

1

Le caratteristiche dei pianeti

	Mercurio	Venere	Terra	Marte	Giove	Saturno	Urano	Nettuno	Plutone
Distanza media dal Sole (U.A.)	0,387	0,723	1	1,524	5,203	9,539	19,18	30,06	39,44
Periodo di rivoluzione	88 gg	224,7 gg	365,26 gg	687 gg	11,86 anni	29,46 anni	84,01 anni	164,8 anni	247,7 anni
Periodo di rotazione	59 gg	-243 gg (rotazione retrograda)	23 ore 56 minuti 4 secondi	24 ore 37 minuti 23 secondi	9 ore 50 minuti 30 second	10 ore 14 minuti	-17 ore (rotazione retrograda)	14 ore	-6 gg (rotazione retrograda)
Inclinazione dell'orbita rispetto all'eclittica	7°	3° 4'	0°	1° 9'	1° 3'	2° 5'	0° 8'	1° 8'	17° 2'
Eccentricità dell'orbita	0,206	0,007	0,017	0,093	0,048	0,056	0,047	0,009	0,25
Raggio equatoriale (km)	2440	6052	6378	3393	71500	60000	25600	24750	1150
Massa (Terra = 1)	0,055	0,815	1	0,108	317,9	95,2	14,6	17,2	0,002
Densità (acqua = 1)	5,4	5,2	5,5	3,9	1,3	0,7	1,2	1,7	2 (acqua = 1)
Satelliti noti	0	0	1	2	ca 70 + anelli	ca 60 + anelli	27 + anelli	13 + anelli	1



2

Approfondiamo la terza legge di Keplero

La terza legge di Keplero afferma che il rapporto tra il cubo della distanza media di un pianeta dal Sole e il quadrato del suo tempo di rivoluzione è costante per tutti i pianeti. Indicando la distanza con d e il tempo necessario per compiere un'orbita completa con T si ha la formula:

$$T^2 = k d^3$$

dove k è una costante. In particolare se il tempo viene espresso in anni e la distanza in Unità Astronomiche, il valore di k è 1, per cui la formula diventa:

$$T^2 = d^3$$

Tale legge ha due importanti conseguenze (Figura 1):

1. il tempo necessario a percorrere un'orbita completa è maggiore per i pianeti più lontani che per quelli più vicini;
2. la velocità con la quale un pianeta descrive la sua orbita intorno al Sole è maggiore per i pianeti più vicini e minore per quelli più lontani.

Cerchiamo ora di capirle un po' meglio: per la terza legge di Keplero i pianeti più lontani dal Sole impiegano un tempo maggiore per percorrere la loro orbita. A una prima analisi potrebbe sembrare molto semplice capirne il perché: un pianeta più lontano deve infatti compiere un giro più lungo, per cui impiega un tempo maggiore. Ma è solamente così?

Analizziamo meglio la formula $T^2 = d^3$, che vale quando il tempo è espresso in anni e la distanza in Unità Astronomiche.

Da questa formula si può facilmente ricavare la formula inversa per calcolare il tempo conoscendo la distanza:

$$T = \sqrt{d^3}$$

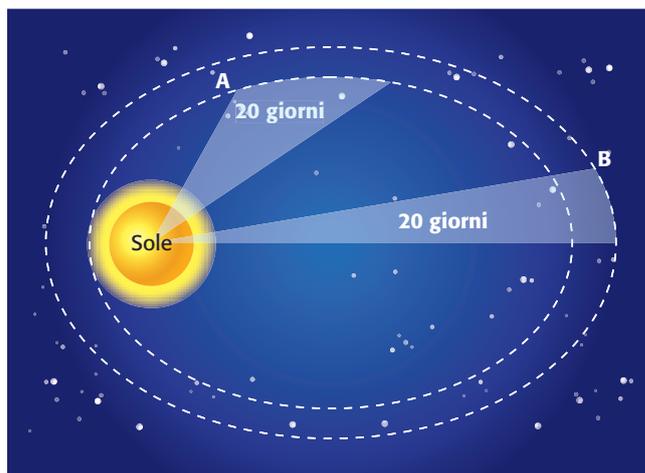


Figura 1 I pianeti più lontani impiegano un tempo maggiore per descrivere la loro orbita intorno al Sole sia perché devono compiere un tragitto più lungo, sia perché sono meno veloci.

Consideriamo ora due ipotetici pianeti A e B, il primo alla distanza di 1 U.A. e il secondo alla distanza di 2 U.A. Assumendo le due orbite come circolari, è facile calcolare le lunghezze delle loro orbite (basta moltiplicare le loro distanze dal Sole per 2π): il pianeta B descrive un'orbita di lunghezza doppia rispetto a quella del pianeta A. Calcoliamo ora i tempi impiegati dai due pianeti a percorrerle. Per il pianeta A:

$$T = \sqrt{1^3} = \sqrt{1} = 1 \text{ anno}$$

Per il pianeta B:

$$T = \sqrt{2^3} = \sqrt{8} = 2,828 \text{ anni}$$

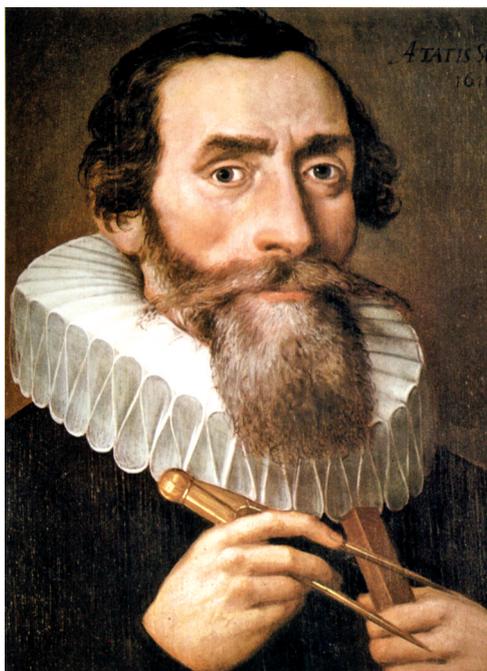
Come vedi, il pianeta B per percorrere un'orbita di lunghezza doppia rispetto a quella di A non impiega un tempo doppio (2 anni), ma un tempo quasi triplo. Ciò vuol dire che non solo deve compiere un percorso più lungo, ma che è anche meno veloce.



3

Come Newton spiega le tre leggi di Keplero

Pur essendo state enunciate prima, le tre leggi di Keplero possono essere considerate come conseguenze della legge di Newton. Infatti, quando un pianeta si trova in perielio, la sua distanza dal Sole è minore, per cui la forza con la quale il Sole lo attira è maggiore. Tale attrazione maggiore fa sì che il pianeta si muova più rapidamente (seconda legge di Keplero). Se ciò non avvenisse il pianeta si avvicinerebbe al Sole fino, al limite, a cadere su di esso. Analogamente, all'afelio la distanza dal Sole è maggiore, mentre la forza di attrazione del Sole è minore, per cui il pianeta si muove più lentamente (seconda legge di Keplero). In questo caso se il pianeta non rallentasse si allontanerebbe dal Sole fino, al limite, a sfuggire al campo di attrazione solare. Insomma, istante per istante, mentre il pianeta descrive la sua orbita intorno al Sole, si realizza un equilibrio perfetto tra la forza di attrazione solare e la velocità del pianeta e quindi l'energia cinetica che consente al pianeta di bilanciare l'attrazione del Sole rimanendo sulla propria orbita. Per lo stesso motivo i pianeti più lontani dal Sole, dovendo contrastare un'attrazione solare minore, hanno una velocità orbitale più bassa, mentre quelli più vicini, dovendo contrastare un'attrazione solare maggiore, possiedono una velocità orbitale maggiore (terza legge di Keplero). La forza di gravità governa tutti i moti dell'Universo: non solo quelli del Sistema Solare, ma anche i rapporti tra le stelle e tra le galassie. Essa è in un certo senso la "colla" che tiene insieme tutti gli oggetti del cosmo. La legge della gravitazione universale di Newton è rimasta indiscussa fino al XX secolo, quando è stata precisata ulteriormente dalla teoria della relatività generale di Einstein.



Keplero (Johannes von Kepler).



Isaac Newton.



4

Eratostene e la misurazione della Terra

Eratostene di Cirene (276-194 a.C.), matematico, astronomo e geografo greco, elaborò una tecnica valida per misurare le dimensioni della Terra. Egli osservò che a mezzogiorno del 21 giugno (solstizio d'estate), a Siene (l'attuale Assuan), una città dell'Egitto situata in prossimità del Tropico del Cancro, i raggi solari cadevano verticalmente illuminando il fondo dei pozzi. Ad Alessandria, invece, che si trovava a nord di Siene, nello stesso giorno i raggi del Sole a mezzogiorno formavano, rispetto alla verticale del luogo, un angolo di $7,2^\circ$, cioè circa $1/50$ di angolo giro (360°) (Figura 1).

Sappiamo dalla geometria che l'angolo tra le verticali delle due città, indicato nella Figura 2 con la lettera α , è uguale all'inclinazione dei raggi solari rispetto alla verticale di Alessandria, indicata nella Figura 1 anch'essa con α . Di conseguenza, anche la distanza tra le due città (distanza che è in realtà un arco di circonferenza massima) corrisponde a $1/50$ della circonferenza terrestre.

Eratostene, secondo una stima approssimata, valutò la distanza tra Siene e Alessandria in 5000 stadi, da cui, moltiplicando per 50, risultava una lunghezza della superficie terrestre di 250 000 stadi. Poiché secondo alcuni storici lo stadio equivaleva a 157,5 m, la circonferenza terrestre misurata da Eratostene risultava essere di 39 375 km, un valore molto vicino a quello reale, che è di circa 40 000 km.

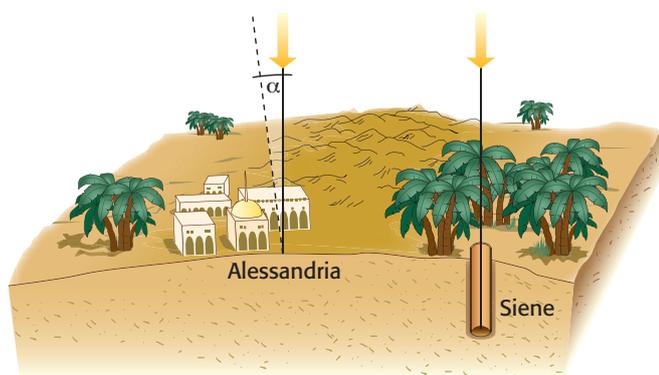


Figura 1 Il 21 giugno (solstizio d'estate), a mezzogiorno, i raggi solari illuminano il fondo dei pozzi di Siene e, contemporaneamente, formano un angolo α di $7,2^\circ$ con la verticale di Alessandria.

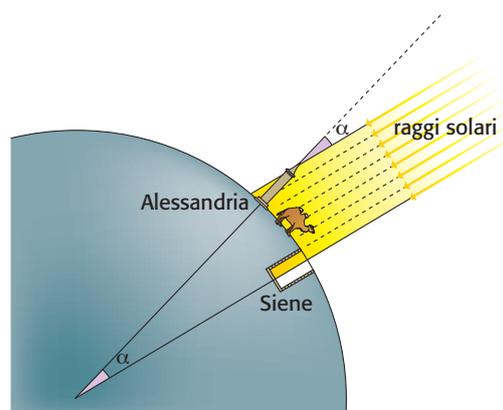


Figura 2 L'angolo tra le verticali di Alessandria e Siene è uguale all'inclinazione dei raggi solari rispetto alla verticale di Alessandria.



5

Come determinare latitudine e longitudine

La determinazione della latitudine di una località può essere effettuata determinando l'altezza della *Stella Polare* sul piano dell'orizzonte (Figura 1). La determinazione della latitudine può essere effettuata anche misurando l'altezza del *Sole* a mezzogiorno negli equinozi, i giorni in cui i raggi solari cadono perpendicolari all'Equatore (Figura 2).

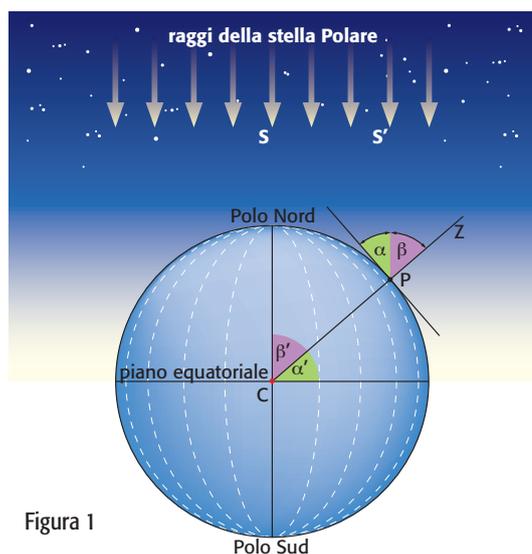


Figura 1

Determinazione della latitudine con la Stella Polare.

L'orizzonte del punto P è perpendicolare alla verticale CZ. Rispetto a tale piano l'altezza della Stella Polare è rappresentata dall'angolo α , mentre la latitudine di P è rappresentata dall'angolo α' .

È facile dimostrare che gli angoli α e α' sono uguali: α è infatti complementare di β , mentre α' è complementare di β' ; β e β' sono poi uguali perché angoli corrispondenti rispetto alle due rette parallele SC e S'P tagliate dalla trasversale CZ (per la sua enorme distanza i raggi provenienti dalla Stella Polare possono infatti essere considerati tutti paralleli). Per la proprietà transitiva, α e α' sono uguali perché complementari di angoli a loro volta uguali.

La latitudine del luogo coincide pertanto con l'altezza della Stella Polare sul piano dell'orizzonte.

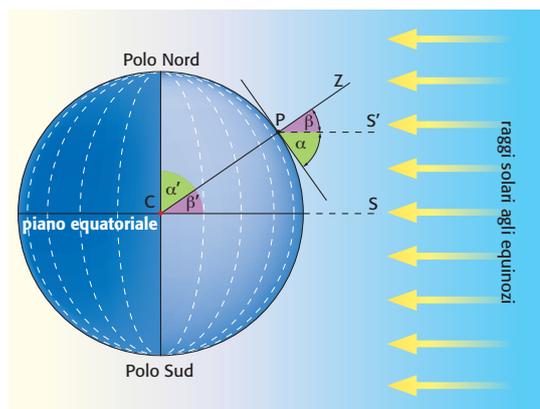


Figura 2

Determinazione della latitudine con il Sole durante gli equinozi.

L'altezza del Sole rispetto al piano dell'orizzonte di P corrisponde all'angolo α , complementare di β ; la latitudine di P corrisponde all'angolo β' . Gli angoli β e β' sono uguali perché angoli corrispondenti rispetto alle due rette parallele S'P e SC tagliate dalla trasversale CZ. La latitudine di P corrisponde pertanto all'angolo complementare all'altezza del Sole sul piano dell'orizzonte. Così come descritto, tale metodo può essere utilizzato solo durante gli equinozi; negli altri giorni, poiché i raggi solari cadono perpendicolari a un punto compreso tra l'Equatore e i Tropici, occorre tener conto dell'angolo che essi formano con il piano equatoriale. Tale angolo, detto **declinazione solare**, va aggiunto (in primavera e in estate) o sottratto (in autunno e in inverno) a quello determinato con il metodo precedente.

La longitudine può invece essere misurata facendo riferimento al moto di rotazione terrestre. La Terra compie un giro di 360° in 24 h, e quindi in un'ora descrive un angolo di 15° e in 4 minuti un angolo di 1° . Se su un meridiano sono le 11 e su un altro, nello stesso istante, sono le 9 e 20, tra essi vi è una differenza oraria di 100 minuti. Dividendo per 4 si ottiene una differenza di longitudine di 25° . Per misurare la longitudine è quindi sufficiente osservare il momento della culminazione del Sole (mezzogiorno locale) e avere con sé un orologio regolato sull'ora del meridiano fondamentale. Dalla differenza oraria si può facilmente risalire alla longitudine. Se l'ora di Greenwich è minore di quella locale (12), la longitudine è Est, se è maggiore è Ovest.



6

La costruzione di un profilo altimetrico

Per costruire il profilo di un rilievo lungo la linea AB, al di sotto di essa si traccia su un foglio una serie di linee parallele ognuna delle quali rappresenterà una quota.

Si proiettano quindi tutti i punti di intersezione delle singole curve di livello della carta con la linea AB, abbassando da questi punti altrettante perpendicolari fino alla quota corrispondente. Si ottiene in tal modo una serie di punti che, congiunti, danno il profilo del rilievo.

Perché il profilo sia in scala è necessario che la distanza tra le linee parallele sia pari all'equidistanza tra le curve di livello riportata nella scala della carta (Figura 1). Se, per esempio, l'equidistanza è di 50 m e la scala è 1:25 000 le linee devono essere tracciate alla distanza di 2 mm l'una dall'altra.

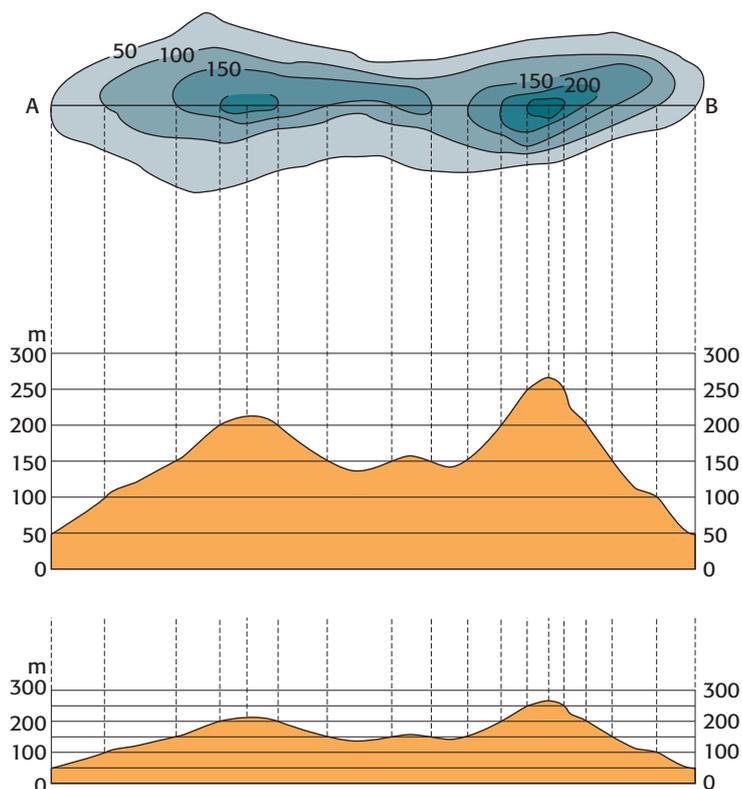


Figura 1 Costruzione di un profilo altimetrico.



7

Le proiezioni cartografiche

Per realizzare una carta si ricorre alle *proiezioni cartografiche* che consentono di rappresentare su un piano la superficie curva della Terra.

Le proiezioni si dividono in *vere*, *modificate* e *convenzionali*. Le proiezioni vere si basano solo su principi geometrici; quelle modificate si ottengono dalle precedenti applicando correzioni che minimizzano le deformazioni; quelle convenzionali, infine, si basano su relazioni matematiche tra i punti della superficie terrestre e quelli della carta.

Le **proiezioni vere** comprendono le proiezioni prospettiche, coniche e cilindriche.

• Le **proiezioni prospettiche** sono ottenute utilizzando un punto di proiezione e un piano di proiezione tangente al globo terrestre in un suo punto. In base alla posizione del punto di tangenza si distinguono in **polari**, **equatoriali** e **oblique**.

In base alla posizione del punto di proiezione, si distinguono in

– **centrografiche**: il punto di proiezione coincide con il centro della Terra; sono equidistanti solo lungo le circonferenze concentriche rispetto al punto di tangenza, ma con scale diverse a seconda dei rispettivi raggi, mentre non sono né equivalenti né isogone e introducono deformazioni sempre più vistose mano a mano che ci si allontana dal punto di tangenza (Figura 1a). Godono però dell'importante proprietà di rappresentare con un segmento di retta il cammino più breve tra due località (linea ortodromica), cammino che in realtà, per la sfericità della Terra, corrisponde a un arco di circonferenza (Figura 1b). Per tale motivo rivestono particolare importanza per la navigazione aerea;

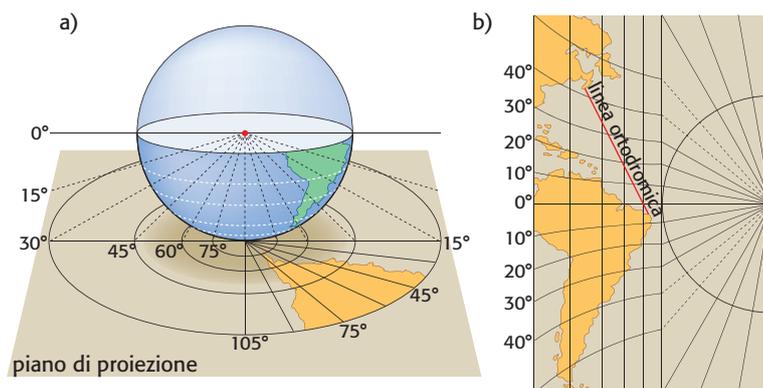


Figura 1 Proiezione centrografica: a) polare; b) equatoriale.

– **stereografiche**: il punto di proiezione è sulla superficie della Terra agli antipodi rispetto al punto di tangenza del piano di proiezione (Figura 2a, b); sono equidistanti solo lungo le circonferenze concentriche rispetto al punto di tangenza con scale diverse a seconda dei rispettivi raggi e non sono equivalenti; sono però isogone e mantengono gli angoli con cui si intersecano meridiani e paralleli. In base a un recente accordo internazionale, le proiezioni stereografiche sono state adottate per la rappresentazione nelle calotte polari;

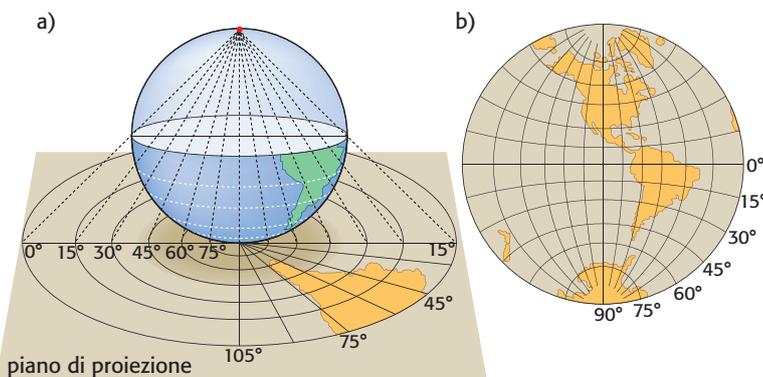


Figura 2 Proiezione stereografica: a) polare; b) equatoriale.

– **ortografiche**: il punto di proiezione è all'infinito.



- Le **proiezioni coniche** sono realizzate immaginando di circondare il globo terrestre con un cono tangente a esso (Figura 3). Da un punto all'interno del globo vengono proiettati sul cono il reticolo geografico e i contorni delle terre. La superficie del cono è poi sviluppata su un piano.

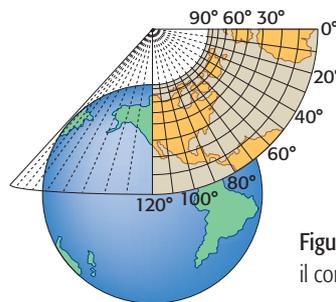


Figura 3 Proiezione conica (in questo caso il cono è tangente a un parallelo).

- Le **proiezioni cilindriche** vengono ottenute immaginando di circondare il globo terrestre con un cilindro tangente lungo l'Equatore, come nella **proiezione cilindrica di Lambert** (Figura 4); dai punti dell'asse terrestre vengono proiettati sul cilindro il reticolo geografico e i contorni delle terre. La superficie del cilindro è poi sviluppata su un piano. Questa carta, oltre all'equivalenza, non ha altre proprietà e viene usata soprattutto per costruire carte tematiche dell'intera superficie terrestre (planisferi).

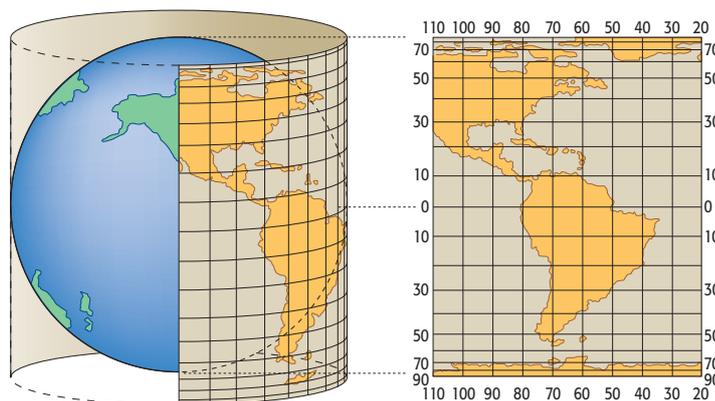


Figura 4 Proiezione cilindrica vera di Lambert.

Una **proiezione cilindrica modificata** è la **proiezione di Mercatore** (Figura 5), in cui i meridiani rimangono equidistanti, mentre i paralleli, spostandosi dall'Equatore ai Poli, si allontanano reciprocamente in proporzione a quanto la distanza dei meridiani è maggiorata sulla carta rispetto alla realtà. Pertanto le superfici si deformano sempre più con l'avvicinarsi ai Poli (per esempio, la Groenlandia appare più vasta dell'America Meridionale). È un'altra importante proiezione isogona: congiungendo con un righello due suoi punti si ottiene la **linea lossodromica**, che taglia i meridiani sempre con lo stesso angolo ed è quindi molto utile ai naviganti per mantenere la rotta: è sufficiente infatti misurare questo angolo e mantenerlo durante la navigazione costantemente uguale a esso l'angolo tra la direzione del moto e la direzione del Nord, indicata dalla bussola. Anche se si percorre un tragitto più lungo rispetto alla linea ortodromica, si è però sicuri di giungere alla meta. Su tale carta la linea ortodromica appare invece come una curva.

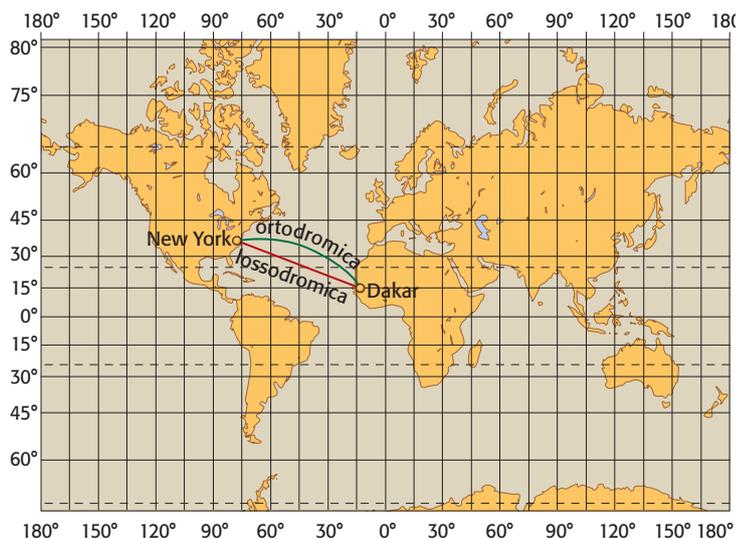


Figura 5 Proiezione cilindrica modificata di Mercatore.

Tra le **proiezioni convenzionali** ricordiamo la **Carta di Gauss**, modificata da **Boaga**, che è isogona e conserva l'equidistanza solo sul meridiano centrale, mentre presenta deformazioni notevolissime per le aree più distanti da questo. È chiamata anche **Carta U.T.M.** (Universale Trasversa di Mercatore) ed è stata adottata a livello internazionale per le cartografie ufficiali nazionali, compresa la Carta Fondamentale d'Italia.



Prove del moto di rivoluzione terrestre

Vengono considerate “prove” del moto di rivoluzione terrestre:

- **l’aberrazione della luce stellare.** Scoperta da J. Bradley nel 1727, consiste in uno spostamento apparente delle stelle sulla volta celeste, dovuta al moto di rivoluzione della Terra e al fatto che la velocità della luce è finita.

Se si osservano le stelle con un telescopio sufficientemente preciso, nel corso di un anno esse sembrano tutte descrivere sulla volta celeste una piccola ellisse il cui asse maggiore ha un’ampiezza molto piccola ma costante di 41 secondi di arco. Questo fenomeno si può spiegare considerando la combinazione della velocità della luce proveniente dalla stella con la velocità di rivoluzione della Terra intorno al Sole, velocità che varia periodicamente di intensità (mediamente 29,8 km/s) e direzione. Come conseguenza, la direzione da cui sembra provenire la luce di un astro non coincide con la direzione vera, e la stella è vista in una posizione che generalmente non è quella reale (Figura 1). Una buona analogia è quella di un uomo che osserva le traiettorie delle gocce di pioggia che cadono (verticalmente) da un finestrino di un treno in moto: avrà l’impressione che esse cadano obliquamente. Lo stesso succede per i raggi di luce: la luce delle stelle sembra pervenirci con una certa angolazione;

- **la parallasse stellare** (Bessel, 1838). A causa del moto di rivoluzione del nostro pianeta intorno al Sole, le stelle più vicine sembrano cambiare posizione sulla volta celeste, descrivendo un moto oscillatorio apparente rispetto a quelle lontane (Figura 2). Il fenomeno è dovuto al fatto che la Terra, durante l’anno, cambia la sua posizione nello spazio muovendosi attorno al Sole. Questo effetto è utilizzato per valutare la distanza di una stella dalla Terra.

È importante non confondere il fenomeno dell’aberrazione con quello della parallasse: anche se entrambi determinano uno spostamento apparente della posizione di una stella sulla volta celeste, il primo dipende dalla velocità orbitale della Terra, il secondo dal cambiamento di posizione della Terra durante l’anno.

Figura 2 La parallasse stellare. Le stelle più vicine sembrano spostarsi nel corso dell’anno rispetto alle stelle situate nello sfondo. Ciò è dovuto al cambiamento di posizione della Terra nel suo moto di rivoluzione intorno al Sole.

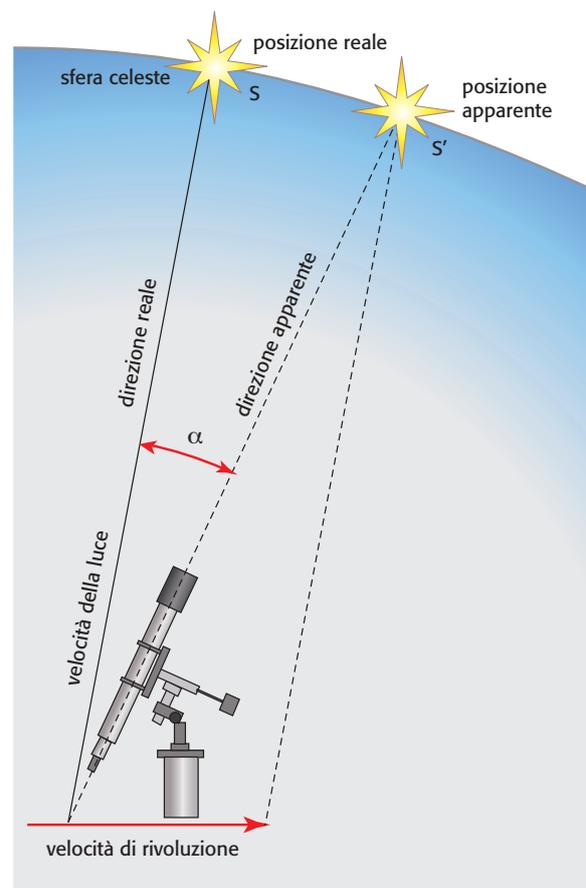
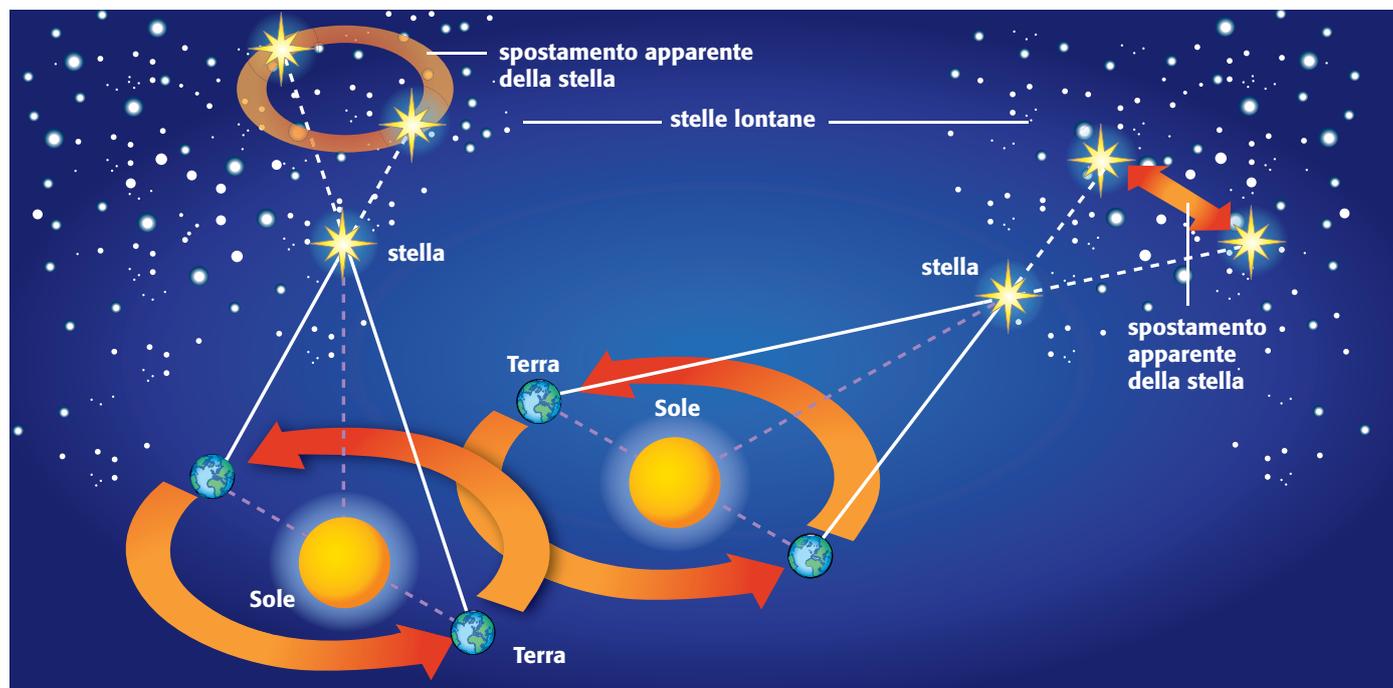


Figura 1 Il fenomeno dell’aberrazione stellare. L’angolo di aberrazione α è l’angolo che si forma tra la direzione vera della stella e la direzione apparente. Quest’ultima è inclinata nel senso della velocità di rivoluzione della Terra.



I calendari sono sistemi pratici di ripartizione del tempo, destinati a usi civili e religiosi. Essi sono basati sul moto apparente del Sole (*calendari solari*), della Luna (*lunari*) o di entrambi (*luni-solari*).

Il **calendario giuliano** fu elaborato dall'astronomo greco **Sosigene di Alessandria** e promulgato da **Giulio Cesare** (da cui prende il nome) nel 46 a.C. Per compensare il fatto che l'anno tropico non è costituito da un numero intero di giorni, nel calendario giuliano furono introdotti gli **anni bisestili**, contenenti un giorno in più. Il giorno in più veniva aggiunto dopo il 24 febbraio (*sexto die ante Kalendas Martias*) e per questo fu chiamato "bis sexto", da cui deriva il nome bisestile. Sosigene stabilì che un anno ogni quattro fosse bisestile: in questo modo la durata media dell'anno giuliano risulta di 365,25 giorni.

La differenza con l'anno tropico è di soli 11 minuti e 14 secondi circa in eccesso, una precisione sicuramente molto accurata per l'epoca. Questa piccola differenza, pari a circa un centesimo di giorno, con il passare dei secoli andò però accumulandosi, facendo sì che la data d'inizio delle stagioni si spostasse progressivamente all'indietro (precisamente si perdeva un giorno ogni 128 anni circa), un fenomeno ben noto agli astronomi medievali al quale persino Dante fa accenno nella *Divina Commedia* (*Paradiso*, XXVII, 142-143). Nel 1582, per esempio, l'inizio astronomico della primavera con il ritorno del Sole nel punto γ avvenne l'11 marzo, con un anticipo rispetto al calendario civile di 10 giorni.

Per eliminare tale discrepanza **papa Gregorio XIII**, volendo conservare la celebrazione della Pasqua nella stagione primaverile (come aveva stabilito il concilio di Nicea del 325, la Pasqua doveva coincidere con la prima domenica successiva al primo plenilunio di primavera), si fece promotore di una riforma che aveva lo scopo di mantenere il momento dell'equinozio di primavera al 21 marzo.

Il **calendario gregoriano** (Figura 1) è il calendario ufficiale della maggior parte dei Paesi del mondo. Fu promulgato nel 1582 ed è una modificazione del calendario giuliano, in vigore in precedenza. Anche nel calendario gregoriano è bisestile un anno ogni quattro, con alcune eccezioni, introdotte per diminuire la durata media dell'anno: tutti gli anni la cui numerazione è



Figura 1 Un antico calendario gregoriano.



Figura 2 Un calendario ebraico.

multipla di 4 sono bisestili, ma per gli anni la cui numerazione è multipla di 100 sono bisestili soltanto se essa è anche multipla di 400: vale a dire, sono stati (o saranno) bisestili gli anni 1600, 2000, 2400, mentre non lo sono stati (o non lo saranno) gli anni 1700, 1800, 1900, 2100, 2200, 2300.

Per recuperare i dieci giorni perduti, la riforma gregoriana stabilì la loro soppressione, facendo seguire al 4 ottobre 1582 il 15 ottobre dello stesso anno, anziché il 5. Il disaccordo tra l'anno tropico e l'anno gregoriano è davvero molto lieve: appena 26 secondi. Esempi di calendario lunare e luni-solare sono rispettivamente il **calendario islamico** e quello **ebraico**.

Il **calendario islamico** inizia dal 622 (anno dell'Egira) e si basa sul periodo di rivoluzione della Luna intorno alla Terra (mese sinodico o lunazione). Esso è costituito da 12 mesi alternativamente di 29 o 30 giorni, per un totale di 354 giorni.

Il **calendario ebraico** (Figura 2) è basato sul **ciclo di Metone**, dal nome di un astronomo greco del V secolo a.C. Si tratta di un ciclo di 19 anni basato sull'osservazione che 19 anni solari corrispondono quasi esattamente a 235 mesi sinodici. Tale ciclo permette di mantenere un calendario sincronizzato sia al corso del Sole, sia a quello della Luna (calendario luni-solare).



10

Laboratorio: Simuliamo le fasi della Luna

Per simulare le diverse fasi lunari occorrono una palla e una lampada.

Metti una lampada in fondo a una stanza buia con la luce rivolta parallelamente al pavimento. Siediti dall'altra parte della stanza tenendo in mano la palla, in modo che si trovi fra te e la lampada. Ora muovi la palla attorno alla tua testa, in cerchio, tenendo il braccio teso. Fallo lentamente, da destra a sinistra. Mentre la palla "orbita" intorno alla tua testa, la vedrai attraversare le stesse fasi della Luna.



Il sistema Terra-Luna

La massa della Luna è circa $1/81$ di quella della Terra. Anche se inferiore, essa è comunque abbastanza grande rispetto a quella della Terra. Per questo il moto di rivoluzione della Luna non avviene intorno al centro della Terra, ma intorno a un punto che costituisce il baricentro comune del sistema Terra-Luna. Esso si trova molto più vicino al centro della Terra che a quello della Luna, tanto da cadere all'interno della Terra a una profondità di circa 1700 km; è inoltre rivolto sempre dalla parte della Luna (Figura 1a).

Attorno a questo punto non solo si muove la Luna, ma anche la Terra, descrivendo piccole traiettorie circolari (Figura 1b). Insomma, se è corretto affermare che la Luna gira intorno alla Terra, è in qualche modo esatto anche dire che la Terra gira intorno alla Luna, perché in realtà entrambe girano intorno allo stesso punto. Il movimento della Terra intorno al baricentro comune del sistema Terra-Luna è particolarmente importante ai fini della comprensione delle cause delle maree.

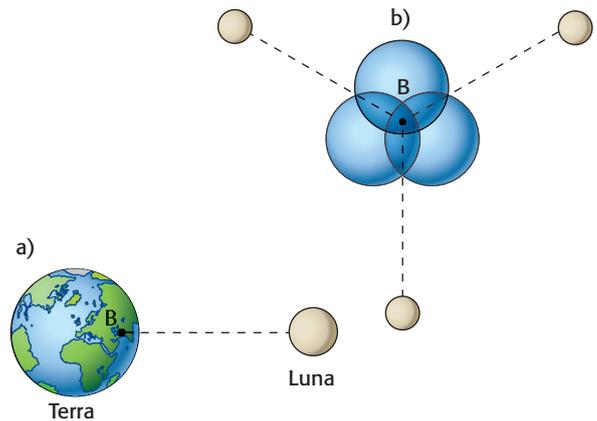


Figura 1 Luna e Terra si muovono intorno al loro baricentro comune.
 a) Posizione del baricentro (B) del sistema Terra-Luna.
 b) Spostamento dei due astri intorno al loro baricentro.



L'esplorazione della Luna

Fino al 1959 si conosceva solo l'aspetto della faccia visibile della Luna. Nell'ottobre di tale anno la sonda sovietica Lunik III fotografò l'emisfero nascosto mostrando che esso è simile a quello visibile, eccetto per il fatto che non vi sono mari e che i crateri sono abbondanti sull'intera superficie lunare.

Con l'allunaggio dell'Apollo 11, avvenuto nel luglio 1969 (Figura 1), e le successive missioni (Apollo 12, 13, 14, 15, 16 e 17), vennero scattate migliaia di fotografie della superficie e furono prelevate complessivamente alcune centinaia di chilogrammi di campioni di suolo.

Gli astronauti installarono sulla Luna anche sofisticati strumenti per effettuare una serie di misurazioni, tra cui dei sismografi, per registrare le vibrazioni sismiche della superficie lunare prodotte dai lunamoti e dall'impatto dei meteoriti.



Figura 1 L'allunaggio dell'Apollo 11 avvenne nel luglio 1969. La foto mostra l'impronta lasciata dall'astronauta Buzz Aldrin sul suolo lunare durante tale missione.



Due rocce, due magmi

Quasi tutte le rocce intrusive (circa il 95%) della crosta terrestre sono graniti o granodioriti, rocce acide; quasi tutte le rocce effusive (circa il 98%) della crosta terrestre sono invece dei basalti, rocce basiche. Come abbiamo visto, vi è una corrispondenza tra le rocce intrusive e quelle effusive che derivano dallo stesso magma solidificato in condizioni diverse. Come mai allora le rocce che solidificano in condizioni intrusive sono prevalentemente acide, mentre quelle che solidificano in condizioni effusive sono prevalentemente basiche?

I geologi hanno riscontrato anche un'altra importante anomalia: il granito si trova quasi esclusivamente sui continenti, dove forma lo scheletro delle catene montuose; il basalto, invece, costituisce il fondo degli oceani e si trova sui continenti solo in aree limitate. Esistono pertanto due tipi di crosta con diversa composizione: una crosta continentale, granitica, e una crosta oceanica, basaltica. Come spiegare anche questo dato? Secondo un modello attuale, vi sarebbero due tipi di magma:

- un **magma primario**, che dalla parte più superficiale del mantello fuoriesce dalla crosta attraverso una serie di fratture, soprattutto lungo le dorsali medio-oceaniche: questo magma è poco ricco di silice (basico), è molto fluido e ha una temperatura molto elevata (1200-1400 °C), per cui scorre con facilità; ha una composizione minerale simile a quella del basalto e tende a solidificare in condizioni effusive, dando origine al basalto;
- un **magma secondario o anatettico** che si forma, invece, all'interno della crosta mediante la fusione (**anatessi**) di rocce di composizione chimica e densità più simile a quelle del granito, sottoposte a elevate pressioni e temperature. Questo magma è molto ricco di silice (acido), molto viscoso e ha temperature meno elevate (800-900 °C), per cui scorre con maggiore



difficoltà; tende a solidificare in condizioni intrusive, dando origine al granito.

I PROCESSI DI DIFFERENZIAMENTO

All'interno del magma, al diminuire della temperatura, i minerali che lo compongono non cristallizzano tutti insieme ma, se il raffreddamento è regolare, seguono un preciso ordine, detto **serie di reazioni di Bowen**, che dipende dalla temperatura di solidificazione di ciascuno.

La regola generale è che dapprima cristallizzano i minerali basici, con temperature di solidificazione maggiori, poi quelli neutri e infine quelli acidi, con temperature di solidificazione minori. A solidificazione completa, la roccia avrà una composizione corrispondente a quella del magma che l'ha generata. Durante tale processo, la parte non ancora cristallizzata di un magma inizialmente basico si arricchisce progressivamente di silice e di metalli alcalini, diventando prima neutra e poi acida. Tale parte è fluida e più leggera e tende a dirigersi verso l'alto; la parte già cristallizzata è invece più pesante e tende a migrare in profondità. Se la parte ancora liquida si allontana da quella già cristallizzata, essa solidificando darà origine a rocce neutre o acide.



La carta d'identità dei vulcani italiani



Figura 1 Etna.



Figura 2 Vesuvio.



Figura 3 Il Sistema Somma-Vesuvio.

a) Il Vesuvio prima dell'eruzione del 79 d.C. b) Formazione della caldera. c) Formazione del cono del Vesuvio all'interno della caldera.

I vulcani italiani attivi o quiescenti da meno di 500 anni sono l'Etna, il Vesuvio, lo Stromboli, Vulcano e i Campi Flegrei, ognuno di essi con caratteristiche molto diverse. Numerosi sono i vulcani spenti e nel Mar Tirreno vi sono anche diversi vulcani sottomarini (Magnaghi, Vavilov, Marsili).

L'**Etna** (Figura 1) è il vulcano più attivo d'Italia. La sua attività è di tipo effusivo ed è caratterizzata dall'emissione di lava molto fluida sia dal cratere principale, sia da aperture secondarie lungo i fianchi del vulcano. Talvolta il vulcano presenta dei periodi di attività stromboliana che, a causa della loro spettacolarità, attirano visitatori da ogni parte del mondo. Le colate di lava possono provocare danni anche molto elevati, ma il pericolo per le vite umane è abbastanza limitato perché in genere vi è tutto il tempo per evacuare la popolazione

prima che arrivi la lava. In alcuni casi, come è accaduto nel 1982 per la cittadina di Zafferana Etnea, è stato possibile addirittura deviare il corso della lava con potenti cariche esplosive in modo che non colpisse i centri abitati. Nel 2002 il vulcano è stato particolarmente attivo con numerose colate laviche, accompagnate anche da scosse sismiche e dall'emissione di ceneri che sono ricadute sulla città di Catania, avvolgendola in una densa coltre per alcune settimane.

Il **Vesuvio** (Figura 2) è uno strato-vulcano con un'ampia caldera, formatasi in seguito all'eruzione del 79 d.C., all'interno della quale le eruzioni successive hanno formato il cono vulcanico del Vesuvio, mentre il bastione residuo dell'orlo della caldera costituisce oggi il **Monte Somma** (Figura 3).





Figura 4 I Campi Flegrei: l'interno del cratere di Averno e sullo sfondo Capo Miseno.



Figura 5 Stromboli.

La sua attività è alternata a lunghi periodi di inattività, dai quali si risveglia con una potente esplosione. Segue quindi una fase contraddistinta da esplosioni minori, alternate con l'emissione di lava, e quindi un nuovo riposo. Alcune di queste eruzioni possono essere particolarmente violente, come quella del 79 d.C., che ha sepolto Pompei e Stabia sotto una coltre di lapilli e di ceneri, ed Ercolano sotto una colata di fango. Tale eruzione fu descritta da Plinio il Giovane ed è per questo motivo che le eruzioni esplosive più potenti sono ancora oggi dette pliniane. L'ultima eruzione del Vesuvio risale al 1944 e da allora il vulcano è in fase di riposo. Poiché l'area intorno è densamente popolata (circa 600 000 abitanti), il Vesuvio è un vulcano ad alto rischio: si prevede infatti una ripresa della sua attività nei prossimi 30-40 anni. Per tale motivo è stato istituito un sistema di sorveglianza e predisposto un piano di evacuazione della popolazione. Nelle vicinanze del Vesuvio, a ovest di Napoli, sorgono i **Campi Flegrei** (Figura 4), un complesso di vulcani collegati a un'unica camera magmatica che i geologi hanno definito "campo vulcanico" e che, nonostante la vicinanza, non ha nessun rapporto con il Vesuvio. La sua origine risale a circa 32 000 anni fa, quando si verificò un'eruzione violentissima, detta dell'**ignimbrite campana**, ritenuta da molti la maggiore in Europa del periodo quaternario. I materiali eruttati ricoprirono infatti quasi l'intera Campania. Dopo una pausa, l'attività

ripresero 12 000 anni fa con una nuova potente eruzione che produsse il **tufo giallo**, con il quale furono costruite città come Napoli e Pozzuoli. Con questa eruzione la camera magmatica si svuotò e si formò una grande depressione, la caldera flegrea, del raggio di circa 6 km, all'interno della quale successivamente si sono formati più di 20 vulcani. L'ultima eruzione dei Campi Flegrei si è verificata nel 1538 quando si è formato il **Monte Nuovo**, una collinetta alta 134 m. Da allora i Campi Flegrei sono in una fase di riposo. Negli anni 1970-72 e 1982-84 si sono però registrati due periodi di "crisi" caratterizzati da sollevamento del suolo e terremoti, che hanno fatto pensare a una possibile nuova eruzione. Anche per i Campi Flegrei il rischio è molto elevato sia per la numerosa popolazione dell'area (circa 200 000 abitanti), sia per il carattere esplosivo delle eruzioni.

Vulcano e Stromboli (Figura 5) fanno parte delle isole Eolie. Vulcano ha un'attività di tipo esplosivo ed è inattivo dal 1890. Stromboli invece è continuamente in attività, con eruzioni esplosive di modesta entità caratterizzate dal lancio di lapilli e bombe che ricadono sui fianchi del vulcano. Un'eruzione particolarmente violenta si è verificata nel giugno del 2003, mentre nel dicembre del 2002 dal fianco del vulcano si è staccata una grossa frana che, cadendo in mare, ha provocato un'onda alta 20 metri che si è abbattuta sulla costa dell'isola con danni alle abitazioni.



Come si calcola la distanza e la posizione dell'epicentro

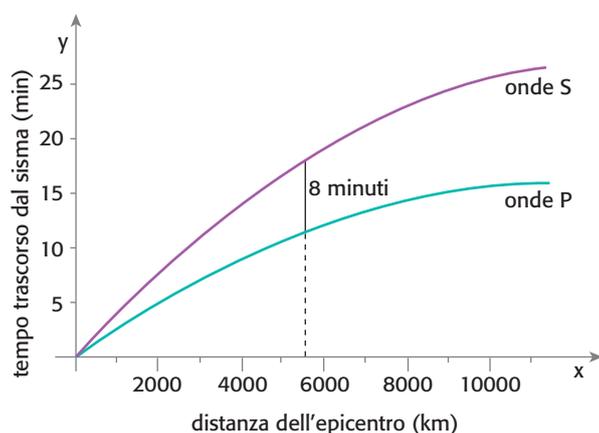


Figura 1 Calcolo della distanza dell'epicentro per mezzo delle dromocrone. Sull'asse x è riportata la distanza dell'epicentro, sull'asse y il tempo trascorso dall'inizio del sisma. Dall'intervallo tra l'arrivo delle onde P e quello delle onde S, misurato sull'asse y , è possibile risalire alla distanza dell'epicentro. Per un intervallo di circa 8 minuti viene calcolata una distanza dell'epicentro di circa 5500 km.



Figura 2 Per localizzare l'epicentro è necessario conoscerne la distanza da almeno tre stazioni sismiche. Si tracciano su una carta geografica le tre circonferenze che hanno come centro le località in cui si trovano i sismografi; le tre curve si incrociano tra loro in un solo punto che individua l'epicentro del terremoto.

Dalla lettura di un sismogramma è possibile risalire alla distanza dell'epicentro.

Immaginiamo due automobili che a un certo istante partono contemporaneamente iniziando a percorrere un'autostrada con diversa velocità costante. In un certo intervallo l'auto più veloce percorrerà un tragitto maggiore e con il passare del tempo esse risulteranno progressivamente sempre più distanziate.

Lo stesso si verifica per le onde P, più veloci, e le onde S: esse partono insieme al momento del terremoto e si distanziano sempre più man mano che arrivano a punti progressivamente più lontani dall'epicentro.

Se l'intervallo tra l'arrivo delle onde P e di quelle S

è piccolo, il terremoto si è verificato a breve distanza; all'aumentare di questo intervallo aumenta invece proporzionalmente la distanza dell'epicentro.

Per la determinazione della distanza dell'epicentro si utilizzano dei diagrammi spazio-tempo su cui sono tracciate delle curve chiamate dromocrone (Figura 1). Conoscere la distanza dell'epicentro non significa però conoscere la sua posizione: esso può infatti essere localizzato in uno qualsiasi dei punti della circonferenza di centro nella stazione e di raggio corrispondente a tale distanza. Utilizzando i dati registrati da tre differenti stazioni è invece possibile risalire all'esatta posizione dell'epicentro (Figura 2).



La storia aiuta la scienza: i cataloghi sismici



Con il diffondersi della tradizione scritta, gli uomini iniziarono a descrivere gli effetti di violenti terremoti attraverso cronache, diari, relazioni. Naturalmente, più si procede indietro nel tempo, minore è la disponibilità e l'attendibilità delle notizie sui fenomeni e sui danni osservati in occasione di una scossa sismica. Tali informazioni si sono rivelate preziose per la compilazione dei cataloghi storici dei terremoti.

Essi contengono l'elenco di tutti i terremoti che si sono verificati in una determinata regione e delle loro conseguenze. La costruzione di un catalogo a partire dalle fonti non è un'operazione semplice. Per prima cosa

occorre interpretare i testi e attribuire le informazioni che da essi si possono ricavare a una precisa località il cui nome attuale può essere diverso da quello riportato nei documenti. Le informazioni vanno valutate nella loro attendibilità e quindi classificate secondo la scala di intensità (scala Mercalli). Occorre poi stabilire la data e l'ora dell'evento, tenendo conto dei diversi modi di misurare il tempo utilizzati nei secoli scorsi. Grazie a questo lavoro minuzioso di ricostruzione, che ha visto storici e geologi lavorare fianco a fianco, negli anni Ottanta è stato pubblicato il catalogo dei terremoti italiani dal 1000 al 1980. Più tardi ne sono seguiti altri due.



Le prove di Wegener

Oltre al fatto che le forme dei continenti sembrano combaciare, Wegener fornì numerose altre prove a sostegno della sua teoria.

- **Fossili delle stesse specie di animali** sono presenti su più di un continente. Per esempio, i fossili di *Mesosaurus*, un piccolo rettile vissuto alla fine dell'era paleozoica, si trovano nell'America del Sud, in Africa, in India, in Antartide e in Australia: poiché è da escludere la possibilità che l'animale abbia attraversato l'oceano, tale dato suggerisce che tutte queste terre erano una volta unite insieme. Anche la distribuzione di *Cicognatus*, un rettile vissuto nel Triassico i cui fossili si ritrovano nell'America del Sud e in Africa, venne spiegata da Wegener ipotizzando l'unione dei continenti attuali in un unico blocco.

- **Fossili di piante** del passato si trovano su continenti oggi separati; per esempio, *Glossopteris*, oltre che nell'America del Sud e in Africa, si ritrova anche in India, in Australia e in Antartide, tutte aree oggi separate da estese superfici marine.

- **Formazioni rocciose** dello stesso tipo e della stessa età si trovavano sia in Africa occidentale, sia nella parte orientale del Sud America; lo stesso si verifica per altri continenti (Figura 1). Solo riavvicinando idealmente i continenti, e ipotizzando che tali formazioni fossero in origine un'unica formazione rocciosa, divisa successivamente in due parti all'apertura di un oceano, è possibile ottenere una spiegazione soddisfacente di questo dato.

- Poiché Wegener era un meteorologo, le prove più consistenti sono quelle basate sulla **distribuzione dei climi** nel passato. Egli in particolare studiò le tilliti, depositi che indicano la posizione di antichi ghiacciai. Tali formazioni si ritrovano oggi in regioni anche molto lontane dai Poli (Figura 2). Esse sono probabilmente il risultato di una grande glaciazione avvenuta nell'emisfero antartico quando tali regioni erano riunite insieme. Successivamente esse sono state trasportate dai continenti in aree climatiche completamente differenti.



Figura 1 Gli Appalachi della costa orientale del Nord America, i monti della Scozia e le Alpi Scandinave sono allineati tra loro e coevi (400 milioni di anni circa).

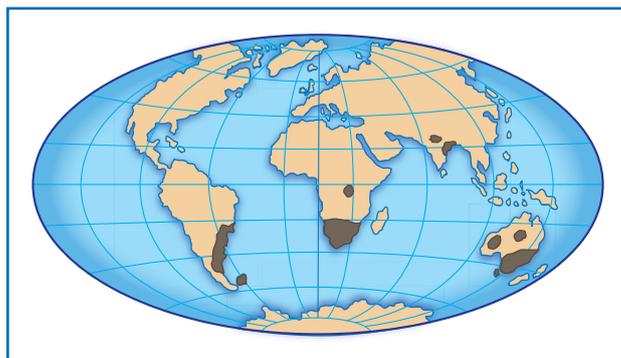


Figura 2 Distribuzione delle tilliti, depositi che testimoniano la presenza di antichi ghiacciai.



I moti convettivi: un motore per il movimento delle placche

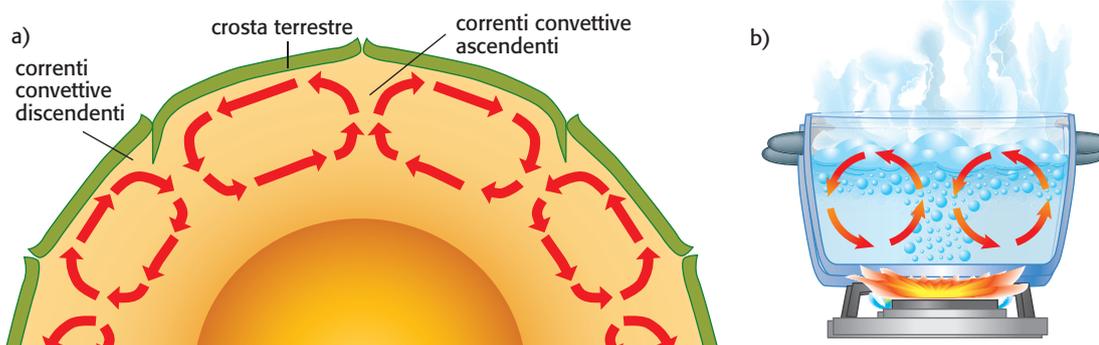


Figura 1 I moti convettivi che avvengono nell'astenosfera (a) sono simili a quelli che si verificano in una pentola piena d'acqua posta sul fuoco (b).

Uno degli aspetti ancora aperti del modello della tettonica delle placche è l'individuazione della causa del movimento. L'ipotesi più accettata è che il "motore" che muove le placche siano i moti convettivi dell'astenosfera (Figura 1).

La litosfera sovrastante, rigida e anelastica, reagirebbe a queste correnti spezzandosi in blocchi che seguirebbero il moto delle correnti convettive stesse. Dove avviene la risalita dall'astenosfera di materiali caldi, che poi piegano in due direzioni opposte, si formano margini divergenti; al contrario, dove c'è la discesa di flussi più freddi, si formano margini convergenti.

Negli ultimi anni l'ipotesi già formulata da Wegener secondo cui la causa dello spostamento delle placche è il moto di rotazione terrestre è ritornata in auge. Si è

infatti constatato che il movimento delle placche avviene in preferenza secondo i paralleli: mentre la Terra ruota verso Est, la litosfera, rigida e separata dalla sottostante astenosfera fluida, tenderebbe per inerzia a rimanere ferma, spostandosi di fatto verso Ovest. A causa della differente composizione, temperatura e pressione delle diverse regioni dei due strati, il moto della litosfera non è però omogeneo. Ciò fa sì che la litosfera si suddivida in diversi blocchi che si muovono verso Ovest con differente velocità.

Se un blocco situato a Est si muove più velocemente di uno posto a Ovest, si verificherà un avvicinamento con subduzione (margine convergente); al contrario, se è quello occidentale a muoversi più velocemente, vi è un allontanamento (margine divergente).



L'orogenesi è il processo di corrugamento della crosta terrestre che forma una catena montuosa. Può avvenire in diversi modi.

1. SUBDUZIONE

La litosfera oceanica sprofonda sotto quella continentale in corrispondenza di un margine continentale. La catena montuosa è costituita prevalentemente da rocce magmatiche intrusive ed effusive originate dalla risalita dei grandi volumi di magma che si formano durante la subduzione della litosfera oceanica e che, solidificando, formano in profondità rocce intrusive e alimentano in superficie numerosi vulcani esplosivi (Cordigliera delle Ande; Figura 1a e 1b). Per le forti pressioni e le elevate temperature tali regioni sono caratterizzate anche da intenso metamorfismo. Inoltre i sedimenti accumulati lungo il margine continentale, per il forte attrito con la litosfera oceanica in subduzione, vengono deformati e frammentati, finendo con l'accumularsi sul margine del continente, dove formano una nuova striscia di crosta caratterizzata da rocce molto eterogenee.



Figura 1a La Cordigliera delle Ande vista dal satellite.

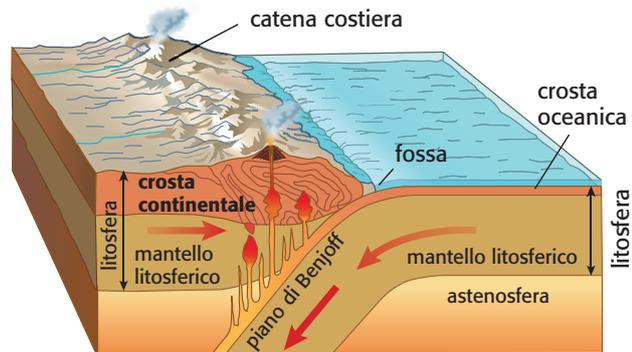


Figura 1b Se una placca oceanica scorre sotto una placca continentale, lungo il margine oceanico si formano quasi sempre profonde fosse, mentre sulla placca continentale si innalzano catene montuose e allineamenti di vulcani esplosivi; si verificano anche intensi terremoti. Un esempio è la Cordigliera delle Ande.



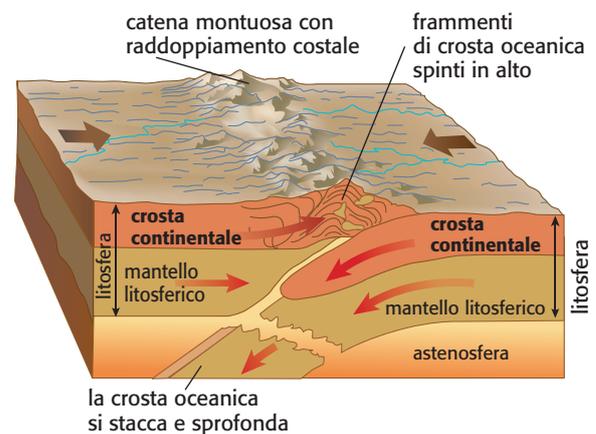
2. COLLISIONE

Due continenti si “scontrano” e una delle due placche continentali scivola sopra l'altra: i due margini continentali vengono profondamente deformati e uno dei due può scivolare sotto l'altro anche per centinaia di chilometri finché i due continenti si saldano e rimane una sorta di lunga cicatrice all'interno di un unico continente (Tibet e Himalaya; Figura 2a e 2b); le rocce in superficie sono prevalentemente sedimentarie.



Figura 2a La catena dell'Himalaya vista dal satellite.

Figura 2b Quando si scontrano due placche continentali la subduzione non può avvenire perché entrambe sono costituite da rocce più leggere. Esse si accavallano l'una sull'altra (raddoppiamento crostale) e per le intense pressioni verso l'alto si formano imponenti catene montuose. Un esempio è l'Himalaya. Quando convergono due placche oceaniche, solo una sprofonda, mentre sull'altra si forma un tipico arco vulcanico.



3. OBDUZIONE

Durante la collisione di due continenti, l'oceano che inizialmente li separava si riduce progressivamente e viene in gran parte riassorbito nel mantello. Quando i due blocchi continentali vengono a contatto, per le forti pressioni, alcuni frammenti di crosta oceanica, invece di sprofondare nel mantello (subduzione), possono essere spinti verso l'alto (obduzione) finendo incorporati nella catena montuosa in formazione. Essi danno origine a un tipo di rocce molto particolare che, per il colore verde e l'aspetto che ricorda la pelle di un serpente, sono dette ofioliti (Figura 3). La presenza delle ofioliti costituisce un indizio che in quella zona è avvenuta la sutura tra due continenti.



Figura 3 Ofioliti.

4. ACCRESCIMENTO CROSTALE

La struttura della Cordigliera nordamericana è caratterizzata dalla giustapposizione di blocchi di rocce molto diversi fra loro per composizione, struttura ed età e quindi collocati originariamente in aree distanti tra loro. Secondo il modello dell'accrescimento crostale, queste strutture erano tutte incastrate in una placca in movimento verso una fossa di subduzione. Questi blocchi sporgevano al di sopra del livello medio del fondo marino per cui, quando sono arrivati in corrispondenza della fossa, sono stati strappati via dalla placca in subduzione, finendo con l'accavallarsi l'uno sull'altro contro il margine del continente (Figura 4).



Figura 4 La Catena delle Cascade, elevata catena montuosa compresa tra gli Stati Uniti nordoccidentali e il Canada sudoccidentale.



Forza del vento (gradi Beaufort)	Velocità del vento (nodi)	Velocità del vento (km/h)	Descrizione	Altezza onde (m)	Condizioni del mare	Condizioni a terra
0	0	0	Calmo	0	Piatto	Il fumo sale verticalmente.
1	1-3	1-6	Bava di vento	0,1	Leggere increspature sulla superficie somiglianti a squame di pesce. Ancora non si formano creste bianche di schiuma.	Movimento del vento visibile dal fumo.
2	4-6	7-11	Brezza leggera	0,2	Onde minute, ancora molto corte ma ben evidenziate. Le creste non si rompono ancora, ma hanno aspetto vitreo.	Si sente il vento sulla pelle nuda. Le foglie frusciano.
3	7-10	12-19	Brezza tesa	0,6	Onde con creste che cominciano a rompersi con schiuma di aspetto vitreo. Si notano alcune increspature con la cresta bianca di schiuma.	Foglie e rami più piccoli in movimento costante.
4	11-16	20-29	Vento moderato	1	Onde con tendenza ad allungarsi. Le increspature sono più frequenti.	Sollevamento di polvere e carta. I rami sono agitati.
5	17-21	30-39	Vento teso	2	Onde moderate dalla forma che si allunga. Le increspature sono abbondanti e c'è possibilità di spruzzi.	Oscillano gli arbusti con foglie. Si formano piccole onde nelle acque interne.
6	22-27	40-50	Vento fresco	3	Onde grosse (cavalloni) dalle creste imbiancate di schiuma. Gli spruzzi sono probabili.	Movimento di grossi rami. Difficoltà ad usare l'ombrello.
7	28-33	51-62	Vento forte	4	I cavalloni si ingrossano. La schiuma formata dal rompersi delle onde viene "soffiata" in strisce nella direzione del vento.	Interi alberi agitati. Difficoltà a camminare contro vento.
8	34-40	63-75	Burrasca	5,5	Onde alte. Le creste si rompono e formano spruzzi vorticosi che vengono risucchiati dal vento.	Ramoscelli strappati dagli alberi. Generalmente è impossibile camminare contro vento.
9	41-47	76-87	Burrasca forte	7	Onde alte con le creste che iniziano ad arrotolarsi. Strisce di schiuma che si fanno più dense.	Leggeri danni alle strutture (camini e tegole asportati).
10	48-55	88-102	Tempesta	9	Onde molto alte sormontate da creste (marosi) molto lunghe. Le strisce di schiuma tendono a compattarsi e il mare ha un aspetto biancastro. I frangenti sono molto più intensi e la visibilità è ridotta.	(Rara in terraferma). Sradicamento di alberi. Considerevoli danni strutturali.
11	56-63	103-117	Tempesta violenta	11,5	Onde enormi che potrebbero anche nascondere alla vista navi di media stazza. Il mare è tutto coperto da banchi di schiuma. Il vento nebulizza la sommità delle creste e la visibilità è ridotta.	Vasti danni strutturali.
12	> 63	> 117	Uragano	14+	Onde altissime; aria piena di schiuma e spruzzi, mare completamente bianco.	Danni ingenti ed estesi alle strutture.



L'inquinamento dell'atmosfera e la salute

L'atmosfera è inquinata da svariati tipi di sostanze chimiche: gli scarichi industriali e i motori degli autoveicoli immettono nell'aria ossidi di azoto e di zolfo e altre sostanze con effetti dannosi sulla flora e la fauna.

Un fenomeno tra i più vistosi è quello delle **piogge acide**, che possono compromettere la salute di interi ecosistemi. Il consumo dei **combustibili fossili** determina invece l'aumento dei livelli atmosferici di anidride carbonica, la principale responsabile dell'incremento dell'**effetto serra**, che potrebbe causare un'alterazione globale del clima terrestre.

L'effetto serra fu descritto per la prima volta nel 1896 dallo scienziato svedese Svante Arrhenius che aveva capito che la temperatura media del pianeta, sufficientemente alta da permettere la sopravvivenza degli organismi viventi, è dovuta alla presenza dell'atmosfera. Quando la radiazione solare colpisce la superficie terrestre, essa viene in parte riflessa sotto forma di radiazione infrarossa, che corrisponde al calore disperso dalla Terra; alcuni gas presenti nell'atmosfera (i cosiddetti "gas serra") si lasciano attraversare dalla radiazione solare in arrivo, mentre assorbono la radiazione infrarossa riflessa dalla Terra;

in tal modo il calore disperso dal pianeta viene in parte intrappolato nell'atmosfera, determinandone il riscaldamento.

Senza di esso la Terra sarebbe più fredda e probabilmente priva di vita.

All'incremento dell'effetto serra contribuirebbero anche il metano, gli ossidi di azoto e l'ozono. Quest'ultimo è trasportato sulla superficie terrestre dalle precipitazioni e dai movimenti dell'atmosfera, ma è prodotto anche dagli scarichi dei motori a combustione interna e dalle centrali termoelettriche. Il livello al suolo di ozono è quasi raddoppiato negli ultimi trent'anni e questo costituisce un grave problema, con rischi sia per la salute sia per la vegetazione.

Oggi l'inquinamento atmosferico nei Paesi industrializzati costituisce uno dei maggiori problemi di sanità pubblica: secondo una recente stima dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), in Europa è il principale fattore di rischio ambientale e l'ottava causa di morte.

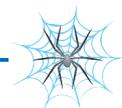
Le principali sorgenti inquinanti sono gli autoveicoli (per il 50%), le industrie chimiche e le raffinerie (Figura 1), gli impianti di riscaldamento (Figura 2), gli inceneritori, le discariche, gli incendi e i concimi e i fertilizzanti adoperati in agricoltura.



Figura 1 Le industrie chimiche e le raffinerie sono tra le principali sorgenti inquinanti dell'atmosfera.



Figura 2 Gli impianti di riscaldamento emettono grandi quantità di polveri sottili.



Numerosi sono gli inquinanti atmosferici dei quali è stata accertata la tossicità o la cancerogenicità (capacità di provocare il cancro) (Tabella 1). Una serie di ricerche ha dimostrato che tutti i carburanti normalmente utilizzati (e in particolare il benzene, un composto aromatico presente nella benzina) inducono la formazione di tumori negli animali di laboratorio. Sono risultati cancerogeni anche diversi additivi, sostanze aggiunte alla benzina per aumentare il numero di ottani, come l'MTBE, che ha sostituito il piombo nella benzina verde. Per la loro pericolosità, un posto a parte meritano le **polveri fini** (o **PM**, *Particulate Matter*), una miscela di particelle solide e liquide che legano i diversi inquinanti. Le particelle hanno dimensioni comprese tra 100 e 0,01 μm (un capello è spesso circa 100 μm) e possono rimanere sospese in aria per lunghi periodi. In base alla capacità di penetrazione nelle vie respiratorie, si distinguono le **polveri inalabili** (**PM₁₀**), che hanno un diametro inferiore a 10 μm e penetrano solo nel tratto respiratorio superiore (cavità nasali,

laringe e faringe), e le **polveri respirabili** (**PM_{2,5}**), di dimensioni inferiori a 2,5 μm , più nocive, capaci di giungere fino ai bronchi e agli alveoli polmonari. Gli effetti tossici acuti possono manifestarsi in particolare per gli organi e gli apparati a diretto contatto con gli inquinanti, come la cute e l'apparato respiratorio, ma anche quello cardiovascolare. Particolarmente frequenti sono le infiammazioni delle vie respiratorie. Gli effetti tossici cronici sono causa dell'aumento della mortalità per malattie cardiovascolari e per tumori: diversi studi indicano che un aumento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del PM₁₀ può determinare un aumento della mortalità giornaliera dello 0,5% e un aumento della mortalità per cancro al polmone dell'8%.

Per combattere l'inquinamento atmosferico, occorre promuovere una serie di strategie di controllo che possono essere così riassunte:

- riduzione dell'uso delle auto e promozione dell'uso dei mezzi pubblici;
- produzione di carburanti meno inquinanti;
- messa a punto di motori più efficienti;
- adozione di sistemi che riducono l'emissione di inquinanti da parte dei veicoli, come le marmitte catalitiche.

Occorre soprattutto una nuova mentalità che promuova la ricerca biomedica: le conoscenze scientifiche sui rischi per la salute da inquinanti atmosferici sono infatti ancora scarse.

Nel frattempo, per limitare i rischi nei periodi in cui l'inquinamento atmosferico è elevato, l'attuale normativa europea stabilisce la limitazione della circolazione quando le polveri sottili raggiungono il limite di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e il blocco totale della circolazione nel caso di superamento del livello di allarme di 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

(Tratto in parte da: F. Belpoggi, M. Padovani e M. Soffritti, Fondazione Europea di Oncologia e Scienze Ambientali B. Ramazzini di Bologna, *Inquinamento atmosferico delle aree urbane e rischio di cancro*, in *Eur. J. Oncol.*, vol. 10, n. 1, pp. 31-35, 2005.)

Benzene
Composti del cromo
Formaldeide
Arsenico
Acrilonitrile
Cadmio
Piombo
Tricloroetilene
1,3 butadiene
Cloruro di vinile
Idrocarburi aromatici policiclici

Tabella 1 Alcuni agenti inquinanti di accertata tossicità e cancerogenicità.



La classificazione dei climi

La classificazione dei climi secondo Köppen. La seconda lettera della formula climatica, se minuscola, indica una particolare caratteristica del clima (f = senza stagione secca, w = con inverno secco, s = con estate secca), se maiuscola, un particolare ambiente (S = steppa, W = deserto, T = tundra, F = gelo). I climi di alta montagna rientrano nei climi polari; per indicarli si aggiunge la lettera H = altitudine.

Classe	Formula climatica	Definizione	Caratteristiche	Vegetazione
A: climi umidi della zona tropicale temperatura media mensile > 18 °C	Af	clima tropicale senza stagione secca	precipitazioni abbondanti distribuite in tutti i mesi dell'anno	grandi foreste equatoriali 
	Aw	clima tropicale con inverno secco	precipitazioni meno abbondanti, concentrate soprattutto nella stagione estiva	savane, in due fasce a poca distanza dell'Equatore; erbe e cespugli che si sviluppano durante la stagione piovosa 
B: climi aridi piovosità < 20 mm annui	BS	clima secco della steppa	in vicinanza dei Tropici; breve stagione piovosa	steppe 
	BW	clima secco del deserto	lungo i Tropici; quasi del tutto privo di precipitazioni; i "deserti freddi", con temperature medie < 18 °C si trovano all'interno dei continenti (come il deserto di Gobi)	deserto 



Classe	Formula climatica	Definizione	Caratteristiche	Vegetazione
C: climi mesotermici (o temperati) temperatura media del mese più freddo tra +18 e -3 °C	Cf	clima temperato senza stagione secca	la temperatura ha un andamento periodico, con una forte escursione tra la stagione fredda e quella calda	foreste a latifoglie e macchia mediterranea 
	Cs	clima temperato con estate secca (mediterraneo)		
	Cw	clima temperato con inverno secco		
D: climi microtermici temperatura media del mese più freddo < -3 °C; del mese più caldo > +10 °C	Df	clima boreale senza stagione secca	tipici delle elevate latitudini	taiga con la caratteristica foresta di conifere 
	Dw	clima boreale con inverno secco		
E: climi polari o nivali temperatura media del mese più caldo < 10 °C	ET	clima freddo della tundra	freddo e piovoso secondo le altitudini indipendentemente dalla latitudine	tundra con muschi e licheni 
	EF	clima freddo del gelo perenne		
	ETH EFH	clima di alta montagna		



Quasi tutta la comunità scientifica concorda nel sostenere che la superficie della Terra sta subendo un graduale riscaldamento e che anche un piccolo aumento della temperatura media del pianeta, se sostenuto per diversi anni, potrà causare profondi cambiamenti, agendo sui trasferimenti di calore tra oceani, terre emerse e atmosfera.

La causa principale di tale **riscaldamento globale** sarebbe l'incremento dei gas serra nell'atmosfera, come l'anidride carbonica (per il 70%), il metano (per circa il 23%), il vapore acqueo, il protossido di azoto, l'ozono e i clorofluorocarburi (CFC), dovuto alle combustioni e alle attività industriali.

I modelli matematici elaborati al computer indicano un aumento medio della temperatura di 1,5-3,5 °C, per un raddoppio dell'anidride carbonica nell'atmosfera; ma i modelli, per quanto sofisticati, sono sempre semplificazioni dei fenomeni naturali, che non possono tener conto degli eventuali fattori imprevedibili; inoltre, alcuni scienziati hanno dei dubbi sul fatto che le attività umane siano responsabili dei cambiamenti climatici, sia perché il clima della Terra è un sistema complesso, in cui interagiscono molti elementi, sia perché alcuni fattori che influiscono sul clima, come l'attività magnetica del Sole, possono variare ciclicamente nel tempo. Con il riscaldamento globale potrebbe verificarsi un innalzamento generale del livello dei mari, dovuto sia all'espansione, per l'aumento della temperatura, dell'acqua degli oceani, sia alla fusione di parte dei ghiacci polari (Figura 1); si registrerebbero variazioni locali della temperatura e delle precipitazioni che

potrebbero causare inondazioni delle zone costiere (in genere le più densamente popolate), alluvioni o siccità; e, soprattutto, si osserverebbe una riduzione della biodiversità (perdita di specie animali e vegetali) e alterazioni dell'equilibrio degli ecosistemi.

Il riscaldamento globale avrebbe anche effetti sulla salute umana, con un aumento, specie nelle grandi città, del numero di decessi per il caldo e una diversa distribuzione delle malattie (malattie tropicali come la malaria potrebbero spingersi verso latitudini maggiori). Un altro effetto molto temuto sarebbe l'aumento di fenomeni climatici violenti, come uragani e tornado, in particolare nelle regioni tropicali.

LE POSSIBILI SOLUZIONI

Per la maggior parte degli scienziati l'obiettivo primario da raggiungere è la riduzione delle emissioni di anidride carbonica quanto prima possibile. Ma non si tratta di un obiettivo facile, dal momento che la maggior parte dell'energia che sostiene le attività sia dei Paesi sviluppati sia di quelli in via di sviluppo proviene da combustibili fossili.

Si stanno invece facendo notevoli progressi sia nel campo del risparmio energetico, migliorando l'efficienza dei sistemi che utilizzano l'energia da combustibili fossili, sia nella ricerca di un migliore utilizzo delle fonti alternative (energia idroelettrica, geotermica, solare, eolica e nucleare).

(Tratto in parte da: *Global Warming: Are We Experimenting with Planet Earth?*, Encarta Yearbook, febbraio 1996.)



Figura 1 Fusione di ghiacci dell'Antartide dovuta al riscaldamento globale.



Il fondo degli oceani è ricoperto da uno strato di sedimenti dello spessore di alcune migliaia di metri, che si distinguono per la loro origine.

• **Sedimenti terrigeni:** derivano dal trasporto e dalla deposizione di materiale eroso dai continenti e trasportato in mare dai fiumi, dai ghiacci e dal vento. Si trovano in quantità maggiore sulle piattaforme continentali, dove si accumulano e vengono ridistribuiti dalle correnti costiere: solo meno del 40% raggiunge le piane abissali trasportato dalle correnti di torbida e in parte dal vento. In prossimità dei continenti i sedimenti terrigeni si accumulano molto velocemente, sulle piane abissali molto più lentamente, e occorrono diverse decine di migliaia di anni per formare uno strato di solo 1 cm di spessore.

Lontano dai continenti i sedimenti terrigeni sono costituiti dalle argille rosse, ricche di ossido di ferro che determina il loro caratteristico colore.

I sedimenti glacio-marini sono trasportati dagli iceberg che, sciogliendosi, liberano la frazione terrigena intrappolata che si deposita sul fondo del mare (Figura 1).

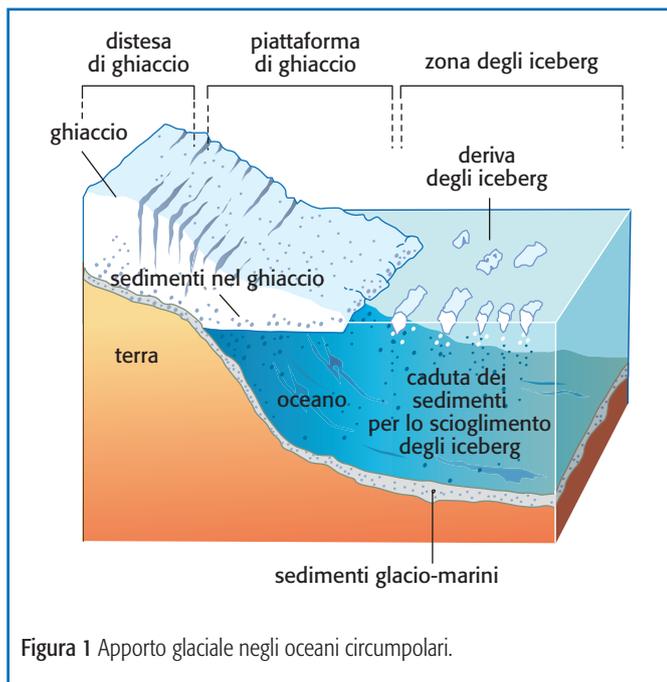


Figura 1 Apporto glaciale negli oceani circumpolari.

• **Sedimenti biogeni:** sono composti essenzialmente da gusci microscopici di animali e alghe unicellulari che costituiscono il plancton. I sedimenti calcarei coprono circa il 50% del fondo degli oceani e sono composti da gusci di foraminiferi (zooplancton) e coccoliti (fitoplancton), tutti protisti.

All'aumentare della profondità, la diminuzione della temperatura dell'acqua e l'aumento della concentrazione di anidride carbonica favoriscono la solubilizzazione del carbonato di calcio: pertanto sotto una certa profondità (profondità di compensazione dei carbonati) non si trovano più sedimenti calcarei, ma solo silicei.

I sedimenti silicei coprono circa il 15% del fondo degli oceani e sono costituiti da gusci di diatomee (fitoplancton) e in misura minore radiolari (zooplancton) (sempre protisti). I sedimenti silicei (Figura 2) sono caratteristici delle fasce oceaniche di elevata fertilità comuni all'Equatore e alle alte latitudini. In queste zone si verifica il fenomeno dell'*upwelling*, ossia la risalita di acque fredde profonde ricche di nutrienti (N, P e Si).

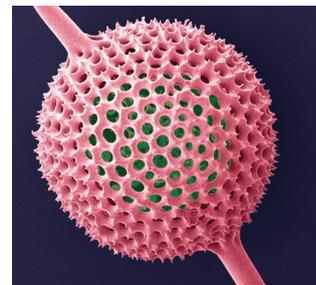


Figura 2 I radiolari sono protisti con guscio siliceo responsabili della formazione dei sedimenti biogeni silicei.



• **Sedimenti autigeni:** si formano esclusivamente sulle grandi piane abissali prevalentemente per precipitazione di ioni in soluzione. Comprendono i noduli polimetallici, ricchi di manganese, ferro, nichel, rame e cobalto (Figura 3), che si formano per precipitazione dei minerali intorno a un nucleo di minuscole dimensioni; hanno forma quasi sferica, colore scuro e dimensioni simili a quelle di una palla da tennis. La loro velocità di accrescimento è estremamente lenta (da un decimo a un millesimo di mm ogni 1000 anni). In futuro, quando saranno risolte le difficoltà tecniche connesse al loro recupero dalle elevate profondità alle quali sono situati, i noduli polimetallici potranno avere una grande importanza economica per l'estrazione dei metalli.

• **Sedimenti cosmogenici:** derivano da materiale extraterrestre, giunto sulla Terra sotto forma di micrometeoriti; si concentrano in aree a bassa velocità di sedimentazione.

La Figura 4 mostra la distribuzione dei principali sedimenti.



Figura 3 Noduli polimetallici.

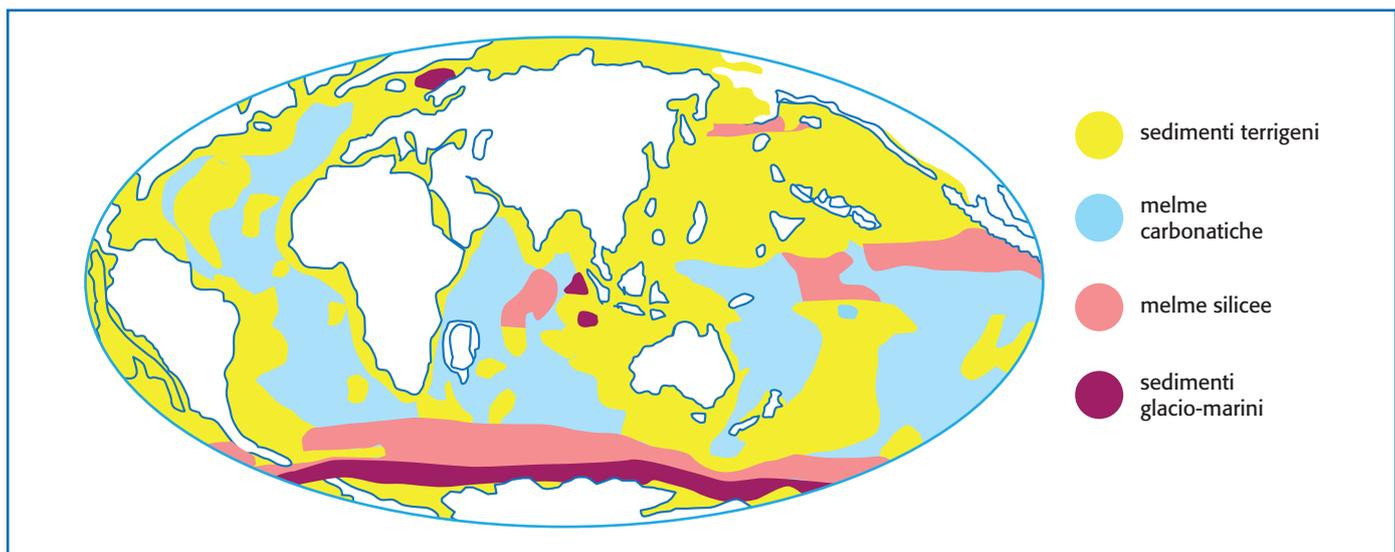


Figura 4 Distribuzione dei principali tipi di sedimenti oceanici.



In base alle loro modalità di vita, gli organismi marini possono essere classificati in tre grandi gruppi (Figura 1).

- Il **benthos** comprende tutti gli organismi che vivono sul fondo del mare o che dipendono da esso per il nutrimento. È costituito sia da invertebrati, come stelle di mare, ricci, oloturie, molluschi, crostacei, coralli, sia da vertebrati, come sogliole, razze, torpedini. Fino a 200 m di profondità si trovano anche le alghe. Nella zona bentonica vi sono anche funghi e batteri decompositori.

- Il **plancton** è composto da tutti gli organismi che si lasciano trasportare dalle correnti marine. Il **fitoplancton** è costituito da alghe unicellulari che svolgono la fotosintesi, costituendo il primo anello della catena alimentare del mare (produttori); lo **zooplancton** è costituito da organismi non fotosintetici (consumatori), come piccoli crostacei, protisti unicellulari

(foraminiferi, radiolari), meduse, ma anche larve e uova di pesci.

- Il **necton** comprende animali capaci di nuotare attivamente e di vincere la forza delle correnti, come tonni, delfini e calamari. Sono in genere di grandi dimensioni e hanno forma idrodinamica.

Gli ambienti marini possono comprendere un **dominio bentonico**, ossia i fondi marini, popolati dagli organismi del benthos, e un **dominio pelagico**, ossia le acque libere sovrastanti, dove vivono gli organismi del plancton e del necton. In base alla profondità del fondale è possibile distinguere una **zona intercotidale**, tra le linee di alta e di bassa marea, dove vi sono principalmente organismi bentonici; una **zona neritica**, estesa fino al bordo della piattaforma continentale (profondità 200 m), dove oltre al benthos vi sono numerosi organismi sia planctonici sia nectonici; una **zona oceanica**, dove il fondo supera

i 200 m di profondità. La colonna d'acqua della **zona oceanica** è a sua volta suddivisa nella **zona fotica** (dalla superficie fino alla profondità di 200 m), caratterizzata dalla presenza della luce e ricca di fitoplancton (diatomee, alghe verdi, dinoflagellati, tutti protisti) e di necton; la **zona batiale** (da 200 a 2000 m di profondità), praticamente priva di luce e perciò abitata da organismi eterotrofi del necton che si nutrono dei materiali organici provenienti dalla zona fotica; la **zona abissale** (oltre i 2000 m di profondità), fredda e buia e con pressioni molto elevate. Qui vivono pochi organismi, che si nutrono dei residui che cadono dall'alto. Alcuni pesci hanno strutture bioluminescenti per catturare prede e attirare i compagni, altri hanno bocche enormi e possono inghiottire prede molto più grandi di loro stessi, come la vipera di mare. In alcune zone (sorgenti calde) vi sono batteri chemiosintetici autotrofi, che usano energia chimica al posto di quella solare per produrre sostanza organica.

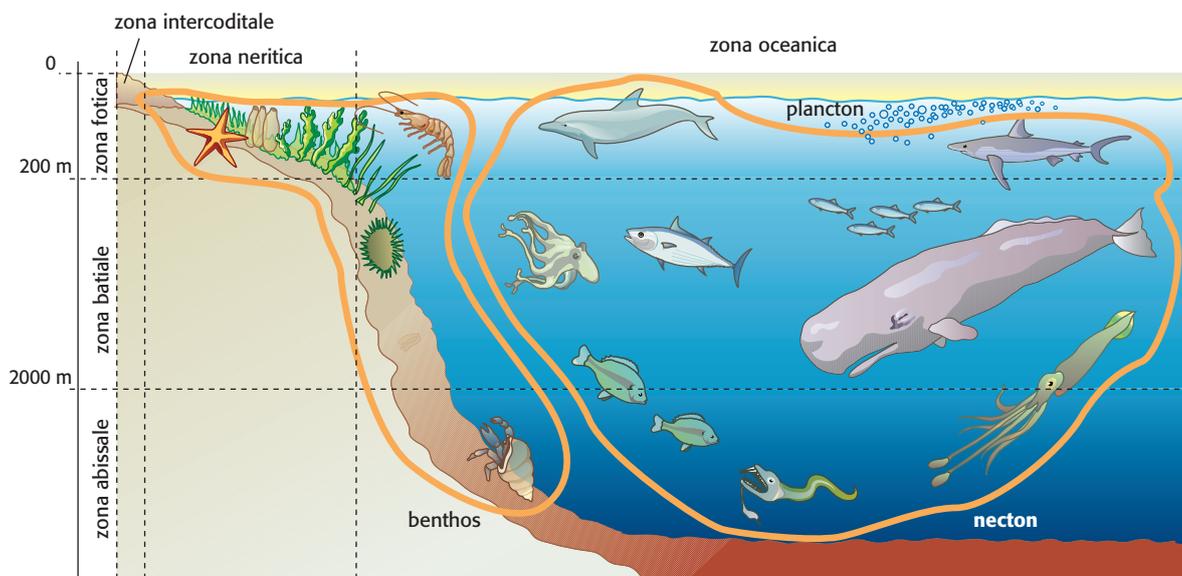


Figura 1
La distribuzione
dei viventi nel mare.



Il 26 dicembre 2004, un gigantesco tsunami si è abbattuto sulle coste dell'Oceano Indiano, colpendo in particolare l'isola di Sumatra e provocando complessivamente quasi 290 000 vittime (Figura 1). La piccola Tilly, una bambina inglese di dieci anni, fu però in grado di riconoscere il suo arrivo e di salvare molte persone che si trovavano con lei su una spiaggia in Thailandia: ricordò che a scuola le avevano insegnato che l'arrivo di un'onda anomala è spesso preceduto dall'improvviso ritiro delle acque per centinaia di metri. *Tsunami* è una parola giapponese che significa "onda di porto" o "onda di marea", anche se questo fenomeno non è legato alle maree e consiste in una serie di onde di grande lunghezza che hanno origine da un violento spostamento della massa d'acqua oceanica, come quello che può verificarsi a seguito di un terremoto che avviene in acque poco profonde e che solleva rapidamente una regione del fondo marino. Le onde generate da un terremoto sottomarino sollevano l'intera massa d'acqua sopra il fondale, anche

se di pochi centimetri. Per questo le onde di uno tsunami possono formare un vero e proprio muro d'acqua, alto anche decine di metri, dotato di un elevato potere distruttivo (Figura 2) e penetrare per centinaia di metri nell'entroterra.

L'arrivo di uno tsunami può essere preceduto dal ritiro delle acque, ma il fenomeno può presentarsi anche senza alcun preavviso, come un improvviso avanzamento del mare che inonda la costa. Quando il muro d'acqua giunge a riva, provoca effetti devastanti, mentre quando si presenta come un rigonfiamento di acqua, simile a una marea, gli effetti sono meno rovinosi.

Uno tsunami è inoltre quasi sempre costituito da più di un'onda: il pericolo, pertanto, non deve considerarsi mai passato dopo l'arrivo della prima onda, in quanto le successive possono presentarsi a distanza di minuti o decine di minuti e possono essere maggiori della prima.

(Alcune parti di questo approfondimento fanno riferimento ai contenuti del sito: <http://www.scienzagiovane.unibo.it/tsunami.html>)



Figura 1 Gli tsunami sono provocati da terremoti sottomarini che determinano un violento sollevamento della massa d'acqua.

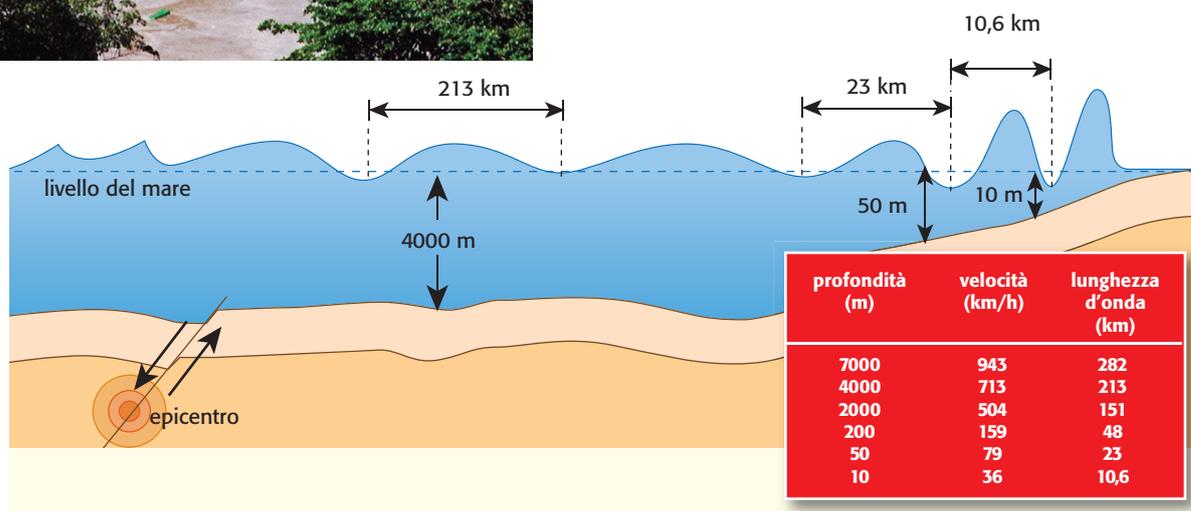


Figura 2 Quando l'onda si avvicina alla costa, diminuiscono la velocità e la lunghezza d'onda, mentre aumenta l'altezza dell'onda.



I **laghi** sono *masse di acqua generalmente dolce che riempiono depressioni dei continenti isolate dal mare o comunicanti con esso per mezzo di un fiume.*

Secondo l'origine, si possono distinguere diversi tipi di laghi:

- **tettonici**, insediati nelle fosse tettoniche, come il *Tanganika*, in Tanzania;
- **vulcanici**, che occupano il cratere di un vulcano spento, come il *Lago di Bolsena*;
- **di sbarramento**, che occupano una valle sbarrata da una frana o da una diga artificiale, come il *Lago di Allene* (Belluno);
- **carsici**, che riempiono depressioni come le doline originate dal carsismo;
- **di escavazione glaciale**, che occupano gli avvallamenti prodotti da un antico ghiacciaio, come il *Lago di Garda*.

I laghi possono essere alimentati da corsi d'acqua, detti **immissari**, o da sorgenti subacquee. Questi afflussi sono generalmente compensati dall'evaporazione, dall'infiltrazione delle acque nelle rocce del fondo del lago e a volte dalla presenza di un **emissario**. La profondità di un lago tende a diminuire col tempo a causa dell'accumulo dei sedimenti trasportati dalle acque superficiali, per cui i laghi, soprattutto se alimentati da un immissario, tendono a interrarsi (Figura 1), trasformandosi in **paludi**, e quindi a scomparire. L'acqua di un lago si dispone in strati di densità crescenti. Poiché l'acqua ha una densità massima a +4 °C, secondo il clima si possono distinguere due tipi di stratificazione:

- nella **stratificazione termica diretta**, tipica dei climi più caldi, la temperatura decresce con la profondità, raggiungendo sul fondo il valore minimo di +4 °C;

- nella **stratificazione termica indiretta**, tipica dei climi più freddi, la temperatura aumenta con la profondità, raggiungendo sul fondo il valore massimo di +4 °C.

I laghi svolgono un'importante azione di mitigazione del clima, costituiscono riserve d'acqua, a volte utilizzate per la produzione di energia elettrica o per l'irrigazione, possono rappresentare importanti vie di comunicazione e sono ambienti ricchi di organismi.

Anche nei laghi e negli stagni si distinguono:

- la **zona litorale**, situata ai bordi, è la più popolata, con tipiche angiosperme, come i giunchi, ancorate al fondo;
- la **zona limnetica**, delle acque aperte, si estende fino alla profondità a cui penetra la luce. Vi si trovano numerosi produttori (minuscole alghe del fitoplancton);
- la **zona profonda**, dove non arriva la luce, priva di organismi vegetali; vi si trovano soprattutto organismi detritivori.

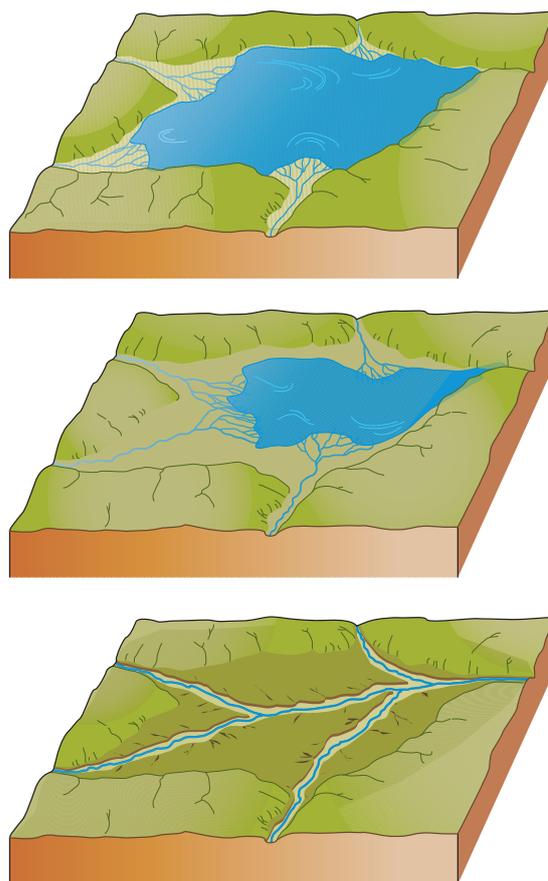
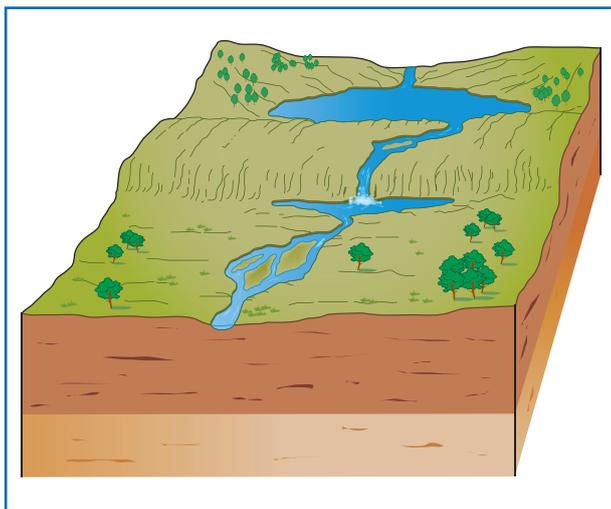
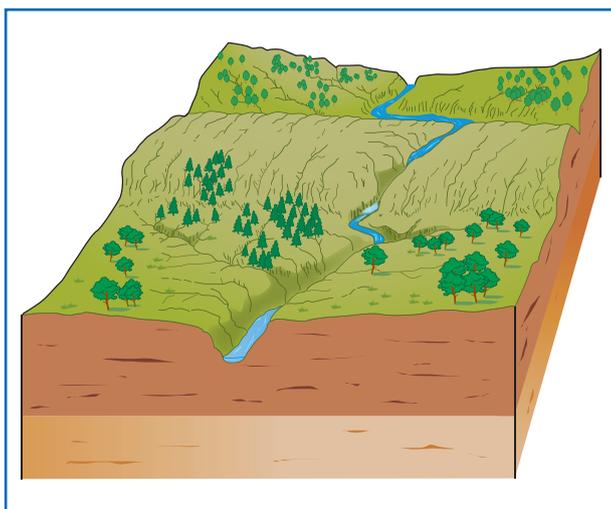


Figura 1 Diverse fasi del processo di interramento di un lago.

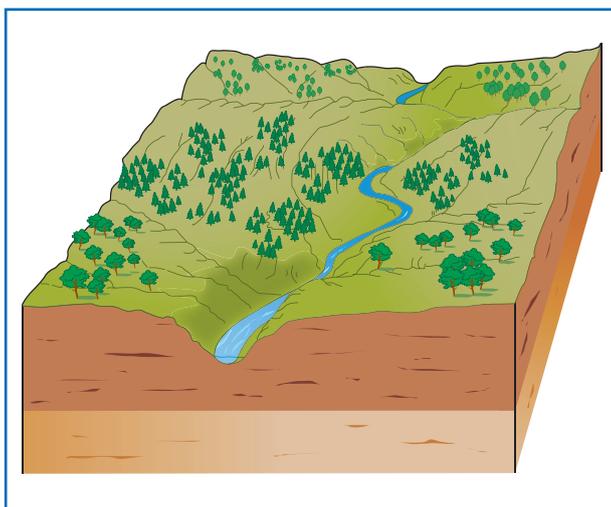




1. Stadio giovanile. Il fiume forma lungo il suo percorso laghi, cascate e rapide. Vi è una forte erosione verticale, che provoca l'approfondimento del letto del fiume, con la formazione di gole e di canyon, dal tipico **profilo a V** molto stretta.

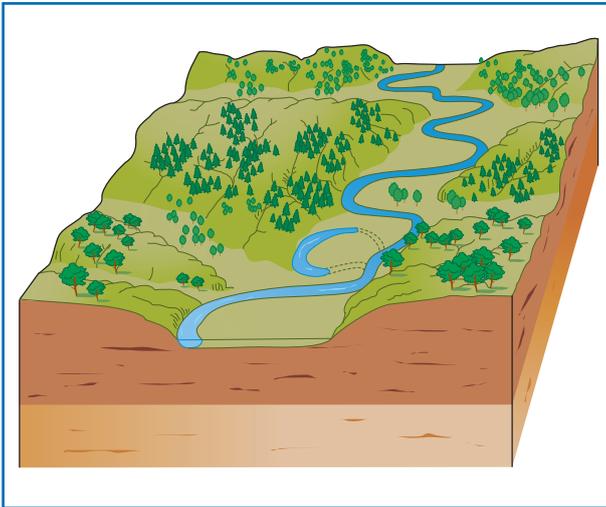


2. Stadio giovanile avanzato. Quando l'alveo raggiunge la quota del fondo dei laghi, i laghi scompaiono e il fiume scorre in una gola stretta e profonda. L'erosione regressiva può far estendere verso monte il bacino idrografico e catturare altri corsi d'acqua.



3. Stadio di maturità iniziale. Il fiume assume un andamento più regolare senza rapide né cascate. Per la minore erosione verticale la valle assume ora un **profilo a V** più aperta. I detriti raggiungono la quantità massima trasportabile, facendo diminuire la velocità della corrente, ma non al punto tale da far sedimentare i detriti. Il fiume è pertanto in una condizione di equilibrio tra erosione e sedimentazione.

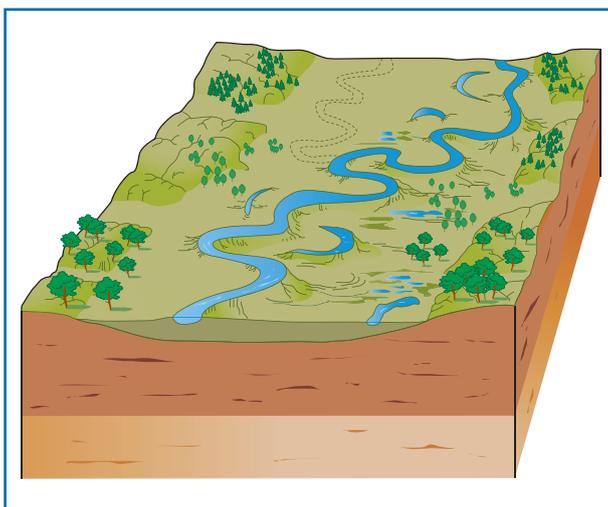
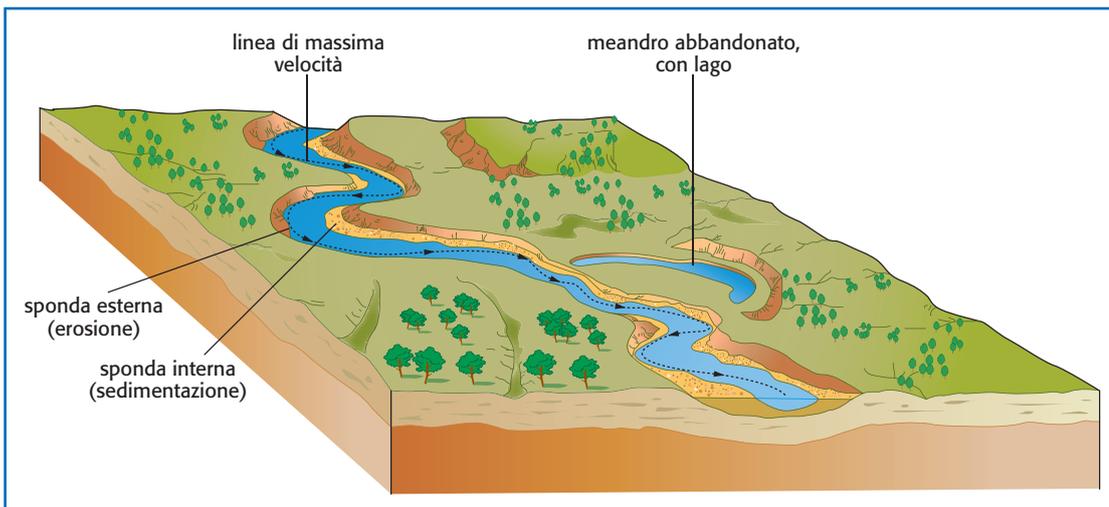




4. Stadio di maturità avanzato. Il fiume forma una serie di **anse** per erosione delle sponde esterne, dove la velocità della corrente è massima, e per il deposito dei sedimenti lungo le sponde interne, dove la velocità è minima.

I sedimenti depositati formano la **piana d'inondazione**, sommersa solo durante le inondazioni, che rende pianeggiante il fondo della valle. Infine, le anse assumono la forma di ampie curve sinuose dette **meandri**.

Lo sviluppo dei meandri determina un allungamento del letto del fiume e una diminuzione della pendenza che fa diminuire la velocità della corrente.



5. Stadio di vecchiaia. I meandri raggiungono il massimo sviluppo, per cui la velocità della corrente è molto bassa e innesca i processi di sedimentazione. Le valli sono molto larghe e con un **profilo a V** molto aperto e la piana di inondazione raggiunge il massimo sviluppo. Meandri abbandonati possono formare laghi e paludi. La figura sopra indica, con una linea tratteggiata, la linea di massima velocità della corrente (**filone**). Per l'attrito dell'acqua con il letto, essa normalmente si trova pressappoco alla stessa distanza tra le due sponde, ma in corrispondenza delle anse e dei meandri si sposta verso la sponda più esterna, che viene erosa. Sulla sponda interna, dove la velocità è minore, i materiali erosi sono depositati.



- **PIETRIFICAZIONE O MINERALIZZAZIONE.** Dopo la morte dell'organismo, le parti molli si decompongono, mentre le strutture di sostegno animali o vegetali rimangono sepolte in un sedimento e, lentamente, le sostanze che le compongono sono sostituite da sostanze inorganiche (generalmente carbonato di calcio, silice o pirite) che circolano in soluzione nel sedimento.

- **IMPREGNAZIONE.** Le sostanze che compongono le strutture dell'organismo si impregnano con i minerali circolanti nell'ambiente di seppellimento che vengono assorbiti e precipitano al loro interno.

- **CALCHI O MODELLI.** La cavità interna del guscio di un animale, come la conchiglia di un mollusco, si può riempire di sali minerali o di sedimenti, che formano un **calco interno** del guscio; nel tempo, il guscio può dissolversi (Figura 1).

I **calchi esterni** si formano invece quando l'organismo lascia l'impronta della sua forma esterna nel sedimento che lo avvolge e che consolida; successivamente la forma viene riempita di altri materiali, come l'argilla, che riproducono fedelmente la forma esterna dell'organismo (Figura 2).

- **CARBONIZZAZIONE.** È tipica dei vegetali e si verifica in ambienti poveri di ossigeno. La sostanza organica fermenta, perdendo tutti i suoi elementi, come l'idrogeno, l'ossigeno e l'azoto, tranne il carbonio che si concentra progressivamente.

- **INCLUSIONE.** L'intero organismo rimane intrappolato nell'ambra, una resina fossile, o nel ghiaccio. L'organismo si conserva pressoché integro. Esempi sono gli insetti (ma anche fiori e foglie) conservati nell'ambra e i mammoth della Siberia conservati nel ghiaccio.

- **TRACCE FOSSILI.** Sono orme, escrementi (coproliti), nidi e offrono informazioni sulle abitudini alimentari e sul comportamento degli organismi.



Figura 1 Calco interno di una rudista del Cretaceo superiore (Ruvo di Puglia, Bari).



Figura 2 Calco esterno di un mollusco gasteropode.



Un'**estinzione di massa** è un evento durante il quale un grande numero di specie viventi si estingue in un tempo geologico relativamente breve. Nell'eone Fanerozoico si sono verificate almeno cinque grandi estinzioni di massa.

1. Ordoviciano superiore (circa 444 milioni di anni fa): riguardò circa l'85% delle specie allora viventi. Fu probabilmente causata dai raggi gamma provocati dall'esplosione di una supernova.

2. Tardo Devoniano (circa 375 milioni di anni fa): interessò circa l'82% delle specie viventi.

3. Permiano-Triassico (circa 251 milioni di anni fa): l'estinzione di massa più catastrofica di tutti i tempi causò la scomparsa di circa il 96% delle specie animali marine. Potrebbe essere stata causata dall'impatto di un enorme meteorite o da un intenso episodio di vulcanismo.

4. Triassico-Giurassico (circa 180 milioni di anni fa): fu dovuta a un aumento di temperatura di circa 5°C che, al termine del Triassico, provocò l'estinzione di circa il 76% delle specie viventi, tra le quali molti anfibi primitivi, e l'84% dei molluschi bivalvi.

5. Cretaceo-Terziario (circa 65 milioni di anni fa): determinò l'estinzione di circa il 76% di tutte le specie viventi, compresi i dinosauri. Nel 1980 il premio Nobel per la chimica Luis Álvarez rivelò la presenza di una concentrazione insolita di iridio, un elemento chimico piuttosto raro sulla Terra ma comune nelle meteoriti, in alcune rocce risalenti al limite K-T (abbreviazione per Cretaceo-Terziario) vicino a Gubbio: egli avanzò l'ipotesi che questa estinzione fosse stata provocata dall'impatto di un grosso meteorite. Recentemente nella penisola dello Yucatán è stata individuata un'enorme struttura circolare che potrebbe essere interpretata proprio come il cratere generato dall'impatto del meteorite (Figura 1). Quest'ultimo avrebbe avuto un diametro di almeno 10 km e avrebbe colpito la Terra alla velocità di quasi 30 km/s, liberando un'energia pari a 10 000 volte quella che avrebbe liberato tutto l'arsenale nucleare mondiale disponibile ai tempi della guerra fredda.

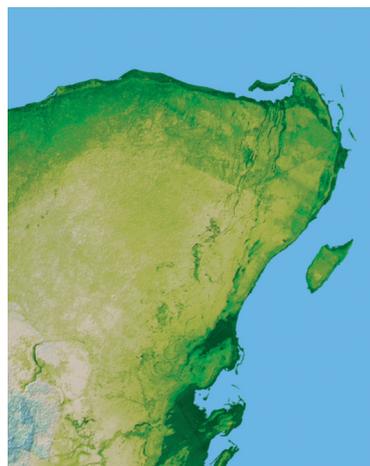


Figura 1 Immagine della Penisola dello Yucatán ottenuta con la tecnica della topografia radar che rivela la presenza di un cratere dell'ampiezza di 180 km. Il cratere si sarebbe formato in seguito all'impatto di un grosso meteorite che determinò l'estinzione di massa verificatasi alla fine del Paleozoico (NASA/JPL-Caltech).



Il microscopio ottico e le sue parti

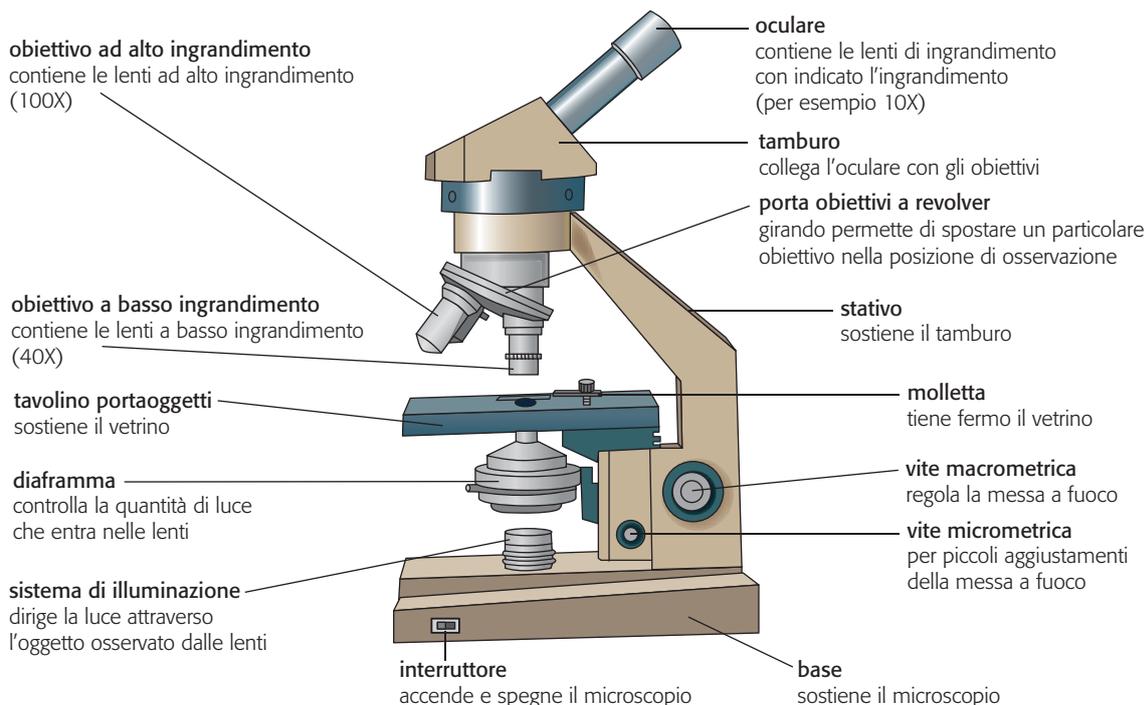
Nei laboratori di biologia è comunemente adoperato il microscopio ottico. Si compone di tre parti principali:

- **sistema di illuminazione**, costituito da una lampada al di sopra della quale si trova un condensatore, che serve per concentrare il fascio luminoso sul preparato. Spesso vi è anche un diaframma a iride che può allargare o restringere il fascio emesso dalla lampada. Nei modelli più semplici la lampada è sostituita da uno specchio, che cattura e concentra i raggi solari;
- **sistema di sostegno**, costituito dallo **stativo** e dal **tavolino portaoggetti**. Sul tavolino è spesso montato un sistema di viti che permette lo spostamento del vetrino su cui è allestito il preparato, in senso orizzontale;
- **sistema di osservazione**, costituito dal **tamburo** che porta superiormente l'**oculare** e inferiormente una serie di **obiettivi** montati su un supporto girevole (a revolver) che, ruotando, consente di cambiarli. Un oggetto può essere osservato chiaramente solo quando si trova a una certa distanza dall'obiettivo. Tale distanza non è costante, ma decresce all'aumentare dell'ingrandimento. La sua regolazione è detta "messa a fuoco" e si effettua per mezzo di due viti situate ai lati dello

stativo: la **vite macrometrica**, con la quale è possibile effettuare spostamenti ampi, e la **vite micrometrica**, per un aggiustamento più fine. Quest'ultima va usata spesso durante l'osservazione, perché, imprimendole piccoli spostamenti in avanti e indietro, consente di mettere a fuoco i vari livelli del preparato in esame (focheggiatura). Gli **obiettivi** contengono una serie di lenti sovrapposte che danno un'immagine capovolta e ingrandita dell'oggetto osservato. Il loro ingrandimento varia in genere da 5 volte (5X) a 100 volte (100X) e, solitamente, in un revolver ne sono montati tre (10X, 40X e 100X). L'**oculare** è un cilindro contenente in genere due lenti e ingrandisce da 4 a 16 volte (solitamente 10X) l'immagine fornita dagli obiettivi.

I **microscopi binoculari**, ossia dotati di due oculari, consentono l'osservazione con entrambi gli occhi, rendendo più comoda la visione.

L'**ingrandimento totale** del microscopio si calcola moltiplicando l'ingrandimento segnato sull'oculare per quello sull'obiettivo. Per esempio, se l'oculare è un 10X e l'obiettivo è un 40X, l'ingrandimento sarà di 400 volte (400X). Nei binoculari l'ingrandimento totale calcolato deve essere moltiplicato anche per il fattore del tamburo (generalmente 1,25).



Laboratorio:

Uso del microscopio

Obiettivi e abilità

- Utilizzare in modo corretto il microscopio ottico.
- Preparare un vetrino per l'osservazione al microscopio.
- Stimare le dimensioni del preparato osservato.

Materiale occorrente

Microscopio ottico a ingrandimento 10X, 40X (o 60X), 100X, forbici, pinzette, vetrini, portaoggetto e coprioggetto, contagocce, una lametta da rasoio con un unico filo, glicerina diluita (oppure olio di oliva), un tappo di sughero (o un pezzetto di midollo di sambuco).

Procedimento

Con la lametta taglia alcune fette di sughero come mostrato nella Figura 1. Tra le sezioni ottenute, sceglينه una sufficientemente sottile e deponila su un vetrino entro una goccia di glicerina diluita. Copri con il coprioggetto appoggiandolo verticalmente al vetrino su un lato della goccia e facendolo poi cadere sopra lentamente. Premilo leggermente per fare uscire l'eccesso di glicerina. Il coprioggetto deve aderire completamente al portaoggetto senza intrappolare bolle d'aria.

Appoggia il vetrino sul tavolino del microscopio e fissalo. Ruota il portaobiettivo a revolver in modo da posizionare quello a minore ingrandimento al di sopra del preparato (devi sentire uno scatto). Accendi la lampada del microscopio e, guardando di lato, sposta verso l'alto il tavolino finché la lente dell'obiettivo sfiora il preparato, ruotando la vite macrometrica. Attenzione: il vetrino non deve toccare l'obiettivo! Guardando attraverso gli oculari comincia quindi ad abbassare lentamente il tavolino, sempre adoperando la vite macrometrica, fino a vedere un'immagine. A questo punto metti a fuoco con la vite micrometrica. Se necessario, aggiusta l'intensità

della luce o l'apertura del diaframma. Durante l'osservazione, poiché i piani del preparato non possono essere tutti contemporaneamente a fuoco, è utile focheggiare, con piccoli movimenti in avanti e indietro della vite micrometrica. Passa quindi a un ingrandimento maggiore, senza spostare il vetrino. Dato che la distanza tra il preparato e l'obiettivo diminuisce all'aumentare dell'ingrandimento, occorrerà mettere nuovamente a fuoco. Questa volta, però, gli spostamenti da effettuare saranno molto piccoli. Disegna le strutture osservate.

Rispondi

1. Quale forma hanno le cellule del sughero?
2. Si riconoscono delle strutture all'interno delle cellule?
3. Vi sono spazi tra una cellula e l'altra?
4. Perché il sughero galleggia?
5. Fino a quale ingrandimento riesci a migliorare la tua osservazione?
6. Riesci a stimare la grandezza di una cellula del sughero?
7. Se utilizzando un oculare 10X e un obiettivo 40X un oggetto appare lungo 4 mm, quale sarà la sua lunghezza reale?

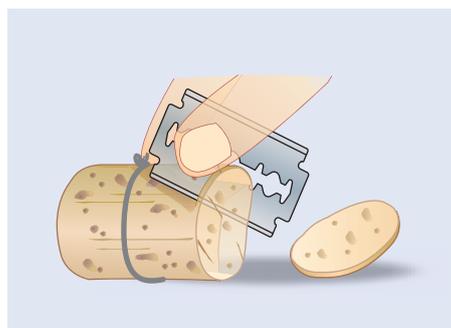


Figura 1



Modelli alternativi per il DNA

Il modello di cui abbiamo parlato finora è il modello della forma B del DNA (B-DNA) che, in condizioni fisiologiche, rappresenta la quasi totalità del DNA di una cellula.

Esistono però anche altre forme ad elica del DNA dette rispettivamente A-DNA e Z-DNA.

L'A-DNA ha una struttura a doppia elica che si avvolge a spirale nella stessa direzione di quella del B-DNA, ma ha uno spessore maggiore e le sue coppie di basi non sono perpendicolari all'asse dell'elica, ma inclinate.

Il Z-DNA ha anch'esso una struttura a doppia elica, ma questa volta il senso di avvolgimento è opposto rispetto alle forme B e A, e lo spessore della molecola è minore. I gruppi fosfato sono inoltre disposti a zigzag (da cui la sigla Z), poiché l'unità ripetitiva di ogni filamento non è un nucleotide, ma un dinucleotide formato dall'unione di un nucleotide purinico e uno pirimidinico. La scoperta della forma A e, soprattutto, della forma Z, sottolineano la flessibilità e la dinamicità del DNA, ampliando il modello classico proposto da Watson e Crick, illustrato in questa unità.

Il significato fisiologico di tali forme non è stato ancora scoperto. Sembra però che in certe situazioni il DNA possa convertirsi da una forma all'altra, il che farebbe supporre per una loro specifica funzione biologica.



Come funziona il sistema di membrane

La membrana nucleare, il RER, il REL, l'apparato di Golgi, i lisosomi, i fagosomi e la membrana cellulare costituiscono un unico **sistema membranoso integrato**. Segmenti di membrana, sintetizzati nel RE, possono infatti scorrere avanti e indietro tra queste strutture in maniera preordinata. Vescicole provenienti dal RE possono per esempio fondersi con l'apparato di Golgi e viceversa; vescicole provenienti dal Golgi possono fondersi con la membrana cellulare, e così via, in una serie di processi nei quali le membrane continuamente si integrano e vengono riciclate (Figura 1).

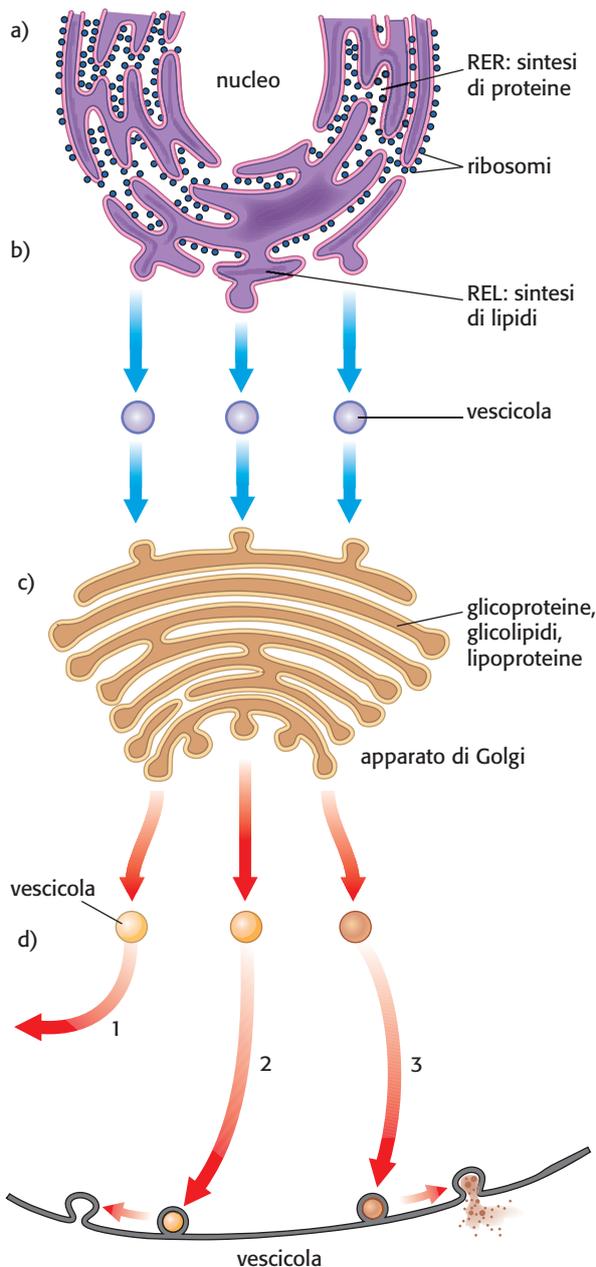


Figura 1 Rapporti tra reticolo endoplasmatico, apparato di Golgi e membrana plasmatica. I diversi organuli interagiscono come un sistema coordinato: le proteine sintetizzate nel RER (a) e i lipidi sintetizzati nel REL (b) sono trasportati per mezzo di vescicole all'apparato di Golgi (c), dove possono essere modificati chimicamente. Le molecole elaborate sono inglobate in nuove vescicole che possono avere compiti diversi (d): essere destinate ad altri distretti della cellula (1), formare nuova membrana plasmatica (2), riversare il loro contenuto all'esterno (3).



La scoperta dell'equazione della fotosintesi

Nel 1780 il chimico inglese **Joseph Priestley** (1733-1804) scoprì che le piante producono ossigeno. Se si accende una candela in un recipiente chiuso, essa consuma tutto l'ossigeno nel processo di combustione e si spegne. Lo stesso accade se vi mettiamo un topo, il quale, dopo aver utilizzato l'ossigeno per respirare, morirà soffocato. Priestley trovò, con un esperimento, che le piante erano in grado di "ripristinare l'aria che era stata inquinata da candele accese o dagli animali". Egli pose una piantina di menta e un topo sotto un recipiente di vetro capovolto in una bacinella d'acqua (Figura 1) e vide che l'animale sopravviveva anche dopo alcuni giorni. Ripeté l'esperienza sostituendo il topo con una candela: a conferma di quanto aveva osservato precedentemente, la candela non si spense. Ciò era dovuto al fatto che la pianta, grazie alla fotosintesi, aveva prodotto ossigeno.

Successivamente **Jan Ingenhousz** (1730-1799), medico olandese, eseguì numerosi esperimenti che condussero alla comprensione del ruolo essenziale svolto dalla luce nel processo fotosintetico: "Osservai che le piante non solo hanno la facoltà di correggere l'aria cattiva in sei o dieci giorni, crescendo in essa come indicavano gli esperimenti del Dr. Priestley, ma che esse attuano questo compito importante in modo completo in poche ore; che questa straordinaria operazione non è dovuta alla vegetazione ma all'influenza della luce del Sole sulle piante".

Successivamente il pastore svizzero **Jean Senebier** (1742-1809) dimostrò che la fotosintesi utilizzava l'"aria fissata", cioè la CO_2 , mentre **Theodore de Saussure** (1767-1845) identificò l'acqua come il secondo dei due

reagenti di questo processo. Egli dimostrò, infatti, che la somma dei pesi dei due prodotti della fotosintesi (la sostanza organica e l'ossigeno) era maggiore del peso della CO_2 consumata. Conoscendo la legge di Lavoisier, secondo la quale il peso dei prodotti deve essere uguale a quello dei reagenti, e considerando che le uniche sostanze che erano state fornite alle piante esaminate erano l'acqua, l'anidride carbonica e la luce, l'altro reagente doveva essere necessariamente l'acqua. Verso la fine del XVIII secolo l'equazione della fotosintesi poté così essere scritta in modo completo: si erano infatti identificati sia i suoi due reagenti (l'anidride carbonica e l'acqua) sia i suoi due prodotti (la materia organica e l'ossigeno) ed era stato compreso il ruolo chiave che la luce svolge nel processo.

Dopo circa 50 anni, il chirurgo tedesco **Julius R. Mayer** (1814-1878) riconobbe infine che i vegetali trasformano l'energia solare in energia chimica: "Le piante ricevono una forma di energia, la luce, e producono un'altra energia sotto forma di diversi composti chimici".



Figura 1
Priestley pose una piantina e un topo in un recipiente di vetro rovesciato nell'acqua.



La citodieresi nelle cellule animali e vegetali

La **citodieresi** consiste nella divisione del citoplasma e porta la cellula a separarsi in due parti pressoché uguali. La citodieresi differisce per alcuni aspetti nelle cellule animali e in quelle vegetali: quest'ultime contengono infatti anche la parete esterna, che rende il processo più complesso.

Nelle cellule animali (Figura 1), verso la fine della telofase, nella regione equatoriale comincia a formarsi un solco che diventa sempre più profondo, riducendo la

connessione tra le due cellule figlie sino a farla scomparire del tutto. Tale strozzatura è dovuta a un cordone di filamenti di actina che, contraendosi allo stesso modo di un cordone che circonda una borsa, stringe la cellula lungo la linea mediana. Questi filamenti sono infatti inseriti sulla membrana plasmatica e la loro contrazione trascina verso il centro della cellula la membrana stessa che, strozzandosi sempre più, forma il solco di separazione.

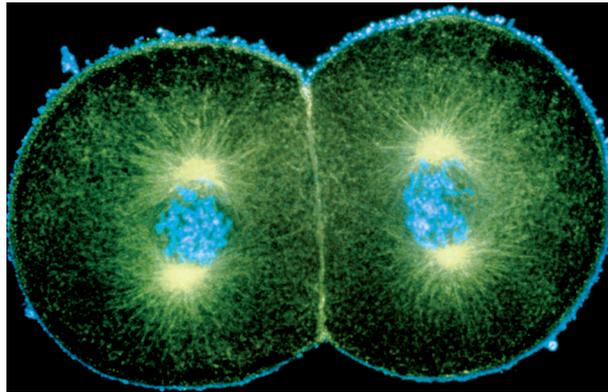


Figura 1 La citodieresi in una cellula animale. È ben evidente il solco di divisione.

Nelle cellule vegetali (Figura 2) la presenza della parete impedisce la formazione di una strozzatura. In mezzo ai due nuovi nuclei si forma una **piastra equatoriale** tramite la fusione di una serie di vescicole, ripiene di polisaccaridi, provenienti dall'apparato di Golgi. Quando la separazione tra le due nuove cellule è completata, sulla piastra si depositano nuovi polisaccaridi e si viene così a costituire la **lamella mediana**. Essa è impregnata di **pectina**, che

le conferisce una consistenza simile alla gelatina, ed è rivestita dalla membrana cellulare. Su ognuno dei due lati della lamella si forma poi una parete primaria, costituita da microfibrille di cellulosa disposte in strati orientati perpendicolarmente tra loro. Durante questo processo le cellule vegetali possono formare anche una **parete secondaria**, generalmente non elastica a causa delle sostanze di cui è impregnata (lignina).

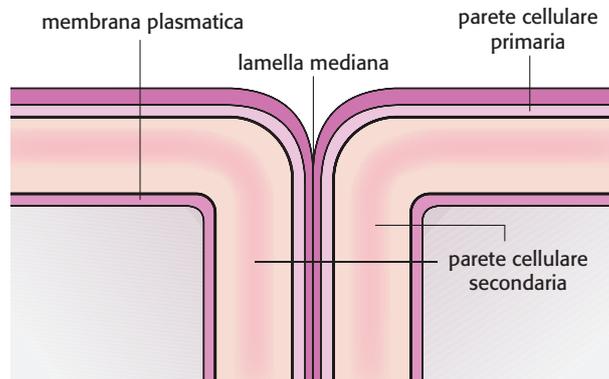


Figura 2 Formazione della lamella mediana e struttura della parete in seguito alla citodieresi di una cellula vegetale.



Il controllo della crescita cellulare e le cellule tumorali

Il ciclo cellulare è sottoposto a diversi fattori di regolazione, solo in parte noti.

Sicuramente uno dei fattori chiave è il **rapporto tra la superficie e il volume** di una cellula. Quando una cellula aumenta le sue dimensioni, il volume cresce molto più rapidamente della superficie (Figura 1). Nelle cellule di grandi dimensioni diventa perciò molto difficile per la membrana cellulare regolare il flusso delle molecole che escono ed entrano.

In diversi tipi di cellule animali vi sono **fattori di crescita** capaci di indurre la divisione cellulare quando le loro dimensioni aumentano troppo.

Altri fattori sembrano invece inibire la crescita cellulare. In laboratorio, si è osservato che le cellule animali coltivate in capsule di Petri (recipienti di vetro di forma cilindrica molto bassi forniti di un apposito coperchio e contenenti un'adeguata soluzione nutritiva) si dividono fino a formare uno strato continuo di cellule che ricoprono il fondo della capsula. Appena le cellule vengono in contatto tra loro, cessano di dividersi. Questo fenomeno è noto come **inibizione da contatto** e probabilmente è dovuto a particolari sostanze liberate dalle cellule.

A volte però una cellula perde la capacità di rispondere ai sistemi di regolazione e continua a crescere e a dividersi in modo incontrollato, generando una popolazione di cellule anormali. Questa trasformazione è detta **neoplastica** e la cellula così formata si definisce **cellula cancerosa**. L'ammasso denso di cellule anormali che ne deriva costituisce un **tumore**. I tumori benigni rimangono localizzati nella parte del corpo in cui sono stati prodotti; sono abbastanza frequenti e possono essere asportati chirurgicamente senza danneggiare l'individuo.

Invece, il termine **cancro** individua in genere i tumori maligni: le cellule cancerogene consumano fattori nutritivi a una velocità superiore rispetto alle cellule normali da cui derivano; inoltre possono secernere sostanze che favoriscono la loro crescita.

Esse si annidano all'interno dei tessuti e nel tempo si sostituiscono alle cellule normali invadendo l'organo;

alcune cellule possono entrare nel sistema circolatorio e distribuirsi in tutto l'organismo.

Quando una cellula cancerosa arriva in un nuovo distretto si divide, formando una nuova colonia di cellule detta **metastasi**. Queste possono essere rallentate o prevenute con l'assunzione di particolari farmaci o con la radioterapia, che colpisce le cellule in divisione. I tumori maligni asportati chirurgicamente spesso si riformano.

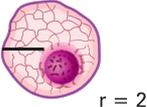
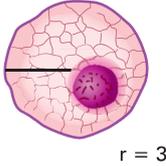
	area superficiale $A = 4 \pi r^2$	volume $V = \frac{4}{3} \pi r^3$	rapporto $\frac{A}{V}$
 $r = 1$	$A = 12,6$	$V = 4,2$	$\frac{126}{42} = 3$
 $r = 2$	$A = 50,3$	$V = 33,5$	$\frac{503}{335} = 1,5$
 $r = 3$	$A = 113,1$	$V = 113,1$	$\frac{1131}{1131} = 1$

Figura 1 Paragoniamo la cellula a una sfera: il volume è quello del citoplasma e la superficie quella della membrana plasmatica. Calcolando il volume e le superfici di sfere di raggio 1, 2, 3, vediamo che, all'aumentare del raggio, il volume cresce più rapidamente della superficie. Quando le dimensioni di una cellula superano un certo valore soglia, la superficie di membrana è insufficiente a provvedere allo scambio di sostanze. La cellula smette di crescere e, dopo un certo tempo, si divide in due cellule più piccole, che hanno un rapporto superficie/volume maggiore e quindi più vantaggioso ai fini degli scambi molecolari.



Come la meiosi produce variazione

La meiosi è causa di variazione attraverso tre meccanismi.

1. La ripartizione casuale dei due cromosomi omologhi durante la metafase I (Figura 1). Se una cellula contiene n coppie di cromosomi, la meiosi può produrre 2^n tipi diversi di cellule aploidi. Una cellula con soli 4 cromosomi ($n = 2$) può produrre pertanto quattro diversi tipi di gameti, una cellula con 46 cromosomi ($n = 23$) può produrre ben 2^{23} tipi di cellule aploidi diverse. Si tratta di un numero enorme di combinazioni possibili, ben 8 388 608!

2. La fusione casuale dei gameti durante la fecondazione. Un nuovo individuo è il prodotto della fusione di due gameti "a caso" provenienti da individui diversi. Nell'esempio di due coppie di cromosomi omologhi (Figura 2), due individui potranno produrre ciascuno attraverso la meiosi quattro tipi diversi di gameti. Poiché ognuno dei quattro tipi del primo individuo potrà fecondare ciascuno dei quattro tipi di gameti dell'altro, si potranno ottenere nello zigote $4 \cdot 4 = 16$ diverse combinazioni (in realtà le combinazioni sono soltanto nove, cioè 3^2 , poiché alcune sono ripetute più volte). In generale, per n coppie di cromosomi, il numero massimo di combinazioni possibili è $2^n \cdot 2^n = 2^{2n}$.

3. La ricombinazione genetica. Con il crossing over i cromatidi di una tetrate si scambiano alcune porzioni di DNA, formando cromosomi con una diversa combinazione di geni rispetto a quella di partenza. Questo meccanismo è detto ricombinazione genetica.

Le cellule ottenute per meiosi contengono pertanto non solo una combinazione casuale di cromosomi, ma anche cromosomi con una sequenza del DNA nuova rispetto a quella dei cromosomi della cellula madre.

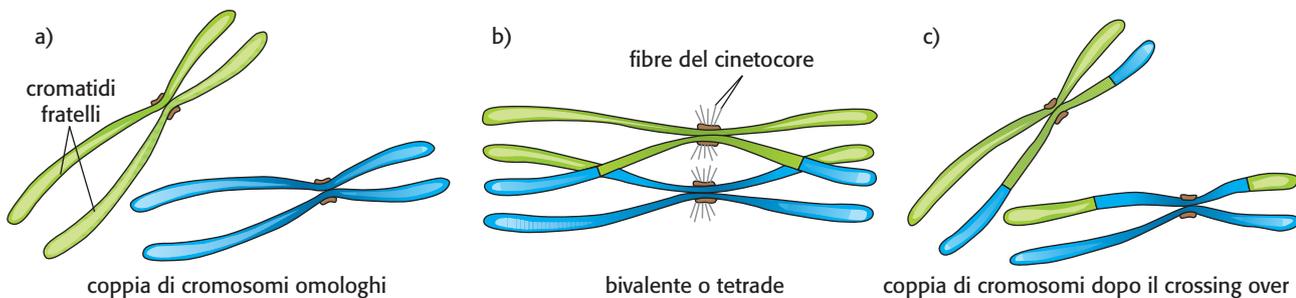
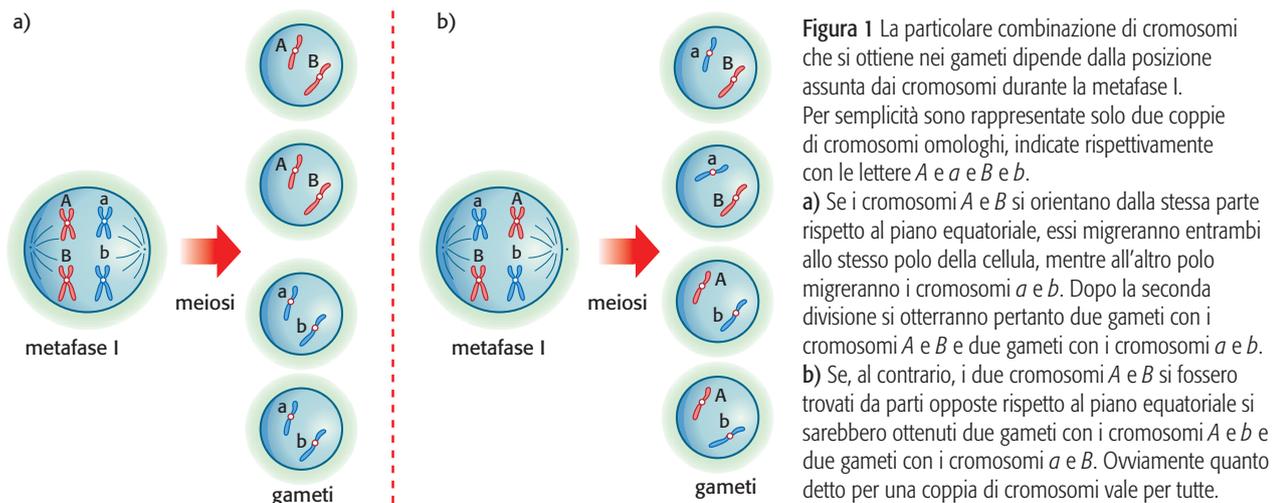


Figura 2 Il crossing over si verifica durante la profase I: a) una coppia di cromosomi omologhi costituiti ciascuno da due cromatidi; b) formazione delle tetradi e scambio corrispondenti di DNA; c) cromosomi finali con i cromatidi non più identici.



A una pianta con fenotipo dominante (per esempio, liscio) può corrispondere sia il genotipo AA (omozigote) sia quello Aa (eterozigote). Per sapere quale dei due è quello esatto possiamo utilizzare il reincrocio o *test cross*, che **consiste nell'incrocio tra un individuo a fenotipo dominante, di cui non si conosce il genotipo, con l'omozigote recessivo**. Se tutti i membri della nuova generazione presentano unicamente la forma dominante del carattere, l'individuo testato sarà omozigote dominante; se invece circa la metà della prole manifesta il carattere recessivo, l'esemplare in questione sarà eterozigote (Figura 1).

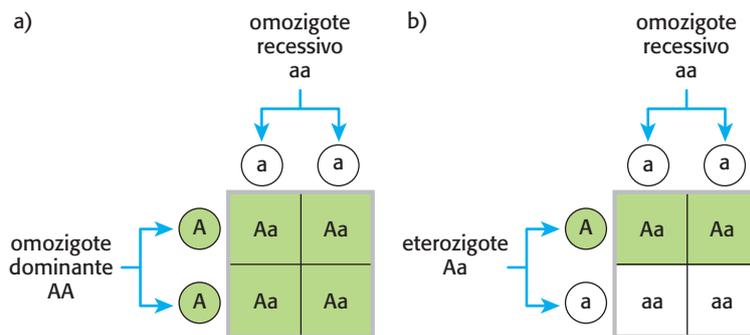


Figura 1 Il reinkrocio viene utilizzato per stabilire il genotipo di un individuo che manifesta fenotipo dominante.

a) Se l'individuo a genotipo sconosciuto è omozigote, incrociandolo con l'omozigote recessivo si ottengono individui tutti a fenotipo dominante.

b) Se l'individuo a genotipo sconosciuto è eterozigote, incrociandolo con l'omozigote recessivo circa la metà dei figli mostrerà il fenotipo dominante, mentre l'altra metà quello recessivo.



L'influenza dell'ambiente

L'espressione di un gene è sempre il risultato della sua interazione con l'ambiente interno ed esterno. Diversi sono i fattori che possono entrare in gioco: la temperatura, gli ormoni, il pH e l'azione di altri geni. Per questo motivo il fenotipo di un individuo è profondamente influenzato dall'ambiente. Un esempio curioso è dato dalla colorazione del mantello dei gatti siamesi, nei quali un gene per il colore del pelo si manifesta solo in quelle zone del corpo che sono più esposte al freddo, come le zampe, le orecchie, il muso e l'estremità della coda (Figura 1). Le influenze interne, come la temperatura interna, il pH, le concentrazioni di ioni e l'interazione con gli altri geni, sono importanti soprattutto durante lo sviluppo embrionale. Un esempio dell'influenza degli ormoni sull'espressione dei geni è costituito dalle trasformazioni che si verificano nei maschi alla pubertà.



Figura 1 La colorazione di certe zone esposte della pelliccia di alcuni animali è dovuta a influenze ambientali.



Genetica umana: mutazioni e malattie

Quando la mutazione di un allele dominante localizzato su un autosoma dà origine a un allele recessivo che determina l'insorgenza di una malattia o di un difetto genetico, si parla di **eredità autosomica recessiva**. Tale condizione si manifesta solo negli individui omozigoti recessivi, mentre gli eterozigoti non presentano alcun sintomo. Un esempio è la **galattosemia**, una malattia dovuta all'alterazione del gene che codifica la sintesi di uno degli enzimi implicati nel catabolismo del galattosio, uno zucchero del lattosio, il principale carboidrato del latte. L'**anemia falciforme** è un'altra malattia autosomica recessiva dovuta alla sostituzione nella molecola dell'emoglobina di un amminoacido (acido glutammico) con un altro (valina). Le molecole difettose tendono a formare delle strutture rigide di forma allungata che precipitano sotto forma di cristalli. I globuli rossi con grandi quantità di tali molecole assumono la caratteristica forma a falce (Figura 1) e sono più fragili rispetto ai globuli rossi normali: possono anche ostruire i capillari sanguigni, provocando coaguli che impediscono il rifornimento di ossigeno agli organi vitali.

Gli alleli responsabili delle malattie genetiche recessive allo stato eterozigote non provocano in pratica alcun effetto in quanto l'altro allele (normale) può produrre una quantità spesso sufficiente del prodotto specificato dal gene.

Quando invece la causa di una malattia genetica è un allele dominante localizzato su un autosoma, esso dovrà necessariamente esprimersi e alcuni provocano gravi malattie genetiche nell'uomo. Tali casi di **eredità autosomica dominante** si spiegano o per il sopravvenire di nuove mutazioni che, anche se con frequenza bassissima, continuano sempre a verificarsi, o perché causano malattie nell'età adulta, quando la maggior parte degli individui ha già avuto figli. Tra queste condizioni ricordiamo la **corea di Huntington**, caratterizzata da una degenerazione progressiva del sistema nervoso che compare generalmente dopo i 40 anni e l'**acondroplasia**, difetto che comporta un anomalo sviluppo delle cartilagini, che determina a sua volta gambe e braccia molto corte, senza però alterare la capacità riproduttiva dell'individuo.

Anche le **malattie ereditarie legate al sesso** (emofilia, daltonismo) sono dovute a mutazioni geniche localizzate sul cromosoma X.



Figura 1
Aspetto al microscopio ottico
di un globulo rosso falciforme
e di due normali.



Il DNA come materiale ereditario

Per lungo tempo i biologi hanno cercato di identificare quale molecola fosse in grado di codificare le caratteristiche genetiche di un individuo. L'attenzione si era concentrata sulle proteine e sugli acidi nucleici. Entrambe infatti possono "contenere" informazioni rispettivamente sotto forma di sequenze di amminoacidi e di nucleotidi. Di seguito citiamo le tappe fondamentali che portarono all'identificazione degli acidi nucleici come materiale ereditario e al modello della struttura del DNA.

Il DNA possiede infatti entrambe le caratteristiche necessarie per poter essere il materiale ereditario; **contiene le informazioni nella sua sequenza di basi e forma copie precise di se stesso** destinate alle cellule figlie grazie alla specificità dell'accoppiamento delle basi.

- | | |
|------|---|
| 1869 | Fredrich Miescher identifica gli acidi nucleici. |
| 1928 | Frederick Griffith osserva il trasferimento di materiale genetico tra batteri, dimostrando l'esistenza di un fattore trasformante. |
| 1943 | Oswald T. Avery (1877-1955), Colin M. MacLeod (1909-1972) e Maclyn McCarty (1911-2005) correlano il fattore trasformante a un acido nucleico del tipo del deossiribosio. |
| 1950 | Linus C. Pauling (1901-1994) dimostra che le proteine hanno spesso una struttura a elica mantenuta da legami idrogeno e suggerisce una simile struttura per il DNA. |
| 1951 | R. Herriot, lavorando sui batteriofagi, suggerisce che i virus possono agire come vettori dei fattori trasformanti. |
| 1951 | Ervin Chargaff (1905-2002) trova che la proporzione delle singole basi azotate varia da una specie all'altra, mentre è uguale negli individui della stessa specie e che in tutti gli esseri viventi la percentuale di adenina è sempre uguale a quella di timina e la percentuale di citosina è uguale a quella di guanina. |
| 1953 | Alfred D. Hershey (1908-1997) e Martha Chase (1927-2003) confermano, con esperimenti sui batteriofagi, che il fattore trasformante è il DNA, che è quindi il depositario dell'informazione genetica. |
| 1953 | Maurice H.F. Wilkins (1916-2004) e Rosalind Franklin (1920-1958) individuano ai raggi X la struttura elicoidale del DNA. |
| 1953 | James D. Watson (1928) e Francis H.C. Crick (1916-2004) deducono la struttura tridimensionale del DNA proponendo il modello a doppia elica. Entrambi ricevono il premio Nobel per la medicina nel 1962. |



Vi sono diversi meccanismi con cui i geni possono trasferirsi naturalmente da una cellula all'altra.

• **La coniugazione batterica.** La maggior parte dei batteri possiede, oltre al cromosoma, anche altre piccole molecole di DNA circolari, dette **plasmidi**. I più importanti sono i **fattori F**, o di fertilità, e i **fattori R**, responsabili della resistenza a molti farmaci, come gli antibiotici. I fattori F controllano la formazione di lunghe strutture proteiche, dette **pili**. Le cellule che li contengono sono dette F^+ (donatrici), quelle che ne sono prive, e quindi non hanno pili, F^- (riceventi). I pili formano un ponte citoplasmatico che consente di trasferire il plasmide da una cellula F^+ a una F^- , che diventa a sua volta donatrice. Il processo è detto **coniugazione batterica** (Figura 1). Questa supplisce alla mancanza della riproduzione sessuale, permettendo uno scambio di geni all'interno di una popolazione, e aumentando quindi la variabilità su cui agisce la selezione naturale.

• **I virus e la trasduzione.** I **virus** sono costituiti semplicemente da una molecola di acido nucleico racchiusa in un involucro proteico, detto **capside**. Possono duplicarsi solo sfruttando l'apparato biosintetico di una cellula ospite (parassiti obbligati) nella quale introducono il proprio materiale genetico, il cosiddetto **cromosoma virale**. Quest'ultimo può essere costituito da DNA o da RNA e può essere a filamento singolo o doppio, lineare o circolare, con lunghezza variabile da circa 5000 a 180 000 nucleotidi.

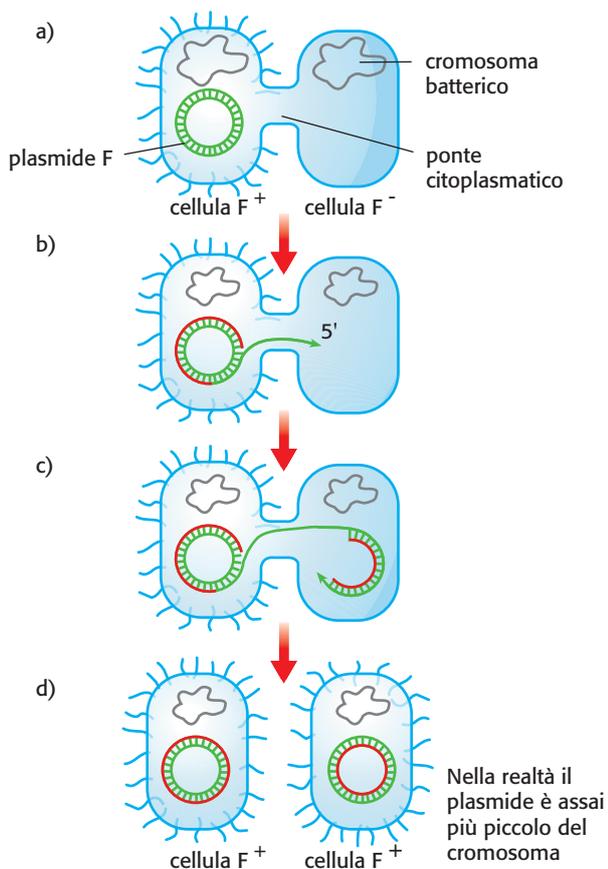


Figura 1 La coniugazione batterica. a) Si forma un ponte citoplasmatico tra la cellula F^+ e quella F^- attraverso il quale passa un filamento singolo di DNA di un plasmide. b) Man mano che il filamento si trasferisce, viene ricostituito nella cellula donatrice sullo stampo dell'altro filamento, secondo un meccanismo detto a cerchio rotante (il nuovo DNA è indicato in rosso). c) Nella cellula ricevente, il filamento trasferito fa da stampo per la sintesi di un filamento complementare (in rosso); le estremità sono poi riunite. d) Entrambe le cellule contengono ora una copia del plasmide (F^+).



- I **batteriofagi** o **fagi**, ossia i virus dei batteri, sono costituiti da una testa di forma esagonale, contenente l'acido nucleico, e da una coda piuttosto complessa con la quale si ancorano alla cellula batterica (Figura 2). Alcuni virus possono inserire il loro DNA in siti specifici del cromosoma batterico, duplicandosi con esso; in questo modo, a ogni generazione trasmettono il proprio genoma alle cellule figlie. I fagi inseriti nel DNA batterico sono denominati profagi e le cellule batteriche che li possiedono batteri lisogeni. Essi sono così in grado di rimanere allo stato latente (sono detti fagi temperati) per diverse generazioni cellulari prima di dare inizio a un ciclo infettivo, o litico (Figura 3).

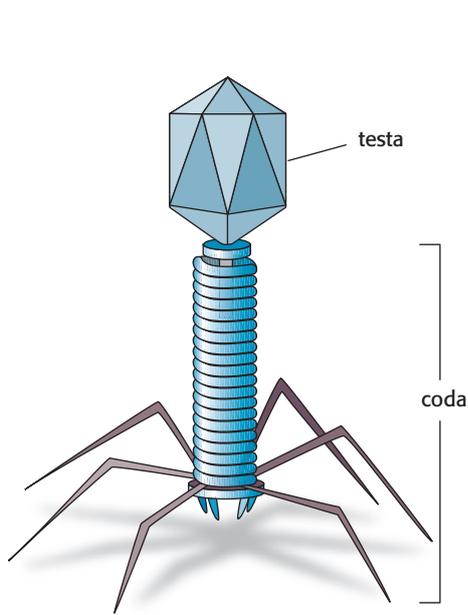


Figura 2 Struttura di un batteriofago.

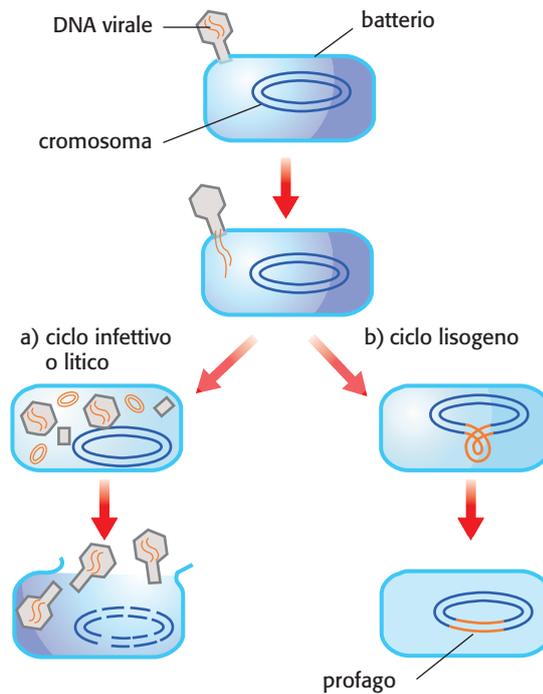


Figura 3 Ciclo litico (infettivo) e lisogeno di un batteriofago. Quando un fago infetta un batterio possono verificarsi due tipi di eventi: a) nel ciclo litico il DNA virale entra nella cellula e dirige la sintesi di nuove particelle virali; b) nel ciclo lisogeno il DNA virale si inserisce nel cromosoma batterico, duplicandosi con esso e trasferendosi così alle cellule figlie a ogni divisione cellulare.

Alcuni virus si inseriscono anche nei cromosomi delle cellule eucarioti e, in questi casi, vengono detti provirus. Il loro acido nucleico può essere il DNA o l'RNA. In quest'ultimo caso si parla di retrovirus, ai quali appartiene il virus HIV, che nell'uomo provoca la sindrome da immunodeficienza acquisita (AIDS). I retrovirus hanno nel capsido uno speciale enzima, detto trascrittasi inversa, che, utilizzando l'RNA virale come stampo, sintetizza una molecola di DNA a doppio filamento che può inserirsi nel cromosoma della cellula ospite. A questo punto il DNA virale, utilizzando l'apparato biosintetico dell'ospite, sintetizza nuove molecole di RNA e di proteine che vengono poi impacchettate in nuove particelle virali.

Si dice trasduzione il trasferimento di DNA da una cellula all'altra tramite un virus.

- I **trasposoni** o **elementi genetici trasponibili** sono dei segmenti di DNA che si spostano da un cromosoma all'altro o da una zona all'altra dello stesso cromosoma inserendosi in corrispondenza di specifiche sequenze, dette siti bersaglio. Il loro distacco e la loro inserzione in un nuovo sito avvengono grazie a un enzima, la **trasposasi**, codificato da un gene in essi contenuto. Le estremità dei trasposoni sono formate da poche basi ripetute o in modo diretto (ATTTCAG a entrambe le estremità, per esempio) o inverso (ATTTCAG da una parte e GACTTA dall'altra).



Le mutazioni genomiche

Si verificano quando un individuo possiede un numero di cromosomi diverso da quello caratteristico della specie. La **poliploidia** è caratterizzata da un numero multiplo di corredi cromosomici completi ed è abbastanza frequente nei vegetali. Le **aneuploidie** (letteralmente: “ploidie non corrette”), invece, sono anomalie nel numero dei cromosomi, generalmente limitate a uno o pochi cromosomi. I casi più frequenti sono quelli della **trisomia** (un cromosoma in più) e della **monosomia** (un cromosoma in meno) che si verificano quando una coppia di cromosomi è rappresentata rispettivamente da 3 o da un solo cromosoma. La causa più frequente è la non disgiunzione di una coppia di cromosomi durante l'anafase meiotica I o II, che dà origine a gameti con un assetto cromosomico alterato (Figura 1). Dall'unione di una cellula uovo con $(n + 1)$ cromosomi con uno spermatozoo normale (n), possono nascere embrioni trisomici ($2n + 1$), con un cromosoma in più. Un esempio è la **sindrome di Down** (o trisomia del 21), caratterizzata dalla presenza di tre copie del cromosoma numero 21. Gli individui sono affetti da un insieme di sintomi (sindrome), che vanno da un più o meno grave ritardo mentale ad anomalie nello sviluppo scheletrico e

muscolare, fino a difetti cardiaci. Caratteristica è anche la presenza di una piega cutanea all'angolo della palpebra che, insieme con altri tratti somatici facciali, ricorda le caratteristiche della razza mongola (di qui l'altro nome della sindrome di mongolismo). La non disgiunzione può riguardare anche i cromosomi sessuali. La **sindrome di Turner** ($X0$) risulta dalla fecondazione di una cellula uovo priva di cromosomi sessuali (0) con un normale spermatozoo (X) per dare $X0$ (la condizione $Y0$ non è vitale); gli individui affetti presentano un fenotipo femminile anomalo, con ovaie non funzionanti e quindi sterilità e assenza di sviluppo alla pubertà dei caratteri sessuali secondari. La **sindrome di Klinefelter** (XXY) risulta dalla fecondazione di una cellula uovo (XX) con uno spermatozoo (Y) per dare XXY (è possibile ottenere anche individui XXX , detti “superfemmine”, una situazione che generalmente non comporta difetti evidenti). Gli individui affetti hanno fenotipo maschile, sono sterili e il quoziente intellettivo è ridotto; alla pubertà i caratteri sessuali secondari sono poco sviluppati o addirittura di tipo femminile. Entrambe le sindromi sono molto rare.

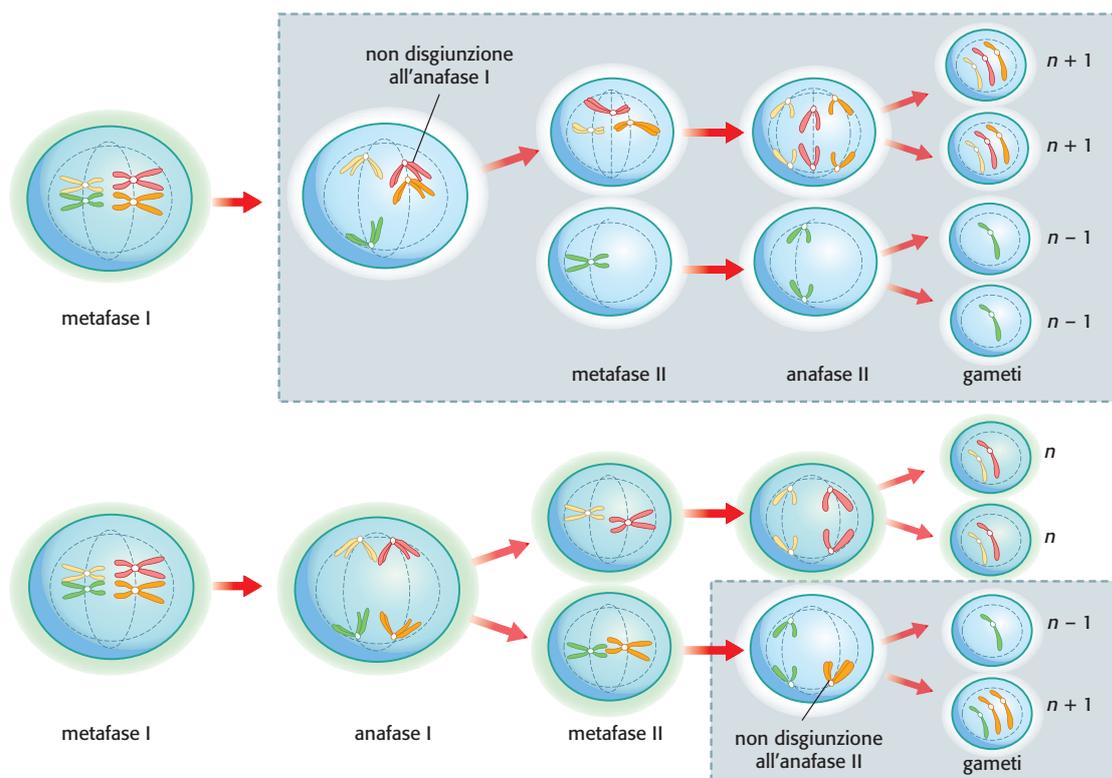


Figura 1 La non disgiunzione determina la produzione di gameti anomali contenenti o un cromosoma in più ($n + 1$) o un cromosoma in meno ($n - 1$).



Il modello dell'operone

Una cellula batterica non produce tutte le proteine possibili in continuazione, ma solo quando queste si rendono necessarie e solo nel quantitativo richiesto. È chiaro quindi che devono esistere dei meccanismi specifici di regolazione della sintesi proteica. Nei procarioti tale regolazione si verifica prevalentemente a livello della trascrizione.

Uno dei meccanismi di regolazione meglio conosciuti è quello che controlla la produzione degli enzimi necessari per l'utilizzazione di uno zucchero: il **lattosio**. Le cellule di *E. coli* che utilizzano il lattosio hanno infatti bisogno di un enzima, la β -galattosidasi, per poter scindere la molecola di lattosio, un disaccaride, nei due monosaccaridi che la compongono: il glucosio e il galattosio. Nelle cellule che crescono in presenza di lattosio sono pertanto presenti alcune migliaia di copie di **β -galattosidasi**. Al contrario, le cellule che crescono in assenza di lattosio sono praticamente prive di tale enzima. È chiaro quindi che è proprio la presenza del lattosio a indurre la sintesi della β -galattosidasi.

Uno dei modelli più accreditati per spiegare tale fenomeno di regolazione è quello dell'**operone**, proposto da F. Jacob e J. Monod.

Si definisce operone un segmento di DNA comprendente le seguenti parti (Figura 1):

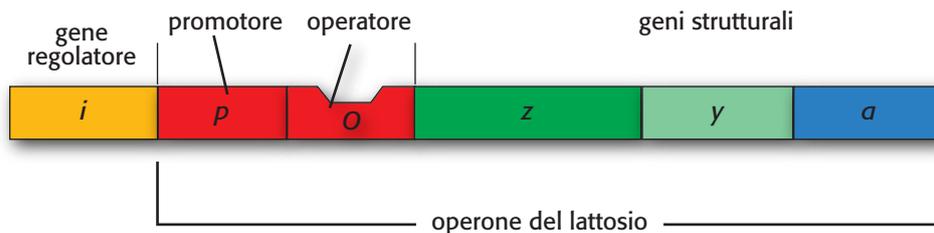


Figura 1 Schema dell'operone del lattosio. L'operone del lattosio è costituito da una serie di 3 geni strutturali (indicati con *z*, *y* e *a*) e da due siti di controllo: *P* (promotore), per l'RNA polimerasi, e *O* (operatore), per la molecola del repressore. È presente poi un gene regolatore che codifica per il repressore e che può essere situato anche in un sito diverso da quello dell'operone (negli eucarioti anche su un altro cromosoma).

1. una sequenza di uno o più **geni strutturali**: i geni strutturali sono segmenti di DNA che codificano per polipeptidi. I geni strutturali appartenenti allo stesso operone codificano per polipeptidi con funzioni correlate (per esempio le due subunità di una proteina o gli enzimi di una stessa catena biochimica) e vengono attivati o repressi tutti contemporaneamente.
2. un promotore che precede la sequenza dei geni strutturali e che ha il compito di permettere il legame con la RNA-polimerasi che effettua la trascrizione.
3. un operatore, che si interpone tra il promotore e i geni strutturali. Esso può legare una particolare molecola proteica detta **repressore**.



Il repressore è codificato da un altro gene, detto **gene regolatore**, che può essere sia adiacente all'operone, sia localizzato in un qualsiasi altro punto del cromosoma. Quando il repressore è legato al sito operatore impedisce alla RNA-polimerasi di trascrivere i geni strutturali; la trascrizione viene così ad essere bloccata (Figura 2a). Il repressore può essere però presente in due forme: attiva, capace di legarsi all'operatore, e inattiva, incapace di compiere tale legame. Nel caso della regolazione della sintesi della β -galattosidasi (operone lac), la presenza del lattosio induce la sintesi di tale enzima e di altre due catene polipeptidiche. Nelle cellule che crescono in assenza di lattosio, il repressore è normalmente attivo. Si lega pertanto all'operatore bloccando la trascrizione dei geni strutturali. In presenza di lattosio, invece, il lattosio (**induttore**) si lega al repressore inattivandolo. L'RNA polimerasi sarà pertanto libera di trascrivere i geni strutturali (in questo caso 3) in una lunga molecola di RNA messaggero che verrà successivamente tradotto per dare tre catene polipeptidiche: la β -galattosidasi, una permeasi, che ha il ruolo di trasportare il lattosio all'interno della cellula, e una transacetilasi, il cui ruolo è incerto (Figura 2b). Tale tipo di regolazione è detta positiva, in quanto la presenza di una molecola (il lattosio) attiva la trascrizione di una serie di geni.

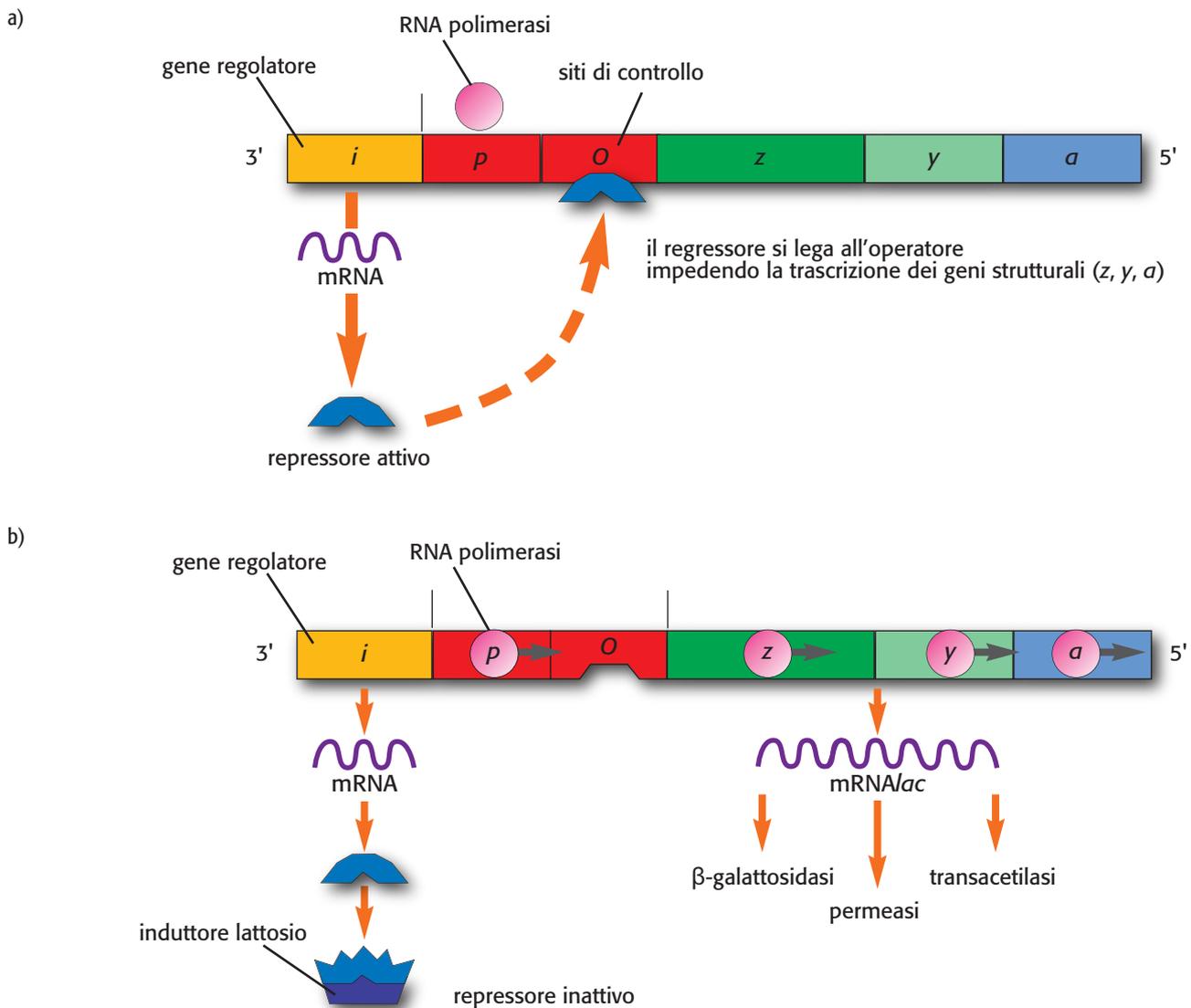


Figura 2 Schema dell'operone del lattosio nello stato a) represso e b) indotto.



In altri casi la regolazione è di tipo negativo, come per l'operone *trp*, i cui geni strutturali codificano per una serie di enzimi necessari per la sintesi del triptofano. In assenza di triptofano tali geni vengono trascritti, in quanto il repressore è questa volta inattivo (Figura 3a). La presenza del triptofano determina invece il blocco della produzione di tali enzimi, la cui sintesi rappresenterebbe un inutile spreco essendo il triptofano già presente in abbondanza. Il triptofano agisce infatti da **corepressore** legandosi al repressore a rendendolo attivo. Il complesso repressore-corepressore può così legarsi all'operatore bloccando la trascrizione dei geni strutturali (Figura 3b).

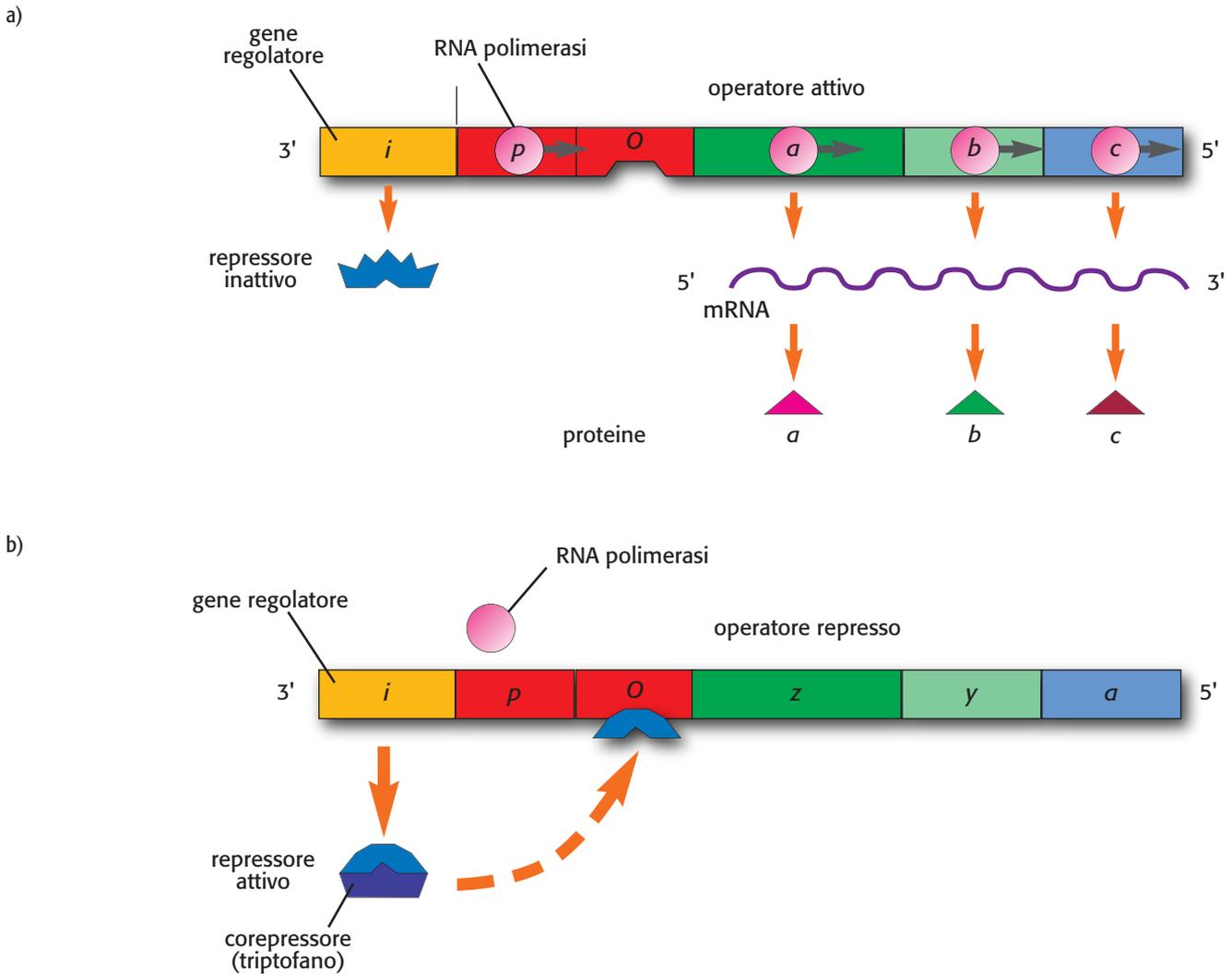


Figura 3 Nell'operone *trp* si ha una regolazione negativa; il repressore, infatti, è normalmente a) inattivo e quindi i geni strutturali vengono trascritti, fino a quando esso si lega con b) il corepressore (triptofano), che lo attiva.

In un operone la trascrizione dell'mRNA e quindi la sintesi proteica sono in ultima analisi regolate da interazioni fra un repressore e un induttore oppure tra un repressore e un corepressore. L'interazione repressore-induttore attiva la sintesi proteica; quella repressore-corepressore la blocca.



Le applicazioni della tecnologia del DNA ricombinante

La tecnologia del DNA ricombinante è oggi largamente diffusa. In due campi di applicazione si sono già avuti notevoli successi: la realizzazione di batteri modificati in grado di sintetizzare proteine utili e la diagnosi delle malattie genetiche.

I batteri modificati. Geni che codificano per proteine d'importanza medica o agraria possono essere inseriti nei batteri (batteri modificati) per ottenerle in grandi quantità. La prima proteina umana sintetizzata in una cellula batterica è stata la **somatostatina**, il cui gene è stato poi inserito in un plasmide che è stato immesso nel terreno di coltura nel quale venivano fatte crescere cellule di *E. coli*, alcune delle quali lo hanno introdotto iniziando a sintetizzare la proteina. Oggi diverse proteine vengono ottenute mediante sintesi batterica, come l'insulina umana (Figura 1). Un altro campo importantissimo di applicazione è quello dei vaccini: inserendo in un battere un gene virale che codifica per le proteine del capsido, si possono ottenere grandi quantità di tali molecole con le quali si produce un vaccino completamente sicuro rispetto a quelli tradizionali. Questi ultimi sono preparati con virus morti o inattivati e poiché contengono anche il loro acido nucleico, non è del tutto escluso che possano contenere particelle infettanti.

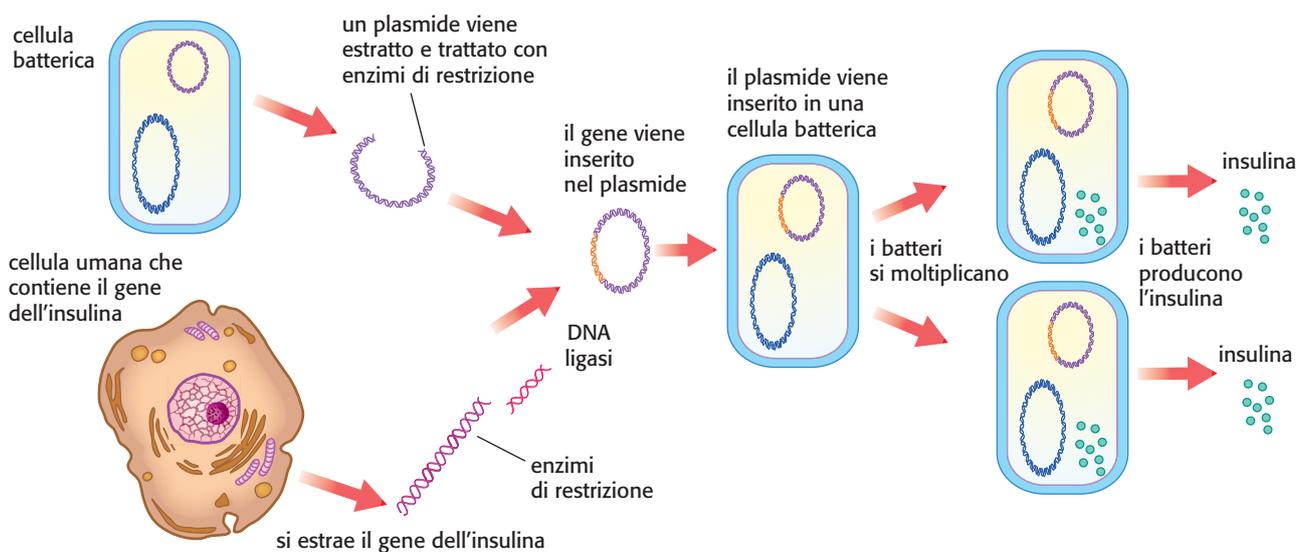


Figura 1 Utilizzazione della tecnica del DNA ricombinante per ottenere batteri modificati che producono insulina.



La diagnosi delle malattie genetiche. Attualmente vi sono dei test che permettono di identificare prima della nascita un certo numero di malattie ereditarie, come la fenilchetonuria, l'anemia falciforme, l'emofilia e la distrofia muscolare. Anch'essi utilizzano enzimi di restrizione e sonde di acidi nucleici.

Il trasferimento di geni negli eucarioti. Gli ingegneri molecolari stanno cercando di trasferire geni tra cellule eucarioti utilizzando i virus come vettori. Uno degli obiettivi è sostituire geni anomali con geni "sani" in modo da poter curare le malattie genetiche. Un organismo contenente nel suo genoma geni estranei si definisce **transgenico**. Tale tecnica è ormai abbastanza standardizzata e ha numerose applicazioni, soprattutto per migliorare geneticamente gli animali domestici e le piante coltivate. Sono state così ottenute piante di mais resistenti agli attacchi della piralide, un insetto particolarmente aggressivo; pomodori, broccoli, fragole e banane a lenta maturazione e quindi meno facilmente deteriorabili; patate, riso e fagioli resistenti agli insetti; soia e cotone resistenti ai diserbanti e così via. In campo zootecnico sono state realizzate orate transgeniche più resistenti alle infezioni e animali capaci di produrre alcuni farmaci. Il trasferimento di geni nell'uomo, tuttavia, fa nascere seri problemi morali ed etici, per cui la **terapia genica** applicata all'uomo è limitata unicamente alla modificazione delle cellule somatiche e quindi ai soli individui sottoposti alla terapia.

Le "impronte digitali" del DNA. In questa tecnica gli enzimi di restrizione tagliano i cromosomi umani in una serie di frammenti di lunghezza diversa in base alla posizione delle sequenze di riconoscimento. Queste variano leggermente da individuo a individuo (**polimorfismo**). Infatti, a causa delle mutazioni, il DNA di una persona differisce, anche se di poco, da quello di qualsiasi altra persona (a meno che non si tratti di due gemelli omogameticici). È possibile quindi ottenere per ogni individuo una serie di frammenti specifici di DNA che nell'insieme costituiscono una sorta di "impronta digitale" genetica. Tale tecnica ha applicazioni in medicina legale, come nei casi di paternità contestata o nell'identificazione di colpevoli di reati gravi.



Genoma, trascrittoma e proteoma

Il Progetto Genoma, al quale hanno collaborato laboratori pubblici di tutto il mondo, ha per obiettivo la mappatura e il sequenziamento dell'intero genoma umano.

La **mappatura** consiste nel *localizzare sui cromosomi il maggior numero possibile di geni*, analogamente a quanto è stato fatto con *Drosophila*. Il **sequenziamento** è invece la *decifrazione della sequenza di basi di tutto il DNA* che costituisce i cromosomi umani. Questa operazione è stata resa possibile dalle nuove tecnologie per la sequenziazione automatica dei nucleotidi, come la PCR, che hanno portato a una sostanziale diminuzione dei tempi di lavoro e quindi degli enormi costi economici dell'operazione.

Dopo il sequenziamento del lievito, nel 1996, e del moscerino della frutta, nel marzo 2000, nell'aprile 2000 una società privata del Maryland (USA), Celera Genomics, è riuscita per prima a sequenziare l'intero genoma umano, battendo sul tempo il consorzio pubblico. In seguito è stato sequenziato il genoma anche di diversi altri organismi. Con la conclusione della prima parte del Progetto Genoma è iniziata una nuova era, detta **postgenomica**: determinata la sequenza nucleotidica completa del genoma, bisogna infatti capire quali parti di esso sono codificanti, costituiscono cioè i geni contenenti le informazioni per sintetizzare le proteine, e chiarire i meccanismi di regolazione, cioè le circostanze per cui in alcune cellule di un organismo tali informazioni diventano attive. *La parte del genoma che è trascritto in RNA* è detto **trascrittoma**. Mentre il genoma è uguale in tutte le cellule di un organismo, il trascrittoma varia da cellula a cellula; per questo la trascrittomica si basa su studi comparativi tra i diversi tipi cellulari al fine di individuare i geni che sono trascritti in tutte le cellule (**geni costitutivi**) e quelli trascritti solo in determinati tessuti (**geni tessuto-specifici**) o in particolari condizioni (**geni inducibili**).

Un secondo approccio è lo studio del **proteoma**, l'insieme delle proteine presenti in una cellula che ne garantisce la vita, consentendo sia lo svolgimento delle funzioni di base, comuni a tutte le cellule di un organismo, sia di quelle specializzate, particolari di un singolo gruppo di cellule. Il proteoma determina l'identità e il ruolo che una cellula svolge nell'organismo. Nonostante lo studio del proteoma sia più complesso di quello del trascrittoma, sono state messe a punto diverse metodiche che consentono lo studio contemporaneo di un gran numero di proteine e che potranno essere utilizzate per l'identificazione di cellule anormali o trasformate. Questo consentirà inoltre di individuare i loro punti più vulnerabili al fine di mettere a punto nuovi farmaci che potranno attivarne o disattivarne le funzioni.



È la tecnica per ottenere due o più organismi con un identico patrimonio genetico mediante scissione dell'embrione, come avviene naturalmente nel caso dei gemelli identici, oppure mediante la tecnica del trasferimento nucleare (*nuclear transfer*).

Quest'ultima, utilizzata per la pecora Dolly, consiste in due tappe: nella prima, l'uovo (o l'embrione allo stadio di zigote) viene enucleato. Successivamente la cellula di cui si vuole trasferire il nucleo viene fusa con l'uovo.

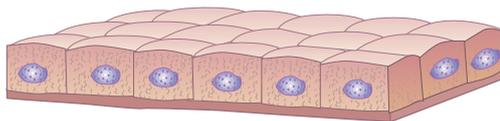
A questo punto l'embrione viene coltivato per un certo tempo in provetta e poi reimpresso in un utero; si ottengono così individui geneticamente uguali al genitore da cui è stato prelevato il nucleo.



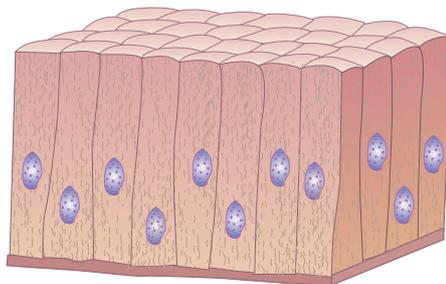
Il corpo umano ha un'organizzazione strutturale di tipo gerarchico, il cui primo gradino è costituito dalle **cellule**, con una grande varietà di specializzazioni; *cellule simili che svolgono coordinatamente la medesima funzione* costituiscono i **tessuti**. Distinguiamo quattro tipi fondamentali di tessuti.

Tessuto epiteliale. Svolge funzioni di rivestimento ed è costituito da cellule a stretto contatto tra loro; queste possono essere organizzate in un unico strato (**epitelio semplice** o **monostratificato**) o in più strati (**epitelio composto** o **pluristratificato**). La classificazione più utile dei tessuti epiteliali si basa sulla forma e sulle dimensioni delle cellule che li costituiscono; essa permette di distinguere epitelii *cubici*, *cilindrici* e *pavimentosi* o *squamosi* (Figura 1). Le **ghiandole** sono gruppi di cellule epiteliali, specializzate nella secrezione. Le **ghiandole esocrine** riversano il loro contenuto all'esterno, tramite un dotto escretore (come le ghiandole sudoripare) o in canali a loro volta comunicanti con l'esterno (come le ghiandole salivari, il fegato e il pancreas). Le **ghiandole endocrine** secernono *ormoni* o altre sostanze che vengono immessi direttamente nel sangue.

a) epitelio cubico



b) epitelio cilindrico



c) epitelio pavimentoso

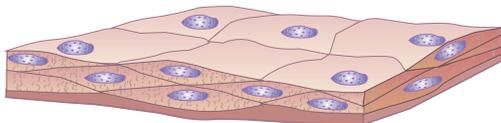


Figura 1 Classificazione degli epitelii in base alla forma delle cellule.



Tessuto connettivo. Collega e sorregge gli altri tessuti, assolvendo a volte anche a funzioni trofiche, fornendo cioè il nutrimento. È costituito da:

- **cellule**, fisse o mobili, che elaborano il materiale intercellulare;
- **sostanza fondamentale** o **matrice**, ossia il materiale intercellulare, presente in grandi quantità, che separa le cellule e può essere più o meno denso;
- **fibre**, che si distinguono in *fibre collagene*, presenti nel derma, nei tendini, nei legamenti, nelle cartilagini e nelle ossa; *fibre elastiche*, come nelle pareti dei vasi sanguigni di calibro maggiore, e *fibre reticolari*, impalcature che si ramificano all'interno degli organi.

In base alle caratteristiche di cellule, matrice o fibre, si distinguono diversi tipi di tessuti connettivi (Figura 2). Tessuti connettivi con matrice liquida sono il **sangue** e la **linfa**, in cui gli elementi cellulari sono immersi nel *plasma*.

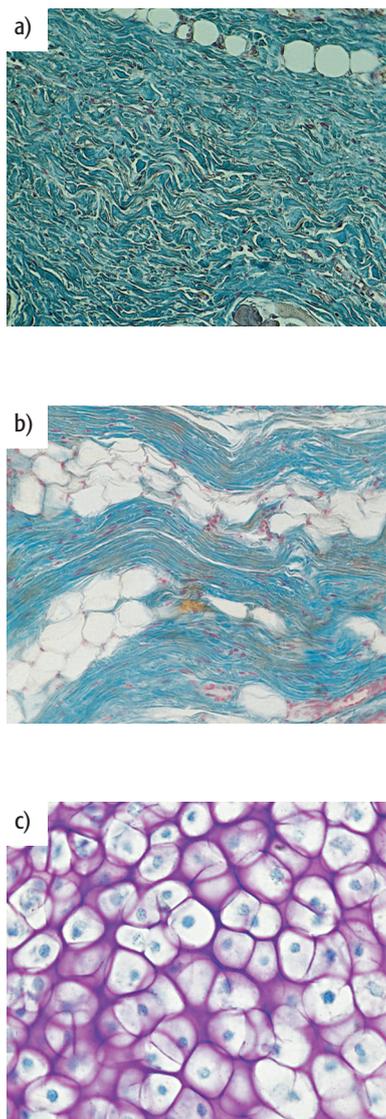
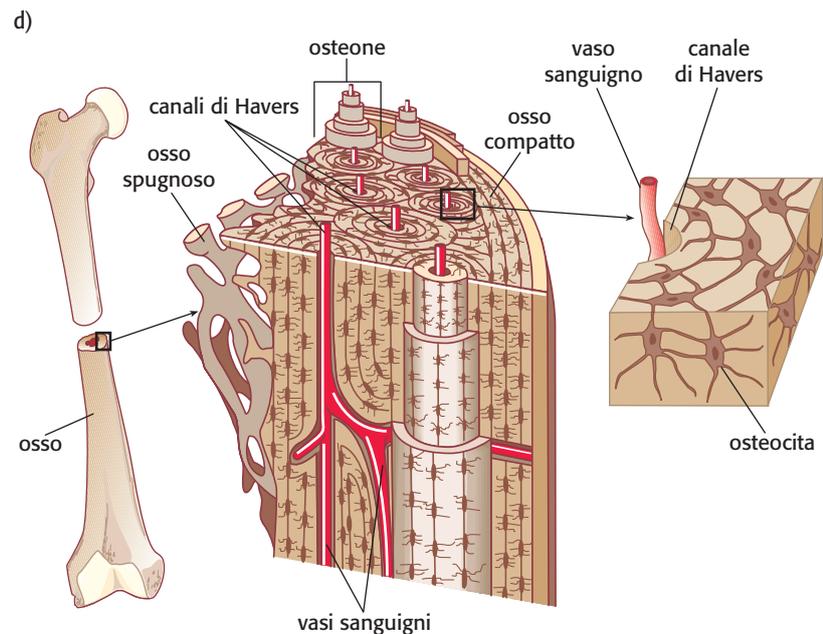


Figura 2

- a) **Tessuto connettivo fibrillare** al microscopio ottico. Si notano i fasci di fibre collagene intrecciate.
- b) **Tessuto adiposo** al microscopio ottico. Le "sfere" bianche sono le cellule, dette **adipociti**, ricche di globuli di grasso.
- c) **Tessuto cartilagineo ialino** al microscopio ottico; le cellule, dette **condrociti**, hanno forma sferoidale e sono riunite in gruppi sparsi nella sostanza fondamentale. Svolge funzione di sostegno.
- d) Struttura del **tessuto osseo**: le cellule, dette **osteociti**, si trovano in apposite cavità (lacune ossee) e comunicano tra loro mediante sottili prolungamenti citoplasmatici. Sono immerse in una matrice ricca di sali inorganici (fosfato di calcio, sali di magnesio e una piccola quantità di fluoro), fibre collagene e una sostanza proteica, l'**osseina**; la matrice è organizzata in lamelle disposte intorno a un canale centrale (canale di Havers), in cui passano i vasi sanguigni. Tale struttura è detta **osteone** e conferisce all'osso una certa resistenza. Svolge funzione di sostegno.



Tessuto muscolare. Specializzato nella funzione contrattile, è costituito da cellule allungate, dette **fibrocellule**, e può essere distinto in:

- **tessuto muscolare liscio**, tipico delle pareti interne degli organi, come lo stomaco o i vasi sanguigni, con fibrocellule piuttosto corte e senza striature. La sua contrazione è involontaria (Figura 3a);
- **tessuto muscolare striato**, con fibrocellule più lunghe e polinucleate, che presentano un'alternanza di strie chiare e scure, ben visibili al microscopio ottico. Costituisce i **muscoli** che muovono lo scheletro, la cui contrazione è volontaria (Figura 3b);
- **tessuto muscolare cardiaco**, striato, ma con contrazione involontaria. Esso costituisce la parete del cuore. Le fibrocellule hanno dimensioni intermedie e sono connesse per mezzo di strutture dette **strie intercalari**.

Tessuto nervoso. È formato dai **neuroni**, cellule specializzate nella trasmissione e ricezione degli impulsi nervosi, e da **cellule gliali**, con funzione trofica e di sostegno. Sebbene possano variare per forma e grandezza, i neuroni presentano la stessa organizzazione di base (Figura 4):

- un **corpo cellulare**, detto anche **pirenoforo**, con il nucleo e la maggior parte degli organuli;
- una serie di corti prolungamenti citoplasmatici, i **dendriti**, con la funzione di trasmettere gli impulsi provenienti da altre cellule verso il pirenoforo;
- un lungo prolungamento, detto **assone** o **neurite**, attraverso il quale lo stimolo è trasmesso dal pirenoforo ad altre cellule nervose o a organi in grado di rispondere a esso con una particolare attività (**organi effettori**), quali i muscoli o le ghiandole.

I neuroni sono connessi tra loro per mezzo di **sinapsi**, giunzioni che permettono all'impulso nervoso di passare da un neurone all'altro o da un neurone a un organo effettore, formando così dei veri e propri circuiti nervosi. In base alla loro funzione si possono distinguere:

- **neuroni sensitivi**: ricevono le informazioni (*input*) dall'ambiente esterno e le trasmettono al sistema nervoso centrale (encefalo e midollo spinale);
- **neuroni d'associazione** o **interneuroni**: trasmettono le informazioni all'interno del sistema nervoso centrale e mettono in comunicazione i neuroni sensitivi con i neuroni motori;
- **neuroni motori**: costituiscono la via di uscita (*output*) delle informazioni, dal sistema nervoso centrale agli organi effettori (muscoli e ghiandole).

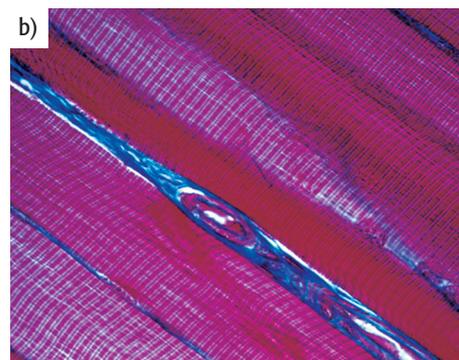
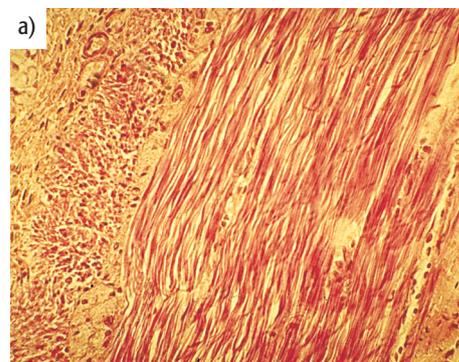


Figura 3 a) Fotografia al microscopio ottico di tessuto muscolare liscio, tipico delle pareti interne dei visceri.
b) Fotografia al microscopio ottico di tessuto muscolare striato in sezione longitudinale. Si noti l'alternanza di strie chiare e scure.

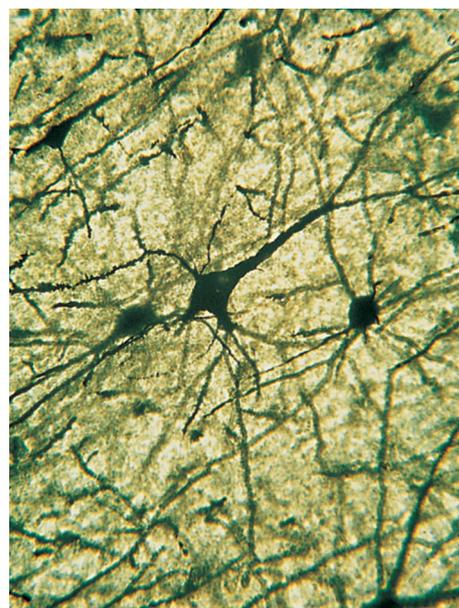


Figura 4 Fotografia al microscopio ottico di un neurone della corteccia cerebrale.



La coagulazione del sangue

La coagulazione del sangue è un processo complesso che coinvolge le piastrine, gli ioni calcio e diverse sostanze chimiche. Quando vengono a contatto con la parete irregolare di un vaso danneggiato, le piastrine tendono ad aderire le une sulle altre e, se si tratta di un piccolo vaso, possono arrivare a ostruirlo completamente. Contemporaneamente liberano nel sangue una sostanza che, in presenza di ioni calcio, attiva la **protrombina** (una proteina appartenente al gruppo delle albumine), trasformandola in un enzima, la **trombina**, che a sua volta provoca la conversione del **fibrinogeno**, presente nel sangue, in **fibrina**. Quest'ultima è costituita da lunghe molecole filamentose, che si agglutinano tra loro creando un reticolo insolubile nel quale vengono imbrigliate le varie componenti cellulari del sangue: si forma così un **coagulo** (Figura 1), che ostruisce il vaso danneggiato, bloccando la fuoriuscita di sangue.

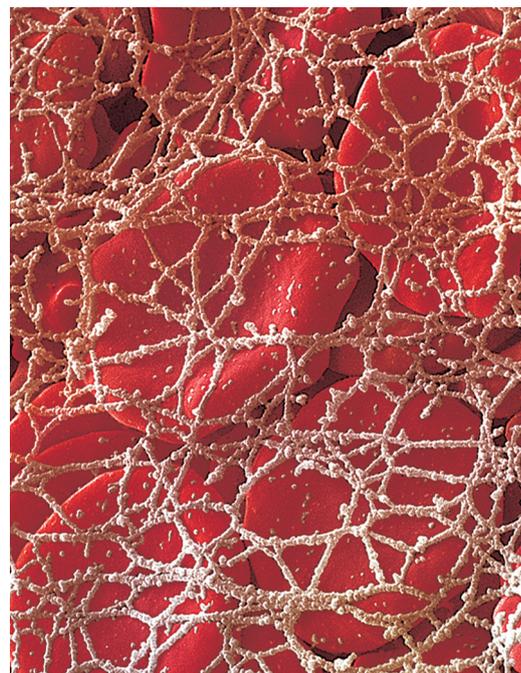


Figura 1 Aspetto di un coagulo di sangue al microscopio elettronico a scansione. I globuli rossi sono intrappolati nella rete di fibrina.



Le malattie cardiovascolari

Nei Paesi occidentali le malattie cardiovascolari sono al primo posto come causa di mortalità. L'**infarto cardiaco** è la necrosi, cioè la morte, di una parte del cuore causata da un'insufficiente irrorazione sanguigna (ischemia). Quest'ultima si verifica in seguito all'ostruzione di un'arteria coronaria provocata o da un coagulo che si forma in essa (trombo), o da un coagulo formatosi in un'altra parte del corpo e trasportato successivamente al cuore (embolo).

L'**angina pectoris** è una sindrome provocata da un insufficiente apporto di ossigeno al cuore e spesso si accompagna ad altre affezioni cardiache, come l'ischemia e l'infarto.

È caratterizzata da accessi di dolore acuto di breve durata, localizzato dietro allo sterno e con diramazioni alla spalla e al braccio sinistro.

L'**ictus** è provocato da un insufficiente rifornimento di sangue al cervello e comporta la sospensione istantanea, più o meno completa, delle funzioni cerebrali, con l'eccezione di quelle vegetative. È causata da un'emorragia cerebrale, ma anche da trombi o emboli nei vasi cerebrali.

L'**aterosclerosi** è la formazione nella parete interna delle grandi e medie arterie (aorta, coronarie, carotidi ecc.) di **ateromi** o placche ateromatose (Figura 1), cioè placche dure e ruvide costituite da grassi, in particolare da colesterolo. Ne segue una diminuzione dell'elasticità delle pareti e una restrizione del lume, con conseguente minor afflusso di sangue ai tessuti. Oltre all'aterosclerosi sono stati individuati diversi fattori di rischio: l'iperlipidemia, ossia l'eccesso di grassi nel sangue, l'ipertensione arteriosa e il fumo di tabacco; fattori di rischio minore sono il diabete mellito, l'obesità e la scarsa attività fisica.

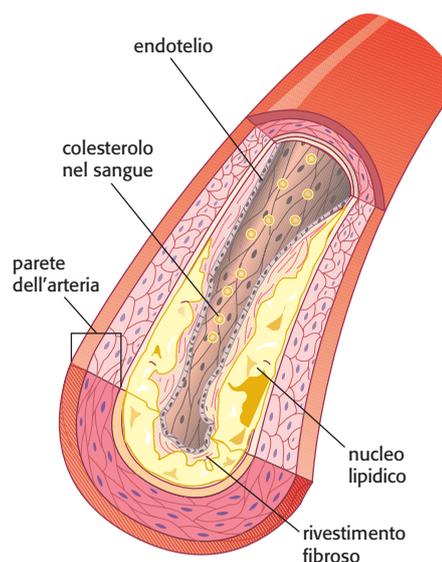


Figura 1 Sezione longitudinale di arteria con placca ateromatosa.



Inizialmente il termine vaccino indicava il materiale che, estratto dalle pustole dovute al vaiolo bovino, fu impiegato per la prima volta nel 1796 dal medico inglese **Edward Jenner** (1749-1823) per la prevenzione del vaiolo umano.

Un **vaccino** conferisce una resistenza specifica a una determinata malattia infettiva ed è generalmente costituito da una *sospensione di antigeni* di microrganismi quali batteri patogeni e virus uccisi o attenuati nella virulenza, oppure prodotti microbici che hanno effetti tossici sull'uomo e sono capaci di comportarsi da antigeni, come le tossine inattivate (**anattossine**). Oggi, grazie alle tecniche dell'ingegneria genetica, si preferisce somministrare solo alcuni componenti del microrganismo patogeno, come frazioni microbiche (estratti purificati batterici, come polisaccaridi) o antigeni proteici o polipeptidi. In tal modo si evita una serie di inconvenienti, come la possibilità che i microrganismi attenuati possano comunque sviluppare la malattia, anche se blanda, o la tossicità di alcune componenti del vaccino stesso.

I vaccini determinano una **immunità artificiale attiva** in quanto stimolano nell'individuo una risposta attiva del sistema immunitario, che può essere di tipo umorale, cellulare o di entrambi i tipi, senza però determinare la malattia. Essi sono generalmente usati a scopi preventivi in quanto è necessario un determinato periodo di tempo per raggiungere un certo livello di immunità; il loro utilizzo a scopo curativo è quindi limitato ad alcune affezioni a lungo decorso. L'immunità conferita da un vaccino è solitamente duratura (quasi tutta la vita).

Molte malattie infettive che nei secoli passati hanno rappresentato veri e propri flagelli per l'umanità sono state debellate grazie alla vaccinazione in massa della popolazione; anche oggi, in Italia, un certo numero di vaccinazioni è obbligatorio (Tabella 1).

È possibile prevenire una malattia infettiva anche mediante l'inoculazione di un siero contenente *concentrazioni elevate di anticorpi* prodotti da altri organismi. Si tratta in questo caso di una **immunizzazione artificiale passiva**, che conferisce una protezione che dura solo per pochi mesi.

I sieri si ottengono da animali di grossa taglia (cavallo, bue) ai quali viene inoculato uno specifico antigene. Essi contengono pertanto anticorpi provenienti da una specie diversa e possono causare uno shock anafilattico nei soggetti sensibilizzati da una somministrazione precedente di siero derivato dalla stessa specie animale.

I sieri possono essere usati anche a scopi terapeutici poiché forniscono in modo immediato anticorpi attivi contro un determinato agente patogeno e si distinguono in: antibatterici, antitossici (tetano, botulismo), antivirale e antiveleno (antiviperale). Poiché il loro impiego non è esente da rischi, spesso si preferisce ricorrere alle **immunoglobuline umane**, che costituiscono un vero e proprio cocktail di anticorpi provenienti dal siero di adulti sani donatori di sangue.



Edward Jenner.



Tabella 1 Vaccinazioni obbligatorie e facoltative in Italia.

Vaiolo	Obbligatorio dal 1892 al 1981, successivamente su base volontaria.
Difterite	Obbligatoria dal 1939.
Tetano	Obbligatoria dal 1968.
Poliomielite	Obbligatoria dal 1968.
Tubercolosi	Obbligatoria dal 1970 per determinate categorie particolarmente esposte.
Epatite B	Obbligatoria dal 1991.
Pertosse	Obbligatoria dal 2017.
Rosolia	Obbligatoria dal 2017.
Morbillo	Obbligatoria dal 2017.
Parotite	Obbligatoria dal 2017.
Varicella	Obbligatoria dal 2017.
Anti <i>Haemophilus influenzae</i> tipo B	Obbligatoria dal 2017.
Anti-pneumococcica	Eseguibile volontariamente.
Anti-meningococcica B	Eseguibile volontariamente.
Anti-meningococcica C	Eseguibile volontariamente.
Anti-rotavirus	Eseguibile volontariamente.
Anti-HPV	Eseguibile volontariamente.



Jenner e la scoperta della vaccinazione

Il vaiolo è una delle più gravi malattie infettive, spesso mortale; si manifesta sulla pelle con la formazione di piccole vesciche che si trasformano in pustole scure e che, una volta guarite, lasciano cicatrici permanenti. Il contagio può avvenire o per contatto diretto con persone infette o per inalazione di goccioline contenenti il virus (Figura 1). Quest'ultimo, dopo un'incubazione di 1-2 settimane, si localizza nella cute e nelle mucose dove, dopo una fase febbrile, determina le caratteristiche lesioni che si presentano al volto e alle estremità. Nei secoli scorsi il vaiolo ha periodicamente causato violente epidemie; oggi, grazie alla **vaccinazione**, è quasi del tutto scomparso (l'ultimo caso umano risale al 1977). Come è stato possibile debellare in modo definitivo questa malattia?

La lotta contro il vaiolo inizia nel XVIII secolo con il medico inglese **Edward Jenner**, che fu il primo a utilizzare la pratica della vaccinazione per immunizzare attivamente le persone contro il vaiolo umano. I medici europei erano a conoscenza di una pratica frequentemente adottata in Cina allo scopo di prevenire il vaiolo: le persone sane cercavano di essere contagiate da individui affetti da una forma mite della malattia, detta *alastrim*. In tal modo, dopo la guarigione, acquisivano una immunità che durava per tutta la vita anche nei confronti della forma di vaiolo più grave.

Edward Jenner notò che nelle vacche si sviluppava una malattia per molti aspetti simile all'*alastrim*, il vaiolo vaccino. Inoltre, i mungitori di vacche solo molto raramente contraevano la forma grave di vaiolo, perché, ammalandosi di vaiolo vaccino, dopo la guarigione diventavano immuni anche nei confronti del vaiolo umano. Riflettendo su questi dati egli avanzò l'ipotesi che, infettando artificialmente un individuo sano con materiale proveniente da una pustola di un ammalato di vaiolo vaccino, sarebbe stato possibile immunizzarlo contro il vaiolo umano. Questa ipotesi fu verificata iniettando tale materiale nel braccio di un ragazzo che si era offerto per l'esperimento. Come previsto, sul braccio si formò una pustola, segno che il vaiolo vaccino aveva attecchito, che poi guarì spontaneamente. Per constatare se il ragazzo era divenuto immune al vaiolo umano, dopo due mesi Jenner gli inoculò materiale proveniente questa volta da un individuo colpito da tale malattia. Il ragazzo non si ammalò e rimase sano anche dopo una seconda

iniezione ripetuta alcuni mesi dopo. Era nata la pratica della vaccinazione. In realtà, l'efficacia di tale procedura è possibile per la somiglianza degli antigeni tra i due virus, per cui gli anticorpi attivi contro il vaiolo vaccino lo sono anche contro il virus del vaiolo umano.

Grazie a Jenner nel giro di poco tempo la pratica della vaccinazione si diffuse in tutta Europa. Molti biologi cominciarono a pensare se fosse possibile applicare la tecnica di Jenner anche ad altre malattie. Il primo a riuscirci fu **Louis Pasteur**, nel XIX secolo. Egli partì dall'ipotesi che i due tipi di vaiolo, quello dell'uomo e quello della vacca, non fossero provocati da due specie diverse di microrganismi patogeni, bensì da una stessa specie. La sola differenza tra i diversi virus era che quelli del vaiolo vaccino erano meno virulenti di quelli del vaiolo umano. Tale ipotesi, anche se in realtà errata (si tratta, infatti, di due specie diverse), aprì la strada ai concetti di forme attenuate, cioè dotate di scarso potere patogeno, ma di identico potere antigenico, e di forme virulente, fornite di potere sia patogeno sia antigenico. Il problema si spostò così sul come rendere attenuate le forme virulente, privandole del potere patogeno ma non di quello antigenico. Pasteur vi riuscì per i batteri del carbonchio, una malattia che colpisce gli animali domestici come la pecora. Egli coltivò i batteri in laboratorio a temperature superiori di quelle normalmente adoperate. Iniettando tali forme attenuate in pecore sane, esse non si ammalavano, ma sviluppavano un'immunità nei confronti delle forme virulente. In tal modo Pasteur dimostrò che la vaccinazione poteva essere utilizzata anche contro altre malattie infettive.

Successivamente, riuscì a ottenere anche un vaccino contro la rabbia, una malattia trasmessa dal morso di alcuni animali come cani, gatti o volpi ammalate.

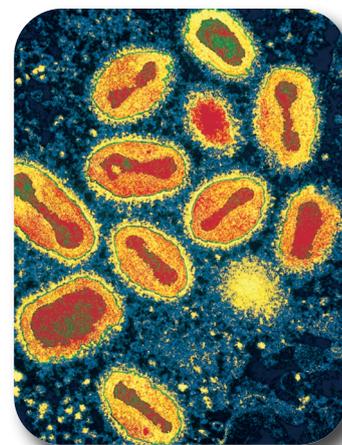


Figura 1 Virus del vaiolo umano al microscopio elettronico.



Per immunodeficienza s'intende una condizione di indebolimento della risposta immunitaria di un individuo. L'immunodeficienza può essere congenita o acquisita nel corso della vita a causa di malattie (per esempio l'infezione da HIV) o di terapie con farmaci immunosoppressori (come quelli utilizzati nei trapianti e nei tumori). La sindrome da immunodeficienza acquisita (AIDS) è causata dal virus dell'immunodeficienza umana (HIV), che svolge il suo ciclo principalmente nei linfociti T helper. Poiché i linfociti T helper controllano sia la risposta umorale sia quella cellulare, l'effetto finale dell'infezione è quello di far diminuire progressivamente le difese immunitarie dell'organismo (Figura 1). Il virus, quindi, non uccide direttamente gli individui che lo hanno contratto ma li rende suscettibili alle più svariate malattie.

LA PREVENZIONE DELL'AIDS

La prevenzione dell'AIDS è basata sul controllo della trasmissione del virus e viene attuata in diversi modi.

- Impiego di test di screening, ossia di indagine, sul sangue e sugli emoderivati, per individuare la presenza o meno di anticorpi anti-HIV; questo metodo ha consentito di disporre di sangue "sicuro", facendo diminuire drasticamente la possibilità di contrarre l'infezione mediante una trasfusione.
- Diffusione dell'educazione sessuale tra la popolazione al fine di ridurre il numero dei rapporti casuali.
- Utilizzo del profilattico che, anche se non elimina del tutto la possibilità di contagio, ne riduce fortemente la probabilità.

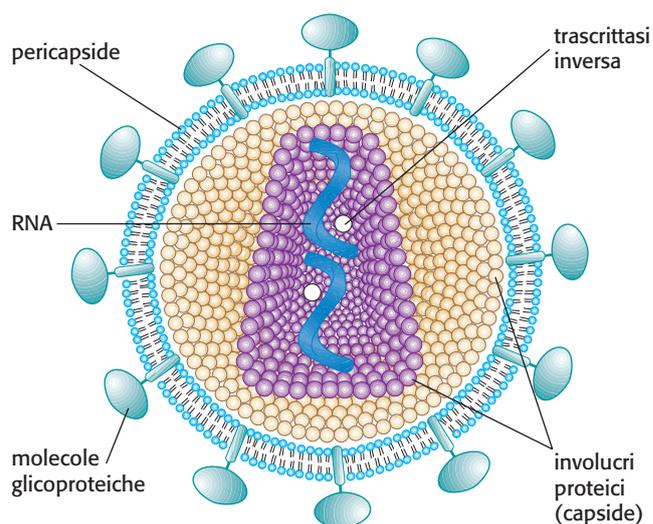


Figura 1 L'HIV è un **retrovirus** e, come tale, possiede un particolare enzima, la trascrittasi inversa, capace di sintetizzare DNA a partire da uno stampo di RNA, che costituisce il suo materiale genetico. L'HIV è formato da un involucro lipidico esterno, il **pericapside** (*envelope*), e da due involucri proteici, che nel complesso formano il **capsid** (*core*). Quest'ultimo contiene il materiale genetico virale (due molecole di RNA) e alcune copie dell'enzima trascrittasi inversa.

Dal pericapside sporgono molecole glicoproteiche che consentono al virus di attaccare in modo specifico i linfociti T helper e penetrare al loro interno. Quando ciò accade l'RNA virale è trascritto in DNA dalla trascrittasi inversa, e quindi incorporato in un cromosoma della cellula; essa di conseguenza produrrà altre copie delle proteine del virus oltre a diverse molecole di RNA virale. Nel giro di poco tempo un gran numero di nuovi virus verrà assemblato e si libererà dalla cellula infettata, per attaccare altri linfociti.

• **Accurata disinfezione del materiale infetto:** nonostante l'HIV sia uno dei virus più virulenti, non ha una grande resistenza al di fuori dell'organismo e viene facilmente inattivato dal calore (bastano 20 minuti a 56 °C) e dai comuni disinfettanti.

L'attuazione di una corretta prevenzione rende abbastanza difficile la possibilità di contrarre l'infezione (l'HIV non è trasmesso attraverso contatti casuali come abbracci, baci, colpi di tosse, uso di servizi igienici). Per le categorie non a rischio tale possibilità è pertanto limitata ai rapporti eterosessuali non protetti. La prevenzione rimane ancora oggi

molto importante perché le terapie note non sono risolutive; queste sono volte da un lato a bloccare la replicazione virale o riattivare le risposte immunitarie, e dall'altro al controllo delle infezioni opportunistiche (con chemioantibiotici) e dei tumori (chemioterapia). Inoltre, l'utilizzazione di un eventuale vaccino è resa problematica anche perché l'HIV presenta un elevatissimo tasso di mutazione (molto più elevato di quello del virus dell'influenza). Ciò fa sì che individui diversi siano in pratica portatori di ceppi di virus sostanzialmente differenti.



Gli effetti del fumo sull'apparato respiratorio

- Le sostanze tossiche contenute nel fumo (nicotina, anidride solforosa ecc.) **danneggiano l'epitelio** ciliato che riveste le superfici interne dell'albero respiratorio (dopo una sigaretta le ciglia rimangono immobilizzate per più di un'ora): manca così la prima barriera difensiva dell'apparato respiratorio contro le malattie.
- Un meccanismo di difesa dell'apparato respiratorio è la produzione di muco, che aumenta nel tentativo di eliminare gli agenti estranei. In assenza di ciglia, però, il muco non può essere espulso e ristagna nelle vie respiratorie, insieme ai batteri e alle sostanze nocive intrappolate, provocando la **tosse del fumatore**.
- L'infiammazione delle vie respiratorie può degenerare nella **bronchite cronica**.
- Le particelle del fumo sono microscopici granuli di carbonio con diverse decine di composti cancerogeni. Queste particelle si depositano negli alveoli polmonari, formando uno strato nerastro (Figura 1). I fumatori sono pertanto esposti a un elevato rischio di **tumore al polmone**.
- Le sostanze tossiche del fumo, riducendo la capacità di produrre tessuto elastico, facilitano lo sviluppo dell'**enfisema polmonare**: le pareti degli alveoli si lacerano, collegando tra loro le varie cavità, per cui si riduce l'estensione della superficie respiratoria, e il tessuto elastico polmonare è sostituito da tessuto fibroso; si altera l'equilibrio dello scambio di gas, con conseguente carenza di ossigeno in tutti i tessuti dell'organismo.
- La nicotina contenuta nel fumo agisce sul sistema nervoso centrale, dove si lega a specifici recettori, agendo come stimolante e inducendo **dipendenza fisica e psicologica**. Inoltre provoca un aumento della frequenza cardiaca e della pressione arteriosa.

La combinazione dei fattori illustrati spiega perché la probabilità di morire di malattia cardiaca in un fumatore è circa del 70% maggiore rispetto a un non fumatore. Anche il **fumo passivo** (l'esposizione dei non fumatori a un ambiente inquinato dal fumo) ha effetti negativi sulla salute. È essenziale quindi smettere di fumare: se lo si fa prima che si sviluppino danni irreversibili, l'organismo mette subito in atto i meccanismi di riparazione e dopo 15 anni il tasso di mortalità di chi ha smesso di fumare risulta praticamente uguale a quello di chi non ha mai fumato.

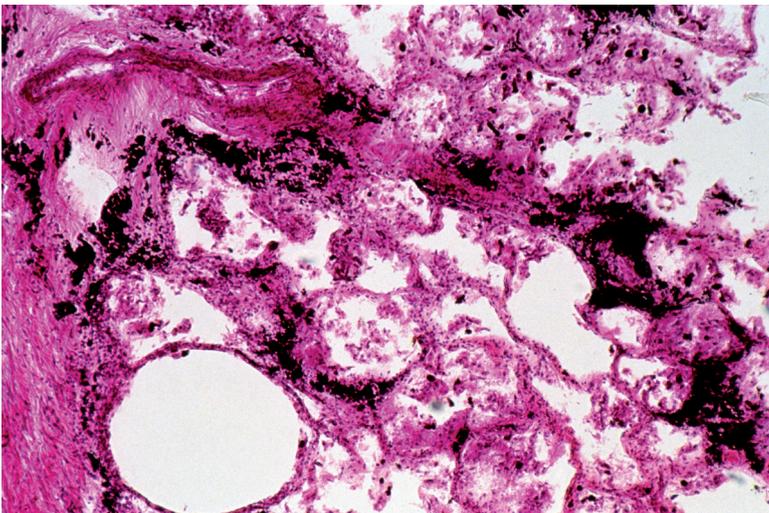


Figura 1 Aspetto al microscopio ottico di un polmone di un fumatore.



Una dieta equilibrata deve assicurare il giusto apporto di calorie all'organismo.

Il **fabbisogno calorico quotidiano** dipende da vari fattori: varia con l'età (aumenta dalla nascita fino ai 18-20 anni, per poi diminuire soprattutto nell'anziano) e con l'attività fisica (in un uomo adulto che svolge attività sedentaria è circa 2500 kcal, ma arriva a 4000 in un uomo che svolge attività intensa). Inoltre, in generale, il fabbisogno calorico per un ragazzo di età compresa tra i 13 e i 19 anni è di circa 3000 kcal al giorno, mentre per le ragazze è di circa 2100 kcal al giorno: questa differenza è dovuta alla maggiore altezza e al maggior peso dei maschi.

Un altro fattore importante per una dieta equilibrata è la composizione percentuale dei vari principi nutritivi: i lipidi dovrebbero rappresentare non più del 30% della razione giornaliera, i carboidrati circa il 55-60% e il rimanente 10-15% dovrebbe essere costituito da proteine.

Tra i lipidi, la quota maggiore dovrebbe essere costituita da quelli vegetali, più digeribili e meno dannosi per l'apparato cardiovascolare.

Tra i carboidrati, i tre quarti dovrebbero essere costituiti da carboidrati complessi e solo un quarto da zuccheri semplici.

La quota di proteine, infine, non deve superare il 15%: un loro eccesso, infatti, non solo è inutile, poiché l'organismo non è in grado di conservarle, ma finirebbe con l'affaticare organi come i reni, costretti a eliminare una maggiore quantità di urea.

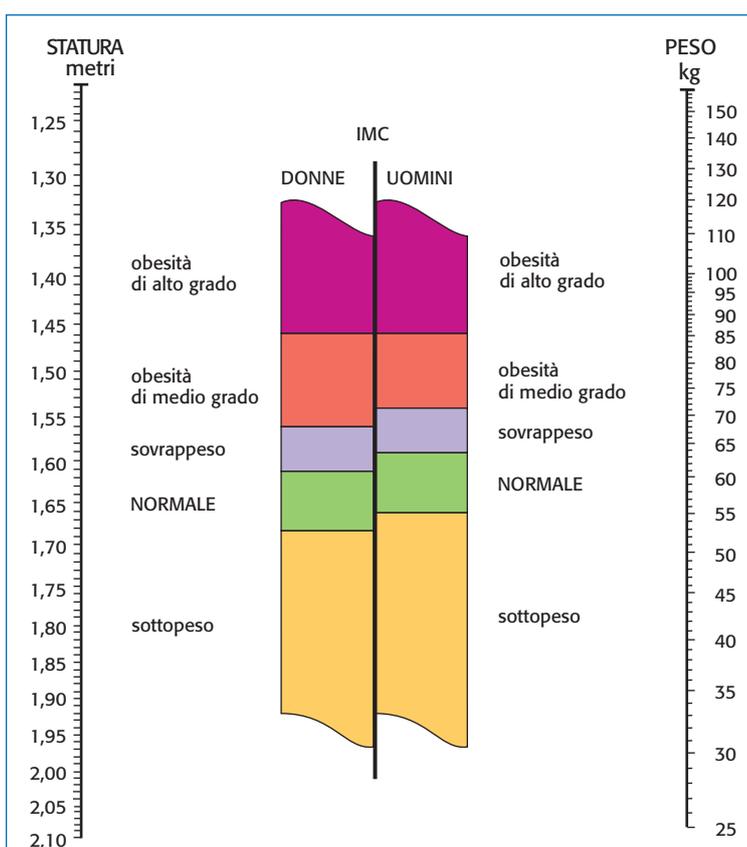
Inoltre, è importante distribuire l'assunzione degli alimenti durante la giornata. I dietologi sono convinti dell'utilità di suddividerla in quattro pasti (colazione, pranzo, merenda, cena) e di compiere un'abbondante prima colazione (circa un quarto della razione giornaliera totale), evitando pranzi e soprattutto cene troppo abbondanti.

Una giusta assunzione di calorie con la dieta consente di mantenere il proprio **peso forma** (Figura 1).

Una semplice regola per calcolarlo in modo approssimativo è quella di sottrarre 100 per l'uomo e 105 per la donna dall'altezza in centimetri, esprimendo il risultato finale in chilogrammi.

Un'assunzione di calorie in quantità superiore al necessario determina l'accumulo di lipidi nell'organismo. In base alla quantità di lipidi accumulata è possibile distinguere tra sovrappeso e obesità. Un eccesso di peso aumenta il rischio di numerose malattie (malattie cardiovascolari, ipertensione, diabete).

Un'assunzione di calorie inferiore al necessario determina eccessiva magrezza, che può causare il deperimento dell'intero organismo.



COME SI USA

Unite con un righello i metri corrispondenti alla statura (riga verticale a sinistra) con i chilogrammi relativi al peso (riga verticale a destra).

Il punto di incontro della riga tracciata dal righello con la riga centrale indica la fascia nella quale si colloca il vostro peso (sottopeso, normale, sovrappeso, obeso).

La riga centrale rappresenta l'indice di massa corporea (IMC) ottenuto dividendo il peso (in kg) per il quadrato della statura (in metri).

(Fonte: Istituto Nazionale della nutrizione, 1988)

Figura 1 Schema per la valutazione del peso corporeo. Mantenersi nei limiti del peso normale contribuisce a vivere meglio e più a lungo. L'eccesso di peso è spesso il frutto di una alimentazione squilibrata dal punto di vista energetico.



L'ansa di Henle e la formazione dell'urina

L'ANSA DI HENLE

La quantità di acqua in un organismo è regolata soprattutto a livello del nefrone che controlla la sua eliminazione con l'urina.

La lunghezza dell'ansa di Henle, una porzione del tubulo renale più sottile che scende all'interno della midollare, svolge un ruolo cruciale, perché quanto più lungo è tale tratto a U, tanto maggiori possono essere le differenze di concentrazione tra corticale e midollare, e quindi la possibilità di concentrare l'urina. Non a caso i mammiferi che eliminano urine ipertoniche hanno anse di Henle più lunghe.

LA FORMAZIONE DELL'URINA

La formazione dell'urina avviene nei nefroni attraverso diverse tappe.

- **Filtrazione glomerulare.** Nei capillari glomerulari l'acqua e gran parte delle molecole disciolte nel plasma attraversano le pareti dei capillari e penetrano nella capsula di Bowman. Di qui il filtrato, un liquido di composizione chimica simile a quella del plasma sanguigno, passa lungo il tubulo renale. La produzione giornaliera di filtrato è di circa 180 litri!
- **Riassorbimento tubulare.** La maggior parte del filtrato introdotto nel tubulo è riassorbito nei capillari peritubulari. L'acqua rientra nei capillari per osmosi, mentre le altre sostanze sono reimmesse nel circolo sanguigno per trasporto attivo. Solo i prodotti di rifiuto, come l'urea, restano nel tubulo e la loro concentrazione aumenta progressivamente con il riassorbimento dell'acqua.
- **Secrezione tubulare.** Dopo il processo di filtrazione, nel sangue rimangono ancora alcuni prodotti di rifiuto e molti farmaci, come la penicillina. Essi vengono eliminati selettivamente dai capillari peritubulari che li secernono nel filtrato del tubulo mediante un meccanismo di trasporto attivo. La secrezione tubulare si svolge contemporaneamente al riassorbimento ed è particolarmente attiva nella sua parte finale.
- **Concentrazione.** A livello dell'ultima parte del tubulo, un'ulteriore quantità di acqua può essere riassorbita, dando luogo alla formazione di urina più concentrata.
- **Escrezione.** Compiuto il tragitto lungo il tubulo renale, il liquido rimasto costituisce l'**urina**, che dal nefrone si raccoglie nel bacinetto. L'uomo ne produce circa 1-1,5 litri al giorno: ciò significa che il 99,5% del volume del filtrato glomerulare viene di fatto riassorbito.

Il principale ormone implicato nella regolazione della concentrazione dell'urina è l'**ormone antidiuretico** o **ADH** (chiamato anche **vasopressina**), che rende la parte finale del tubulo renale più permeabile all'acqua. Esso è prodotto dall'ipotalamo, e poi accumulato nel lobo posteriore dell'ipofisi. In caso di disidratazione (perdita di acqua) aumenta la secrezione di ADH e l'urina emessa è fortemente concentrata (ipertonica). Il contrario accade se la concentrazione di soluti del sangue è particolarmente bassa (per esempio, in seguito all'ingestione di una notevole quantità d'acqua).



Le informazioni al sistema nervoso centrale sono captate da cellule specializzate che funzionano come antenne, i **recettori**, che possono essere isolati o contenuti in **organi di senso**. I recettori percepiscono sia stimoli fisici, come la luce e le variazioni di temperatura e di pressione, sia stimoli chimici, come le sostanze volatili o quelle disciolte in soluzione e li trasformano in segnali che inviano al sistema nervoso centrale.

L'UDITO

L'**orecchio** è un organo con due tipi di recettori sensoriali: quelli dell'udito e quelli dell'equilibrio. Entrambi trasformano l'energia del movimento di un liquido contenuto al loro interno in impulsi nervosi che, tramite il **nervo acustico**, raggiungono le aree di elaborazione encefalica.

I suoni sono onde meccaniche che si propagano in mezzi elastici come l'aria: le onde sonore. Esse sono raccolte dal **padiglione auricolare** e per mezzo del **canale uditivo** raggiungono il **timpano**, facendolo vibrare; attraverso tre ossicini (**martello**, **incudine** e **staffa**) contenuti nell'orecchio medio, le vibrazioni vengono poi trasmesse tramite la finestra ovale al liquido contenuto nella **chiocciola** o **coclea** (Figura 1).

Questo è un lungo canale avvolto a spirale, nell'orecchio interno, formato da un canale periferico a forma di U e da un canale centrale rettilineo. Quest'ultimo è delimitato da un lato dalla **membrana basilare**, sulla quale sono disposti i recettori dei suoni (**fonocettori**), costituiti da cellule ciliate collegate con le fibre del nervo cocleare. Su di esse poggia un'altra sottile membrana, la **membrana tectoria**, una struttura gelatinosa che vibra al vibrare delle ciglia e che, assieme ai fonocettori, costituisce l'**organo del Corti**. All'arrivo di un suono, la membrana tectoria vibra, facendo incurvare le ciglia delle cellule ciliate che liberano neurotrasmettitori, i quali producono potenziali d'azione nei neuroni del ramo cocleare del nervo acustico.

Suoni deboli fanno vibrare poco la membrana tectoria, determinando una bassa frequenza di potenziali d'azione; suoni forti la fanno vibrare più consistentemente, determinando un'elevata frequenza di potenziali. L'altezza del suono (suoni acuti o gravi) è percepita perché al variare della frequenza del suono vengono stimulate preferenzialmente porzioni diverse della membrana basilare. Le frequenze elevate (suoni acuti) fanno vibrare soprattutto l'estremità vicino alla finestra ovale, mentre quelle basse (suoni gravi) provocano la massima vibrazione verso l'apice della chiocciola, dove la membrana basilare è più elastica.

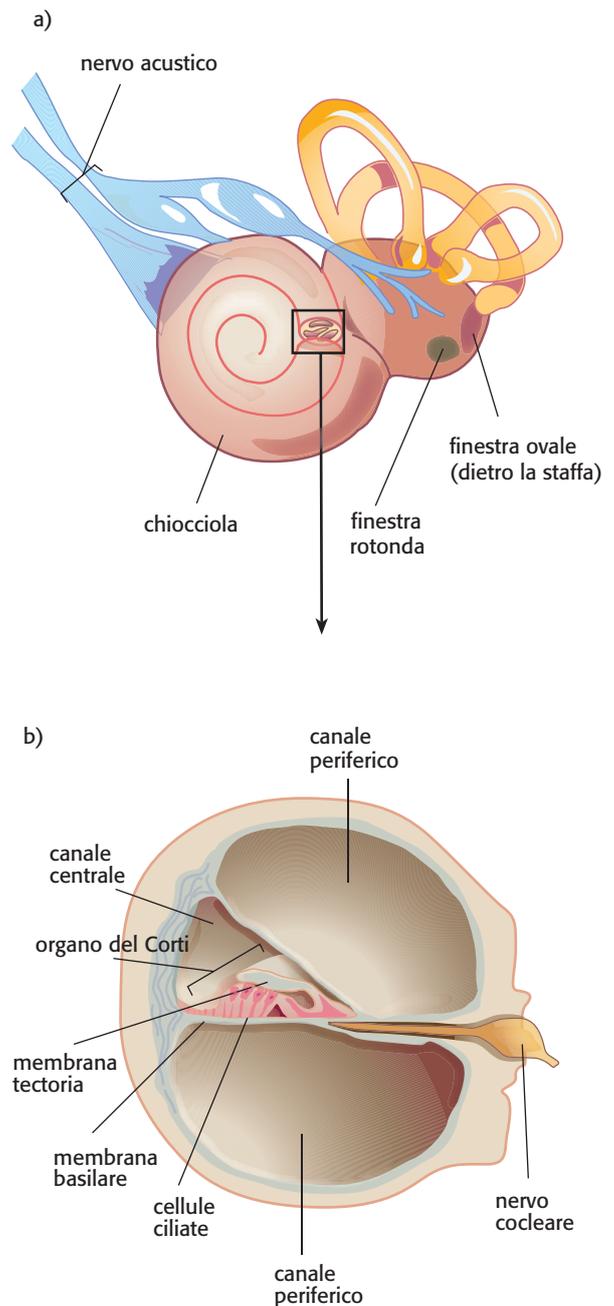


Figura 1 a) Schema della chiocciola e b) della sua sezione, in cui è visibile l'organo del Corti.



LA VISTA

Gli **occhi** sono gli organi della vista e occupano le cavità orbitali nelle quali possono ruotare grazie ai muscoli oculari. Hanno forma sferoidale e sono costituiti da tre membrane concentriche, dette, procedendo dall'esterno verso l'interno, **sclera**, **coroide** e **retina**.

La **retina** (Figura 2) è la membrana più importante perché contiene i **fotocettori**, le cellule nervose che catturano l'energia luminosa. È costituita da tre strati di cellule specializzate: nello strato più profondo vi sono i fotocettori, distinti, in base alla loro forma, in **coni**, contenenti fotopigmenti detti **fotopsine** e deputati alla visione dei colori, e in **bastoncelli**, più numerosi, contenenti un pigmento chiamato **rodopsina** e deputati alla visione in condizioni di scarsa illuminazione. Poiché la luce debole stimola unicamente i bastoncelli, di notte il mondo ci appare senza colori.

Quando la luce colpisce una molecola di fotopigmento, essa cambia forma dando luogo a una serie di eventi che modificano la permeabilità della membrana cellulare, depolarizzandola e generando così un potenziale d'azione. Nell'uomo vi sono tre diversi tipi di coni, con fotopigmenti diversi, che vengono stimolati da radiazioni di lunghezza d'onda differenti corrispondenti al rosso, al verde e al blu. In base all'intensità relativa della loro stimolazione il cervello percepisce i vari colori.

Il secondo strato della retina è formato da neuroni di associazione, **cellule bipolari**, con cui i fotocettori formano sinapsi e che a loro volta comunicano con un terzo strato, più esterno, di **cellule gangliari**, i cui assoni formano il **nervo ottico**.

Il punto in cui le fibre nervose si raccolgono per formare il nervo ottico è privo di fotocettori e costituisce un punto cieco della retina, la **papilla ottica**, in corrispondenza del quale penetra nel globo oculare l'arteria retinica, che si ramifica in tutta la retina. La zona dove l'immagine visiva viene messa a fuoco è detta **fovea**.

La retina è formata anche da altri tipi di cellule nervose, nelle quali si verifica una parziale elaborazione delle informazioni prima che gli impulsi nervosi lascino la retina: le cellule orizzontali e le cellule amacrine.

Una seconda elaborazione avviene a livello del talamo, che seleziona i segnali da inviare alla corteccia visiva, dove subiscono un'ulteriore elaborazione. Ciò che noi infine percepiamo come immagine è in realtà una rappresentazione mentale (un po' come avviene in una macchina fotografica digitale, che trasforma l'immagine in una serie di bit che un computer può rielaborare).

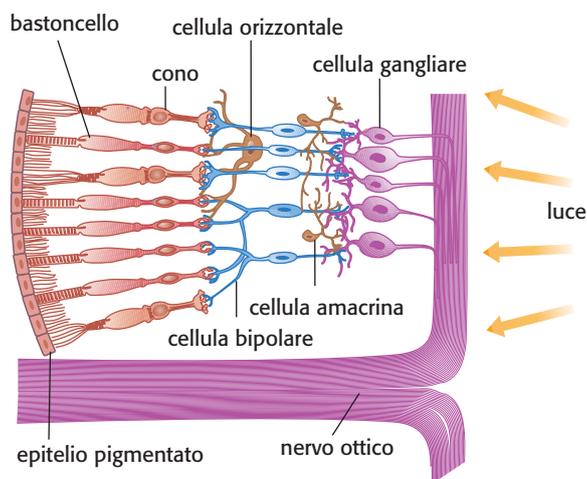


Figura 2 La struttura della retina. Lo strato più profondo della retina contiene i fotocettori (coni e bastoncelli). Lo strato intermedio contiene le cellule bipolari. Lo strato più esterno contiene le cellule gangliari, i cui assoni formano il nervo ottico.



L'impulso nervoso e la sinapsi

La caratteristica unica dei neuroni è l'*eccitabilità*: in base al tipo di segnali raccolti dai dendriti, il corpo cellulare decide se inviare o meno un impulso elettrico, detto *potenziale d'azione*.

Un *potenziale elettrico* si viene a creare quando vi è una differenza di quantità di carica elettrica, misurata tra due regioni cariche di segno opposto. Poiché l'interno di un assone è ricco di cariche negative, mentre l'esterno è carico positivamente, tra i due lati della membrana vi è una differenza di potenziale di circa 70 millivolt, che rappresenta il **potenziale di riposo** della membrana, in assenza di stimolazione.

Quando l'assone è attraversato da un impulso, si verifica una brevissima **depolarizzazione**⁽¹⁾ della membrana dell'assone seguita da un'inversione della sua polarità: l'interno diventa positivo e l'esterno negativo e la differenza di potenziale è di circa 40 millivolt.

Il meccanismo che genera l'impulso nervoso è collegato alle differenze di concentrazione degli ioni K^+ e Na^+ sui due lati della membrana: la concentrazione del primo è maggiore all'interno dell'assone; quella del secondo è maggiore all'esterno. Dapprima si verifica un ingresso di ioni Na^+ , che depolarizzano la membrana, e subito dopo una fuoriuscita di ioni K^+ , che la ripolarizzano. Entrambi gli ioni attraversano la membrana utilizzando specifiche proteine canale, contenute nel doppio strato fosfolipidico, che li lasciano passare nella giusta sequenza.

L'inversione di polarità rappresenta il cosiddetto **potenziale d'azione**, che si propaga lungo tutta la membrana dell'assone, costituendo l'**impulso nervoso** (Figura 1).

L'impulso nervoso viene generato solo se l'intensità di uno stimolo supera una certa soglia, ossia un valore minimo variabile da neurone a neurone, oltre il quale si produce l'effetto del potenziale d'azione. L'intensità dei potenziali d'azione che un neurone può generare è praticamente costante (**legge del "tutto o nulla"**), ciò che varia è la loro frequenza, cioè il numero di potenziali generati nell'unità di tempo: più intenso è lo stimolo, maggiore è la frequenza.

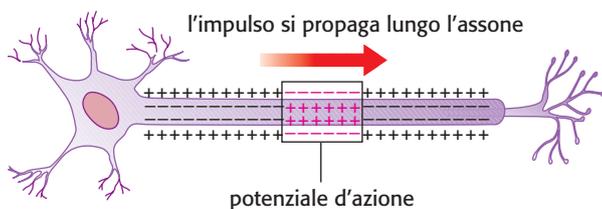


Figura 1 In condizioni di riposo l'interno dell'assone è carico negativamente e l'esterno positivamente. L'impulso nervoso consiste in un'inversione della polarità della membrana (zona colorata) che si propaga lungo tutto l'assone (potenziale d'azione).

(1) La **depolarizzazione** si verifica quando si attenua, fino a scomparire, la differenza di carica elettrica sui due lati della membrana; la **ripolarizzazione** quando si ripristina la differenza di carica iniziale; l'**inversione di polarità** quando s'inverte il segno della carica sui due lati della membrana (l'interno diventa positivo e l'esterno negativo).



LA TRASMISSIONE DELL'IMPULSO NERVOSO

La temporanea inversione di polarità che costituisce il potenziale d'azione si propaga come un'onda di depolarizzazione lungo tutto l'assone, senza subire alcuna riduzione di ampiezza. La depolarizzazione della membrana, infatti, si propaga alla regione adiacente per mezzo di una serie di correnti, dette **correnti di circuito locale** (Figura 2). L'onda di depolarizzazione è unidirezionale: una zona della membrana che si è depolarizzata può trasmettere un nuovo impulso solo dopo un certo intervallo di tempo (**periodo refrattario**). In questo modo nelle regioni in cui si è generato un potenziale d'azione non se ne può manifestare un altro subito dopo.

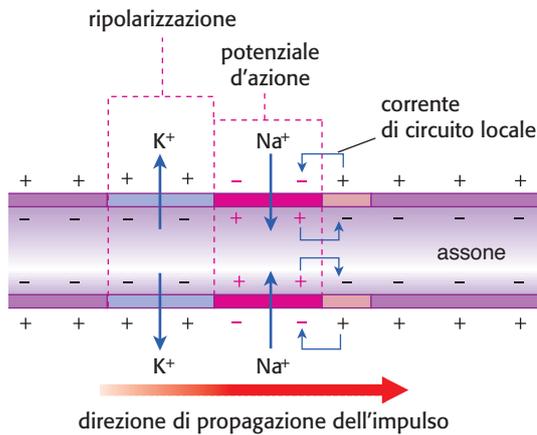


Figura 2 Le correnti di circuito locale si instaurano tra la zona interessata dal potenziale d'azione e quella adiacente. In una fibra amielinica esse si estendono per tutta la lunghezza dell'assone.

Nelle fibre nervose prive di guaina mielinica le correnti di circuito locale sono estese lungo tutto l'assone, per cui la conduzione dell'impulso è molto lenta (circa 1-2 m/s). Nelle fibre rivestite di guaina mielinica, invece, le correnti attraversano solo i nodi (Figura 3), cioè le regioni dell'assone prive di rivestimento, saltando da un nodo all'altro. Poiché la superficie dei nodi è solo una piccola frazione di quella della fibra (circa 1/1000), la conduzione è molto più veloce (30-50 m/s), consentendo risposte agli stimoli molto più rapide.

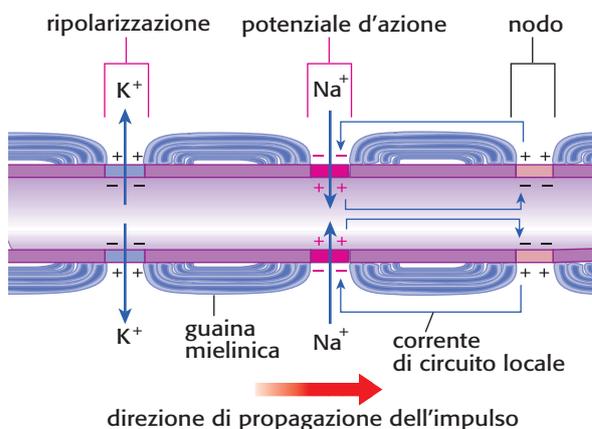


Figura 3 In una fibra mielinica le correnti di circuito locale si estendono solo nelle zone prive di guaina (nodi). La conduzione è pertanto molto più rapida.



LA COMUNICAZIONE TRA DUE NEURONI: LA SINAPSI

Gli stimoli nervosi passano da un neurone all'altro tramite particolari giunzioni, le **sinapsi**, in corrispondenza delle quali i due neuroni sono generalmente separati da un piccolissimo spazio; qui il segnale elettrico viene trasmesso come segnale chimico, grazie a particolari molecole dette **neurotrasmettitori**, come l'acetilcolina e la noradrenalina. In una sinapsi si distinguono una **terminazione presinaptica** (una ramificazione dell'assone della cellula che trasmette l'impulso), generalmente a forma di bulbo, lo **spazio intersinaptico** tra i due neuroni e la **terminazione postsinaptica**, che corrisponde al secondo neurone (Figura 4).

Le molecole dei neurotrasmettitori sono sintetizzate all'interno dei neuroni e immagazzinate in piccole vescicole nelle terminazioni dell'assone. Quando un potenziale d'azione arriva alla terminazione presinaptica, il neurotrasmettitore è rilasciato nello spazio intersinaptico con un processo di esocitosi. Specifici recettori sulla membrana postsinaptica si legano con il neurotrasmettitore, modificando l'eccitabilità della terminazione postsinaptica, che diventa meno eccitabile (**effetto inibitorio**), o più facilmente eccitabile (**effetto eccitatorio**). I segnali che arrivano a un neurone possono provenire anche da diverse centinaia di cellule. Istante per istante il neurone fa una sorta di somma algebrica di tutti gli stimoli ricevuti: se l'effetto complessivo è tale da depolarizzare la cellula in modo sufficiente, parte un nuovo potenziale d'azione. L'azione dei neurotrasmettitori è breve; essi vengono subito degradati e riassorbiti dalla terminazione dell'assone e riutilizzati. Nella trasmissione sinaptica sono coinvolte anche altre sostanze come i **neuromodulatori**, che modulano la risposta di una sinapsi al suo neurotrasmettitore. Tra questi, ricordiamo il gruppo delle **endorfine**, che funzionano come analgesici naturali, sopprimendo gli stimoli dolorifici e determinando uno stato di euforia. Molte droghe, come l'eroina, la morfina e altre sostanze oppiacee, agiscono proprio legandosi ai recettori delle endorfine.

Attraverso le giunzioni sinaptiche, i neuroni trasferiscono il segnale elettrico a un dendrite o al corpo cellulare di un altro neurone o a un muscolo (stimolandone la contrazione) o a una ghiandola (stimolandone la secrezione). Il segnale in uscita (*output*) dal neurone funge da segnale in ingresso (*input*) per la seconda cellula.

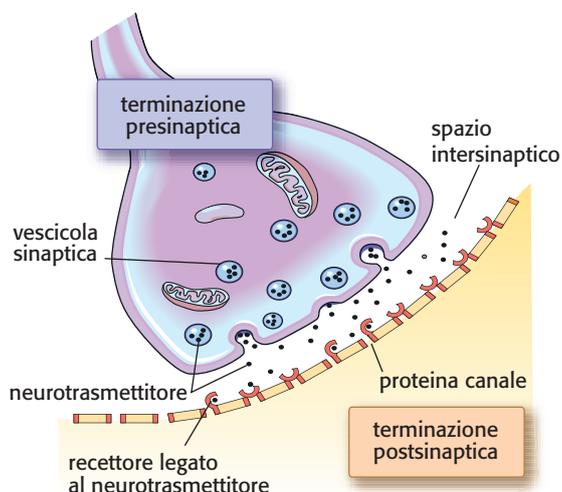


Figura 4 Schema del meccanismo chimico di trasmissione dell'impulso nervoso in una sinapsi.



Le tecniche di controllo delle nascite

Le coppie che non desiderano una gravidanza o che vogliono rimandarla hanno a disposizione una serie di tecniche contraccettive, che si basano su diversi principi, anche se nessuna di esse offre una sicurezza assoluta.

Il **diaframma** e il preservativo maschile (o profilattico o condom) impediscono la fecondazione istituendo una barriera tra l'ovocita e lo spermatozoo.

Il diaframma è un cappelletto di gomma o di lattice dal bordo rigido, che viene inserito nella vagina, in corrispondenza della cervice uterina, per impedire il passaggio degli spermatozoi e va rimosso 6-8 ore dopo il rapporto. È solitamente associato all'uso di gelatine spermicide e la sua efficacia (valore calcolato dal numero di gravidanze su 100 donne in un anno) varia dall'80 al 97%.

Il **preservativo** è uno strumento di contraccezione maschile costituito da un sottile involucro di gomma o lattice che ricopre il pene in erezione, trattenendo il liquido seminale; la sua efficacia è paragonabile a quella del diaframma. Il preservativo protegge anche dalle malattie a trasmissione sessuale, come l'AIDS, perché riduce fortemente il rischio d'infezione, anche se non lo elimina del tutto.

Il **dispositivo intrauterino** (o IUD, Intra Uterine Device, o spirale) è costituito da un dispositivo meccanico, non necessariamente a forma di spirale, che viene inserito dal ginecologo nella cavità uterina dove rimane per un periodo variabile dai 18 mesi ai 5 anni. La sua presenza determina un processo di infiammazione della mucosa che ostacola il passaggio degli spermatozoi e l'impianto nell'utero dell'eventuale ovocita fecondato, agendo anche da mezzo abortivo. L'uso dello IUD non è esente da rischi, quali emorragie, infezioni e gravidanze extrauterine (dovute all'impianto dell'ovulo al di fuori dell'utero) e la sua efficacia oscilla tra il 95 e il 97%.

Su un metodo chimico si basa invece la **pillola anticoncezionale**, una combinazione di estrogeni e progesterone sintetici a basso dosaggio che, assunti dalla donna con regolarità, inibiscono la produzione di FSH ed LH, impedendo l'ovulazione.

Anche l'utilizzo della pillola comporta una serie di effetti secondari, quali le malattie cardiovascolari, e richiede pertanto controlli medici periodici. Essa risulta efficace nel 95-100% dei casi.

Esiste anche una pillola ad alto dosaggio di estrogeni, la cosiddetta "pillola del giorno dopo", che assunta subito dopo un rapporto sessuale non protetto impedisce l'impianto dell'ovulo fecondato.

I **metodi naturali o ritmici** prevedono l'astensione dai rapporti sessuali durante il periodo fecondo: siccome l'ovocita ha una vita media di solo 24 ore, mentre gli spermatozoi possono rimanere vivi all'interno delle vie genitali femminili per 3-5 giorni al massimo, il periodo fecondo della donna corrisponde ai giorni immediatamente precedenti e seguenti l'ovulazione. Ma come determinare il giorno preciso in cui essa avviene? I primi metodi naturali si basavano essenzialmente su calcoli (**metodo di Ogino-Knaus**) e comportavano forti margini di errori. Il periodo dell'ovulazione può essere più efficacemente determinato facendo ricorso al **metodo del muco cervicale** (Billings). Il picco di estrogeni e il conseguente innalzamento dei livelli di FSH e LH che precedono l'ovulazione influenzano infatti anche la composizione del muco cervicale che, normalmente denso, diventa più fluido per facilitare il passaggio degli spermatozoi. I giorni caratterizzati dalla presenza di questo secondo tipo di muco (il cosiddetto muco fertile), sono quelli in cui la donna è feconda: in tali giorni occorrerà astenersi dai rapporti sessuali, se si intende evitare una gravidanza, o concentrarli, nel caso la si desideri. Questo metodo, se correttamente applicato, presenta la minore percentuale di rischio e in uno studio condotto dall'Organizzazione Mondiale della Sanità negli anni 1977-78, in cinque diversi Paesi del mondo (Filippine, El Salvador, India, Irlanda e Nuova Zelanda), la sua efficacia è stata valutata superiore al 90%. Un altro modo per determinare il momento dell'ovulazione è il **metodo della temperatura basale**; la seconda parte del ciclo mestruale, infatti, è caratterizzata da un aumento della temperatura corporea, per effetto del progesterone.



La gravidanza e il parto

La **gravidanza** (o **gestazione**) ha inizio con la fecondazione: il corpo luteo non regredisce, ma continua a produrre progesterone che, da un lato, mantiene la mucosa uterina in uno stato trofico tale da poter accogliere l'embrione in via di sviluppo, dall'altro, agisce a livello ipofisario bloccando la secrezione dell'ormone FSH e inibendo la maturazione di altri follicoli ovarici. Per questo motivo, durante la gravidanza, il ciclo ovarico è sospeso e non si verificano mestruazioni; generalmente tale effetto inibente perdura anche per tutto il periodo dell'allattamento.

- Le divisioni dello zigote portano alla formazione della **blastocisti**, costituita da uno strato esterno di cellule, che delimita una cavità interna, contenente un piccolo ammasso di cellule dal quale si svilupperanno le varie parti dell'embrione. La blastocisti è ben formata dopo circa 4 giorni dalla fecondazione e discende lungo la tuba fino all'utero (Figura 1); qui, verso il decimo giorno, si annida aderendo all'endometrio (**fase di impianto**).

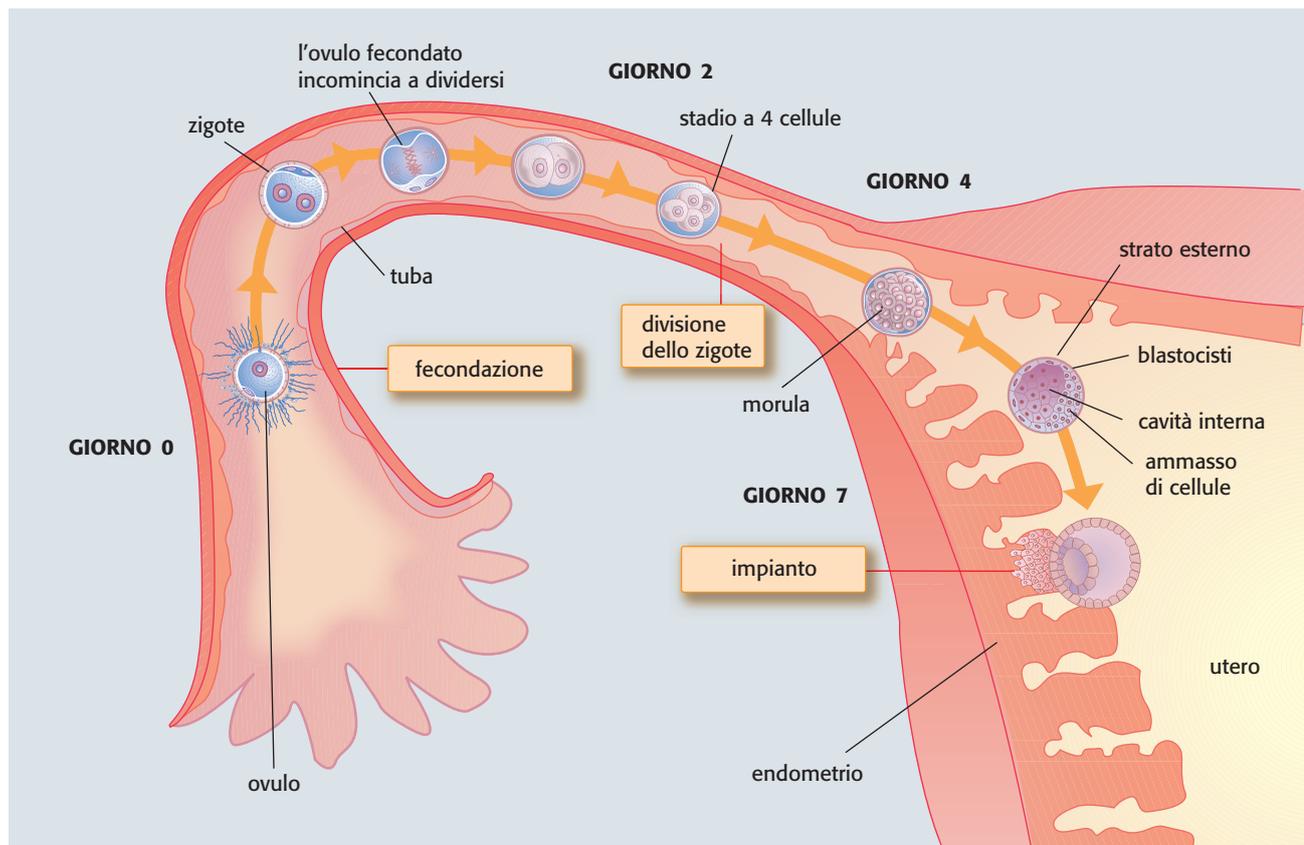


Figura 1 Lo sviluppo dell'embrione umano dalla fecondazione all'impianto.



- Successivamente lo strato esterno della blastocisti forma numerose estroflessioni (**villi coriali**) all'interno dei tessuti dell'utero, ampliando così la superficie disponibile per assicurare gli scambi di gas, sostanze nutritive e prodotti di rifiuto tra l'embrione e la madre. Tale struttura, formata da un complesso intreccio di tessuti embrionali e materni, costituisce la **placenta** (Figura 2). Essa, oltre a consentire gli scambi tra l'embrione e la madre, attraverso il **cordone ombelicale**, secerne gli ormoni (estrogeni e progesterone) necessari a sostenere la gravidanza.

Un involucro ripieno di liquido avvolgerà l'embrione e lo proteggerà per tutto il tempo della gravidanza, costituendo l'**amnios** o **sacco amniotico**.

- Sul finire della sesta settimana (Figura 3), l'embrione ha assunto il tipico aspetto che caratterizza i cordati, con le fessure branchiali, il tubo neurale, la corda dorsale e la coda, strutture che poi regrediranno. Inoltre, si possono ben distinguere il cuore, che pulsa molto rapidamente, gli abbozzi degli occhi e persino quelli delle dita delle mani e dei piedi. Il tubo neurale è enormemente allargato nella sua parte anteriore dove si è formato l'encefalo, che occupa da solo quasi la metà dell'embrione. La testa ha dimensioni sproporzionate rispetto al corpo perché le cellule nervose dell'organismo hanno origine quasi tutte durante lo sviluppo embrionale.

- All'ottava settimana (Figura 4), la maggior parte degli organi si è ormai sviluppata e l'embrione ha assunto la forma della specie umana: per questo è ora chiamato **feto**. In questo stadio si sviluppano le gonadi, che, inizialmente indifferenziate, danno origine ai testicoli o alle ovaie in base alla presenza o all'assenza del cromosoma Y. Le gonadi iniziano a produrre gli ormoni sessuali, i quali controllano sia lo sviluppo dell'apparato riproduttore sia lo sviluppo di alcune parti del cervello e in particolare dell'ipotalamo.

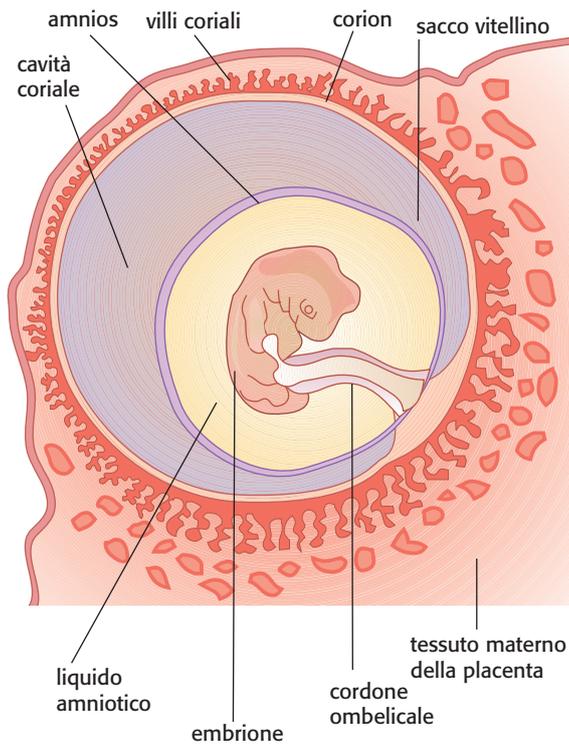


Figura 2 La placenta è costituita da tessuti sia materni sia fetali, come il **corion**. La sua struttura è tale per cui il sangue materno e quello fetale non sono mai a diretto contatto e garantisce un'ampia superficie per gli scambi: l'ossigeno diffonde dal sangue materno a quello fetale, mentre l'inverso accade per l'anidride carbonica; i nutrienti passano al feto; l'urea diffonde dal feto nel sangue materno ed è eliminata dai reni della madre.



Figura 3 Un embrione alla sesta settimana. Sono visibili gli abbozzi degli arti e in trasparenza si distingue il sistema circolatorio.



Figura 4 Un embrione all'ottava settimana. È evidente l'amnios che lo circonda.



- Dal terzo mese il feto comincia a muovere gli arti e a rispondere agli stimoli; compaiono inoltre alcuni comportamenti istintivi come la suzione. Alla fine del terzo mese il feto ha raggiunto il peso di circa 15 g e la lunghezza di circa 8-9 cm: tutti i più importanti apparati e sistemi sono già formati.
- Dal quarto mese (Figura 5) i movimenti del feto sono più frequenti e avvertibili dalla madre; verso la fine del quinto la placenta occupa circa il 50% dell'utero.
- Nel corso dell'ultimo trimestre il feto raddoppia il suo peso e il sistema nervoso subisce un rapido sviluppo.
- Nell'ultimo mese alcuni anticorpi materni passano al feto e lo proteggeranno dalle infezioni nei primi mesi di vita (immunizzazione naturale passiva). L'accrescimento rallenta e la placenta inizia a invecchiare. Dopo circa 280 giorni dall'inizio dell'ultima mestruazione (40 settimane), si verifica il parto (Figura 6). Alla nascita, il peso del feto è circa 3-4 kg e ha grande influenza sulla mortalità infantile: i neonati al di sotto di 2,5 kg sono considerati sottopeso e quelli al di sotto di 2 kg possono presentare seri danni, soprattutto cerebrali, e hanno una maggiore probabilità di morire. Tra le principali cause di un peso insufficiente alla nascita vi sono la denutrizione della madre, l'uso di droghe e il fumo. Dopo il parto ha inizio la produzione del latte nelle ghiandole mammarie. Il primo latte prodotto si chiama **colostro** ed è ricco di anticorpi, che nei primi mesi proteggono il neonato dalle infezioni.



Figura 5 Un feto all'inizio del quarto mese. È ben evidente il cordone ombelicale che assicura gli scambi con la madre.

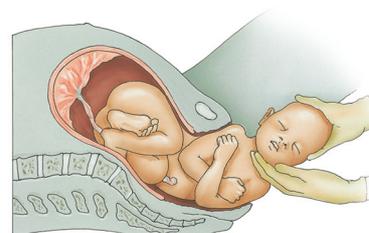
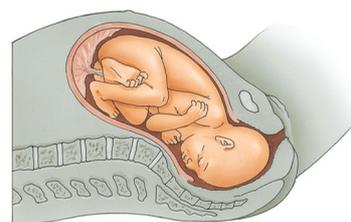


Figura 6 Il parto avviene in tre fasi.

Sotto l'azione dell'ossitocina, il collo dell'utero si dilata (**dilatazione**) e ha inizio una serie di contrazioni ritmiche e dolorose della muscolatura uterina (doglie) che avvengono a intervalli sempre più brevi.

La **fase espulsiva** ha inizio quando la dilatazione uterina raggiunge i 10 cm e culmina con l'espulsione del bambino; in questa fase o in quella precedente avviene la rottura del sacco amniotico. A seguito di ulteriori contrazioni uterine viene espulsa la placenta (**secondamento**).



Nell'uomo e negli altri vertebrati, nascite gemellari possono verificarsi in due modi.

- **Gemelli biovulari o dizigotici:** derivano dalla fecondazione di due o più cellule uovo da parte di un numero corrispondente di spermatozoi. In questo caso si hanno individui geneticamente diversi, esattamente come due fratelli nati in epoche diverse, che possono essere di sesso diverso (gemelli fratelli).

- **Gemelli monovulari o monozigotici:** rappresentano circa il 25% dei parti gemellari e derivano da un unico uovo fecondato che, a un certo momento del suo sviluppo, si scinde in due o più parti, generando due o più individui. Questi sono geneticamente identici e perciò necessariamente dello stesso sesso e fenotipicamente molto simili (gemelli identici).



L'invecchiamento cellulare: l'apoptosi

Con la nascita comincia un ulteriore periodo di sviluppo e di crescita che trasforma il neonato prima in un bambino, poi in un adolescente e, infine, in un adulto capace di riprodursi. Già a partire dai 20 anni ha inizio però il processo opposto dell'**invecchiamento**, che consiste nel degrado delle strutture e delle funzioni cellulari che determina un peggioramento progressivo di tutte le funzioni dell'organismo (Figura 1).

Ma a che cosa è dovuto l'invecchiamento?

Le cellule sarebbero dotate di una specie di orologio interno, controllato geneticamente, che a un certo punto entra in azione determinando la morte della cellula. Si tratta in realtà di un normale meccanismo omeostatico che assicura la costanza del numero delle cellule di un tessuto, bilanciando le nuove cellule, prodotte per mitosi, con l'eliminazione di alcune di quelle preesistenti. Il fenomeno, scoperto di recente, è stato definito **apoptosi** ed è facilmente identificabile per alcuni peculiari aspetti morfologici delle cellule.

L'apoptosi può essere indotta anche da modificazioni dell'ambiente esterno, come la presenza di sostanze tossiche e, probabilmente, con l'avanzare dell'età, tale meccanismo entra in azione in maniera sempre più massiccia.



Figura 1 Le modificazioni delle cellule nervose che si osservano nei soggetti colpiti dal morbo di Alzheimer, una malattia degenerativa del sistema nervoso, sono per molti aspetti simili a quelle dell'apoptosi. Gli studi sull'apoptosi potrebbero pertanto rivelarsi utili anche per trovare una terapia per l'Alzheimer e per altre malattie simili.



L'unione della teoria dell'evoluzione darwiniana con i principi della genetica mendeliana portò, agli inizi del XX secolo, alla nascita di una nuova branca della genetica: la **genetica di popolazioni**. Essa si occupa dello studio del **pool genico di una popolazione**, ossia dell'*insieme degli alleli di tutti i geni degli individui* che la compongono, analizzandone la struttura, le modificazioni e le forze che le hanno prodotte.

In genetica si definisce **popolazione** un *gruppo di organismi della stessa specie che si incrociano in un certo spazio e in un certo periodo di tempo*.

Un altro concetto importante nella genetica di popolazioni è quello di **fitness** o **successo biologico**, con cui, più che indicare gli individui meglio adattati all'ambiente, si tiene conto del numero di discendenti che riescono a sopravvivere, trasmettendo i loro alleli alle generazioni successive.

Nel 1908 **Godfrey Harold Hardy** (1887-1947) e **Wilhelm Weinberg** (1862-1937) dimostrarono che negli organismi diploidi la ricombinazione genica che avviene a ogni generazione non cambia il pool genico di una popolazione: il pool genico tende a mantenersi in una condizione di equilibrio in cui le frequenze dei vari genotipi rimangono costanti (**equilibrio di Hardy-Weinberg**). Tale principio si realizza solo se si verificano le seguenti condizioni teoriche:

- accoppiamento casuale;
 - assenza di nuove mutazioni;
 - assenza di incroci con altre popolazioni (che apporterebbero nuovi geni);
 - grandi dimensioni della popolazione (in una popolazione molto piccola le *frequenze alleliche*⁽¹⁾ potrebbero infatti essere alterate per il solo effetto del caso);
 - assenza di selezione (tutti gli individui devono avere la stessa probabilità di sopravvivere e di riprodursi dando prole feconda).
- Una popolazione naturale è quasi sempre lontana dall'equilibrio poiché difficilmente si realizzano le condizioni elencate.



Godfrey Harold Hardy.



Wilhelm Weinberg.

(1) Se si considera un gene con due soli alleli (indicati rispettivamente con A e a) la frequenza allelica si definisce come il numero di volte in cui un allele è presente in una popolazione, diviso il numero totale di cromosomi che portano tale gene. Se, per esempio, una popolazione è costituita da 5 individui AA, 10 Aa e 5 aa, la frequenza dell'allele A (indicata con p) sarà:

$$p = \frac{(5 \cdot 2) + (10 \cdot 1)}{40} = \frac{20}{40} = 0,5$$



LE FORZE CAPACI DI MODIFICARE LE FREQUENZE GENICHE

Le principali cause che possono generare cambiamenti nelle frequenze alleliche e genotipiche di una popolazione sono diverse.

- **Mutazioni.** Generano nuovi alleli e quindi nuovi caratteri, il “materiale grezzo” su cui agisce l'evoluzione. A causa della bassa probabilità con cui si verificano, a ogni generazione esse possono modificare solo minimamente le frequenze di un determinato allele di una popolazione. Dal punto di vista della genetica di popolazioni è importante notare che le mutazioni, sebbene possano essere influenzate da svariati fattori ambientali, sono prodotte indipendentemente dall'ambiente e dal vantaggio o svantaggio potenziale che possono apportare a un organismo (Figura 1a).

- **Deriva genetica.** È la *variazione casuale delle frequenze geniche* e si verifica soprattutto nelle popolazioni di piccole dimensioni. In una grande popolazione, infatti, se alcuni membri della popolazione portatori dell'allele accidentalmente muoiono prima di riprodursi, la frequenza dell'allele rimarrà pressoché inalterata; nel caso di una piccola popolazione, invece, vi è un'elevata probabilità che l'allele scompaia del tutto. L'**effetto del fondatore** si verifica quando una piccola popolazione si separa da una più grande. In tal caso è probabile che le sue frequenze alleliche non siano le stesse della popolazione originaria, con presenza di alcuni alleli rari in percentuale maggiore o, viceversa, completa assenza di altri (Figura 1b). Un esempio è dato dalla popolazione Amish della Pennsylvania, nella quale un allele recessivo si manifesta con una frequenza sorprendentemente elevata. L'**effetto collo di bottiglia** si verifica quando una popolazione viene ridotta notevolmente di numero, per esempio da una catastrofe naturale: negli individui sopravvissuti la frequenza di un certo allele sarà piuttosto diversa da quella originaria e molti alleli potranno essere scomparsi. Poiché in entrambi i casi le frequenze alleliche si saranno modificate per deriva genetica, si può affermare che la popolazione si è evoluta in assenza di selezione.

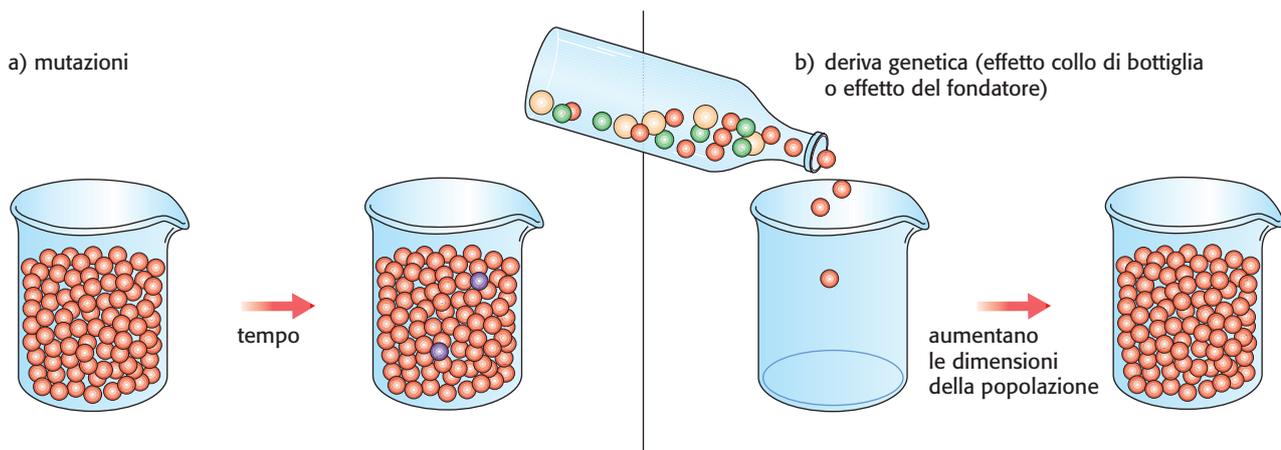


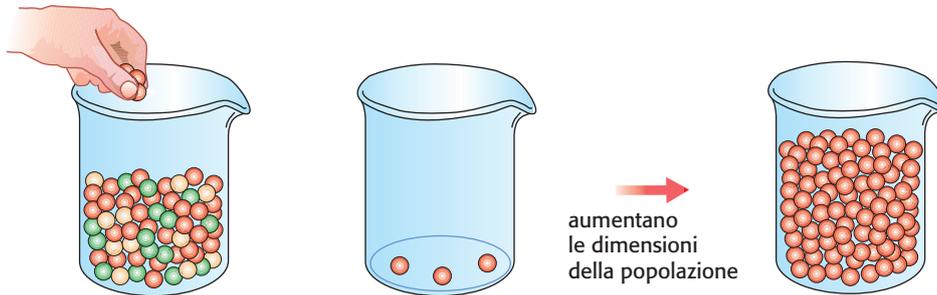
Figura 1 Le forze in grado di modificare le frequenze geniche di una popolazione.



• **Inbreeding** (accoppiamento tra consanguinei) e **accoppiamenti non casuali**.

L'accoppiamento tra consanguinei può verificarsi in popolazioni molto ridotte anche se la maggior parte delle specie adotta accorgimenti particolari, che favoriscono l'incrocio tra individui non troppo imparentati. Gli accoppiamenti non casuali si verificano spesso per fattori comportamentali. Le oche delle nevi, per esempio, possono essere azzurre o bianche; poiché le oche bianche tendono ad accoppiarsi con oche bianche e le azzurre con oche azzurre, in tale popolazione gli accoppiamenti non sono casuali. In questi accoppiamenti aumenta notevolmente la frequenza degli omozigoti, anche se non si modificano globalmente le frequenze alleliche (Figura 1c). In questo modo molti alleli recessivi possono esprimersi venendo esposti all'azione della selezione naturale.

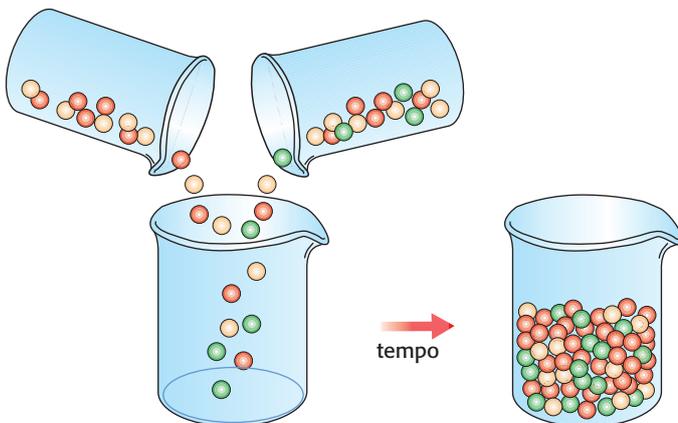
c) inbreeding e accoppiamenti non casuali



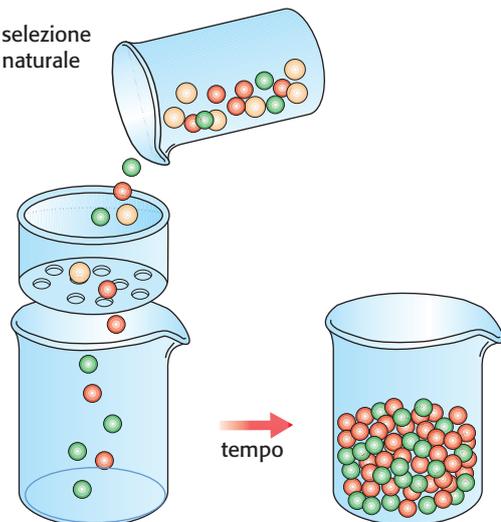
• **Flusso genico**. Si verifica quando individui di una popolazione si incrociano con individui provenienti da un'altra popolazione, a seguito di un'emigrazione o immigrazione. Nella popolazione possono essere introdotti nuovi alleli e possono cambiare le frequenze alleliche (Figura 1d).

• **Selezione naturale**. È il principale meccanismo capace di modificare le frequenze geniche di una popolazione (Figura 1e). Anche se non è in grado di eliminare gli alleli dannosi, la selezione naturale fa sì che, a ogni generazione, essi siano sempre meno, diminuendone gradualmente le frequenze (Figura 2). Un esempio di selezione è quello che riguarda la *Biston betularia* (Figura 3).

d) flusso genico



e) selezione naturale



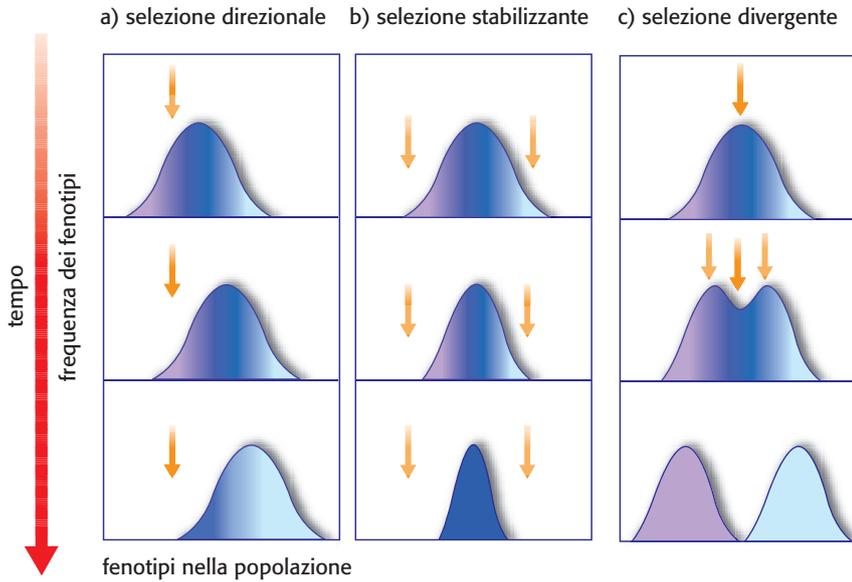


Figura 2 Tre principali tipi di selezione in base agli effetti che essa produce sulle frequenze geniche (curva a campana) di una popolazione; le frecce indicano contro quali forme agisce nel tempo la selezione.

a) Selezione direzionale: modifica le frequenze di uno o più caratteri in una certa direzione favorendo il fenotipo che meglio si adatta alle nuove caratteristiche ambientali (per esempio, la selezione praticata dagli allevatori per ottenere animali più produttivi).

b) Selezione stabilizzante: tende a operare contro i fenotipi estremi, favorendo gli individui con caratteristiche intermedie.

c) Selezione divergente: favorisce gli individui con caratteristiche estreme. Essa può avere un ruolo importante nell'origine di nuove specie.



Figura 3 *Biston betularia* è una farfalla notturna diffusa in Inghilterra. All'inizio del XIX secolo la maggior parte delle farfalle era di colore chiaro mentre le scure erano estremamente rare. Con la rivoluzione industriale la quantità crescente di smog fece annerire le cortecce degli alberi sui quali le farfalle si mimetizzavano.

Così le varianti scure, che potevano meglio mimetizzarsi e quindi avevano un vantaggio selettivo, cominciarono a divenire sempre più frequenti, sino a sostituire quasi del tutto quelle chiare che continuarono a essere più numerose solo nelle campagne non inquinate. Tale fenomeno è noto come **melanismo industriale** ed è un esempio di selezione direzionale.



L'uomo possiede alcune caratteristiche fisiche che lo distinguono dagli altri esseri viventi. Le principali sono la **stazione eretta**, l'**andatura bipede**, le **mani prensili** con il pollice opponibile che gli permettono di prendere e manipolare gli oggetti, la **visione stereoscopica** (resa possibile dalla posizione anteriore degli occhi e dalla parziale sovrapposizione dei loro campi visivi) che consente di percepire la profondità.

Dallo studio della struttura dell'emoglobina, dei citocromi e di altre biomolecole è emerso che, tra i primati, il genere *Pan* (gli scimpanzé) e il genere *Homo* (l'uomo) presentano le maggiori affinità.

I due generi derivano da un antenato comune vissuto probabilmente circa 7 milioni di anni fa (fine del Miocene), epoca in cui il clima generale della Terra divenne più secco e le regioni subequatoriali dell'Africa, sino ad allora ricoperte da boschi e foreste, si trasformarono nella savana alberata per cui fu possibile il passaggio dalla vita arboricola al terreno.

La vita nella savana rendeva particolarmente utili gli adattamenti che consentivano di valutare bene le distanze, di adoperare strumenti e strategie per difendersi dai nemici, di correre velocemente per sfuggire loro, premiando tutti gli adattamenti che caratterizzano l'uomo. Risultarono enormemente vantaggiosi anche l'andatura bipede, che rendeva le mani libere dai compiti della locomozione, il fatto di possedere una visione di tipo stereoscopico e le mani prensili perché, agendo in modo coordinato, consentirono una notevole abilità manuale e precisione. Divenne così possibile afferrare oggetti, come pietre e bastoni, per utilizzarli come strumenti e armi.

Contemporaneamente si verificò un aumento del volume e della capacità della scatola cranica che consentirono un enorme sviluppo dell'encefalo e, in particolare, della corteccia cerebrale.

Di conseguenza vi fu un aumento dell'intelligenza e vennero acquisiti adattamenti tipicamente umani quali il linguaggio, i sentimenti e la personalità.

GLI AUSTRALOPITECINI

Nel 1924 Raymond Dart, un antropologo sudafricano, scoprì alcuni frammenti di cranio inclusi in una roccia estratta nel suo Paese.

Il fossile, a cui Dart attribuì il nome di **Australopithecus africanus**, presentava alcune caratteristiche tipiche delle scimmie antropomorfe, tra cui la struttura cranica, e altre più simili a quelle dell'uomo, come la dentatura. Successivamente furono scoperti centinaia di reperti fossili analoghi, raggruppati sotto la denominazione comune di **australopitecini**.

Gli australopitecini avevano una capacità cranica media di circa 500 cm³, cioè di poco più grande di quella dell'attuale gorilla, ma la struttura del cervello, ricavata sulla base dei calchi interni, era più simile a quella dell'uomo.

Nel 1974 fu scoperto in Etiopia uno scheletro, completo per il 40%, di un australopitecino (*Australopithecus afarensis*) di sesso femminile di circa vent'anni di età, a cui fu dato il nome di Lucy (Figura 1) e che risale a 3-4 milioni di anni fa. In base ad altri reperti si è potuto stabilire che gli australopitecini vissero da circa 5 milioni di anni fa fino a circa un milione di anni fa.



Figura 1 Resti dello scheletro di *Australopithecus afarensis*, noto col nome di Lucy, ritrovati in Etiopia.



IL GENERE *HOMO*

Nel 1961 Louis Leakey scoprì un fossile, risalente a circa 1,8 milioni di anni fa, che aveva caratteristiche più vicine a quelle umane, rispetto agli australopitecini, e mostrava una capacità cranica di circa 700 cm³. Per questo motivo esso fu classificato nel genere *Homo*, ma fu attribuito a una specie diversa definita *Homo habilis*, poiché vennero trovati in zona alcuni ciottoli scheggiati, che lasciavano presupporre la capacità di costruire semplici utensili. Ulteriori reperti riferibili a tale specie furono successivamente rinvenuti in Etiopia e in Tanzania. L'*Homo habilis* rappresenta il primo vero progenitore dell'uomo e visse probabilmente tra 2,8 e 1,7 milioni di anni fa. Lo sviluppo di particolari aree encefaliche, desunto dai calchi endocranici, lascia supporre la presenza di una forma di linguaggio articolato. Precedentemente erano stati scoperti fossili di ominidi con caratteri simili a quelli dell'uomo attuale, come l'uomo di Giava, scoperto nel 1889 e risalente a circa 0,5 milioni di anni fa, e l'uomo di Pechino, scoperto nel 1929. Entrambi

avevano una capacità cranica di circa 1000 cm³ e possedevano alcuni caratteri tipici delle scimmie antropomorfe, come le arcate sopraccigliari molto pronunciate, la fronte bassa, i denti e le mandibole grossi e il mento sfuggente, ma a differenza di queste, erano eretti, usavano strumenti più raffinati di quelli di *Homo habilis* (Figura 2) e probabilmente conoscevano l'uso del fuoco. Questi fossili vennero dunque catalogati come una nuova specie, l'*Homo erectus*, della quale sono stati trovati esemplari, oltre che in Asia, in Africa (Mauritania, Kenia, Tanzania) e in Europa (Germania, Ungheria, Italia). In base alla datazione dei fossili è molto probabile che l'*Homo erectus* sia comparso in Africa e sia poi migrato in tutta l'Eurasia (Figura 3). I reperti più antichi risalgono a circa 1,7 milioni di anni fa, epoca in cui in Africa erano ancora diffusi gli australopitecini. Un'ipotesi interessante è che l'affermazione dell'*Homo erectus* abbia provocato l'estinzione degli australopitecini, soppiantando anche l'*Homo habilis*. Gli ultimi suoi fossili risalgono a circa 300 000 anni fa.

Nel 1856 nei pressi di Düsseldorf, in Germania, furono rinvenuti resti molto simili all'uomo moderno appartenenti ad alcuni individui noti come uomini di Neanderthal (*Homo neanderthalensis*). Essi vissero tra 400 000 e 30 000 anni fa, ed erano molto più evoluti dell'*Homo erectus*.

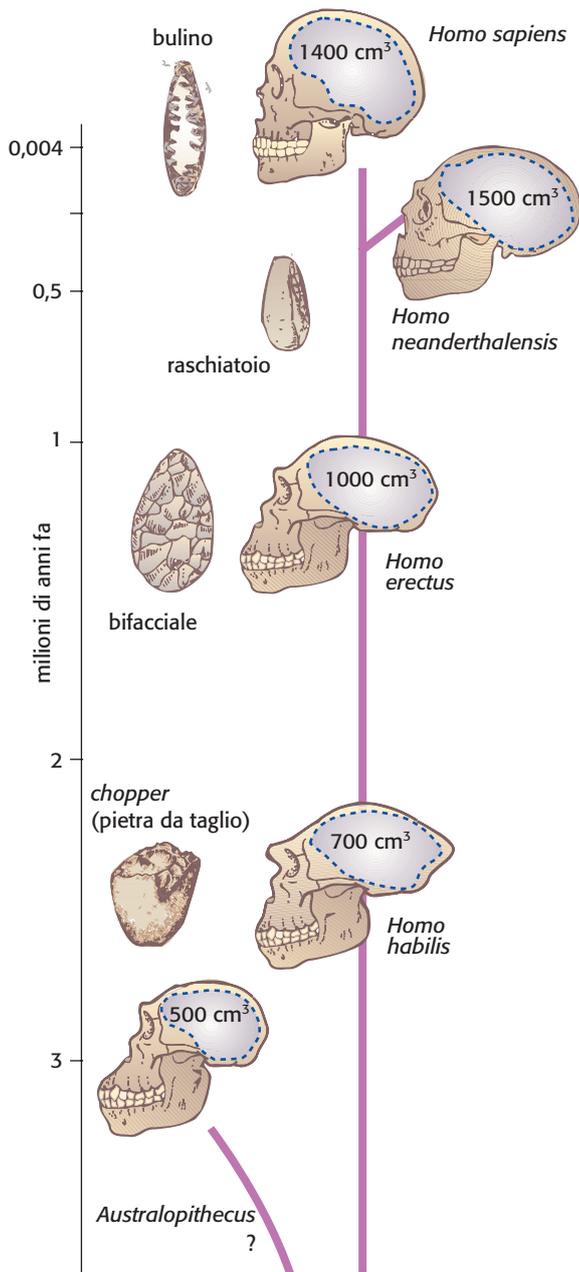


Figura 2 Evoluzione nel tempo della capacità cranica degli ominidi. Sono anche raffigurati gli attrezzi in selce utilizzati dai vari gruppi.

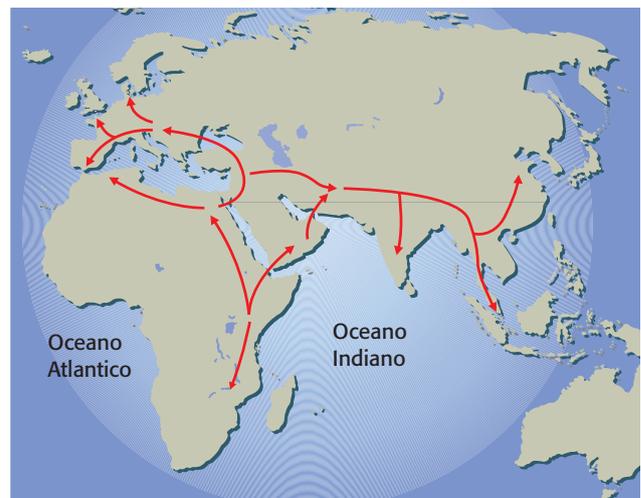


Figura 3 Migrazioni di *Homo erectus*. Gli *Homo erectus*, dall'Africa orientale, la "culla dell'umanità", migrarono in Asia e in Europa: i numerosi fossili rintracciati in queste regioni ne sono una chiara documentazione.



Gli abbondanti fossili indicano che l'uomo di Neanderthal era di corporatura tozza e massiccia, adatta ai climi freddi, e aveva una capacità cranica (circa 1450 cm³) simile a quella dell'uomo moderno. Il ritrovamento di numerosi utensili testimonia che i neanderthaliani erano abili cacciatori e costruttori e praticavano il culto dei morti.

I resti più antichi dell'**Homo sapiens** vennero ritrovati per la prima volta in Francia a Cro-Magnon; gli uomini di Cro-Magnon (Figura 4) vissero tra 50 000 e 20 000 anni fa e furono abilissimi costruttori di utensili nonché capaci di espressioni artistiche. A essi sono attribuite alcune pitture murali, rappresentanti scene di caccia, che sono state ritrovate all'interno di caverne a Lascaux (Francia) e Altamura (Spagna). Tale gruppo, dopo la fine dell'ultima glaciazione, quella würmiana, si diffuse ampiamente generando l'uomo moderno (Figura 5).



Figura 4 Confrontando il cranio a) dell'uomo di Neanderthal con quello b) dell'uomo di Cro-Magnon, si nota subito la struttura corporea più massiccia del primo.

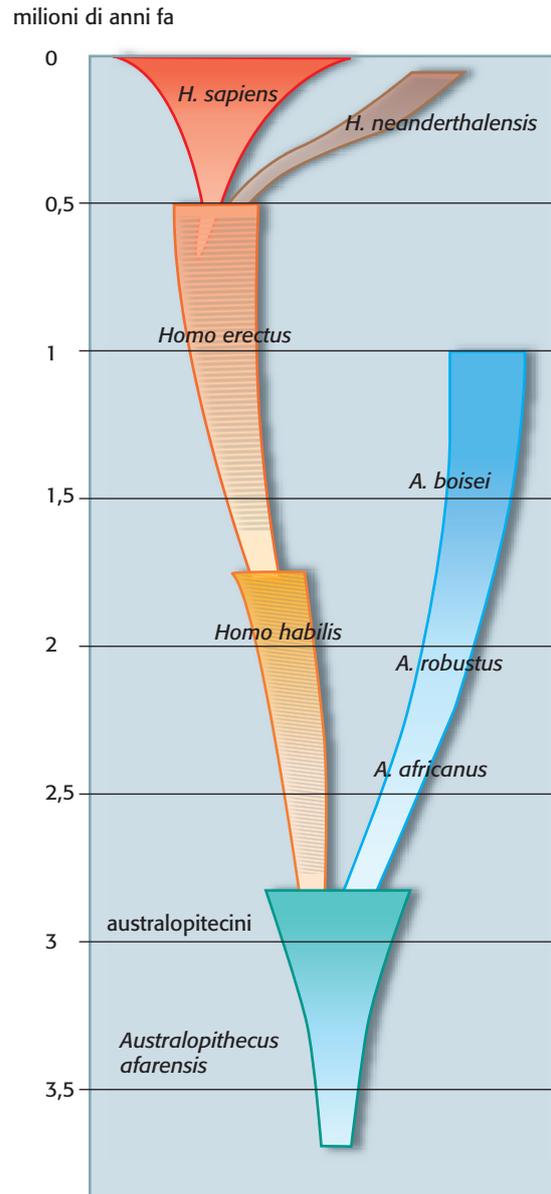


Figura 5 Principali tappe dell'evoluzione dell'uomo. Homo e Australopithecus hanno avuto antenati comuni. Mentre il primo ha continuato la sua evoluzione sino alle forme moderne, il secondo si è estinto.



Il comportamento innato e il comportamento acquisito

IL COMPORTAMENTO INNATO

Un **comportamento innato** è un *comportamento geneticamente determinato* che l'animale sviluppa indipendentemente da una precedente esperienza.

Esempi di comportamenti innati sono i **riflessi**, risposte a uno stimolo che avvengono attraverso una via nervosa detta arco riflesso. Un esempio è il riflesso di spavento del neonato, che reagisce con un brusco scatto in seguito a un forte suono improvviso. Comportamenti complessi che sono eseguiti perfettamente senza apprendimento sono chiamati **istinti** (Figura 1). Un comportamento innato di tipo *stereotipato*, cioè composto da *azioni ripetute sempre allo stesso modo*, è definito **modulo fisso di attività**. Tale comportamento è innescato da uno stimolo particolare, detto **stimolo segnale**, che può essere di tipo visivo, uditivo, tattile o olfattivo (Figura 2).

Figura 1 Molti uccelli, come gli uccelli tessitori, riescono a costruire nidi anche molto elaborati in maniera perfetta sin dal primo tentativo.



Figura 2 Un esempio di modulo fisso di attività. Alcuni uccelli, come le oche selvatiche, riportano al nido, con una serie di colpetti del becco, le uova da esso casualmente rotolate via. Lo stimolo segnale è la vista di un uovo isolato.



IL COMPORTAMENTO ACQUISITO

Il **comportamento acquisito** è caratterizzato dall'apprendimento in seguito all'esperienza e non è determinato geneticamente. Comportamenti acquisiti si osservano anche in animali molto semplici come le planarie, ma più facilmente in animali con sistema nervoso più complesso, come i primati; inoltre essi sono più diffusi nelle specie in cui i piccoli ricevono lunghe cure da parte dei genitori (cure parentali). Il vantaggio più importante del comportamento acquisito è la possibilità di adattare il comportamento alle condizioni ambientali, al contrario del comportamento innato, che è fisso e immutabile. Un uccello che costruisce il suo nido sulla base di un comportamento innato sarebbe in difficoltà se, per esempio, non fosse disponibile nell'ambiente il materiale per la costruzione. Sarà invece favorito l'animale che ha imparato a utilizzare altri materiali. In generale qualsiasi comportamento implica componenti sia innate sia acquisite: per esempio i cuccioli di molti mammiferi predatori come i leoni trascorrono molto tempo a giocare. Tale attività è in realtà un allenamento alla caccia e quindi una forma di apprendimento, ma la tendenza a "giocare" è innata. Esistono diversi livelli di apprendimento.

- **Imprinting:** si può osservare negli animali molto giovani; fu descritto per la prima volta da **Konrad Lorenz** (1903-1989). Egli osservò che gli anatroccoli subito dopo la schiusa dell'uovo seguono la loro madre e scoprì che in realtà esiste un periodo critico, che va dalle 12 alle 16 ore dopo la nascita, durante il quale gli anatroccoli imparano a identificare la madre. Se in tale periodo si sostituisce la madre con una femmina di un'altra specie o addirittura con un oggetto inanimato, essi lo identificheranno e lo seguiranno come se fosse la loro madre (Figura 3).

- **Assuefazione (o adattamento):** gli animali ignorano uno stimolo persistente, continuando a svolgere normalmente le loro attività. Per esempio, quando uno scoiattolo scorge un pericolo lancia un grido di allarme che fa sì che gli altri scoiattoli si nascondano nelle loro tane. Se uno scoiattolo lancia ripetutamente grida di allarme senza una reale presenza di pericolo, esse finiranno con l'essere ignorate.

- **Apprendimento associativo:** in seguito all'esperienza, uno stimolo è collegato a un altro stimolo. Classici sono stati gli studi condotti negli anni Venti del secolo scorso dal fisiologo russo **Ivan Pavlov** (1849-1936). In un suo famoso esperimento, egli offrì ripetutamente del cibo a un cane affamato segnalando all'animale l'arrivo del cibo mediante il suono di un campanello.



Figura 3 Lorenz stesso si sostituì alla madre durante il periodo critico e gli anatroccoli iniziarono a seguirlo.



Trascorso un certo tempo, il semplice suono del campanello fu sufficiente a provocare nell'animale un'abbondante salivazione anche in assenza del cibo (**condizionamento**). I due stimoli, il suono del campanello e la presenza del cibo, erano stati infatti associati insieme. Successivamente lo psicologo americano **Burrhus Frederic Skinner** (1904-1990) osservò che se un'azione era seguita da una ricompensa, che agiva da rinforzo (**condizionamento operante**), aveva molte più probabilità di essere ripetuta in seguito (Figura 4).

- **Imitazione:** un gruppo di macachi dell'isola giapponese di Koshima ha appreso a lavare le patate dolci nell'acqua prima di mangiarle imitando una femmina del gruppo che per prima le aveva ripulite in tal modo. Tale comportamento si è diffuso e si è trasmesso anche alle nuove generazioni che hanno imitato gli adulti.

- **Comportamento intelligente:** è la capacità di risolvere un problema senza poter fare affidamento su precedenti prove ed errori, come nei due casi precedenti; è una vera e propria forma di ragionamento che si verifica solo nei primati e nei vertebrati più evoluti (Figura 5).

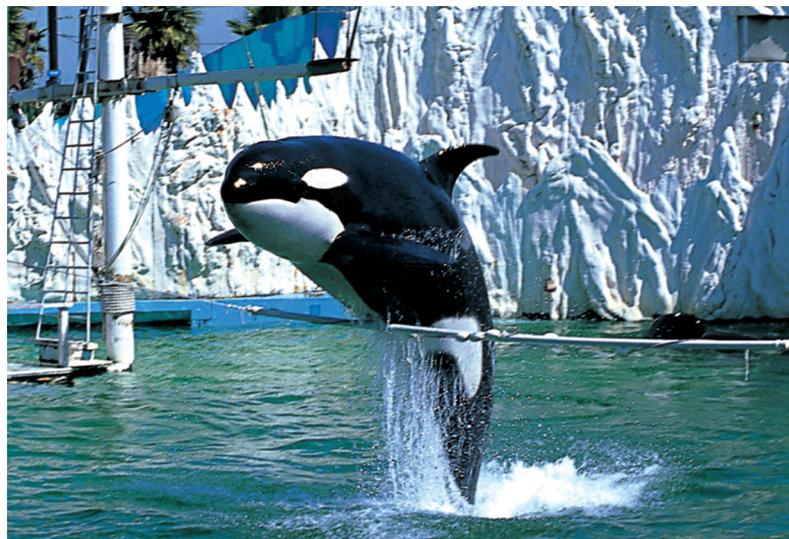


Figura 4 Nell'addestramento degli animali, come i delfini e le orche, si fa spesso uso del condizionamento operante. In seguito a una serie di ricompense, che agiscono da rinforzo, l'animale impara a ripetere in modo preciso un certo tipo di comportamento.

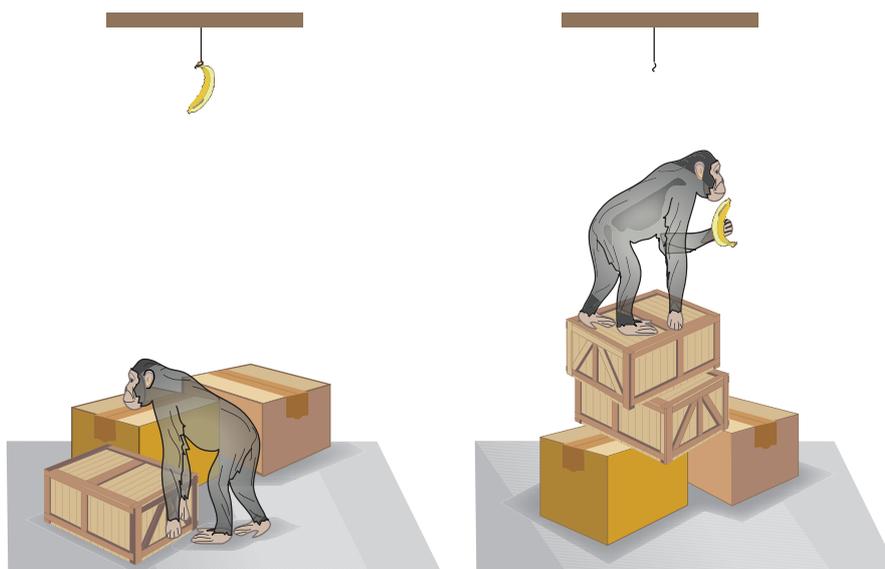


Figura 5 Uno scimpanzé chiuso in una stanza con una banana appesa al soffitto e con a disposizione alcune scatole di legno, dopo vari tentativi capisce che, ponendo le scatole una sull'altra, può agevolmente raggiungere il cibo. Sebbene lo scimpanzé non abbia mai incontrato nella sua vita questo tipo di problema, può fare affidamento sulla sua esperienza, applicandola alla nuova situazione.



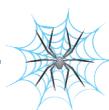
Alcuni modelli di comportamento

- I **comportamenti legati alla riproduzione** presentano notevoli varietà di forme. Molti maschi di animali lottano per conquistare la femmina. Quasi mai sono lotte cruente, ma **lotte rituali**, con dimostrazioni di forza, durante le quali colui che si scopre più debole fa atto di sottomissione o si allontana. Il **corteggiamento** è un modello di comportamento specializzato che precede l'accoppiamento (Figura 1).

- La **territorialità** è l'acquisizione di un certo spazio e la sua difesa. Molti animali, come i cani maschi e le volpi rosse femmine, urinano per delimitare il proprio territorio: l'urina contiene infatti delle sostanze chimiche, i **feromoni**, il cui odore informa gli altri individui della specie che quel territorio è già occupato. Gli uccelli giardinieri delimitano il proprio territorio riproduttivo con bacche e fiori colorati, gli usignoli con il canto, i cervi con il secreto, contenente i feromoni, prodotto da apposite ghiandole.

- Molti animali sono in grado di orientarsi in modo veramente sorprendente. Un tipo semplice di **orientamento** è la **cinesi**, un movimento senza una precisa direzione. Alcuni insetti, per esempio, come il pidocchio del legno, si muovono fino a che non trovano un ambiente con il giusto tasso di umidità. La **tassia** è invece il movimento diretto verso, o a volte contro, la fonte di un particolare stimolo: il girasole orienta le proprie infiorescenze verso la luce, molte farfalle sono attratte dalla luce, le tartarughe marine si orientano verso il mare. Una forma più complessa è l'**orientamento a bussola**, utilizzato dagli uccelli migratori: essi volano per migliaia di chilometri ogni anno e ritornano ai luoghi di origine, usando come indicatori di direzione le stelle.

Figura 1 Il corteggiamento delle sule a zampe blu. Il corteggiamento ha la funzione di mettere il maschio e la femmina di una specie nelle condizioni che possano assicurare la fecondazione, sincronizzando i loro ritmi sessuali.



• **Comportamenti di tipo sociale** sono le forme di **gregarismo**, nelle quali non vi è differenziazione tra gli individui (come gli sciami migranti delle cavallette che altrimenti conducono vita isolata) e le **società**, caratterizzate dalla differenziazione tra gli individui. Nelle **società individualistiche** gli individui possono, all'occorrenza, vivere da soli (come i lupi); le società individualistiche sono spesso organizzate in differenti livelli di autorità, detti gerarchie di dominanza. Nelle **società collettivistiche** individui diversi sono specializzati a svolgere compiti differenti (come tra le api e le termiti).

• La **comunicazione** consiste in uno *scambio di informazioni* che avviene nella maggior parte delle società attraverso gli organi di senso (vista, udito, odorato e tatto). Essa consente agli individui che appartengono a un gruppo di coordinare e integrare i loro comportamenti. Uno dei messaggi più frequentemente comunicati è la localizzazione del cibo (Figura 2). Gli uccelli maschi cantano per informare le femmine della loro presenza; i piccoli di molte specie, soprattutto quando affamati, emettono grida per richiamare l'attenzione dei genitori.

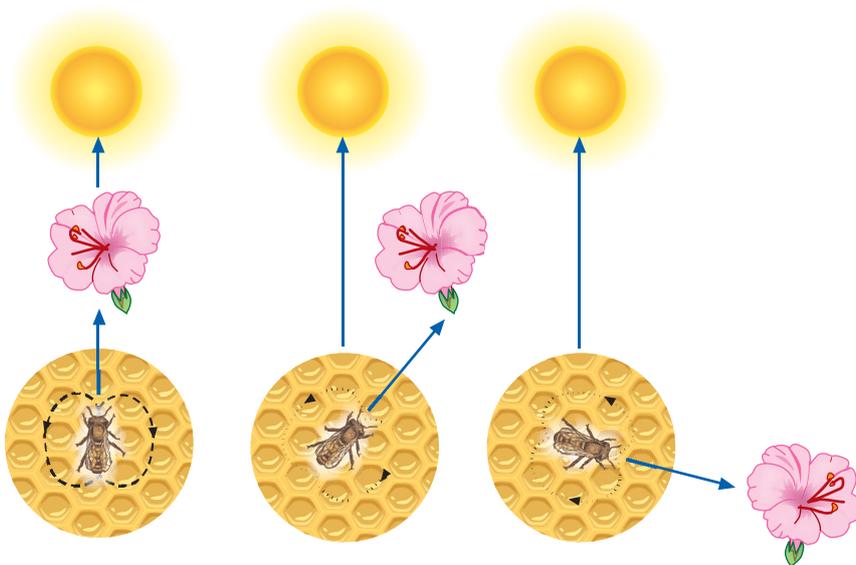


Figura 2 Le api operaie eseguono una danza a forma di otto, mediante la quale comunicano alle altre api la distanza, la quantità e la direzione della fonte di cibo.

La velocità con la quale l'ape si muove nel suo percorso indica la distanza alla quale si trova il cibo, quella con cui agita l'addome la sua quantità e l'orientamento dell'otto tracciato durante il moto la direzione del cibo rispetto al Sole. Questo comportamento delle api fu scoperto dallo zoologo austriaco Karl von Frisch (1886-1982).



L'identificazione degli organismi

Uno dei metodi più utilizzati per classificare animali e piante è quello delle **chiavi dicotomiche**, che consistono in una serie di coppie di affermazioni. Di ogni coppia, soltanto un'affermazione risulta corretta e conduce alla coppia successiva, e così via fino ad arrivare all'identificazione dell'organismo considerato (Tabella 1 e Figura 1).

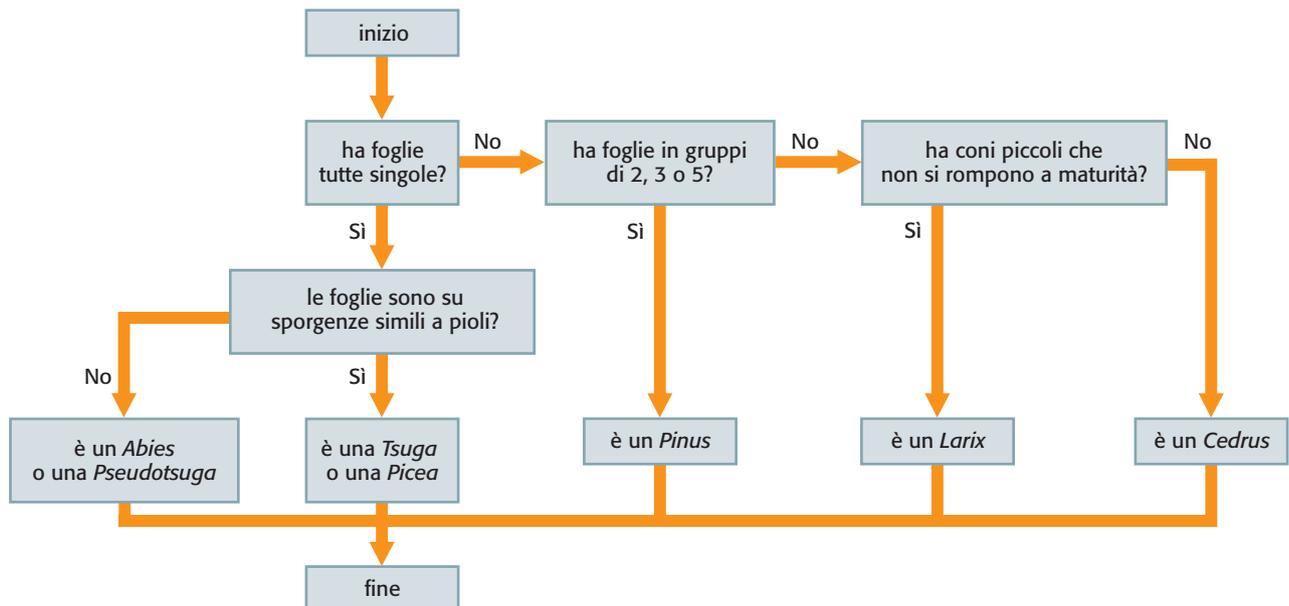
Tabella 1 La chiave dicotomica per l'identificazione della famiglia delle pinacee (da O. Polunin, *Guida agli alberi e agli arbusti d'Europa*, Zanichelli, 1977).

Chiave della famiglia delle pinacee

1 Foglie tutte singole. (2)		
2	Foglie portate su sporgenze simili a piccoli pioli. (3)	
3	Foglie brevemente picciolate; coni piccoli, penduli, lunghi sino a 2,5 cm.	Tsuga
3	Foglie sessili; coni da medi a grandi, penduli, lunghi sino a 3 cm o più.	Picea
2	Foglie non portate su sporgenze simili a piccoli pioli. (4)	
4	Cicatrici fogliari circolari, piatte; coni eretti che a maturità si rompono lasciando soltanto l'asse centrale.	Abies
4	Cicatrici fogliari ellittiche, leggermente sporgenti; coni penduli, che cadono interi.	Pseudotsuga
1 Foglie in ciuffi, almeno sui rami più vecchi. (5)		
5	Foglie in gruppi di 2, 3 o 5; coni che non si rompono a maturità.	Pinus
5	Foglie numerose in ciascun ciuffo. (6)	
6	Foglie caduche (decidue); coni piccoli, che non si rompono a maturità.	Larix
6	Foglie sempreverdi; coni grandi, che a maturità si rompono, mentre rimane integro l'asse centrale.	Cedrus

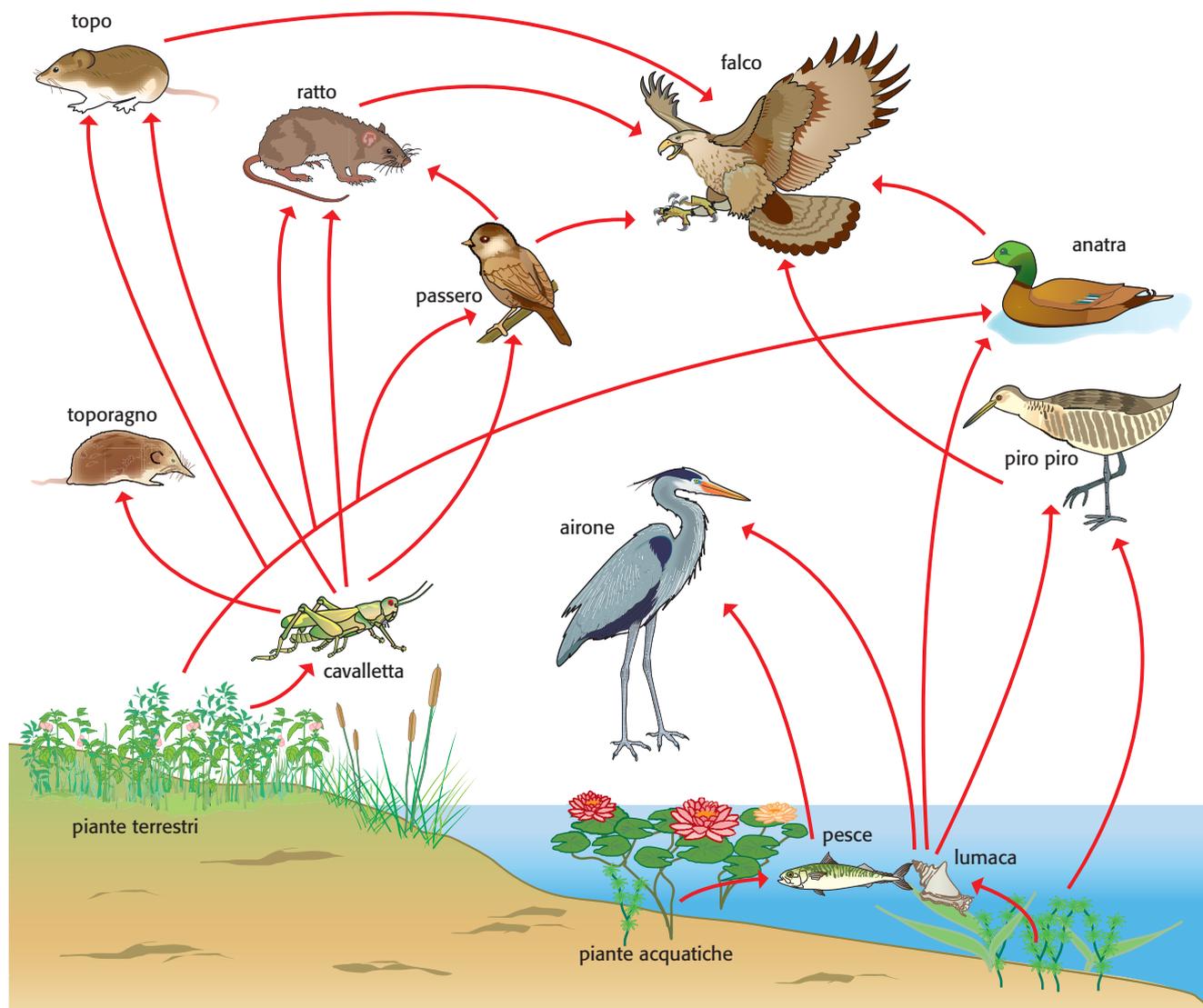


Figura 1 Traduzione della chiave dicotomica delle pinacee in un diagramma di flusso.



Un esempio di rete alimentare

Un esempio di rete alimentare. Una rete alimentare può interessare anche centinaia di specie differenti.



Bioaccumulazione nelle catene alimentari

Gli organismi viventi possono accumulare nel loro corpo molte sostanze che nell'aria, nel suolo e nell'acqua sono presenti in concentrazioni molto minori.

Ciò avviene per mezzo di meccanismi cellulari di assorbimento selettivo quasi sempre di tipo attivo (assorbimento contro gradiente). Organismi che accumulano sostanze che prelevano dall'ambiente sono per esempio i polipi delle scogliere coralline. Questi piccoli animali estraggono il calcio dall'acqua per fabbricare il loro esoscheletro calcareo. L'effetto di accumulo può subire un notevole incremento man mano che si sale ai livelli trofici superiori di una catena alimentare e si concentra all'apice della catena (Figura 1).

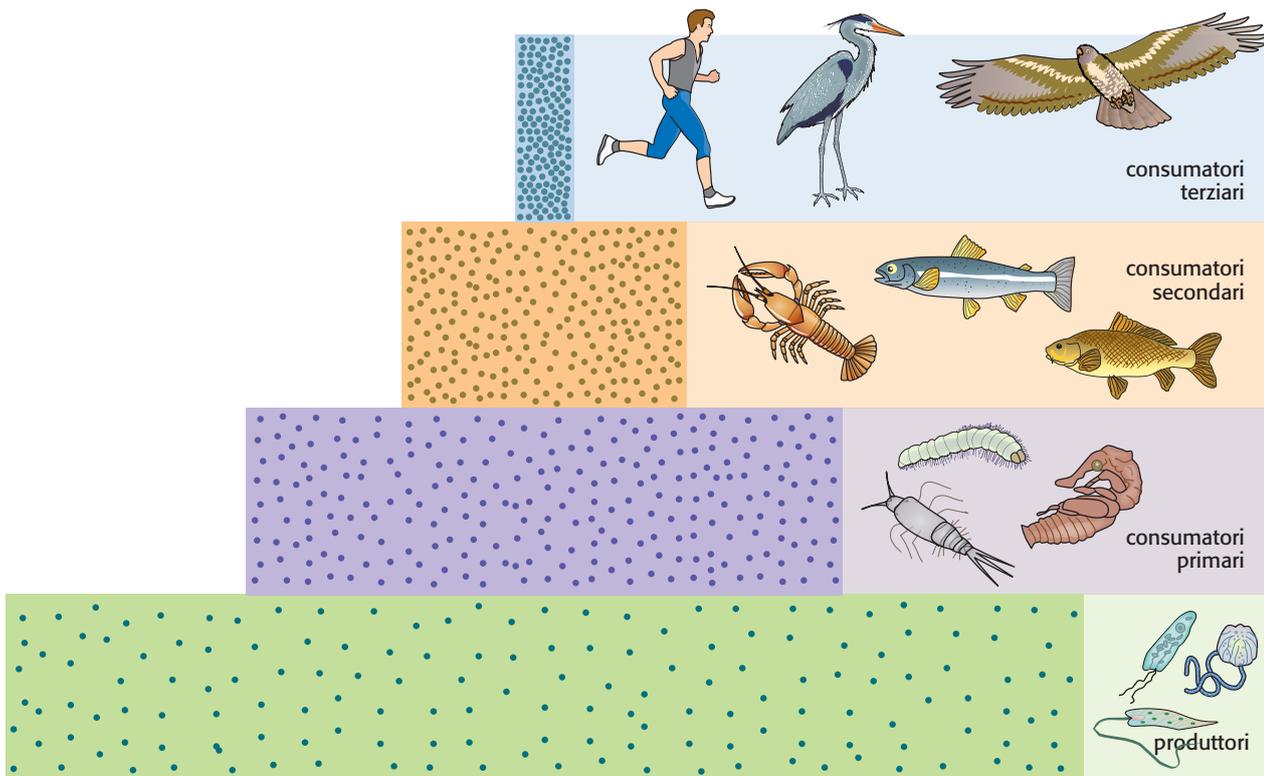


Figura 1 Concentrazione di una sostanza lungo la catena alimentare. Un esempio ben noto è l'accumulo di DDT, una sostanza tossica usata largamente in passato come insetticida, che si concentra particolarmente negli animali che si trovano alla sommità della catena alimentare, come i falchi, le aquile e l'uomo.



Nonostante l'atmosfera contenga circa il 78% di azoto e costituisca quindi la maggior riserva di azoto della biosfera, la maggioranza degli organismi viventi non è in grado di utilizzare l'azoto atmosferico per le proprie necessità metaboliche. La fonte principale di azoto per gli organismi viventi è rappresentata pertanto dall'azoto presente nei minerali del suolo. La prima tappa del ciclo (Figura 1) è l'**assimilazione** da parte dei vegetali dell'azoto, sotto forma di nitrati (ione NO_3^- , il più importante fattore di fertilità del terreno) che è poi convertito in azoto organico. Dai vegetali l'azoto passa agli animali lungo la catena alimentare. Alla morte degli organismi, l'azoto è liberato per decomposizione sotto forma di composti azotati organici complessi. Tali composti subiscono quindi un'**ammonificazione**, che trasforma l'azoto in ione ammonio (NH_4^+). Effettuano tale trasformazione batteri eterotrofi e funghi saprofiti. Lo ione NH_4^+ è infine convertito dapprima in ione nitrito (NO_2^-) e poi in ione nitrato (NO_3^-) dai **batteri nitrificanti**, un gruppo di organismi autotrofi chemiosintetici, di enorme importanza per la fertilità del terreno. Su questo ciclo si innesta poi un ciclo secondario che coinvolge l'azoto presente nell'atmosfera sotto forma di N_2 . Un primo gruppo di batteri, i **batteri denitrificanti**, riduce i nitrati del suolo a N_2 , sottraendo azoto dai terreni. Diversi organismi (*Azotobacter*, *Rhizobium*, alcuni cianobatteri) sono invece in grado di fissare l'azoto, trasformando l' N_2 in NH_4^+ e aumentando la fertilità del terreno. Piccole quantità di NH_4^+ possono essere fissate anche dai fulmini, da fenomeni vulcanici e in alcuni processi industriali. Due altri importanti cicli sono quelli dello zolfo e del fosforo.

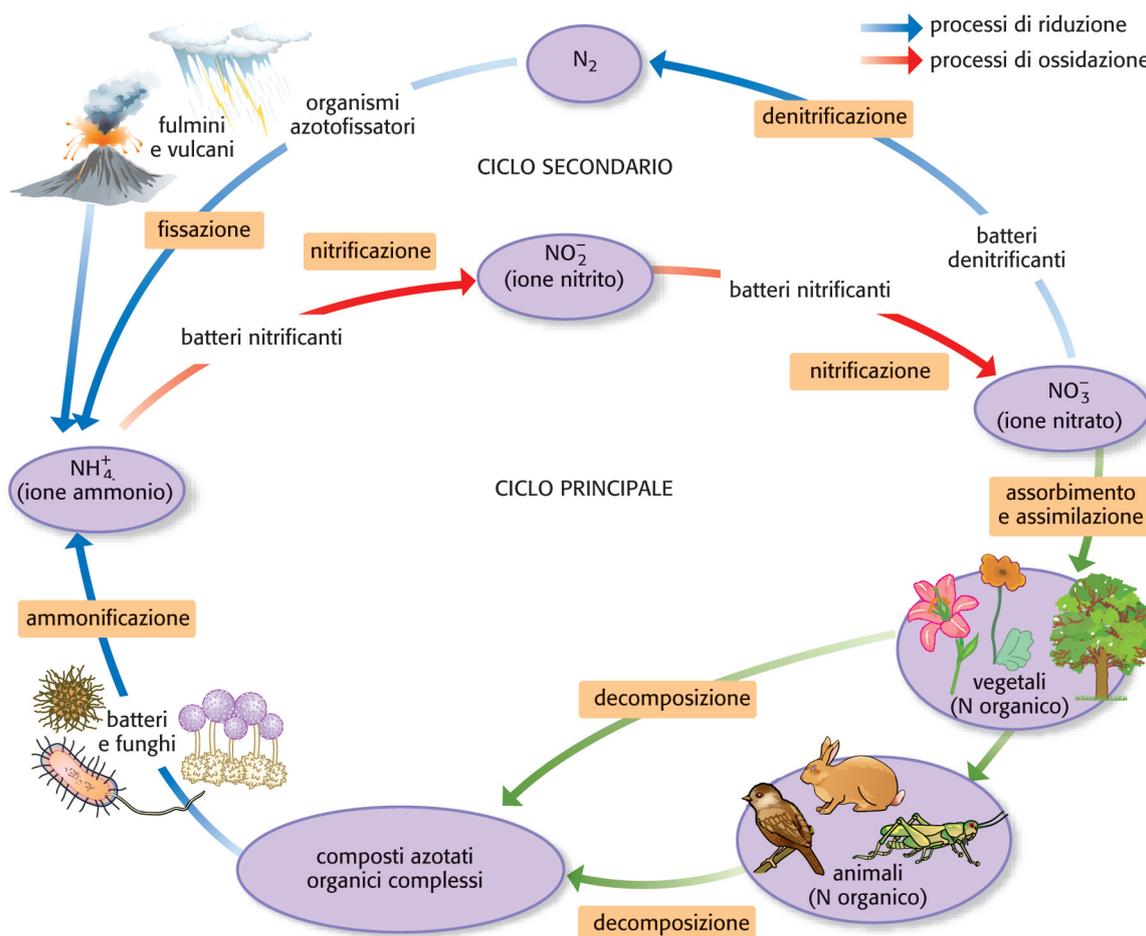


Figura 1 Il ciclo dell'azoto.



Laboratorio:

Densità di una popolazione del suolo

Obiettivi e abilità

Comprendere la stretta relazione esistente tra organismi e ambiente.

Materiale occorrente

Lattine di metallo, sacchetti di polietilene, recipienti vari, pennellino, lente d'ingrandimento.

Procedimento

Raccogli alcuni campioni di suoli diversi (terra incolta, prato, lettiera di bosco, terreno coltivato, suolo di serra, altro) prelevandoli con una scatola di latta che scenda fino alla profondità di circa 8 cm. È bene effettuare il campionamento in primavera o in autunno, periodi in cui i sinfili, artropodi biancastri lunghi 1-8 mm (Figura 1), sono presenti in numero maggiore. Misura la superficie di ogni campione (basta misurare la superficie della scatola di latta). Deponi i campioni in sacchetti di polietilene e portali in laboratorio. Sbriciola delicatamente i campioni in un recipiente contenente acqua.

I sinfili verranno a galla e si potranno raccogliere con un pennellino. Conta il numero di sinfili presenti in ogni campione. Tenendo conto della superficie del campione prelevato, trasforma infine i numeri trovati in milioni per ettaro. In base alla tabella seguente, classifica i campioni di suolo. La tabella consente di ricavare approssimativamente la struttura di un suolo, determinata dalle dimensioni delle particelle che lo compongono, in modo semplice e senza l'utilizzo di attrezzature specifiche.

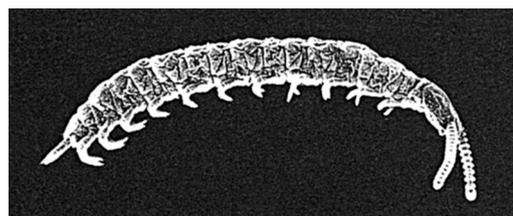


Figura 1 Un sinfilo. I sinfili sono artropodi appartenenti al gruppo dei miriapodi. Le loro dimensioni reali oscillano tra 1 e 8 mm.

TIPO DI SUOLO	CARATTERISTICHE	DIAMETRO DELLE PARTICELLE (IN MM)
Sabbia	Non lascia traccia sulle dita. Sfregando un po' di terreno umido tra il pollice e le altre dita se si avvertono i granelli al tatto, si tratterà di sabbia grossolana, se i granelli sono quasi impercettibili, si tratterà di sabbia fine.	2-0,05
Limo	È viscido e untuoso, scivoloso al tatto e aderisce un poco alle dita. Si può plasmare se è abbastanza umido, si può ridurre in fili con difficoltà, ma non si può formare un anello.	0,05-0,002
Argilla	È plasmabile e viscosa. Se sfregata presenta una superficie liscia. Può essere ridotta in fili.	< 0,002
Limo sabbioso	Contiene una frazione di sabbia ben distinguibile. Non si attacca facilmente alle dita e non si riduce in fili.	
Limo argilloso	È viscoso; non si può mettere facilmente in evidenza la porzione di sabbia.	
Argilla sabbiosa	È plasmabile e viscosa; la sabbia è evidente.	



Completa la seguente tabella

POPOLAZIONE DI SINFILI IN DIVERSI TIPI DI SUOLO			
TIPO DI SUOLO	NUMERO DI SITI	POPOLAZIONE MEDIA	VALORI MINIMI E MASSIMI (MILIONI PER HA)
Sabbia			
Limo			
Argilla			
Limo sabbioso			
Limo argilloso			
Argilla sabbiosa			

Rispondi

1. Quale influenza ha il tipo di suolo sulla popolazione di sinfili?
2. Tali animali sono presenti in tutti i tipi di suolo?
3. Costruisci una seconda tabella, simile alla precedente, facendo riferimento non al tipo di suolo, ma al tipo di vegetazione delle aree da cui sono stati prelevati i campioni (terra incolta, prato, lettiera di bosco, terreno coltivato, suolo di serra, altro).
4. In che modo il tipo di vegetazione influenza la popolazione di sinfili?



Il suolo: un sistema da proteggere

Il suolo è il frutto di un processo naturale che può durare anche migliaia di anni. È per questo che occorre adottare una serie di misure per difenderlo. Esso va pertanto curato, non solo proteggendolo dalle diverse forme di distruzione o di inquinamento, ma anche conservandolo sempre fertile mediante una gestione corretta delle pratiche agricole. Ecco una serie di procedure che concorrono a mantenere in buona salute il suolo:

- 1. Aratura:** ha lo scopo di preparare il terreno per le colture. L'aratro rivoltava il suolo, uccidendo le erbe infestanti e garantendo una sufficiente umidità per la germinazione dei semi. L'aratura consente anche una buona aerazione, incrementando l'attività degli organismi del suolo, importanti fattori di fertilità.
- 2. Mantenimento di una corretta acidità del terreno:** è importante perché le diverse coltivazioni, per poter crescere adeguatamente, richiedono ciascuna un grado di acidità appropriato.
- 3. Mantenimento della sostanza organica:** la sostanza organica costituisce un elemento essenziale per il mantenimento della struttura fisica e della fertilità del terreno. In passato i due metodi più utilizzati per accrescere il contenuto di sostanza organica del terreno erano l'aggiunta di **letame** e di **compost**, un miscuglio di residui vegetali e animali, spesso trattato con fertilizzanti chimici.
- 4. Concimazione:** consiste nella fornitura di elementi nutritivi adatti per compensare il fatto che i terreni agricoli non ricevono le sostanze derivanti dalla decomposizione delle piante in esso coltivate, perché queste vengono in gran parte asportate durante il raccolto. Oltre all'impiego di concimi contenenti azoto, fosforo e potassio, elementi fondamentali per la crescita delle piante, si utilizzano tecniche come la pratica del **maggese**, che consiste nel lasciare i campi incolti per un certo periodo tra una coltivazione e l'altra per consentire al terreno di rigenerarsi, e la **rotazione delle colture**.
- 5. Controllo dell'inquinamento:** a partire dalla fine della Seconda Guerra Mondiale si è verificato in agricoltura un uso via via crescente di fertilizzanti e altri prodotti chimici, unito alla dispersione nei terreni di rifiuti domestici e industriali. L'utilizzo dei fertilizzanti può essere limitato facendo ricorso alla **lotta biologica**, una tecnica per il controllo dei parassiti che sfrutta i nemici naturali delle piante coltivate. La conservazione del suolo richiede però anche una riduzione delle diverse forme di inquinamento di origine urbana e industriale.

Rispondi

- 1. L'aratura del terreno:**
 - a) Consente una buona aerazione del suolo.
 - b) Garantisce una sufficiente umidità del suolo.
 - c) Uccide le erbe infestanti del suolo.
 - d) Sono corrette tutte le affermazioni precedenti.
- 2. Perché è necessario concimare il terreno?**
 - a) Per uccidere le erbe infestanti del suolo.
 - b) Per controllare i fattori naturali di degrado del suolo (acqua, vento ecc.).
 - c) Perché il suolo contiene naturalmente quantità troppo piccole di sali minerali e sostanze organiche, che vanno aggiunti con il concime.
 - d) Perché il suolo non riceve le sostanze derivanti dalla decomposizione delle piante asportate con il raccolto, impoverendosi.
- 3. In cosa consiste la pratica del maggese?**
 - a) Nel lasciare i campi, tra una coltivazione e l'altra, incolti per un certo periodo.
 - b) Nell'aggiunta di letame e di compost al terreno.
 - c) Nel mantenimento di una giusta acidità del terreno.
 - d) Nell'alternare di anno in anno coltivazioni di tipo diverso.



L'**erosione del suolo** consiste nella rimozione di grandi quantità di terreno dovuta principalmente all'azione delle acque e dei venti. Il degrado e l'assottigliamento degli strati superficiali del suolo, ricchi di materia organica e sostanze nutritive, riducono la capacità produttiva dei terreni agricoli e, quindi, la quantità e la qualità dei raccolti. I suoli, impoveriti delle sostanze organiche, perdono compattezza e, sotto l'azione delle piogge, si disgregano con maggiore facilità. È stato calcolato che a causa dell'erosione negli ultimi anni più di 600 milioni di ettari di terreno coltivato siano già andati perduti.

IL CONTROLLO DELL'EROSIONE

Per controllare l'erosione è necessario un uso razionale del territorio e dello sfruttamento del suolo in modo da conciliare le esigenze sociali ed economiche con la reale disponibilità di risorse naturali.

Il controllo dell'erosione si basa sulla riduzione della velocità del vento, sul mantenimento dell'umidità del suolo e sull'aggregazione delle particelle del terreno mediante apposite tecniche agronomiche.

La riduzione della velocità del vento si può ottenere mediante la costruzione di barriere frangivento sia vive (alberi e arbusti) sia morte (legname, ferro, cemento, ecc.) e con la realizzazione di una efficace copertura vegetale (Figura 1).

Per mantenere l'umidità del suolo occorre irrigare il terreno con piccole dosi ma con turni brevi e preservare la copertura vegetale, che garantisce una buona quantità di humus nel terreno. Utili sono anche le **pacciamature**, consistenti nel coprire il terreno con materiali inerti come teli o paglia, e la sistemazione del suolo a terrazze.

Per il controllo dell'erosione idrica causata dall'impatto delle gocce d'acqua, un fenomeno erosivo evidente in particolare lungo i versanti e i pendii, sono utili: la rotazione delle coltivazioni, intervallando colture meno protettive con colture più protettive; opere di riforestazione, con l'impiego di specie arbustive ed arboree idonee (Figura 2); la realizzazione di sistemazioni idrauliche per regolare lo scorrimento delle acque sia in superficie che al di sotto di essa. Nelle aree a maggior rischio idrogeologico anche il pascolo va limitato. Tecniche come la coltivazione a terrazze sono molto utili perché rallentano lo scorrimento delle acque lungo i pendii.

Figura 1 Una buona copertura vegetale garantisce alcune fondamentali funzioni. Tra le principali essa fa sì che:

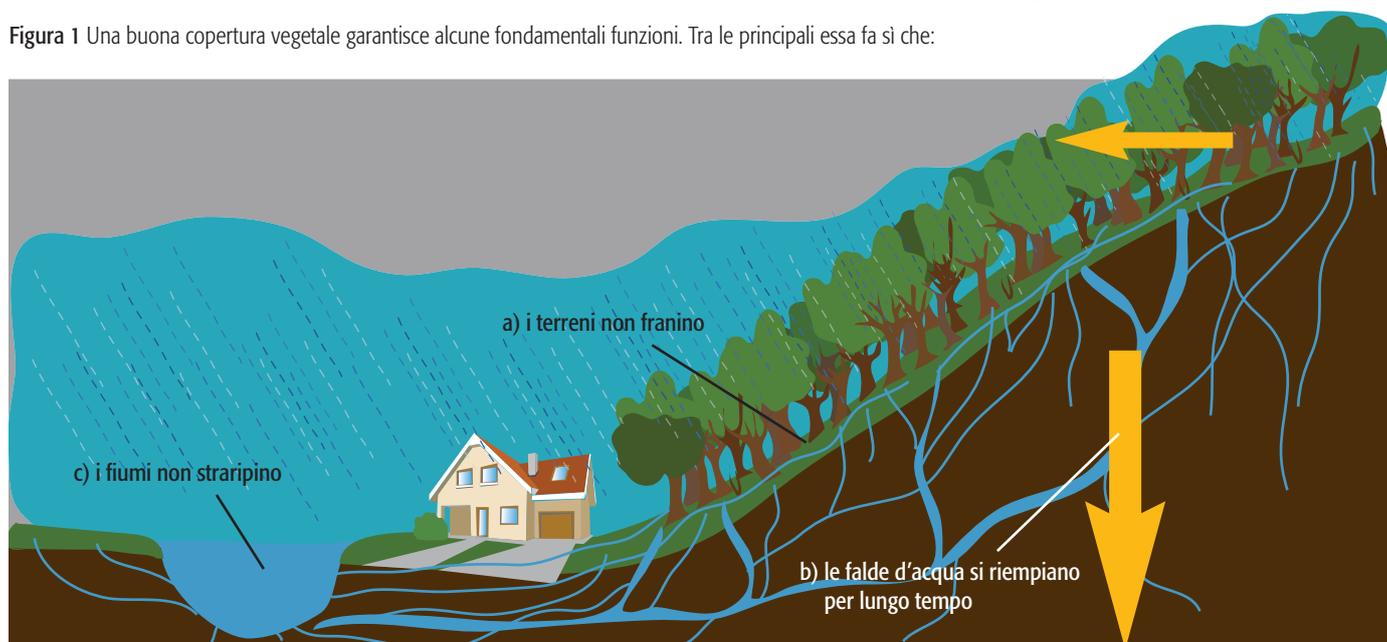
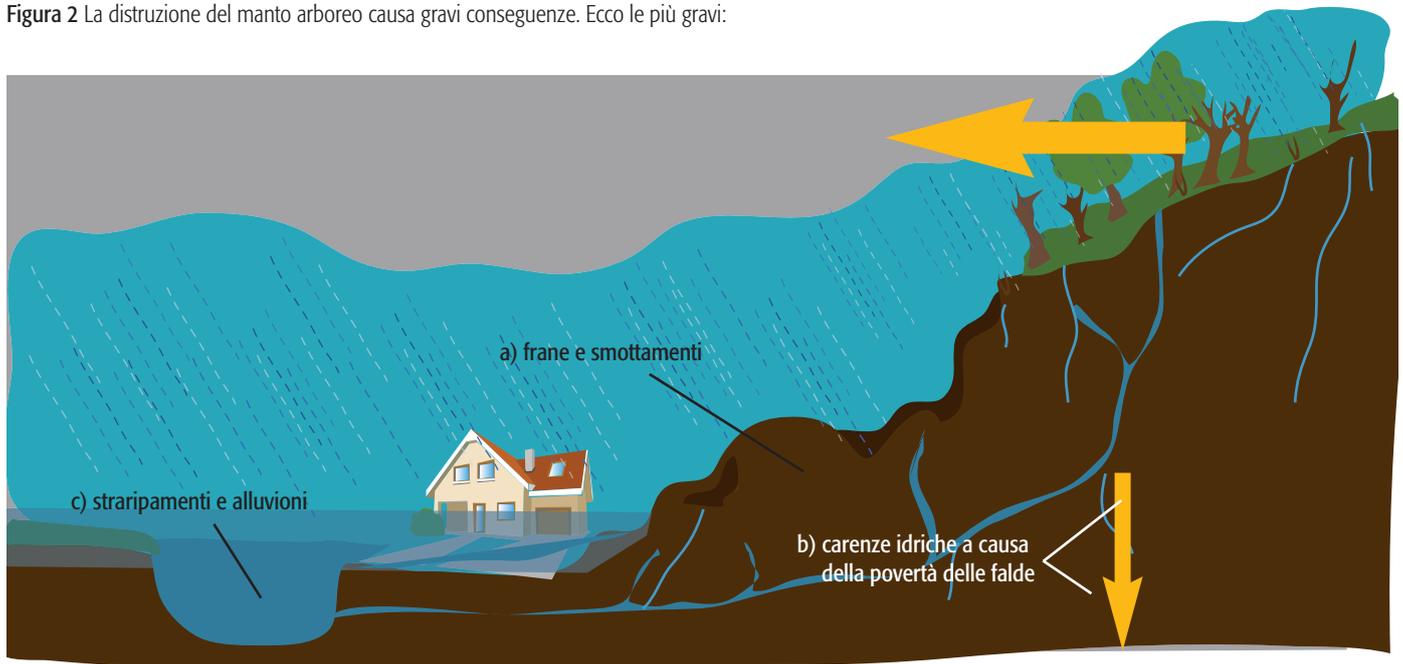


Figura 2 La distruzione del manto arboreo causa gravi conseguenze. Ecco le più gravi:



Rispondi

1. L'erosione dei suoli è dovuta principalmente:

- a) Alla presenza di una folta copertura vegetale.
- b) All'azione delle acque e dei venti.
- c) All'ispessimento degli strati superficiali del suolo.
- d) All'arricchimento dei suoli di sostanze organiche.

2. Il controllo dell'erosione si basa:

- a) Sulla riduzione della velocità del vento.
- b) Sul mantenimento dell'umidità del suolo.
- c) Sulla aggregazione delle particelle del terreno mediante apposite tecniche agronomiche.
- d) Sono corrette tutte le tre affermazioni precedenti.



Con tale termine si intende un tipo di agricoltura rispettosa delle interazioni tra gli organismi viventi e l'ambiente. Il suo scopo è infatti quello di salvaguardare l'ambiente, gli equilibri naturali, la salute dell'uomo, il benessere degli animali allevati e la biodiversità, garantendo contemporaneamente una produttività di elevata qualità che esalti le caratteristiche organolettiche dei prodotti agricoli.

Prima dell'introduzione dei fertilizzanti e dei pesticidi, l'agricoltura biologica era l'unico sistema noto di coltivazione agricola. L'agricoltura biologica attuale è un sistema produttivo molto sofisticato che prevede l'applicazione di notevoli conoscenze scientifiche allo scopo di limitare o escludere l'impiego di prodotti chimici di sintesi.

I principi fondamentali ai quali devono fare riferimento i produttori che vogliono applicare l'agricoltura biologica sono stati stabiliti dall'**IFOAM** (International Federation of Organic Agriculture Movements), un'organizzazione internazionale che riunisce tutti i movimenti che si adoperano per la sua diffusione. Nei paesi della Comunità europea le aziende agricole che vogliono commercializzare i propri prodotti come biologici devono attenersi al regolamento CEE 2092/91, sottoponendosi al controllo di un ente certificatore autorizzato. Attualmente, l'agricoltura biologica è particolarmente fiorente nell'Europa centrosettentrionale.

Una data importante per la nascita dell'agricoltura biologica è il 1946, anno in cui nacque la **Soil Association**, che aveva come scopo la produzione di alimenti sani senza degradare l'ambiente. Per adeguarsi alle esigenze di un mercato sempre più attento alla qualità e alla genuinità dei prodotti, in risposta anche alla diffusione delle tematiche ambientali operata dai movimenti ambientalisti, a partire dagli anni Settanta del secolo scorso l'interesse per i metodi di coltivazione biologica è andato gradualmente aumentando. Sul finire degli anni Novanta al crescere dell'attenzione per il biologico ha contribuito anche il dibattito sull'impiego nell'alimentazione umana degli OGM (organismi geneticamente modificati).

Ma vediamo ora alcune delle tecniche adoperate nell'agricoltura biologica:

- La lavorazione del terreno deve interessare solo gli strati più superficiali (massimo 20-30 cm), ricchi di sostanza organica, evitando di portare in superficie quelli profondi, poveri di humus.
- Per la concimazione non devono essere utilizzati prodotti chimici, che vanno sostituiti dal letame, dai residui delle coltivazioni e da preparati minerali. Una tecnica particolarmente adatta per l'arricchimento del suolo in azoto è la rotazione delle colture, alternando la semina di leguminose, che ospitano microorganismi capaci di arricchire il suolo di azoto, con quella di altre piante.
- Le piante infestanti vanno controllate unicamente attraverso opportune lavorazioni del terreno e l'uso di sementi selezionate.
- Gli insetti dannosi vanno combattuti principalmente con la lotta biologica, che consiste nell'introduzione nell'ambiente dei predatori naturali degli insetti parassiti. Si possono diffondere nell'ambiente anche batteri letali, come il *Bacillus thuringensis* che agisce contro le larve dei lepidotteri. Un esempio molto particolare è l'impiego dei feromoni, sostanze che simulano quelle emesse dalle femmine durante il periodo della riproduzione. Tali sostanze vengono immesse dentro speciali trappole che attirano i maschi anche da notevoli distanze, imprigionandoli al loro interno. In altri casi i parassiti vegetali possono essere controllati utilizzando varietà di piante resistenti o sostanze naturali caratterizzate da bassa tossicità nei confronti dell'ambiente e dell'uomo.
- Per quanto riguarda l'allevamento, va garantito il benessere degli animali, assicurando loro spazi minimi che consentano l'accesso alla luce e all'aria aperta, un'alimentazione sana e condizioni di vita che prevengano l'insorgenza di malattie.



Il canto popolare

“Lo Guarracino”

Adattamento del testo in italiano a cura di Elvira Coppola Amabile
(I nomi degli organismi marini sono in neretto)

(1)

Il **Guarracino** che andava per mare,
gli venne voglia de s'ammogliare.
Si fece allora un bel vestito,
di spezzi di spine pulito pulito.
Con una parrucca tutta ingrifata,
di boccoloni arricciolata.
Con lo jabot, colletto e polsini,
di seta inglese fini fini.

(2)

Con i calzoni di rete di fondo,
scarpe e calzette di pelle di **tonno**,
con giubbetta e con marsina,
d'**alghe** e peli di **bue marino**¹,
con bottoniere e con bottoni,
d'occhi di **polpi**, **seppie** e **delfini**,
fibbia, spada e pomelli dorati,
di nero di **seppie** e fiele d'**occhiata**.

(3)

Due belle catenelle,
di polmone di conchiglie,
un cappello ingallonato,
di codino di **luccio** salato.
Tutto impettito e tiratello,
andava facendo lo spaconcello.
Girava di qua e di là,
la fidanzata voleva trovà.

(4)

La **Sardina** sul balcone,
stava suonando il colascione;
e a suono di trombetta,
andava cantando quest'arietta:
“E llarè lo mare e lena,
e la figlia di zia Lena,
ha lasciato l'innamorato,
perché niente le ha regalato”.

(5)

Il **Guarracino** che la guardò,
della **Sardina** s'innamorò;
andò quindi da una **Bavosa**,
la più vecchia e maliziosa...

Co' una buona regalia,
ché l'imbasciata porti, e via.
La **Bavosa** zitta, zitta,
chiaro e tondo gliel'ha detta.

(6)

La **Sardina** che l'ascoltò,
rossa, rossa diventò,
per la vergogna che le prese,
sotto uno scoglio si nascose;
ma la vecchia, cioè la **Bavosa**
subito disse: “Ah, schizzinosa!
In questo modo non trovi partito,
in gola ti resta il marito!

(7)

Se sul serio ti vuoi accasare,
tante smorfie non devi fare...
Fa' le moine, via la vergogna,
anima e core e faccia di corna...
Ciò sentendo la **Sardina**
s'affacciò alla finestrina,
fece pure l'occholino,
al voglioso innamoratino.

(8)

Ma la **Patella** che stava di posta,
la chiamò “Faccia tosta,
traditrice, svergognata,
senza fede, male nata...”.
Ché avea lasciato l'**alletterato**²,
primo e antico innamorato.
Svelta svelta da questo andò,
e ogni cosa riportò.

(9)

Quando lo seppe il poveretto,
fu afferrato dal diavoletto³.
Andò a casa e di rasoio si armò,
come un mulo si caricò.
Di fucili e di spingarde,
polvere, palle, stoppa e scarde⁴.
Quattro pistole e tre baionette,
dentro un sacco se li mette...



(10)
Sopra le spalle settanta pistoni,
ottanta bombe e novanta cannoni
e, come un guappo paladino,
andava in cerca del **Guarracino**...
La disgrazia a questo portò,
che in mezzo alla piazza l'incontrò...
L'afferrò per il cravattino,
e gli disse: "Ah, malandrino!"

(11)
Tu mi rubi la fidanzata!
E pigliati stà bastonata!"
Zuffete e zaffete, a milioni,
gli dava schiaffi e sorgozzoni,
caracche, pugni e ceffoni,
colpi, sberle e scapaccioni,
scappellotti e percosse,
gli ammaccò le carni e l'osse.

(12)
Sentendo forti tutti questi rumori,
parenti e amici uscirono fuori,
chi con mazze, coltellacci e coltelli,
chi con spade, spadoni e spadelle.
Questi con sbarre, quelli con spiedi,
chi con mandorle o frutti tostati,
chi con tenaglie, e chi con martelli,
chi con torrone e susammielli⁵.

(13)
Padri, figli, mariti e moglie,
s'azzuffarono come fiere...
A milioni correvano a strisce,
di questo partito e di quello, i pesci...
Che si vide di **sarde** e di **alose**!
Di **sogliole** e **raje petrose**,
saraghi, **dentici** e **occhiate**;
sgombri, **tonni** e **alletterati**.

(14)
Pesci palombo e **pescatrici**,
scorfani, **cernie** e **alici**,
pastinache, **ricciole**, **musdee** e **mazzoni**,
stelle, **lucci** e **storioni**,
merluzzi, **gronchi** e **murene**,
capodogli, **orche** e **balene**,
capitoni, **aguglie** e **aringhe**,
cefali, **cocci**, **tracine** e **tinche**.

(15)
Triglie, **torpedini**, **trote** e **tonnetti**,
merluzzi, **cepole**, **latterini** e **zerretti**,
polpi, **seppie** e **calamari**,
pesci spada e **stelle dei mari**,
pesci palombo e **pesci pagelli**,
boccardo e **cicinielli**⁶,
seppiole e **guarracini**,
cannolicchi, **ostriche** e **angine**⁷.

(16)
Vongole, **cuori** e **patelle**,
pesccecani e **granchietelli**,
marvizzi, **marmore** e **bavose**,
vope pregne, vedove e spose,
spigole, **spondili**, **serpi** e **salpe**,
scalzi, con zoccoli e con le scarpe,
sconcigli, **gamberi** e **aragoste**,
vennero persino con le poste.

(17)
Capitoni, **sauri** e **anguille**,
specie grosse e minutelle,
d'ogni cetò e nazione,
piccole, grandi, più grandi e grandone!
Quante botte, mamma mia!
Che si davano... Arrasusia!
A centinaia le barrate!
A milioni le pietrate!

(18)
Morsi e pizzichi a bilioni!
A diluvio gli scapaccioni!
Non vi dico che vivo fuoco
Si faceva per ogni luogo!
Ta-ta-tta, pistolettate!
Te-te-tte, là schioppettate!
Tu-tu-ttu, qua i pistoni!
Bu-bu-bbu, là i cannoni.

(19)
Ma di cantar mi son già stancato
E mi manca pure il fiato...
Sicchè congedar mi sa permesso,
dal grazioso e bel consesso.
Così mi sorbisco un bicchiere di vino,
alla signora e al signorino,
sennò la gola mi si può asciugare,
e il pulmone mi si può svuotare...

1. Foca monaca.
2. Tonno.

3. Si arrabbio.
4. Pietra focaia.

5. Dolcetti molto duri.
6. Bianchetti.

7. Ricci.



PRIMA LETTERA DI PLINIO IL GIOVANE A TACITO

Mi chiedi che io ti esponga la morte di mio zio, per poterla tramandare con una maggiore obiettività ai posteri. Te ne ringrazio, in quanto sono sicuro che, se sarà celebrata da te, la sua morte sarà destinata a gloria immortale. Quantunque infatti, egli sia deceduto nel disastro delle più incantevoli plaghe, come se fosse destinato a vivere sempre – insieme a quelle genti ed a quelle città – proprio in virtù di quell'indimenticabile sciagura, quantunque abbia egli stesso composto una lunga serie di opere che rimarranno, tuttavia alla perennità della sua fama recherà un valido contributo l'immortalità dei tuoi scritti. Personalmente io stimo fortunati coloro ai quali per dono degli dei fu concesso o di compiere imprese degne di essere scritte o di scrivere cose degne di essere lette, fortunatissimi poi coloro ai quali furono concesse entrambe le cose. Nel novero di questi ultimi sarà mio zio, in grazia dei suoi libri e in grazia dei tuoi. Tanto più volentieri perciò accolgo l'incombenza che tu mi proponi, anzi te lo chiedo insistentemente.

Era a Miseno e teneva personalmente il comando della flotta. Il 24 agosto, verso l'una del pomeriggio, mia madre lo informa che spuntava una nube fuori dell'ordinario sia per la grandezza sia per l'aspetto. Egli dopo aver preso un bagno di sole e poi un altro nell'acqua fredda, aveva fatto uno spuntino stando nella sua brandina da lavoro ed attendeva allo studio; si fa portare i sandali e sale in una località che offriva le migliori condizioni per contemplare il prodigio. Si elevava una nube, ma chi guardava da lontano non riusciva a precisare da quale montagna [si seppe poi che era il Vesuvio]: nessun'altra pianta meglio del pino ne potrebbe riprodurre la forma. Infatti slanciato in su in modo da suggerire l'idea di un altissimo tronco, si allargava poi in quelli che si potrebbero chiamare dei rami, credo che il motivo risiedesse nel fatto che, innalzata dal turbine subito dopo l'esplosione e poi privata del suo appoggio quando quello andò esaurendosi, o anche vinta dal suo stesso peso, si dissolveva allargandosi; talora era bianchissima, talora sporca e macchiata, a seconda che aveva trascinato con sé terra o cenere.

Nella sua profonda passione per la scienza, stimò che si trattasse di un fenomeno molto importante e meritevole di essere studiato più da vicino. Ordina che gli si prepari una liburnica e mi offre la possibilità di andare con lui se lo desiderassi. Gli risposi che preferivo attendere ai miei studi e, per caso, proprio lui mi aveva assegnato un lavoro da svolgere per iscritto. Mentre usciva di casa, gli venne consegnata una lettera da parte di Rettina, moglie di Casco, la quale, terrorizzata dal pericolo imminente (infatti la sua villa era posta lungo la spiaggia della zona minacciata e l'unica via di scampo era rappresentata dalle navi), lo pregava che la strappasse da quel frangente così spaventoso. Egli allora cambia progetto e ciò, che aveva incominciato per interesse scientifico, affronta per l'impulso della sua eroica coscienza. Fa uscire in mare delle quadriemi e vi sale egli stesso, per venire in soccorso non solo a Rettina ma a molta gente, poichè quel litorale in grazia della sua bellezza, era fittamente abitato.

Si affretta colà donde gli altri fuggono e punta la rotta e il timone proprio nel cuore del pericolo, così immune dalla paura da dettare e da annotare tutte le evoluzioni e tutte le configurazioni di quel cataclisma, come riusciva a coglierle successivamente con lo sguardo. Oramai, quanto più si avvicinavano, la cenere cadeva sulle navi sempre più calda e più densa, vi cadevano ormai anche pomici e pietre nere, corrose e spezzate dal fuoco, ormai si era creato un bassofondo improvviso e una frana della montagna impediva di accostarsi al litorale.



Dopo una breve esitazione, se dovesse ripiegare all'indietro, al pilota che gli suggeriva quell'alternativa, tosto replicò: "La fortuna aiuta i prodi; dirigiti sulla dimora di Pomponiano".

Questi si trovava a Stabia; dalla parte opposta del golfo (giacchè il mare si inoltra nella dolce insenatura formata dalle coste arcuate a semicerchio); colà, quantunque il pericolo non fosse ancora vicino, siccome però lo si poteva scorgere bene e ci si rendeva conto che, nel suo espandersi era ormai imminente, Pomponiano aveva trasportato sulle navi le sue masserizie, determinato a fuggire non appena si fosse calmato il vento contrario. Per mio zio invece questo era allora pienamente favorevole, così che vi giunge, lo abbraccia tutto spaventato com'era, lo conforta, gli fa animo, per smorzare la sua paura con la propria serenità, si fa calare nel bagno: terminata la pulizia prende posto a tavola e consuma la sua cena con un fare gioviale o, cosa che presuppone una grandezza non inferiore, recitando la parte dell'uomo gioviale.

Nel frattempo dal Vesuvio risplendevano in parecchi luoghi delle larghissime strisce di fuoco e degli incendi che emettevano alte vampate, i cui bagliori e la cui luce erano messi in risalto dal buio della notte. Egli, per sedare lo sgomento, insisteva nel dire che si trattava di fuochi lasciati accesi dai contadini nell'affanno di mettersi in salvo e di ville abbandonate che bruciavano nella campagna. Poi si abbandonò al riposo e riposò di un sonno certamente genuino. Infatti il suo respiro, a causa della sua corpulenza, era piuttosto profondo e rumoroso, veniva percepito da coloro che andavano avanti e indietro sulla soglia. Senonchè il cortile da cui si accedeva alla sua stanza, riempiendosi di ceneri miste a pomice, aveva ormai innalzato tanto il livello che, se mio zio avesse ulteriormente indugiato nella sua camera, non avrebbe più avuto la possibilità di uscirne. Svegliato, viene fuori e si ricongiunge al gruppo di Pomponiano e di tutti gli altri, i quali erano rimasti desti fino a quel momento. Insieme esaminano se sia preferibile starsene al coperto o andare alla ventura allo scoperto. Infatti, sotto l'azione di frequenti ed enormi scosse, i caseggiati traballavano e, come se fossero stati sbarbicati dalle loro fondamenta, lasciavano l'impressione di sbandare ora da una parte ora dall'altra e poi di ritornare in sesto. D'altronde all'aperto cielo c'era da temere la caduta di pomici, anche se erano leggere e corrose; tuttavia il confronto tra questi due pericoli indusse a scegliere quest'ultimo. In mio zio una ragione predominò sull'altra, nei suoi compagni una paura s'impose sull'altra. Si pongono sul capo dei cuscini e li fissano con dei capi di biancheria; questa era la loro difesa contro tutto ciò che cadeva dall'alto.

Altrove era già giorno, là invece era una notte più nera e più fitta di qualsiasi notte, quantunque fosse mitigata da numerose fiaccole e da luci di varia provenienza. Si trovò conveniente di recarsi sulla spiaggia ed osservare da vicino se fosse già possibile tentare il viaggio per mare; ma esso perdurava ancora sconvolto ed intransitabile. Colà, sdraiato su di un panno steso a terra, chiese a due riprese dell'acqua fresca e ne bevve. Poi delle fiamme ed un odore di zolfo che preannunciava le fiamme spingono gli altri in fuga e lo ridestano. Sorreggendosi su due semplici schiavi riuscì a rimettersi in piedi, ma subito stramazza, da quanto io posso arguire, l'atmosfera troppo pregna di cenere gli soffocò la respirazione e gli otturò la gola, che era per costituzione malaticcia, gonfia e spesso infiammata.

Quando riapparve la luce del sole (era il terzo giorno da quello che aveva visto per ultimo) il suo cadavere fu ritrovato intatto, illeso e rivestito degli stessi abiti che aveva indossati: la maniera con cui si presentava il corpo faceva più pensare ad uno che dormisse che non ad un morto. Frattanto a Miseno io e mia madre... ma questo non interessa la storia e tu non hai espresso il desiderio di essere informato di altro che della sua morte. Dunque terminerò.

Aggiungerò solo una parola: che ti ho esposto tutte circostanze alle quali sono stato presente e che mi sono state riferite immediatamente dopo, quando i ricordi conservano ancora la massima precisione. Tu ne stralcerai gli elementi essenziali: sono infatti cose ben diverse scrivere una lettera od una composizione storica, rivolgersi ad un amico o a tutti.



SECONDA LETTERA DI PLINIO IL GIOVANE A TACITO

Mi dici che la lettera che io ti ho scritta, dietro tua richiesta, sulla morte di mio zio, ti ha fatto nascere il desiderio di conoscere, dal momento in cui fui lasciato a Miseno (ed era precisamente questo che stavo per raccontarti, quando ho troncato la mia relazione), non solo quali timori ma anche quali frangenti io abbia dovuto affrontare. “Anche se il semplice ricordo mi causa in cuore un brivido di sgomento... incomincerò”.

Dopo la partenza di mio zio, spesi tutto il tempo che mi rimaneva nello studio, dato che era stato proprio questo il motivo per cui mi ero fermato; poi il bagno, la cena ed un sonno agitato e breve. Si erano già avuti per molti giorni dei leggeri terremoti, ma non avevano prodotto molto spavento, essendo un fenomeno ordinario in Campania, quella notte invece le scosse assunsero una tale veemenza che tutto sembrava non muoversi, ma capovolgersi.

Mia madre si precipita nella mia stanza: io stavo alzandomi con il proposito di svegliarla alla mia volta nell'eventualità che dormisse. Ci mettemmo a sedere nel cortile della nostra abitazione: esso con la sua modesta estensione separava il caseggiato dal mare. A questo punto non saprei dire se si trattasse di forza d'animo o di incoscienza (non avevo ancora compiuto diciotto anni!); domando un libro di Tito Livio e, come se non mi premesse altro che di occupare il tempo, mi dò a leggerlo ed a continuare gli estratti che avevo incominciati.

Ed ecco sopraggiungere un amico di mio zio, che era da poco arrivato dalla Spagna per incontrarsi con lui; quando vede che io e mia madre ce ne stiamo seduti e che io attendo niente meno che a leggere, fa un'energica paternale a mia madre per la mia inettitudine e a me per la mia noncuranza. Con tutto ciò io continuo a concentrarmi nel mio libro come prima.

Il sole era già sorto da un'ora e la luce era ancora incerta e come smorta. Siccome le costruzioni che ci stavano all'intorno erano ormai malconce, anche se eravamo in un luogo scoperto – che era però angusto – c'era da temere che, qualora crollassero, ci portassero delle conseguenze gravi e ineluttabili. Soltanto allora ci parve opportuno di uscire dalla cittadina; ci viene dietro una folla sbalordita, la quale – seguendo quella contraffazione dell'avvedutezza che è tipica dello spavento – preferisce l'opinione altrui alla propria e con la sua enorme ressa ci incalza e ci spinge mentre ci allontaniamo.

Una volta fuori dell'abitato ci fermiamo. Là diventiamo spettatori di molti fatti sbalorditivi, ci colpiscono molti particolari che incutono terrore. Così i carri che avevamo fatto venire innanzi, sebbene la superficie fosse assolutamente livellata, sbandavano nelle più diverse direzioni e non rimanevano fermi al loro posto neppure se venivano bloccati con pietre. Inoltre vedevamo il mare che si riassorbiva in se stesso e che sembrava quasi fatto arretrare dalle vibrazioni telluriche. Senza dubbio il litorale si era avanzato e teneva prigionieri nelle sue sabbie asciutte una quantità di animali marini. Dall'altra parte una nube nera e terrificante, lacerata da lampeggianti soffi di fuoco che si esplicavano in linee sinuose e spezzate, si squarciava emettendo delle fiamme dalla forma allungata: avevano l'aspetto dei fulmini ma ne erano più grandi.

A questo punto si rifà avanti l'amico spagnolo e ci incalza con un tono più inquieto e più stringente:

“Se tuo fratello, se tuo zio vive, vi vuole incolumi, se è morto, ha voluto che voi gli sopravviveste. Perciò perchè indugiate a mettervi in salvo?”.

Gli rispondiamo che noi non avremmo mai accettato di provvedere alla nostra salvezza finchè non avevamo nessuna notizia della sua. Egli non perde tempo, ma si getta in avanti correndo a più non posso si porta fuori dal pericolo. Poco dopo quella nube calò sulla terra e ricoperse il mare: aveva già avvolto e nascosto Capri ed aveva già portato via ai nostri



sguardi il promontorio di Miseno. Allora mia madre a scongiurarmi, ad invitarmi, ad ordinarmi di fuggire in qualsiasi maniera; diceva che io, ancora giovane, ci potevo riuscire, che essa invece, pesante per l'età e per la corporatura avrebbe fatto una bella morte se non fosse stata causa della mia. Io però risposi che non mi sarei salvato senza di lei; poi presala per mano, la costringo ad accelerare il passo. Mi ubbidisce a malavoglia e si accusa di rallentare la mia marcia. Incomincia a cadere cenere, ma è ancora rara. Mi volgo indietro: una fitta oscurità ci incombeva alle spalle e, riversandosi sulla terra, ci veniva dietro come un torrente.

“Deviamo, le dico, finchè ci vediamo ancora, per evitare di essere fatti cadere sulla strada dalla calca che ci accompagna e calpestatì nel buio”.

Avevamo fatto appena a tempo a sederci quando si fece notte, non però come quando non c'è luna o il cielo è ricoperto da nubi, ma come a luce spenta in ambienti chiusi. Avresti potuto sentire i cupi pianti disperati delle donne, le invocazioni dei bambini, le urla degli uomini: alcuni con le grida cercavano di richiamare ed alle grida cercavano di rintracciare i genitori altri i figli, altri i coniugi rispettivi; gli uni lamentavano le loro sventure, gli altri quelle dei loro cari taluni per paura della morte, si auguravano la morte, molti innalzavano le mani agli dei, nella maggioranza si formava però la convinzione che ormai gli dei non esistessero più e che quella notte sarebbe stata eterna e l'ultima del mondo. Ci furono di quelli che resero più gravosi i pericoli effettivi con notizie spaventose che erano inventate e false. Arrivavano di quelli i quali riferivano che a Miseno la tale costruzione era crollata, che la tal altra era divorata dall'incendio: non era vero ma la gente ci credeva.

Ci fu una tenue schiarita, ma ci sembrava che non fosse la luce del giorno ma un preannuncio dell'avvicinarsi del fuoco. Il fuoco c'era davvero, ma si fermò piuttosto lontano; poi di nuovo il buio e di nuovo cenere densa e pesante. Tratto tratto ci alzavamo in piedi e ce la scuotevamo di dosso; altrimenti ne saremmo stati coperti e saremmo anche rimasti schiacciati sotto il suo peso. Potrei vantarmi che, circondato da così gravi pericoli, non mi sono lasciato sfuggire nè un gemito nè una parola meno che coraggiosa, se non fossi stato convinto che io soccombevo con l'universo e l'universo con me: conforto disperato, è vero, ma pure grande nella mia qualità di essere soggetto alla morte. Finalmente quella oscurità si attenuò e parve dissiparsi in fumo o in vapori, ben presto sottentrò il giorno genuino e risplendette anche il sole, ma livido, come suole apparire durante le eclissi. Agli occhi ancora smarriti tutte le cose si presentavano con forme nuove, coperte di una spessa coltre di cenere come se fosse stata neve. Ritornati a Miseno, e preso quel po' di ristoro che ci fu possibile, passammo tra alternative di speranza e di timore una notte ansiosa ed incerta. Era però il timore a prevalere; infatti le scosse telluriche continuavano ed un buon numero di individui, alienati, dilleggiavano con spaventevoli profezie le disgrazie loro ed altrui. Noi però, quantunque avessimo provato personalmente il pericolo e ce ne aspettassimo ancora, non venimmo nemmeno allora alla determinazione di andarcene prima di ricevere notizie dello zio.

Ti mando questa relazione perchè tu la legga, non perchè la scriva, dato che non s'addice affatto al genere storico; attribuisce poi la colpa a te – evidentemente in quanto me l'hai richiesta – se non ti parrà addirsi neppure a quello epistolare.

