

# UNITÀ 7. Gli scambi gassosi

## Il ruolo dell'ossigeno nel metabolismo

Le sostanze nutritive forniscono la loro energia alle cellule attraverso una reazione chimica di ossidazione, analoga alla combustione.

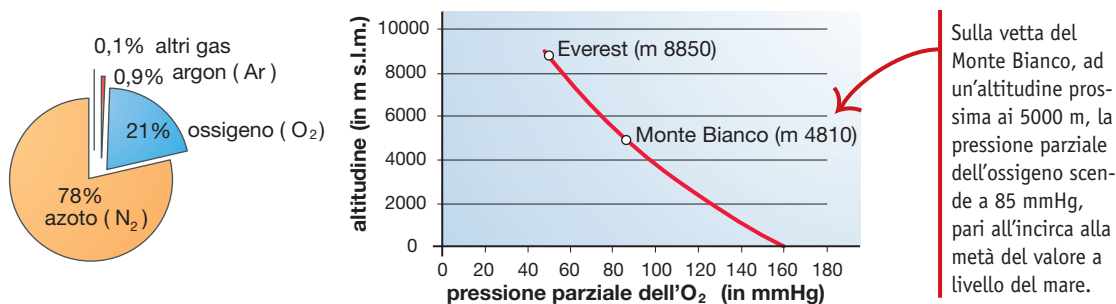
Questa reazione, come tutte le reazioni di combustione, necessita di **ossigeno** ( $O_2$ ). La maggior parte dei viventi non potrebbe ricavare energia sufficiente al mantenimento delle funzioni vitali se non avesse una continua disponibilità di questo gas.

Nei mitocondri di ogni cellula avviene una serie di reazioni chimiche che consente di bruciare gli zuccheri in presenza di ossigeno e di produrre energia; il complesso di tali reazioni costituisce la **respirazione cellulare**.

I prodotti della respirazione cellulare sono acqua e anidride carbonica ( $CO_2$ ). L'acqua è un composto utile all'organismo, mentre l'anidride carbonica non può accumularsi e deve pertanto essere allontanata.

L'assorbimento dell'ossigeno e l'eliminazione dell'anidride carbonica generano un meccanismo di **scambi gassosi** tra l'organismo e l'ambiente esterno che, nel suo complesso, viene chiamato **respirazione**.

L'aria che respiriamo è una miscela di gas. Il più abbondante è l'azoto – che da solo rappresenta circa il 78% in volume dell'aria secca – seguito dall'ossigeno (circa 21%), dall'argon (circa 0,9%) e da altri gas (come l'anidride carbonica che rappresenta solo lo 0,04%). L'azoto, nonostante l'abbondanza, non è coinvolto nella respirazione cellulare. Come vedremo, il passaggio dell'ossigeno al sangue avviene per diffusione semplice, un processo che dipende dalla differenza di concentrazione dell'ossigeno tra l'interno e l'esterno delle cellule polmonari. A sua volta questa differenza dipende, oltre che dalla quantità di ossigeno nell'atmosfera, anche dalla pressione dell'aria. Per questa ragione si preferisce parlare di **pressione parziale dell'ossigeno** ( $p_{O_2}$ ). A livello del mare la pressione atmosferica è pari a 760 mmHg, quindi la pressione parziale dell'ossigeno è pari a  $(760 \times 21)/100 = 159$  mmHg.



In località situate ad alta quota, generalmente al di sopra dei 2000 metri, la diminuzione della quantità di ossigeno nell'aria può influenzare la vita degli organismi. L'entrata dell'aria negli organi respiratori e lo scambio dell'ossigeno con il sangue sono resi difficili dalla rarefazione dell'aria e dalla bassa pressione parziale dell'ossigeno.

Per la maggior parte degli animali, l'**ingresso** dell'ossigeno avviene attraverso alcuni organi specializzati quali branchie, trachee e polmoni. Alcuni animali, come certi vermi, sono in grado di far entrare l'ossigeno direttamente attraverso la superficie del proprio corpo.

Qualunque sia la via di ingresso, l'ossigeno entra nel sangue per **diffusione semplice**. L'aria è ricca di ossigeno, mentre il sangue ne è povero; pertanto, sulla superficie di contatto tra i capillari e l'aria, le molecole di  $O_2$  passano spontaneamente dall'aria al sangue.

# UNITÀ 7. Gli scambi gassosi

L'ossigeno è **trasportato** dal sangue a tutti i tessuti del corpo.

Il gas, entrato nelle cellule per diffusione, è infine **utilizzato** dai mitocondri per la respirazione cellulare. Il consumo di ossigeno abbassa la concentrazione delle molecole di  $O_2$  nel citoplasma e quindi favorisce la diffusione dell'ossigeno dal sangue alla cellula. L'anidride carbonica ( $CO_2$ ) diffonde dalle cellule al sangue ed è da questo trasportata fino agli organi respiratori, che provvedono ad eliminarla all'esterno del corpo.

## ■ Gli scambi respiratori negli animali

Gli scambi gassosi avvengono attraverso una **superficie respiratoria**.

La superficie respiratoria deve possedere due caratteristiche fondamentali:

- le cellule che la rivestono devono essere umide, in quanto la diffusione richiede che i gas siano disciolti in acqua;
- deve essere più estesa possibile, affinché il volume dei gas scambiati sia sufficiente alle necessità energetiche dell'organismo.

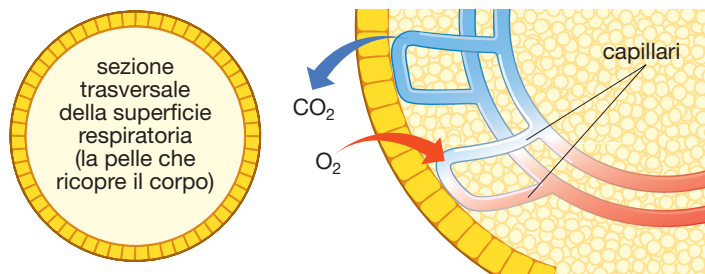
Negli animali esistono quattro tipi di organi respiratori.

1. Le spugne, le meduse, i vermi piatti e i lombrichi non possiedono alcun tipo di organo specializzato alla respirazione, perciò lo scambio dei gas avviene attraverso l'**intera superficie** del corpo.

Immediatamente sotto la pelle esiste una fitta rete di capillari che riceve l'ossigeno per diffusione e lo trasporta alle cellule.

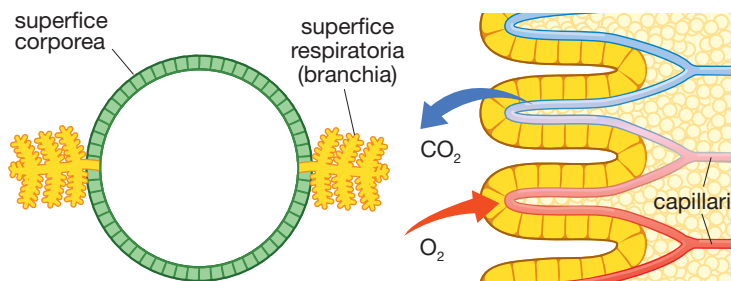
Gli animali che respirano attraverso la pelle sono necessariamente di piccole dimensioni oppure di forma appiattita. In questo modo ad un volume relativamente piccolo corrisponde una superficie corporea, e quindi respiratoria, sufficientemente estesa.

Esistono comunque anche vertebrati (in particolare alcune specie di anfibii) che respirano attraverso la pelle.



2. L'organo respiratorio della maggior parte dei pesci è costituito dalle **branchie**, estensioni della superficie corporea molto ramificate e rivolte verso l'esterno del corpo dell'animale.

Soltanto in pochi casi però le branchie sono realmente esterne; normalmente si trovano dietro una piega della cute detta **opercolo**.



## UNITÀ 7. Gli scambi gassosi

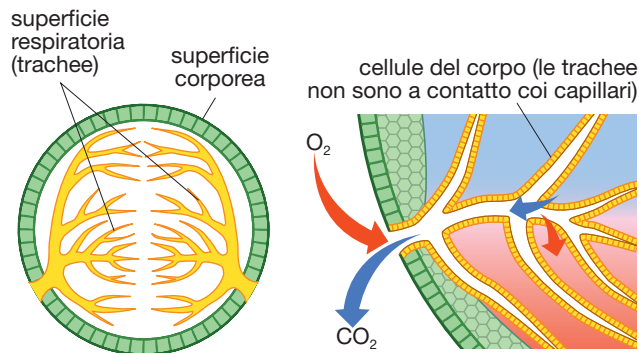
Da questa apertura esce la corrente d'acqua che entra dalla bocca e scorrendo lungo le branchie rifornisce le superfici respiratorie di un flusso continuo di liquido, contenente ossigeno disciolto.

Questo continuo ricambio d'acqua è necessario in quanto l'acqua è in grado di sciogliere una quantità di ossigeno piuttosto limitata (a una temperatura di 15 °C l'acqua può sciogliere al massimo lo 0,5% di ossigeno).

3. Gli insetti lasciano entrare l'aria nel corpo attraverso un sistema di minuscoli tubi – le **trachee** – che si ramificano in tubuli ancor più piccoli chiamati **tracheole**.

Le tracheole terminano con delle estremità a fondo cieco contenenti un liquido. Le pareti di tali estremità sono la sede dello scambio gassoso.

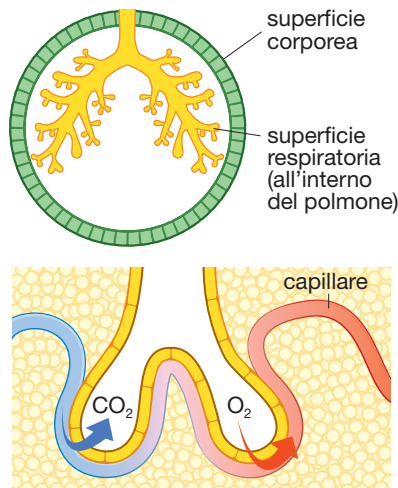
In questo modo i gas respiratori raggiungono direttamente tutte le cellule dell'organismo, senza l'intervento del sangue.



4. I rettili, gli uccelli, i mammiferi e la maggior parte degli anfibi respirano attraverso degli organi specializzati, chiamati **polmoni**.

I polmoni sono contenuti all'interno del corpo e sono costituiti da cavità rivestite da un sottile strato di cellule costantemente umido.

Allo scopo di aumentare l'estensione della superficie respiratoria, la parete interna dei polmoni si presenta estremamente ramificata e concamerata, in quasi tutti gli organismi. La cavità viene continuamente riempita e svuotata d'aria attraverso le vie respiratorie.



## L'apparato respiratorio umano

Lo scambio gassoso nel corpo umano e la distribuzione dell'ossigeno a tutte le sue cellule sono garantiti da due apparati che agiscono in stretta collaborazione:

- l'**apparato respiratorio**, di cui fanno parte il naso, la trachea e i polmoni;
- l'**apparato cardiocircolatorio**, che comprende i vasi sanguigni, il sangue e il cuore.

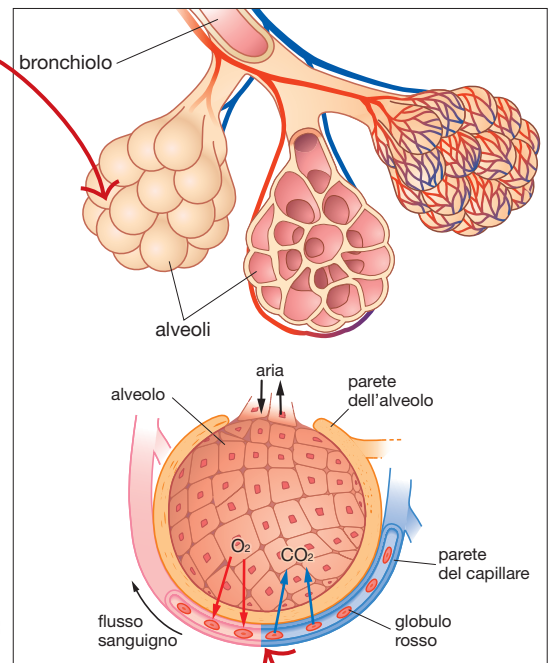
Il **naso** è la parte visibile dell'apparato respiratorio umano. Le narici (con la bocca) sono il punto di ingresso dell'aria nel nostro corpo e costituiscono l'inizio delle vie respiratorie.

Nella cavità nasale, inoltre, l'aria subisce tre modificazioni importanti: essa viene *riscaldata*, grazie ai capillari della mucosa, *umidificata*, tramite la cessione d'acqua per traspirazione e *filtrata*, grazie ai peli di cui la cavità stessa è rivestita.

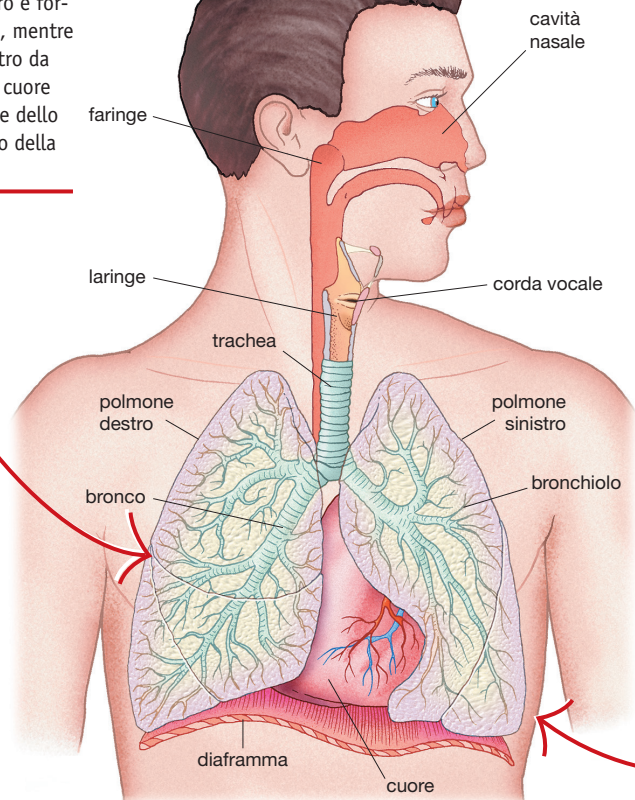
L'aria, dopo aver attraversato la **faringe**, entra nella **laringe**, l'organo della *fonazione*, che permette l'emissione di suoni. In realtà, durante il percorso d'entrata, l'aria non produce nessun rumore; i suoni vengono prodotti sfruttando l'aria espirata. La modulazione dei suoni avviene grazie ad alcune pieghe della mucosa presenti nella laringe, dette **corde vocali**, e all'azione della muscolatura della bocca.

L'aria inspirata percorre poi la **trachea** per entrare nei **polmoni**. La trachea è un tubo sostenuto da una serie di anelli di cartilagine, che le conferiscono rigidità e permettono il passaggio dell'aria.

All'interno degli alveoli sono presenti *globuli bianchi* specializzati nella rimozione delle particelle solide, dei microrganismi potenzialmente nocivi e delle polveri sottili contenute nell'aria.



Il polmone destro è formato da tre lobi, mentre il polmone sinistro da due, dato che il cuore occupa una parte dello spazio all'interno della cassa toracica.



La diffusione è un fenomeno che interessa i gas in soluzione, per questa ragione la superficie degli alveoli deve essere mantenuta umida. Ciò avviene grazie all'umidificazione dell'aria in ingresso e alla produzione di un **liquido alveolare** da parte delle cellule dell'epitelio.

Entrambi i polmoni sono rivestiti da una doppia membrana detta **pleura**.

## UNITÀ 7. Gli scambi gassosi

La trachea si dirama in due **bronchi**, che una volta nei polmoni si dividono in numerosi rami, via via più piccoli: i **bronchioli**.

I bronchioli terminano infine con alcune minuscole sacche – gli **alveoli polmonari** – riunite in grappoli.

Ciascun alveolo è costituito da un epitelio sottilissimo, al di là del quale scorre una fitta rete di capillari sanguigni. Questa delicata parete rappresenta la superficie respiratoria dei polmoni ed è la sede dello scambio gassoso tra aria e sangue.

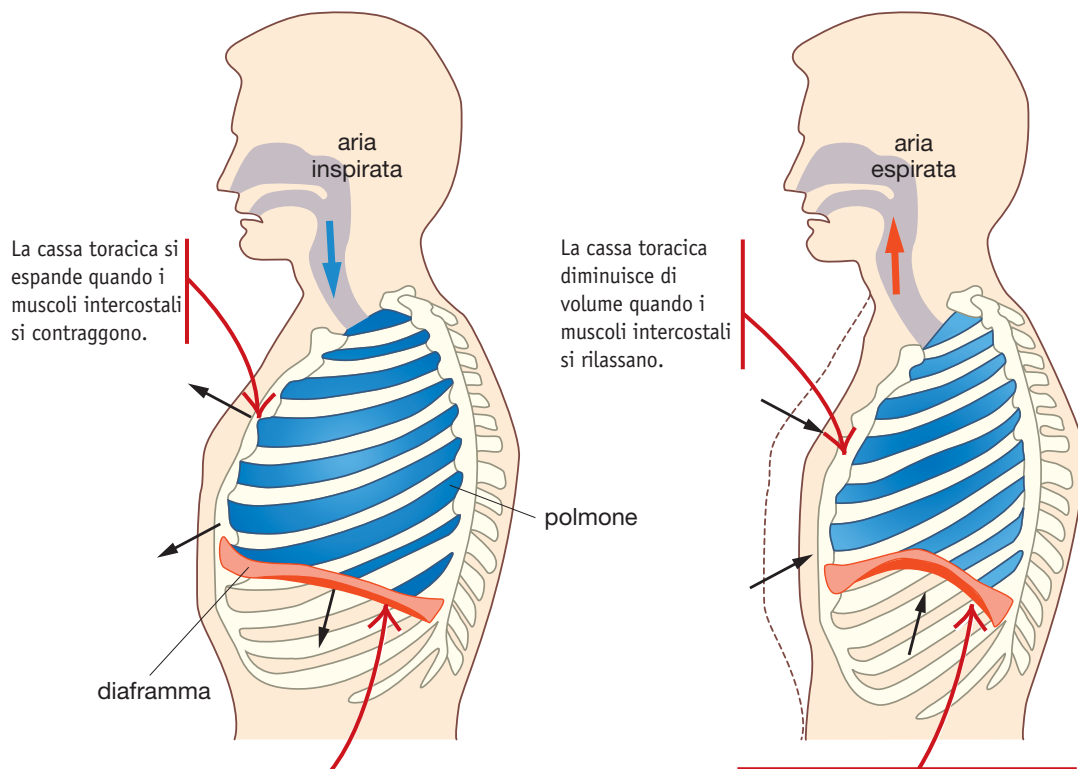
### ■ La ventilazione polmonare

La **ventilazione polmonare** è un processo meccanico che permette di rinnovare in continuazione l'aria presente nei nostri polmoni tramite l'alternarsi di *inspirazioni* e di *espirazioni*.

L'ingresso dell'aria, che è chiamato **inspirazione**, si realizza attraverso la contrazione del muscolo detto *diaframma* e degli altri muscoli presenti tra le costole: la gabbia toracica si espande, il volume dei polmoni aumenta, la pressione interna diminuisce, risucchiando l'aria dall'esterno verso l'interno.

La fuoriuscita dell'aria dai polmoni, detta **espirazione**, si ottiene viceversa con un semplice rilassamento del diaframma e dei muscoli intercostali: il volume dei polmoni diminuisce e di conseguenza la pressione interna aumenta, fino a superare quella atmosferica, all'esterno, consentendo l'espulsione di una parte dell'aria.

La capacità polmonare varia, tra 4 e 6 L, a seconda dell'età, del sesso, della taglia e delle condizioni generali dell'individuo. Durante una normale respirazione a riposo viene scambiato un volume di aria molto inferiore rispetto al volume totale dei polmo-



Il **diaframma** è un sottile muscolo a forma di cupola, che separa la cavità toracica da quella addominale e che si contrae (si abbassa) durante l'inspirazione.

Il diaframma si rilassa (si alza) durante l'espirazione.

## UNITÀ 7. Gli scambi gassosi

ni. Questo valore, detto **volume corrente**, è di circa 500 mL. Durante uno sforzo fisico è possibile aumentare il volume di aria scambiata tra l'interno e l'esterno dei polmoni. Una inspirazione forzata permette infatti di scambiare, oltre al volume corrente, anche il *volume di riserva inspiratorio* (generalmente compreso tra 2 e 3 L d'aria). Analogamente a seguito di una espirazione forzata è possibile svuotare i polmoni del *volume di riserva espiratorio*, pari a circa 1 L. Anche a seguito di questo forzato svuotamento, nei polmoni permane comunque un **volume residuo** d'aria che impedisce agli alveoli polmonari di collassare su se stessi.

Lo sbadiglio, come la tosse o lo starnuto, sono meccanismi involontari (detti *riflessi*), ovvero delle azioni promosse dal sistema nervoso che non possiamo controllare o che riusciamo a controllare solo parzialmente. Lo **sbadiglio** è un riflesso che determina una profonda inspirazione, stimolata da diversi muscoli e dall'apertura eccessiva della bocca. Lo sbadiglio può essere provocato da molteplici fattori, come la sonnolenza, la stanchezza o la noia, il risultato è un maggiore afflusso di aria alle nostre vie respiratorie.

La tosse e lo starnuto sono invece meccanismi di difesa delle vie respiratorie.

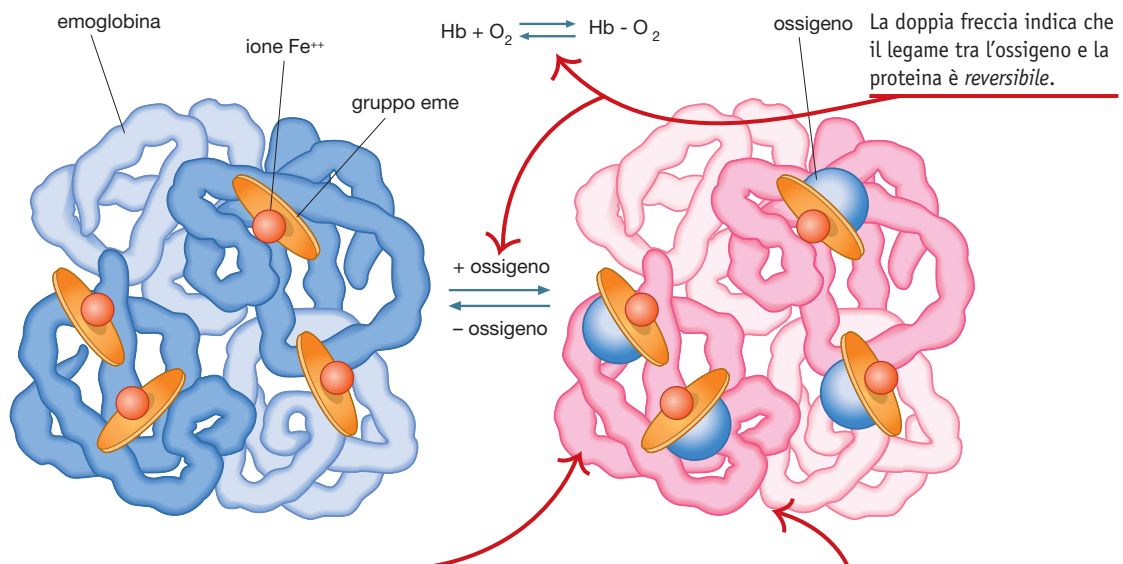
### ■ Il trasporto dei gas respiratori nel sangue

Il sangue può tenere in soluzione soltanto una piccola quantità di ossigeno.

La maggior parte dell'ossigeno è trasportata da alcune proteine – i **pigmenti respiratori** – capaci di legare la molecola di  $O_2$ , di trasportarla all'interno del flusso sanguigno e liberarla una volta giunti alle cellule. I pigmenti respiratori sono così chiamati perché sono le molecole che conferiscono la colorazione al sangue.

L'**emoglobina** (il cui simbolo è **Hb**) è una proteina che presenta una struttura quaternaria formata da 4 catene di amminoacidi, uguali a due a due. Al centro di ciascuna catena polipeptidica è presente un **gruppo eme**, che rappresenta un *gruppo prostetico* ovvero una parte non costituita da amminoacidi.

Il gruppo eme è un complesso chimico organico contenente alcuni atomi di azoto. Al centro del gruppo eme è situato un atomo di ferro, il quale risulta particolarmente importante poiché rappresenta il punto dell'emoglobina in cui l'ossigeno si lega.



Dato che una molecola di emoglobina contiene 4 catene polipeptidiche e 4 gruppi eme, ciascuna molecola può trasportare 4 molecole di  $O_2$ .

Una molecola di emoglobina (Hb) legata all'ossigeno costituisce l'**ossiemoglobina** ( $Hb-O_2$ ).

## UNITÀ 7. Gli scambi gassosi

La tendenza dell'ossigeno a legarsi con l'emoglobina dipende dalla concentrazione dell'ossigeno stesso, cioè dalla sua pressione parziale (detta  $pO_2$ ). Nell'aria all'interno dei polmoni la pressione parziale dell'ossigeno è simile a quella dell'atmosfera quindi piuttosto elevata (circa 158 mmHg). L'emoglobina si satura di ossigeno, cioè trasporta il 100% delle molecole di ossigeno possibili, quando la pressione parziale del gas è superiore a 100 mmHg. Per questa ragione, il sangue in uscita dai polmoni è generalmente saturo di ossigeno. Il legame tra l'ossigeno e l'emoglobina è *reversibile*; pertanto circolando nei tessuti del corpo, dove la  $pO_2$  è inferiore, l'emoglobina rilascia parte dell'ossigeno trasportato.

L'anidride carbonica che dai tessuti viene trasportata ai polmoni mostra proporzioni diverse:

- il 10% circa dell'anidride carbonica si lega all'emoglobina; essa non interferisce in nessuna maniera con il trasporto dell'ossigeno dato che si lega all'emoglobina in zone diverse della molecola
- un altro 10% circa dell'anidride carbonica è presente in soluzione nel plasma;
- il restante 80% circa viene trasformato dai globuli rossi in **ione bicarbonato** ( $HCO_3^-$ ). Successivamente questi ioni vengono liberati nel plasma e trasportati grazie al flusso sanguigno.

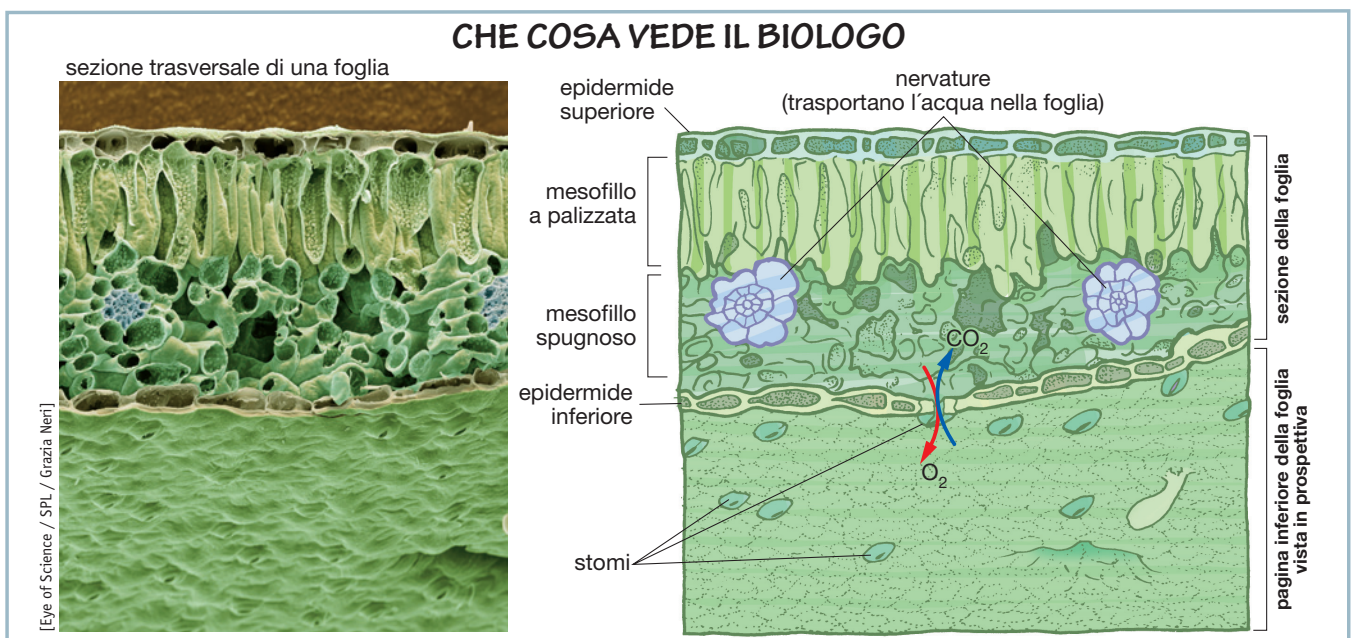
### ■ Gli scambi gassosi nelle piante

Il processo di **fotosintesi** consiste in una serie di reazioni tramite le quali le piante producono il glucosio, uno zucchero semplice, e l'ossigeno ( $O_2$ ), partendo da anidride carbonica ( $CO_2$ ) e acqua.

Una parte dell'ossigeno viene utilizzata dalla pianta, tramite la **respirazione cellulare**, per ricavare energia dagli zuccheri.

L'ossigeno che non è utilizzato nella respirazione cellulare viene «scartato» e rimesso nell'atmosfera.

Lo scambio gassoso nei vegetali avviene perciò prevalentemente in senso contrario rispetto a quello che si verifica negli animali: entra anidride carbonica e si allontana ossigeno.



L'organo delle piante in cui avviene lo scambio gassoso è lo stesso in cui si realizza la fotosintesi: la **foglia**.

La foglia è delimitata, superiormente e inferiormente, da due strati di cellule epidermiche trasparenti, che consentono il passaggio della luce. Tra le cellule epidermiche sono presenti delle aperture, gli **stomi**, che permettono gli scambi gassosi tra l'aria e l'interno della foglia.

Queste aperture mettono in comunicazione l'esterno della foglia con gli spazi tra una cellula e l'altra del **mesofillo**, il tessuto che forma la parte interna della foglia.

Il mesofillo è composto da due strati differenti: uno strato superiore molto compatto, lo *strato a palizzata*, e uno strato inferiore meno fitto, lo *strato spugnoso*. Le cellule dello strato spugnoso sono piuttosto distanziate. In questo tessuto, quindi, esistono degli spazi inter-cellulari, che possono venir riempiti dall'aria in ingresso.

L'aria che entra attraverso gli stomi permette la diffusione dell'anidride carbonica in tutte le cellule del mesofillo.

Una parte dell'acqua che è assorbita dalle radici percorre il fusto ed esce attraverso gli stomi, in forma di vapore acqueo.

Questo processo, chiamato **evapo-traspirazione**, provoca una perdita d'acqua che, nelle calde giornate estive o quando il suolo è particolarmente secco, può diventare eccessiva.

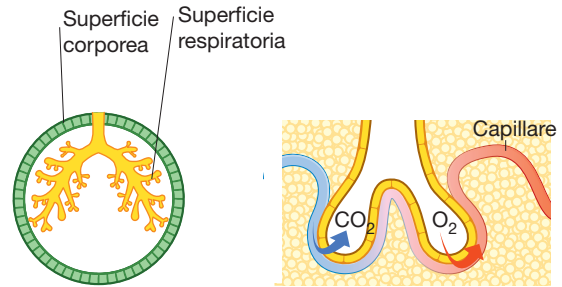
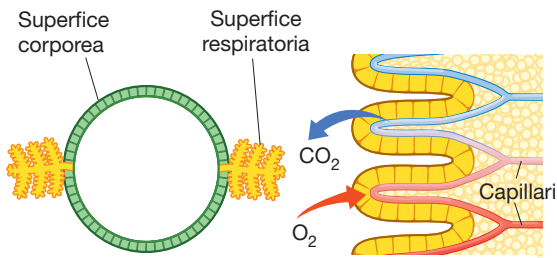
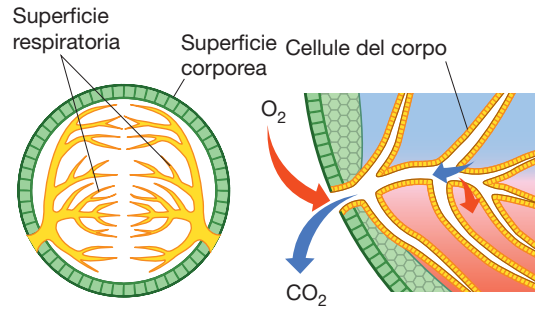
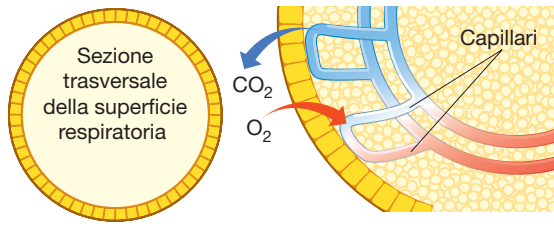
Per evitare la disidratazione, gli stomi possono chiudersi. L'apertura di ciascuno stoma è, infatti, circondata da due cellule – le **cellule di guardia** – che funzionano come una valvola, determinando l'apertura e la chiusura dello stoma.

Gli stomi normalmente restano aperti durante il giorno per permettere l'ingresso dell'anidride carbonica. Al contrario, vengono chiusi durante la notte quando, non essendoci luce, la fase luminosa della fotosintesi non può compiersi.

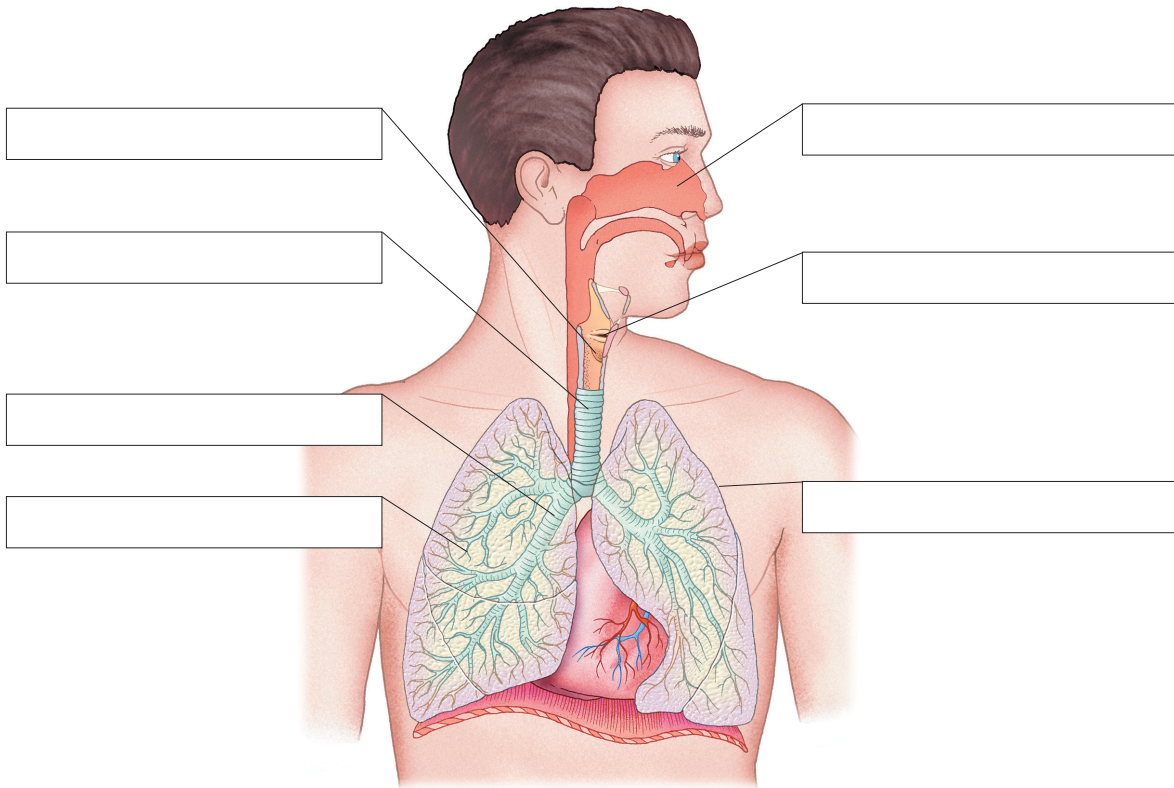


# UNITÀ 7. Gli scambi gassosi

**1** Attribuisce a ciascuna figura il tipo di apparato respiratorio: trachee, pelle, polmoni, branchie.



**2** Completa la figura inserendo il nome delle diverse parti dell'apparato respiratorio umano.



## UNITÀ 7. Gli scambi gassosi

### 3 Completa le seguenti frasi scegliendo i termini corretti tra quelli indicati nei corrispondenti riquadri.

A. La respirazione è una reazione chimica di ..... del glucosio che avviene all'interno di ogni ..... del corpo degli organismi.

ossidazione, digestione, organo, apparato, cellula

B. L'ossigeno entra nel corpo degli animali per ..... attraverso una ..... respiratoria.

Trasporto attivo, diffusione semplice, cellula, trachea, superficie, doppio scambio

C. Durante l'inspirazione, il diaframma si ..... e la cassa toracica ..... di volume risucchiando l'aria dall'esterno.

contrae, aumenta, diminuisce, rilassa

D. L'emoglobina è una proteina contenuta nei ..... e la cui funzione è di ..... l'ossigeno a tutte le cellule del corpo.

plasma, polmoni, globuli rossi, ossidare, trasportare, diffondere

E. La tendenza dell' ..... a legarsi con l'ossigeno dipende dalla pressione parziale dell'ossigeno stesso, ovvero dalla sua ..... Il sangue in uscita dai polmoni è generalmente ....., l'ossigeno viene poi rilasciato ai ..... perché la sua pressione parziale è inferiore e il legame con la proteina che lo trasporta è .....

epidermide, emoglobina, alveolo, concentrazione, quantità, povero, saturo, tessuti, organi, covalente, reversibile, ionico

F. La foglia è l'organo dei vegetali in cui avviene la fotosintesi, ed è anche la sede degli scambi gassosi: nella foglia entra ..... e viene liberato .....

ossigeno, anidride carbonica, acqua, gas

G. I gas entrano ed escono dalla foglia attraverso ....., cioè delle aperture regolate dalle cellule di .....

l'epidermide, gli stomi, le radici, guardia, scambio, mesofillo

H. Normalmente durante la notte gli stomi restano ....., in quanto in mancanza di ..... la pianta non può compiere la fotosintesi.

chiusi, aperti, luce, sali minerali, acqua