

# Matematicamente.it

## Biologia C3



Creative Commons BY

ISBN 9788896354599

## **Biologia C3**

Manuale di Biologia per la secondaria di secondo grado

Autori

prima stesura: Loredana Palumbo

revisione dei contenuti: Anna Rainone

revisione del testo: Elisabetta Leonetti

coordinatore editoriale: Antonio Bernardo

immagini realizzate da Ginger Lab - [www.gingerlab.it](http://www.gingerlab.it)

© Matematicamente.it

[www.matematicamente.it](http://www.matematicamente.it) - [info@matematicamente.it](mailto:info@matematicamente.it)

Febbraio 2014

ISBN 9788896354599

Progetto Educationalab

Mobility IT srl

Questo libro è rilasciato con licenza

Creative Commons BY

Ultima revisione 28.02.2014

## **Presentazione**

Questo ebook fa parte di una collana di ebook con licenza Creative Commons per la scuola. Il titolo Biologia 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.

# Indice

Presentazione .....	3
1. Il trasporto attraverso la membrana plasmatica .....	8
1.1 La membrana plasmatica .....	8
1.2 Il trasporto passivo .....	10
1.3 Il trasporto attivo.....	18
Approfondimenti.....	22
2. Il metabolismo cellulare.....	23
2.1 Catabolismo e anabolismo .....	23
2.2 L'energia .....	25
2.3 ATP: il trasportatore dell'energia .....	26
2.4 Gli enzimi: catalizzatori biologici.....	27
2.5 La respirazione cellulare .....	31
2.6 La cattura dell'energia attraverso la fotosintesi .....	44
Approfondimenti.....	47
3. La divisione cellulare .....	48
3.1 Finalità della divisione cellulare .....	48
3.2 I cromosomi .....	50
3.3 Il ciclo cellulare.....	53
3.4 Mitosi .....	56
3.5 Citodieresi .....	60
3.6 Divisione cellulare nelle cellule procariote.....	60
3.7 Regolazione del meccanismo di divisione cellulare .....	61
3.8 Riproduzione agamica e gamica .....	63
3.9 Meiosi .....	65
3.10 Un errore durante la meiosi.....	69
3.11 Mitosi e meiosi a confronto .....	70
Approfondimenti.....	72
4. L'ereditarietà.....	73
4.1 Eredità per mescolanza ed eredità particolata.....	73
4.2 Gli esperimenti di Mendel .....	73
4.3 Le leggi di Mendel .....	77
4.4 Fenomeni ereditari complessi .....	86
4.5 La teoria cromosomica dell'ereditarietà .....	88
Approfondimenti.....	90
5. Struttura e duplicazione del DNA.....	91

5.1 Il DNA e il materiale genetico .....	91
5.2 La struttura della molecola del DNA .....	94
5.3 Duplicazione del DNA.....	98
5.4 La funzione dei geni.....	102
5.5 Il codice genetico .....	104
5.6 RNA messaggero .....	107
Approfondimenti.....	108
6. La sintesi proteica .....	110
6.1 Trascrizione.....	110
6.2 Traduzione .....	115
6.3 Mutazioni geniche.....	117
Approfondimenti.....	120
7. I tessuti cellulari.....	121
7.1 Dalla cellula all'organismo .....	121
7.2 Tessuti epiteliali .....	121
7.3 Tessuti connettivi .....	122
7.4 Tessuti muscolari .....	123
7.5 Tessuto nervoso .....	124
8. Sistemi e apparati.....	125
8.1 Il sistema tegumentario .....	126
8.2 L'apparato scheletrico.....	128
8.3 L'Apparato muscolare .....	131
9. Nutrizione e apparato digerente .....	137
9.1 Il cibo come fonte di energia .....	137
I carboidrati.....	139
I lipidi.....	140
Le proteine .....	141
Le Vitamine .....	143
I Minerali .....	145
9.2 Rischi legati all'alimentazione sbagliata .....	146
9.3 Apparato digerente.....	148
Approfondimenti.....	156
10. La circolazione e la respirazione.....	157
10.1 Le componenti del sangue .....	157
10.2 La circolazione in sistemi aperti o chiusi.....	163
10.3 Sistema circolatorio .....	166

10.4 Malattie cardiache .....	168
10.5 Circolazione linfatica .....	169
10.6 Apparato respiratorio .....	170
Approfondimenti .....	176
11. Il Sistema immunitario.....	177
11.1 La difesa contro i microrganismi patogeni .....	177
11.2 Risposta immunitaria mediata da anticorpi.....	181
11.3 Risposta immunitaria mediata da cellule .....	184
11.4 Malattie legate al mal funzionamento del sistema immunitario .....	185
11.5 I Gruppi sanguigni .....	187
11.6 Vaccinazione e sieroterapia .....	190
Approfondimenti.....	192
12. Il sistema endocrino .....	193
12.1 I messaggeri chimici .....	193
12.2 Il sistema endocrino .....	196
Approfondimenti.....	206
13. Il sistema escretore.....	207
13.1 Il sistema escretore.....	207
13.2 Reni .....	210
13.3 Ureteri, vescica urinaria e uretra.....	214
13.4 Insufficienza renale.....	214
14. Il sistema nervoso .....	217
14.1 Il sistema nervoso .....	217
14.2 Propagazione dell'impulso nervoso.....	220
14.3 Sinapsi.....	224
14.4 Il sistema nervoso centrale.....	226
14.5 Il sistema nervoso periferico.....	232
14.6 I recettori.....	236
Approfondimenti.....	243
15. Riproduzione e sviluppo .....	244
15.1 Riproduzione e sviluppo .....	244
15.2 Apparato riproduttore maschile .....	245
15.3 Apparato riproduttore femminile .....	248
15.4 Ciclo mestruale .....	251
15.5 Fecondazione .....	254

15.6 Sviluppo embrionale .....	255
15.7 Metodi contraccettivi .....	259
15.8 Tecniche per aumentare la fertilità .....	262
Approfondimenti.....	264
Indice delle figure e fonti.....	265

# 1. Il trasporto attraverso la membrana plasmatica

## 1.1 La membrana plasmatica

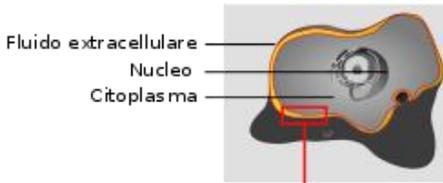
Tutte le cellule sono rivestite da membrane plasmatiche che svolgono diverse funzioni:

- separare l'interno della cellula, ambiente intracellulare o **citoflasma**, dall'esterno, ambiente extracellulare;
- regolare gli scambi tra l'esterno e l'interno della cellula consentendo l'entrata dei materiali utili alla cellula, come ad esempio le sostanze nutritive e la fuoriuscita di sostanze di rifiuto prodotte dal metabolismo cellulare;
- riconoscere le altre cellule, ad esempio quelle dannose, come i microrganismi patogeni;
- assicurare sostegno alla cellula;
- ricevere i segnali prodotti da ormoni e neurotrasmettitori che inducono nella cellula una risposta metabolica.

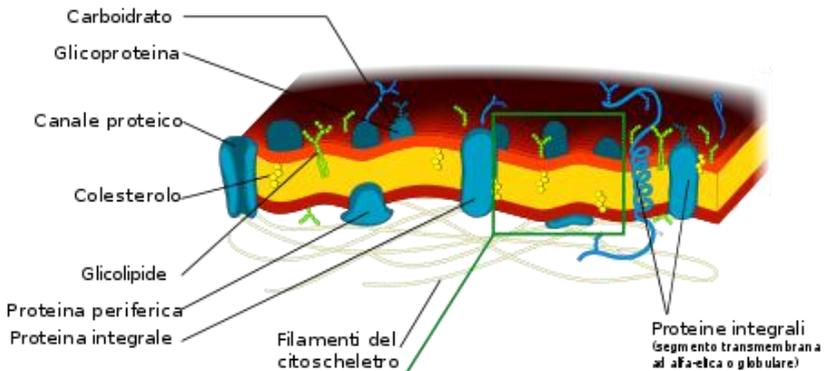
All'interno della cellula vi sono anche altre membrane che circondano gli organuli cellulari (nucleo, mitocondri, reticolo endoplasmatico, apparato di Golgi ecc.), che svolgono le stesse funzioni della membrana plasmatica e hanno composizione simile.

Osservando una cellula al microscopio elettronico è possibile analizzare la struttura della membrana plasmatica, costituita da un **doppio strato fosfolipidico** dove ogni molecola di fosfolipide è formata da una testa idrofila polare (solubile nei composti polari come ad esempio l'acqua) ed è composta anche da un gruppo fosfato e da due code idrofobe apolari (non solubili in acqua ma solubile nei composti apolari) costituite da due acidi grassi. I fosfolipidi, in presenza di acqua si organizzano spontaneamente e formano un doppio strato, dove uno aderisce all'altro tramite le code idrofobe mentre le teste idrofile sono disposte all'esterno e rivolte verso gli ambienti acquosi, ovvero l'ambiente extracellulare e quello endocellulare.

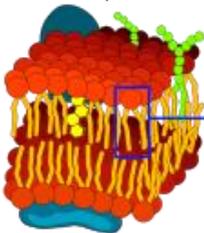
Cellula



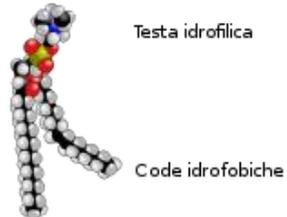
Membrana cellulare



Doppio foglietto fosfolipidico



Fosfolipide (fosfatidilcolina)



*Membrana plasmatica*

All'interno del doppio strato fosfolipidico si inseriscono delle proteine che possono essere estrinseche o periferiche ed intrinseche o integrali. Le **proteine estrinseche** si trovano sulla superficie esterna o interna della membrana, alcune di esse si legano con molecole di carboidrati formando le **glicoproteine** che sporgono dalla superficie della

membrana e fungono da recettori per ormoni. Grazie ad esse è inoltre possibile riconoscere cellule estranee come microrganismi patogeni che devono necessariamente restare fuori dalla cellula.

Le **proteine intrinseche**, sono completamente immerse nel doppio strato fosfolipidico e alcune di esse fungono da canali per il passaggio di sostanze all'interno o all'esterno della cellula.

Un altro componente presente solo nella membrana plasmatica delle cellule animali è il **colesterolo**, che serve a dare sostegno e flessibilità alla cellula, infatti a basse temperature il colesterolo impedisce l'irrigidimento della membrana mentre ad elevate temperature impedisce che diventi troppo fluida. Il sostegno viene assicurato, oltre che dal colesterolo, da proteine presenti sulla superficie interna della membrana cellulare che si uniscono al citoscheletro conferendo stabilità alla cellula mentre nelle cellule vegetali il sostegno viene assicurato dalla parete cellulare.

La membrana plasmatica è quindi una struttura resistente ma nello stesso tempo flessibile, ha una consistenza oleosa ed è definita dai biologi una struttura a mosaico fluido. Infatti è costituita da proteine distribuite come pezzi di un mosaico nel doppio strato fosfolipidico e fluida perché le proteine possono muoversi al suo interno.

La membrana plasmatica, come abbiamo visto precedentemente, regola il passaggio delle sostanze che entrano e che escono dalla cellula, essa è selettivamente permeabile nel senso che non lascia entrare facilmente tutte le sostanze. Alcune, soprattutto quelle di dimensioni maggiori e non solubili ai lipidi, devono entrare con meccanismi che richiedono un consumo di energia come il trasporto attivo, mentre le sostanze di dimensioni più piccole possono essere trasportate fuori e dentro la cellula tramite meccanismi che non richiedono consumo di energia come la diffusione e l'osmosi.

## 1.2 Il trasporto passivo

All'interno della cellula devono poter entrare sostanze (ossigeno, acqua, amminoacidi, zuccheri, grassi) necessarie a ricevere energia e svolgere tutte le funzioni vitali e devono fuoriuscire le proteine prodotte all'interno della cellula e le sostanze di rifiuto, come anidride carbonica e urea.

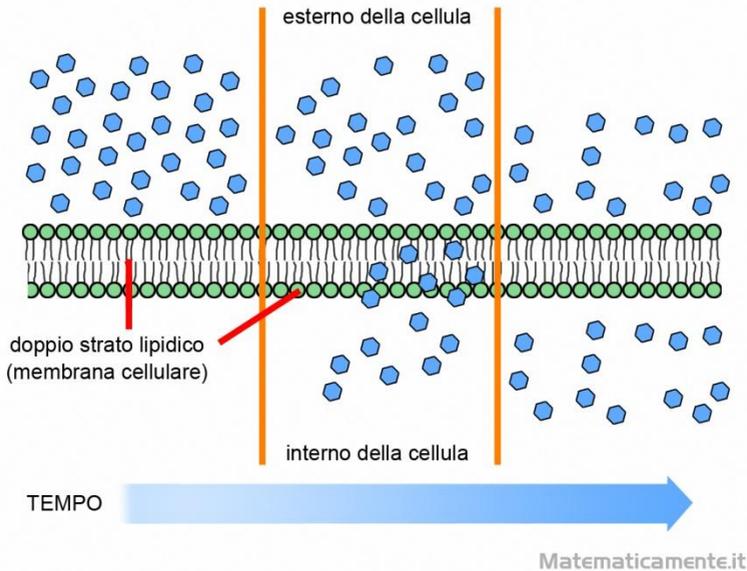
Le molecole inorganiche di piccole dimensioni come l'ossigeno, l'anidride carbonica e l'acqua attraversano la membrana plasmatica tramite meccanismi che non richiedono il consumo di energia ovvero la diffusione semplice e l'osmosi.

### **Diffusione semplice**

La membrana plasmatica è permeabile all'acqua e all'anidride carbonica pertanto si lascia facilmente attraversare da queste molecole inorganiche. L'ossigeno entra all'interno della cellula attraversando delle piccole aperture temporanee, generate dalla fluidità dei fosfolipidi e delle proteine, in maniera spontanea e secondo il gradiente di concentrazione, cioè passando da una regione in cui è maggiormente concentrato (ambiente esterno) verso una regione in cui è presente in concentrazione minore (ambiente endocellulare). Questo passaggio va avanti fino al raggiungimento dell'equilibrio, cioè fino a quando la sua concentrazione all'esterno è uguale alla concentrazione all'interno della cellula. Si tratta però di un equilibrio dinamico ovvero le molecole di ossigeno continuano a muoversi ma la quantità di quelle che entrano è uguale alla quantità di quelle che escono.

Anche l'anidride carbonica, prodotta dalle reazioni cellulari, segue il meccanismo di diffusione semplice ma fuoriesce dalla cellula, in quanto la sua concentrazione è più elevata all'interno rispetto all'esterno.

Seguendo lo stesso meccanismo entrano nella cellula molecole di dimensioni maggiori rispetto ai gas (ossigeno ed anidride carbonica), queste molecole sono però liposolubili (solubili nei lipidi) come ad esempio gli ormoni steroidei.

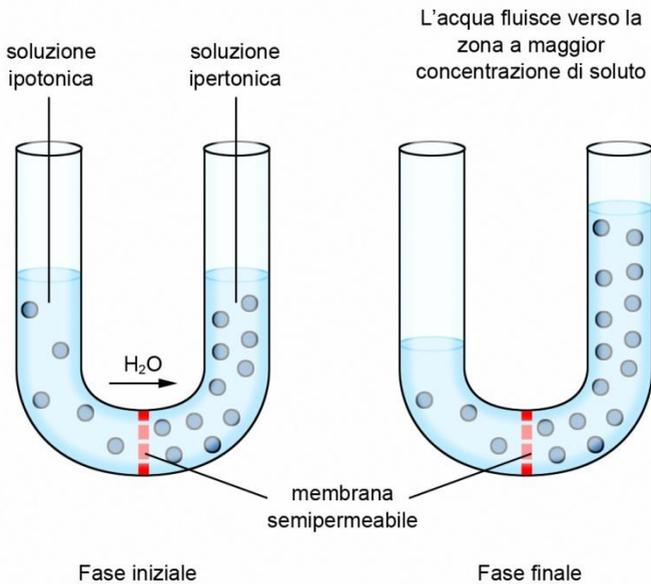


*Trasporto per diffusione semplice di gas o sostanze liposolubili di piccole dimensioni*

Il meccanismo di diffusione semplice può essere accelerato da diversi fattori, come la temperatura (elevate temperature inducono le molecole a diffondersi più velocemente), la dimensione delle particelle (più sono piccole e più velocemente si diffondono), il gradiente di concentrazione (maggiore è la differenza di concentrazione di una sostanza e maggiore sarà la velocità di diffusione).

### **Osmosi**

La membrana plasmatica che è semipermeabile lascia passare l'acqua ma non le sostanze in essa disciolte (soluto). Il meccanismo di passaggio spontaneo dell'acqua da una regione a elevata concentrazione di acqua (cioè una regione dove la concentrazione di soluto è bassa) verso una a bassa concentrazione (cioè una regione a elevata concentrazione di soluto) è definito osmosi. Tale passaggio continua fino al raggiungimento dell'equilibrio dinamico, detto equilibrio osmotico, per il quale la quantità di acqua che entra all'interno della cellula è identica a quella che ne fuoriesce.



Matematicamente.it

### *Osmosi*

Per comprendere meglio il fenomeno dell'osmosi supponiamo di avere in un recipiente due soluzioni, la prima con elevata quantità di soluto (ipertonica), quindi più concentrata, e l'altra con bassa quantità di soluto (ipotonica), quindi meno concentrata, separate da una membrana semipermeabile. Supponiamo che la soluzione ipertonica sia una soluzione zuccherina molto concentrata mentre quella ipotonica sia una soluzione zuccherina molto diluita; se la membrana è semipermeabile lascerà passare facilmente le molecole d'acqua ma non le molecole di zucchero che presentano dimensioni maggiori. L'equilibrio verrà raggiunto attraverso un particolare tipo di diffusione ovvero facendo passare le molecole d'acqua dalla soluzione ipotonica verso quella ipertonica in modo da diluire la concentrazione di zucchero. Le due soluzioni avranno la stessa concentrazione di molecole di zucchero e saranno isotoniche; la soluzione ipertonica come conseguenza aumenterà di volume.

È possibile impedire il passaggio d'acqua da una soluzione ipotonica a una ipertonica esercitando una pressione sulla soluzione ipertonica che è detta pressione osmotica.

L'osmosi è un fenomeno estremamente importante per la vita di tutti gli organismi viventi unicellulari e pluricellulari, vegetali e animali. Una cellula per vivere e per svolgere tutte le funzioni vitali ha necessariamente bisogno di regolare, al suo interno, la quantità d'acqua. Infatti una elevata quantità d'acqua potrebbe diluire troppo i contenuti cellulari causando danni alle reazioni cellulari mentre una bassa quantità d'acqua potrebbe non diluire la quantità di sostanze di scarto prodotte dalle reazioni cellulari.

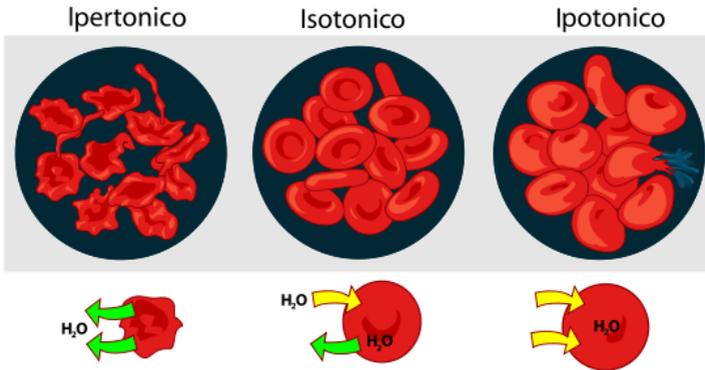
In base all'ambiente in cui una cellula vive, può assumere oppure eliminare acqua attraverso il meccanismo dell'osmosi.

Una cellula animale può vivere in un ambiente ipertonico, è il caso delle cellule degli organismi marini che vivono in un ambiente ad elevata concentrazione di sali, oppure in un ambiente ipotonico come ad esempio le cellule di un organismo che vive in acqua dolce.

Una cellula animale immersa in un ambiente ipertonico rispetto al citoplasma cellulare perderà acqua e tenderà a raggrinzirsi ma le cellule degli organismi che vivono naturalmente in acque ipertoniche avranno degli adattamenti fisiologici per evitare questa condizione. Una cellula animale immersa in un ambiente ipotonico rispetto al suo citoplasma, tenderà a far entrare acqua al suo interno e ciò provocherà un aumento del suo volume e se non riuscirà ad eliminare l'eccesso d'acqua scoppierà. Tale fenomeno è detto lisi cellulare.

Le cellule degli organismi che vivono in acque ipotoniche metteranno in atto degli adattamenti fisiologici per evitare questa condizione.

Infine una cellula animale immersa in una soluzione isotonica rispetto al suo citoplasma rimarrà intatta, non subirà cioè nessun cambiamento del suo volume in quanto la quantità di acqua che entra per osmosi sarà uguale alla quantità che esce.

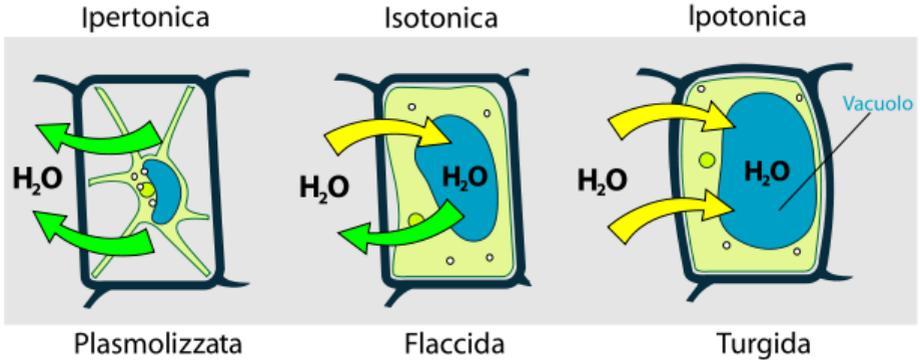


*Effetto della pressione osmotica sulle cellule del sangue in funzione della tonicità della soluzione*

L'osmosi nelle cellule vegetali presenta una diversa reazione della cellula dovuta alla presenza della parete cellulare, assente invece nelle cellule animali, quando viene immersa in una soluzione ipertonica o ipotonica.

Quando una cellula vegetale viene immersa in una soluzione ipertonica essa per osmosi tenderà a perdere acqua dal vacuolo quindi raggrinzisce, il citoplasma si stacca dalla parete cellulare e la cellula va incontro a plasmolisi, quindi si avrà l'appassimento della pianta.

Se una cellula vegetale viene immersa in una soluzione ipotonica allora l'acqua tenderà ad entrare all'interno del vacuolo della cellula provocandone un aumento del volume che eserciterà una pressione sulla membrana plasmatica questa verrà trasmessa alla parete cellulare (pressione di turgore) rendendo la cellula turgida. La cellula vegetale a differenza di quella animale non scoppia in quanto la parete cellulare esercita una pressione opposta alla pressione di turgore impedendo un ulteriore aumento di volume del vacuolo e quindi impedendo l'ulteriore entrata di acqua. Infine se la cellula vegetale viene immersa in una soluzione isotonica si comporta esattamente come la cellula animale.



*Effetto dell'osmosi nelle cellule vegetali*

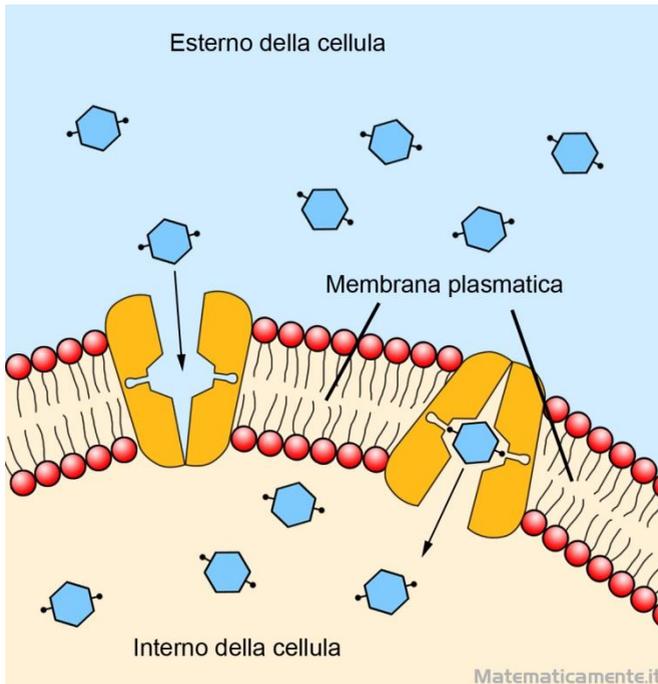
### Diffusione facilitata

Le cellule hanno bisogno di scambiare con l'ambiente esterno molecole inorganiche (ossigeno, anidride carbonica, acqua ...) e molecole organiche (amminoacidi, glucosio ...), sostanze di rifiuto (urea ...). Tutte queste sostanze sono idrosolubili, cioè solubili in acqua, non riescono ad attraversare la membrana plasmatica in quanto costituita da fosfolipidi, pertanto hanno bisogno di un aiuto che viene loro fornito da proteine trasportatrici di membrana, dette **carrier**.

Il meccanismo di trasporto di queste sostanze è detto **diffusione facilitata**. Un esempio è l'ingresso della molecola di glucosio all'interno della cellula, che tende ad entrare in quanto generalmente la sua concentrazione è maggiore all'esterno rispetto all'interno della cellula, per entrare si lega a specifiche proteine di membrana provocando un cambiamento di forma della proteina che ne consente l'ingresso. Successivamente le proteine ritornano alla forma originaria. Il passaggio avviene comunque secondo gradiente, ovvero da un ambiente in cui è maggiormente concentrato verso uno in cui è meno concentrato, pertanto non vi è consumo di energia.

Non tutte le proteine di membrana cambiano forma per consentire l'attraversamento della membrana, alcune infatti presentano dei canali idrofili che consentono il passaggio del soluto secondo gradiente di concentrazione. Altre invece non cambiano forma ma restano aperte in modo da consentire il passaggio.

Riassumendo tutte le sostanze idrosolubili possono attraversare la membrana plasmatica grazie alla presenza di proteine trasportatrici che ne consentono il passaggio secondo gradiente, fino al raggiungimento dell'equilibrio. Questo passaggio prende il nome di **diffusione facilitata**.



*Modello della diffusione facilitata. La proteina di membrana con funzione di carrier può cambiare conformazione in seguito al legame con una molecola di soluto esterna, che poi viene rilasciata all'interno della cellula. Successivamente la proteina riacquista la forma originale, orientata verso l'esterno, ed è pronta a legare un'altra molecola di soluto. Poiché il tutto avviene senza apporti di energia, il soluto continuerà a penetrare soltanto finché la concentrazione esterna resterà superiore a quella interna.*

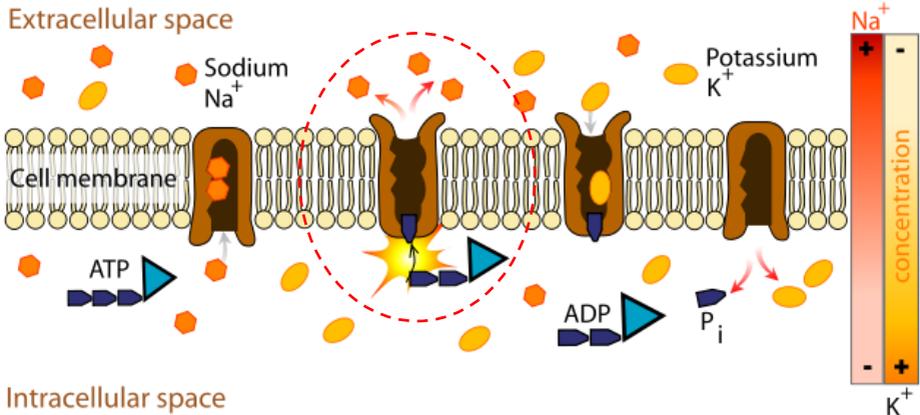
### 1.3 Il trasporto attivo

Una cellula ha bisogno di far passare al suo interno ioni o altre sostanze che si trovano in concentrazione minore rispetto all'ambiente esterno oppure di trasportare all'esterno sostanze di rifiuto che presentano una concentrazione maggiore all'interno della cellula. Le cellule devono pertanto mantenere per alcuni soluti concentrazioni elevate al loro interno, per altri soluti concentrazioni elevate al loro esterno.

Ad esempio le cellule del fegato devono mantenere elevata la concentrazione di glucosio al loro interno perché dopo averlo condensato in glicogeno, lo trattengono fino a che l'organismo non ne avrà bisogno. Siccome il glucosio in questa situazione è maggiormente presente all'interno della cellula, esso tenderebbe, secondo gradiente, a fuoriuscire. Esistono invece dei meccanismi, come le **pompe chimiche**, che consentono alle cellule di mantenere la differenza di concentrazione tra l'ambiente interno ed esterno.

Tutte le sostanze che entrano o escono dalla cellula contro gradiente, cioè passando da una regione a bassa concentrazione verso una ad alta concentrazione, consumano energia. Tale energia viene fornita dall'ATP (adenosintrifosfato), una molecola che si forma durante la respirazione mitocondriale. Il passaggio delle sostanze, attraverso la membrana plasmatica, contro gradiente, prende il nome di **trasporto attivo**.

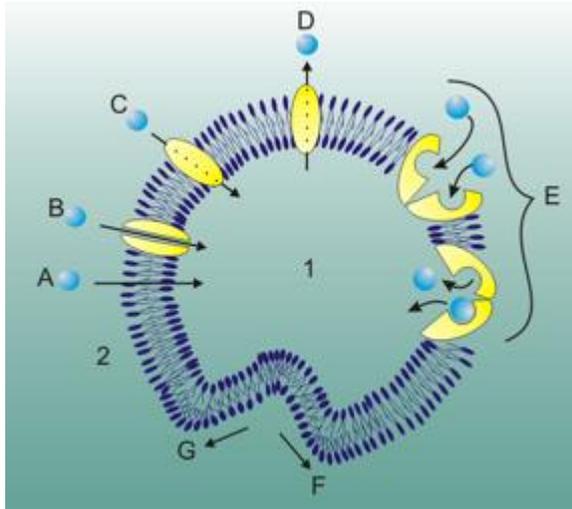
Il trasporto attivo consente quindi alle cellule di mantenere una differenza di concentrazione per alcuni soluti, tra l'ambiente interno ed esterno, senza la quale la cellula non potrebbe restare in vita. Uno dei meccanismi di trasporto attivo è la **pompa sodio-potassio**, attraverso la quale la cellula riesce a mantenere elevata la concentrazione di ioni potassio ( $K^+$ ) al suo interno ed elevata la concentrazione di ioni sodio ( $Na^+$ ) nell'ambiente esterno.



### *Pompa sodio-potassio*

In queste condizioni gli ioni dovrebbero seguire il loro gradiente di concentrazione, in particolare gli ioni potassio dovrebbero dirigersi verso l'esterno della cellula mentre gli ioni sodio verso l'interno, a regolare il passaggio secondo gradiente intervengono delle proteine di membrana e la pompa sodio-potassio, che consente il passaggio degli ioni contro gradiente.

Gli ioni sodio presenti nel citoplasma della cellula si legano ad una proteina di trasporto, l'ATP fornisce energia alla proteina e le cede un gruppo fosfato, in questo modo la proteina cambia la propria forma e si apre verso l'ambiente esterno lasciando fuoriuscire gli ioni. Gli ioni potassio all'esterno della cellula si legano alla proteina, il gruppo fosfato si stacca dalla proteina inducendo un cambiamento di forma che consente l'ingresso di tali ioni e il rilascio verso l'interno della cellula. Nel caso precedentemente descritto la pompa sodio - potassio trasporta due tipi di ioni in direzioni opposte, uno verso l'esterno e uno verso l'interno, esistono però meccanismi di trasporto attivo in cui le proteine consentono il passaggio di una sola sostanza attraverso la membrana plasmatica e in un'unica direzione (**uniporto**) oppure proteine che consentono il passaggio di due sostanze ma nella stessa direzione (**simporto**). Se invece due soluti sono portati contemporaneamente o in successione, ma in direzioni opposte si dice **antiporto**, proprio come la pompa sodio-potassio.



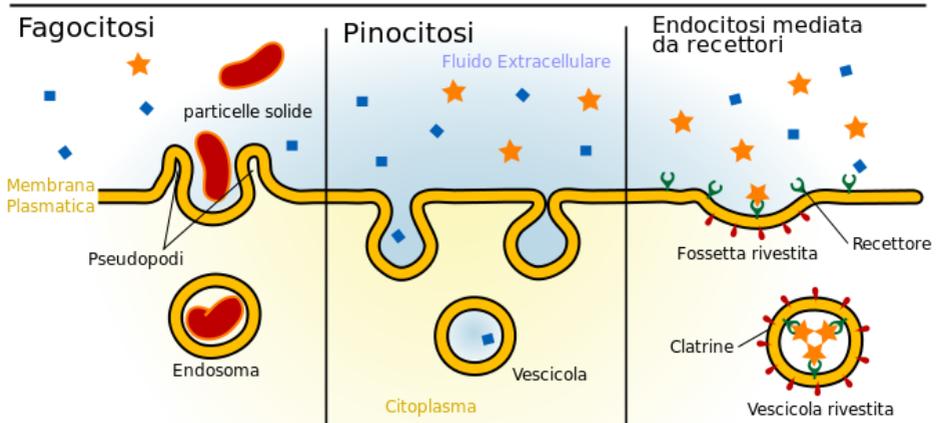
*Alcune delle possibilità di movimento di molecole tra citoplasma (1) e spazio extracellulare (2). Trasporto passivo: A. Diffusione, B. Diffusione facilitata. Trasporto attivo: D. Trasporto primario (contro gradiente), C.-E. Trasporto secondario: C. Uniporto, E. Simporto, Esocitosi/Endocitosi: F., G. Esocitosi*

### **Trasporto mediante vescicole**

Un'altra forma di trasporto attivo è rappresentata dal trasporto per mezzo di vescicole, utilizzato quando le sostanze che devono attraversare la membrana cellulare sono di dimensioni maggiori. Esse verranno introdotte all'interno della cellula mediante il meccanismo di endocitosi mentre usciranno attraverso il meccanismo di esocitosi.

L'**endocitosi** consiste nell'invaginazione della membrana plasmatica, consentita dalla fluidità da cui è caratterizzata la membrana (struttura a mosaico fluido), grazie a questa si vengono a formare delle vescicole nelle quali verranno inserite le sostanze da introdurre all'interno della cellula. Esistono tre tipi di endocitosi: la fagocitosi, la pinocitosi e l'endocitosi mediata da recettori.

## Endocitosi



### *Trasporto mediante vescicole*

La **fagocitosi** inizia con l'invaginazione della membrana plasmatica che provoca la formazione di una vescicola all'interno della quale verranno inserite sostanze solide di grandi dimensioni. In seguito la vescicola si stacca e migra verso l'interno della cellula mentre la membrana plasmatica si richiude; la vescicola verrà aggredita dai lisosomi che contengono degli enzimi, i quali digeriscono il materiale presente all'interno della vescicola stessa.

I globuli bianchi del sangue utilizzano la fagocitosi per inglobare al loro interno e quindi distruggere i microrganismi patogeni potenzialmente pericolosi per la salute. Questo meccanismo viene utilizzato anche dagli organismi unicellulari come le ameba per inglobare al loro interno il materiale di cui si nutrono.

La **pinocitosi** è un meccanismo simile all'endocitosi solo che all'interno delle vescicole viene inserito liquido extracellulare costituito da acqua e alcune sostanze in essa disciolte.

Infine abbiamo l'**endocitosi mediata da recettori**, in cui le molecole presenti all'esterno della cellula si legano a specifici recettori (proteine) presenti sulla membrana plasmatica.

Questa si invagina formando la vescicola che si distacca e migra nel citoplasma. In questo caso particolare di endocitosi, all'interno della cellula entrano sostanze specifiche utili alla cellula, come nutrienti.

Attraverso questo meccanismo è possibile regolare la quantità di colesterolo presente nel sangue infatti le cellule presentano recettori per il colesterolo, che si lega ai recettori, viene inglobato e poi digerito.

Il meccanismo di **esocitosi** invece consiste nel liberare verso l'esterno le particelle di grosse dimensioni. Il trasporto avviene in maniera inversa all'endocitosi ovvero i materiali da liberare che possono essere proteine, ormoni o sostanze di rifiuto prodotti all'interno della cellula, sono presenti all'interno di vescicole che migrano verso la membrana plasmatica e si fondono con essa liberando all'esterno il loro contenuto.

### **Approfondimenti**

Animazione del funzionamento della pompa protonica

<http://www.1lec.com/Biochemistry/Proton%20Pump/index.html>

La pompa sodio potassio, video

<http://www.khanacademy.org/science/biology/human-biology/v/correction-to-sodium-and-potassium-pump-video?playlist=Biology>

## 2. Il metabolismo cellulare

### 2.1 Catabolismo e anabolismo

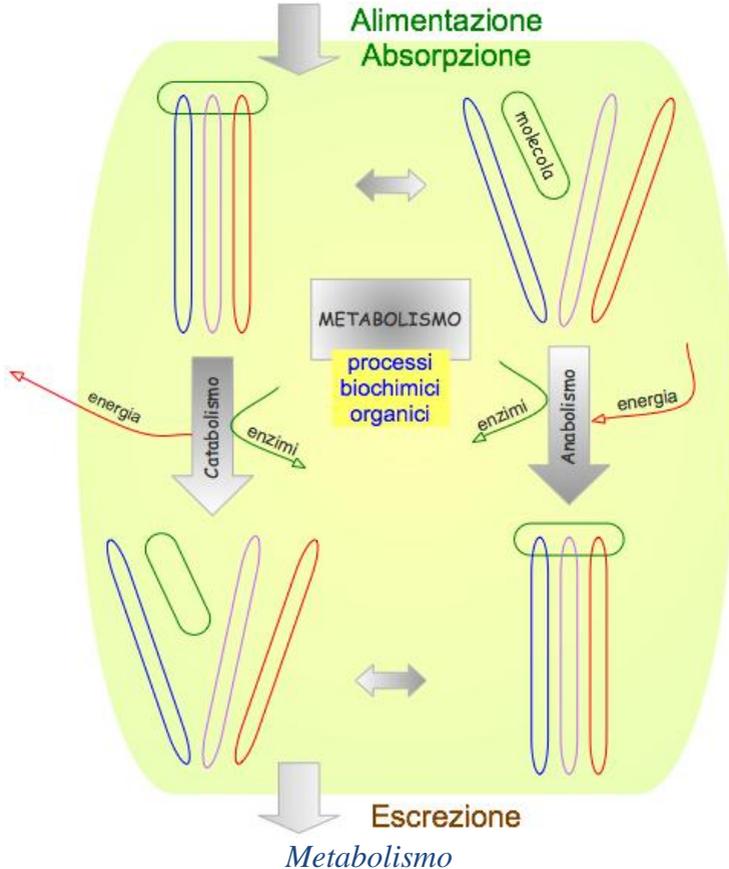
Una cellula svolge molte attività nel corso della sua vita, essa infatti cresce, si riproduce e svolge specifiche funzioni. Tutte le attività che svolge si basano su reazioni chimiche e l'insieme di tali reazioni prende il nome di **metabolismo cellulare**.

Il termine metabolismo significa “trasformazione”, ovvero l'insieme delle trasformazioni alle quali vengono sottoposte le sostanze che entrano nella cellula per essere demolite e dalla cui demolizione la cellula ricava energia oppure sintetizza nuove sostanze.

Le reazioni metaboliche sono quindi di due tipi, reazioni di demolizione (catabolismo) e reazioni di sintesi (anabolismo).

Il **catabolismo** è l'insieme delle reazioni di demolizione delle sostanze organiche complesse che vengono trasformate in sostanze più semplici con liberazione di energia, come ad esempio i carboidrati che vengono demoliti per ricavare energia. L'energia che viene liberata in seguito alla rottura dei legami chimici che tengono uniti gli atomi delle molecole delle sostanze organiche è energia chimica. Questa energia verrà utilizzata per svolgere tutte le attività cellulari.

L'**anabolismo** è l'insieme delle reazioni di sintesi di molecole complesse a partire da molecole semplici che per avvenire richiedono energia, ad esempio la sintesi delle proteine dove i singoli amminoacidi (molecole semplici) vengono uniti per formare le proteine (molecole complesse).



Tutte le reazioni che avvengono con liberazione di energia vengono chiamate **reazioni esoergoniche**, come ad esempio le reazioni cataboliche mentre quelle che avvengono con consumo di energia vengono chiamate **reazioni endoergoniche** come ad esempio le reazioni anaboliche.

Le reazioni esoergoniche avvengono spontaneamente mentre la maggior parte delle reazioni chimiche richiede energia per realizzarsi. Affinché una reazione avvenga, le sostanze di partenza ovvero quelle che devono reagire (reagenti) devono essere instabili, condizione che permette loro di rompere facilmente i propri legami e di trasformarsi in prodotti, i reagenti necessitano pertanto di energia per diventare instabili e tale energia prende il nome di **energia di attivazione**.

Le reazioni metaboliche in molti casi sono **accoppiate** ovvero l'energia liberata da una reazione esoergonica viene utilizzata da una reazione endoergonica e così via lungo una sequenza di reazioni collegate tra loro che prende il nome di **via metabolica**. Queste reazioni molto spesso avvengono in parti diverse della cellula pertanto è necessario trasportare l'energia da una reazione esoergonica a una endoergonica, ciò avviene grazie ad una particolare molecola chiamata **adenosintrifosfato** o **ATP**.

## 2.2 L'energia

Tutte le reazioni chimiche comportano una trasformazione di energia. L'energia è definita come la capacità di compiere un lavoro e può essere potenziale oppure cinetica. L'**energia potenziale** è l'energia posseduta da un corpo che occupa una determinata posizione; può essere trasformata in **energia cinetica** ovvero in energia di movimento.

Un sasso in bilico su un pendio possiede energia potenziale che si trasformerà in energia cinetica quando rotolerà lungo il pendio.

Un altro esempio di trasformazione dell'energia è l'energia chimica presente nei legami chimici (energia potenziale) di una molecola di ATP, energia che può essere liberata rompendo i legami.

L'energia quindi può convertirsi da energia potenziale ad energia cinetica e viceversa, ma durante queste trasformazioni una parte dell'energia viene completamente perduta sotto forma di calore, anch'esso una forma di energia.

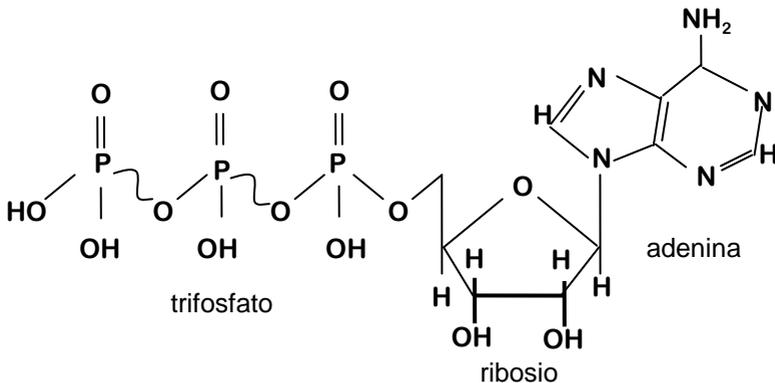
La disciplina fisica che studia le trasformazioni energetiche prende il nome di **termodinamica**.

Il **primo principio della termodinamica** afferma che l'energia non può essere creata né distrutta ma soltanto trasformata da una forma all'altra, quindi la quantità di energia presente nell'Universo resta sempre costante. Ad esempio le piante trasformano l'energia solare in energia chimica attraverso il processo di fotosintesi, la parte di energia che non viene convertita in energia chimica si trasforma in calore. Allo stesso modo durante la respirazione cellulare gli zuccheri vengono bruciati per produrre energia che viene utilizzata per le attività cellulari e in parte dispersa come calore.

Le trasformazioni energetiche avvengono in una direzione precisa, dal **secondo principio della termodinamica** è possibile infatti prevedere la direzione di una reazione. Esso afferma che qualsiasi sistema tende a trasformarsi in un sistema meno ordinato, quindi le trasformazioni energetiche comportano un aumento del disordine (entropia) del sistema. Poiché parte dell'energia viene dispersa sotto forma di calore e una parte di questa non può essere riconvertita in lavoro la trasformazione porta verso una forma più ordinata di energia.

### 2.3 ATP: il trasportatore dell'energia

L'energia che viene liberata nelle reazioni esoergoniche viene immagazzinata all'interno dei legami chimici di una particolare molecola, l'adenosintrifostato (ATP). L'ATP è un nucleotide, una molecola formata da una base azotata (l'adenina), da uno zucchero a 5 atomi di carbonio (il ribosio) e da tre gruppi fosfato. L'energia è immagazzinata all'interno dei legami che tengono uniti i tre gruppi fosfati.



#### *Molecola dell'ATP*

I gruppi fosfato sono tutti carichi negativamente e siccome cariche elettriche dello stesso segno si respingono hanno bisogno di molta energia per restare uniti.

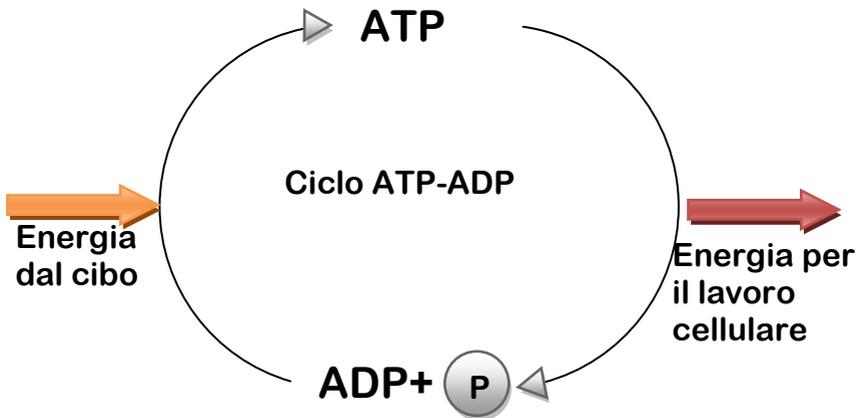
Le cellule sintetizzano ATP a partire da adenosindifosfato (ADP), una molecola simile all'ATP ma con soli due gruppi fosfato. L'energia che viene liberata nelle reazioni esoergoniche in particolare dalla

demolizione delle molecole del glucosio, servirà per legare un gruppo fosfato alla molecola di ADP con formazione di ATP.

In presenza di acqua (idrolisi) si ha la rottura del legame del gruppo fosfato terminale dell'ATP con conseguente liberazione dell'energia che verrà utilizzata dalla cellula per svolgere il lavoro cellulare (trasporto attivo, osmosi, formazione di proteine, contrazione muscolare, conduzione dell'impulso nervoso ecc.).

Dalla scissione del gruppo fosfato terminale si ha la formazione della molecola di ADP, la quale può perdere un altro gruppo fosfato e trasformarsi in adenosinmonofosfato (AMP) liberando altra energia. Tale trasformazione avviene quando la cellula ha bisogno di quantità elevate di energia. L'ADP e l'AMP possono essere ritrasformate in ATP grazie all'energia proveniente dalle reazioni esoergoniche.

La produzione di ATP deve essere continua per poter soddisfare le esigenze energetiche della cellula, infatti vengono prodotte circa 10 milioni di molecole di ATP al secondo che vengono trasformate in ADP e ritrasformate in ATP.



*Ciclo dell'ATP. L'ATP fornisce energia alla cellula scindendosi in ADP e P (fosfato) che possono riformare ATP*

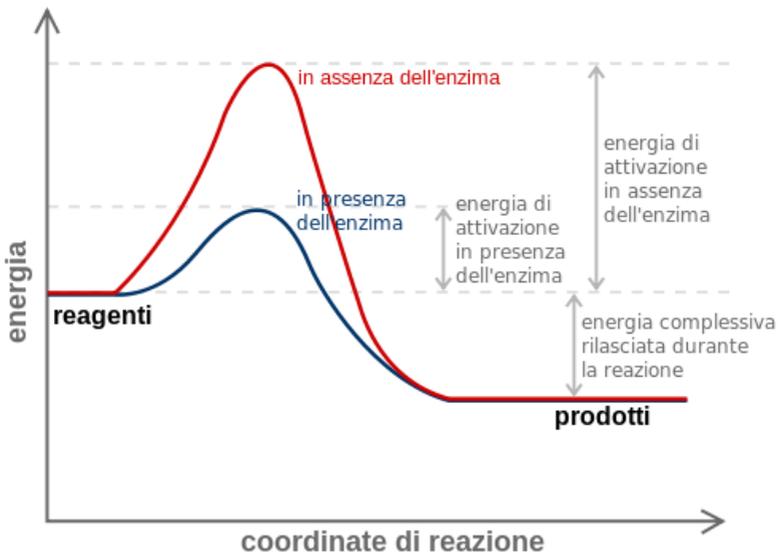
## 2.4 Gli enzimi: catalizzatori biologici

Le reazioni metaboliche (cataboliche e anaboliche) sono controllate da enzimi, delle proteine che hanno il compito di catalizzare o meglio

accelerare le reazioni cellulari, senza essere consumate durante la reazione.

Affinché una reazione avvenga è necessario che le molecole dei reagenti si scontrino in modo da rompere i legami chimici per formare dei nuovi prodotti. Per aumentare la probabilità che le molecole si scontrino c'è bisogno di fornire energia (energia di attivazione) che può essere anche termica.

La somministrazione di calore comporta un aumento di temperatura che provoca un aumento della velocità di tutte le reazioni cellulari portando l'organismo alla morte. Affinché le reazioni avvengano senza provocare un eccessivo aumento di temperatura intervengono gli enzimi che abbassano l'energia di attivazione innescando la reazione.



*Diagramma di una reazione catalitica. Mostra l'energia richiesta a vari stadi lungo l'asse del tempo. I substrati normalmente necessitano di una notevole quantità di energia (picco rosso) per giungere allo stato di transizione, onde reagire per formare il prodotto. L'enzima crea un microambiente nel quale i substrati possono raggiungere lo stato di transizione (picco blu) più facilmente, riducendo così la quantità d'energia richiesta. Essendo più facile arrivare a*

*uno stato energetico minore la reazione può avere luogo più frequentemente e di conseguenza la velocità di reazione sarà maggiore.*

Ad esempio affinché il lattosio, lo zucchero contenuto nel latte, possa essere scisso in glucosio e galattosio c'è bisogno di uno specifico enzima, la lattasi, che abbassa l'energia necessaria a far rompere gli stabili legami esistenti tra le molecole del lattosio consentendo lo svolgimento della reazione.

Senza gli enzimi gli esseri viventi non potrebbero sopravvivere in quanto tutte le reazioni biochimiche richiederebbero tempi lunghissimi per avvenire, infatti si impiegherebbero mesi per digerire il lattosio, per sintetizzare un ormone, per liberare anidride carbonica dai tessuti muscolari ecc.

Gli enzimi vengono prodotti all'interno della cellula che attiva solo quelli di cui ha bisogno, essi possono poi essere rilasciati nell'ambiente extracellulare e quindi ritrovarsi nei liquidi biologici come sangue, saliva, succo gastrico ecc.

Gli enzimi sono delle proteine globulari che agiscono in maniera specifica. Un enzima interviene in poche o una sola reazione metabolica per accelerarla, per questo esistono migliaia di enzimi per catalizzare le numerose reazioni metaboliche. L'elevata specificità degli enzimi deriva dalla presenza di una determinata regione, chiamata **sito attivo**, alla quale si lega un substrato ad esso complementare, secondo un meccanismo chiamato **chiave-serratura**, in cui il substrato rappresenta la chiave e l'enzima la serratura. Il substrato in pratica deve possedere la conformazione giusta per legarsi all'enzima, avvenuto il legame si forma il **complesso substrato-enzima**, l'enzima inizia a trasformare chimicamente il substrato rendendolo instabile e portando alla formazione dei prodotti, i quali verranno rilasciati.

Alla fine della reazione l'enzima non viene consumato ma avrà la stessa struttura e composizione precedente alla reazione e quindi sarà di nuovo disponibile per un nuovo substrato.

Il substrato deve quindi possedere la conformazione giusta per legarsi all'enzima ma tale conformazione può anche essere acquisita nel momento in cui il substrato si lega al sito attivo dell'enzima. In questo

modo l'enzima può modificare lievemente la forma del substrato rendendolo instabile per accelerare la reazione. I prodotti si staccheranno dall'enzima il quale ritornerà alla forma iniziale, tale fenomeno è detto **adattamento indotto**.

Gli enzimi per poter funzionare bene richiedono condizioni ambientali favorevoli, come ad esempio una temperatura ed un pH ottimale, la temperatura non deve essere troppo elevata altrimenti potrebbe modificare la conformazione dell'enzima non consentendo al substrato di legarsi. Quando l'enzima altera la propria forma si dice che si è **denaturato**, negli esseri umani la temperatura ottimale per gli enzimi è di circa 37°C.

Il pH dipende invece dall'ambiente in cui si trova l'enzima, ad esempio gli enzimi digestivi presenti nello stomaco lavorano meglio a pH acido mentre quelli presenti nell'intestino tenue lavorano meglio a pH alcalino, anche in questo caso variazioni del pH ottimale comportano la denaturazione dell'enzima.

Molti enzimi oltre a condizioni ambientali favorevoli richiedono, per lavorare meglio, l'aiuto di **cofattori**, composti inorganici (ioni metallici ad esempio ferro, zinco e rame) oppure organici

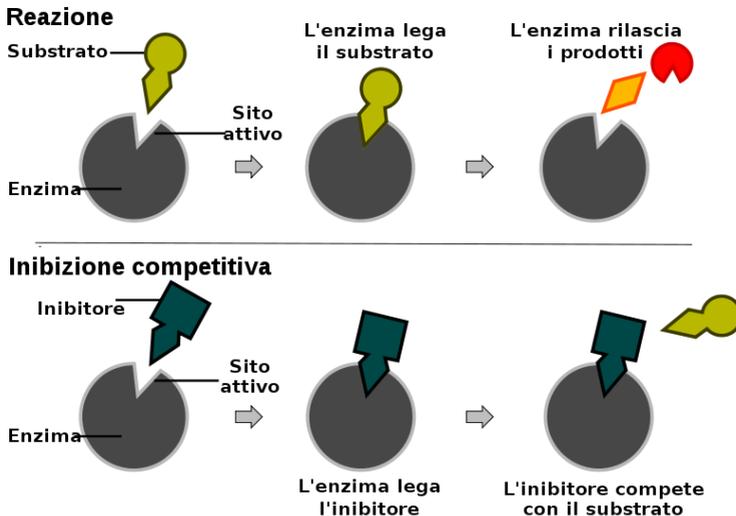
Quelli organici, come le vitamine, vengono chiamati **coenzimi**, essi si legano al sito attivo dell'enzima rendendolo più efficiente. Al contrario esistono delle sostanze che invece rallentano o impediscono il funzionamento degli enzimi, esse sono chiamate **inibitori**.

Gli inibitori possono essere molecole simili per forma al substrato e quindi si legano al sito attivo dell'enzima impedendo allo specifico substrato di legarsi, questo tipo di inibizione è detta **inibizione sterica**.

Altri inibitori invece sono delle sostanze metalliche che non si legano al sito attivo dell'enzima ma in un'altra regione modificando però la forma del sito attivo ed impedendo il legame con il substrato specifico, questo tipo di inibizione è detta **inibizione allosterica**. Un esempio di inibitore allosterico è la penicillina che inibisce l'enzima che i batteri utilizzano per sintetizzare la parete cellulare provocandone la morte.

Le cellule utilizzano i meccanismi di inibizione per bloccare delle reazioni metaboliche in quanto la sintesi o la demolizione di molecole non necessarie in quel momento provocherebbero uno spreco inutile di energia, pertanto le cellule devono, in base alle proprie esigenze,

regolare l'attività enzimatica attivando gli enzimi di cui necessitano e inibendo altri.



*Inibizione competitiva. In alto l'enzima svolge la sua funzione normale; in basso è illustrata l'inibizione competitiva: substrato ed inibitore competono per il sito attivo.*

## 2.5 La respirazione cellulare

Tutti gli esseri viventi hanno bisogno di energia per sopravvivere. Abbiamo visto come tutte le reazioni endoergoniche, ovvero le reazioni metaboliche che per avviarsi necessitano di energia, ricavano questa energia dalla demolizione delle molecole di ATP. Queste ultime vengono continuamente prodotte dalle cellule, ma l'energia immagazzinata al loro interno deriva dalla demolizione di macromolecole organiche assorbite con l'alimentazione: carboidrati, proteine e grassi. Queste macromolecole vengono demolite durante il processo digestivo in molecole più semplici: le proteine in amminoacidi, i polisaccaridi in monosaccaridi, i grassi in acidi grassi e glicerolo. Le molecole semplici attraversano la membrana plasmatica e vengono utilizzate dalla cellula come fonte di energia.

Per liberare l'energia contenuta in tali molecole le cellule eucariote utilizzano l'ossigeno e attraverso il meccanismo della respirazione

cellulare riescono a produrre le molecole di ATP e quindi a liberare l'energia in esse contenuta.

I procarioti aerobi, avendo una struttura cellulare molto semplice, fanno sì che alcuni passaggi della respirazione aerobica avvengano nel citoplasma e la catena di trasporto degli elettroni è incorporata nella membrana plasmatica.

Il meccanismo della respirazione cellulare è differente da quello della respirazione che avviene negli animali, anche se i due fenomeni sono ovviamente collegati.

Negli animali attraverso l'inspirazione viene immesso nell'apparato respiratorio ossigeno che giunge poi al sangue ossigenandolo, il sangue trasporta poi l'ossigeno alle singole cellule, le quali lo utilizzeranno per ricavare energia dalle molecole organiche (qui interviene la respirazione cellulare). Come prodotto di scarto si avrà anidride carbonica che verrà eliminata con l'espiazione.

Descriviamo ora il meccanismo della respirazione cellulare, e la conseguente estrazione di energia, a partire da una molecola di glucosio, anche se l'energia viene ricavata anche da altre molecole organiche.

Una molecola di glucosio si combina con sei molecole di ossigeno per formare sei molecole di anidride carbonica e sei di acqua con liberazione di energia che viene utilizzata per produrre ATP, secondo la seguente reazione:



La demolizione del glucosio è un processo lungo e complesso che avviene in tre tappe fondamentali: la glicolisi, il ciclo di Krebs e la fosforilazione ossidativa.

### **Glicolisi**

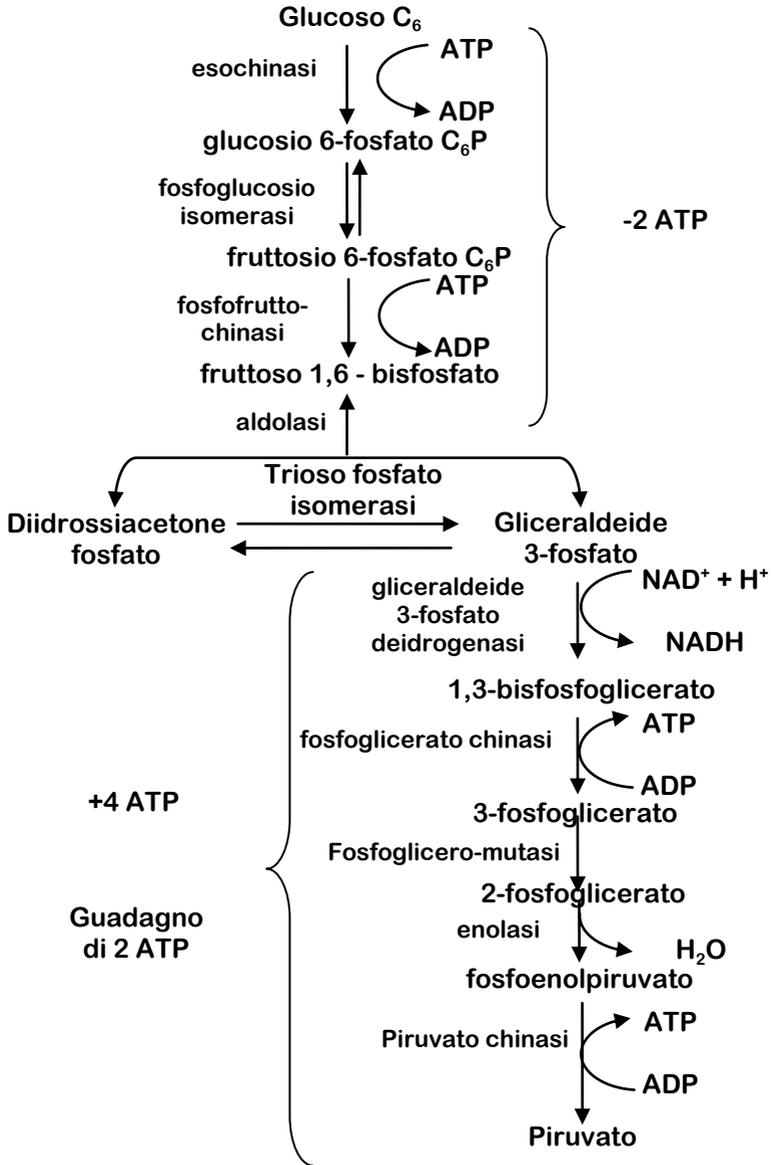
La glicolisi, che letteralmente significa scissione dello zucchero, è la prima tappa della respirazione cellulare nella quale il glucosio, una molecola a sei atomi di carbonio, viene scissa in due molecole (a tre atomi di carbonio) di acido piruvico o piruvato. Avviene nel citoplasma di tutte le cellule viventi in condizioni anaerobiche, ovvero senza

bisogno dell'ossigeno, e porta alla produzione di due molecole di ATP. La formazione delle due molecole di piruvato avviene in maniera graduale attraverso nove reazioni catalizzate da enzimi:

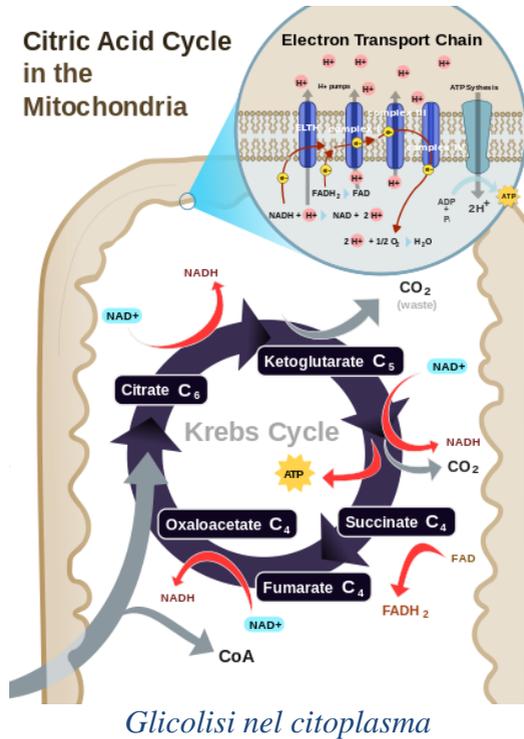
- 1) Al sesto atomo di carbonio della molecola di glucosio viene aggiunto un gruppo fosfato derivante dall'ATP, formando il glucosio-6-fosfato, questa reazione è catalizzata dall'enzima esochinasi. In questa fase quindi si ha il consumo di una molecola di ATP;
- 2) La molecola di glucosio-6-fosfato viene riorganizzata portando alla formazione di una molecola di fruttosio-6-fosfato;
- 3) Alla molecola di fruttosio-6-fosfato viene aggiunto un altro gruppo fosfato proveniente da un'altra molecola di ATP portando alla formazione di una molecola di fruttosio-1,6-difosfato. Fino a questo momento sono state consumate 2 molecole di ATP;
- 4) Il fruttosio-1,6-difosfato viene scisso in due molecole a tre atomi di carbonio, gliceraldeide-3-fosfato, ognuna delle quali possiede un gruppo fosfato;
- 5) La gliceraldeide-3-fosfato viene ossidata e gli elettroni vengono trasferiti all' $\text{NAD}^+$  che si riduce in NADH, esso trasporta gli elettroni che in seguito cederà ad un'altra molecola. Contemporaneamente la gliceraldeide-3-fosfato si lega ad un altro gruppo fosfato formando l'acido 1,3- difosfoglicerico. Ciò che è avvenuto per una molecola di gliceraldeide-3-fosfato avverrà anche per la seconda molecola di gliceraldeide-3-fosfato, alla fine quindi si formeranno due molecole di NADH e due di acido 1,3-difosfoglicerico;  
L' $\text{NAD}$  (nicotinamide adenina dinucleotide) è una molecola organica che viene utilizzata dalle cellule per trasportare di elettroni nelle reazioni di ossidoriduzione;
- 6) Ogni molecola di acido 1,3- difosfoglicerico perde uno dei due gruppi fosfato portando alla formazione di due molecole di acido 3-fosfoglicerico; i due gruppi fosfato ceduti dalle due molecole di acido 1,3- difosfoglicerico si legano rispettivamente a due molecole di ADP portando alla formazione di due molecole di ATP. Fino a questo momento quindi sono state consumate due molecole di ATP e altre due se ne sono formate;

- 7) Ogni molecola di acido 3-fosfoglicerico viene riorganizzata formando due molecole di acido 2- fosfoglicerico;
- 8) Ogni molecola di acido 2- fosfoglicerico viene ossidata in acido fosfoenolpiruvico (PEP) con perdita di una molecola di acqua;
- 9) Ogni molecola di PEP cede il suo gruppo fosfato all'ADP che si trasforma in ATP mentre il PEP non avendo più il gruppo fosfato si trasforma in acido piruvico.

Alla fine della glicolisi si formeranno quindi, due molecole di ATP, due di acido piruvico e due di NADH. In tutte queste reazioni non interviene l'ossigeno ma l'ossidazione del glucosio avviene grazie al coenzima  $\text{NAD}^+$ . Questa fase è importante in quanto anche se produce solo due molecole di ATP esse vengono prodotte in maniera rapida, pertanto rappresentano una fonte immediata di energia che è particolarmente utile ad esempio in casi di attività fisica breve ed intensa, la glicolisi rappresenta inoltre una fase preparatoria alle altre tappe della respirazione cellulare, le molecole di acido piruvico infatti entreranno nel mitocondrio dove verranno trasformate all'interno del ciclo di Krebs.



*Glicolisi*

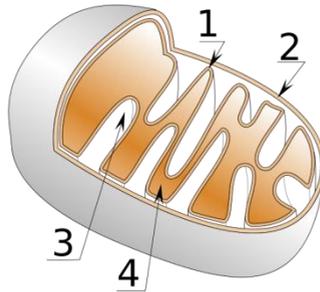


## Ciclo di Krebs

Le due molecole di acido piruvico, prodotte dalla glicolisi, sono ancora molto ricche di energia che deve essere liberata, pertanto entrano all'interno del ciclo di Krebs nel quale subiscono una serie di reazioni di ossido-riduzione che daranno, come prodotto finale, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ed energia, esse avvengono all'interno dei mitocondri ed in presenza di ossigeno (fase aerobica della respirazione cellulare).

I mitocondri sono organuli cellulari, sede della respirazione cellulare (ciclo di Krebs e fosforilazione ossidativa), essi sono formati da due membrane, una esterna e una interna, la membrana esterna presenta dei piccoli fori che possono essere attraversati da molecole di grandi dimensioni, la membrana interna è ripiegata formando delle creste (creste mitocondriali) dove si trovano numerosi enzimi. Lo spazio presente tra la membrana esterna e quella interna prende il nome di spazio intermembrana mentre la membrana interna racchiude uno

spazio, detto **matrice mitocondriale**, dove avvengono le reazioni del ciclo di Krebs catalizzate dai numerosi enzimi in essa presenti.



*Schema di un mitocondrio. 1 Membrana interna, 2 Membrana esterna, 3 Cresta, 4 Matrice.*

Le due molecole di acido piruvico prima di entrare nel ciclo di Krebs subiscono una reazione intermedia attraverso la quale ogni molecola si lega al coenzima A trasformandosi in acetil-coenzima A (CoA). Durante questa reazione l'acido piruvico perde un atomo di carbonio sotto forma di  $\text{CO}_2$ , due elettroni e due protoni. Gli elettroni vengono accettati dal  $\text{NAD}^+$  che si trasforma in NADH. Siccome le molecole di acido piruvico sono due, si avranno due reazioni intermedie, il prodotto finale di queste reazioni saranno due molecole di acetil-coenzima A, due di  $\text{CO}_2$ , che verranno espulse dalla cellula e immesse nella circolazione sanguigna e due di NADH che giungeranno alla catena di trasporto degli elettroni.

Se la cellula ha a disposizione una quantità elevata di ATP allora le due molecole di acetil-coenzima A possono essere utilizzate per sintetizzare grassi e quindi immagazzinare l'energia, se la cellula invece ha bisogno di energia entrano nel ciclo di Krebs per sintetizzare nuove molecole di ATP.

Quando le due molecole di acetil-coenzima A entrano nel ciclo di Krebs subiscono una serie ciclica di reazioni:

- 1) L'acetil-coenzima A si lega ad una molecola di acido ossalacetico, una molecola a quattro atomi di carbonio, formando una molecola a sei atomi di carbonio, l'acido citrico.
- 2) L'acido citrico viene ossidato e perde un atomo di carbonio sotto forma di  $\text{CO}_2$ , due elettroni e due protoni che giungono

all' $\text{NAD}^+$  che si trasforma in  $\text{NADH}$  che va verso la catena di trasporto degli elettroni; l'acido citrico si è quindi trasformato in una molecola a cinque atomi di carbonio, l'acido  $\alpha$ -chetoglutarico.

- 3) L'acido  $\alpha$ -chetoglutarico viene ossidato dal  $\text{NAD}^+$  che si riduce in  $\text{NADH}$ , perde un atomo di carbonio sotto forma di  $\text{CO}_2$  e si trasforma in una molecola a quattro atomi di carbonio.
- 4) La molecola a quattro atomi di carbonio viene trasformata in acido succinico liberando molta energia che servirà ad unire un gruppo fosfato all' $\text{ADP}$  portando alla formazione di una molecola di  $\text{ATP}$ .
- 5) L'acido succinico viene ossidato dal  $\text{FAD}$  (*flavin adenin dinucleotide*), una molecola accettore di elettroni, in acido malico. Il  $\text{FAD}$  riceve due protoni e due elettroni riducendosi in  $\text{FADH}_2$ , che va verso la catena di trasporto degli elettroni.
- 6) L'acido malico viene ossidato dall' $\text{NAD}^+$ , quest'ultimo accetta gli elettroni e si trasforma in  $\text{NADH}$  mentre l'acido malico si trasforma di nuovo in acido ossalacetico che può legarsi di nuovo con l'acetil-coenzima A e il ciclo ricomincia.

L'acetil-coenzima A quindi viene completamente ossidato durante il ciclo grazie alla presenza di due molecole  $\text{NAD}$  e  $\text{FAD}$  le quali accettano gli elettroni e li trasportano alla catena di trasporto degli elettroni. Poiché dalla reazione intermedia, precedente al ciclo di Krebs, vengono prodotte due molecole di acetil-coenzima A, ogni molecola verrà ossidata da un ciclo completo di Krebs, quindi i due cicli di Krebs daranno come prodotto finale sei molecole di  $\text{NADH}$ , due di  $\text{FADH}$  e due di  $\text{ATP}$ .

La presenza di ossigeno consente di rigenerare le molecole di  $\text{NAD}^+$  e  $\text{FAD}$ , in quanto esso funge da accettore di elettroni provenienti dal  $\text{NADH}$  e  $\text{FADH}_2$ , in questo modo il ciclo può ricominciare.

### **Fosforilazione ossidativa**

Dalla glicolisi si sono formate due molecole di  $\text{ATP}$  e dal ciclo di Krebs altre due molecole di  $\text{ATP}$ , ma è in questa terza tappa della respirazione cellulare che avviene la maggiore produzione di  $\text{ATP}$ .

I prodotti finali del ciclo di Krebs sono sei molecole di NADH e due di FADH, esse migrano alle creste mitocondriali dove è presente la catena di trasporto degli elettroni alla quale cedono i loro elettroni. A tale catena giungono anche le due molecole di NADH provenienti dalla glicolisi e le due molecole di NADH provenienti dalla trasformazione dell'acido piruvico in acetil-coenzima A. In totale quindi giungono dieci molecole di NADH e due di FADH.

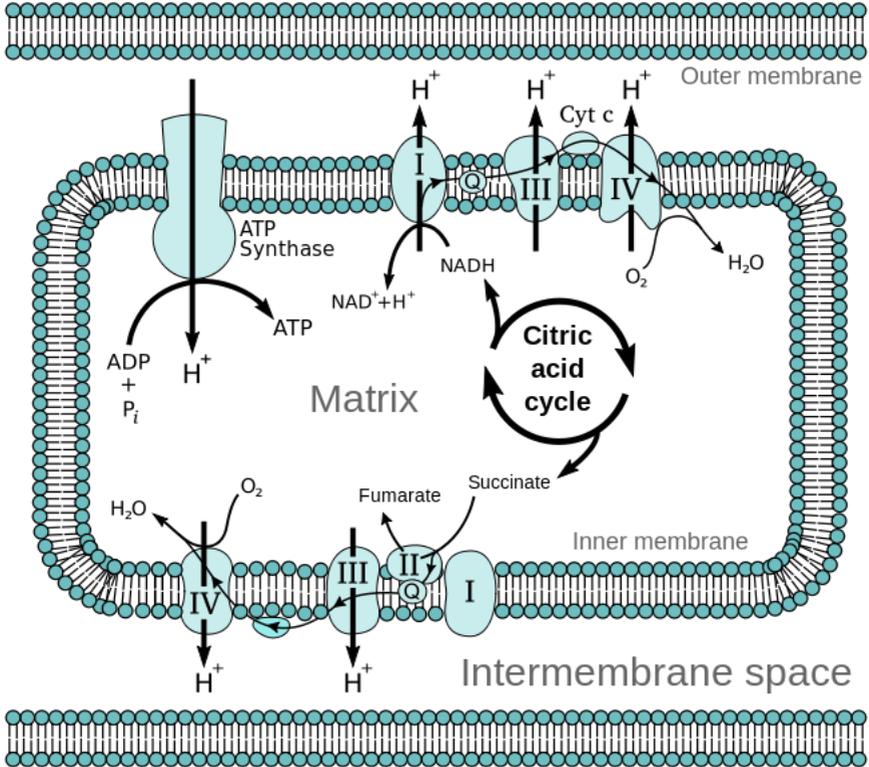
Gli elettroni attraversano la catena di trasporto e giungono all'ossigeno per formare acqua (fosforilazione ossidativa). La catena di trasporto degli elettroni è formata da proteine chiamate citocromi. Un citocromo riceve gli elettroni provenienti dall'NADH riducendosi e a sua volta cede gli elettroni al citocromo successivo che si riduce mentre esso si ossida. In questo modo gli elettroni passano da un citocromo all'altro dove ognuno è responsabile della riduzione del citocromo successivo, fino ad arrivare all'accettore ultimo di elettroni che è l'ossigeno che si trova nella matrice mitocondriale.

Ogni atomo di ossigeno cattura due elettroni e due protoni formando una molecola di acqua. Anche le molecole di FADH<sub>2</sub> cedono i loro elettroni però ciò avviene un po' dopo all'NADH. All'interno dei citocromi sono situati anche gli enzimi necessari a catalizzare il trasporto degli elettroni. Il passaggio degli elettroni da un citocromo all'altro lungo la catena di trasporto di elettroni è accompagnato da una perdita di energia che viene utilizzata dalla cellula per trasformare l'ADP in ATP attraverso un processo, chiamato chemiosmosi, scoperto nel 1961 dal biochimico britannico [Peter Mitchell](#).

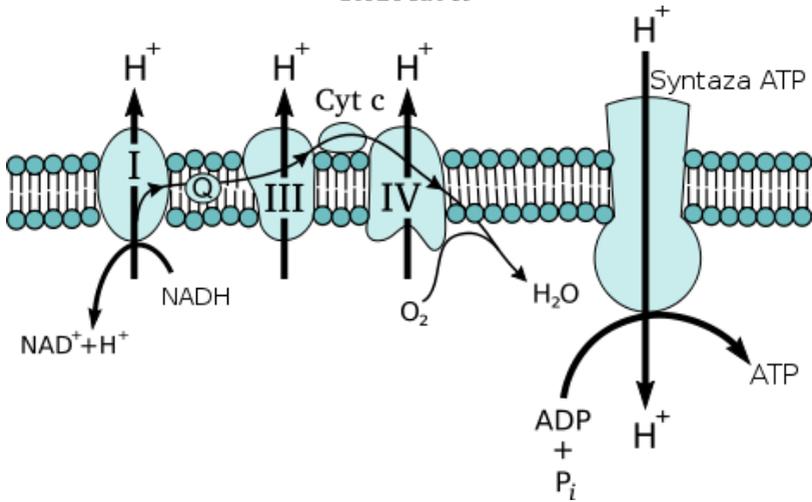
In pratica gli elettroni trasferiti lungo la catena di trasporto degli elettroni liberano energia che viene utilizzata per pompare gli ioni idrogeno (H<sup>+</sup>), derivanti dall'ossidazione di NADH, verso lo spazio intermembrana del mitocondrio. Gli ioni H<sup>+</sup> si muovono quindi contro gradiente di concentrazione sfruttando l'energia liberata lungo la catena di trasporto degli elettroni.

In questo modo nello spazio intermembrana si accumulano gli ioni H<sup>+</sup> che generano una differenza di potenziale elettrochimico tra il compartimento esterno e la matrice del mitocondrio. Gli ioni H<sup>+</sup> tenderanno ad entrare di nuovo nella matrice in quanto seguono il loro gradiente di concentrazione, l'ingresso nella matrice è consentito grazie

ad un enzima, l'ATP sintetasi, che agendo libera energia utilizzata per unire un gruppo fosfato all'ADP formando ATP.



*Fosforilazione ossidativa*



Ogni molecola di  $NADH$  consente la produzione di tre molecole di  $ATP$  mentre ogni molecola di  $FADH_2$  consente la produzione di due molecole di  $ATP$ . Le dieci molecole di  $NADH$  che giungono alla catena di trasporto degli elettroni produrranno trenta molecole di  $ATP$  e le due molecole di  $FADH_2$  ne produrranno quattro per un totale di 34 molecole. A queste vanno aggiunte le due molecole di  $ATP$  prodotte dalla glicolisi e le due prodotte dal ciclo di Krebs per un totale di 38 molecole di  $ATP$ , alle quali vanno sottratte due molecole di  $ATP$  utilizzate per trasportare l' $NADH$  prodotto dalla glicolisi all'interno della cellula. In conclusione l'ossidazione del glucosio tramite la respirazione cellulare porta alla formazione di 36 molecole di  $ATP$ , che per la maggior parte vengono prodotte nella tappa della fosforilazione ossidativa. Le molecole di  $ATP$  così prodotte attraversano la membrana del mitocondrio e giungono al citoplasma della cellula dove verranno utilizzate per svolgere tutte le attività cellulari. Attraverso l'idrolisi delle molecole di  $ATP$  si riformeranno le molecole di  $ADP$  che migreranno di nuovo ai mitocondri dove saranno di nuovo ossidate.

### Fermentazione

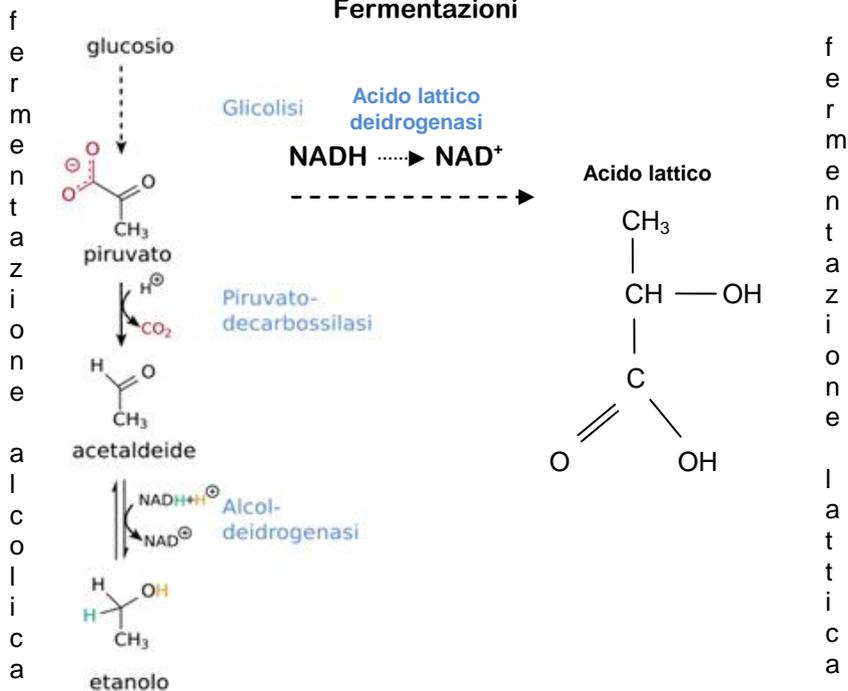
Fin qui abbiamo descritto il meccanismo della respirazione cellulare dove l'accettore finale degli elettroni era l'ossigeno grazie al quale era possibile rigenerare le molecole di  $NAD^+$  e  $FAD$ . Molti organismi invece sono in grado di ricavare energia dal glucosio senza che questo

si ossidi completamente e quindi senza l'intervento dell'ossigeno. In questi organismi avviene una respirazione anaerobica o fermentazione. Alcuni organismi, come ad esempio i lieviti, sono anaerobi facoltativi, cioè possono vivere sia in presenza che in assenza di ossigeno, altri invece sono anaerobi obbligati, come molti batteri, cioè possono vivere solo in assenza di ossigeno.

Nella respirazione anaerobica le due molecole di acido piruvico, prodotte dalla glicolisi, non entrano nel ciclo di Krebs ma vengono convertite in acetaldeide che accetta i due elettroni e un protone derivante dall' $\text{NADH}$  formatosi durante la glicolisi. A questo punto l' $\text{NADH}$  viene trasformato in  $\text{NAD}^+$  indispensabile per poter svolgere nuovamente la glicolisi e l'acetaldeide viene trasformato in etanolo liberando anidride carbonica. Questo processo di fermentazione viene sfruttato dagli uomini per la produzione del vino, dove i lieviti utilizzano il glucosio, presente nei chicchi d'uva per ricavare energia. Attraverso la glicolisi, il glucosio verrà trasformato in acido piruvico e quest'ultimo in etanolo (alcol etilico) fino a quando la quantità di alcol raggiunge un livello tanto alto da provocare la morte del lievito. L'acido piruvico verrà prima trasformato in acetaldeide e poi in etanolo. In questo passaggio si ha la liberazione di anidride carbonica e tutto il processo prende il nome di fermentazione alcolica.

Il processo di fermentazione alcolica viene sfruttato anche per la lievitazione del pane, basta infatti aggiungere il lievito all'impasto, che utilizzerà gli zuccheri per ricavare energia. Come sottoprodotto della fermentazione alcolica si produrrà anidride carbonica che è responsabile della lievitazione dell'impasto mentre l'etanolo prodotto verrà eliminato durante la cottura.

## Fermentazioni

*Fermentazioni*

Negli animali, compreso l'uomo, si può verificare, per alcune cellule, una momentanea carenza di ossigeno. Se durante un'intensa attività fisica le cellule muscolari hanno bisogno di molta energia e non ricevono sufficiente quantità di ossigeno necessaria a produrla, riusciranno ad ottenerla convertendo l'acido piruvico prodotto dalla glicolisi in acido lattico. In questo caso è l'acido piruvico che accetta i due elettroni e i due protoni provenienti dall' $\text{NADH}$  e si trasforma in acido lattico. Questo tipo di fermentazione prende il nome di fermentazione lattica. L'acido lattico sarà eliminato quando si avrà di nuovo disponibilità di ossigeno, e sarà riconvertito in acido piruvico. In conclusione possiamo dire che sia la respirazione aerobica che anaerobica sono meccanismi che consentono alle cellule di produrre energia.

## 2.6 La cattura dell'energia attraverso la fotosintesi

Tutti gli organismi viventi hanno bisogno di energia e tutti la ottengono demolendo le molecole organiche nella quale è intrappolata. L'energia presente all'interno delle molecole organiche deriva da un processo effettuato dalle piante, la fotosintesi, attraverso il quale le piante trasformano l'energia solare in energia chimica che viene intrappolata nei legami chimici delle molecole organiche (glucosio).

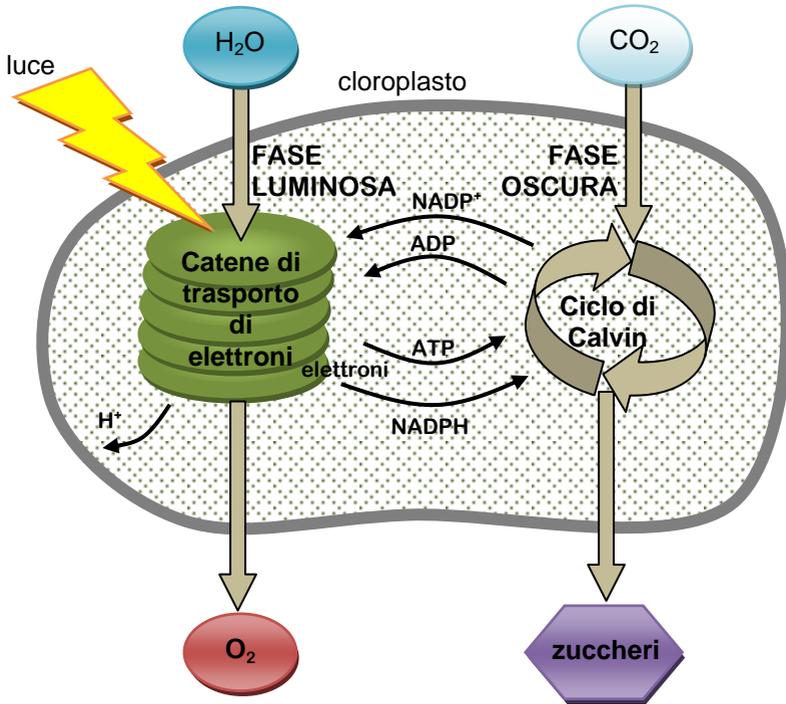
Dalla demolizione del glucosio attraverso la respirazione cellulare si otterrà l'energia necessaria per il lavoro cellulare e per la sintesi di carboidrati come saccarosio, amido, cellulosa. Attraverso la fotosintesi è possibile trasformare la luce solare, l'acqua e l'anidride carbonica in una molecola organica ricca di energia, il glucosio, secondo la seguente reazione:



Gli organismi che riescono a sintetizzare le molecole organiche a partire dalla luce solare e da sostanze inorganiche presenti nell'ambiente vengono chiamati **autotrofi** (piante, alcuni batteri e alcuni protisti) a differenza degli **eterotrofi**, ovvero organismi (protozoi, animali e funghi) che invece ricavano l'energia nutrendosi di altri organismi.

Tutti gli animali, compreso l'uomo, nutrendosi dei vegetali assumono polisaccaridi dai quali si ricava glucosio, che è la principale fonte di energia. Pertanto la vita di tutti gli eterotrofi è legata agli autotrofi sia direttamente, nel senso che si nutrono direttamente di essi sia indirettamente, nutrendosi di organismi che a loro volta si sono cibati di autotrofi.

Gli autotrofi non sono importanti soltanto in quanto rappresentano la fonte primaria di energia ma anche perché attraverso il processo di fotosintesi liberano nell'atmosfera ossigeno, un gas indispensabile alla vita.



### *Le due fasi della fotosintesi*

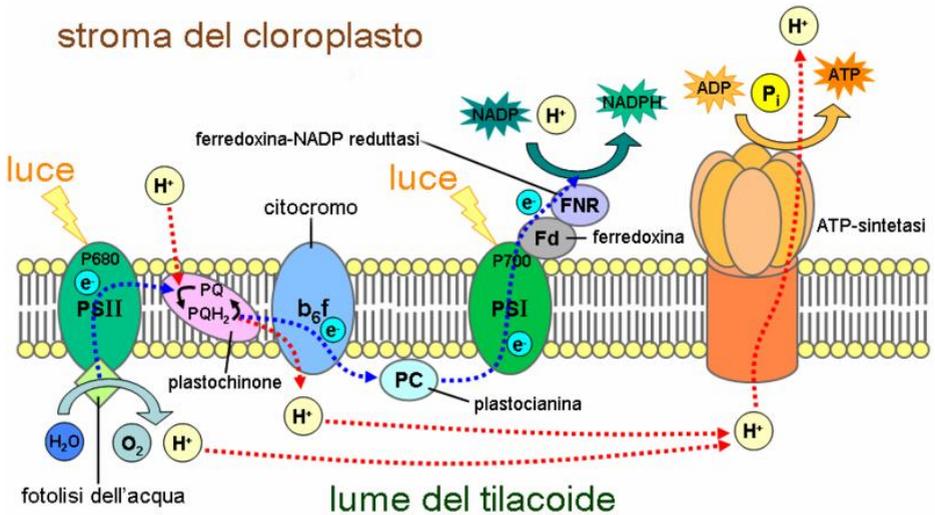
La fotosintesi avviene nei cloroplasti, un organulo esclusivamente vegetale contenuto nelle cellule verdi, ovvero cellule che contengono pigmenti verdi (clorofilla), e per le piante superiori tali organuli si trovano soprattutto nelle foglie verdi.

Anche i cloroplasti, come i mitocondri, hanno due membrane separate da uno spazio detto intermembrana. All'interno vi è un altro spazio detto **stroma** in cui sono presenti delle strutture discoidali (tilacoidi) impilate (grani) che contengono la clorofilla.

La fotosintesi si compone di due fasi, una fase luminosa e una fase oscura. Nella fase luminosa la luce solare viene catturata dalla clorofilla che viene in parte trasformata in energia chimica ed in parte utilizzata per demolire la molecola d'acqua liberando un atomo di ossigeno, due ioni di idrogeno ed elettroni. Gli atomi di ossigeno si combinano tra di

loro formando molecole di ossigeno che vengono liberate nell'atmosfera, mentre gli ioni idrogeno arrivano all'NADP, un coenzima presente nel cloroplasto, che viene ridotto in NADPH.

La fase oscura, ciclo di Calvin, invece non è legata alla luce ma utilizza l'energia, prodotta dalla fase luminosa, per fissare l'anidride carbonica atmosferica la quale viene legata ad un composto a cinque atomi di carbonio (ribulosio bisfosfato RuBP) formando così un composto a sei atomi di carbonio che entra nel ciclo di Calvin, una serie ciclica di reazioni che portano alla formazione di due molecole a tre atomi di carbonio (fosfogliceraldeide). Parte della fosfogliceraldeide viene trasferita nel citoplasma della cellula e trasformata in glucosio o in altri composti organici (grassi o amminoacidi), parte resta nel cloroplasto per riformare RuBP necessario per far continuare il ciclo di Calvin.



*Le reazioni della fase luce dipendente della fotosintesi clorofilliana*

## **Approfondimenti**

Animazione del ciclo di Krebs

<http://www.science.smith.edu/departments/Biology/Bio231/krebs.html>

Zoom dalla cellula fino alla struttura base del DNA, animazione

[http://www.molecularlab.it/interactive/filmati/struttura\\_dna.asp?movie=true&dsl=true](http://www.molecularlab.it/interactive/filmati/struttura_dna.asp?movie=true&dsl=true)

Catena di trasporto degli elettroni, animazione

<http://www.sumanasinc.com/webcontent/animations/content/electrontransport.html>

Sintesi delle proteine, video

<http://www.youtube.com/watch?v=UtJtE7wcX9M>

### 3. La divisione cellulare

#### 3.1 Finalità della divisione cellulare

Tutte le cellule che formano un individuo hanno origine da una singola cellula. Il meccanismo attraverso il quale da una singola cellula (cellula madre) si originano due cellule figlie prende il nome di **divisione cellulare** o riproduzione cellulare. La divisione cellulare consente di mantenere inalterato il rapporto superficie-volume di una cellula. Una cellula infatti comunica con l'ambiente esterno attraverso la sua superficie che deve essere maggiore rispetto al volume per rendere più efficienti gli scambi (ingresso nella cellula di materiale nutritivo ed espulsione nell'ambiente esterno delle sostanze di rifiuto). Una cellula di grandi dimensioni possiede un volume troppo grande rispetto alla sua superficie, questo causa inefficienza degli scambi con l'ambiente esterno e ne determina la morte. Una cellula crescendo aumenta di dimensioni e per evitare di andare incontro alla morte deve necessariamente dividersi, mantenendo costante il rapporto superficie-volume.

La divisione cellulare è un processo molto complesso che avviene sia negli organismi unicellulari che in quelli pluricellulari ma porta a risultati differenti.

Gli organismi unicellulari, attraverso la divisione dell'unica cellula di cui sono costituiti, originano direttamente nuovi individui, ad esempio una colonia di lieviti si origina dalla divisione di un'unica cellula madre. Negli organismi pluricellulari invece la divisione cellulare porta ad un accrescimento dell'individuo e quindi al raggiungimento delle dimensioni di adulto.

Anche l'uomo si sviluppa a partire da una singola cellula, lo **zigote**. Lo zigote, attraverso una serie di divisioni cellulari, porta alla formazione dell'embrione, poi del feto e infine del neonato.

La divisione cellulare continua anche dopo la nascita del neonato portando ad un aumento del numero delle cellule fino al raggiungimento dello stadio adulto caratterizzato da circa 10.000 miliardi di cellule.

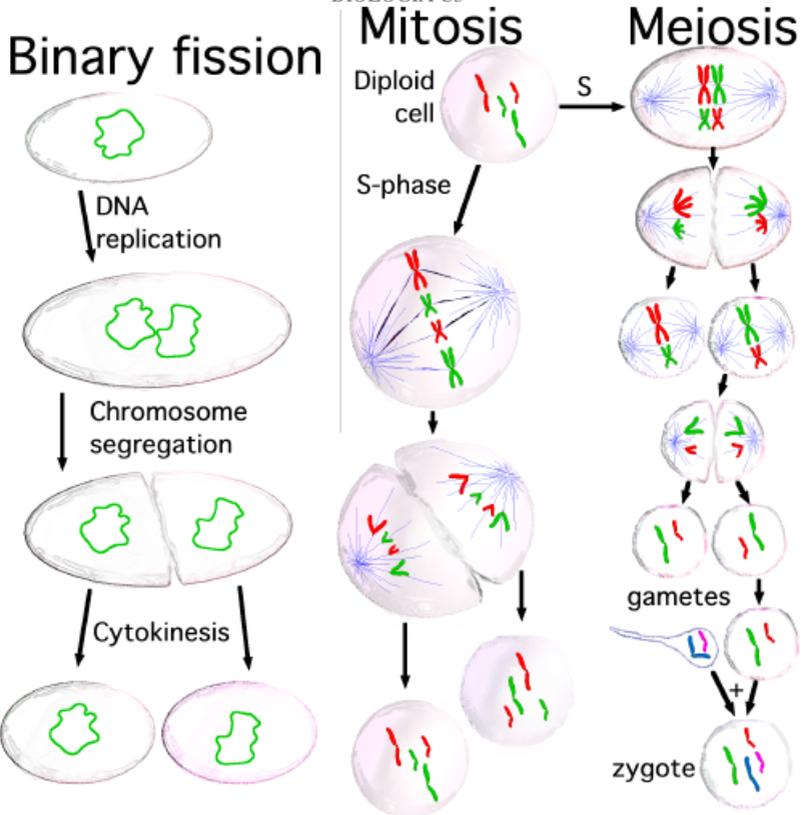
Oltre all'accrescimento dell'individuo, la divisione cellulare nei pluricellulari assicura il ricambio delle cellule danneggiate o morte, ad

esempio una sbucciatura al ginocchio comporta la distruzione di alcune cellule dell'epidermide che vengono rimpiazzate da altre, prodotte per divisione cellulare, per riparare il danno.

Tutte le cellule viventi al loro interno presentano il **citoplasma**, un liquido costituito per il 70% da acqua, per il 20% da proteine e per il 10% da carboidrati, lipidi ed altre molecole.

All'interno del citoplasma sono presenti organuli cellulari come ribosomi, apparato di Golgi, mitocondri ecc. Tali organuli cellulari sono presenti in numerose copie all'interno di una singola cellula, ogni cellula può contenere migliaia di ribosomi o di mitocondri.

Se la divisione cellulare consistesse semplicemente nel tagliare in due parti una cellula come ad esempio si taglia in due parti uguali un panino, allora ogni parte conterrebbe un numero sufficiente di organuli adatti ad assicurare tutte le funzioni vitali della cellula. All'interno della cellula esistono però altri organuli, presenti in una singola copia e situati in determinate zone della cellula, come ad esempio i cromosomi presenti nel nucleo, allora la cellula deve adottare un meccanismo di divisione cellulare più complesso, adatto a dividere equamente il materiale contenuto nel nucleo in maniera tale che ogni cellula figlia possa ricevere precisamente le stesse informazioni genetiche. Tale meccanismo verrà descritto più approfonditamente nei successivi paragrafi.



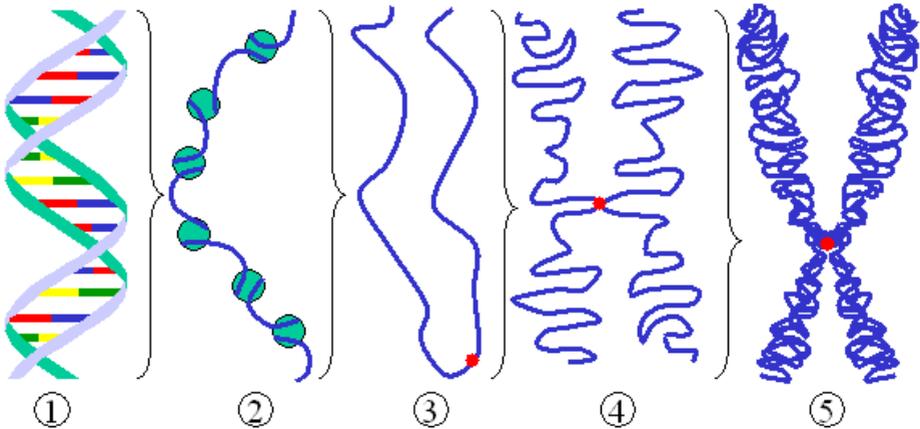
*Divisione cellulare*

### 3.2 I cromosomi

I **cromosomi** sono formati da DNA e da proteine, su di essi si trovano i geni che trasportano le informazioni ereditarie. Nelle cellule eucariote i cromosomi sono racchiusi all'interno del nucleo e sono visibili, al microscopio, quando una cellula inizia a dividersi.

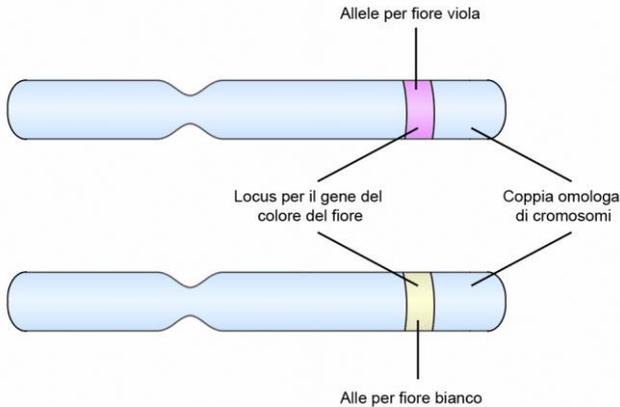
Prima della divisione cellulare i cromosomi sono addensati in una struttura che prende il nome di **cromatina**, costituita da DNA e proteine. La cromatina a sua volta si forma in seguito all'avvolgimento del DNA intorno a particolari proteine (istoni) formando i nucleosomi. Il DNA è quindi contenuto nel nucleo sotto forma di cromatina. Ogni cellula di ciascuna specie contiene un numero diverso di cromosomi, ad

esempio ogni cellula del moscerino della frutta possiede 8 cromosomi, ogni cellula della cipolla ne possiede 16, ogni cellula umana 46.



*Differenti livelli di condensazione del DNA: (1) DNA a doppia elica; (2) Cromatina: filo di DNA con istoni; (3) Cromatina condensata durante l'interfase; (4) Cromatina condensata durante la profase (sono presenti due copie di molecole di DNA); (5) Cromosoma durante la metafase.*

L'insieme dei cromosomi di una cellula è detto **corredo cromosomico**, quando questi sono disposti ordinatamente in microfotografia in base alle dimensioni la loro rappresentazione è detta **cariotipo**. Il corredo cromosomico può essere diploide o aploide, è **diploide** se vi sono coppie di cromosomi omologhi ed è indicato con il simbolo **2n**, è invece **aploide** se non vi sono coppie di cromosomi omologhi ed è indicato con il simbolo **n**. Due cromosomi costituiscono una coppia di cromosomi omologhi quando sono uguali per forma e per dimensione e portano geni allelici su loci corrispondenti. Il locus è il punto del cromosoma su cui si trova il gene. L'allele è la forma alternativa del gene, due geni allelici sono quindi due geni diversi che controllano lo stesso carattere ma che producono un'espressione diversa di tale carattere, ad esempio i due geni che controllano il colore degli occhi ma uno determina la colorazione degli occhi verdi e l'altro la colorazione degli occhi neri.



Matematicamente.it

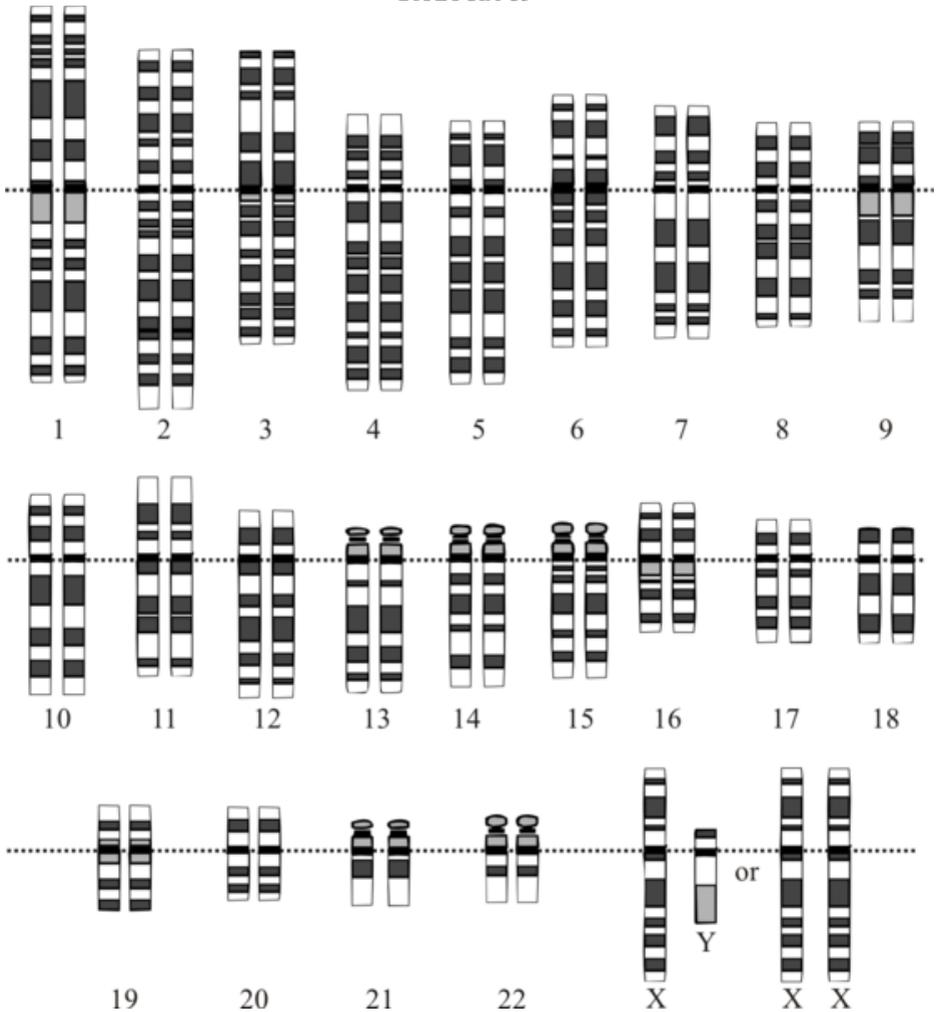
*Due alleli che controllano lo stesso carattere: il colore del fiore*

Le cellule della maggior parte degli organismi eucarioti sono diploidi, la nostra specie presenta un cariotipo  $2n=46$ , quindi i 46 cromosomi di ogni singola cellula umana sono in realtà 23 coppie di cromosomi omologhi; in ogni coppia un cromosoma è di origine materna e uno è di origine paterna, pertanto 23 cromosomi sono di origine materna e 23 di origine paterna.

Le 23 coppie di cromosomi omologhi sono formate da 22 coppie di **autosomi** e una coppia di **eterosomi** ovvero cromosomi sessuali; gli autosomi sono uguali nella femmina e nel maschio mentre gli eterosomi nella femmina sono XX e nel maschio XY.

La coppia di cromosomi XY, pur presentando cromosomi diversi per forma e per dimensione, formano lo stesso una coppia di omologhi in quanto possiedono una regione omologa.

Nella nostra specie come nella maggior parte degli animali le cellule somatiche (le cellule di tutto il nostro corpo) hanno cariotipo diploide ad eccezione delle cellule sessuali (gameti: cellula uovo e spermatozoo) che hanno un cariotipo aploide.



*Rappresentazione del cariotipo umano*

### 3.3 Il ciclo cellulare

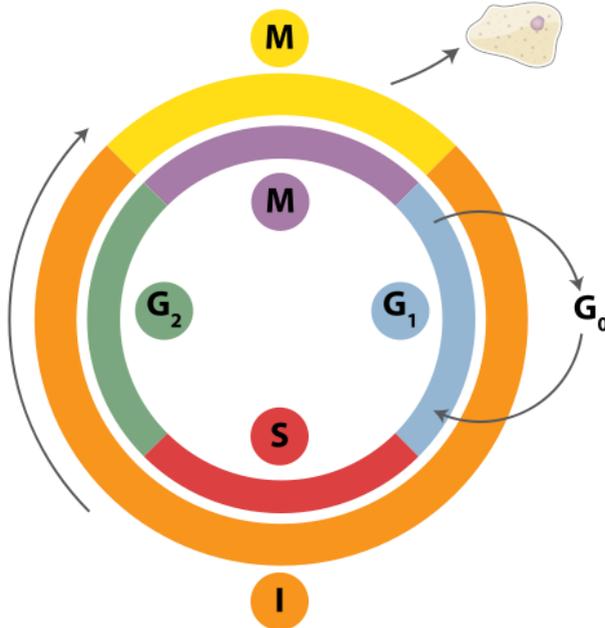
Ogni essere vivente nasce, cresce, si riproduce e muore, si dice che ha un ciclo vitale. Anche le cellule possiedono un ciclo vitale che in questo caso prende il nome di ciclo cellulare. Ogni cellula quindi nasce, cresce, si riproduce e muore.

Il **ciclo cellulare** consiste in una sequenza ciclica di eventi che si susseguono a partire dal momento di crescita di una cellula fino al

momento in cui essa si divide. Dopo la divisione una cellula torna ad accrescersi e di nuovo a dividersi e così via. Tale ciclo comprende varie fasi:

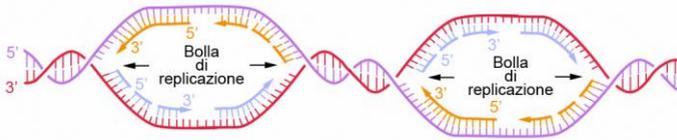
- 1) **Fase G<sub>1</sub>**: fase di crescita della cellula. Vengono prodotti vari componenti cellulari come ribosomi, proteine, mitocondri ecc.
- 2) **Fase S**: fase di sintesi del DNA, in cui la cellula duplica il proprio DNA.
- 3) **Fase G<sub>2</sub>**: fase di preparazione alla divisione cellulare. Vengono sintetizzate proteine indispensabili per la fase successiva.
- 4) **Fase M (Mitosi)**: fase di divisione cellulare. Comprende sia la divisione del nucleo (mitosi) che la divisione del citoplasma (citodieresi).

Le fasi G<sub>1</sub>, S e G<sub>2</sub> costituiscono l'**interfase** del ciclo cellulare, la lettera G sta per *gap* che significa *intervallo* mentre la lettera S sta per *sintesi*. Nella fase S, si ha la duplicazione del DNA, ovvero da una molecola di DNA se ne formano due identiche alla precedente.



*Schema del ciclo cellulare. I = Interfase, M = Mitosi. La durata delle varie fasi non è in proporzione.*

Una molecola di DNA è costituita da due filamenti polinucleotidici avvolti a spirale, ogni nucleotide è formato da uno zucchero a cinque atomi di carbonio (deossiribosio), da un gruppo fosfato e da una base azotata.



Matematicamente.it

### *Duplicazione del DNA*

Durante la duplicazione i due filamenti si srotolano e ognuno funge da stampo per la sintesi di un nuovo filamento. La sintesi di un nuovo filamento inizia in numerosi punti della molecola di DNA, chiamati bolle di duplicazione, dai quali si duplicano, in senso bidirezionale, segmenti di nuovi filamenti, in questo modo si accelera il meccanismo di duplicazione.

La fase di duplicazione del DNA di una cellula animale dura in media 6 ore. Tale fase è importantissima per assicurare, durante la divisione cellulare, una copia completa del DNA della cellula madre alle cellule figlie.

Ogni cromosoma contiene una singola molecola di DNA ma in seguito alla duplicazione del DNA, ogni cromosoma risulta costituito da due molecole identiche di DNA, ognuna contenuta all'interno di un cromatidio. Ogni cromosoma quindi, dopo la duplicazione del DNA, è costituito da due **cromatidi fratelli** uniti da un **centromero** (punto di unione dei due cromatidi).

La durata del ciclo cellulare varia da cellula a cellula, nella maggior parte delle cellule animali e vegetali dura circa 24 ore di cui una o due ore utilizzate per la fase mitotica. Ogni cellula però presenta delle differenze. Ad esempio una cellula della pelle si divide una volta alla settimana (in caso di lesioni si divide molto rapidamente per rimarginare la ferita), un neurone (cellula nervosa), si divide raramente infatti trascorre la maggior parte della sua vita in interfase mentre le cellule cancerose si dividono molto rapidamente quindi presentano un interfase brevissima.

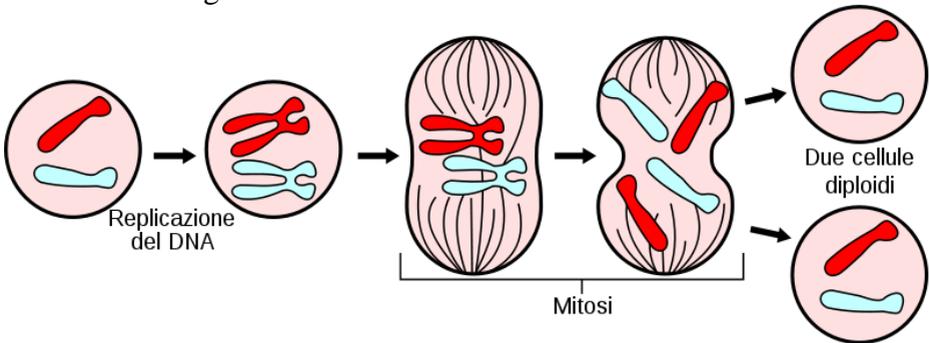
### 3.4 Mitosi

Una cellula eucariota, dopo aver completato il processo di interfase, inizia la fase di **divisione cellulare o riproduzione**, attraverso la quale da una cellula madre si formano due cellule figlie identiche alla cellula madre.

La mitosi consiste nella divisione del nucleo della cellula. Lo scopo della mitosi è quello di assicurare un cromatidio di ciascun cromosoma ad ogni cellula figlia in maniera tale che ogni cellula figlia riceva lo stesso numero e gli stessi tipi di cromosomi della cellula madre.

Il processo di divisione cellulare è stato studiato e descritto, per la prima volta, alla fine del XIX secolo, dal medico e microscopista tedesco, [Walter Flemming](#). Egli lo chiamò mitosi (dal greco *mitos*: filamento). Successivamente, le moderne tecniche di microscopia ottica ci hanno permesso di descrivere in maniera più dettagliata questo processo.

La mitosi viene suddivisa in varie fasi: profase, metafase, anafase e telofase a cui segue la citodieresi.

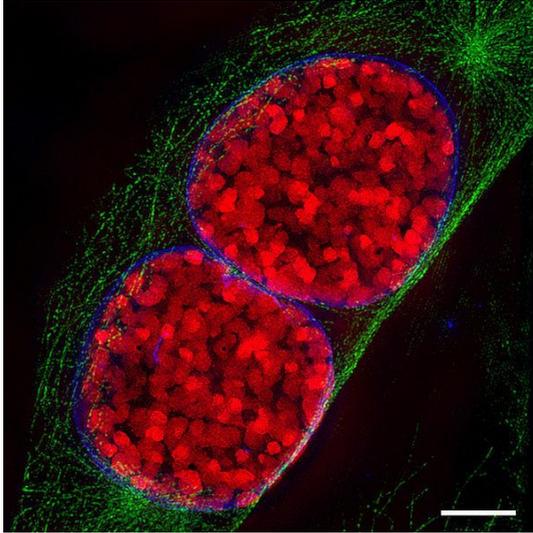


*Le fasi della duplicazione cellulare*

#### Profase

Alla fine dell'interfase i cromosomi si condensano e diventano visibili al microscopio ottico. La membrana nucleare comincia a dissolversi consentendo ai cromosomi di muoversi nel citoplasma e il nucleolo (struttura formata da RNA ribosomiale e proteine) scompare. Nel citoplasma delle cellule animali compare, in prossimità del nucleo, una struttura cellulare, il **centrosoma**, all'interno del quale si origina una coppia di piccoli cilindri, **centrioli**. Il centrosoma si duplica prima

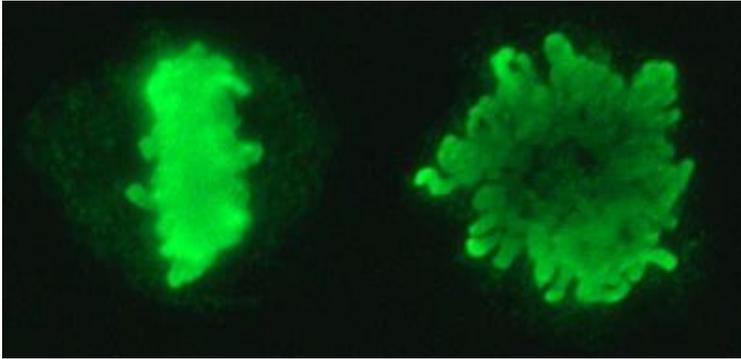
dell'inizio della profase, pertanto una cellula ha due centrosomi. Centrioli e centrosomi sono assenti nelle cellule vegetali. Una coppia di centrioli migra verso un polo della cellula e l'altra coppia verso il polo opposto. Dalle coppie di centrioli si origina il **fuso mitotico**, un fascio di microtubuli (filamenti proteici) che si estendono da un polo all'altro. I microtubuli nella cellula vegetale originano direttamente dalle proteine del citoplasma.



*Due nuclei cellulari in profase. La barra della scala è lunga 5 $\mu$ m.*

### Metafase

I microtubuli si attaccano al centromero dei cromosomi mediante il **cinetocore**. I cromosomi quindi legati ai microtubuli si muovono nel citoplasma fino a quando i microtubuli li dispongono lungo il piano equatoriale della cellula (piastra equatoriale). Lungo il piano equatoriale i cromosomi si dispongono in maniera tale da presentare un cromatidio rivolto verso un polo e l'altro cromatidio rivolto verso il polo opposto. A questo punto i cromosomi risultano allineati lungo il piano equatoriale e restano in questa posizione per circa un'ora. In questo stadio i cromosomi presentano il massimo grado di visibilità al microscopio ed è proprio in questo stadio che si riesce a determinare il cariotipo della cellula.



*Cromosomi in metafase*

### **Anafase**

In questa fase il centromero di ogni cromosoma si divide in due parti, ogni cromatidio quindi presenta il suo centromero attaccato alle fibre del fuso. I cromatidi di ciascun cromosoma si separano, un cromatidio viene trascinato dalle fibre del fuso verso un polo e l'altro cromatidio verso il polo opposto. In ogni metà della cellula vi è lo stesso numero di cromatidi. I microtubuli cominciano a disgregarsi e ogni cromatidio rappresenta un cromosoma.

### **Telofase**

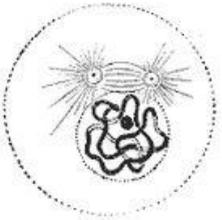
I microtubuli scompaiono, attorno a ciascuno dei due gruppi di cromosomi (singoli cromatidi) ricompare la membrana nucleare e i cromosomi ritornano a formare la cromatina.

Contemporaneamente ricompaiono anche i nucleoli. A questo punto si sono formati due nuclei figli, con lo stesso patrimonio cromosomico, all'interno di una singola cellula.

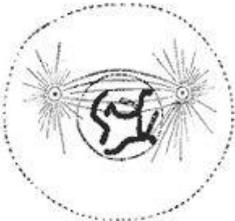
La cellula per completare la divisione cellulare deve dividere anche il citoplasma in maniera tale che si formino due cellule figlie separate, il processo di divisione del citoplasma prende il nome di citodieresi.

## Fasi della mitosi

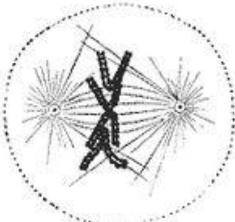
Fonte <http://en.wikipedia.org/wiki/Mitosis>



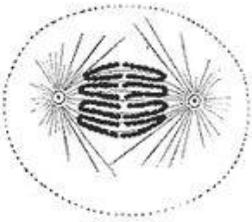
**Profase:** I due oggetti intorno al nucleo sono i centrosomi. La cromatina si condensa nei cromosomi.



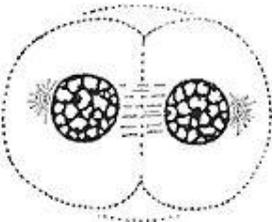
**Prometafase:** La membrana nucleare si disintegra, e i microtuboli hanno invaso lo spazio nucleare.



**Metafase:** I cromosomi si allineano lungo una immaginaria linea mediana (*piastra metafasica*) lungo il piano centrale della cellula



**Anafase:** i cromatidi fratelli si separano tra loro e migrano verso i due centrosomi ai poli opposti della cellula

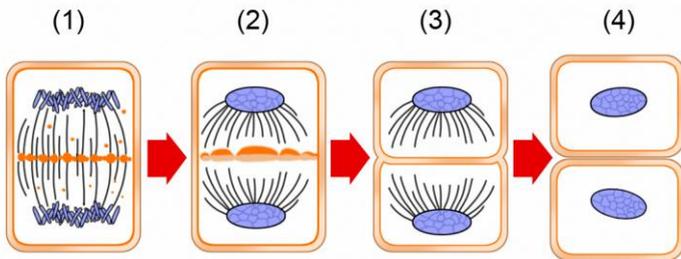


**Telofase:** i cromosomi si despiralizzano (decondensano). Intorno ai due nuovi complessi cromosomici ricompaiono le membrane nucleari e gli organelli si ricompongono

### 3.5 Citodieresi

La **citodieresi** è il processo di divisione del citoplasma che consente di separare le due cellule figlie. Inizia durante l'anafase e termina poco dopo la telofase. Nelle cellule animali la citodieresi si realizza in maniera differente rispetto alle cellule vegetali. Nelle cellule animali la divisione inizia in prossimità dell'**anello contrattile**, ovvero un fascio di filamenti proteici (filamenti di actina) che circonda la cellula. Tali filamenti restringono la cellula formando un solco che diventa sempre più profondo fino a dividere il citoplasma in due parti. Quindi in questo caso la divisione procede dall'esterno verso l'interno della cellula.

Nelle cellule vegetali invece sul piano equatoriale della cellula si forma una struttura formata da vescicole dell'apparato di Golgi che si uniscono formando la piastra cellulare. Dalla piastra cellulare si forma la parete cellulare che dividerà le due cellule figlie. In questo caso quindi la divisione del citoplasma procede dall'interno verso l'esterno della cellula.



Matematicamente.it

#### *Citodieresi di una cellula vegetale*

Alla fine della citodieresi avremo due cellule figlie identiche alla cellula madre per quanto riguarda il nucleo e aventi metà del citoplasma della cellula madre. Ogni cellula figlia, avendo un proprio nucleo e un proprio citoplasma può accrescersi per aumentare il proprio citoplasma, quindi attraverso di nuovo l'interfase e il ciclo cellulare ricomincia.

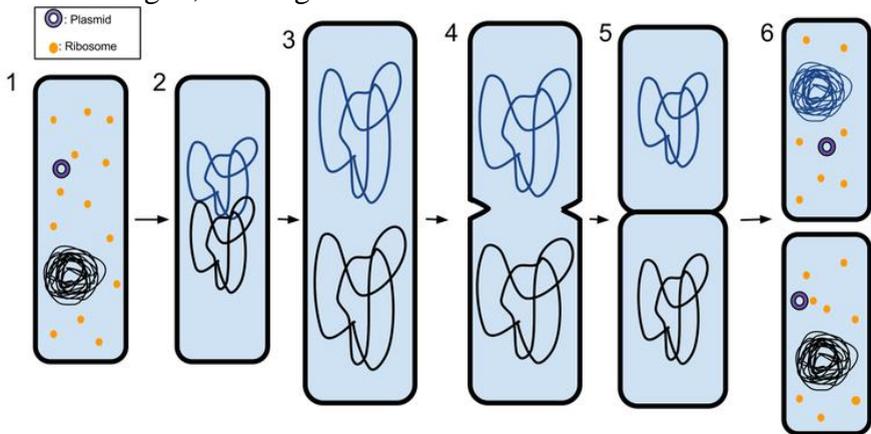
### 3.6 Divisione cellulare nelle cellule procariote

Le cellule dei procarioti (tra cui i batteri) sono molto più semplici delle cellule eucariote. Gli organismi procarioti possiedono una parete cellulare, non hanno una membrana nucleare che circonda il nucleo,

hanno un unico cromosoma, quindi una sola molecola di DNA. Il DNA di solito è di forma circolare e non è racchiuso all'interno del nucleo ma si trova attaccato alla membrana cellulare.

I procarioti essendo organismi unicellulari (a volte coloniali), sono organismi semplici e quindi possiedono anche un semplice meccanismo di divisione cellulare chiamato **scissione binaria**.

La scissione binaria inizia con una fase di duplicazione della molecola di DNA, quindi da un'unica molecola di DNA se ne formano due. Le due molecole si attaccano in due punti diversi della membrana cellulare e la cellula inizia a dividersi. Nella regione mediana della cellula la membrana e la parete cellulare iniziano a ripiegarsi verso l'interno e a formare un setto, contemporaneamente le due molecole di DNA si separano. Alla fine della formazione del setto la cellula risulta divisa in due cellule figlie, dove ognuna ha una molecola di DNA.



### *Scissione binaria batterica*

Ogni cellula figlia potrà a sua volta dividersi per scissione binaria e il ciclo ricomincia. Il ciclo cellulare dei procarioti essendo molto semplice richiede poco tempo per avvenire (circa 20 minuti) a differenza di quello degli eucarioti che dura circa 24 ore.

### **3.7 Regolazione del meccanismo di divisione cellulare**

La divisione cellulare è un meccanismo che non può continuare in maniera incontrollata all'infinito, una cellula infatti deve necessariamente sapere quando dividersi e quando arrestare il suo ciclo

cellulare. Negli organismi unicellulari ad esempio la continua divisione cellulare porterebbe ad aumento notevole del numero degli individui che entrerebbero in competizione per il cibo e per lo spazio.

Negli organismi pluricellulari le cellule si dividono con ritmi differenti in base alle necessità dei tessuti e degli organi ai quali appartengono, ad esempio nel nostro cervello, solo poche cellule nervose, dopo essersi sviluppate e differenziate continuano a dividersi, molte di esse invece invecchieranno. Le cellule staminali presenti nel midollo spinale invece si dividono continuamente e velocemente per produrre i globuli rossi, così anche le cellule dell'epidermide si dividono continuamente per sostituire le cellule danneggiate o morte.

La differenza dei ritmi di divisione cellulare è dovuta a vari meccanismi come l'invecchiamento cellulare e l'inibizione da contatto. L'**invecchiamento cellulare** limita il numero di divisioni cellulari, infatti una cellula di un neonato si divide molto più rapidamente di una cellula di un individuo maturo. Anche il meccanismo di **inibizione da contatto** limita il numero di divisioni cellulari, infatti quando le cellule si trovano a contatto si blocca la divisione cellulare. In seguito ad una ferita sulla pelle le cellule ai bordi della ferita iniziano a dividersi. La divisione termina quando i bordi della ferita tornano a coincidere, cioè quando le cellule si trovano di nuovo a contatto.

Non tutte le cellule arrestano la loro divisione quando si trovano a contatto, quindi quando non vi è uno spazio vuoto da occupare, è il caso delle cellule cancerose che continuano a dividersi ad un ritmo incontrollato provocando dei danni anche alle cellule sane.

I meccanismi descritti sono dei meccanismi che arrestano la divisione cellulare, esistono però dei meccanismi che inducono la cellula a dividersi. Una cellula infatti inizia a dividersi dopo aver raggiunto un **punto critico**, cioè quando ha raddoppiato la propria massa. In questo modo assicura alle cellule figlie tutte le sostanze di cui esse hanno bisogno. Ancora non è chiaro come una cellula si accorga di aver raggiunto il punto critico, si sa solo che una volta raggiunto essa inizia a dividersi.

Il raggiungimento del punto critico dipende dall'ambiente in cui si trova la cellula o anche dai segnali provenienti da altre cellule. Alcune cellule infatti emettono dei segnali che inducono le cellule a dividersi, questi

segnali sono chiamati **fattori di crescita** e generalmente sono delle proteine. Negli esseri umani la proteina segnale si chiama **sonic hedgehog** (SHH).

L'SHH viene emessa da una cellula e si lega al recettore situato sulla membrana della cellula che deve dividersi. Il legame tra il fattore di crescita e il suo recettore induce la cellula a dividersi. Una cellula cancerosa può produrre autonomamente un fattore di crescita oppure può presentare un recettore che induce la divisione senza ricevere un segnale.

### 3.8 Riproduzione agamica e gamica

Negli organismi unicellulari il meccanismo di divisione cellulare precedentemente descritto (mitosi) rappresenta anche un metodo riproduttivo. Un organismo unicellulare infatti si divide per mitosi e origina due cellule figlie, ovvero due nuovi individui che sono geneticamente identici al genitore. Questo tipo di riproduzione è detta **riproduzione agamica** o asessuata, un esempio è la scissione binaria tipica dei batteri ma anche di altri organismi unicellulari.

Anche alcuni organismi pluricellulari possono riprodursi agamicamente, un gruppo di cellule infatti può dividersi mitoticamente e dare origine ad un nuovo individuo. È il caso ad esempio della **propagazione vegetativa** delle piante, dove da una parte del corpo della pianta può svilupparsi un nuovo individuo, ad esempio un frammento della pianta (talea) che può essere un ramo, una foglia o radice messo nel terreno, può radicare e formare una nuova pianta. L'equivalente della propagazione vegetativa nel mondo animale è la **rigenerazione** che consiste nel rigenerare l'intero organismo da una parte del corpo, ad esempio se da una stella marina si stacca un braccio con attaccato parte del disco centrale da esso si può rigenerare un'altra stella marina, oppure un frammento di Planaria (verme piatto) può rigenerare un nuovo individuo.

Nella riproduzione agamica quindi il nuovo organismo viene originato direttamente dal genitore tramite una o più divisioni cellulari. Il nuovo organismo è quindi geneticamente identico al genitore, in quanto possiede lo stesso DNA, rappresenta cioè un clone. Questo tipo di riproduzione quindi non apporta variabilità genetica.

La maggior parte degli organismi pluricellulari si riproducono sessualmente. Nella **riproduzione gamica** o sessuata il nuovo individuo nasce dalla fusione di due gameti (cellule sessuali), uno di origine materna e uno di origine paterna. Dalla fusione dei gameti (fecondazione) si forma lo zigote, la prima cellula del nuovo individuo. Lo zigote si divide numerose volte per mitosi in un processo detto sviluppo embrionale o **embriogenesi**, attraverso il quale si formeranno tutte le cellule del nuovo individuo. La divisione cellulare continuerà fino al raggiungimento dello stadio adulto.

Nella nostra specie ogni cellula possiede 46 cromosomi suddivisi in 23 coppie di cromosomi omologhi, se anche i gameti avessero 46 cromosomi, dall'unione dei due gameti si formerebbe uno zigote con 92 cromosomi. Lo zigote dividendosi per mitosi evolverebbe in un individuo in cui tutte le cellule presenterebbero 92 cromosomi. Nella generazione successiva un gamete con 92 cromosomi si fonde con un gamete a 92 cromosomi formando uno zigote con 184 cromosomi e così via. Ovviamente tutto questo non è possibile; affinché ogni cellula del nuovo organismo mantenga lo stesso numero di cromosomi (46), ogni gamete deve possedere metà corredo cromosomico, cioè 23 cromosomi. I gameti infatti sono cellule aploidi cioè presentano solo una serie di cromosomi.

Negli animali e quindi anche nell'uomo, i gameti vengono prodotti in particolari organi chiamati **gonadi**, in particolare i gameti femminili (cellule uovo) vengono prodotti dalle cellule germinali presenti nelle ovaie (gonadi femminili) mentre i gameti maschili (spermatozoi) vengono prodotti dalle cellule germinali presenti nei testicoli (gonadi maschili). Tutte le cellule non germinali prendono il nome di cellule somatiche. Le **cellule somatiche** sono diploidi e si dividono solo per mitosi a differenza delle cellule germinali che essendo aploidi si dividono per **meiosi**, una divisione cellulare che riduce a metà il loro corredo cromosomico portando alla formazione dei gameti.

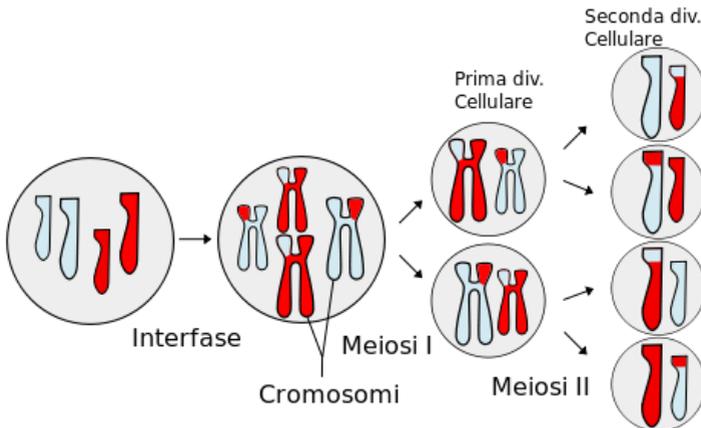
La meiosi è quindi un processo di divisione cellulare che trasforma una cellula diploide in aploide. Nell'uomo la meiosi dimezza il numero di cromosomi da 46 a 23 producendo gameti con 23 cromosomi, in questo modo attraverso la fecondazione si riformerà una cellula diploide (zigote) con 46 cromosomi dalla quale evolve il nuovo individuo.

Dei 46 cromosomi 23 sono di origine materna e 23 di origine paterna, pertanto il nuovo individuo sarà geneticamente diverso dai suoi genitori. La riproduzione gamica quindi apporta variabilità genetica a differenza della riproduzione agamica dove i nuovi nati sono dei cloni dei genitori.

In molti organismi come nel caso dell'uomo un individuo maschile produce solo gameti maschili (spermatozoi) mentre un individuo femminile produce solo gameti femminili (cellule uovo). In alcuni animali, come le tenie, i lombrichi, le chioccioline ma anche in molte piante un individuo può presentare sia gonadi femminili che maschili, quindi può produrre sia gameti femminili che maschili. Questi individui vengono chiamati **ermafroditi**. Gli ermafroditi possono quindi autofecondarsi ma, come avviene nella maggior parte dei casi, vengono comunque fecondati dal altri individui appartenenti alla stessa specie.

### 3.9 Meiosi

La meiosi è un processo di divisione cellulare che porta alla formazione di gameti (cellule aploidi). Una cellula diploide dopo aver duplicato il suo DNA va incontro a due divisioni successive dette meiosi I e meiosi II dando origine a quattro cellule aploidi. Ogni divisione meiotica è caratterizzata da quattro fasi: profase, metafase, anafase e telofase.



*Fasi della meiosi*

## Meiosi I

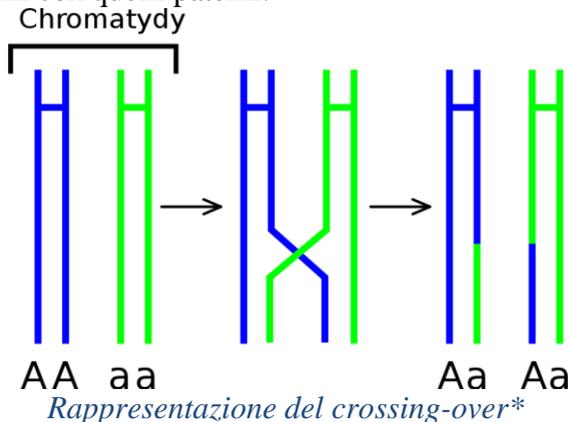
La meiosi I comprende quattro fasi (profase I, metafase I, anafase I e telofase I) ed inizia dopo che una cellula diploide ha duplicato il suo DNA. Nella cellula diploide sono presenti coppie di cromosomi omologhi e dopo la duplicazione ogni cromosoma è formato da due cromatidi uniti tramite il centromero.

### Profase I

La prima fase della meiosi è la profase I, in questa fase proprio come avviene nella profase della mitosi, i cromosomi si condensano, la membrana nucleare e il nucleolo si dissolvono e inizia a formarsi il fuso. In questa fase però avviene un evento nuovo che non si verifica nella mitosi e cioè si ha l'**appaiamento dei cromosomi omologhi**.

In una coppia di cromosomi omologhi, un cromosoma è di origine materna e uno di origine paterna. In seguito alla duplicazione ogni cromosoma è formato da due cromatidi, quindi durante l'appaiamento degli omologhi si forma una struttura, formata da quattro cromatidi, chiamata **tetrade**.

Durante l'appaiamento avviene il fenomeno del **crossing-over**, ovvero vi è lo scambio incrociato di pezzi equivalenti di cromatidi tra due cromosomi omologhi. Il risultato di tale scambio sarà la formazione di **cromosomi ricombinanti**, cioè cromosomi che contengono parti di origine materna e parti di origine paterna. Siccome i cromosomi sono i contenitori dei geni, attraverso il crossing-over si ha il rimescolamento dei geni materni con quelli paterni.



## Metafase I

Durante la metafase I le coppie di cromosomi omologhi (tetradi) vengono trascinati dalle fibre del fuso lungo il piano equatoriale della cellula. Lungo il piano equatoriale della cellula ogni tetrad si dispone in maniera tale da presentare un cromosoma rivolto verso un polo e l'altro rivolto verso il polo opposto. La modalità con la quale si dispongono i cromosomi appartenente alla coppia di omologhi lungo il piano equatoriale è casuale ed è indipendente dalle altre coppie di cromosomi omologhi. Cioè può succedere che il cromosoma materno di una coppia di omologhi si posizioni al di sopra del piano equatoriale e quello paterno al di sotto mentre nella successiva coppia di omologhi il cromosoma paterno si dispone al di sopra del piano equatoriale e il cromosoma materno al di sotto. Può anche accadere che tutte le coppie di cromosomi omologhi si dispongano in maniera tale da presentare tutti il cromosoma materno al di sopra del piano equatoriale e quello paterno al di sotto. Il meccanismo precedentemente descritto prende il nome di **assortimento indipendente** e da questo dipende quale tipo di cromosoma finirà nei gameti. Un gamete può infatti ricevere o il cromosoma materno o quello paterno per ogni coppia di cromosomi omologhi.

## Anafase I

Durante l'anafase I i cromosomi omologhi si separano, un cromosoma (ancora formato da due cromatidi) viene tirato dalle fibre del fuso verso un polo e l'altro verso il polo opposto.

## Telofase I

A ciascuno polo arriva un corredo cromosomico aploide anche se ogni cromosoma è formato ancora da due cromatidi. Attorno ai due gruppi di cromosomi ricompare la membrana nucleare e i nucleoli. I cromosomi ritornano a formare la cromatina. La cellula a questo punto per completare la divisione cellulare deve dividere anche il citoplasma. Il citoplasma viene diviso attraverso il processo di citodieresi.

Al termine della prima divisione meiotica da una cellula diploide se ne formano due aploidi. Le due cellule aploidi quindi ricevono solo un cromosoma da ogni coppia di cromosomi omologhi.

Le due cellule aploidi si preparano ad una seconda divisione meiotica.

## **Meiosi II**

Le due cellule aploidi che si sono formate dalla meiosi I attraversano una particolare interfase in quanto non vi è duplicazione del DNA. Esse cominciano un nuovo processo di divisione cellulare chiamato meiosi II. Questa divisione procede come una normale divisione mitotica solo che il risultato finale è differente. La mitosi in una cellula diploide porta alla formazione di due cellule figlie diploidi mentre la meiosi di una cellula diploide porta alla formazione di due cellule figlie aploidi. Alla fine della meiosi I ogni cromosoma della cellula aploide presenta ancora due cromatidi, durante la meiosi II vengono separati anche i cromatidi. Anche la meiosi II comprende varie fasi che sono: profase II, metafase II, anafase II e telofase II.

### **Profase II**

Questa fase è molto breve e non è preceduta da duplicazione del DNA. La membrana nucleare di ogni cellula figlia scompare e si forma il fuso meiotico. I cromosomi si legano alle fibre del fuso.

### **Metafase II**

In ciascuna delle due cellule figlie (cellule aploidi), i cromosomi, ancora formati da due cromatidi, vengono trascinati dalle fibre del fuso lungo il piano equatoriale della cellula. Lungo il piano equatoriale ogni cromosoma si dispone in maniera tale da presentare un cromatidio rivolto verso un polo e l'altro rivolto verso il polo opposto.

### **Anafase II**

In ciascuna delle due cellule figlie i cromatidi di ogni cromosoma si separano e vengono trascinati dalle fibre del fuso in direzioni opposte. Un cromatidio si dirige verso un polo e l'altro verso il polo opposto.

### **Telofase II**

Al polo di ciascuna delle due cellule figlie arriva un gruppo di cromatidi. Attorno ad ogni gruppo ricompare la membrana nucleare e le fibre del fuso scompaiono. All'interno di ogni cellula si sono formati due nuclei figli. Si completa la divisione cellulare attraverso la citodieresi. Al termine della citodieresi si sono formate quattro cellule figlie aploidi.

In breve una cellula diploide va incontro ad una prima divisione meiotica formando due cellule figlie aploidi, ogni cellula figlia va incontro ad una seconda divisione meiotica formando due cellule figlie aploidi. Alla fine della seconda divisione meiotica quindi si formano quattro cellule figlie aploidi.

Tuttavia c'è differenza tra meiosi maschile (spermatogenesi) e femminile (oogenesi), la prima produce quattro spermatidi uguali che matureranno in spermatozoi, l'oogenesi invece già alla fine della meiosi I formerà due cellule diverse. Una sarà un oocita secondario ricco di citoplasma, l'altra sarà un corpo polare povero di citoplasma. Entrambi andranno incontro alla meiosi II che produrrà dal primo ancora un ovulo ricco di citoplasma e un corpo polare, dall'altra si otterranno due corpi polari, i corpi polari generalmente degenerano. Tutto questo poiché l'ovulo deve fornire un citoplasma ricco di sostanza di riserva per un eventuale embrione.

### 3.10 Un errore durante la meiosi

La meiosi come abbiamo visto avviene soltanto nelle cellule germinali situate nelle gonadi. Nella nostra specie le gonadi femminili sono le ovaie mentre le gonadi maschili sono i testicoli. Le cellule germinali si dividono per meiosi e formano nella femmina i gameti femminili (cellule uovo) e nel maschio i gameti maschili (spermatozoi).

Il processo di formazione dei gameti si chiama **gametogenesi** ed in particolare il processo di formazione dei gameti femminili prende il nome di oogenesi e quello dei gameti maschili spermatogenesi.

I gameti sono cellule aploidi e nella nostra specie ogni gamete presenta 23 cromosomi. Non sempre però i gameti possiedono 23 cromosomi può succedere infatti che una cellula uovo o uno spermatozoo presenti un cromosoma in più (24) o un cromosoma in meno (22). In questo caso dopo la fecondazione anche lo zigote avrà un numero anomalo di cromosomi. Il numero anomalo di cromosomi porta all'insorgere di malattie genetiche o ad un non corretto sviluppo dell'embrione.

L'anomalia del numero di cromosomi in un gamete deriva da una **non disgiunzione** dei cromosomi durante la meiosi.

In una normale divisione meiotica durante l'anafase I si ha infatti la divisione dei cromosomi omologhi e durante l'anafase II si ha la

divisione dei cromatidi di un singolo cromosoma. In una divisione meiotica anomala, durante l'anafase I, una coppia di cromosomi omologhi non si separa e quindi si ritrovano nella stessa cellula figlia. Da questa cellula figlia si formeranno, in seguito alla seconda divisione meiotica, due gameti che conterranno due copie del cromosoma anziché una. Se questo gamete con due copie dello stesso cromosoma, si unisce con un gamete normale si formerà uno zigote con un cromosoma in più.

Nella specie umana una conseguenza della non disgiunzione dei cromosomi durante la meiosi provoca la sindrome di Down, una malattia caratterizzata da ritardo mentale, malformazioni cardiache, statura bassa, occhi a mandorla e anomalie nel resto del corpo. La sindrome di Down si verifica quando una cellula uovo con un cromosoma in più (due copie del cromosoma 21) si unisce con uno spermatozoo normale: il risultante zigote avrà tre copie del cromosoma 21 (**trisomia 21**). L'individuo che si svilupperà dallo zigote presenterà in ogni cellula 47 cromosomi.

### **3.11 Mitosi e meiosi a confronto**

Nei paragrafi precedenti è stato descritto approfonditamente sia il processo di divisione cellulare per mitosi che quello per meiosi. In questo paragrafo invece concentriamo l'attenzione sulle loro differenze.

Una prima differenza riguarda il tipo di cellula nel quale avvengono. La mitosi avviene sia in una cellula somatica aploide che in una cellula diploide, la meiosi avviene solo nelle cellule germinali diploidi.

La mitosi porta alla formazione di cellule figlie identiche alla cellula madre mentre la meiosi porta alla formazione di gameti che sono geneticamente differenti dalla cellula madre.

La diversità genetica è dovuta a fenomeni del crossing-over e dell'assortimento indipendente dei cromosomi, fenomeni che non si verificano durante la mitosi. In base a questi due fenomeni una cellula germinale di un essere umano può produrre diversi tipi di gameti, la diversità dipende dalle diverse combinazioni cromosomiche.

Una cellula che contiene una singola coppia di cromosomi omologhi, quando si divide per meiosi può formare solo due tipi di gameti. Infatti durante la metafase I un cromosoma appartenente alla coppia, ad

esempio quello di origine materna, può disporsi al di sopra del piano equatoriale della cellula e l'altro, quello di origine paterna, al di sotto del piano equatoriale oppure viceversa quello paterno al di sopra e quello materno al di sotto del piano equatoriale, quindi sono possibili solo due diverse disposizioni cromosomiche. La cellula germinale invece contiene 23 coppie di cromosomi omologhi pertanto sono possibili  $2^{23}$  diverse combinazioni cromosomiche che possono originare circa 8 milioni di differenti tipi di gameti. La meiosi è quindi la fonte della variabilità genetica.

Le cellule figlie prodotte dalla mitosi presentano lo stesso numero di cromosomi della cellula madre, i gameti prodotti dalla meiosi presentano la metà dei cromosomi presenti nella cellula madre.

La mitosi porta ad un accrescimento dell'organismo o a riparazioni di parti di un organismo, la meiosi porta alla formazione dei gameti quindi avviene soltanto negli individui che presentano riproduzione sessuata.

## **Approfondimenti**

Mitosi e meiosi, video

[http://www.youtube.com/watch?v=l\\_gLWK6bmx0](http://www.youtube.com/watch?v=l_gLWK6bmx0)

Mitosi, video

<http://www.youtube.com/watch?v=VIN7K1-9QB0>

Ricostruire un cariotipo, esercitazione interattiva

<http://learn.genetics.utah.edu/content/begin/traits/karyotype/>

Cellule in mitosi: osservazione delle cellule apicali di radici di cipolla, attività di laboratorio

<http://www.scienzeascuola.it/joomla/laboratorio/12-biologia/418-cellule-in-mitosi-osservazione-delle-cellule-apicali-di-radici-di-cipolla>

Confronto tra mitosi e meiosi, video

<http://www.oilproject.org/lezione/mitosi-e-meiosi-confronto-caratteristiche-fasi-e-funzioni-2755.html>

## **Videolezioni**

La cellula

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2529-la-cellula.html>

Cellula eucariota e procariote

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2540-cellula-eucariota-e-procariota.html>

## 4. L'ereditarietà

### 4.1 Eredità per mescolanza ed eredità particolata

Fin dall'antichità gli uomini avevano osservato che i propri figli erano simili ai genitori senza però porsi delle domande su come questo fosse possibile. Dal 1800 numerosi studi vennero eseguiti per scoprire come venissero trasmessi i caratteri ereditari, cioè quei caratteri che rendono unico un individuo. Molti a quei tempi pensavano che le caratteristiche di un individuo fossero il risultato di una mescolanza dei caratteri ereditari dei genitori. Questa teoria prese il nome di **eredità per mescolanza**. In base a questa teoria la prole presentava quindi dei caratteri ereditari provenienti dai genitori che restavano mescolati, proprio come unendo due colori diversi si ottiene un nuovo colore.

Fu [Gregor Mendel](#), abate del monastero agostiniano di Brün, ora Brno nell'attuale Repubblica Ceca, ed insegnante di fisica e scienze naturali, a sostenere che i caratteri ereditari si trasmettono alla prole mantenendo la loro identità, cioè senza mescolarsi. Tale teoria prese il nome di **eredità particolata**. Mendel arrivò a questa conclusione in seguito a numerosi esperimenti condotti sulle piante di pisello (*Pisum sativum*). I risultati ottenuti vennero pubblicati nel 1865 ma vennero compresi molto tempo dopo, intorno al 1900, quando vennero scoperti i cromosomi. Il merito più grande di Gregor Mendel fu quello di aver scoperto la modalità di trasmissione dei caratteri ereditari senza essere a conoscenza dei concetti base della genetica. Infatti i geni e i cromosomi non erano ancora stati scoperti e non si conosceva nulla sulla molecola del DNA, sulla mitosi e sulla meiosi.

È proprio con G. Mendel che nasce la genetica, ovvero la scienza che studia l'ereditarietà dei caratteri.

### 4.2 Gli esperimenti di Mendel

Mendel proveniva da una famiglia di contadini, quindi fin da piccolo aveva imparato le tecniche della coltivazione. Nell'orto del suo monastero iniziò quindi a coltivare varie piante da frutto ma utilizzò per i suoi esperimenti le piante di pisello, appartenenti alla famiglia delle leguminose. Utilizzò questa pianta per vari motivi: è facile da coltivare, ha un ciclo vitale breve, è in grado di autoimpollinarsi in quanto

presenta dei fiori ermafroditi e allo stadio adulto presenta sette caratteri facilmente osservabili.

*Caratteri delle piante di pisello studiati da Mendel*

Carattere studiato	Dominante	Recessivo
Lunghezza del fusto	Alto	Basso
Forma del seme	Liscio	Rugoso
Colore del seme	Giallo	Verde
Forma del baccello	Rigonfio	Solcato
Colore del baccello	Verde	Giallo
Colore del fiore	Violaceo	Bianco
Posizione dei fiori	Assiale	Terminale



*Fiori di pisello*

Per prima cosa egli cercò di ottenere delle **linee pure** di piante di pisello. Lasciava cioè che le piante si autoimpollinassero per molte generazioni.

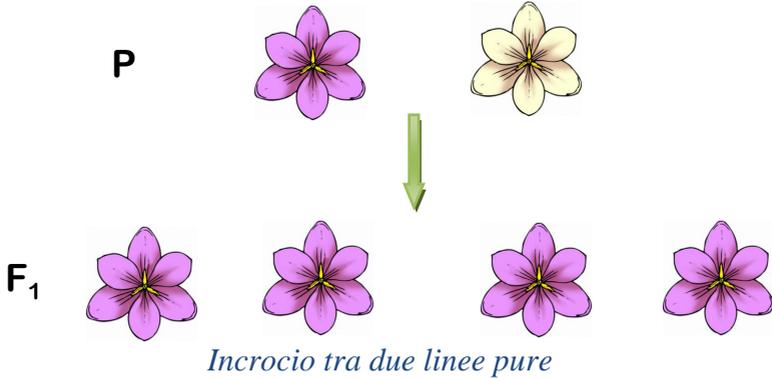
Il fiore della pianta di pisello possiede sia organi riproduttivi maschili (stami) che organi riproduttivi femminili (pistilli). Lo stame è formato

da un filamento e dall'antera, l'antera produce il polline, ovvero i gameti maschili. Il pistillo è formato dall'ovario, dallo stilo e dallo stigma, l'ovario contiene gli ovuli o gameti femminili. Il polline liberato dalle antere cade sullo stame dello stesso fiore e va a fecondare gli ovuli presenti nell'ovario che si trasformano in semi. I piselli presenti nel baccello sono quindi i semi, ogni seme è il prodotto di una fecondazione a sé stante.

Affinché le piante di pisello si autoimpollinassero, Mendel chiuse i fiori all'interno di sacchetti per evitare che venissero impollinati da pollini provenienti dalle piante vicine. In questo modo ottenne delle linee pure, ovvero piante che presentavano un carattere costante nel corso delle generazioni, ad esempio piante di pisello che ad ogni generazione producevano sempre fiori viola, oppure piante di pisello che producevano sempre semi lisci o sempre semi gialli.

Mendel, dopo aver ottenuto le linee pure, provò ad incrociare due linee pure che differivano per un solo carattere, ad esempio una linea pura che produceva sempre fiori viola con una che produceva sempre fiori bianchi. La linea pura a fiori viola e quella a fiori bianchi rappresentano la **generazione parentale (P)**, cioè la generazione dei genitori.

Per incrociare le due linee pure, Mendel tagliò gli stami di una pianta di pisello a fiori viola (linea pura) e prelevò con un pennellino il polline dalle antere della pianta di pisello a fiore bianco (linea pura), il polline venne portato sullo stigma della pianta a fiore viola, in questo modo impedì l'autoimpollinazione ed effettuò un'**impollinazione incrociata**. Piantando i semi provenienti da questo incrocio, si svilupparono piante di pisello tutte a fiori viola. Le piante di pisello a fiori viola rappresentano la prima generazione di discendenti, ovvero la **generazione filiale (F<sub>1</sub>)** o linea ibrida. Alla F<sub>1</sub> il carattere fiore bianco sembrava quindi scomparso mentre il carattere che si manifestava era il fiore viola. Il carattere che si manifestava (fiore viola) venne indicato come **dominante** mentre l'altro che restava nascosto (fiore bianco) venne indicato come **recessivo**.

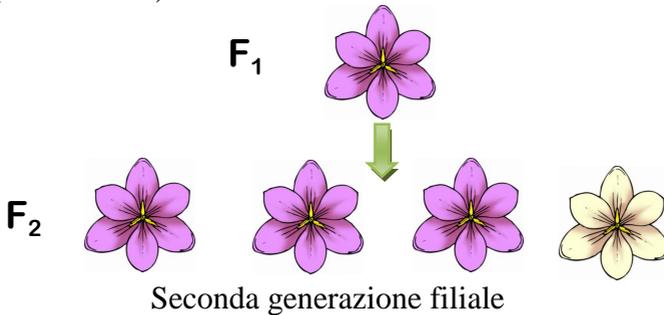


Questo esperimento venne ripetuto incrociando linee pure che differivano per altri caratteri, come ad esempio la forma del seme (incrociando cioè una linea pura a seme liscio con una linea pura a seme rugoso), il colore del seme (incrociando cioè una linea pura a seme giallo con una linea pura a seme verde) e così via per altre caratteristiche come per la forma del baccello (rigonfio-solcato), il colore del baccello (verde-giallo), la posizione dei fiori (assiale - terminale) e la lunghezza del fusto (alto-basso). In ognuno dei sette incroci, alla generazione filiale  $F_1$ , si ottenevano sempre ibridi che manifestavano un solo carattere ovvero quello dominante.

Mendel negli esperimenti successivi consentì l'autofecondazione degli individui appartenenti alla prima generazione, ad esempio l'autofecondazione degli individui a fiori viola della  $F_1$  ed osservò che alla **seconda generazione filiale  $F_2$**  ricompariva il carattere fiore bianco, ricompariva cioè il carattere recessivo. Il carattere recessivo ricompariva in proporzioni minori rispetto al carattere dominante, vi erano cioè più individui a fiori viola che individui a fiori bianchi. Questo evento dimostrò la teoria dell'eredità particolata in quanto nella seconda generazione filiale ricomparvero immutati entrambi i caratteri della generazione parentale (fiore viola e fiore bianco), inoltre nelle varie generazioni non vi erano fiori con colorazione intermedia.

Mendel oltre ad osservare i risultati ottenuti da ciascuno dei sette incroci analizzò i dati anche quantitativamente. Facendo riferimento sempre all'incrocio linea pura a fiori viola con linea pura a fiori bianchi, alla prima generazione si manifestava solo il carattere dominante (fiore

viola) mentre alla seconda generazione si manifestava anche il carattere recessivo (fiore bianco).



Mendel contò, nella seconda generazione, il numero di piante a fiore viola e il numero di piante a fiore bianco e stabilì che il loro rapporto era di 3:1, cioè vi erano circa tre fiori viola per ogni fiore bianco. Analizzò quantitativamente anche i risultati degli altri sei incroci e trovò sempre, alla seconda generazione filiale, la stessa proporzione. Mendel interpretò allora i risultati ottenuti e pensò che il carattere fiore bianco potesse ricomparire nella  $F_2$  perché vi era un “fattore” che sviluppa uno specifico carattere, questo fattore oggi viene chiamato **gene**.

### 4.3 Le leggi di Mendel

Oggi sappiamo infatti che è il gene a determinare una determinata caratteristica, come ad esempio il colore del fiore. Mendel aveva inoltre intuito che il carattere fiore bianco potesse ricomparire nella  $F_2$  perché era già presente nella  $F_1$  e quindi nella  $F_1$  vi erano due versioni dello stesso gene. Oggi le due versioni dello stesso gene vengono chiamate **alleli**. Quindi nelle piante di pisello, il gene che determina il colore del fiore, aveva in realtà due forme alternative, cioè due alleli, un allele responsabile del colore viola del fiore e uno del colore bianco. La ricomparsa nella  $F_2$  del carattere fiore bianco era possibile solo se alla  $F_1$  erano presenti entrambi questi alleli. Mendel infatti giunse alla conclusione che nella  $F_1$  vi erano due alleli per lo stesso gene (il termine allele è un termine moderno, Mendel utilizzava il termine “determinate”), solo che un allele si manifestava (**dominante**) mentre l’altro no (**recessivo**). Quindi l’allele per il carattere fiore viola era dominante sull’allele per il carattere fiore bianco. Siccome gli individui prodotti alla  $F_1$  presentavano due alleli per uno stesso gene Mendel

suppose che ogni linea pura, avesse due alleli per ciascun gene. Solo che nella linea pura i due alleli erano uguali (entrambi dominanti o entrambi recessivi) mentre dall'incrocio di due individui di linea pura si ottenevano ibridi con alleli diversi per ogni gene, uno dominante e uno recessivo.

### **Prima legge di Mendel: legge della dominanza**

Da questo Mendel trasse la prima legge della genetica o legge dell'**uniformità degli ibridi**: *l'incrocio di due individui di linea pura che differiscono per un solo carattere, cioè per una coppia di alleli, produrrà alla prima generazione filiale  $F_1$  ibridi tutti uguali che presentano uno solo dei due caratteri ovvero quello dominante.*

Oggi sappiamo che i geni sono porzioni del DNA che codificano per una proteina o sono responsabili dell'espressione di un carattere, ad esempio una pianta possiede un fiore viola perché ha un gene che determina quel colore. I geni sono situati sui **cromosomi**, quindi i cromosomi sono i contenitori dei geni. Ogni gene è posizionato in un punto preciso del gene detto **locus**. Ogni cromosoma porta migliaia di geni dove ognuno controlla un carattere.

Gli organismi eucarioti presentano cellule diploidi, quindi ogni cellula (tranne i gameti) possiede due copie di ciascun cromosoma (coppie di cromosomi omologhi) e di conseguenza due copie di ciascun gene, ovvero due alleli. I due alleli di ogni gene possono essere uguali, in questo caso l'organismo è **omozigote** per quel gene oppure gli alleli possono essere diversi, in questo caso l'organismo è **eterozigote** per quel gene. Se l'individuo è eterozigote per un gene, un allele è dominante sull'altro, viene cioè espresso solo uno dei due diversi alleli. Se un individuo è omozigote per un gene può avere entrambi gli alleli dominanti, in questo caso è **omozigote dominante** oppure entrambi gli alleli recessivi, in questo caso è **omozigote recessivo**.

L'allele dominante si indica con una lettera maiuscola dell'alfabeto mentre l'allele recessivo si indica con una lettera minuscola.

L'insieme dei geni responsabili delle caratteristiche di un individuo indica il **genotipo** di un individuo. L'insieme delle caratteristiche espresse da un individuo indica invece il **fenotipo**, il fenotipo è quindi l'insieme delle caratteristiche fisiche, chimiche e comportamentali di un

individuo. Ad esempio nella nostra specie, la statura, il colore degli occhi, il colore della pelle o il carattere di un individuo sono tutti caratteri fenotipici. Negli esperimenti di Mendel il colore viola o bianco del fiore delle piante di pisello oppure il colore giallo o verde del seme, rappresentano dei caratteri fenotipici.

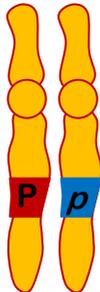
Quindi il fenotipo dipende dal genotipo o meglio è il genotipo che determina il fenotipo di un individuo. Il fenotipo dipende anche dall'ambiente in cui un individuo si sviluppa.

Individuo omozigote per il carattere dominante fiore viola

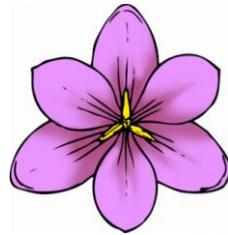


Genotipo PP

Individuo eterozigote per il carattere colore del fiore



Genotipo Pp

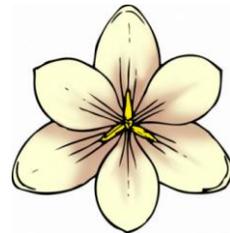


Fenotipo  
"Fiore viola"

Individuo omozigote per il carattere recessivo fiore bianco

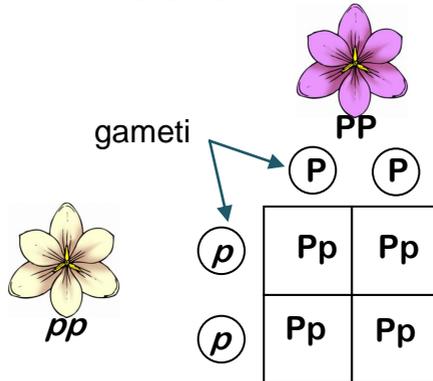


Genotipo pp



Fenotipo  
"Fiore bianco"

*Individuo omozigote ed eterozigote per un carattere*

*Quadrato di Punnett*

### **Seconda legge di Mendel: legge della segregazione dei caratteri**

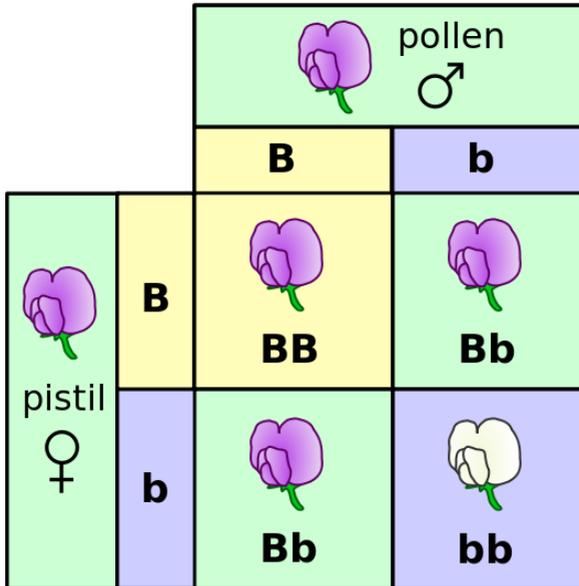
Le linee pure presentano un genotipo omozigote, ad esempio il genotipo della pianta di pisello a fiori viola di linea pura è **PP**, cioè il gene relativo al colore del fiore presenta due alleli uguali, entrambi dominanti. Il genotipo della pianta di pisello a fiori bianchi di linea pura è **pp**, cioè il gene relativo al colore del fiore presenta due alleli uguali, entrambi recessivi.

La pianta omozigote a fiori viola produce gameti ognuno contenente un allele **P** mentre la pianta di pisello omozigote a fiori bianchi produce gameti ognuno contenente l'allele **p**. Mendel effettuò una fecondazione incrociata prelevando i gameti maschili (polline) dalla linea pura a fiori bianchi e trasportandoli sullo stamma della pianta di pisello a fiore viola. Dall'unione dei gameti **P** e **p** si formarono, alla prima generazione ( $F_1$ ), degli ibridi con genotipo eterozigote **Pp**. Gli ibridi presentavano cioè tutti fiori viola in quanto possedevano l'allele dominante **P** responsabile della colorazione viola del fiore. Mendel lasciò che gli ibridi si autofecondassero.

Gli ibridi **Pp** potevano produrre attraverso la meiosi gameti di due tipi **P** o **p**. Per determinare quale fosse la probabilità che un gamete riceva l'allele **P**, Mendel utilizzò le leggi matematiche della probabilità.

La probabilità che un gamete contenga l'allele **P** è del 50% e la probabilità che contenga l'allele **p** è del 50%. Con la fecondazione un gamete contenente **P** può unirsi con uno contenente l'allele **p** oppure con uno contenente l'allele **P**, quindi la seconda generazione può avere

genotipo **PP** corrispondente al fenotipo fiori viola, **Pp** corrispondente al fenotipo fiori viola, **pP** corrispondente al fenotipo fiore viola e **pp** corrispondente al fenotipo fiore bianco. Da questo esperimento Mendel osservò che alla seconda generazione filiale i tre quarti della progenie avevano il fenotipo fiore viola e un quarto il fenotipo fiore bianco quindi il rapporto tra i fenotipi era di 3:1.



*Un quadrato di Punnett che illustra un incrocio tra due piante di pisello eterozigoti per il colore dei fiori: viola (B, dominante) e bianco (b, recessivo)*

Da questa osservazione Mendel trasse la seconda legge, la **legge della segregazione dei caratteri**.

Mendel concluse che ogni individuo presenta due versioni dello stesso gene, con un linguaggio attuale potremmo dire che ogni individuo possiede due alleli per lo stesso gene. Tutti gli organismi a riproduzione sessuata presentano cellule diploidi (cellule somatiche), le cellule diploidi possiedono due alleli per ciascun gene. Un allele è di origine materna e uno di origine paterna. Al momento della formazione dei gameti i due alleli **segregano** o si separano in maniera tale che ogni gamete presenti solo un allele per ogni gene. Con la fecondazione, cioè

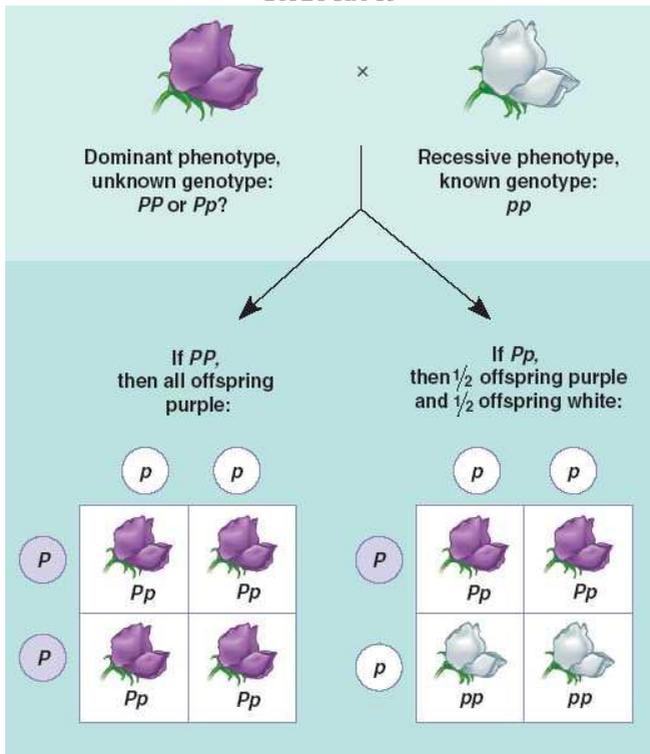
con l'unione del gamete maschile con quello femminile, gli alleli tornano a formare una coppia, quindi il nuovo individuo avrà un allele di origine materna e uno di origine paterna.

La legge della segregazione dei caratteri è facile da comprendere con le conoscenze attuali relative ai geni, ai cromosomi, alla separazione dei cromosomi omologhi durante la meiosi ma ai tempi in cui Mendel effettuò le sue ricerche non si disponeva di tali conoscenze.

Per comprendere meglio i risultati ottenuti da Mendel possiamo rappresentarli graficamente nel quadrato di Punnett, un metodo ideato dal genetista [Reginald Punnett](#) nel 1905. Il quadrato di Punnett è costituito da una tabella dove sul lato superiore si inseriscono i tipi di gameti prodotti da un genitore e sul lato sinistro i tipi di gameti prodotti dall'altro genitore, al centro vengono individuati i genotipi derivanti dall'unione dei due gameti. In questo modo è possibile prevedere le combinazioni alleliche risultanti da un incrocio.

### **Testcross o reincrocio**

Gli ibridi ottenuti alla prima generazione filiale avevano genotipo **Pp** e tutti lo stesso fenotipo (fiori viola). Mendel impedì che si autofecondassero e li incrociò con individui omozigoti recessivi della generazione parentale. Egli aveva infatti intuito che gli ibridi della  $F_1$  erano geneticamente diversi dagli individui a fiori viola della linea pura, anche se entrambi possedevano lo stesso fenotipo (fiori viola). Non conoscendo il genotipo degli ibridi pensò che poteva determinarlo reincrociando tali individui con individui omozigoti recessivi **rr** con fenotipo fiori bianchi. Il genotipo degli ibridi infatti poteva essere **PP** (fiori viola) oppure **Pp** (fiori viola). Se il genotipo degli ibridi fosse omozigote dominante **PP** allora la progenie sarebbe stata tutta eterozigote **Pp** ma siccome da questo incrocio si ottennero metà individui a fiori viola e metà a fiori bianchi Mendel capì che il genotipo degli ibridi era eterozigote **Pp**.

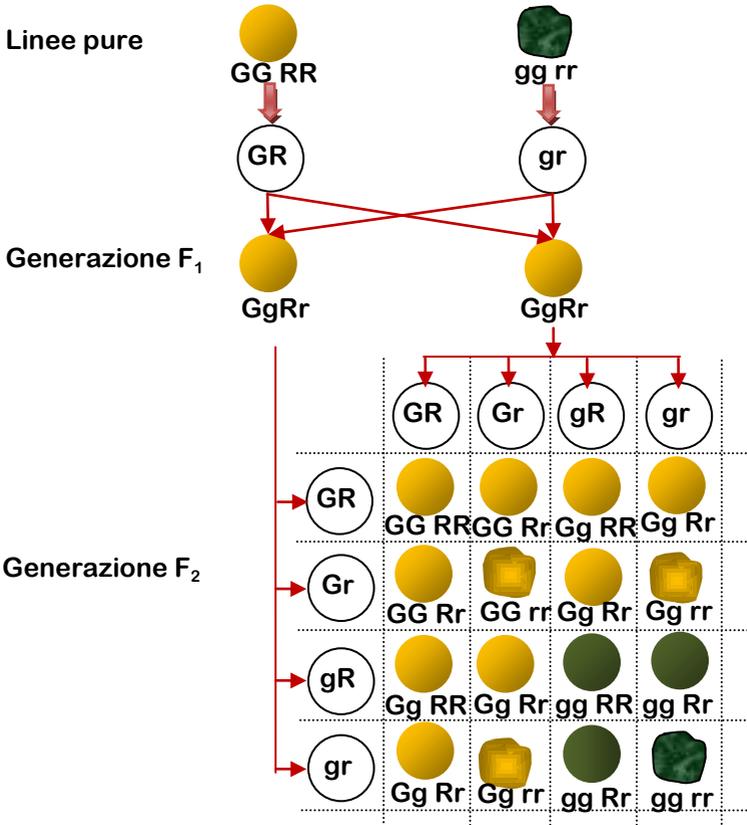


*Test cross o re incrocio*

Gli individui a genotipo **Pp** infatti producevano gameti di due tipi **P** oppure **p** mentre gli omozigoti recessivi della linea pura producevano solo gameti di tipo **p**. Con la fecondazione metà della progenie era formata da individui eterozigoti a fiori viola ( $Pp$ ) e metà da individui omozigoti a fiori bianchi ( $pp$ ). Questo fu un'ulteriore conferma della legge della segregazione dei caratteri.

### **Terza legge di Mendel: legge dell'assortimento indipendente**

Fin qui Mendel ha eseguito gli incroci tra due linee pure che differivano per un solo carattere ereditario ad esempio il colore del fiore. Si chiese cosa sarebbe successo incrociando due linee pure che differissero per due caratteri ereditari (incrocio diibrido), incrociando cioè due linee pure che differiscono per il colore del seme e per la forma del seme.



Una linea pura produceva semi lisci e gialli l'altra semi rugosi e verdi. Dagli incroci precedenti Mendel sapeva che il carattere giallo è dominante sul verde e il carattere liscio è dominante sul rugoso. Indicando con **R** l'allele per la forma liscia del seme e con **r** quello per la forma rugosa, con **G** l'allele per il colore giallo e **g** l'allele per il colore verde, avremo che il genotipo della linea pura è **RRGG** per le piante di pisello con semi lisci e gialli e **rrgg** per le piante di pisello a seme rugoso e verde. La linea pura **RRGG** può produrre solo un tipo di gameti (**RG**) mentre la linea pura **rrgg** può produrre solo un tipo di gameti (**rg**). Dall'unione dei gameti si avranno alla prima generazione ( $F_1$ ) tutti individui con genotipo **RrGg** e quindi con fenotipo a seme

liscio e giallo. Mendel lasciò che gli ibridi **RrGg** si autofecondassero e alla seconda generazione ( $F_2$ ), contando i numeri dei fenotipi, ottenne che 315 piante avevano semi gialli e lisci, 108 piante semi lisci e verdi, 101 piante semi rugosi e gialli e 32 piante semi rugosi e verdi. Il rapporto tra i fenotipi è di 9:3:3:1, cioè per ogni 9 semi gialli e lisci si avevano 3 semi rugosi e gialli, 3 semi lisci e verdi e 1 seme rugoso e verde.

Mendel notò che se contava separatamente i fenotipi, essi erano in un rapporto di 3:1. Mendel infatti contò nella  $F_2$  prima i semi a fenotipo giallo (416) poi quelli a fenotipo verde (140), il loro rapporto era di 416:140, ovvero 3:1. Allo stesso modo contò prima i semi a fenotipo liscio (101) e poi quelli a fenotipo rugoso (32), il loro rapporto era di 3:1. In pratica, anche in questo caso, il rapporto tra fenotipi era di 3:1 proprio come nell'incrocio tra piante che differivano per un solo carattere.

Da questa osservazione Mendel trasse la legge dell'assortimento indipendente. La **legge dell'assortimento indipendente** afferma che i caratteri ereditari vengono trasmessi indipendentemente l'uno dall'altro, cioè la trasmissione di un carattere non influenza l'altro. Ad esempio la trasmissione del carattere giallo del seme è indipendente dalla trasmissione del carattere rugoso, quindi nella progenie si possono trovare diverse combinazioni di questi caratteri e l'uno non influenza l'altro.

Con la rappresentazione grafica tramite il quadrato di Punnett è molto più semplice capire i risultati ottenuti da Mendel. In pratica gli individui con genotipo **RrGg** producono quattro tipi di gameti **RG**, **rG**, **Rg** e **rg**. Dall'unione di questi gameti si ottengono alla  $F_2$  sedici combinazioni di tali caratteri che producono diversi fenotipi che sono tra loro in un rapporto di 9:3:3:1.

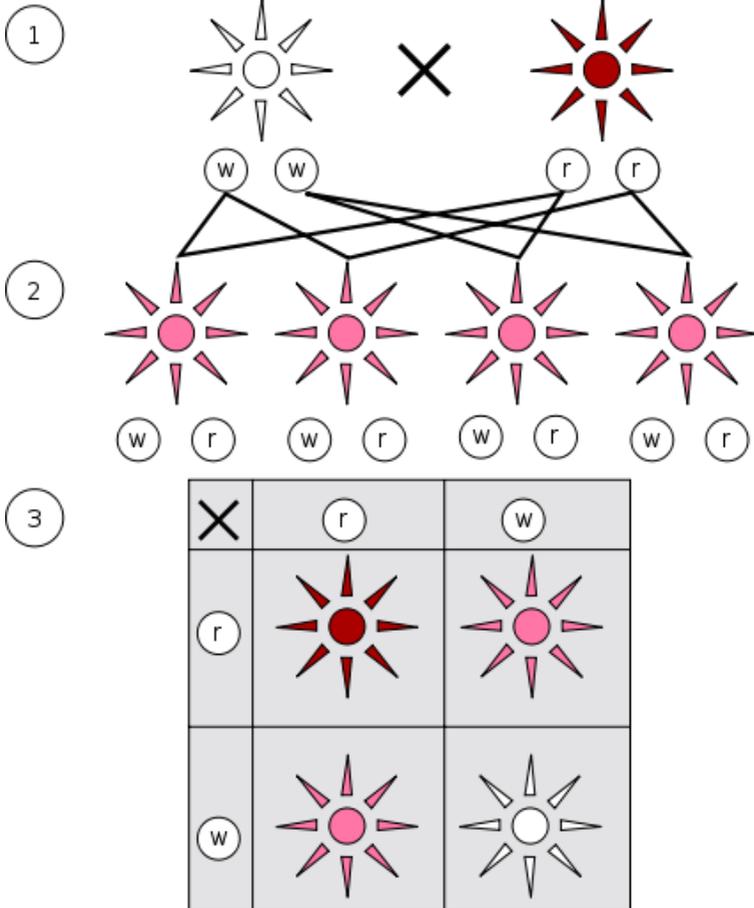
Mendel per verificare se aveva individuato correttamente il genotipo degli ibridi della  $F_1$ , ovvero **RrGg**, reincrociò questi individui con piante che producevano semi rugosi e verdi, entrambi questi caratteri sono recessivi e quindi il genotipo è sicuramente **rrgg**. Se il genotipo degli ibridi è corretto, ogni ibrido produce quattro tipi di gameti **RG**, **rG**, **Rg** e **rg** mentre la pianta a semi rugosi e verdi produce un solo tipo di gameti **rg**. Dall'unione casuale dei gameti non si otterranno fenotipi

nel rapporto 9:3:3:1 ma fenotipi in proporzioni uguali ovvero un quarto a fenotipo liscio e giallo, un quarto a fenotipo rugoso e giallo, un quarto a fenotipo liscio e verde e un quarto a fenotipo rugoso e verde. Questo risultato si può meglio capire osservando il quadrato di Punnett. Il reincrocio quindi evidenziò la correttezza dei genotipi dei gameti prodotti dagli ibridi.

#### **4.4 Fenomeni ereditari complessi**

##### **Dominanza incompleta**

Le leggi scoperte da Mendel non valgono sempre per tutti i casi di trasmissione dei caratteri ereditari. Dagli esperimenti di Mendel si aveva infatti alla  $F_1$  sempre una progenie con fenotipo uguale a uno dei due genitori, ovvero uguale a quello con il carattere dominante, ad esempio gli ibridi a fiori viola (dominanza completa). A volte però può succedere che la progenie  $F_1$  abbia un fenotipo intermedio ai due genitori, come ad esempio la colorazione dei fiori delle piante di bocca di leone (*Anthirrinum majus*). Incrociando una pianta di bocca di leone a fiori rossi con una a fiori bianchi si ha alla  $F_1$  una progenie di piante di bocca di leone a fiori rosa (fenotipo intermedio). Questo è un esempio di dominanza incompleta. Il fenotipo rosa potrebbe far pensare alla validità della teoria dell'eredità per mescolanza, ma non è così. Alla seconda generazione  $F_2$  infatti la progenie presenta sia piante a fiori rossi che piante a fiori bianchi oltre a piante a fiori rosa. Questo dimostra che gli alleli non si sono mescolati.



*Dominanza incompleta\**

### Codominanza

È il caso in cui gli alleli negli organismi eterozigoti non mostrano fenotipi intermedi ma li esprimono contemporaneamente. Nel caso dei gruppi sanguigni umani il gruppo AB ne è una dimostrazione.

### Alleli multipli

Negli esperimenti condotti da Mendel i caratteri ereditari studiati presentano solo due alleli per ogni gene. Un gene però, nella maggior parte dei casi, può portare anche più di due alleli. Quando un gene porta tre o più alleli, tali alleli vengono definiti **alleli multipli**. Un esempio è

rappresentato dai gruppi sanguigni dove tre alleli dello stesso gene, determinano, a seconda delle diverse combinazioni, i gruppi sanguigni A, B, AB e O che sono invece quattro.

### **Controllo polimerico o eredità poligamica**

In natura è raro che un gene controlli un carattere, la maggior parte dei caratteri sono controllati da più geni. Ad esempio la colorazione della pelle dell'uomo è controllata da più geni dalla cui combinazione possono risultare diverse tonalità di colorazione. In questo caso quindi il fenotipo dipende da più geni.

Le lettere che definiscono i gruppi sanguigni si riferiscono a due polisaccaridi (A e B) che ritrovano sulla superficie dei globuli rossi. I quattro gruppi sono il risultato delle loro possibili combinazioni, cioè il gruppo è A per la presenza del polisaccaride A, B per il polisaccaride B, AB se sono presenti entrambi (effetto della codominanza), gruppo O se sono entrambi assenti.

### **Pleiotropia**

Si parla di pleiotropia quando è un singolo gene che provoca molti effetti sul fenotipo di un organismo. Nell'uomo è il caso dell'anemia falciforme che è causata da un solo gene difettoso che provoca la sintesi di un'emoglobina anomala, ma anche ad una serie di altre gravi conseguenze.

## **4.5 La teoria cromosomica dell'ereditarietà**

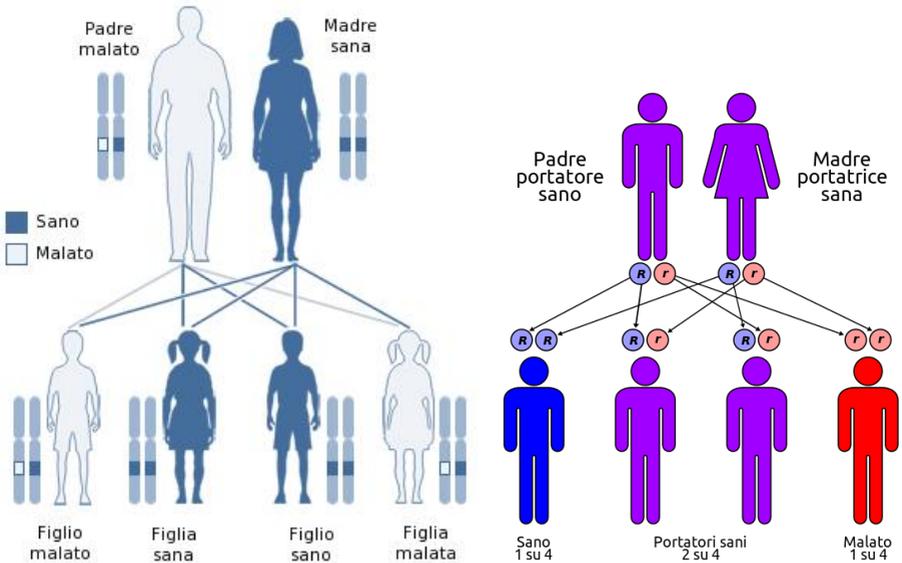
Gli esperimenti condotti da Mendel vennero pubblicati nel 1865. Fino agli anni novanta ad essi non fu data molta importanza. All'inizio del novecento il lavoro di Mendel venne rivalutato. Nel 1902 [Walter Sutton](#) e [Theodor Boveri](#) proposero la **teoria cromosomica dell'ereditarietà** con la quale affermarono che i geni sono localizzati sui cromosomi. Mendel aveva affermato che le coppie di geni si dividono nei gameti durante la meiosi, Sutton e Boveri dimostrarono che anche i cromosomi sono presenti in coppia e si dividono durante la meiosi. Dimostrarono che ciascun cromosoma trasporta numerosi geni e che questi geni vengono ereditati insieme.

Nel 1910 altri esperimenti condotti dal genetista [Thomas Hunt Morgan](#) confermarono tale teoria. Morgan condusse esperimenti sul moscerino della frutta (*Drosophila melanogaster*). Gli esperimenti vennero condotti

sul moscerino della frutta in quanto è facile da allevare, le sue cellule contengono solo quattro coppie di cromosomi di cui tre coppie sono autosomi e una coppia sono cromosomi sessuali, i cromosomi sessuali nella femmina sono XX e nel maschio XY.

Morgan osservando i moscerini che stava allevando notò che un moscerino presentava occhi bianchi mentre i moscerini normalmente presentano occhi rossi, ipotizzò quindi che si trattasse di una mutazione. Egli allora incrociò tale maschio a occhi bianchi con una femmina a occhi rossi ed ottenne alla prima generazione  $F_1$  tutti individui a occhi rossi. In questo modo capì che l'allele per gli occhi rossi era dominante sull'allele per gli occhi bianchi. Reincrociò gli individui maschi e femmine della  $F_1$  ed ottenne nella  $F_2$  che un individuo su quattro aveva occhi bianchi e tre individui su quattro avevano occhi rossi, ottenne cioè un risultato mendeliano, un rapporto di 3:1 tra gli individui con gli occhi rossi e quelli con gli occhi bianchi. Quando Morgan osservò il sesso degli individui notò che gli individui con gli occhi bianchi erano maschi. Alla  $F_2$  in pratica tutte le femmine avevano occhi rossi, inoltre il 50% dei maschi aveva occhi rossi mentre l'altro 50% aveva occhi bianchi. Morgan dedusse quindi che il gene responsabile del colore dell'occhio fosse localizzato sul cromosoma X. Nella  $F_2$  le femmine avendo cromosomi sessuali XX, avevano ereditato sia l'allele occhi rossi, localizzato sul cromosoma X, sia l'allele occhi bianchi, localizzato sul cromosoma X omologo. I maschi invece se ereditano l'allele occhi bianchi sul cromosoma X non presentano l'omologo, in quanto al posto del cromosoma X vi è il cromosoma Y. Era quindi la dimostrazione che i geni sono localizzati sui cromosomi e che il cromosoma Y, date le piccole dimensioni, porta pochissime informazioni genetiche e quindi non può evitare che un gene, anche se recessivo, si manifesti quando è presente sul cromosoma X della coppia sessuale maschile.

La scoperta di nuovi geni, in numero superiore ai cromosomi, portò alla conclusione che numerosi geni sono disposti su un cromosoma. Morgan in seguito ad altri esperimenti condotti su *Drosophila melanogaster* scoprì che i geni che si trovano sullo stesso cromosoma non segregano indipendentemente nei gameti ma vengono trasmessi insieme (associazione genica).



*Trasmissione autosomica dominante (sinistra) e recessiva (destra)\**

## Approfondimenti

Leggi di Mendel, video

<http://www.oilproject.org/lezione/leggi-di-mendel-fondamenti-e-applicazioni-5101.html>

## 5. Struttura e duplicazione del DNA

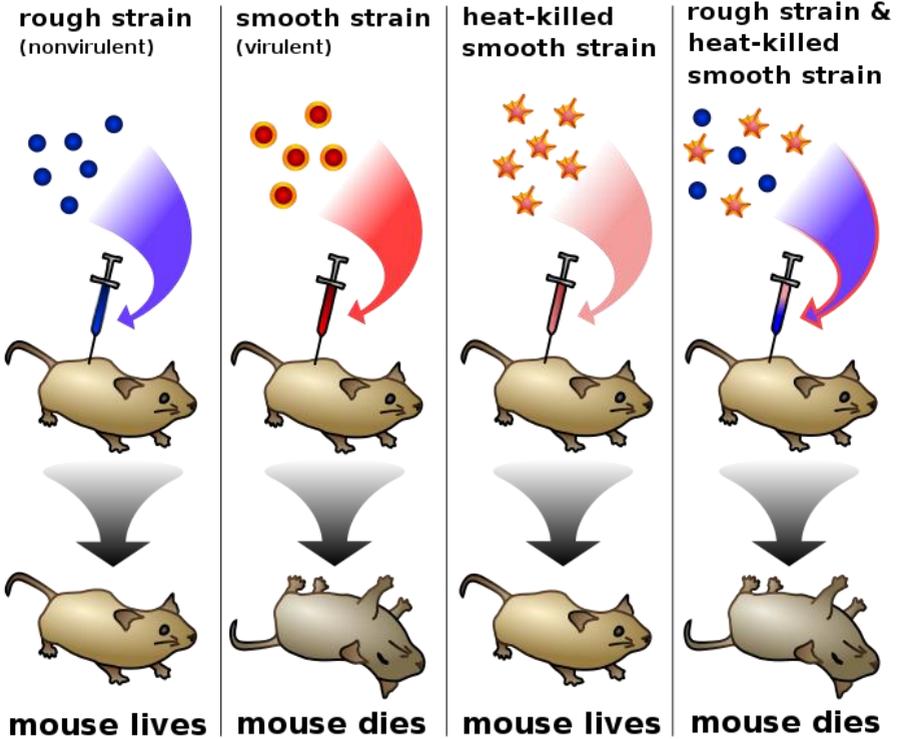
### 5.1 Il DNA e il materiale genetico

Il DNA è una molecola formata da filamenti polinucleotidici, dove ogni nucleotide è formato da uno zucchero a cinque atomi di carbonio (deossiribosio), da un gruppo fosfato e da una base azotata. La sua struttura è relativamente semplice perciò ci sono voluti molti anni di ricerche per convincere la maggior parte degli scienziati che è proprio il DNA la molecola depositaria dell'informazione genetica e non le proteine.

La conferma arrivò nel 1944 in seguito ad esperimenti condotti da [O. T. Avery](#), [C. M. MacLeod](#) e [M. McCarty](#). In realtà, gli esperimenti di Avery e dei suoi collaboratori furono una continuazione di esperimenti condotti precedentemente (1928) da [F. Griffith](#). Quest'ultimo stava studiando un vaccino contro la poliomelite, una malattia causata dal batterio *Streptococcus pneumoniae* e inoculando tale batterio nei topi cercava di indurre una risposta immunitaria.

Griffith disponeva di due ceppi di tale batterio, uno S (ceppo liscio) che iniettato in un topo induceva la malattia e ne provocava la morte, l'altro R (ceppo rugoso) che invece non risultava letale dopo essere stato iniettato. Inoltre i batteri appartenenti al ceppo S (letali), se venivano uccisi dal calore e successivamente iniettati nel topo non lo erano più. Quando però vennero iniettati nel topo i batteri uccisi del ceppo S (che non dovevano più essere letali) insieme ai batteri vivi del ceppo R (che non sono letali), non solo procuravano la morte del topo, ma nel sangue del topo erano presenti batteri S vivi. Ciò significava evidentemente che qualcosa era passato dai batteri S uccisi ai batteri R, trasformandoli in batteri letali, questo fenomeno venne chiamato trasformazione.

Successivamente nel 1944 fu Avery con i suoi collaboratori a scoprire che era proprio il DNA la sostanza che induceva una trasformazione nei batteri non letali.



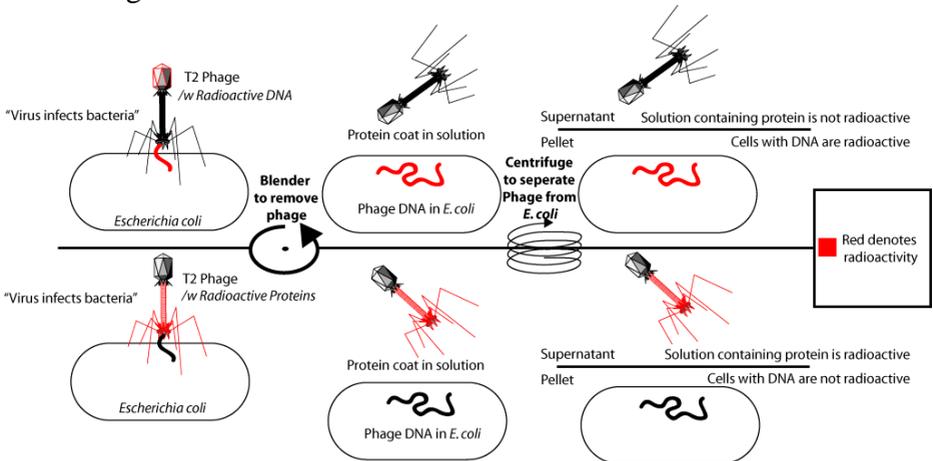
### *Griffith experiment*

Nel 1952 gli esperimenti condotti da [Alfred D. Hershey](#) e [Martha Chase](#) confermarono la teoria di Avery. Essi utilizzarono un batteriofago o fago ( $T_2$ ), un virus in grado di infettare il batterio *Escherichia coli* (uno dei più comuni batteri dell'intestino umano) e di riprodursi solo all'interno della cellula ospite.

Il corpo di questo fago (testa, coda e fibre) è costituito da proteine e il DNA è contenuto nella testa. Siccome solo una parte del batteriofago passa nella cellula ospite, ciò che entra deve portare con sé le informazioni genetiche, bisognava quindi capire se nel batterio entrava la parte proteica del virus oppure il DNA.

Le proteine contengono zolfo ma non fosforo, mentre il DNA contiene fosforo ma non zolfo, quindi Hershey e Chase marcarono le proteine dei fagi con isotopi radioattivi dello zolfo ( $^{35}\text{S}$ ) e il DNA con isotopi

radioattivi del fosforo ( $^{32}\text{P}$ ). Aggiunsero i fagi così marcati ad una coltura di *Escherichia coli*. Dopo poco i fagi infettarono i batteri. I due scienziati trovarono nel batterio infettato solo fosforo radioattivo e non zolfo radioattivo, pertanto dedussero che nel batterio era entrato solo il DNA del fago. Inoltre i fagi che si erano riprodotti nella cellula ospite e che da essa erano fuoriusciti contenevano gli isotopi radioattivi del fosforo. Scoprirono così che l'informazione genetica necessaria alla riproduzione dei fagi è contenuta nel DNA che rappresenta quindi il materiale genetico.



*Hershey-Chase experiment*

## 5.2 La struttura della molecola del DNA

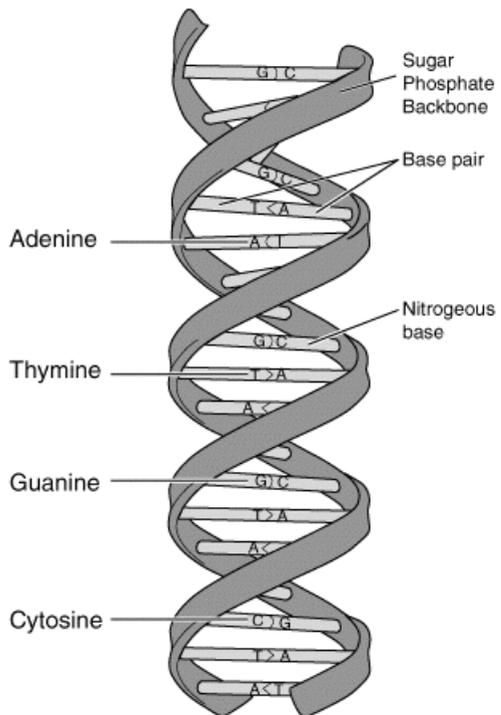
La composizione del DNA era nota già negli anni venti ma soltanto nel 1953 venne scoperta la sua struttura grazie agli studi dello statunitense [James Watson](#) e il britannico [Francis Crick](#).

Quando negli anni cinquanta i due ricercatori iniziarono a studiare la molecola del DNA avevano già molte informazioni a riguardo: conoscevano la composizione della molecola, la sua lunghezza e sapevano che probabilmente aveva una struttura a doppia elica, dalle ricerche effettuate dalla biofisica inglese [Rosalind Franklin](#),

Questa, nel 1951, aveva iniziato le ricerche per scoprire la struttura del DNA e lavorò separatamente ed indipendentemente da Watson e Crick. Utilizzando una tecnica chiamata “cristallografia a raggi X”, ottenne delle immagini del DNA che le permisero di ipotizzare una struttura a doppia elica, in cui i filamenti di nucleotidi del DNA sono avvolti a spirale.

In pratica la struttura del DNA era essere paragonata ad una scala a pioli attorcigliata dove i due montanti della scala sono le catene di zuccheri e gruppi fosfato, mentre i pioli che tengono uniti i montanti sono formati da due basi azotate unite da legami chimici.

Il DNA è formato da quattro tipi di nucleotidi che si differenziano solo per una diversa base azotata; i quattro tipi di basi azotate sono: adenina(A), guanina(G), citosina (C) e timina (T).



*DNA structure and bases*

Oltre ad avere ipotizzato la struttura a doppia elica, Franklin riuscì anche a determinare le misure di tale molecola, ritenendo che avesse un diametro di 2 nm e che ogni giro dell'elica avesse una lunghezza di 3,4 nm e fosse costituito da 10 pioli.

Nel frattempo Watson e Crick riuscirono a creare un modello tridimensionale della struttura del DNA e a spiegare come fosse possibile la sua duplicazione, utilizzando i dati ottenuti da Franklin e a sua insaputa, in particolare quelli relativi alla disposizione degli zuccheri verso l'esterno e dei gruppi fosfato verso l'interno delle basi azotate.

Dopo aver stabilito che i due filamenti polinucleotidici erano tenuti insieme dall'unione delle basi azotate, concentrarono la loro attenzione sui legami tra le basi.

Watson infatti era convinto che ogni base azotata si legasse con la base azotata dello stesso tipo, ad esempio l'adenina con l'adenina. [Erwin Chargaff](#) gli fece cambiare idea perché scoprì che in tutti gli esseri viventi la quantità di adenina presente nel DNA è uguale a quella di timina e la quantità di guanina è uguale a quella di citosina. Pertanto Watson intuì che le basi azotate si legavano con una regola precisa, la regola di complementarietà, ovvero l'adenina si legava sempre alla timina e viceversa, la citosina sempre con la guanina e viceversa. In questo modo si poteva spiegare anche la duplicazione del DNA.

Nel 1953 Watson e Crick pubblicarono i loro risultati in un articolo apparso sulla rivista scientifica "Nature", nel quale sostenevano che la molecola del DNA fosse costituita da due filamenti polinucleotidici avvolti ad elica ed uniti tramite le basi azotate legate tra loro secondo le regole di complementarietà.

Alla Franklin mancava molto poco per arrivare alle stesse conclusioni di Watson e Crick ma siccome lavorava in autonomia, senza potersi confrontare con altri ricercatori e soprattutto ostacolata nelle ricerche dai suoi colleghi, non riuscì a terminare il lavoro. Morì nel 1958, a soli 37 anni, quattro anni prima che Watson e Crick ricevessero il premio Nobel per la loro ricerca.

Watson e Crick riconobbero comunque il merito della Franklin nell'aver svolto un ruolo determinante per le loro scoperte.

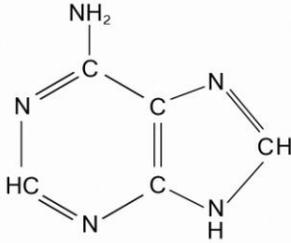
La regola della complementarietà delle basi fu dunque la scoperta più importante di Watson e Crick, con essa si riusciva a spiegare come il DNA potesse duplicarsi prima della divisione cellulare. Infatti nota la sequenza di nucleotidi su un filamento di DNA è automaticamente possibile costruirne il filamento ad esso complementare. Essi scrissero: “Non è sfuggito alla nostra attenzione il fatto che l'accoppiamento specifico delle basi azotate suggerisce un possibile meccanismo per la copiatura del materiale genetico.”

La molecola del DNA (acido desossiribonucleico), oggi è considerata la sede dei caratteri ereditari, i geni infatti sono costituiti da DNA. Essa è formata da due filamenti polinucleotidici, ogni filamento è formato da una successione di nucleotidi dove, lungo un filamento, lo zucchero a cinque atomi di carbonio (desossiribosio) è legato al successivo, tramite un gruppo fosfato, in particolare il terzo atomo di carbonio (carbonio 3') dello zucchero è legato al quinto atomo di carbonio (carbonio 5') dello zucchero successivo tramite il gruppo fosfato.

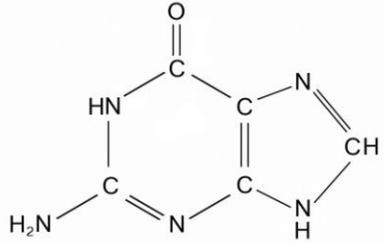
Ogni zucchero è legato ad una base azotata che si lega alla base ad essa complementare con un legame debole a idrogeno, questo legame permette ai filamenti di essere uniti. I legami idrogeno sono due quando uniscono adenina con timina, sono tre se invece uniscono citosina con guanina.

I due filamenti polinucleotidici sono antiparalleli, hanno cioè verso opposto, un filamento termina ad un'estremità con il carbonio 3' mentre all'estremità opposta con il carbonio 5', l'altro filamento è capovolto rispetto al primo ovvero termina ad un'estremità con il carbonio 5' e all'estremità opposta con il carbonio 3'.

Le basi azotate sono quattro: due purine formate da due anelli condensati a cinque atomi di carbonio e quattro atomi di azoto (adenina e guanina) e due pirimidine, formate da un anello di quattro atomi di carbonio e due atomi di azoto (citosina e timina, uracile nell'RNA).

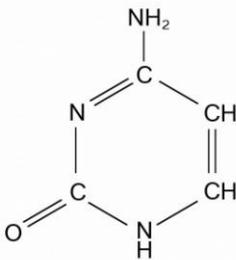


Adenina

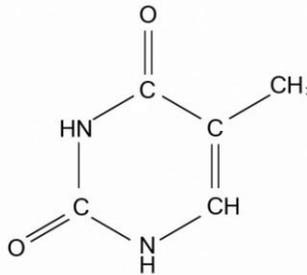


Guanina

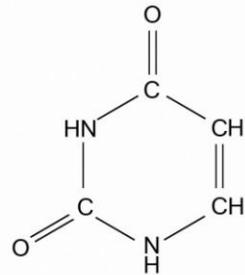
## Purine



Citosina



Timina (DNA)



Uracile (RNA)

## Piramide

Matematicamente.it

Il DNA è contenuto nel nucleo della cellula eucariote. Ogni cellula umana contiene 46 cromosomi, tranne i gameti che ne contengono 23 e ogni cromosoma contiene una molecola di DNA, sui cromosomi sono disposti i geni.

La lunghezza di questa molecola è variabile, nell'uomo una molecola di DNA, in un cromosoma, può essere lunga circa 9 cm e la sua lunghezza totale, per l'intero corredo cromosomico, è di circa 2,2 m. Il nucleo della cellula ha un diametro di 5  $\mu\text{m}$  e il cromosoma misura in media 6  $\mu\text{m}$  di lunghezza. Affinché il nucleo della cellula possa contenere 2,2 m

di DNA ed il cromosoma 9 cm di DNA, ogni molecola di DNA deve essere compattata e avvolta attorno a particolari proteine chiamate istoni. Otto molecole di istoni aggregati con DNA avvolto all'esterno formano un nucleosoma. I nucleosomi si avvolgono più volte su se stessi formando una fibra di cromatina. Appena la cellula va incontro a divisione, la fibra di cromatina si compatta ulteriormente formando il cromosoma.

### 5.3 Duplicazione del DNA

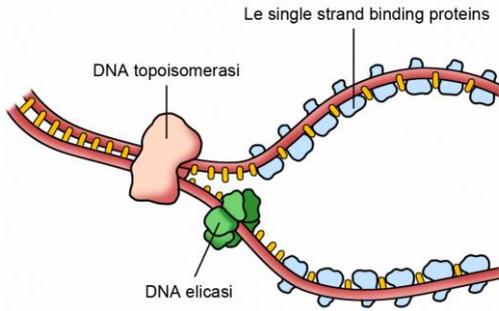
La molecola di DNA è capace di autocatalisi, cioè fare copie di sé attraverso il processo di duplicazione che avviene in un momento detto fase S o fase di sintesi del ciclo cellulare.

In questa fase, da una molecola di DNA se ne ottengono due uguali alla precedente, in questo modo alle cellule figlie verrà assicurata una copia completa del DNA presente nella cellula madre.

La duplicazione della molecola di DNA avviene nel nucleo della cellula. Sappiamo che questa molecola è costituita da due filamenti polinucleotidici, questi filamenti vengono srotolati e separati in seguito alla rottura dei legami a idrogeno che tengono unite le basi azotate, la rottura dei legami avviene ad opera di enzimi (**elicasi**). I due filamenti si allontanano, ognuno espone le proprie basi azotate e funge da stampo per la sintesi di un nuovo filamento. Le basi azotate esposte si legano, secondo le regole di complementarità, alle basi dei nucleotidi presenti in forma libera nel nucleo, l'adenina si lega con la timina e viceversa, la guanina con la citosina e viceversa. L'enzima DNA polimerasi provvederà ad unire i nucleotidi del filamento complementare, provvederà cioè ad unire, tramite il gruppo fosfato, il terzo atomo del carbonio dello zucchero al quinto atomo di carbonio dello zucchero successivo.

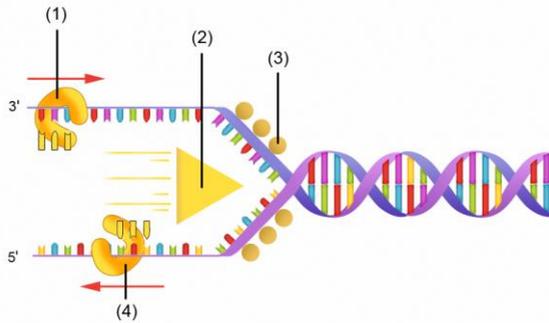
Il fenomeno di duplicazione del DNA è visibile al microscopio elettronico in una cellula in divisione.

Si può notare che lungo la molecola di DNA si formano delle bolle che rappresentano i punti di origine della duplicazione; essi corrispondono ai punti in cui la doppia elica si sta srotolando e aprendo (forcella di duplicazione) grazie all'azione dell'enzima elicasi che rompe i legami a idrogeno tra le basi azotate.



Matematicamente.it

*Le proteine facilitano formazione e movimento della forcella di duplicazione del DNA.*



Matematicamente.it

*Apertura della doppia elica. (1) La RNA primasi sintetizza frammenti di RNA. (2) L'elicasi rompe i legami a idrogeno e apre la doppia elica. (3) Alcune proteine si tengono separati i due filamenti.*



Matematicamente.it

*(1) La DNA polimerasi sintetizza la catena complementare. (2) Frammento di Okazaki. (3) La DNA polimerasi sintetizza i frammenti di Okazaki.*

La **topoisomerasi** è un enzima che scorre avanti alla forcella di duplicazione ed elimina la tensione dovuta al superavvolgimento del DNA. Ogni bolla è formata da due filamenti di DNA srotolati, allontanati e mantenuti in quella posizione, inoltre ha due opposte direzioni di propagazione rispetto al punto di origine, pertanto la duplicazione è bidirezionale.

In prossimità della forcella, ogni filamento del DNA inizia a duplicarsi. Il primo filamento si replica velocemente e in maniera continua. Il punto in cui inizia la sintesi del filamento complementare è detto *primer* o iniziatore ed è costituito da un tratto di un singolo filamento di RNA sintetizzato da un enzima detto RNA primasi, esso si lega, secondo le regole di complementarietà, al tratto di DNA da duplicare.

Il primer termina con il carbonio 3' dello zucchero libero. A questo atomo la DNA polimerasi unisce il primo nucleotide, in particolare il carbonio 5' dello zucchero del nucleotide di DNA viene unito al terzo atomo di carbonio dell'RNA primer tramite un gruppo fosfato. A questo nucleotide la DNA polimerasi aggiunge un altro nucleotide sempre nello stesso modo.

Il filamento complementare quindi si accresce in un'unica direzione, seguendo quella della forcella di duplicazione ( $3' \rightarrow 5'$ ).

Il secondo filamento di DNA invece si replica lentamente, in maniera discontinua e in direzione opposta al primo filamento ( $5' \rightarrow 3'$ ). La replicazione inizia sempre con il premier ma questa volta il carbonio 3' dello zucchero si trova in direzione opposta, poiché la DNA polimerasi può aggiungere nucleotidi solo in prossimità del terzo atomo di carbonio.

La sintesi del nuovo filamento avviene in direzione opposta. In questo caso l'enzima primasi sintetizza vari tratti di RNA primer complementare al secondo filamento che fungono da innesco per la DNA polimerasi che aggiunge i nucleotidi all'estremità del terzo atomo di carbonio dello zucchero.

Si formano tanti segmenti, detti frammenti di Okazaki, ognuno formato da primer e da nucleotidi, successivamente la DNA polimerasi elimina i primer e un altro enzima, la DNA ligasi invece unisce i frammenti formando il filamento.

Alla fine della duplicazione si avranno due molecole di DNA identiche alla molecola originaria, ognuna formata da un filamento vecchio e da uno nuovo, pertanto la duplicazione viene definita semiconservativa.

Il processo di duplicazione del DNA è abbastanza complicato, implica la presenza di numerosi enzimi e anche se è veloce ed estremamente preciso, si possono verificare degli errori. La possibilità di errore riguarda un nucleotide su un miliardo. La DNA polimerasi durante la sintesi del filamento complementare può posizionare un nucleotide sbagliato lungo il filamento, oppure possono verificarsi errori nell'appaiamento delle basi, ad esempio la citosina può essere sostituita dall'uracile che nel DNA non è presente. Esistono degli enzimi, detti enzimi di riparazione, che individuano e correggono gli errori eliminando i nucleotidi sbagliati.

Nonostante gli enzimi di riparazioni molti errori possono sfuggire dando luogo a mutazioni che possono essere dannose, insignificanti o utili per l'organismo. Queste ultime contribuiscono ad aumentare la variabilità genetica.

## 5.4 La funzione dei geni

Nel DNA sono presenti tutte le informazioni necessarie alla cellula per svolgere le sue attività. Le conoscenze sulla funzione dei geni derivano da numerose ricerche, condotte nella seconda metà del XX secolo, basate sullo studio delle mutazioni. Nel 1940 i genetisti [George Beadle](#) e [Edward Lawrie Tatum](#) condussero diversi esperimenti per capire come funzionassero i geni. Studiarono le mutazioni di *Neospora crassa*, la muffa rossa del pane, in grado di crescere e di riprodursi su un terreno molto semplice costituito di glucosio, azoto, sali e biotina (vitamina H). I due scienziati provocarono delle mutazioni nella muffa sottoponendola a raggi X, prelevarono le spore (cellule riproduttrici) mutanti e le misero su un terreno completo, contenente cioè tutte le componenti necessarie e ricco degli amminoacidi che generalmente la muffa sintetizza da sola. Su questo terreno germinavano sia le spore mutanti che quelle sane.

Successivamente le spore vennero messe su un terreno semplice o minimo, costituito solo da glucosio, azoto, sali e vitamina, ma privo di amminoacidi. In questo caso le spore mutanti non germinavano, in quanto non riuscivano a sintetizzare le sostanze di cui avevano bisogno né potevano prelevarle dal terreno, in quanto esso ne era privo.

Quelle sane invece si sviluppavano in quanto erano in grado di sintetizzare tutte le sostanze necessarie alla loro crescita.

Quando al terreno minimo venne aggiunta la vitamina B1, si scoprì che alcune spore mutanti erano in grado di svilupparsi. Ad altri terreni minimi vennero aggiunti, uno alla volta, i 20 diversi amminoacidi per individuare quale avrebbe consentito lo sviluppo delle spore mutanti.

Si arrivò quindi alla conclusione che alcune spore mutanti avevano bisogno di vitamina B1, in quanto in esse mancava l'enzima necessario a sintetizzare tale vitamina, altre spore mutanti avevano bisogno dell'amminoacido specifico perché in esse mancava l'enzima necessario alla sua sintesi.

I raggi X quindi avevano causato delle mutazioni nei geni e, a seconda del gene colpito dalla mutazione, veniva influenzata la produzione di un singolo enzima. Beadle e Tatum arrivarono alla conclusione che un gene influenza la funzione di un singolo enzima.

Questi risultati furono utilizzati da [L. C. Pauling](#), che li integrò arrivando alla conclusione che un gene influenza anche la funzione di una proteina. Per arrivare a questa conclusione studiò una malattia genetica, l'anemia falciforme, in cui i globuli rossi hanno una forma a falce e per questo motivo possono restare intrappolati nei capillari provocando gravi problemi anche circolatori e dolori, inoltre essendo i capillari molto fragili possono essere facilmente distrutti provocando anemie.

Pauling, osservando i pazienti affetti da tale malattia, scoprì che l'emoglobina, la proteina che trasporta ossigeno all'interno del globulo rosso, aveva una forma diversa rispetto all'emoglobina dei globuli rossi sani e che tale differenza di forma era provocata da un gene modificato.

Successivamente nel 1956 il biochimico [Vernon Ingram](#) scoprì che le differenze erano relative solo alle catene beta della molecola dell'emoglobina, ricordiamo infatti che l'emoglobina normale è formata da due coppie di catene di polipeptidi (due alfa e due beta). In particolare la differenza era relativa ad un singolo amminoacido, il sesto, dei 146 che formano una catena beta, infatti l'acido glutammico veniva sostituito dalla valina.

Questo produceva una deformazione dell'emoglobina e quindi una proteina alterata, in altre parole un gene non è responsabile della produzione della proteina, come sosteneva Pauling, ma è responsabile della produzione di una catena polipeptidica. La mutazione di un gene dunque provoca un cambiamento nella sequenza degli amminoacidi del polipeptide, pertanto sono i geni a codificare le sequenze degli amminoacidi e quindi a codificare le proteine.

## 5.5 Il codice genetico

Con le scoperte precedentemente descritte, è stato confermato che i geni sono costituiti da DNA, precisamente da parti di DNA, da una successione di nucleotidi la cui funzione è quella di produrre polipeptidi (un gene – un polipeptide). Le informazioni necessarie per sintetizzare le proteine sono contenute nel DNA che a sua volta è contenuto nel nucleo, sono scritte in codice pertanto devono essere tradotte in un linguaggio chiaro, ovvero in una successione di amminoacidi (proteine). L'informazione quindi deve essere trasferita dal nucleo al citoplasma dove avviene la sintesi delle proteine e tradotta dal linguaggio del DNA, scritto sottoforma di nucleotidi, al linguaggio dei polipeptidi, scritto sottoforma di amminoacidi.

Ulteriori ricerche scientifiche hanno portato a quello che Crick ha definito il dogma centrale della biologia: le informazioni contenute nel DNA vengono trascritte sottoforma di RNA messaggero che viene trasferito nel citoplasma e qui dai ribosomi vengono tradotte, in sequenze di amminoacidi. L'intermediario che consente il trasferimento delle informazioni è dunque l'RNA.

Le informazioni sono scritte in codice e contenute all'interno del DNA, ma esso è costituito da filamenti polinucleotidici dove troviamo solo quattro tipi diversi di nucleotidi, la diversità è relativa alla base azotata (A, T, G, C). Con il processo di trascrizione l'informazione viene trasferita sull'RNA messaggero, anch'esso formato da una successione di soli quattro tipi diversi di nucleotidi, in cui le basi azotate sono A, U, G, C, vi è cioè l'uracile (U) al posto della timina (T).

Siccome esistono 20 tipi di amminoacidi dai quali si formano tutte le infinite proteine di cui è costituito il nostro corpo, bisogna capire come è possibile che l'RNA, formato da soli quattro tipi diversi di nucleotidi, possa codificare 20 tipi diversi di amminoacidi.

Per decifrare il codice genetico e quindi capire come si passa dai nucleotidi agli amminoacidi, i biologi hanno prima ipotizzato che ogni nucleotide codifichi per un amminoacido. Esistono quattro tipi di nucleotidi: ciò significa che si possono codificare solo quattro tipi di amminoacidi e quindi si possono formare proteine costituite soltanto da quattro tipi di amminoacidi; però esistono 20 tipi diversi di amminoacidi e questa ipotesi non può essere accettata.

È stato supposto allora che due nucleotidi in successione verticale sul filamento codifichino per un amminoacido, in questo caso si possono formare proteine con solo 16 tipi di amminoacidi ( $4^2$ ), ad esempio AA codifica per un amminoacido, AU codifica per un altro amminoacido, AG codifica per un altro amminoacido e così via fino a formare 16 combinazioni di due nucleotidi che codificano 16 tipi di amminoacidi. Ma siccome esistono 20 tipi di amminoacidi anche questa ipotesi non è stata accettata.

È stato allora ipotizzato che tre nucleotidi (triplette o codone), in successione lungo il filamento, codifichino per un amminoacido, in questo caso si potrebbero formare 64 tipi di amminoacidi ( $4^3$ ), ad esempio AAA codifica per un amminoacido, AAC codifica per un altro amminoacido e così via fino a formare 64 combinazioni di triplette che codificano 64 tipi di amminoacidi.

Siccome però sono solo 20 i tipi di amminoacidi il codice viene definito degenerato o ridondante, perché più triplette diverse codificano per lo stesso amminoacido. In realtà però 3 delle 64 triplette non codificano per nessun amminoacido, sono chiamate triplette di stop e sono UAA, UAG e UGA, esse interrompono la formazione della catena polipeptidica ed esiste poi una tripletta di start AUG con la quale inizia la formazione della proteina.

*I venti amminoacidi ordinari ed i codoni che li codificano*

Ala	A	GCU, GCC, GCA, GCG	Leu	L	UUA, UUG, CUU, CUC, CUA, CUG
Arg	R	CGU, CGC, CGA, CGG, AGA, AGG	Lys	K	AAA, AAG
Asn	N	AAU, AAC	Met	M	AUG
Asp	D	GAU, GAC	Phe	F	UUU, UUC
Cys	C	UGU, UGC	Pro	P	CCU, CCC, CCA, CCG
Gln	Q	CAA, CAG	Ser	S	UCU, UCC, UCA, UCG, AGU, AGC
Glu	E	GAA, GAG	Thr	T	ACU, ACC, ACA, ACG
Gly	G	GGU, GGC, GGA, GGG	Trp	W	UGG
His	H	CAU, CAC	Tyr	Y	UAU, UAC
Ile	I	AUU, AUC, AUA	Val	V	GUU, GUC, GUA, GUG
<i>start</i>		AUG, GUG	<i>stop</i>		UAG, UGA, UAA

Il codice genetico è universale in quanto in tutti gli esseri viventi una tripletta viene tradotta esattamente nello stesso amminoacido, ad esempio la tripletta GCA codifica per l'amminoacido alanina nell'essere umano, nella formica, nel muschio... quindi anche in organismi molto diversi tra di loro.

Il codice genetico quindi è costituito da 64 triplette e consente la traduzione dal linguaggio dei nucleotidi dell'RNA al linguaggio delle proteine in amminoacidi.

## 5.6 RNA messaggero

Le informazioni necessarie alla sintesi delle proteine sono contenute nel DNA ma siccome esso non può partecipare alla sintesi proteica, c'è bisogno di trasferire l'informazione dal DNA all'RNA messaggero (trascrizione) che la trasporterà nel citoplasma. Pertanto l'RNA messaggero (mRNA) contiene le stesse informazioni del DNA. L'mRNA è un acido nucleico, come il DNA, ma si differenzia in quanto è formato da una singola catena polinucleotidica e non da due, contiene uno zucchero ribosio anziché deossiribosio e contiene la base azotata uracile al posto della timina. Infine la molecola di RNA messaggero è più corta (lunga da 1.000 a 10.000 nucleotidi) in quanto trasporta l'informazione di un singolo gene per volta, mentre il DNA contiene centinaia di geni.

## Approfondimenti

Esperimenti classici della genetica

[http://it.wikipedia.org/wiki/Categoria:Esperimenti\\_classici\\_\(genetica\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Categoria:Esperimenti_classici_(genetica))

Cronologia della genetica

[http://it.wikipedia.org/wiki/Genetica#Cronologia\\_della\\_genetica](http://it.wikipedia.org/wiki/Genetica#Cronologia_della_genetica)

Discorso di James Watson, per il premio Nobel per la medicina 1962

[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/1962/press.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1962/press.html)

Odile, la donna che vide il DNA

<http://www1.lastampa.it/redazione/cmsSezioni/cultura/200708articoli/24328girata.asp>

Animazione della replicazione del DNA

<http://strangepaths.com/replicazione-del-dna/2007/07/03/it/>

L'articolo di Watson e Crick su "Nature"

<http://www.llc-trieste.it/site/wp-content/uploads/2008/11/molecular-structure-of-nucleic-acids.pdf>

L. C. Pauling, Come vivere più a lungo e sentirsi meglio

<http://static.scribd.com/docs/iip5r0kfxbbtb.pdf>

Biography of Vernon M. Ingram

<http://www.pnas.org/content/101/40/14323.full.pdf>

Come si replica il DNA, video

<http://www.youtube.com/watch?v=mrcGqoVUd4o>

Il DNA, video di Rai3

<http://www.youtube.com/watch?v=hkBMi5akWL0>

Trascrizione e sintesi proteica, animazione

[http://www.molecularlab.it/interactive/filmati/sintesi\\_proteica.asp?movie=true&dsl=true](http://www.molecularlab.it/interactive/filmati/sintesi_proteica.asp?movie=true&dsl=true)

Ciclo di vita di un filamento di m-RNA, animazione

<http://www.sumanasinc.com/webcontent/animations/content/lifecyclemrna.html>

Estrazione del DNA dal kiwi, esperienza di laboratorio

<http://www.scienzeascuola.it/joomla/laboratorio/28-comunicati/426-estrazione-del-dna-dal-kiwi>

## **Videolezioni**

I virus

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2532-i-virus.html>

DNA

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2533-il-dna.html>

RNA

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2534-rna.html>

La mitosi

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2538-la-mitosi.html>

La meiosi

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2539-la-meiosi.html>

## 6. La sintesi proteica

### 6.1 Trascrizione

La sintesi proteica avviene nel citoplasma della cellula, utilizzando gli amminoacidi ivi presenti che vengono assemblati e disposti in base alle informazioni contenute nel DNA, ovvero nei singoli geni. Affinché avvenga la sintesi proteica c'è bisogno prima di trascrivere le informazioni dal DNA all'RNA messaggero e poi di tradurre le informazioni dall'RNA messaggero in polipeptidi.

Le informazioni presenti nel DNA vengono trasferite all'RNA messaggero, pertanto si deve prima formare la molecola di RNA messaggero.

La sintesi dell'mRNA comincia quando la doppia elica comincia a srotolarsi grazie all'azione degli enzimi e i due filamenti si allontanano, proprio come succede nella prima fase della duplicazione del DNA. In questo caso non vi è un primier dal quale inizia la sintesi del filamento ma vi è un promotore ovvero una particolare sequenza del DNA che l'enzima RNA polimerasi riconosce.

L'RNA polimerasi quindi inizia a sintetizzare il filamento di mRNA a partire dal promotore situato all'inizio del gene, si tratta di un processo di copiatura di un solo filamento del DNA; nel punto in cui la molecola di DNA si è srotolata i due filamenti si allontanano e solo un filamento funge da stampo per la sintesi dell'mRNA.

I nucleotidi contenenti lo zucchero ribosio vanno a legarsi secondo le regole di complementarità ai nucleotidi esposti del DNA, esattamente come avviene nel processo di duplicazione, solo che questa volta si ha la copiatura di un solo filamento e le basi dei nucleotidi si legano con regole innovative, cioè:

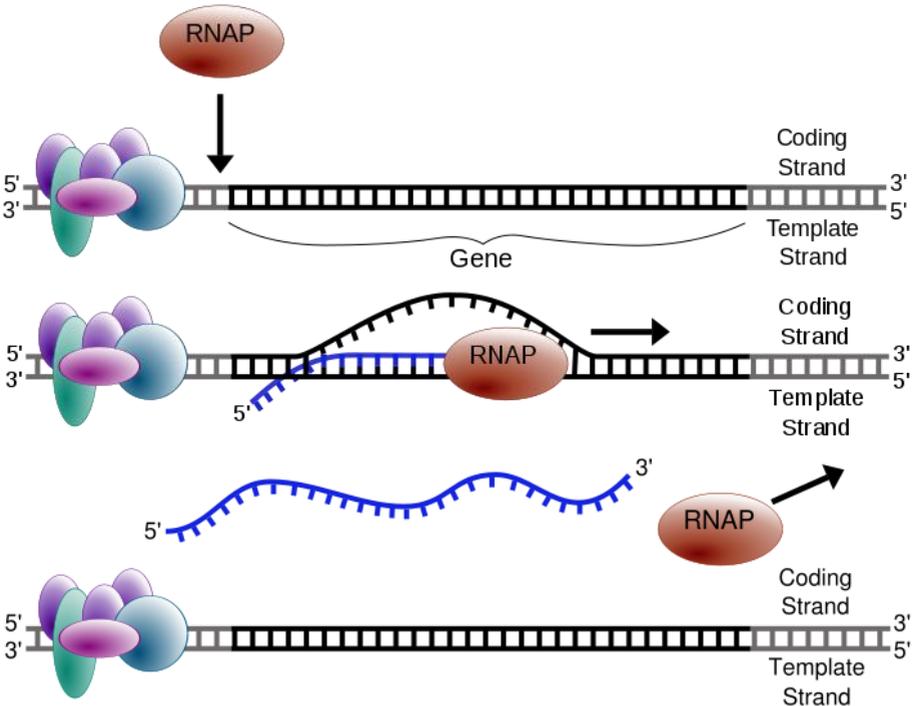
- la base adenina del nucleotide del DNA si lega con un nucleotide avente la base l'uracile dell'RNA (A-U),
- la base timina del nucleotide del DNA si lega con la base adenina del nucleotide dell'RNA (T-A),
- per quanto riguarda la citosina e la guanina le regole di complementarità restano le stesse.

Riportiamo il seguente esempio:

Molecola del DNA    ATCGCATTTCAGT

Molecola di mRNA UAGCGUAAGUCA

Man mano che le basi del mRNA si legano a quelle del DNA, l'enzima RNA polimerasi, unisce il nucleotide a quello successivo formando un filamento di mRNA, fino a quando si incontra una sequenza di nucleotidi di DNA, detta terminante, dove l'enzima RNA polimerasi termina il processo di trascrizione del tratto di DNA e quindi del gene. A questo punto l'elica di DNA si riavvolge e il filamento di mRNA formato si allontana per dirigersi verso il citoplasma.



### *Transcription\**

Nei procarioti appena si forma l'mRNA inizia anche il processo di traduzione, in quanto, non essendoci una membrana nucleare, l'mRNA appena si forma si trova già nel citoplasma e può iniziare la sintesi delle proteine.

Negli eucarioti invece dovrà fuoriuscire dal nucleo, arrivare nel citoplasma e qui avviare il processo di traduzione che avviene anche a distanza di molte ore rispetto al processo di trascrizione.

L'mRNA prima di fuoriuscire dal nucleo dovrà essere processato, infatti quello che si forma nel processo di trascrizione è un pre-mRNA, costituito da introni ed esoni:

- L'**introne** è una sequenza di nucleotidi che non codifica per nessuna proteina.
- L'**esone** è una sequenza di nucleotidi che codifica per una proteina.

Il processamento del pre-mRNA avviene grazie agli enzimi che eseguono lo *splicing* (taglia e cuci).

Accade che vengano eliminati gli introni ed uniti gli esoni. L'mRNA degli eucarioti riceve l'aggiunta, ad una estremità, di un "cappuccio" formato da un solo nucleotide G e all'altra estremità di una "coda" di poli A, cioè 50-250 nucleotidi di A. A questo punto l'mRNA, formato solo da esoni, è maturo, può fuoriuscire dal nucleo attraverso i pori nucleari e trasportare le informazioni sui ribosomi.

In molti geni delle cellule eucariote sono presenti sequenze di introni che anche se vengono trascritte non codificano per delle proteine. È stato stimato che circa il 98% del DNA umano è costituito da sequenze di introni.

Nella fase di trascrizione oltre all'mRNA vengono prodotti altri due tipi di RNA, l'RNA transfer (tRNA) e l'RNA ribosomiale (rRNA).

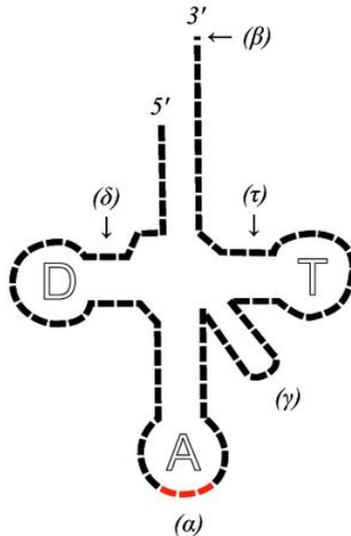
Il tRNA è una molecola di RNA costituita da circa 80 nucleotidi in un'unica catena che ha la caratteristica forma a trifoglio ed ha il compito di trasportare l'amminoacido presente nel citoplasma alla molecola di mRNA.

Poiché ci sono 20 tipi di amminoacidi troviamo almeno 20 tipi di tRNA. Il legame all'mRNA avviene grazie ad una regione situata nel lobo centrale del tRNA chiamata **anticodone**, costituito da una tripletta. Le triplette sono di 64 tipi ed escludendo quelle di stop, possiamo trovare 61 tipi di molecole di tRNA, l'anticodone del tRNA si legherà solo alla tripletta complementare sull'mRNA.

All'estremità 3' della catena del tRNA invece è presente una sequenza CCA a cui l'amminoacido si legherà tramite una reazione enzimatica.

Ad esempio il tRNA a cui è legato l'amminoacido serina, avrà all'estremità del lobo centrale un anticodone AGG che si legherà al codone ad esso complementare (UCC) presente sull' mRNA.

Il numero di tRNA varia comunque da specie a specie infatti alcuni tRNA si legano allo stesso amminoacido oppure presentano anticodoni che si legano a più di un codone, il numero minimo è comunque di 20. L'rRNA invece costituisce una parte dei ribosomi, sede in cui avviene la sintesi proteica, sono costituiti per un terzo da proteine e per due terzi da RNA.



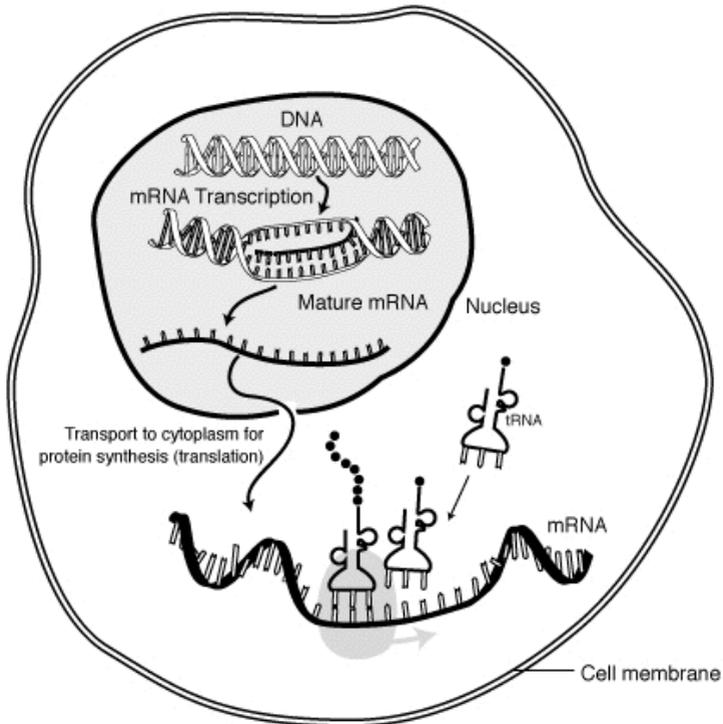
### *Rappresentazione schematica della struttura del tRNA\**

Situati sul reticolo endoplasmatico rugoso di una cellula eucariota, sono formati da due subunità, una grande e una piccola, separate da un solco, al cui interno arriva l'mRNA. Il ribosoma si sposta lungo il filamento di mRNA unendo gli amminoacidi e formando catene polipeptidiche in base alle indicazioni presenti sull'mRNA. L'rRNA presente ha il compito di catalizzare l'assemblaggio degli amminoacidi.

Di solito più ribosomi si spostano lungo lo stesso filamento di mRNA, in questo modo vengono prodotte contemporaneamente più copie di una stessa catena di polipeptidi.

Nei procarioti invece i ribosomi hanno la stessa forma e composizione delle cellule eucariote, solo che sono presenti nella stessa zona in cui si trova il DNA.

Le sub-unità dei ribosomi delle cellule eucariote risultano 40<sub>S</sub> e 60<sub>S</sub>, mentre quelle dei ribosomi di una cellula procariote 30<sub>S</sub> e 50<sub>S</sub>.



*Ciclo vitale di un mRNA in una cellula eucariote*

## 6.2 Traduzione

Il processo di traduzione consiste nel tradurre le informazioni contenute nell'mRNA in catene di polipeptidi. Il processo inizia quando l'mRNA maturo fuoriesce dal nucleo e arriva nel citoplasma, dove si trasferisce nel solco del ribosoma.

La subunità più piccola inizia a tradurre l'mRNA partendo da un punto preciso, cioè in corrispondenza della tripletta di inizio presente sull'mRNA ovvero AUG. Il tRNA, che contiene la tripletta complementare, l'anticodone UAC legato all'amminoacido metionina, si posiziona sul tratto complementare dell'mRNA, formando il complesso d'inizio, quindi tutte le catene polipeptidiche iniziano con la metionina.

Se questo amminoacido non è essenziale per la catena verrà rimosso successivamente da enzimi.

Una volta formato il complesso d'inizio la subunità maggiore del ribosoma si attacca a quella minore e il tRNA, che trasporta la metionina, occupa il sito P della subunità maggiore (il sito P è uno dei tre siti di legame dell'mRNA col tRNA).

Dopo il posizionamento del primo tRNA e del relativo amminoacido inizia la fase dell'allungamento ovvero un secondo tRNA che trasporta un altro amminoacido si lega al codone adiacente dell'mRNA ad esso complementare che si trova sul sito A della subunità maggiore e il suo amminoacido si allinea con quello precedente. A questo punto, un enzima unisce i due amminoacidi con un legame peptidico. Il legame tra il tRNA e il primo amminoacido (metionina) si rompe e quindi il tRNA, ormai libero, si stacca dal ribosoma e torna nel citoplasma.

Continua la fase di allungamento e l'mRNA si sposta in avanti sul ribosoma in direzione 5'-3', occupando il sito E e lasciando libero A.

Viene richiamato un altro tRNA ad esso complementare, il quale trasporterà un altro amminoacido, che verrà legato ai due precedenti. In questo modo il ribosoma avanza di un codone sull'mRNA, formando una catena polipeptidica sempre più lunga fino a quando il ribosoma giunge alla tripletta di stop, come ad esempio UAA.

Poiché non vi è il tRNA ad essa complementare, una proteina, chiamata fattore di rilascio, giunge su tale tripletta dell'mRNA e blocca la

formazione della catena polipeptidica e un enzima stacca, dall'ultimo tRNA, la catena polipeptidica (proteina) che si è formata.

Essa viene rilasciata nel citoplasma e le due subunità del ribosoma si allontanano liberando l'mRNA, potranno poi riassemblarsi per iniziare la sintesi di una nuova proteina. Il processo di sintesi delle proteine è molto veloce dura in media pochi secondi.

Abbiamo visto che la traduzione inizia in un punto preciso dell'mRNA ovvero in prossimità della tripletta di inizio AUG. Man mano che il ribosoma avanza sul filamento di mRNA, si allontana sempre di più dal punto di inizio che resta libero e può essere attaccato da un altro ribosoma che inizia la sintesi della stessa proteina. Di conseguenza un filamento di mRNA può essere tradotto contemporaneamente da più ribosomi (polisomi) che produrranno molte copie della stessa proteina.

La sintesi delle proteine è un processo che richiede molta energia pertanto la cellula deve sapere esattamente quante e quali proteine devono essere prodotte in base alle proprie esigenze.

Gli organismi pluricellulari presentano differenziamento cellulare. In un tessuto differenziato le cellule producono solo proteine relative a quel tessuto. Quindi, anche se la cellula contiene tutte le informazioni genetiche, deve usare solo la parte relativa al proprio tessuto, cioè utilizza solo l'informazione per una parte dei suoi geni, che verrà trascritta e tradotta a formare le proteine.

La maggior parte delle cellule regolano l'espressione dei geni, ovvero "decidono" quale informazione genica deve essere utilizzata per produrre le proteine mediante vari meccanismi di controllo. Il controllo a livello della trascrizione, che è quello più utilizzato dalle cellule eucariote, "decide" quale gene attivare e quindi le informazioni che devono essere trascritte.

Le cellule possono regolare l'espressione genica anche mediante il controllo post-trascrizionale. In questo caso si interviene sul pre-mRNA che viene modificato oppure attraverso un controllo al livello della traduzione dell'mRNA. Esistono infatti delle proteine che impediscono ai ribosomi di legarsi all'mRNA bloccando la traduzione. Infine c'è il controllo post-traduzionale in cui la cellula può modificare la struttura della proteina anche dopo che è stata sintetizzata decidendo se attivarla oppure no.

### 6.3 Mutazioni geniche

Abbiamo già accennato alle mutazioni, esse possono essere cromosomiche se interessano l'intero cromosoma oppure geniche cioè modificazioni al livello di un singolo gene. Tratteremo solo delle modificazioni geniche in quanto queste avvengono soprattutto durante la duplicazione del DNA.

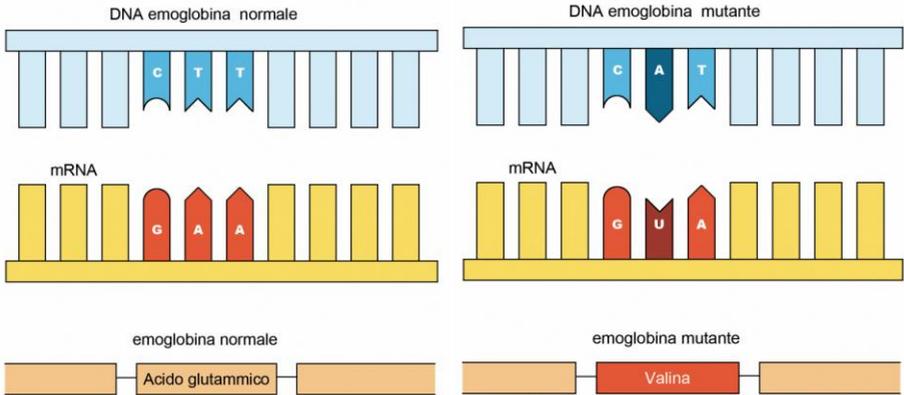
Una mutazione comune è la mutazione puntiforme ovvero quella a carico di una sola base azotata lungo il filamento di DNA. Durante la duplicazione del DNA una base azotata può essere sostituita con un'altra. Ciò comporta conseguenze anche a livello delle proteine, infatti il DNA che presenta la mutazione sarà trascritto e tradotto con un errore.

Se la mutazione interessa il gene che codifica per l'emoglobina, la sostituzione di una base con un'altra provoca la comparsa nel gene di una tripletta diversa da quella originaria. Infatti in seguito alla sostituzione della base azotata adenina al posto della timina sul filamento di DNA si formerà la tripletta CAT invece della tripletta CTT.

Questo comporta, nella fase di trascrizione, la formazione di una tripletta diversa che codifica per un amminoacido diverso, in questo caso la tripletta complementare di mRNA sarà GUA che codifica per l'amminoacido valina e non GAA che codifica per l'acido glutammico. In questo modo viene inserito un amminoacido sbagliato lungo la catena polipeptidica, ciò altera la funzione e la struttura della proteina provocando una deformazione dei globuli rossi (anemia falciforme).

La sostituzione di una base azotata con un'altra può avvenire in seguito ad eventi casuali oppure più probabilmente in seguito ad agenti mutageni come i raggi ultravioletti, i raggi x, sostanze chimiche come alcol oppure quelle presenti nel fumo delle sigarette. Questo evento può essere corretto dagli enzimi riparatori ma nel caso in cui non venga corretto origina una mutazione.

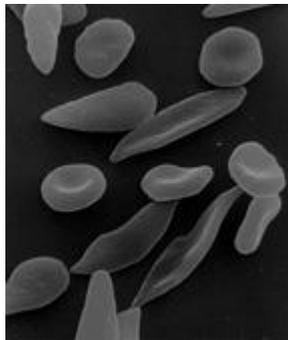
Può succedere inoltre che la sostituzione di una base azotata con un'altra porti, durante la trascrizione del gene, alla formazione di una tripletta di stop che blocca prematuramente la traduzione, la conseguenza sarà la formazione di una proteina più corta e quindi alterata (mutazione non senso).



Matematicamente.it

*Anemia falciforme*

Matematicamente.it

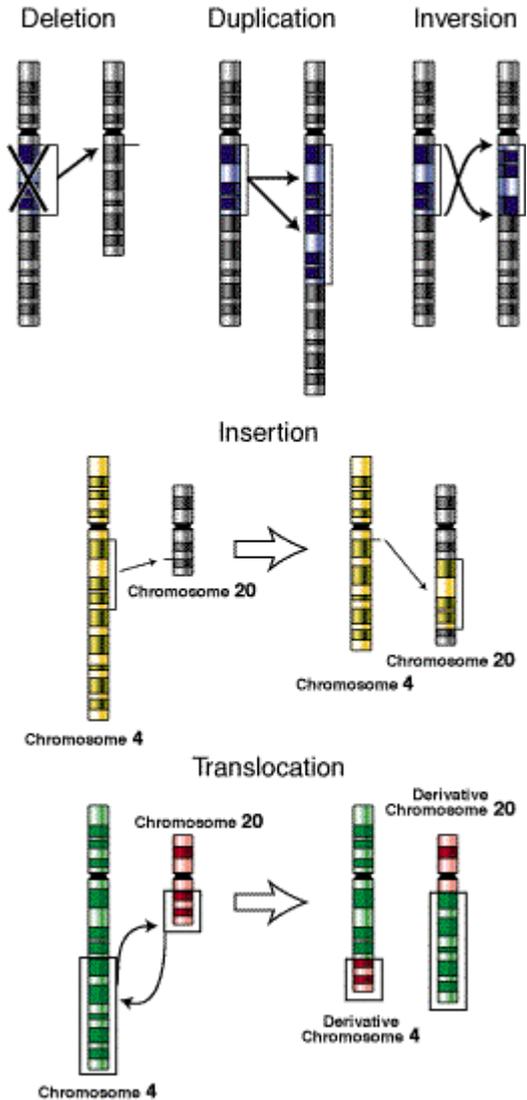


*Globuli rossi resi falciformi*

Le mutazioni che comportano invece un'aggiunta di una o di coppie di basi azotate (inserzione) oppure l'eliminazione di una o di coppie di basi azotate (delezione) nel gene, sono le più pericolose in quanto siccome le informazioni per costruire le proteine sono dettate dalle triplette, l'eliminazione o l'aggiunta di coppie di basi azotate fa slittare la fase di lettura (*frameshift mutations*) delle informazioni genetiche provocando la formazione di proteine non funzionali.

Le mutazioni possono avvenire in tutte le cellule ma solo quelle che avvengono nelle cellule sessuali (gameti) vengono trasmesse alle generazioni future. La maggior parte non ha nessun effetto sull'individuo, in quanto diverse triplette possono codificare per lo stesso amminoacido, pertanto una mutazione puntiforme potrà comportare la formazione di una tripletta diversa, ma se questa codifica per lo stesso amminoacido la proteina prodotta non cambia, altre possono avere degli effetti negativi portando anche alla morte dell'individuo, altre ancora sono vantaggiose in quanto causano la comparsa di caratteri nuovi che consentono all'individuo di sopravvivere e adattarsi a nuove condizioni ambientali.

**Types of mutation**



*Tipi di mutazione*

## **Approfondimenti**

Simulazione interattiva di trascrizione

<http://cmol.nbi.dk/models/dynamtrans/dynamtrans.html>

Video RNA ribosomico, Raiscuola

<http://www.raiscuola.rai.it/articoli/lrna-ribosomico/9173/default.aspx>

Vita dell'RNA, video in inglese

<http://www.sumanasinc.com/webcontent/animations/content/lifecyclemrna.html>

## 7. I tessuti cellulari

### 7.1 Dalla cellula all'organismo

La maggior parte degli animali è costituita da centinaia di differenti tipi di cellule, per questo detti pluricellulari, in essi vi è suddivisione del lavoro tra le cellule. Negli unicellulari, invece, un'unica cellula esegue tutte le funzioni vitali.

Gli esseri umani, sono tra i pluricellulari, quelli più evoluti, sono formati da una “colonia” di cellule di oltre 200 tipi diversi, in cui ogni tipo ha una forma e svolge una specifica funzione: cellule nervose, cellule muscolari, cellule epidermiche ecc. Le cellule che hanno forma simile e svolgono la stessa funzione formano i **tessuti**. L'insieme di più tessuti differenti che eseguono la stessa funzione formano un **organo** (cuore, fegato, rene). Insieme di organi che collaborano per svolgere la stessa funzione, formano **sistemi** o **apparati**. Nel sistema, tutti gli organi, sono formati da tessuti dello stesso tipo, ad esempio nel sistema nervoso tutti gli organi sono formati da tessuti nervosi, quindi i tipi cellulari sono pochi o uno soltanto, a differenza degli apparati che sono formati da organi aventi tessuti differenti, ad esempio l'apparato digerente è formato dai tessuti nervosi, tessuti muscolari, tessuti epiteliali, tessuti connettivi. L'insieme dei sistemi o apparati forma l'**organismo**.

### 7.2 Tessuti epiteliali

Il corpo dei vertebrati è composto da differenti tipi di tessuti che vengono catalogati in tessuti epiteliali, tessuti connettivi, tessuti muscolari e tessuti nervosi.

Sono tessuti di rivestimento nei quali le cellule sono legate le une alle altre attraverso giunzioni cellulari, in maniera tale da non lasciare spazio intercellulare. Esse in base alla loro forma, poligonale, cilindrica o cubica, contraddistinguono differenti tipi di epiteli. Queste cellule possono essere disposte in un unico strato, formando un epitelio semplice, oppure in più strati, formando un epitelio stratificato.

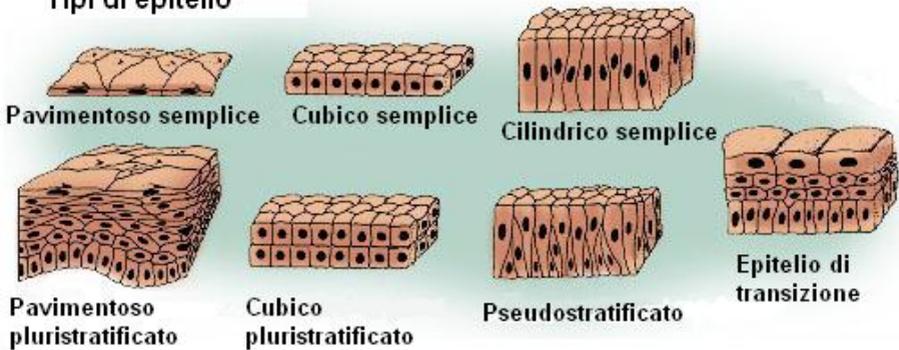
Un epitelio consiste quindi di cellule legate le une alle altre che poggiano su una sottile membrana (membrana basale) formata da glicoproteine e collagene. Gli epiteli, nei vertebrati, rivestono la superficie esterna del corpo e quella interna degli organi come lo

stomaco, l'intestino, i polmoni oppure l'interno delle cavità corporee (pericardio, peritoneo, pleure) o l'interno di vasi sanguigni, di vasi linfatici e del tubo digerente.

Vi sono anche altri tipi di epitelio, l'**epitelio ghiandolare**, costituito da cellule epiteliali che formano ghiandole che secernono sostanze utili all'organismo e l'**epitelio sensoriale**, costituito da cellule epiteliali che ricevono e trasmettono, alle altre cellule, stimoli che arrivano dall'ambiente interno ed esterno.

Il tessuto epiteliale oltre a svolgere la funzione di rivestimento protettivo regola anche il passaggio di tutto quello che entra e che esce dal nostro corpo come acqua, sostanze nutritive e rifiuti.

### Tipi di epitelio



### *Tipi di epitelio*

#### 7.3 Tessuti connettivi

Sono tessuti formati da cellule, che a differenza del tessuto di rivestimento, non sono addossate le une alle altre ma sono immerse in un'abbondante sostanza intercellulare che rappresenta la matrice, e da numerose fibre. In base al tipo di matrice si distinguono diversi tipi di tessuto connettivo: tessuto connettivo lasso, tessuto cartilagineo, tessuto osseo, tessuto adiposo e sangue.

**Tessuto connettivo lasso:** è formato da cellule immerse in una matrice formata da fibre proteiche (collagene) o ricca di elastina, ha la funzione di collegare e sostenere gli altri tessuti, ad esempio collega l'epidermide

ai muscoli, i muscoli alle ossa attraverso i tendini e le ossa alle altre ossa attraverso i legamenti.

**Tessuto cartilagineo:** è formato da cellule isolate, dette condrociti, immerse in una matrice solida ma flessibile, formata da mucoproteine e collagene. È un tessuto di sostegno, forma infatti lo scheletro di alcuni animali (pesci cartilaginei o condritti). Nell'uomo forma lo scheletro allo stadio embrionale, che diventa poi osseo allo stadio adulto, ma resta sotto forma di cartilagine in corrispondenza delle superfici articolari (gomito, ginocchio), nei dischi intervertebrali per conferire mobilità alla colonna vertebrale e per ammortizzare gli urti, tra le coste della gabbia toracica per conferirle mobilità, nei padiglioni auricolari ecc.

**Tessuto osseo:** è formato da cellule immerse in una matrice solida e rigida formata da fosfato di calcio. Ha una funzione sia di sostegno, forma infatti lo scheletro dei vertebrati, ma anche di protezione, ad esempio protegge gli organi all'interno della gabbia toracica.

**Tessuto adiposo:** è formato da cellule immerse in una matrice solida ma deformabile (grasso). Nel nostro corpo ad esempio i glutei sono formati da tessuto adiposo e servono a non far sentire, quando si è seduti, il peso del corpo, ha inoltre una funzione termoisolante e di riserva.

**Sangue:** è formato da cellule (globuli rossi, globuli bianchi e frammenti di cellule dette piastrine) immerse in una matrice liquida chiamata plasma. Ha la funzione di trasportare sostanze nutritive ed ossigeno a tutte le cellule del corpo e di allontanare le sostanze di rifiuto.

#### 7.4 Tessuti muscolari

Sono tessuti formati da cellule allungate (fibrocellule), che hanno la capacità di contrarsi e sono responsabili dei movimenti volontari e involontari del corpo. Si distinguono tre tipi di tessuto muscolare: tessuto muscolare striato, tessuto muscolare liscio e tessuto muscolare cardiaco.

**Tessuto muscolare liscio:** è formato da fibrocellule lisce e affusolate, prive di striatura ed è responsabile dei movimenti involontari del corpo, cioè tutti quei movimenti che non sono sotto il controllo diretto del sistema nervoso.

**Tessuto muscolare striato o scheletrico:** è formato da fibrocellule striate, presenta una forza contrattile maggiore rispetto al tessuto muscolare liscio ed è responsabile dei movimenti volontari del corpo.

**Tessuto muscolare cardiaco:** è molto simile al tessuto muscolare striato ma è formato da cellule più piccole e ramificate ed è responsabile del movimento involontario del cuore che permette al sangue di raggiungere le singole cellule di tutto il corpo.

### **7.5 Tessuto nervoso**

È formato da cellule ricche di prolungamenti (neuroni), attraverso i quali si generano collegamenti con altre cellule trasmettendo segnali elettrici e da cellule che assicurano il nutrimento e la protezione ai neuroni (cellule gliali).

## 8. Sistemi e apparati

Il corpo umano è un sistema molto complesso, composto da organi ed apparati, che pur essendo collegati tra di loro, vanno studiati separatamente per capirne le caratteristiche e la funzionalità. Di seguito vengono indicati tutti i sistemi e apparati del corpo umano e le relative funzioni:

**Sistema tegumentario:** comunemente detto pelle, protegge il corpo dagli agenti esterni, regola gli scambi idrici e la temperatura, recepisce gli stimoli esterni.

**Sistema scheletrico:** fornisce sostegno e protezione al corpo.

**Sistema muscolare:** consente il movimento del corpo e dei visceri.

**Apparato digerente:** Demolisce le sostanze che vengono assunte attraverso l'alimentazione e assorbe le sostanze nutritive.

**Sistema circolatorio:** trasporta ossigeno, sostanze nutritive e messaggi chimici a tutto il corpo, mantiene costante il pH e la temperatura interna.

**Apparato respiratorio:** consente l'entrata di ossigeno e la fuoriuscita di anidride carbonica.

**Sistema immunitario:** ha la funzione di difendere l'organismo da parassiti o agenti patogeni.

**Sistema ormonale:** controlla le funzioni del corpo in collaborazione con il sistema nervoso.

**Sistema escretore:** controlla i liquidi corporei e provvede all'eliminazione dei composti azotati.

**Sistema nervoso:** raccoglie e trasmette gli stimoli esterni ed interni, coordina l'attività muscolare.

**Apparato riproduttore:** consente la continuità della specie producendo cellule riproduttive.

## 8.1 Il sistema tegumentario

Il sistema tegumentario è costituito dalla pelle che riveste tutto il corpo tranne gli orifizi come bocca, ano, aperture urogenitali, dove invece sono presenti mucose (membrane di rivestimento che, producendo muco, mantengono umide tali zone).

La funzione della pelle è quella di proteggere il corpo dagli agenti esterni, di regolare la traspirazione e la temperatura corporea, e di recepire gli stimoli esterni. La pelle oltre ad essere un tessuto di rivestimento, per alcuni animali, come gli anfibi, rappresenta anche una superficie respiratoria e in alcuni di essi rappresenta anche un'importante difesa alla predazione.

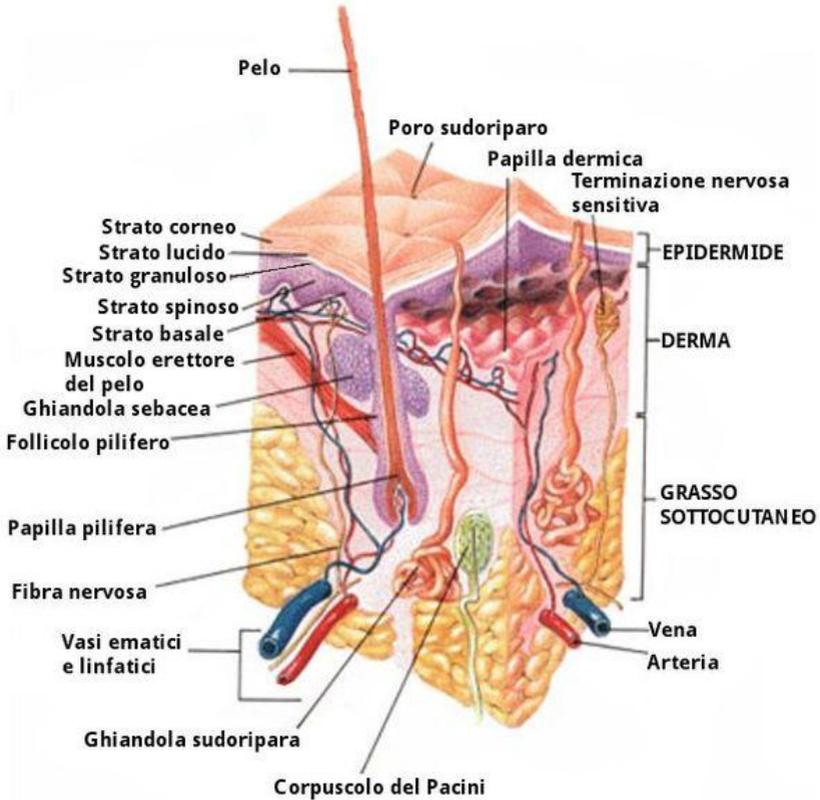
Alcuni Anfibi presentano infatti una colorazione vivace, dovuta alla presenza di pigmenti, attraverso la quale segnalano la loro presenza al predatore, tali animali spesso sono anche velenosi pertanto il predatore nutrendosene resterà intossicato e quindi li utilizzerà solo una volta come nutrimento; la colorazione vivace (aposematismo) servirà da ricordo della passata intossicazione e allontanerà i successivi predatori. L'aposematismo oltre che negli anfibi è presente tra i gasteropodi (nudibranchi), tra gli insetti (ape, vespa, coccinella) tra i rettili (serpente corallo). La presenza di pigmenti dunque determina la colorazione della pelle.

Nell'uomo la pelle può essere più o meno scura a seconda della quantità di melanina che contiene. La melanina è un particolare pigmento che ci protegge dai raggi ultravioletti del sole.

Il sistema tegumentario dell'uomo è composto da diversi strati, l'**epidermide** è lo strato più superficiale ed è costituita a sua volta da diversi strati, quello più esterno è lo strato corneo formato da cellule morte che cadono quotidianamente. Queste vengono sostituite dalle cellule provenienti dal sottostante strato basale. Ogni cellula dello strato basale si divide per mitosi e genera due cellule, una entra a far parte dello strato corneo e l'altra resta nello strato basale pronta ad una nuova divisione.

Al di sotto dell'epidermide vi è il **derma**, uno strato di tessuto connettivo fibroso all'interno del quale sono presenti vasi sanguigni (non presenti nell'epidermide), terminazioni nervose che conferiscono la sensibilità tattile, ghiandole sudoripare che regolano la temperatura

corporea producendo sudore e ghiandole sebacee che secernono il sebo, una sostanza grassa che ha il compito di idratare la pelle e lubrificare capelli e peli. Sono presenti inoltre cellule epidermiche cheratinizzate che formano il pelo, la cui radice è inserita nel follicolo.



*Schema dell'epidermide in sezione*

I recettori sensoriali presenti nei palmi delle mani, dei piedi o sul viso sono i corpuscoli di Meissner e le cellule di Meerkel, mentre i corpuscoli di Pacini sono più profondi e rispondono alle sensazioni tattili fini.

I peli sono distribuiti su tutta la superficie del corpo, tranne che lungo il palmo delle mani e la pianta dei piedi e hanno un ruolo fondamentale nella termoregolazione.

Lo strato più profondo della pelle è l'**ipoderma** o strato sottocutaneo, uno strato di tessuto adiposo situato al di sotto del derma, particolarmente spesso nella zona dei glutei. L'ipoderma ha la funzione di riserva di energia, evita la dispersione di calore contribuendo alla regolazione della temperatura corporea e funge da ammortizzatore contro gli urti.

## 8.2 L'apparato scheletrico

La maggior parte degli animali si muove grazie ai muscoli, che contraendosi, mettono in movimento le ossa. Se non ci fossero i muscoli, le ossa sarebbero delle strutture rigide ed immobili e non sarebbe possibile camminare, saltare, distendere un braccio o fare qualsiasi tipo di movimento.

I muscoli sono quindi collegati ad una struttura rigida che è lo scheletro, esso può essere formato da tessuto osseo e parti di tessuto cartilagineo (come lo scheletro dell'uomo), da solo tessuto cartilagineo (come per i condritti) oppure da liquido come negli anemoni di mare (cnidari).

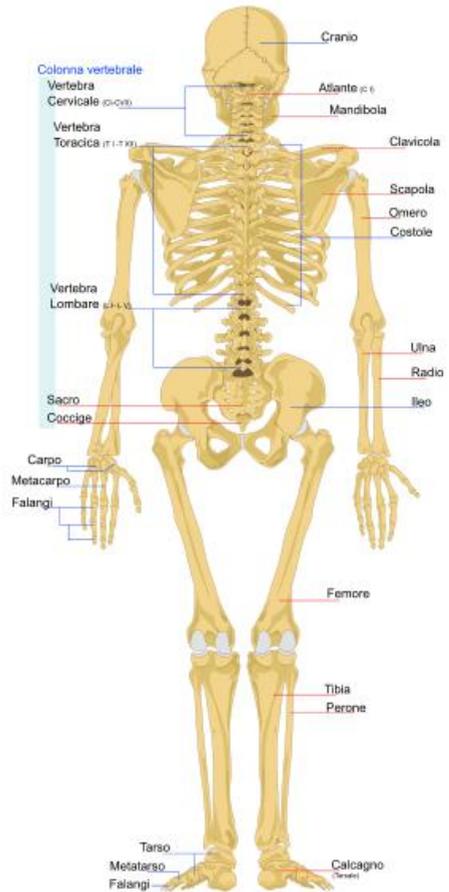
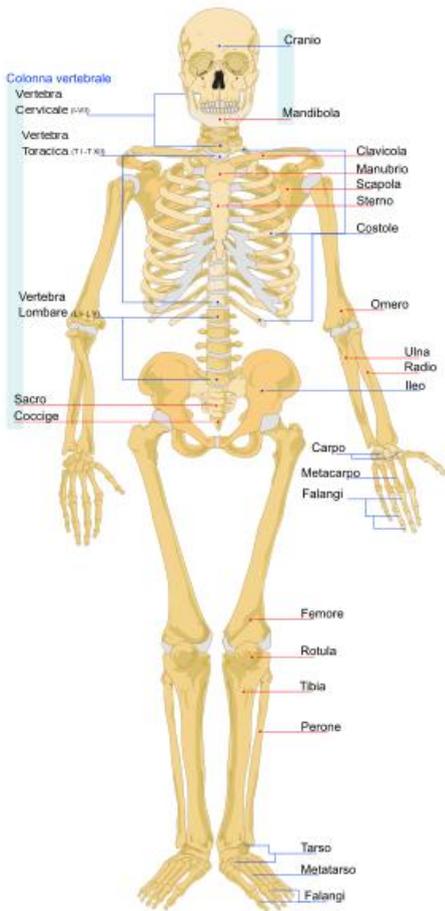
Lo scheletro può essere inoltre esterno, **esoscheletro**, come quello di molti invertebrati (insetti, crostacei e altri artropodi) dove la muscolatura si trova all'interno rispetto alla struttura scheletrica, oppure interno, **endoscheletro**, come per i vertebrati compreso l'uomo, dove la muscolatura è esterna rispetto allo scheletro.

Lo scheletro umano, è una struttura rigida, costituita da tessuto osseo formato da cellule, fibroblasti, che secernono nella matrice extracellulare il collagene, una proteina filamentosa che viene indurita da calcio e fosforo. Pertanto lo scheletro oltre a svolgere la funzione di sostegno e protezione è anche un'utile riserva di questi minerali.

Nell'uomo è formato da 206 ossa legate tra loro da 68 articolazioni distribuite tra lo **scheletro assile** e lo **scheletro appendicolare**.

Lo scheletro assile comprende il **cranio** che protegge l'encefalo; la **colonna vertebrale** che è formata da 33 vertebre unite da dischi intervertebrali cartilaginei che conferiscono mobilità alle ossa e impediscono lo sfregamento delle vertebre. All'interno della colonna vertebrale si trova il midollo osseo sede di formazione di tutte le cellule del sangue. Infine nello scheletro assile c'è la **gabbia toracica** che

protegge cuore e polmoni ed è formata dallo sterno, dalle coste e dalle vertebre toraciche.



### *Lo scheletro umano*

Lo scheletro appendicolare comprende il **cinto pettorale o scapolare**, formato da scapola e clavicola che sostiene le appendici superiori (braccia) e il **cinto pelvico** formato da tre ossa ileo, ischio e pube (che sostiene le gambe). Dall'unione del cinto pelvico con l'osso sacro della colonna vertebrale si forma il bacino.

Le ossa sono inoltre suddivise in ossa lunghe, come quelle degli arti, ossa corte, come quelle del polso e del piede, e ossa piatte, come quelle del cranio. Il punto di unione tra due ossa è chiamato **articolazione**, essa può essere mobile come quella del ginocchio, oppure fissa (sutura) come quella delle ossa del cranio.

Nella struttura interna di un osso lungo è possibile individuare tre porzioni: due epifisi e una diafisi formata da tre tessuti.

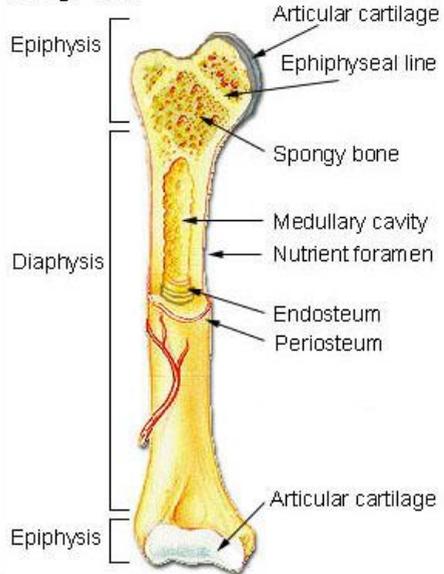
Il **tessuto compatto**, che riveste la superficie esterna dell'osso, è formato da lamelle concentriche di fibre di collagene immerse in sali di calcio (osteoni) che circondano il canale di Havers nel quale si trovano nervi e vasi sanguigni che trasportano nutrimento alle cellule dell'osso (osteociti).

All'interno dell'osso compatto, che forma una cavità nella diafisi delle ossa lunghe, è presente **midollo osseo giallo**, costituito anche da grasso trasportato dal sangue.

Verso l'interno delle epifisi troviamo il **tessuto spugnoso**, costituito da trabecole e formato da spazi vuoti nei quali si trova il **midollo osseo rosso**, un tessuto formato da **cellule staminali** dal quale si originano tutte le cellule del sangue. Tutte le ossa sono strutture in continuo rinnovamento: nel corso degli anni crescono, si irrobustiscono o si riparano in seguito a fratture. Tutto questo è possibile grazie alla presenza di cellule, gli osteoblasti, che producono collagene, fosforo e sali di calcio, a differenza di altre cellule, gli osteoclasti, che riassorbono tali minerali per utilizzarli in altre parti del corpo.

Nelle persone anziane l'attività degli osteoclasti è superiore a quella degli osteoblasti e ciò causa fragilità alle ossa (osteoporosi). Anche l'attività muscolare influisce sulla fragilità delle ossa, infatti un'intensa

**Long Bone**



attività fisica stimola l'immagazzinamento di calcio nelle ossa che di conseguenza tenderanno ad irrobustirsi.

### 8.3 L'Apparato muscolare

I muscoli consentono il *movimento* attraverso il meccanismo della contrazione. Per ogni muscolo che si contrae vi è il suo antagonista che si rilassa, ad esempio la contrazione del muscolo bicipite consente di flettere l'avambraccio, mentre la contrazione del tricipite (antagonista del bicipite) fa rilassare il bicipite permettendo di estendere l'avambraccio.

Il corpo umano possiede diversi tipi di muscoli, essi in base alla posizione che occupano, vengono classificati in:

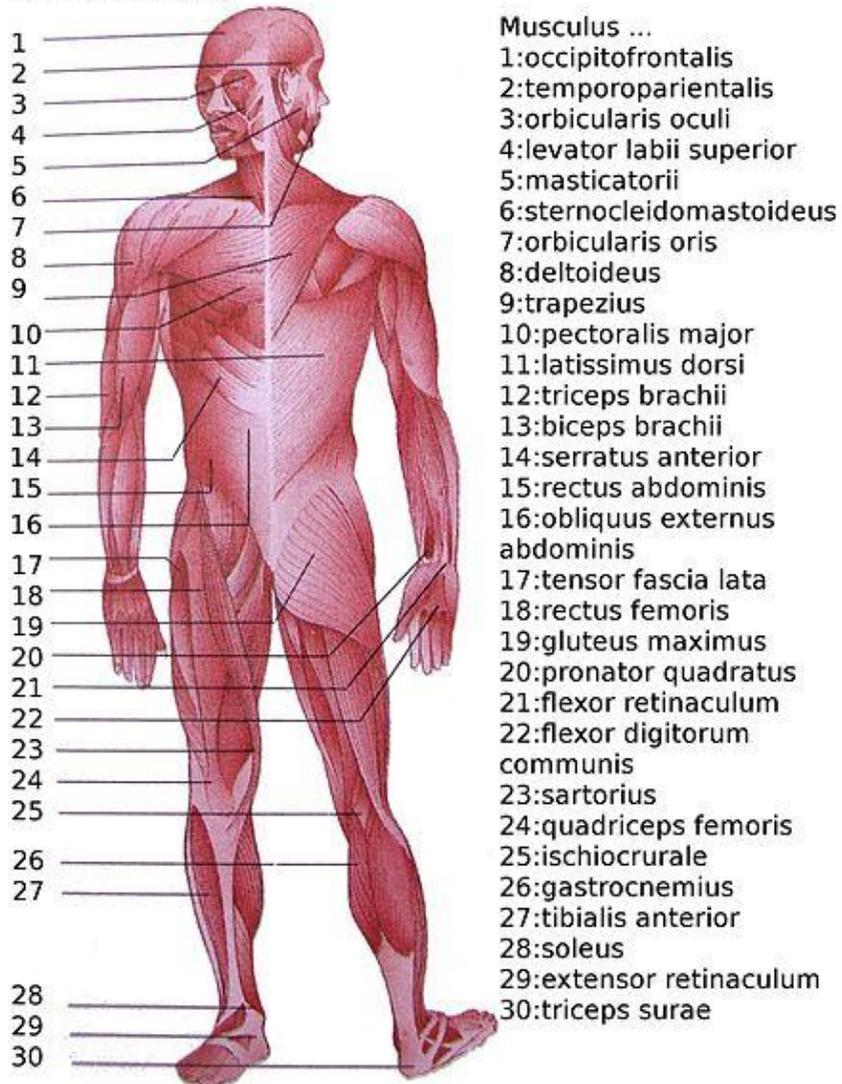
- **muscoli scheletrici** (legati alle ossa ne consentono il movimento),
- **muscoli pellicciai** (determinano i movimenti della pelle e sono responsabili dell'espressività del viso),
- **muscoli erettori del pelo** (situati nel derma e responsabili del sollevamento dei peli),
- **muscoli viscerali** (ricoprono gli organi interni, come l'intestino, la vescica, l'utero e sono responsabili delle loro contrazioni),
- **muscoli oculari** (responsabili del movimento dei bulbi oculari).

I muscoli posso essere classificati anche in base al tipo di cellule che li costituiscono in: muscoli striati, muscoli lisci e muscolo cardiaco.

I **muscoli striati** o scheletrici, sono muscoli volontari, sotto il diretto controllo del sistema nervoso e sono costituiti da fibre muscolari che sono cellule allungate molto grandi e plurinucleate.

Ogni fibra muscolare (cellula) è formata da numerosi fasci dette **miofibrille** ed è rivestita da una membrana detta sarcolemma. Ogni miofibrilla è costituita da unità contrattili dette **sarcomeri**, piccoli cilindri lunghi circa 2,5  $\mu\text{m}$  formati da filamenti proteici sottili e spessi che determinano la struttura striata.

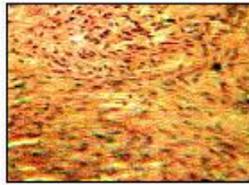
Skeletal muscles



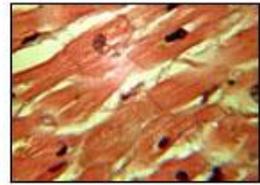
*Lista dei muscoli del corpo umano*



Skeletal muscle



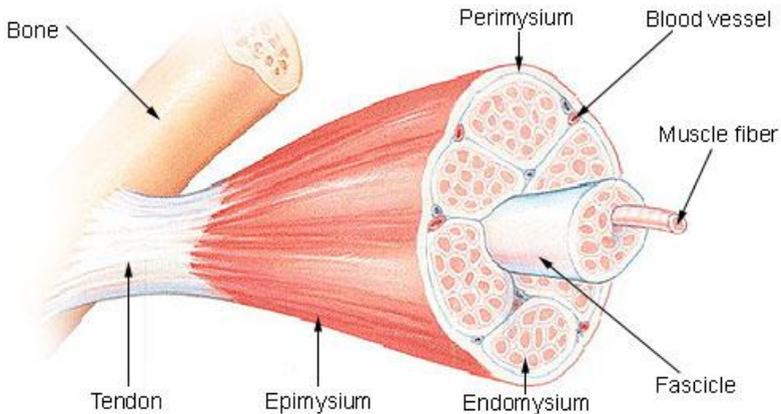
Smooth muscle



Cardiac muscle

### *Tipi di muscoli\**

#### **Structure of a Skeletal Muscle**

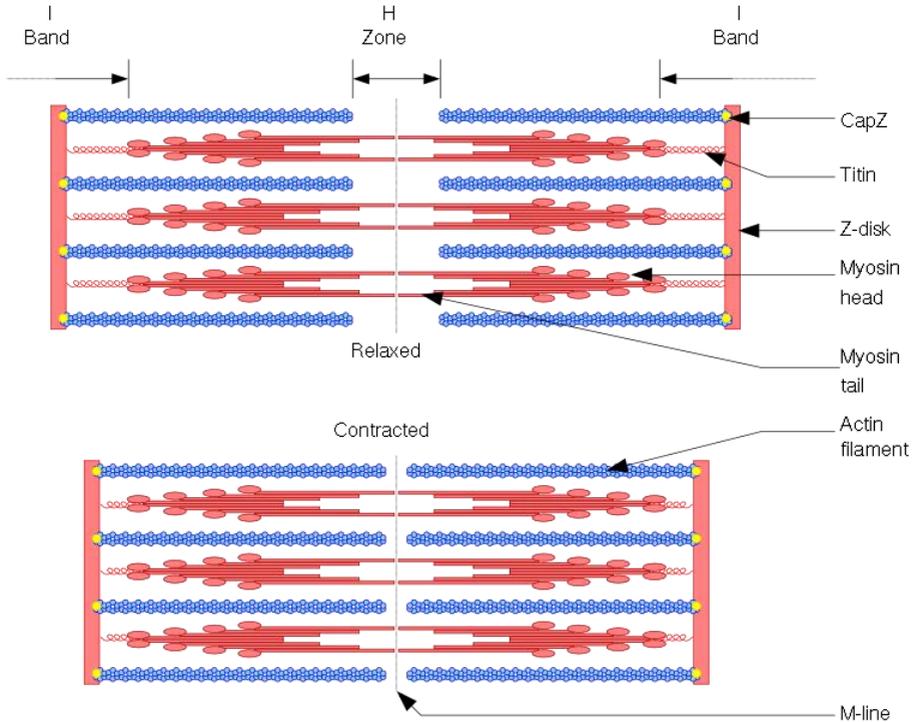


### *Microanatomia interna di un muscolo scheletrico*

La proteina presente nei filamenti sottili è l'actina, quella presente nei filamenti spessi è la miosina, ogni sarcomero quindi è delimitato alle due estremità da una striscia scura detta linea Z dalla quale partono coppie di filamenti di actina e parallelamente ad essi, si trovano i filamenti di miosina.

Sono proprio i filamenti a determinare la contrazione del muscolo tramite un meccanismo di **scorrimento tra filamenti** dove il filamento di miosina si aggancia al filamento di actina, mediante delle piccole teste, e "scorre" su di esso determinando l'accorciamento del sarcomero e di conseguenza dell'intero muscolo.

La contrazione non è limitata ad un singolo sarcomero ma si estende a tutti i numerosi sarcomeri che sono presenti in un muscolo, pertanto si avrà un'elevata potenza di contrazione.



*Modello del funzionamento della contrazione muscolare*

Il meccanismo di contrazione è sotto il controllo del sistema nervoso, ogni muscolo infatti è collegato al cervello tramite i neuroni motori che trasmettono impulsi elettrici alla cellula muscolare. L'impulso viene trasmesso al reticolo sarcoplasmatico (reticolo endoplasmatico della cellula muscolare) che comincia a rilasciare ioni calcio nel citoplasma della cellula. Questi ioni inducono la miosina ad agganciarsi all'actina e ad iniziare la contrazione che finirà quando gli ioni calcio ritorneranno nel reticolo sarcoplasmatico, senza il calcio infatti la miosina non può legarsi all'actina.

Il meccanismo di contrazione richiede energia che viene fornita dall'ATP, che, demolita in ADP, libera energia e fa muovere la miosina sull'actina. Anche se l'ATP viene demolita, vi sono meccanismi che consentono la continua rigenerazione di tale molecola, in maniera tale da farla restare sempre ad un livello costante. L'ATP

può rigenerarsi in diversi modi, a seconda della quantità di ossigeno che si ha a disposizione.

Quando non vi è ossigeno nelle fibre muscolari, l'ATP si rigenera attraverso la **glicolisi**, cioè la scissione del glicogeno, una sostanza di riserva energetica presente nelle fibre muscolari, questo meccanismo si attiva quando bisogna compiere sforzi intensi per poco tempo.

Quando è presente ossigeno nelle fibre muscolari, l'ATP si rigenera attraverso la **respirazione cellulare**, cioè il glicogeno, dopo la glicolisi, entra nel ciclo di Krebs portando alla formazione di ATP, questo meccanismo si attiva per sforzi non troppo intensi ma prolungati.

Quando infine c'è bisogno di una rigenerazione rapida di ATP si utilizzano le molecole di **creatin-fosfato** abbondantemente presenti nella fibra muscolare, le quali cedono ioni fosfato all'ADP trasformandolo in ATP, questo meccanismo si attiva per sostenere sforzi improvvisi ed intensi.

I **muscoli lisci**, come i muscoli viscerali, sono muscoli involontari, cioè non sono sotto il diretto controllo del sistema nervoso. Sono costituiti da fibre muscolari che contengono un solo nucleo e non presentano filamenti proteici di actina e miosina pertanto hanno una struttura liscia. Le cellule di questi muscoli comunicano tra di loro tramite giunzioni elettriche che consentono il movimento degli organi interni.

Il **muscolo cardiaco** è un muscolo involontario, formato da un particolare tipo di muscolatura, la muscolatura cardiaca, che è costituita da cellule cardiache molto simili a quelle della muscolatura striata in quanto sono presenti filamenti sottili e spessi. Le cellule del muscolo cardiaco, a differenza delle cellule della muscolatura striata, presentano un solo nucleo e comunicano tra di loro attraverso giunzioni elettriche. L'impulso si genera nel nodo senoatriale o pacemaker e da qui si propaga a tutte le cellule consentendo la contrazione ritmica del cuore.

## **Videolezioni**

Il sistema scheletrico

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2527-il-sistema-scheletrico.html>

Apparato tegumentario

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2541-il-sistema-tegumentario.html>

## 9. Nutrizione e apparato digerente

### 9.1 Il cibo come fonte di energia

Il compito dell'apparato digerente è di rendere disponibili sostanze semplici per le cellule. Attraverso l'alimentazione infatti entrano nel nostro corpo sostanze complesse estranee (macromolecole) che vengono demolite in sostanze semplici. Queste ultime vengono trasferite alle singole cellule dell'organismo mediante l'apparato di distribuzione (flusso sanguigno) ed utilizzate nei processi metabolici, cioè in tutte le reazioni chimiche e fisiche necessarie a mantenere in vita l'organismo.

Un organismo si alimenta quando ha lo stimolo della fame e la scelta del cibo è frutto della selezione naturale, nel senso che la scelta del cibo è condizionata dall'ambiente in cui un animale vive. Se in quell'ambiente non è presente l'alimento (animali specialisti, basano la loro dieta su un solo alimento) o gli alimenti (animali generalisti, onnivori, hanno una dieta varia) di cui si nutrono, allora tale individuo sarà destinato alla morte. In seguito allo stimolo della fame, l'individuo esplora l'ambiente alla ricerca della preda. I costi energetici di questa ricerca non devono, evidentemente, superare il valore energetico del cibo. È questo il motivo che ha comportato una serie di adattamenti evolutivi per la cattura della preda, si pensi ad esempio alla caccia in gruppo dei leoni che rappresenta sicuramente un metodo di cattura a più basso costo energetico rispetto alla caccia individuale.

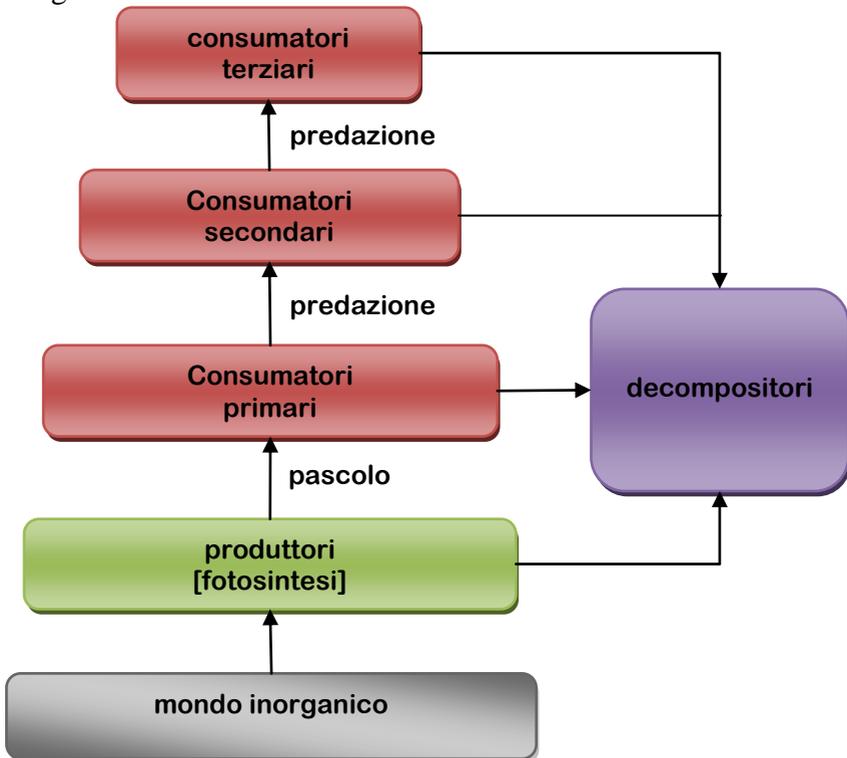
Esistono animali per il quali la ricerca del cibo non necessita di un dispendio energetico elevato. Ad esempio, tra i mammiferi, ricordiamo gli erbivori che si nutrono di un alimento immobile come le piante. Anche gli organismi filtratori, come gli cnidari, che si lasciano attraversare dall'acqua nutrendosi delle sostanze nutritive in essa presenti.

Esistono organismi invece che non hanno bisogno di ricercare la preda ma che riescono a sintetizzare le sostanze organiche di cui hanno bisogno utilizzando sostanze inorganiche. Attraverso il processo fotosintetico, utilizzano energia solare, anidride carbonica ed acqua per sintetizzare il glucosio, una molecola organica ad alto contenuto energetico secondo la reazione:



Tali organismi, chiamati produttori primari, sono alla base della piramide trofica, di questi si nutrono gli erbivori o consumatori primari i quali, a loro volta, costituiscono l'alimento dei carnivori o consumatori secondari.

All'apice della piramide si trovano gli onnivori o consumatori terziari di cui fa parte l'uomo. Esistono poi i decompositori, che utilizzano, come nutrimento, i resti di organismi animali e vegetali, decomponendoli in sostanze inorganiche di nuovo utilizzabili dai produttori primari. Tra un livello trofico e l'altro abbiamo trasferimento di materia e diminuzione di energia.



*Piramide trofica*

Possiamo dedurre che gli animali ricavano energia da diverse fonti (piante, animali, resti di organismi in decomposizione).

Questa energia viene misurata in **kilocalorie** ma nel Sistema Internazionale l'unità di misura dell'energia è il **joule** (1 caloria equivale a 4,1868 joule).

Una kilocaloria è uguale a 1000 calorie. **Una caloria è la quantità di energia necessaria per innalzare da 14,5 °C a 15,5 °C la temperatura di 1g di acqua distillata.**

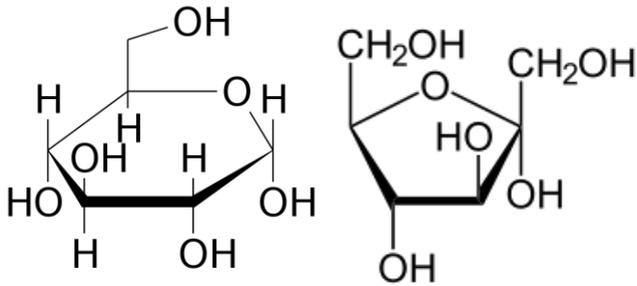
L'uomo ha bisogno di una differente quantità di energia, in base all'età, al sesso, alla statura, all'attività fisica che svolge. Per vivere ha bisogno di circa 2000-3000 calorie al giorno. Metà di tale energia serve per il **metabolismo basale** ovvero per il mantenimento delle funzioni vitali in fase di riposo, come la respirazione, l'attività del sistema nervoso, la digestione, l'attività cardiaca ecc. Il metabolismo basale è più alto negli uomini che nelle donne, che pertanto hanno bisogno di un minor apporto di calorie.

Il cibo quindi rappresenta la fonte di energia, si tratta di energia chimica, che deriva dalla rottura dei legami molecolari delle sostanze di cui l'uomo si nutre. Queste sono sostanze organiche; in particolare carboidrati, lipidi, proteine oltre ad altre sostanze come minerali, vitamine ed acqua che non sono fonte di energia ma hanno un ruolo fondamentale nello svolgimento delle funzioni vitali.

## I carboidrati

I carboidrati o glucidi sono molecole ad alto contenuto energetico, essi sono composti formati da carbonio, idrogeno e ossigeno. Comprendono i **monosaccaridi**, che sono i carboidrati più semplici, di cui fanno parte il glucosio ( $C_6H_{12}O_6$  con struttura atomica ciclica esagonale) e il fruttosio suo isomero ( $C_6H_{12}O_6$  con struttura atomica ciclica pentagonale), i **disaccaridi**, formati da due molecole di monosaccaridi che reagiscono tra di loro con eliminazione di una molecola d'acqua.

Di questi fa parte il saccarosio o zucchero da tavola ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) che si forma dalla reazione tra una molecola di glucosio e una di fruttosio. Infine i **polisaccaridi** sono i carboidrati più complessi e si formano dalla reazione di più molecole di monosaccaridi, di cui fanno parte l'amido, la cellulosa e il glicogeno.



*Struttura atomica di glucosio e fruttosio C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>*

I carboidrati vengono introdotti nel nostro organismo mediante l'alimentazione. In particolare il glucosio e il fruttosio vengono introdotti attraverso la frutta. Essi però sono anche contenuti nel miele e in genere nei vegetali.

Il glucosio, essendo un carboidrato semplice, è facilmente digeribile e rappresenta una fonte immediata di energia, perché attraverso l'apparato di distribuzione, arriva alle singole cellule, dove viene utilizzato per la glicolisi e per la respirazione cellulare.

I carboidrati più complessi, come i polisaccaridi, vengono scissi, attraverso la digestione, in sostanze più semplici (monosaccaridi). Ad esempio l'amido contenuto nelle patate, nei legumi, nel pane, nella pasta, nei cereali, è un polimero del glucosio e attraverso la digestione, viene prima scisso in sostanze semplici (glucosio) e poi distribuito alle singole cellule. È necessario che la concentrazione di glucosio nel sangue (glicemia) resti entro certi limiti, tra 60 mg/dl e 90 mg/dl. L'elevato contenuto di glucosio, dovuto a un'alimentazione troppo ricca di carboidrati, provoca il diabete oppure obesità.

Un polisaccaride che l'uomo non riesce a digerire è la cellulosa contenuta nei vegetali, nei cereali integrali, nella frutta. Essa è comunque utile in quanto favorisce l'espulsione delle sostanze di rifiuto che attraversano l'intestino crasso.

## **I lipidi**

I lipidi o grassi, sono costituiti da glicerolo e acidi grassi, rappresentano una fonte di energia maggiore rispetto a quella fornita dai carboidrati nonché una sostanza di riserva, accumulata nel tessuto adiposo, alla

quale attingere in caso di digiuno prolungato oppure quando si ha carenza di glucosio.

I grassi isolano anche dall'ambiente esterno, consentono ad alcuni animali di sopportare le rigide temperature invernali, svolgono inoltre un ruolo di riserva di vitamine, in particolare delle vitamine A, D, E e K che, essendo liposolubili, vengono assorbite dai grassi e poi distribuite alle cellule.

Attraverso l'alimentazione si introducono grassi sia di origine vegetale che animale. Questi ultimi, come ad esempio burro e strutto di maiale, sono grassi saturi dannosi per la salute dell'uomo, tendono infatti ad accumularsi attorno alle pareti delle arterie provocandone infiammazioni e indurimento (aterosclerosi). I grassi di origine vegetale come l'olio di oliva, l'olio di semi, sono invece insaturi.

Un'alimentazione ricca di grassi provoca obesità, rischio di malattie cardiache e tumori del colon.

### **Le proteine**

Le proteine sono delle macromolecole che derivano dalla combinazione di amminoacidi, che si legano attraverso un legame peptidico. Gli amminoacidi sono composti quaternari formati da carbonio, idrogeno, ossigeno e azoto. Le proteine vengono introdotte nell'organismo attraverso l'alimentazione.

I processi digestivi le demoliscono in amminoacidi che, attraverso l'apparato di distribuzione, vengono portati alle singole cellule, dove verranno riassemblati per formare le proteine di cui è costituito l'organismo.

Tutti gli esseri viventi, compreso l'uomo, presentano solo 20 tipi di amminoacidi, che vengono utilizzati per costruire l'enorme quantità di proteine presenti nel nostro corpo. Alcuni di essi vengono sintetizzati direttamente dal nostro organismo ma altri devono essere introdotti tramite l'alimentazione. Questi amminoacidi sono chiamati **amminoacidi essenziali** e sono: lisina, leucina, fenilalanina, isoleucina, triptofano, valina, treonina e metionina.



Diete invece troppo ricche di proteine possono causare problemi renali in quanto, dalla demolizione delle proteine, si ottiene anche l'azoto, un elemento che forma cataboliti azotati (ammoniaca  $\text{NH}_3$ ) che devono essere espulsi dall'apparato escretore attraverso le urine. Quindi una eccessiva quantità di azoto aumenta il lavoro dei reni.

## Le Vitamine

Le vitamine sono composti organici indispensabili per lo svolgimento delle funzioni vitali, l'uomo non è in grado di sintetizzarle pertanto deve assumerle attraverso il cibo. La loro carenza provoca alcune patologie. Ad esempio la mancanza di vitamina C provoca lo scorbuto (sanguinamento di gengive, caduta dei denti e difficoltà nel rimarginare le ferite). La mancanza di vitamina A provoca cecità.

Le vitamine necessarie all'uomo sono chiamate **vitamine essenziali** e appartengono a due tipologie, quelle **liposolubili** (A, D, E, K) che si accumulano nei grassi (assumerle in dosi eccessive può risultare dannoso) e quelle **idrosolubili** che, tramite l'apparato di distribuzione, arrivano alle cellule che le utilizzano per compiere diverse reazioni chimiche. Assumere vitamine idrosolubili in dosi eccessive non è pericoloso in quanto quelle in eccesso vengono eliminate attraverso le urine.

- **Vitamina A:** la si assume mangiando fegato, pesce, pomodori, burro, uova, verdura verde, frutta gialla, latte e derivati. Controlla la sintesi proteica, controlla la deposizione di calcio nelle ossa, forma la rodospina nella retina (visione crepuscolare), è un antiossidante. I sintomi di carenza si manifestano con cecità crepuscolare, cute ruvida e secca, mucose aride.
- **Vitamina D:** la si assume tramite alimenti come burro, tuorlo d'uovo, fegato, salmone, sardine, tonno. È utile per l'assorbimento e il metabolismo di calcio e del fosforo. Sono sintomi di carenza: rachitismo, osteo-malacia, decalcificazione dei denti.
- **Vitamine E:** la si assume mangiando ortaggi a foglia, oli vegetali, tuorlo d'uovo, legumi, noci, mandorle, germe di grano. È utile per le funzionalità muscolare, epiteliale, riproduttiva per il controllo della sintesi della vitamina A. È un antiossidante.

- **Vitamina K:** la si assume mangiando cavoli, spinaci, ortaggi a foglia, oli vegetali, pomodori. È prodotta dalla flora batterica intestinale. La carenza di questa vitamina provoca problemi di coagulazione del sangue.
- **Vitamina C:** la si assume mangiando agrumi, peperoni, fragole, meloni, pomodori, cavoli, patate. È un antiossidante, protegge dalle infezioni, è utile per l'assorbimento del ferro e il mantenimento dei tessuti. La carenza di questa vitamina provoca scorbuto, morbo di Barlow, sanguinamento delle gengive. Fragilità capillare.
- **Vitamina B1:** la si assume mangiando maiale, fegato, frattaglie, prodotti integrali di cereali, mandorle, nocciole, legumi, patate, funghi, riso. Controlla l'attività cardiaca, muscolare e nervosa, controlla la crescita e consente il metabolismo dei carboidrati. La carenza di questa vitamina provoca: beri-beri, anoressia, astenia, stipsi.
- **Vitamina B2:** la si assume mangiando fegato, latte, carni, uova, ortaggi verdi, riso. È un componente enzimatico, utile nel metabolismo glicidico e degli amminoacidi.
- **Vitamina B3:** La si assume mangiando latte, uova, frutta, verdura, fegato. Favorisce il metabolismo proteico, dei grassi e dei carboidrati.
- **Vitamina B6:** la si assume mangiando maiale, frattaglie, legumi freschi e secchi, cereali, patate, banane, spinaci. È utile nel metabolismo dei grassi e degli amminoacidi e nella formazione dei globuli rossi.
- **Vitamina PP:** la si assume mangiando fegato, pollame, carni, pesci, cereali integrali, legumi, funghi. È utile nel metabolismo glicidico e degli amminoacidi. La carenza di questa vitamina provoca pellagra, dermatite, demenza, diarrea.
- **Acido folico:** lo si assume mangiando ortaggi verdi, fegato, lievito di birra, carni, pesci, legumi, cereali integrali. È indispensabile per la formazione del sangue e per la funzionalità delle mucose digerenti.
- **Vitamina B12:** la si assume mangiando fegato, rognone, carni, latte, pesce. È indispensabile per la formazione del sangue, per la

funzionalità del sistema nervoso, favorisce l'utilizzazione delle proteine.

- **Vitamina F:** la si assume mangiando olio vegetale, abbassa il tasso di colesterolo nel sangue.

## I Minerali

I minerali sono elementi chimici inorganici che vengono introdotti nel nostro organismo attraverso gli alimenti, l'acqua e il latte, sono indispensabili per lo svolgimento delle funzioni vitali.

I minerali che dobbiamo assumere in quantità superiori allo 0,1 g al giorno sono:

- il **calcio** presente nelle ossa è indispensabile per rigenerare il tessuto osseo; lo si assume mangiando latte e formaggio;
- lo **zolfo** serve per la formazione di cartilagini, si assume con la carne;
- il **cloro** è importante per la formazione del succo gastrico;
- il **sodio** e il **potassio** sono importanti per la regolazione del bilancio idrico e per il funzionamento dei muscoli; cloro e sodio si assumono tramite il sale da cucina mentre il potassio grazie a frutta, verdure, carne e latte;
- il **magnesio** interessa la formazione delle ossa e interviene nella sintesi proteica; lo si trova nelle noci, nelle verdure e nei cereali integrali.

I minerali che dobbiamo assumere in quantità inferiori allo 0,1 g al giorno sono:

- il **ferro** presente nella molecola dell'emoglobina è indispensabile per il trasporto dell'ossigeno nel sangue, lo si può assumere mangiando carne, uova, legumi e verdure;
- il **fluoro** è indispensabile per mantenere in salute denti e ossa, viene assunto attraverso il pesce e l'acqua;
- lo **iodio** presente negli ormoni tiroidei, è indispensabile per il corretto funzionamento della tiroide, è contenuto nel pesce, nei molluschi e nei latticini;
- lo **zinco** si trova negli enzimi digestivi ed è contenuto in vari alimenti.

Le quantità di minerali che l'uomo deve assumere nel corso della vita, variano a seconda dell'età, del sesso, dello stato di salute. Una donna in gravidanza dovrà assumere maggiori quantità di ferro mentre una donna in menopausa avrà bisogno di maggiori quantità di calcio per non incorrere nella osteoporosi (fragilità delle ossa).

## 9.2 Rischi legati all'alimentazione sbagliata

L'uomo, per vivere in modo sano, deve avere un'alimentazione adeguata e corretta, pertanto oltre ad assumere, attraverso il cibo, le calorie in proporzione al peso corporeo e allo stile di vita che conduce, ha bisogno anche di una giusta quantità di minerali e vitamine.

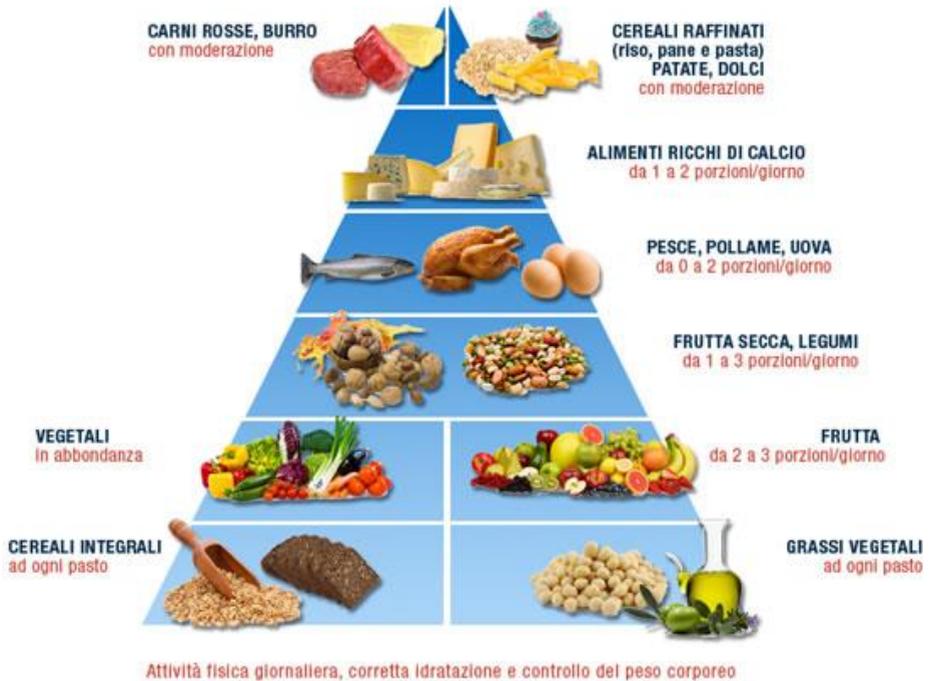
È possibile seguire una dieta sana ed equilibrata con i consigli proposti all'interno della piramide alimentare, che fornisce indicazioni sulla quantità e sulla qualità del cibo da assumere.

Seguire una corretta alimentazione previene il rischio di numerose malattie. Nel caso di una dieta ricca di grassi (ipernutrizione), vi è un apporto energetico troppo elevato che si traduce in sovrappeso e nei casi più gravi in obesità; al contrario una dieta povera di carboidrati, di proteine e di grassi (iponutrizione) comporterebbe un apporto insufficiente di energia e pertanto l'organismo userebbe le proteine del proprio corpo e dei propri tessuti.

Questa condizione può essere dovuta sia alla carenza di cibo sia a patologie nervose che spingono l'individuo a rifiutare il cibo, come l'**anoressia**, una malattia che comporta una perdita eccessiva di peso e nei casi più gravi porta alla morte.

La **bulimia** è una malattia che porta l'individuo a mangiare in maniera compulsiva grandi quantità di dolci e cibi vari. È anche essa una forma di iponutrizione in quanto, attraverso il vomito, che l'individuo che ne soffre volontariamente si procura o attraverso l'utilizzo di lassativi, l'organismo non assume tutto il nutrimento di cui ha bisogno per vivere. Un'alimentazione insufficiente può procurare, come si è detto, gravi malattie. In questo caso si parla di malnutrizione. Essa è presente nei paesi più poveri ma ne possono soffrire anche coloro che non si alimentano correttamente e che eliminano volontariamente dalla loro dieta carboidrati, proteine, vitamine o minerali.

## LA NUOVA PIRAMIDE ALIMENTARE



*La nuova piramide alimentare*

### 9.3 Apparato digerente

Il compito dell'apparato digerente è quello di digerire, cioè demolire le sostanze assunte mediante il cibo, di trasformare le sostanze complesse in sostanze semplici che possono essere assimilate dalle cellule.

La digestione può essere intracellulare o extracellulare. Negli organismi più semplici, come ad esempio dei Poriferi o Spugne, la digestione è intracellulare, cioè attraverso l'acqua, entrano nelle cellule dell'organismo, piccole particelle di cibo, le quali vengono demolite da enzimi digestivi e trasformate in sostanze nutritive che vengono utilizzate dalle cellule per lo svolgimento delle funzioni cellulari.



*Spugna marina (Aplysina aerophoba)*

La gran parte degli animali utilizza invece la digestione extracellulare, in cui si ha prima un trattamento meccanico del cibo, dovuto alle grandi dimensioni del cibo ingerito, e poi un trattamento chimico, che avviene all'esterno delle cellule e all'interno di una cavità del corpo.

Gli animali che presentano il più semplice apparato digerente avente una sola apertura, la bocca, sono gli Cnidari e i Platelminti, attraverso tale apertura entrano le particelle alimentari ed escono le sostanze di rifiuto.

Negli Cnidari, ad esempio, le cellule che tappezzano la cavità del corpo (celenteron o cavità gastrovascolare) secernono enzimi all'interno di tale cavità, digerendo le particelle di cibo che vengono trasformate in sostanze semplici, le quali saranno poi assorbite dalle cellule.

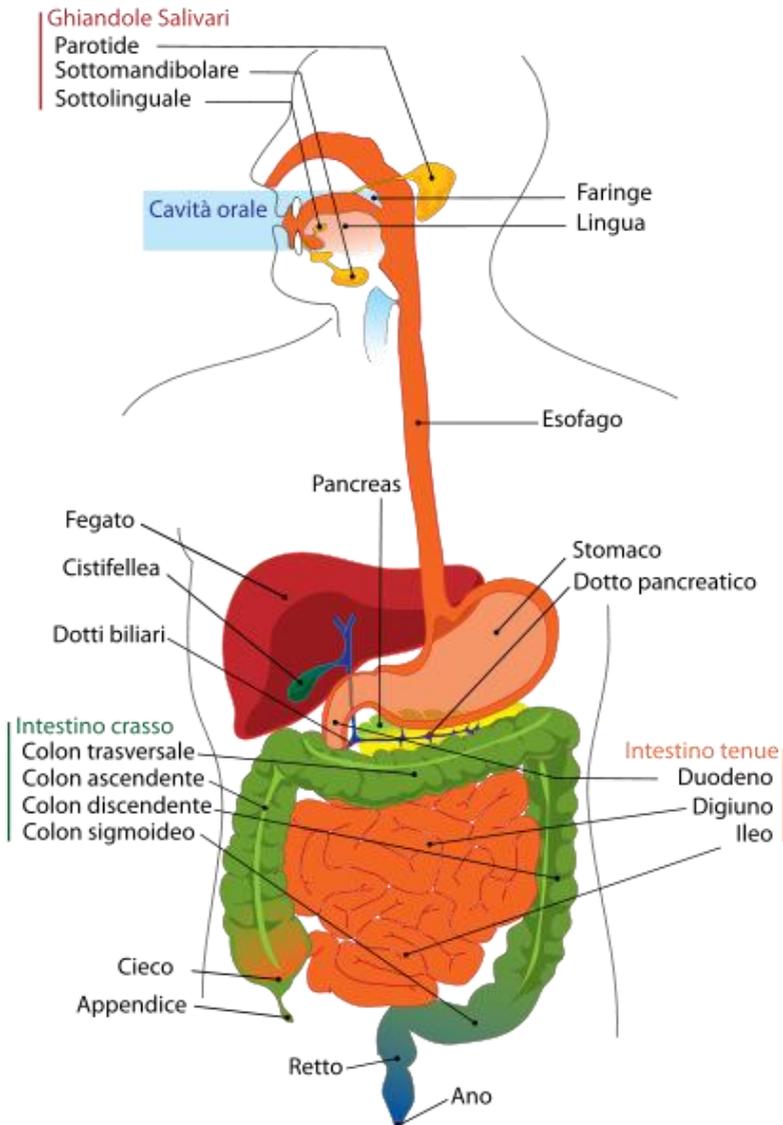
Negli organismi più complessi (vertebrati compreso l'uomo) invece vi è un apparato digerente con due aperture, bocca ed ano, il corpo cioè è attraversato da un canale alimentare aperto alle due estremità, pertanto l'alimento, che viene introdotto attraverso la bocca, incontrerà vari organi deputati ad una serie di processi digestivi fino ad arrivare all'ano dal quale verranno espulse le particelle indigerite.

Il processo digestivo avviene attraverso varie fasi. Inizia portando alla bocca il cibo (**ingestione**), in tale cavità comincia la **masticazione** (digestione meccanica), cioè la riduzione del cibo in particelle di piccole dimensioni in modo da aumentare la superficie di attacco da parte degli enzimi digestivi. Continua con la **digestione** chimica in cui le particelle di cibo vengono attaccate dagli enzimi e ridotte in sostanze semplici. Queste sostanze vengono assorbite dalle cellule intestinali e trasportate dall'apparato di distribuzione a tutte le cellule del corpo. Infine l'**eliminazione** in cui tutte le sostanze non assimilate vengono espulse tramite l'ano.

Gli organi che formano l'apparato digerente dei vertebrati sono: la bocca, la faringe, l'esofago, lo stomaco, l'intestino tenue e l'intestino crasso. Vi sono poi le ghiandole, come le ghiandole salivari, il fegato, il pancreas che contribuiscono ai processi digestivi attraverso i prodotti da loro secreti.

La prima fase della digestione avviene nella bocca, dove il cibo viene sminuzzato grazie all'azione dei denti, gli uomini adulti presentano una dentatura di 32 denti (16 arcata dentaria superiore e 16 arcata dentaria inferiore) ogni arcata è costituita da 4 incisivi, che servono per tagliare il cibo, 2 canini appuntiti utilizzati per trattenere il cibo, 4 premolari e 6 molari utilizzati per la masticazione.

L'interno della cavità boccale è rivestito da una mucosa nella quale si trovano le ghiandole salivari che secernono saliva, un liquido che contiene enzimi e muco. L'amilasi, è l'enzima digestivo contenuto nella saliva che serve a demolire l'amido presente nei carboidrati mentre il muco serve per agglutinare le particelle di cibo formando il **bolo**.

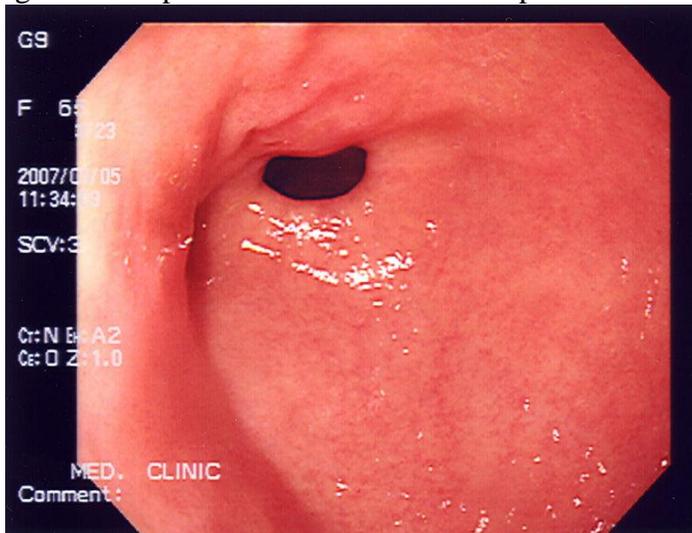


*Schema dell'apparato digerente umano*

Questo viene spinto dalla lingua verso la faringe grazie anche alla presenza di una valvola, l'epiglottide, che ostruisce il passaggio del

bolo nella trachea e lo indirizza verso la faringe, una cavità imbutiforme che collega la bocca all'esofago.

Il bolo quindi, attraverso la faringe, arriva all'esofago, un tubo lungo circa 25 cm che lo porta allo stomaco. I movimenti peristaltici (contrazione della muscolatura circolare e longitudinale dell'esofago), lo spingono verso lo stomaco. In questo modo è possibile deglutire anche stando a testa in giù, in quanto non è la forza di gravità che porta il bolo allo stomaco ma i movimenti peristaltici della muscolatura dell'esofago. Il bolo passa nello stomaco attraverso il cardias una valvola che chiudendosi, ostacola il reflusso gastroesofageo, cioè la risalita del contenuto dello stomaco nell'esofago. Lo stomaco è un'espansione del tubo digerente, grazie alla presenza nel suo interno di pieghe è in grado di dilatarsi quando vi arriva il cibo, la sua funzione è quella di immagazzinare il cibo e successivamente di condurre l'idrolisi delle proteine, cioè la scissione in amminoacidi, grazie alla produzione del succo gastrico da parte delle cellule della sua parete.



*Endoscopia di uno stomaco normale*

Il succo gastrico è composto da acido cloridrico ed enzimi, l'acido cloridrico rende acido il pH del succo gastrico, in modo da uccidere i batteri che vengono ingeriti attraverso il cibo e scinde in sostanze più semplici le proteine e tutto il materiale alimentare ingerito.

La scissione delle proteine in amminoacidi è possibile grazie alla produzione del pepsinogeno, prodotto dalle cellule delle fossette gastriche presenti nella parete dello stomaco, esso venendo a contatto con l'HCl viene trasformato in pepsina, un enzima che demolisce le proteine e quindi potenzialmente dannoso anche per le cellule delle pareti dello stomaco.

Per evitare danni, un muco riveste la parete ma, nonostante il muco, la pepsina e anche l'HCl, possono in alcuni casi lesionare la parete provocando l'ulcera. La muscolatura liscia della parete dello stomaco, contraendosi, mescola il cibo al succo gastrico, formano una poltiglia liquida e acida, chiamata **chimo**. Il chimo lascerà un po' alla volta lo stomaco, impiegando da una a quattro ore (arco di tempo necessario per digerire un pasto), dirigendosi poi, attraverso una seconda valvola (piloro) che collega lo stomaco all'intestino, verso il primo tratto dell'intestino tenue (**duodeno**). L'intestino tenue ha il compito di completare la digestione avvalendosi anche della collaborazione di ghiandole accessorie, il pancreas e il fegato.

Il **pancreas** è una ghiandola ad azione esocrina ed endocrina, si trova in prossimità del duodeno e riversa in esso il succo pancreatico, formato da enzimi digestivi, quali le proteasi che demoliscono le proteine, le lipasi che demoliscono i grassi e l'amilasi che demolisce i carboidrati già parzialmente digeriti nella bocca. Il pancreas e la mucosa intestinale secernono anche enzimi (nucleasi), che sono in grado di spezzare gli acidi nucleici nei nucleotidi da cui sono formati.

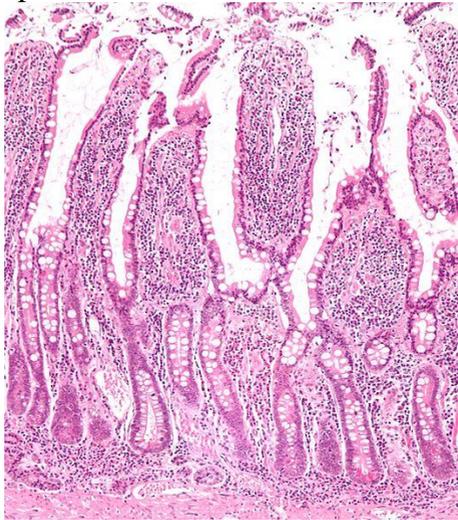
Inoltre il pancreas riversa nel duodeno il bicarbonato per attenuare l'acidità del chimo, visto che l'intestino ha bisogno di lavorare in un ambiente meno acido.

Altre cellule del pancreas, le isole di Langerhans, producono invece ormoni, insulina e glucagone, che vengono immessi nel sangue per mantenere entro certi limiti la concentrazione del glucosio.

Il **fegato** è una grossa ghiandola, pesa circa 1,5 kg, costituita da cellule epatiche avvolte da numerosi capillari, svolge diverse funzioni. Produce la bile, un liquido giallo-verde emulsionante dei grassi che attraverso il dotto biliare, viene raccolto nella cistifellea, un organo situato in prossimità del fegato. La cistifellea a sua volta riversa la bile nel duodeno e va a demolire i grassi presenti nel chimo. Oltre a produrre la

bile, il fegato, distrugge i globuli rossi vecchi del sangue, depura il sangue da tutte le sostanze tossiche assorbite mediante l'intestino, infine immagazzina vitamine e glucosio (sotto forma di glicogeno) che riversa nel sangue quando il suo livello si abbassa.

L'intestino tenue è un tubo lungo circa sei metri, il duodeno rappresenta il tratto iniziale, seguito poi dal digiuno e dall'ileo. Nell'ileo si completa la digestione e le proteine vengono scisse in amminoacidi, i grassi in acido grasso e glicerina, i carboidrati in zuccheri semplici. Tutte queste sostanze vengono assorbite dalla parete intestinale che è formata da numerose pieghe, dette villi, percorsi da capillari sanguigni, che riversano le sostanze assorbite nel sangue, e da vasi linfatici che riversano i grassi nel sistema linfatico. Ogni villo è ricoperto esternamente da microvilli ed entrambi aumentano la superficie di assorbimento della parete intestinale.



*Villi intestinali*

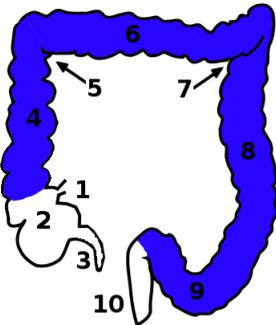
L'assorbimento avviene tramite trasporto attivo o passivo. Il risultato finale è quello di trasportare le sostanze digerite nei vasi sanguigni che a loro volta le trasportano al fegato, il quale le depura dalla presenza di eventuali sostanze tossiche, e infine vengono immesse nella circolazione arrivando a tutte le cellule del corpo. Quello che non viene

assorbito e che resta nell'intestino tenue passa all'intestino crasso: si tratta di acqua, ioni, vitamine e sostanze non digerite.

L'intestino crasso non prosegue la digestione, ha la funzione di riassorbire i liquidi. È un tubo di circa 1,50 m di lunghezza e ha un diametro maggiore di quello tenue, è costituito da una parte a fondo cieco, dal colon e dal retto.

La parte a fondo cieco presenta l'appendice vermiforme o ileocecale, che non ha un ruolo nella digestione ma, grazie alla presenza di tessuto linfatico, contribuisce alla difesa dell'organismo da infezioni intestinali, spesso può infiammarsi e deve essere asportata chirurgicamente.

La maggior parte del recupero dei liquidi, ioni e vitamine avviene nel colon che è costituito da un tratto ascendente, un tratto trasverso e uno discendente.



*Intestino crasso (il colon è colorato in blu):*  
 1. Valvola ileo-ciecale, 2. Cieco, 3. Appendice vermiforme, 4. Colon ascendente, 5. Flessura epatica, 6. Colon trasverso, 7. Flessura splenica, 8. Colon discendente, 9. Colon sigmoideo, 10. Retto.

Al suo interno vivono numerosi batteri, come l'*Escherichia coli*, che costituiscono la flora intestinale, essi si nutrono delle sostanze nutritive che non vengono assorbite dall'intestino tenue. In seguito alla loro attività vitale i batteri producono sostanze gassose e vitamine (K, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>12</sub>) che vengono poi assorbite dal colon. Il materiale indigerito viene quindi disidratato e accumulato nel retto, il tratto terminante del colon discendente, per essere poi espulso, da movimenti intestinali, sotto forma di feci (materiale indigerito, batteri e cellule intestinali morte), attraverso l'ano.

A volte il materiale espulso non è solido ma contiene ancora un elevato contenuto d'acqua (dissenteria), ciò è dovuto all'irritazione della parete del colon in seguito alla presenza di batteri parassiti o all'alterazione della flora batterica, che impedisce il riassorbimento dei liquidi.

Il complesso processo digestivo, costituito da una fase meccanica e una chimica, è controllato e regolato dal sistema nervoso che innesca la produzione di ormoni, i quali a loro volta regolano la secrezione di enzimi digestivi.

## **Approfondimenti**

Esperienza di laboratorio i carboidrati

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

Il sistema digestivo, video

<http://www.biology-innovation.co.uk/pages/human-biology/the-digestive-system/>

Regolamento del parlamento europeo che stabilisce i principi e i requisiti generali della legislazione alimentare, istituisce l'Autorità europea per la sicurezza alimentare e fissa procedure nel campo della sicurezza alimentare

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:031:0001:0024:IT:PDF>

Corrispondenza cibo-calorie

<http://www.balancek.com/info/foodsIT.html>

## **Videolezioni**

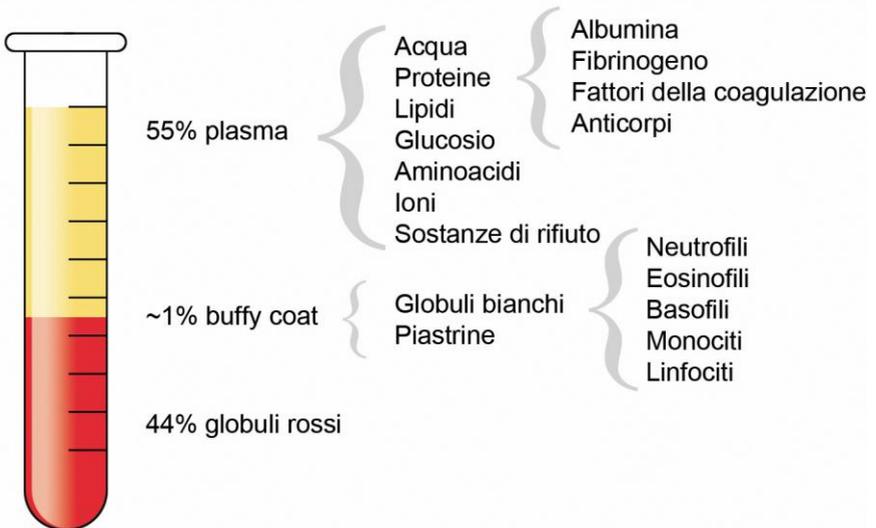
Apparato digerente

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2520-apparato-digerente.html>

## 10. La circolazione e la respirazione

### 10.1 Le componenti del sangue

Il sangue è un tessuto connettivo nel quale la matrice intercellulare è costituita da un liquido. Nei vertebrati è composto da una parte solida formata da tre tipi di cellule, **globuli rossi** o eritrociti, **globuli bianchi** o leucociti e **piastrine** o trombociti e da una parte liquida che è il **plasma**. Un individuo adulto possiede circa 5 litri di sangue, ogni millimetro cubo di sangue contiene circa 4-6 milioni di globuli rossi, 5 o 7 mila globuli bianchi e circa 300 mila piastrine. Se preleviamo un campione di sangue umano e lo centrifughiamo in una provetta, otteniamo la separazione dei suoi componenti. Vedremo che esso è formato per la maggior parte da plasma (55%) e per il restante 45% dalle particelle del sangue, di queste solo l'1% è rappresentato da globuli bianchi e piastrine mentre il 44% da globuli rossi.

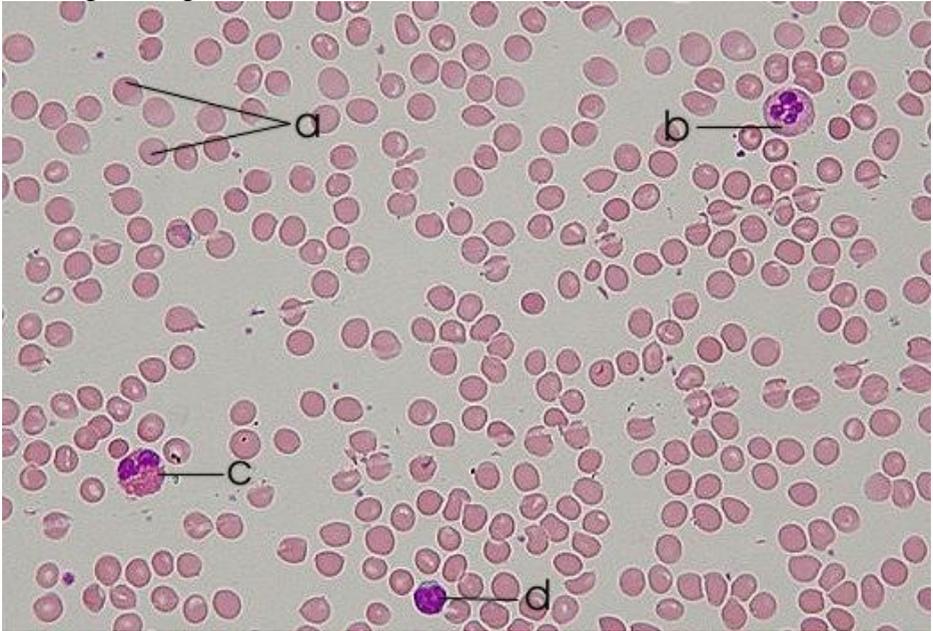


Ematocrito = 45%

Matematicamente.it

Tutte le cellule del sangue hanno origine da cellule staminali (emocitoblasti) presenti nel midollo osseo, tranne un gruppo di globuli bianchi (linfociti) che ha origine dal tessuto linfoide del midollo osseo e

di altri organi linfatici. Tutte le cellule del sangue, al termine della loro vita, vengono distrutte principalmente nella milza, in misura minore in altri organi: fegato, linfonodi ecc.



*Sangue umano osservato al microscopio elettronico.  
a. globuli rossi, b. neutrofili, c. eosinofili, d. linfociti*

Il sangue svolge diverse funzioni, trasporta ossigeno e sostanze nutritive a tutte le cellule del corpo e da esse preleva le sostanze di rifiuto (cataboliti azotati ai reni e anidride carbonica ai polmoni), trasporta ormoni indispensabili per l'attivazione di enzimi che regolano le funzioni vitali delle cellule, trasporta globuli bianchi che difendono l'organismo dalle infezioni, distribuisce il calore prodotto dai processi metabolici e dall'attività muscolare in modo tale da mantenere costante la temperatura del corpo intorno ai 37 °C (omeotermia), indipendentemente dalla temperatura dell'ambiente esterno.

Esistono infatti una serie di strategie che hanno un ruolo determinante nei meccanismi di termoregolazione e che permettono di produrre calore dall'interno, quando la temperatura esterna è bassa oppure di liberare calore quando la temperatura esterna è alta.

Ad esempio, se la temperatura dell'ambiente esterno è troppo bassa, il corpo tenderebbe a disperdere calore. Per evitare tale dispersione, il corpo reagisce con il brivido ovvero, attraverso la contrazione dei muscoli e la conseguente produzione di calore. Inoltre, i vasi sanguigni della cute tendono a restringersi (vasocostrizione) così da riversare tutto il sangue dalla superficie del corpo verso l'interno. In questo modo le zone periferiche avranno una temperatura inferiore e ciò ridurrà la dissipazione del calore verso l'esterno. Anche il rivestimento corporeo (i peli per i mammiferi e le piume per gli uccelli) contribuisce a trattenere il calore.

Al contrario, quando la temperatura dell'ambiente esterno è troppo alta, il corpo ha difficoltà a disperdere il calore, allora esso reagisce con la sudorazione, ovvero la produzione di un liquido, da parte delle ghiandole sudoripare, che evaporando sottrae calore e abbassa la temperatura corporea. Il corpo dilata poi i vasi sanguigni sottocutanei (vasodilatazione) in maniera tale da apportare maggiore quantità di sangue dall'interno del corpo verso le zone periferiche, che in questo modo avranno una temperatura maggiore, ciò favorirà la dispersione di calore.

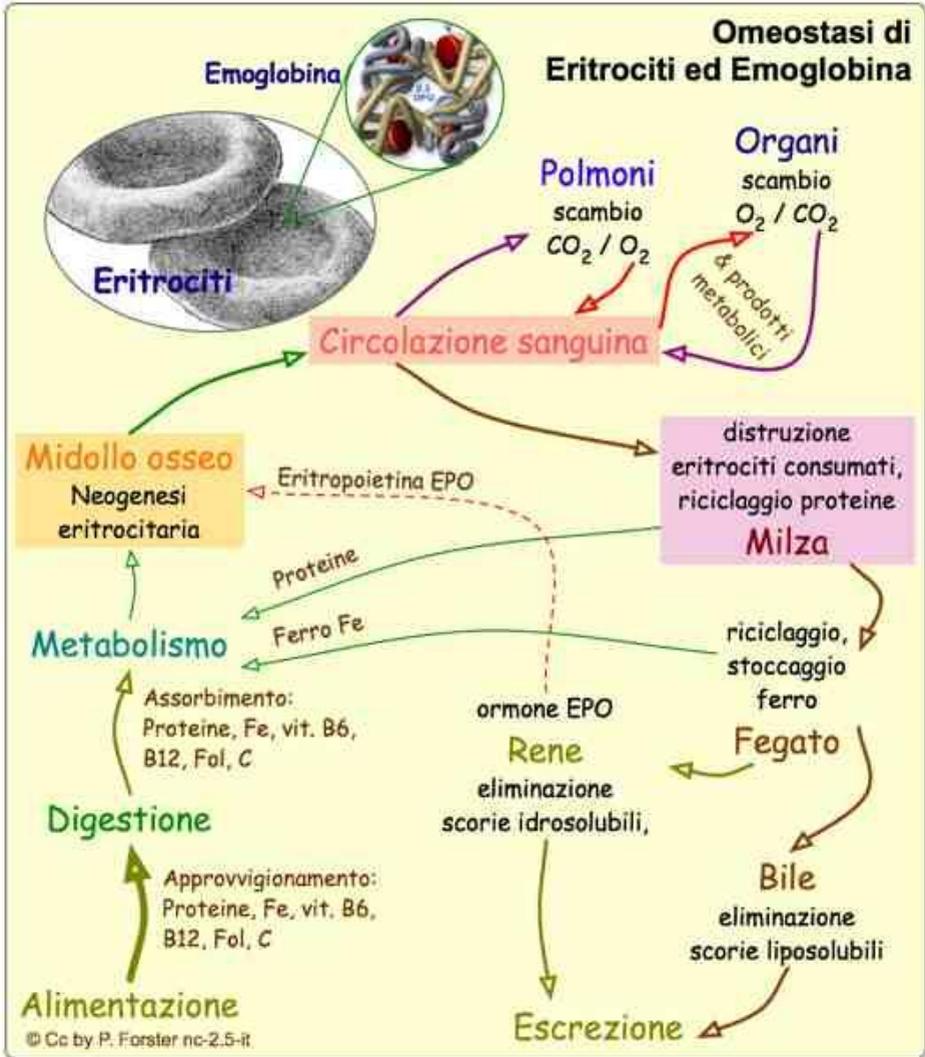
Il vantaggio dell'omeotermia è che tutti i processi biochimici avvengono a velocità costante, senza avere un rallentamento del metabolismo dovuto alle eventuali variazioni di temperatura corporea.

La maggior parte degli animali però è eteroterma (anfibi, rettili, pesci e tutti gli invertebrati), cioè hanno la temperatura interna che dipende da quella dell'ambiente esterno. Non hanno quindi meccanismi di termoregolazione, né sono in grado di produrre calore dall'interno ma devono assorbirlo dall'ambiente esterno, ad esempio le lucertole restano per ore al sole per innalzare la temperatura corporea oppure si spostano all'ombra per abbassarla.

### **Globuli rossi o eritrociti**

I globuli rossi sono cellule a forma di disco biconcavo, una forma che consente di avere una maggiore superficie a parità di volume. Ciò consente di aumentare l'efficienza degli scambi con l'ambiente esterno. Quando i globuli rossi raggiungono la maturità sono privi del nucleo,

del mitocondrio e di altri organuli cellulari in quanto hanno bisogno di spazio per le proteine, come ad esempio l'emoglobina.



*Fisiologia dell'emoglobina*

L'**emoglobina** è una proteina con struttura quaternaria, costituita cioè da quattro catene polipeptidiche in ognuna delle quali è presente un gruppo eme che contiene un atomo di ferro (che conferisce a tali globuli

il colore rosso), che si lega con una molecola di ossigeno, quindi ogni emoglobina trasporta quattro molecole di ossigeno.

Il legame con l'ossigeno avviene quando il sangue arriva ai polmoni e da qui viene trasportato alle singole cellule del corpo che, a loro volta, rilasceranno anidride carbonica, la quale non si legherà al ferro ma alle catene polipeptidiche dell'emoglobina. Quest'ultima attraverso il sangue verrà di nuovo trasportata ai polmoni dove rilascerà anidride carbonica e si legherà di nuovo con l'ossigeno.

In media i globuli rossi vivono circa 120 giorni, passato tale periodo vengono distrutti nella milza e sostituiti da altri eritrociti prodotti dalle cellule del midollo osseo. In seguito a gravi emorragie o ferite, la perdita di sangue provoca una diminuzione di eritrociti e quindi di ossigeno nel sangue. Quando ai reni e al fegato arriva sangue con un basso contenuto di ossigeno, essi producono l'**eritropoietina**, che raggiunge le cellule del midollo osseo e le stimola a produrre nuovi eritrociti ristabilendone il numero. La produzione di eritrociti terminerà quando si abbasseranno i livelli di eritropoietina in seguito all'arrivo di sangue ricco di ossigeno nei reni e nel fegato.

Negli invertebrati invece, non è la molecola dell'emoglobina a trasportare ossigeno, ad esempio negli artropodi è l'emocianina, al suo interno è contenuto rame al posto di ferro pertanto il sangue avrà una colorazione blu e non rossa.

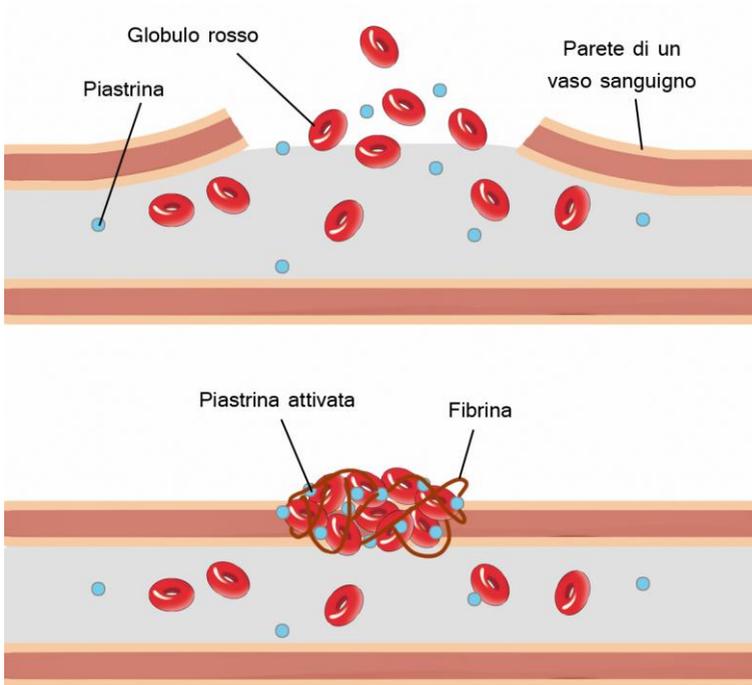
### **Globuli bianchi o leucociti**

Sono cellule di forma sferica o appiattita, più grandi degli eritrociti. Hanno il nucleo, alcuni producono estensioni del citoplasma che vanno a formare gli pseudopodi con i quali si muovono attraverso le pareti dei vasi sanguigni per raggiungere le zone colpite da infezioni oppure per catturare particelle estranee da fagocitare. La loro funzione è quella di difendere il nostro corpo da organismi patogeni. Si distinguono tre categorie: i **linfociti** che producono anticorpi per distruggere gli organismi patogeni (virus, batteri, protisti, funghi), i **monociti**, sono quelli che hanno dimensioni maggiori e una maggiore azione fagocitaria, i **granulociti**, possono essere neutrofili, basofili, eosinofili o acidofili (tali nomi derivano dalla capacità di assorbire determinati

coloranti), hanno il citoplasma ricco di granuli, fagocitano batteri e producono sostanze anticoagulanti per cicatrizzare le ferite.

### Piastrine o trombociti

Le piastrine sono frammenti di cellule giganti presenti nel midollo osseo, derivano da cellule speciali dette megacariociti, mancano di nucleo e sono fondamentali per la coagulazione del sangue, bloccano emorragie o rimarginano ferite. Senza il loro intervento, basterebbe una piccola ferita, per perdere tutto il sangue contenuto nel nostro corpo. Vivono in media 10 giorni, vengono distrutte nella milza o nel fegato e rigenerate nel midollo osseo.



Matematicamente.it

In seguito alla rottura di un vaso sanguigno intervengono le piastrine che aderiscono al collagene della parete del vaso formando un tappo che chiude la zona danneggiata. Esse rilasciano delle sostanze che innescano una serie di reazioni a cascata in cui il prodotto di ogni reazione agisce da catalizzatore per la reazione successiva. La

protrombina (una proteina) è trasformata in trombina, che catalizza la trasformazione del fibrinogeno, normalmente presente nel plasma, in fibrina. I filamenti di fibrina formano una rete che intrappola i globuli rossi, creando il coagulo. A volte il meccanismo di coagulazione può essere difettoso. Ad esempio le persone affette da emofilia, una malattia ereditaria che consiste nella non coagulazione del sangue, possono perdere notevoli quantità di sangue anche da una piccola ferita, pertanto devono somministrare periodicamente una proteina che consenta, in caso di necessità, l'attivazione del meccanismo di coagulazione.

Un difetto contrario invece è la tendenza a formare coaguli all'interno di vasi sanguigni, chiamati trombi (se restano localizzati all'interno dei vasi) oppure emboli (se vengono trasportati dal sangue provocando ostruzioni di altri vasi sanguigni).

### **Plasma**

Il plasma rappresenta la parte liquida del sangue, è costituito per circa il 91% di acqua e per il restante da altre sostanze disciolte come sali inorganici, gas disciolti ( $O_2$  e  $CO_2$ ), ormoni, anticorpi, lipidi, zuccheri e soprattutto proteine come l'albumina, il fibrinogeno e le globuline. Il ruolo fondamentale è quello di trasportare tutte le cellule del sangue.

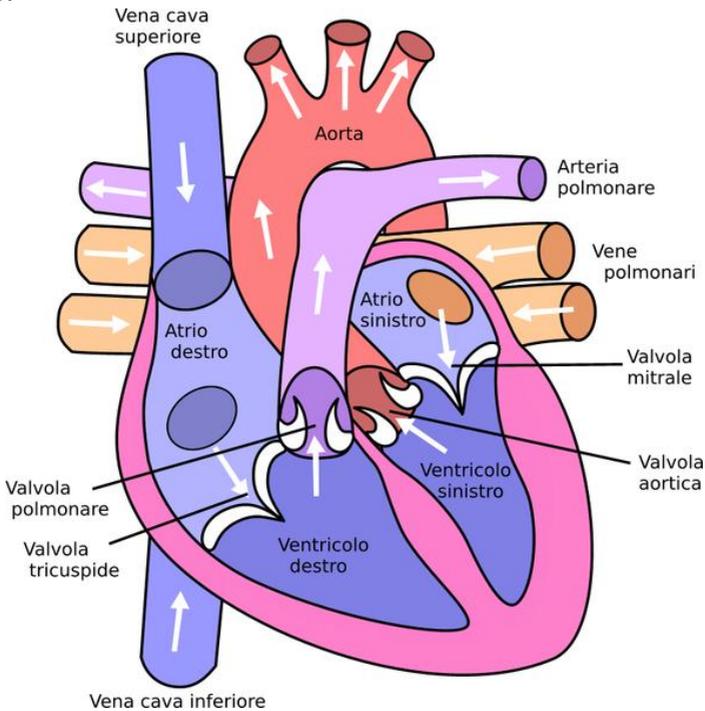
### **10.2 La circolazione in sistemi aperti o chiusi**

Gli organismi unicellulari o gli organismi più semplici come i Poriferi, gli Cnidari, i Platelmini, sono privi di un apparato circolatorio. Ad esempio nei Poriferi le cellule ricevono le sostanze nutritive e l'ossigeno direttamente dall'ambiente esterno.

Negli organismi più complessi come negli invertebrati, vi è un sistema di trasporto di queste sostanze, ad esempio negli artropodi vengono trasportate da un liquido (emolinfa), privo però di ossigeno, che scorre all'interno di un vaso dorsale contrattile che presenta dei pori (ostioli) attraverso i quali l'emolinfa fuoriesce e bagna tutte le cellule.

Questo tipo di circolazione è detta **circolazione aperta**, in cui cioè i vasi terminano prima di arrivare alle singole cellule, in quanto non esistono capillari, e riversano il loro contenuto direttamente in ampie lacune o interstizi fra le cellule. In un secondo momento l'emolinfa ritorna al vaso dorsale.

Negli anellidi e nei vertebrati, compreso l'uomo, c'è un altro tipo di circolazione, il sangue scorre sempre all'interno di vasi sanguigni che terminano con capillari che arrivano alle singole cellule: questo tipo di circolazione si chiama **circolazione chiusa** ed è più efficiente in quanto l'ossigeno e le sostanze nutritive raggiungono molto più velocemente e più facilmente tutte le cellule del corpo. L'uomo presenta una circolazione chiusa, in cui il flusso sanguigno trasporta le sostanze nutritive, l'ossigeno e altre sostanze a tutte le cellule del corpo. Il sangue scorre all'interno di vasi sanguigni grazie alla spinta che riceve dal cuore.



*Circolazione del sangue nel cuore umano*

Il cuore è un organo muscolare, situato nel torace, costituito da quattro cavità, due superiori chiamate atri (destro e sinistro) e due inferiori chiamate ventricoli (destro e sinistro), esso si contrae ritmicamente a partire da cellule (cellule pacemaker) situate nell'atrio destro ed in particolare in una zona detta nodo senoatriale, esse si contraggono ed inviano un impulso elettrico (molto simile a quello delle cellule

nervose) agli atri che a loro volta contemporaneamente si contraggono. Si tratta quindi di una contrazione involontaria, non controllata dal sistema nervoso. L'impulso elettrico generato dal nodo senoatriale, con un leggero ritardo (0,1 secondi), raggiunge anche il nodo atrioventricolare, una regione in cui l'atrio destro si collega con il ventricolo destro, provocando la contrazione dei ventricoli a partire dagli apici, in questo modo il sangue viene spinto in tutto il corpo.

La circolazione del sangue è quindi possibile grazie alla contrazione degli atri che spinge il sangue nei ventricoli, i quali a loro volta si contraggono spingendo il sangue nelle arterie che lo trasportano ai polmoni (circolazione polmonare o piccola circolazione) e al resto del corpo (circolazione sistemica o grande circolazione). Inizialmente il cuore è rilassato e le valvole atrioventricolari sono aperte, cioè è in diastole (0,4 secondi), poi gli atri si contraggono (0,1 sec) e a questi segue la contrazione dei ventricoli (0,3 sec), questa fase di contrazione è detta sistole. L'alternarsi di sistole e diastole dura circa 0,8 secondi e determina il battito cardiaco (il cuore compie circa 60-70 battiti al minuto). Precisamente il battito è il "suono" composto da due colpi; il primo è prodotto dalla contrazione dei ventricoli e dalla spinta del sangue che sbatte contro le valvole atrioventricolari, il secondo dallo scatto provocato dalla chiusura delle valvole semilunari (quelle in uscita dal cuore).

Nell'uomo quindi è presente una doppia circolazione. Partendo dalla circolazione polmonare, il sangue venoso, ricco di anidride carbonica e proveniente dai tessuti del corpo, attraverso la vena cava (superiore e inferiore), arriva all'atrio destro che si contrae spingendo il sangue nel ventricolo destro. Il passaggio dall'atrio al ventricolo destro avviene attraverso la valvola atrioventricolare o valvola tricuspide che chiudendosi impedisce il ritorno del sangue nell'atrio destro. Successivamente il ventricolo destro si contrae e spinge il sangue attraverso la valvola semilunare polmonare nelle arterie polmonari, le quali conducono il sangue ai capillari polmonari. Qui il sangue rilascia anidride carbonica che verrà espulsa attraverso l'espiazione e si ossigena attraverso l'aria inspirata. Il sangue ricco di ossigeno ritorna al cuore, precisamente nell'atrio sinistro, attraverso le vene polmonari. L'atrio sinistro si riempie di sangue ossigenato (arterioso) e

successivamente si contrae (sistole) spingendolo, attraverso la valvola mitrale o bicuspidale al ventricolo sinistro che si dilata accogliendo il sangue (diastole).

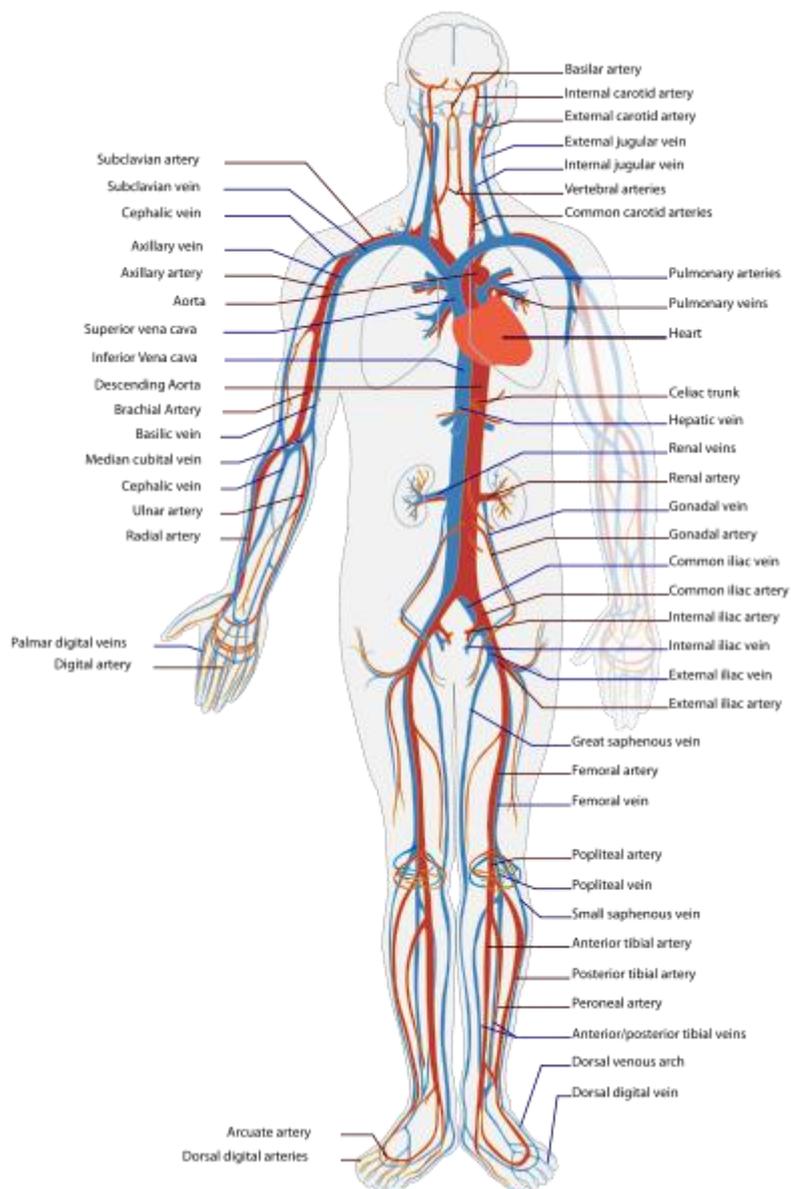
Successivamente si ha la contrazione del ventricolo sinistro che comporta l'apertura della valvola semilunare aortica e il passaggio del sangue ossigenato nell'aorta che lo porta a tutte le cellule del corpo, queste preleveranno l'ossigeno dal sangue e immetteranno di nuovo anidride carbonica, il sangue venoso arriverà di nuovo all'atrio destro e ricomincerà il percorso.

La circolazione nell'uomo è quindi **doppia**, come in tutti i mammiferi, (il sangue passa due volte attraverso il cuore) e **completa**, in quanto il sangue venoso non si mischia mai al sangue arterioso.

### 10.3 Sistema circolatorio

Il sistema circolatorio dell'uomo è formato dal cuore e dai vasi sanguigni attraverso cui scorre il sangue. I vasi sanguigni sono le arterie, i capillari e le vene.

Le **arterie** sono vasi formati da tre tipi di tessuti, la parete interna rivestita da tessuto epiteliale, lo strato esterno formato da tessuto connettivo e lo strato intermedio da fibre muscolari. Esse trasportano il sangue ossigenato; partono dal cuore e si ramificano in arteriole, le quali diventano sempre più sottili fino a formare i capillari. In seguito alle contrazioni cardiache il sangue viene spinto ad alta pressione nelle arterie che, avendo pareti elastiche, si dilatano. La pressione assicura al sangue la spinta necessaria per arrivare a tutte le cellule del corpo, essa diminuisce man mano che le arterie si allontanano dal cuore; per questo valori normali della pressione arteriosa sono indice di buona salute: 120 come pressione massima o pressione sistolica e 80 come pressione minima o pressione diastolica.



*Schema dell'apparato circolatorio umano*

I **capillari** sono dei vasi sottilissimi (8  $\mu\text{m}$  di diametro) che attraverso la loro parete, costituita solo da cellule del tessuto epiteliale (endotelio), diffondono alle singole cellule ossigeno e sostanze nutritive prelevando anidride carbonica e sostanze di rifiuto.

Il sangue ricco di tali sostanze è detto venoso e attraverso una fitta rete, detta letto capillare, passa dai capillari alle venule (vasi più spessi dei capillari) e prosegue nelle **vene**, vasi molto spessi che portano il sangue dai tessuti al cuore.

Le pareti delle vene presentano una muscolatura meno sviluppata di quella delle arterie. Da queste pareti partono verso l'interno delle valvole (valvole semilunari o a nido di rondine) che assicurano unidirezionalità al flusso sanguigno dirigendolo verso il cuore. Tale percorso è favorito anche dalla contrazione dei muscoli scheletrici aderenti alle vene. Il flusso sanguigno nelle vene scorre più lentamente ed è a pressione minore rispetto a quello che scorre nelle arterie. Le uniche vene che trasportano sangue ossigenato sono le vene polmonari.

#### 10.4 Malattie cardiache

Sono numerose le malattie legate al malfunzionamento del cuore e di conseguenza dell'intera circolazione sanguigna. Tra le più diffuse vi è l'**angina pectoris** (infarto) dovuta ad un'occlusione delle arterie coronarie in seguito alla formazione di un coagulo che blocca il flusso sanguigno al cuore; se il coagulo si forma in un'arteria del cervello allora si avrà l'ictus.

Una delle cause di formazione del coagulo è dovuta all'accumulo di colesterolo nelle arterie, che provoca indurimento della parete (**aterosclerosi**) e il restringimento del loro lume (spazio interno) con formazione di placche (ateromi) le quali attivano le piastrine per formare un coagulo. L'aterosclerosi può provocare **ipertensione**, ovvero valori di pressione arteriosa troppo alti, che possono causare l'**aneurisma**, ovvero la dilatazione delle arterie. Quest'ultima può interessare tutti i vasi sanguigni ma generalmente si verifica nell'aorta o nelle arterie del cervello e in alcuni casi tale dilatazione può portare anche alla rottura dell'arteria.

Il malfunzionamento delle valvole venose impedisce al sangue di tornare verso il cuore, accumulandosi nelle vene che si dilatano, tale dilatazione prende il nome di **vena varicosa**.

Anche le valvole del cuore possono essere difettose, durante la contrazione dei ventricoli ad esempio la valvola mitrale e tricuspide dovrebbero chiudersi ma un loro malfunzionamento provoca il reflusso di sangue che genera un lievissimo rumore chiamato **soffio cardiaco**.

Condurre uno stile di vita sano, con una alimentazione equilibrata, svolgendo attività fisica, evitando fumo ed alcol, aiuta la prevenzione di numerose malattie cardiache anche se alcune di esse sono congenite, hanno cioè una componente genetica ereditaria.

### **10.5 Circolazione linfatica**

Il sangue è composto anche da plasma, un liquido nel quale sono disciolte le sostanze nutritive. Il plasma tramite i capillari, trasporta alle singole cellule le sostanze nutritive, parte di esso trasuda dai capillari e si deposita tra gli spazi intercellulari, dove le cellule riversano anidride carbonica e altre sostanze di rifiuto. Il plasma viene poi recuperato dai capillari linfatici che finiscono a fondo cieco negli spazi intercellulari dei tessuti e viene trasportato nei vasi linfatici, di spessore maggiore rispetto ai capillari sanguigni.

I vasi linfatici presentano pareti con muscolatura molto sottile e valvole a nido di rondine che assicurano unidirezionalità alla linfa, un liquido che contiene sostanze di rifiuto, proteine, cellule morte e sostanze estranee come microrganismi, batteri o virus. Le valvole impediscono il reflusso della linfa che così viene diretta al dotto toracico (vaso linfatico di grandi dimensioni) situato lungo la colonna vertebrale. Dal dotto toracico la linfa viene riversata nelle vene succlavie della spalla per poi ritornare nella circolazione sanguigna.

Il flusso linfatico viene spinto dalla contrazione della muscolatura aderente ai vasi linfatici e non dal cuore, questo è il motivo per cui persone che restano a letto per molto tempo possono presentare un gonfiore dovuto al ristagno linfatico nei vasi (edema). Ovviamente la linfa, prima di ritornare in circolo, deve essere ripulita dalla presenza di sostanze di rifiuto e sostanze estranee. A questa ripulitura provvedono i linfonodi, corpi di forma ovale distribuiti lungo tutto il sistema linfatico

ma maggiormente nella zona del collo, dell'inguine e delle ascelle. Nei linfonodi si trovano i linfociti (globuli bianchi) che fagocitano queste sostanze di scarto, ripulendo la linfa. In caso di infezioni, l'attività dei linfonodi aumenta provocandone il gonfiore.

Organi linfatici sono anche la **milza**, situata dietro lo stomaco, che filtra il sangue e contiene linfociti in grado di fagocitare le sostanze di rifiuto. Il **timo** situato alla base del collo anch'esso contenente linfociti che svolgono un'azione importante nella difesa dell'organismo e ancora tonsille adenoidi e appendice ileo-cecale.

### 10.6 Apparato respiratorio

Il sangue distribuisce le sostanze nutritive e l'ossigeno alle singole cellule del nostro corpo. I processi digestivi portano alla demolizione del cibo in sostanze più semplici mediante fenomeni ossidativi e alla liberazione di energia chimica che viene utilizzata dalle cellule per sintetizzare ATP, in tale molecola si accumula energia che servirà per le attività cellulari. La sintesi dell'ATP avviene nei mitocondri delle cellule e necessita di un apporto di ossigeno; ossigeno che viene prelevato dall'ambiente esterno grazie all'apparato respiratorio, viene immesso nel sangue e trasportato alle singole cellule. Nelle cellule viene utilizzato per la respirazione cellulare e darà come prodotto finale la formazione dell'ATP.

Nelle cellule procariote, che usano la respirazione aerobica, ma mancano di mitocondri, la catena di trasporto è inclusa nella membrana plasmatica.

Negli organismi unicellulari, come i Protozoi, e negli organismi più semplici come Poriferi e Cnidari e Platelmini, gli scambi gassosi (ossigeno e anidride carbonica) avvengono tramite la superficie corporea. I gas disciolti nell'acqua, attraversano la superficie corporea per diffusione, ovvero passando da un ambiente a concentrazione maggiore verso uno a concentrazione minore. L'ossigeno disciolto nell'acqua proviene dall'ossigeno atmosferico e dagli organismi fotoautotrofi (esempio alghe) presenti nell'acqua, esso attraversa la superficie di scambio (la superficie corporea) la quale per essere efficiente deve essere sottile, ampia ed umida.

Gli animali terrestri non possono respirare attraverso la superficie cutanea in quanto non possono utilizzare direttamente l'ossigeno atmosferico, hanno infatti bisogno di strutture che presentino una superficie umida dove scioglierlo e che siano interne al corpo per evitare l'essiccazione. Tali strutture nei vertebrati terrestri sono i polmoni, mentre negli invertebrati, come ad esempio gli artropodi terrestri (insetti), sono le **trachee**, lunghi tubi, interni al corpo, che si aprono all'esterno mediante aperture chiamate spiracoli attraverso le quali entra ossigeno ed esce anidride carbonica.

Altri vertebrati acquatici, come i pesci ossei, presentano altre strutture respiratorie, le branchie, essi, pur essendo organismi acquatici, non possono effettuare scambi gassosi attraverso la superficie corporea, in quanto l'aumento delle dimensioni corporee comporta un aumento di volume e una diminuzione della superficie di scambio, pertanto hanno bisogno di strutture specializzate attraverso le quali diffondere ossigeno.

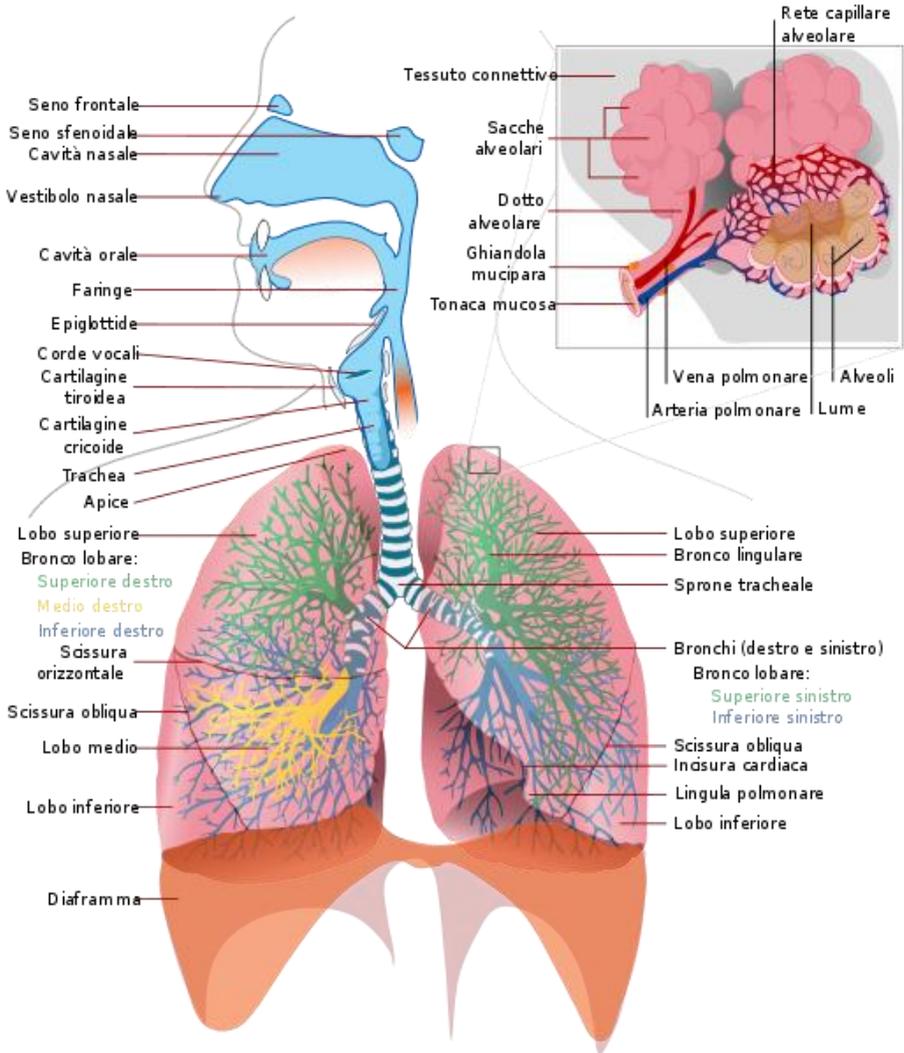
Le branchie sono costituite da numerosi filamenti ricchi di capillari. L'acqua, che contiene ossigeno, entra attraverso la bocca del pesce, passa nelle branchie dove l'ossigeno per diffusione attraversa le pareti dei capillari ed entra nel sangue che lo porta al resto del corpo.

Sempre tramite i capillari fuoriesce anidride carbonica che viene immessa nell'acqua e portata all'esterno attraverso l'apertura degli opercoli, strutture che coprono le branchie.

Nei mammiferi, uomo compreso, l'apparato respiratorio inizia con le cavità umide del naso e della bocca. All'interno delle **cavità nasali** sono presenti peli che hanno il compito di trattenere impurità presenti nell'aria. Attraverso le cavità nasali l'aria arriva nella **faringe** e da qui alla **laringe**, situata nella zona del collo, nella quale sono presenti le corde vocali, ovvero gli organi della fonazione. Si tratta di pieghe membranose che vengono avvicinate dalla contrazione dei muscoli laringei formando una fessura che viene attraversata dall'aria, proveniente dalla trachea, causandone la vibrazione e l'emissione di suoni.

La laringe è in comunicazione, mediante l'epiglottide, con la faringe (organo in comune con l'apparato digerente). L'epiglottide impedisce al cibo di entrare nella laringe e consente invece l'ingresso dell'aria che

dalla laringe viene condotta alla **trachea**, un tubo lungo circa 10 cm, situato nel collo, davanti all'esofago. Quest'ultimo è formato da anelli cartilaginei che ne impediscono il collasso durante l'inspirazione.



*Schema dell'apparato respiratorio*

La trachea si ramifica in due **bronchi** che entrano all'interno dei polmoni. Ogni bronco continua a ramificarsi nei **bronchioli** che

terminano con gli **alveoli polmonari**, sacche sferiche rivestite da cellule umide epiteliali avvolte da numerosi capillari dove avvengono gli scambi gassosi.

L'ossigeno entra per diffusione dagli alveoli nei capillari mentre l'anidride carbonica fuoriesce dai capillari ed entra negli alveoli per poi essere espulsa tramite l'espiazione.

I bronchi e la trachea sono rivestite da cellule epiteliali che producono un muco con il quale vengono intrappolati microrganismi o particelle estranee. Il movimento delle ciglia di tali cellule spingono il muco contenente le particelle da eliminare verso la faringe, dove poi verranno espulse. Il fumo delle sigarette ostacola questo movimento e provoca l'accumulo delle particelle di rifiuto che l'organismo tende ad eliminare tramite una tosse secca. Tale accumulo può causare infiammazioni dell'apparato respiratorio ed in particolare bronchiti e polmoniti fino ad arrivare, nei casi più gravi, alla rottura della parete degli alveoli (enfisema).

I bronchi si trovano quindi all'interno dei polmoni che sono delle masse di tessuto spugnoso situate nella gabbia toracica e rivestiti da una membrana, la pleura, che delimita una cavità ricca di liquido (liquido pleurico) che impedisce il collasso del polmone e ne favorisce i movimenti durante la respirazione.

La respirazione si compie attraverso due atti: ispirazione ed espiazione. L'**inspirazione** che consente l'ingresso dell'aria ricca di ossigeno nei polmoni avviene grazie alla contrazione della muscolatura toracica; ciò comporta un allargamento della gabbia toracica e un sollevamento delle costole mentre il diaframma si abbassa, in questo modo i polmoni si espandono e si riempiono di aria.

L'**espiazione** invece comporta la fuoriuscita dai polmoni di aria povera di ossigeno, attraverso un meccanismo inverso all'inspirazione, infatti i muscoli toracici si rilassano e la gabbia toracica ritorna alle dimensioni originarie, le costole si abbassano e il diaframma si solleva. La diminuzione del volume della gabbia toracica provoca un aumento di pressione sui polmoni che di conseguenza emettono l'aria per ristabilire l'equilibrio.

In condizioni normali l'uomo compie 16-20 atti respiratori al minuto, immettendo ed espellendo circa mezzo litro di aria, che aumentano

durante l'esercizio fisico per eliminare l'elevata quantità di anidride carbonica, di conseguenza aumenta anche il volume dell'aria ispirata ed espirata che sale a circa 3-4 litri.

Il volume dell'aria ispirata ed espirata prende il nome di **volume corrente**. Durante l'espirazione non fuoriesce mai tutta l'aria dai polmoni, infatti restano circa 1,2 litri di aria che rappresentano il **volume residuo**. Considerando la massima quantità di aria che entra nei polmoni (capacità vitale) e quella residua avremo la **capacità totale** dei polmoni che è di circa 5 litri.

Tutto il meccanismo della respirazione è regolato da centri respiratori situati nel bulbo del tronco encefalico e dal **corpo carotideo** costituito da cellule chemiocentriche situate nelle carotidi, arterie di grosso calibro che portano il sangue al cervello.

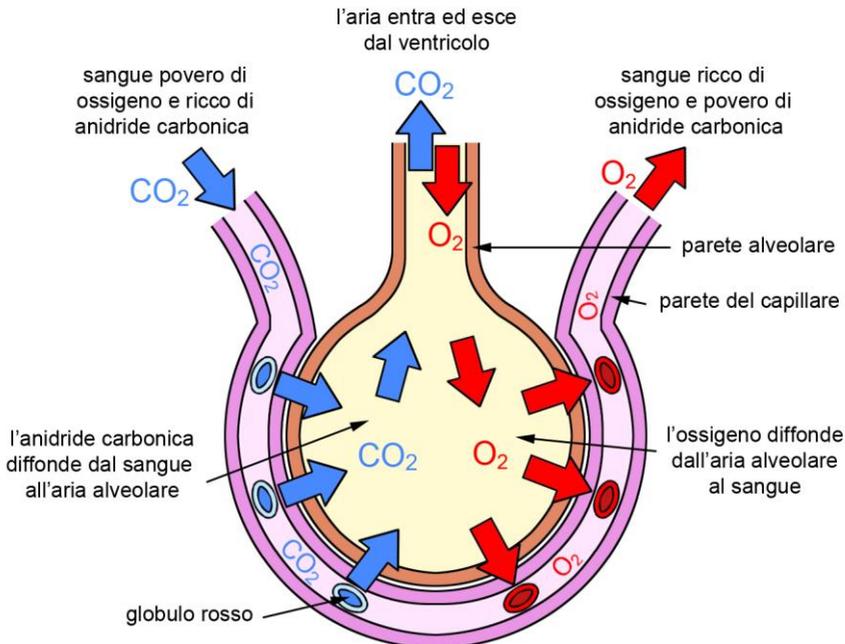
Quando l'anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) è a un livello alto nel sangue, si combina con l'acqua formando acido carbonico che, in quanto acido, si dissocia producendo ioni  $\text{H}^+$ . Se la concentrazione della  $\text{CO}_2$ , e quindi quella degli  $\text{H}^+$ , aumenta anche solo leggermente, sia nel sangue che nel liquido cerebro-spinale che bagna l'encefalo, i centri respiratori mandano impulsi nervosi che arrivano alla muscolatura toracica che si contrae consentendo atti respiratori più profondi e più frequenti.

In caso di attività fisica il livello di anidride carbonica si innalza; questa situazione viene subito percepita dai centri nervosi che aumentano la frequenza degli atti respiratori per ristabilire l'equilibrio. La respirazione intensa cessa quando altri recettori situati nei polmoni inviano impulsi ai centri respiratori che bloccano la contrazione della muscolatura toracica e dai polmoni fuoriesce l'aria. Dopo pochi istanti la concentrazione dell'anidride carbonica torna ad aumentare e la sequenza respiratoria ricomincia.

L'aria ispirata ed espirata hanno la stessa composizione ma differenti valori di concentrazione dei gas in essa presenti come evidenzia la seguente tabella:

Gas	Aria inspirata	Aria espirata
<b>Azoto</b>	79%	80%
<b>Ossigeno</b>	21%	16%
<b>Anidride carbonica</b>	0,03%	4%

L'aria inspirata, ricca di ossigeno, arriva tramite l'apparato respiratorio agli alveoli polmonari dove avvengono gli scambi gassosi, qui per diffusione l'ossigeno entra nei capillari polmonari e si lega all'emoglobina presente nei globuli rossi del sangue, i quali vengono trasportati dal sangue al cuore e da qui immessi nella circolazione sistemica.



Matematicamente.it

### *Scambi gassosi nell'alveolo polmonare*

Arrivando ai tessuti e alle singole cellule, l'emoglobina cede l'ossigeno in quanto la presenza di anidride carbonica, il prodotto di rifiuto del

metabolismo cellulare, impedisce all'emoglobina di trattenere l'ossigeno che quindi viene rilasciato e utilizzato dalle cellule per bruciare le sostanze assimilate in modo da ricavare energia, produrre calore e svolgere tutte le attività cellulari. Le cellule a loro volta eliminano l'anidride carbonica, che si diffonde nel liquido interstiziale e poi passa ai capillari. Il sangue ricco di anidride carbonica viene trasportato ai polmoni arrivando ai capillari degli alveoli polmonari che la diffondono all'esterno.

### **Approfondimenti**

Animazione degli scambi respiratori

[http://www.superagatoide.altervista.org/images/circolo\\_sangue.swf](http://www.superagatoide.altervista.org/images/circolo_sangue.swf)

### **Videolezioni**

Apparato respiratorio

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2524-apparato-respiratorio.html>

Apparato circolatorio

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2522-apparato-circolatorio.html>

Il sangue

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2521-il-sangue.html>

## 11. Il Sistema immunitario

### 11.1 La difesa contro i microrganismi patogeni

L'aria, l'acqua, il terreno sono pieni di microrganismi (virus, batteri, protozoi, funghi, parassiti) potenzialmente dannosi per il nostro organismo. Quando questi microrganismi patogeni entrano in contatto con il nostro corpo si riproducono e si diffondono rapidamente provocando malattie o infezioni. Il nostro corpo può combatterli attraverso il sistema immunitario che attiva una difesa aspecifica o specifica.

La **difesa aspecifica** è una difesa generica che combatte allo stesso modo tutti i tipi di patogeni, pertanto anche se si tratta di una difesa veloce, può non risultare efficace contro alcuni patogeni, per i quali invece è necessario un attacco specifico e mirato.

Il primo ostacolo che un agente patogeno deve superare per entrare all'interno del nostro corpo è la pelle. Oltre a rappresentare una barriera protettiva, la pelle presenta ghiandole che secernono sebo e sudore, secrezioni a pH acido che ostacolano la crescita di numerosi patogeni. Qualsiasi apertura, all'interno di tale barriera, dovuta ad esempio alla lacerazione della pelle (ferite o tagli), potrebbe consentire l'ingresso di alcuni patogeni. È necessario quindi rimarginare rapidamente le ferite. Per questo le cellule dell'epidermide si dividono e vanno a colmare lo spazio vuoto che si è creato. Nei casi di ferite più gravi che danneggiano i vasi sanguigni, è necessario intervenire anche con il meccanismo di coagulazione per evitare emorragie.

L'ingresso di patogeni può avvenire anche attraverso la bocca, gli occhi o le cavità nasali. In questo caso il nostro organismo presenta delle strategie di difesa: nella saliva e nel liquido lacrimale è presente un enzima, il lisozima, che distrugge le pareti cellulari dei batteri provocandone la morte, all'interno delle cavità nasali, la presenza di peli ostacola l'ingresso di batteri presenti nell'aria. Quelli che riescono comunque ad arrivare all'apparato respiratorio, vengono intrappolati dal muco prodotto dalle cellule epiteliali della parete della trachea e dei bronchi e trasportati dal movimento delle ciglia alla faringe. Da qui entrano nell'apparato digerente e, attraverso l'esofago, arrivano allo stomaco dove la produzione del succo gastrico uccide numerosi

microrganismi invasori, assieme a quelli introdotti con il cibo. Quelli che riescono ad arrivare all'intestino vengono infine attaccati dalla flora batterica.

Nonostante questi meccanismi di difesa alcuni patogeni riescono comunque ad entrare nel nostro organismo e passare nel flusso sanguigno, da dove si diffondono in tutto il corpo provocando infezioni. Nell'organismo si attiva allora la **risposta infiammatoria**. Nel sangue ci sono proteine antimicrobiche che distruggono i microrganismi patogeni. Un batterio che danneggia le pareti delle cellule e quindi l'intero tessuto, può essere distrutto dalle cellule *natural killer*, ovvero globuli bianchi o leucociti in grado di rilasciare la perforina, una proteina che danneggia la membrana plasmatica del batterio.

Il batterio può essere fagocitato dai leucociti provenienti dal flusso sanguigno e richiamati nella zona danneggiata in seguito al rilascio di proteine (mediatori dell'infiammazione) del sistema del complemento da parte delle cellule danneggiate.

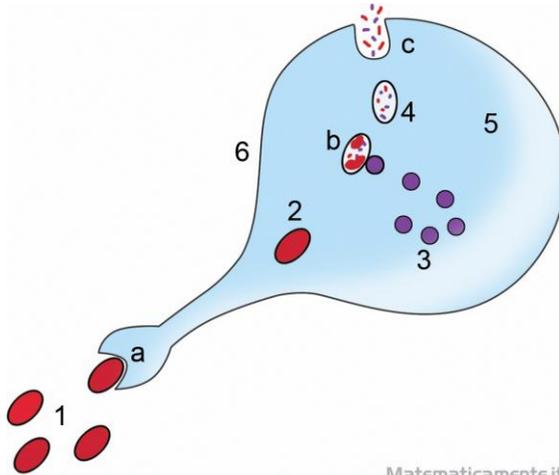
I leucociti svolgono la loro azione fagocitaria grazie agli pseudopodi con i quali catturano il microrganismo, che viene inglobato e digerito dai lisosomi, organuli contenenti gli enzimi digestivi.

Il rilascio delle proteine stimola anche i mastociti (cellule grandi e rotonde presenti in tutti i tessuti connettivi) a far fuoriuscire l'istamina, contenuta all'interno di granuli presenti nel citoplasma.

L'istamina provoca una dilatazione dei capillari e un maggiore afflusso di sangue, di conseguenza l'arrivo di leucociti nella zona danneggiata, causa un arrossamento di tale zona che viene definita infiammata.

Le proteine del complemento attirano anche i neutrofili (globuli bianchi) che vengono trasportati attraverso il flusso sanguigno ai tessuti danneggiati e in maniera rapida fagocitano i batteri. Successivamente arrivano i macrofagi che continuano a svolgere l'azione fagocitaria e producono proteine, le citochine, che inviano segnali chimici alle altre cellule del sistema immunitario, in particolare l'interleuchina che stimola i linfociti a proliferare e provoca un innalzamento della temperatura corporea (febbre) utile per indebolire i batteri. Delle citochine fanno parte anche gli interferoni che invece intervengono in caso si venga a contatto con un virus, essi inibiscono la replicazione del virus nella cellula infetta e stimolano la risposta immunitaria. Purtroppo

nonostante l'intervento di diversi tipi di globuli bianchi (che si originano da cellule staminali del midollo osseo) come le cellule natural killer, mastociti, neutrofili e macrofagi, molti microrganismi patogeni riescono ancora a sopravvivere pertanto è necessario attivare un meccanismo di **difesa specifica** facendo intervenire un altro gruppo di globuli bianchi, i linfociti, che si originano dal tessuto linfoide del midollo osseo.

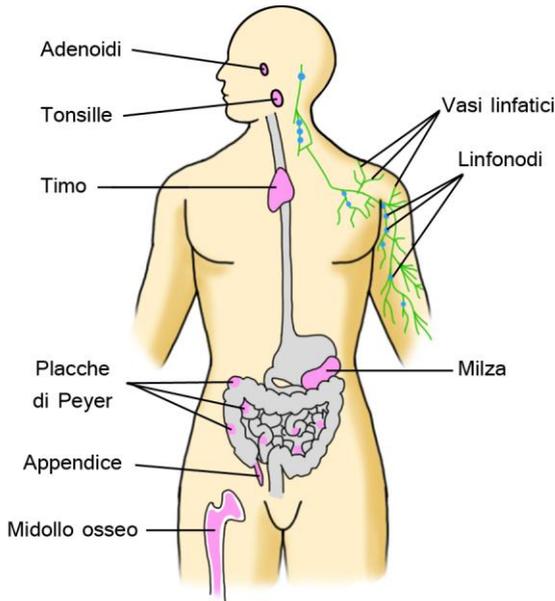


Matematicamente.it

*Un macrofago ingerisce un patogeno: a) si forma un fagosoma; b) la fusione tra un lisosoma e un fagosoma origina una fagolisosoma, il patogeno viene spezzato dagli enzimi. C) materiale inutile viene espulso o assimilato. 1) patogeno, 2) fagosoma, 3) lisosomi, 4) materiale di scarto, 5) citoplasma, 6) membrana cellulare.*

I linfociti sono presenti nel sangue ma anche nei vasi linfatici e sono maggiormente abbondanti nei linfonodi, nella milza (posta tra lo stomaco e i reni), nelle adenoidi (situate nella parte posteriore del naso), nelle tonsille (situate nell'orofaringe). I linfociti intervengono quando nel nostro corpo arrivano microrganismi quali virus, batteri, parassiti ma anche sostanze chimiche estranee come proteine o carboidrati, tutte queste sostanze estranee attivano una risposta immunitaria e vengono chiamate antigeni. Siccome gli antigeni con i quali possiamo venire a contatto sono molto numerosi, per ognuno di loro esiste uno specifico

linfocita in grado di combatterlo, per questo quando si attivano i linfociti si parla di difesa specifica, ovvero un attacco mirato a quel tipo di antigene.



Matematicamente.it

### *Organi del sistema immunitario in cui si trovano i linfociti*

Un antigene che entra nel flusso sanguigno, viene riconosciuto dal linfocita ad esso complementare che inizia a moltiplicarsi, formando dei cloni, cioè delle cellule identiche alle cellule madre (linfocita), in questo modo viene attivata una risposta immunitaria primaria. Dopo aver sconfitto l'antigene, molti di questi linfociti saranno distrutti mentre alcuni resteranno nel sangue come cellule memoria, cioè cellule in grado di riconoscere lo stesso antigene e di attivare, qualora si ripresenti lo stesso antigene, una risposta immunitaria secondaria che è molto più rapida ed efficace della prima in quanto uccide i microrganismi prima che si moltiplichino. L'individuo risulterà così immunizzato nei confronti di quel determinato antigene. Ad esempio se un individuo ha contratto il morbillo, nel corso della sua vita non potrà più essere contagiato dal virus del morbillo proprio grazie alla presenza delle

cellule memoria che producono anticorpi prima che la malattia si sviluppi.

Il sistema immunitario non solo è in grado di riconoscere le sostanze estranee (*non self*) e combatterle ma è anche in grado di riconoscere le proteine dei propri tessuti (*self*): se non fosse così finirebbe per riconoscere come estranee le proprie proteine e quindi si autodistruggerebbe (autoimmunità).

L'apparato digerente e l'utero non provocano una risposta immunitaria quindi non sono immunocompetenti, infatti tutte le sostanze che arrivano tramite l'alimentazione nel nostro corpo, come proteine, carboidrati ecc., sono sostanze estranee e quindi dovrebbero provocare una risposta immunitaria da parte dell'apparato digerente, ma ciò non avviene permettendo all'organismo di alimentarsi.

Analogamente, il feto presente all'interno dell'utero è formato sia da proteine derivanti da geni della madre che da proteine derivanti da geni del padre, queste ultime sono proteine estranee alla madre eppure non vengono distrutte.

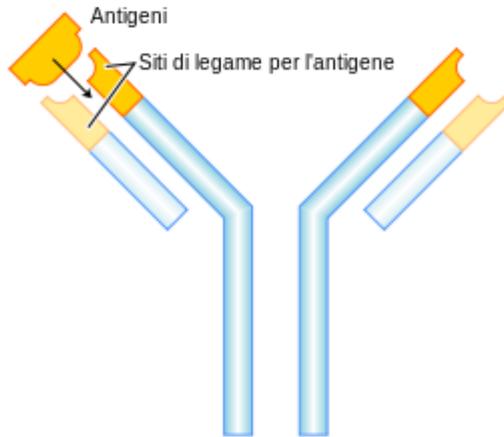
La difesa specifica può avvenire attivando una risposta immunitaria mediata da anticorpi oppure una risposta immunitaria mediata da cellule.

## 11.2 Risposta immunitaria mediata da anticorpi

Quando nel sangue dell'individuo finiscono molecole estranee (antigeni) l'organismo reagisce producendo una **risposta immunitaria mediata da anticorpi o risposta umorale** ovvero producendo proteine, configurate sull'antigene, chiamate anticorpi.

Gli anticorpi vengono prodotti dai linfociti B, quest'ultimi si formano e maturano nel midollo osseo (*bone marrow*), arrivano nel sangue e si concentrano nei linfonodi e in tutti i tessuti linfoidei periferici (milza, tonsille, adenoidi) che contengono milioni di linfociti B. Ogni linfocita B produce un anticorpo di una specifica forma e sulla sua membrana si trovano copie di questo anticorpo.

## Antigeni



## Anticorpo

### *Anticorpo che si lega al suo antigene*

Gli anticorpi sono proteine appartenenti alle immunoglobuline (Ig), ognuno è formato da quattro catene polipeptidiche (due leggere e due pesanti) che formano una Y, ogni braccio della Y è formato da una catena leggera e da una pesante mentre il gambo da due catene lunghe pesanti. Ogni anticorpo differisce da un altro per una diversa forma dell'estremità dei bracci dovuta ad una diversa combinazione degli amminoacidi, sono proprio i bracci a presentare siti di legame per l'antigene. Una volta che l'anticorpo ha riconosciuto l'antigene di forma complementare si lega ad esso, quindi ogni anticorpo può legare, attraverso i bracci, due antigeni, in questo modo tutti gli anticorpi formeranno degli ammassi di antigeni. Il gambo della Y invece richiama i macrofagi che fagociteranno l'anticorpo con i rispettivi antigeni. Ogni linfocita B quindi produce un particolare tipo di anticorpo e siccome sono milioni i linfociti B presenti nei tessuti linfoidei periferici altrettanto numerosi sono i tipi di anticorpi che si

possono formare e di conseguenza numerosi sono anche i tipi di antigeni che si possono sconfiggere. Quando un antigene compare nel sangue questo si lega al linfocita B che porta l'anticorpo complementare alla sua forma. Il linfocita inizia così a dividersi e moltiplicarsi formando dei cloni ovvero delle cellule identiche alla cellula madre, che producono gli stessi tipi di anticorpi adatti a combattere quello specifico antigene.

Ad un certo punto le cellule smettono di dividersi e si differenziano formando delle plasmacellule che producono e liberano gli anticorpi per sconfiggere gli antigeni. Alcuni dei linfociti B che si sono formati non si differenziano in plasmacellule ma diventano cellule della memoria e si conservano, se vengono di nuovo in contatto con lo stesso antigene, inizieranno a dividersi e a differenziarsi in plasmacellule e in cellule della memoria.

Tutti gli anticorpi sono proteine, ovvero immunoglobuline, cioè proteine globulari, la maggior parte appartiene al gruppo delle immunoglobuline G (IgG), che sono presenti nel sangue e intervengono per combattere virus e batteri, questo gruppo di anticorpi potendo attraversare la placenta assicura la difesa contro i microrganismi anche al feto. Altri anticorpi appartengono ad altri gruppi di immunoglobuline tra i quali:

- **Immunoglobuline A (IgA)**, sono anticorpi presenti nella saliva, nelle lacrime, nel latte, sono importanti soprattutto perché vengono trasmessi al neonato attraverso il latte materno garantendo una difesa momentanea contro le malattie che la madre ha già contratto e per le quali è immune.
- **Immunoglobuline E (IgE)**, sono anticorpi che intervengono contro particolari antigeni, detti allergeni, (polline, acari ecc.) che in alcuni individui provocano le allergie. Le IgE sono presenti sui mastociti e, una volta avvenuto il legame con questi antigeni stimolano, i mastociti a rilasciare istamina provocando la risposta infiammatoria.
- **Immunoglobuline M (IgM)**, sono i primi anticorpi che vengono prodotti in caso di infezioni.

- **Immunoglobuline D (IgD)**, la loro funzione non è ben conosciuta, probabilmente quando vengono in contatto con un antigene stimolano i linfociti B a differenziarsi in plasmacellule.

### 11.3 Risposta immunitaria mediata da cellule

Gli anticorpi prodotti dai linfociti B combattono contro gli antigeni che entrano nel nostro corpo, alcuni antigeni però sono in grado di entrare nelle cellule del nostro organismo ed infettarle, in questo caso quindi bisogna riconoscere queste cellule e distruggerle, non si tratta quindi di combattere l'antigene estraneo (*non self*) ma di eliminare le cellule proprie (*self*) del nostro organismo che sono state infettate dai patogeni. Questo compito spetta ai linfociti T che, come i linfociti B, si originano dalle cellule staminali del midollo osseo, la differenza è che maturano nel timo (timo-dipendenti) che poi lasciano per accumularsi nei linfonodi e in tutti i tessuti linfoidei periferici. Qui possono incontrare i microrganismi estranei da eliminare producendo una risposta immunitaria mediata da cellule.

I **linfociti T citotossici** distruggono direttamente le cellule infette, in quanto sulla loro superficie presentano oltre alle proteine del complesso maggiore di istocompatibilità (proteine MHC presenti in tutte le cellule del nostro corpo tranne in quelle spermatiche) anche proteine del virus. I linfociti T citotossici, che riconoscono la presenza di queste proteine estranee, distruggono la cellula infetta.

I linfociti T possono distruggere le cellule infette (cellule infette da virus, cellule tumorali, protisti, cellule trapiantate) anche stimolando il sistema immunitario. Infatti sulla superficie di membrana dei linfociti T, sono presenti dei recettori. Questi esattamente come gli anticorpi dei linfociti B, si legano agli antigeni presenti nelle cellule infette. Questo legame avviene quando altre cellule immunitarie, come i macrofagi, presentano l'antigene, insieme alle proprie proteine del complesso maggiore di istocompatibilità (CMI o MHC), ai linfociti T.

Le proteine appartenenti al complesso maggiore di istocompatibilità vengono codificate dalla diversa combinazione dei geni, ognuno dei quali presenta numerosi alleli, quindi dalla loro ricombinazione è possibile codificare differenti tipi di proteine.

È proprio in base alle proteine del CMI che si valuta la compatibilità di un donatore per il trapianto degli organi, gli organi da donare devono avere le proteine del CMI molto simili o uguali a quelle del ricevente.

La diversità di proteine infatti potrebbe stimolare una risposta immunitaria richiamando i linfociti T citotossici che riconoscerebbero come estranee le cellule dell'organo donato e le attaccherebbero, distruggendole (rigetto dell'organo).

Quando un macrofago fagocita un virus lega parti del virus (antigene) alle proteine del CMI formando degli antigeni esogeni che richiamano i **linfociti T helper**. Questi tramite i recettori si legano a tali antigeni, e il legame stimola i linfociti T helper a richiamare i linfociti B e i linfociti T citotossici. I linfociti B cominciano a dividersi e a differenziarsi in plasmacellule producendo e liberando anticorpi. I linfociti T citotossici invece uccidono direttamente le cellule infette con un meccanismo simile a quello delle cellule *natural killer*, cioè rilasciano la perforina che danneggia la membrana plasmatica della cellula infetta causandone la morte.

Vi è un altro gruppo di linfociti T, i **linfociti T soppressori** che invece possono rallentare o fermare l'attività dei linfociti B, quindi la produzione di anticorpi, e l'attività dei linfociti T.

#### **11.4 Malattie legate al mal funzionamento del sistema immunitario**

Il sistema immunitario riconosce le proteine estranee (*non self*) da distruggere ma anche le proteine dei propri tessuti (*self*), se non fosse così finirebbe per riconoscere come estranee le proprie proteine e quindi si autodistruggerebbe (autoimmunità). Il sistema immunitario riconosce le proprie proteine probabilmente perché, nei primi stadi di sviluppo embrionale, vengono distrutti quasi tutti i linfociti B in grado di distruggere le cellule proprie dell'organismo, mentre i pochi che restano vengono sorvegliati dai linfociti T soppressori. In alcune persone però il sistema immunitario non è in grado di riconoscere le proteine dei propri tessuti, si sviluppano così le malattie autoimmuni.

Tra le più note troviamo la **sclerosi multipla**, in cui il sistema immunitario distrugge le cellule nervose comportando la paralisi.

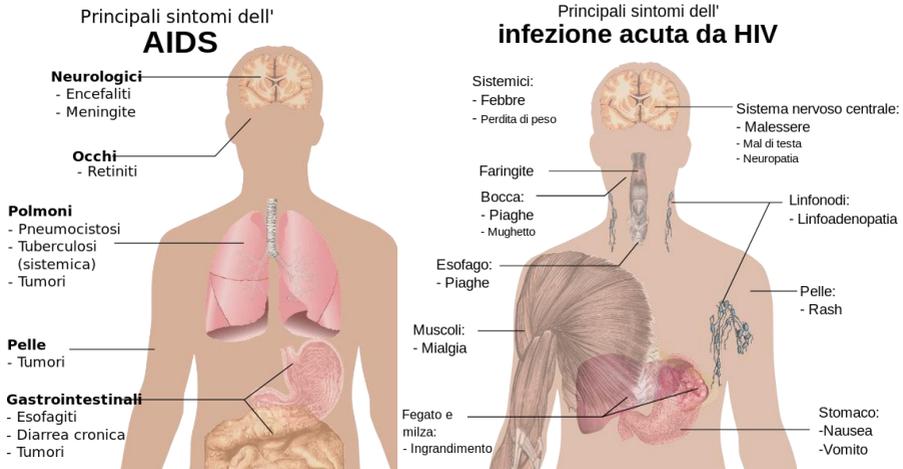
Il **diabete di tipo 1 o giovanile**, in cui il sistema immunitario distrugge le insule di Langerhans (cellule del pancreas) che producendo insulina

hanno un ruolo importante per regolare la concentrazione di glucosio nel sangue, la mancanza di questo ormone danneggia il metabolismo.

La **miastenia grave**, in cui i linfociti distruggono le cellule muscolari, può portare alla morte quando vengono danneggiati i muscoli respiratori.

L'**artrite reumatoide** in cui il sistema immunitario danneggia le articolazioni provocando una risposta infiammatoria cronica, causa forti dolori alle articolazioni e difficoltà di movimento.

Una malattia che provoca invece l'indebolimento del sistema immunitario è l'**AIDS** (sindrome di immunodeficienza acquisita) causata dal virus dell'HIV (virus a RNA) che si trasmette tramite rapporti sessuali, non protetti, con persone affette dal virus oppure per contatto con sangue infetto. Questo virus infetta e distrugge le cellule T helper e i macrofagi. Quando il virus entra all'interno di queste cellule produce un enzima, la trascrittasi inversa, che utilizza l'RNA virale per sintetizzare DNA ad esso complementare così il DNA virale si mescola al DNA della cellula ospite. Qui può restare per lungo tempo oppure può replicarsi avviando la trascrizione del DNA virale in RNA virale, che esce dal nucleo sotto forma di RNA messaggero, arriva nel citoplasma e avvia la sintesi proteica. RNA virale e proteine si uniscono all'interno della cellula formando virioni (virus completi) che vengono espulsi dalla cellule per gemmazione. Il corpo reagisce all'ingresso dell'HIV con la produzione di anticorpi anti-HIV, dunque la persona si dice sieropositiva, ma dopo qualche anno il virus può mutare e gli anticorpi sviluppati non sono più in grado di combatterlo. I linfociti T helper continuano ad essere distrutti e di conseguenza i linfociti B non vengono più stimolati a produrre anticorpi. Questo comporta un abbassamento delle difese immunitarie pertanto anche un semplice raffreddore potrà causare la morte.

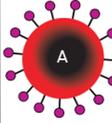
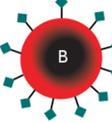
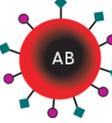
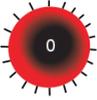


### *Sintomi dell' AIDS*

## 11.5 I Gruppi sanguigni

Tutte le cellule del corpo, tranne quelle spermatiche, presentano sulla superficie della membrana proteine appartenenti al complesso maggiore di istocompatibilità, le quali legano a sé degli antigeni indispensabili per stimolare la risposta immunitaria. Allo stesso modo, le cellule del sangue presentano degli antigeni, in base al tipo di antigene presente sulla superficie dei globuli rossi ogni individuo appartiene ad un diverso gruppo sanguigno. Nella nostra specie i gruppi sanguigni sono:

- **Gruppo A:** sulla superficie dei globuli rossi è presente l'antigene A e l'individuo produce anticorpi anti-B;
- **Gruppo B:** sulla superficie dei globuli rossi è presente l'antigene B e l'individuo produce anticorpi anti-A;
- **Gruppo AB:** sulla superficie dei globuli rossi sono presenti l'antigene A e l'antigene B e l'individuo non produce anticorpi anti-A ed anti-B;
- **Gruppo 0:** sulla superficie dei globuli rossi non sono presenti antigeni e produce anticorpi anti-A ed anti-B

	Gruppo A	Gruppo B	Gruppo AB	Gruppo 0
Tipi di GLOBULI ROSSI				
Anticorpi presenti	 Anti-B	 Anti-A	Nessuno	 Anti-A e Anti-B
Antigeni presenti	 A	 B	 A e B	Nessuno

*Gruppi sanguigni*

Se un individuo ha bisogno di una trasfusione di sangue, è necessario conoscere a quale gruppo sanguigno appartiene, se infatti l'individuo appartiene al gruppo sanguigno A e riceve una trasfusione di sangue appartenente al gruppo B, gli anticorpi anti-B attaccheranno i globuli rossi estranei agglutinandoli e distruggendoli, provocando la morte dell'individuo.

Un individuo appartenente al gruppo AB, non presentando anticorpi, può ricevere sangue da donatori appartenenti a qualsiasi gruppo sanguigno, viene per questo definito **recettore universale**.

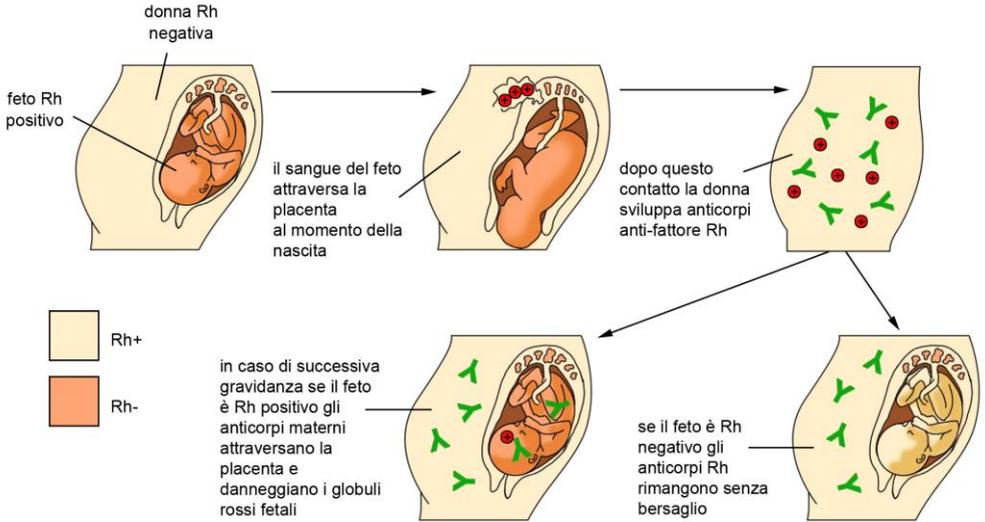
Un individuo che possiede il gruppo sanguigno 0, producendo sia anticorpi anti-A che anti-B, può ricevere sangue solo da donatori appartenenti al gruppo sanguigno 0 ma l'assenza di antigeni consente di poter donare a qualsiasi persona, viene per questo definito **donatore universale**.

Se hai gruppo sanguigno	puoi donare a:	Puoi ricevere da:
A+	A+ AB+	A+ A- 0+ 0-
O+	0+ A+ B+ AB+	0+ 0-
B+	B+ AB+	B+ B- 0+ 0-
AB+	AB+	Tutti

Un altro antigene presente sulla superficie dei globuli rossi è il fattore Rhesus o Rh, una proteina scoperta per la prima volta sulla superficie dei globuli rossi del primate *Macacus Rhesus*, la presenza di questo antigene viene indicata con Rh positivo (Rh+), l'assenza con Rh negativo (Rh-).

Poiché Rh+ è un fattore dominante, gli individui saranno + sia in omozigosi (Rh+, Rh+) che in eterozigosi (Rh+, Rh-), mentre saranno - solo in omozigosi (Rh-, Rh-).

Il fattore Rh è responsabile dell'eritroblastosi fetale, una patologia causata dall'incompatibilità del sangue materno con quello del feto. Infatti, se i globuli rossi della madre non presentano l'antigene Rh (quindi la madre è Rh-) e il figlio che porta in grembo è Rh+, (in quanto ha ereditato questo fattore dal padre), al momento del parto il sangue del figlio può venire in contatto con quello della madre. Nel sangue della madre si sviluppano allora anticorpi anti-Rh, in quanto la madre non presenta l'antigene Rh, questi tuttavia non recheranno nessun danno al figlio. Durante una seconda gravidanza tali anticorpi potranno attraversare la placenta e venire a contatto con il sangue del feto, se questo sarà di tipo Rh+, tali anticorpi distruggeranno i suoi globuli rossi (eritrociti) provocando gravi anemie, danni cerebrali e anche la morte. La scoperta del fattore Rh ha permesso di evitare questa malattia, basta iniettare alla madre, entro 72 ore dal momento del parto, anticorpi anti-globuli rossi fetali Rh+ che andranno a distruggere gli eritrociti Rh+ del figlio, bloccando così la risposta immunitaria materna. La madre non producendo anticorpi anti-Rh+ non sarà a rischio nelle successive gravidanze.



Matematicamente.it

## 11.6 Vaccinazione e sieroterapia

Quando un organismo estraneo entra nel nostro corpo, provoca la risposta del sistema immunitario che reagisce producendo anticorpi. Se nel corso del tempo veniamo di nuovo a contatto con lo stesso patogeno, gli anticorpi precedentemente prodotti, lo riconosceranno subito e lo distruggeranno prima che esso possa moltiplicarsi, in questo caso si dice che l'individuo è immunizzato. L'immunizzazione può anche essere ottenuta artificialmente, attraverso la vaccinazione e la sieroterapia.

Il primo medico a praticare la vaccinazione fu [Edward Jenner](#) che circa 200 anni fa creò il primo vaccino contro il vaiolo. Egli iniettò ai suoi pazienti il virus del vaiolo vaccino ovvero il virus che provocava il vaiolo alle mucche, tale virus non era letale come quello che attaccava gli uomini, pertanto inoculando questo virus agli uomini, essi si ammalavano di una forma meno grave di vaiolo. I soggetti trattati producevano anticorpi contro questo virus e risultavano immuni alla malattia.

I moderni vaccini consistono nell'inoculare nell'organismo patogeni (virus, batteri o tossine) morti oppure vivi ma resi innocui (attenuati), in modo tale da provocare una blanda malattia.

L'organismo reagisce comunque producendo anticorpi e quindi cellule memoria.

Se la persona, nel corso della sua vita, verrà a contatto con il patogeno vivo, contro il quale è stato vaccinato, la presenza di anticorpi specifici e di cellule della memoria consentirà di riconoscerlo e di eliminarlo subito. La vaccinazione è quindi una protezione duratura che rende immune l'organismo da determinate malattie.

Molte malattie si riescono a sconfiggere tramite le vaccinazioni o addirittura si possono debellare definitivamente ma bisogna ricordare che molti virus sono capaci di modificare le proprie proteine di superficie e ciò rende inefficace la vaccinazione perché il sistema immunitario non è più in grado di riconoscere quei virus.

La sieroterapia invece consiste nell'inoculare nella persona, un siero contenente gli anticorpi prodotti da un altro organismo che ha contratto il virus. Un esempio è il siero antiveleno da somministrare dopo il morso di vipera. Questo siero è preparato in laboratorio introducendo ad esempio in un coniglio o in un cavallo il veleno di vipera reso innocuo, esso stimola la produzione di anticorpi antiveleno, i quali vengono prelevati e conservati per essere inoculati nell'uomo in caso di bisogno. Una volta introdotto il siero nell'uomo, gli anticorpi in esso contenuti, andranno a distruggere le tossine del veleno di vipera. Questo tipo di immunizzazione è veloce ma non è duratura, cioè se nel corso della vita veniamo di nuovo colpiti dal morso di vipera avremo bisogno di una ulteriore somministrazione di siero, in quanto gli anticorpi ricevuti tempo prima sono stati distrutti dal nostro sistema immunitario che li ha riconosciuti come estranei.

Oggi esistono anche farmaci in grado di bloccare la moltiplicazione di batteri o virus come ad esempio gli antibiotici. [Alexander Fleming](#) nel 1929 scoprì una sostanza (penicillina), prodotta dal fungo *Penicillium notatum*, che venne isolata ed utilizzata per combattere numerose specie di batteri, da quel momento in poi sono state isolate numerose altre sostanze in grado di sconfiggere i patogeni.

## **Approfondimenti**

Domande e risposte relative all'infezione da HIV

[http://www.iss.it/binary/iss3/cont/Domande\\_risposte\\_su\\_HIV\\_e\\_AIDS.pdf](http://www.iss.it/binary/iss3/cont/Domande_risposte_su_HIV_e_AIDS.pdf)

Articolo originale di E. Jenner sul vaiolo

<http://www.bartleby.com/38/4/1.html>

## **Videolezioni**

Il sistema immunitario

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2528-il-sistema-immunitario.html>

I gruppi sanguigni

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2531-i-gruppi-sanguigni.html>

## 12. Il sistema endocrino

### 12.1 I messaggeri chimici

Le cellule che formano il nostro organismo hanno bisogno di comunicare tra loro per coordinare le loro attività. Le variazioni dell'ambiente extracellulare devono essere rilevate e trasmesse alle altre cellule, che adatteranno le loro attività in relazione al cambiamento avvenuto al fine di mantenere l'equilibrio dell'organismo. Ogni cellula quindi è in grado di produrre e liberare sostanze, chiamate messaggeri chimici, come risposta a tali cambiamenti. I messaggeri giunti alle cellule bersaglio, inducono un cambiamento dell'attività delle cellule.

Esistono diversi tipi di messaggeri chimici, tra i quali, i feromoni, gli ormoni paracrini, i neurotrasmettitori e gli ormoni.

I **feromoni** sono sostanze emesse dalle ghiandole esocrine, attraverso l'aria o l'acqua arrivano ad un altro individuo della stessa specie influenzando sul suo comportamento o sulla sua fisiologia.

Ad esempio, l'odore emesso da una femmina di farfalla notturna, attraverso il vento raggiunge il maschio, che può trovarsi anche a notevole distanza dalla femmina. Il maschio viene stimolato sessualmente e comincia a volare seguendo l'odore fino a raggiungere la femmina.

Anche la nostra specie emette feromoni, le donne che vivono in uno stesso ambiente (nella stessa casa o nello stesso ufficio per molte ore) infatti emettono, attraverso le ghiandole sudoripare situate nella pelle, feromoni in grado di sincronizzare il ciclo mestruale.

Gli **ormoni paracrini**, sono messaggeri chimici secreti nel liquido extracellulare che agiscono solo sulle vicine cellule bersaglio. Ad esempio, alcune cellule dell'intestino secernono un ormone paracrino che agisce sulle vicine cellule bersaglio stimolandole a produrre enzimi digestivi consentendo l'assimilazione di molte sostanze nutritive.

Un altro esempio di ormone paracrino è l'ormone della crescita, rilasciato dall'ipofisi, che stimola le cellule a dividersi mitoticamente favorendo l'accrescimento corporeo.

I **neurotrasmettitori** vengono rilasciati da cellule nervose e trasmettono segnali nervosi alle cellule nervose vicine oppure alle cellule muscolari.

Gli **ormoni** sono messaggeri chimici secreti da ghiandole situate in varie parti del nostro corpo. Alcune ghiandole sono esocrine, cioè secernono i secreti in dotti ghiandolari che li riversano all'esterno del corpo o all'interno dell'intestino (come ad esempio le ghiandole sudoripare o quelle che liberano muco nell'intestino).

Altre sono ghiandole endocrine, cioè immettono i loro prodotti nel sangue che li trasporta alle cellule bersaglio distribuite in varie parti del corpo, come ad esempio l'ipofisi, le ghiandole surrenali, la tiroide.

Tutti i messaggeri chimici lavorano nello stesso modo, cioè vengono rilasciati da parte di cellule secrettrici che rilevano il cambiamento dell'ambiente extracellulare e per comunicarlo alle altre cellule secernono un messaggero chimico. Questo messaggero attraverso il sangue o il fluido extracellulare, giunge alle cellule bersaglio influenzandone l'attività. Tutte le cellule del nostro organismo possono venire a contatto con i messaggeri ma soltanto le cellule bersaglio ne rilevano la presenza ed attivano il cambiamento grazie alla presenza di recettori (proteine) sulla superficie plasmatica o nel citoplasma. Ogni messaggero chimico si lega al recettore ad esso complementare e, una volta avvenuto il legame, il recettore cambia forma e produce nella cellula una modificazione della sua attività.

Anche gli ormoni quindi, come gli altri messaggeri chimici, una volta immessi nel sangue si legano agli specifici recettori delle cellule bersaglio, e siccome gli ormoni possono essere liposolubili o idrosolubili, si legheranno in maniera diversa agli specifici recettori.

Gli **ormoni liposolubili** quando arrivano alla cellula bersaglio possono attraversare la membrana plasmatica (costituita da fosfolipidi) e legarsi con recettori presenti nel citoplasma della cellula bersaglio (recettori intracellulari). In questo modo il recettore, modificato nella forma, entra nel nucleo della cellula bersaglio, si lega al DNA e modifica l'espressione genica attivando o disattivando geni che codificano per una determinata proteina. Esempi di ormoni liposolubili sono gli ormoni steroidei, come ad esempio il **cortisolo** (glicocorticoide) che arrivando alle cellule epatiche (cellule bersaglio) fa aumentare la produzione di glucosio, quest'ultimo viene sintetizzato a partire da proteine e lipidi e poi immesso nel sangue per fornire energia.

Gli **ormoni idrosolubili** invece, non potendo attraversare la membrana plasmatica, si legano a specifici recettori presenti sulla membrana plasmatica (recettori di membrana) della cellula bersaglio modificandone la forma. Il recettore modificato stimola nella cellula la produzione di un secondo messaggero che innesca una serie di reazioni a catena che portano ad attivare una serie di enzimi con il compito di modificare l'attività della cellula.

In relazione al tipo di cellula bersaglio si producono diversi tipi di secondi messaggeri, quello più importante è l'AMP (adenosin monofosfato) ciclico, prodotto quando l'ormone (primo messaggero) rappresentato dal glucagone o dall'adrenalina o epinefrina, arriva sulla cellula bersaglio ed attiva i recettori di membrana a produrre un enzima, l'adenilato ciclasi che trasforma le molecole di ATP in AMP ciclico. L'AMP ciclico prodotto attiva a sua volta una serie di enzimi (secondi messaggeri) che inducono un cambiamento nell'attività della cellula. Secondo il meccanismo precedentemente descritto l'arrivo di glucagone e di adrenalina inducono le cellule epatiche a produrre glucosio, a partire dal glicogeno, quando la sua concentrazione nel sangue è troppo bassa. Tale produzione si bloccherà quando un altro ormone, l'insulina, rilevando l'aumento della concentrazione di glucosio nel sangue, inattiva l'AMP ciclico che blocca la demolizione del glicogeno. Il glicogeno verrà quindi immagazzinato nelle cellule epatiche permettendo la diminuzione della concentrazione di glucosio nel sangue e verrà di nuovo demolito quando si attiverà l'AMP ciclico. Con questi meccanismi la concentrazione di glucosio nel sangue resta sempre costante.

Lo stesso ormone può legarsi a diversi tipi di recettori che stimolano le cellule bersaglio a rispondere in maniera differente allo stesso messaggio chimico, ad esempio l'ormone prolattina nelle donne stimola le cellule bersaglio a produrre latte mentre negli uomini regola la produzione del testosterone.

Gli ormoni possono anche essere classificati in base alla loro composizione chimica in ormoni peptidici, ormoni steroidei, ormoni derivanti da acidi grassi e ormoni derivanti da amminoacidi. Gli **ormoni peptidici** sono formati da brevi catene di amminoacidi (ormoni

peptidici) o da lunghe catene di amminoacidi (ormoni polipeptidici), e sono ormoni idrosolubili.

Tra questi troviamo l'**ossitocina** costituito da nove amminoacidi, che ha la funzione di aumentare le contrazioni dell'utero durante il parto. L'**insulina**, formata da due catene di amminoacidi (una di 21 amminoacidi e l'altra di 30), prodotta dalle isole di Langerhans del pancreas, ha la funzione di abbassare i livelli di glucosio nel sangue.

Gli **ormoni steroidei** derivano dal colesterolo, sono ormoni liposolubili. Tra questi troviamo il **cortisolo**, prodotto dalle ghiandole surrenali soprattutto in situazione di stress fisico o psicologico, per questo viene anche chiamato ormone dello stress, ha la funzione di aumentare il livello di glucosio ematico. Troviamo anche gli **estrogeni** e il **progesterone** prodotti dalle ovaie ed il **testosterone** dai testicoli.

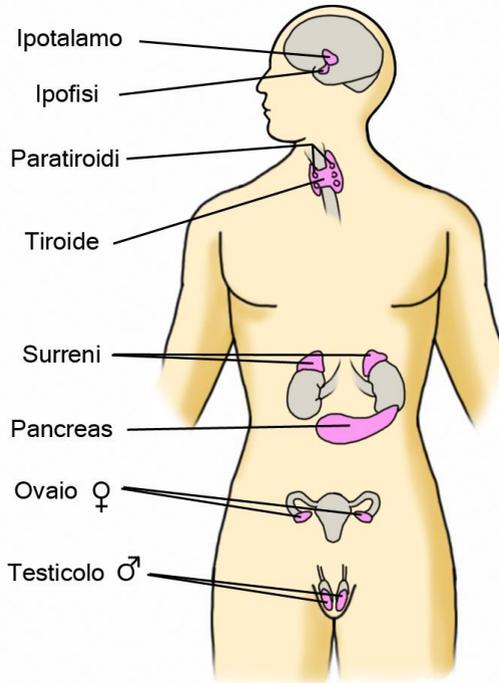
Gli **ormoni derivati da acidi grassi** come ad esempio le **prostaglandine**, molecole che derivano dall'acido arachidonico, un acido grasso introdotto nel nostro organismo attraverso l'alimentazione, sono ormoni paracrini che intervengono nei processi infiammatori, nella coagulazione del sangue, nella contrazione dell'utero e della muscolatura liscia dei vasi sanguigni determinando vasodilatazione o vasocostrizione. Esse agiscono come gli ormoni idrosolubili ovvero stimolando le cellule bersaglio a produrre secondi messaggeri. Infine **gli ormoni derivati da amminoacidi**, sono ormoni idrosolubili e derivano dalla modificazione di amminoacidi come gli **ormoni tiroidei** e l'**adrenalina o epinefrina**.

## 12.2 Il sistema endocrino

Il sistema endocrino o *ormonale* è formato da numerose ghiandole endocrine e cellule endocrine, distribuite nel nostro corpo, che secernono ormoni che immessi nel sangue vengono trasportati alle cellule bersaglio. Tutta la nostra vita è regolata dagli ormoni, come il tasso di crescita, l'umore, il livello di stress, il pH dei liquidi corporei, l'utilizzo delle sostanze alimentari per produrre energia, la riproduzione e tutti i processi metabolici. Il rilascio della maggior parte degli ormoni è regolato da un meccanismo di feedback negativo, cioè è proprio l'elevata concentrazione di un ormone che inibisce la produzione delle molecole che ne attivano la produzione.

Ad esempio, come risposta allo stress viene attivata la produzione dell'ormone cortisolo, ma saranno proprio le elevate quantità di quest'ormone ad inibire il rilascio da parte dell'ipotalamo del CRH (ormone corticotropo) ovvero il fattore di rilascio che stimola la produzione del cortisolo stesso.

Analizziamo le principali ghiandole endocrine.



Matematicamente.it

### *Principali ghiandole endocrine*

#### **Ipotalamo**

L'ipotalamo è una parte del cervello, più precisamente la parte ventrale del diencefalo. È costituito da un insieme di cellule nervose, dette neurosecretrici, in quanto sono cellule nervose ma anche cellule che secernono ormoni.

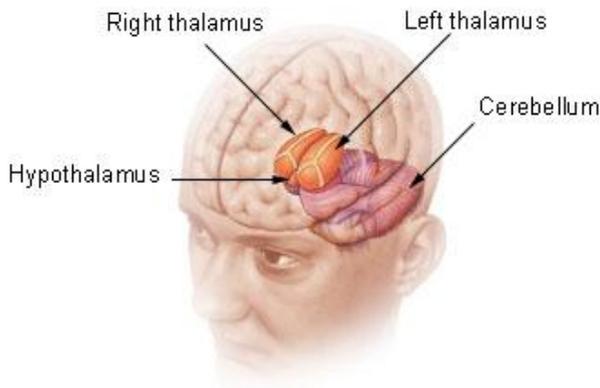
L'ipotalamo controlla sia il sistema nervoso autonomo sia il sistema endocrino. Svolge un ruolo importante nel mantenimento della temperatura corporea e dell'equilibrio idrosalino, controlla il

movimento degli organi viscerali, modifica la frequenza cardiaca o il ritmo respiratorio, controlla la sensazione di sazietà o di fame, il comportamento sessuale e gli stati emozionali.

L'ipotalamo viene attivato in seguito a varie tipologie di stimoli come ad esempio uno stimolo tattile, visivo, emozionale oppure stress, paura, gioia...

Le cellule nervose dell'ipotalamo reagiscono a tali stimoli inviando segnali elettrici che attraversano gli assoni (prolungamenti delle cellule nervose) e giunti alla terminazione dei prolungamenti secernono fattori di rilascio di ormoni. I fattori di rilascio (RH) sono piccoli peptidi formati da almeno tre amminoacidi, questi entrano in speciali vasi sanguigni, che non entrano nella circolazione sanguigna generale, e vengono trasportati al lobo anteriore dell'ipofisi oppure vengono portati, attraverso le terminazione delle cellule nervose, direttamente al lobo posteriore dell'ipofisi. Giunti all'ipofisi tali ormoni si legano con i recettori complementari delle cellule bersaglio (cellule dell'ipofisi) stimolando la produzione di altri ormoni che andranno ad attivare altre ghiandole endocrine presenti nel nostro corpo. Quindi tutte le ghiandole endocrine agiscono sotto il controllo dell'ipofisi (detta per questo motivo "regina della ghiandole") che a sua volta è controllata dall'ipotalamo.

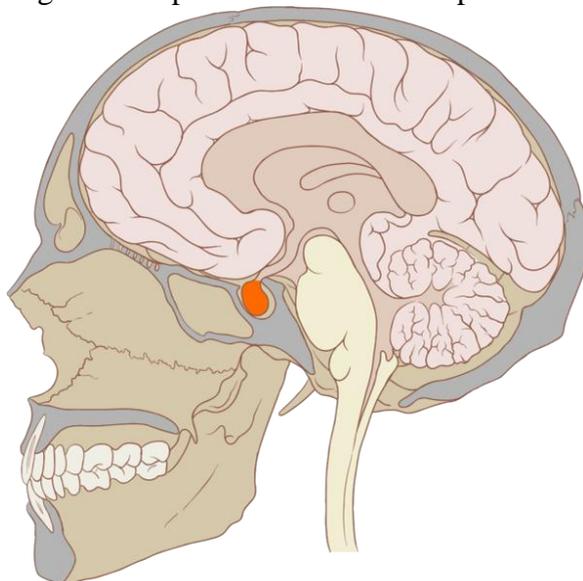
### **Diencephalon**



### *Ipotalamo*

## **Ipofisi o ghiandola pituitaria**

L'ipofisi è una piccolissima ghiandola endocrina, grande quanto un fagiolo, situata alla base dell'encefalo, collegata al diencefalo mediante un peduncolo, è costituita da due lobi, uno posteriore (neuroipofisi) che deriva dal prolungamento dell'encefalo e uno anteriore (adenipofisi) che deriva da un'estroflessione della volta della cavità orale. La funzione dell'ipofisi è quella di stimolare, attraverso la produzione di ormoni, le altre ghiandole presenti nel nostro corpo.



*Posizione dell'ipofisi*

Nel lobo posteriore arrivano gli ormoni prodotti dall'ipotalamo, come ad esempio l'**ossitocina** e l'**ormone antidiuretico (ADH)**, essi vi giungono attraverso i prolungamenti (assoni) delle cellule nervose dell'ipotalamo. L'ossitocina dal lobo posteriore dell'ipofisi viene rilasciata nel sangue al momento del parto, in quanto stimola la contrazione della muscolatura dell'utero, oppure durante l'allattamento, in quanto stimola la contrazione delle cellule muscolari che circondano le ghiandole mammarie favorendo la fuoriuscita del latte.

L'ormone antidiuretico ADH o vasopressina invece viene rilasciato dall'ipofisi nel sangue quando quest'ultimo presenta un elevato contenuto di sali o soluti, giunto ai reni stimola i tubuli distali e i dotti

collettori dei nefroni (unità funzionale del rene) a riassorbire più acqua e a produrre urine più concentrate. L'acqua riassorbita verrà recuperata dai capillari e servirà per diluire il sangue e di conseguenza per abbassarne la concentrazione salina.

Il lobo anteriore dell'ipofisi rappresenta una vera e propria ghiandola endocrina infatti a differenza della neuroipofisi che rilascia ormoni prodotti dall'ipotalamo, l'adenipofisi secerne dei propri ormoni stimolata dagli ormoni di rilascio prodotti dall'ipotalamo.

Ad esempio, in situazioni di stress l'ipotalamo produce il fattore di rilascio dell'**ormone corticotropo (CRH)** il quale attraverso i vasi sanguigni raggiunge le cellule bersaglio dell'ipofisi e, legandosi ai recettori complementari, stimola la produzione dell'**ormone adrenocorticotropo (ACTH)**. Questo viene rilasciato nel sangue e giunge alle ghiandole surrenali stimolandole a produrre cortisolo che arriva alle cellule epatiche stimolandole a produrre glucosio, in questo modo fornisce energia alle cellule sottoposte a stress.

Lo stato di equilibrio precedente allo stress viene ristabilito attraverso un meccanismo di feedback negativo.

Altri ormoni prodotti dall'adenipofisi sono:

- **l'ormone della crescita (GH)** che agisce soprattutto sui tessuti ossei e in particolare favorisce la moltiplicazione delle cellule cartilaginee che comportano un accrescimento in lunghezza dell'osso,
- la **prolattina** che agisce sulle ghiandole mammarie e stimola la produzione di latte,
- **l'ormone follicolo stimolante FSH** e **l'ormone luteinizzante LH** che agiscono sulle gonadi stimolando la produzione di estrogeni e progesterone per le donne e testosterone per gli uomini,
- **l'ormone tireotropo TSH** che agisce sulla tiroide stimolando la produzione di ormoni tiroidei,
- le **endorfine** che sono degli antidolorifici naturali, provocano un senso di benessere e di euforia o di sonnolenza a seconda della loro quantità.

## Tiroide

La tiroide è una ghiandola formata da due lobi, situata vicino la trachea, in prossimità della laringe, che ha la funzione di regolare il metabolismo basale di un individuo e la sua crescita.

La tiroide secerne gli **ormoni tiroidei** e la **calcitonina**. Tra gli ormoni tiroidei il principale è la **tiroxina**, molecola contenente iodio che ha la funzione di regolare il funzionamento della ghiandola: viene prodotta quando l'ipotalamo rilascia il fattore di rilascio dell'ormone tiroideo (TRH) che giunto all'ipofisi la stimola a produrre l'ormone tireostimolante (TSH), quest'ultimo raggiunge la tiroide e la stimola a produrre gli ormoni tiroidei.

Un cattivo funzionamento di questa ghiandola comporta gravi danni al metabolismo. Ad esempio la scarsa produzione di ormoni tiroidei (ipotiroidismo) comporta un rallentamento del metabolismo e l'individuo aumenta di peso, ha poche energie, ha frequentemente sonno e avverte uno stato di confusione.

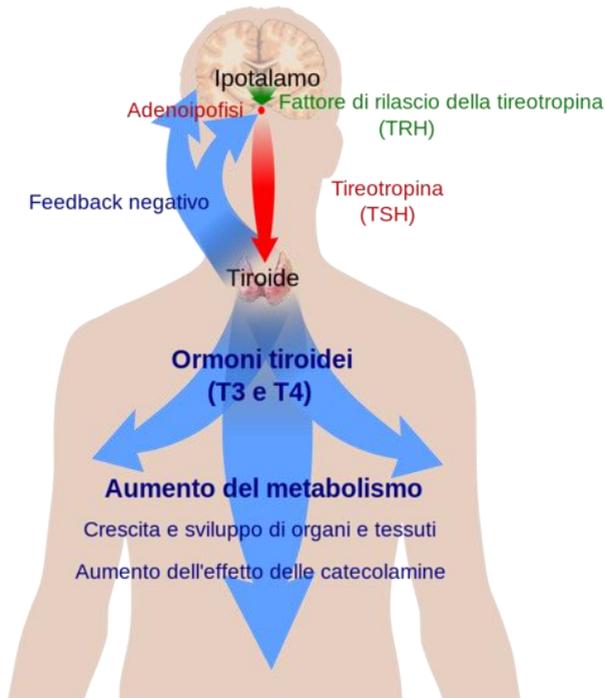
La scarsa produzione di ormoni tiroidei è dovuta soprattutto alla mancanza di iodio, elemento necessario per sintetizzarli, che è possibile introdurre tramite l'alimentazione, in particolare mangiando crostacei e assumendo sale iodato. La carenza di questo elemento può provocare il gozzo, cioè un eccessivo sviluppo della ghiandola tiroidea dovuta alla continua produzione dell'ormone tireostimolante da parte dell'ipofisi, che induce la tiroide a lavorare di più per produrre tiroxina.

Se l'ipotiroidismo si verifica durante l'infanzia può provocare il cretinismo, ovvero un rallentamento nello sviluppo delle cellule nervose portando ad un ritardo mentale e un rallentamento nello sviluppo corporeo e al nanismo.

È possibile curare l'ipotiroidismo somministrando farmaci a base di tiroxina. Queste cure sono efficaci quando si interviene prima che la disfunzione abbia provocato danni irreparabili.

Al contrario, un'eccessiva produzione di ormoni tiroidei (ipertiroidismo) comporta un'accelerazione del metabolismo e l'individuo perde peso, è sempre attivo, eccitato, nervoso e soffre di insonnia. È possibile curare tale disfunzione somministrando farmaci tirostatici che bloccano la produzione degli ormoni tiroidei oppure con l'asportazione chirurgica della maggior parte della tiroide.

## Sistema endocrino tiroideo



*Sistema endocrino tiroideo*

### Paratiroidi

Le paratiroidi sono quattro piccole ghiandole situate sul lato posteriore della tiroide, hanno un ruolo importante nel mantenere costante i livelli di calcio nel sangue. Producono infatti l'**ormone paratiroideo (PTH)** che, nel caso di basso livello di calcio nel sangue, agisce sul tessuto osseo, in cui si accumula il calcio, smuove tale minerale portandolo in soluzione nel sangue. Inoltre agisce sui reni e induce il riassorbimento del calcio nell'intestino e nei reni.

Quantità insufficienti di calcio nel sangue porterebbero a malfunzionamenti dei nervi e muscoli provocando contrazioni muscolari (spasmi) con danneggiamento anche del muscolo cardiaco. Questo ormone lavora in sinergia con la **calcitonina**, prodotta dalla tiroide, al fine di mantenere costante il livello di calcio ematico (calcemia). La calcitonina è un ormone che invece stimola la

deposizione, nel tessuto osseo, del calcio in eccesso, infatti interviene per evitare l'eccessiva concentrazione di calcio, che provocherebbe danni alle ossa.

## **Pancreas**

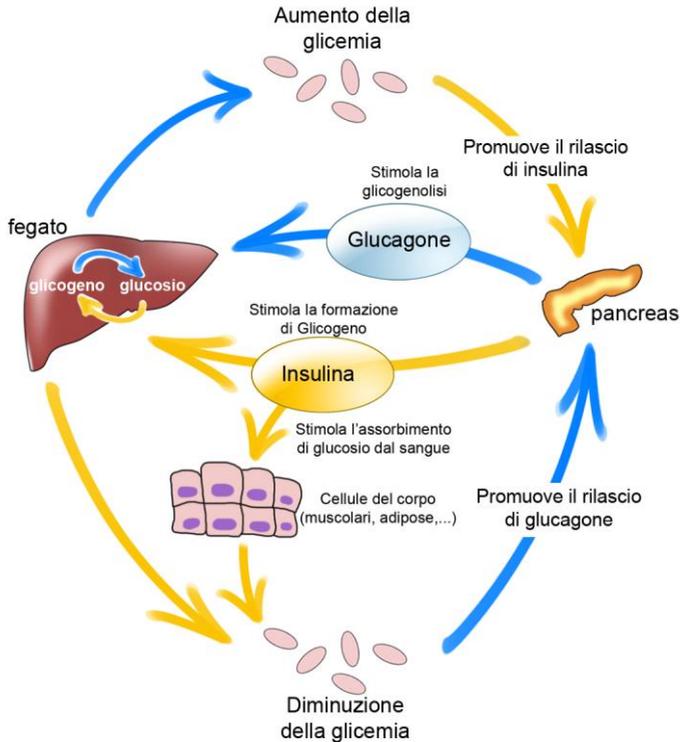
Il pancreas è una ghiandola situata vicino allo stomaco, svolge una funzione esocrina, in quanto secerne nel duodeno succo pancreatico ricco di enzimi digestivi. Svolge anche una funzione endocrina che è affidata a varie cellule presenti all'interno del suo tessuto, dette isole di Langerhans. Queste producono due ormoni l'**insulina** e il **glucagone** che lavorano in sinergia al fine comune di mantenere costante il livello di glucosio nel sangue (glicemia).

Le cellule pancreatiche (isole di Langerhans) rilevano livelli alti di glucosio nel sangue e attivano la produzione dell'ormone insulina, (da parte delle cellule  $\beta$ ) che arriva alle cellule epatiche e le induce ad accumulare glucosio, sottoforma di glicogeno, quindi abbassandone la concentrazione nel sangue. La produzione di insulina cesserà quando altre cellule delle isole di Langerhans (le cellule  $\alpha$ ) rilevano livelli bassi di glucosio nel sangue e producono un altro ormone, il glucagone, che arrivando alle cellule epatiche le induce a scindere il glicogeno per rilasciare glucosio facendone di nuovo aumentare la concentrazione.

Si produce insulina soprattutto dopo i pasti per consentire all'organismo di immagazzinare gli zuccheri mentre si produce glucagone soprattutto dopo sforzi fisici o in situazioni di forte stress fisico o psicologico quando le cellule richiedono un apporto maggiore di glucosio e quindi energia per svolgere le loro attività.

Il mancato funzionamento della parte endocrina del pancreas provoca malattie, come il diabete mellito o di tipo 1, in cui le isole di Langerhans non producono insulina e quindi i livelli di glucosio nel sangue restano alti. I reni provvedono a rimuoverlo, insieme ad un elevato contenuto di acqua, producendo urina che sarà molto dolce (mellita) e questo provocherà disidratazione. Inoltre la mancanza dell'ormone insulina non consente alle cellule del corpo di utilizzare il glucosio presente nel sangue e ciò provocherà un indebolimento dell'organismo. I pazienti malati di diabete mellito devono sottoporsi a iniezioni di insulina ad ogni pasto per evitare i rischi descritti.

Alcune persone in sovrappeso possono soffrire invece del diabete di tipo 2, ovvero le isole di Langerhans producono insulina ma le cellule bersaglio non presentano recettori adatti a legare l'insulina e di conseguenza non possono usarla efficacemente.



Matematicamente.it

### Ghiandole surrenali

Le ghiandole surrenali sono due ghiandole ad azione endocrina situate sopra i reni. Ognuna è formata da una parte esterna detta corticale e l'altra interna detta midollare. La parte corticale secreta ormoni (steroidi) in risposta a situazioni di stress. In particolare il **cortisolo** arrivando alle cellule epatiche (cellule bersaglio) aumenta la produzione di glucosio che viene sintetizzato a partire da proteine e lipidi, viene immesso nel sangue per fornire energia alle cellule sottoposte a stress. Secerne inoltre altri ormoni come l'**aldosterone** e gli **androgeni**.

L'aldosterone è importante per il mantenimento dell'equilibrio idrico e minerale infatti favorisce il riassorbimento del sodio e dell'acqua nel rene.

Gli androgeni sono ormoni sessuali maschili che stimolano lo sviluppo degli organi sessuali maschili e dei caratteri sessuali secondari maschili come la crescita dei peli, della barba, il tono basso della voce ecc.

La parte midollare della ghiandola surrenale invece secerne altri ormoni sempre in risposta a situazioni di stress o di forti emozioni come l'**epinefrina** o adrenalina e la **norepinefrina** o noradrenalina.

Questi ormoni derivati da amminoacidi sono prodotti dalla parte midollare che viene stimolata da segnali nervosi provenienti dal midollo spinale che a sua volta è stimolato dall'ipotalamo. Tali ormoni vengono poi rilasciati nel sangue e giungono a cellule bersaglio di vari organi come cuore, polmoni e intestino, provocando accelerazione del battito cardiaco e dei ritmi respiratori, vasocostrizione per allontanare il sangue dall'intestino e dallo stomaco ed indirizzarlo nelle zone dove c'è maggiore necessità.

### **Ovaie e testicoli**

Le ovaie ed i testicoli rappresentano le gonadi, ovvero organi responsabili della formazione dei gameti (cellule uovo e spermatozoi); essi presentano anche cellule che producono ormoni sessuali. In particolare i testicoli producono **testosterone**, un ormone steroideo che ha la principale funzione di favorire la fertilità, in quanto consente la maturazione degli spermatozoi.

Le ovaie invece producono gli estrogeni ed il **progesterone**, ormoni steroidei, i primi responsabili dello sviluppo dei caratteri sessuali secondari femminili come la crescita del seno, lo sviluppo dell'utero ecc.

Il progesterone ha la funzione principale di preparare l'utero alla gravidanza permettendo l'annidamento dell'uovo fecondato ed è responsabile anche della produzione del latte.

Gli ormoni sessuali maschili in realtà vengono prodotti anche dalle gonadi femminili e gli ormoni sessuali femminili dalle gonadi maschili, pertanto la distinzione tra i sessi è basata soprattutto sulla quantità di

ormoni prodotta, infatti un maggior numero di ormoni maschili determina lo sviluppo di caratteri sessuali maschili.

### **Timo**

Il timo è una ghiandola situata sotto lo sterno che secreta **timosine**, ormoni che favoriscono lo sviluppo dei linfociti T e quindi hanno un ruolo importante nel sistema immunitario, tale ghiandola comincia a regredire quando la maggior parte dei linfociti T sono maturi e migrano nei tessuti linfoidei, ciò avviene dopo la pubertà.

### **Epifisi**

L'epifisi, o **ghiandola pineale**, è una ghiandola a forma di pigna situata nella parte alta dell'encefalo, in posizione opposta rispetto all'ipofisi, produce l'ormone **melatonina** che ha un ruolo importante nel regolare i ritmi circadiani, ovvero ritmi biologici che si ripetono ogni 24 ore, come ad esempio il ritmo sonno-veglia.

La melatonina viene prodotta durante le ore notturne quando il buio stimola l'ipofisi a secernere questo ormone che ha la funzione di favorire il sonno mentre il ritorno della luce ne inibisce la produzione.

### **Approfondimenti**

Nuove applicazioni dei feromoni per la lotta integrata nei fruttiferi

[http://www.entom.unibo.it/Feromoni%20Frutticoltura%2069%20\(2\)%2048-57.pdf](http://www.entom.unibo.it/Feromoni%20Frutticoltura%2069%20(2)%2048-57.pdf)

Rappresentazione 3D dell'ipotalamo

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Hypothalamus.gif>

### **Videolezioni**

Il sistema endocrino

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2523-il-sistema-endocrino.html>

## 13. Il sistema escretore

### 13.1 Il sistema escretore

L'organismo è una macchina omeostatica che mira a mantenere costante le caratteristiche chimico-fisiche dell'ambiente interno necessarie per il corretto svolgimento delle attività cellulari. In particolare è necessario mantenere costanti le caratteristiche chimico-fisiche del sangue come il pH, la concentrazione di zuccheri e di sali in esso disciolti, la quantità d'acqua, la temperatura, la pressione, la concentrazione delle sostanze di rifiuto.

Il sistema escretore svolge un ruolo essenziale per assicurare l'omeostasi del sangue, esso ha infatti il compito di filtrare il sangue, cioè eliminare le sostanze di rifiuto (cataboliti azotati) e controllare i liquidi corporei.

Le sostanze di rifiuto derivano dal metabolismo cellulare ed in particolare dalla demolizione di grassi e carboidrati dai quali si ottengono, come prodotti di scarto, l'acqua e l'anidride carbonica.

Questi vengono eliminati dal nostro organismo soprattutto attraverso la sudorazione e le superfici respiratorie, mentre dalla demolizione delle proteine si ottengono, come prodotti di scarto, oltre all'acqua e l'anidride carbonica anche l'azoto.

Per quanto riguarda l'eliminazione dell'azoto, gli organismi presentano una diversa modalità di escrezione. Gli organismi **ammoniotelici**, come la maggior parte degli animali acquatici, eliminano l'azoto sottoforma di ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ). Gli organismi **ureotelici**, come i mammiferi (uomo compreso), gli anfibi adulti, i condroitti (squali), eliminano l'azoto sottoforma di urea  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . Gli organismi **uricotelici** come gli uccelli, rettili, insetti, gasteropodi polmonati (chioccioline terrestri), eliminano l'azoto sottoforma di acido urico ( $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$ ).

Tutti i cataboliti azotati vengono diluiti in un liquido (acqua) ed espulsi dall'organismo sottoforma di urina. Gli organismi che hanno una maggiore disponibilità di acqua (pesci) eliminano direttamente l'ammoniaca che rappresenta il prodotto azotato più tossico.

Nei vertebrati acquatici, il sistema escretore ha un ruolo fondamentale soprattutto nel mantenimento dell'equilibrio idrosalino. In particolare i vertebrati che vivono in ambienti d'acqua dolce, come i pesci ossei

(osteitti d'acqua dolce), hanno liquidi corporei a concentrazione salina maggiore (liquidi ipertonici) rispetto all'ambiente esterno (acqua dolce). Per osmosi l'acqua tenderà ad entrare in questi organismi e, affinché si mantenga l'equilibrio idrosalino, essi devono eliminare l'eccesso di acqua ma trattenere i sali. A ciò provvede il sistema escretore che tenderà a riassorbire i sali, per reintrodurli nell'organismo, ma non l'acqua che invece verrà espulsa attraverso l'urina e pertanto l'urina sarà molto diluita.

Per quanto riguarda invece i pesci marini (osteitti marini), essi avranno dei liquidi corporei a concentrazione di sali inferiore (liquidi ipotonici) rispetto all'ambiente esterno e quindi tenderanno per osmosi a perdere molta acqua. Per mantenere l'equilibrio idrosalino devono contrastare la perdita d'acqua, ciò è possibile bevendo molta acqua, a differenza dei pesci d'acqua dolce che non bevono affatto. Bevendo acqua marina introducono anche sali, quelli in eccesso verranno eliminati attraverso le urine. Alla loro espulsione provvedono soprattutto le cellule delle branchie che saranno anche poco diluite per ridurre al minimo la perdita d'acqua.

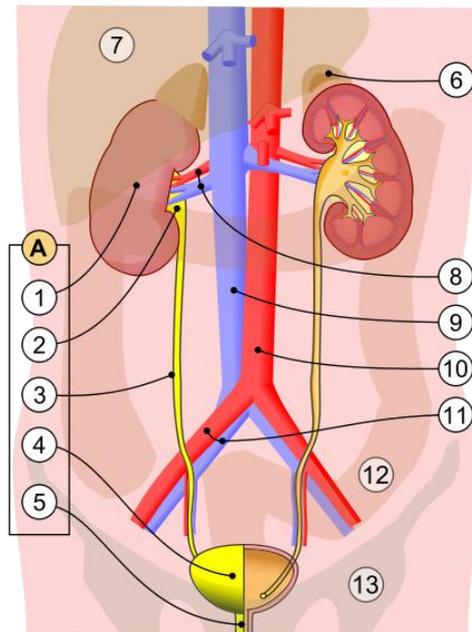
Per i vertebrati terrestri, uomo compreso, il sistema escretore provvede soprattutto a regolare la quantità di acqua presente nell'organismo. Infatti, il problema maggiore di tutti gli organismi terrestri è la disidratazione, che viene contrastata, oltre che da un rivestimento corporeo impermeabile, soprattutto dall'efficienza del sistema escretore. Le squame dei rettili, le piume degli uccelli o i peli dei mammiferi sono tutti rivestimenti adatti ad impedire la perdita d'acqua ma è il sistema escretore che regola l'equilibrio idrico e consente un concreto risparmio d'acqua.

L'uomo è in grado di sopperire al deficit d'acqua assumendo ogni giorno circa 2,5 litri d'acqua attraverso le bevande, il cibo e il metabolismo cellulare che produce acqua metabolica. Nonostante ciò, quasi la stessa quantità d'acqua viene persa attraverso la sudorazione, la respirazione, le feci e l'urina. Pertanto il sistema escretore è di fondamentale importanza per impedire la disidratazione regolando l'assorbimento d'acqua da parte dei reni.

In tutti i mammiferi, i composti azotati vengono eliminati sottoforma di urea, un composto meno tossico dell'ammoniaca. L'ammoniaca viene

convertita in urea soprattutto nel fegato, viene rilasciata nel sangue, arriva ai reni, viene diluita dal liquido contenuto nella vescica ed espulsa attraverso l'urina.

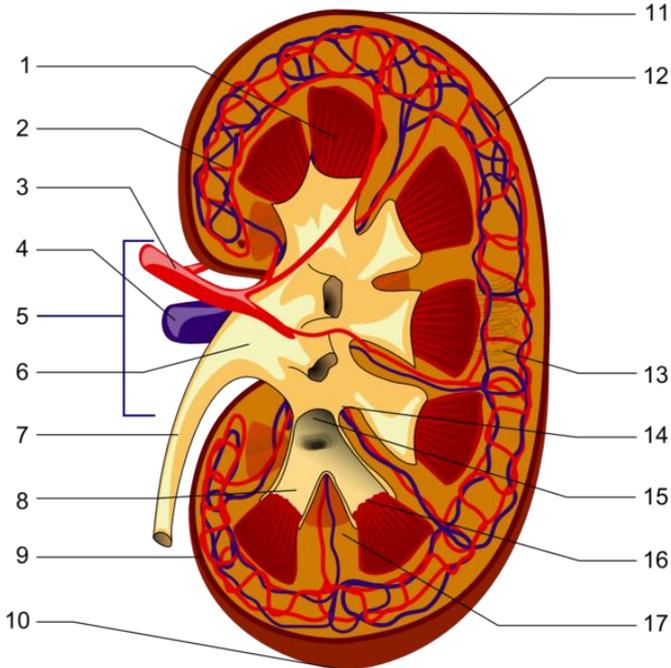
Sia l'ammoniaca che l'urea sono composti solubili in acqua ma l'ammoniaca rispetto all'urea richiede grandi volumi d'acqua per essere diluita. L'acido urico invece è un composto quasi solubile e quindi ha bisogno di una piccolissima quantità di acqua per essere diluito, inferiore rispetto a quella utilizzata dall'urea. L'acido urico è il prodotto di scarto di altri animali terrestri, come gli uccelli e i rettili. In questi animali, l'ammoniaca viene trasformata nel fegato in acido urico e viene espulso dal sistema escretore quasi in forma solida proprio per risparmiare acqua. Passando quindi dagli organismi che eliminano ammoniaca a quelli che eliminano acido urico si ha via via una maggiore economia d'acqua.



*Sistema escretore: 1. Rene, 2. Pelvi renale, 3. Uretere, 4. Vescica, 5. Uretere, 6. Surrene, 7. Fegato, 8. Arteria e vena renale, 9. Vena cava inferiore, 10. Aorta addominale, 11. Arteria e vena iliaca, 12. Intestino crasso, 13. Pelvi.*

### 13.2 Reni

Gli organi principali del sistema escretore sono i reni, organi simmetrici a forma di fagiolo e grandi quanto un pugno di un adulto, situati nell'addome, ai lati della colonna vertebrale e al di sotto del fegato. Essi svolgono tre compiti fondamentali: la filtrazione, il riassorbimento e la secrezione. La **filtrazione** del sangue avviene eliminando i cataboliti azotati (urea) e producendo urina. Il **riassorbimento** consiste nel recuperare acqua e sali necessari all'organismo al fine di mantenere l'equilibrio idrosalino. La **secrezione** è un'ulteriore revisione durante la quale viene ripulito da eventuali sostanze sfuggite al processo di filtrazione, come farmaci o sostanze tossiche che vengono poi espulsi attraverso l'urina.



*Parti del rene: 1. Piramidi renali, 2. Interlobular artery, 3. Arteria renale, 4. Vena renale, 5. Renal hylum, 6. Pelvi renale, 7. Uretere, 8. Calice minore, 9. Capsula renale, 10. Capsula renale inferiore, 11. Capsula renale superiore, 12. Interlobar vein, 13. Nefrone, 14. Seno renale, 15. Calice maggiore, 16. Papilla renale, 17. Colonna renale.*

Ogni rene è costituito da tre parti: una parte superficiale esterna, detta zona **corticale**, dove avviene la filtrazione del sangue, una parte interna, chiamata **midollare**, dove avviene il riassorbimento dell'acqua e dei sali e infine una parte ancora più interna, chiamata **pelvi renale** o bacinetto, nella quale si raccoglie l'urina prima di essere portata all'uretere. Ogni rene è costituito da milioni di unità funzionali chiamate nefroni, ognuno dei quali presenta una regione nella parte corticale e una regione nella parte midollare. Ogni nefrone è un tubulo che inizia con il **glomerulo**, ovvero un groviglio di capillari, derivanti dall'arteria renale (arteriola afferente), avvolti da una struttura, chiamata **capsula di Bowman**, formata da una parete interna (parete viscerale), costituita di cellule epiteliali, podociti, che avvolgono i capillari del glomerulo e una parete esterna (parete parietale) che continua nel tubulo renale. Tra queste due pareti vi è uno spazio dove viene raccolto il liquido filtrato e trasportato al tubulo renale. Il sangue da filtrare, presente nei capillari del glomerulo, essendo ad alta pressione, tende a fuoriuscire attraverso i microscopici pori della parete dei capillari, ma fuoriesce solo il plasma, in quanto la dimensione dei pori non consente la fuoriuscita dei globuli e delle macromolecole (proteine). Una volta fuoriuscito dai capillari attraversa i podociti e fuoriesce nella cavità della capsula di Bowman, il liquido ivi presente prende il nome di **ultrafiltrato glomerulare o filtrato**. Esso è formato da acqua, urea, sali, glucosio e amminoacidi. Viene spinto nel **tubulo renale** in cui avviene il riassorbimento di tutte quelle sostanze finite nel filtrato ma ancora utili all'organismo.

Ogni nefrone quindi inizia con il glomerulo e la capsula di Bowman e continua con il tubulo renale. Il tubulo renale a sua volta è formato da varie parti, inizia con il tubulo contorto prossimale, continua con l'ansa di Henle, con il tubulo contorto distale e termina con il dotto collettore. La capsula di Bowman continua con il **tubulo prossimale**, costituito da cellule epiteliali ricche di mitocondri, è un tubulo contorto nel quale vengono recuperati gli ioni (sodio, calcio, fosfati). Gli ioni attraversano lo strato di cellule epiteliali per finire in una seconda rete di capillari derivanti dall'arteriola efferente che esce dal glomerulo. I capillari si riuniranno nella vena renale e trasporteranno il sangue ripulito dalle sostanze di rifiuto e contenente ioni e altre sostanze riassorbite, come

zuccheri, amminoacidi, nella vena cava inferiore che lo condurrà al cuore.

Il passaggio degli ioni avviene per trasporto attivo, quindi contro gradiente, pertanto c'è bisogno di una notevole quantità di energia per farlo avvenire, questa energia viene fornita dai mitocondri. Insieme agli ioni anche l'acqua può fuoriuscire dal filtrato e attraversare per osmosi lo strato epiteliale (in quanto permeabile all'acqua) ed essere poi recuperata dai capillari.

Il filtrato presente nel tubulo prossimale contiene pochi ioni e acqua ma presenta ancora urea ed altre molecole, viene condotto **nell'ansa di Henle**, un tubulo a forma di U presente nella zona midollare del rene, tale ansa è costituita da un tratto discendente ed uno ascendente.

Nel tratto discendente continua il riassorbimento perché l'elevata concentrazione di sali, al di fuori dell'ansa discendente (nel tessuto midollare), consente all'acqua di fuoriuscire per osmosi. In questo tratto quindi il filtrato perde ancora più acqua che viene recuperata dai capillari.

I sali presenti nel tessuto midollare provengono dal tratto ascendente dell'ansa di Henle, qui infatti gli ioni cloro e sodio fuoriescono per trasporto attivo, ma la parete del tratto ascendente non essendo permeabile all'acqua non consentirà la fuoriuscita dell'acqua per osmosi. Il filtrato quindi risale lungo l'ansa ascendente nella zona corticale ed arriva nel **tubulo contorto distale**, anch'esso impermeabile all'acqua. Il filtrato, in questo tratto, contiene solo urea ed è stato ripulito di tutti i sali.

Il tubulo contorto distale insieme al tubulo prossimale provvedono anche a rimuovere dal sangue, che circola nei capillari ad essi aderenti, eventuali sostanze tossiche, come farmaci o ioni in eccesso (secrezione) che verranno introdotti nel filtrato ed eliminati con l'urina.

Il filtrato continua il suo percorso e dal tubulo contorto distale arriva al **dotto collettore**, il quale dalla zona corticale scende nella zona midollare dove incontra un ambiente ad alta concentrazione di Sali. Ciò determina un'ulteriore fuoriuscita di acqua per osmosi che verrà recuperata dai capillari. In questo tratto potrà fuoriuscire anche una piccola parte dell'urea aumentando la concentrazione salina della zona

midollare. Il filtrato ancora più ricco di urea (urina) verrà infine trasportato al **bacinetto renale**.

Durante il percorso dalla capsula di Bowman fino al bacinetto renale circa il 99% di acqua verrà riassorbita, questo è il motivo per cui l'urina presenta un maggiore contenuto di cataboliti azotati rispetto all'acqua. Ovviamente la quantità d'acqua espulsa, attraverso l'urina, varia ogni giorno in base al tipo di alimentazione o alle condizioni climatiche in cui vive un individuo ed è regolata da un meccanismo ormonale: l'ormone ADH regola l'equilibrio idrico e l'ormone aldosterone regola l'equilibrio salino. Dopo un pasto ricco di sali, ad esempio dopo aver mangiato patatine fritte, c'è bisogno di una maggiore quantità d'acqua per diluire l'elevata concentrazione di sali nel sangue pertanto dovrà essere riassorbita più acqua dai nefroni.

Il meccanismo di riassorbimento è regolato da un ormone (ormone antidiuretico ADH o vasopressina) che viene rilasciato dall'ipofisi. L'ipotalamo rileva l'elevata concentrazione di sali nel sangue e stimola l'ipofisi a produrre l'ADH. L'ormone, attraverso il sangue, raggiunge il rene e agisce sul tubulo contorto distale rendendo la sua parete permeabile all'acqua (ricordiamo infatti che in condizioni normali la parete è impermeabile) ed aumentando la permeabilità della parete del dotto collettore, in questo modo l'acqua potrà fuoriuscire per osmosi ed essere recuperata dai capillari che la immettono nel sangue, pertanto verrà prodotta urina più concentrata.

L'ipotalamo in seguito rileverà l'abbassamento del contenuto salino del sangue e bloccherà la produzione dell'ormone ADH. Quando invece il sangue presenta una bassa concentrazione di sali, interviene un altro ormone, l'aldosterone, prodotto dalle ghiandole surrenali che agisce sui tubuli distali renali dei nefroni consentendo il riassorbimento di maggiori quantità di sodio e cloro che vengono immessi nel sangue.

Anche il clima influisce sul meccanismo di riassorbimento di acqua, ad esempio il caldo provoca un'eccessiva sudorazione che può provocare disidratazione, l'ipotalamo rileva questa condizione e stimola l'ipofisi a produrre l'ormone ADH che consentirà al tubulo renale di riassorbire più acqua producendo urine più concentrate.

Alcuni animali riescono a sopravvivere in condizioni ambientali sfavorevoli proprio grazie alla particolare anatomia del sistema

escretore. Ad esempio il topo del deserto riesce a sopravvivere in un ambiente arido, in quanto i nefroni presentano un ansa di Henle molto lunga, che consente loro di riassorbire molta acqua ed espellere urine molto concentrate, inoltre adotta uno stile di vita che consente di ridurre al minimo la disidratazione: durante il giorno vive in tane profonde dalle quali esce soltanto di notte.

### 13.3 Ureteri, vescica urinaria e uretra

Il filtrato (urina) giunto al dotto collettore del nefrone viene convogliato al bacinetto renale o pelvi renale. Nel bacinetto renale viene scaricata l'urina proveniente dai dotti collettori di tutto il rene, qui viene raccolta temporaneamente e poi convogliata alla vescica. Dal bacinetto renale infatti partono due canali gli **ureteri**, uno per ciascun rene, che convogliano l'urina alla **vescica urinaria**. Essa può raccogliere fino a 500 ml di urina, è infatti un sacco muscolo-membranoso che si dilata per raccogliere l'urina e una volta riempito, la sua muscolatura si contrae per consentirne l'espulsione, l'urina infatti attraversa il canale dell'**uretra** e viene espulsa all'esterno. L'uretra nell'uomo si congiunge con i dotti dell'apparato riproduttore, pertanto l'urina e il liquido seminale fuoriescono attraverso lo stesso canale. Nella donna l'uretra è più corta e sbocca direttamente nella vagina, quindi ha il solo scopo di condurre l'urina all'esterno del corpo.

### 13.4 Insufficienza renale

I reni sono organi fondamentali per il riassorbimento di sali ed acqua necessari al mantenimento dell'equilibrio idrosalino, per ripulire il sangue dalla presenza di cataboliti azotati, per regolare la pressione sanguigna e il pH del sangue, sono quindi organi necessari al mantenimento dell'omeostasi.

A volte i reni non funzionano correttamente, in quanto vengono danneggiati da infezioni batteriche oppure malattie autoimmuni oppure dal diabete o dalla pressione sanguigna elevata. Tutto questo può portare all'insufficienza renale che può provocare la morte, pertanto bisogna intervenire ripulendo il sangue artificialmente, cioè attraverso un macchinario che funge da rene artificiale (dialisi) oppure nei casi più gravi bisogna intervenire con il trapianto di un rene compatibile. Il cattivo funzionamento dei reni comporta un accumulo di sostanze

tossiche nel sangue con conseguente abbassamento del pH che può condurre alla morte, inoltre l'eccessiva quantità di acqua e sodio causata dal non riassorbimento da parte dei reni, causa rigonfiamenti dei tessuti e un aumento della pressione sanguigna.

I reni infatti svolgono un ruolo importante anche nel controllo della pressione sanguigna: quando la pressione del sangue è troppo bassa (ipotensione arteriosa) secernono un enzima, la renina, che stimola la produzione nel sangue di angiotensina II, che provoca una vasocostrizione e di conseguenza un aumento della pressione sanguigna. La renina inoltre stimola anche le ghiandole surrenali a produrre l'aldosterone che induce i reni a riassorbire più sodio e acqua provocando un innalzamento della pressione. Le persone con insufficienza renale hanno difficoltà a regolare la pressione sanguigna.

L'elevata pressione sanguigna può anche essere la causa di un cattivo funzionamento dei reni, essa può essere dovuta all'elevata concentrazione di sali nel sangue che induce i reni a riassorbire più acqua, pertanto il volume del sangue sale provocando un aumento della pressione (ipertensione arteriosa), una dieta povera di sali aiuta quindi a tenere sotto controllo la pressione sanguigna.

I reni quindi secernono ormoni al fine di mantenere l'omeostasi. Essi producono anche l'ormone eritropoietina, quando rilevano la bassa concentrazione di ossigeno nel sangue, dovuta alla scarsa presenza di eritrociti. L'eritropoietina infatti viene immessa nel sangue e arriva alle cellule del midollo osseo inducendole a produrre più eritrociti, la produzione termina quando i livelli di ossigeno nel sangue tornano normali. L'insufficienza renale blocca questo processo e pertanto le persone affette da questa malattia sono anche anemiche.

Anche i livelli di calcio nel sangue vengono regolati dall'attività renale: i reni infatti riassorbono il calcio per immetterlo nel sangue oppure il calcio viene eliminato nelle urine, se la sua concentrazione nel sangue è molto alta. I pazienti con insufficienza renale non riescono a regolare la quantità di calcio nel sangue pertanto, livelli bassi di questo minerale stimolano la tiroide a produrre continuamente l'ormone paratiroideo che va ad intaccare le ossa per far rilasciare nel sangue più calcio, questo provocherà una malattia delle ossa detta osteodistrofia uremica.

**Videolezioni**

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2525-apparato-escretore.html>

## 14. Il sistema nervoso

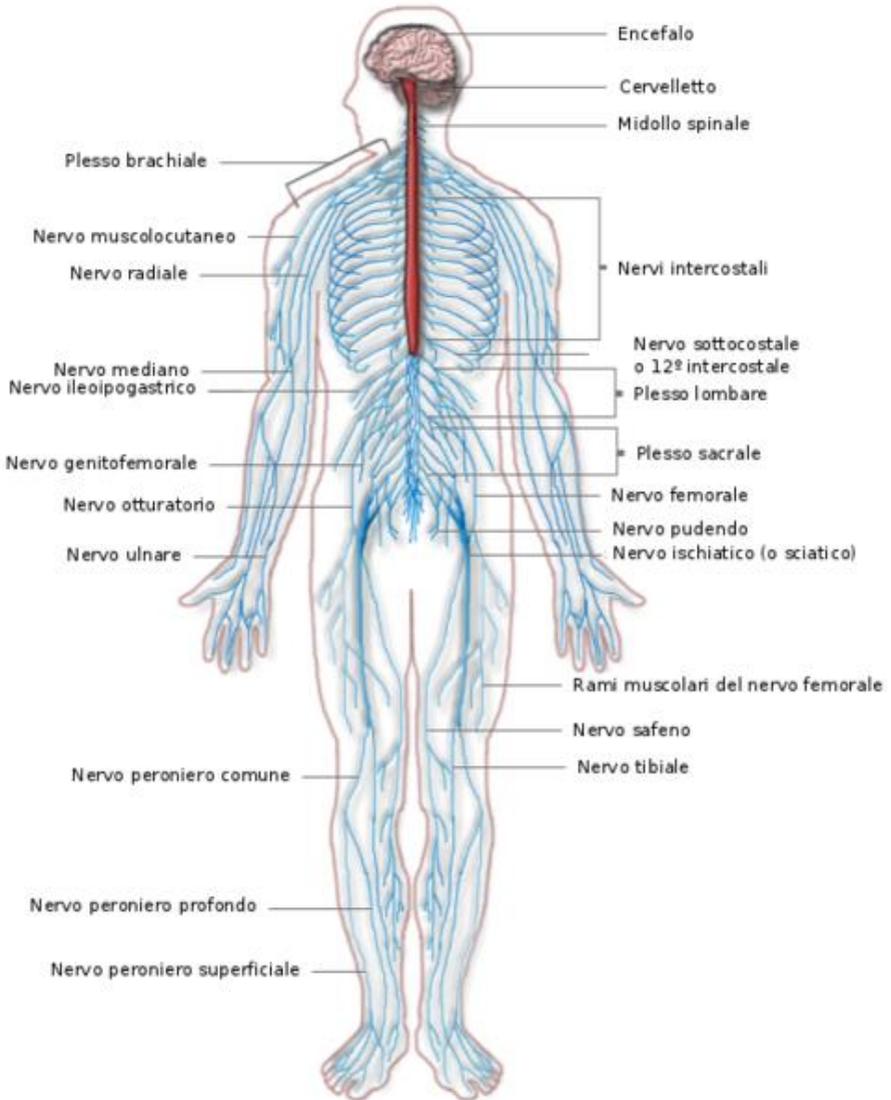
### 14.1 Il sistema nervoso

Il sistema nervoso ha il compito di raccogliere sia le informazioni provenienti dall'ambiente esterno, attraverso gli organi di senso, sia quelle provenienti dall'ambiente interno, di interpretarle e trasmetterle alle altre cellule al fine di mantenere l'omeostasi. Le informazioni o stimoli derivanti dagli organi di senso arrivano al **sistema nervoso centrale**, formato dall'encefalo e dal midollo spinale, vengono elaborate e trasmesse, attraverso i nervi, al **sistema nervoso periferico**, giungendo ai muscoli, alle ghiandole e ad altri organi che rispondono in maniera appropriata a questi stimoli.

Il sistema nervoso periferico collega quindi il sistema nervoso centrale ai muscoli, alle ghiandole e ad altri organi, portando informazioni dalla periferia del corpo verso il sistema nervoso centrale e viceversa.

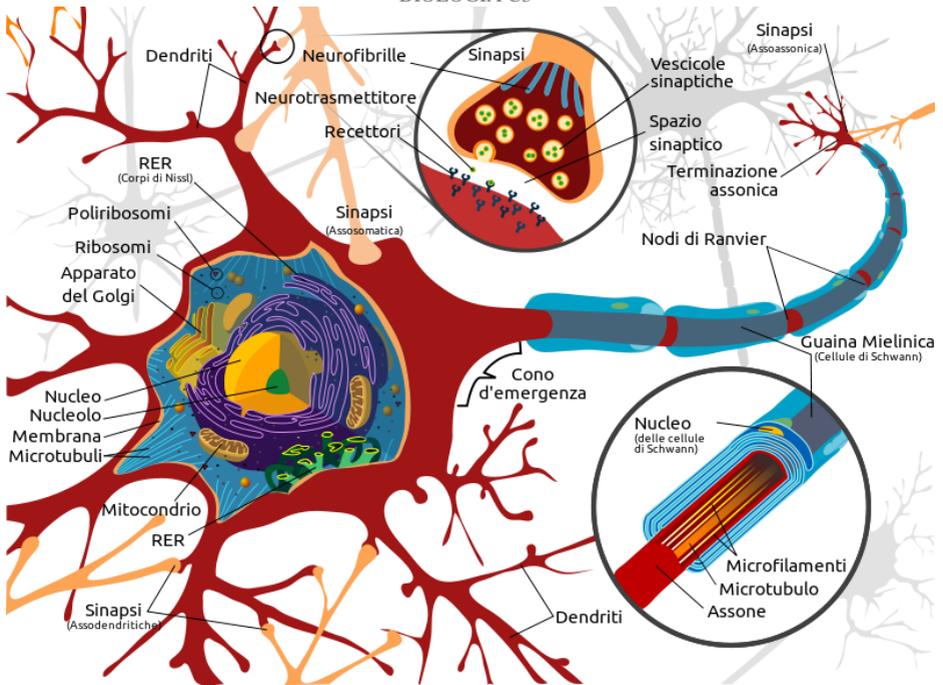
Il sistema nervoso di ogni individuo è costituito da circa 100 miliardi di cellule (neuroni) che comunicano attraverso segnali elettrici in maniera rapidissima. È costituito da oltre 1000 differenti tipi di cellule, tuttavia i principali tipi sono due: il neurone e le cellule gliali.

I **neuroni** hanno il compito di trasmettere le informazioni mentre le cellule gliali danno sostegno e nutrimento ai neuroni, accelerano la conduzione dell'impulso, e sono numericamente superiori ai neuroni.



### *Sistema nervoso*

I neuroni possono diversificarsi per forma, dimensioni e funzioni ma hanno tutti la stessa struttura, ovvero presentano quattro regioni principali: i dendriti, il corpo cellulare o soma, l'assone e la terminazione sinaptica.



*Diagramma completo di una cellula neuronale*

I dendriti sono espansioni del citoplasma del corpo cellulare, hanno il compito di collegarsi con altre cellule nervose dalle quali ricevono le informazioni e le convogliano al corpo cellulare (direzione centripeta). Il corpo cellulare ha il compito di raccogliere ed elaborare le informazioni, esso è costituito dal nucleo e dagli organuli citoplasmatici (mitocondri, reticolo endoplasmatico, apparato di Golgi e ribosomi). Dall'estensione del citoplasma del corpo cellulare si genera anche un prolungamento, di dimensioni variabili, da pochi millimetri a più di un metro, detto **assone**, che ha il compito di trasportare l'informazione ad altre cellule. La parte terminale dell'assone si ramifica e alla fine di ogni ramificazione vi è un bottone sinaptico che forma **sinapsi** (cioè collegamenti) con un altro dendrite, con un altro assone o con altre cellule (muscolari o secretorie) per trasmettere l'informazione. L'informazione, viaggia sotto forma di impulso elettrico e va sempre nella stessa direzione: parte dai dendriti, attraversa il corpo cellulare e

arriva alla terminazione dell'assone. Si dice perciò che il neurone ha una polarità.

I neuroni possono essere classificati in base alla funzione che svolgono in:

- **neuroni motori** o motoneuroni, hanno lunghi assoni e conducono le informazione ai muscoli e alle ghiandole;
- **neuroni sensoriali** conducono le informazioni provenienti dall'ambiente esterno e dall'ambiente interno al sistema nervoso centrale;
- **neuroni di associazione** o interneuroni che si trovano nell'SNC collegano i neuroni sensoriali con quelli motori.

**Le cellule gliali o della glia** sono cellule che circondano i neuroni. Ogni neurone può possederne fino a cento, esse sostengono, nutrono e isolano elettricamente i neuroni. Un esempio di cellule glia sono gli astrociti, cellule a forma stellata che controllano la composizione chimica del liquido che circonda i neuroni.

## 14.2 Propagazione dell'impulso nervoso

Il neurone, come ogni cellula del nostro corpo, si trova a vivere in un ambiente differente rispetto a quello interno alla cellula, l'ambiente extracellulare infatti ha una concentrazione di ioni differente rispetto a quello interno.

All'esterno della membrana plasmatica vi è un'alta concentrazione degli ioni sodio che invece è bassa all'interno. All'interno della membrana plasmatica vi è un alta concentrazione degli ioni potassio che invece è bassa all'esterno. Siccome entrambi questi ioni sono positivi, è la diversa quantità a determinare una differenza di potenziale elettrico. In particolare all'esterno della membrana plasmatica vi è un'elevata quantità di ioni positivi e quindi un eccesso di cariche positive mentre all'interno vi è una bassa quantità di ioni positivi oltre alla presenza di molti ioni negativi e questo comporta un eccesso di cariche negative.

Questa differenza di cariche elettriche tra l'interno e l'esterno della membrana plasmatica viene chiamata **potenziale di riposo**.

Il potenziale di riposo di un neurone è di circa -70 mV (millivolt), il segno meno indica che l'interno della cellula è negativo rispetto

all'esterno ed è determinato da una diversa concentrazione di ioni dentro e fuori della cellula.

Questa situazione viene mantenuta dalle proteine presenti sulla membrana cellulare ed in particolare da tre proteine: i canali del potassio, i canali del sodio e la pompa sodio-potassio.

I **canali del potassio**, sono pori presenti sulla membrana plasmatica, attraverso i quali fuoriescono dalla cellula ioni potassio ( $K^+$ ). Questo passaggio non richiede energia perché avviene secondo gradiente, cioè da un ambiente a più alta concentrazione (ambiente interno) verso uno a più bassa concentrazione. Ciò contribuisce a rendere positivo l'ambiente esterno alla membrana e negativo l'interno della cellula, che è reso ancora più negativo dalla presenza di proteine cariche negativamente che per le loro dimensioni non riescono ad attraversare i canali.

I **canali del sodio** sono pori presenti sulla membrana plasmatica e, quando il neurone è a riposo, sono sempre chiusi, impedendo agli ioni sodio ( $Na^+$ ) di entrare nella cellula. Essi infatti, trovandosi ad elevata concentrazione all'esterno della membrana, dovrebbero entrare nella cellula ma il passaggio secondo gradiente viene bloccato dalla chiusura dei loro canali.

La **pompa sodio-potassio** è costituita da canali presenti sulla membrana plasmatica che tendono ad espellere dalla cellula gli ioni sodio e a far entrare gli ioni potassio, tutto ciò avviene contro gradiente e quindi con consumo di energia (ATP). Ogni molecola di ATP utilizzata comporta l'espulsione di tre ioni sodio e l'introduzione di due ioni potassio. L'attività dei canali mira a mantenere la differenza di potenziale elettrico e cioè un eccesso di cariche positive all'esterno della membrana e un eccesso di cariche negative all'interno, si dirà quindi che la membrana è polarizzata.

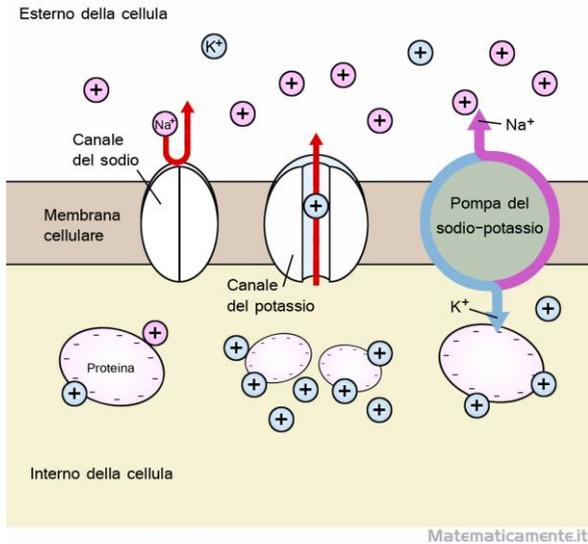
Il neurone, in seguito ad uno stimolo di intensità adeguata porta il suo potenziale da  $-70$  a  $-50$ mV, e questo è chiamato potenziale soglia.

La differenza tra potenziale di riposo e di soglia è la variazione minima necessaria perché si generi il potenziale d'azione.

In pratica si modifica la permeabilità della membrana plasmatica nel punto stimolato e si ha l'apertura dei canali del sodio attraverso i quali

gli ioni sodio entrano nella cellula che quindi inizia a caricarsi positivamente.

Si verifica allora un'inversione di polarità (depolarizzazione), positiva all'interno e negativa all'esterno della membrana. Tale differenza momentanea di cariche elettriche rappresenta il **potenziale d'azione** o impulso nervoso; in questo punto della membrana la differenza di potenziale è passata da  $-70\text{mV}$  a circa  $+40\text{mV}$  ma dura solo pochi millisecondi.



### *Potenziale di riposo*

Subito dopo i canali del sodio si chiudono e si aprono quelli del potassio, consentendo la fuoriuscita di tale ione. Ciò comporta un aumento delle cariche negative all'interno della cellula che però sono numericamente superiori a quelle del potenziale di riposo, pertanto i canali del potassio si chiudono e interviene la pompa sodio-potassio a ristabilire la differenza originaria di potenziale elettrico, cioè quella presente prima dell'impulso.

Una volta che il neurone ha ricevuto l'impulso deve trasmetterlo lungo l'assone pertanto i canali del sodio che ricevono l'impulso si aprono consentendo la fuoriuscita degli ioni e generando la depolarizzazione di un tratto di membrana successivo, tale depolarizzazione si propaga

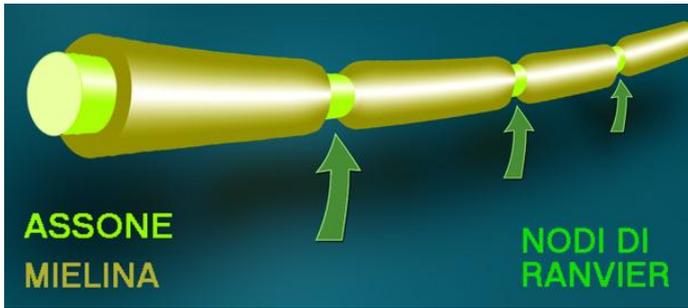
come un'onda lungo l'assone consentendo la trasmissione dell'impulso. I canali del sodio restano aperti per pochissimo tempo (meno di due millisecondi), dopo si chiudono spontaneamente e prima di riaprirsi devono passare pochi millesimi di secondo. Questo periodo di tempo è chiamato **periodo refrattario** ed è necessario alla pompa sodio-potassio per ristabilire la polarizzazione.

Pertanto l'impulso viaggia in avanti, verso i canali del sodio successivi e non tornano indietro, infatti i canali del sodio appena aperti non possono riaprirsi subito.

L'impulso nervoso nei vertebrati viaggia, lungo l'assone, ad una velocità di circa 2 m/s, ma è una propagazione troppo lenta che non consente di rispondere prontamente agli stimoli.

In alcuni invertebrati, come ad esempio il calamaro, la velocità di propagazione di un impulso nervoso lungo un assone è di 10 m/s, una velocità che consente loro di rispondere rapidamente agli stimoli, questo è possibile perché gli assoni dei calamari hanno un diametro maggiore rispetto a quelli di molti vertebrati, pertanto gli ioni riescono a muoversi lungo gli assoni senza incontrare resistenza. La velocità di propagazione dell'impulso nervoso dei vertebrati è quindi troppo lenta. Perciò, per rispondere prontamente agli stimoli, i neuroni che presentano gli assoni più lunghi e che di conseguenza hanno la necessità di trasmettere gli impulsi più velocemente sono datati di speciali cellule gliali, dette **cellule di Schwann**, che avvolgono l'assone formando una guaina mielinica (lipidica) che isola la membrana plasmatica. Tale guaina si interrompe in particolari punti, detti **nodi di Ranvier**, che si ripetono lungo l'assone ad una distanza di circa 1 mm l'uno dall'altro. L'assone ricoperto dalla guaina è detto fibra nervosa. Fasci di fibre nervose tenute insieme da tessuto connettivo formano il nervo.

L'impulso nervoso non può propagarsi nei punti dell'assone ricoperti dalla guaina ma solo in corrispondenza dei nodi di Ranvier, pertanto l'impulso viaggia saltando da un nodo all'altro con conseguente aumento della velocità che da 2 m/s passa a 120 m/s.



*Nodi di Ranvier*

L'intensità dell'impulso che si propaga lungo l'assone resta costante e non dipende dalla potenza dello stimolo: una martellata su una gamba rappresenta uno stimolo più potente rispetto ad una carezza ma non per questo l'impulso viaggia più velocemente o è più intenso; quello che cambia è la frequenza con cui si susseguono gli impulsi. Una martellata produce molti impulsi nervosi che viaggiano dalla gamba al cervello con una maggiore frequenza rispetto agli impulsi prodotti da una carezza, quindi gli impulsi nervosi sono modulati in frequenza. Inoltre gli impulsi nervosi seguono la **legge del tutto o niente**, nel senso che l'impulso nervoso o si genera o non si genera affatto: lo stimolo produce un impulso solo se si supera un determinato valore (limite soglia) di potenziale elettrico di membrana ed in particolare solo se le cariche elettriche negative, interne alla membrana cellulare, diminuiscono da un valore di  $-70$  mV (potenziale di riposo) ad almeno  $-50$  mV (limite soglia), una volta superato il valore soglia inizia la depolarizzazione e quindi l'impulso nervoso si propaga, non può fermarsi e si propaga con la stessa intensità lungo l'assone.

### 14.3 Sinapsi

Abbiamo visto come l'impulso nervoso si propaga lungo l'assone vediamo ora come si propaga da un neurone all'altro o da un neurone ad un'altra cellula ad esempio una cellula muscolare. La regione in cui un neurone si collega con una seconda cellula è detta **sinapsi**, qui avviene la comunicazione tra le cellule che può essere di tipo chimica (sinapsi chimica) o di tipo elettrica (sinapsi elettrica).

## Sinapsi chimica

L'assone termina con il bottone sinaptico, all'interno del quale sono presenti vescicole che contengono neurotrasmettitori (mediatori chimici).

L'impulso nervoso, giunto al bottone sinaptico, fa aprire i canali del calcio. Gli ioni calcio entrano all'interno del bottone sinaptico e stimolano le vescicole a fondersi con la membrana e a far fuoriuscire i neurotrasmettitori dal bottone sinaptico.

I neurotrasmettitori vengono riversati nello spazio sinaptico che separa il bottone sinaptico dal neurone che deve ricevere l'impulso. I neurotrasmettitori vengono catturati da recettori proteici, posti sulla membrana plasmatica della cellula che riceve l'impulso, provocando una depolarizzazione e quindi la propagazione dell'impulso nervoso, se la cellula ricevente è un neurone, oppure una contrazione se la cellula ricevente è una cellula muscolare.

Una volta rilasciati i neurotrasmettitori nello spazio sinaptico, questo va ripulito il prima possibile, per evitare che la cellula ricevente sia continuamente stimolata e non possa ricevere nuovi impulsi. A ciò provvedono appositi enzimi che distruggono i neurotrasmettitori oppure essi vengono riassorbiti dalla cellula emittente. I neurotrasmettitori possono essere eccitatori o inibitori.

Sono **eccitatori** se provocano nella cellula ricevente un'apertura dei canali del sodio, perciò una depolarizzazione della membrana e quindi la propagazione dell'impulso nervoso dalla cellula emittente alla cellula ricevente.

Sono **inibitori** se inducono gli ioni cloro ad entrare all'interno della cellula ricevente aumentandone la negatività. Provocano quindi una iperpolarizzazione della membrana e impediscono la trasmissione dell'impulso nervoso (sinapsi inibitoria).

Nei vertebrati superiori, uomo compreso, le sinapsi chimiche sono più frequenti di quelle elettriche.

## Sinapsi elettrica

Nelle sinapsi elettriche l'impulso passa da un neurone all'altro senza rilascio di neurotrasmettitori. Il neurone che trasporta l'impulso infatti si collega direttamente al neurone che riceve l'impulso, ciò avviene

tramite **giunzioni comunicanti** che consentono lo scambio grazie a particolari canali. Queste giunzioni fanno aderire le membrane dei rispettivi neuroni, senza creare spazio sinaptico. In questo modo l'impulso nervoso passa da un neurone al neurone ad esso aderente, questo meccanismo è presente in neuroni che devono condurre velocemente l'impulso e che non hanno bisogno di meccanismi inibitori.

Ogni neurone è collegato ad assoni derivanti da migliaia di neuroni, quindi forma numerose sinapsi, inoltre ogni assone termina con bottoni sinaptici che contengono sia neurotrasmettitori eccitatori che inibitori pertanto ad ogni neurone arrivano numerosi impulsi derivanti da diversi neuroni emittenti, i quali vengono sommati, proprio come una somma algebrica e, se prevalgono gli impulsi eccitatori, il neurone trasmetterà l'impulso.

Nei mammiferi le sinapsi elettriche sono presenti solo nel cuore e nel tubo digerente.

#### 14.4 Il sistema nervoso centrale

La maggior parte dei neuroni dei vertebrati è concentrata nel sistema nervoso centrale, costituito dall'encefalo e dal midollo spinale, entrambi rivestiti da tre membrane, le meningi. Partendo da quella aderente alla struttura ossea (cranio per l'encefalo e vertebre per il midollo spinale) troviamo la **dura madre, l'aracnoide e la pia madre** che aderisce all'encefalo o al midollo spinale.

Tra l'aracnoide e la pia madre vi è il liquido cerebrospinale (o cefalorachidiano) che deriva dal plasma, assicura protezione da eventuali urti e trasporta al sistema nervoso centrale ossigeno, nutrienti e ormoni.

L'**encefalo** è protetto dalla scatola cranica e contiene circa 100 miliardi di neuroni, è formato dal **tronco encefalico, cervelletto, diencefalo e cervello**.

Il **tronco encefalico** comprende il midollo allungato, il ponte e il mesencefalo. Il **midollo allungato**, è il prolungamento del midollo spinale, collega l'encefalo con il midollo spinale e contiene centri nervosi che controllano la respirazione, il battito cardiaco e la pressione del sangue. Il **ponte** insieme al midollo allungato controlla il pH del

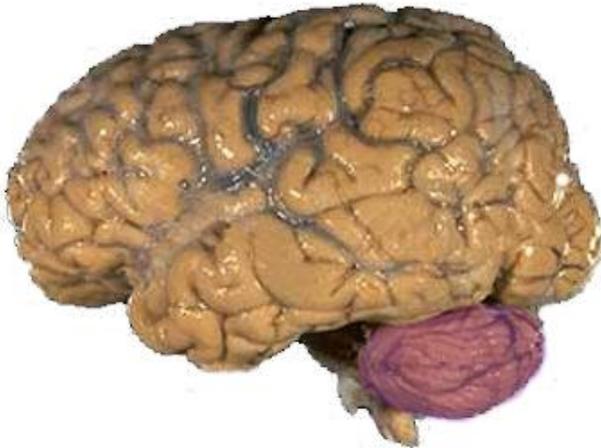
sangue e la respirazione. Il **mesencefalo** contiene neuroni che elaborano le informazioni provenienti dagli organi di senso, come quelle visive e uditive e regola i movimenti che orientano il capo verso uno stimolo visivo.

Il tronco encefalico ospita la **formazione reticolare** ovvero una rete di nervi che ricevono informazione da tutte le parti dell'encefalo ma seleziona solo quelle utili per la sopravvivenza risvegliando l'attenzione, regola lo stato di veglia, il sonno e lo stato della consapevolezza.

Il **cervelletto** è situato in corrispondenza della nuca, ha una struttura molto simile al cervello, presenta infatti una superficie con pieghe o convoluta, ha il compito di coordinare i movimenti volontari e l'equilibrio del corpo.

Andare in bicicletta ad esempio richiede una coordinazione tra vista, tatto, movimento degli arti, equilibrio ed è affidata al cervelletto.

Tutti i vertebrati dotati di movimenti veloci e precisi (mammiferi, pesci, uccelli) presentano un cervelletto molto sviluppato.



*Cervelletto (la parte evidenziata in viola)*

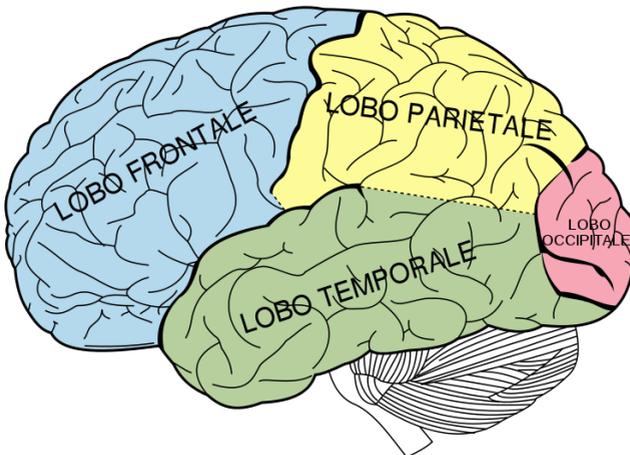
Il **diencefalo** si trova al di sopra del cervelletto ed è formato da talamo, ipotalamo ed epifisi. Il **talamo** è la parte più sviluppata del diencefalo, ad esso arrivano le informazioni sull'ambiente esterno, provenienti dagli organi di senso, che vengono inviate verso la corteccia cerebrale. L'**ipotalamo** situato al di sotto del talamo, riceve le informazioni

provenienti dall'ambiente interno e stimola l'ipofisi a secernere ormoni necessari al mantenimento dell'omeostasi, rappresenta quindi il collegamento tra il sistema nervoso e quello endocrino. Controlla le emozioni come la sensazione di piacere, di dolore, di gioia e il comportamento sessuale. L'epifisi o ghiandola pineale attraverso la produzione di melanina regola i ritmi circadiani.

Il **cervello** o telencefalo, è la parte più voluminosa dell'encefalo, formato da due emisferi uno destro e uno sinistro collegati tramite il corpo calloso (fibre nervose). Gli emisferi cerebrali sono formati da uno strato superficiale molle detto corteccia cerebrale o sostanza grigia, formata dal corpo cellulare di circa 100 miliardi di neuroni, uno strato spesso circa 4 mm che presenta numerose pieghe o circonvoluzioni.

La parte interna degli emisferi è la materia bianca, formata dagli assoni rivestiti dalla guaina mielinica (perciò bianca). Nel corso dell'evoluzione, gli emisferi cerebrali sono diventati sempre più grandi ed è aumentato anche il numero delle circonvoluzioni della corteccia cerebrale, nell'uomo ad esempio è molto sviluppata tanto da occupare gran parte dell'encefalo.

La corteccia cerebrale è suddivisa in quattro lobi: **lobo frontale**, **parietale**, **temporale** e **occipitale**, ognuno separata dall'altro tramite scissure (solchi).



*Suddivisione in lobi della corteccia telencefalica*

Il **lobo frontale** si trova sulla parte anteriore degli emisferi ed è la zona che riceve informazioni soprattutto dagli organi olfattivi e controlla i movimenti. È la zona in cui ha sede la curiosità, dove vengono elaborate le idee, dove si immagina il futuro, dove avvengono tutte le attività mentali superiori.

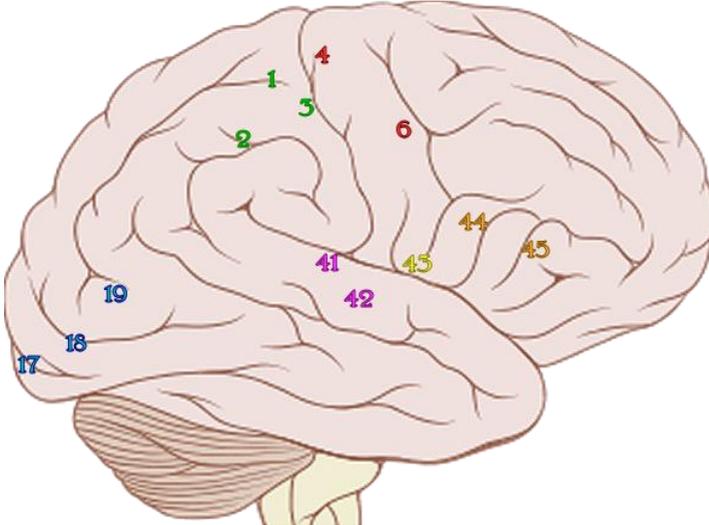
Nella parte sinistra del lobo frontale si trova un'area molto importante (centro di Broca) per il coordinamento del linguaggio: se questa zona viene lesionata si hanno difficoltà di pronuncia.

Il **lobo parietale** si trova sulla parte superiore degli emisferi, riceve gli stimoli tattili, dolorifici, termici. Nella parte sinistra si trova un'area importante nella comprensione del linguaggio (centro di Wernicke), una lesione di questa zona non consente di ricordare i termini adatti.

Il **lobo temporale** situato nella parte inferiore degli emisferi cerebrali, riceve gli stimoli acustici e olfattivi ed è anche la sede della memoria.

Il **lobo occipitale** situato nella parte posteriore degli emisferi riceve gli stimoli visivi.

La corteccia cerebrale è stata suddivisa in quattro lobi anche se su di essa si possono individuare 52 zone dove ad ognuna viene assegnato un nome in base al tipo di funzione che svolge, questa classificazione è detta classificazione di Brodmann. Tra queste aree ricordiamo l'area sensitiva primaria, l'area motrice primaria (4), l'area visiva primaria (17), l'area acustica primaria, l'area gustativa (43), area primaria del linguaggio (44, 45), ecc.

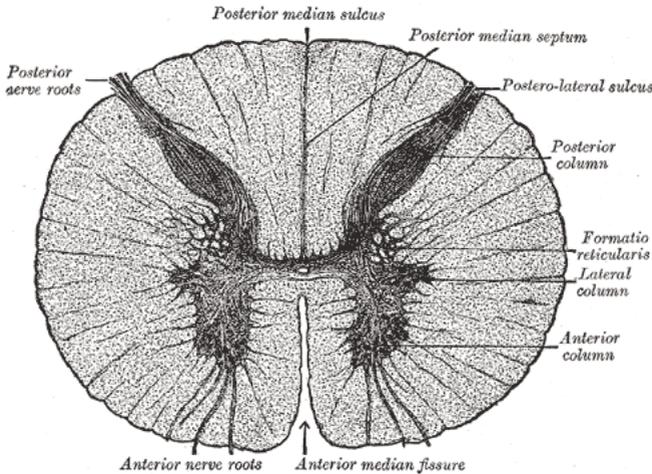


*Arete di Brodmann: Aree 3, 1 e 2 Corteccia somestesica primaria (frequentemente elencate per convenzione nella sequenza: "aree 3, 1, 2"); Area 4 Corteccia motoria primaria (M1); Area 5 Corteccia associativa somatosensoriale; Area 6 Corteccia premotoria e corteccia motoria supplementare (Corteccia motoria secondaria) (Area motoria supplementare); Area 17 Corteccia visiva primaria (V1); Area 18 Corteccia visiva secondaria (V2); Area 19 Corteccia visiva associativa (V3); Aree 41 e 42 Corteccia primaria e di associazione uditiva; Area 43 Area subcentrale (tra l'insula e il giro post/precentrale); Area 44 - Opercoli, parte dell'area di Broca; Area 45 - Parte triangolare (Area di Broca).*

Al di sotto dei lobi temporali troviamo l'**ippocampo** che è implicato nella formazione della memoria a lungo termine e l'**amigdala** che gestisce le emozioni. Negli emisferi esistono poi delle aree che occupano molto spazio, chiamate aree associative, che hanno il compito di integrare e coordinare le informazioni provenienti dalle aree vicine, ad esempio l'area associativa frontale riceve informazioni dalle aree vicine in modo tale che l'individuo possa pensare, decide e parlare.

L'emisfero destro controlla le funzione della parte sinistra del corpo e l'emisfero sinistro controlla le funzioni della parte destra del corpo.

Del sistema nervoso centrale fa parte anche il **midollo spinale**. È un cordone che parte dal midollo allungato e arriva alla regione lombare, protetto dalla colonna vertebrale e dalle meningi, è formato internamente da materia grigia ed esternamente da materia bianca (il contrario rispetto al cervello).



*Sezione di midollo spinale*

Se si osserva una sezione trasversale del midollo si può notare al centro la materia grigia che forma una struttura a forma di farfalla. Alle ali dorsali (corna posteriori) arrivano fibre nervose sensoriali che trasportano i segnali provenienti dagli organi di senso che devono essere condotti all'encefalo, dalle ali ventrali (corna anteriori) partono fibre nervose motorie che trasportano i segnali provenienti dall'encefalo ai muscoli o alle ghiandole.

Le fibre nervose uscite dal midollo si uniscono per formare i nervi spinali.

Il midollo spinale oltre a trasportare gli impulsi nervosi dall'encefalo al resto del corpo e dal corpo all'encefalo dà origine ai riflessi ovvero a risposte, involontarie (in quanto non sono comandate dal cervello) e rapide a stimoli esterni.

Un riflesso semplice che si origina nel midollo spinale è l'**arco riflesso**. Ad esempio, quando il medico colpisce con un martelletto il tendine al

di sotto della rotula, provoca come riflesso l'estensione della gamba. Il martelletto stimola i recettori situati sul tendine che inviano impulsi nervosi alla fibra nervosa sensoriale arrivando al midollo osseo. Qui viene elaborata la risposta e inviata alla fibra nervosa motoria che esce dal midollo spinale. La risposta arriva al muscolo del quadricipite del femore facendolo contrarre e provocando la distensione della gamba. In questo meccanismo non viene coinvolto il cervello, esso infatti non ha ricevuto nessun impulso.

Molte attività della nostra vita sono regolate da riflessi come la salivazione che viene provocata dal sapore del cibo, la deglutizione oppure il ritiro immediato della mano dopo aver toccato una superficie rovente, anche se in questo ultimo caso possiamo modulare questo riflesso, cioè decidere di mantenere la mano vicino alla fonte di calore. Ciò è possibile perché tra il neurone sensoriale e quello motorio vi è un altro neurone, che presenta un lungo assone, che risale il midollo spinale e lo collega al cervello, il quale decide di bloccare il riflesso.

### 14.5 Il sistema nervoso periferico

Le fibre nervose sensoriali provenienti dalle corna posteriori della materia grigia del midollo spinale e le fibre nervose motorie provenienti dalle corna anteriori si uniscono a formare i **nervi spinali** che fanno parte del sistema nervoso periferico, sono nervi misti formati cioè da due tipi di fibre (sensoriali e motorie). Vi sono 33 paia di nervi spinali, un paio per ogni vertebra.

Dopo che il nervo spinale fuoriesce dalla vertebra, attraverso il foro intervertebrale, si divide in due parti, un ramo dorsale e un ramo ventrale, ogni ramo contiene sia fibre sensitive che fibre motorie.

Il ramo dorsale arriva alla muscolatura e alla cute della zona dorsale del corpo mentre il ramo ventrale arriva alla muscolatura e alla cute degli arti e alla zona ventrale e laterale del tronco.

I rami ventrali che innervano una stessa zona si uniscono a formare dei plessi che si suddividono in:

- **plesso cervicale** (C1-C5) innerva i muscoli del collo, la cute e il diaframma;
- **plesso brachiale** (C5-T1) innerva la scapola e il braccio;

- **plesso lombare** (T12-L4) e **sacrale** (L4-S1) innervano il cinto pelvico e la gamba.

Solo i rami ventrali della zona toracica e tutti i rami dorsali non formano plessi.

Del sistema nervoso periferico oltre ai nervi spinali fanno parte anche i **nervi cranici**. Sono 12 paia e sono collegati all'encefalo. Quelli formati da fibre nervose sensoriali raccolgono le informazioni provenienti dagli organi di senso e le inviano all'encefalo, quelli formati da fibre motorie invece inviano le informazioni dall'encefalo ai muscoli, ad esempio comandano i movimenti dell'occhio, delle palpebre, della lingua, infine vi sono quelli misti formati sia da fibre sensoriali che motorie come il nervo trigemino che innerva i muscoli della masticazione o il nervo intermediofaciale che innerva i muscoli facciali.

L'insieme di nervi (cranici e spinali) quindi forma il sistema nervoso periferico. Questi nervi trasportano le informazioni provenienti dagli organi di senso al sistema nervoso centrale e pertanto sono detti anche **nervi afferenti**. Oppure attraverso le fibre motorie trasportano i comandi dal sistema nervoso centrale ai muscoli, alle ghiandole e ad altri organi interni, pertanto sono detti **nervi efferenti**.

Il sistema nervoso periferico viene suddiviso in sistema nervoso somatico e sistema nervoso autonomo, quest'ultimo a sua volta viene suddiviso in sistema nervoso parasimpatico e simpatico.

Il **sistema nervoso somatico o volontario** è formato dai nervi efferenti che portano le informazioni ai muscoli scheletrici determinando il movimento, è detto anche volontario perché controlla tutte le nostre attività volontarie come camminare, saltare ecc.

Le fibre motorie dei nervi efferenti, sono gli assoni dei neuroni motori della corteccia cerebrale (corteccia motoria) che si prolungano lungo il midollo spinale. Questi, prima di arrivare al midollo, si incrociano e quindi le fibre che provengono dalla corteccia motoria dell'emisfero destro arrivano nel midollo spinale sinistro e quelle che partono dall'emisfero sinistro arrivano al midollo spinale destro.

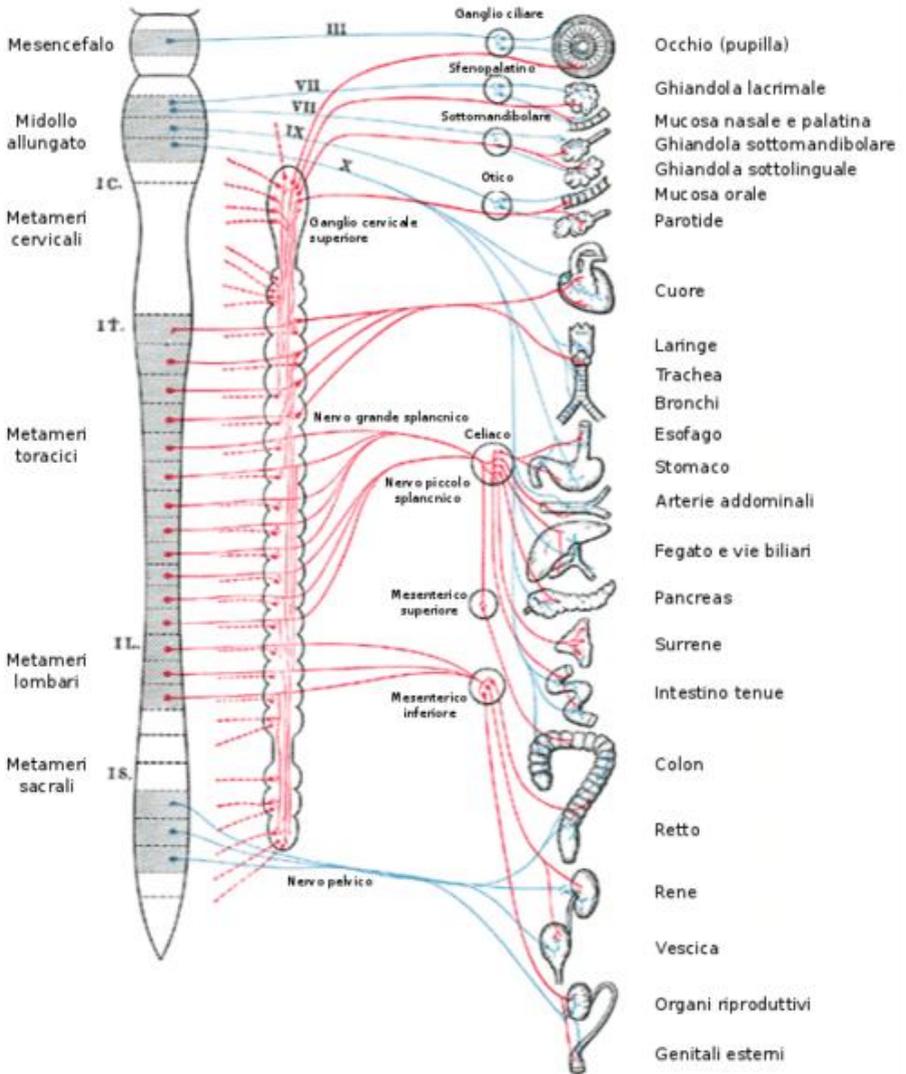
Una volta arrivati al midollo entrano nella materia grigia del midollo e trasmettono informazioni ad altri neuroni che le trasportano ai muscoli scheletrici facendoli contrarre e consentendo il movimento, questo percorso è chiamato via motrice piramidale.

Molti neuroni motori non presentano prolungamenti così lunghi da arrivare direttamente al midollo, pertanto le informazioni vengono trasmesse ad altri neuroni, successivamente arrivano nel midollo spinale e poi vengono trasmesse al muscolo. Questo percorso è chiamato extrapiramidale e consente di rendere automatici alcuni movimenti volontari, come ad esempio guidare l'auto.

Il **sistema nervoso autonomo** o involontario invece controlla i movimenti degli organi interni o l'attività del sistema endocrino: è chiamato autonomo perché agisce indipendentemente dalla nostra volontà.

Il **sistema simpatico** è formato da una serie di gangli (insieme di neuroni) situati lungo la colonna vertebrale, dai quali partono i nervi simpatici che innervano gli organi interni e la muscolatura liscia. Essi sono responsabili delle risposte dell'organismo a situazioni di stress fisico o psicologico, di sforzo fisico, di paura. Infatti accelerano il battito cardiaco, bloccano la salivazione, dilatano i bronchi, stimolano il fegato a rilasciare glucosio ecc. contemporaneamente interviene il **sistema parasimpatico** che attraverso i nervi parasimpatici, che partono da neuroni motori situati nel midollo allungato e nella zona sacrale del midollo spinale, sono responsabili del ritorno alla normalità. Dopo una situazione di stress, essi rallentano il battito cardiaco, contraggono i bronchi, ecc. pertanto ad uno stesso organo possono arrivare sia nervi simpatici che parasimpatici provocando però degli effetti opposti. I nervi simpatici come risposta ad una situazione di stress rilasciano un neurotrasmettitore, la norepinefrina, che accelera il battito cardiaco mentre i nervi parasimpatici rilasciano un altro neurotrasmettitore, l'acetilcolina, che invece rallenta il battito ristabilendo le condizioni precedenti allo stress.

Alcune persone riescono a controllare il sistema nervoso simpatico attraverso tecniche di meditazione con le quali riescono a tenere sotto controllo la risposta a situazioni di stress in particolare controllando il ritmo cardiaco.



*Sistema nervoso autonomo*

## 14.6 I recettori

I recettori sono terminazioni di cellule nervose che percepiscono gli stimoli provenienti sia dall'ambiente esterno sia dall'ambiente interno all'organismo, convertono gli stimoli in impulsi elettrici e li convogliano verso il sistema nervoso centrale che genera una risposta.

Ogni recettore può percepire un determinato tipo di stimolo ad esempio:

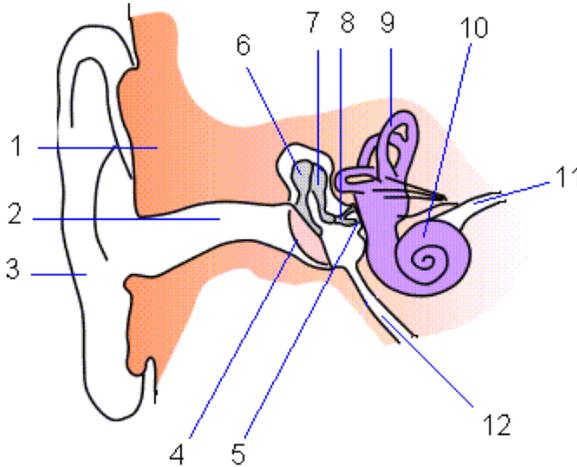
- i **fotorecettori**, si trovano sulla retina e percepiscono lo stimolo della luce,
- i **chemiorecettori** percepiscono gli stimoli chimici come ad esempio il gusto o olfatto, quelli del gusto situati nelle papille gustative e quelli dell'olfatto situati sull'epitelio olfattivo,
- i **termorecettori** percepiscono le variazioni termiche, presenti nella cute (percepiscono variazioni di temperatura dell'ambiente esterno) e nell'ipotalamo (percepiscono variazioni della temperatura interna),
- i **meccanorecettori** percepiscono variazioni meccaniche come variazioni di pressione, di tensione, di gravità, un esempio sono i recettori del tatto o del dolore situati nella cute o propriocettori situati sui muscoli che trasmettono informazioni anche sul movimento e sulla posizione spaziale del corpo,
- gli **enterocettori** che percepiscono gli stimoli provenienti dagli organi interni come quelli che provengono dal tubo digerente.

Se lo stimolo è costante e di lunga durata allora i recettori non inviano più gli impulsi nervosi; si ha quindi un adattamento sensoriale. È questo il motivo per cui, stando seduti, dopo un po' di tempo non sentiamo più il nostro piano d'appoggio, in quanto i recettori della pressione hanno smesso di rispondere allo stimolo.

L'adattamento avviene per non sovraccaricare il sistema nervoso centrale di troppe informazioni che sarebbero inutili per l'individuo, quindi ciò che i recettori devono percepire sono solo i cambiamenti provenienti dall'ambiente esterno o interno atti a generare le risposte appropriate.

## Orecchio

I recettori sono situati negli organi di senso, i recettori dell'udito si trovano nell'**organo di senso dell'udito** ovvero l'orecchio, esso è distinto in tre parti: orecchio esterno, orecchio medio e orecchio interno.



*Anatomia dell'orecchio\*:* Orecchio esterno: 1 pericondrio, 2 condotto uditivo, 3 padiglione auricolare. Orecchio medio: 4 timpano, 5 finestra ovale, 6 martello, 7 incudine, 8 staffa. Orecchio interno: 9 canali semicircolari, 10 coclea, 11 nervo acustico, 12 tromba di Eustachio.

L'**orecchio esterno** è formato dal padiglione auricolare, dal condotto uditivo e dal timpano. Il **padiglione auricolare** è una lamina cartilaginea che ha il compito di raccogliere e convogliare le vibrazioni dell'aria (onde sonore) al condotto uditivo. È rivestito da un epitelio ricco di ghiandole che secernono cerume, il cerume trattiene eventuali corpi estranei presenti nell'aria come il pulviscolo. Dal condotto uditivo il suono giunge al **timpano**, una membrana elastica che si estende da un lato all'altro del condotto uditivo. Il timpano vibra appena viene colpito dalle onde sonore.

Con il timpano termina l'orecchio esterno e comincia l'**orecchio medio**, una cavità in cui è presente l'aria che entra attraverso un condotto, chiamato **tromba di Eustachio**, che è in comunicazione con la faringe

dalla quale entra aria a pressione atmosferica. Per questo motivo la membrana timpanica è sottoposta, da un lato e dall'altro, alla stessa pressione. Nel caso si verificano cambiamenti di pressione atmosferica, come può accadere in aereo o in alta montagna, si tappano le orecchie ed è possibile eliminare questa sensazione fastidiosa deglutendo o sbadigliando perché in questo modo si apre la tromba di Eustachio e si ristabilisce all'interno dell'orecchio medio una pressione uguale a quella atmosferica.

All'interno dell'orecchio medio si trovano tre ossicini, martello, incudine e staffa, uniti tra di loro. Il **martello** è attaccato alla membrana del timpano, quando questa membrana vibra trasmette la vibrazione al martello che a sua volta la trasmette all'**incudine** e da qui alla **staffa**. La vibrazione viene trasmessa dalla staffa alla coclea, passando per la finestra ovale che è un foro nel cranio rivestito da una membrana.

Con la coclea inizia l'**orecchio interno**, simile ad un tubicino avvolto a spirale contenente del liquido che è suddiviso in tre canali.

Nel canale centrale si trova l'organo del Corti, formato da due membrane, una basilare sulla quale si trovano i recettori dell'udito (cellule cigliate) e una membrana tettoria che sovrasta le cellule cigliate. La vibrazione ricevuta dalla coclea fa vibrare anche il liquido in essa presente che mette in movimento la membrana basilare e spinge le cellule cigliate contro la membrana tettoria provocandone il piegamento e inducendo una depolarizzazione delle cellule cigliate e il rilascio di neurotrasmettitori che generano impulsi nervosi che vengono convogliati al nervo acustico diretto all'encefalo.

Le vibrazioni non mettono in movimento tutta la membrana basilare, infatti suoni di intensità alta mettono in movimento una regione specifica della membrana, mentre suoni di intensità bassa fanno vibrare un'altra zona della membrana e quindi altre cellule cigliate. Siccome le cellule cigliate sono collegate a fibre differenti nel nervo acustico, ogni fibra può stimolare cellule cerebrali diverse. Vibrazioni troppo forti possono provocare la rottura delle cellule cigliate e quindi causare danni all'udito.

L'orecchio oltre ad essere l'organo dell'udito è anche l'organo dell'equilibrio infatti nell'orecchio interno vi è il **labirinto**, costituito da canali semicircolari. Cambiando la posizione del capo si sposta il

liquido presente nei canali semicircolari provocando una pressione su alcune delle cellule cigliate, che generano gli impulsi nervosi, e questi tramite il nervo acustico, arrivano al cervelletto, il quale riceve le informazioni sulla posizione del corpo e le integra con altre informazioni sensoriali. Da qui gli impulsi nervosi verranno trasmessi ai muscoli i quali si contraggono per mantenere la posizione o per effettuare un movimento. Infiammazioni del labirinto provocano la labirintite che causa vertigini e perdita dell'equilibrio.

## Naso

I recettori dell'odore sono situati nell'**organo di senso dell'olfatto** ovvero il naso. Le cavità nasali sono rivestite da una mucosa nella quale si trovano le terminazioni nervose delle cellule olfattive (recettori olfattivi).

La terminazione nervosa viene stimolata dalla molecola dell'odore, che entra nella cavità nasale tramite l'aria inspirata, inducendo la depolarizzazione e quindi producendo un impulso che verrà trasmesso alla cellula olfattiva, questa tramite il nervo olfattivo, raggiunge il bulbo olfattivo, situato nel lobo frontale del telencefalo.

Le informazioni olfattive arrivano anche al sistema limbico dell'encefalo, una serie di strutture di cui fanno parte l'ippocampo e l'amigdala, pertanto un odore può stimolare centri cerebrali della memoria e delle emozioni.

Attraverso gli odori l'uomo riesce a percepire le caratteristiche chimiche dell'ambiente che lo circonda e quelle dei cibi che mangia, pertanto l'olfatto è strettamente legato al gusto, infatti un forte raffreddore ci fa sembrare i cibi insipidi.

## Lingua

I recettori del gusto, detti bottoni gustativi, sono contenuti nelle papille gustative, situate sulla lingua, l'**organo di senso del gusto**. I recettori del gusto percepiscono le sostanze chimiche disciolte nella saliva. I sapori che possiamo percepire sono il dolce, che viene percepito dai recettori presenti sulla punta della lingua, l'amaro che viene percepito da recettori presenti alla base della lingua, il salato che viene percepito dai recettori situati alla punta e ai margini della lingua e l'acido che viene percepito dai recettori situati ai margini e nel mezzo della lingua.

Ogni bottone gustativo è formato da cellule sensoriali che vengono stimulate dalle sostanze chimiche che sono disciolte nella saliva e producono degli impulsi nervosi che attraverso le fibre del nervo glossofaringeo e vago arrivano all'encefalo. Le cellule gustative vengono continuamente rinnovate, vivono infatti pochi giorni.

## Tatto

I recettori del tatto sono situati nell'**organo di senso del tatto** ovvero la pelle. La pelle ospita diversi tipi di recettori, tra cui:

- i corpuscoli di Meissner, situati nei polpastrelli, nel palmo della mano e nella pianta del piede che sono responsabili del senso del tatto,
- i corpuscoli di Pacini, situati nella zona profonda del derma, percepiscono le variazioni di pressione,
- i corpuscoli di Golgi-Mazzoni e di Krause situati sul dorso della mano, nelle gote e sulla punta della lingua, percepiscono il caldo o il freddo,
- i corpuscoli di **Merkel** situati tra l'epidermide e il derma che percepiscono il tatto,
- i corpuscoli di **Ruffini** situati nella parte profonda del derma, percepiscono le variazioni della tensione superficiale sulla pelle.

Sulla pelle poi sono situate varie terminazioni nervose libere che percepiscono il caldo, il freddo e il dolore.

Le zone del nostro corpo che presentano più recettori del tatto sono labbra, polpastrelli, palmo dei piedi e i genitali. Questi recettori una volta stimolati trasportano gli impulsi nervosi ai neuroni del midollo spinale o del midollo allungato che sono a loro volta collegati con altri neuroni che trasmettono queste informazioni alla corteccia cerebrale.

## Occhio

I recettori visivi sono situati nell'**organo di senso della vista** ovvero l'occhio. L'occhio è situato in una cavità detta orbita ed è protetto dalle palpebre, dalle ciglia ed è lubrificato dal secreto delle ghiandole lacrimali.

La parte dell'occhio contenuta nell'orbita è il bulbo oculare che è rivestito da tre strati sovrapposti. Lo strato esterno è la **sclera** che nella parte anteriore diventa trasparente formando la **cornea**. Lo strato

intermedio è la **coroide** (o membrana corioidea) ricco di vasi sanguigni, è uno strato scuro in quanto impedisce la riflessione della luce all'interno dell'occhio, anteriormente, in prossimità della cornea, forma l'**iride** che conferisce colorazione all'occhio e che contiene fibre muscolari che contraggono o dilatano la pupilla. Il foro presente nel centro dell'iride permette alla luce di entrare nella parte interna dell'occhio.

Dietro la pupilla vi è il **cristallino**, una lente biconvessa, circondata da un muscolo circolare che contraendosi o dilatandosi varia la curvatura della lente consentendo la messa a fuoco di un oggetto, tale variazione avviene in automatico e in maniera rapida.

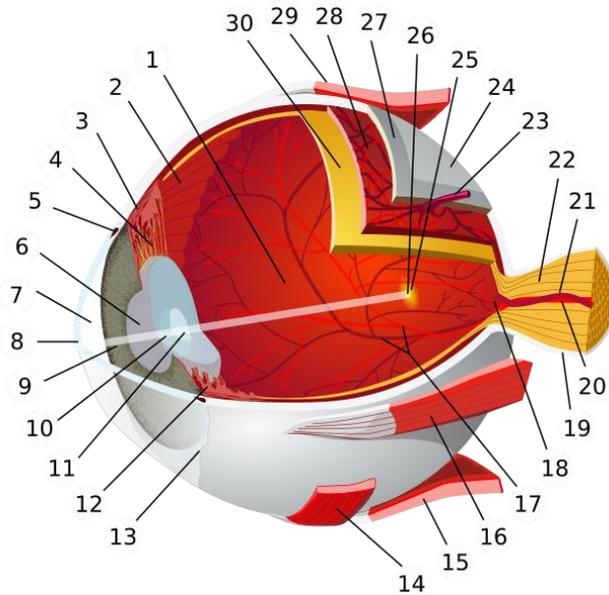
All'interno dell'occhio quindi vi sono due cavità, una avanti al cristallino più piccola che contiene l'umor acqueo (un liquido simile al plasma sanguigno) e l'altra dietro al cristallino piena di umor vitreo (gelatinoso).

L'umor acqueo è secreto dal corpo ciliare, nutre e ossigena il cristallino, l'iride e la cornea ed elimina le sostanze di rifiuto.

Il cristallino proietta l'immagine sulla retina, è un'immagine capovolta ma ciò non è importante in quanto l'immagine viene interpretata dal cervello e non dall'occhio. Lo strato più interno è la retina costituita dai recettori della luce, ovvero bastoncelli e coni. I bastoncelli maggiormente presenti alla periferia della retina, consentono la visione in bianco e nero e sono utili per la visione nel buio (visione scotopica), mentre i coni maggiormente concentrati nella zona centrale della retina, chiamata fovea, consentono la visione a colori, utili per la visione in condizioni di luce intensa (visione fotopica).

All'interno dei bastoncelli sono presenti dei pigmenti, rodopsine, che vengono stimolati dalla luce (essa attraverso la pupilla arriva alla retina) che provoca una depolarizzazione della membrana mentre all'interno dei coni sono presenti pigmenti visivi detti fotopsine che assorbono la luce intensa e colorata

L'impulso nervoso viene poi trasmesso al nervo ottico, situato nel punto cieco della retina, che lo conduce all'encefalo dove viene elaborato ed integrato da altre informazioni e trasformato in immagine visiva.



*Parti dell'occhio: 1.camera posteriore, 2.ora serrata, 3.muscolo ciliare, 4.zonale ciliare, 5.canale di Schlemm, 6.pupilla, 7.camera anteriore, 8.cornea, 9.iride, 10.capsula del cristallino, 11.nucleo del cristallino, 12.processi ciliari, 13.congiuntiva, 14.muscolo obliquo inferiore, 15.muscolo retto inferiore, 16.muscolo retto mediale, 17.vasi retinici, 18.disco ottico, 19.dura madre, 20.arterie centrali retiniche, 21.vene centrali retiniche, 22.nervo ottico, 23.vene vorticosi, 24.fascia bulbare, 25.macula, 26.fovea, 27.sclera, 28.coroide, 29.muscolo retto superiore, 30.retina.*

## **Approfondimenti**

Video sulla sinapsi chimica

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Synapse.theora.ogv>

Come è fatto il cervello, video

[http://www.youtube.com/watch?v=7R8E\\_4OTn4I](http://www.youtube.com/watch?v=7R8E_4OTn4I)

Il cervello e la droga, video

<http://www.youtube.com/watch?v=AwhrivV44nI>

Rappresentazione 3D del cervelletto

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Cerebellum.gif>

Rappresentazione 3D dei lobi del cervello

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Four\\_lobes.gif](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Four_lobes.gif)

Mappe concettuali con foto e disegni del sistema nervoso periferico

[http://cmapspublic.ihmc.us/rid=1J7XPQZKM-2BGP8S7-165Z/Sist\\_Nerv\\_Periferico.cmap](http://cmapspublic.ihmc.us/rid=1J7XPQZKM-2BGP8S7-165Z/Sist_Nerv_Periferico.cmap)

Modello 3D del cervello umano

<http://www.g2conline.org/2022>

## **Videolezioni**

Il sistema nervoso

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2526-il-sistema-nervoso.html>

I neuroni

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2542-i-neuroni.html>

Apparato sensoriale

<http://lezioni.matematicamente.it/secondaria-secondo-grado/biologia/2530-apparato-sensoriale.html>

## 15. Riproduzione e sviluppo

### 15.1 Riproduzione e sviluppo

L'apparato riproduttore ha lo scopo di assicurare la continuità della specie attraverso la produzione di gameti, gli **spermatozoi** per i maschi e **cellule uovo** per le femmine. Gli spermatozoi vengono prodotti dalle gonadi maschili, ovvero dai **testicoli**, mentre le cellule uovo dalle gonadi femminili, ovvero le **ovaie**.

L'apparato riproduttore maschile ha quindi lo scopo di produrre spermatozoi e di immetterli, attraverso il pene, nelle vie genitali femminili.

L'apparato riproduttore femminile ha invece lo scopo di produrre cellule uovo, ricevere gli spermatozoi e nutrire l'embrione che si forma dallo zigote, la prima cellula diploide del nostro organismo che si forma dall'incontro dello spermatozoo con la cellula uovo (**fecondazione**).

La riproduzione che avviene mediante i gameti è detta gamica o sessuata, tuttavia molti animali presentano un tipo di riproduzione agamica o asessuata cioè senza produzione di gameti. Per esempio, i Poriferi e gli Cnidari si riproducono per gemmazione ovvero per formazione di una gemma che si stacca e dà origine ad un individuo identico al genitore.

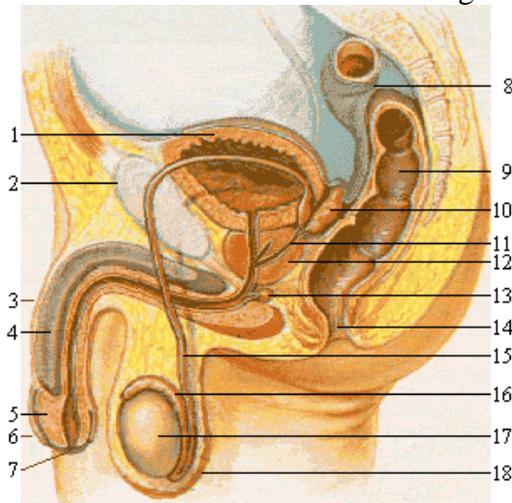
Nelle specie che si riproducono gamicamente, come l'uomo, troviamo diversità fisica tra il maschio e la femmina cioè un diverso apparato riproduttivo, ma anche diversi caratteri sessuali secondari. Nei mammiferi si ha un maggiore sviluppo delle mammelle nelle femmine, nel maschio una statura più elevata, una muscolatura più sviluppata e un bacino più stretto; la respirazione è addominale nel maschio, toracica nella femmina per non essere d'ostacolo durante la gravidanza, l'uomo ha una maggiore quantità di peli e la voce più forte. Tutti i caratteri sessuali secondari vengono sviluppati durante la pubertà, quando le gonadi cominciano ad essere attive, cioè quando iniziano a produrre gameti e ormoni come il testosterone necessario per lo sviluppo dei caratteri sessuali maschili e gli estrogeni necessari per lo sviluppo di quelli femminili.

Molte piante e alcuni animali possiedono sia le gonadi maschili sia quelle femminili, sono cioè **ermafroditi**. In questi individui non c'è una separazione dei sessi, come per gli individui a riproduzione sessuata,

infatti presentano gli organi sessuali maschili e femminili sullo stesso individuo. Esempi sono le chiocciole, i lombrichi o alcuni molluschi come i nudibranchi, in questi casi uno stesso individuo produce sia spermatozoi che cellule uovo.

### 15.2 Apparato riproduttore maschile

Nei mammiferi, compreso l'uomo, gli spermatozoi vengono prodotti nelle gonadi, ovvero nei **testicoli**, strutture ovoidali del diametro di massimo 4 cm. Ogni maschio presenta due testicoli situati in un sacco, detto **scroto**, che si trova all'esterno della cavità addominale in quanto la temperatura interna del corpo, che è di 37 °C, è dannosa per la formazione degli spermatozoi, pertanto lo scroto trovandosi all'esterno del corpo ha una temperatura inferiore (34°C) e assicura la corretta produzione degli spermatozoi. L'interno dei testicoli è suddiviso in circa 250 compartimenti, ognuno dei quali è completamente riempito dai **tubuli seminiferi**, canali nei quali avviene la spermatogenesi, ovvero la maturazione degli spermatozoi. Ogni tubulo seminifero è lungo circa 80cm e i due testicoli insieme ne contengono circa 500m.



*Apparato riproduttore maschile. 1.Vescica, 2.Osso pubico, 3.Pene, 4.Corpo cavernoso, 5.Glande, 6.Prepuzio, 7.Uretra, 8.Colon sigmoideo, 9.Retto, 10.Vescicola seminale, 11.Dotto eiaculatore, 12.Prostata, 13.Ghiandole di Cowper, 14.Ano, 15.Dotto deferente, 16.Epididimo, 17.Testicolo, 18. Scroto.*

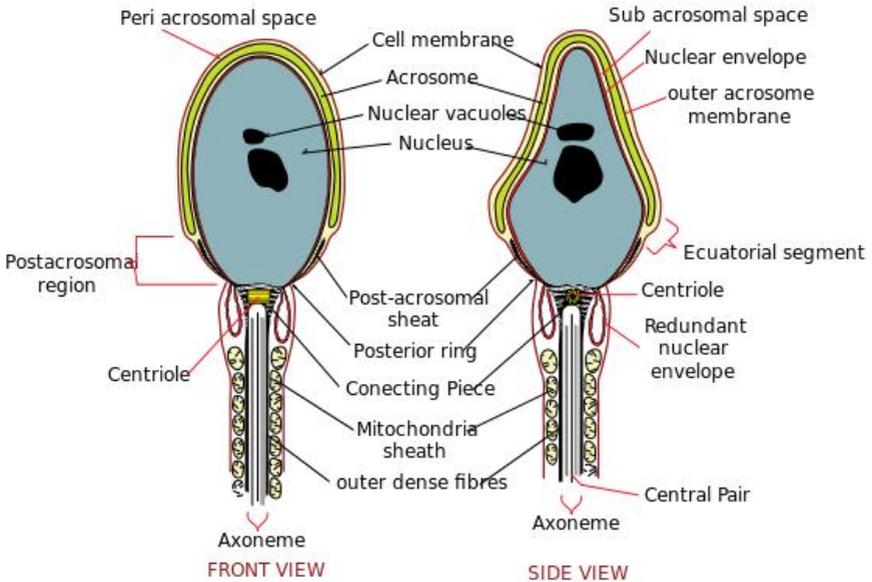
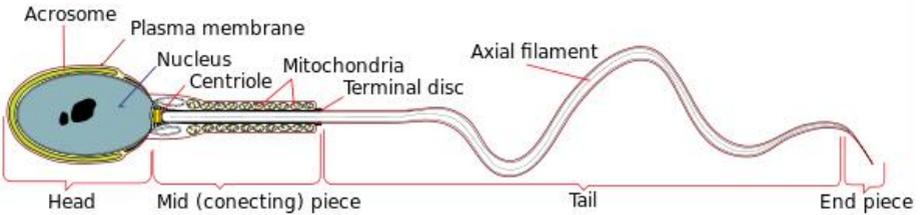
All'inizio della pubertà (10-11anni), l'*adenoipofisi* produce l'ormone luteinizzante (LH) che stimola le cellule di Leydig, situate nei testicoli, tra i tubuli seminiferi, a produrre testosterone indispensabile per la maturazione degli spermatozoi e per la comparsa dei caratteri sessuali secondari.

Sulle pareti dei tubuli seminiferi sono presenti delle cellule, spermatogoni, cellule seminali diploidi immature che si dividono per mitosi diventando spermatociti primari ( $2n$ ), ogni spermatocita primario va incontro ad una prima divisione meiotica formando due spermatociti secondari ( $n$ ) e una seconda divisione meiotica che porta alla formazione di quattro spermatidi (cellule aploidi).

Ogni spermatidio matura, in circa due mesi e mezzo, in spermatozoo, grazie anche al nutrimento fornito dalle **cellule del Sertoli** presenti nel tessuto dei tubuli seminiferi.

Alcuni spermatociti primari continuano a dividersi per mitosi in modo da creare una scorta dalla quale attingere per formare nuovi spermatozoi. Gli spermatidi man mano che maturano vanno verso l'epididimo, una struttura situata superiormente a ciascun testicolo, formata da una serie di dotti che si uniscono in un unico canale (vaso deferente che si collega con l'uretra), all'interno dell'epididimo gli spermatozoi non sono ancora mobili e continuano la maturazione sviluppando poi la motilità dopo circa 12 giorni. I due vasi deferenti sono rivestiti da tre strati di tessuto muscolare liscio e contraendosi spingono in avanti gli spermatozoi.

Uno spermatozoo maturo è formato da una **testa** nella quale è presente il nucleo. Anteriormente alla testa vi è una zona detta **acrosoma**, contenente gli enzimi necessari alla penetrazione della cellula uovo, un **tratto intermedio** che contiene i mitocondri che forniscono l'energia necessaria al raggiungimento della cellula uovo e una **coda** che rappresenta l'organo di movimento. La spermatogenesi è un fenomeno che inizia dalla pubertà e continua per tutta la vita dell'individuo.



### *Spermatozoo*

I due **vasi deferenti** si avvolgono intorno alla vescica e insieme ai dotti che provengono dalle vescicole seminali, confluiscono nella prostata per passare poi nell'uretra e, attraverso questa, sono espulsi all'esterno del corpo.

Prima di raggiungere l'uretra agli spermatozoi viene aggiunto del liquido secreto dalle vescicole seminali, dalla prostata e dalle ghiandole di Cowper. Le **vescicole seminali** producono un liquido ricco di fruttosio che ha la funzione di nutrimento per gli spermatozoi, e con un'elevata presenza di prostaglandine che stimolano le contrazioni

dell'apparato riproduttore femminile per facilitare la risalita degli spermatozoi verso la cellula uovo.

La **prostata**, produce un liquido lattiginoso e alcalino che ha il compito di proteggere gli spermatozoi dall'acidità dell'uretra e della vagina dovuta all'eventuale presenza di urina. Le **ghiandole di Cowper** producono un liquido lubrificante. L'insieme dei liquidi con gli spermatozoi formano lo sperma o liquido seminale.

Lo sperma convogliato all'**uretra**, un condotto che attraversa il pene, in seguito a contrazioni della muscolatura e dei vasi deferenti fuoriesce all'esterno del corpo (eiaculazione).

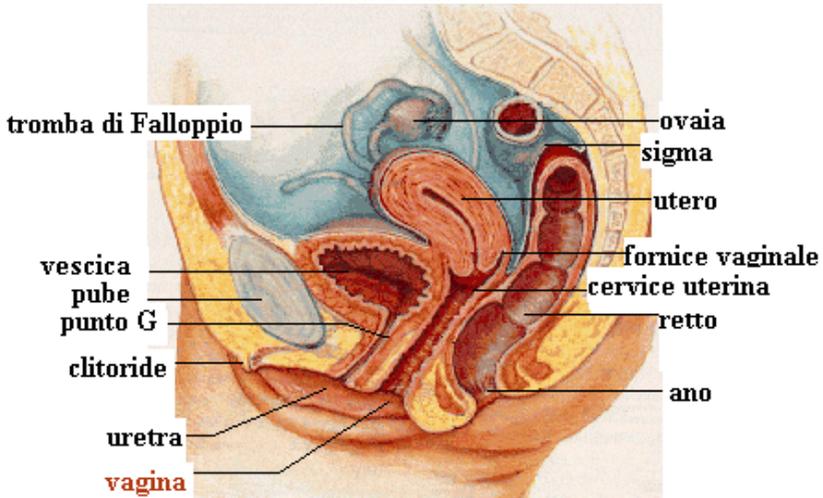
Il **pene** è l'organo copulatore, è costituito da tessuto spugnoso (corpi cavernosi) che, in seguito allo stimolo sessuale, può riempirsi di sangue, provocandone irrigidimento ed ingrandimento (erezione). Solo in seguito all'erezione è possibile la copulazione, ovvero l'introduzione del pene nella vagina.

Il pene quindi è l'organo che consente il passaggio del liquido seminale dalle vie genitali maschili a quelle femminili.

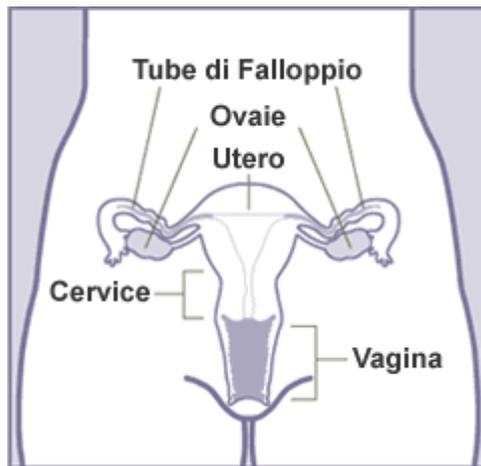
A ogni eiaculazione vengono emessi circa 3-4 ml di liquido seminale contenente 120-400 milioni di spermatozoi. Dopo l'eiaculazione, l'ipofisi, stimolata dall'ipotalamo, rilascia l'ormone luteinizzante (LH) e l'ormone follicolostimolante (FSH) che attraverso la circolazione sanguigna giungono ai testicoli, stimolando l'attività delle cellule di Leyding a produrre testosterone, indispensabile per la produzione di spermatozoi. L'elevata concentrazione di testosterone nel sangue blocca il rilascio degli ormoni LH e FSH (feedback negativo) e di conseguenza la produzione di testosterone e di spermatozoi. Una seconda eiaculazione farà ricominciare il ciclo.

### 15.3 Apparato riproduttore femminile

Le cellule uovo o ovuli, ovvero i gameti femminili, vengono prodotti nelle gonadi femminili, ovvero le **ovaie** o ovari. Le ovaie sono due organi a forma di mandorla, lunghe circa 3-4 cm, presenti all'interno della cavità addominale.



*Apparato riproduttore femminile*



*Vista frontale dell'apparato riproduttore femminile*

Vicino ad ogni ovaia si trova un canale detto **ovidutto** o **tuba di Falloppio** che comunica con l'utero. La parete dell'ovidutto è rivestita da ciglia che spingono l'ovulo, rilasciato dall'ovaia nell'ovidutto, verso l'utero.

L'**utero** è un organo muscolare cavo che si trova dietro la vescica e davanti l'intestino retto, lungo circa 7 cm, rivestito internamente da una

mucosa, **endometrio**, ricca di vasi sanguigni. Durante la gravidanza quest'organo è in grado di dilatarsi.

La parte inferiore dell'utero si restringe e forma un anello muscolare, detto **cervice** o **collo dell'utero** che si immette nella vagina, un tubo muscolare lungo 7-8 cm che si apre all'esterno. Durante un rapporto sessuale la vagina riceve il pene, durante il parto si dilata per permettere la fuoriuscita del neonato e sempre attraverso di essa fuoriescono le secrezioni uterine.

L'apertura vaginale è ricoperta da una membrana (imene) che si lacera in seguito al primo rapporto sessuale, inoltre è circondata da pieghe della cute che formano all'interno le **piccole labbra** e all'esterno le **grandi labbra** che proteggono sia l'apertura della vagina che dell'uretra.

In prossimità dell'unione delle piccole labbra è presente il **clitoride**, simile ad un piccolo pene estremamente sensibile.

Nel tessuto circostante sono presenti le ghiandole di Bartolini che producono un liquido lubrificante, queste strutture intorno all'apertura vaginale rappresentano i genitali esterni e vengono chiamate **vulva**.

Le cellule uovo a differenza degli spermatozoi sono gameti non dotati di movimenti propri, a maturità sono più grandi in quanto contengono sostanze nutritive per alimentare la prima cellula dell'embrione (lo zigote). La loro maturazione completa avviene solo dopo la fecondazione.

Il processo che porta alla produzione di cellule uovo è detto **oogenesi**, inizia nei primi stadi di sviluppo embrionale quando le cellule germinali mature migrano sulla superficie dell'ovaia ancora in formazione e cominciano a dividersi per mitosi formando circa 2 milioni di oogoni, cellule diploidi. Nel corso dello sviluppo embrionale però molti di questi oogoni degenerano, quelli che restano attivi aumentano di dimensioni e diventano oociti primari, ancora diploidi.

Alla nascita una bambina ha circa 750.000 oociti primari e fino al momento della pubertà gli oociti primari continuano a morire (apoptosi) riducendosi a circa 400.000 ma di questi soltanto 300-400 giungeranno a maturazione nel corso della vita della donna.

Durante la pubertà (12-13 anni) l'ipofisi produce l'ormone follicolostimolante che stimola lo sviluppo delle ovaie e la produzione di estrogeni.

Un oocita primario alla volta (uno ogni mese), avvolto da altre cellule che formano il follicolo, continua, per effetto degli ormoni sessuali (estrogeni), la divisione meiotica, iniziata già nella fase fetale, formando due cellule aploidi, un oocita secondario e un piccolo globulo polare, quest'ultimo non potrà diventare cellula uovo ma potrà solo dividersi.

L'oocita secondario all'interno del follicolo comincia ad aumentare di dimensioni e si muove all'interno dell'ovaia, quando è maturo il follicolo scoppia facendo fuoriuscire l'oocita secondario (ovulazione) il quale prima di essere espulso inizia la seconda divisione meiotica che si arresta allo stadio della metafase.

Fermo a questo stadio l'oocita secondario viene espulso dall'ovaio e arriva nell'ovidutto dove resta 3 giorni, se viene fecondato continua la divisione meiotica formando un secondo globulo polare e un ootidio mentre il globulo polare dividendosi meioticamente forma altri due globuli polari, alla fine della seconda divisione meiotica avremo un ootidio e tre globuli polari.

L'ootidio diventerà cellula uovo mentre i globuli polari degenerano, il citoplasma della cellula uovo è ricco di nutrienti (tuorlo) necessari a nutrire l'embrione, la cellula uovo fecondato a questo punto si dirige verso l'utero, se invece l'oocita secondario non viene fecondato, muore e viene espulso attraverso le mestruazioni.

### **15.4 Ciclo mestruale**

Il ciclo mestruale comprende modificazioni che interessano sia l'ovaio (ciclo ovarico) sia l'endometrio (ciclo uterino), esse avvengono parallelamente e vengono suddivise in varie fasi.

Il ciclo mestruale inizia quando la mucosa uterina (endometrio), che si era ispessita per prepararsi all'impianto della cellula uovo fecondata, si sfalda e viene espulsa attraverso la vagina, insieme al sangue e alla cellula uovo non fecondata, inizia così il flusso mestruale che dura in media 5 giorni.

La prima mestruazione compare nella pubertà e prende il nome di **menarca**.

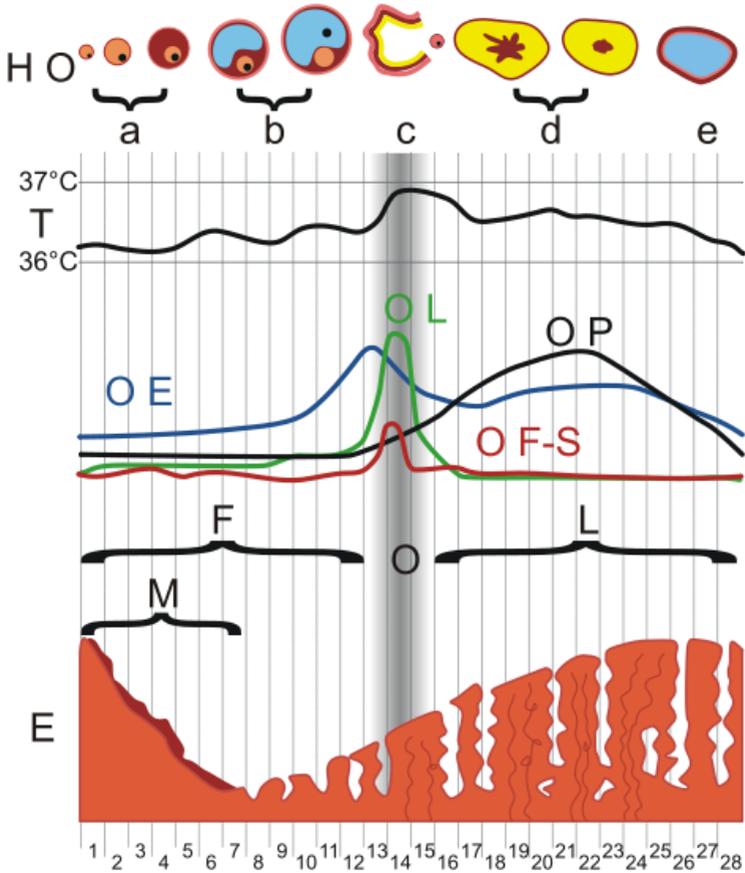
Passati i cinque giorni della fase mestruale, l'ipotalamo stimola l'ipofisi a rilasciare due ormoni, l'ormone follicolostimolante (FSH) e l'ormone luteinizzante (LH).

L'FSH induce la maturazione di uno o più follicoli nell'ovaia, ma solo uno maturerà, inoltre induce i follicoli a produrre estrogeni, che rilasciati nel sangue provocano l'ispessimento della mucosa uterina. Questa fase prende il nome di fase follicolare per il ciclo ovarico e corrisponde alla fase proliferativa del ciclo uterino. La fase follicolare termina con la maturazione del follicolo e l'inizio dell'ovulazione.

Intorno al 13°-14° giorno inizia la fase ovulatoria del ciclo ovarico, gli estrogeni stimolano l'ipofisi a rilasciare l'ormone luteinizzante (LH) che agisce sul follicolo favorendo la maturazione e provocando l'ovulazione (lo scoppio del follicolo con il rilascio dell'oocita secondario nell'ovidutto). In questa fase la donna è fertile e se ha rapporti sessuali l'oocita secondario può essere fecondato.

Dopo l'ovulazione inizia la fase luteinica o progestinica del ciclo ovarico che corrisponde alla fase secretiva del ciclo uterino. Quello che resta del follicolo scoppiato diventa il corpo luteo, una massa giallastra, che produce progesterone che rilasciato nel sangue, provoca l'ispessimento della mucosa uterina.

Gli elevati livelli di progesterone nel sangue bloccano la produzione, da parte dell'ipofisi, di LH. Se l'oocita secondario non viene fecondato, il corpo luteo, dopo 10-12 giorni dall'ovulazione, quindi intorno al 28° giorno, degenera, di conseguenza si blocca la produzione di progesterone e la mucosa uterina si sfalda provocando la mestruazione (fase mestruale). I livelli bassi di progesterone inducono l'ipotalamo a produrre i fattori di rilascio degli ormoni che stimolano l'ipofisi a produrre FSH e LH e il ciclo ricomincia.



*Diagramma temporale del ciclo mestruale:*

*a - follicolo; b - follicolo maturo, c - ovulazione, d - corpo luteo, e - corpo albicante, H O - Istologia ovarica, T - temperatura corporea, O L - ormone luteinizzante, O P - ormone Progesterone, O E - ormone estradiolo, O F-S - ormone follicolo-stimolante, F - fase follicolare, O - ovulazione, L - fase luteale, M - mestruazioni, E - istologia endometriale.*

Se invece avviene la fecondazione, la cellula uovo fecondata (zigote) si porta nell'utero e si impianta sull'endometrio, il corpo luteo non degenera ma continua a produrre progesterone grazie alla produzione di un altro ormone l'HCG coriogonadotropina rilasciato dalle cellule del corion derivanti dalla cellula uovo, in questo caso le mestruazioni si bloccano. Quindi le mestruazioni si verificano solo se la cellula uovo non è stata fecondata.

L'ovulazione si verifica ogni mese a partire dalla pubertà fino all'età della menopausa (circa 50 anni), in cui avviene il blocco dell'ovulazione. In quest'arco di tempo la donna rilascerà circa 400 oociti secondari ma solo alcuni di essi potranno essere fecondati.

### 15.5 Fecondazione

Attraverso l'eiaculazione l'uomo immette nella vagina circa 120-400 milioni di spermatozoi, contenuti all'interno del liquido seminale. Gli spermatozoi devono affrontare un lungo viaggio, risalire lungo l'utero e arrivare all'ovidutto. Molti di essi si fermano prima, ma quelle poche centinaia che riescono ad arrivare nell'ovidutto hanno pochissimo tempo per cercare di entrare nell'oocita secondario. Quest'ultimo infatti resterà nell'ovidutto soltanto due giorni mentre gli spermatozoi possono vivere al massimo tre giorni. Pertanto la donna è fertile per pochi giorni al mese.

Dopo aver raggiunto l'ovidutto non tutti gli spermatozoi riescono ad entrare nell'oocita, soltanto uno riuscirà a penetrarvi. Il flagello spinge lo spermatozoo nella zona pellucida dell'oocita secondario, ovvero lo strato gelatinoso che avvolge la membrana plasmatica, in questa zona l'acrosoma rilascia gli enzimi. Gli enzimi digeriscono lo strato gelatinoso arrivando alla membrana plasmatica dell'oocita. Qui la membrana plasmatica dello spermatozoo si fonde con quella dell'oocita formando una membrana di fecondazione che funge da barriera per l'entrata di altri spermatozoi (salvo eccezioni).

A questo punto lo spermatozoo perde la coda e solo il nucleo aploide si dirige all'interno del citoplasma dell'oocita e va a fondersi con il suo nucleo aploide. Avviene la fecondazione, cioè la fusione dei due nuclei aploidi, che portano alla formazione di una cellula diploide, lo **zigote**,

che avrà metà cromosomi di origine paterna e metà cromosomi di origine materna.

Lo zigote allora viene spinto dalle ciglia dell'ovidutto verso l'utero, impiegherà circa quattro, cinque giorni per raggiungerlo. Giunto nell'utero si impianterà sull'endometrio che risulta ispessito grazie al progesterone rilasciato dal corpo luteo e inizierà lo sviluppo embrionale.

Nella maggior parte dei mammiferi, nei rettili, negli uccelli, la fecondazione è interna, ovvero l'incontro tra i gameti avviene all'interno del corpo della femmina, in particolare per la specie umana avviene nell'ovidutto.

Nelle specie acquatiche può essere esterna: l'individuo femminile e quello maschile rilasciano rispettivamente i gameti nell'ambiente circostante (acqua) e l'incontro tra lo spermatozoo e la cellula uovo avviene nell'acqua.

### 15.6 Sviluppo embrionale

Lo sviluppo embrionale consiste in una serie di divisione mitotiche che trasformano lo zigote in individuo più complesso.

Lo sviluppo segue varie fasi. Dopo la fecondazione lo zigote va incontro ad una serie di divisioni mitotiche che portano a formare tante cellule più piccole, questa suddivisione è detta **segmentazione**, lo zigote quindi si divide per mitosi in due cellule figlie, poi queste a loro volta si dividono formandone quattro, poi otto e così via.

Il numero di divisioni mitotiche varia a seconda della specie e la struttura derivante prende il nome di **morula** perché è somigliante al frutto della mora, le singole cellule che formano tale struttura vengono chiamate blastomeri. I blastomeri sono cellule indifferenziate in grado di originare tutti i tessuti embrionali.

Nella specie umana la segmentazione avviene nell'ovidutto ed è la morula che dopo circa quattro giorni dalla fecondazione, entra nell'utero. La morula nell'utero continua a dividersi per mitosi. Dopo circa sette giorni dalla fecondazione, al suo interno si forma una cavità e questo tipo di struttura prende il nome di **blastula**, formata da circa 100 cellule, mentre la cavità, piena di liquido, prende il nome di blastocele. A questo punto inizia l'impianto nella parete muscolare dell'utero e

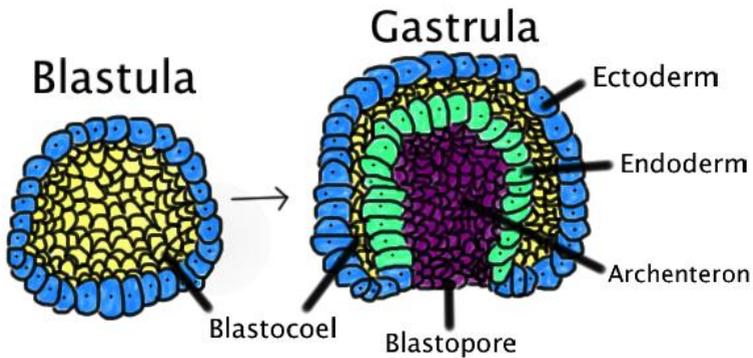
l'embrione viene chiamato **blastocisti**. Le cellule esterne al blastocisti formano il trofoblasto che servirà a nutrire l'embrione, quelle interne al blastocisti formano il nodo embrionale dal quale avrà origine l'embrione vero e proprio. Attraverso le cellule del trofoblasto la blastocisti aderisce all'endometrio (impianto dell'embrione). Queste cellule vengono chiamate corion, da esse si sviluppano dei vasi sanguigni (villi coriali) che si collegano con i vasi sanguigni della madre formando la **placenta** e, attraverso questa, avvengono gli scambi di ossigeno e sostanze nutritive dalla madre all'embrione e l'eliminazione di anidride carbonica e sostanze di rifiuto dall'embrione alla madre. Il **cordone ombelicale** lega l'embrione alla placenta.

Dopo l'impianto inizia la produzione dell'ormone **coriagonadotropina** che stimola la produzione di progesterone per far ispessire la mucosa uterina, bloccando le mestruazioni.

Dal nono giorno il nodo embrionale si accresce, forma il disco embrionale, formato da uno strato superiore di cellule, epiblasto e da uno strato inferiore di cellule, ipoblasto. Dalle cellule dell'epiblasto si forma il sacco amniotico, contenente un liquido che protegge l'embrione da urti. Da questo sacco durante la successiva fase della gastrulazione, partirà un'estroflessione, allantoide, che formerà il cordone ombelicale.

Dalle cellule dell'ipoblasto, si formerà il sacco vitellino che resta vuoto, mentre negli uccelli o nei rettili contiene il tuorlo (proteine, lipidi e carboidrati che nutrono l'embrione).

Dal sedicesimo giorno inizia la **gastrulazione**, ovvero sulle cellule dell'epiblasto si forma un solco, linea primitiva, e le cellule dell'epiblasto cominciano ad invaginarsi nel solco, così vengono a trovarsi al di sotto dell'epiblasto ma al di sopra dell'ipoblasto. Queste cellule formano il mesoderma, quelle dell'epiblasto l'ectoderma e quelle che migrano sopra l'ipoblasto formeranno l'endoderma. Quindi dalla migrazione delle cellule dell'epiblasto si formano i tre foglietti embrionali dal quale derivano i tessuti dell'embrione. Questa struttura prende il nome di **gastrula**.



### *Blastula e gastrula*

Nel punto in cui si ha l'invaginazione si formerà l'ano dalla parte opposta la bocca.

Alla fine della gastrulazione inizia l'**organogenesi** ovvero la formazione e il corretto posizionamento degli organi e quindi il differenziamento cellulare, le cellule di ogni organo sono specializzate nel compiere una determinata funzione.

Dall'ectoderma deriverà la pelle e il sistema nervoso, dal mesoderma si formeranno i muscoli, l'apparato scheletrico, l'apparato circolatorio, l'apparato escretore e riproduttore, dall'endoderma deriverà l'apparato digerente e respiratorio.

Contemporaneamente all'organogenesi avviene la **neurulazione**, ovvero la formazione del sistema nervoso: le cellule dell'ectoderma cominciano ad ispessirsi e a formare la placca neurale la quale si piega e si avvolge formando un tubo neurale che formerà il midollo spinale e l'encefalo.

Il tubo si stacca dall'epidermide, le cellule della cresta neurale che lo collegavano con l'epidermide migrano formando il tessuto nervoso, altre migrano nella pelle formando cellule pigmentate, altre migrano in altre regioni dell'embrione formando altri tipi di cellule.

L'organogenesi inizia con la gastrulazione e proseguirà fino a nove settimane dalla fecondazione, quando l'embrione si chiamerà feto. Tutti

gli organi sono già formati e da questo momento in poi fino alla fine della gestazione tenderanno solo ad ingrandirsi e modellarsi.

Dopo la formazione degli organi inizia quindi l'**accrescimento corporeo**, ovvero le cellule compiono una serie di divisioni mitotiche che portano ad un aumento del numero di cellule, in realtà queste divisioni iniziano nella fase di segmentazione e proseguono per tutto lo sviluppo embrionale e dopo la nascita fino alla formazione dell'individuo adulto.

Dopo l'organogenesi avviene anche la **morfogenesi**, ovvero un processo che porta al modellamento degli organi. Si pensi ad esempio alla formazione della mano che inizialmente assomiglia ad una pinna ma grazie alla morte programmata delle cellule che si trovano tra le dita (apoptosi) si raggiungerà la forma definitiva.

Dalla nona alla dodicesima settimana il feto inizia a crescere, compaiono i genitali esterni ed i reni cominciano ad essere attivi e a produrre la prima urina.

Verso la ventesima settimana il feto che misura circa 25 cm inizia a muoversi nel liquido amniotico e la madre riesce a percepire i suoi movimenti, in questo periodo è possibile stabilire il sesso del nascituro.

A ventidue settimane il feto misura circa 30 cm e in caso di parto prematuro potrebbe sopravvivere con l'aiuto di specifiche attrezzature mediche.

Durante le ultime settimane il feto aumenta di dimensioni fino ad arrivare a circa 3 Kg. Trascorsi circa 260 giorni di gestazione, quindi circa 40 settimane dalla fecondazione, il feto è pronto ad uscire dal corpo materno e inizia la fase del parto. Cominciano le contrazioni della muscolatura uterina, in seguito al rilascio dell'ormone ossitocina da parte dell'ipofisi. A seguito delle contrazioni il sacco amniotico, in cui galleggia il feto, si rompe e fuoriesce il liquido (rottura delle acque), la cervice si dilata e le contrazioni diventano sempre più forti, la testa del bambino inizia a spingere contro la cervice dell'utero e ne consente un'ulteriore dilatazione. Le contrazioni possono durare anche più di 12 ore o se si tratta di un secondo parto soltanto poche ore.

Appena la cervice raggiunge una dilatazione di circa 10 cm, dopo pochi minuti il bambino fuoriesce e viene spinto lungo la vagina ed espulso all'esterno. La prima parte che fuoriesce dalla vagina è la testa, infine

altre contrazioni uterine provocano la fuoriuscita della placenta e del cordone ombelicale che viene reciso. Da questo momento in poi il bambino deve attivare i polmoni, attraverso il pianto immagazzina aria nei polmoni ed inizia la respirazione.

Durante la gravidanza il progesterone stimola lo sviluppo delle ghiandole mammarie e l'atto di suzione da parte del bambino appena nato, stimola la produzione di prolattina, un ormone rilasciato dall'ipofisi, che induce le ghiandole mammarie a produrre latte.

Il parto fin qui descritto è un parto naturale, in alcuni casi però il feto può non essere in posizione, ovvero non si trova con la testa in direzione della cervice (posizione cefalica) ma si trova con la parte inferiore del corpo rivolta verso la cervice (posizione podalica) oppure la madre non è in grado di sostenere il parto in quanto potrebbe soffrire di patologie come il diabete, nefropatia ecc. In questi casi si ricorre al parto cesareo, si pratica cioè un'incisione sotto l'addome della madre e si preleva il bambino direttamente dall'utero, tale operazione viene fatta in anestesia locale o totale.

Si ricorre al parto cesareo anche quando il parto è gemellare, in questo caso infatti è difficile che entrambi i feti assumano una posizione corretta (posizione cefalica).

La formazione di due feti avviene al momento della prima segmentazione, ovvero dopo la fecondazione. Lo zigote si divide per mitosi formando due cellule, se queste si separano, ognuna di esse originerà un embrione, pertanto si formeranno due gemelli identici (monozigote), con lo stesso corredo cromosomico e lo stesso sesso.

I gemelli fraterni o eterozigote si formano in seguito alla fecondazione di due oociti secondari originatesi da una doppia ovulazione che vengono fecondati da due diversi spermatozoi, hanno quindi un diverso corredo cromosomico e possono essere di sesso diverso.

### **15.7 Metodi contraccettivi**

La specie umana a differenza degli altri mammiferi e più in generale dagli altri animali, è in grado di avere rapporti sessuali non finalizzati alla riproduzione ma semplicemente per provare piacere e per rafforzare il legame di una coppia. La donna accetta rapporti sessuali anche al di fuori del periodo fertile. Questo non succede nel mondo animale. Inoltre

solo nella nostra specie è presente l'orgasmo femminile, esso aumenta la probabilità di fecondazione e nel maschio coincide con l'eiaculazione.

Siccome nella nostra specie la copulazione non è sempre finalizzata alla procreazione; si utilizzano dei metodi più o meno efficaci per evitare gravidanze indesiderate oltre che per difendersi da malattie sessualmente trasmissibili, come l'AIDS, il papilloma virus, l'herpes virus, ecc. Di seguito vengono riportati i principali metodi contraccettivi, valutando anche la loro efficacia.

**Metodo Ogino Knaus, metodo della temperatura basale e metodo di Billings:** basati tutti sull'astensione dai rapporti sessuali durante il periodo fertile ovvero l'ovulazione. La donna deve avere un ciclo mestruale molto regolare per poter individuare perfettamente il periodo dell'ovulazione. Il periodo dell'ovulazione viene calcolato su un ciclo perfettamente regolare, della durata di 28 giorni. In questo caso il periodo fertile risulta essere tra il decimo e il diciottesimo giorno del ciclo: in quest'arco di tempo bisognerebbe astenersi da rapporti sessuali.

Con il secondo metodo l'ovulazione può essere individuata misurando ogni giorno la temperatura basale che subisce un aumento di mezzo grado o un grado nel periodo ovulatorio

Con il terzo metodo l'ovulazione viene individuata osservando le secrezioni vaginali che diventano più viscosi e chiari nei giorni precedenti l'ovulazione.

Tali metodi non proteggono da malattie a trasmissione sessuale e presentano circa il 20% di probabilità di insuccesso durante il primo anno di utilizzo.

**Coito interrotto:** Si affida a un forte autocontrollo dell'uomo che deve ritrarre il pene dalla vagina prima dell'eiaculazione, presenta circa il 20% di insuccesso durante il primo anno di utilizzo, in quanto le secrezioni liquide che fuoriescono dal pene prima dell'eiaculazione possono contenere spermatozoi. Inoltre è un metodo che non protegge dalle malattie a trasmissione sessuale.

**Metodi di barriera:** sono quei metodi che impediscono l'incontro tra i due gameti (cellula uovo e spermatozoi), come ad esempio il preservativo, una sottile guaina di lattice che si applica sul pene subito

dopo l'erezione e viene tolto subito dopo l'eiaculazione, impedisce l'entrata degli spermatozoi nella vagina.

Il preservativo oltre ad essere un efficace metodo contraccettivo, ha infatti circa il 12% di probabilità di insuccesso durante il primo anno di utilizzo, protegge anche dalle malattie a trasmissione sessuale. La probabilità di insuccesso è legata alla possibilità di rottura durante il rapporto sessuale oppure ad una errata applicazione.

Il diaframma invece è una membrana di gomma che viene applicata sulla cervice dell'utero per impedire l'ingresso agli spermatozoi ed è accompagnata ad una crema spermicida. Attualmente in Italia è vietata la vendita di spermicidi in quanto considerati tossici, la probabilità di insuccesso è del 2%-12% durante il primo anno di utilizzo ed è legata ad una errata applicazione.

**Contraccettivi ormonali:** consistono nell'assunzione di ormoni che impediscono l'ovulazione e la fecondazione. La pillola estroprogestinica contiene ormoni (progesterone ed estrogeni) che inibiscono la produzione di LH impedendo la maturazione del follicolo. L'assunzione viene sospesa per sette giorni al mese, arco di tempo nel quale la bassa concentrazione di estrogeni e progesterone provoca il flusso mestruale, comporta rischi di malattie cardiovascolari, nausea e altri effetti collaterali, pertanto va usata sotto prescrizione medica.

Le minipillole, sono pillole anticoncezionali più leggere, nel senso che hanno meno effetti collaterali, contengono solo il progesterone e bloccano l'impianto dello zigote nell'utero.

La pillola del giorno dopo, va assunta entro 72 ore dal rapporto sessuale non protetto, contiene un'elevata quantità di estroprogestinici che bloccano l'ovulazione o la posticipano in modo da farla avvenire quando gli spermatozoi non sono più presenti nell'ovidotto. Se l'ovulazione è già avvenuta e quindi c'è stata la fecondazione questa pillola non ha nessun effetto.

Gli ormoni contraccettivi possono essere assunti anche attraverso dei cerotti che applicati sulla pelle rilasciano progesterone ed estrogeni.

In tutti i casi descritti la probabilità di insuccesso è molto bassa circa il 3% durante il primo anno di utilizzo. Questi metodi non proteggono dalle malattie a trasmissione sessuale.

**Dispositivo intrauterino o spirale:** Consiste nell'introduzione, da parte del medico, di un dispositivo nell'utero che impedisce l'impianto dello zigote nell'utero, comporta effetti collaterali come infezioni uterine, rischio di gravidanze extra uterine ed è sconsigliato alle persone che ancora non hanno avuto figli.

**Sterilizzazione:** metodi che producono sterilità irreversibile che vanno effettuati solo se si è convinti di non volere figli in futuro. La vasectomia è un intervento chirurgico che consiste nel tagliare e legare i vasi deferenti per impedire il trasporto degli spermatozoi nell'uretra, la probabilità di insuccesso è di 0,15%.

La legatura delle tube consiste nel tagliare e legare gli ovidotti per impedire alla cellula uovo di raggiungere l'utero. La probabilità di insuccesso è di 0,5 % .

In caso di gravidanze indesiderate è possibile comunque effettuare l'aborto. In Italia è consentito solo entro 90 giorni dal concepimento ed è regolato dalla legge 22 maggio 1978, n°194. Si tratta di un'interruzione volontaria di una gravidanza, le minorenni hanno il diritto di abortire solo con il consenso di chi esercita la patria potestà.

In caso di malformazioni al feto o rischio di salute per la madre è possibile effettuare l'aborto entro 180 giorni dal concepimento (aborto terapeutico).

L'interruzione della gravidanza può avvenire anche per cause naturali in questo caso si parla di aborto spontaneo.

### **15.8 Tecniche per aumentare la fertilità**

I metodo contraccettivi sono finalizzati ad impedire la fecondazione in modo da evitare gravidanze indesiderate, le tecniche per aumentare la fertilità sono invece finalizzate ad aumentare la probabilità di concepimento. Esistono farmaci per la fertilità contenenti ormoni che stimolano l'ovulazione.

La sterilità maschile può essere causata da un'incapacità di movimento degli spermatozoi. Pertanto, per incrementare la fertilità, si può ricorrere all'inseminazione artificiale intrauterina che consiste nel prelevare lo sperma dal partner della donna e inserirlo nell'utero.

La sterilità femminile è dovuta soprattutto a ovulazioni poco frequenti o assenti, pertanto per incrementare la fertilità si ricorre alla fecondazione

in vitro che consiste nel fecondare l'ovocita al di fuori del corpo della donna. Per prima cosa si utilizzano ormoni, quali gonadotropine, che stimolano la maturazione di più follicoli. Successivamente gli oociti maturi vengono prelevati dall'ovaio, mediante un ago e sistemati su una capsula Petri, vengono aggiunti gli spermatozoi che vanno a fecondare diversi oociti formando vari zigoti.

Gli zigoti, appena iniziano la segmentazione e precisamente allo stadio di otto cellule, vengono inseriti nella parete uterina nella speranza che almeno uno si impianti e continui lo sviluppo embrionale.

Il numero di zigoti da introdurre viene valutato caso per caso anche se si consiglia di introdurre al massimo tre zigoti, quelli che "avanzano" possono essere crioconservati in azoto liquido.

La probabilità di insuccesso ai primi tentavi è molto alta, inoltre si cerca di non ripetere la procedura in quanto somministrare gonadotropine è rischioso per la salute della donna e pertanto è necessario conservare gli zigoti che si sono formati.

In Italia esistono delle limitazioni sulla fecondazione in vitro regolamentate dalla legge del 19 Febbraio 2004 n°40, limitazioni circa il numero di embrioni da produrre, l'impossibilità di crioconservarli, l'obbligo di trasferirli tutti contemporaneamente in utero, l'impossibilità di utilizzare sperma che non sia del proprio partner.

## **Approfondimenti**

Uso appropriato del sangue da cordone ombelicale

<http://www.salute.gov.it/speciali/piSpecialiNuova.jsp?id=86>

Uso appropriato delle cellule staminali del sangue del cordone ombelicale

[http://www.salute.gov.it/imgs/C\\_17\\_primopianoNuovo\\_228\\_documenti\\_itemDocumenti\\_0\\_fileDocumento.pdf](http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_primopianoNuovo_228_documenti_itemDocumenti_0_fileDocumento.pdf)

Animazione 3D della gastrulazione

<http://learningobjects.wesleyan.edu/gastrulation/animations.php?ani=3>

**D**

Evoluzione dell'embrione umano, video

<http://www.youtube.com/watch?v=UgT5rUQ9EmQ>

## Indice delle figure e fonti

Membrana plasmatica

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Cell\\_membrane\\_detailed\\_diagram\\_4\\_it.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Cell_membrane_detailed_diagram_4_it.svg)

Effetto della pressione osmotica sulle cellule del sangue in funzione della tonicità della soluzione

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Osmotic\\_pressure\\_on\\_blood\\_cells\\_diagram-it.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Osmotic_pressure_on_blood_cells_diagram-it.svg)

Effetto dell'osmosi nelle cellule vegetali

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Turgor\\_pressure\\_on\\_plant\\_cells\\_diagram-it.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Turgor_pressure_on_plant_cells_diagram-it.svg)

Alcune delle possibilità di movimento di molecole tra citoplasma e spazio extracellulare.

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

Modello della diffusione facilitata, immagine personalizzata da

[http://xfiles.farmacia.uniba.it/farmol/didattica\\_web/99/argomenti/2t%20Fattori%20di%20moltiplicazione%20batterica\\_file/frame.htm](http://xfiles.farmacia.uniba.it/farmol/didattica_web/99/argomenti/2t%20Fattori%20di%20moltiplicazione%20batterica_file/frame.htm)

Pompa sodio-potassio

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Scheme\\_sodium-potassium\\_pump-en.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Scheme_sodium-potassium_pump-en.svg)

Trasporto mediante vescicole

[http://it.wikipedia.org/w/index.php?title=File:Endocytosis\\_types-it.svg&page=1](http://it.wikipedia.org/w/index.php?title=File:Endocytosis_types-it.svg&page=1)

Metabolismo

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

Diagramma di una reazione catalitica

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Diagramma\\_attivazione.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Diagramma_attivazione.svg)

Inibizione competitiva

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Inibizione\\_competitiva.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Inibizione_competitiva.svg)

Glicoli, ispirata a

<http://www.webalice.it/r.taddei/glicolisi.htm>

Glicolisi nel citoplasma

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

Schema di un mitocondrio

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

Ciclo di Krebs

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Ciclo\\_di\\_Krebs.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Ciclo_di_Krebs.svg)

Fosforilazione ossidativa

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Mitochondrial\\_electron\\_transport\\_chain%E2%80%944Etc4.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Mitochondrial_electron_transport_chain%E2%80%944Etc4.svg)

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Mitochondrial\\_electron\\_transport\\_chain\\_short\\_PL.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Mitochondrial_electron_transport_chain_short_PL.svg)

g

Le reazioni della fase luce dipendente della fotosintesi clorofilliana

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Reazioni\\_luce-dipendenti.png](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Reazioni_luce-dipendenti.png)

Divisione cellulare

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Three\\_cell\\_growth\\_types.png](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Three_cell_growth_types.png)

Differenti livelli di condensazione del DNA

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Chromatin\\_chromosome.png](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Chromatin_chromosome.png)

Rappresentazione del cariotipo umano

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

<http://www.scienzagiovane.unibo.it/maschio-femmina/4-ermafroditismo.html>

Schema del ciclo cellulare

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Cell\\_Cycle\\_2.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Cell_Cycle_2.svg)

Le fasi della duplicazione cellulare

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Eventi\\_principali\\_della\\_mitosi.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Eventi_principali_della_mitosi.svg)

Due nuclei cellulari in profase

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:3D-SIM-3\\_Prophase\\_3\\_color.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:3D-SIM-3_Prophase_3_color.jpg)

Cromosomi in metafase

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Metaphase\\_chromosomes.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Metaphase_chromosomes.jpg)

Scissione binaria batterica

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Binary\\_Fission.png](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Binary_Fission.png)

Fasi della meiosi

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

Rappresentazione del crossing-over

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Crossing-over\\_scheme\\_PL.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Crossing-over_scheme_PL.svg)

Fiori di pisello

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Snow\\_pea\\_flowers.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Snow_pea_flowers.jpg)

Quadrato di Punnett

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Punnett\\_square\\_mendel\\_flowers.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Punnett_square_mendel_flowers.svg)

Test cross o reincrocio

<http://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%8C%8C%EC%9D%BC:Test-cross1.jpg>

Dominanza incompleta

[http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mendelian\\_inheritance\\_intermed.svg&filetimestamp=20100522135032](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mendelian_inheritance_intermed.svg&filetimestamp=20100522135032)

Trasmissione autosomica dominante e recessiva

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

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

Griffith experiment\*

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Griffith\\_experiment.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Griffith_experiment.svg)

Hershey–Chase experiment

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/53/HersheyChaseEx.png>

DNA structure and bases

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:DNA-structure-and-bases.png>

Replicazione del DNA

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:DNA\\_replication\\_split.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:DNA_replication_split.svg)

DNA replication

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/DNA\\_replication\\_en.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/DNA_replication_en.svg)

Trascrizione

[http://simple.wikipedia.org/wiki/Transcription\\_\(genetics\)](http://simple.wikipedia.org/wiki/Transcription_(genetics))

Ciclo vitale di un mRNA in una cellula eucariote

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fb/MRNA-interaction.png>

Rappresentazione schematica della struttura del tRNA

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/19/Schema\\_ARNt\\_448\\_658.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/19/Schema_ARNt_448_658.png)

Globuli rossi resi falciformi

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/Sicklecells.jpg>

Tipi di mutazione

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/79/Types-of-mutation.png>

Tipi di epitelio

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Illu\\_epithelium\\_it.png](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Illu_epithelium_it.png)

Schema dell'epidermide in sezione

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4e/Skin-IT.jpg>

Lo scheletro umano

[http://it.wikipedia.org/wiki/Scheletro\\_\(anatomia\\_umana\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Scheletro_(anatomia_umana))

Oso lungo umano

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/Illu\\_long\\_bone.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/Illu_long_bone.jpg)

Lista dei muscoli del corpo umano

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8c/Skeletal\\_muscles\\_homo\\_sapien\\_s.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8c/Skeletal_muscles_homo_sapien_s.JPG)

Microanatomia interna di un muscolo scheletrico

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Illu\\_muscle\\_structure.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Illu_muscle_structure.jpg)

Tipi di muscoli

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

Modello del funzionamento della contrazione muscolare

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6e/Sarcomere.svg>

Struttura atomica di glucosio e fruttosio  $C_6H_{12}O_6$

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:D-glucopiranosio\\_struttura.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:D-glucopiranosio_struttura.svg)

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

Tavola degli amminoacidi

<http://dalloliogm.wordpress.com/2007/11/05/tavola-periodica-degli-aminoacidi/>

La nuova piramide alimentare

<http://www.fondazionefegato.it/Laprevenzione/Alimentazione/Piramidealimentare.asp>

[x](#)

Spugna marina (Aplysina aerophoba)

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Aplysina\\_aerophoba.jpg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Aplysina_aerophoba.jpg)

Schema dell'apparato digerente umano

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Digestive\\_system\\_diagram\\_it.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Digestive_system_diagram_it.svg)

Endoscopia di uno stomaco normale

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Stomach\\_endoscopy\\_1.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Stomach_endoscopy_1.jpg)

Villi intestinali

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Small\\_intestine\\_low\\_mag.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Small_intestine_low_mag.jpg)

Intestino crasso

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

Sangue umano osservato al microscopio elettronico

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Blood\\_smear.jpg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Blood_smear.jpg)

Circolazione del sangue nel cuore umano

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Diagram\\_of\\_the\\_human\\_heart\\_\(cropped\)-it.png](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Diagram_of_the_human_heart_(cropped)-it.png)

Schema dell'apparato circolatorio umano

[http://it.wikipedia.org/wiki/Circolazione\\_sanguigna](http://it.wikipedia.org/wiki/Circolazione_sanguigna)

Fisiologia dell'emoglobina

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

Schema dell'apparato respiratorio

[http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_respiratorio](http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_respiratorio)

Anticorpo

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

Sintomi dell'AIDS

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Symptoms\\_of\\_acute\\_HIV\\_infection-IT.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Symptoms_of_acute_HIV_infection-IT.svg)

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Symptoms\\_of\\_AIDS-IT.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Symptoms_of_AIDS-IT.svg)

Gruppi sanguigni

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Gruppi\\_sanguigni\\_ABO\\_it.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Gruppi_sanguigni_ABO_it.svg)

Ipotalamo

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b2/Illu\\_diencephalon\\_.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b2/Illu_diencephalon_.jpg)

Posizione dell'ipofisi

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Hypophyse.png>

Sistema endocrino tiroideo

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Thyroid\\_system-IT.png](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Thyroid_system-IT.png)

Sistema escretore

[http://it.wikipedia.org/wiki/Apparato\\_urinario](http://it.wikipedia.org/wiki/Apparato_urinario)

Parti del rene

[http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Kidney\\_PioM.png?uselang=it](http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Kidney_PioM.png?uselang=it)

Sistema nervoso

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Nervous\\_system\\_diagram-it.png](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Nervous_system_diagram-it.png)

Nodi di Ranvier

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Nerve\\_copy.jpg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Nerve_copy.jpg)

Diagramma completo di una cellula neuronale

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Complete\\_neuron\\_cell\\_diagram\\_it.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Complete_neuron_cell_diagram_it.svg)

Cervelletto (la parte evidenziata in viola)

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Cerebellum\\_NIH.png](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Cerebellum_NIH.png)

Suddivisione in lobi della corteccia telencefalica

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Brain\\_diagram\\_it.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Brain_diagram_it.svg)

Aree di Brodmann

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Brodmann\\_areas.png](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Brodmann_areas.png)

Sezione di midollo spinale

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Gray664.png>

Sistema nervoso periferico

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Nervous\\_system\\_diagram-it.png](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Nervous_system_diagram-it.png)

Sistema nervoso autonomo

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Gray839-it.png>

Anatomia dell'orecchio

<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Ear-anatomy.png>

Parti del corpo

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

Apparato riproduttore maschile

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Male\\_reproductive\\_system\\_lateral\\_nolabel.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Male_reproductive_system_lateral_nolabel.png)

Apparato riproduttore femminile

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/it/d/d6/Genitali\\_femminili.gif](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/it/d/d6/Genitali_femminili.gif)

Spermatozoo

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Complete\\_diagram\\_of\\_a\\_human\\_spermatozoa\\_en.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Complete_diagram_of_a_human_spermatozoa_en.svg)

Vista frontale dell'apparato riproduttore femminile

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Apparato\\_genitale\\_femminile.png](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Apparato_genitale_femminile.png)

Diagramma temporale del ciclo mestruale

[http://it.wikipedia.org/wiki/File:MenstrualCycle\\_gen.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:MenstrualCycle_gen.svg)

Blastula e gastrula

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Blastula.png>

Le altre immagini sono di proprietà di Matematicamente.it, sono state realizzate da Ginger Lab - [www.gingerlab.it](http://www.gingerlab.it) e sono rilasciate con licenza Creative Commons BY-NC-SA

