

Scienze C3

Chimica organica, biochimica,
scienze della Terra



Creative Commons BY-NC-SA

ISBN 9788896354414

Scienze C3

Chimica organica, biochimica, scienze della Terra

Autori

Prima stesura: Anna La Guardia

Seconda stesura: Anna Rainone

Coordinamento editoriale: Antonio Bernardo

Immagini realizzate da Ginger Lab - www.gingerlab.it

© Matematicamente.it

www.matematicamente.it - info@matematicamente.it

Febbraio 2012

ISBN 9788896354414

Progetto Educationalab

Mobility IT srl

Questo libro è rilasciato con licenza

Creative Commons BY-NC-SA

Attribuzione – Non commerciale - Condividi allo stesso modo 3.0

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/legalcode>

versione del 23/04/2013

Presentazione

Questo ebook fa parte di una collana di ebook con licenza Creative Commons BY-SA per la scuola. Il titolo Scienze C3 vuole indicare che il progetto è stato realizzato in modalità Collaborativa e con licenza Creative Commons, da cui le tre “C” del titolo. Non vuole essere un trattato completo sull’argomento ma una sintesi sulla quale l’insegnante può basare la sua lezione, indicando poi testi e altre fonti per gli approfondimenti. Lo studente può consultarlo come riferimento essenziale da cui partire per approfondire. In sostanza l’idea è stata quella di indicare il nocciolo essenziale della disciplina, nocciolo largamente condiviso dagli insegnanti. La licenza Creative Commons scelta permette non solo di fruire liberamente l’ebook ma anche di modificarlo e personalizzarlo secondo le esigenze dell’insegnante e della classe. Chiunque può contribuire a migliorare questo ebook, segnalando integrazioni, modifiche e sviste al coordinatore del progetto antoniobernardo@matematicamente.it.

INDICE

Presentazione	3
INDICE	4
1 Avvio alla chimica organica	8
1.1 La chimica organica	8
1.2 I legami del carbonio nei suoi composti	8
1.3 Catene carboniose e classificazione degli atomi di carbonio.....	11
1.4 Le diverse tipologie di formule in chimica organica	12
1.5 Isomeria.....	14
1.6 Configurazione assoluta e proiezioni di Fischer	16
Approfondimenti.....	17
2 Idrocarburi.....	18
2.1 Idrocarburi.....	18
2.2 Alcani.....	19
2.3 Radicale alchilico.....	19
2.4 Proprietà fisiche degli alcani.....	21
2.5 Proprietà chimiche degli alcani.....	22
2.6 Preparazione degli alcani	22
2.7 I cicloalcani.....	23
Approfondimenti.....	24
3 Idrocarburi insaturi.....	25
3.1 Alcheni.....	25
3.2 Proprietà chimiche e fisiche degli alcheni	25
3.3 Isomeria geometrica degli alcheni (cis-trans).....	27
3.4 Preparazione degli alcheni	28
3.5 Polieni	28
3.6 Alchini.....	28
3.7 Proprietà chimiche e fisiche degli alchini.....	29
Approfondimenti.....	29
4 Idrocarburi aromatici	30
4.1 Il benzene.....	30
4.2 Nomenclatura degli idrocarburi aromatici	31
4.3 Proprietà chimiche e fisiche dei composti aromatici	32
Approfondimenti.....	34
5 Le diverse classi di composti organici	35
5.1 I gruppi funzionali.....	35
5.2 Alogenoderivati.....	36

5.3 Proprietà degli alogenoderivati	36
5.4 Alcoli.....	37
5.5 Proprietà fisiche e chimiche degli alcoli.....	38
5.6 Fenoli	39
5.7 Tioli.....	39
5.8 Eteri.....	40
5.9 Aldeidi e chetoni	40
5.10 Proprietà di aldeidi e chetoni	41
5.11 Tautomeria cheto-enolica.....	42
5.12 Acidi carbossilici	44
5.13 Proprietà degli acidi carbossilici.....	45
5.14 Acidi policarbossilici	45
5.15 Derivati degli acidi carbossilici	46
Approfondimenti.....	48
6 Le biomolecole.....	49
6.1 Le molecole biologiche.....	49
6.2 I carboidrati.....	49
6.3 Monosaccaridi.....	50
6.4 Oligosaccaridi	51
6.5 Polisaccaridi	52
7 I lipidi.....	54
7.1 Classificazione dei lipidi.....	54
7.2 Lipidi semplici	54
7.3 Lipidi complessi.....	57
Approfondimenti.....	57
8 Le proteine	58
8.1 Classificazione delle proteine	58
8.2 Gli amminoacidi.....	58
8.3 Il legame peptidico.....	62
8.4 Struttura delle proteine.....	62
8.5 Gli enzimi.....	64
9 Gli acidi nucleici	66
9.1 DNA ed RNA.....	66
9.2 Costituenti degli acidi nucleici.....	66
9.3 Differenze tra DNA ed RNA	68
9.4 Nucleotidi non contenuti negli acidi nucleici	69
10 La genetica molecolare	70

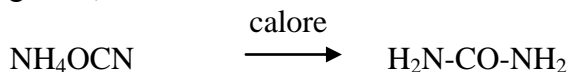
10.1	Lo studio del DNA conduce alla genetica molecolare.....	70
10.2	La libreria genomica (genoteca)	72
10.3	Clonazione tramite PCR (reazione polimerasica a catena).....	72
10.4	Sequenziamento del DNA.....	73
11	Il metabolismo cellulare.....	74
11.1	Il metabolismo	74
11.2	La respirazione cellulare	74
11.3	La glicolisi	74
11.4	Il ciclo di Krebs.....	77
11.5	Fosforilazione ossidativa	78
11.6	La fermentazione	80
12	La Terra.....	82
12.1	Composizione della Terra	82
12.2	Il ciclo dell'acqua.....	83
12.3	Il ciclo dell'ossigeno e del carbonio	84
12.4	Il ciclo dell'azoto	85
12.5	La litosfera	86
12.6	L'idrosfera.....	88
12.7	L'atmosfera.....	89
13	I fenomeni meteorologici.....	94
13.1	Il tempo e il clima	94
13.2	La temperatura dell'aria.....	94
13.3	Umidità e precipitazioni.....	97
13.4	La formazione delle nubi	98
13.5	Le precipitazioni	101
	Approfondimenti	102
14	Il clima	103
14.1	Il clima e i suoi fattori.....	103
14.2	Gli effetti delle attività umane sul clima.....	104
14.3	La classificazione dei climi.....	105
14.4	Climi megatermici umidi-A.....	106
14.5	Climi megatermici aridi-B	107
14.6	Climi esotermici o temperati-C.....	108
14.7	Climi microtermici-D.....	109
14.8	Climi nivali o polari-E	110
14.9	Il clima italiano	113
	Approfondimenti.....	114

15 L'orogenesi e la tettonica a zolle	115
15.1 La teoria della deriva dei continenti.....	115
15.2 Teoria dell'espansione dei fondali oceanici.....	117
15.3 Le placche della litosfera	120
15.4 I margini delle placche.....	121
15.5 Rischio sismico in Italia.....	124
16 Le risorse energetiche	125
16.1 Risorse naturali	125
16.2 Risorse non rinnovabili: i combustibili fossili	125
16.3 L'energia nucleare	126
16.4 Risorse energetiche rinnovabili.....	126
16.5 L'energia da biomasse	128
Indice delle immagini utilizzate.....	130

1 Avvio alla chimica organica

1.1 La chimica organica

La chimica organica studia i composti del carbonio. All'inizio del XIX secolo [J. J. Berzelius](#) definì **sostanze organiche** tutte quelle sostanze provenienti da organismi animali e vegetali, all'epoca si pensava che tutte le sostanze organiche derivassero solo dal mondo vivente e dunque non potessero essere sintetizzate in laboratorio a partire da sostanze inorganiche. Ma nel 1928 [F. Wohler](#), chimico tedesco, sintetizzò in laboratorio l'urea, sostanza organica, presente nell'urina, riscaldando un composto inorganico, il cianato d'ammonio:



Nello stesso periodo furono analizzati diversi composti organici e il carbonio era sempre presente. Si concluse quindi che la caratteristica principale dei composti organici è data dalla presenza del **carbonio**, per tale motivo la chimica organica è definita la chimica del carbonio.

Oltre al carbonio, che è il principale costituente, i composti organici sono costituiti anche da idrogeno, ossigeno, azoto, zolfo, fosforo e alogeni.

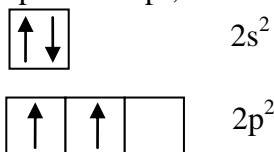
1.2 I legami del carbonio nei suoi composti

Il carbonio può formare nei composti organici legami singoli, doppi o tripli:

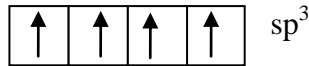
- 4 legami covalenti singoli;
- 1 legame covalente doppio e 2 legami singoli;
- 1 legame covalente triplo e 1 legame singolo.

Questa varietà di comportamento è spiegabile mediante la teoria della ibridazione degli orbitali.

Il carbonio ha numero atomico 6 e ha quattro elettroni nel livello energetico più esterno disposti $2s^2 2p^2$,

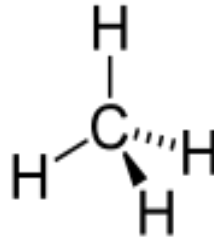
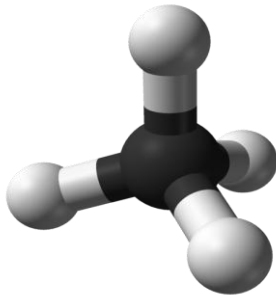


dato che possiede orbitali vuoti o semioccupati, nella configurazione elettronica esterna ha tre possibili ibridizzazioni (formazione di orbitali ibridi derivanti dal mescolamento di orbitali atomici di diverso tipo, che presentano caratteristiche intermedie a quelli di origine): sp^3 , sp^2 , sp .
Ibridizzazione sp^3



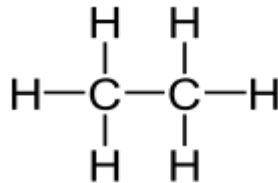
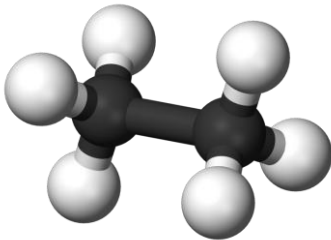
Il mescolamento di tre orbitali p e un orbitale s formano quattro orbitali ibridi sp^3 identici, diretti verso i vertici di un tetraedro regolare con angoli di $109,5^\circ$.

Il carbonio ibridizzato sp^3 è denominato carbonio saturo. Esso può formare quattro legami σ con altri atomi, formando strutture di forma tetraedrica, tra cui la molecola di metano (CH_4) in cui il C forma quattro legami σ con altrettanti idrogeni.

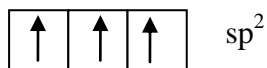


Molecola di metano e formula tridimensionale*

Anche nella molecola di etano (C_2H_6) ciascun atomo di carbonio è legato a quattro atomi come per il metano, l'unica differenza è che uno di questi atomi è un carbonio.



Molecola di etano e formula di struttura*

Ibridizzazione sp^2 

Dal mescolamento di due orbitali p ed un orbitale s si formano tre orbitali ibridi sp^2 identici, disposti sullo stesso piano a 120° , secondo una geometria trigonale.

Un carbonio ibridizzato sp^2 forma tre legami singoli σ , e due carboni vicini ibridizzati sp^2 formano un **doppio legame** dovuto ad un legame σ e un legame π , come avviene nella molecola dell'etene (C_2H_4). Un atomo di carbonio impegnato in un doppio legame viene definito carbonio insaturo.

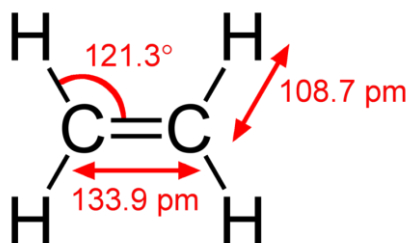
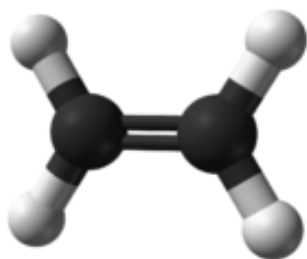
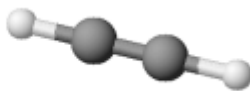
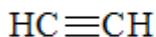


Immagine e formula di struttura della molecola di etene*

Ibridizzazione sp 

Il mescolamento di un orbitale p con un orbitale s porta alla formazione di due orbitali ibridi sp identici, diretti in versi opposti a 180° rispetto al nucleo, secondo una geometria lineare.

Il legame tra due carboni ibridizzati sp dà origine ad un **legame triplo**, costituito da un legame σ e due legami π , come avviene per la molecola di etino (C_2H_2).



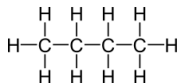
Formula di struttura e immagine e della molecola di etino*

Ibridizzazione	Orbitali ibridi numero	Orbitali atomici p	Numero e tipo di legame
sp	2	2	1 legame singolo (σ) 1 legame triplo ($1\sigma+2\pi$)
sp ²	3	1	2 legami singoli 1 doppio ($1\sigma + 1\pi$)
sp ³	4	0	4 legami singoli (σ)

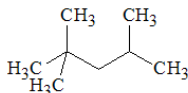
1.3 Catene carboniose e classificazione degli atomi di carbonio

Gli atomi di carbonio si legano tra loro formando delle catene che possono essere:

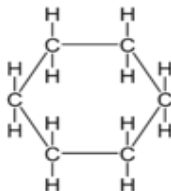
- lineari:



- ramificate:

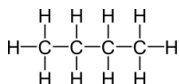


- ad anello:



In un composto un atomo di carbonio può essere classificato in base agli atomi di carbonio a cui è legato in **carbonio primario**, **carbonio secondario**, **carbonio terziario** e **carbonio quaternario**.

Ad esempio, nel seguente composto



gli atomi di carbonio legati alle estremità sono primari, perché legati ad un solo atomo di C, mentre gli atomi di carbonio presenti nella catena sono secondari perché ciascuno di loro è legato ad altri 2 atomi di C.

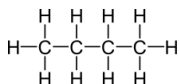
Sono terziari e quaternari quegli atomi di carbonio legati rispettivamente a 3 e 4 atomi di carbonio.

Lo stesso vale per gli atomi di idrogeno legati agli atomi di carbonio suddetti, essi di conseguenza saranno primari, secondari o terziari, ma non potranno essere mai quaternari, dal momento che un atomo di carbonio quaternario non lega un atomo di idrogeno.

1.4 Le diverse tipologie di formule in chimica organica

In chimica organica vi sono diversi tipi di formule: la formula bruta o grezza, la formula di struttura, la formula razionale o contratta e la formula tridimensionale.

- La **formula bruta o grezza** dà informazioni riguardo al tipo e alla quantità di atomi presenti in una molecola. Ad esempio CH_4 è la formula bruta del metano.
- La **formula di struttura** dà informazioni sull'ordine e sulla posizione di ciascun atomo nella molecola. Ad esempio la formula di struttura del butano è la seguente:



- La **formula razionale o contratta** è quella più usata, dà informazioni come la formula di struttura ma non è ingombrante come quest'ultima. Essa viene rappresentata con dei trattini che indicano i legami tra gli atomi di carbonio, ad esempio la formula contratta dell'acido acetico è: $\text{CH}_3\text{-COOH}$.

La formula contratta può essere abbreviata se in una molecola un raggruppamento di atomi si ripete più volte, usando delle parentesi per raccogliere gli atomi.

Ad esempio la seguente molecola:



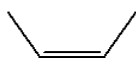
può essere scritta così:



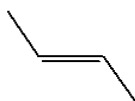
Vi sono poi ulteriori formule abbreviate che usano dei piccoli segmenti per indicare i legami tra gli atomi di carbonio tralasciando quelli con gli atomi di idrogeno come possiamo vedere nell'esempio in basso.

I legami multipli sono rappresentati da segmenti paralleli. Gli atomi di idrogeno si deducono sottraendo alla valenza del carbonio (che è quattro) il numero dei segmenti che originano da ciascun punto che rappresenta gli atomi di carbonio.

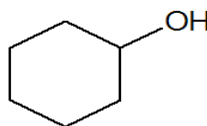
cis-2-butene



trans-2-butene

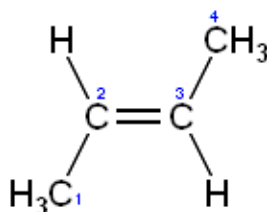
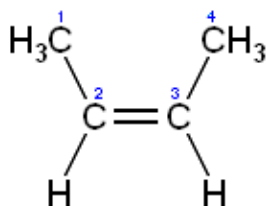


cicloesano

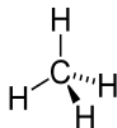


cis-2-Butene

trans-2-Butene



Risulta molto importante in chimica organica conoscere la disposizione spaziale degli atomi nella molecola, per questo si usano le formule tridimensionali. Ad esempio la formula tridimensionale del metano è la seguente:



Dove i trattini semplici indicano i legami giacenti sul piano del foglio, invece il simbolo a forma di cuneo pieno indica l'atomo al di sopra del piano del foglio, e il simbolo tratteggiato indica che l'atomo è al di sotto del piano del foglio.

1.5 Isomeria

Due composti vengono definiti isomeri (dal greco isos: uguale e meros: parte) quando presentano stesso numero e stesso tipo di atomi ma legati diversamente tra loro.

La diversa struttura caratteristica degli isomeri gli conferisce diverse proprietà chimiche e fisiche.

Vi sono due tipi di isomeria: isomeria strutturale e isomeria spaziale (stereoisomeria).

Sono **isomeri strutturali** quei composti che hanno nella molecola gli stessi atomi ma in posizioni diverse, ad esempio l'alcol metilico $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ e l'etere metilico $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$

Sono **stereoisomeri** quei composti i cui atomi presentano stessa sequenza ma diverso orientamento spaziale.

Esistono tre tipi di stereoisomeri: isomeri conformazionali, isomeri geometrici e isomeri ottici.

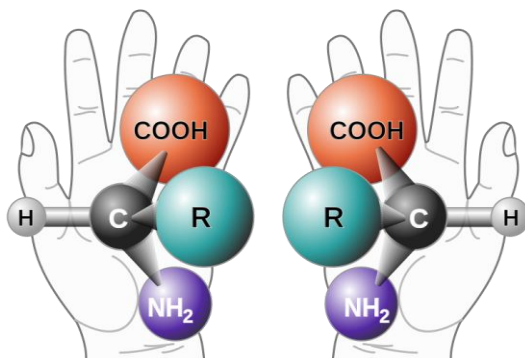
Gli **isomeri conformazionali** detti **conformeri** o anche **rotameri**, sono stereoisomeri i cui atomi possono ruotare intorno a legami singoli tra carbonio e carbonio, originando diverse conformazioni della molecola.

Gli **isomeri geometrici** sono **stereoisomeri configurazionali**, si possono interconvertire solo con rottura del doppio legame e riformazione di un legame singolo.

Gli isomeri geometrici vengono chiamati **cis** e **trans** in base alla posizione di due gruppi uguali rispetto al doppio legame, l'**isomero cis** presenta due gruppi uguali dallo stesso lato del doppio legame, mentre in quello trans i due gruppi uguali si trovano ai lati opposti del doppio legame.

Gli **isomeri ottici** presentano le stesse proprietà fisiche e chimiche ma differiscono per una proprietà ottica, detta potere rotatorio che permette ai due composti di ruotare il piano della luce polarizzata, ciò è possibile in presenza nella molecola di un carbonio asimmetrico denominato **stereocentro** o centro stereogeno cioè legato a quattro diversi sostituenti, esso viene indicato col simbolo C^* .

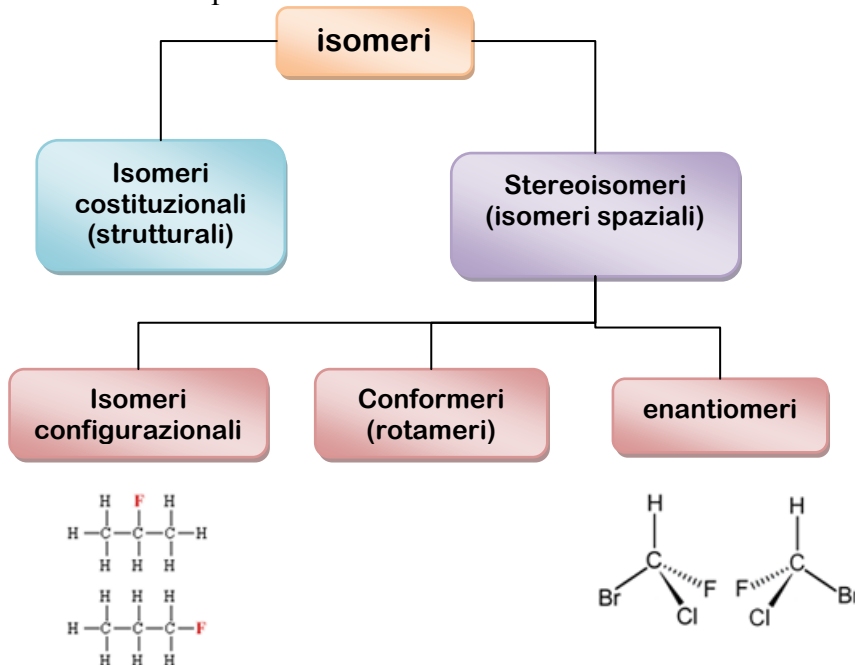
I quattro gruppi diversi del carbonio asimmetrico possono disporsi in due modi diversi formando due isomeri chirali, dal greco cheir mano, cioè non sovrapponibili, una mano è chirale perché guardando allo specchio la sinistra è la destra, ciò che non è chirale è detto achirale.



Modelli molecolari di due enantiomeri di un generico aminoacido*

Due isomeri ottici sono denominati **enantiomeri**, a seconda del senso in cui fanno ruotare il piano della luce polarizzata vengono rappresentati col segno (+) se è ruotato a destra, **destrogiro** oppure (-) se ruota a sinistra, **levogiro**. La luce polarizzata è la luce che, dopo essere passata attraverso un filtro polarizzante, ne esce con onde che vibrano in un unico piano.

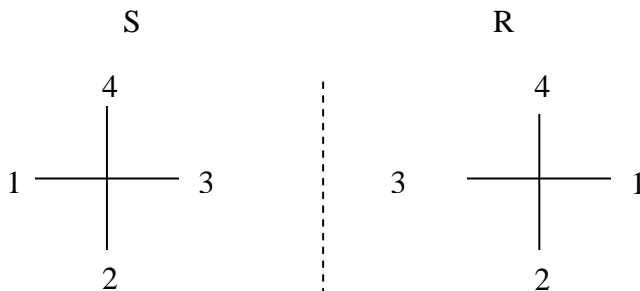
Si definisce **miscela racemica**, una miscela formata per il 50% dai due enantiomeri e non possiede il fenomeno dell'attività ottica.



1.6 Configurazione assoluta e proiezioni di Fischer

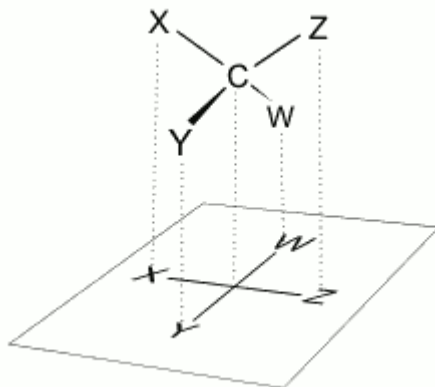
I due enantiomeri possono essere rappresentati anche con le lettere R (da rectus) e S (da sinister).

Per definire di quale delle due forme si tratta si osserva il centro stereogeno dalla parte opposta a quella in cui si trova il gruppo a priorità minore, si ordinano gli altri gruppi con priorità crescente tenendo conto che, se per farlo si procede in senso orario la configurazione sarà R, se antiorario sarà S.



Queste formule scritte sopra con struttura a croce, sono denominate **formule di Fischer**, esse presentano al centro l'atomo di C* e alle estremità i quattro gruppi sostituenti che legano il C*. Per convenzione le linee orizzontali che escono dal piano del foglio, mentre quelle verticali sono quelle sotto il piano del foglio.

Se in un composto vi sono più C* si avranno più enantiomeri, prendono il nome di diastereoisomeri, il cui numero può dedursi dalla **formula di Vant'Hoff** 2^n , dove n è il numero degli enantiomeri.



Ottenimento della proiezione di Fischer come proiezione della molecola su un piano*

Approfondimenti

L'atomo di carbonio, video

<https://www.youtube.com/watch?v=MTusegYffVs>

2 Idrocarburi

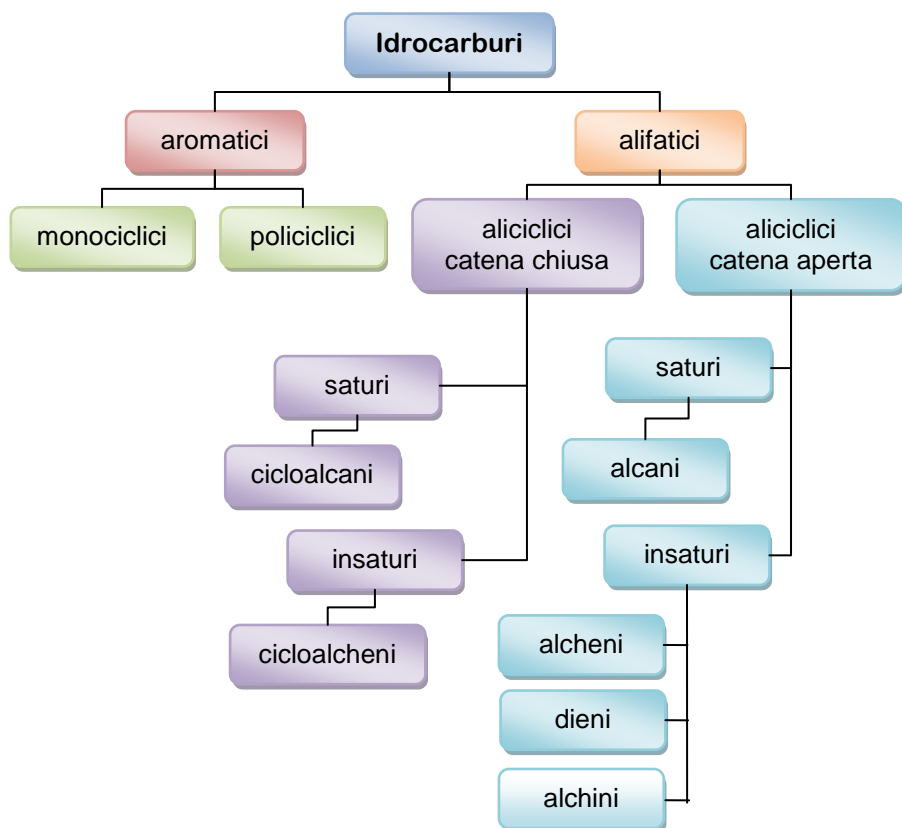
2.1 Idrocarburi

Gli idrocarburi rappresentano la classe più semplice di composti organici. Essi sono formati da catene di atomi di carbonio a cui si legano atomi di idrogeno.

In base alla struttura si dividono in due grandi gruppi: **alifatici** e **aromatici**.

Gli **idrocarburi alifatici** presentano catene lineari o ramificate e cicliche. Gli **idrocarburi aromatici** sono caratterizzati dalla presenza di un anello benzenico nella molecola.

Schema sulle principali classi di idrocarburi



2.2 Alcani

Gli alcani denominati anche paraffine, sono idrocarburi saturi i cui atomi di carbonio possiedono ibridizzazione sp^3 di conseguenza sono uniti tra loro mediante legami singoli.

La formula generale degli alcani è la seguente: C_nH_{2n+2} .

Per la denominazione di un alcano si usa il prefisso di etimologia greca per il numero di atomi di carbonio presenti nella molecola, seguito dal suffisso -ano.

Per denominare i primi quattro alcani si usano i nomi tradizionali per gli altri si usano i nomi attribuiti secondo il sistema IUPAC.

Nomi dei primi dieci alcani

Nome	Numero degli atomi di C	Formula bruta
metano	1	CH ₄
etano	2	C ₂ H ₆
propano	3	C ₃ H ₈
butano	4	C ₄ H ₁₀
pentano	5	C ₅ H ₁₂
esano	6	C ₆ H ₁₄
eptano	7	C ₇ H ₁₆
ottano	8	C ₈ H ₁₈
nonano	9	C ₉ H ₂₀
decano	10	C ₁₀ H ₂₂

Gli alcani costituiscono una **serie omologa**, cioè ogni termine è diverso da quello precedente e da quello successivo per una quantità di $-CH_2-$. I costituenti delle serie omologhe hanno grandi analogie chimiche e fisiche, molto utili per lo studio dei composti organici.

2.3 Radicale alchilico

Togliendo un atomo di idrogeno ad un idrocarburo esso diventa un radicale monovalente. Il radicale di un alcano è definito **radicale alchilico** o anche **alchile**. Il nome di un alchile deriva dall'alcano corrispondente a cui si cambia la desinenza -ano con -ile.

Nomi dei radicali alchilici più comuni

Nome	Formula
metile	-CH ₃
etile	-CH ₂ -CH ₃
n-propile	-CH ₂ -CH ₂ -CH ₃
sec-propile o isopropile	$\begin{array}{c} \text{-CH-CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
n-butile	-CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃
sec-butile	$\text{CH}_3\text{-}\underset{ }{\text{CH}}\text{-CH}_2\text{-CH}_3$
isobutile	$\text{-CH}_2\text{-}\underset{ }{\text{CH}}\text{-CH}_3$ CH_3
terz-butile	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3\text{-C-} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$

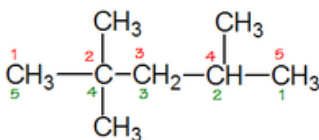
Per determinare il nome IUPAC di un alcano bisogna rispettare le seguenti indicazioni:

- gli alcani non ramificati prendono il nome dal numero di atomi di carbonio contenuti nella catena:



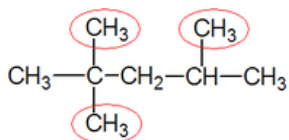
5 atomi di carbonio: **pentano**

- per gli alcani a catena ramificata bisogna identificare la catena principale nella molecola, cioè quella costituita da più atomi di C in sequenza, anche se questa risulta piegata;
- cercare i radicali alchilici legati alla catena principale;
- numerare gli atomi di C dall'estremità che consente di attribuire a quelli legati ai radicali alchilici i numeri più bassi:



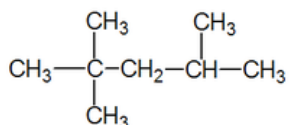
da sinistra a destra: 2,2,4 e non da destra a sinistra: 2,4,4

- indicare il numero della posizione e il nome dei radicali alchilici, questi si indicano in ordine alfabetico, se uno stesso radicale alchilico è legato più volte alla catena se ne indica il numero con un prefisso (di, tri, tetra, ecc.), tali prefissi numerali non alterano l'ordine alfabetico:



3 gruppi CH₃: tri-metil-

- alla fine porre il nome dell'alcano della catena principale;
- per separare numeri e parole si utilizzano dei trattini, le virgole vengono usate per separare numeri vicini, i nomi si scrivono in un'unica parola:



2,2,4-trimetilpentano

2.4 Proprietà fisiche degli alcani

I primi quattro alcani (metano, etano, propano e butano) sono gassosi, dal quinto al sedicesimo sono liquidi, quelli successivi sono solidi. Poiché si tratta di molecole polari in cui i legami C-C e CH sono covalenti puri, tutti sono insolubili in acqua ma solubili nei solventi organici.

Gli alcani possiedono dei bassi punti di fusione e di ebollizione che dipendono dalla lunghezza e dalle ramificazioni della catena carboniosa. Crescono all'aumentare della lunghezza della catena ma diminuiscono se aumentano le ramificazioni perché così la forma si avvicina a quella sferica. Infatti la sfera presenta una minore area superficiale di contatto con le altre molecole.

In particolare dal quinto alcano in poi i punti di fusione e di ebollizione aumentano di 20°-30°C per ogni atomo di carbonio in più.

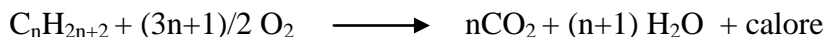
Isomeri differenti dello stesso alcano presentano diverso punto di ebollizione, esso è più basso quanto più ramificate sono le catene.

2.5 Proprietà chimiche degli alcani

Gli alcani sono poco reattivi, essi danno luogo a reazioni di combustione e alogenazione.

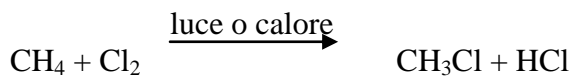
Combustione: gli alcani come gli altri idrocarburi bruciano in presenza di ossigeno formando anidride carbonica (CO₂) e acqua (H₂O).

La reazione di combustione può essere così schematizzata:



Questa reazione essendo fortemente esotermica è usata per la produzione di energia.

Alogenazione: gli alcani come il metano (CH₄) possono reagire con gli alogeni come il cloro (Cl) sotto l'influenza del calore o della luce ultravioletta per formare alogenuri alchilici. Come vediamo nell'esempio in basso:

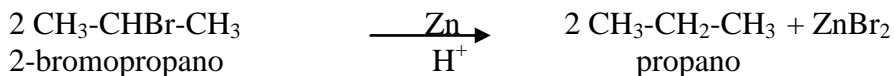


Questa reazione è detta **reazione di sostituzione radicalica**, avviene attraverso tre stadi (inizio, propagazione e termine) e generalmente non si ferma con la formazione di clorometano (CH₃Cl) ma continua formando una miscela contenente composti ulteriormente alogenati come il diclorometano (CH₂Cl₂), triclorometano o cloroformio (CHCl₃), e tetraclorometano o tetracloruro di carbonio (CCl₄).

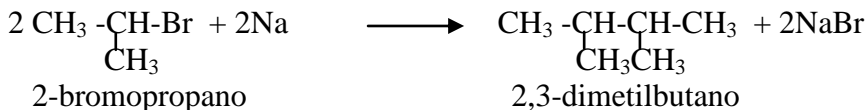
2.6 Preparazione degli alcani

Allo scopo di ottenere in laboratorio un alcano si usano vari metodi, quelli che seguono sono sicuramente tra i più noti e l'idrogenazione il più importante:

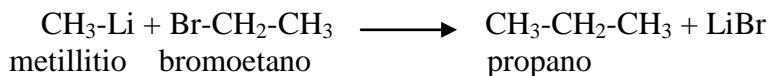
- **Idrogenazione degli alcheni e alchini**, si tratta di una specifica reazione degli idrocarburi che trasforma un doppio legame carbonio-carbonio in un legame semplice, tipico degli alcani.
- **Riduzione degli alogenuri alchilici**, gli alogenuri alchilici ottenuti per alogenazione degli alcani reagiscono con lo zinco metallico in ambiente acido:



- **Sintesi di Wurtz**, la reazione tra due molecole di alogenuro alchilico con sodio metallico dà luogo ad un idrocarburo con un doppio numero di atomi di carbonio:



Sintesi di Corey-House, dato che la sintesi di Wurtz produce solo idrocarburi con un numero pari di carboni, questa sintesi forma idrocarburi attraverso la reazione tra derivati degli alcani (ottenuti sostituendo un atomo di idrogeno con uno di litio) con alogenuri alchilici:

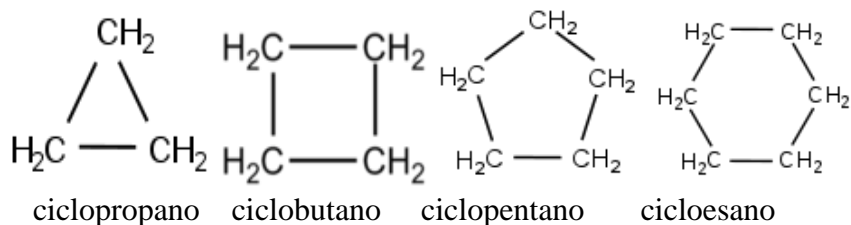


2.7 I cicloalcani

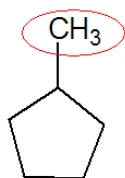
I cicloalcani sono idrocarburi saturi a struttura ciclica cioè presentano la catena carboniosa chiusa ad anello, la cui formula generale è C_nH_{2n} e quindi presentano due atomi di idrogeno in meno rispetto agli alcani a catena aperta poiché si sono uniti i due atomi di carbonio delle estremità.

I loro nomi si ottengono usando il prefisso **ciclo-** seguito dal nome del corrispondente alcano a catena aperta.

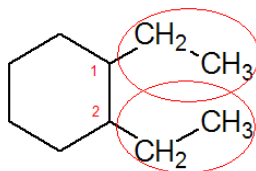
Per la rappresentazione dei cicloalcani vengono utilizzati dei poligoni regolari planari, ma quelli con più di tre atomi di carbonio hanno strutture non planari per minimizzare la repulsione tra gli atomi di idrogeno.



I **cicloalcani sostituiti** sono cicloalcani che portano legati alla molecola uno o più gruppi alchilici.



metilciclopentano



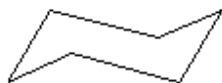
1,2-dietilcicloesano

Le molecole di cicloesano presentano particolari conformazioni: una a sedia, una a barca e una a treccia o “twist”.

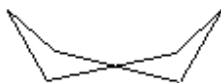
La struttura più frequente è quella a **sedia**, essa è la più stabile per il minor ingombro elettronico. Gli atomi di idrogeno della struttura a sedia in base alla posizione che assumono rispetto al piano mediano della molecola possono essere distinti in due gruppi: **assiali** e **equatoriali**.

Gli atomi perpendicolari al piano mediano della molecola sono quelli assiali, tre di questi si trovano sopra e tre sotto il piano mentre quelli equatoriali, sei, sono su tale piano.

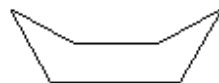
La conformazione a barca è meno stabile in quanto i legami C-H sono più ravvicinati e ciò comporta una tensione torsionale.



a sedia



a twist



a barca

Approfondimenti

Alcani ibridazione sp^3 , video

<https://www.youtube.com/watch?v=BmnwhXPKKSs>

Idrocarburi alcani, video

<https://www.youtube.com/watch?v=4ADC3ieG9f0>

Idrocarburi, video

<http://www.youtube.com/watch?v=LoxS3CAX1Sc>

3 Idrocarburi insaturi

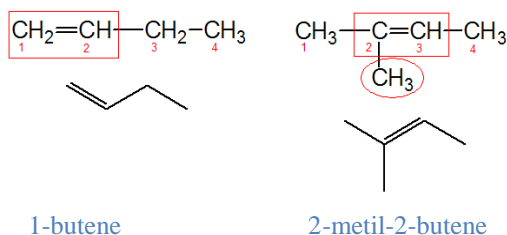
3.1 Alcheni

Gli alcheni sono idrocarburi insaturi in quanto presentano nella molecola un doppio legame tra due atomi di carbonio, quindi contengono due atomi di carbonio con ibridizzazione sp^2 , si definiscono anche **olefine**.

La formula generale degli alcheni è: C_nH_{2n} .

Le regole IUPAC per denominare gli alcheni sono simili a quelle degli alcani, i loro nomi derivano da quelli degli alcani corrispondenti ma si sostituisce il suffisso **-ano** con **-ene**.

Nel nome va specificata la posizione del primo carbonio impegnato nel doppio legame, e quest'ultimo dovrebbe avere il valore più basso. Il numero della posizione del doppio legame va messo davanti al nome dell'alchene:



Per attribuire il nome in relazione al numero di atomi di carbonio si deve contare la catena più lunga, ma questa deve contenere il doppio legame. La presenza di eventuali ramificazioni lungo la catena deve essere indicata prima di quella del doppio legame.

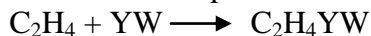
3.2 Proprietà chimiche e fisiche degli alcheni

Come per gli alcani anche i primi quattro alcheni sono gassosi, e tutti sono insolubili in acqua ma solubili nei solventi organici, come per gli alcani i punti di ebollizione aumentano all'aumentare del numero di atomi di carbonio.

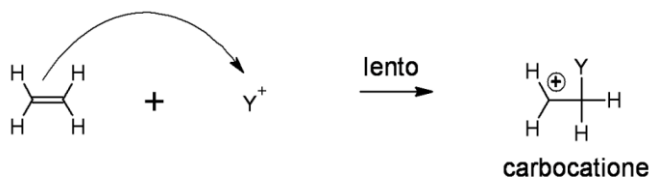
Gli isomeri geometrici di uno stesso alchene hanno proprietà fisiche diverse, gli isomeri cis (oppure Z) hanno punti di ebollizione più alti rispetto ai corrispondenti isomeri trans (oppure E) poiché hanno interazioni molecolari più intense.

Gli alcheni a differenza degli alcani sono più reattivi, essi danno luogo ad addizioni elettrofile.

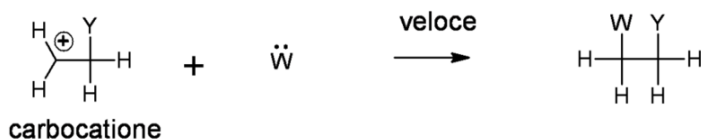
L' **addizione elettrofila** è la reazione caratteristica degli alcheni, in cui il doppio legame rappresenta un centro ricco di elettroni e viene attratto da **elettrofili** cioè reattivi poveri di elettroni. Tale reazione si realizza in due stadi e porta alla formazione di un intermedio definito **carbocatione**, che è molto reattivo e nel secondo stadio della reazione si lega velocemente al nucleofilo completando la reazione:



1° STADIO:



2° STADIO:



Addizione elettrofila*

Tale meccanismo è valido per addizioni di:

- alogeni;
- acqua in catalisi acida (idratazione);
- acidi (alogenidrici e solforico);

Il **carbocatione** presenta una carica elettrica positiva su un atomo di carbonio che lo rende molto reattivo, in grado di legarsi ad anioni o di sottrarre elettroni da altre molecole vicine.

Essi si classificano in **primari** (R-CH_2^+), **secondari** (R_2CH^+) e **terziari** (R_3C^+) a seconda che siano uno, due o tre i gruppi organici (R) legati all'atomo di carbonio positivo, essi hanno diversa stabilità, più è sostituito il carbocatione più sarà stabile, ciò è dovuto al fatto che la carica positiva è distribuita su un volume maggiore cioè quanto più è

delocalizzata. Quindi il carbocatione terziario sarà più stabile di quello secondario e quest'ultimo a sua volta sarà più stabile di quello primario. Nel caso in cui l'addizione avviene ad esempio al propene che è un alchene asimmetrico e anche il reagente è asimmetrico, si applica la **regola di Markovnikov**. Un alchene e un reagente sono asimmetrici se divisi da un piano speculare presentano due metà diverse. La parte elettrofila del reagente si lega al carbonio del doppio legame che ha un maggior numero di atomi di idrogeno.

I prodotti di tale reazione sono detti regioisomeri.

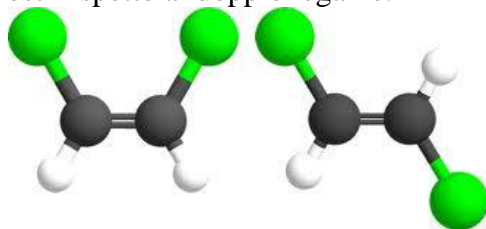


Regola di Markovnikov nella reazione del propano*

3.3 Isomeria geometrica degli alcheni (cis-trans)

Si verifica l'**isomeria geometrica cis-trans** negli alcheni quando ad ognuno degli atomi di carbonio del doppio legame sono legati diversi atomi o diversi gruppi atomici.

Il prefisso **cis** è attribuito ai composti i cui sostituenti uguali si trovano dallo stesso lato rispetto agli atomi di carbonio del doppio legame, mentre il prefisso **trans** si dà ai composti che presentano i sostituenti uguali su lati opposti rispetto al doppio legame.



cis

trans

Quando però i sostituenti sono diversi e anche più di due si applicano le regole di priorità dei gruppi legati a ciascun atomo di C del doppio legame. Se i gruppi che hanno la priorità maggiore si trovano dalla stessa parte rispetto al doppio legame si usa il prefisso **Z**, se si trovano su parti opposte il prefisso sarà **E**.

3.4 Preparazione degli alcheni

Per ottenere uno specifico alchene in laboratorio si può procedere alla sua sintesi attraverso le **reazioni di eliminazione**, come:

- **deidrogenazione di alogenuri alchilici**: (il metodo migliore per preparare alcheni) avviene facendo reagire un alogenuro alchilico a caldo con una soluzione alcolica concentrata di una base forte, ad esempio KOH.
- **Disidratazione di alcoli**: a differenza della deidrogenazione di alogenuri alchilici avviene in ambiente acido.
- **Deidrogenazione degli alcani**: rompendo i legami C-H presenti negli alcani e quindi eliminando H₂.

3.5 Polieni

Sono idrocarburi insaturi che presentano nella molecola più di un doppio legame, il nome dipende dal numero di doppi legami in base ai quali prende il suffisso **-diene**, **-triene**, ecc.

I nomi si ottengono dal corrispondente alcano premettendo i numeri indicanti le posizioni dei doppi legami e utilizzando i suffissi suddetti.

I dieni presentano due doppi legami nella molecola, a seconda della posizione di questi ultimi si distinguono:

- **dieni cumulati** se i doppi legami sono adiacenti: CH₂=C=CH₂ (propadiene);
- **dieni coniugati** se i doppi legami vengono separati da un solo legame singolo: CH₂=CH-CH=CH₂ (1,3-butadiene);
- **dieni isolati** se i doppi vengono separati da più di un legame singolo: CH₂=CH-CH₂-CH=CH₂ (1,4-pentadiene).

3.6 Alchini

Gli alchini sono idrocarburi che contengono nella molecola un triplo legame carbonio-carbonio.

Gli alchini contenenti un solo triplo legame hanno formula bruta generale: C_nH_{2n-2}.

Per denominare gli alchini si usa il suffisso **-ino** invece del suffisso **-ano** del corrispondente alcano, si seguono poi le regole usate per la denominazione degli alcheni.

3.7 Proprietà chimiche e fisiche degli alchini

Gli alchini hanno proprietà come gli alcani e gli alcheni, sono insolubili in acqua ma solubili nei solventi organici, come per gli alcani e gli alchini i punti di ebollizione aumentano all'aumentare del numero di atomi di carbonio nella catena carboniosa.

Essi come gli alcheni danno luogo a reazioni di addizione, durante le quali si rompe uno o due legami del legame triplo e si formano legami doppi o singoli.

Ad esempio si verificano addizioni di alogeni e acidi alogenidrici.

Approfondimenti

Alcheni, Isomeria Cis-Trans, video

<http://www.youtube.com/watch?v=g-36CqfFHWA>

Benzene, preparazione dei suoi derivati, video

<http://www.youtube.com/watch?v=Xa9vILqxsU>

Isomeria Cis-Trans, video

<https://www.youtube.com/watch?v=g-36CqfFHWA>

Reazioni di Addizione Elettrofila, video

<http://www.youtube.com/watch?v=eoC23-SSnaY>

Regola di Markovnikov

<http://www.youtube.com/watch?v=6-15pDFD5fs>

Costruzione di una mappa concettuale sugli alchini, video

<http://www.youtube.com/watch?v=Eh37vKwKmq>

Alchini, nomenclatura

<http://www.youtube.com/watch?v=khrvZUwKzn8>

4 Idrocarburi aromatici

4.1 Il benzene

Nel XIX secolo ad un gran numero di composti fu dato il nome di idrocarburi **aromatici** per il forte odore che avevano, tra essi il più semplice è il **benzene**, dalla cui formula bruta, C_6H_6 , è evidente la forte insaturazione.

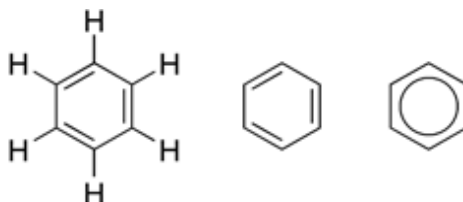
Attualmente il termine aromatico viene attribuito a quei composti che presentano queste caratteristiche:

- gli atomi che lo costituiscono carboni o anche diversi da questo, devono essere disposti ad anello o più anelli uniti per un lato;
- devono avere struttura planare;
- devono rispettare la regola di Hückel, cioè devono presentare al di sopra e al di sotto del piano della molecola due nuvole di elettroni π de localizzati. Il numero di elettroni π presenti in s deve essere pari a $4n+2$, dove $n = 1, 2, 3 \dots$ quindi sono aromatici tutti i composti ciclici che hanno 6, 10, 14 \dots elettroni π ;
- Non sempre il numero di elettroni π corrisponde al numero di atomi dell'anello, possono esservi cicli aromatici di 5 o 7 purché gli elettroni π siano 6.

[Friedrich A. Kekulé](#) propose una formula ciclica a sei atomi di carbonio per il benzene, con tre legami singoli e tre legami doppi alternati, che potevano scambiarsi ad una velocità molto alta da non permettere reazioni di addizione.

Oggi sappiamo che il benzene è una molecola planare, essa viene rappresentata con un esagono regolare ai vertici del quale vi sono gli atomi di carbonio che presentano ibridizzazione sp^2 . Ogni atomo di carbonio utilizza due orbitali sp^2 per legare altri due atomi di carbonio, il terzo orbitale sp^2 si sovrappone all'orbitale s di un idrogeno per formare il legame C-H. Inoltre ogni carbonio ha un orbitale p parallelo, i sei orbitali p si sovrappongono lateralmente originando in questo modo una nuvola elettronica a forma di ciambella, all'interno della quale ogni elettrone π è delocalizzato tra i sei carboni. Quindi tra i carboni del benzene non vi sono legami doppi e singoli alternati ma i legami che hanno tutti la stessa lunghezza, intermedia tra un legame doppio ed un legame singolo (1,39 Å). Tale caratteristica conferisce al benzene una stabilità inconsueta.

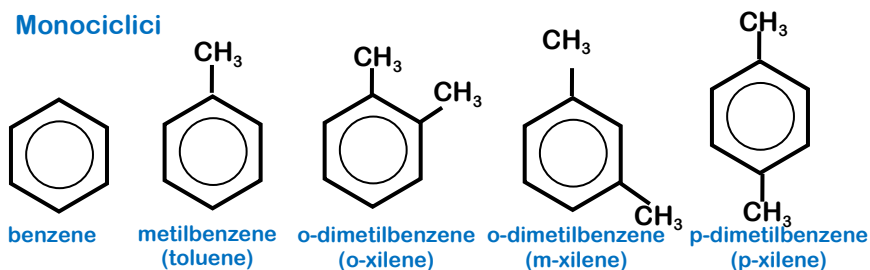
Il benzene viene rappresentato da un esagono contenente una linea tratteggiata o un cerchio simboleggianti gli elettroni π de localizzati. Spesso viene usata anche la formula di Kekulé cioè con tre doppi legami.



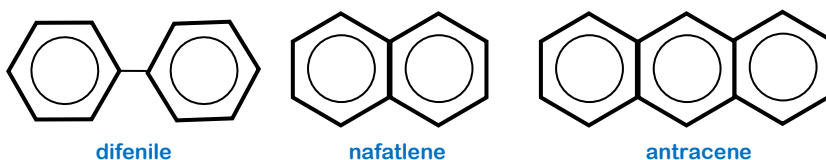
4.2 Nomenclatura degli idrocarburi aromatici

La nomenclatura degli idrocarburi aromatici detti anche **areni**, si basa su nomi comuni. Per i benzeni **monosostituiti** dato che tutte le posizioni sono equivalenti viene indicato il nome del gruppo sostituente seguito da **-benzene**.

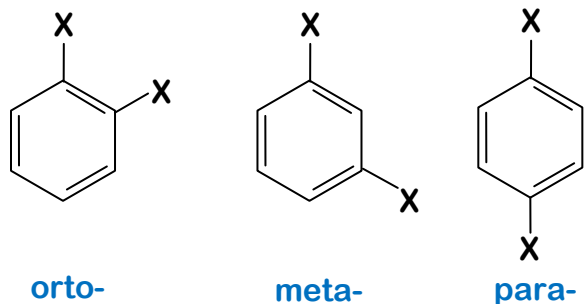
Monociclici



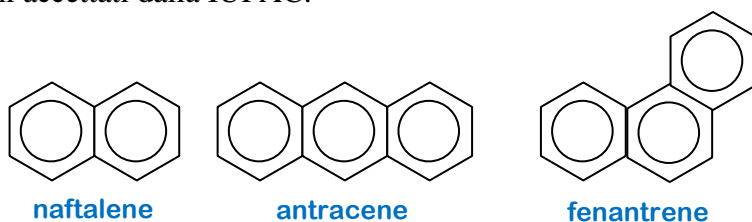
Policiclici



Per distinguere i vari isomeri dei benzeni **polisostituiti** bisogna indicare la posizione dei gruppi, utilizzando numeri più bassi possibili, per i benzeni bisostituiti si deve specificare la posizione dei gruppi leganti l'anello con i prefissi **orto-** (**o**) se i due sostituenti si trovano nelle posizioni 1-2, **meta-** (**m**) se sono nelle posizioni 1-3, **para-** (**p**) se occupano le posizioni 1-4. Per quelli che hanno più di due sostituenti si utilizza la numerazione.



Tra i composti aromatici vi sono anelli con un lato in comune condensati detti idrocarburi aromatici **policiclici**, presentano nomi comuni accettati dalla IUPAC.



I radicali aromatici vengono indicati con **Ar-** (**arile**) corrispondente a $-C_6H_5$.

4.3 Proprietà chimiche e fisiche dei composti aromatici

Le proprietà fisiche sono analoghe a quelle degli altri idrocarburi, insolubili in acqua e solubili nei solventi organici.

I punti di ebollizione aumentano all'aumentare del peso molecolare, il benzene bolle a 180°C , gli altri idrocarburi hanno punti di ebollizione superiori ai 100°C .

La reattività degli alcheni

Come già sappiamo il benzene possiede un'inconsueta stabilità, esso tuttavia è un centro di elettroni, una base di Lewis, quindi subisce l'attacco di elettrofili. Esso dà luogo a reazioni di **sostituzione elettrofila**. Queste reazioni ricoprono un importante ruolo per la sintesi

dei composti aromatici, mediante l'introduzione di sostituenti che a loro volta possono essere trasformati o convertiti in altri gruppi.

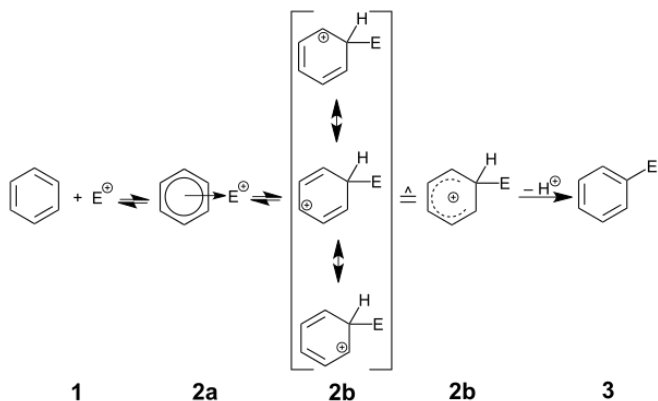
Le reazioni di sostituzione elettrofila si dividono in:

- alogenazione (clorurazione, bromurazione, ecc.)
- nitratura;
- solfonazione;
- alchilazione;
- acilazione.

reazione	reagenti e catalizzatori	specie elettrofila Y^+	prodotto di reazione col benzene
solfoazione	$H_2SO_4 + SO_3$	HSO_3^+	acido benzensolfonico Ph-SO ₃ H
nitratura	$HNO_3 + H_2SO_4$	NO_2^+	nitrobenzene Ph-NO ₂
alogenazione	$Cl_2 + FeCl_3$	Cl^+	clorobenzene Ph-Cl
alchilazione di Friedel-Crafts	$R-Cl + AlCl_3$	R^+	alchilbenzene Ph-R
acilazione di Friedel-Crafts	$R-CO-Cl + AlCl_3$	$R-CO^+$	fenil-alchil-chetone Ph-CO-R

Tale reazione avviene mediante la sostituzione di uno o più idrogeni con altri atomi o gruppi, procedendo in due stadi: un primo stadio lento nel quale una coppia elettronica π dell'anello di benzene, attacca un elettrofilo formando con questo un legame σ . L'anello di benzene prende a questo punto una carica positiva quindi si forma un carbocatione, precisamente il **carbocatione arenio**, che grazie alla risonanza si stabilizza su più posizioni.

Nel secondo stadio veloce il carbocatione arenio, eliminando un protone (H^+) e utilizzando gli elettroni che lo legavano a questo neutralizza la propria carica positiva ripristinando così l'aromaticità.



Meccanismo di reazione della sostituzione elettrofila aromatica (E^+ è un generico elettrofilo)*

Quando la reazione avviene su un benzene che già presenta un sostituente, questo è capace di favorire o sfavorire la sostituzione e influenza anche la posizione che assumerà il nuovo sostituente. I sostituenti che favoriscono le reazioni si definiscono **attivanti**, essi cedono elettroni all'anello aromatico e favoriscono l'ingresso di un sostituente nelle posizioni **orto- e para-**, mentre sono **disattivanti** quei sostituenti che attraggono elettroni e favoriscono l'ingresso di un sostituente nelle posizioni **meta-**.

Inoltre vi sono sostituenti **orto-para orientanti** che orientano la sostituzione in posizione orto e para, generalmente essi corrispondono ai sostituenti attivanti. I sostituenti **meta orientanti** orientano in posizione meta, a questi generalmente corrispondono i sostituenti disattivanti.

Gli alogeni rappresentano una categoria a parte in quanto per l'elevata elettronegatività risultano disattivanti ma per i doppietti non condivisi sono orto-para orientanti.

Approfondimenti

Esperienza sugli idrocarburi aromatici

<http://www.itchiavari.org/chimica/lab/areni.html>

5 Le diverse classi di composti organici

5.1 I gruppi funzionali

I gruppi funzionali sono atomi o gruppi di atomi che determinano le proprietà dei composti organici a cui sono legati, facendo assumere specifici comportamenti chimici. Tutti quei composti che presentano nella loro molecola lo stesso gruppo funzionale costituiscono una classe.

Gruppi funzionali delle principali classi di composti organici

Classe	Gruppo funzionale
alogenuri	-X (X= F, Cl, Br, I)
alcoli	-OH
tioli	-SH
eteri	-O-
aldeidi	$\text{H}-\underset{\text{ }}{\text{C}}=\text{O}$
chetoni	$-\underset{\text{ }}{\text{C}}=\text{O}$
acidi carbossilici	$\text{HO}-\underset{\text{ }}{\text{C}}=\text{O}$
esteri	$\text{R}-\text{O}-\underset{\text{ }}{\text{C}}=\text{O}$
ammidi	$\text{H}_2\text{N}-\underset{\text{ }}{\text{C}}=\text{O}$

5.2 Alogenoderivati

I gruppi funzionali degli alogenoderivati sono costituiti dagli atomi degli alogeni, in base alla natura del radicale idrocarburico sono definiti anche **alogenuri alchilici** o **arilici**.

Per la nomenclatura si fa precedere il nome e la posizione dell'alogeno al nome dell'idrocarburo, è usata anche una nomenclatura tradizionale che considera tali composti dei sali organici e fa precedere al nome dell'alchile quello dell'alogeno con suffisso **-uro**, come negli esempi di seguito:

$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{Cl}$ cloroetano o cloruro di etile

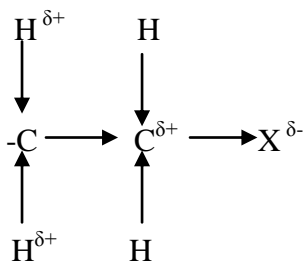
$\text{CH}_3\text{-CHBr-CH}_3$ 2-bromopropano o bromuro di isopropile

CH_3Cl clorometano o cloruro di metile

In base all'atomo di carbonio a cui è legato l'alogeno si ha la distinzione in alogenoderivati primari, secondari e terziari.

5.3 Proprietà degli alogenoderivati

Negli alogenoderivati il gruppo funzionale è fortemente polarizzato, poiché vi è una gran differenza di elettronegatività tra carbonio e uno degli atomi di alogeni legati ad esso. Ne deriva che si tratta di composti molto reattivi. Il carbonio suddetto assume una parziale carica positiva e gli idrogeni dei vicini carboni possono essere rimossi come H^+ .



Quindi il carbonio ha un eccesso di carica positiva e può subire un attacco nucleofilo, di conseguenza avvengono reazioni di sostituzione o di eliminazione.

Nelle reazioni di sostituzioni un nucleofilo attaccandosi al carbonio allontana l'alogeno, in base alla specie di nucleofilo l'alogenuro può diventare alcol, etere o altro.

Generalmente sostituzione ed eliminazione avvengono contemporaneamente, formando miscele di prodotti, gli alogenuri

primari danno maggiormente reazioni di sostituzione mentre quelli terziari reazioni di eliminazione.

5.4 Alcoli

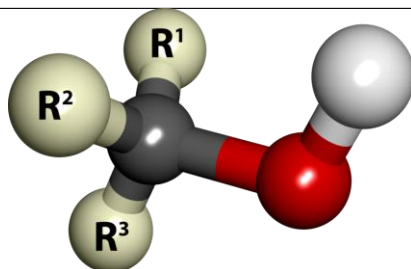
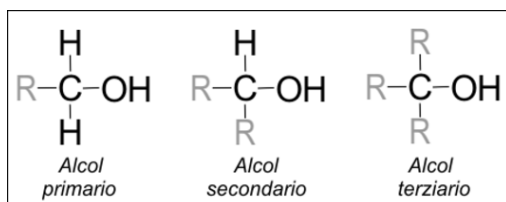
Gli alcoli sono composti che hanno per gruppo funzionale l'ossidrilico -OH, la cui formula generale è R-OH, per struttura sono simili all'acqua, ma presentano un radicale al posto di uno degli idrogeni.

Riguardo alla nomenclatura nel sistema IUPAC il suffisso **-olo** indica la presenza dell'ossidrilico, la numerazione indica a quale carbonio esso è legato.

La nomenclatura tradizionale premette il termine **alcol** al nome del gruppo alchilico. Per gli alcoli insaturi si usano due desinenze, una per doppio o triplo legame e una per l'ossidrilico, in questi composti il suffisso **-olo** viene per secondo. Vediamo alcuni esempi di seguito:

- $\text{CH}_3\text{-OH}$ metanolo o alcol metilico
- $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ etanolo o alcol etilico
- $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$ 1propanolo o alcol n-propilico
- $\text{CH}_2=\text{CH-CH}_2\text{-OH}$ 2-propen-1-olo o alcol allylico

In base al carbonio a cui è legato l'ossidrilico gli alcoli si classificano in: primari, secondari e terziari:



Molecola di alcol terziario*

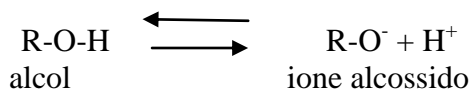
L'alcol metilico non rientra in questa classificazione ed è considerato primario.

5.5 Proprietà fisiche e chimiche degli alcoli

Gli alcoli formano legami a ponte di idrogeno con altre molecole, quindi occorrerà una maggiore energia per poter separare le molecole, di conseguenza presentano temperature di fusione ed ebollizione più alte rispetto ai corrispondenti idrocarburi.

Inoltre la formazione di legami a ponte di idrogeno influisce anche sulla solubilità, quelli con minor peso molecolare sono molto solubili in acqua e aumentando il peso e quindi la catena carboniosa, la solubilità diminuisce perché prevale la parte apolare della molecola.

Gli alcoli sono elettroliti debolissimi e in soluzione acquosa sono indissociati, tuttavia hanno anche carattere anfotero, infatti possono comportarsi da acidi cedendo un protone, possono dissociarsi secondo il seguente schema:



Gli alcoli sono acidi molto blandi, più deboli dell'acqua.

Inoltre avendo doppietti elettronici sull'ossigeno mostrano deboli proprietà basiche.

Le reazioni degli alcoli si dividono in due gruppi, quelle che scindono il legame ossigeno-idrogeno e quelle che scindono il legame carbonio-ossigeno.

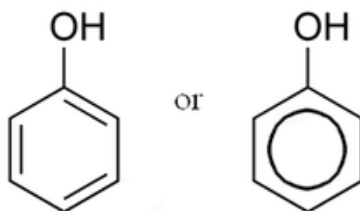
Tra quelle che scindono il legame ossigeno-idrogeno ritroviamo quelle appena viste che riguardano il comportamento acido-base.

Tra le reazioni che scindono il legame carbonio-ossigeno si annoverano le reazioni di ossidazione

Gli alcoli possono essere ossidati a composti carbonilici con un doppio legame tra carbonio e ossigeno, la reazione avviene in maniera diversa per alcoli primari, secondari e terziari: un alcol primario si trasforma ad aldeide, un alcol secondario a chetone, gli alcoli terziari non danno questo tipo di ossidazione perché non hanno atomi di H sul C legato ad OH.

5.6 Fenoli

I **fenoli** sono quei composti organici che presentano il gruppo ossidrilico (OH) legato ad un anello aromatico, tra cui il più semplice è il fenolo, gli altri sono dei suoi derivati il cui nome si ottiene premettendo al termine fenolo il nome e la posizione del gruppo sostituyente.



Il fenolo*

I fenoli presentano spiccate proprietà acide ed in passato per tali proprietà il fenolo era denominato acido fenico.

Si ossidano facilmente e possono dar luogo a reazioni di esterificazione ed eterificazione.

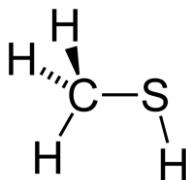
5.7 Tioli

I tioli sono composti solforati analoghi ad alcoli e fenoli, caratterizzati dalla presenza del gruppo solfidrile $-SH$, che è il gruppo funzionale dei tioli, la formula generale è $R-SH$, essi vengono denominati anche **mercaptani** poiché reagiscono con lo ione mercurio formando i sali di mercurio detti mercapturi. Il gruppo solfidrile conferisce a tali composti carattere acido.

La nomenclatura IUPAC dei tioli è analoga a quella degli alcoli e degli eteri, cambiando i suffissi in **-tiolo**, vediamo alcuni esempi:

- CH_3-CH_2-SH etanolo
- $CH_3-CH_2-S-CH_3$ metiletilsolfuro

I tioli hanno un odore sgradevole.



Il metantiolo è il più semplice dei mercaptani*

5.8 Eteri

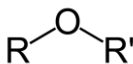
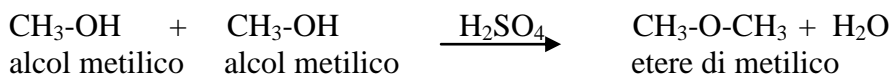
Gli eteri sono composti con due gruppi organici legati ad uno stesso atomo di ossigeno, la cui formula generale è: $R-O-R'$ in cui R ed R' possono essere identici o diversi, alchilici o arilici, quindi il gruppo funzionale che li caratterizza è -O-.

Il nome a tali composti si ottiene assegnando prima il nome ai due gruppi alchilici o arilici legati all' atomo di ossigeno che vanno posti in ordine alfabetico e questi sono preceduti dalla parola etere. Vediamo gli esempi di seguito:

$CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3$ etere dietilico

CH_3-O-CH_3 etere dimetilico

Gli eteri possono essere preparati per disidratazione intermolecolare di alcoli in presenza di acido solforico (H_2SO_4).



Formula di struttura generale di un etere*

5.9 Aldeidi e chetoni

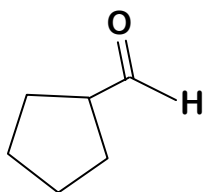
In aldeidi e chetoni è presente il gruppo funzionale che prende il nome di gruppo carbonilico $-C=O$ e quindi ad essi si dà il nome di composti carbonilici. In questo gruppo l'atomo di carbonio è ibridato sp^2 .

Nelle aldeidi al gruppo carbonilico è legato almeno un atomo di idrogeno, con formula generale che contratta è $R-CHO$.

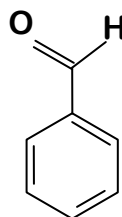
Nei chetoni invece il gruppo carbonilico è legato a due residui idrocarburi, con formula generale che contratta è $R-CO-R'$.

Nel sistema IUPAC per la nomenclatura delle aldeidi si usa il suffisso **-ale**, i nomi tradizionali derivano dai corrispondenti idrocarburi, il gruppo aldeide ha priorità sul doppio legame, e sull'ossidrilico. Per le aldeidi cicliche si usa il suffisso **-carbaldeide**, in basso sono riportati degli esempi:

- $H-CHO$ metanale o aldeide formica
- CH_3-CHO etanale o aldeide acetica
- $CH_3-CH=CH-CHO$ 2-butenale o aldeide crotonica



ciclopentencarbaldeide



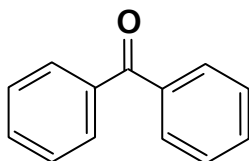
benzencarbaldeide

Nel sistema IUPAC per denominare i chetoni si usa il suffisso **-one**, la catena va numerata in modo tale da attribuire al carbonio del gruppo carbonilico il numero più basso possibile. Nella nomenclatura tradizionale si fa seguire al termine chetone il nome dei radicali presenti in ordine alfabetico. Di seguito vediamo gli esempi:

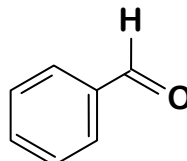
$\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$ propanone o dimetilchetone o acetone

$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO-CH}_3$ 2-butanone o metiletilchetone

Per aldeidi e chetoni aromatici si usano nomi specifici come vediamo negli esempi:



Benzofenone o difenilchetone



Benzaldeide

Se nella molecola sono presenti altri gruppi funzionali con maggiore priorità, il gruppo è indicato col prefisso **cheto-** o con quello **osso-** a cui si fa precedere il numero o la lettera greca che ne indica la posizione nella catena.

5.10 Proprietà di aldeidi e chetoni

Aldeidi e chetoni sono composti polari che hanno punti di ebollizione, di fusione e densità intermedie tra gli alcoli e gli eteri. Ciò è dovuto al fatto che non possono formare tra loro legami a idrogeno, ma possono formarli con l'acqua in quanto il gruppo carbonilico possiede due doppietti elettronici non condivisi sull'ossigeno, ciò giustifica la discreta solubilità che hanno in acqua aldeidi e chetoni a basso peso

molecolare, invece quelli ad alto peso molecolare sono solubili solo in solventi organici.

La reazione che caratterizza il gruppo carbonilico è l'**addizione nucleofila** al doppio legame, questa reazione avviene più facilmente col carbonile aldeidico per il minor ingombro sterico piuttosto che con quello chetonico.

Sia per le aldeidi che per i chetoni si possono avere:

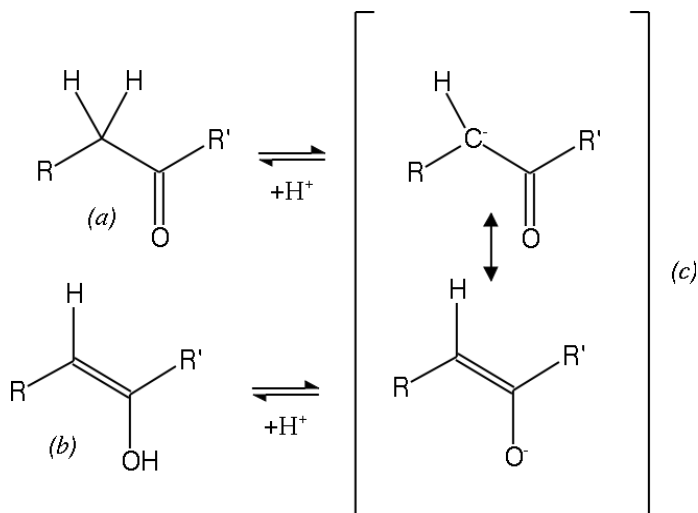
- addizione di H_2O , con la formazione di dioli geminali: i dioli o glicoli geminali sono molecole in cui i due gruppi OH sono legati allo stesso atomo di C, sono instabili perché facilmente perdono H_2O ritornando ad aldeidi o chetoni.
- Addizione di alcoli che portano alla formazione di emiacetali e acetali per le aldeidi ed emichetali e chetali per i chetoni. Se in una molecola sono presenti contemporaneamente un gruppo carbonilico e uno ossidrilico si possono formare emiacetali ciclici, fra questi quelli a 5 e 6 atomi di C e con un O che occupa una posizione nel ciclo, risultano i più stabili.
- Addizione di NH_3 con formazione di immine; le immine sono composti caratterizzati dalla presenza del gruppo $-C=N-$.

Sia le aldeidi che i chetoni possono essere ridotti ad alcoli primari, o secondari con idrogeno in presenza di catalizzatori.

5.11 Tautomeria cheto-enolica

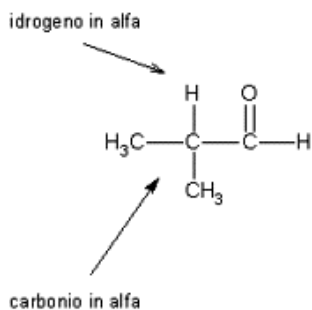
Si tratta di una forma di isomeria in cui l'equilibrio è tra un enolo (che è un alcol che porta il gruppo OH legato ad un atomo di carbonio insaturo) e un chetone o un aldeide poiché entrambi sono composti carbonilici.

Questa particolare isomeria è detta **tautomeria** e le due forme **tautomeri**.



Tautomeria cheto-enolica*; (a) è il chetone o l'aldeide, (b) l'enolo corrispondente e (c) l'anione stabilizzato per risonanza.

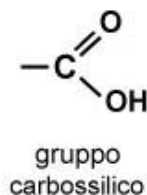
Il carbonio adiacente al carbonio carbonilico è indicato carbonio α e l'idrogeno ad esso legato si indica idrogeno α .



La forma più stabile per aldeidi e chetoni più semplici è quella chetonica e infatti l'equilibrio è spostato verso questa. Vi sono però molecole che esistono solo nella forma enolica come i fenoli.

5.12 Acidi carbossilici

Questi acidi sono caratterizzati dalla presenza del **gruppo carbossilico**, il cui nome deriva dalla contrazione dei nomi del gruppo carbonile e ossidrilico che lo compongono.

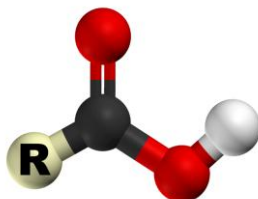


La formula generale degli acidi carbossilici è la seguente: R-COOH.

Riguardo alla nomenclatura di tali composti, nel sistema IUPAC, si premette il termine acido e si aggiunge il suffisso -oico, il nome deriva dalla catena più lunga di atomi di carbonio contenente il gruppo -COOH. Gli atomi di carbonio vengono numerati in modo tale da assegnare il numero 1 a quello appartenente al gruppo carbonilico, se nella molecola sono presenti altri gruppi si usano le lettere greche per indicarne la posizione a partire dal carbonio α che è quello che segue il carbonio carbonilico.

Gli acidi carbossilici vengono denominati anche **acidi grassi** poiché furono estratti per la prima volta da grassi naturali. In basso vi sono alcuni acidi carbossilici con il nome ufficiale e quello di uso corrente:

- H-COOH acido metanoico o acido formico
- CH₃-COOH acido etanoico o acido acetico
- CH₂=CH-COOH acido propenoico o acido acrilico



Modello molecolare di un acido carbossilico*

5.13 Proprietà degli acidi carbossilici

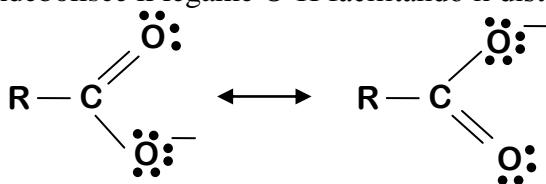
Gli acidi carbossilici sono composti polari capaci di formare legami a idrogeno intermolecolari e con altre molecole come acqua e alcoli.

Gli acidi carbossilici più semplici come i primi quattro della serie (acido formico, acido acetico, acido propionico e acido butirrico) sono solubili in acqua, la solubilità decresce all'aumentare della catena carboniosa, poiché prevale la porzione idrofoba dell'acido, infatti questi ultimi sono idrofobi e solubili in solventi organici.

Sono dei composti acidi per la presenza dell'ossidrile, la loro costante di dissociazione K_a è più alta rispetto ad alcoli e acqua tuttavia sono acidi deboli, possono essere neutralizzati da basi comuni dando origine ai sali solubili in acqua. I sali prendono il nome degli acidi cambiando il suffisso -oico in **-ato**.

Le proprietà di questi acidi dipendono fortemente dal gruppo carbossilico che quindi condiziona le loro reazioni.

Gli acidi si ionizzano facilmente (perdono H^+) e la carica negativa che ne deriva risulta dispersa tra i due atomi di ossigeno. Sempre dall'elevata elettronegatività dell'ossigeno carbonilico deriva l'effetto induttivo che indebolisce il legame O-H facilitando il distacco dell' H^+ .



5.14 Acidi policarbossilici

Gli acidi carbossilici sono sostanze che presentano nella molecola più di un carbossile, tra questi vi sono gli **acidi bicarbossilici** che sono quelli più importanti, hanno formula generale: $\text{COOH}-(\text{CH}_2)_n-\text{COOH}$ in cui n può assumere valore 0, 1, 2, 3, ecc.

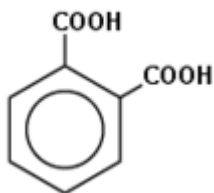
Il nome di questi composti secondo il sistema IUPAC si ottiene usando il suffisso -dioico inoltre vi sono anche nomi comuni, vediamo alcuni esempi in basso:

$\text{HOOC}-\text{COOH}$ acido etandioico o acido ossalico

$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{COOH}$ acido propandioico o acido malonico

$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$ acido pentandioico o acido glutarico.

Gli **acidi ftalici** sono acidi bicarbossilici derivati dal benzene.



Acido ftalico

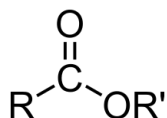
Gli acidi poli-carbossilici sono acidi più forti di quelli monocarbossilici.

5.15 Derivati degli acidi carbossilici

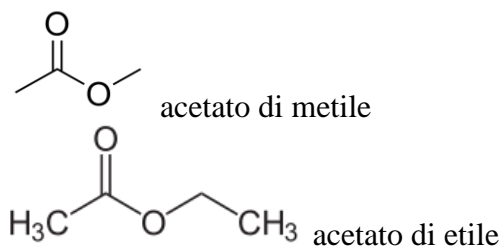
I derivati degli acidi carbossilici sono composti in cui il gruppo ossidrilico è stato sostituito da altri gruppi, tali derivati danno per idrolisi i corrispondenti acidi carbossilici. I derivati hanno tutti in comune il **gruppo acilico** che è il gruppo carbossilico senza ossidrile (OH), per i derivati alifatici è $R-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}$ e per quelli aromatici è $\text{Ar}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}$.

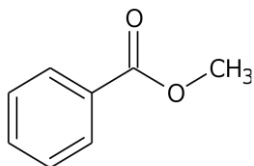
Esteri

Gli esteri sono i più importanti derivati degli acidi carbossilici, essi si ottengono sostituendo l'ossidrile contenuto nel gruppo carbossilico con un gruppo $-\text{OR}'$ in cui R può essere un radicale alchilico o arilico, la formula generale è:



Per quanto riguarda la denominazione di tali composti essa è analoga ai sali, si usa il suffisso $-\text{ato}$ per la parte acilica e il suffisso $-\text{ile}$ per la parte alchilica, come vediamo in basso negli esempi:





benzoato di metile

Sono generalmente insolubili in acqua, ma solubili nei solventi organici al punto da essere essi stessi considerati solventi.

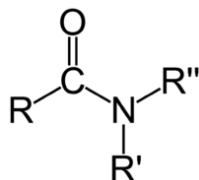
Proprietà degli esteri: sono composti moderatamente polari, ma non danno luogo a legami a idrogeno tra di essi, perciò sono poco solubili in acqua e volatili.

Tra le reazioni più importanti degli esteri ricordiamo l'idrolisi che è la reazione inversa dell'esterificazione, quando essa avviene in ambiente basico prende il nome di **saponificazione** e porta alla formazione di un alcool o di un fenolo e di un sale.

Ammidi

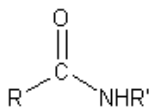
Le ammidi sono considerate derivati di acidi carbossilici in cui l'ossidrile è sostituito da un gruppo amminico.

La struttura generale di un ammido è:

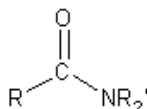


Struttura generale di un ammido

Se R' e R'' sono idrogeni l'ammido sarà **primaria**, l'ammido è **secondaria** se uno solo tra R' ed R'' è un idrogeno, se nessuno dei due è un idrogeno l'ammido è **terziaria**:



ammido secondaria



ammido terziaria

All'azoto del gruppo amminico possono essere legati due radicali uno alchilico e uno arilico, oppure due atomi di idrogeno, se si verifica quest'ultimo caso si hanno ammidi semplici negli altri due casi si hanno ammidi **mono-** e **bi-sostituite**.

Per la denominazione si fa seguire il suffisso **-ammide** alla radice dell'acido da cui derivano.

Se vi sono ammidi sostituite, ai nomi dei radicali si fa precedere la lettera N.

Approfondimenti

Le aldeidi e i chetoni, esperienza di laboratorio

<http://www.itchiavari.org/chimica/lab/aldchet.html>

Esperienza di laboratorio gli alcoli

<http://www.itchiavari.org/chimica/lab/alcooli.html>

Esperienza in laboratorio sugli acidi carbossilici

<http://www.itchiavari.org/chimica/lab/acidicar.html>

Aldeidi e chetoni, video

<http://www.youtube.com/watch?v=TnDgzEhVo1o>

Acidi carbossilici, video

<http://www.youtube.com/watch?v=5ihZQNLg9Ys>

6 Le biomolecole

6.1 Le molecole biologiche

Gli esseri viventi sono costituiti da biomolecole o molecole biologiche, che sono composti organici contenenti carbonio e appartenenti a carboidrati, grassi, proteine e acidi nucleici.

Molte di esse hanno grandi dimensioni e perciò vengono chiamate **macromolecole**.

Sono maggiormente **polimeri** cioè formate da più unità dette **monomeri**. La sintesi di un polimero avviene attraverso un processo che prende il nome di **condensazione**, esso consiste nella formazione di un legame covalente tra le estremità di due unità monomeriche, in particolare un gruppo ossidrilico dell'estremità di un monomero si lega ad un idrogeno dell'estremità di un altro monomero, dall'unione dei due monomeri viene rilasciato un idrogeno ed un ossidrile che formeranno una molecola d'acqua.

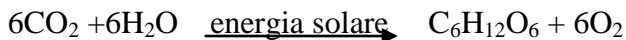
Nella cellula può avvenire anche il processo inverso alla sintesi cioè la degradazione di macromolecole per liberare i monomeri che le formano, questi ultimi serviranno poi per diverse reazioni nella cellula. La rottura dei polimeri prende il nome di **idrolisi**.

Le macromolecole possono dare origine a molecole **ibride** cioè formate da molecole di diversa natura, ad esempio le glicoproteine che si formano dall'unione di residui glucidici e proteici, queste hanno proprietà chimiche diverse sia dai glucidi che dalle proteine

6.2 I carboidrati

I carboidrati sono composti presenti in tutti gli animali e in tutte le piante, essi sono fondamentali per lo svolgimento delle funzioni vitali, da essi gli organismi ottengono energia mediante reazioni chimiche che scindono legami chimici delle molecole.

In natura vengono sintetizzati dagli organismi vegetali mediante la fotosintesi clorofilliana, un processo che parte da anidride carbonica ed acqua in presenza di energia solare e clorofilla:



Il termine carboidrato è dovuto al fatto che le formule di tali composti potevano essere espresse come idrati di carbonio.

Essi sono formati da atomi di carbonio, idrogeno e ossigeno, la cui formula generale è: $C_nH_{2n}O_n$ dove n è un numero intero, generalmente corrisponde a 5 o 6 o è un multiplo di questi numeri. Oppure può essere scritta come $C_n(H_2O)_m$ nei monosaccaridi $n=m$.

Questi composti vengono denominati anche **glucidi** e **zuccheri**, per il loro sapore dolciastro.

A seconda della loro struttura possono essere classificati in **monosaccaridi**, **oligosaccaridi** e **polisaccaridi**, il termine saccaride deriva dal latino e significa dolce.

6.3 Monosaccaridi

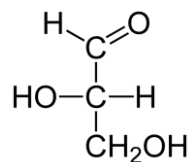
I monosaccaridi possono essere costituiti da tre, quattro, cinque o sei atomi di carbonio e vengono classificati rispettivamente in **triosi**, **tetrosi**, **pentosi ed esosi**, i più diffusi in natura sono i pentosi e gli esosi. Un'ulteriore classificazione può essere fatta in **aldosi** e **chetosi** in base alla natura del carbonile presente nei carboidrati che può essere aldeidico o chetonico.

I gruppi funzionali presenti nei monosaccaridi e in tutti gli altri

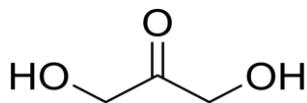
carboidrati sono: l'ossidrile (OH), il gruppo aldeidico $R-\overset{\text{O}}{\parallel}{C}-H$ e il

gruppo chetonico $R-\overset{\text{O}}{\parallel}{C}-R'$.

In natura sono presenti solo due triosi: la gliceraldeide e il diidrossiacetone:



Gliceraldeide

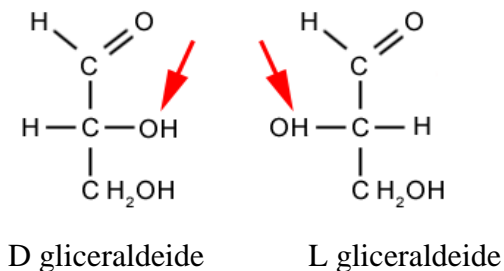


Diidrossiacetone

In natura i più diffusi sono aldosesi e chetosesi tra cui i più importanti sono glucosio e fruttosio.

Dato che un composto possiede molti atomi di carbonio asimmetrici C^* , vi sono molti isomeri, il numero di questi ultimi è dato da 2^n in cui n è il numero di C^* contenuti nel composto.

Esistono due configurazioni D ed L, i glucidi più importanti dal punto di vista biologico sono quelli che hanno configurazione D cioè con l'ossidrile a destra mentre quelli L sono gli enantiomeri con l'ossidrile a sinistra, in tutti e due i casi in alto si pone il carbonio più ossidato (CHO).



Per gli altri monosaccaridi, con quattro, cinque e sei atomi di carbonio, la configurazione D o L dipende dal carbonio asimmetrico più lontano dal gruppo aldeidico o chetonico. Se questo carbonio porta il gruppo OH a destra la configurazione è D, se lo porta a sinistra è L.

I monosaccaridi non sono costituiti da catene di carbonio lineari ma in realtà esistono in forma **semiacetale ciclica**, conseguente ad un'interazione intramolecolare tra il gruppo carbonilico e uno dei gruppi alcolici.

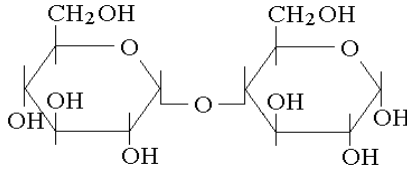
In seguito alla ciclizzazione si forma un ulteriore carbonio asimmetrico corrispondente al C-1 negli aldosi e C-2 nei chetosi, quindi la forma ciclica presenta due isomeri α e β diversi per l'orientamento spaziale dei gruppi ossidrilici legati a C-1, quando l'ossidrile è segnato verso il basso nella formula la forma è α se invece è segnato verso l'alto la forma è β .

In natura queste due forme si trovano in diverse percentuali, la forma β è quella che prevale ed è la più stabile, esse sono interconvertibili quindi la chiusura dell'anello non è definitiva.

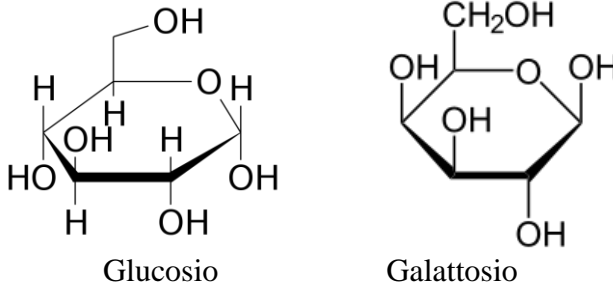
6.4 Oligosaccaridi

Gli oligosaccaridi sono polimeri dei monosaccaridi, derivanti dalla condensazione di 2-5 molecole di monosaccaride, con la perdita di acqua, il legame che li unisce prende il nome di glicosidico. Tra gli oligosaccaridi i più comuni sono i **disaccaridi**, costituiti da due molecole di monosaccaridi tra di essi i più comuni sono: maltosio, lattosio e saccarosio.

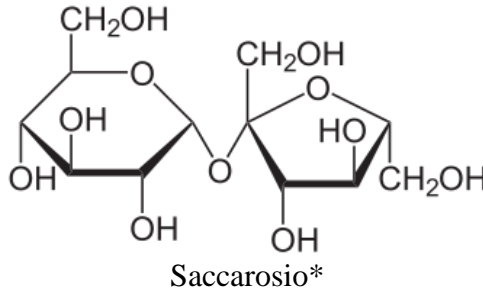
Il **maltosio** è formato da due molecole di glucosio e si forma per idrolisi dell'amido:



Il **lattosio** è formato da una molecola di glucosio e una di galattosio, esso è lo zucchero presente nel latte:



Il **saccarosio** è costituito da glucosio e fruttosio, esso è il comune zucchero da tavola:



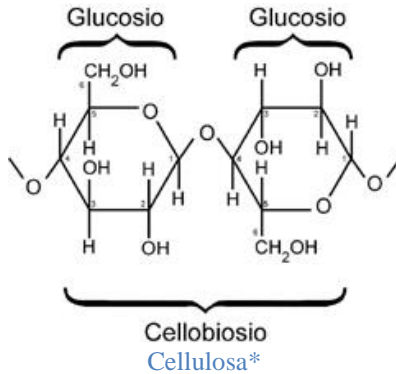
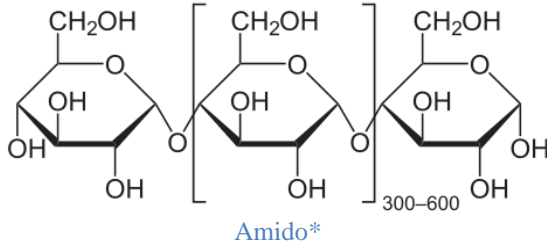
6.5 Polisaccaridi

I **polisaccaridi** sono polimeri formati da molte molecole di monosaccaride, in base alle molecole che li costituiscono possono essere classificati in **omopolisaccaridi** se esse sono uguali, **eteropolisaccaridi** se sono diverse.

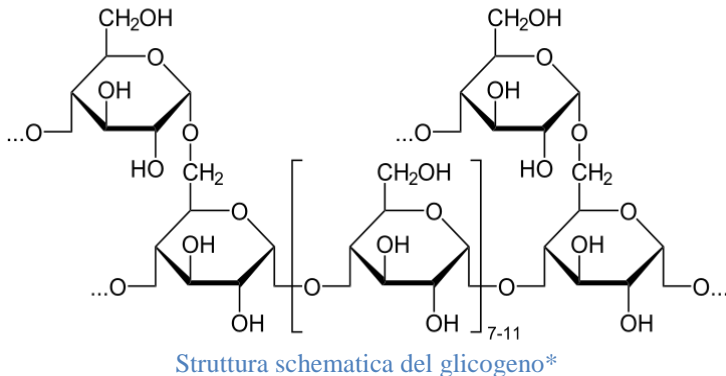
Tra gli omopolisaccaridi i più importanti sono cellulosa, amido e glicogeno, tutti polimeri del glucosio.

La **cellulosa** è costituita da molecole lineari non ramificate di glucosio circa 1500, con legami 1-4.

L'**amido** è costituito da una miscela di polisaccaridi l'amilosio (lineare) e l'amilopectina (ramificata), entrambi costituiti da molecole di glucosio unite da legami 1-4.



Il **glicogeno** ha una struttura simile a quella dell'amido, ma presenta maggiori ramificazioni, ancora più che l'amilopectina. Lungo la catena principale (lineare) i residui di glucosio si legano con legami 1-4, poi ogni 8-10 residui si hanno ramificazioni con legame 1-6.



7 I lipidi

7.1 Classificazione dei lipidi

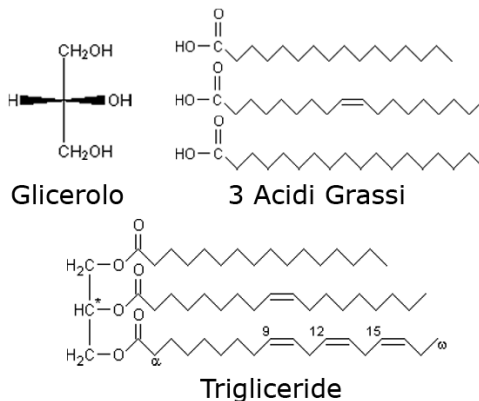
I lipidi sono una classe di composti molto varia, costituiti da lunghe catene di atomi di carbonio e idrogeno, sono caratterizzati dall'insolubilità in acqua, quindi sono **idrofobici**, ma sono solubili in solventi apolari come benzene, cloroformio ed etere, quindi sono **lipofilici**.

I lipidi nel mondo animale e vegetale svolgono funzione di riserva energetica e sono alla base della struttura delle membrane biologiche e nella composizione delle vitamine liposolubili.

Sono divisi in due grandi classi: i **lipidi semplici** (trigliceridi, cere e steroidi) e i **lipidi complessi** (fosfolipidi, glicolipidi e lipoproteine).

7.2 Lipidi semplici

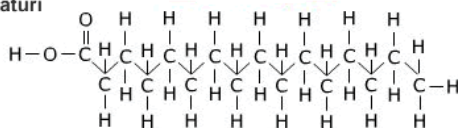
I **trigliceridi** o **triesteri del glicerolo** sono formati da una molecola di glicerolo o glicerina a cui si legano tre molecole di acidi grassi:



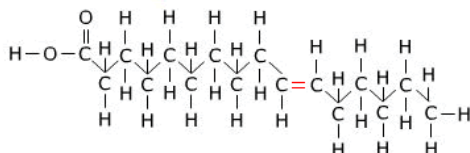
Gli acidi grassi sono formati da una lunga catena carboniosa in genere formata da 16/18 atomi di carbonio, e in base alla presenza o all'assenza di doppi legami nella catena carboniosa, si suddividono in **acidi grassi insaturi** se vi sono i doppi legami, **acidi grassi saturi** se non vi sono doppi legami. Generalmente sono saturi quelli di origine animale e insaturi quelli di origine vegetale.

ACIDI GRASSI

saturi



insaturi

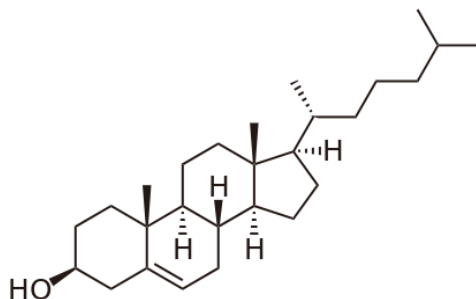


Le **cere** sono composti di origine animale e vegetale, esse sono miscele eterogenee di alcoli, chetoni, alcani e monoesteri di acidi grassi. Sia la porzione acida che quella alcolica portano lunghe catene carboniose sature.

Sono insolubili in acqua, in natura si trovano sull'epidermide degli insetti proteggendoli dalla disidratazione e ricoprono la superficie di alcune parti di piante che si trovano in luoghi aridi per proteggerle da un'eccessiva traspirazione.

Gli **steroidi** sono lipidi con diverse tipologie strutturali ma accomunati da una struttura di base a quattro anelli condensati, tre dei quali a sei termini e uno a cinque termini al quale si legano diversi gruppi funzionali.

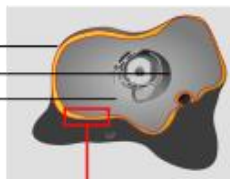
Gli steroidi sono prodotti a partire dal **colesterolo**, una molecola contenente 27 atomi di carbonio, presente nella membrana plasmatica delle cellule animali in cui ne regola la permeabilità e conferisce stabilità, quindi è molto importante per l'organismo ma un'eccessiva presenza nel sangue può essere dannosa.



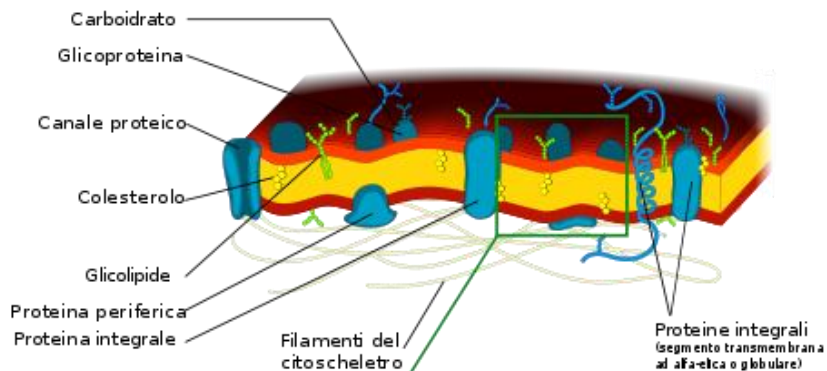
Struttura del colesterolo*

Cellula

Fluido extracellulare
Nucleo
Citoplasma



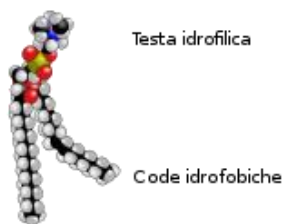
Membrana cellulare



Doppio foglietto fosfolipidico



Fosfolipide (fosfatidilcolina)



Membrana plasmatica*

7.3 Lipidi complessi

I **fosfolipidi** derivano dall'esterificazione del glicerolo che è legato a due molecole di acido grasso e a una molecola di acido fosforico sostituito che prende il nome di gruppo fosfato.

Questa particolare struttura spiega il ruolo delle funzioni delle membrane cellulari formate da un doppio strato fosfolipidico in cui sono inserite proteine, glicoproteine e colesterolo, e gli permette un particolare comportamento in acqua. La parte formata dal gruppo fosfato e dal glicerolo che nel complesso prende il nome di **testa** è idrofila. Invece i due acidi grassi detti **coda** rappresentano la parte idrofoba. In acqua i fosfolipidi si affiancano allineando le code idrofobe e rivolgendo verso l'esterno le teste idrofile.

Approfondimenti

Biomolecole, lipidi, proteine e acidi, video

<http://www.youtube.com/watch?v=FePMqo2Jmco>

8 Le proteine

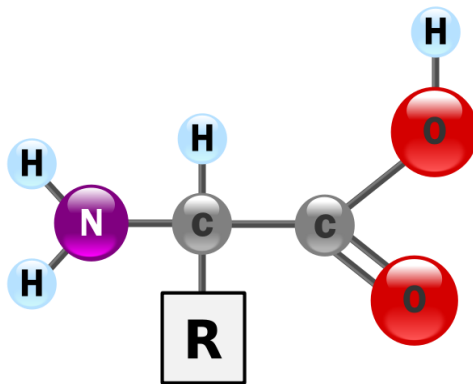
8.1 Classificazione delle proteine

Le proteine sono polimeri formati da **amminoacidi**, legati tra loro da **legami ammidici** o **peptidici**, esse sono molto variabili per forme e funzioni:

- le **proteine strutturali** svolgono funzioni plastiche e di sostegno alle cellule dell'organismo, quelle più importanti sono il collagene e l'elastina la prima dà resistenza ai tessuti l'altra elasticità;
- gli **enzimi** sono proteine catalitiche in quanto accelerano le reazioni biologiche;
- le **proteine di trasporto**, importanti per il passaggio di sostanze attraverso le membrane cellulari;
- le **proteine di protezione**, come gli anticorpi che hanno il compito della difesa dell'organismo;
- le **proteine contrattili**, come la miosina e l'actina che permettono la contrattilità nelle cellule dei muscoli;
- le **proteine regolatrici**, come gli ormoni tra cui ricordiamo l'insulina che regola la glicemia.

8.2 Gli amminoacidi

Gli **amminoacidi** indicati con la sigla **aa**, sono i monomeri delle proteine, essi sono 20 ma costituiscono migliaia di proteine, la formula generale degli amminoacidi è:



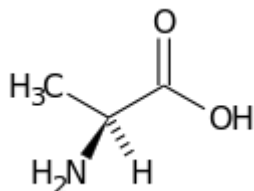
Struttura generica di un amminoacido*

Tutti gli amminoacidi eccetto la glicina nella quale il gruppo laterale R è un idrogeno, presentano un centro stereogeno in quanto presentano un carbonio centrale (α) a cui sono legati quattro diversi sostituenti:

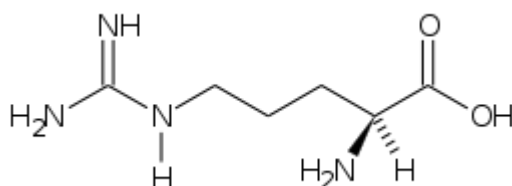
- NH_2 (un gruppo amminico);
- COOH (un gruppo carbossilico);
- H (un atomo di idrogeno);
- R (un gruppo laterale diverso per ogni amminoacido).

La presenza del centro stereogeno ne permette la distinzione in due forme isomeriche, **D** ed **L**, in natura gli amminoacidi che compongono le proteine sono per lo più quelli della serie L.

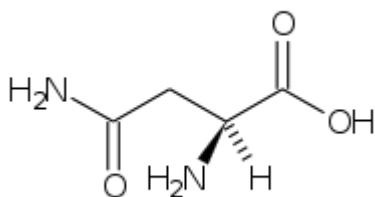
Di seguito possiamo vedere i venti amminoacidi con i rispettivi nomi e con le iniziali di tre lettere:



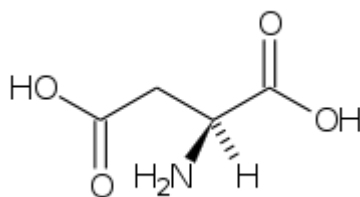
(+) Alanina (Ala, A)



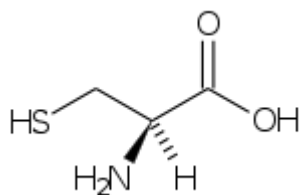
(+) Arginina (Arg, R)



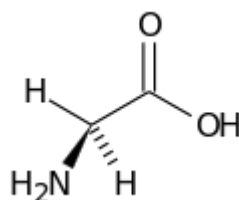
(−) Asparagina (Asn, N)



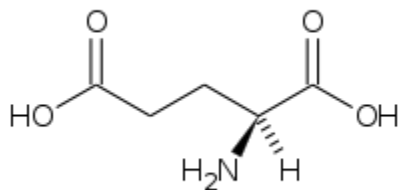
(+) Acido aspartico (Asp, D)



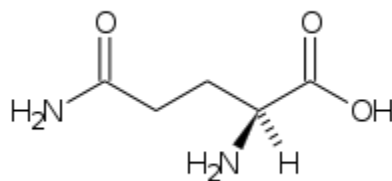
(−) Cisteina (Cys, C)



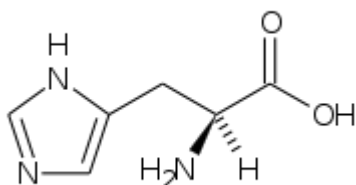
Glicina (Gly, G)



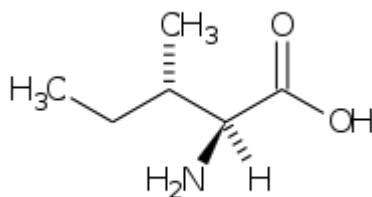
(+) Acido glutammico (Glu, E)



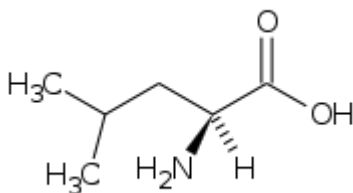
(+) Glutamina (Gln, Q)



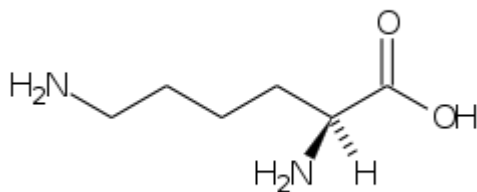
(-) Istidina (His, H)



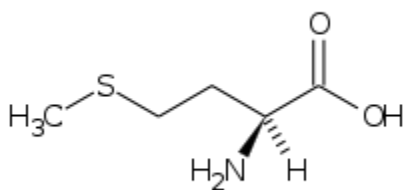
(+) Isoleucina (Ile, I)



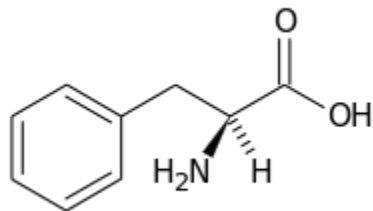
(-) Leucina (Leu, L)



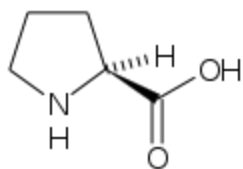
(+) Lisina (Lys, K)



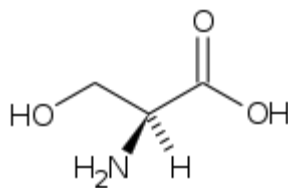
(-) Metionina (Met, M)



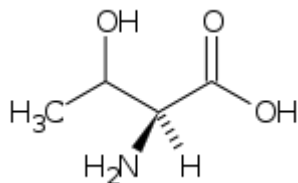
(-) Fenilalanina (Phe, F)



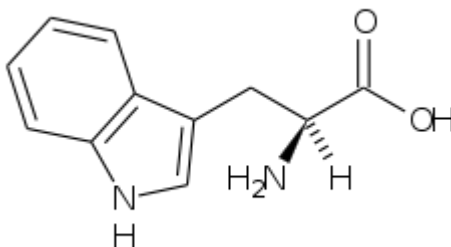
(—) Prolina (Pro, P)



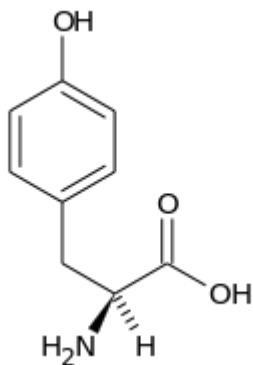
(—) Serina (Ser, S)



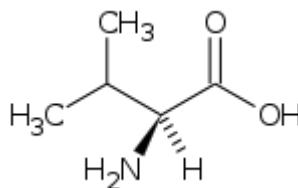
(—) Treonina (Thr, T)



(—) Triptofano (Trp, W)



(—) Tirosina (Tyr, Y)

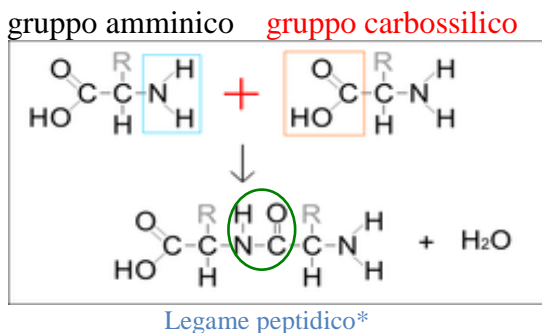


(+) Valina (Val, V)

Le caratteristiche chimiche degli amminoacidi variano in base al **gruppo** funzionale che è presente nel gruppo laterale (R), della molecola. In base alla carica del gruppo laterale gli amminoacidi si possono classificare in **acidi** (acido aspartico e acido glutammico), **basici** (lisina, arginina e istidina), **neutri polari** (asparagina, glutammina, serina, treonina e tirosina) e **neutri non polari** (glicina, alanina, valina, leucina, isoleucina, prolina, fenilalanina, triptofano, metionina, cisteina).

8.3 Il legame peptidico

Una cellula per sintetizzare una proteina ricorre ad una reazione di condensazione che avviene mediante l'eliminazione di una molecola d'acqua legando il gruppo amminico di un amminoacido e quello carbossilico di un altro amminoacido, si forma in questo modo un legame covalente detto **peptidico** o **ammidico**.



L'unione tra due aminoacidi lascia alle estremità della catena aminoacidica due gruppi liberi, ciò permette di distinguere l'inizio e la fine di una catena, in genere l'estremità libera che presenta il gruppo amminico detta **N-terminale** è l'inizio, la fine è rappresentata dal gruppo carbossilico libero presente all'altra estremità della catena detta estremità **C-terminale**.

Gli aminoacidi attraverso il legame peptidico si incatenano nei **peptidi** e nelle **proteine**, quando una molecola è formata solo da due aminoacidi prende il nome di **dipeptide**.

8.4 Struttura delle proteine

Le diverse funzioni delle proteine dipendono dalla struttura che a sua volta dipende da:

- sequenza degli aminoacidi nella catena;
- disposizione tridimensionale che presentano le catene nello spazio;
- ulteriori torsioni;
- presenza di più sub-unità.

La **struttura primaria** è la sequenza aminoacidica nella catena, quindi l'ordine con cui gli aminoacidi si susseguono nella catena, essa determina la forma e il comportamento della proteina.

La **struttura secondaria** è data dai ripiegamenti della proteina che si realizzano in seguito alla formazione di legami a idrogeno, le più note sono:

- **α -elica** che dà la forma ad elica alla proteina, l'elevato numero di legami a idrogeno che si realizza in tale struttura stabilizza l'elica, essa si ritrova nella miosina dei muscoli e nella cheratina dei capelli;
- **foglietto a pieghe o β -foglietto**, le unità che si ripetono in questo prendono una disposizione parallela tenuta insieme da legami idrogeno e si ritrova nella fibroina della seta.

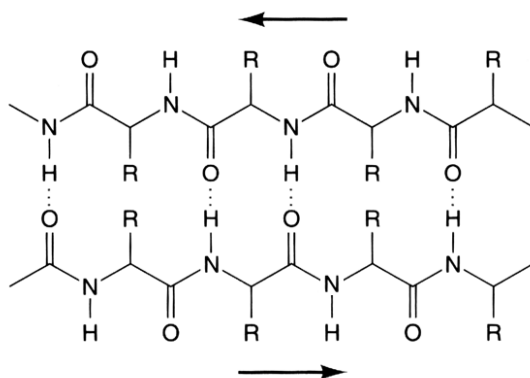


Diagramma di un foglietto β . Sono evidenziati i legami idrogeno tra i due filamenti peptidici

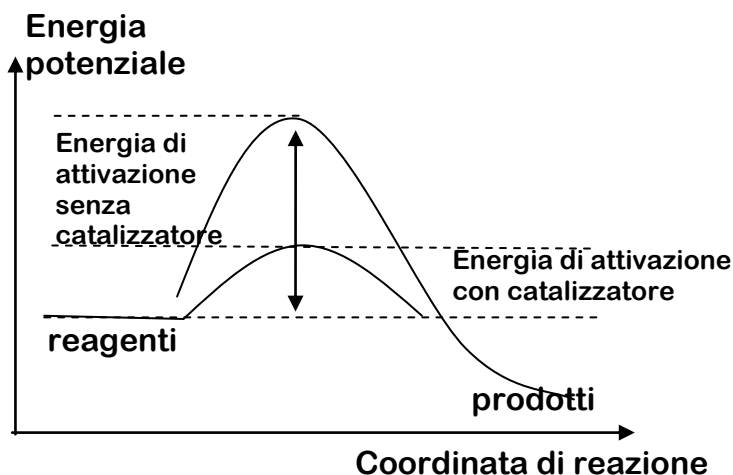
La **struttura terziaria** è data dalle ulteriori torsioni della molecola dovute ai legami disolfuro, alla polarità e apolarità dei gruppi laterali, alla loro forma e alla capacità di formare legami a idrogeno.

I legami di solfuro sono, oltre al legame peptidico che unisce gli amminoacidi, l'unico tipo di legame covalente presente nelle proteine. Esso collega tra di loro due unità di sistema non contigue perché queste possiedono nel gruppo R (variabile) un gruppo solfidrico $-SH$ che facilmente si ossida formando un legame di solfuro $-S-S-$.

La **struttura quaternaria** è data dall'associazione di più unità peptidiche, essa è stabilizzata da interazioni non covalenti come i legami a idrogeno e i legami ionici. L'emoglobina è un esempio di proteina con struttura quaternaria, formata da quattro unità peptidiche, due di tipo α e due di tipo β , tenute insieme da interazioni idrofobe, legami a ponte di idrogeno e legami ionici.

8.5 Gli enzimi

Gli enzimi sono proteine che modificano la velocità di una reazione accelerandola, essi infatti abbassano l'**energia di attivazione** necessaria per innescare una reazione.



Gli enzimi si dividono in **classi** aventi diverse funzioni:

- **ossidoriduttasi** che catalizzano il trasferimento di elettroni;
- **transferasi** che catalizzano il trasferimento di gruppi chimici;
- **idrolasi** che catalizzano le rotture di molecole mediante l'aggiunta di acqua;
- **liasi** che catalizzano l'aggiunta di gruppi chimici ai doppi legami, o la sottrazione di gruppi con formazione di legami doppi; si tratta di enzimi capaci di catalizzare la reazione nei due sensi;
- **ligasi** che catalizzano la formazione di legami;
- **isomerasi** che catalizzano lo spostamento di gruppi in una molecola.

La molecola che un enzima trasforma è denominata **substrato**, e quella che si forma è detta **prodotto**. Ogni enzima ha un sito specifico in cui avviene la reazione che è il **sito attivo**, esso si presenta come una ripiegatura, e determina la **specificità** dell'enzima, infatti il substrato si lega in modo specifico nel sito attivo proprio come fa una chiave con la serratura.

La proteina enzimatica può essere associata ad una porzione non proteica, se quest'ultima è legata in maniera stretta alla porzione proteica prende il nome di **gruppo prostetico**, se si dissocia facilmente è chiamata **coenzima**, entrambi sono responsabili dell'attivazione dell'enzima.

La velocità di una reazione dipende dalle concentrazioni di substrato ed enzima, dal pH e dalla temperatura.

L'enzima reagendo col substrato forma un intermedio enzima-substrato, che darà luogo al prodotto rilasciando l'enzima.

Una volta avvenuta la reazione, la cellula blocca l'enzima attraverso meccanismi di feedback, in cui subentra un ulteriore sito enzimatico che è il **sito regolatore** o **allosterico**, che legandosi all'eccesso di prodotto modifica e blocca il sito attivo.

9 Gli acidi nucleici

9.1 DNA ed RNA

Il DNA (**acido deossiribonucleico**) è contenuto nel nucleo cellulare, è l'unica molecola capace di autoduplicarsi, svolge un ruolo importante nella conservazione e trasmissione dei caratteri ereditari e nella sintesi delle proteine.

In natura oltre al DNA esiste un altro acido nucleico che è **RNA (acido ribonucleico)**, presente per lo più nel citoplasma cellulare e una parte minima è contenuta nel nucleolo. È distinto in tre tipologie:

- **mRNA (RNA messaggero)** che costituisce circa il 5% dell'RNA cellulare, col compito di trascrivere il codice genetico contenuto nel DNA (la corrispondenza tra basi del DNA e sequenza aminoacidica delle proteine) funge da stampo per la sintesi delle proteine;
- **rRNA (RNA ribosomiale)** che costituisce circa l'80% dell'RNA cellulare, è il costituente principale dei ribosomi;
- **tRNA (RNA transfer)** che costituisce circa il 15% dell'RNA cellulare, trasporta gli aminoacidi dal citoplasma sui ribosomi per la formazione di legami peptidici in base alla sequenza stabilita dall'mRNA.

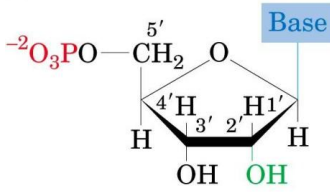
9.2 Costituenti degli acidi nucleici

Gli acidi nucleici sono polimeri di **nucleotidi**, questi ultimi sono formati da:

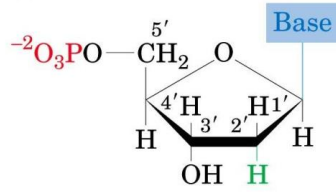
- un monosaccaride a cinque atomi di carbonio;
- una base azotata;
- un gruppo fosfato.

In base al monosaccaride che li costituisce i nucleotidi possono essere distinti in due tipi:

1. **ribonucleotidi** se il monosaccaride è il ribosio;
2. **deossiribonucleotidi** se il monosaccaride è il deossiribosio, questo presenta un ossigeno in meno rispetto al ribosio.



ribonucleotide



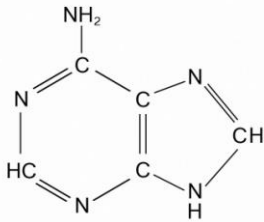
deossiribonucleotide

I ribonucleotidi si trovano nell'RNA mentre i deossiribonucleotidi nel DNA.

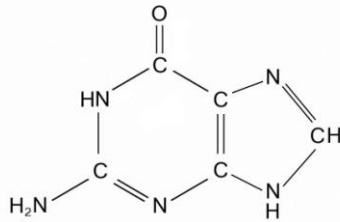
Le basi azotate, sono dei composti ciclici che si dividono in:

- **purine** (formate da due anelli) **adenina (A)** e **guanina (G)**;
- **pirimidine** (formate da un unico anello) **citrosina (C)**, **timina (T)** e **uracile (U)**,

I ribonucleotidi le contengono tutte tranne la timina mentre i deossiribonucleotidi non contengono l'uracile.

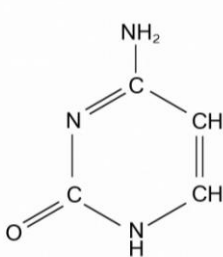


Adenina

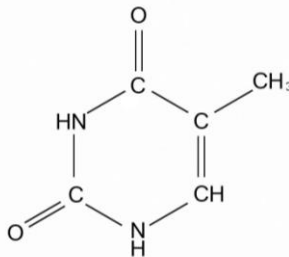


Guanina

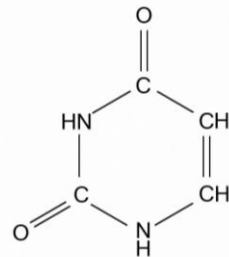
Purine



Citrosina



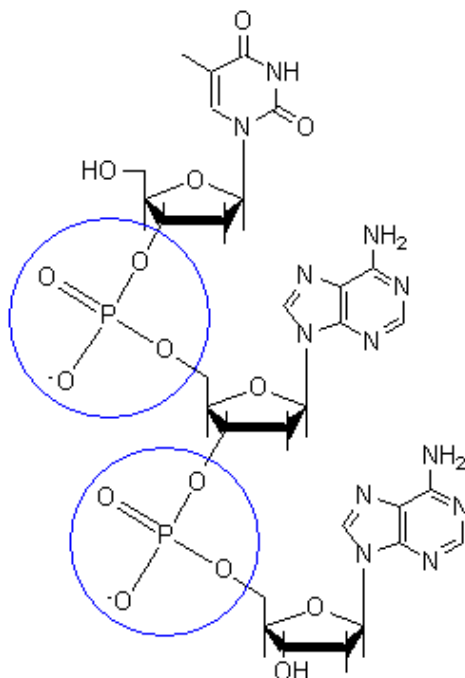
Timina (DNA)



Uracile (RNA)

Piramidine

I gruppi fosfati legano i nucleotidi tra loro, attraverso i **legami fosfodiesterici** che si formano tra il gruppo fosfato di un nucleotide e l'ossidrile 5' di un nucleotide successivo.



Rappresentazione di legami fosfodiesterici tra nucleotidi in un filamento di DNA*

Il polinucleotide presenta una porzione che non muta che è lo **scheletro**, formata dall'alternarsi dei gruppi fosfati e dei monosaccaridi e una porzione che muta data dalla sequenza delle basi azotate grazie alla quale può essere codificata l'informazione genetica.

9.3 Differenze tra DNA ed RNA

Nel paragrafo precedente sono state già viste delle differenze tra DNA e RNA, il DNA è formato da deossiribonucleotidi mentre l'RNA da ribonucleotidi, tra le basi pirimidiniche la timina presente nel DNA è sostituita dall'uracile nell'RNA.

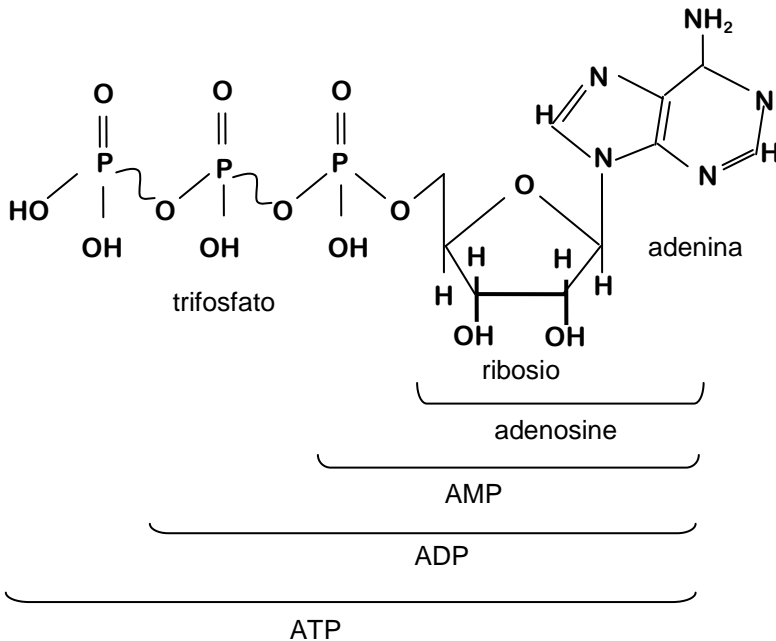
L'RNA è formato da una **catena singola** di polinucleotidi, mentre il DNA è formato da **due catene** polinucleotidiche a elica (doppia elica)

legate tra loro grazie ai legami a idrogeno che si formano tra le basi azotate. Questi legami possono formarsi solo tra adenina e timina, oppure tra citosina e guanina, tale corrispondenza tra le basi è denominata **complementarità**. Tra adenina e timina si formano due legami a idrogeno e tra citosina e guanina se ne formano tre.

Il modello a doppia elica fu proposto da Watson e Crick nel 1953, le due catene di DNA presentano un orientamento spaziale opposto.

9.4 Nucleotidi non contenuti negli acidi nucleici

La struttura nucleotidica può essere presente anche in altre molecole biologiche, tra cui ricordiamo l'**ATP (adenosintrifosfato)**, una molecola che gioca un ruolo fondamentale nel metabolismo energetico. Infatti il legame tra i gruppi fosforici ha un alto contenuto energetico e libera una grande quantità di energia quando si idrolizza ad **ADP (adenosindifosfato)**, e successivamente ad **AMP (adenosinmonofosfato)**.



10 La genetica molecolare

10.1 Lo studio del DNA conduce alla genetica molecolare

Già verso gli anni quaranta si era compreso che i geni, responsabili della trasmissione dei caratteri, si trovassero nei cromosomi, che questi fossero delle strutture chimiche e quindi come tali formati da atomi e molecole. Fu il primo passo che avviò gli studi di genetica molecolare, il successivo fu comprendere la relazione tra i nucleotidi che costituiscono il DNA e la produzione delle proteine.

Oggi si associa la genetica molecolare alle biotecnologie, ma quest'ultime, in verità, sono già vecchie di migliaia di anni, basti pensare alla selezione che l'uomo ha operato per ottenere animali di utilità o da compagnia e all'uso di microrganismi per produrre formaggi e bevande alcoliche.

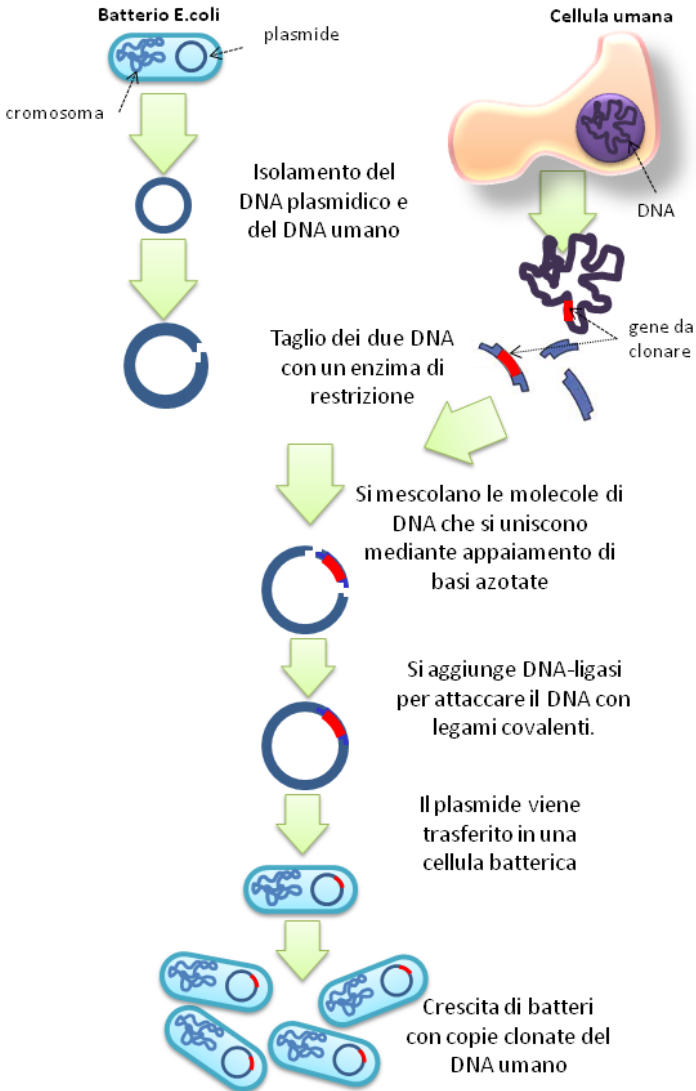
Le attuali biotecnologie prendono avvio dal DNA ricombinante, cioè un DNA ottenuto assemblando segmenti provenienti da specie diverse.

A tale scopo sono stati usati plasmidi, cioè dei DNA di forma circolare che si trovano in lieviti e procarioti e che si duplicano indipendentemente dal DNA principale.

Il plasmide si comporta da vettore perché in esso viene inserito il gene che proviene da un'altra specie allo scopo di clonarlo. Viene usato anche un enzima di restrizione che taglia sia il plasmide-vettore che il frammento di DNA da inserire, questo riconosce in entrambi delle precise sequenze di basi azotate e determina sia l'apertura dell'anello che la produzione di numerosi frammenti di DNA, ciascuno di essi presenta all'estremità dei filamenti singoli detti estremità coesive (sticky ends).

I due DNA vengono messi a contatto e così si appaiano le estremità coesive che si uniscono con legami covalenti grazie all'enzima DNA ligasi. Il plasmide ottenuto è ricombinato con il gene che si vuole clonare, si reinserisce nel batterio che lo duplica e produce copie del gene oppure proteine prodotte dal gene clonato.

Gli enzimi di restrizione conosciuti sono centinaia e ognuno riconosce sequenze precise di DNA lunghe 4-8 paia di basi azotate definite siti di restrizione che, dopo il taglio, producono segmenti di DNA conosciuti come frammenti di restrizione.



Queste tecniche hanno dato l'avvio agli studi di ingegneria genetica. La prima proteina umana sintetizzata è stata la somatostatina che è l'ormone della crescita ed è composta da solo 14 amminoacidi.

Il passaggio successivo, nel tentativo di ottenere la cura delle patologie genetiche umane, è il trasferimento di geni tra cellule eucariote per

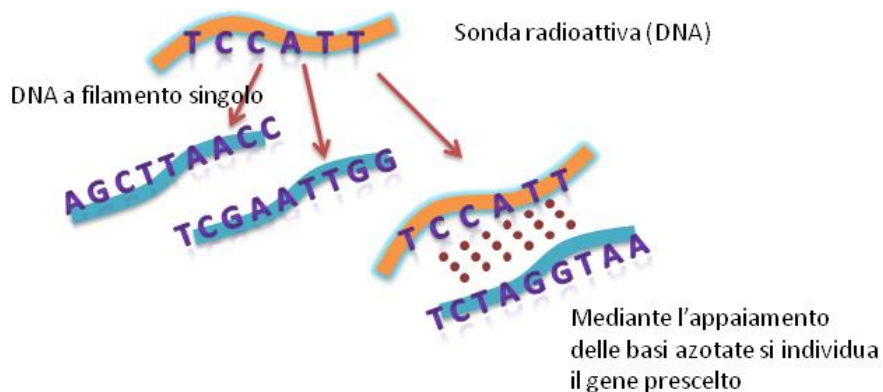
sostituire geni non funzionanti con altri sani. Si tratta di un percorso particolarmente difficile e delicato che però apre molte speranze.

10.2 La libreria genomica (genoteca)

È l'insieme di vettori che contengono un frammento di DNA ottenuto dal taglio con un enzima di restrizione.

Il problema, a questo punto, è quello di individuare in quale parte di questa libreria si trova il clone del gene che interessa. La soluzione è abbastanza semplice se si conosce tutta o una parte della sequenza nucleotidica, in questo caso si può sintetizzare in laboratorio una sequenza complementare marcata (**sonda nucleotidica radioattiva**) che, dopo aver reso il DNA a filamento singolo, si appaia evidenziando il gene desiderato.

Le sonde, tutte radioattive, possono essere di diversi tipi: molecole di DNA ottenute con enzimi di restrizione, molecole di mRNA, molecole di cDNA sintetizzate a partire da RNA con trascrittasi inversa. In altri casi, per il riconoscimento, si ricorre all'elettroforesi su gel.



10.3 Clonazione tramite PCR (reazione polimerasica a catena)

Quando si conoscono con precisione le sequenze nucleotidiche delle estremità del segmento di DNA che si vuole duplicare si può ricorrere a questa tecnologia, la sequenza di DNA da clonare viene prima denaturata con il calore allo scopo di rompere i ponti idrogeno tra i filamenti della doppia elica e ottenere i due singoli. I filamenti separati vengono messi in presenza dei due primer (innesco) già preparati in

laboratorio che così si legano tramite legami idrogeno all'estremità 3' di ciascun segmento.

Viene poi utilizzata una DNA polimerasi proveniente da batteri termofili, perciò resistenti alle alte temperature alle quali è sottoposto il segmento del DNA da clonare e così inizia la duplicazione, l'uso di questa DNA polimerasi permette la ripetizione senza sosta dei cicli di duplicazione. Infatti se fosse usata una DNA polimerasi normale l'apertura della doppia elica con il calore la denaturerebbe ogni volta.

10.4 Sequenziamento del DNA

Consiste nel determinare la sequenza delle basi azotate in molecole di DNA. Si tratta di un processo usato ampiamente in laboratorio che oggi si ottiene mettendo a punto varie tecniche; nel 1980 F. Sanger ne aveva inventata una che gli valse il secondo premio Nobel per la Chimica.

La tecnologia oggi si basa sull'uso di alcuni enzimi chiamati endonucleasi di restrizione che tagliano il DNA in corrispondenza di sequenze note. In questo modo la "gigantesca" molecola di DNA viene rotta in pezzi ciascuno dei quali contiene da 100 a 150 nucleotidi.

Tutti questi frammenti vengono sottoposti a trattamenti di degradazione selettivi, cioè che rompono i legami tra nucleotidi in corrispondenza di ciascuna base con estrema precisione e previsione.

Alla fine si ottengono frammenti ancora più piccoli e separabili con elettroforesi su gel. Anche in questo caso si ricorre all'uso delle sonde nucleotidiche radioattive per individuare velocemente le sequenze note.

11 Il metabolismo cellulare

11.1 Il metabolismo

Col termine metabolismo si vuol indicare l'insieme delle reazioni che avvengono in un organismo e portano alla trasformazione di molecole complesse introdotte con l'alimentazione in molecole più semplici attraverso i processi digestivi, tali reazioni sono catalizzate da enzimi specifici. Si dividono in **cataboliche** che liberano energia operando la scissione di molecole complesse in molecole più semplici e **anaboliche** che richiedono energia in quanto sintetizzano nuove biomolecole utili all'organismo a partire dalle molecole più semplici ottenute dal catabolismo.

Attraverso il metabolismo l'organismo produce ATP utile agli organismi che hanno bisogno di energia per svolgere le loro attività.

11.2 La respirazione cellulare

Per **respirazione cellulare** si intende un processo cellulare diverso dalla respirazione polmonare ma collegato ad esso, attraverso cui si ossidano molecole carboniose e in particolare glucosio, in presenza di ossigeno, producendo energia sottoforma di ATP, e molecole che serviranno per la sintesi di altre biomolecole (lipidi, acidi nucleici e protidi), essa consta di più fasi che si possono suddividere in tre fasi principali:

- glicolisi;
- ciclo di Krebs;
- fosforilazione ossidativa.

11.3 La glicolisi

Glicolisi letteralmente significa scissione di zucchero, è un processo **anaerobio** cioè avviene in assenza di ossigeno, nel citoplasma cellulare, consta di 9 reazioni catalizzate da enzimi e opera la scissione di una molecola di **glucosio** $C_6H_{12}O_6$ (composto a sei atomi di carbonio) in due molecole di **piruvato** o **acido piruvico** $CH_3-CO-COOH$ (composto a tre atomi di carbonio), producendo una resa di 2 molecole di ATP e 2 molecole di **NADH nicotinammide adenin di nucleotide** che ha il compito di trasportare energia.

Vediamo adesso le 9 reazioni della glicolisi:

Al carbonio in posizione 6 di una molecola di glucosio l'enzima esochinasi aggiunge un fosfato ceduto da una molecola di ATP formando glucosio-6-fosfato.

L'enzima fosfoglucoisomerasi converte il glucosio-6-fosfato in fruttosio-6-fosfato.

Un'ulteriore gruppo fosfato proveniente da un'altra molecola di ATP, grazie all'enzima fosfofruttochinasi viene aggiunto al fruttosio-6-fosfato che diventa fruttosio-1,6-disfosfato.

Il fruttosio-1,6-disfosfato è degradato in due molecole di gliceraldeide-3-fosfato.

Entrambe le molecole di gliceraldeide-3-fosfato subiscono le successive tappe della glicolisi. Alla gliceraldeide-3-fosfato si aggiunge un altro fosfato per l'intervento della gliceraldeide-3-fosfato deidrogenasi, formando pertanto l'acido 1,3-difosfoglicico, e nel contempo avviene la riduzione di una molecola di NAD^+ a NADH.

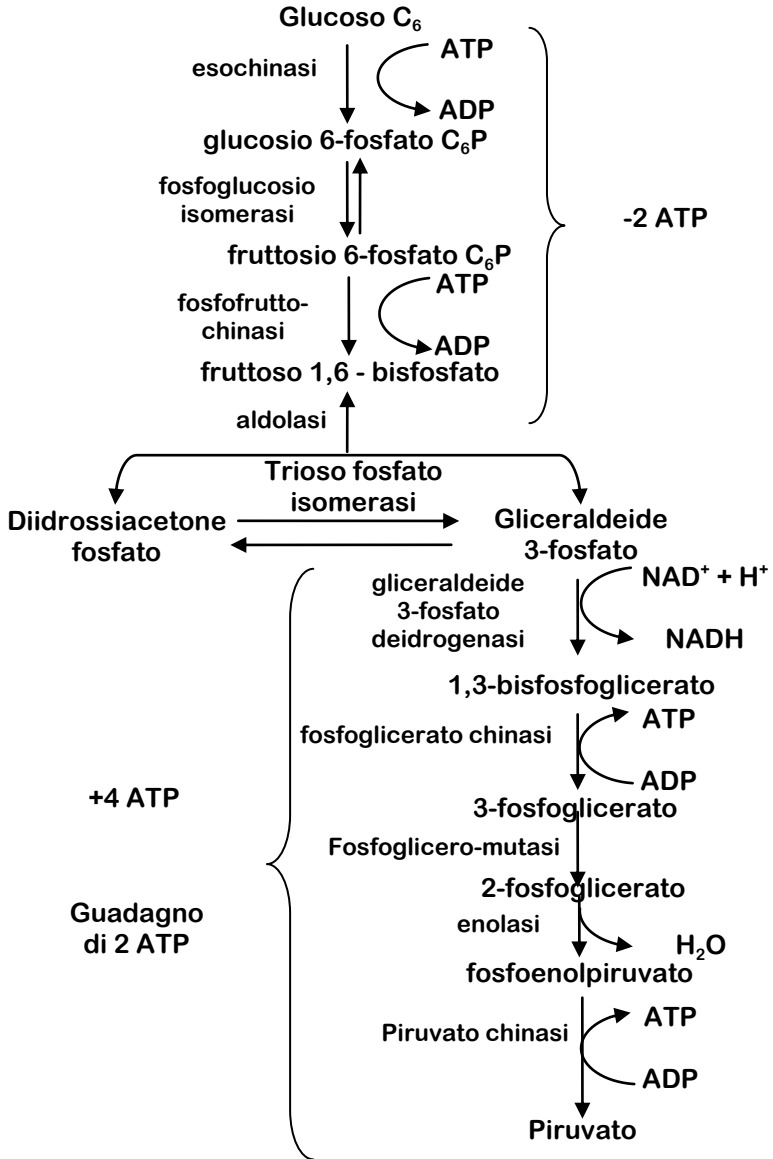
L'acido 1,3-difosfoglicerico viene convertito dalla chinasi fosfoglicerato in acido-3-fosfoglicerico, di conseguenza perde un fosfato che si lega all'ADP formando ATP.

La fosfoglicerato mutasi converte l'acido-3-fosfoglicerico in acido-2-fosfoglicerico.

L'acido-2-fosfoglicerico viene ossidato in una molecola di fosfoenolpiruvato o acido fosfoenolpiruvico mediante la fosfoglicerato mutasi.

Infine al fosfoenolpiruvato si trasforma in piruvato per la rimozione di un fosfato che si lega all'ADP formando ATP.

La glicolisi produce quindi 2 molecole di ATP che sono utili per un'attività fisica breve ma intensa, inoltre è una prima parte della respirazione cellulare, infatti le due molecole di piruvato verranno poi trasformate dalle altre tappe.



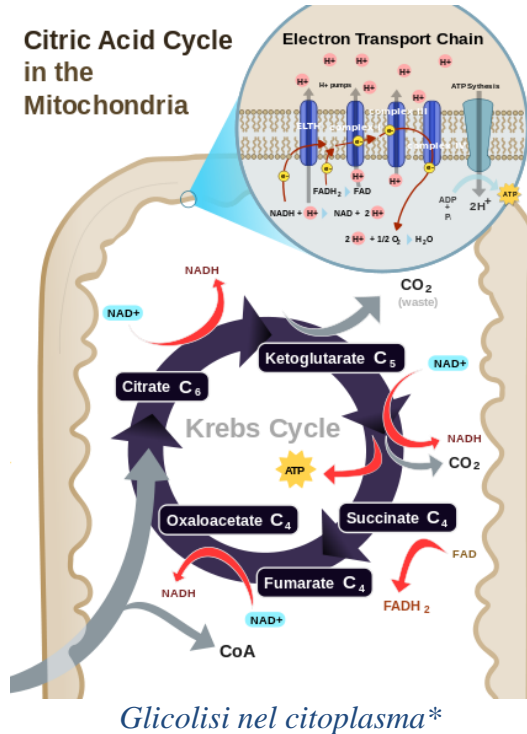
11.4 Il ciclo di Krebs

Il **ciclo di Krebs** o **ciclo dell'acido citrico** scoperto da Hans Adolf Krebs nel 1937, avviene nella matrice mitocondriale presente in uno spazio della membrana interna del mitocondrio, e durante il quale il piruvato viene scisso completamente in CO_2 (anidride carbonica) ed H_2O (acqua). Per poter cominciare le molecole di piruvato devono essere convertite in **acetilCoA** o **acetilcoenzima A**, mediante una reazione che dall'acido piruvico elimina CO_2 , facendo restare il gruppo acetile a due atomi di carbonio (CH_3CO), il quale si lega al coenzima A e forma appunto acetilCoA producendo una molecola di NADH. Tale reazione è catalizzata dal complesso della piruvato deidrogenasi.

Il ciclo di Krebs inizia con la formazione di una molecola a sei atomi di carbonio detta acido citrico da una reazione di condensazione dell'acetilCoA con l'ossalacetato. Dall'acido citrico si formerà di nuovo ossalacetato, un composto a quattro atomi di carbonio mediante la rimozione di due atomi di carbonio sottoforma di molecole di anidride carbonica e gli atomi di idrogeno andranno a **trasportatori di elettroni** come NAD^+ e FAD (flavin adenin di nucleotide) che accettando elettroni si riducono a NADH e FADH_2 .

Dato che le molecole di acetil-CoA sono due, e un ciclo ossida una sola molecola, per ossidare le due molecole occorrono due cicli che produrranno 2 molecole di ATP, 6 molecole di NADH e 2 di FADH_2 .

L'ossigeno permette alle forme ridotte NADH e FADH_2 di rigenerarsi per poter iniziare un nuovo ciclo.



11.5 Fosforilazione ossidativa

L'ultima fase della respirazione cellulare avviene nelle creste mitocondriali dove si trova la **catena di trasporto degli elettroni** alla quale giungono le molecole di NADH formatesi dalla glicolisi e dall'acido piruvico convertito in acetil-CoA e le molecole di NADH e di FADH₂ prodotte durante il ciclo di Krebs. Questi cedono i loro elettroni all'ossigeno mediante la catena di trasporto degli elettroni, che risulta costituita da particolari proteine dette citocromi. Questi ricevendo gli elettroni li passano a quelli successivi riducendosi man mano fino ad arrivare all'ossigeno, dalla cui riduzione si originano molecole di acqua.

I protoni pervenuti con NADH e FADH₂ invece vengono pompati all'esterno della membrana, dagli enzimi della catena respiratoria mitocondriale dando luogo ad un gradiente elettrochimico che permette all'ATP-sintetasi di formare ATP a partire dall'ADP.

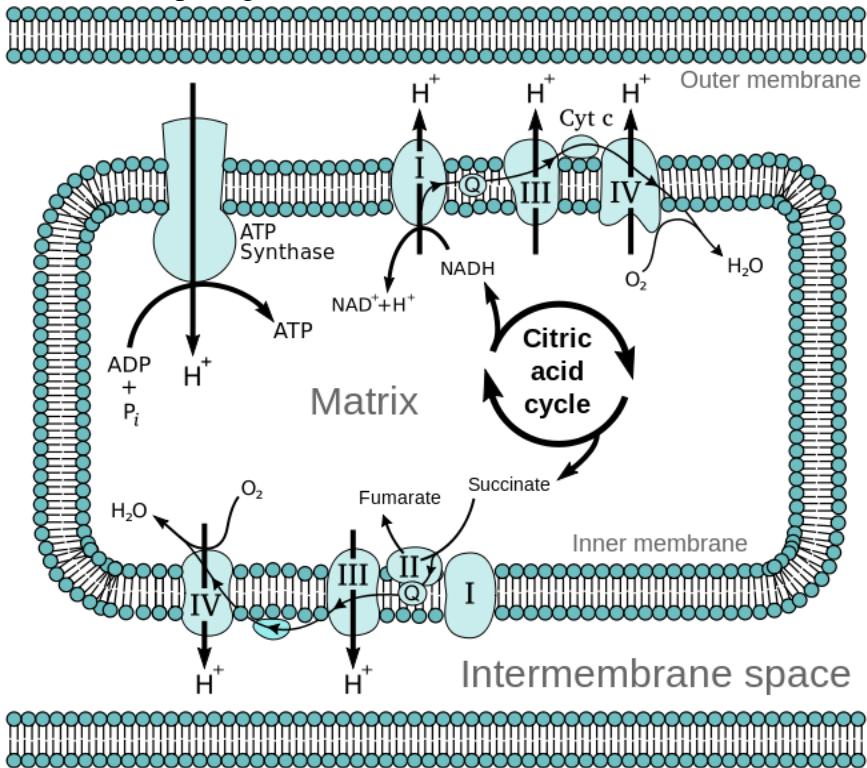
Da una molecola di NADH vengono prodotte 3 molecole di ATP, e da una molecola FADH₂ si formano 2 molecole di ATP.

Quindi dall'ossidazione completa di una molecola di glucosio si formano:

- Nella glicolisi = 8 ATP;
- Dall'ossidazione dell'acido piruvico = 6 ATP;
- Dal ciclo di Krebs trasporto di elettroni = 24 ATP.

Perciò la resa energetica netta della respirazione cellulare è di 38 ATP.

In alcune cellule la resa è di 36 ATP perché attraverso la membrana interna dei mitocondri, il trasporto di elettroni da parte di due NADH produce 2 ATP per ogni NADH.



*Fosforilazione ossidativa**

11.6 La fermentazione

Alcuni organismi come i lieviti in assenza di ossigeno (anaerobiosi) sono capaci di operare la scissione dei carboidrati in molecole più semplici producendo energia, in tal caso si parla di respirazione anaerobica o **fermentazione**.

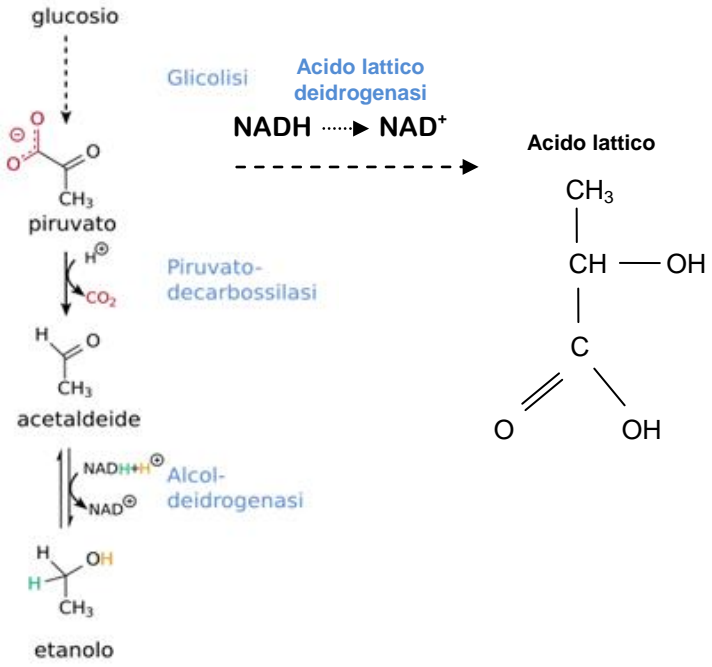
Vi sono due tipi di fermentazione quella **alcolica** e quella **lattica**, la prima sfruttata per produrre bevande alcoliche e pane e porta alla formazione di alcol etilico. La seconda attuata da alcuni batteri come i lattobacilli, può avvenire anche nelle fibre muscolari dell'uomo quando in seguito ad un'intensa attività fisica le cellule non hanno abbastanza ossigeno per far fronte alla richiesta energetica e porta alla formazione di acido lattico.

Il substrato della fermentazione è il piruvato precedentemente prodotto dalla glicolisi, che nella fermentazione alcolica viene convertito in acetaldeide e poi in alcol etilico e anidride carbonica, quest'ultima è indispensabile nella lievitazione del pane, e il NADH è ridotto a NAD^+ . Nella fermentazione lattica in una sola reazione avviene la riduzione del piruvato in acido lattico e la riduzione di NADH a NAD^+ .

Fermentazioni

f
e
r
m
e
n
t
a
z
i
o
n
e

a
l
c
o
l
i
c
a



f
e
r
m
e
n
t
a
z
i
o
n
e

l
a
t
t
i
c
a

Fermentazioni

12 La Terra

12.1 Composizione della Terra

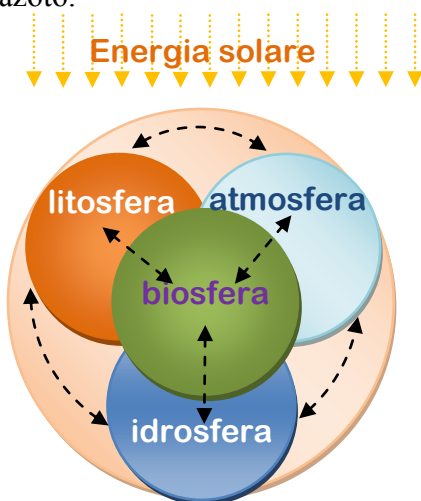
L'età della Terra è di circa 4,6 miliardi di anni e tuttavia continua ad evolversi attraverso l'azione di terremoti ed eruzioni vulcaniche.

In superficie risulta costituita da tre aree concentriche che interagiscono tra loro con scambi di materia ed energia.

- La **litosfera** è la parte esterna della Terra la cui superficie è la crosta, solida e rocciosa, formata da placche in movimento che danno origine a montagne, terremoti, eruzioni vulcaniche, formazione e rimozione di oceani;
- L'**idrosfera** è la parte liquida, costituita da acque dolci e salate;
- L'**atmosfera** è l'involucro gassoso che avvolge la Terra costituito in prevalenza da azoto e ossigeno e in minoranza da altri gas come l'argon e l'anidride carbonica.

La materia vivente ovvero l'insieme di esseri viventi che costituisce la **biosfera** occupa le tre aree. Gli esseri viventi interagiscono tra loro e con l'ambiente in cui si trovano e per tale motivo si usa il termine **ecosfera** suddivisa in unità minori dette **ecosistemi**. L'esistenza degli esseri viventi è regolata da **cicli** di energia e materia in equilibrio; durante questi cicli i composti chimici passano da un organismo all'altro e finiscono nell'ambiente inorganico.

In natura i cicli più importanti sono il ciclo dell'acqua, dell'ossigeno, del carbonio e dell'azoto.



12.2 Il ciclo dell'acqua

L'acqua costituisce il composto più abbondante presente sulla Terra, presente in laghi, fiumi, mari, oceani, nel sottosuolo e nei ghiacciai e nell'aria sotto forma di vapore acqueo.

Le acque superficiali e in particolare quelle degli oceani riscaldate dai raggi solari evaporano nell'atmosfera e, sotto forma di minute goccioline, si condensano nelle nubi che vengono trasportate dai movimenti atmosferici. In particolari condizioni di temperatura e pressione ricadono sulla superficie della Terra sotto forma di precipitazioni. Una parte va negli oceani, una parte nei fiumi e arriva ai mari e una parte si deposita nel sottosuolo formando l'acqua di deflusso che torna poi all'oceano.

Vi è uno stato di equilibrio tra la quantità di acqua che evapora e quella che precipita nuovamente sulla Terra.

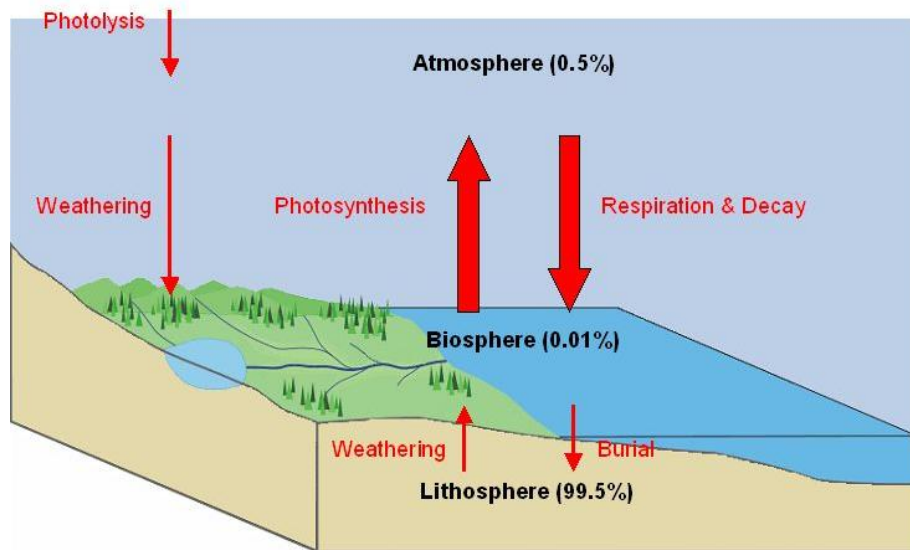


Il ciclo dell'acqua*

12.3 Il ciclo dell'ossigeno e del carbonio

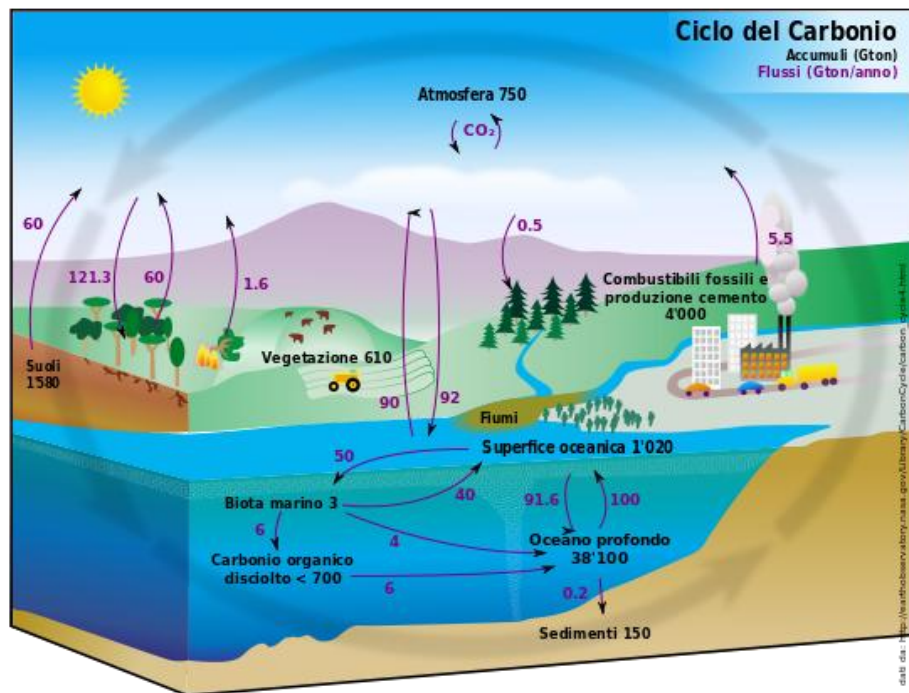
Il ciclo dell'ossigeno è connesso al ciclo del carbonio ed entrambi prendono parte ai processi di fotosintesi e di respirazione.

L'ossigeno è presente nell'atmosfera e nelle acque dei mari e viene consumato con la respirazione. Durante la respirazione viene liberata anidride carbonica la quale viene assorbita dalle piante che, attraverso il processo di fotosintesi, producono ossigeno che viene di nuovo immesso nell'atmosfera.



Ciclo dell'ossigeno*

Il ciclo del carbonio comprende prevalentemente composti del carbonio in fase gassosa come le molecole di anidride carbonica e coinvolge l'atmosfera, l'idrosfera, la litosfera e la biosfera. La fotosintesi e la respirazione sono i processi principali che controllano gli scambi di anidride carbonica. L'uomo influenza tali scambi con la respirazione e soprattutto bruciando combustibili fossili, riducendo l'estensione di foreste e boschi, immettendo anidride carbonica attraverso i processi di combustione.



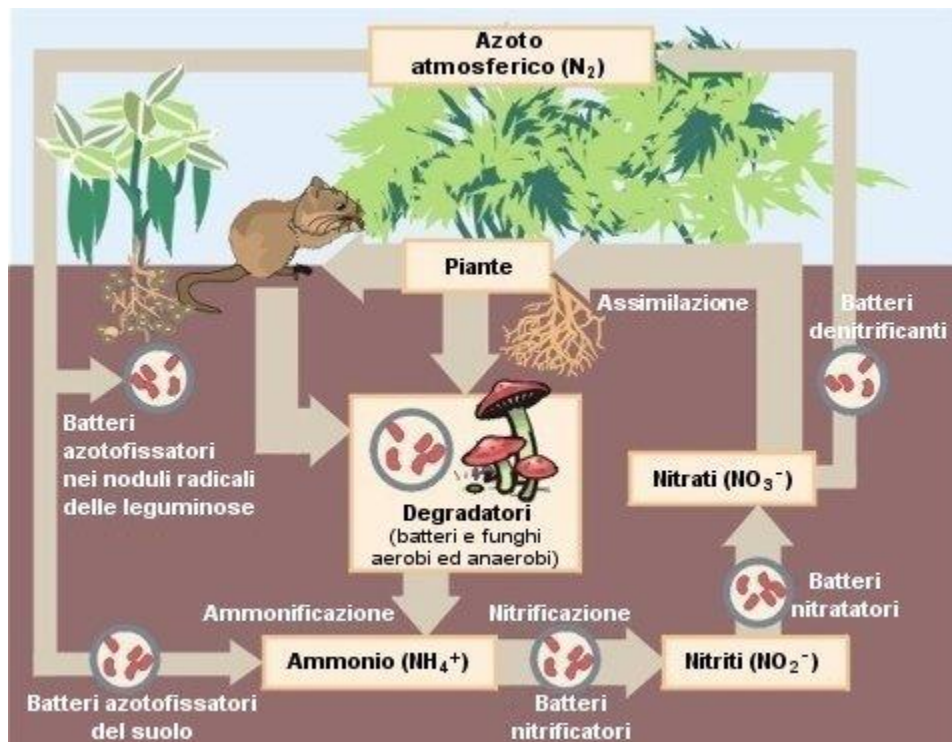
Ciclo del carbonio*

12.4 Il ciclo dell'azoto

L'azoto è il gas maggiormente presente nell'atmosfera sotto forma di azoto molecolare N₂, infatti ne costituisce il 78%. È presente anche nell'humus del terreno e nei composti azotati prodotti dagli organismi viventi, come l'urea e l'acido urico.

Una parte di azoto atmosferico viene trasferito agli organismi viventi attraverso la fissazione attuata da batteri azotofissatori che sono presenti nelle radici di alcune leguminose. Questi batteri convertono l'azoto atmosferico in ammonio e ammoniaca che può essere successivamente assimilato dagli organismi viventi. L'azoto viene restituito all'atmosfera dai batteri denitrificanti sotto forma di azoto molecolare.

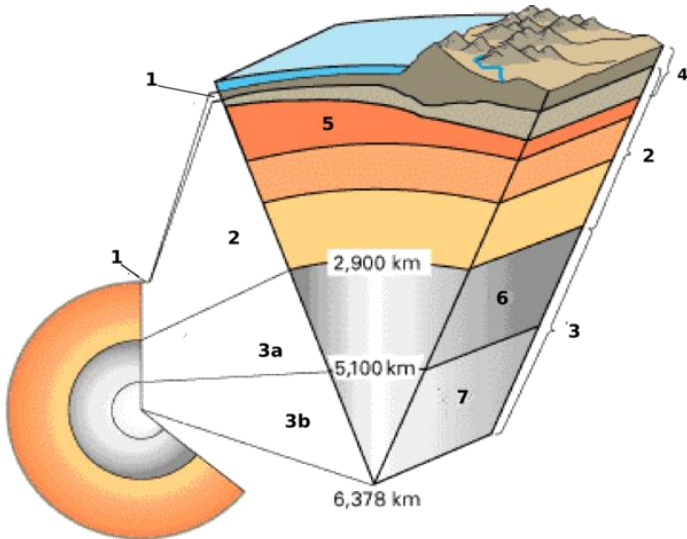
L'uomo influenza questo ciclo immettendo significative quantità di azoto con l'utilizzo di concimi, in questo modo aumenta la quantità di azoto del terreno, che poi passa nei fiumi, nei mari e nell'atmosfera.



Ciclo dell'azoto*

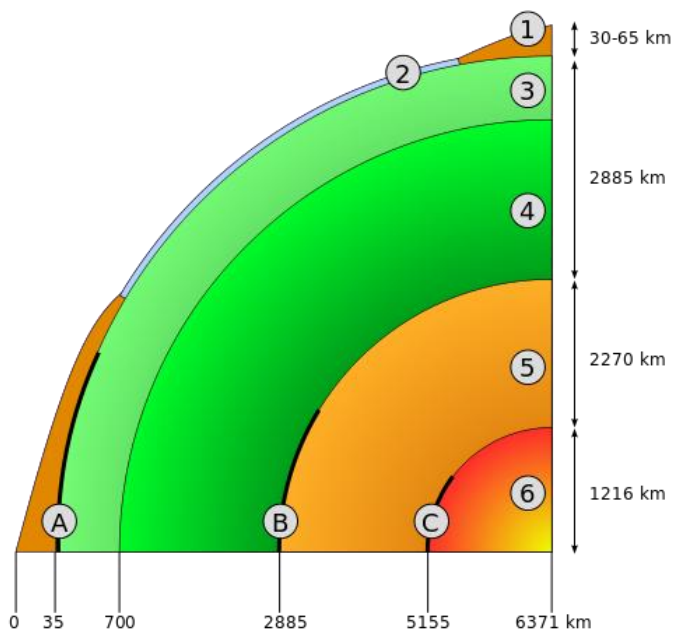
12.5 La litosfera

La litosfera è lo strato solido più esterno della Terra, formato da placche convesse che seguono la forma della Terra, incastrate tra loro e in continuo movimento. La litosfera è costituita dalla **crosta terrestre** e dal **mantello** fino all'**atmosfera**. L'**astenosfera** è la parte superiore del mantello in cui, il materiale da cui è costituita, si presenta in parte fuso. La crosta terrestre è lo strato più esterno in cui è presente la discontinuità di **Mohorovicic** o più semplicemente discontinuità di Moho, posta ad una profondità variabile di 10 km al di sotto delle aree oceaniche e di 35 km al di sotto delle aree continentali. La crosta può essere classificata in **crosta continentale** e **crosta oceanica**. La prima è più spessa, formata da graniti e da rocce composte per lo più da silicati di alluminio, la seconda è più densa rispetto all'altra ed è costituita in prevalenza da basalti.



Struttura della Terra: la litosfera è contrassegnata dalla parentesi graffa numero 4*

Sotto la crosta terrestre vi è il **mantello** che rappresenta lo strato intermedio in cui si trovano rocce solide ma prossime alla temperatura di fusione che non avviene per l'elevata pressione a cui sono sottoposte. Il mantello si estende fino alla discontinuità di [Gutenberg](#) a circa 2900 km, oltre la quale si trova il **nucleo**, che si divide a sua volta in nucleo esterno ed interno.

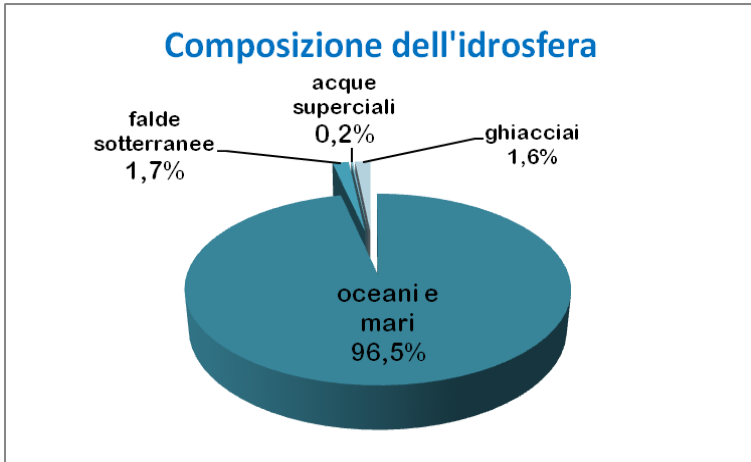


Veduta schematica dell'interno della Terra*. 1. crosta continentale - 2. crosta oceanica - 3. mantello superiore - 4. mantello inferiore - 5. nucleo esterno - 6. nucleo interno - A: discontinuità di Mohorovičić - B: discontinuità di Gutenberg - C: discontinuità di Lehmann

12.6 L'idrosfera

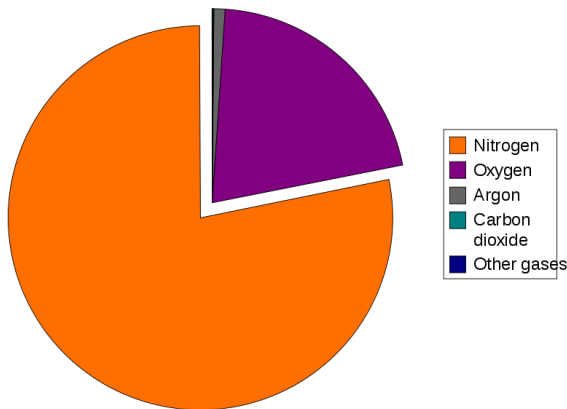
L'idrosfera, dal greco *hydros* che vuol dire acqua, è formata da tutte le acque dolci e salate e da tutte le loro forme di aggregazione, allo stato solido nei ghiacciai e nelle calotte polari, allo stato liquido negli oceani, nei mari, nei fiumi e nei laghi e gassoso come il vapor acqueo nell'atmosfera. Sulla base delle conoscenze attuali, la Terra è, tra i pianeti del sistema solare, quello che presenta una maggiore quantità di acqua allo stato liquido. Questa specificità ha permesso la vita sul nostro pianeta; non a caso i primi organismi viventi erano acquatici, da cui si sono poi evoluti gli organismi attuali.

La maggior parte dell'acqua dell'idrosfera, circa il 96,5%, è acqua salata e quindi contenuta in oceani e mari; la restante parte è acqua dolce di cui solo l'1,6% si trova nei ghiacciai e l'1,7% nelle falde sotterranee. L'acqua superficiale corrisponde solo allo 0,2% ed è contenuta in laghi, fiumi e sorgenti.



12.7 L'atmosfera

L'atmosfera è una miscela gassosa che avvolge la Terra e ne è trattenuta grazie all'attrazione gravitazionale. È formata da azoto (N_2) per il 78% circa, ossigeno (O_2) per il 21%, argon per lo 0,9% e anidride carbonica (CO_2) per lo 0,035%, vi è poi una piccolissima percentuale di metano, elio, ozono e neon. Questa miscela prende il nome di **aria**.



Composizione dell'atmosfera terrestre*

La funzione dell'atmosfera è quella di proteggere il pianeta dalle radiazioni solari e dalle meteore che, a contatto con l'atmosfera, vengono incendiate e distrutte. Determina e conserva le diverse tipologie climatiche, funge da termoregolatore assorbendo l'energia solare e impedendo un eccessivo riscaldamento.

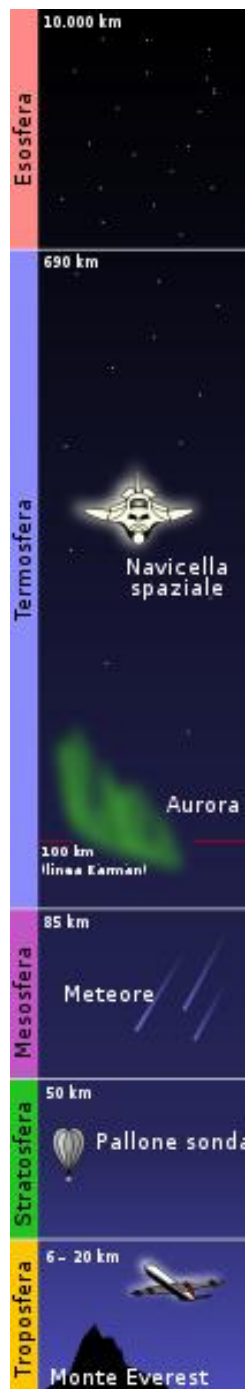
È composta da diversi strati:

Troposfera: è lo strato a contatto con il suolo terrestre e termina con la **tropopausa**. I gas contenuti in questo strato formano l'aria. In questo strato si verificano gli eventi meteorologici e gli scambi di gas tra i viventi e l'atmosfera. In particolare attraverso la respirazione viene assunto ossigeno e ceduta anidride carbonica, la cui abbondanza genera l'aumento dell'**effetto serra** ovvero un surriscaldamento globale del pianeta con conseguenze negative. In questo strato è presente il vapor acqueo dovuto all'evaporazione delle acque superficiali dell'idrosfera. Se dal suolo si sale verso l'alto si ha un abbassamento della temperatura, della pressione e della densità dell'aria.

Stratosfera: questo strato si trova al di sopra della tropopausa e termina con la **stratopausa**, in esso è presente l'ozonosfera, formata prevalentemente da **ozono** (O_3), che determina l'aumento della temperatura e assorbe le radiazioni solari. L'ozonosfera assorbe la maggior parte delle radiazioni solari ultraviolette, le quali scindono alcune molecole di ossigeno O_2 , che sono biatomiche, in questo modo gli atomi singoli si legano a quelle biatomiche formando ozono.

Mesosfera: è lo strato che si estende al di sopra della stratopausa, in cui la temperatura inizia di nuovo a diminuire fino ai $-70^\circ C$. In questo strato atmosferico all'alba o al tramonto si possono osservare le nubi nottilucenti ovvero dei bagliori sottili prodotti da cristalli di ghiaccio che vengono illuminati dal sole. La mesopausa segna la fine della mesosfera e in questo strato la temperatura riprende ad aumentare.

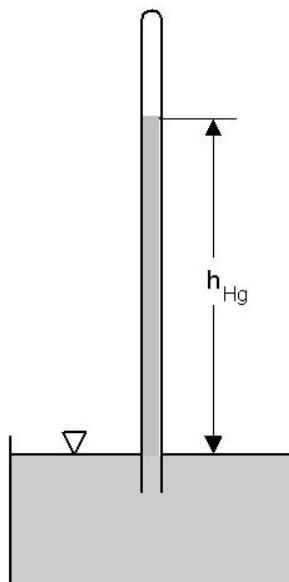
Termosfera: si estende dalla mesopausa fino alla parte più esterna dell'atmosfera l'**esosfera**, in questo strato la temperatura raggiunge anche i $2000^\circ C$.



La pressione atmosferica

L'aria è materia e in quanto tale ha un peso, che corrisponde a circa un grammo per litro, ed esercita pressione sulla superficie terrestre, definita **pressione atmosferica**, data dal rapporto tra il peso dell'aria e la superficie su cui esso grava.

Il fisico italiano [Evangelista Torricelli](#) nel 1643 fu il primo a misurare la pressione atmosferica con uno strumento da lui stesso ideato chiamato **barometro a mercurio**. Esso permette di valutare la pressione esercitata dall'atmosfera che, a livello del mare, a 45° di latitudine e alla temperatura di 0°C, bilancia la pressione esercitata da una colonna di mercurio alta 760 mm. Questa pressione si pone pari ad 1 atmosfera. Indicata col simbolo atm è stata l'unità di misura della pressione atmosferica usata in passato (1 atm = 760 mm Hg dove Hg corrisponde al mercurio), poi sostituita dal pascal indicato dal simbolo Pa. Il sottomultiplo più usato è il millibar con simbolo mb che corrisponde a 100 Pa.



$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 760 \text{ torr} = 101\,325 \text{ Pa} \\ = 1\,013,25 \text{ mbar}$$

La pressione atmosferica varia a seconda del luogo considerato e dipende da tre fattori:

- l'**altitudine**: all'aumentare dell'altitudine diminuisce la pressione atmosferica poiché diminuisce il peso della colonna d'aria sovrastante;
- la **temperatura**: l'aria calda è più leggera dell'aria fredda ed esercita minore pressione sulla superficie terrestre rispetto ad un ugual volume di aria fredda;
- l'**umidità**: l'aria umida è più leggera di quella secca in quanto contiene vapor acqueo che pesa meno rispetto all'ossigeno e all'azoto e sostituendosi ad essi rende l'aria più leggera. Di conseguenza, maggiore è l'umidità presente nell'aria minore

risulterà il peso dell'aria, e quindi eserciterà una minore pressione sulla superficie terrestre.

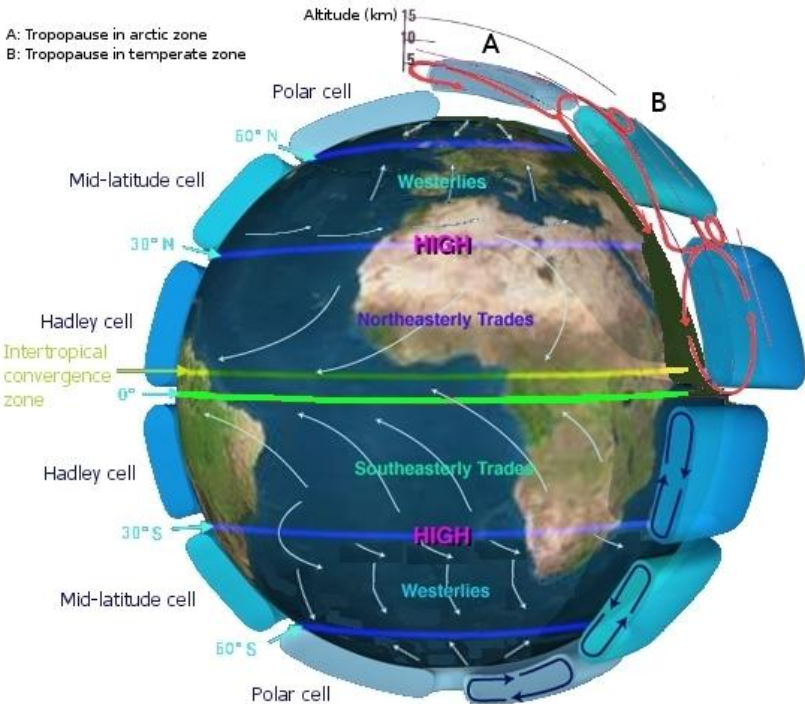
I venti

Le variazioni di pressione nella troposfera danno origine ai **venti** ovvero flussi d'aria che soffiano parallelamente al suolo. I venti sono dovuti a movimenti di masse d'aria di aree adiacenti e più precisamente da una zona ad alta pressione, all'interno della quale generalmente si manifesta bel tempo detta **anticiclonica**, ad una zona a bassa pressione detta **ciclonica**, all'interno della quale possono verificarsi perturbazioni del tempo e precipitazioni.

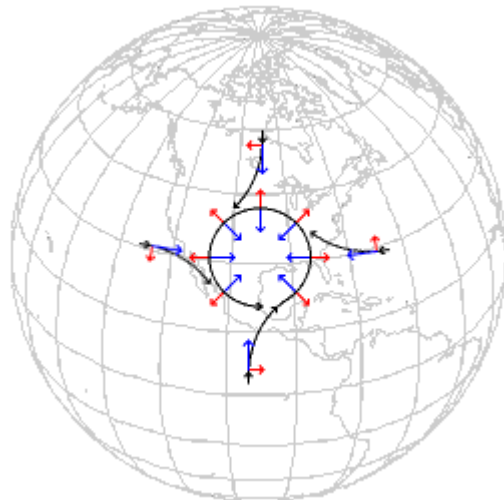
Quindi è la differenza di pressione detta **gradiente di pressione** o **gradiente barico** a determinare la formazione di venti: maggiore sarà il gradiente barico maggiore sarà la velocità del vento. Una breve distanza tra l'area ciclonica e quella anticiclonica causa alti gradienti di pressione. Lo strumento che permette di misurare la velocità dei venti è l'**anemometro** mentre l'**anemoscopio** indica la direzione. Quest'ultima non dipende solo dal gradiente barico, ma anche dall'effetto [Coriolis](#) che a causa della rotazione terrestre devia le masse d'aria. Infine influenza il moto dell'aria anche l'attrito col suolo.

I venti che soffiano sul nostro pianeta si dividono in

- **venti locali**: che interessano piccole aree territoriali dovuti a variazioni di pressioni moderate;
- **venti periodici**: che soffiano in determinati periodi dell'anno, ad esempio i monsoni che nei periodi invernali soffiano dall'Asia verso l'Oceano Indiano mentre nei periodi estivi soffiano dall'oceano verso l'Asia;
- **venti costanti**: sono presenti se si spostano sempre dalle aree ad alta pressione a quelle a bassa pressione come gli alisei, i venti polari e quelli occidentali.



Circolazione globale dell'atmosfera*



Formazione di un ciclone nell'emisfero boreale*

13 I fenomeni meteorologici

13.1 Il tempo e il clima

Dalla troposfera che è lo strato dell'atmosfera a contatto diretto col suolo dipendono i fenomeni che determinano il tempo meteorologico e il clima.

Lo studio dei fenomeni che riguardano la troposfera è detto **meteorologia** e coloro che si occupano di tali studi sono i **metereologi**, che studiano le variazioni di temperatura e umidità della troposfera e la presenza o l'assenza di precipitazioni.

Si parla di **tempo meteorologico** quando un luogo della Terra è interessato per un determinato periodo di tempo, che sia un'ora oppure un giorno, da una situazione meteorologica temporanea cioè cielo sereno, presenza di nubi, precipitazioni, venti, tempo afoso, ecc.

Col termine **clima** si vuol indicare le condizioni meteorologiche che interessano uno specifico luogo per un tempo prolungato.

13.2 La temperatura dell'aria

La **temperatura** dell'aria è uno dei parametri che definisce il tempo meteorologico, essa dipende da fattori come altitudine, latitudine, distanza dal mare e copertura vegetale.

L'**altitudine**, influisce sulla temperatura dell'aria, salendo di quota si ha un abbassamento della temperatura di circa 6°C per ogni 1000m di altezza.

La **latitudine** è il fattore che maggiormente influenza la temperatura dell'aria, basti pensare che la forma sferica della Terra non permette ai raggi solari di arrivare ovunque allo stesso modo. Infatti la superficie terrestre riceve il calore solare, che poi cede all'aria, a seconda della latitudine, dell'ora del giorno e della stagione che varia nel corso dell'anno. In generale, il riscaldamento è tanto maggiore quanto più i raggi solari si avvicinano alla situazione di perpendicolarità alla superficie terrestre.

La **distanza dal mare**, o da bacini d'acqua come i laghi, influisce sulla temperatura in quanto l'acqua per avere lo stesso aumento della temperatura della terra ha bisogno di una quantità di calore maggiore, quindi l'acqua si riscalda meno rispetto alla terra. Pertanto nei periodi estivi le aree costiere risultano più fresche rispetto alle aree interne,

mentre nei periodi invernali l'acqua restituisce alla terra il calore che ha accumulato durante l'estate.

La **copertura vegetale** porta ad una diminuzione della temperatura dell'aria attraverso l'evapotraspirazione liberando vapor acqueo, il quale assorbe energia solare e riduce la quantità di calore che giunge al suolo. In questo modo la copertura vegetale abbassa la temperatura dell'aria mentre, nelle aree che ne sono prive, tutta l'energia solare raggiunge il suolo causando notevoli sbalzi di temperatura tra il giorno e la notte.

In città essendovi asfalto e cemento la temperatura è più alta rispetto a quella della campagna circostante.

Lo strumento che permette di misurare la temperatura dell'aria è il **termometro**. Il termometro a liquido può contenere mercurio o alcol che col calore subiscono dilatazione. Per raccogliere i dati sulla temperatura si ricorre alla **capannina meteorologica**, una struttura in legno munita di tetto a spiovente, all'interno della quale i termometri vengono posti all'ombra, a contatto con l'aria e ad un metro e mezzo di altezza dal suolo. Inoltre si utilizzano dei particolari termometri per registrare gli estremi di temperatura che si verificano in una giornata detti **termometri a minima e a massima**.



Interno di una capannina meteorologica*

13.3 Umidità e precipitazioni

L'**umidità** è la quantità di vapor acqueo presente nell'aria, che deriva dall'evaporazione di bacini d'acqua e in minima parte dalla traspirazione delle piante.

L'**umidità assoluta** esprime la densità del vapore acqueo in una massa d'aria umida (miscela vapore acqueo-aria) e, indica quanti grammi di vapore acqueo sono presenti in 1 m³ d'aria umida, a una data temperatura e una data pressione. Nella pratica, l'umidità assoluta si esprime in kg di vapore su kg di aria secca; ad esempio un'umidità assoluta del 20% vuol dire che in 1 kg di aria secca (circa un metro cubo) si hanno 200 grammi di vapore acqueo.

L'umidità assoluta è un parametro poco utilizzato in quanto dà informazioni sulla quantità di acqua contenuta nell'aria ma non dice nulla riguardo alla quantità di acqua che può venire giù con le precipitazioni. Per questo motivo si preferisce utilizzare l'**umidità relativa**, che è data dal rapporto tra l'umidità assoluta, cioè la quantità di vapor acqueo in un certo volume d'aria, e il limite di saturazione, cioè la quantità massima di vapor acqueo che lo stesso volume d'aria potrebbe contenere. Tale misura viene effettuata con l'**igrometro** e si misura in percentuale. Quando l'aria è satura presenta una umidità relativa pari al 100%; se l'umidità relativa dell'aria è al 70% vuol dire che l'aria presenta il 70% di vapore di saturazione. In un sistema chiuso, l'umidità relativa aumenta con la diminuzione della temperatura, cioè in relazione al calo della pressione di saturazione.

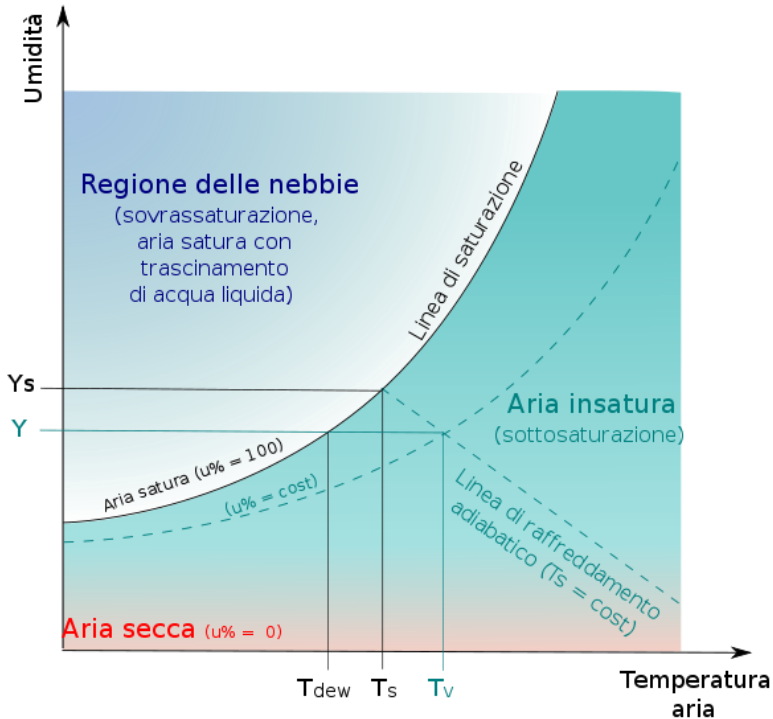


Diagramma psicrometrico*, utilizzato per descrivere le proprietà dell'aria umida.

13.4 La formazione delle nubi

Quando una massa d'aria si raffredda raggiungendo la **temperatura del punto di rugiada o temperatura di condensazione** (temperatura alla quale l'aria è satura) fino a superare il limite di saturazione, l'eccesso di vapor acqueo condensa attorno a particelle che prendono il nome di **nuclei di condensazione**, sottoforma di minute goccioline, fenomeno che genera le nubi. Le goccioline di acqua che formano le **nubi** o **nuvole** hanno dimensioni comprese tra 20 e 50 μ .

I nuclei di condensazione sono formati da diversi componenti del pulviscolo atmosferico come polveri, ceneri vulcaniche, fumi. È bene ricordare tra i nuclei di condensazione anche i cristalli di sale, residui delle gocce di acqua del mare sollevate dal vento.

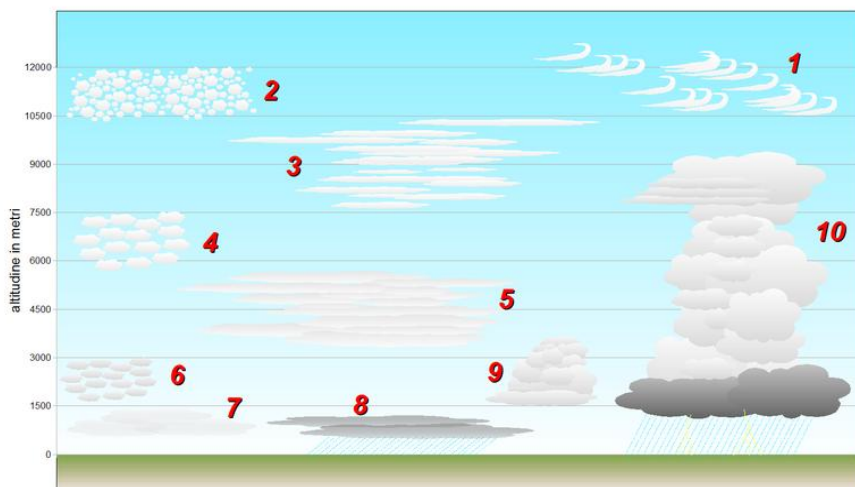
Può avvenire che, in assenza di nuclei di condensazione, una massa d'aria che abbia superato il limite di saturazione non condensi, in tal

caso la sovrasaturazione delle nubi dà luogo a forti precipitazioni con grandinate.

I processi che provocano il raffreddamento delle masse d'aria sono principalmente tre.

- Il **raffreddamento convettivo**: è il processo che più di frequente dà luogo a nubi a livello locale, consiste fondamentalmente nella salita di aria che viene riscaldata a contatto col suolo e risulta più leggera rispetto ad altre masse d'aria circostanti. L'aria calda inizia a salire e man mano che sale comincia a raffreddarsi fino al raggiungimento della temperatura di condensazione, che forma le nubi; continuando a salire le nubi assumono aspetto cumuliforme.
- Il **raffreddamento sinottico**: dà luogo a sistemi nuvolosi in seguito all'incontro di due masse d'aria a diversa temperatura e umidità: l'aria più fredda si incunea sotto quella calda che comincia a salire e a raffreddarsi, e nell'area di contatto con l'aria calda, che è più umida, forma un sistema nuvoloso stratificato.
- Il **raffreddamento orografico**: in seguito all'incontro di una massa d'aria umida con un sistema montuoso, la massa d'aria è costretta a salire raffreddandosi fino al punto di rugiada, generando sia nubi cumuliformi che stratificate.

Le nubi ci appaiono bianche quando sono sottili e vengono illuminate dal sole, mentre quelle che vediamo grigie o nere sono più spesse e in ombra. Possono essere **stratificate** o **cumuliformi**, le prime si sviluppano orizzontalmente e quando si trovano tra 6000 e 12000 m di altitudine formano nubi composte da cristalli di ghiaccio dette **cirri**, tra 6000 e 2000 m si trovano gli **altostrati** associati a mal tempo. Le nubi cumuliformi si sviluppano in altezza e sono associate a temporali, possono essere isolate (**cumuli**), raggruppate (**altocumuli**) o ammassate (**stratocumuli**).



Classificazione delle nubi per altitudine tipica*: 1 Cirri; 2 Cirrocumuli; 3 Cirrostrati; 4 Altocumuli; 5 Altostrati; 6 Stratocumuli; 7 Strati; 8 Nembostri; 9 Cumuli; 10 Cumulonembi.

Un particolare tipo di nube che si forma a contatto col suolo è la **nebbia**, ma rispetto alle nubi le goccioline d'acqua che la costituiscono sono più piccole e rarefatte pertanto la nebbia presenta una quantità di acqua inferiore rispetto ad una nube dello stesso volume, ciò accade perché la nebbia generalmente si forma a basse temperature e quindi il contenuto di vapor acqueo dell'aria è basso.

I processi che danno origine alla nebbia sono due e formano due tipi di nebbia:

- **la nebbia di radiazione** si forma di notte in seguito ad un abbassamento eccessivo della temperatura del suolo che a contatto con l'aria sovrastante, la raffredda, provocando la condensazione dell'umidità e quindi la formazione della nebbia. Tale fenomeno è più frequente in aree in cui sono presenti fonti di vapore come laghi, boschi e paludi;
- **la nebbia di avvezione** dovuta al trasporto di masse d'aria calde e umide ad opera del vento in aree fredde, l'aria si raffredda e avviene la condensazione del vapore, in genere sono nebbie molto distese, un tipico esempio di nebbia di avvezione è quella che si forma sul Mare del Nord.

Oltre alla nebbia vi sono altri fenomeni che avvengono al suolo: la **rugiada** e la **brina**. La rugiada si verifica d'estate in presenza di elevata umidità atmosferica che condensa a livello di un suolo freddo, formando minute goccioline d'acqua sul terreno e sulla vegetazione. La brina si verifica d'inverno ed è dovuta alla formazione di cristalli di ghiaccio dovuti alle temperature che scendono sotto 0° C.

13.5 Le precipitazioni

Le precipitazioni si verificano quando il vapor acqueo, contenuto in una nube, condensa velocemente in gocce d'acqua o in cristalli di ghiaccio, le gocce d'acqua scendono quando si ingrandiscono raggiungendo dimensioni tali da non poter rimanere sospese e cadono. Il meccanismo che provoca l'ingrandimento delle gocce è detto **coalescenza**, si verifica quando nella nube sono presenti particelle di pulviscolo atmosferico che fungono da nuclei di condensazione intorno ai quali le gocce si uniscono aumentando di dimensioni.

Il tipo di precipitazione che arriva al suolo dipende dalla temperatura che i cristalli di ghiaccio formati in nubi a temperature comprese tra -20 e -40 °C incontrano scendendo. Se essa è di 0°C oltre i 3-4000 m, come accade, d'estate cadono sotto forma di pioggia, se invece trovano tale temperatura in prossimità del suolo allora giungono sotto forma di fiocchi di neve al suolo.

La **grandine** ha origine da nubi cumuliformi temporalesche all'interno delle quali i movimenti convettivi, mescolando i cristalli di ghiaccio, li fa aggregare fino a formare dei chicchi di ghiaccio.

La distribuzione delle precipitazioni

Le precipitazioni hanno una distribuzione sulla Terra diversa da luogo a luogo e diversa nel corso dell'anno per lo stesso luogo. La misura delle precipitazioni viene effettuata con i **pluviometri** ed è indicata in cm o mm per unità di tempo.

Il **regime pluviometrico** dà informazioni dell'andamento delle precipitazioni in una determinata zona, la raccolta dei dati ha permesso di individuare fasce del pianeta a diverso regime pluviometrico:

- la **fascia equatoriale** presenta una piovosità elevata che raggiunge i 2500 mm all'anno;
- la **fascia tropicale** presenta una piovosità elevata nei periodi estivi; nell'arco dell'anno è inferiore ai 250 mm;

- la **fascia temperata** presenta una piovosità varia tra 500 e 1500 mm con distribuzione disomogenea delle piogge;
- la **fascia polare** presenta precipitazioni scarse inferiori a 200 mm all'anno e nevose.

Approfondimenti

Ma è proprio vero che piove sempre la Domenica?

<http://www.centrometeolombardo.com/content.asp?contentid=5766>

Coalescenza, video

<http://video.repubblica.it/tecno-e-scienze/le-gocce-d-acqua-galleggiano-sull-acqua/107895/106275>

14 Il clima

14.1 Il clima e i suoi fattori

Col termine **clima** si indicano le condizioni meteorologiche che interessano uno specifico luogo per un tempo prolungato, generalmente un anno.

In genere nel corso dell'anno il clima di un determinato luogo tende a ripetersi in modo definito, senza grosse variazioni.

In **climatologia** (studio del clima) si fa una netta distinzione tra i **fattori del clima** che lo influenzano e gli **elementi del clima** che lo caratterizzano e dipendono dai fattori del clima.

I **fattori del clima** sono legati alle caratteristiche geografiche delle diverse aree terrestri e sono:

- l'**altitudine**: infatti la temperatura diminuisce salendo di quota, ciò provoca variazioni anche sul clima perché aumenta la piovosità;
- la **latitudine**: i raggi solari per via della forma sferica della Terra non arrivano allo stesso modo ovunque. Procedendo dall'equatore verso i poli giungono al suolo meno inclinati; ciò permette la distinzione in fasce climatiche e l'esistenza delle diverse stagioni;
- la **diversa distribuzione di terre e mari** che hanno diversa capacità di riscaldamento;
- la **copertura vegetale**: le piante attraverso l'evapotraspirazione liberano vapor acqueo che assorbe energia solare abbassando la temperatura dell'aria e permettendo l'evaporazione dell'acqua dal terreno così che il clima risulti meno secco.

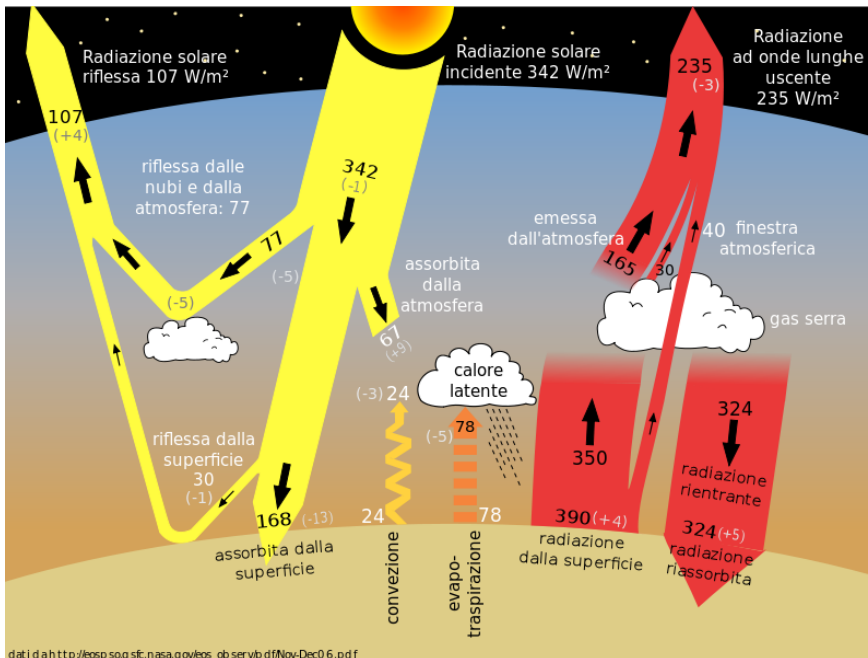
Riassumendo, gli elementi del clima sono:

- temperatura;
- umidità;
- pressione;
- nuvolosità;
- precipitazioni;
- umidità.

14.2 Gli effetti delle attività umane sul clima

A partire dalla prima rivoluzione industriale le attività umane hanno avuto effetti sul clima. Attualmente nelle grandi città il calore immesso nell'atmosfera dalle attività industriali, dai mezzi di trasporto e dagli impianti di riscaldamento provoca un aumento della temperatura, inoltre l'aria calda che sale trasporta particelle che fungono da nuclei di condensazione portando alla formazione di nubi e a un conseguente aumento della piovosità.

Negli ultimi due secoli le attività umane legate all'uso delle automobili, delle centrali termoelettriche, dei riscaldamenti ecc. hanno causato un inquinamento atmosferico e in particolare un aumento dell'anidride carbonica che ha provocato un surriscaldamento globale del pianeta: è il cosiddetto **effetto serra**. Le conseguenze di tale riscaldamento potrebbero produrre imprevedibili cambiamenti climatici, e potrebbero produrre lo scioglimento dei ghiacciai polari con un aumento del livello del mare che causerebbe la scomparsa di aree costiere. Per evitare che ciò accada dovremmo evitare di alterare la composizione atmosferica e ognuno di noi dovrebbe adottare comportamenti appropriati.



Effetto serra*

14.3 La classificazione dei climi

Vi sono diversi tipi di classificazione dei climi della Terra che fondamentalmente tengono conto di due criteri principali: il primo definisce i diversi tipi di clima basandosi sull'analisi della temperatura e dell'umidità e inserendo in essi caratteristiche paesaggistiche come il tipo di vegetazione e il tipo di suolo; l'altro, basandosi sulle caratteristiche paesaggistiche, risale poi ai tipi climatici.

La classificazione proposta dal climatologo tedesco [Köppen](#) nel 1918 è quella maggiormente usata, essa tiene conto delle precipitazioni, della temperatura e della vegetazione (foresta equatoriale, deserto, savana, foresta temperata e tundra) che caratterizzano i diversi tipi climatici e disposte in fasce che seguono la direzione dei paralleli.

La classificazione proposta da Köppen suddivide i tipi climatici in **cinque gruppi** principali tenendo conto della temperatura e della vegetazione che si sviluppa. Questi cinque gruppi sono ulteriormente suddivisi in **tipi** climatici tenendo conto delle precipitazioni e della vegetazione che vi si sviluppa.

I **gruppi climatici** sono indicati dalle prime lettere dell'alfabeto (**A, B, C, D, E**), **A** indica i **climi megatermici umidi**, **B** i **climi megatermici aridi** entrambi caratterizzati da una temperatura media che va al di sopra dei 18°C per tutti i mesi dell'anno, mentre l'unica differenza risiede nelle precipitazioni.

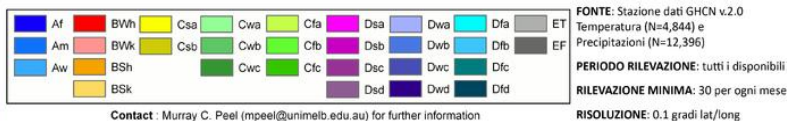
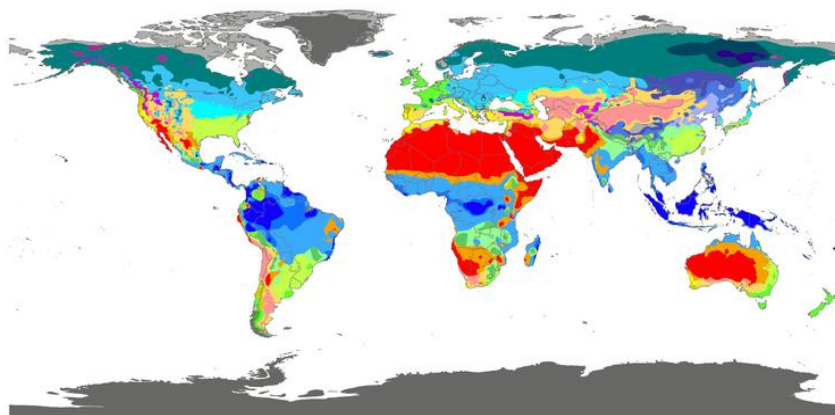
C indica i **climi mesotermici** con una temperatura media dei mesi freddi compresa tra -3 e +18°C e nei mesi caldi al di sopra dei 10°C.

D indica i **climi microtermici** con una temperatura media dei mesi freddi che va al di sotto di -3°C e nei mesi caldi al di sotto dei 10°C.

Infine **E** indica i **climi nivali o polari** con una temperatura media dei mesi più caldi compresa tra 0 e +10°C.

A seconda del tipo di clima in una determinata regione si sviluppa un determinato bioma cioè una comunità biologica costituita da animali e vegetali.

Classificazione climatica mondiale secondo il sistema Köppen-Geiger



Classificazione climatica mondiale secondo il sistema Köppen-Geiger*

Tipi di clima secondo la classificazione dei climi di Köppen	
Classe A (Climi tropicali)	Equatoriale, Monsonico, Savana
Classe B (Climi aridi)	Desertico, Steppico
Classe C (Climi temperati)	Sinico, Subtropicale Umido, Mediterraneo, Temperato Umido
Classe D (Climi boreali)	Foreste · Transiberiano
Classe E (Climi nivali)	Tundra · Glaciale

14.4 Climi megatermici umidi-A

Climi megatermici umidi-A, sono climi caratteristici della zona intertropicale con un'alta temperatura media mensile. Essa infatti non va mai al di sotto dei 15°C e un'alta piovosità che va al di sopra dei 2000 mm all'anno. Le piogge si distribuiscono in modo disomogeneo durante l'anno e per tale motivo questo gruppo climatico si divide a sua volta in tre tipi climatici.

- a. **Clima equatoriale.** È indicato con **Af** (**f** sta per fehlt che in tedesco significa manca, e vuol dire mancanza di stagione secca), presenta temperature molto alte, tra 25 e 30°C, le precipitazioni si verificano quasi tutti i giorni e di conseguenza si registra la mancanza della

stagione secca. Il bioma presente è la **foresta equatoriale o pluviale** formata da alberi altissimi definiti eliofili in quanto amanti della luce, sui cui rami si appoggiano le liane, piante rampicanti caratteristiche della foresta equatoriale. Gli alberi eliofili sono vicini tra loro al punto da rendere il sottobosco umido e ombreggiato poiché non lasciano passare la luce, perciò vi è una scarsa vegetazione, un'abbondanza di insetti, vi sono poi uccelli, rettili e scimmie arboricole.

- b. **Clima subequatoriale o della savana.** Viene indicato con le lettere **Aw** (**w** sta per winter che in tedesco significa inverno e vuol dire che in inverno c'è siccità) presenta una temperatura elevata che supera i 20°C mensili. Rispetto al clima equatoriale le precipitazioni sono meno frequenti e concentrate nel periodo estivo. In questo clima la siccità supera i tre mesi, pertanto fondamentalmente vi sono due stagioni: una piovosa e una secca. La **savana** costituita da piante perenni in particolare graminacee e da piante isolate come acacie e baobab è il bioma caratteristico del clima subequatoriale. In prossimità del mare vi sono le mangrovie capaci di vivere in acqua marina. Nella savana vivono i grandi mammiferi erbivori, carnivori, scimmie, pochi uccelli, coccodrilli e ippopotami nei fiumi.
- c. **Clima monsonico.** Indicato con **Am** (**m** da monsonico) è caratterizzato dalla presenza di monsoni e risulta simile ai climi visti in precedenza. Anch'esso può essere diviso in due stagioni una estiva con piovosità abbondante e l'altra invernale, secca. Il bioma che lo caratterizza è la **giungla** con piante sempreverdi e altre che in inverno perdono le foglie. La vita animale è come quella vista nei due climi precedenti, animali caratteristici sono tigri, scimmie ed elefanti.

14.5 Climi megatermici aridi-B

I climi megatermici aridi-B sono accomunati dalla scarsa piovosità ma presentano un'intensa evaporazione, per la carenza d'acqua in questo clima vi è poca vegetazione costituita da piante xerofile. Tra gli animali vi sono quelli che si sono adattati a tale clima: ragni, scorpioni, dromedari, cammelli e rettili. La media della temperatura annua ha permesso la suddivisione di questo clima in tre tipi climatici.

- a. **Clima arido caldo.** Indicato con **BWh** (**W** sta per Wüste che in tedesco significa deserto), presenta una media della temperatura intorno ai 25°C, nel clima arido caldo si hanno delle forti escursioni termiche con temperature che di giorno vanno oltre i 50°C e di notte arrivano a 0°C. La vegetazione è presente solo nelle **oasi** costituite da cereali, palme da datteri e piante da frutta, nelle oasi vivono antilopi, cammelli e dromedari.
- b. **Clima arido freddo.** Indicato con **BW**, presenta una escursione termica annuale; infatti nel mese più caldo si registrano temperature che arrivano sopra i 20°C e in quello più freddo scendono fino a -30°C.
- c. **Clima semiarido.** Viene indicato con **BS** (**S** che è l'iniziale del termine tedesco Steppe e significa steppa) e in esso si verificano maggiori precipitazioni quindi è quello meno arido tra i climi megatermici aridi ed ha una maggiore varietà di vegetazione formata, da cactus e acacie. Nelle zone che sono più umide si trova la **steppa** formata da graminacee e piante alofile. Pochi sono gli animali, per lo più rettili, roditori e canguri.

14.6 Climi esotermici o temperati-C

Climi esotermici o temperati-C, sono caratterizzati dalla presenza delle stagioni infatti si hanno variazioni di temperatura durante l'anno, essa scende a -3°C nei mesi freddi e sale a poco più di 10°C nei mesi caldi. Le precipitazioni sono variabili e la neve può cadere solo in aree montuose. La presenza di periodi secchi ha permesso la divisione di questo gruppo climatico in tre tipi.

- a. **Clima sinico.** Indicato con **Cw** (**w** sta per winter che in tedesco significa inverno e vuol dire che in inverno c'è siccità), si presenta con abbondante piovosità e distribuite per lo più nei mesi estivi che sono anche quelli più caldi dell'anno, i mesi invernali presentano temperature basse di conseguenza si verificano escursioni termiche. Il bioma presente in questo clima è la **foresta subtropicale**, costituita da piante tropicali come bambù vi sono poi conifere, camelie e magnolie.
- b. **Clima mediterraneo.** Indicato con **Cs** (**s** dal termine tedesco sommer che vuol dire estate) lo si ritrova nelle aree bagnate dal Mar Mediterraneo è presente inoltre lungo la costa californiana, nell'area centrale del Cile, nell'Africa Meridionale e nell'Australia

Meridionale. La temperatura media registrata in inverno è di circa 12°C e in estate è di circa 25°C, la temperatura mite è dovuta all'effetto mitigatore del mare, in genere le precipitazioni sono scarse e più frequenti in inverno, che risulta umido, mentre l'estate risulta essere calda e secca. Il bioma che troviamo in questo clima è la **macchia mediterranea** formata da specie arboree tra cui mirto, rosmarino ed oleandro, e specie arbustive sempre verdi tra cui alloro, corbezzolo, eucalipti, sugheri. Gli animali tipici di questo clima sono lepri, cinghiali, volpi, conigli e tassi.

- c. **Clima temperato fresco.** Che è indicato con **Cf** (**f** sta per fehlt che in tedesco significa manca, e vuol dire mancanza di stagione secca), la media della temperatura d'estate si aggira intorno ai 15°C mentre d'inverno supera di poco 0° centigradi. Le precipitazioni si verificano tutto l'anno nelle aree costiere mentre nelle aree interne sono più frequenti d'estate. La **foresta decidua di latifoglie** è il bioma presente in questo clima in cui vi sono alberi a fusto alto come faggi, castagni, aceri e betulle. Nelle aree interne le piogge sono meno frequenti e vi sono erbe alte che formano la prateria e arbusti che formano la brughiera. La fauna è composta da lupi, orsi, uccelli migratori e roditori.

14.7 Climi microtermici-D

I climi microtermici-D sono caratterizzati da inverni lunghi e rigidi e da estati fresche e piovose, si dividono in due tipi climatici.

- a. **Clima temperato freddo-umido.** Indicato con **Df**, caratterizzato da un inverno freddo e prolungato che dura fino ad otto mesi con una temperatura media di circa -10°C, e da estati che durano poco e sono calde con una temperatura, nel mese più caldo, di circa 22°C. Come abbiamo già detto le precipitazioni sono distribuite maggiormente nel periodo estivo mentre d'inverno sono scarse e nevose. La **foresta decidua a latifoglie**, il bioma che caratterizza tale clima, è composta prevalentemente da querce e faggi e, in misura minore, da pioppi, castagni, aceri e tigli; è presente il sottobosco formato da eriche e felci. Nelle aree interne dato che le precipitazioni sono scarse, si presenta la steppa-prateria formata per lo più da graminacee. Gli animali presenti sono cinghiali, lupi, cervi, volpi e uccelli.

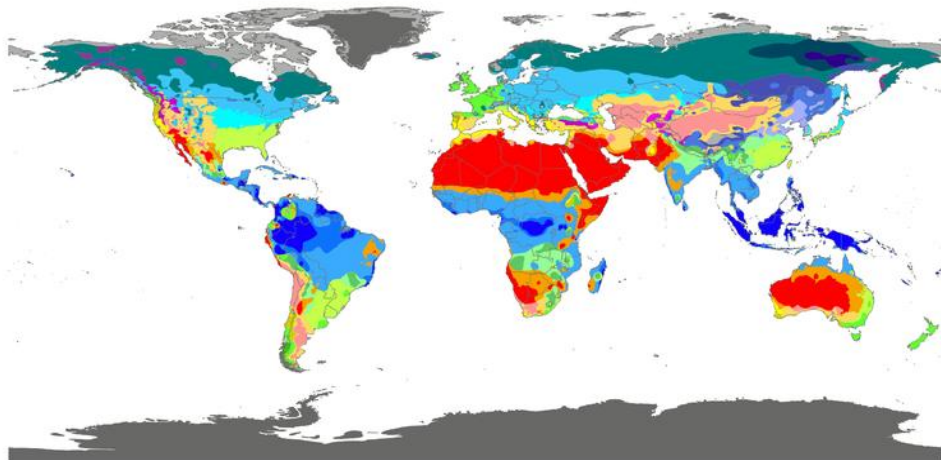
- b. **Clima temperato freddo-secco.** Indicato con **Dw**, il periodo invernale è molto lungo e rigido, dura oltre otto mesi e si presenta con temperature inferiori a 0°C che possono scendere fino a -50°C. Nel periodo estivo si concentrano le piogge, che sono scarse, mentre la temperatura supera i 10°C, quindi l'escursione termica durante l'anno è notevole. Pini, abeti e larici costituiscono la **foresta di conifere** che è il bioma caratteristico di questo clima. La fauna è costituita da renne, orsi, lupi, castori, ecc.

14.8 Climi nivali o polari-E

Climi nivali o polari-E sono caratterizzati da temperature basse che nel periodo estivo si mantengono al di sotto dei 10°C, la vegetazione è scarsa o quasi assente. Si divide in due tipi climatici.

- a. **Clima seminivale o subpolare.** Rappresentato con **ET** (**T** dal termine tedesco che significa tundra) la temperatura del mese più caldo è di circa 0°C, solo d'estate si ha lo sviluppo della **tundra** formata da muschi e licheni, nelle aree meno fredde possono svilupparsi salici e betulle. La fauna è presente solo nel periodo estivo ed è formata da uccelli migratori, volpi bianche, lepri artiche e renne.
- b. **Clima nivale o polare.** Indicato con **EF** (**F** dal tedesco Frost significa gelo) presenta una media della temperatura annuale compresa tra -20 e -30 °C; la vegetazione comprende muschi e licheni, i mari sono popolati da molti pesci ciò permette lo sviluppo di una fauna migratoria costituita da orsi bianchi, foche e pinguini.

Classificazione climatica mondiale secondo il sistema Köppen–Geiger



Af	BWh	Csa	Cwa	Cfa	Dsa	Dwa	Dfa	ET
Am	BWk	Csb	Cwb	Cfb	Dsb	Dwb	Dfb	EF
Aw	BSh	Cwc	Cfc	Dsc	Dwc	Dfc		
BSk		Dsd	Dwd	Dfd				

FONTE: Stazione dati GHCN v.2.0
Temperatura (N=4,844) e
Precipitazioni (N=12,396)

PERIODO RILEVAZIONE: tutti i disponibili

RILEVAZIONE MINIMA: 30 per ogni mese

RISOLUZIONE: 0.1 gradi lat/long

Contact : Murray C. Peel (mpeel@unimelb.edu.au) for further information

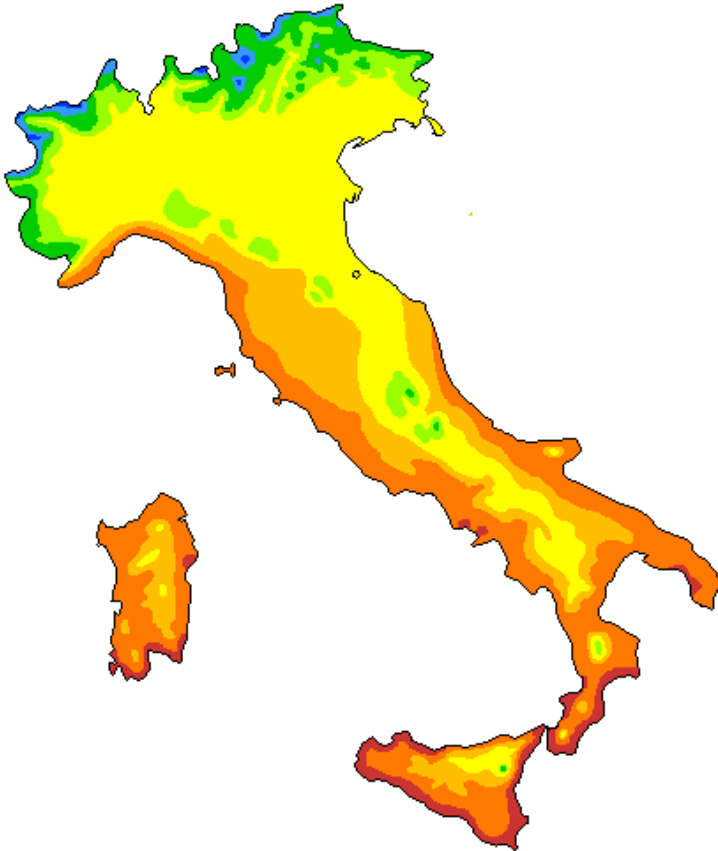
Mappa della classificazione Köppen*

Clima	T	Sigla	Tipi Climatici	Bioma
Megatermici umidi (A)	<18°C	Af	equatoriale	foresta pluviale
		Aw	sub-equatoriale	savana
		Am	monsonico	giungla
Megatermici aridi (B)	>18°C	BWh	arido-caldo	deserto,oasi
		BW	arido freddo	deserto
		BS	semiarido	steppa
Mesotermici (C)	Tra -3 e 18°C	Cw	sinico	foreste sub-tropicale
		Cs	mediterraneo	macchia mediterranea
		Cf	temperato fresco	foresta decidua di latifoglie
Microtemici (D)	mese più freddo < 3°C	Df	temperato freddo-umido	foresta decidua di latifoglie
	mese più caldo >10°C	Dw	temperato freddo-secco	foresta di conifere
Polari (E)	Sempre <10°C	ET	subpolare	tundra
		EF	polari	

14.9 Il clima italiano

L'Italia disposta a metà tra l'equatore e il polo nord presenta una collocazione tale da avere un clima temperato e presenta lievi variazioni climatiche tra nord e sud. Al nord la temperatura è inferiore. Al sud e al centro per l'effetto mitigatore del mare, il clima è più mite, con inverni miti ed estati fresche. Il clima dell'Italia può essere suddiviso in sei zone principali.

- **Clima della regione alpina**, che rientra nella classe E dei climi individuati da Kopperrn. Si tratta di un clima di montagna con inverni piovosi, lunghi e freddi ed estati fresche. Nella catena delle Alpi è presente un clima nivale con precipitazioni a carattere nevoso d'inverno.
- **Clima della regione padana**, rientra nella classe Cf ovvero temperato-fresco, è caratterizzato da inverni freddi in cui si verificano gelate e precipitazioni nevose. La nebbia è particolarmente frequente, le estati sono calde ed afose con poche precipitazioni, queste ultime sono più abbondanti in autunno e hanno carattere prevalentemente temporalesco.
- **Clima appenninico** anch'esso appartiene alla classe Cf, riguarda la fascia centrale montuosa e collinare dell'Italia peninsulare; le precipitazioni si verificano maggiormente in inverno e in autunno.
- **Clima della regione ligure-tirrenica**, in cui rientrano le regioni costiere bagnate dal Mar Ligure e Tirreno; il clima è mite con precipitazioni più concentrate d'inverno e scarse in estate.
- **Clima della regione adriatica** riguarda la zona costiera bagnata dal Mar Adriatico che, essendo meno profondo del Tirreno, ha un effetto mitigatore più blando sul freddo invernale e sul caldo estivo.
- **Clima delle regioni meridionali e delle isole** caratterizzato da estati secche e inverni piovosi; le precipitazioni nevose sono alquanto rare e si verificano maggiormente sui monti più elevati.



Carta dei climi d'Italia secondo [Mario Pinna](#).*

Climi temperati (ricadono nel tipo C di Köppen ma seguono una classificazione diversa) ■ subtropicale ■ temperato caldo ■ sublitoraneo ■ subcontinentale ■ temperato fresco
 Clima temperato-freddo (tipo D di Köppen) ■ temperato freddo Climi freddi (tipo E di Köppen) ■ freddo ■ glaciale

Approfondimenti

Il Protocollo di Kyoto della Convenzione sui Cambiamenti Climatici
http://www.bcp-energia.it/normativa/protocollo_kyoto.pdf

Effetto serra, poster

http://www.fondazionemichelagnoli.it/poster_fonda/effetto_serra.pdf

15 L'orogenesi e la tettonica a zolle

15.1 La teoria della deriva dei continenti

Per spiegare l'**orogenesi**, ovvero la nascita delle catene montuose, furono formulate molte ipotesi tra cui acquisì notevole importanza la teoria della **deriva dei continenti** del geofisico tedesco [Alfred Wegener](#) nel 1912, secondo la quale dalla frantumazione di un unico grande continente che denominò **Pangea**, si sarebbero originati i diversi continenti, i quali si sarebbero poi allontanati tra loro. Egli ipotizzò che inizialmente, in seguito ad una grande frattura, la Pangea si fosse divisa in **Laurasia** la parte a nord e **Gondwana** la parte a sud, separate dal mare **Tetide**. Da questi due continenti, per opera di fratture successive, si sarebbero originati gli attuali continenti.

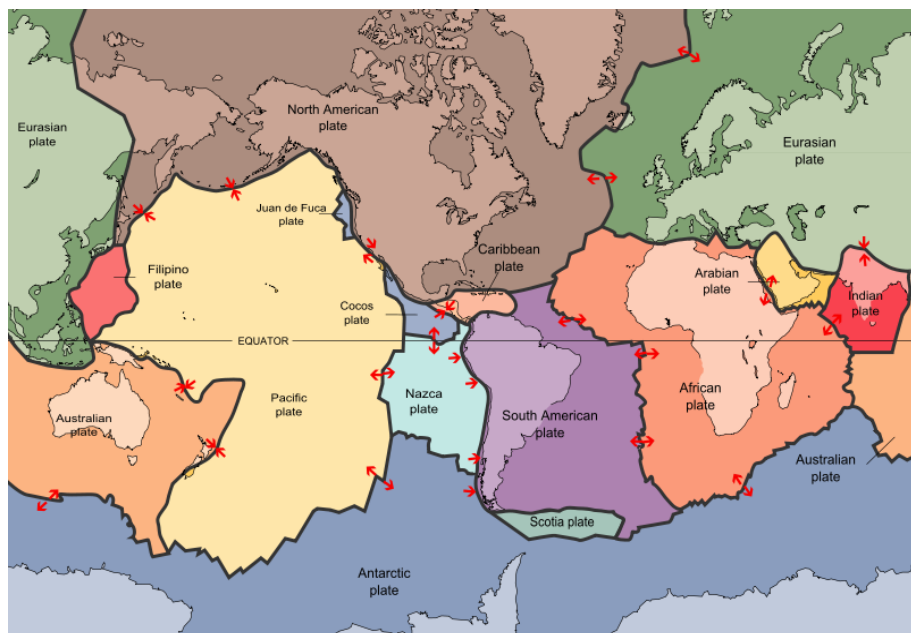
Il meccanismo che, secondo la teoria della deriva permetteva lo spostamento dei continenti, era legato alla natura dei continenti stessi. Infatti alcuni sono costituiti da rocce più leggere, composte da **sial** cioè silicio e alluminio, galleggianti su uno strato denso e fluido posto sui fondali oceanici detto **sima**, composto da silicio e magnesio. In questo modo gli scienziati spiegavano l'origine delle montagne causata dalla chiusura del mare Tetide e dallo scontro tra continenti.

A favore della teoria esposta da Wegener vi sono numerosi dati:

- **Morfologici:** evidenziati dalla esatta corrispondenza tra le coste dell'America meridionale e quelle dell'Africa occidentale;
- **Geologici:** per la continuità tra le formazioni geologiche esistenti nei continenti americano e africano;
- **Paleontologici:** per il ritrovamento di identici resti fossili animali e vegetali tra continenti molto distanti tra loro;
- **Paleoclimatici** dall'esame delle fasce climatiche, a loro volta ricavate dallo studio delle rocce dell'età paleozoica che dimostravano la contiguità dei continenti.



Il supercontinente denominato Pangea, risalente a 250 milioni di anni fa.*



Mapa delle placche tettoniche della Terra*

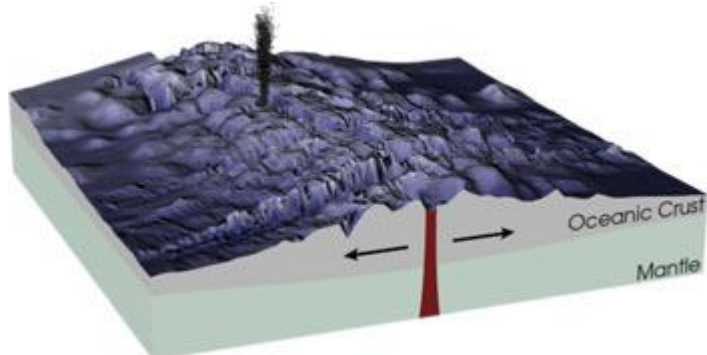
15.2 Teoria dell'espansione dei fondali oceanici

Dal momento che non era ancora chiaro quali forze e in quale modo avessero determinato lo spostamento dei continenti, la teoria proposta da Wegener non fu accettata dai geologi del tempo. Alla fine del 1960 altri scienziati, sulla base dell'idea di Wegner, formularono la teoria della **tettonica a zolle** o teoria della **tettonica delle placche**. Essa include la teoria dell'**espansione dei fondali oceanici**, proposta da [Harry Hess](#), nel 1962. Secondo questa teoria su tali fondali oceanici vi sono le **dorsali medio-oceaniche** ovvero catene montuose sommerse alte fino a 3000 m e percorse da fratture (**rift valley** o più semplicemente **rift**) larghe decine di chilometri e profonde fino a 3000 m, dalle quali fuoriesce magma spinto in superficie da movimenti convettivi, generati da magma caldo presente sotto le dorsali oceaniche. Secondo Hess nel mantello sono presenti moti convettivi di materiale fuso, generati da correnti ascendenti più calde e quindi meno dense che si spostano verso l'alto. Questa risalita comporta perdita di calore e quindi aumento della densità che spinge lo stesso materiale a tornare verso il basso da dove, nuovamente riscaldato torna a risalire. Per molto tempo si è ritenuto che l'origine del calore interno della Terra fosse residuo di quello primordiale, oggi si attribuisce con certezza al decadimento degli isotopi radioattivi presenti in grande quantità, questi generano emissione di particelle nucleari dotate di notevole energia cinetica e questa si trasforma in calore (energia termica).

Tuttavia la distribuzione del flusso termico non è uniforme su tutta la superficie terrestre, la spiegazione si attribuisce alle correnti ascensionali che generano le correnti convettive e, dove sono presenti, rappresentano le zone a massimo flusso termico e geologicamente attive, mentre quelle con flusso termico basso corrispondono a zone geologicamente antiche e stabili che si osservano nelle parti interne dei continenti.

Esistono vari modelli per spiegare i moti convettivi, secondo alcuni coinvolgono solo l'astenosfera, mentre per altri interessano l'intero mantello. Qualunque sia la teoria sono tutti d'accordo nell'affermare che sotto le dorsali oceaniche si trovano i versanti ascendenti di due celle contigue (alto flusso termico) e quelli discendenti corrispondono alle zone di subduzione.

La pressione esercitata dalla risalita di ulteriore magma provoca un allargamento delle dorsali oceaniche e la formazione di nuova crosta oceanica, da ciò consegue lo spostamento del pavimento oceanico che si allontana espandendosi nelle due direzioni opposte rispetto alla rift e ciò provoca l'allontanamento dei continenti.



Schema di formazione delle dorsali oceaniche*

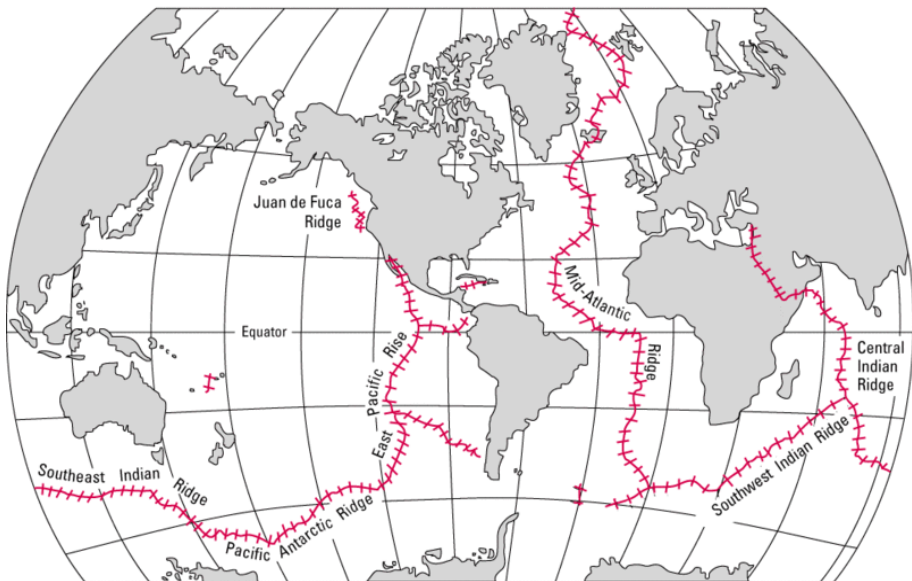
A sostegno di tale teoria vi è il **paleomagnetismo** cioè lo studio di minerali magnetici contenuti nelle rocce derivanti da magmi sottomarini che acquisiscono una magnetizzazione permanente permettendo di risalire al campo magnetico terrestre del passato. Per mezzo di tali studi si sono riscontrate **anomalie magnetiche** ovvero deviazioni riguardanti le intensità del campo magnetico terrestre rispetto al suo valore teorico, il loro significato fu individuato nel 1963 da F. Vine e D. Matthews.

A questo scopo lo studio si concentrò sui basalti che costituiscono il pavimento degli oceani e che acquisiscono magnetizzazione permanente e conforme al campo magnetico esistente al momento della loro formazione.

Avendo presente l'inversione del campo geomagnetico che avviene periodicamente, si parla di anomalia positiva per il caso in cui il campo magnetico indicato da queste rocce ha la stessa direzione di quello attuale, mentre è negativa se il campo magnetico riscontrato è inverso rispetto a quello attuale e poiché il campo geomagnetico e quello della roccia si sovrappongono, nel primo caso il campo registrato dagli strumenti è maggiore di quello teorico, nel secondo invece è minore. Poiché l'età massima dei fondali oceanici, che vengono continuamente ringiovaniti, è di 190 milioni di anni per questo tempo si possono registrare le inversioni del campo geomagnetico.

Se la deviazione trovata è maggiore di quella esistente si ha un magnetismo positivo, altrimenti è un magnetismo negativo. Le anomalie positive e negative si distribuiscono alternativamente ad intervalli di circa 5.000.000 di anni e in modo simmetrico rispetto alle dorsali. Inoltre è stato constatato che allontanandosi dalla dorsale lo strato di rocce basaltiche e i sedimenti che lo ricoprono sono più antichi, ciò perché alla crosta terrestre si è aggiunta man mano nuova crosta.

Se la polarità di un'epoca coincide con quella attuale si parla di polarità normale e le rocce formatesi prima di quel periodo danno luogo ad anomalie positive. La polarità è invertita se non corrisponde a quella attuale e le rocce formatesi in quel periodo danno luogo ad anomalie negative. Da tali studi si è visto come in una stessa epoca potessero esistere diversi poli Nord magnetici. Si tratta di rocce che una volta facevano parte di un unico blocco roccioso e che, dopo essersi frammentate, oggi sembrano assumere orientamenti magnetici diversi tra loro. Ciò ha fatto concludere che i continenti si sono spostati, confermando la teoria della deriva dei continenti. Grazie a questi studi è stato possibile capire come erano disposte terre e mari nelle diverse ere del passato.



La distribuzione delle dorsali oceaniche*

15.3 Le placche della litosfera

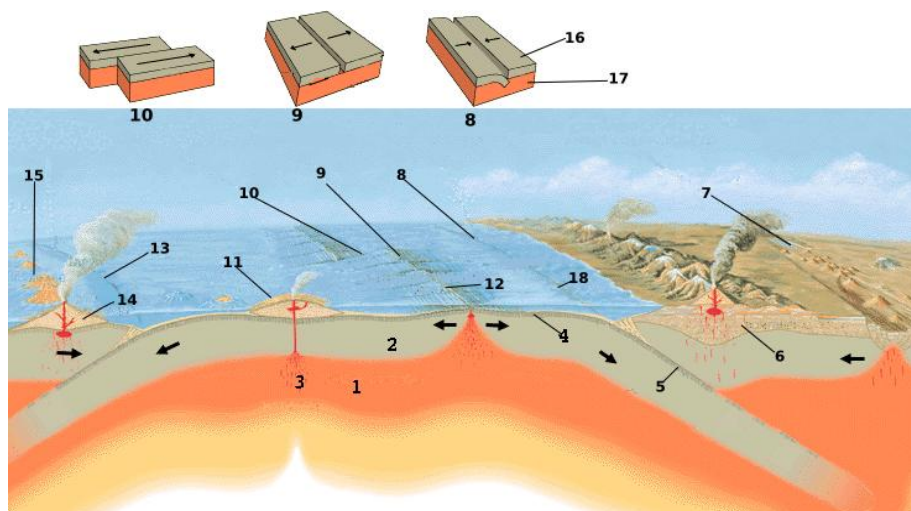
La teoria della **tettoniche a zolle** si basa sul fatto che la litosfera non è continua ma è formata da frammenti rocciosi di diversa grandezza che prendono il nome di **placche**. Sono incastrate tra loro, sono convesse e seguono la forma della Terra, poggiano sulla sottostante astenosfera calda e fluida, nella quale vi sono delle aree a temperatura maggiore che prendono il nome di **punti caldi** generati da enormi pennacchi di materiale caldo. In seguito alla differenza di temperatura si generano delle correnti calde ovvero dei moti convettivi che permettono lo spostamento dei frammenti di litosfera (placche). Il movimento delle placche è accompagnato da processi sismici o vulcanici. Attualmente, gli studi di geologia marina hanno permesso di constatare che la contrazione e l'espansione dei fondali oceanici provoca uno spostamento tra i continenti che va da 1 a 10 cm all'anno.

Non si può affermare con precisione quante siano le placche ma quelle più importanti sono sette: africana, antartica, indoaustraliana, eurasiatica, nordamericana, pacifica e sudamericana.

L'astenosfera è fusa e secondo i geologi presenta dei punti a temperatura maggiore rispetto ad altri, questi punti vengono denominati **punti caldi** e da tali punti si ha una continua risalita di magma.

Si tratta di vulcani isolati, che emettono lava basaltica proveniente dal mantello profondo, si trovano anche lontano dal margine delle zolle perché sono aree con flusso termico elevatissimo, indipendente dall'interazione tra i margini delle zolle. In seguito al movimento delle zolle il vulcano, posto sul punto caldo, si sposta divenendo un vulcano estinto e, in corrispondenza del punto caldo, si formerà un nuovo vulcano attivo.

Così si crea una serie di coni vulcanici estinti, a volte, erosi ma allineati in ordine di età decrescente che rivelano la direzione del movimento della zolla.



I confini delle placche*: 1- Astenosfera; 2- Litosfera; 3- Punto caldo; 4- Crosta oceanica; 5- Placca in subduzione; 6- Crosta continentale; 7- Zona di rift continentale (Nuovo margine di placca); 8- Placca a margine convergente; 9- Placca a margine divergente; 10- Placca a margine trasforme; 11- Vulcano a scudo; 12- Dorsale oceanica; 13- Margine di placca convergente; 14- Strato vulcano; 15- Arco isola; 16- Placca 17- Astenosfera; 18- Fossa

15.4 I margini delle placche

Le placche o zolle hanno spessore maggiore sotto i continenti e minore sotto gli oceani, si muovono a causa dei moti convettivi del mantello che, secondo il modello di Hess, come enormi rulli provocano lo spostamento delle placche sovrastanti, tali movimenti sono responsabili dell'instabilità dei loro margini e assumono un ruolo centrale nella determinazione della sismicità di un territorio.

Un ruolo centrale nello spostamento delle placche assumono i contorni delle placche detti **margini**, e in base ai movimenti che si generano tra due placche adiacenti possiamo distinguerli in:

- **margini divergenti o costruttivi** se le due placche adiacenti si allontanano tra loro; ciò comporta una risalita di magma che solidifica in superficie formando nuova litosfera e chiudendo il vuoto generato dall'allontanamento delle due placche; sono caratterizzati da debole sismicità ma intensa attività vulcanica.
- **Margini conservativi o trascorrenti** si riscontrano in movimenti di scorrimento tra due placche adiacenti, questi non danno luogo a

formazione né a rimozione di litosfera ma producono grandi faglie a scorrimento orizzontale (faglie trasformi), sono ad intensa attività sismica ma quella vulcanica è assente.

- **Margini convergenti o distruttivi** si riscontrano quando due placche adiacenti si muovono una in direzione dell'altra scontrandosi; sono margini ad intensa attività sismica e magmatica coincidenti con catene montuose giovani e sistemi arco-fossa..

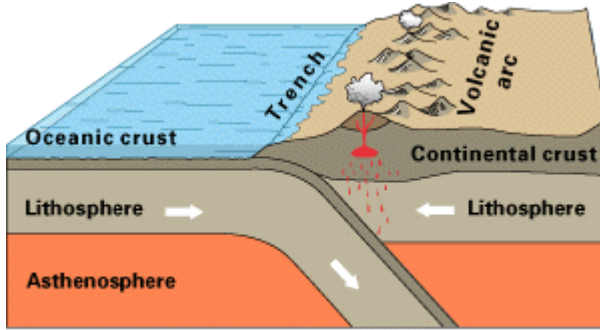
Generalmente le placche comprendono sia litosfera continentale che oceanica e i margini non coincidono con quelli di oceani o continenti; sono poche quelle esclusivamente oceaniche (placca pacifica o placca di Nazca) e ancora meno quelle esclusivamente continentali (placca araba).

Le placche ricoprono interamente la Terra e ciascuna presenta margini a stretto contatto con le altre placche, quindi ogni spostamento di placche che comporta allontanamento da una parte, provocherà avvicinamento dall'altra.

Dallo **scontro di una placca oceanica con una continentale** si verifica la subduzione e sarà quella oceanica a subdurre ponendosi sotto il margine continentale che, meno denso, resterà al di sopra. Dalla crosta oceanica in sprofondamento sono strappati lembi che formano nuova crosta continentale che si accresce anche per la risalita di magmi che provocano orogenesi, cioè la formazione di nuove catene montuose.

Un processo di questo genere è in corso da milioni di anni tra la placca di Nazca e il margine occidentale di quella sudamericana, ha provocato e provoca violenti eventi vulcanici e sismici con ipocentri localizzati lungo il piano di subduzione della placca oceanica detto **piano di Benioff**. Il piano di subduzione (di Benioff) ha un'inclinazione variabile a seconda della rigidità delle zolle e alla velocità con cui affonda, esso coincide con il piano su cui si collocano gli ipocentri dei terremoti.

Il processo orogenetico descritto ha originato la catena della Ande.

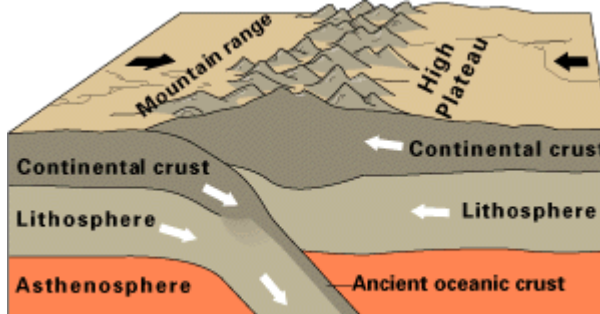


Oceanic-continental convergence

Scontro tra la placca oceanica e quella continentale

Altro tipo di collisione si può verificare tra i margini di **due placche continentali** che entrano in contatto deformandosi. Da questa condizione ne derivano frantumazioni dei margini che scivolano uno sull'altro per poi incastrarsi aumentando lo spessore della crosta che origina una catena montuosa.

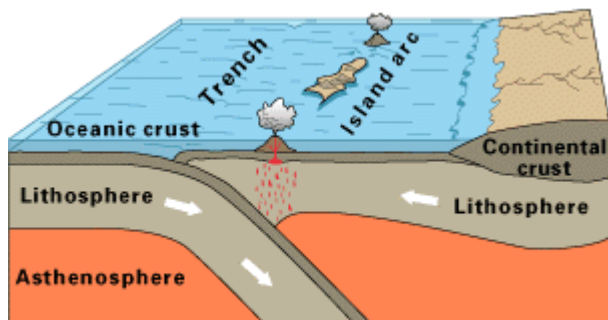
Da una collisione di questo genere si è prodotta la catena dell'Himalaya in seguito allo scontro tra la placca euroasiatica e quella indiana.



Continental-continental convergence

Scontro tra due placche continentali

Dalla **collisione di due placche oceaniche** ne origina subduzione, lungo il piano di Benioff, di una delle due che scivolando rifonde e fa risalire sul fondo oceanico i magmi del mantello che solidificano e formano una catena di vulcani sottomarini che, se emergono, originano un arco insulare. Un evento di questo genere ha dato luogo all'arcipelago e alla fossa delle Marianne.



Oceanic-oceanic convergence
Scontro tra due placche oceaniche

15.5 Rischio sismico in Italia

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha redatto la Carta della classificazione sismica del suolo italiano, tenendo conto del livello del rischio sismico accertato, il nostro non è certamente paragonabile a quello di altre zone della Terra, ma la nostra Italia non si può certo definire a rischio zero.

Ci troviamo in un'area giovane e geologicamente attiva, in cui le uniche zone stabili sono: Sardegna, penisola Salentina e arco alpino eccetto Friuli-Venezia-Giulia.

Le rocce più antiche si trovano in Sardegna, nel Sulcis-Iglesiente (Sud-Ovest della Sardegna) e sono antiche di circa 500 milioni di anni fa, contengono trilobiti che sono i fossili guida di quel periodo.

Oltre questa testimonianza è presente un enorme batolite (un plutone di enormi dimensioni che forma il nucleo di catene montuose) formatosi circa 280 milioni di anni fa, che attraversa Sardegna e Corsica.

Nel Cenozoico (65-1,8 milioni di anni fa) compare il resto dell'Italia, che perciò si può definire geologicamente giovane, ciò avviene a causa dell'avvicinamento e dello scontro fra le due placche africana ed euroasiatica perché immensi depositi sedimentari si accumularono sul margine del continente africano assumendo andamento risalente.

Tuttavia la situazione tettonica italiana non si è più modificata da circa due milioni di anni, ma il futuro non molto prossimo (fra 50 milioni di anni) immagina la lenta scomparsa del Mediterraneo per la collisione tra Africa e Eurasia.

16 Le risorse energetiche

16.1 Risorse naturali

Per **risorse energetiche** si intendono materiali prelevati dall'ambiente o fenomeni naturali da cui si può ricavare energia, vengono definite naturali poiché ricavate dalla natura. A seconda del tempo che occorre per riformarle esse vengono suddivise in **risorse rinnovabili** come vento, acqua, legno, biomassa e radiazioni solari, e **risorse non rinnovabili** come minerali e combustibili fossili. Le prime si riformano in tempi brevi ma anch'esse possono esaurirsi se il consumo è eccessivo; le seconde se esaurite necessitano di tempi lunghi per riformarsi come migliaia o milioni di anni.

Le risorse naturali del pianeta ancora sfruttabili prendono il nome di **riserve**.

16.2 Risorse non rinnovabili: i combustibili fossili

I **combustibili fossili** rappresentano riserve energetiche derivanti da fossili animali o vegetali, possono essere solidi (carbone), liquidi (petrolio) e gassosi (principalmente metano) e producono energia attraverso processi di combustione.

Il **carbone** originatosi da resti fossili vegetali, è il meno costoso tra i combustibili fossili ed è presente in quantità maggiore rispetto a petrolio e gas naturali, di conseguenza potrebbe essere usato in futuro in alternativa al petrolio. Purtroppo dalla combustione del petrolio vengono liberati prodotti di scarto inquinanti come lo zolfo che è responsabile delle piogge acide. Questo problema potrebbe essere risolto ma ha un costo elevato e pertanto non viene utilizzato.

Attualmente le fonti energetiche utilizzate maggiormente sono i **gas naturali** (principalmente **metano**) che risultano poco inquinanti o comunque sono meno inquinanti degli altri combustibili fossili. Questa fonte di energia potrebbe esaurirsi nei prossimi decenni.

Il **petrolio** rappresenta ad oggi la principale fonte da cui si ricava energia, ciò è dovuto al minor costo rispetto alle altre fonti infatti richiede minori lavorazioni e anche il costo del trasporto risulta inferiore rispetto agli altri. Il petrolio viene sfruttato maggiormente nel settore dei trasporti come carburante.

16.3 L'energia nucleare

Dalla trasformazione dei nuclei degli atomi che compongono la materia si può ottenere l'**energia nucleare**, ciò è possibile attraverso due processi che sono **fusione e fissione**.

La **fusione nucleare** è un processo che avviene anche nel Sole e che consiste nella fusione dei nuclei di due atomi leggeri, questo comporta la formazione di nuclei atomici più pesanti e il rilascio di una grande quantità di energia.

La **fissione nucleare** avviene dalla preparazione e utilizzazione dell'**uranio-235**, un isotopo dell'uranio poco presente in natura. Purtroppo tale processo oltre alla produzione di energia produce anche scorie radioattive pericolose e inquinanti che restano tali per migliaia o milioni di anni.

16.4 Risorse energetiche rinnovabili

Le **risorse energetiche rinnovabili** e per lo più non inquinanti vengono definite **risorse energetiche alternative**, sono state poco usate ma il loro impiego è destinato ad aumentare. Esse portano alla produzione di elettricità e combustibili proprio come le fonti non rinnovabili. Fondamentalmente si suddividono in tre gruppi principali: **energia solare, energia eolica, ed energia idroelettrica**.

L'**energia solare** rappresenta la principale fonte energetica rinnovabile, negli ultimi trent'anni il suo uso si è intensificato mediante due diversi processi tecnologici:

- il **solare fotovoltaico** attraverso delle lamine formate da materiali semiconduttori come il silicio dette **celle fotovoltaiche** opera la conversione della luce solare in energia elettrica, che viene accumulata in una batteria e può essere usata durante la notte;
- il **solare termico** attraverso l'uso di **collettori** formati da una superficie assorbente sulla quale è posta una parte superficiale trasparente. La parte assorbente accumula il calore dal sole trasferendolo poi all'acqua. Questa fonte energetica è utile per la produzione di acqua calda o per riscaldare le abitazioni.



Pannello solare termico*



Impianto fotovoltaico*

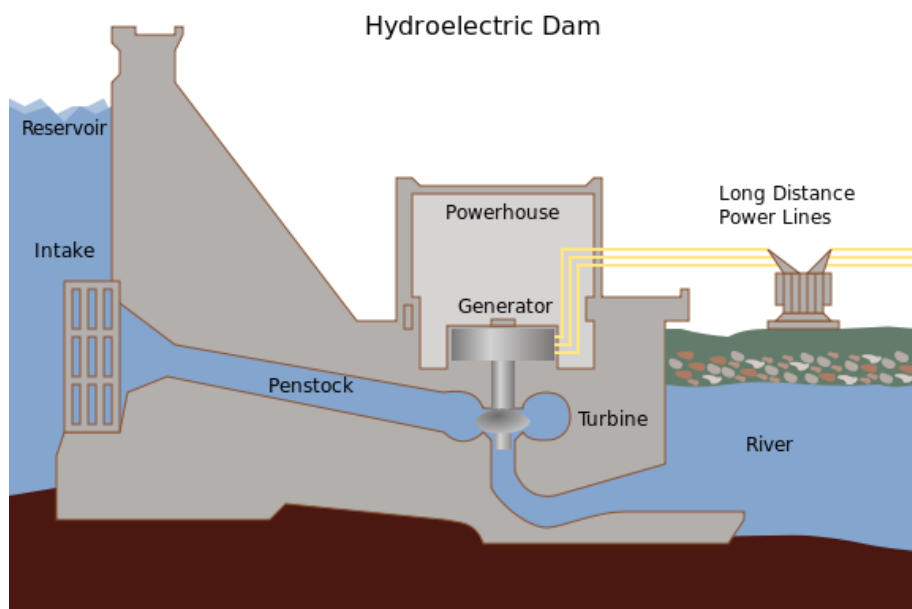
L'**energia eolica** è una forma di energia meccanica o elettrica che viene prodotta mediante aerogeneratori, formati da un'elica connessa ad un alternatore che produce la corrente elettrica. Sfrutta i movimenti dell'aria che fanno girare l'elica. Tale fonte energetica non inquina l'ambiente.



Impianto eolico a Frigento*

L'**energia idroelettrica** è prodotta dalle centrali idroelettriche e può essere realizzata in presenza di un costante flusso d'acqua, necessita della costruzione di dighe e dell'installazione di turbine cioè macchinari che trasformano l'energia di movimenti d'acqua (onde, correnti marine, maree, scorrimento di fiumi) in energia meccanica: il movimento dell'acqua muove il motore della turbina.

Questa fonte energetica in termini economici risulta molto dispendiosa ma presenta un rischio di inquinamento ambientale basso.



Schema di impianto idroelettrico*

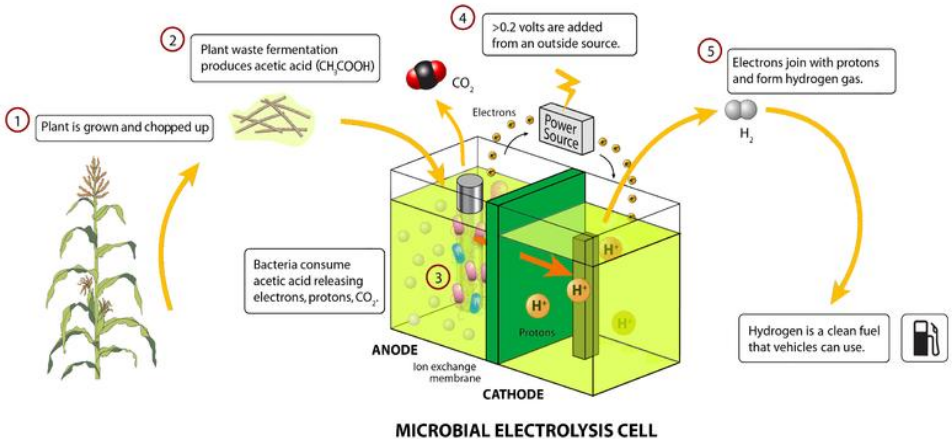
16.5 L'energia da biomasse

Per **biomassa** si intende la massa ottenuta da sostanze organiche maggiormente vegetali e in misura minore animali; rientrano nelle biomasse anche i rifiuti urbani. Le biomasse possono essere adoperate per la combustione diretta oppure vengono prima convertite in apposite centrali in biocombustibili liquidi, solidi e gassosi.

L'uso a cui sono destinate le biomasse dipende dalla composizione delle stesse:

- se formate maggiormente da carbonio e in misura minore da acqua subiscono combustione diretta producendo **energia termica** o **energia elettrica**;
- se si tratta di biomasse umide contenenti sostanze azotate da esse si possono ottenere **biogas** tra cui il **metano**;
- se contengono zuccheri attraverso la fermentazione alcolica di questi ultimi si possono ottenere biocombustibili usati nei motori;
- dalla spremitura di semi di girasole, soia e palma si ottiene il **biodiesel**: un biocombustibile liquido, che viene impiegato per il riscaldamento o come carburante per il trasporto e risulta meno inquinante del diesel. Tali combustibili rappresentano una valida fonte energetica che prende il nome di **bioenergia**, essi non producono sostanze dannose come lo zolfo né immettono quantità eccessive di anidride carbonica contribuente all'effetto serra.

Lo svantaggio di tali fonte energetiche è il fatto che sottraggono territorio coltivabile per uso alimentare ma lo sviluppo di tali fonti sta crescendo e continuerà a farlo anche a causa degli incentivi offerti.



Indice delle immagini utilizzate

Molecola di metano e formula tridimensionale*

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Methane-CRC-MW-3D-balls.png>

Molecola di etano e formula di struttura*

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Ethane-3D-balls.png>

Immagine e formula di struttura della molecola di etene*

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Ethylene-CRC-MW-3D-balls.png>

Formula di struttura e immagine e della molecola di etino*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Etino_struttura_modello.PNG

Modelli molecolari di due enantiomeri di un generico aminoacido*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Chirality_with_hands.svg

Molecola di alcol terziario*

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Alcohol.png>

Il fenolo*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Phenol_chemical_structure.png

Formula di struttura generale di un etere*

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Ether-\(general\).png](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Ether-(general).png)

Il metantiolo è il più semplice dei mercaptani*

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Methanethiol-2D.png>

Tautomeria cheto-enolica*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Tautomeria_chetoenolica.svg

Modello molecolare di un acido carbossilico*

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Carboxylic-acid-group-3D.png>

Diagramma di un foglietto β *

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:BetaPleatedSheetProtein.png>

Saccarosio*

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Saccharose2.svg>

Amido*

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Amylose2.svg>

Cellulosa*

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Cellulosa1.jpg>

Struttura schematica del glicogeno*

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Glykogen.svg>

Proiezione di Fischer come proiezione della molecola su un piano*

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

Addizione elettrofila*

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

Regola di Markovnikov nella reazione del propene*

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:MarkovnikovRulePropeneHBr.svg>

Struttura del colesterolo*

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Cholesterol.svg>

Struttura generica di un amminoacido*

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:AminoAcidball.svg>

Legame peptidico*

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Nuovo-33.png>

Meccanismo di reazione della sostituzione elettrofila aromatica*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Electrophilic_Substitution_V.1.svg

Rappresentazione di legami fosfodiesterici tra nucleotidi in un filamento di DNA*

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:PhosphodiesterBondDiagram.png>

Membrana plasmatica*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Cell_membrane_detailed_diagram_4_it.svg

Fosforilazione ossidativa*

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Mitochondrial_electron_transport_chain%20E2%80%944Etc4.svg

Glicolisi nel citoplasma*

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:CellRespiration.svg>

Struttura della Terra: la litosfera*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Earth_cross_section-i18.png

Mappa delle placche tettoniche della Terra*

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Plates_tect2_en.svg

Il supercontinente denominato Pangea*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Pangaea_italiano.png

Il ciclo dell'acqua*

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Waterdiagram.jpg>

Ciclo dell'ossigeno*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Oxygen_Cycle.jpg

Ciclo del carbonio*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Carbon_cycle-cute_diagram_it.svg

Ciclo dell'azoto*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Ciclo_dellAzoto.jpg

Veduta schematica dell'interno della Terra*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Slice_earth.svg

Composizione dell'atmosfera terrestre*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Composition_of_Earth%27s_atmosphere_en.svg

Circolazione globale dell'atmosfera*

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Earth_Global_Circulation.jpg

Formazione di un ciclone nell'emisfero boreale*

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

Interno di una capannina meteorologica*

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

Diagramma psicrometrico*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Diagramma_psicrometrico.svg

Classificazione delle nubi per altitudine tipica*

<http://it.wikipedia.org/wiki/Nubi>

Effetto serra*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Sun_climate_system_it.svg

Classificazione climatica mondiale secondo il sistema Köppen–Geiger*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Classificazione_climatica_mondiale_secondo_il_sistema_K%C3%B6ppen%E2%80%93Geiger.png

Carta dei climi d'Italia secondo Mario Pinna.*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Italia_Clima_Pinna.png

Schema di formazione delle dorsali oceaniche*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Ridge_render.jpg

La distribuzione delle dorsali oceaniche*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:World_Distribution_of_Mid-Oceanic_Ridges.gif

I confini delle placche*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Tectonic_plate_boundaries2.png

Pannello solare termico*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Solar_heater_dsc00632.jpg

Scontro placca oceanica / continentale

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Oceanic-continental_convergence_Fig21oceancont.gif

Scontro tra due placche continentali

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Continental-continental_convergence_Fig21contcont.gif

Scontro tra due placche oceaniche

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Oceanic-oceanic_convergence_Fig21oceanoocean.gif

Impianto fotovoltaico*

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Photovoltaikanlage.jpg>

Impianto eolico a Frigento*

http://it.wikipedia.org/wiki/File:Centrale_Eolica_Frigento.jpg

Schema di impianto idroelettrico*

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Hydroelectric_dam.svg

Microbial electrolysis cell*

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Microbial_electrolysis_cell.png