigeno (O)**. Gli atomi di idrogeno sono i più piccoli tra tutti gli elementi, formati da un solo protone ( $1e^+$ ) che costituisce il nucleo, intorno al quale è presente un solo elettrone ( $1e^-$ ). Gli atomi di ossigeno sono più grandi; schematizzando molto il nucleo è costituito da 8 protoni ( $8e^+$ ) e da 8 neutroni, mentre 8 elettroni ( $8e^-$ ) formano il guscio esterno. L'unione di un atomo di ossigeno con due atomi di idrogeno forma la **molecola d'acqua**, in cui i due tipi di elementi sono fra loro legati da una forza detta *legame covalente*. La carica complessiva della molecola è:  $(8e^+ + 8e^-) + 2(1e^+ + 1e^-) = 0$ ; il che vuol dire che essa è elettricamente neutra.

Il legame covalente caratterizza molti altri composti. Per esempio il metano ( $CH_4$ ) è costituito da molecole con un atomo di carbonio legato a quattro atomi di idrogeno. L'anidride carbonica ( $CO_2$ ) è costituita da molecole nelle quali un atomo di carbonio è strettamente connesso con due atomi di ossigeno. L'ammoniaca ( $NH_3$ ) è costituita da molecole con al centro un atomo di azoto, legato a tre atomi di idrogeno.

Le formule chimiche riproducono le proporzioni numeriche con le quali stanno fra loro i diversi elementi nelle molecole. Infatti si indica con **H<sub>2</sub>O** la formula dell'acqua, in quanto il numero doppio degli atomi di

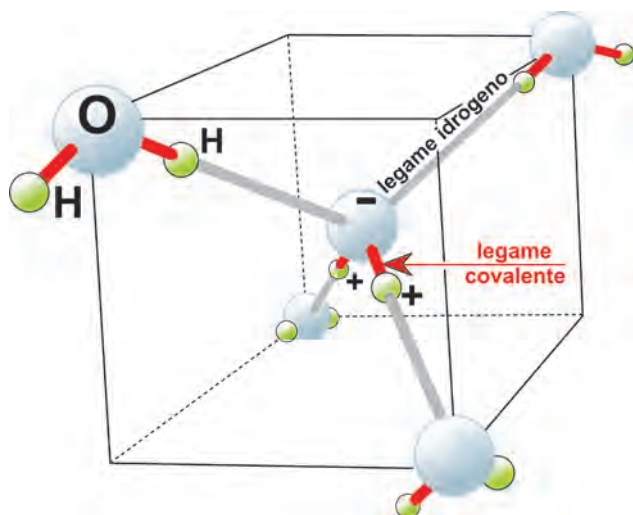
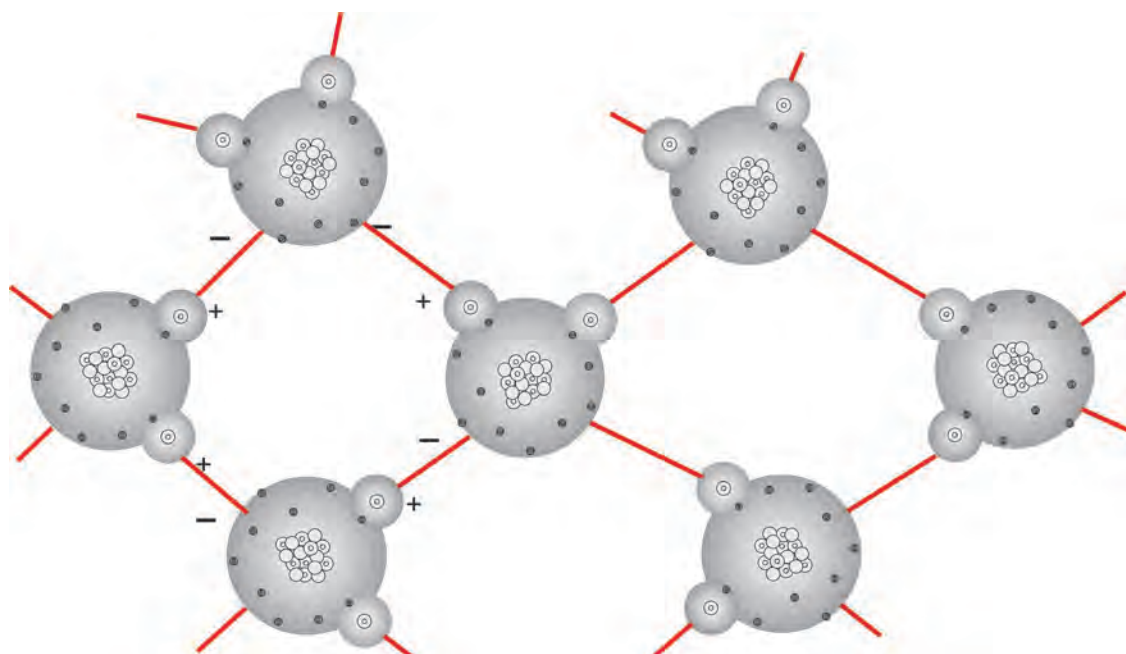
idrogeno rispetto a quelli di ossigeno è una conseguenza del tipo di molecola che abbiamo descritto. Tutte le sostanze che sono costituite da molecole (gruppi di atomi legati con forza tra loro da legami di tipo covalente) si dicono **sostanze molecolari**.



Formula di struttura dell'acqua.

I due atomi di idrogeno sono sistemati in modo tale da formare un angolo di circa  $105^\circ$  fra le direzioni di allineamento fra i nuclei; essi sono quindi da un lato della molecola. Gli elettroni messi in compartecipazione si trovano fra il nucleo dell'idrogeno con una piccola carica positiva ( $1 e^+$ ) e quello dell'ossigeno con una più forte carica positiva ( $8 e^+$ ). Gli elettroni (negativi) sono attratti da una maggiore forza elettrostatica verso il nucleo di ossigeno.

Complessivamente, quindi, l'insieme di tutte le cariche non sono distribuite uniformemente; la molecola si comporta come un *dipolo elettrico*, con una estremità, o polo, negativa da una parte (ossigeno) e positiva dall'altra (idrogeni). Fra i poli positivi e negativi di molecole d'acqua diverse e vicine si manifestano forze di attrazione di natura elettrostatica; esse sono all'origine di quasi tutti i fenomeni naturali legati all'acqua.



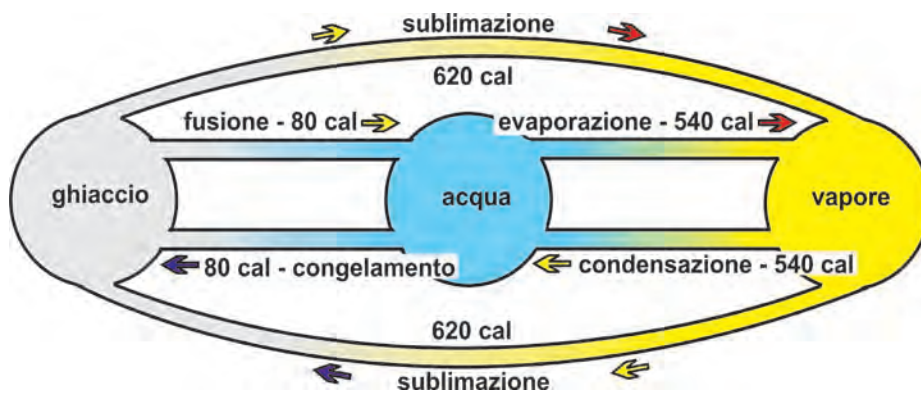
Le considerazioni e le immagini fin qui proposte danno l'idea della molecola d'acqua come una figura piana; in realtà essa presenta una struttura tridimensionale tetraedrica. Soprattutto nel ghiaccio tale forma impone precise posizioni delle molecole grazie alle forze elettrostatiche di attrazione. Si osserva che ogni atomo di idrogeno fa da "ponte" tra l'atomo di ossigeno della molecola di appartenenza con un altro ossigeno della molecola adiacente. Per tale motivo le forze di attrazione tra le molecole vengono denominate "*legami idrogeno*".

L'**acqua** pura è costituita dall'89 % in peso di **ossigeno** e dell'11 % in peso di **idrogeno**, ma nell'acqua sono presenti tanti altri elementi, in percentuali quasi sempre molto piccole.

La maggior parte della superficie della Terra ( $3/4$ ) è coperta dall'acqua. La temperatura dell'aria, a livello del suolo, è tale da consentire l'esistenza dell'acqua contemporaneamente nei tre stati: *solido* (il ghiaccio e la neve sulle montagne e sui poli), *liquido* (mari, laghi e fiumi) e *gassoso* (l'umidità contenuta nell'atmosfera). Avvengono continui passaggi da uno stato all'altro, consentendo così il **ciclo dell'acqua**.



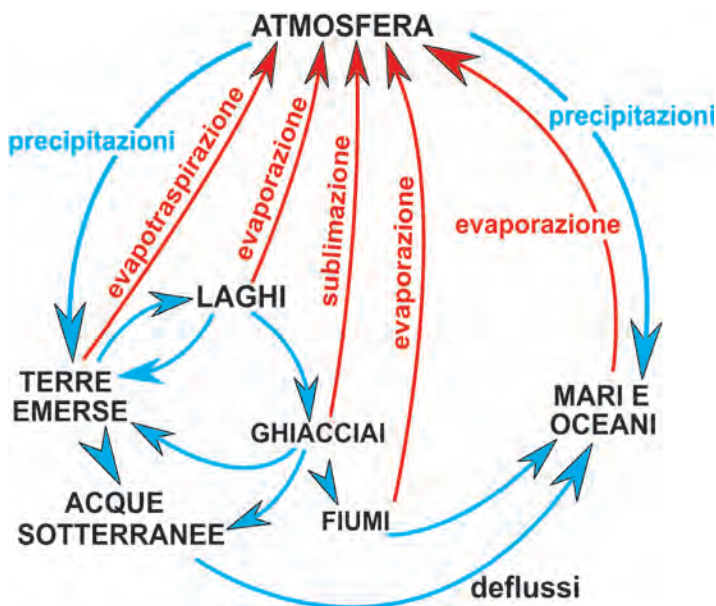
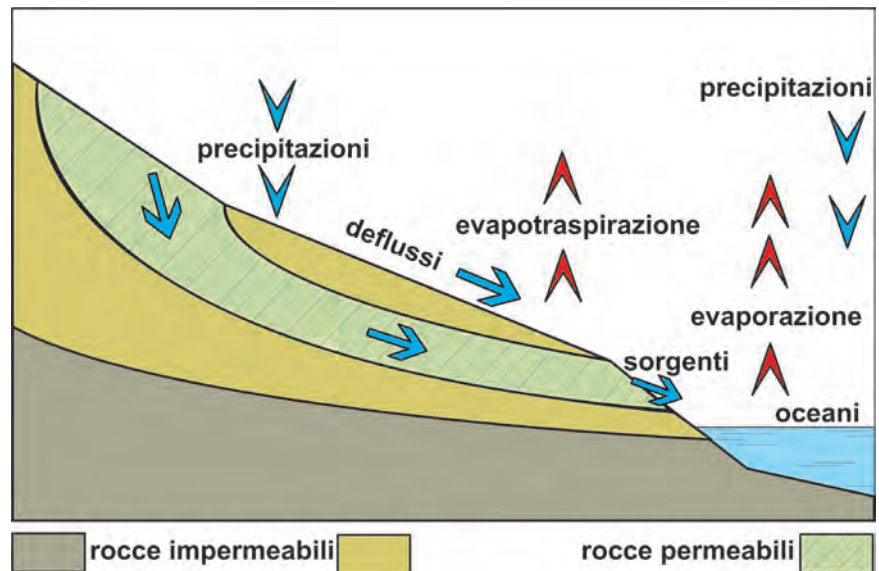
Questa speciale condizione di privilegio, rispetto agli altri pianeti del sistema solare (e forse rispetto ad altri satelliti di altri sistemi stellari dell'Universo), è la ragione della vita.



I passaggi di stato dell'acqua comportano elevati scambi di energia. Valori espressi in calorie per grammo d'acqua.

### Ciclo dell'acqua.

L'acqua passa sotto forma di gas dal serbatoio del mare all'atmosfera. L'atmosfera trasporta il gas sulle terre emerse dove può trasformarsi in acqua (nubi) e cadere sotto forma di precipitazioni (pioggia, neve, grandine); le precipitazioni avvengono anche direttamente sul mare. Le precipitazioni sulle terre emerse danno origine a fiumi e a correnti sotterranee che riportano l'acqua nel mare per ricominciare il ciclo.

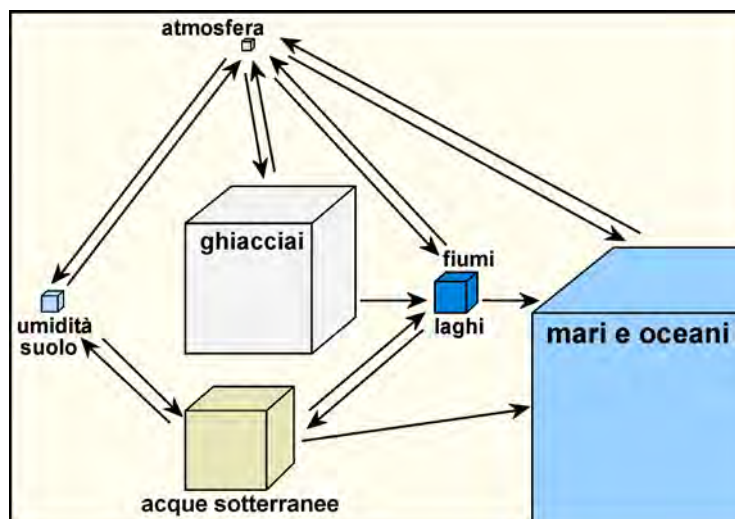


**Complessità del ciclo dell'acqua.** Talvolta si sollevano nebbie (goccioline d'acqua) da campi appena arati o da una strada appena bagnata dalla pioggia con la ricomparsa del sole; è acqua che ritorna all'atmosfera senza passare dal mare. L'acqua di una pozzanghera può evaporare e tornare dopo poco tempo con un temporale che si scatena nella stessa zona. La neve che cade oggi sulle Alpi può essere acqua evaporata due settimane prima dall'Atlantico e trasportata da venti occidentali. Il ciclo dell'acqua, in realtà, un insieme di sotto-cicli con scambi di umidità fra terra, mari e atmosfera. Per esempio l'acqua può passare dall'oceano all'aria e ritornarvi senza passare attraverso la terra. Durante una pioggia molte gocce non raggiungono il suolo ma evaporano ritornando all'atmosfera. Le acque dei fiumi o dei laghi possono tornare all'atmosfera senza passare attraverso i mari. Si può avere evaporazione direttamente dal terreno umido.

Il diverso irraggiamento solare, maggiore all'equatore e minore ai poli, determina squilibri termici tali da provocare grandi spostamenti di masse d'aria che sono all'origine della successione dei vari eventi meteorologici nel tempo e nello spazio. In questi processi è ancora protagonista l'acqua, coinvolta in un

grande ciclo che ne permette la distribuzione sulle terre emerse, consentendo l'alimentazione dei ghiacciai, dei fiumi, dei laghi.

	Volumi 10 <sup>3</sup> ·km <sup>3</sup>	%
oceani e mari	1.370.000	<b>96,960</b>
ghiacciai	34.000	<b>2,410</b>
acque sotterranee	8.400	<b>0,580</b>
laghi e fiumi	510	<b>0,044</b>
umidità del suolo	66	<b>0,005</b>
atmosfera	13	<b>0,001</b>
<b>totale</b>	<b>1.412.989</b>	<b>100</b>



**Distribuzione dei volumi delle acque terrestri** nei diversi ambienti. I valori sono raffigurati con cubi di volumi proporzionali, assimilabili a “serbatoi” entro i quali è distribuita l’acqua terrestre. Il cubo dell’acqua dei mari e oceani compare nella figura solo per 1/8 del suo volume. Il cubo dell’acqua dell’atmosfera è stato leggermente ingrandito rispetto alle dimensioni reali affinché risultasse distinguibile.

L’acqua costituisce la frazione principale degli organismi ed il mezzo fondamentale dei liquidi di trasporto in natura (il sangue, la linfa delle piante, le soluzioni nutritive presenti nel suolo a disposizione delle radici). L’acqua è il solvente per eccellenza (col tempo quasi tutte le sostanze presenti in natura si sciolgono in essa).

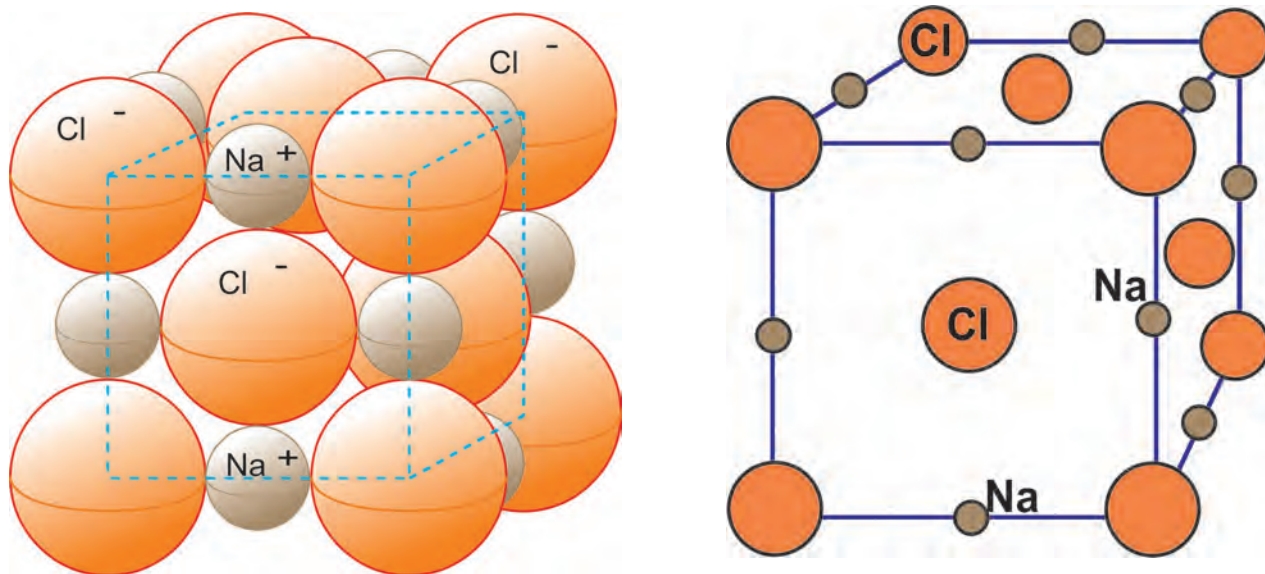
vegetali		animali		uomo	
seme di girasole	<b>5</b>	ratto	<b>65</b>	corpo umano	<b>65</b>
chicco di granoturco	<b>70</b>	aringa	<b>67</b>	ossa	<b>22</b>
frutto di ananas	<b>87</b>	gallina	<b>74</b>	cervello	<b>74</b>
pomodoro	<b>95</b>	rana	<b>78</b>	muscolo	<b>77</b>
		aragosta	<b>79</b>	rene	<b>81</b>
		lombrico	<b>80</b>	sangue	<b>84</b>
		medusa	<b>96</b>		
Percentuali dell’acqua rispetto al peso di alcuni organismi o di parti di essi.					

Un grammo d’acqua, che occupa il volume di un millesimo di litro (1 cm<sup>3</sup>), contiene circa 30.000 miliardi di miliardi di molecole, un numero costituito dalla prima cifra “3” seguito da 22 zeri.

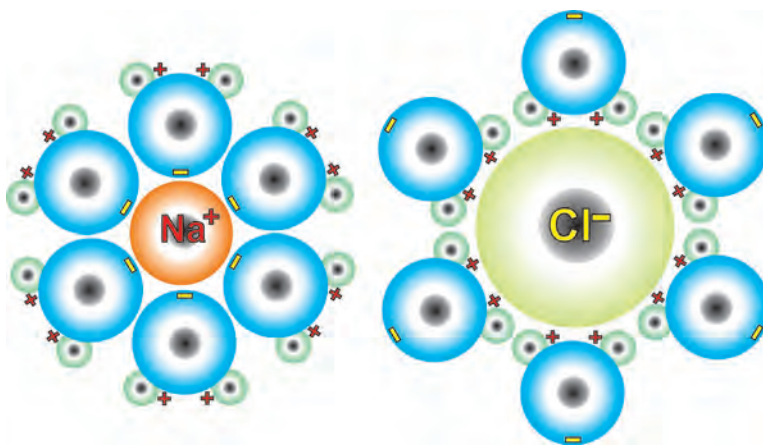
angolo fra i legami H-O nella molecola	<b>104,5</b>	gradi
distanza H-O nella molecola	<b>1·10<sup>-8</sup></b>	cm
carica elettrica media polare	<b>0,44</b>	e <sup>+/-</sup>
massa molecolare	<b>18,0153</b>	
calore specifico (per T = 25 °C)	<b>1,0</b>	cal/g/ °C
calore latente di fusione	<b>80</b>	cal/g
calore latente di evaporazione	<b>540</b>	cal/g
calore latente di sublimazione	<b>540</b>	cal/g
tensione superficiale	<b>72</b>	10 <sup>-5</sup> N/cm
densità a 4 °C	<b>1,0</b>	g/l
punto crioscopico (per P = 1 atm)	<b>0</b>	°C
punto ebullioscopico (per P = 1 atm)	<b>100</b>	°C
conducibilità termica	<b>1,4·10<sup>-3</sup></b>	cal/sec/cm/°C
prodotto ionico [H <sup>+</sup> ]·[OH <sup>-</sup> ] - T=25 °C	<b>1·10<sup>-14</sup></b>	(acqua pura)
Caratteristiche fisiche e chimiche dell’acqua.		

## 4 - SALI MINERALI

Il sale più noto è il cloruro di sodio, il comune sale da cucina; la sua formula è  $\text{NaCl}$ ; esso è formato da numeri uguali di atomi di sodio ( $\text{Na}$ ) e di cloro ( $\text{Cl}$ ), disposti nello spazio in un reticolo ordinato e simmetrico, formando quindi il minerale salgemma. In 30 grammi di sale si trovano oltre 600.000 miliardi di miliardi di atomi di cloro ed altrettanti di sodio.



Nel cloruro di sodio (salgemma) gli atomi di sodio ( $\text{Na}$ ) e di cloro ( $\text{Cl}$ ) sono disposti secondo un ordinato reticolo cristallino. A sinistra è raffigurato un modello a sfere rappresentanti gli atomi. A destra sono raffigurate le posizioni occupate dai centri dagli atomi nella “cella elementare”. Quando tale sostanza viene messa in acqua gli atomi vengono staccati dal reticolo cristallino sotto forma di ioni. Gli atomi di sodio perdono ciascuno un elettrone che viene acquistato da altrettanti atomi di cloro. I primi pertanto diventano ioni con una carica positiva (cationi  $\text{Na}^+$ ); i secondi diventano ioni con carica negativa (anioni  $\text{Cl}^-$ ). Cationi e anioni vengono quindi circondati (*solvatati*) dalle molecole d’acqua isolandoli tra loro, completando così il processo di soluzione. La solvatazione è un processo possibile in quanto gli ioni sodio e cloro sono portatori di cariche elettriche, ma tali cariche sono presenti anche nelle molecole d’acqua, veri e propri dipoli elettrici.



Altri sali molto comuni sono i carbonati, in particolare il carbonato di calcio che ha formula  $\text{CaCO}_3$ , detto “calcite” ed il carbonato doppio di calcio e magnesio che ha formula  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , detto “dolomite”. Sono due minerali che compongono le rocce carbonatiche, quali i calcari (nei quali prevale la calcite) e le dolomie (nei quali prevale la dolomite). Le Dolomiti sono montagne ricche di dolomie. Prevalentemente calcaree sono le Alpi orientali ed il tavolato pugliese. Il carbonato di calcio è il sale prevalente che incrosta rubinetti, ferri da stiro a vapore, lavatrici, lavastoviglie,...

Altri sali importanti sono i solfati, composti dello zolfo ( $\text{S}$ ), fra i quali i solfati di calcio (come l’anidride ed il gesso), di magnesio (epsomite), di potassio,... a cui occorre aggiungere i fosfati (composti del fosforo), i nitrati (composti dell’azoto) ed altri ancora, importanti perché costituenti i nutrienti che utilizzano i vegetali per il processo di fotosintesi. **In generale i sali minerali sono presenti in tutti gli alimenti, ma prevalentemente nella frutta e nelle verdure.**

I sali sono più o meno solubili in acqua, formando con essa delle **soluzioni**; vale il seguente schema:





Un litro di acqua di mare (1.000 g) è una soluzione complessa, in quanto sono presenti diversi sali disciolti, per un totale di circa 35 grammi, fra i quali quello prevalente è il cloruro di sodio. Facendo evaporare dell'acqua marina (come accade nelle saline), si ottiene del sale del quale oltre il 20 % non è NaCl che va quindi eliminato (raffinazione) per ottenere il prodotto da usare in cucina. Oltre al cloruro di sodio nell'acqua di mare sono dunque presenti altri sali e precisamente:

cloruro di sodio	<b>NaCl</b>	<b>27,2</b>
cloruro di magnesio	<b>MgCl<sub>2</sub></b>	<b>3,8</b>
solfato di magnesio	<b>MgSO<sub>4</sub></b>	<b>1,7</b>
solfato di calcio	<b>CaSO<sub>4</sub></b>	<b>1,3</b>
solfato di potassio	<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	<b>0,9</b>
carbonato di calcio	<b>CaCO<sub>2</sub></b>	<b>0,1</b>
bromuro di magnesio	<b>MgBr<sub>2</sub></b>	<b>0,1</b>
<b>Composizione media dell'acqua marina</b> (g/kg d'acqua). La somma dei valori riportati è pari a circa 35 g/kg, espresso come 35 ‰.		

Un grammo di sale da cucina si scioglie facilmente in un litro d'acqua; esso sembra sparire nel liquido per formare un miscuglio (acqua salata) omogeneo, dove l'acqua (solvente) ed il cloruro di sodio (soluto) non sono distinguibili. Come avviene il processo di soluzione? Per capire dobbiamo ricorrere alle strutture atomiche degli atomi di sodio e di cloro. Il sodio (Na) ha numero atomico  $Z = 11$ , quindi 11 protoni positivi ( $11e^+$ ) e 11 neutroni nel nucleo; questo è avvolto in una nuvola elettronica costituita da 11 elettroni negativi ( $11e^-$ ). Anche nel Cloro (Cl;  $Z = 17$ ) sono presenti cariche elettriche e precisamente 17 positive (i protoni nel nucleo) e 17 negative (gli elettroni). Come abbiamo visto, in un granello di salgemma (potrebbe essere un grano del sale grosso da cucina), vi sono miliardi di atomi delle due specie disposti in un reticolo ordinato.

Quando il granello viene posto nel solvente, le molecole d'acqua agiscono "smontando" tale struttura; vengono cioè "staccati" i singoli atomi sotto forma di **ioni**. In altri termini gli atomi di sodio vengono a trovarsi a "fluttuare" in mezzo alle molecole d'acqua privi di un elettrone nel loro guscio esterno; ciò significa che diventano atomi un po' speciali (ioni) nei quali il nucleo mantiene intera la sua carica ( $11e^+$ ), mentre il guscio presenta una carica complessiva leggermente inferiore ( $10e^-$ ). Il risultato si deduce dalla somma delle due cariche:  $11e^+ + 10e^- = 1e^+$ , il che vuol dire un catione, uno ione sodio  $Na^+$ .

Dove è finito l'elettrone che manca al sodio? Lo troviamo come particella in più nel guscio elettronico del cloro che, quindi, diventa un anione ( $Cl^-$ ), uno ione negativo ( $17e^+ + 18e^- = 1e^-$ ). Nell'acqua vi sono pertanto piccolissime particelle, ioni  $Na^+$  e  $Cl^-$ , caratterizzate da cariche opposte e che, per tale motivo, tenderebbero ad avvicinarsi per ricostruire il reticolo cristallino del salgemma, ma che invece sono mantenuti separati dall'azione solvente delle molecole d'acqua. Se scaldiamo la soluzione per favorire il processo di evaporazione, le molecole d'acqua via via si allontanano sotto forma di gas, il livello diminuisce e ad un certo punto gli ioni si ritrovano così vicini che riescono a legarsi reciprocamente, fino a formare nuovamente il sale solido con l'evaporazione completa dell'acqua.

Si potrebbe descrivere il processo di soluzione di altri sali per comprendere meglio cosa sono gli ioni, ma ciò rischierebbe un approfondimento eccessivo. Accontentiamoci di una definizione di carattere generale: *gli ioni sono atomi, gruppi di atomi (o molecole) che hanno acquistato una o più cariche elettriche mediante perdita (ioni positivi o cationi) o cattura (ioni negativi o anioni) di uno o più elettroni*. Gli ioni vengono indicati con il simbolo dell'atomo, o la formula del gruppo di atomi o delle molecole, cui si oppone, in alto a destra, un segno + per ogni carica positiva che lo ione possiede o un segno - per ogni carica negativa. Per esempio il solfato di potassio  $K_2SO_4$  in acqua si scioglie dando origine a ioni  $K^+$  ed  $SO_4^{2-}$ , cioè a cationi costituiti da un atomo di potassio con un elettrone in meno e anioni costituiti da un gruppo di atomi (uno di zolfo e quattro di ossigeno) con due elettroni in più.

Tutto questo discorso sui processi di soluzione dei sali in acqua e della conseguente formazione di ioni, serve per comprendere il linguaggio della biologia a proposito dei sali minerali. Essi sono infatti presenti nei liquidi dei corpi dei viventi sotto forma di sostanze in soluzione e quindi di ioni; in alcuni casi inoltre, proprio in quanto "portatori" di cariche elettriche, svolgono precise funzioni.



Nell'acqua marina sono presenti i sali più importanti utili ai viventi, seppure in quantità talora anche molto diverse. In generale lo ione più abbondante è il potassio; la presenza dello ione sodio è discreta e risultano piccole quantità di magnesio e di calcio. Tracce di molti altri elementi sono normalmente presenti e risultano essenziali alla vita; ricordiamo il ferro (nell'emoglobina del sangue; nei molluschi analoga funzione è svolta dal rame) e lo iodio (costituente dell'ormone tiroideo); lo zinco ed il manganese sono regolatori di funzioni enzimatiche importanti. Fra gli anioni predominano il bicarbonato ed il fosfato.

Elementi contenuti in alcuni sali		Presenza nei cibi	Funzioni
<b>Calcio</b>	<b>Ca</b>	Latte, formaggi, gelato, frutta, verdure.	Favorisce lo sviluppo di ossa e denti, la coagulazione del sangue ed il funzionamento di muscoli e di nervi.
<b>Ferro</b>	<b>Fe</b>	Fegato, carni rosse, verdure, legumi, noci, tuorlo d'uovo.	Costituente dell'emoglobina (globuli rossi). Favorisce la crescita dei muscoli.
<b>Magnesio</b>	<b>Mg</b>	Carni rosse, patate, cereali, verdure.	Facilita la sintesi delle proteine. Aiuta il corpo ad utilizzare calcio e fosforo.
<b>Iodio</b>	<b>I</b>	Pesci e molluschi.	Necessario al funzionamento della tiroide.
<b>Fosforo</b>	<b>P</b>	Latte, formaggi, fegato, pesce, uova, pollame, cereali integrali	Aiuta a costruire e tenere sani denti e ossa ed il buon funzionamento dei muscoli. Presente negli acidi nucleici.

## 5 - EQUILIBRIO ACIDO - BASE NELL'ACQUA

In un litro d'acqua vi sono più di  $3 \cdot 10^{25}$  molecole (oltre 30 milioni di miliardi di miliardi). Se quell'acqua è pura (distillata, senza sostanze in soluzione), circa la decima di miliardesima parte di esse ( $1/10^{10}$ ) si dissociano. Siccome il numero totale di molecole presenti in un litro è enorme, anche se la frazione è estremamente piccola, il risultato finale è ancora un numero grande (oltre 30 milioni di miliardi). La dissociazione della molecola d'acqua avviene mediante il "distacco" di un atomo di idrogeno che si allontana privo del suo elettrone. In pratica è un protone, una particella con una carica positiva ( $e^+$ ); esso è un catione (ione positivo), detto **ione idrogeno** ( $H^+$ ). L'elettrone rimane sulla porzione restante della molecola dissociata, composta dall'atomo di ossigeno e dall'altro atomo di idrogeno; l'elettrone in più conferisce una carica negativa ( $e^-$ ) alla residua coppia di atomi che quindi diventa un anione (ione negativo), detto **ione ossidrile** ( $OH^-$ ). Si dice che l'acqua è un elettrolita debole che si dissocia secondo l'equazione:



In un litro d'acqua pura quindi sono presenti 30 milioni di miliardi di ioni idrogeno ed altrettanti di ioni ossidrilici. Questi numeri sono caratteristici di un equilibrio che può essere modificato con l'aggiunta di particolari sostanze. L'acido muriatico è un prodotto utilizzato anche fra le pareti domestiche (si tratta di acido cloridrico, HCl, da maneggiare con molta attenzione). Introducendo alcuni grammi di quella sostanza, dato che anch'essa si dissocia liberando altri ioni idrogeno ( $HCl \rightleftharpoons H^+ + Cl^-$ ), il loro numero può aumentare anche di alcune centinaia di volte, mentre quello di ioni ossidrilici diminuisce dello stesso ordine di grandezza. Un effetto opposto si otterrebbe con l'ammoniaca. Variando di 10, 100, 1.000,.... volte la quantità di ioni idrogeno nel litro d'acqua, comunque il loro numero rimane una frazione piccolissima rispetto al volume totale. Eppure ciò influisce in modo determinante sulle caratteristiche dell'acqua (o meglio della soluzione).

Quando si parla di acqua, in natura, quasi mai si tratta del composto  $H_2O$  allo stato puro; quasi sempre si ha a che fare con soluzioni acquose, cioè acqua (solvente) con presenza di sostanze diverse (soluti) sciolte in essa. Persino l'acqua piovana contiene sostanze che le gocce raccolgono attraversando l'atmosfera; le sorgenti più pure contengono comunque sali minerali (per esempio le acque oligominerali). L'acqua del mare contiene mediamente circa 35 g di sali per ogni litro, mentre le acque dolci sono così denominate perché contenenti una minore quantità più o meno degli stessi sali.

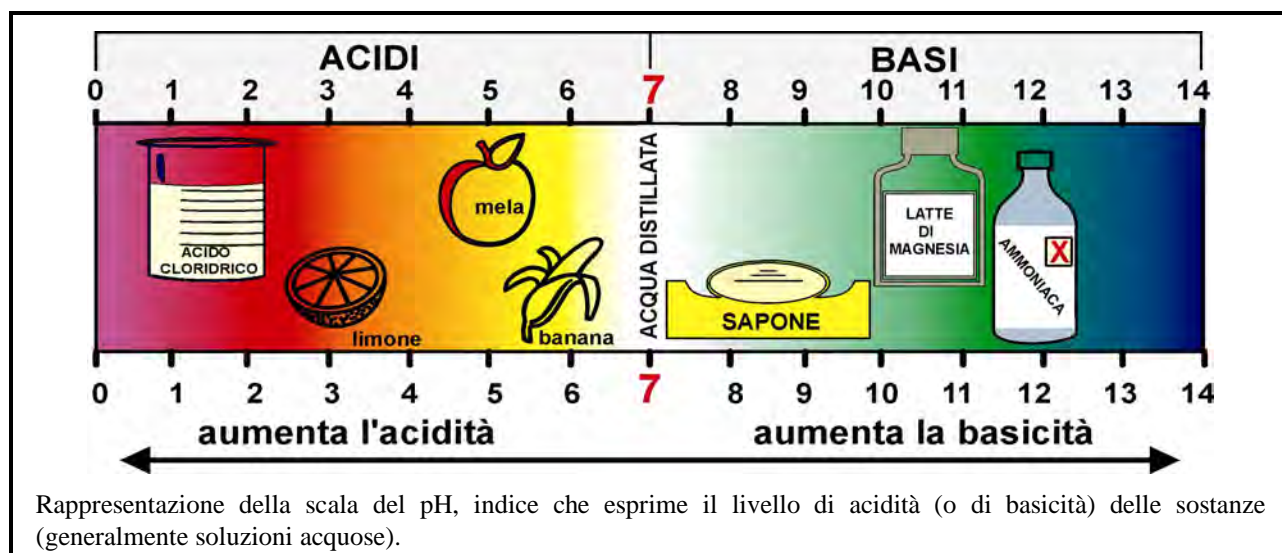
La presenza di vari tipi di sostanze nell'acqua, può determinare equilibri chimici diversi da quelli caratteristici dell'acqua "pura" ed in particolare per quanto riguarda la quantità (meglio sarebbe parlare di concentrazione) di ioni  $H^+$  ed  $OH^-$ . Questi equilibri vengono descritti mediante un indice numerico (detto **pH**; "*pi-acca*"), il cui valore è espresso in base alla concentrazione  $[H^+]$ . Quando la soluzione acquosa presenta l'equilibrio chimico dell'acqua pura (distillata), vale  $pH = 7$ , che esprime condizioni di neutralità. Per valori inferiori a 7 la soluzione è acida; per valori superiori a 7 la soluzione è basica. L'acido muriatico che abbiamo prima citato è in realtà una soluzione di acqua con acido cloridrico molto acida (bassi valori del pH). Sono soluzioni acide (seppure in misura minore) anche il succo di limone e l'aceto. Al contrario una soluzione con ammoniaca è basica.

Le sostanze acide e basiche (che in soluzione abbassano o alzano il valore del pH) hanno comportamento chimico opposto, neutralizzandosi vicendevolmente. Per esempio aggiungendo acido cloridrico all'acqua il valore del pH si abbassa dal valore di neutralità (7) fino a valori anche inferiori a 3; aggiungendo successivamente ammoniaca si può far ritornare il pH al valore iniziale o addirittura superarlo, fino a condizioni di basicità. Se l'acidità dello stomaco è eccessiva, è possibile assumere del bicarbonato (una sostanza basica) al fine di correggere (aumentandolo) il valore del pH, fino ad una condizione vicina a quella della neutralità o almeno non troppo acida.

Le acque che circolano nel terreno (e che lo mantengono più o meno umido) sono ricche di sostanze disciolte; tali acque sono soluzioni complesse, caratterizzate da un determinato pH. Quindi anche i terreni possono essere classificati come acidi, neutri o basici e come tali più o meno adatti ad ospitare forme vegetali diverse.

Il pH di una soluzione può essere determinato con diversi indicatori, fra i quali i più noti e diffusi sono le cartine di tornasole; esse sono sottili strisce di carta che, immerse in soluzione, assumono colori diversi in funzione del pH. Oggi la tecnologia mette a disposizione precisi strumenti, detti *pi-accametri*, muniti di un

elettrodo che, immerso in soluzione, permette la lettura dei valori del pH con precisione fino alla seconda cifra decimale.



Nei processi biologici è importante che il pH dei liquidi rimanga entro limiti ristretti. Il corretto funzionamento del sangue umano, come mezzo di trasporto dell'ossigeno, deve rimanere prossimo a 7,4 nonostante il metabolismo cellulare riversi nel sangue stesso numerosi cataboliti in grado di modificarne il pH. In ogni individuo vi è una differenza di appena 0,02 unità di pH tra sangue venoso e sangue arterioso nella grande circolazione. Il sangue è in grado di "tamponare" gli apporti di sostanze diverse che tenderebbero a modificare il pH. Le soluzioni che contengono sostanze in grado di attenuare gli effetti sul pH determinati dalla presenza di altre con reazione acida o basica, vengono dette **soluzioni tampone**.

Nelle acque continentali la  $\text{CO}_2$  è presente perché in esse si scioglie dall'atmosfera, vi giunge portata dalla pioggia e dal dilavamento del terreno, soprattutto quando ricco di sostanze organiche e di organismi; una parte importante di anidride carbonica deriva dai processi metabolici degli organismi acquatici. Una piccola quantità della  $\text{CO}_2$  disciolta reagisce con l'acqua dando acido carbonico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), favorendo così una diminuzione del pH. Nei suoli ricchi di sostanza organica ed in conseguenza dei processi metabolici degli organismi detritivi, l'acqua viene arricchita di  $\text{CO}_2$ , e quindi si acidifica riuscendo così sciogliere più efficacemente il carbonato di calcio che costituisce le porzioni calcaree del sottosuolo, cioè della roccia madre su cui è appoggiato il suolo nelle aree carsiche (formazione di grotte). In questo modo alle acque dei torrenti, dei fiumi e dei laghi giungono acque più ricche di carbonati e bicarbonati. Le acque continentali sono più ricche di anidride carbonica se, come si verifica nei climi più umidi, sono coperti da una ricca vegetazione con suoli profondi e produttivi.

Se si aggiunge acido ad una soluzione, si determina una diminuzione del pH proporzionale alla quantità di acido introdotta. Anche in natura si verificano "aggiunte" di acido negli ambienti acquatici a causa di inquinamenti (per es. piogge acide). L'aggiunta di acido in un ecosistema acquatico produce variazioni del pH in parte attenuate. Infatti se l'acido tende ad abbassare il pH, ciò rappresenta una sorta di "tentativo" di spostare l'equilibrio verso una situazione di acidità. Ma ciò comporta la soluzione dei carbonati eventualmente presenti (generalmente poco solubili in acqua neutra) che esercitano un effetto opposto all'acido. È come se l'acido aggiunto venisse consumato per trasformare i carbonati modificando così il pH di molto poco. Per questo motivo i carbonati nelle acque continentali esercitano un effetto tampone, finché sono presenti; una volta consumati, se le immissioni di acido continuano, le acque si acidificano velocemente e il pH può abbassarsi a valori inferiori all'intervallo 6,0 - 8,5 entro il quale possono svilupparsi le forme viventi. Inoltre l'acidificazione delle acque favorisce la soluzione di sostanze insolubili con valori di pH vicini alla neutralità; alcune di queste sono sali di metalli nocivi per gli organismi.

## 6 - ZUCCHERI

“**Glicidi**” è il termine scientifico per indicare gli “**zuccheri**”. Essi sono costituiti da tre elementi: carbonio (C), idrogeno (H) e ossigeno (O). La formula è  $\text{CH}_2\text{O}$ , sostanze costituite da un ugual numero di atomi di carbonio e di ossigeno e da un numero doppio di atomi di idrogeno. Tale formula è identica a quella dell’acqua con l’aggiunta del simbolo del carbonio, come se si trattasse di “*carbonio bagnato*”; in effetti tali sostanze vengono anche dette “**carboidrati**”. Gli zuccheri ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) funzionano prevalentemente come “carburanti”, cioè forniscono energia (E) se vengono “bruciati”. Nel caso venga utilizzato, come “comburente”, l’ossigeno ( $\text{O}_2$ ), la reazione è la seguente:



Possiamo paragonare gli zuccheri a “pacchettini” di energia. L’ossigeno interviene a distruggerne l’involucro, permettendo all’energia di liberarsi. Le sostanze di partenza ( $\text{CH}_2\text{O}$  ed  $\text{O}_2$ ) vengono dette “**reagenti**”, quelle che si ottengono dal processo (*reazione*) di combustione vengono dette “**prodotti**”. Il reagente zucchero è una sostanza organica relativamente complessa, costituita da molecole abbastanza grandi, con numerosi atomi. I prodotti sono sostanze inorganiche semplici, costituite da piccole molecole.

L’esempio di reazione che abbiamo appena visto è di tipo esotermico (esoergonico), cioè libera energia. Possiamo utilizzare altre espressioni per descrivere tale processo. Gli zuccheri sono sostanze ricche di energia che viene liberata mediante la loro demolizione (combustione). Il “**catabolismo**” è un termine per indicare i processi di trasformazione chimica che comportano la demolizione di una sostanza complessa in altre più semplici (**cataboliti**) e con liberazione di energia; la combustione di una sostanza organica è il più classico degli esempi.

**La combustione degli zuccheri, nella maggior parte dei viventi, costituisce il modo con il quale essi ottengono energia per i processi vitali** (“*funzione energetica*” degli zuccheri). Un esempio è la combustione di un pezzo di carta. In fondo si tratta di cellulosa (un tipo di zucchero) che viene demolita con produzione di cataboliti come l’acqua (che non vediamo in quanto si libera come vapore), l’anidride carbonica (che non vediamo in quanto gas incolore), poco fumo (piccolissimi e leggeri frammenti che si alzano nell’aria) e pochissima cenere; il fuoco è la dimostrazione dell’energia che si libera. Il processo di combustione degli zuccheri che avviene nei viventi è praticamente la stessa cosa, ma molto più controllato, più lento, senza lo sviluppo di “fuoco” (altrimenti gli organismi brucerebbero).

Nelle cellule la demolizione degli zuccheri, non avviene in un unico processo, in modo “violento”, con liberazione quasi istantanea di energia sotto forma di fuoco, ma attraverso diverse tappe, ciascuna sotto il controllo di determinate sostanze, dette **enzimi**. Come vedremo, gli enzimi sono regolatori che innescano e controllano tutte le numerose trasformazioni chimiche che avvengono nei viventi. Un’altra sostanza combustibile è il metano ( $\text{CH}_4$ ) o gas di città. Esso brucia nel seguente modo:



È importante il conteggio del numero di atomi che compaiono tra i reagenti e tra i prodotti; tra i reagenti si contano un atomo di carbonio e quattro di idrogeno nella formula del metano e complessivamente quattro atomi di ossigeno; tra i prodotti ancora un solo atomo di carbonio (nell’anidride carbonica), quattro di idrogeno nell’acqua e quattro di ossigeno (di cui due nella  $\text{CO}_2$  ed altri due nell’ $\text{H}_2\text{O}$ ). Non si è aggiunta nuova materia e neppure è sparita. Si tratta di una trasformazione, dove gli stessi atomi (per qualità e per numero) prima del processo costituiscono determinate sostanze e dopo ne costituiscono altre e soprattutto se i reagenti contengono carbonio, idrogeno e ossigeno, è evidente che i prodotti non possono essere costituiti da atomi diversi.

Bruciando il metano si ottengono prodotti che possono essere costituiti da quei tre tipi di atomi e quindi soltanto  $\text{CO}_2$  ed  $\text{H}_2\text{O}$ , sostanze non nocive. Per tale motivo il metano viene considerato un “carburante pulito”; esso permette di ottenere energia, mediante combustione, senza inquinare (a parte la produzione di  $\text{CO}_2$ , noto gas “serra”). Ma se il combustibile fosse una sostanza organica costituita anche da altri elementi, gli stessi dovremmo trovare fra i prodotti, quindi non soltanto  $\text{CO}_2$  ed  $\text{H}_2\text{O}$ , ma altre sostanze, che potrebbero risultare nocive. Avendo gli zuccheri formula  $\text{CH}_2\text{O}$ , la loro combustione mediante ossigeno ( $\text{O}_2$ ) comporta la produzione delle stesse sostanze che si ottengono con la combustione del metano. Si deduce che gli zuccheri possono essere paragonati ad una sorta di “*carburante pulito*”.



L'energia utile ai processi vitali è un argomento importante. Pertanto occorre conoscere l'unità di misura di questa grandezza. Essa è la **caloria (cal)**: *la quantità di energia necessaria per aumentare di un grado centigrado la temperatura di una massa d'acqua pari ad un grammo* (grosso modo la quantità che può stare in un cucchiaino da caffè). Per capire meglio proviamo con qualche esercizio.

Quanta energia (**Q**) è necessaria per aumentare la temperatura da 10 °C a 15 °C ( $\Delta T = 15 - 10 = 5$  °C) di una massa d'acqua pari a mezzo litro (**m** = 500 g):  $Q = \Delta T \cdot m = 5 \cdot 500 = 2.500$  cal.

Quanta energia è necessaria per portare ad ebollizione 2 litri d'acqua (**m** = 2.000 g), cioè per raggiungere la temperatura di 100 °C a partire da un valore iniziale di 20 °C ( $\Delta T = 100 - 20 = 80$  °C):  $Q = \Delta T \cdot m = 80 \cdot 2.000 = 160.000$  cal.

Osservando i numeri si capisce che la caloria è una unità di misura piuttosto piccola. Conviene allora utilizzare un multiplo e precisamente la **chilocaloria: kcal = 1.000 cal**. Talvolta, anziché utilizzare la lettera "k" (che significa 1.000) davanti all'unità "cal", si usa scrivere la lettera "C" maiuscola; quindi chilocaloria si può scrivere anche "**Cal**", ma con rischio di generare confusione.

Merita osservare che l'unità di misura "caloria" è destinata ad essere soppiantata dall'unità internazionale "**joule**" (**j**), che è ancora più piccola; in particolare vale l'equivalenza  $1 \text{ cal} = 4,182 \text{ j}$ , oppure  $1 \text{ kcal} = 4.182 \text{ j}$ .

La pianta della patata possiede un fusto sotterraneo, detto "tubero", dal quale emergono le parti verdi sul suolo per utilizzare la luce utile al processo di fotosintesi. Nella stagione calda la pianta cresce e accumula sostanze nel tubero che aumenta così di volume. Durante l'inverno la pianta perde le foglie, ma rimane la patata, dalla quale, nella primavera successiva, spuntano nuovi germogli che si allungano perforando il terreno per emergere in superficie e per diventare nuove piante; queste, nei primi giorni, sono alimentate dalle sostanze accumulate nel tubero l'estate precedente, almeno fino a quando le parti verdi non "imparano" ad effettuare efficacemente il processo di fotosintesi. La patata è quindi un "organo di riserva", ricco di sostanze nutritive, fra le quali, la più abbondante, è uno zucchero: l'**amido**.

Il seme è una pianta in miniatura. Nella maggior parte dei casi è costituita da abbozzi di radici e di fusto (appena visibili) e da una o due foglioline (cotiledoni) che servono come organi di riserva, occupanti quasi tutto il volume del seme. Quando questo si trova nelle condizioni adatte (caldo e umidità) avviene la germinazione: la piantina sviluppa il suo apparato radicale affondandolo nel terreno, fa crescere in altezza il fusto che produce le prime foglie. Ma affinché tutto ciò sia possibile occorrono materia ed energia, almeno fino a quando la piantina non sia abbastanza cresciuta da procurarsele da sola. Nei primi giorni di vita la materia è fornita dai cotiledoni e si tratta prevalentemente di uno zucchero: l'**amido**.

Un esempio evidente è rappresentato dalla castagna; essa è un seme con cotiledoni così sviluppati da risultare una fonte alimentare di zucchero (amido) piuttosto importante. Anche i semi del grano e del mais sono piccoli depositi di zucchero (amido); giocando sui grandi numeri si ottengono notevoli quantità di farine (per la pasta, il pane, la pizza, i dolci,...) che costituiscono la principale fonte di carboidrati, a cui bisogna aggiungere il riso che, in alcune zone del pianeta, fornisce il maggior contributo di zuccheri per l'alimentazione.

**Quasi tutta l'energia degli zuccheri costituenti la nostra alimentazione deriva dall'amido, la riserva energetica fondamentale dei vegetali.**

L'amido non è l'unico carboidrato; ne esistono diversi tipi e per classificarli occorre conoscere un po' della terminologia utilizzata dai chimici. Lo zucchero base e più abbondante è il **glucosio**. Abbiamo studiato tale sostanza nel secondo capitolo. Si tratta di una molecola costituita da 24 atomi, che ha formula  $C_6H_{12}O_6$ , ma che conserva il rapporto  $CH_2O$  tipico dei carboidrati. Inoltre cinque atomi di carbonio ed uno di ossigeno formano un anello (o meglio una sorta di esagono) ai vertici dei quali sono agganciati uno o più atomi dei rimanenti. Tale zucchero è un *monomero*, perché costituito da una sola molecola come quella appena descritta. Altri zuccheri sono pure monomeri con la stessa formula (esattamente con gli stessi atomi), ma disposti nello spazio della molecola con alcune piccole differenze, sufficienti per conferire caratteristiche ben distinguibili dal glucosio. Altri monomeri inoltre sono costituiti da cinque atomi di carbonio anziché sei; pertanto la loro formula generale diventa  $C_5H_{10}O_5$ , comunque con lo stesso rapporto numerico fra i diversi tipi di atomi (un carbonio sta a due idrogeni e sta ad un ossigeno).

A questo punto la classificazione è semplice, in quanto si distinguono i **monosaccaridi** (costituiti da un monomero), i **disaccaridi** (costituiti da due monomeri fra loro agganciati) e **polisaccaridi** (costituiti da un più o meno elevato numero “n” di monomeri agganciati fra loro a formare lunghe file):

<b>monosaccaridi</b>	<b>glucosio</b>	monomero fondamentale
	<b>fruttosio</b>	abbondante nella frutta
	<b>galattosio</b>	
	<b>mannosio</b>	nelle bucce delle arance
	<b>ribosio</b>	costituente degli acidi nucleici
	<b>desossiribosio</b>	costituente degli acidi nucleici
<b>disaccaridi</b>	<b>lattosio</b>	(galattosio + glucosio), zucchero del latte
	<b>saccarosio</b>	(fruttosio + glucosio), il comune zucchero da tavola
	<b>maltosio</b>	(glucosio + glucosio), per la preparazione degli sciroppi
	<b>cellobiosio</b>	(glucosio + glucosio), frammentazione della cellulosa
<b>polisaccaridi</b>	<b>amido</b>	(n glucosio), riserva energetica dei vegetali
	<b>glicogeno</b>	(n glucosio), riserva energetica degli animali
	<b>cellulosa</b>	(n glucosio), pareti delle cellule vegetali

### GLI ZUCCHERI PIÙ DIFFUSI IN NATURA

**AMIDO.** Carboidrato polisaccaride prodotto dai vegetali, nei quali costituisce la sostanza energetica di riserva. Si trova abbondante nelle patate e nei cereali. Ha struttura macromolecolare (molecole molto grandi) costituita da numerose unità di glucosio. È la principale fonte alimentare di zuccheri per l'uomo. La digestione dell'amido, nell'apparato digerente umano, comporta la frammentazione in unità più piccole grazie all'azione di enzimi detti “*amilasi*”, che spezzano i legami che legano le singole molecole di glucosio; tali legami sono tuttavia relativamente forti; essi pertanto devono essere preventivamente “indeboliti” tramite la cottura, altrimenti l'amido sarebbe poco digeribile, cioè buona parte percorrerebbe tutto l'apparato digerente senza essere assorbito. In altri termini il contributo energetico dell'amido di una patata bollita è piuttosto elevato; invece il contributo di una patata cruda è molto basso.

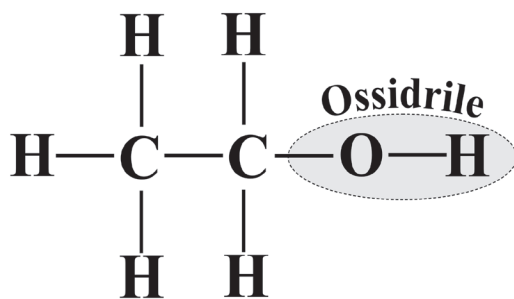
**CELLULOSA.** Polisaccaride costituito da molte molecole di glucosio unite le une alle altre, ma con legami più forti rispetto a quelli dell'amido; pertanto neppure con la cottura tale zucchero poco o nulla digeribile per l'uomo (la cosiddetta “fibra”, presente in molti cibi vegetali poco lavorati). Invece alcuni animali (erbivori) hanno apparati digerenti capaci di demolire la cellulosa in unità più piccole e quindi assorbibili. La cellulosa è lo zucchero più abbondante in natura. Esso costituisce oltre il 50 % della parete delle cellule vegetali; in tal modo tali cellule assumono una struttura “rigida”, paragonabile a microscopici e resistenti “mattoni” che consentono, per esempio, la costruzione di tronchi di alberi di notevoli dimensioni e molto sviluppati in altezza. Un prodotto naturale che contiene cellulosa quasi allo stato puro è il cotone. Come noto, la carta è costituita in gran parte da cellulosa ottenuta dagli alberi che spesso sono coltivati proprio per tale scopo.

**GLICOGENO.** Zucchero di riserva degli animali. Questi “mangiano” zuccheri nelle varie forme, spezzettandoli nelle singole molecole di glucosio; esse sono utilizzate per produrre energia, oppure vengono legate fra loro per formare il glicogeno (che potremmo definire anche come il “polisaccaride animale”) che viene quindi accumulato, come riserva, nel fegato e nei muscoli. Nel momento del bisogno il glicogeno viene spezzettato nelle singole molecole di glucosio per essere utilizzate come combustibile dalle cellule.

**CHITINA.** Polisaccaride che, al contrario dei precedenti, ha composizione chimica caratterizzata anche dalla presenza di azoto. È il principale componente dell'esoscheletro degli artropodi e dei rivestimenti cuticolari di altri invertebrati; è assente nei vertebrati. Presente nella membrana cellulare di batteri, licheni, funghi e muschi.

**ZUCCHERO DI TAVOLA.** Si tratta di un disaccaride (saccarosio = fruttosio + glucosio) che si ottiene dalla *canna da zucchero* e dalla *barbabietola da zucchero*. Con riferimento alla produzione mondiale la canna da zucchero è la materia prima più utilizzata (*zucchero di canna*). In Europa, ed in particolare in Italia, la produzione è basata sullo sfruttamento della barbabietola (*zucchero di barbabietola*).

Abbiamo già citato, nel secondo capitolo, la struttura del glucosio; è importante osservare che molte parti della molecola sono costituite da un gruppo **OH**, detto **ossidrile**. Esso è costituito dal legame tra un atomo di ossigeno ed uno di idrogeno; l'atomo di idrogeno (H) ha la possibilità di unirsi ad altri atomi mediante un solo "punto di aggancio" (un solo legame), mentre quello di ossigeno può formare due legami. Nel gruppo ossidrile l'idrogeno ha "saturato" le sue possibilità di formazione di legami, mentre l'ossigeno può ancora sfruttare un secondo legame; per tale motivo l'ossidrile viene anche rappresentato nel seguente modo: "**—OH**". D'altra parte, nell'acqua, l'ossigeno è legato ad un secondo atomo di idrogeno (capitolo 3) anzi si potrebbe affermare che l'acqua stessa è formata da due ossidrili che hanno in comune uno stesso atomo di ossigeno.

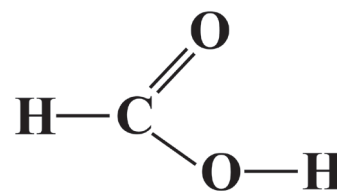


Molecola di alcool etilico; risulta evidente il gruppo ossidrilico "**—OH**".

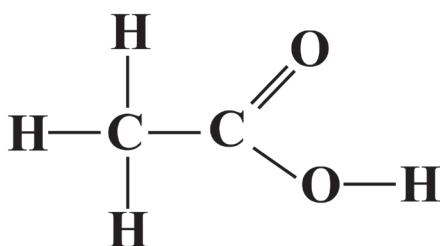
Queste considerazioni portano ad affermare un concetto importante: vi sono sostanze, come molti zuccheri, costituite da molecole con gruppi ossidrili, cioè con porzioni di esse che somigliano alla molecola d'acqua. Un esempio è costituito dall'alcool etilico (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O). Tali sostanze presentano una "affinità" con l'acqua (*idrofile*) e pertanto sono miscibili con essa, cioè formano miscugli nei quali non sono distinguibili soluto e solvente. Sono idrofili la maggior parte degli zuccheri, quali i mono e i disaccaridi (molecole piccole), molto meno i polisaccaridi (molecole molto grandi). Un classico esempio è la facilità con la quale il saccarosio (zucchero da tavola) si scioglie nell'acqua.

## 7 - GRASSI

Gli **acidi carbossilici** sono sostanze costituite da molecole più o meno grandi. La molecola più piccola è quella dell'acido formico (che richiama alla mente il morso delle formiche rosse); tale sostanza ha formula  $\text{CH}_2\text{O}_2$ . L'atomo di carbonio è munito dei soliti quattro punti di aggancio (possibilità di formazione di quattro legami), l'ossigeno ne ha due e l'idrogeno uno solo; uno dei due ossigeni è vincolato al carbonio con un doppio legame; l'altro ossigeno con un solo legame; quindi è disponibile ancora uno, utilizzato da uno dei due idrogeni. Ciò che è importante è la presenza del gruppo “-OH” definito, nel precedente capitolo, gruppo “*ossidrilico*”; esso rende la molecola dell'acido formico affine a quella dell'acqua e quindi tale sostanza è idrosolubile. L'acido formico si scioglie bene in acqua e forma una soluzione particolare. Nel capitolo 5 avevamo fornito la definizione del pH di una soluzione in funzione della concentrazione degli ioni idrogeno  $[\text{H}^+]$  in acqua. Un buon numero delle molecole di acido formico presenti nella soluzione acquosa si comportano nel seguente modo:



Per mettere in evidenza la particolare struttura della molecola dell'acido formico, i chimici usano descriverla con la formula **HCOOH**.



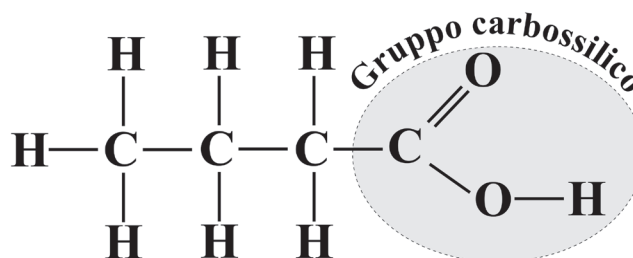
Per mettere in evidenza la struttura della molecola dell'acido acetico, i chimici usano descriverla con la formula **CH<sub>3</sub>OOH**.

In altri termini una parte delle molecole si dissocia in anioni relativamente complessi (ioni negativi  $\text{HCOO}^-$ ) e cationi costituiti dall'idrogeno (ioni positivi  $\text{H}^+$ ); questi ultimi vanno ad aumentare la concentrazione  $[\text{H}^+]$  della soluzione e quindi il valore del pH diminuisce. Ciò significa che l'acido formico ha una reazione acida.

Un altro acido carbossilico è quello acetico; il comune aceto che, come è ben noto, si scioglie bene in acqua e fornisce una reazione tipicamente acida. La molecola è più grande (infatti è costituita da due atomi di carbonio). Ciò che preme mettere in evidenza è la presenza del cosiddetto **gruppo carbossilico** “**COOH**”, che caratterizza una estremità delle molecole di tutti gli acidi carbossilici. Un ulteriore esempio è dato dall'acido

butirrico, responsabile dell'odore tipico del burro rancido.

L'acido formico ha una molecola con un atomo di idrogeno (H) legato a quello di carbonio costituente il gruppo carbossilico. L'acido acetico ha una molecola con un gruppo  $\text{CH}_3$  legato a quello di carbonio costituente il gruppo carbossilico. La molecola dell'acido butirrico è più complessa; ad una estremità è presente il solito gruppo carbossilico (COOH); l'estremità opposta è caratterizzata dal gruppo  $\text{CH}_3$  (detto gruppo *metilico*, perché simile alla molecola del metano  $\text{CH}_4$  con un atomo di idrogeno in meno); in mezzo sono presenti due gruppi  $\text{CH}_2$ . Per mettere in evidenza tali caratteristiche i chimici scrivono la formula di tale sostanza nel seguente modo: **CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>COOH**.

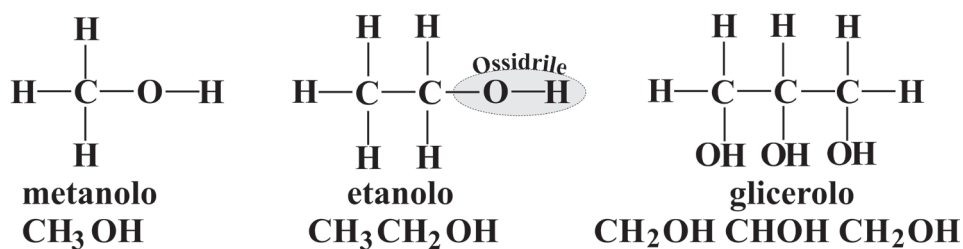


Per mettere in evidenza la struttura della molecola dell'acido butirrico, i chimici usano descriverla con la formula **CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>COOH**. Nella figura è evidenziato il **gruppo carbossilico** “**COOH**”.

Quelle descritte sono molecole piccole, nelle quali le caratteristiche del gruppo carbossilico (solubilità in acqua e acidità) risultano prevalenti. Vi sono altri acidi carbossilici costituiti da molecole più grandi. L'acido stearico ha formula **CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>16</sub>COOH**. La molecola è tipicamente quella di un acido carbossilico, con le estremità identiche a quella dell'acido butirrico, ma con una lunga catena di 16 atomi di carbonio (altrettanti gruppi  $\text{CH}_2$ ) fra le estremità  $\text{CH}_3$  e  $\text{COOH}$ . Altri esempi sono l'acido oleico, l'acido benzoico, ecc.... Molti acidi carbossilici sono costituiti da molecole ancora più complesse. Ciò che preme sottolineare è il fatto seguente: in generale gli acidi carbossilici costituiti da molecole grandi, sono poco solubili in acqua e danno una reazione meno acida.

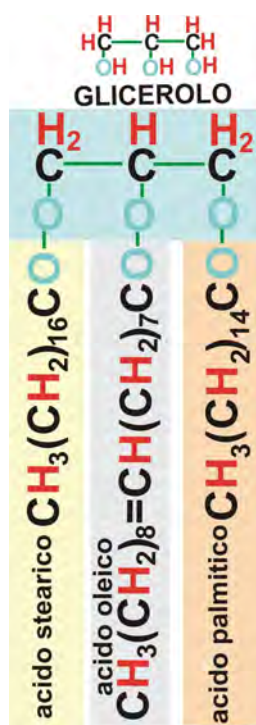


Gli **alcooli** sono sostanze organiche le cui molecole sono caratterizzate dalla presenza del gruppo ossidrilico “-OH”. Le molecole possono essere più o meno complesse e più o meno grandi; ciò che importa è la presenza di uno o più gruppi ossidrilici. Nella figura sottostante sono rappresentate le molecole di tre alcoli; l'alcool metilico (anche detto metanolo, quello con molecola più semplice, talora presente nelle bevande

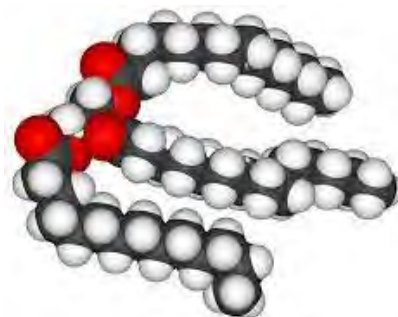


alcoliche e capace di produrre seri danni all'organismo), l'alcool etilico (anche detto etanolo, quello più noto e diffuso) ed il **glicerolo** (che più ci interessa per quanto illustrato più avanti).

La presenza del gruppo ossidrilico permette di classificare gli alcoli come sostanze idrosolubili. Il glicerolo è caratterizzato dalla presenza di ben tre gruppi ossidrilici, è un alcool molto solubile in acqua ed è molto importante, in quanto può legarsi agli acidi carbossilici con modalità che non descriveremo nei dettagli. Ci deve bastare il sapere che sono i gruppi ossidrilici ( $\text{OH}^-$ ) ed i gruppi carbossilici ( $\text{COOH}^-$ ) i responsabili di questa unione di più molecole per formarne di molto più grandi.



La molecola di glicerolo è formata da 14 atomi. L'acido stearico ha una molecola formata da 56 atomi; altri acidi carbossilici hanno molecole paragonabili; l'acido oleico, che ha formula  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ , ha una molecola costituita da 57 atomi; l'acido palmitico, che ha formula  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ , ha una molecola più piccola, con 50 atomi. Queste quattro possono unirsi per formarne una sola molto più grande, costituita da oltre 170 atomi. Sappiamo che gli atomi sono molto piccoli, a tal punto che un insieme formato anche da un numero molto elevato costituisce un'entità sempre microscopica. La molecola risultante dall'unione di una di glicerolo e da quelle dei tre acidi carbossilici succitati è poco più grande di  $10^{-7}$  cm, oltre 10 volte più grande di un singolo atomo di carbonio, ma circa 100.000 volte più piccola di un millimetro.



Si conoscono numerosi acidi carbossilici, con catene di gruppi  $\text{CH}_2$  più o meno lunghe. In ogni caso **l'unione delle molecole di tre acidi carbossilici con una di glicerolo costituisce un grasso (lipide)**. Questi lipidi vengono anche detti **trigliceridi**. I grassi hanno una funzione prevalentemente energetica. Bruciando un grammo di trigliceridi si ottiene energia per un valore di 9,3 kcal (38,9 kJoule), più del doppio di quella che si ottiene bruciando 1 grammo di zuccheri (3,8 kcal = 15,9 kJoule).

**Esercizio.** Quanti grammi di zuccheri (**mz**) o di grassi (**mg**) occorre bruciare per portare ad ebollizione un litro d'acqua ( $m = 1.000$  g), a partire da una temperatura di  $20^\circ\text{C}$  ( $\Delta T = 100 - 20 = 80^\circ\text{C}$ )? La quantità di calore “Q” necessaria è pari a  $Q = \Delta T \cdot m = 80 \cdot 1.000 = 80.000$  cal. = 80 kcal. Per cui  $mz = 80:3,8 = 22,2$  g. Sembrerebbe che per far bollire un litro d'acqua in un pentolino sia sufficiente scaldarlo con un fuoco ottenuto bruciando due cucchiaini di zucchero. Ciò è vero in teoria, cioè alla condizione che tutta l'energia liberata dalla combustione venga assorbita dall'acqua senza dispersioni. In realtà occorre bruciarne ben di più, in quanto buona parte del calore finisce con lo scaldare anche il metallo del pentolino e soprattutto l'aria che sta intorno. In linea di massima vale il principio per cui l'energia chimica contenuta nelle sostanze organiche, quando viene liberata in un processo di combustione, non viene tutta utilizzata per gli scopi previsti, ma la maggior parte viene “dispersa”. Il calcolo sopra descritto per gli zuccheri può essere effettuato anche per i grassi:  $mz = 80:9,3 = 8,6$  g, quindi un valore pari a 2,5 volte inferiore a quello ottenuto precedentemente a conferma del maggiore valore energetico dei lipidi rispetto ai glucidi.

I lipidi sono sostanze comuni nel mondo vivente. Gli **oli** sono “grassi liquidi” presenti prevalentemente nelle piante (per esempio l'olio di oliva e tutti gli oli ottenuti dai semi quali colza, mais, noci,...). I grassi

animali sono in genere (con un linguaggio poco ortodosso) “solidi” (meglio dire “hanno una più alta temperatura di fusione”). Esempi sono il lardo ed il burro. In generale le carni, in misura più o meno rilevante (meno nel pesce e molto nella carne di maiale) contengono grassi. Essi sono presenti, in quantità significativa, anche nel latte e quindi nei formaggi.

In generale i grassi sono utilizzati come riserva energetica negli organismi animali. Essi sono accumulati durante i periodi nei quali le disponibilità alimentari sono abbondanti (per es, stagione calda). Quando è necessario consumare energia per compiere i processi vitali, ma non vi è sufficiente cibo a disposizione, vengono intaccate le riserve di grassi accumulate precedentemente. Alcuni animali che devono superare le critiche condizioni invernali dominate da neve e gelo, alla fine della stagione invernale, si ritrovano con una riduzione di quasi il 50 % del loro peso; quasi tutto grasso accumulato nel periodo estivo. Alcuni piccoli animali, caratterizzati da un elevato consumo energetico giornaliero, subiscono forti variazioni di peso (anche fino al 20 ÷ 30 %) nell’arco della giornata; per esempio i piccoli uccelli o i micromammiferi hanno un metabolismo basale così elevato (consumo energetico minimo indispensabile per il mantenimento in vita, senza compiere attività di qualunque tipo) che, durante il riposo notturno, perdono un quinto ed anche un quarto del loro peso.

Le donne hanno maggiori capacità di accumulare grassi rispetto agli uomini. Questo aspetto è oggi poco apprezzato, ma indispensabile migliaia di anni fa, quando gli uomini erano fortemente condizionati dalla Natura e quindi dalla alternanza di periodi di abbondanza di cibo e di carestia. La capacità di accumulare grassi di riserva, era indispensabile per la sopravvivenza, non solo della donna adulta ma, ciò che più interessa ai fini della sopravvivenza della specie, del feto e del neonato. Oggi, con le diete e con le attività sportive, si cerca di ridurre al minimo gli effetti della capacità di accumulare grassi che la Natura ci ha fornito nel corso dei tempi geologici dell’evoluzione.

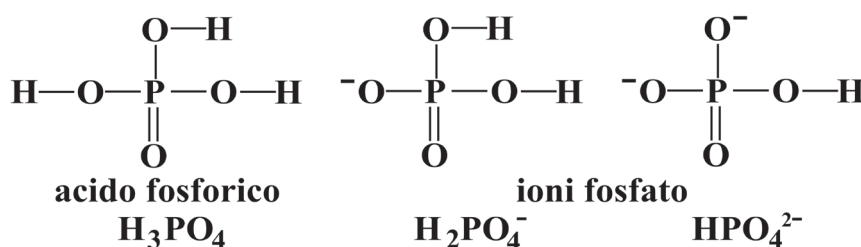
Non sempre i grassi vengono accumulati come riserva energetica. Un tipico esempio è dato dalle masse di lipidi che circondano i reni dei mammiferi per fini protettivi; addirittura neppure soffrendo la fame si ha una riduzione significativa di tali accumuli. Un altro esempio è lo strato di grasso sottocutaneo dei mammiferi che vivono in ambienti freddi; i casi più eclatanti sono le balene, i delfini, le foche,... ma vale la pena citare anche alcuni uccelli, fra i quali i pinguini.

I “*trigliceridi*” vengono denominati in tal modo perchè tutti e tre i siti della molecola di glicerolo adatti all’attacco di altre molecole sono impegnati da acidi carbossilici. Ma vi sono alcuni lipidi che concedono uno dei tre siti per la formazione di legami con molecole diverse.

Il fosforo (**P**) è un elemento secondario indispensabile (oligodinamico; vedi **scheda 1**), costituito da atomi con numero atomico  $Z = 15$ . L’atomo di fosforo può dare origine a 5 legami; per esempio può legarsi ad alcuni atomi di ossigeno e di idrogeno per formare le molecole dell’acido fosforico ( $H_3PO_4$ ). Si tratta di una sostanza che si scioglie facilmente in acqua liberando ioni idrogeno ( $H^+$ ) e quindi dando una reazione tipicamente acida (con diminuzione del pH; vedi capitolo 5):



Quindi si formano cationi  $H^+$  (piccoli nuclei di idrogeno positivi responsabili dell’incremento dell’acidità della soluzione acquosa) ed anioni  $H_2PO_4^-$  e  $HPO_4^{2-}$  (ioni negativi recanti una o due cariche negative), cioè



gruppi di atomi fra loro legati in una sorta di frammento di molecola che, nel linguaggio chimico, sono detti “*gruppi fosfati*”; questi sono molto reattivi e tendono a legarsi facilmente a molecole di altre sostanze, fra le quali, anche quelle del glicerolo.

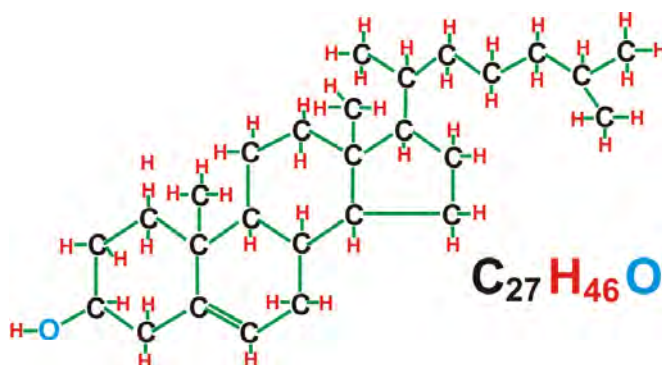
I **fosfolipidi** sono costituiti dall’unione di una molecola di glicerolo, con due di acidi carbossilici e con un gruppo fosfato (questo, a sua volta, può ancora essere legato ad una ulteriore molecola). In sintesi si tratta di una grande molecola caratterizzata da due estremità dal comportamento opposto. Una estremità è costituita dal gruppo fosfato, che è idrofilo (affine all’acqua o ai solventi polari); l’estremità opposta è costituita

(come i trigliceridi) da un gruppo  $\text{CH}_3$  che è idrofugo (affine ai solventi apolari come, per esempio, i solventi per vernici e la benzina).

I **glicolipidi** sono costituiti dall'unione di una molecola di glicerolo, con due di acidi carbossilici e con una molecola piccola di carboidrato (al posto del gruppo fosfato); anche in questo caso abbiamo una estremità idrofila (quella con lo zucchero) ed una idrofuga ( $\text{CH}_3$ ).

Nei viventi i fosfolipidi ed i glicolipidi hanno funzione prevalentemente plastica, cioè non servono tanto per la produzione di energia, ma vengono utilizzati come sostanze per la costruzione di strutture cellulari. Le **cere** sono un esempio di fosfolipidi utilizzati come rivestimento protettivo di tegumenti, del pelo, del piumaggio degli uccelli e si trova sulle foglie e sui frutti di molte piante e sull'esoscheletro di molti insetti.

Fra questo gruppo di sostanze vengono generalmente compresi anche gli steroidi; tuttavia non hanno struttura facilmente richiamabile a quella dei lipidi sopra descritti. La loro struttura molecolare è più complessa e non è il caso, in questa sede, procedere ad una descrizione dettagliata.



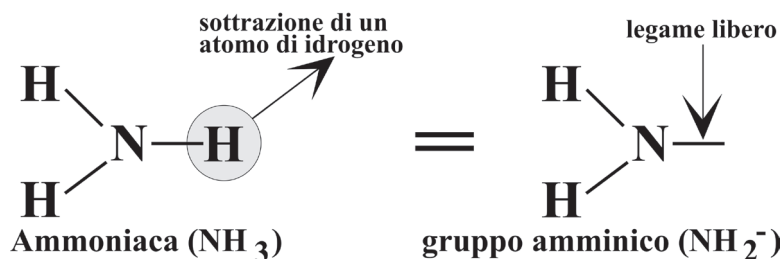
I chimici (non tutti) inseriscono gli **steroidi** tra i lipidi, tuttavia non hanno struttura facilmente richiamabile a quelle sopra descritte. La loro struttura molecolare è complessa e tra queste sostanze è compreso anche il **colestolo**. Esso è un costituente essenziale delle membrane cellulari e forma gran parte delle guaine che “foderano” le cellule del sistema nervoso. È presente in molti cibi (carne, formaggio, tuorlo d'uovo) ed è sintetizzato dal fegato a partire da acidi carbossilici. Si tratta di una molecola molto grande, costituita da 74 atomi, quindi piuttosto

“ingombrante”. Una eccessiva quantità di colesterolo nel sangue può comportare l'otturazione dei vasi sanguigni (arterosclerosi). Molti ormoni, infine, sono costituiti da steroidi.

## 8 - AMMINOACIDI E PROTEINE

L'atomo di carbonio ha la possibilità di formare 4 legami. Vi sono sostanze composte da molecole che sfruttano questa possibilità nel seguente modo:

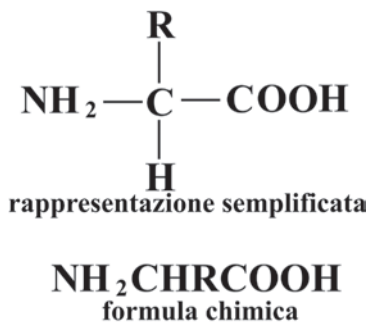
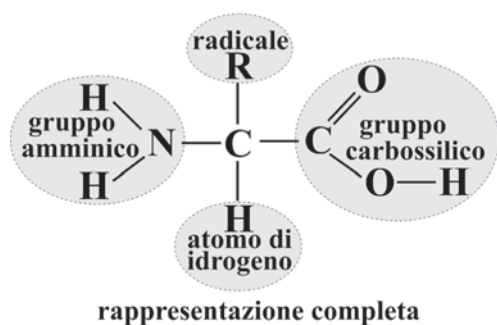
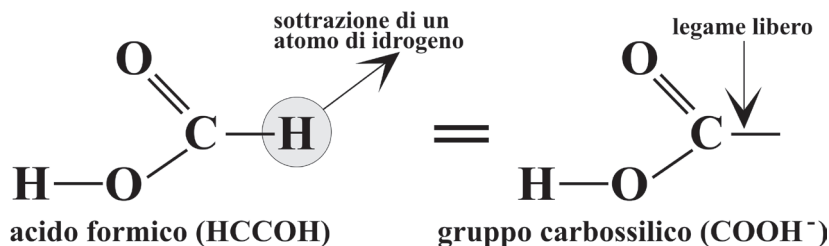
- un legame è utilizzato da un atomo di idrogeno (H);
- un secondo legame è utilizzato da un gruppo carbossilico ( $\text{COOH}^-$ );
- un terzo legame è utilizzato da un gruppo amminico ( $\text{NH}_2^-$ ), così detto perchè deriva dalla molecola di ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ) quando perde un atomo di idrogeno;



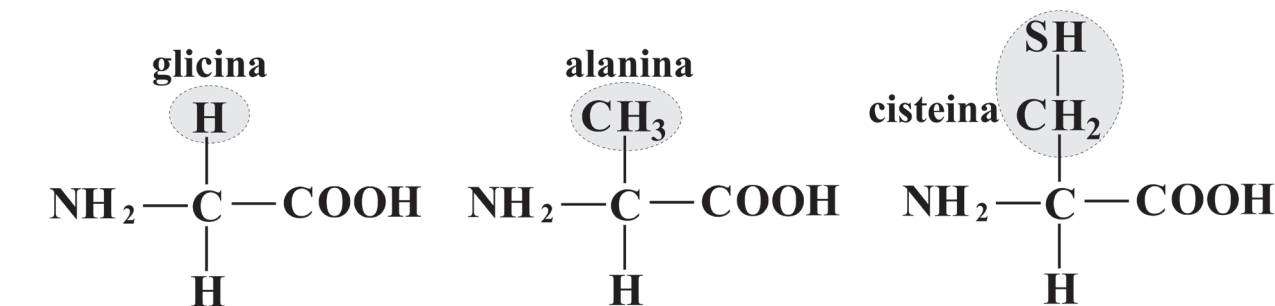
- infine il quarto è utilizzato da un gruppo di atomi (radicale) che viene indicato con il simbolo "R".

Tali molecole vengono dette **amminoacidi**, termine scomponibile nel seguente modo: "ammino" + "acidi". Delle quattro "estremità" una è costituita dal gruppo amminico ( $\text{NH}_2^-$ ), un'altra è occupata dal gruppo carbossilico ( $\text{COOH}^-$ ) che ha reazione tipicamente acida (cfr. capitolo 7).

L'estremità occupata da un atomo di idrogeno non incide sulle caratteristiche delle molecole. Invece il radicale (R), a seconda della composizione, è molto più importante. L'amminoacido più semplice è la *glicina*, il cui radicale R è costituito da un atomo di idrogeno. Nell'*ala-nina* R è costituito da un gruppo metilico  $\text{CH}_3$ . L'amminoacido *ci-steina* ha un radicale più complesso, costituito dall'insieme  $\text{CH}_2\text{SH}$ .



Quelli citati sono gli amminoacidi con radicali "R" più semplici; ve ne sono altri nei quali il gruppo "R" è costituito da un elevato numero di atomi, tra i quali prevalgono quelli di carbonio, idrogeno, ossigeno e qualche volta, azoto. Tutti presentano un atomo di carbonio legato ad altri tre gruppi costituiti



sempre dal



gruppo carbossilico ( $\text{COOH}^-$ ), da quello amminico ( $\text{NH}_2^-$ ) e da un atomo di idrogeno. Ai fini biologici si conoscono una ventina di amminoacidi; essi sono elencati nella sottostante tabella, con indicazione dell'abbreviazione e di quelli “essenziali” (in “rosso”; così detti in quanto “devono” essere presenti nell'alimentazione per un normale sviluppo).

alanina	ala	valina	val	leucina	leu
isoleucina	ile	prolina	pro	fenilalanina	phe
triptofano	trp	metionina	met	glicina	gly
serina	ser	treonina	thr	cisteina	cys
tirosina	tyr	asparagina	asn	glutammina	gln
acido aspartico	asp	acido glutammico	glu	istidina	his
lisina	lys	arginina	arg		

Gli amminoacidi si legano tra loro per formare catene più o meno lunghe e quindi molecole molto più grandi (un po' come accade con gli zuccheri più complessi, catene di diverse molecole di monosaccaridi (cfr. capitolo 6). I chimici sanno bene come avviene l'aggancio fra i singoli amminoacidi ma, per i nostri scopi, è sufficiente immaginare le singole molecole degli amminoacidi come anelli tra loro agganciati per formare successioni simili a catene. Si tratta di catene particolari, nelle quali gli anelli possono essere immaginati con forme e dimensioni diverse, ma l'importante è capire bene che si tratta di “successioni di amminoacidi”.



L'alfabeto italiano è formato da una ventina di lettere (vocali e consonanti). Le parole sono successioni di lettere (o catene di lettere). Si possono costituire insiemi di lettere per formare un numero molto grande di parole diverse, ognuna con un preciso significato. Analogamente si possono immaginare insiemi di amminoacidi (catene più o meno lunghe) formanti “parole chimiche” dette **proteine**. È in effetti è proprio quanto si verifica in Natura ed è importante sottolineare che *il numero di proteine diverse che si possono “scrivere” con gli amminoacidi è davvero enorme*.

le proteine hanno un preciso significato in Natura, quale? Abbiamo già sottolineato le funzioni principali di zuccheri e grassi; si tratta di sostanze che hanno compito prevalentemente energetico; vengono cioè utilizzate in processi che permettono la liberazione dell'energia chimica in esse contenuta. L'energia che così si ottiene viene utilizzata dagli organismi per tutte le loro attività. Naturalmente, come già anticipato e come vedremo, hanno altre funzioni, ma soprattutto costituiscono il carburante essenziale, di uso più immediato (zuccheri) e come riserva energetica (grassi), per far funzionare i sistemi viventi.

Consideriamo la camera di un ragazzo, perfettamente in ordine. Con il passare delle ore e dei giorni, in modo del tutto spontaneo (senza farlo apposta) l'ambiente diventa sempre più disordinato (libri che si “spostano” dagli scaffali al piano del tavolo e sulle sedie, indumenti sparsi sul letto e sul pavimento, oggetti vari che aumentano di numero intorno alla tastiera del computer, CD abbandonati in vari punti insieme a materiali scolastici fuori posto,...). Il ragazzo non deve impegnarsi per creare disordine; semmai è vero il contrario, cioè occorre lavorare per mantenere ordinata la camera. Il mantenimento dell'ordine è necessario per garantire la funzionalità d'uso dell'ambiente, ma ciò costa impegno, lavoro; occorre investire dell'energia per mantenere l'ordine, per contrastare la tendenza naturale al disordine. Un vivente è un sistema complesso che, fatte le dovute distinzioni, può essere paragonato alla camera. Perché tale sistema mantenga tutta la sua efficienza (cioè affinché sopravviva) occorre il massimo ordine all'interno di esso; nel caso invece tenda a prevalere il disordine, si verifica l'autodistruzione del sistema: la morte. Affinché sia mantenuto l'ordine (condizione essenziale per la funzionalità) occorre spendere energia, ottenibile dal processo di demolizione (combustione) del “carburante” costituito dagli zuccheri e dai grassi.

Un organismo è costituito da diversi materiali (sostanze) che, come in una macchina, sono utili per diverse funzioni. In una automobile, per esempio, vi sono materiali adatti per fornire energia utilizzata per il movimento (benzina); alcune sostanze, come la gomma, sono utilizzate per i pneumatici; i metalli costituiscono le parti principali del motore e della carrozzeria e così via... Alcune componenti danno forma all'auto così come la vediamo, altre servono per farla funzionare. Ciò vale anche per gli organismi, che sono macchine molto più complesse. **Le proteine hanno funzioni plastica e dinamica**, cioè contribuiscono, in modo importante, sia a dare forma, sia al corretto funzionamento di gran parte dei meccanismi che consentono la vita.

Occorre riflettere su un'altra questione. La Terra è popolata da un numero enorme (milioni) di specie diverse, ciascuna con proprie caratteristiche di forma, dimensioni e funzionamento. Un gatto è un organismo costituito da diversi materiali fra i quali un elevato numero di proteine; un altro gatto è costituito quasi dalle stesse proteine (altrimenti non sarebbe un gatto); piccole differenze giustificano il fatto che i due animali sono individui differenti e quindi riconoscibili l'uno dall'altro. Le proteine di un leone (diverso dal gatto, ma pur sempre un felino) sono molto simili agli insiemi di proteine costituenti altri individui della stessa specie e costituenti una popolazione di leoni. Molte proteine sono comuni nei gatti e nei leoni (entrambi felini), mentre molte altre sono differenti in quanto si tratta di specie diverse. Cresce il numero di proteine diverse, man mano che si considerano specie animali sistematicamente più lontane: decisamente poche sono le proteine comuni di una formica e di un gatto.

Mentre lo zucchero glucosio (preso come esempio) è rinvenibile in tutti (o quasi) gli organismi, dai quali viene utilizzato come carburante per ottenere energia necessaria a mantenere attivi i processi vitali, per quanto attiene le proteine succede il contrario. Potrebbe valere il seguente slogan: **dimmi di che proteine sei fatto e ti dirò chi sei!** D'altra parte abbiamo già sottolineato che sono innumerevoli le possibilità di combinare gli amminoacidi per formare proteine diverse, così come è possibile combinare le lettere dell'alfabeto per comporre un numero enorme di parole e per descrivere le innumerevoli forme viventi che popolano la Terra è necessario disporre di un grande numero di possibilità di differenti composizione di proteine.

In un microrganismo (batterio) sono presenti circa 500 tipi di proteine diverse. Nella specie umana ve ne sono almeno 5 milioni, di cui oltre il 90 % identiche a quelle dell'orango (scimmia antropomorfa).

Un'altra caratteristica delle proteine è la loro **struttura**. Abbiamo capito che, nella loro forma sostanziale, si tratta di catene di amminoacidi. Nel caso di semplici successioni lineari (un "treno" di amminoacidi) si parla di **struttura primaria**; un esempio è l'*insulina* (ormone). Una semplice catena che si deforma assumendo una forma ad elica o a foglietto ripiegato costituisce una prima complicazione e si parla di **struttura secondaria**; un esempio è costituito dalla *cheratina* dei capelli. Se una successione di amminoacidi, organizzata come struttura primaria o secondaria, si riavvolge su se stessa, si piega in più parti, si raggomitola,... assume una **struttura terziaria** (es. enzimi ed anticorpi). Più catene proteiche con strutture diverse fra quelle succitate possono unirsi a costituire il massimo livello di complessità: **struttura quaternaria**; un esempio è costituito dall'*emoglobina*, formata da due doppie catene.

La struttura è una caratteristica essenziale delle proteine. La loro funzione infatti non dipende soltanto dal tipo di successione di amminoacidi costituente la struttura primaria, ma è fortemente condizionata anche dalla "forma", cioè dal modo con il quale le semplici catene si dispongono nello spazio o si uniscono tra loro.

La malattia genetica *anemia falciforme* è provocata dalla sostituzione di un amminoacido con un altro in un determinato punto di una delle quattro catene che formano l'emoglobina. Quel punto è uno dei siti responsabili della particolare forma globulare di tale proteina. Di conseguenza la molecola di emoglobina risulta più allungata ed i globuli rossi che la contengono assumono una forma a falce anziché sferica. I globuli rossi falciformi si ostacolano vicendevolmente formando ammassi che limitano il passaggio del sangue nei capillari.

Le proteine, oltre alla funzione plastica (danno forma e consistenza al corpo degli organismi), hanno grande importanza dinamica ed in particolare:



- *funzione catalizzatrice* (molte proteine sono *enzimi*, cioè sostanze che attivano e guidano i processi chimici che avvengono negli organismi);
- *funzione di trasporto* (alcune proteine possono essere paragonate a mezzi di trasporto di altre sostanze; il classico esempio è l'emoglobina, adibita al trasporto di ossigeno nel sangue);
- *funzione di difesa* (es. gli anticorpi del sistema immunitario);
- *funzione regolatrice* (es. gran parte degli ormoni);
- *funzione meccanica* (la contrazione delle cellule muscolari è dovuta a particolari proteine).

Gran parte delle proteine presenti nei vertebrati costituisce la *famiglia del collagene*, cioè particolari proteine composte da tre sequenze di un migliaio di amminoacidi ciascuna. Tali proteine formano, in genere, fasci a forma di “fibre” molto resistenti (es. tendini), oppure possono formare reti variamente intrecciate per costituire rivestimenti protettivi.

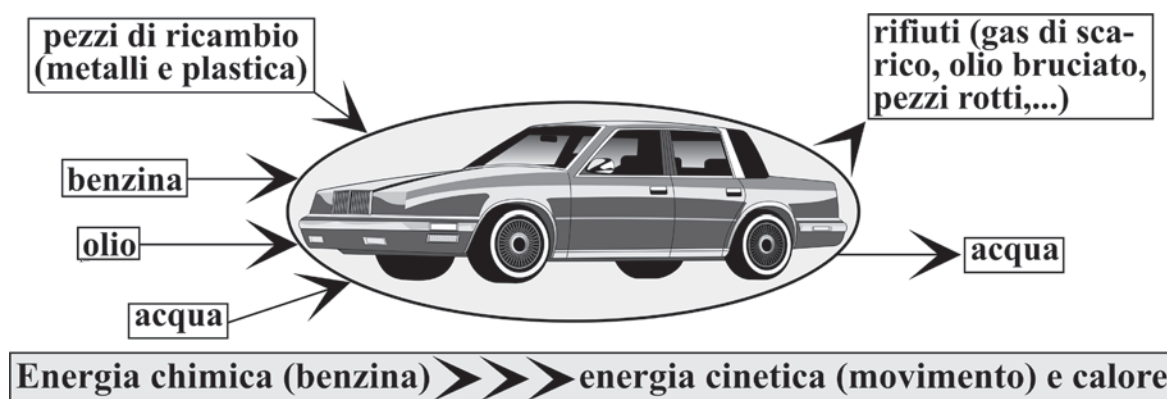
Le proteine infine possono essere trasformate in zuccheri per essere poi demoliti per ottenere energia; quindi anche le proteine hanno valore energetico, pari a 3,8 kcal per grammo.

Le proteine sono presenti in quasi tutti gli alimenti, ma sono particolarmente abbondanti in tutte le carni e nelle uova. Sono ben presenti nel latte e, in misura variabile, nei suoi derivati (yogurt e diversi tipi di formaggi). Considerando i cibi a base vegetale risultano relativamente abbondanti nei legumi.

Come abbiamo sopra illustrato la specie umana è caratterizzata da determinate proteine, ciascuna delle quali da particolari sequenze di amminoacidi. Nei processi di digestione le proteine facenti parte del cibo vengono smontate nei singoli amminoacidi, che quindi vengono assorbiti (passano dall'intestino al sangue) per essere trasportati a tutte le cellule del corpo, dove vengono utilizzati per “montare” le proteine caratteristiche dell'uomo. Ma affinché ciò avvenga è necessario disporre di tutti gli amminoacidi necessari e nelle giuste proporzioni; pertanto è importante che la composizione del cibo preveda il maggior numero di fonti di proteine; come dire che conviene, da buoni onnivori, mangiare un poco di tutto, dalle carni rosse al pesce, dal latte ai formaggi, ai legumi, ma senza eccedere.

## 9 - PROCESSI ED ENZIMI

La “vita” di una automobile è semplice; si manifesta sotto forma di movimento; è un sistema con una sola funzione essenziale: viaggiare. Ma perché ciò sia possibile sono necessari diversi processi che avvengono più o meno contemporaneamente: la benzina deve essere bruciata per liberare energia che deve essere trasformata in movimento; una gran parte dell’energia liberata produce calore (il motore si scalda ed inoltre è possibile scaldare l’ambiente interno); l’acqua serve per limitare il riscaldamento eccessivo del motore; l’olio per lubrificare i movimenti delle parti meccaniche, una parte dell’energia viene trasformata per consentire il funzionamento delle componenti elettriche ed elettroniche,... Man mano che l’automobile “funziona” (viaggia) diminuisce la benzina nel serbatoio, viene consumata acqua che si perde nell’ambiente circostante (alla quale si aggiunge quella ottenuta dalla combustione della benzina), l’olio si esaurisce e si deteriora; quindi occorre “nutrire” il sistema, introducendovi nuova benzina (funzione energetica), nuova acqua e nuovo olio (funzioni dinamiche). Contemporaneamente la carrozzeria si deteriora (arrugginisce o subisce urti), le parti meccaniche si consumano e qualche componente elettrica si rompe; quindi occorre eliminare alcune porzioni per sostituirle con nuovi pezzi (essenzialmente materiali metallici e plastici) al fine di mantenere la struttura (forma) e la meccanica di funzionamento (dinamica) del mezzo.



In sintesi l’automobile è un sistema attraversato da un flusso di materia (e di energia). Se così non si verificasse, se l’automobile non funzionasse per lo scopo per cui è stata costruita, se non “vivesse” per lo scopo di viaggiare, essa si deteriorerebbe (per mancanza di manutenzione) e con il tempo, andrebbe incontro ad un disfacimento naturale, ad una lenta demolizione che porterebbe al risultato finale di un caotico cumulo di materiali (disordine = morte). La sopravvivenza dell’auto comporta invece un impiego di energia per il mantenimento della piena efficienza (ordine = vita) e quindi del passaggio in essa di materia destinata a subire delle trasformazioni o processi fisici e chimici.

La sostituzione di un pezzo rotto è un processo che segue un altro costituito dalla rottura di quel pezzo. La carrozzeria che arrugginisce è il risultato di un processo dovuto ad una trasformazione chimica della lamiera per la presenza di ossigeno e di umidità. La benzina che brucia è un altro esempio di processo chimico; il carburante (costituito da molecole organiche complesse), grazie ad una scintilla, reagisce con il comburente (ossigeno) per trasformarsi (o per essere demolito) in molecole più piccole. Parte dell’acqua utile al raffreddamento del motore evapora e viene persa (il passaggio di stato liquido - gas è un processo fisico). Parte dell’energia chimica contenuta nella benzina, dopo la trasformazione in calore con la combustione, invece di incrementare l’energia cinetica (movimento), viene trasformata in energia elettrica per far funzionare le luci o l’autoradio.

Nel mezzo regolarmente funzionante (in movimento) avvengono quindi numerosi processi, il cui insieme costituisce il *metabolismo dell’auto*. Alcuni processi comportano la distruzione dei materiali di partenza (benzina che brucia, pezzi che si rompono, carrozzeria che arrugginisce,...): *catabolismo dell’auto*. Altri comportano la costruzione di nuovi materiali (sostituzione con un nuovo pezzo oppure l’inserimento di nuove componenti estetiche e/o funzionali): *anabolismo dell’auto*. Quindi: *metabolismo = catabolismo + anabolismo*, secondo un ragionamento che, in linea di massima, può essere applicato a quasi tutti i sistemi.

Anche un organismo è un sistema, la cui funzione è l’*esistenza in vita*. Sembrerebbe un obiettivo semplice; in realtà, rispetto all’esempio dell’automobile, è tutto molto più complicato. In primo luogo l’automobile viene mantenuta in piena efficienza grazie ad un intervento esterno: il lavoro dell’uomo. Invece l’organismo

deve fare tutto da solo. L'automobile non ha la pretesa di essere eterna; invece l'organismo ha il problema di riuscire a sopravvivere anche dopo la propria morte; come è possibile? È facile capire che un qualunque sistema (naturale o artificiale) è destinato, con il tempo, ad un più o meno lento, progressivo ed inevitabile deterioramento (invecchiamento) e ciò nonostante il continuo lavoro di manutenzione (sostituzione dei "pezzi" che si "rompono" o che si "consumano"). Prima o poi si giunge ad una situazione per cui il sistema diventa esausto e non è più possibile continuare ad "aggiustarlo", se non con un dispendio energetico troppo elevato, non più conveniente (quante volte si sente l'affermazione: "quell'auto è troppo vecchia, non conviene più ripararla in quanto la sua manutenzione è più costosa dell'acquisto di una nuova").

Consideriamo il metabolismo di una vecchia locomotiva a vapore. Rispetto ad una moderna automobile, c'è molto più metallo e meno plastica; la benzina è sostituita dal carbone; l'acqua, oltre ad avere funzione di raffreddamento, partecipa alla formazione del movimento (funzione dinamica).

Il ferro da stiro è un sistema molto più semplice, in quanto esso ha la funzione di trasformare l'energia elettrica in calore e non vi sono parti meccaniche in movimento.

Il lettore CD/DVD è invece un sistema più complesso. L'energia elettrica che lo alimenta deve essere trasformata in energia luminosa (le immagini) ed in suono (che è energia meccanica). Inoltre deve essere prodotto del movimento (lo scorrimento del disco).

Ritornando all'organismo, un modo per sopravvivere oltre la propria morte consiste, finché si è in tempo, nel produrre una copia di se stesso; in altri termini la soluzione consiste nella *riproduzione*. Per esempio un elefante, come individuo, è mortale, ma la specie elefante, considerata come un insieme di individui, è teoricamente eterna. È vero che ogni singolo individuo esiste per un periodo di tempo limitato, ma gli elefanti esistono sulla Terra da milioni di anni.

Se accettiamo il concetto per cui, essendo l'obiettivo del sistema organismo la sopravvivenza oltre la propria morte (garanzia di conservazione della specie per tempi geologici), allora bisogna ammettere la complessità di tale obiettivo e la complessità del sistema organismo che deve realizzarlo, attraverso il mantenimento di numerose funzioni. Ma la complessità significa un insieme grande di processi, fra loro coordinati e variamente interdipendenti. Il metabolismo di un organismo è qualche cosa di estremamente complicato ed i processi che lo caratterizzano devono essere magistralmente innescati, guidati e controllati, in modo da fornire il miglior risultato complessivo, senza che ciascuno possa, in qualche modo, "intralciare" gli altri. Vi sono alcune sostanze che hanno proprio tale compito; esse sono denominate **enzimi** che, strutturalmente, sono delle proteine.

Consideriamo un esempio. Ogni cellula produce anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) che costituisce un rifiuto del processo di combustione degli zuccheri (cfr. capitolo 6). Ma affinché tale sostanza possa passare all'esterno della cellula deve reagire con l'acqua (H<sub>2</sub>O) con formazione di acido carbonico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), che si scioglie bene nel sangue e può quindi essere facilmente allontanato verso i polmoni, dove, mediante un processo inverso, si ricostituisce la CO<sub>2</sub> per essere definitivamente eliminata. La reazione chimica è la seguente:



È un processo che avviene spontaneamente, con una velocità che dipende molto dal pH dell'acqua e dalla quantità di anidride carbonica, in ogni caso piuttosto lento rispetto alle necessità di una cellula che deve eliminare rapidamente i rifiuti che ingombrano il suo interno. In realtà la reazione avviene 10 milioni di volte più rapidamente, grazie all'azione di uno specifico enzima detto "anidrasi carbonica".

Abbiamo anticipato (cfr. capitolo 6) che la digestione dell'amido consiste nella demolizione nelle singole molecole di glucosio; queste tuttavia sono legate tra di loro mediante legami piuttosto forti che devono essere indeboliti mediante cottura (l'amido crudo viene molto poco assimilato dall'uomo). Quindi l'amido subisce l'azione di un enzima (amilasi) che, lungo il tubo digerente, rompe i legami indeboliti dalla cottura riuscendo così a separare le singole molecole di glucosio.

Quelli sopra citati sono due esempi. Attualmente si conoscono oltre 2.000 enzimi, ciascuno in grado di catalizzare (innescare e guidare) uno specifico processo chimico. Gli enzimi sono catalizzatori in grado di funzionare bene entro un ben determinato intervallo termico: 35 ÷ 40 °C. Con temperature più basse e soprattutto più alte gli enzimi vengono denaturati, perdono la loro efficacia, non sono più in grado di condizionare i processi chimici che avvengono negli organismi.

## 10 - VITAMINE

Le vitamine sono necessarie a tutte le cellule; sono sostanze organiche di composizione e struttura molto diverse, molto utili anche agli organismi animali, ma questi non sono in grado di costruirle; esse vengono invece sintetizzate dai vegetali. Le loro funzioni sono di tipo esclusivamente dinamico; infatti, presenti in piccolissime quantità, servono per garantire l'efficacia di numerosi processi chimici. Rifacendosi al paragone con il sistema automobile utilizzato nel precedente capitolo (9), si potrebbe sostenere che le vitamine servono agli organismi come l'olio lubrificante al motore dell'auto.

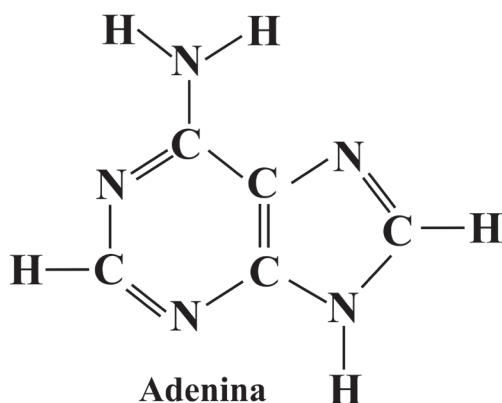
La maggior parte delle vitamine si trovano nella frutta e nella verdura e molte di esse sono "termolabili", cioè si alterano se sottoposte a riscaldamento. Una minor parte sono invece "termoresistenti". In linea di massima i cibi crudi contribuiscono maggiormente all'apporto vitaminico nella nutrizione.

Le vitamine e le loro funzioni sono assai diverse e non sempre si conoscono bene i meccanismi di regolazione dei processi vitali da parte di queste sostanze. In molti casi si conoscono le funzioni di determinate vitamine sulla base dell'analisi delle conseguenze dovute a carenza; anzi talvolta non è facilmente verificabile una stretta relazione tra le funzioni accertate e gli effetti da carenza. Lo schema seguente illustra diverse vitamine, spesso indicate con una lettera maiuscola dell'alfabeto (in qualche caso seguita da un indice numerico).

Vitamina		Presenza nei cibi	Funzioni	Effetti da carenza
<b>A</b>	<i>carotene</i>	tuorlo d'uovo, verdure, frutta, fegato, burro	formazione di pigmenti visivi, mantenimento normale struttura della pelle	cecità con poca luce, pelle secca che si squama
<b>B<sub>1</sub></b>	<i>tiamina</i>	cervello, fegato, rene, cuore, cereali integrali, carne di maiale	contribuisce alla combustione degli zuccheri per fini energetici	beri-beri, insufficienza cardiaca, nevrite
<b>B<sub>2</sub></b>	<i>riboflavina</i>	latte, uova, cereali integrali, fegato	contribuisce alla combustione degli zuccheri per fini energetici	fotofobia, ulcerazioni della pelle
<b>B<sub>3</sub></b>	<i>acido nicotinico</i>	cereali integrali, fegato, altre carni, lievito	contribuisce alla combustione degli zuccheri per fini energetici	pellagra, lesioni della pelle, disturbi digestivi
<b>B<sub>5</sub></b>	<i>acido pantotenico</i>	presente in molti tipi di cibo	fattore di crescita nei lieviti e nei batteri; meno nota la funzione nell'uomo	disturbi neuromotori, cardiovascolari e digestivi
<b>B<sub>6</sub></b>	<i>piridossina</i>	cereali integrali, fegato, rene, pesce, lievito	favorisce la sintesi di amminoacidi e grassi	dermatite, disturbi nervosi
<b>B<sub>9</sub></b>	<i>acido folico</i>	fegato, verdure	sintesi di acido nucleico, formazione di globuli rossi	mancata maturazione globuli rossi, anemia
<b>B<sub>12</sub></b>	<i>cianocobalamina</i>	fegato, rene, cervello, uova	favorisce la sintesi di amminoacidi e la maturazione dei globuli rossi	anemia, malformazione globuli rossi
<b>H</b>	<i>biotina</i>	tuorlo d'uovo e sintesi di batteri intestinali	favorisce la sintesi di amminoacidi e grassi e la fissazione di CO <sub>2</sub>	dermatite squamosa, dolori muscolari e debolezza generale
<b>C</b>	<i>acido ascorbico</i>	agrumi, pomodori, verdura, patate	favorisce la sintesi del collagene	scorbuto
<b>D</b>	<i>calciferolo</i>	olio di pesce, fegato, latte e latticini, luce solare sulla pelle	favorisce l'assorbimento di ioni calcio e la formazione di ossa e denti	rachitismo
<b>E</b>	<i>tocoferolo</i>	verdure, germe di grano, oli vegetali	aumenta la vita dei globuli rossi	fragilità dei globuli rossi
<b>K</b>	<i>naftochinone</i>	sintesi di batteri intestinali, verdure	favorisce la coagulazione del sangue	minore capacità di coagulazione del sangue

## 11 - L'ADENOSINTRIFOSFATO

L'**adenina** è una sostanza relativamente complessa, classificata dai chimici come *base azotata*; essa è formata da molecole costituite da 5 atomi di carbonio, 5 atomi di azoto e 5 di idrogeno, come illustrato nello schema sottostante. Si tratta di un disegno piuttosto complesso e difficile da ricordare; ma il tutto può essere

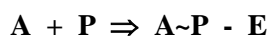


ulteriormente complicato se immaginiamo di unire tale molecola con quella dello zucchero **ribosio** (cfr. capitolo 6), costituita da 5 atomi di carbonio, 5 di ossigeno e 10 di idrogeno, cioè con formula  $(CH_2O)_5$ .

Per semplificare il tutto, utilizziamo la lettera "A" come simbolo per indicare l'unione delle due molecole adenina + ribosio. Tale unione è molto forte; in altri termini è difficile separare le due molecole una volta unite; pertanto è giusto considerare l'insieme "*adenina + ribosio*" come un'unica entità (molecola) rappresentabile con il simbolo "A" (in quanto lettera iniziale della parola "**adenina**"); essa viene denominata **adenosina**. A questo punto conviene considerare quanto descritto al capitolo dedicati ai grassi (7) ed in particolare la formazione dei **gruppi fosfato**.

Utilizziamo allora la lettera "P" come simbolo per indicare il gruppo fosfato (in quanto lettera iniziale della parola "*Phosphoreum*" che, in latino, significa "fosforo").

La molecola adenosina "adenina + ribosio" (A), a sua volta può legarsi, con uno o più gruppi fosfato (P):

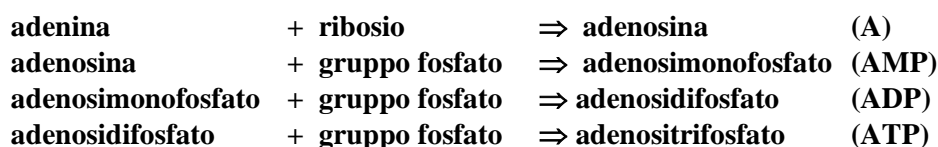


Si tratta di un processo di costruzione (quindi rientrante nell'insieme dell'*anabolismo* (cfr. capitolo 9) che ha portato ad una nuova e più grande molecola detta **AdenosinMonoPhosfato** (AMP). È una reazione endoergonica e ciò è evidente dal segno meno che precede la lettera "E" che significa energia. In altri termini è un processo che assorbe energia, oppure che occorre fornire energia affinché esso avvenga o ancora si può affermare che la molecola di AMP contiene più energia della somma di quelle contenute nelle singole molecole "A" e "P" reagenti. Il simbolo "~" sta ad indicare il legame tra i due gruppi "A" e "P" che può essere spezzato nel seguente modo:

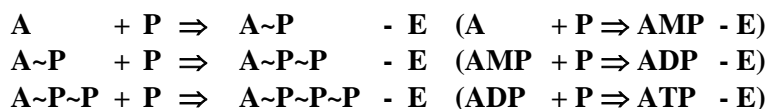


Ciò significa che la molecola di adenosimono fosfato viene scissa (processo del *catabolismo*; cfr. capitolo 9) nelle due componenti originarie (A e P), con liberazione della stessa quantità di energia richiesta per consentire la reazione precedente; si tratta quindi di una reazione che libera energia (esoergonica).

L'AMP può legarsi ad un altro gruppo fosfato diventando **AdenosinDiPhosfato** (ADP) e poi ancora ad un terzo gruppo fosfato diventando infine **AdenosinTriPhosfato** (ATP); si tratta di processi analoghi al primo che abbiamo descritto; quindi ciascuno è una reazione endoergonica che richiede sempre la stessa quantità di energia per formare il legame che abbiamo rappresentato con il simbolo "~". In sintesi:



Oppure, con i simboli:

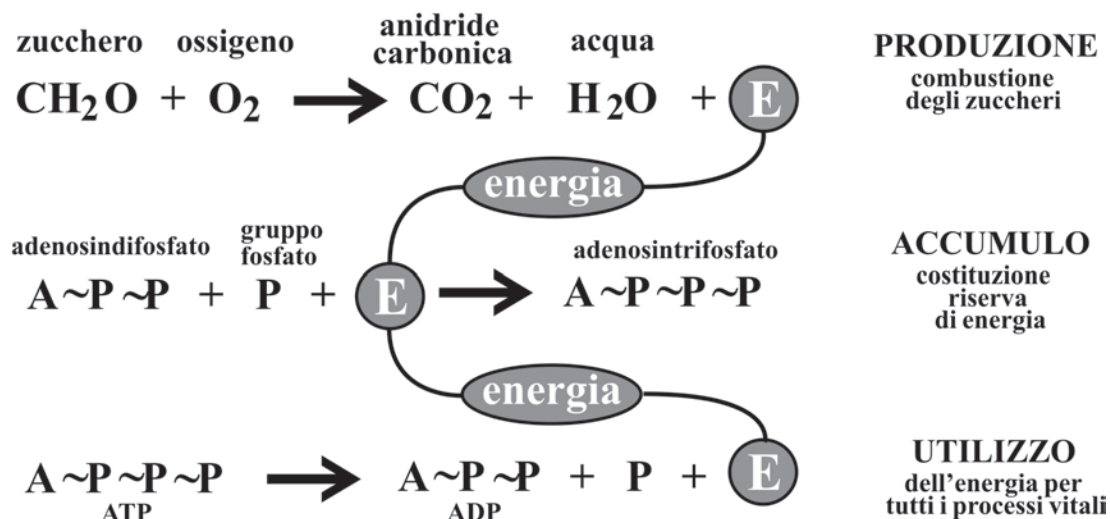


Nel capitolo 9 avevamo considerato, come esempio, il sistema automobile. Esso ha il compito di trasformare l'energia chimica contenuta nel carburante benzina in energia cinetica (movimento). Quando si aziona il motore la benzina viene bruciata e l'energia liberata viene "*direttamente*" utilizzata per essere trasformata in movimento. Nel capitolo 6 avevamo affermato che **il processo di combustione degli zuccheri, in quasi tutti i viventi, costituisce il modo con il quale essi ottengono energia per i processi vitali** (si usa anche



dire che gli zuccheri hanno “*funzione energetica*”). Ma ciò non avviene in modo diretto, come per la benzina nell'automobile. Per esempio l'energia lavoro dei nostri muscoli, quando siamo impegnati in una corsa, oppure il lavoro di costruzione di succo gastrico da parte della parete dello stomaco, non derivano direttamente dalla combustione degli zuccheri; si verifica invece un passaggio intermedio. Quando il nostro corpo, o una parte di esso, è chiamato a svolgere una determinata attività, vi è bisogno immediato dell'energia necessaria, ma lo zucchero non può essere così velocemente demolito, come avviene per la benzina in un motore a combustione.

L'energia contenuta negli zuccheri deve essere “estratta” gradualmente ed immagazzinata entro “depositi” che possono essere utilizzati con immediatezza. Tali depositi sono costituiti dall'**ATP**, in quanto staccare un gruppo fosfato da una molecola di adenosintrifosfato (cioè demolire il legame che abbiamo indicato con “~”) è un processo molto più semplice e veloce che “smontare” una molecola di zucchero per trarre energia. Pertanto, man mano che lo zucchero viene gradualmente demolito (processo catabolico esoergonico) l'energia ottenuta viene immagazzinata per costruire ATP a partire dall'ADP (processo anabolico endoergonico). Riassumendo, vale il seguente schema:



Tutti i processi vitali che avvengono negli organismi e tutte le attività svolte da essi, richiedono energia; quasi tutta è fornita dall'adenosintrifosfato (ATP), quando si scompone in  $\text{ADP} + \text{P}$ . I carboidrati costituiscono la forma di accumulo di energia e la forma in cui l'energia stessa viene trasferita da cellula a cellula e da organismo ad organismo, paragonabile al denaro conservato in banca (ciò vale anche per i grassi, a loro volta paragonabili ad investimenti a medio e lungo termine). Invece l'ATP è paragonabile al denaro in contanti, valuta energetica spendibile immediatamente. Questa valuta è utilizzata da tutti gli organismi, da quelli microscopici a quelli più grandi, vegetali e animali, primitivi o evoluti. Si potrebbe affermare che, dal punto di vista energetico, lo scopo essenziale di qualsiasi organismo è “produrre ATP”.

## 12 - METABOLISMO

Nel nono capitolo abbiamo discusso intorno al metabolismo del sistema auto, cioè dell'insieme dei processi che avvengono in quel mezzo affinché esso trasformi l'energia contenuta nella benzina in energia di movimento. Nei sistemi viventi si verificano migliaia di reazioni chimiche diverse, molte delle quali avvengono contemporaneamente; la somma di tutte queste reazioni costituisce il **metabolismo**. Le reazioni (processi chimici che comportano la trasformazione delle sostanze) comportano *scambi di energia*.

Vi sono alcuni processi che comportano il passaggio da sostanze semplici (formate, in genere, da piccole molecole con pochi atomi) a sostanze più complesse (molecole più grandi, formate da un maggior numero di atomi). Si tratta di reazioni chimiche assimilabili a "*processi di costruzione*" (o di "*sintesi*"); per esempio unire diversi amminoacidi a formare lunghe catene (struttura primaria delle proteine; cfr. capitolo 8) o unire molecole di glucosio a formare polisaccaridi complessi come l'amido (cfr. capitolo 6). I processi di sintesi non avvengono "gratuitamente", o meglio il lavoro di costruzione comporta sempre una spesa energetica; pertanto essi sono processi **endotermici**, cioè assorbono energia.

**ATTENZIONE! Critichiamo il termine "endotermici".** Sono processi che assorbono energia (deve essere fornita affinché i processi possano attuarsi). Bisognerebbe utilizzare il termine "**endoergonici**". Il termine "endotermici" fa pensare ad un assorbimento di temperatura, ma come ciò può avvenire? Come può una temperatura essere assorbita o ceduta? Essa non passa da un sistema ad un altro, non viene scambiata; contribuisce alla conoscenza sullo stato energetico di un sistema, anzi ne costituisce una sua espressione. Invece è l'energia che può essere scambiata e/o passare da un sistema ad un altro. Dato che molti libri e testi divulgativi utilizzano frequentemente il termine "endotermici", anche noi (sbagliando) talvolta faremo lo stesso. Sarebbe invece buona cosa cominciare ad utilizzare i termini corretti.

Vi sono altri processi che comportano il passaggio da sostanze complesse a sostanze più semplici. Sono (con una espressione un po' generica e superficiale) reazioni chimiche assimilabili a "*processi di demolizione*". Il solito esempio è la demolizione di zucchero in acqua ed anidride carbonica. Ma si possono citare altri esempi; polisaccaridi e proteine, nell'apparato digerente, sono disgregati in singole molecole di glucosio e in amminoacidi, cioè in "frammenti" sufficientemente piccoli per passare, attraverso le pareti dell'intestino, al sangue e quindi a tutte le cellule del corpo. I processi di demolizione delle molecole complesse, quasi sempre, comportano la liberazione di energia, proprio quella impiegata per la sintesi delle molecole stesse. Pertanto essi sono processi "**esotermici**" (meglio sarebbe utilizzare il termine "**esoergonici**").

Se vale la definizione per cui il metabolismo comprende l'insieme di tutti i processi che avvengono in un organismo, allora possiamo pensare alla seguente suddivisione:

- **anabolismo** - insieme di tutti i processi di sintesi, endoergonici, che in genere comportano la costruzione di sostanze complesse (*anaboliti*);
- **catabolismo** - insieme di tutti i processi di demolizione, esoergonici, che in genere comportano la produzione di sostanze meno complesse (*cataboliti*);
- **metabolismo** = **anabolismo** + **catabolismo**.

Molti processi catabolici servono per "smontare" complesse molecole in unità più semplici per essere poi utilizzate per "costruire" altre sostanze complesse. Può essere utile un esempio. La carne di pollo è costituita, tra le altre sostanze, di proteine caratteristiche del pollo; a tal proposito conviene ricordare l'espressione "**dimmi di che proteine sei fatto e ti dirò chi sei!**" che abbiamo citato a proposito della composizione delle proteine (cfr. capitolo 8). Quando mangiamo quella carne, nell'apparato digerente le proteine vengono "smontate" negli amminoacidi che le compongono; questi, una volta digeriti (entrano nel sangue e vengono portati alle cellule), vengono utilizzati per costruire (processi anabolici) le "nostre" proteine, che sono diverse da quelle del pollo nella misura in cui noi siamo animali diversi dal pollo stesso.

Molti altri processi catabolici servono espressamente per "estrarre" energia da sostanze complesse (zuccheri e grassi). Tale energia viene immagazzinata sotto forma di ATP, attraverso il processo anabolico  $ADP + P$  (cfr. capitolo precedente). L'ATP viene poi parzialmente smontato staccando da esso un gruppo fosfato (quindi di nuovo un processo catabolico), al fine di utilizzare l'energia per un qualunque processo vitale che potrebbe essere proprio la sintesi di una proteina, oppure per fornire energia alle cellule muscolari impegnate in un lavoro (l'organismo che si muove), o per far lavorare le cellule di una ghiandola per produrre un ormone, ... Proviamo a seguire la seguente catena, presa quale esempio:

1. l'amido (polisaccaride) viene smontato, nell'apparato digerente, in singole molecole di glucosio (**processo catabolico**) grazie all'azione dell'enzima amilasi;
2. le molecole di glucosio attraversano la parete dell'intestino, entrano nel sangue, e vengono portate alle cellule;
3. le cellule demoliscono il glucosio per ottenere energia (**processo catabolico**);
4. l'energia liberata viene impiegata per legare gruppi fosfato all'ADP; in tal modo l'energia viene immagazzinata sotto forma di ATP (**processo anabolico**);
5. supponiamo che le cellule facciano parte di una ghiandola salivare; occorre che nella saliva sia presente l'enzima amilasi, ma questo deve essere costruito;
6. quindi in quelle cellule avviene il **processo catabolico**  $ATP \Rightarrow ADP + P + E$  (energia);
7. l'energia viene impiegata per legare diversi amminoacidi nella costruzione dell'amilasi (enzima con struttura proteica) e quindi con un **processo anabolico**;
8. a questo punto l'amilasi comincia il lavoro di demolizione dell'amido (**processo catabolico**) ritornando così al punto di partenza.

Si tratta di una storia raccontata in otto punti, molto sintetica e semplificata rispetto alla realtà. Al punto 2 si afferma che il glucosio, attraverso le pareti dell'intestino, giunge al sangue per essere portato alle cellule; ma tutto ciò non avviene "gratuitamente", in quanto si tratta di un lavoro ed esso costa energia. Ciò presuppone che l'organismo "spenda" buona parte di valuta energetica (ATP) per consentire i processi di assorbimento e di trasporto. Inoltre, al punto 7, la descrizione della costruzione dell'enzima amilasi viene eccessivamente semplificata con l'affermazione "*legare diversi amminoacidi*"; in realtà tale costruzione è un processo tutt'altro che semplice e da solo potrebbe costituire un esempio di insieme complesso di processi catabolici e anabolici strettamente legati e interdipendenti.

Dalle precedenti considerazioni si capisce che i sistemi organismi sono molto complessi; tuttavia tanto maggiore è la complessità, tanto più comodo risulta l'utilizzo di termini capaci di comprendere, in modo generico, insiemi di processi anche molto diversi fra loro. In ogni caso e a maggior ragione, conviene evitare confusione sull'uso di tali termini. Pertanto, sempre a proposito del metabolismo, sono utili ancora alcune riflessioni.

Nel sesto capitolo si è affermato che la combustione degli zuccheri comporta la produzione di energia e abbiamo anche definito il valore della caloria. Nel capitolo successivo abbiamo affermato che bruciando un grammo di zucchero si ottiene una quantità di energia pari a 3,8 kcal (15,9 kJoule). Effettuando un semplice calcolo con le più elementari leggi della fisica, tale energia è teoricamente sufficiente per sollevare un corpo di 800 kg per un'altezza di 2 m. Sembrerebbe quindi che se mangiassimo meno di un cucchiaino di zucchero potremmo alzare un masso di quasi mezzo metro di diametro sopra la nostra testa. Magari!!!! In primo luogo quando lo zucchero si trova nelle cellule dei nostri muscoli, deve essere demolito in anidride carbonica e acqua e soltanto il 40 % dell'energia liberata viene immagazzinata sotto forma di ATP e questo è soltanto il primo passaggio. Ad esso ne seguono altri e cioè il distacco di un gruppo fosfato per ottenere di nuovo energia libera, l'utilizzo dell'energia da parte delle cellule che la trasformano in lavoro, cioè l'insieme dei movimenti del nostro corpo per afferrare il masso e quindi sollevarlo verso l'alto.

Attenzione! Quando si trasforma energia in lavoro, una parte considerevole di essa si trasforma in calore e infatti i motori delle auto si scaldano (oltre il 75 % dell'energia contenuta nella benzina viene "persa" in calore anziché essere convertita in movimento) e noi stessi, mentre tentiamo di sollevare il masso, ci scaldiamo, a tal punto che deve essere dissipata una grande quantità di calore, anche grazie al sudore, per evitare un eccessivo incremento della temperatura corporea. Inoltre non dobbiamo muovere soltanto il masso, ma anche molte porzioni del nostro corpo, costituito da diverse leve che, da sole, costituiscono masse da muovere e quindi con un consumo energetico, anche se non vi fosse nulla da sollevare. Alla fine dell'energia contenuta in quel grammo di zucchero, per sollevare il masso, ammesso che il nostro motore interno abbia potenza sufficiente, ne rimane ben poca. In effetti il masso non riusciamo neppure a spostarlo.

L'esempio sopra descritto serve per capire che in un qualunque organismo, oltre alla necessità di "smontare" alcune sostanze complesse in altre più semplici da utilizzare come veri e propri mattoni da costruzione, la maggior parte dei processi catabolici serve per ottenere energia, sia per processi anabolici (sintesi), sia per compiere numerose attività che comportano "lavoro", a loro volta dovute a insiemi di processi catabolici e anabolici. Il tutto costituisce il metabolismo. Un organismo è quindi un sistema complesso che "vive" (funziona) grazie a migliaia di reazioni che comportano l'impiego di energia, gran parte della quale viene degradata in calore che, in parte, serve per mantenere la temperatura ottimale affinché tutti i processi possano svolgersi nelle migliori condizioni, ma in parte costituisce un surplus che potrebbe portare ad un

eccessivo riscaldamento e che pertanto deve essere dispersa (così come in una automobile occorrono dispositivi per evitare il surriscaldamento del motore).

Per garantire il completo ed efficiente svolgimento di tutti i processi del metabolismo occorre che il sistema organismo sia rifornito dell'energia necessaria, contenuta negli alimenti: **“fabbisogno energetico”** (oppure **“fabbisogno calorico giornaliero”**). Nel caso dell'uomo la quantità di energia per sostenere il normale metabolismo dipende dall'età, dal sesso e dal tipo di attività:

	maschi	femmine	dieta media giornaliera
giovane di 15 anni che studia e pratica sport	<b>2.900 kcal</b>	<b>2.300 kcal</b>	40 ÷ 50 g di proteine
adulto che pratica un lavoro poco faticoso (impiegato)	<b>2.400 kcal</b>	<b>2.100 kcal</b>	300 ÷ 350 g di zuccheri
adulto che pratica un lavoro mediamente faticoso (operaio)	<b>3.000 kcal</b>	<b>2.400 kcal</b>	50 ÷ 100 g di grassi
adulto che pratica un lavoro molto faticoso e/o che pratica molto sport	<b>3.800 kcal</b>	<b>3.000 kcal</b>	

Torniamo al sistema automobile. Il suo metabolismo si manifesta soltanto con il motore acceso; esso viene attivato al momento dell'accensione (messa in moto) e si arresta nel momento in cui si interrompe l'attività del motore (si dice, in un linguaggio poco ortodosso, si “spegne” l'auto). Inoltre non sempre con il motore in azione l'auto si muove; è possibile mantenere ferma l'automobile con il motore che gira a vuoto con la marcia inserita in folle; in tale situazione si consuma poca benzina, in quanto il motore gira al minimo (compie il minor numero di giri al minuto, quel tanto che basta per rimanere “acceso”) e soprattutto non deve muovere la massa dell'auto con i passeggeri e con l'eventuale bagaglio. Il metabolismo dell'auto significa combustione di benzina, cioè consumo energetico; quando l'auto è ferma con il motore “acceso” si utilizza l'espressione: **“metabolismo basale”**. Quando invece è in movimento il metabolismo è più intenso ed il consumo energetico è superiore, in misura tanto maggiore quanto più elevata è la velocità con la quale l'auto si muove. In sintesi per l'automobile valgono le seguenti tre situazioni:

1. auto ferma con il motore spento = **metabolismo zero**
2. auto ferma con il motore al minimo = **metabolismo basale**
3. auto in movimento = **metabolismo normale**

È possibile, per gli organismi, ragionare allo stesso modo? In realtà vi sono differenze sostanziali, alla base della stessa definizione di vita. In primo luogo il metabolismo di un sistema automobile può essere arrestato (quando si spegne il motore) e può essere nuovamente innescato (quando si avvia il motore): **metabolismo zero**. Ciò non è possibile per un organismo; per un vivente metabolismo zero significa la morte. A questo punto si potrebbe affermare che sarebbe più corretto paragonare un sistema organismo ad un sistema automobile con il motore sempre acceso, ma risulterebbe un'altra importante differenza. Il metabolismo basale di un'automobile costituisce una frazione relativamente piccola rispetto a quella normale; ciò significa che il consumo energetico (consumo di benzina) con il motore che gira al minimo è molto inferiore rispetto a quello necessario per far viaggiare l'auto alla modesta velocità di 80 km/ora. In un organismo invece il metabolismo basale costituisce la frazione principale di quello normale. Infatti il fabbisogno energetico medio giornaliero di un uomo adulto di 70 kg, in condizioni di assoluto riposo, è pari a circa 1.700 kcal. Di tutta l'energia necessaria ad un maschio, che svolge un lavoro da impiegato e che pratica poco sport (2.400 kcal; vedi lo schema precedente), circa il 70 % è quella necessaria per mantenere il corpo in vita e soltanto il 30 % viene impiegato per compiere le normali attività quotidiane.

Abbiamo già sottolineato il seguente concetto: **“Un vivente è un sistema estremamente complesso. Perché tale sistema mantenga tutta la sua efficienza (affinché sopravviva) occorre il massimo ordine all'interno di esso; nel caso invece tenda a prevalere il disordine, si verifica l'autodistruzione del sistema: la morte. Affinché sia mantenuto l'ordine (condizione essenziale per la funzionalità) occorre spendere energia, ottenibile dal processo di demolizione (combustione) del “carburante” costituito dagli zuccheri e dai grassi”**. Tanto maggiore è la complessità, tanto maggiore è l'energia necessaria per mantenerla e per garantire l'efficacia dei processi necessari per il buon funzionamento complessivo del sistema. Ciò spiega il motivo per cui gran parte del fabbisogno energetico va ad alimentare il metabolismo basale.

### 13 - FABBISOGNO ENERGETICO (ALIMENTARE)

Il fabbisogno energetico medio della specie umana è pari a circa 3.000 kcal al giorno, ma che può variare in modo significativo a seconda del sesso e del tipo di attività (cfr. tabella a pag. 34). Una corretta alimentazione deve essere costituita da un insieme di sostanze capaci di fornire la quantità di energia per soddisfare tutti i processi del metabolismo. Una porzione abbondante di esso (intorno al 70 % - cfr. capitolo precedente) costituisce il metabolismo basale, cioè il fabbisogno energetico pro-capite giornaliero “semplicemente” per rimanere in vita (in condizioni di totale riposo). La tabella sottostante riporta i fabbisogni alimentari necessari per il corretto metabolismo di alcune specie considerate quali esempi.

Elefante africano	100 ÷ 150 kg	di vegetali al giorno
Rinoceronte	35 ÷ 40 kg	di vegetali al giorno
Orso polare	9 ÷ 10 kg	di carne al giorno
Leone	5 ÷ 6 kg	di carne tre volte alla settimana
Vacca	70 kg	di erba al giorno
Orca	50 kg	di pesce al giorno
Condor	1 kg	di carne al giorno
Picchio nero	1.000	formiche al giorno

Le specie succitate hanno dieta piuttosto monotona; il leone mangia solo carne (carnivoro predatore per eccellenza), la vacca mangia solo erba (erbivoro per eccellenza); ma proprio grazie a tale monotonia è facile indicare il fabbisogno di cibo medio giornaliero, in quanto è sufficiente indicare una certa quantità di un determinato prodotto. Più difficile è descrivere la dieta di un onnivoro per eccellenza come la specie umana. Vediamo allora alcune regole fondamentali e così facendo ripassiamo alcuni concetti importanti. **Il cibo è:**

- materia dalla quale l’organismo trae energia per produrre calore o altre forme di energia per compiere tutti i processi vitali;
- materia utile alla crescita, alla ricostruzione di parti logorate dell’organismo, alla produzione di nuove cellule.

La parte più importante dei componenti del cibo è costituita dai **nutrienti**; essi sono:

- **carboidrati** (glucidi o zuccheri) - forniscono energia all’organismo; essi possono essere convertiti in grassi da accumulare come riserva;
- **lipidi** (grassi) - a parità di peso forniscono una quantità di energia superiore ai precedenti; vengono in genere accumulati come riserva;
- **protidi** (proteine) - costituiscono la fonte di amminoacidi che l’organismo utilizza per la costruzione delle proprie proteine, indispensabili per l’accrescimento, la riparazione e la ricostruzione dei tessuti (funzione plastica) oppure per favorire importanti processi vitali (funzione dinamica); esse forniscono azoto all’organismo e possono anche essere trasformate in carboidrati;
- **sali minerali e vitamine** - indispensabili nella regolazione di molti processi vitali.

Anche l’alcool è un nutriente in quanto fornisce energia; mentre l’acqua, pur essendo essenziale, non viene considerata un nutriente (sotto il profilo energetico). Nel cibo inoltre sono presenti altre sostanze che potrebbero essere definite “scorie”; non hanno cioè funzioni nutrizionali, ma sono utili, in quanto coadiuvanti dei processi digestivi dell’apparato digerente (es. la cosiddetta “fibra”, costituita da cellulosa). A questo punto, sempre tenendo conto di una necessità media di circa 3.000 kcal al giorno, è necessario tenere conto di queste altre regole:

- bere acqua in abbondanza durante tutto il giorno; non contribuisce al calcolo del fabbisogno energetico; le bevande ricche di sali minerali e/o di zuccheri contribuiscono in misura significativa all’apporto di tali nutrienti, mentre l’acqua, apporta, in genere, modeste quantità di sali;
- sali minerali e vitamine devono essere sempre presenti nell’alimentazione; si trovano principalmente in frutta e verdure; il loro contributo energetico è irrilevante; sono nutrienti oligodinamici, cioè essenziali, seppure in piccole quantità;
- il 15 % del fabbisogno alimentare deve essere costituito da proteine (un grammo ne forniscono 3,8 kcal).;
- il 60 % del fabbisogno alimentare deve essere costituito da zuccheri (un grammo ne fornisce 3,8 kcal);
- il 25 % del fabbisogno alimentare deve essere costituito da grassi (un grammo ne fornisce 9,3 kcal);



- le proteine, quali fondamentali fonti di azoto, devono essere introdotte nel nostro corpo nella misura di almeno  $30 \div 40$  g al giorno.

A questo punto è utile la tabella riportata nel seguito per valutare la quantità di energia introdotta nel nostro corpo a partire dalla conoscenza (qualità e quantità) degli alimenti assunti durante una qualunque giornata. Un commento critico ai valori riportati nella tabella porta alle seguenti considerazioni:

- condire una insalata di lattuga con un cucchiaino di olio di oliva (più di 3 g) comporta oltre 30 kcal;
- una bistecca di manzo (150 g) fornisce un contributo energetico pari a 200 kcal, ma che può arrivare a 250 kcal se si tiene conto anche del condimento;
- un buon piatto di riso (100 g), condito olio di oliva (4 g) e parmigiano (6 g), significa un valore energetico complessivo pari a 358 kcal (riso) + 35 kcal (olio) + 25 kcal (formaggio) = 418 kcal, il 15 % del fabbisogno totale medio giornaliero;
- l'alimento più "energetico" è l'olio di oliva; quello meno energetico è costituito dalla maggior parte delle verdure;
- le patate, pur essendo costituite in massima parte da amido (zucchero) non sono da annoverare tra i cibi più energetici; un piatto di patate bollite poco condito fornisce un centinaio di kilocalorie; le patatine fritte, al contrario, recano molta energia;
- gli alimenti più ricchi di zuccheri sono quelli derivati dai cereali; d'altra parte i semi di tali piante sono costituiti essenzialmente da amido;
- gli alimenti più ricchi in proteine sono le carni ed alcuni formaggi ma, in molti casi (es. gli insaccati), sono anche ricchi in grassi; il pesce invece è quasi sempre ricco di proteine e povero di grassi;
- prevedere molta verdura nella propria alimentazione, significa limitare l'apporto calorico, ma garantire un buon contributo di vitamine e di sali minerali;
- ha ragione "Braccio di Ferro" a preferire gli spinaci; in effetti essi contengono parecchio ferro, ma si tratta di un elemento abbondante anche nelle mandorle e nelle noci e, in generale, nelle carni rosse (meno nel pesce);
- il latte intero e l'uovo di gallina sono gli alimenti ricchi di un po' tutti i principali nutrienti ed anche in giuste proporzioni;
- il primato, in fatto di ricchezza di vitamina "C" non spetta agli agrumi (limoni ed arance), ma al ribes;
- mezzo litro di vino al giorno durante i pasti (500 g  $\approx$  450 kcal) contribuisce, da solo, per un sesto del fabbisogno energetico medio giornaliero;
- la coca cola contribuisce al carico energetico in misura non molto inferiore al vino ma, diversamente da questo, non fornisce nutrienti;
- un bicchierino di grappa non nutre, in quanto non contiene nutrienti; contribuisce soltanto come energia (più di 100 kcal);
- i legumi, diversamente dalle altre verdure, contengono una buona quantità di proteine;
- il miele non costituisce un alimento particolarmente ricco (meno di quanto normalmente si crede), ma rispetto allo zucchero da tavola (che fornisce soltanto energia), è un'ottima alternativa come dolcificante.

Composizione chimica e valore calorico di alcuni dei principali alimenti. I valori riportati si riferiscono alle quantità presenti in 100 grammi di prodotto e rappresentano valori medi.

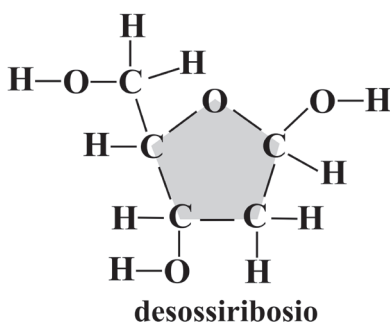
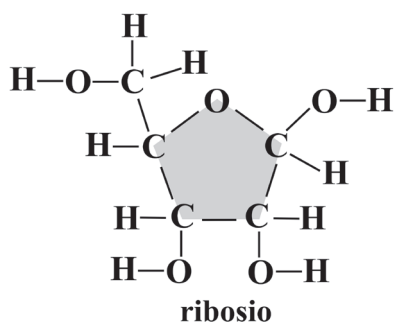
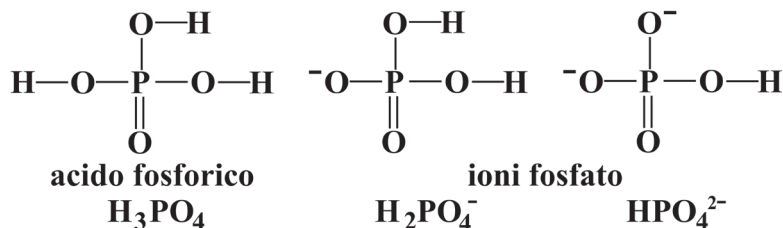
CIBI	kcal	glicidi	lipidi	protidi	vitamine						sali minerali			
					A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>6</sub>	B <sub>3</sub>	C	Na	K	Ca	Fe
		g	g	g	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
CIBI DA CEREALI														
pane integrale	247	48,0	2,9	9,4	-	0,29	0,14	-	3,20	-	650	340	96	2,4
pane bianco	257	52,7	0,9	8,3	-	0,10	0,08	0,14	0,90	-	400	126	40	1,0
riso brillato	358	80,0	0,5	7,1	-	0,06	0,04	0,15	1,60	-	3	100	18	0,8
riso integrale	360	77,4	1,9	7,5	-	0,29	0,05	-	4,70	-	9	150	32	1,6
LATTE E DERIVATI														
latte scremato	35	5,0	0,1	3,5	0,01	0,04	0,18	0,05	0,10	1,7	53	145	126	0,2
latte intero	65	4,8	3,7	3,5	0,04	0,04	0,16	0,05	0,10	1,7	57	142	123	0,1
stracchino	326	0,4	26,4	22,1	0,32	0,02	0,35	-	0,11	-	-	-	121	0,4
parmigiano	395	1,0	26,0	37,0	0,50	0,02	0,63	-	0,20	-	816	141	1188	1,0
emmenthal	402	2,7	30,0	29,0	0,34	0,04	0,40	0,09	0,10	0,5	420	105	1135	1,1
margarina	728	0,4	81,0	0,6	0,90	0,06	-	-	-	-	212	7	12	0,1

GRASSI														
burro	730	0,7	82	0,7	0,90	-	0,01	-	0,10	0,3	10	18	15	0,2
strutto	890	-	99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,1
olio d'oliva	894	-	100,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,1
CARNI - CARNI ROSSE E DERIVATI														
salsiccia	341	0,6	30,8	14,3	-	0,32	0,16	-	2,30	-	740	140	6	1,6
mortadella	394	0,5	36,1	16,6	-	0,31	0,30	-	3,00	-	220	84	9	2,2
prosciutto crudo	500	0,8	46	19,5	-	0,82	0,19	-	4,00	-	1100	350	10	2,4
prosciutto cotto	421	0,8	35	20	-	0,54	0,21	-	4,00	-	1100	350	10	2,4
carne di cavallo	113	0,8	2,3	21,7	-	0,06	0,11	-	4,70	2,0	32	245	12	2,7
carne di manzo	122	-	1,7	19,0	0,02	0,12	0,20	-	4,40	1,0	51	370	11	2,8
fegato di vitello	140	4,5	5,0	19,5	8,40	0,20	2,80	1,20	16,50	33,0	90	324	9	6,0
carne di vitello	142	0,5	10,4	19,7	-	0,15	0,24	0,20	7,0	-	69	345	11	2,7
carne di maiale	161	1,0	8,2	19,6	-	0,90	0,24	-	5,5	1,0	67	303	13	2,2
coniglio	162	0,5	8,0	21,0	0,01	0,05	0,10	0,60	-	3,0	40	392	15	2,7
pollo	171	1,3	9,7	19,6	-	0,10	0,20	0,50	7,4	3,2	84	338	12	1,8
PESCI E MOLLUSCHI														
merluzzo	74	0,4	1,0	15,7	-	0,08	0,11	0,20	2,1	2,0	81	350	14	0,7
sogliola	75	0,5	1,0	16,0	-	0,10	0,14	0,25	4,0	2,0	110	290	70	0,9
triglia	119	1,2	5,2	15,7	-	0,07	0,07	-	4,2	2,0	94	275	21	1,1
anguilla	241	0,7	19,6	14,6	0,54	0,28	0,37	-	1,4	-	-	-	18	0,7
mitili	74	2,2	1,8	12,0	0,05	0,16	0,22	-	1,6	17	290	315	94	2,4
VERDURE														
lattuga	17	2,4	0,3	1,2	0,26	0,06	0,08	0,07	0,3	12	12	140	28	1,2
zucchine	17	3,0	0,1	1,5	0,10	0,04	0,06	-	1,0	15	1	200	20	1,0
pomodori	22	4,5	0,2	1,1	0,30	0,06	0,04	0,10	0,6	25	4	268	12	0,6
spinaci	26	4,0	0,4	3,3	2,40	0,10	0,20	0,20	1,0	45	110	647	86	3,5
fagiolini	35	7,0	0,2	2,2	0,20	0,09	0,15	0,14	0,5	17	1	278	56	0,9
cipolla	42	9,5	0,1	1,5	0,01	0,03	0,04	0,10	0,2	12	10	135	30	0,5
carota	43	9,3	0,3	1,1	3,60	0,09	0,06	0,12	0,5	6	45	360	41	0,9
patate	80	18,0	0,2	2,1	0,01	0,11	0,04	0,20	1,6	20	3	410	14	0,7
patate fritte	568	50,0	39,8	5,3	-	0,21	0,07	-	4,8	16	340	880	40	1,8
piselli	92	16,0	0,4	6,7	0,20	0,30	0,16	0,18	2,0	25	2	370	25	2,0
fagioli	135	22,0	1,0	9,0	0,08	0,22	0,12	0,55	1,4	25	1	680	58	2,6
FRUTTA														
limone	26	9,0	0,3	1,1	0,01	0,04	0,02	0,06	0,2	61	6	148	33	0,6
fragole	38	8,0	0,6	0,7	0,02	0,03	0,07	0,04	0,5	60	1	156	26	0,9
mandorle secche	622	18,5	54,1	19,5	0,02	0,20	0,80	0,10	3,5	-	2	690	243	4,5
noci secche	659	16,0	60,0	16,0	0,01	0,35	0,13	1,00	1,0	2	3	450	76	2,5
arachidi tostate	588	20	48	26	0,11	0,70	0,26	0,30	17,1	-	2	740	73	2,2
ribes	58	14,0	0,1	1,0	0,07	0,05	0,03	0,08	0,3	160	3	354	38	1,0
arance	48	11,0	0,2	0,9	0,06	0,10	0,03	0,03	0,2	50	-	170	38	0,4
PARTICOLARI														
uovo/gallina	77	0,4	5,5	6,1	0,16	0,06	0,16	0,12	0,04	-	66	67	26	1,3
miele	304	80,0	-	0,4	-	0,01	0,05	0,01	0,30	7,0	3	30	5	0,7
BEVANDE														
the	1	0,2	-	0,1	-	-	0,04	-	0,1	1	1	16	-	0,2
caffè (amaro)	4	0,6	0,1	0,3	-	0,01	-	-	0,9	-	2	84	4	0,2
coca-cola	43	11,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BEVANDE ALCOLICHE E SUPER ALCOLICI (il valore energetico relativo alla colonna dei lipidi rappresenta in realtà quello dell'alcool etilico)														
birra chiara	47	4,0	3,6	0,5	-	0,01	0,03	0,05	0,9	-	5	38	4	-
vino da pasto	90	4,0	9,0	0,1	-	0,01	0,01	0,09	0,1	-	7	100	9	3,0
whisky	350	-	45,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
grappa	370	-	50,0	-	-	-	-	-	-	-	-	3	4	-
brandy	390	-	52,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## 14 - ACIDI NUCLEICI

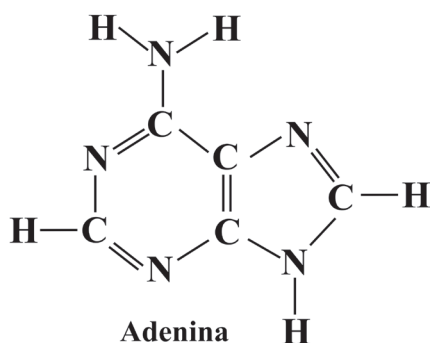
Gli acidi nucleici sono sostanze organiche complesse, insiemi di molecole particolari: **gruppi fosfato, zuccheri e basi azotate**.

**GRUPPI FOSFATO** (cfr. capitolo 7). Gruppi di atomi derivanti dalla molecola di acido fosforico; per comodità e per evitare la scrittura di insiemi di 5 o 6 atomi e perché non è facile ricordarsi le loro formule, si possono rappresentare con il simbolo “P”, la lettera iniziale della parola *Phosphoreum* (fosforo), l'elemento caratterizzante. Nel caso in cui si ritenga utile effettuare dei disegni) si può ricorrere al simbolo “□”.



**ZUCCHERO** (cfr. capitolo 6). Precisamente due monosaccaridi pentosi (costituiti da 5 atomi di carbonio): **ribosio** (simboli “R” oppure “◆”) e **desossiribosio** (simboli “D” oppure “◇”). Il primo ha formula  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ , mentre il secondo presenta un atomo di ossigeno in meno ( $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4$ ), da cui la de-nominazione “desossi”

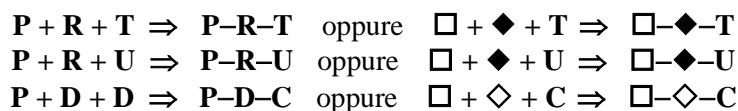
davanti



al termine “*ribosio*”. La complessità di tali molecole fa capire perché è più conveniente ricorrere ai simboli.

**BASI AZOTATE** (cfr. capitolo 11). Abbiamo già avuto modo di verificare la complessità di tali molecole e quella rappresentato a fianco costituisce un esempio. Le basi azotate che interessano sono cinque: **Adenina (A)**; **Guanina (G)**; **Timina (T)**; **Uracile (U)** e **Citosina (C)**.

**NUCLEOTIDE**. È una molecola che abbiamo già visto a proposito dell'adenosinmonofosfato (cfr. capitolo 11), cioè l'unione di tre molecole: zucchero (ribosio o desossiribosio) + gruppo fosfato + base azotata. Utilizzando i simboli si possono proporre i seguenti esempi di nucleotidi:



Gli acidi nucleici sono distinti in due tipi, entrambi caratterizzati dalla presenza del gruppo fosfato e distinguibili a seconda di quale zucchero e di quali base azotate sono composti:

	base azotata	zucchero	nucleotidi
<b>Acido RiboNucleico (RNA)</b>	Adenina	Ribosio	$\square-\blacklozenge-\text{A}$
	Uracile		$\square-\blacklozenge-\text{T}$
	Citosina		$\square-\blacklozenge-\text{U}$
	Guanina		$\square-\blacklozenge-\text{G}$
<b>Acido DesossiRibonucleico (DNA)</b>	Adenina	Desossiribosio	$\square-\diamond-\text{A}$
	Timina		$\square-\diamond-\text{T}$
	Citosina		$\square-\diamond-\text{C}$
	Guanina		$\square-\diamond-\text{G}$

In sintesi si tratta di due sostanze molto simili:

- presentano entrambe il gruppo fosfato;
- tre basi azotate sono identiche (**A**denina, **C**itosina e **G**uanina); la quarta base azotata è l'**U**racile per l'RNA e la **T**imina per il DNA;
- entrambe presentano uno zucchero pentoso, il **R**ibosio per l'RNA e il **D**esossiribosio per il DNA.

*A cosa servono gli acidi nucleici?* Prima di rispondere conviene riflettere sul termine “**progetto**”, ricorrendo ad un esempio. Immaginiamo l'acquisto di un lettore CD/DVD e di predisporlo vicino al televisore. Non basta il pensiero per far funzionare l'apparecchio; occorre effettuare i giusti collegamenti dei diversi cavi con il video e con la presa di tensione, programmare i canali ed imparare ad usare i numerosi tasti in modo corretto. Sono procedure non sempre facili, ma per fortuna si può consultare il “*libretto di istruzioni*”; questo è normalmente una dispensa di una decina di pagine che illustra ciò che occorre per il buon funzionamento.

Ma se il “*libretto di istruzioni*” spiega come funziona l'apparecchio, ciò non significa che esso possa essere definito un “**progetto**”. Con esso si impara a “*far funzionare*” e non a capire “*come funziona*” o “*come è fatto*” il lettore. D'altra parte a noi importa solamente utilizzare l'apparecchio per quel che serve e non a sapere come è stato costruito, come sono stati realizzati i singoli pezzi che lo costituiscono e come sono stati montati, quali sono gli strumenti e gli attrezzi necessari per la costruzione, quali fenomeni elettrici e meccanici si manifestano quando premiamo il tasto play, come è possibile che le immagini passino dal disco allo schermo,... Mica dobbiamo costruircelo! Ci limitiamo ad utilizzarlo senza tanti pensieri ed il “*libretto di istruzioni*” è più che sufficiente per i nostri scopi.

Se ci interessa imparare tutto sul lettore, il semplice “*libretto di istruzioni*” è insufficiente. È necessario disporre di un vero e proprio “**progetto**” che non si limita a descrivere le procedure per l'uso corretto, ma fornisce anche tutte le informazioni necessarie per la costruzione. Se il “*libretto di istruzioni*” è una dispensa di una decina di pagine, il “**progetto**” è un libro molto spesso e con grandi pagine. Un conto è imparare ad usare l'apparecchio, ben altra cosa è la conoscenza dell'insieme di tutte le procedure necessarie per la sua costruzione.

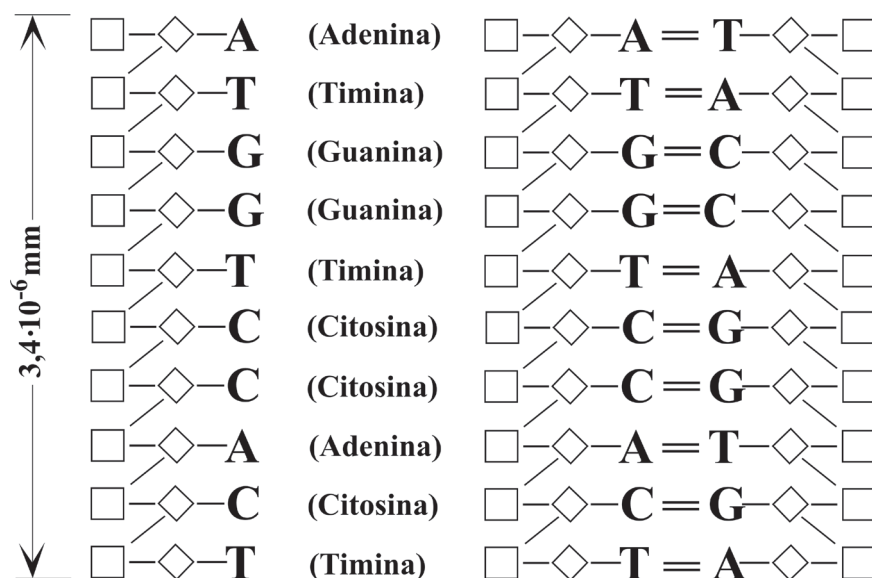
Il “**progetto**” di un lettore, di un telefono cellulare, di una automobile,... è la descrizione dettagliata e precisa dei materiali che compongono l'oggetto, dei modi con cui vengono adoperati, delle tecniche necessarie al montaggio, degli strumenti e degli attrezzi necessari alle diverse operazioni,... ed anche del modo con cui funziona. La descrizione è corredata da disegni, schemi, tavole, diagrammi,... per aiutare i costruttori ad effettuare correttamente le procedure. Il “**progetto**” è tanto più grande (in termini materiali, cioè di ingombro spaziale) quanto più complesso è l'oggetto che si intende realizzare. Per scrivere le istruzioni necessarie alla costruzione una barchetta di carta è sufficiente un testo di un paio di pagine, magari corredata da qualche illustrazione. Per scrivere le istruzioni necessarie alla costruzione di un palazzo è necessario un testo di centinaia di pagine, con numerose illustrazioni, molte delle quali su fogli di carta grandi come lenzuola. È importante sottolineare il fatto che il “**progetto**” deve essere ben realizzato, cioè deve permettere a chiunque, purché abbia le competenze per leggerlo e comprenderlo, di realizzare correttamente l'oggetto.

Abbiamo considerato, quali esempi, oggetti piuttosto comuni. Immaginiamo di costruire un organismo, uno fra i meno ingombranti e forse più semplice da realizzare, per esempio una pianta di margherita; è sufficiente disporre di un “**progetto**”. Si tratta di fantascienza? Non proprio! Forse se disponessimo veramente del “**progetto**” della pianta di margherita (e degli attrezzi giusti), potremmo costruirla. Un problema consisterebbe nelle dimensioni del “**progetto**”. Infatti la pianta della margherita è un sistema enormemente più complesso del più complesso dei marchingegni mai costruiti dall'uomo. Il “**progetto**” della pianta della margherita è forse grande come una enciclopedia costituita da enormi volumi. Immaginiamo allora quanto potrebbe essere grande il “**progetto**” necessario per costruire un essere umano.

Le considerazioni appena espresse non sono fantasia, ma realtà. Entro il corpo di ogni organismo, grande o piccolo, vegetale o animale, acquatico o terrestre,... è presente un “**progetto**” che illustra nel dettaglio come è fatto e come funziona l'organismo stesso. Ma come è possibile che il nostro corpo di umani possa contenere un “**progetto**” di così grandi dimensioni. Inoltre esso è in duplice copia, anzi milioni, miliardi di copie, tante quante sono le cellule. Difficile da credere, ma ciò dipende dall'abitudine di utilizzare un sistema di comunicazione scritta mediante simboli grafici sulla carta. Una enciclopedia contiene una grande

quantità di informazioni, ma occupa da sola mezza libreria. Ma lo stesso numero di informazioni, trascritte con un linguaggio diverso (informatico) può essere contenuto in un supporto di dimensioni enormemente più piccole, per esempio in un disco dentro un computer.

Gli organismi utilizzano una forma di linguaggio con la quale è possibile immagazzinare una quantità enorme di informazioni in uno spazio infinitamente piccolo. Si tratta di un linguaggio chimico che potrà edere oggetto di futuro approfondimento; per ora ci limitiamo ad affermare che tale linguaggio dipende dalla capacità dei nucleotidi di legarsi tra loro per formare lunghe catene, dette **polinucleotidi**. C'è ancora molto da studiare, ma almeno abbiamo capito **l'importanza degli acidi nucleici: sostanze organiche utilizzate dagli organismi per la redazione, mediante un linguaggio chimico, dei progetti sulle loro strutture e funzioni; ogni organismo esiste perché dotato di un "progetto" e sopravvive oltre alla sua morte, perché nel tempo il suo progetto viene conservato, cioè trasmesso di generazione in generazione.**



I **polinucleotidi** sono catene di nucleotidi legati fra loro. La figura a fianco rappresenta una catena di DNA costituita da 10 unità. Essa è lunga po-co più di 3 milionesimi di millimetro. Se la catena fosse costituita da 10.000 nucleotidi essa risulterebbe ancora piccolissima: appena 3 millesimi di millimetro. In realtà le cose sono un poco più complicate, in quanto le basi azotate tendono a legarsi a quelle appartenenti ad altri nucleotidi. Si forma quindi una dop-pia catena che ha una caratte-ristica particolare;

le basi azotate si legano tra loro median-te due soli possibili accoppiamenti: Adenina con Timina (**A=T**) e Guanina con Citosina (**G=C**). La doppia catena assume quindi la forma di una scala a pioli, dove i due assi portanti sono costituiti dagli insiemi "fosfato + zucchero", mentre i pioli sono costituiti dalle coppie fisse di basi azotate.

La doppia catena potrebbe essere paragonata anche ad una sorta di nastro (di carta o di stoffa). Immaginiamo ora di mantenere ferma una estremità e di ruotare quella opposta: il nastro assume la forma di una spirale e, come importante conseguenza, si accorcia; diventa cioè meno ingombrante, fino anche alla metà della lunghezza iniziale. Ciò significa che una doppia catena, costituita da due sequenze di 10.000 nucleotidi ciascuna, avvolta spirale, è lunga circa 1,5 millesimi di millimetro. Se poi immaginiamo ancora un "aggrovigliamento" di tale struttura, allora lo spazio che occupa diventa ancora più piccolo. Infine se consideriamo che la sequenza dei nucleotidi (o meglio delle basi azotate) rappresenta un modo di codificazione di un insieme di informazioni, allora si dovrebbe comprendere come funziona il linguaggio chimico che permette di immagazzinare una mole enorme di informazioni in pochissimo spazio. Il problema consiste nel trovare la chiave di traduzione di tale linguaggio chimico (il *codice*), ma questo è un altro argomento.

Quanto appena illustrato è valido per l'acido desossiribonucleico (DNA). Per quanto riguarda l'RNA (acido ribonucleico) dobbiamo semplicemente ricordarci di sostituire la base azotata Timina con l'Uracile e lo zucchero desossiribosio con il ribosio. I due acidi hanno funzioni diverse nel modo di rappresentare e gestire le informazioni legate al progetto.



## 15 - IL CARBONIO E GLI ORGANISMI

Non si conoscono validi motivi per pensare che la composizione chimica della litosfera di oltre tre miliardi di anni fa fosse diversa dalla attuale. Allora, secondo le teorie più accreditate, ebbe origine la vita.

elemento	simbolo	numero atomico (Z)	Massa atomica relativa (MAr)	% in peso	% in volume
ossigeno	O	8	15,99	<b>46,6</b>	<b>93,8</b>
silicio	Si	14	28,09	<b>27,7</b>	<b>0,9</b>
alluminio	Al	13	26,98	<b>8,1</b>	<b>0,5</b>
ferro	Fe	26	55,85	<b>5,0</b>	<b>0,4</b>
calcio	Ca	20	40,08	<b>3,6</b>	<b>1,0</b>
sodio	Na	11	22,99	<b>2,8</b>	<b>1,3</b>
potassio	K	19	39,10	<b>2,6</b>	<b>1,8</b>
magnesio	Mg	24	24,31	<b>2,1</b>	<b>0,3</b>
tutti gli altri	-	-	-	<b>1,5</b>	<b>0,9</b>
totali	-	-	-	<b>100</b>	<b>100</b>

Gli elementi della *litosfera* attuale, probabilmente di composizione analoga a quella di tre miliardi di anni fa, quando ebbe origine la vita.

I primi semplici organismi avevano, come oggi, a disposizione tanta acqua (ossigeno e idrogeno), moltissimo silicio, molto alluminio e ferro e una discreta abbondanza di calcio, sodio, potassio e magnesio. Si potrebbe quindi supporre che la composizione chimica dei viventi (*biosfera*) preveda gli elementi appena citati. In realtà, il 97 % in peso degli organismi viventi è composto da quattro elementi: ossigeno, idrogeno, carbonio e azoto (*elementi primari* o *plastici* - cfr. capitolo 1). Che i primi due siano abbondanti non ci stupisce in quanto l'acqua costituisce una percentuale variabile dal 60 al 90 % del peso degli organismi (cfr. capitolo 3). Ma i quattro succitati elementi e soprattutto l'azoto ed il carbonio rimangono predominanti in un vivente anche quando ad esso sia sottratta tutta l'acqua. Eppure il carbonio e l'azoto sono elementi rari sulla crosta tanto che, insieme ad una novantina di altri, costituiscono appena l'1,5 % in peso della litosfera. Sembrerebbe che, sull'insieme dei complessi e non ancora ben chiariti processi di formazione della vita, il carbonio, per le sue caratteristiche speciali (leggerezza e possibilità di formazione di un elevatissimo numero di composti con altri elementi), "sia stato scelto" come l'elemento cardine di tutta l'evoluzione successiva, a dispetto del silicio che, sebbene così abbondante nell'ambiente, compare soltanto come accidentale negli organismi.

La *chimica organica* è la scienza che studia le sostanze composte contenenti carbonio. Tutte le sostanze che ci circondano possono essere suddivise in due grandi categorie: **composti organici** e **inorganici** (cfr. capitolo 2). I primi sono legati ai viventi (*biosfera*) e quasi sempre combustibili; i secondi appartengono al dominio minerale (l'ambiente fisico) e quasi mai combustibili. Gran parte dei materiali che ci circondano sono costituiti da sostanze organiche come tutti i manufatti in legno, i tessuti, il cuoio, le pelli, le innumerevoli materie plastiche e i prodotti combustibili (il petrolio e il carbone hanno ancestrali origini organogene), i cibi,.... La ringhiera metallica, i mattoni e le mattonelle, i piatti di ceramica, il vetro dei bicchieri,.... sono invece esempi di sostanze inorganiche. Quali sono i processi naturali che legano, o meglio che rendono interdipendenti il regno organico e quello inorganico, il regno vivente (l'ambiente biologico) e quello minerale (l'ambiente fisico)? A questo quesito, semplificando molto, si può rispondere citando due processi biologici fondamentali: la **fotosintesi** e la **respirazione**. Sono argomenti di studio dei prossimi capitoli. Conviene prima porre particolare attenzione al seguente decalogo:

1. gli organismi sono costituiti principalmente da materiali organici, cioè sostanze composte del carbonio;
2. molti tipi di sostanze organiche sono assai comuni e si trovano in quasi tutti gli organismi o almeno in gruppi più o meno numerosi; altri tipi di sostanze organiche sono invece caratteristiche solo di alcuni gruppi; addirittura alcune si trovano in alcuni individui e non in altri, seppure della stessa specie;
3. molte sostanze organiche hanno funzione plastica e dinamica, cioè danno forma agli organismi e permettono il buon funzionamento;

4. la forma ed il corretto funzionamento di un qualunque organismo significa capacità di mantenere, all'interno di esso, un perfetto "ordine" rispetto al caos circostante; affinché ciò sia possibile occorre "spendere" energia;
5. molte sostanze organiche hanno funzione energetica; esse cioè forniscono energia per il mantenimento dell'ordine (perfetto funzionamento);
6. ogni organismo, nonostante il lavoro (e relativa "spesa" energetica) per mantenere l'ordine il più a lungo possibile, è destinato, prima o poi, con l'invecchiamento, alla morte (prevarrà il disordine); per sopravvivere alla loro morte gli organismi ricorrono alla riproduzione; almeno è garantita la conservazione della specie;
7. il successo riproduttivo è lo scopo principale di ogni organismo; tutte le attività legate alla sopravvivenza sono finalizzate a questo scopo, che si consegue in misura tanto più efficace quanto migliore è il funzionamento dell'organismo stesso (massimo ordine);
8. tutte le attività di un organismo (e l'insieme complesso dei processi che avvengono in esso) richiedono energia;
9. tutti gli organismi, dal punto di vista energetico, hanno un comune obiettivo, **costruire ATP**;
10. **gli organismi si possono anche classificare in base ai modi con i quali si procurano l'energia per costruire l'ATP.**

## 16 - METABOLISMO E REAZIONI CHIMICHE

I fenomeni biologici che si manifestano nei diversi ambienti presenti sulla Terra sono riconducibili ai processi fondamentali che governano la biosfera. Il processo di fotosintesi, per esempio, nelle sue linee essenziali, è lo stesso sia che avvenga in un organismo vegetale unicellulare marino, sia che avvenga in una gigantesca sequoia. Ma le strategie morfologiche e fisiologiche dei due organismi per compiere la stessa funzione, sono differenti, come conseguenza di storie evolutive di adattamenti ad ambienti molto diversi.

**Ad un primo approccio non è molto importante studiare le molteplici forme di organismi che popolano gli ambienti terrestri evidenziandone le diversità strutturali e funzionali; è più importante individuare le funzioni fondamentali degli organismi cercando di raggrupparli in insiemi omogenei dal punto di vista della loro fisiologia e delle relazioni con l'ambiente.** Conviene cioè “catalogare” gli organismi in gruppi con analoghe funzioni metaboliche, in quanto queste ultime giocano un ruolo fondamentale nei cicli della materia.

Ogni organismo può essere considerato un sistema aperto a più o meno intensi flussi di materia ed energia. L'uomo stesso può essere paragonato ad una macchina di straordinaria complessità; tuttavia è possibile arrivare ad una estrema sintesi che accomuna l'uomo a numerose altre specie animali che hanno tutte la caratteristica di utilizzare sostanza organica per funzioni plastiche (forma, struttura ed accrescimento) ed energetiche. È proprio il sistema di utilizzo e di trasformazione delle sostanze organiche per ottenere l'energia utile ai processi vitali che accomuna l'uomo e tante altre specie animali in un unico insieme e che permette chiare distinzioni rispetto ad altri insiemi di organismi. Pertanto conviene procedere ad una classificazione dei processi energetici fondamentali che caratterizzano gli organismi. In tal modo si pongono le basi per una migliore acquisizione della terminologia scientifica comunemente usata nel campo della biologia. Inoltre si rende più agevole la comprensione dei meccanismi che regolano i cicli della materia e dell'energia.

Il nostro obiettivo non è la descrizione dettagliata dei fenomeni biochimici; ma riassumere i processi energetici fondamentali con rappresentazioni di semplici reazioni chimiche dove i *reagenti* rappresentano la materia che entra nell'organismo (come il cibo per gli animali o l'anidride carbonica per le piante verdi) ed i *prodotti* il risultato delle trasformazioni dei primi. La **reazione** è una particolare trasformazione nella quale la natura delle sostanze reagenti è diversa da quella delle sostanze ottenute come prodotti. Le reazioni, in estrema sintesi, si distinguono in due categorie:

- **reazioni esotermiche** (o **esoergoniche**): comportano produzione di energia; in genere i reagenti sono sostanze con molecole complesse che vengono “demolite” in altre sostanze (prodotti) costituite da molecole più semplici;
- **reazioni endotermiche** (o **endoergoniche**): comportano assorbimento di energia per cui a partire da reagenti caratterizzati da molecole semplici, si arriva alla “costruzione” di sostanze (prodotti) con molecole complesse.

I due tipi di reazione sono l'una l'inverso dell'altra. Se indichiamo con **A, B, C,...** i reagenti formati da sostanza con molecole complesse, con **X, Y, Z,...** i prodotti costituiti da sostanze con molecole più semplici e con **E** l'energia coinvolta nel processo, la reazione chimica può essere rappresentata con il seguente schema:



Il segno di **E** è positivo quando la freccia indica il verso a destra (reazione esoergonica; demolizione di sostanze complesse in sostanze semplici) ed è negativo quando il verso della freccia è opposto (reazione endoergonica; costruzione di sostanze complesse da sostanze semplici). Nello schema è indicato anche il termine “*catalizzatore*”, una sostanza che innesca e controlla la reazione chimica facendola procedere più velocemente o più lentamente. Negli organismi tali sostanze sono costituite da molecole proteiche particolari, denominate “*enzimi*”. L'insieme dei processi chimici che avvengono nel corpo degli organismi viene detto **metabolismo** (cfr. capitolo 12), distinto in due sottoinsiemi: **catabolismo** (reazioni chimiche di demolizione, esoergoniche) e **anabolismo** (reazioni chimiche di costruzione, endoergoniche). I processi metabolici che descriveremo saranno sintetizzati con schemi molto semplificati, rimandando gli approfondimenti ai testi specialistici.

L'immagine degli organismi visti come semplici sistemi aperti a flussi di materia ed energia è quanto mai efficace. Il problema fondamentale di un vivente è quello di procurarsi energia per compiere i processi vitali, ma la maggior parte di essi sono funzionali all'ottenimento di energia. A livello biochimico, qualsiasi organismo deve accumulare energia da utilizzare per tutte le funzioni vitali; ciò che distingue i diversi tipi di organismi è il modo con il quale viene accumulata l'energia o, più in generale, il tipo di metabolismo.

Il serbatoio chimico che accumula energia è, per tutti i viventi, l'**adenosintrifosfato (ATP)**; cfr. capitolo 11). Nelle cellule l'energia ottenuta da processi molto diversi a seconda del tipo di organismi, viene "imprigionata" con un processo anabolico endoergonico consistente nella formazione di ATP a partire dall'ADP (adenosindifosfato, nucleotide con due soli radicali fosforici). L'energia è accumulata nel legame fra il secondo e il terzo radicale fosforico. Quando l'organismo ha bisogno di energia per compiere una qualunque attività, tale legame viene rotto (processo catabolico esoergonico  $ATP \Rightarrow ADP + P$ ) con conseguente liberazione di energia. **L'adenosintrifosfato può essere considerato come accumulatore universale di energia sia nei batteri, sia nelle cellule superiori** (cfr. capitolo 11).

## 17 - RESPIRAZIONE

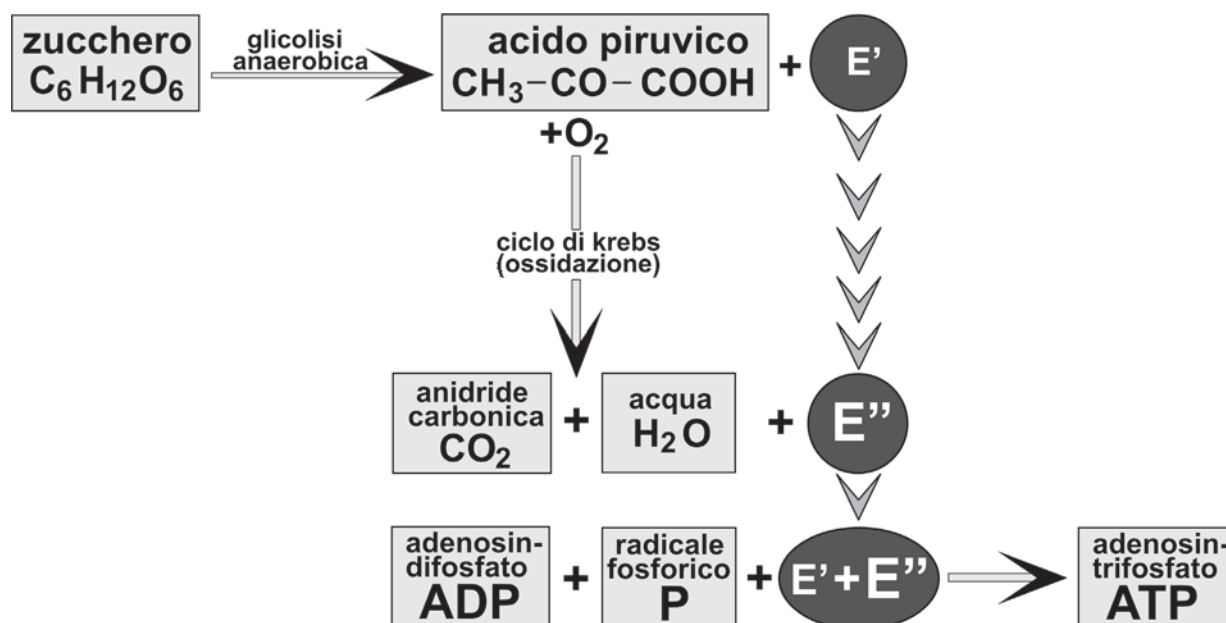
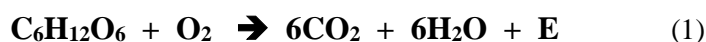
Ogni organismo, una cellula batterica, una pianta, un pesce, l'uomo,... esiste per crescere e per fabbricare una copia di se stesso: un'unità autoduplicantesi. Ma una cellula ha bisogno di energia se deve solo crescere? Se non si muove, non pompa sangue, non solleva pesi,... non compie azioni che vengono comunemente considerate "lavoro". Una cellula che vive ha bisogno di energia per garantire, dal disordine del mezzo in cui si trova, un ordine chimico, cioè la sua struttura complessa ed altamente organizzata (metabolismo basale; cfr. capitolo 12). Per fare ciò è necessario disporre di un serbatoio di energia; nel corso dell'evoluzione gli organismi hanno sviluppato un'ampia varietà di metabolismi energetici con lo scopo di costituire riserve di energia sottoforma di adenosintrifosfato.

Uno dei sistemi più efficaci per ottenere energia è la **respirazione aerobica**; è un processo esotermico (esoergonico) che consiste nella demolizione di sostanze organiche complesse come gli zuccheri. Esso è suddiviso in numerose reazioni parziali, rette ciascuna da almeno un enzima.

Il primo gruppo di reazioni, di circa dieci tappe, è detto **glicolisi** (= scissione dello zucchero) e si svolge in assenza di ossigeno. Si tratta pertanto di un *processo anaerobico* (aerobiosi = vita in presenza di aria; anaerobiosi = vita senza aria) che va dal **glucosio** ( $C_6H_{12}O_6$ ) alla formazione di **acido piruvico** ( $CH_3-CO-COOH$ ).

L'acido piruvico, in tappe successive, viene demolito in  $CO_2$  e  $H_2$ ; infine l'idrogeno è ossidato dall'ossigeno atmosferico in  $H_2O$ . Questo secondo gruppo di reazioni (**ciclo di Krebs**) è un *processo aerobico*.

La glicolisi comporta la liberazione di poca energia, mentre il ciclo di Krebs libera la maggior parte di energia contenuta inizialmente nello zucchero. Del totale una parte è degradata in calore, mentre la rimanente viene utilizzata per la formazione dell'adenosintrifosfato per aggiunta di un radicale fosforico (**P**) all'adenosindifosfato. Dato che quest'ultimo processo (endoergonico) avviene soprattutto dall'energia ottenuta dal ciclo di Krebs, in presenza di ossigeno, viene detto "*fosforilazione ossidativa*". In sintesi, l'intero processo può essere riassunto con due reazioni:



La reazione esotermica (1) riassume la demolizione dello zucchero che avviene attraverso la glicolisi anaerobica e il ciclo di Krebs. L'energia liberata viene immagazzinata attraverso la reazione endotermica (2) di formazione di ATP a partire dall'ADP.

La respirazione aerobica è tipica della maggior parte degli organismi e che, per tale motivo vengono **aerobi**, in quanto la demolizione dello zucchero per ottenere energia è una sorta di “combustione” che avviene in presenza di ossigeno.

**Perché dopo un intenso lavoro i muscoli sono indolenziti e si prova dolore?**

I muscoli sono costituiti da cellule specializzate nel produrre movimento (lavoro). Per fare ciò consumano energia, quella che si ottiene dalla riserva energetica adenosintrifosfato. La scissione  $ATP = ADP + P + E$  avviene velocemente; quindi si ottiene immediatamente tutta l'energia necessaria per compiere il lavoro.

D'altra parte le cellule muscolari producono ATP dalla demolizione dello zucchero in modo continuo, anche quando lavorano poco o nulla; in tal modo la riserva energetica è abbondante nel momento del bisogno. Ma se il lavoro è intenso e prolungato può succedere che venga esaurita la riserva di ATP. Subentra la stanchezza, ma diversamente dal motore che cessa di funzionare per mancanza di benzina, seppure a ritmi più blandi, le cellule muscolari continuano invece a funzionare.

Sarebbe un errore pensare che lo zucchero venga velocemente demolito per ottenere nuova energia e quindi nuovo ATP, in quanto, come sopra visto, si tratta di un processo complesso e quindi relativamente lungo, comunque non sufficientemente veloce da mantenere il ritmo della richiesta energetica. Succede allora che lo zucchero subisce il processo di glicolisi anaerobica, relativamente breve e capace di fornire un po' di energia, quella sufficiente a tamponare il deficit dovuto allo sforzo eccessivo (la produzione dovuta al complesso ciclo di Krebs non riesce a sostenere la richiesta di energia).

La conseguenza è un accentuato accumulo di acido piruvico che le cellule tollerano molto poco; esso viene pertanto provvisoriamente trasformato in acido lattico, responsabile del dolore muscolare.

Successivamente, in condizioni di riposo, l'acido lattico viene trasformato nuovamente in acido piruvico che viene, a sua volta, utilizzato nel ciclo di Krebs per essere definitivamente demolito con ricostituzione della riserva di ATP. Man mano l'acido lattico viene consumato e il dolore muscolare svanisce.



## 18 - RESPIRAZIONE ANAEROBICA

La respirazione aerobica è un processo in cui l'ossigeno funziona come *ossidante*, unendosi all'idrogeno proveniente dalla demolizione della sostanza organica con conseguente formazione di  $\text{H}_2\text{O}$ . Vi è un'altro processo in cui, invece dell'ossigeno, vengono utilizzati ossidanti inorganici diversi: la **respirazione anaerobica**. Negli organismi **anaerobi**, il prodotto della glicolisi viene distrutto da un ossidante che non è l'ossigeno. I *batteri desolfonizzanti*, per esempio, utilizzano solfati ( $\text{SO}_4^{2-}$ , derivati dall'acido solforico  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ); in questo caso è lo zolfo (S) che si unisce all'idrogeno e il prodotto finale, insieme all'anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ), non è più l'acqua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), ma l'acido solfidrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), dal caratteristico odore di uova marce. È utile confrontare le sintesi dei processi aerobico e anaerobico nel seguente modo:

**sostanza organica +  $\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{E}$  (respirazione aerobica)**

**sostanza organica +  $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} + \text{E}$  (respirazione anaerobica)**

L'energia liberata (E) viene successivamente "imprigionata" come ATP. I *batteri denitrificanti* utilizzano nitrati ( $\text{NO}_3^-$ , derivati dall'acido nitrico  $\text{HNO}_3$ ); in questo caso l'accettore di idrogeno è l'azoto (N) e il prodotto finale è l'ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ):

**sostanza organica +  $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{E}$**

Gli organismi anaerobi sono essenzialmente batteri e funghi microscopici, molti dei quali sono in grado di compiere anche processi aerobici se nell'ambiente è presente l'ossigeno. Negli ambienti acquatici, per esempio, possono instaurarsi condizioni anossiche; in tali situazioni gli organismi aerobi vengono sostituiti da quelli anaerobi che proseguono la demolizione della sostanza organica.

### Perché il letame puzza?

Il letame è sterco di bovini (o di equini o di suini). Spesso nelle campagne osserviamo mucchi di varie dimensioni, vicino alle stalle o in prossimità dei campi, per essere utilizzato come concime. Gli escrementi di tali animali sono residui vegetali non digeriti e perciò espulsi come deiezioni. Si tratta di sostanza organica che ha una caratteristica particolare: è ricca di vita, biologicamente molto attiva, cioè substrato nutritivo per una miriade di microrganismi. Si tratta soprattutto di batteri che si nutrono di tale materia, gran parte della quale viene demolita allo scopo di ottenere energia (costruire ATP) mediante processi aerobici; in tal modo la sostanza organica viene mineralizzata, cioè ridotta a sostanze semplici quali sali minerali, molto utili per la crescita delle piante (per tale motivo il letame viene utilizzato per concimare i campi).

Il processo di demolizione comporta quindi consumo di ossigeno; questo è sempre disponibile ed abbondante in corrispondenza delle porzioni più superficiali dei mucchi di letame, in quanto a diretto contatto con l'aria. Nelle porzioni più profonde, in poche ore l'ossigeno viene consumato e non può essere sostituito da nuovo ossigeno dell'aria che non riesce a circolare nell'interno del mucchio. In assenza di ossigeno la demolizione biologica della materia organica non si arresta, ma continua grazie all'intervento di microrganismi anaerobi (oppure quelli precedenti capaci di comportarsi anche come anaerobi in assenza di ossigeno). Mediante i processi aerobici si ha produzione di  $\text{CO}_2$  e di  $\text{H}_2\text{O}$ ; mediante i processi anaerobici, insieme alla  $\text{CO}_2$ , si ha produzione di sostanze come  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{NH}_3$ , tipicamente puzzolenti. Se il mucchio di letame venisse rivoltato arieggiandolo si renderebbe nuovamente disponibile abbondante ossigeno che immediatamente favorirebbe la ripresa dei processi aerobici, mentre cesserebbe la produzione di  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{NH}_3$ ; il letame non puzzerebbe più (o quasi).

In linea di massima la puzza è conseguenza di condizioni di anaerobiosi in ambienti ricchi di sostanza organica, come presso i fondali di stagni e di paludi o nelle fogne. La puzza di piedi è conseguenza della demolizione anaerobica di frammenti della porzione più superficiale della pelle che si stacca (nelle scarpe l'aria non circola bene e viene a mancare il "rifornimento" di ossigeno). Normalmente gli impianti di compostaggio (produzione di humus e/o di ammendanti o concimi organici a partire dai rifiuti organici) non producono cattivi odori, in quanto si favorisce la massima circolazione dell'aria, al fine di garantire processi di demolizione aerobica. Processi anaerobici avvengono anche nell'intestino, ambiente chiuso nel quale non può circolare l'aria e popolato da microrganismi ovviamente anaerobi; per tale ragione gli escrementi puzzano.

Il risultato della respirazione aerobica o anaerobica è in genere l'ossidazione completa del substrato organico con utilizzo di ossigeno o di altri ossidanti; i soli prodotti finali sono sostanze inorganiche semplici quali  $\text{CO}_2$  e composti di idrogeno ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,...). In alcuni organismi si ha l'**ossidazione incompleta** per cui si accumulano prodotti finali organici. Anche in questi casi si tratta di batteri; per esempio l'*Acetobacter aceti*, partendo da un substrato organico quale l'alcool etilico ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$ ), tramite una ossidazione incompleta, arriva a produrre acido acetico ( $\text{CH}_3\text{-COOH}$ ) che elimina ottenendo, pur se con basso rendimento, energia per produrre ATP:



La **fermentazione** avviene in condizione di anaerobiosi. Le prime tappe dei processi fermentativi sono uguali a quelle della respirazione aerobica ed anaerobica con formazione di acido piruvico; questo subisce poi una serie di reazioni che portano a prodotti secondari di natura organica ed alla liberazione di energia per la formazione di ATP. Un esempio è la fermentazione lattica compiuta dal batterio *Escherichia coli* (facente parte della flora intestinale) e da altri (responsabili dell'acidificazione del latte); i microrganismi utilizzano lo zucchero presente nel latte nel seguente modo:



**Importanza della fermentazione per l'uomo.** Oltre a quella lattica esistono vari altri tipi di fermentazione a seconda del substrato organico (nutrimento per i microrganismi). Un esempio importante è la produzione di antibiotici, che sono sostanze di rifiuto prodotte da muffe (funghi microscopici); il classico esempio è la Penicillina derivante dall'attività del microrganismo *Penicillium*.<sup>1</sup>

tipo di fermentazione	substrato organico (nutrimento per i microrganismi)	microrganismi	prodotti finali
<i>lattica</i>	zuccheri presenti nel latte	Batteri ( <i>Escherichia</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Lactobacillus</i> ,...)	<b>acido lattico</b> (es. nello yogurt)
<i>butirrica o acetobutirrica</i>	amido presente nei cereali, nelle patate, melassa di canna,...	Batteri ( <i>Clostridium</i> )	<b>alcool</b> (butilico, etilico), <b>acetone</b> , <b>acidi</b> (butirrico, acetico, formico,...)
<i>alcolica</i> <sup>2</sup>	zuccheri (glucosio e fruttosio) dei mosti uva, fichi, carrube, mele,...	Funghi (lieviti)	<b>alcool etilico</b>
<i>propionica</i> <sup>3</sup>	zuccheri, acido lattico, glicerina,...	Batteri ( <i>Propionibacterium</i> )	<b>acido propionico, acetico e succinico</b>
<i>acetica</i> <sup>4</sup>	alcool etilico	Batteri	<b>acido acetico</b>
<i>citrica</i> <sup>5</sup>	saccarosio	Funghi ( <i>Aspergillus</i> )	<b>acido citrico</b>

<sup>1</sup> Importante scoperta scientifica ad opera di A. FLEMING (1929).

<sup>2</sup> Un particolare tipo di fermentazione alcolica è quella che avviene nel processo di panificazione. Essa agisce sull'amido contenuto nella pasta (farine). Il processo, come sopra visto, comporta anche la liberazione di  $\text{CO}_2$  che forma "bolle" trattenute nella pasta che quindi si gonfia diventando soffice. Vengono prodotti anche alcool etilico (eliminato durante la cottura) ed altre sostanze in quantità piccolissime, ma sufficienti a conferire il classico aroma al pane. Il microrganismo agente è un fungo (un lievito: *Saccharomyces cerevisiae*) che viene aggiunto all'impasto (farina, acqua, sale,...).

<sup>3</sup> Alla  $\text{CO}_2$  che si sviluppa in questo processo sono dovuti, durante la maturazione del "formaggio svizzero", i caratteristici "buchi".

<sup>4</sup> Pur essendo un processo classificato tra le fermentazioni è in realtà un'ossidazione incompleta. È responsabile della formazione dell'aceto di vino.

<sup>5</sup> Anche in questo caso si tratta di un'ossidazione incompleta. Si tratta di un processo utilizzato nell'industria farmaceutica.

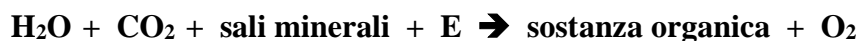
### **Le discariche puzzano!**

I grandi accumuli di rifiuti comprendono anche molta sostanza organica che, essendo sepolta e quindi isolata dall'aria e dall'ossigeno, si trova in condizioni anossiche che, come precedentemente illustrato, favoriscono l'attività di organismi anaerobi e quindi la produzione di prodotti metabolici "puzzolenti". Agiscono anche microrganismi fermentativi con la conseguente liberazione di gas infiammabili (le torce che bruciano sopra le discariche). Anche il metano ha origini simili, cioè da processi di decomposizione di grandi ammassi vegetali (accumulatisi milioni di anni fa) in condizioni anossiche.

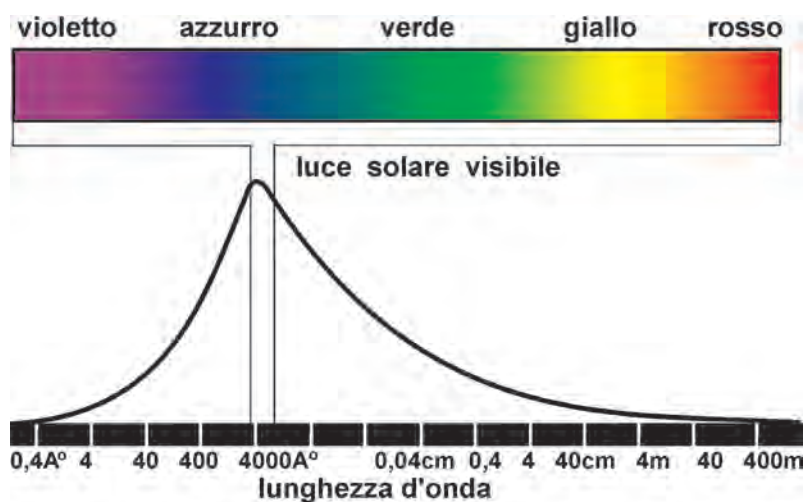
La **proteolisi** viene compiuta dai "*batteri proteolitici*" che utilizzano, come substrato organico, composti proteici; le proteine vengono inizialmente demolite in aminoacidi, a loro volta demoliti con formazione di acido piruvico e ammoniaca. L'acido piruvico può quindi essere fermentato, parzialmente o completamente ossidato per via aerobica o anaerobica. L'ammoniaca, che in questo caso è sempre presente tra i prodotti, proviene dal gruppo amminico presente negli aminoacidi.

## 19 - AUTOTROFIA

I sistemi di produzione di energia visti fino ad ora sono quelli utilizzati da tutti gli organismi a partire da sostanza organica. Quelli eterotrofi si procurano sostanza organica dall'esterno. Ve ne sono altri (**autotrofi**) in grado, a partire da *sostanze inorganiche semplici* (**acqua**, **anidride carbonica** e **sali**) quali fonti di carbonio (C), idrogeno (H), ossigeno (O), azoto (N) e altri elementi in piccolissime quantità, di costruire *sostanze organiche complesse* (per esempio zuccheri). Le sostanze organiche, di cui sono costituiti gli stessi organismi e/o utilizzate per i processi metabolici, sono costituite da una "impalcatura" di atomi detti "*elementi primari plastici*" (C, H, O e N); in essa entrano a far parte altri elementi (zolfo nelle proteine, fosforo negli acidi nucleici, ferro nell'emoglobina,...) che derivano dai sali minerali (cfr. capitoli 1 e 4). Il processo compiuto dagli organismi autotrofi è il seguente:



CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O non sono più prodotti come accade nei processi descritti nei capitoli 17 e 18, ma i reagenti di partenza, cioè materie prime assunte dall'ambiente. Il risultato è costituito da complesse molecole organiche "rifinite" con atomi metallici derivanti dai sali minerali (nutrienti) sciolti nell'acqua. Si tratta di un processo anabolico poiché comporta la costruzione di complesse molecole organiche a partire da semplici composti inorganici. Il simbolo di energia (E) compare a sinistra dell'equazione, ma potrebbe essere segnato a destra con segno negativo; ciò significa che si tratta di un processo endoergonico (cfr. capitolo 16).



Trattandosi di un processo endoergonico è necessaria una fonte di energia. Quando questa è rappresentata da onde elettromagnetiche nel campo del visibile (luce) si utilizza il termine "**fotosintesi**" (per esempio piante verdi e fitoplancton).

Vi sono organismi fotosintetici in grado di utilizzare altri donatori di ossigeno tra i quali, per esempio, l'idrogeno solforato (H<sub>2</sub>S). In questo caso il prodotto finale anziché ossigeno è lo zolfo elementare:



In generale la sostanza organica costruita da un fotoautotrofo può essere utilizzata dallo stesso organismo per aggiungere materia di cui esso stesso è costituito, oppure può essere demolita secondo uno dei processi aerobici o anaerobici illustrati nei capitoli 17 e 18. Infatti anche un vivente autotrofo deve produrre ATP dal quale attingere energia per tutte le funzioni vitali. La differenza rispetto ad un eterotrofo consiste nel modo di procurarsi sostanza organica: costruendosela per il primo ed assumendola dall'esterno per il secondo. Pertanto un'alga o una quercia compiono sia il processo di fotosintesi, sia quello di respirazione aerobica; si potrebbe pensare che producano tanto ossigeno quanto ne consumano. In realtà la massa di sostanza organica costruita rispetto a quella distrutta è maggiore, altrimenti non vi sarebbe accrescimento; quindi è complessivamente maggiore la quantità di ossigeno prodotto rispetto a quello consumato dallo stesso vegetale, a vantaggio degli organismi eterotrofi che sono esclusivamente consumatori.

Una quercia, nell'inverno, non compie processi (o quasi) cioè presenta un metabolismo prossimo allo zero, quindi non produce e non consuma; come se non esistesse. Durante la stagione calda produce più sostanza organica di quanta ne consuma e per tale motivo cresce, cioè aumenta di massa. La giornata di 24 ore è divisa in un periodo di buio ed uno di luce. Nella notte la pianta demolisce (con la respirazione aerobica) sostanza organica per ottenere energia per produrre ATP. Durante il periodo di luce, oltre ai processi di demolizione, attiva anche quelli di produzione di sostanza organica (fotosintesi). Le quantità di sostanza organica e di ossigeno prodotte durante il periodo di luce sono superiori a quelle demolite e consumate nell'arco delle 24 ore.

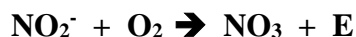
Un organismo fotoautotrofo per crescere deve aumentare la sua massa organica, cioè deve essere positivo il bilancio tra produzione e consumo (la prima superiore al secondo). La conseguenza è un surplus di ossigeno (ne viene prodotto più di quanto ne viene consumato). Questo surplus è all'origine della presenza di ossigeno nell'atmosfera e nelle acque dei fiumi, dei laghi e dei mari. La maggior parte dell'ossigeno presente sul nostro pianeta viene prodotto dagli organismi vegetali acquatici. Sebbene le foreste, nel bilancio globale dei gas presenti nell'atmosfera, siano molto importanti nell'assorbire CO<sub>2</sub> e nell'emettere O<sub>2</sub>, maggiore è il contributo dei piccolissimi organismi costituenti il fitoplancton degli oceani che riforniscono le acque (e quindi l'atmosfera) di ossigeno.

Alcuni affermano che non bisogna tenere piante da appartamento nelle camere da letto. Durante la notte, secondo costoro, tali piante non fotosintetizzando, si comportano come qualsiasi eterotrofo, limitandosi a consumare ossigeno, che viene così sottratto alle persone e a produrre CO<sub>2</sub>, contribuendo all'inquinamento dell'aria nella camera. Tali affermazioni contengono un poco di vero, ma bisogna ragionare sulle quantità in gioco. L'O<sub>2</sub> consumato e la CO<sub>2</sub> prodotta da alcune piante in vaso durante la notte sono quantità molto piccole rispetto a quelle dovute alla presenza di una persona. Se veramente occorresse tenere conto di tale preoccupazione, allora bisognerebbe dormire in una camera sempre soli, in quanto una persona in più consumerebbe più O<sub>2</sub> di quanto ne consumerebbero numerose piante in vaso; oppure bisognerebbe dormire con la finestra sempre spalancata, anche in inverno. Se anche le piante (o più persone che dormono nella stessa camera) consumassero tanto ossigeno e quindi ve ne fosse molto meno da respirare, non succederebbe proprio nulla. All'altitudine di 2.000 m s.l.m. la pressione dell'aria è minore, con un 25 % di O<sub>2</sub> in meno rispetto alla pianura; eppure si respira bene; anzi si ha l'impressione di respirare meglio in montagna, a meno che non si vada troppo in alto. Inoltre la CO<sub>2</sub> non è un gas tossico; nella camera da letto ve ne potrebbe essere anche il doppio, il triplo o anche dieci volte di più e nessuno si accorgerebbe di nulla. In conclusione, se piace l'arredamento con piante vive, non vi sono ragioni igieniche per rinunciarvi; anzi, durante l'inverno, la presenza di tali piante contribuisce a mantenere più alto il tasso di umidità negli appartamenti, solitamente troppo caldi e "secchi" (quindi dannosi all'apparato respiratorio) a causa del riscaldamento artificiale.

Alcuni autotrofi, invece di sfruttare la luce quale fonte di energia, utilizzano sostanze inorganiche che vengono ossidate con consumo di ossigeno e liberazione di energia che viene utilizzata per i processi di sintesi di molecole organiche (**chemiotrofismo**). Sono organismi chemiotrofi i *batteri nitrificanti* che compiono l'ossidazione di ammoniaca a nitrato. Batteri del genere *Nitrosomonas* ottengono energia nel seguente modo:



Questi batteri, che si trovano nel suolo o nelle acque, liberano acido nitroso (HNO<sub>2</sub>) che si può scindere in ioni idrogeno (H<sup>+</sup>) e anioni NO<sub>2</sub><sup>-</sup> agendo come fonte di nitriti. Questi ultimi possono ancora essere ossidati, dagli altri batteri, a nitrati (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dall'acido nitrico HNO<sub>3</sub>), sali nutrienti molto importanti per i vegetali:



I *solfobatteri*, come quelli del genere *Beggiatoa*, ossidano l'idrogeno solforato a zolfo elementare (S):



Altri solfobatteri, come alcuni del genere *Thiobacillus*, ossidano lo zolfo elementare ad acido solforico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) che può essere fonte di solfati (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) per i vegetali:



Fra i chemioautotrofi vi sono infine da ricordare i *ferrobatteri*, che compiono l'ossidazione del ferro bivalente (Fe<sup>2+</sup>) a ferro trivalente (Fe<sup>3+</sup>).

In sintesi, gli organismi autotrofi costruiscono complesse sostanze organiche; queste vengono utilizzate dagli stessi con le identiche modalità degli eterotrofi, in quanto l'obiettivo principale per tutti è la costituzione di una riserva di adenosintrifosfato (ATP). Le differenze metaboliche tra gli organismi dipendono dal modo con cui si procurano la sostanza organica (autotrofia o eterotrofia) e dal modo con cui la demoliscono per ottenere energia per ottenere ATP (glicolisi, ossidazione, fermentazione,...). Per comprendere bene il ruolo di un organismo nell'ambiente circostante, la classificazione dei processi metabolici con i quali ricava energia è molto importante.

Più di 3 - 4 miliardi di anni fa sulla Terra non esisteva vita e non c'era ossigeno nelle acque e nell'atmosfera. Pertanto i primi semplici organismi dovevano essere tutti eterotrofi e chemioautotrofi anaerobi. Circa 1,5 - 2 miliardi di anni fa comparvero i primi organismi fotoautotrofi e quindi iniziò la produzione di ossigeno che andò ad arricchire prima le acque degli oceani e poi l'atmosfera. La disponibilità di ossigeno ha poi permesso l'affermazione dei processi metabolici aerobi che, rispetto a quelli anaerobici, sono caratterizzati da un miglio rendimento energetico.

La presenza di ossigeno nell'atmosfera ha permesso lo sviluppo della barriera di ozono nei suoi strati superiori. L'ozono infatti si forma dal bombardamento dei raggi ultravioletti (UV) sull'ossigeno stesso. Tale barriera, a sua volta, limita fortemente l'intensità delle radiazioni ultraviolette sulla superficie della Terra. Nell'acqua i raggi UV sono fermati, per la maggior parte, già dallo strato più superficiale di pochi centimetri). I raggi UV sono letali per gli organismi e prima dell'arricchimento di ossigeno nell'atmosfera (più o meno un miliardo di anni fa) e quindi prima della formazione della barriera di ozono, la vita era impossibile fuori dai mari. Circa 800 milioni di anni fa, grazie alla barriera di ozono, iniziò la colonizzazione delle terre emerse.

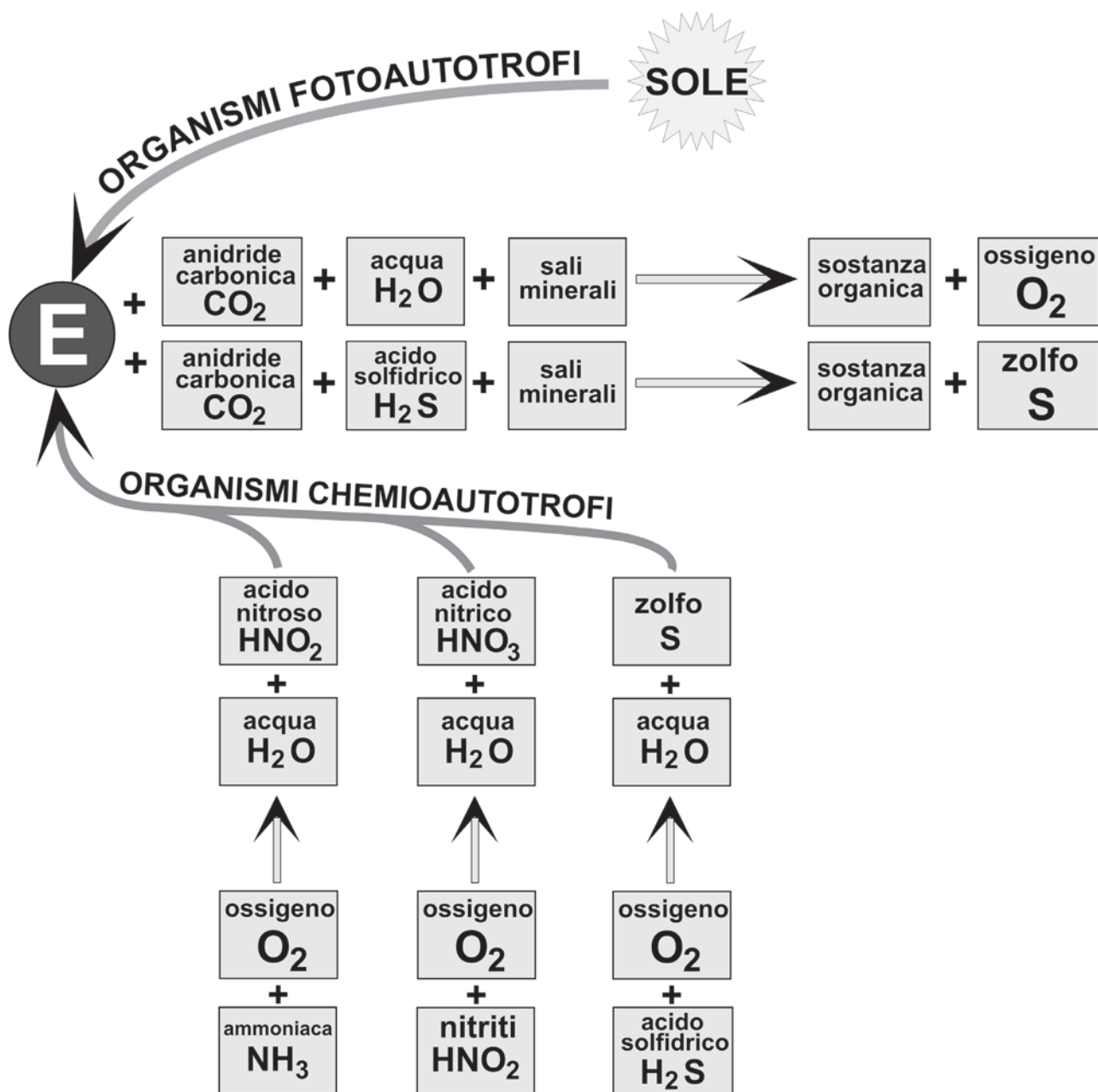


## 20 - METABOLISMO E CLASSIFICAZIONE

Riassumendo quanto visto nei precedenti capitoli possiamo distinguere gli organismi in due grandi categorie:

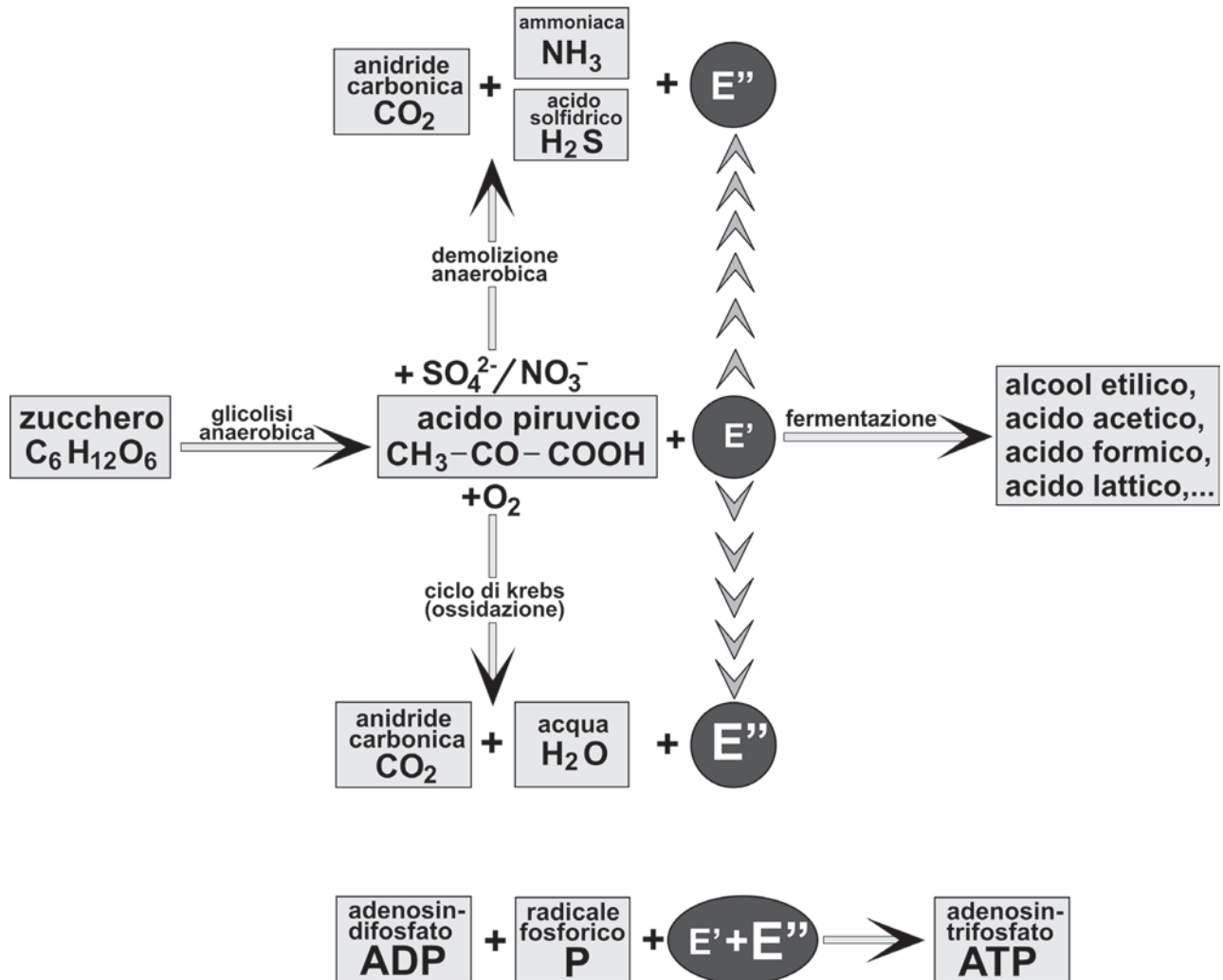
**eterotrofi** - si procurano sostanza organica (come cibo) dall'esterno; le modalità con le quali svolgono tale funzione permettono di stabilire ulteriori distinzioni (erbivori, carnivori, onnivori, detritivori,...);

**autotrofi** - si costruiscono sostanza organica utilizzando sostanze inorganiche semplici ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , sali minerali di azoto, fosforo, zolfo,...); a seconda della fonte energetica utilizzata si possono distinguere i fotoautotrofi (energia luminosa) dai chemioautotrofi (energia chimica).



Un determinato organismo, autotrofo od eterotrofo, utilizza la sostanza organica in diversi modi; una parte per funzioni plastiche (crescita e sostituzione delle porzioni del corpo danneggiate), una parte per funzioni dinamiche (corretto funzionamento di ogni parte del corpo) ed una parte (la più consistente, costituita da zuccheri) per funzioni energetiche o meglio per costruire ATP a partire dalla demolizione della sostanza organica. Le modalità con le quali vengono demolite le sostanze organiche permettono di individuare due importanti categorie di organismi:

- aerobi** - utilizzano l'ossigeno per la demolizione dell'acido piruvico ottenuto dalla glicolisi anaerobica dello zucchero;
- anaerobi** - utilizzano ossidanti diversi dall'ossigeno per la demolizione dell'acido piruvico ottenuto dalla glicolisi anaerobica dello zucchero, oppure trasformano l'acido piruvico in altre sostanze (fermentazione).



Continuando il ragionamento per cui è possibile distinguere gli organismi in grandi categorie, è possibile proporre le seguenti distinzioni:

- unicellulari** - organismi costituiti da una sola cellula;
- pluricellulari** - organismi costituiti da numerose cellule.









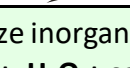

Oppure in base al livello di organizzazione delle cellule che costituiscono gli organismi, indipendentemente dal fatto che siano uni o pluricellulari:

- procarioti** - organismi formati da cellule con organizzazione primitiva, piuttosto semplice (con nucleo non evidente) e di dimensioni molto limitate;
- eucarioti** - organismi formati da cellule con organizzazione evoluta, piuttosto complessa (con nucleo più o meno evidente) e di maggiori dimensioni.

Dunque gli organismi possono essere classificati in base al fatto che siano costituiti da una o più cellule (**uni/pluricellulari**), che siano primitivi o evoluti in termini di livello organizzativo citologico (**pro/eucarioti**), che utilizzano o meno l'ossigeno (**ana/aerobi**) ed infine a seconda di come di procurano la sostanza organica di cui hanno bisogno (**etero/autotrofi**). Proviamo con alcuni esempi:

- l'uomo è un organismo *pluricellulare, eucariota, eterotrofo* ed *aerobio* (come tutti gli animali invertebrati e vertebrati);
- l'abete è un organismo *pluricellulare, eucariota, autotrofo* ed *aerobio* (come tutte le piante primitive e complesse);
- il paramecio (un protozoo visibile al microscopio) è un organismo *uniricellulare, eucariota, eterotrofo* ed *aerobio*;
- il lievito (fungo microscopico) è un organismo *uniricellulare, eucariota, eterotrofo* ed *anaerobio*;
- la streptococco (batterio della fermentazione lattica) è un organismo *uniricellulare, procariota, eterotrofo* ed *anaerobio*.

Si potrebbero citare numerosi altri esempi. L'utilizzo delle definizioni/distinzioni sopra citate è importante per comprendere bene il ruolo dei diversi organismi in Natura.

SCHEMA DEI PRINCIPALI PROCESSI METABOLICI.					
RESPIRAZIONE AEROBICA (organismi aerobi eterotrofi e autotrofi)					
zucchero $C_6H_{12}O_6$	glicolisi anaerobica	acido piruvico + <b>energia</b> $CH_3-CO-COOH + E'$	Ciclo di Krebs (+ $O_2$ )		Cataboliti + <b>energia</b> $CO_2 + H_2O + E''$
RESPIRAZIONE ANAEROBICA (organismi anaerobi, quasi tutti eterotrofi)					
zucchero $C_6H_{12}O_6$	glicolisi anaerobica	acido piruvico + <b>energia</b> $CH_3-CO-COOH + E'$	solforati + $SO_4^{2-}$		Cataboliti + <b>energia</b> $CO_2 + H_2S + E''$
			+ $NO_3^-$ nitrati		$CO_2 + NH_3 + E''$ Cataboliti + <b>energia</b>
FERMENTAZIONE (organismi anaerobi eterotrofi)					
zucchero $C_6H_{12}O_6$	glicolisi anaerobica	acido piruvico + <b>energia</b> $CH_3-CO-COOH + E$	fermentazione		Acido lattico
			fermentazione		Alcool etilico
FOTOSINTESI (organismi fotoautotrofi)					
Sostanze inorganiche semplici $CO_2 + H_2O + \text{sali minerali} + E$			fotosintesi		Sostanza organica + $O_2$
CHEMIOSINTESI (organismi chemioautotrofi)					
$NH_3 + O_2$		$H^+ + NO_2^- + E$			
$NO_2^- + O_2$		$H^+ + NO_3^- + E$			
$H_2S + O_2$		$S + H_2O + E$			
$S + H_2O + O_2$		$2H^+ + SO_4 + E$			
Sostanze inorganiche semplici $CO_2 + H_2O + \text{sali minerali}$			+ Energia chimica (E)		Sostanza organica + $O_2$

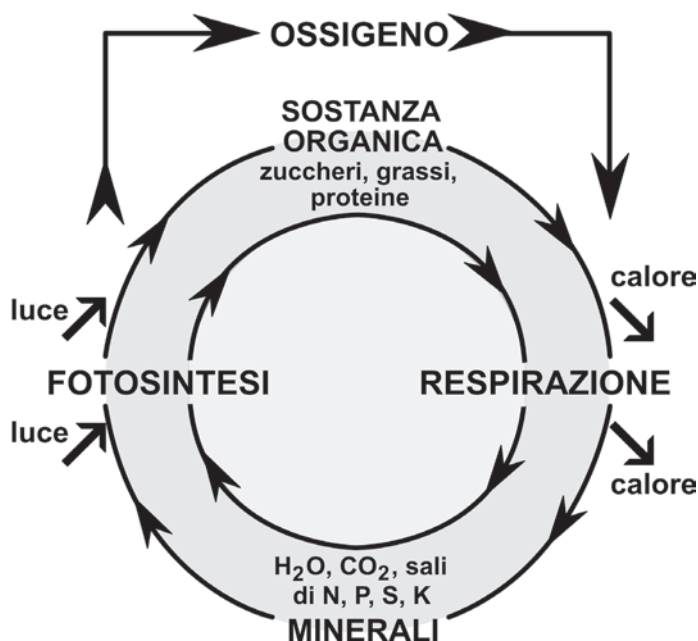
## 21 - CICLO DEL CARBONIO

Tutte le sostanze possono essere distinte in due grandi categorie: **composti organici** e **composti inorganici** (vedi **scheda 2**). I primi sono legati ai viventi (biosfera) e i secondi al dominio minerale (ambiente fisico). Quali sono, nelle acque e negli ecosistemi terrestri, i processi naturali che legano, o meglio che rendono interdipendenti il regno organico e quello inorganico, il regno vivente (l'ambiente biologico) e quello minerale (l'ambiente fisico)? A questo quesito, semplificando molto, si può rispondere citando due processi biologici fondamentali: la **fotosintesi** e la **respirazione**.

I vegetali, attraverso la fotosintesi (cfr. capitolo 19), sono in grado di “costruirsi” la materia di cui essi stessi sono costituiti. I vegetali possono essere definiti **organismi autotrofi** (dal greco “*trophe*” = nutrizione; **auto** - sufficienti) oppure **organismi produttori**. La fotosintesi è il processo che consente alla materia di passare dallo stato inorganico a quello organico (*organizzazione*).

Un organismo animale (**eterotrofo**) deve utilizzare, come fonte di accrescimento, sostanza organica “già costruita”. È un **organismo consumatore**; deve cioè cibarsi direttamente di vegetali se erbivoro, di animali erbivori se carnivoro; oppure può essere un **organismo decompositore** (vermi, insetti, batteri,...), un consumatore che utilizza, come fonte di cibo, detriti o rifiuti organici, spoglie di altri organismi o loro residui. Gran parte del materiale organico utilizzato dai decompositori come cibo viene “demolito”, con consumo di ossigeno e conseguente produzione di rifiuti quali acqua e anidride carbonica, secondo un processo inverso a quello della fotosintesi. Questo processo (cfr. capitoli 17 e 18) non è esclusivo degli eterotrofi, è presente anche negli autotrofi e viene utilizzato dagli organismi allo scopo di ottenere energia per tutte le attività metaboliche (costruire ATP). La respirazione è il processo che permette alla materia di passare dallo stato organico a quello inorganico (*mineralizzazione*).

Se con la fotosintesi avviene la trasformazione da sostanze inorganiche semplici a sostanze organiche complesse (con consumo di energia e produzione di ossigeno), con la respirazione accade l'opposto e si viene così a chiudere il ciclo regno organico/regno minerale.



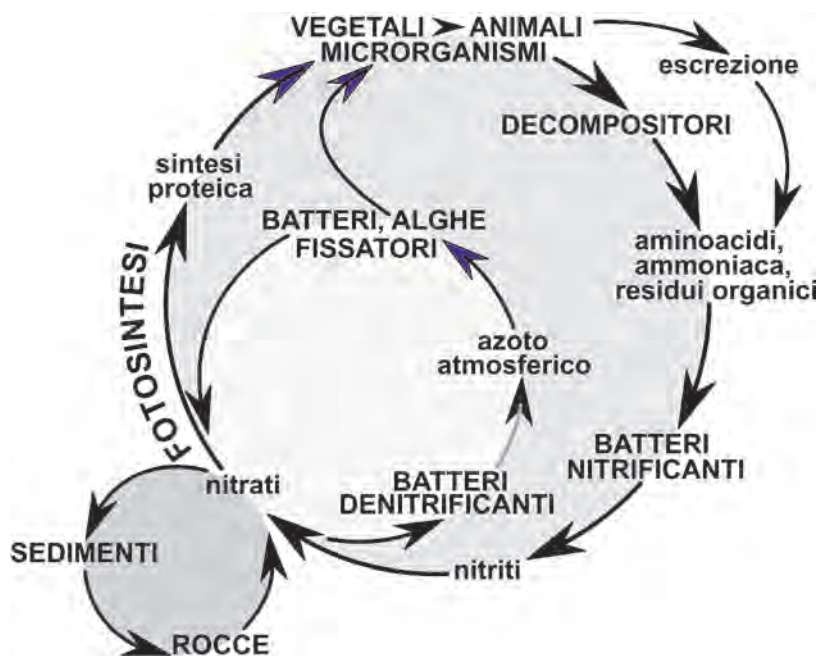
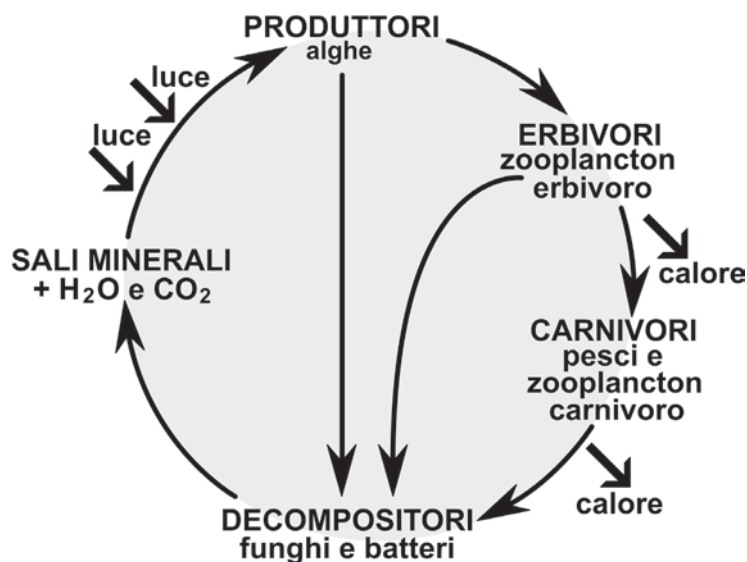
Il **ciclo del carbonio** appena descritto è molto importante per lo studio degli ambienti naturali, acquatici o terrestri. Consideriamo, quale esempio, un piccolo lago. Le acque sono popolate da tanti organismi, tra i quali numerosi sono quelli visibili solo al microscopio; essi sono incapaci di compiere veri e propri spostamenti e rimangono più o meno “sospesi” nel mezzo acquoso circostante. L'insieme di quei piccoli esseri costituisce il **plancton**. Una parte di quegli organismi (il **fitoplancton**) è costituito da vegetali in grado di compiere il processo di fotosintesi. Essi si accrescono e si riproducono utilizzando l'acqua del lago, la  $CO_2$  e i sali in essa disciolti e sfruttando l'energia della luce solare che riesce a penetrare per qualche metro in profondità. Il fitoplancton costituisce il “pascolo” per lo **zooplancton** (plancton animale), che ottiene energia per mezzo della respirazione.

Il plancton costituisce cibo per organismi di maggiori dimensioni quali i piccoli pesci. Questi, a loro volta, sono prede di pesci più grandi e così via fino agli uccelli acquatici e ad altri predatori, uomo compreso. È questa una **catena alimentare** il cui primo anello (o livello trofico) comprende gli organismi vegetali (i produttori come il fitoplancton), il secondo anello comprende gli erbivori (i consumatori primari come lo zooplancton), il terzo i carnivori (i consumatori secondari come i piccoli pesci), e così via... Un luccio, un martin pescatore, una lontra, l'uomo, si trovano in corrispondenza degli ultimi livelli trofici.

Mentre i produttori trasformano sostanza inorganica in organica, i consumatori utilizzano quest'ultima demolendola nei loro apparati digerenti e producendo scorie costituite da composti inorganici (acqua, anidride carbonica,...) e da residui organici (escrementi) che vengono dispersi nell'ambiente circostante.

costituendo “cibo” per microrganismi (per lo più batteri e funghi decompositori) che completano la demolizione fino a semplici composti inorganici nuovamente a disposizione dei produttori. Il carbonio è soltanto uno dei numerosi elementi che viene coinvolto nei cicli della materia. L’ossigeno e l’idrogeno sono dipendenti dai cicli del carbonio e dell’acqua, mentre il ciclo dell’azoto merita alcune considerazioni.

L'azoto è un elemento fondamentale per la sintesi proteica; gli aminoacidi infatti sono costituiti da un atomo di carbonio posto al centro di un tetraedro di cui uno dei vertici è costituito da un gruppo amminico ( $-\text{NH}_2$ ). L'**azoto** può essere considerato un elemento rifinitore di estrema importanza nell'intelaiatura del reticolo di atomi costituenti le proteine. Esso si trova nelle acque (nel terreno, nei laghi, nei mari,...) a formare sali, quali prevalentemente nitrati, nitriti o sali ammoniacali negli ambienti poveri di ossigeno. L'azoto viene organicato grazie ai produttori; i vegetali terrestri assorbono, con le radici, l'acqua del terreno e quindi anche i sali di azoto in essa disciolti; i vegetali acquatici (idrofite e fitoplancton) assorbono l'acqua (ed i sali) nella quale sono immersi.



La mineralizzazione dell'azoto organico avviene in diverse tappe. L'azione dei decompositori sulle spoglie e sui residui degli organismi vegetali ed animali porta alla formazione di composti dell'azoto con struttura molecolare più semplice. Questi sono ossidati da organismi chemiosintetici (batteri nitrificanti; cfr. capitolo 19) con conseguente formazione di nitriti e successivamente di nitrati. Una parte può combinarsi con altre sostanze per formare, in ambienti chimici particolari o in eccezionali condizioni di sovrassaturazione, sali insolubili che si accumulano nei sedimenti venendo così sottratti al ciclo. Tuttavia l'azoto che viene così perso viene rimpiazzato da quello derivante dall'azione chimica ed erosiva dell'acqua sulle

rocce affioranti, soprattutto dove i processi di pedogenesi sono maggiormente accentuati; l'azoto "imprigionato" nei sedimenti può ritornare, in tempi geologici, ad essere nuovamente disponibile grazie alle orogenesi (movimenti della crosta terrestre).

In ambienti poveri di ossigeno o del tutto anossici i nitrati possono essere utilizzati come ossidanti dai batteri denitrificanti con conseguente liberazione di azoto allo stato elementare che ritorna all'atmosfera. Esso viene rimpiazzato da organismi fissatori in grado di utilizzare direttamente le molecole biatomiche dell'azoto libero per edificare molecole organiche; si tratta di un numero relativamente piccolo di batteri e di alghe azzurre (Cianofita).

Un gruppo di elementi (detti “secondari indispensabili” od “oligodinamici”; cfr. capitolo 1) comprende lo zolfo, il sodio, il potassio, il calcio, ecc... Insieme costituiscono mediamente il 2 % in peso dei viventi, ma sono indispensabili per tutti i processi vitali. Fra essi il più importante, come percentuale in peso, è il fosforo con un rapporto, rispetto all’azoto, di circa 1:10. In realtà tutti gli elementi sono importanti e quindi si dovrebbe studiare tutti cicli relativi, ma questo costituisce un argomento dell’ecologia.