

Insegnamento di Fisiologia umana

Sistema Respiratorio

Claudio Babiloni

Dipartimento di Fisiologia umana e Farmacologia
Università di Roma “La Sapienza”

Il Sistema respiratorio: l'anatomia funzionale

Generalità: la respirazione è il processo che consente gli scambi gassosi e include la respirazione interna ed esterna. **La respirazione interna:** l'uso dell'ossigeno trasportato dal sangue nei mitocondri per la produzione di ATP e come prodotto metabolico di anidride carbonica. **La respirazione esterna:** include quattro processi (1) la ventilazione polmonare, (2) lo scambio di ossigeno e di anidride carbonica tra gli spazi aerei polmonari e il sangue, (3) il trasporto di ossigeno e anidride carbonica nel sangue, e (4) lo scambio di ossigeno e anidride carbonica tra il sangue e i tessuti. Tra le funzioni del sistema respiratorio vi sono la fornitura di ossigeno ai tessuti e l'eliminazione di anidride carbonica, il mantenimento dell'equilibrio acido-base nel sangue, la fonazione e la protezione contro i fattori patogeni ed irritanti che si trovano nell'aria. **Le vie respiratorie superiori:** includono la cavità nasale, la cavità orale e la faringe. Dopo la faringe, che costituisce una via di passaggio comune per l'aria e per il cibo, le vie per il passaggio di questi elementi divergono. **Il tratto respiratorio:** forma la via per l'aria e può essere diviso funzionalmente in due componenti: la zona di conduzione e la zona respiratoria. **La zona di conduzione:** (laringe, trachea, bronchi e bronchioli) permette il passaggio dell'aria dalla laringe ai polmoni. La zona di conduzione è ricoperta da un epitelio che contiene le cellule a calice e le cellule ciliate. **La zona respiratoria:** (bronchioli respiratori, dotti alveolari, alveoli e sacchi alveolari) è la sede degli scambi di gas nei polmoni. **Gli alveoli:** costituiscono la sede principale di scambio. La parete di un alveolo contiene cellule di tipo I e di tipo II. **Le cellule di tipo I:** sono cellule endoteliali dei capillari che formano la membrana respiratoria attraverso cui ha luogo lo scambio gassoso. **Le cellule di tipo II:** secernono la sostanza tensioattiva polmonare. Negli alveoli si trovano anche i macrofagi alveolari del sistema immunitario. **Le pleure:** sono membrane che ricoprono la parete toracica (esterno) e i polmoni (interno), formando il sacco pleurico attorno a ciascun polmone. **Lo spazio intrapleurico:** è lo spazio tra le due membrane pleuriche ed è riempito da un sottile strato di liquido intrapleurico. **La parete toracica:** è formata dalla gabbia toracica, dallo sterno, dalle vertebre toraciche, dai muscoli e dal tessuto connettivo associati. **I muscoli della parete toracica:** includono i muscoli intercostali interni ed esterni e il diaframma.

La meccanica respiratoria (ventilazione polmonare)

Forze che intervengono nella ventilazione polmonare. **La pressione atmosferica:** è la pressione dell'aria all'esterno dell'organismo. **La pressione alveolare:** è la pressione dell'aria negli alveoli. **La pressione intrapleurica:** è la pressione del liquido intrapleurico. Siccome i polmoni e la parete toracica sono elastici, nell'intervallo tra due respiri la parete toracica tende ad espandersi mentre i polmoni tendono a ritrarsi in posizione di riposo. Queste forze opposte tendono a far separare la parete toracica dai polmoni, creando una pressione intrapleurica negativa. **L'inspirazione e l'espirazione:** sono guidate dalla differenza tra la pressione atmosferica e quella alveolare, il gradiente di pressione. **Il gradiente di pressione:** si instaura quando il volume polmonare si modifica. L'inspirazione viene determinata dalla contrazione del diaframma e dei muscoli intercostali esterni che espande la cavità toracica e fa diminuire la pressione intrapleurica (forza che espande i polmoni). **L'inspirazione:** si verifica quando la pressione alveolare scende a valori più bassi di quella atmosferica. **L'espirazione durante la respirazione a riposo:** si ha quando la parete toracica e i polmoni ritornano passivamente nella loro posizione originale. **L'espirazione attiva:** coinvolge la contrazione dei muscoli intercostali interni e di quelli addominali. **Fattori che influenzano la ventilazione polmonare.** **La velocità del flusso d'aria dentro e fuori dai polmoni:** dipende dal gradiente di pressione atmosferica-alveolare e dalla resistenza delle vie respiratorie. **Compliance polmonare:** i polmoni hanno un'alta compliance= possono essere facilmente stirati all'aumentare del volume polmonare durante l'inspirazione. **La resistenza delle vie respiratorie:** dipende principalmente dal raggio dei condotti del tratto respiratorio, influenzato dalla muscolatura liscia. La resistenza è generalmente bassa, ma può essere influenzata dalla meccanica respiratoria, dal sistema nervoso autonomo, da fattori chimici e da stati patologici. Il s. simpatico, l'adrenalina e il cortisolo causano *broncodilatazione* e riducono la resistenza, il s. parasimpatico e fattori irritativi locali causano *broncocostrizione*. **Volumi respiratori misurati con spirometro:** i volumi polmonari includono il volume corrente, il volume di riserva inspiratoria, il volume di riserva espiratoria e il volume residuo. **Le capacità polmonari:** includono la capacità inspiratoria, la capacità vitale, la capacità funzionale residua e la capacità polmonare totale. Altre misure polmonari prendono in considerazione la velocità del flusso d'aria. **La capacità vitale forzata:** la quantità di aria in una inspirazione massimale, espirando il più velocemente e con maggiore forza possibile. **Il volume espiratorio forzato:** la percentuale di capacità vitale forzata esalata in un tempo. **La ventilazione al minuto:** l'aria totale fluita dentro e fuori l'apparato respiratorio. **La ventilazione alveolare al minuto:** il volume di aria nuova agli alveoli ogni minuto e corrisponde alla ventilazione al minuto corretta per il volume di spazio morto (per aumentare la ventilazione alveolare al minuto è più efficace aumentare il volume corrente piuttosto che la frequenza respiratoria).

Trasporto e scambio di ossigeno e anidride carbonica tra alveoli, sangue e tessuti

La circolazione polmonare: il cuore destro pompa sangue deossigenato ai capillari polmonari, dove l'ossigeno diffonde dagli alveoli al sangue e l'anidride carbonica dal sangue agli alveoli. La membrana respiratoria fornisce un'ampia superficie di piccolo spessore ed una breve distanza alla diffusione, permettendo quindi una velocità di diffusione estremamente rapida. Il sangue ossigenato ritorna alla parte sinistra del cuore, dove viene pompato ai capillari sistemici nei tessuti dell'organismo. L'ossigeno diffonde dal sangue ai tessuti e l'anidride carbonica dai tessuti al sangue. Il sangue deossigenato ritorna alla parte destra del cuore. **La diffusione dei gas:** le pressioni dei singoli gas in una miscela vengono chiamate pressioni parziali (concentrazione percentuale del gas X pressione totale). **Soluzione di ossigeno e anidride carbonica nel sangue:** i gas si sciolgono nei liquidi proporzionalmente alla loro solubilità e pressione parziale. Né l'ossigeno, né l'anidride carbonica sono molto solubili nell'acqua, anche se l'anidride carbonica è circa 30 volte più solubile dell'ossigeno. **Scambio di ossigeno e anidride carbonica:** diffusione in base ai gradienti di pressione parziale (P_{O_2} e la P_{CO_2}). Nei polmoni l'ossigeno diffonde dagli alveoli al sangue e l'anidride carbonica dal sangue agli alveoli. Nei tessuti l'ossigeno diffonde dal sangue ai tessuti e l'anidride carbonica dai tessuti al sangue. **Diffusione di ossigeno e anidride carbonica attraverso un capillare sistemico:** dipende dall'attività del tessuto; tessuti più attivi causano maggiori gradienti di pressione parziale, determinando una maggiore velocità di diffusione. **Determinanti della P_{O_2} e la P_{CO_2} alveolari:** (1) la P_{O_2} e la P_{CO_2} dell'aria inspirata, (2) la ventilazione alveolare e (3) la velocità di consumo di ossigeno e di produzione di anidride carbonica nei tessuti. **Determinanti della P_{O_2} e la P_{CO_2} arteriose:** la P_{O_2} e la P_{CO_2} alveolari. **Regolazione della ventilazione alveolare:** in base al consumo di ossigeno e produzione di anidride carbonica. **Iperpnea:** aumento della ventilazione alveolare per rispondere alle richieste dei tessuti metabolicamente molto attivi. **Trasporto dell'ossigeno nel sangue:** disciolto (1,5%) o legato all'emoglobina (98,5%). **Curva di dissociazione dell'emoglobina:** relazione tra P_{O_2} e quantità di ossigeno legato all'emoglobina. **Legame (affinità) ossigeno-emoglobina:** dipende da temperatura, pH, P_{O_2} , 2,3-DPG (difosfoglicerolo: composto che in caso di anemia favorisce la liberazione di ossigeno nei tessuti), monossido di carbonio e P_{O_2} . L'affinità dell'emoglobina per l'ossigeno diminuisce quando l'emoglobina si lega agli ioni idrogeno (**effetto Bohr**) o all'anidride carbonica (**effetto carbaminico**). **L'effetto Haldane:** diminuzione dell'affinità dell'emoglobina per gli ioni idrogeno e l'anidride carbonica quando l'ossigeno si lega all'emoglobina. **Trasporto dell'anidride carbonica nel sangue:** disciolta (5-6%), legata all'emoglobina (5-8%) e disciolta come ioni bicarbonato (86-90%). Il bicarbonato costituisce la forma principale con la quale l'anidride carbonica viene trasportata tra i tessuti e i polmoni.

Controllo della respirazione ed omeostasi acido-base

Regolazione centrale della ventilazione: il ritmo respiratorio dipende da centri respiratori del troncoencefalo. Il centro respiratorio bulbare include il gruppo respiratorio dorsale (prevalentemente neuroni inspiratori) e il gruppo respiratorio ventrale (prevalentemente neuroni espiratori). I neuroni inspiratori di queste regioni attivano i motoneuroni dei muscoli respiratori. Il gruppo respiratorio pontino controllerebbe il passaggio tra l'inspirazione e l'espirazione. Anche centri cerebrali superiori possono influenzare la respirazione. **Fattori che influenzano la ventilazione:** P_{O_2} e della P_{CO_2} arteriose, stiramento dei polmoni, particelle irritanti nelle vie respiratorie, propriocettori, barocettori arteriosi, nocicettori, termocettori, emozioni e controllo volontario (fischiare, parlare, cantare etc.). **Il ruolo dei chemocettori:** i chemocettori periferici e centrali individuano cambiamenti della P_{O_2} , della P_{CO_2} e del pH del sangue arterioso. La P_{CO_2} è lo stimolo principale. La CO_2 , deve essere prima convertita in ioni idrogeno (e bicarbonato). **I chemocettori periferici:** posti nei glomi carotidei, rispondono direttamente alle modificazioni del pH e alla diminuzione della P_{O_2} , sotto il valore di 60 mmHg e, indirettamente, alle modificazioni della P_{CO_2} . **I chemocettori centrali:** posti nel midollo allungato, rispondono alle modificazioni del pH del liquido cerebrospinale. **Regolazione locale della ventilazione e della perfusione:** il rapporto tra il flusso d'aria agli alveoli e il flusso di sangue ai capillari che riforniscono gli alveoli viene chiamato rapporto ventilazione-perfusione. Nei polmoni normali, il flusso di sangue e la ventilazione sono regolati in modo tale che il rapporto ventilazione--perfusione sia circa 1. Se la ventilazione di un particolare alveolo diminuisce, la perfusione diminuisce in seguito a vasocostrizione, per mantenere un rapporto ventilazione-perfusione unitario. In modo simile, se la perfusione di un particolare alveolo diminuisce, allora il flusso d'aria viene diminuito dalla broncocostrizione. **Omeostasi acido-base** Il pH del sangue viene attentamente mantenuto ad un valore compreso tra 7,38 e 7,42 per poter preservare la funzione normale delle proteine necessarie all'omeostasi. **L'acidosi:** diminuzione del pH ad un valore pari o inferiore a 7,35. **L'alcalosi:** aumento del pH ad un valore pari o superiore a 7,45. I sistemi respiratorio e urinario lavorano assieme per mantenere un pH del sangue normale (equilibrio acido-base). **L'anidrasi carbonica:** un enzima degli eritrociti, catalizza la reazione reversibile dall'anidride carbonica e l'acqua ad acido carbonico, che si dissocia in ioni idrogeno e bicarbonato (forma principale con la quale l'anidride carbonica viene trasportata tra i tessuti e i polmoni). **Mantenimento dell'equilibrio acido-base nel sangue:** dipende dalla suddetta conversione dell'anidride carbonica in bicarbonato. **Il contributo del sistema respiratorio:** la regolazione della P_{CO_2} arteriosa. Siccome l'anidride carbonica può essere convertita in acido carbonico, una modificazione della P_{CO_2} , può causare sia acidosi respiratoria che alcalosi respiratoria. Il sistema respiratorio lavora assieme ai reni per mantenere un rapporto tra bicarbonato e anidride carbonica di 20:1.

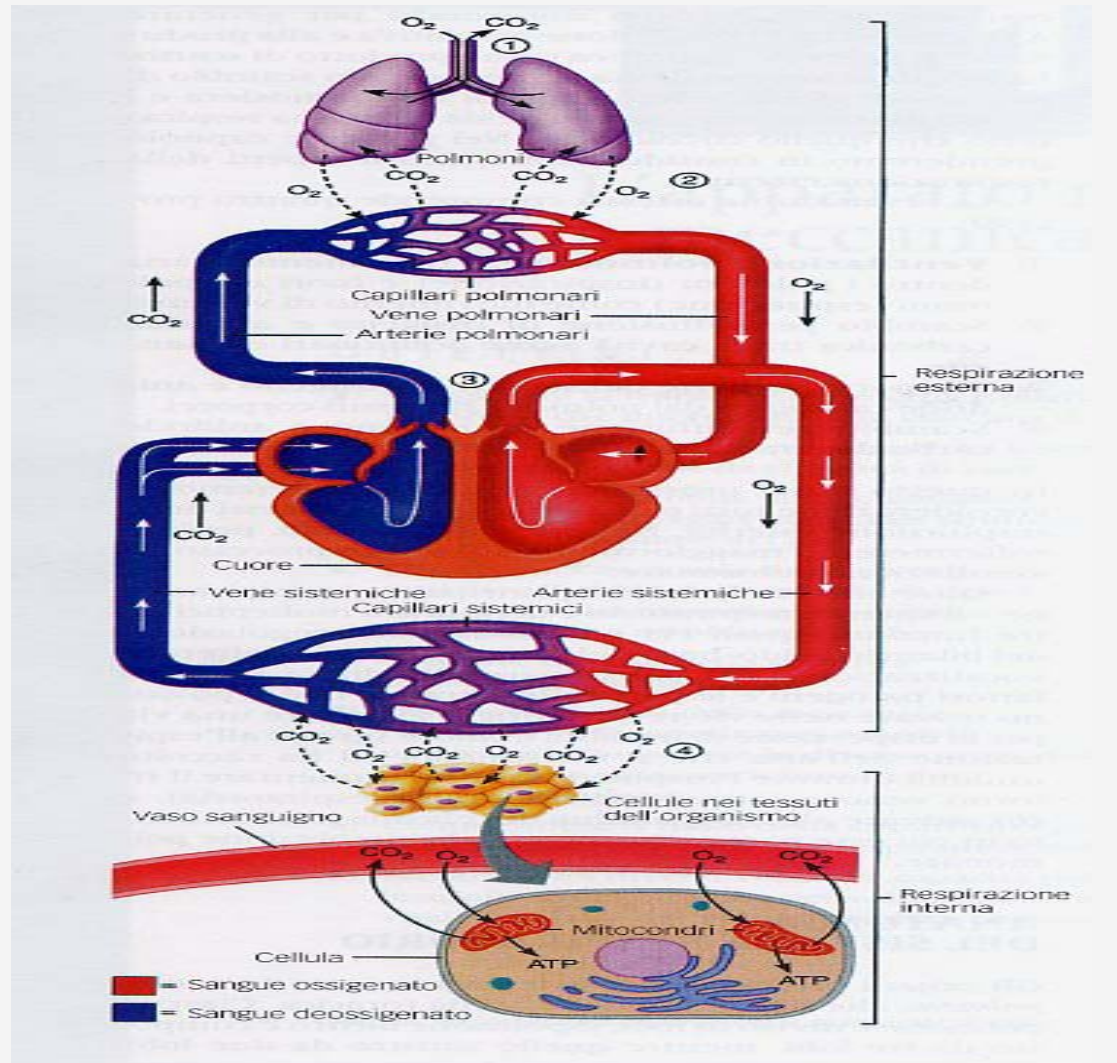
Le respirazioni interna ed esterna

■ **Generalità:** la respirazione è il processo che consente gli scambi gassosi e include la respirazione interna ed esterna

■ **La respirazione interna:** l'uso dell'ossigeno trasportato dal sangue nei mitocondri per la produzione di ATP e come prodotto metabolico di anidride carbonica

■ **La respirazione esterna:** include quattro processi (1) la ventilazione polmonare, (2) lo scambio di ossigeno e di anidride carbonica tra gli spazi aerei polmonari e il sangue, (3) il trasporto di ossigeno e anidride carbonica nel sangue, e (4) lo scambio di ossigeno e anidride carbonica tra il sangue e i tessuti. Tra le funzioni del sistema respiratorio vi sono la fornitura di ossigeno ai tessuti e l'eliminazione di anidride carbonica, il mantenimento dell'equilibrio acido-base nel sangue, la fonazione e la protezione contro i fattori patogeni ed irritanti che si trovano nell'aria

Fig. 15.1 di Germann-Stanfield, Fisiologia umana, EdiSES, 2003



Le vie respiratorie

■ Le vie respiratorie superiori:

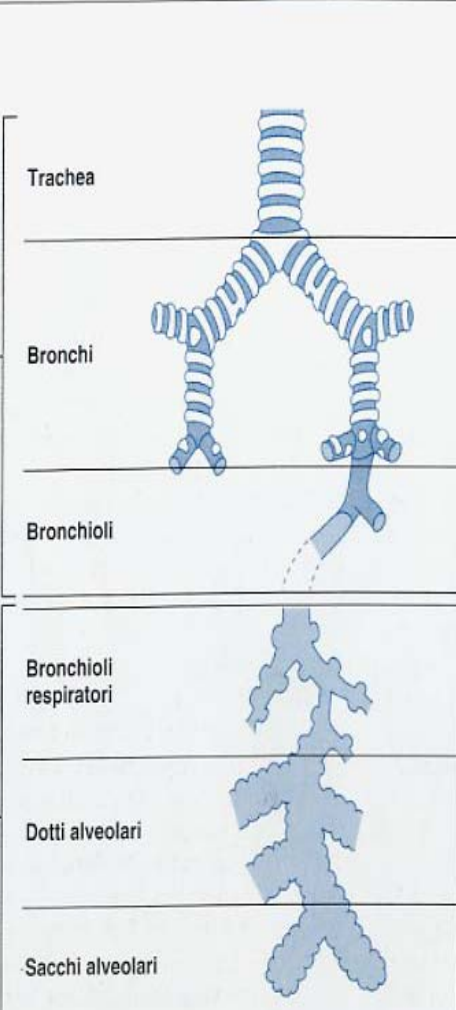
includono la cavità nasale, la cavità orale e la faringe. Dopo la faringe, che costituisce una via di passaggio comune per l'aria e per il cibo, le vie per il passaggio di questi elementi divergono

■ **Il tratto respiratorio:** forma la via per l'aria e può essere diviso funzionalmente in due componenti: la zona di conduzione e la zona respiratoria

■ **La zona di conduzione:** (laringe, trachea, bronchi e bronchioli) permette il passaggio dell'aria dalla laringe ai polmoni. La zona di conduzione è ricoperta da un epitelio che contiene le cellule a calice e le cellule ciliate

■ **La zona respiratoria:** (bronchioli respiratori, dotti alveolari, alveoli e sacchi alveolari) è la sede degli scambi di gas nei polmoni

Fig. 5-1 di Costanzo, Fisiologia umana, EdiSES, 1998



		Numero	Ciglia	Muscolo liscio	Cartilagine
ZONA DI CONDUZIONE	Trachea	1	Si	Si	Si
	Bronchi	2 4 8	Si	Si	Irregolare
	Bronchioli	-	Si	Si	No
ZONA RESPIRATORIA	Bronchioli respiratori	-	Scarse	Scarse	No
	Dotti alveolari	-	No	Scarse	No
	Sacchi alveolari	6×10^8	No	No	No

Gli alveoli polmonari

■ **Gli alveoli:**

costituiscono la sede principale di scambio. La parete di un alveolo contiene cellule di tipo I e di tipo II

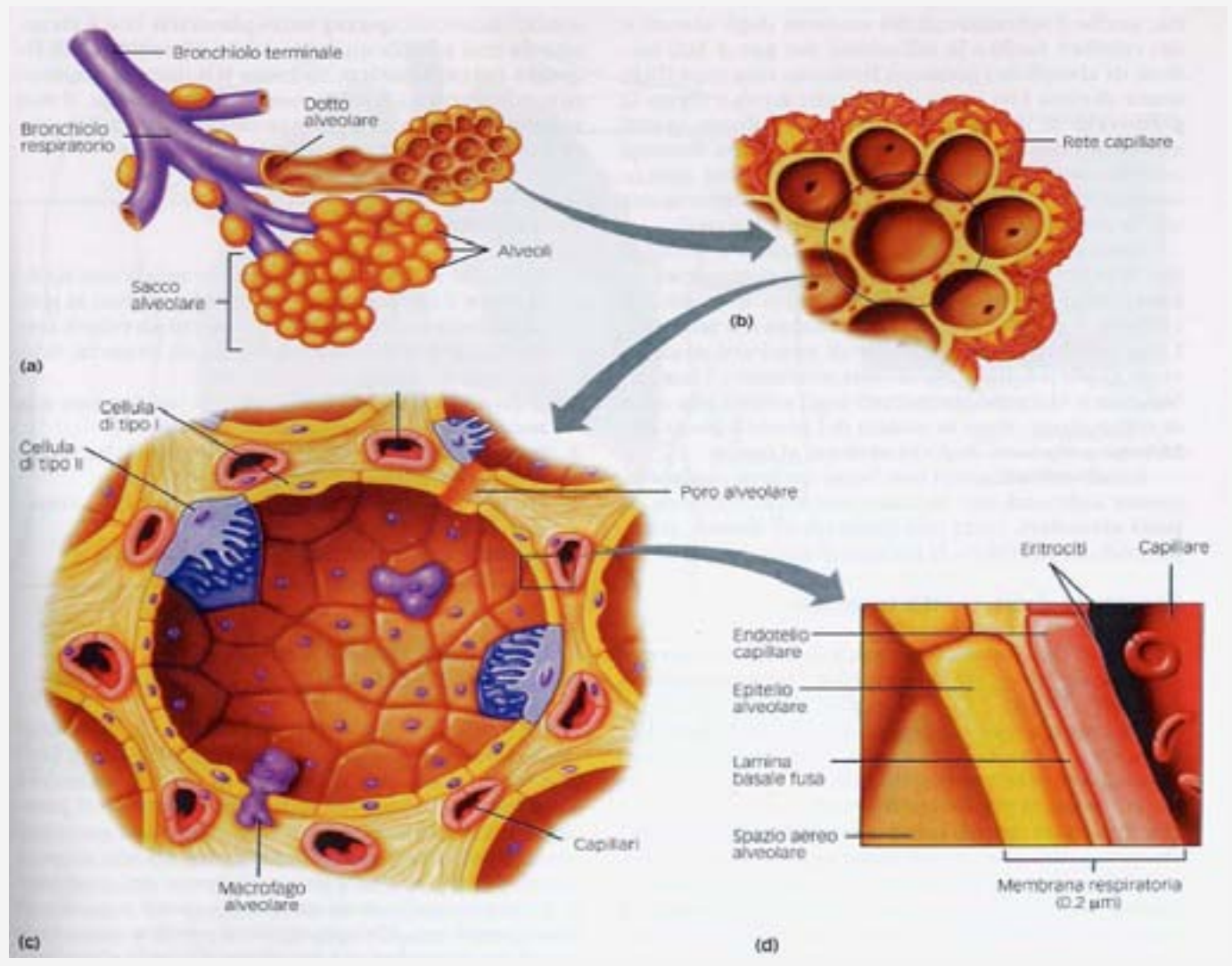
■ **Le cellule di tipo**

I: sono cellule endoteliali dei capillari che formano la membrana respiratoria attraverso cui ha luogo lo scambio gassoso

■ **Le cellule di tipo**

II: secernono la sostanza tensioattiva polmonare (surfactant), una miscela di fosfolipidi che tappezza l'alveolo. Negli alveoli si trovano anche i macrofagi alveolari del sistema immunitario

Fig. 15.5 di Germann-Stanfield, Fisiologia umana, EdiSES, 2003



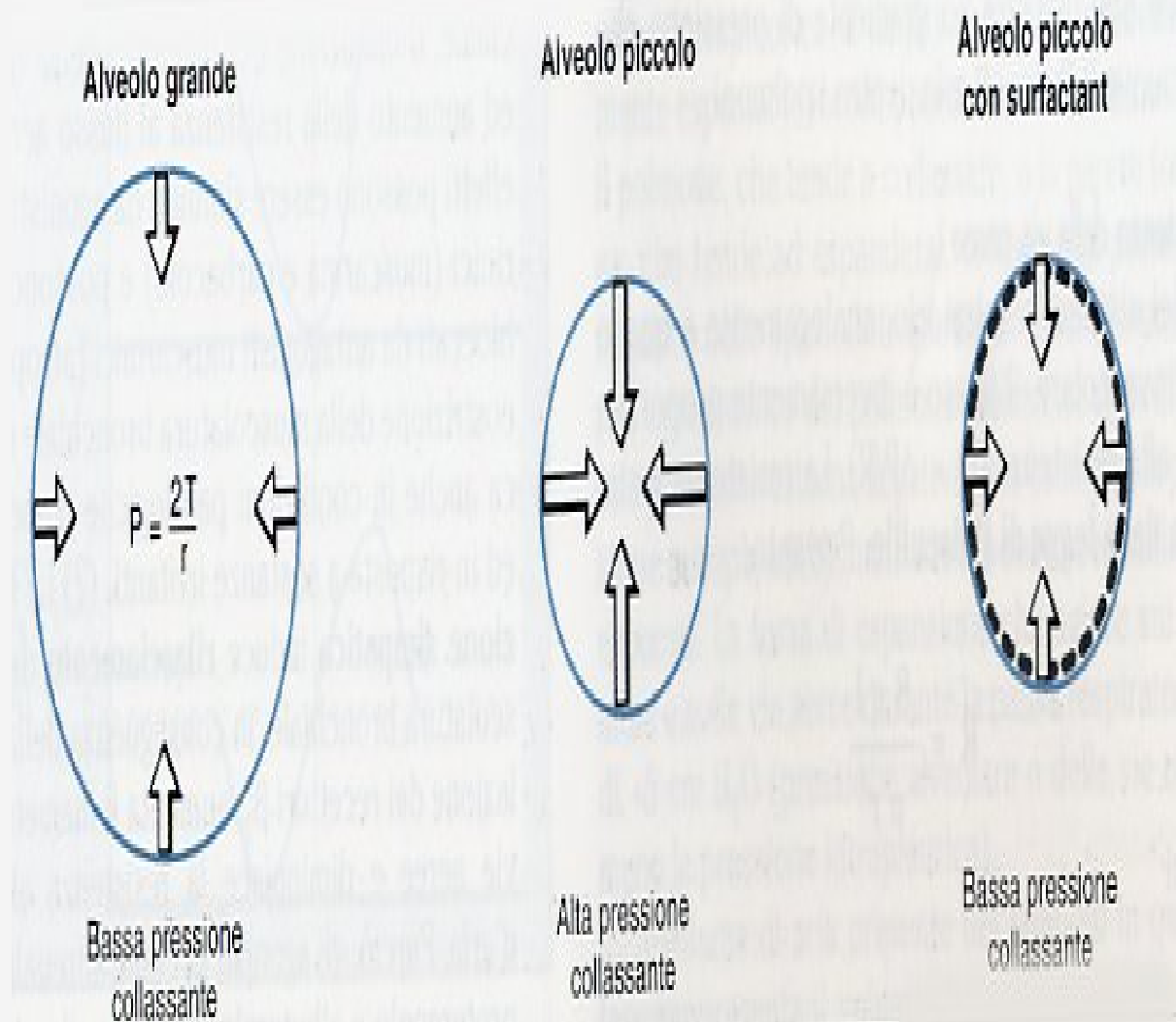
La tendenza al collasso dei piccoli alveoli è contrastata dalla sostanza tensioattiva (surfactant)

- **La tensione superficiale del liquido alveolare:** è dovuta alla forza di attrazione delle molecole di liquido. Fa assumere la forma sferica alle bolle d'acqua e genera una pressione di collassamento per l'alveolo

- **La legge di Laplace:** stabilisce come la pressione di collassamento di un alveolo **aumenta** con la tensione superficiale dell'alveolo e **diminuisce** con l'aumentare del raggio dell'alveolo. Gli alveoli piccoli rischiano così di collassare

- **La sostanza tensioattiva polmonare (surfactant):** riduce la tensione superficiale del liquido sull'alveolo e riduce il rischio di collassamento

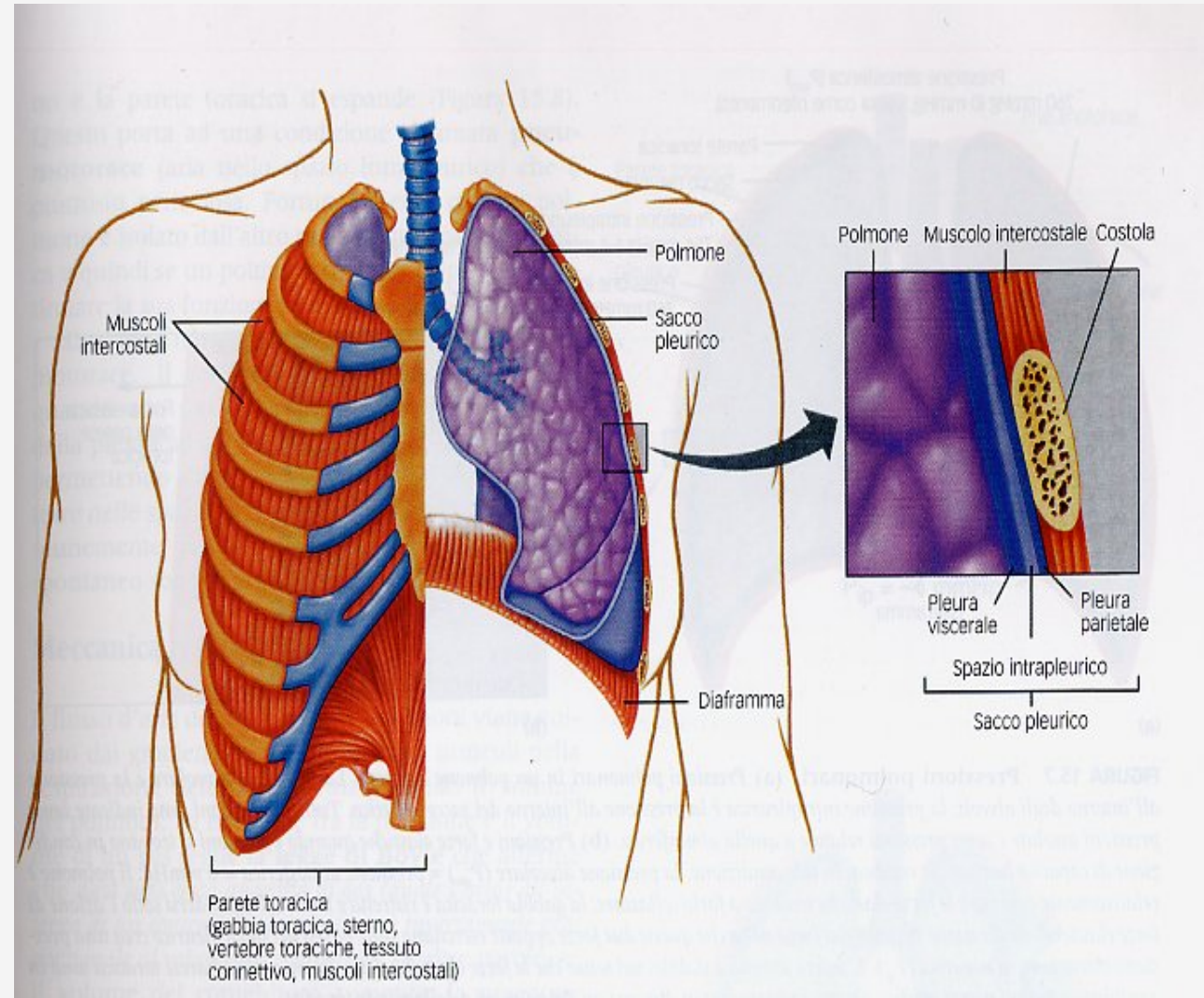
Fig. 5-10 di Costanzo, Fisiologia umana, EdiSES, 1998



Polmone, pleura e parete toracica

- **Le pleure:** sono membrane che ricoprono la parete toracica (esterno) e i polmoni (interno), formando il sacco pleurico attorno a ciascun polmone
- **Lo spazio intrapleurico:** è lo spazio tra le due membrane pleuriche ed è riempito da un sottile strato di liquido intrapleurico
- **La parete toracica:** è formata dalla gabbia toracica, dallo sterno, dalle vertebre toraciche, dai muscoli e dal tessuto connettivo associati
- **I muscoli della parete toracica:** includono i muscoli intercostali interni ed esterni e il diaframma

Fig. 15.6 di Germann-Stanfield, Fisiologia umana, EdiSES, 2003



Pressioni nella ventilazione polmonare

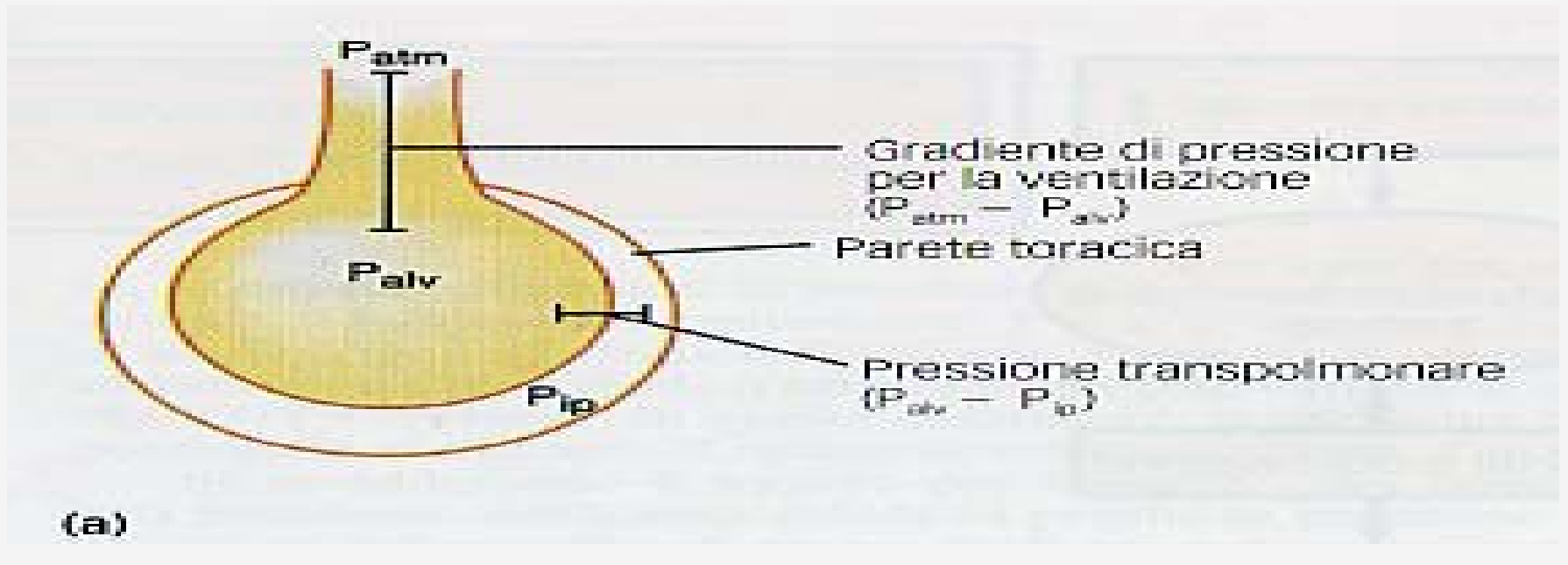
La pressione atmosferica (P_{atm}): è la pressione dell'aria all'esterno dell'organismo

La pressione alveolare (P_{alv}): è la pressione dell'aria negli alveoli

La pressione intrapleurica (P_{ip}): è la pressione del liquido intrapleurico. Siccome i polmoni e la parete toracica sono elastici, nell'intervallo tra due respiri la parete toracica tende ad espandersi mentre i polmoni tendono a ritrarsi in posizione di riposo. Queste forze opposte tendono a far separare la parete toracica dai polmoni, creando una pressione intrapleurica negativa

La pressione transpolmonare ($P_{alv}-P_{ip}$): è la differenza tra pressione alveolare e quella intrapleurica pressione del liquido intrapleurico

Fig. 15.12 di Germann-Stanfield, Fisiologia umana, EdiSES, 2003 parte (a)



Il ciclo respiratorio

L'inspirazione e l'espiazione:

sono guidate dalla differenza tra la pressione atmosferica e quella alveolare, il gradiente di pressione che si instaura quando il volume polmonare si modifica

L'inspirazione: viene determinata dalla contrazione del diaframma e dei muscoli intercostali esterni che espande la cavità toracica. Ciò fa diminuire la pressione intrapleurica (forza che espande i polmoni) e la pressione alveolare scende a valori più bassi di quella atmosferica

L'espiazione durante la respirazione a riposo: si ha quando la parete toracica e i polmoni ritornano passivamente nella loro posizione originale

L'espiazione attiva o forzata: coinvolge la contrazione dei muscoli intercostali interni e di quelli addominali

Fig. I numeri sulle frecce vuote

indicano la pressione transpolmonare

Claudio Babiloni, S. respiratorio

Fig. 5-12 di Costanzo, Fisiologia umana, EdiSES, 1998

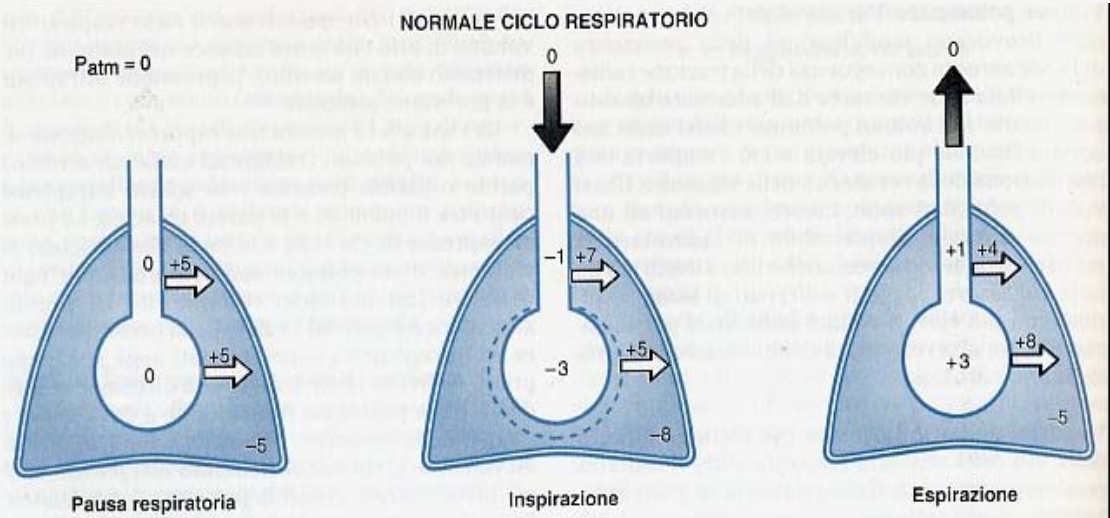
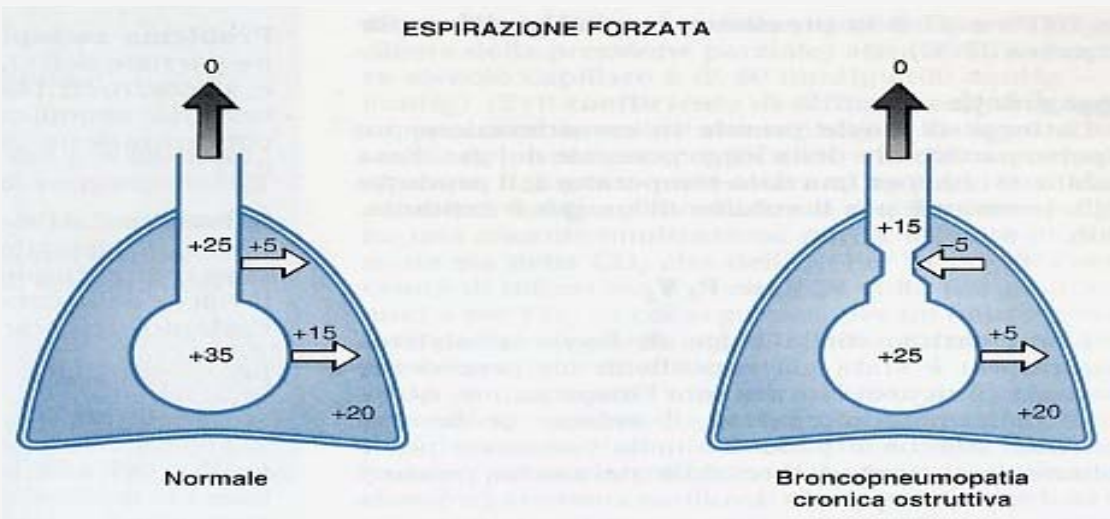


Fig. 5-13 di Costanzo, Fisiologia umana, EdiSES, 1998



Volumi e pressioni in un ciclo respiratorio

Fig. 15.10 di Germann-Stanfield, Fisiologia umana, EdiSES, 2003

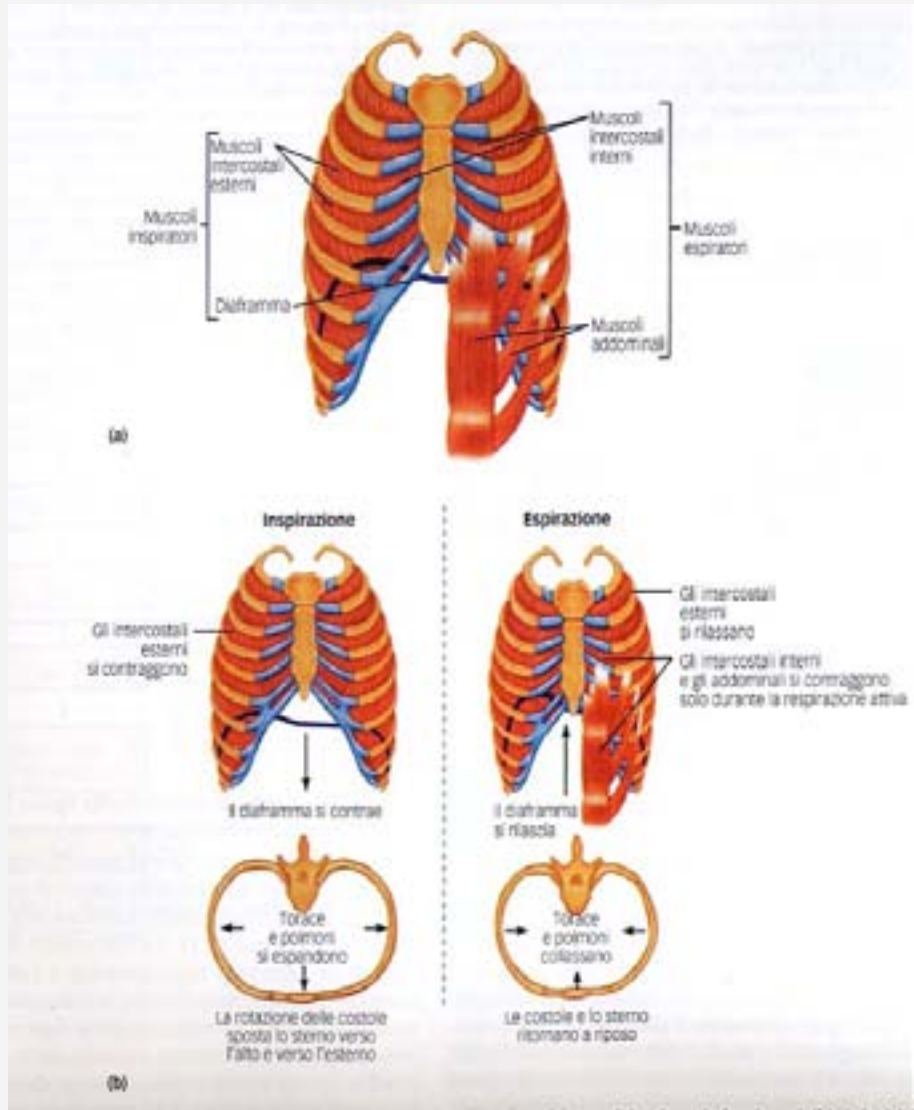
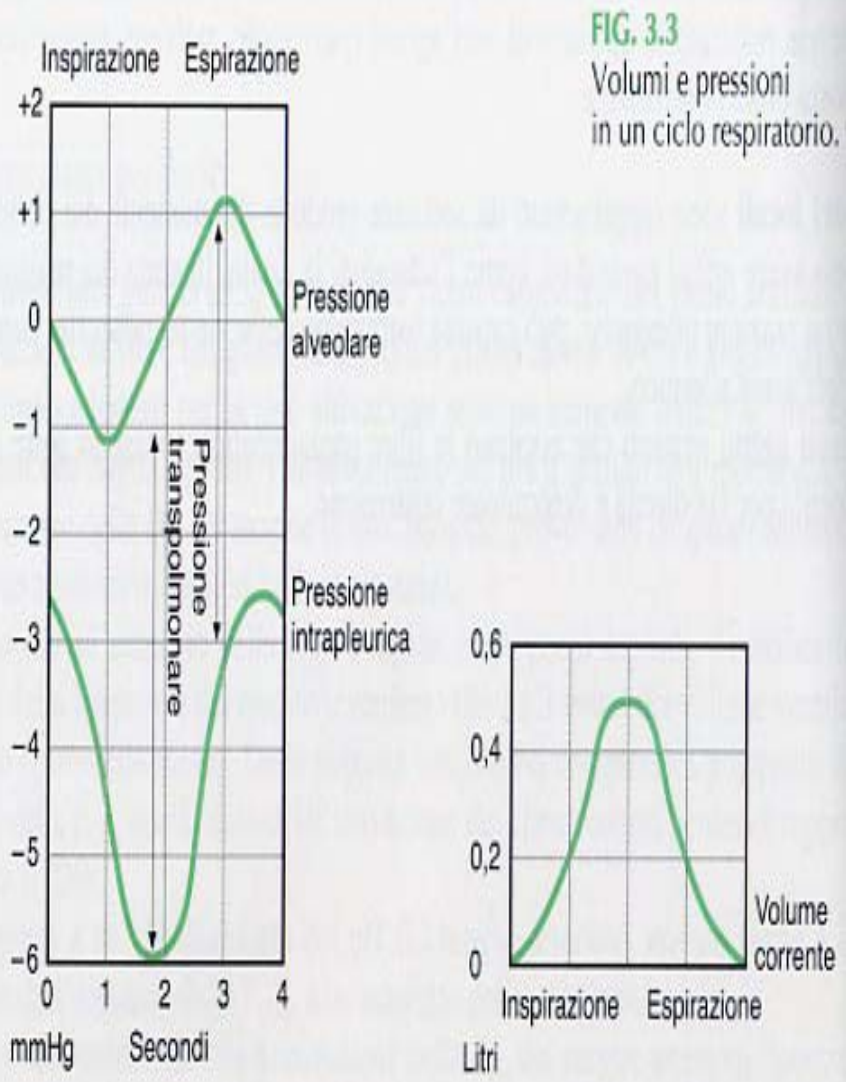
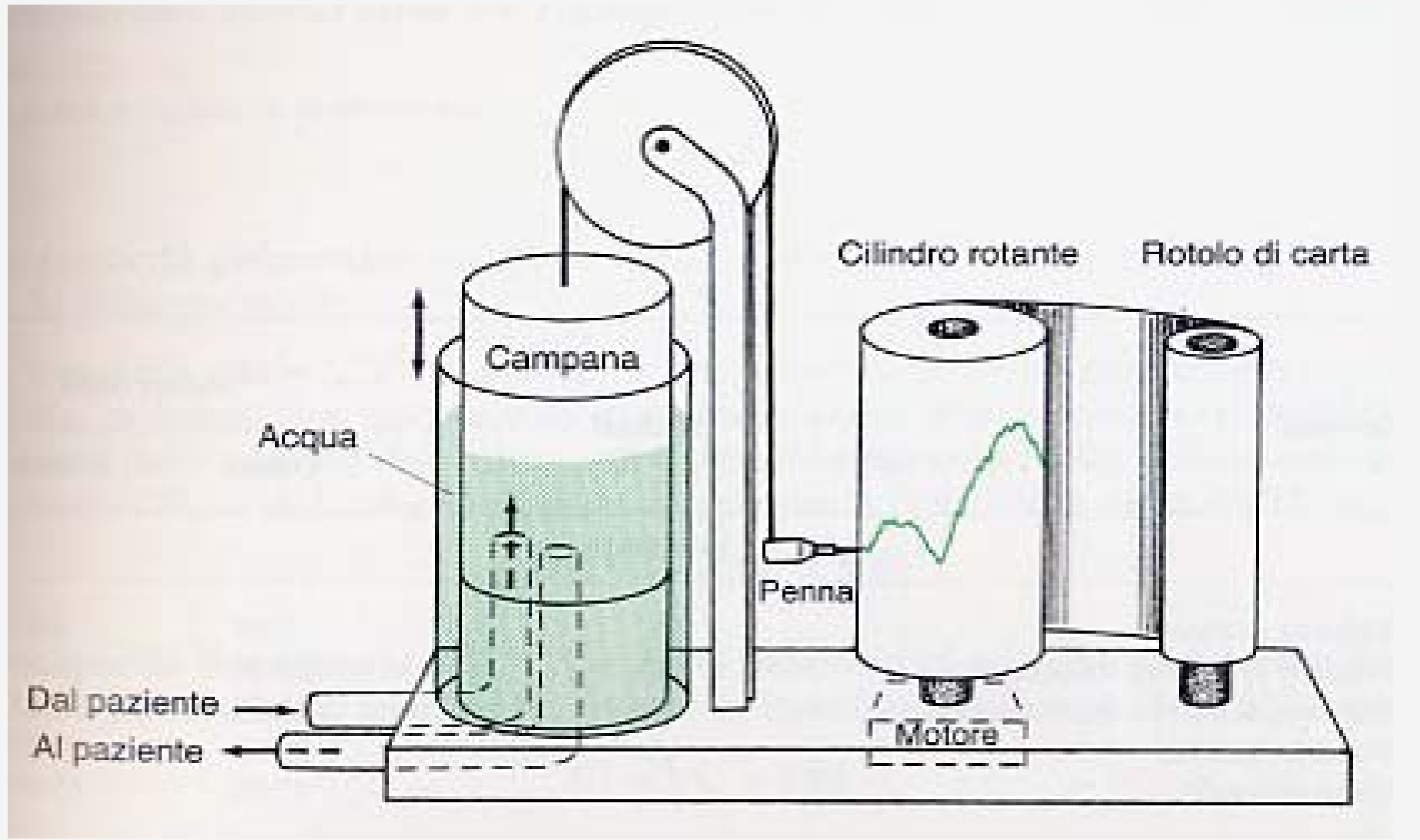


Fig. 3.3 di Eusebi-Gatti, Fisiologia, Masson, 1998



La misurazione dei volumi/flussi polmonari: lo spirometro

Fig. 3.4 di Eusebi-Gatti, Fisiologia, Masson, 1998



Volumi e capacità polmonari

Volumi respiratori misurati con spirometro: i volumi polmonari includono il *volume corrente* di aria scambiata con l'esterno nella respirazione a riposo (VC), il *volume di riserva inspiratoria* durante l'inspirazione forzata (VRI), il *volume di riserva espiratoria* durante l'espirazione forzata (VRE) e il *volume residuo* di aria che ristagna nei polmoni (VR)

Le capacità polmonari: includono il volume max di aria inspirata a partire da una espirazione a riposo (*capacità inspiratoria*, CR), il volume massimo di aria espirato con sforzo max dopo una inspirazione forzata (*capacità vitale*, CV), il volume d'aria che rimane nei polmoni dopo una espirazione a riposo (*capacità funzionale residua*, CFR) e la somma di tutti I volumi polmonari (*capacità polmonare totale*, CPT). Altre misure polmonari prendono in considerazione la velocità del flusso d'aria

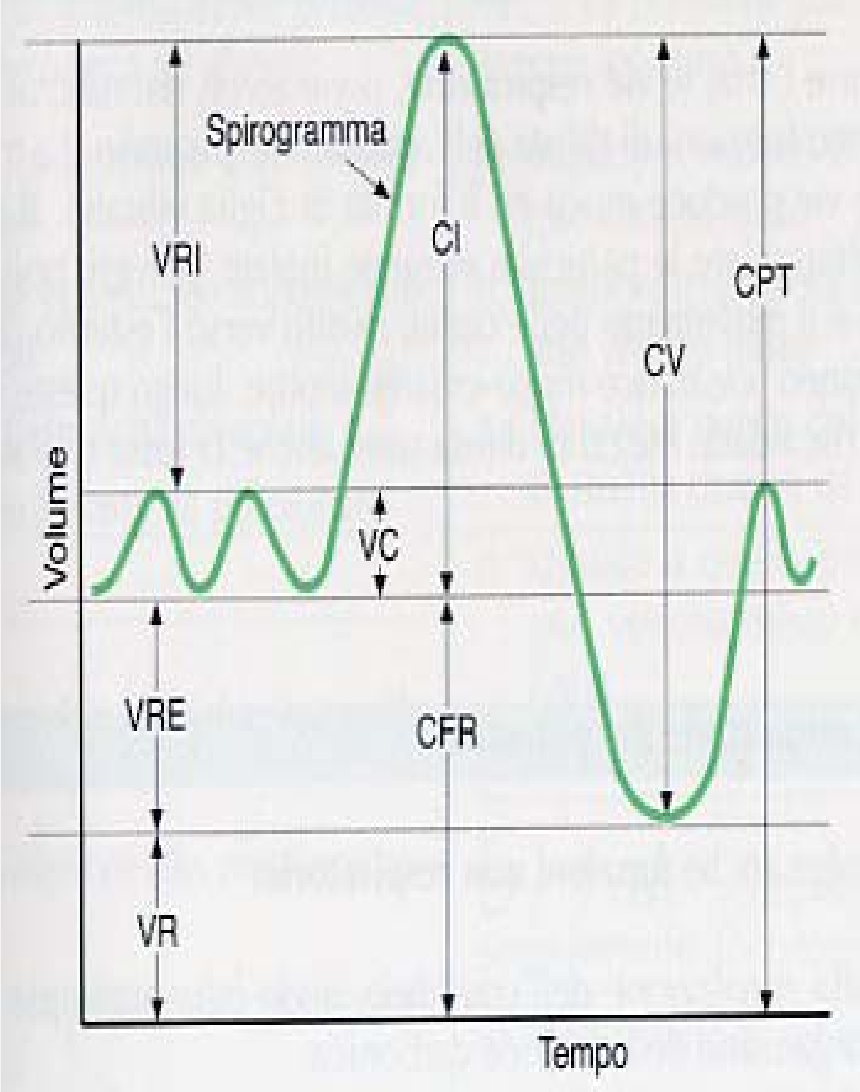
La capacità vitale forzata: la quantità di aria in una inspirazione massimale, espirando il più velocemente e con maggiore forza possibile. Il volume espiratorio forzato: la percentuale di capacità vitale forzata esalata in un tempo. La ventilazione al minuto: l'aria totale fluita dentro e fuori l'apparato respiratorio. La ventilazione alveolare al minuto: il volume di aria nuova agli alveoli ogni minuto e corrisponde alla ventilazione al minuto corretta per il volume di spazio morto (per aumentare la ventilazione alveolare al minuto è più efficace aumentare il volume corrente piuttosto che la frequenza respiratoria).

Volumi e capacità polmonari nell'adulto

Tab. 3.3 di Eusebi-Gatti, Fisiologia, Masson, 1998

Termini	Simboli	Valori (mL)	
		Uomo	Donna
VOLUMI			
Volume corrente	VC	500	450
Volume di riserva inspiratoria	VRI	2500	2000
Volume di riserva espiratoria	VRE	1500	1200
Volume residuo	VR	1250	1000
Volume totale		5750	4500
CAPACITÀ			
Capacità vitale	CV	4500	3650
Capacità funzionale residua	CFR	2750	2200
Capacità inspiratoria	CI	3000	2450
Capacità polmonare totale	CPT	5750	4650

Fig. 3.5 di Eusebi-Gatti, Fisiologia, Masson, 1998

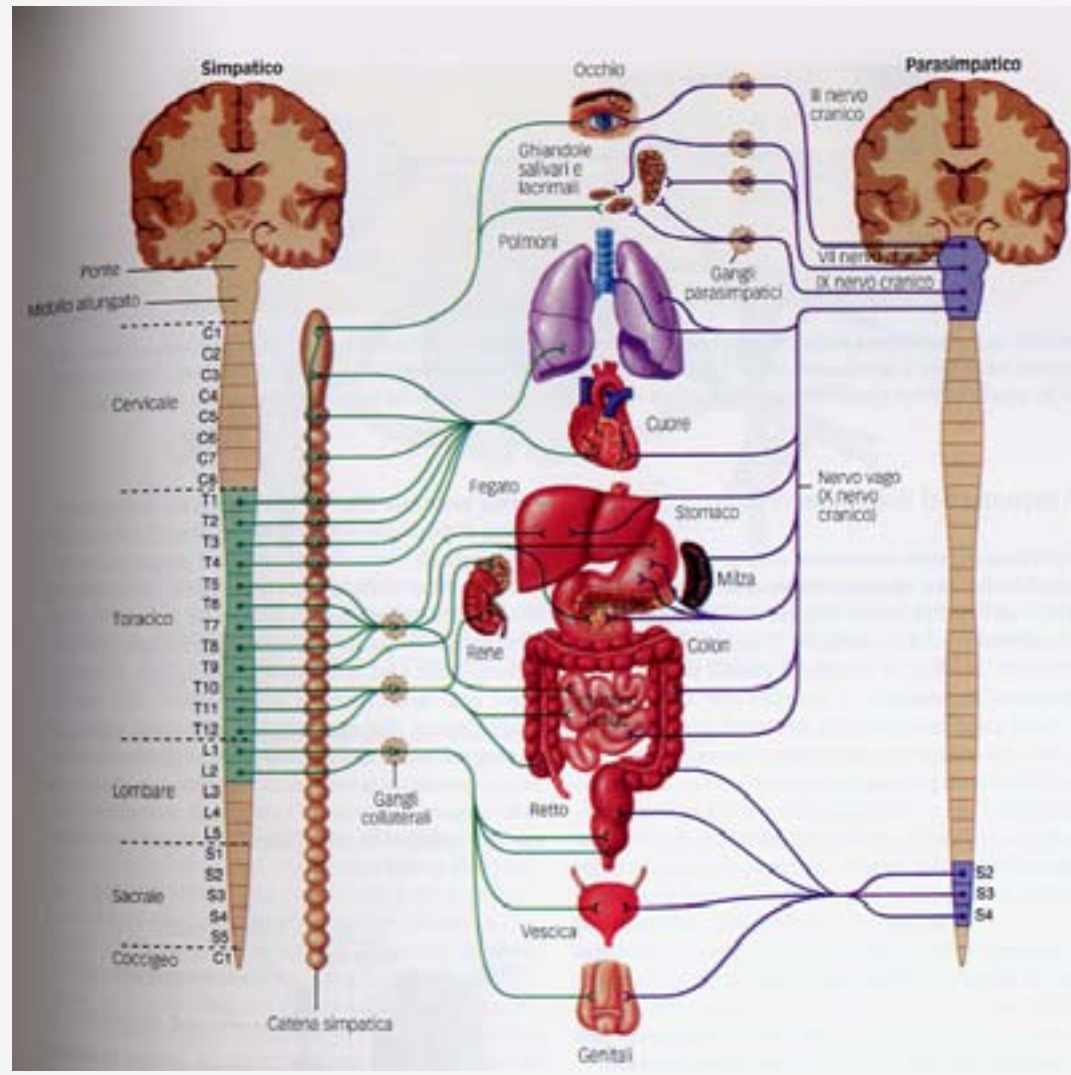


Fattori che influenzano la ventilazione polmonare

La velocità del flusso d'aria dentro e fuori dai polmoni: dipende dal gradiente di pressione atmosferica-alveolare e dalla resistenza delle vie respiratorie

La resistenza delle vie respiratorie: dipende principalmente dal raggio dei condotti del tratto respiratorio, influenzato dalla muscolatura liscia. La resistenza è generalmente bassa, ma può essere influenzata dalla meccanica respiratoria, dal sistema nervoso autonomo, da fattori chimici e da stati patologici. Il s. simpatico (recettori β adrenergici), l'adrenalina e il cortisolo causano *broncodilatazione* e riducono la resistenza, il s. parasimpatico (recettori muscarinici) e fattori irritativi locali causano *broncostrizione*

Fig. 10.1 di Germann-Stanfield, Fisiologia umana, EdiSES, 2003

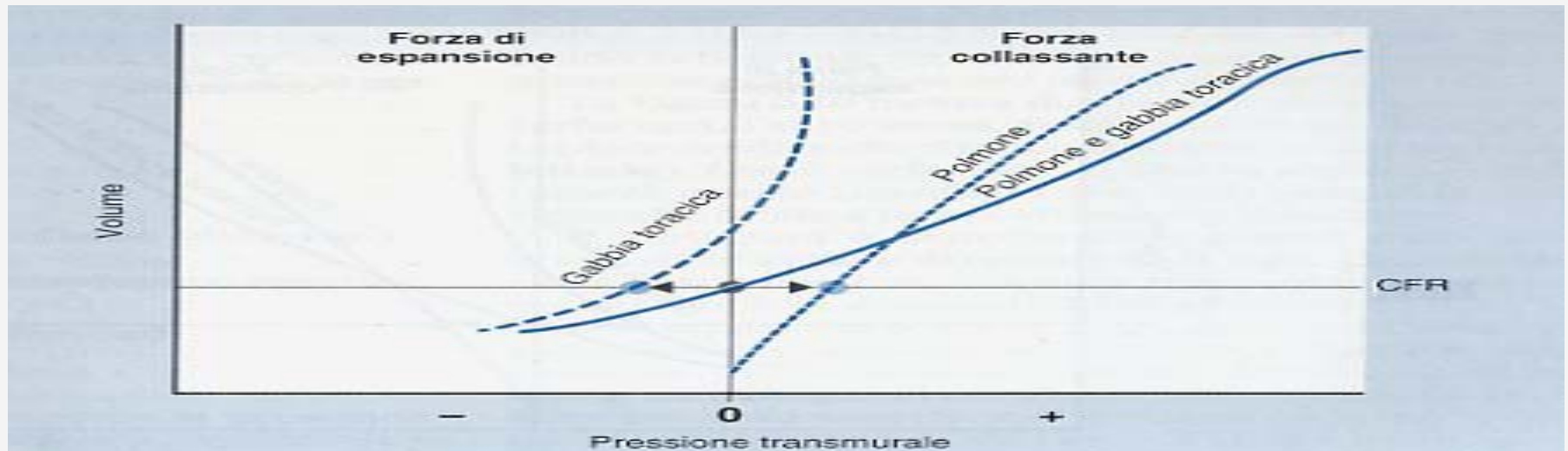


Compliance polmonare

Compliance polmonare: i polmoni hanno un'alta compliance = possono essere facilmente stirati all'aumentare del volume polmonare durante l'inspirazione

Le pressioni transmurali: La pressione trasmurale a cavallo della parete toracica è la differenza tra pressioni intrapleurica-atmosferica. La pressione trasmurale a cavallo del polmone è la differenza tra pressioni alveolare-intrapleurica. La pressione trasmurale a cavallo del sistema toraco-polmonare è la differenza tra pressioni alveolare-atmosferica. *La pressione trasmurale negativa* indica una forza di espansione del polmone, viceversa (collasso polmonare) per la *pressione trasmurale positiva*. La posizione di equilibrio si raggiunge a *capacità funzionale residua* (CFR), nella quale la forza di espansione toracica è esattamente uguale alla forza collassante nei polmoni. Per volumi minori della CFR, prevale la forza di espansione toracica e il sistema polmonare-gabbia toracica si espande. Per volumi maggiori della CFR, prevale la forza di collasso polmonare e il sistema polmonare-gabbia toracica tende a collassare

Fig. 5-8 di Costanzo, Fisiologia umana, EdiSES, 1998



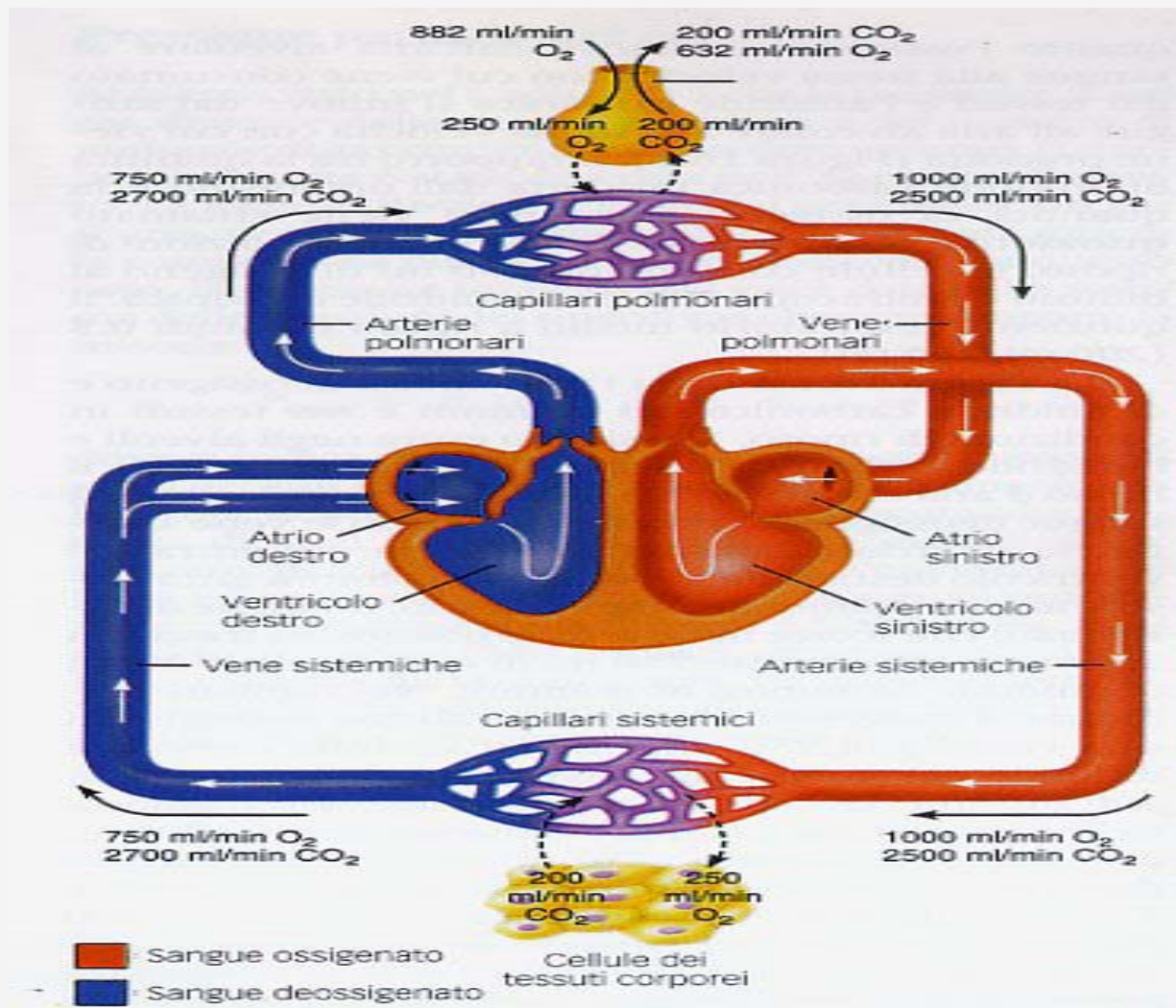
La circolazione polmonare

Il cuore destro: pompa sangue deossigenato ai capillari polmonari, dove l'ossigeno diffonde dagli alveoli al sangue e l'anidride carbonica dal sangue agli alveoli.

La membrana respiratoria: fornisce un'ampia superficie di piccolo spessore ed una breve distanza alla diffusione, permettendo quindi una velocità di diffusione estremamente rapida

Il sangue ossigenato: ritorna alla parte sinistra del cuore, dove viene pompato ai capillari sistemici nei tessuti dell'organismo. L'ossigeno diffonde dal sangue ai tessuti e l'anidride carbonica dai tessuti al sangue. Il sangue deossigenato ritorna alla parte destra del cuore

Fig. 16.1 di Germann-Stanfield, Fisiologia umana, EdiSES, 2003



Diffusione di ossigeno e anidride carbonica

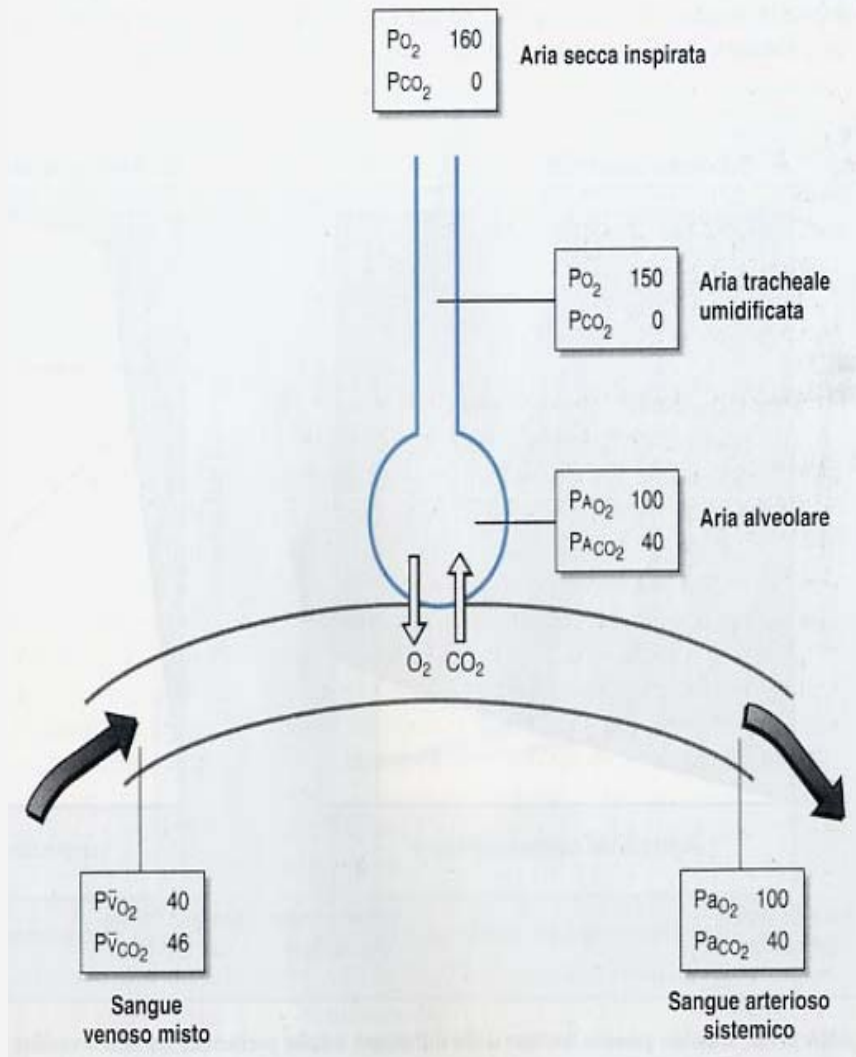
La diffusione dei gas: le pressioni dei singoli gas in una miscela vengono chiamate pressioni parziali (concentrazione percentuale del gas X pressione totale)

Soluzione di ossigeno e anidride carbonica nel sangue: i gas si sciolgono nei liquidi proporzionalmente alla loro solubilità e pressione parziale. Né l'ossigeno, né l'anidride carbonica sono molto solubili nell'acqua, anche se l'anidride carbonica è circa 30 volte più solubile dell'ossigeno

Scambio di ossigeno e anidride carbonica: diffusione in base ai loro gradienti di pressione parziale (P_{O_2} e la P_{CO_2}). Nei polmoni l'ossigeno diffonde dagli alveoli al sangue e l'anidride carbonica dal sangue agli alveoli. Nei tessuti l'ossigeno diffonde dal sangue arterioso sistemico ai tessuti e l'anidride carbonica dai tessuti al sangue

Diffusione di ossigeno e anidride carbonica attraverso un capillare sistemico: dipende dall'attività del tessuto; tessuti più attivi causano maggiori gradienti di pressione parziale, determinando una maggiore velocità di diffusione

Fig. 5-15 di Costanzo, Fisiologia umana, EdiSES, 1998



Determinanti della diffusione alveolare di ossigeno e anidride carbonica

Determinanti della P_{O_2} e la P_{CO_2} alveolari: (1) la P_{O_2} e la P_{CO_2} dell'aria inspirata, (2) la ventilazione alveolare e (3) la velocità di consumo di ossigeno e di produzione di anidride carbonica nei tessuti

Determinanti della P_{O_2} e la P_{CO_2} arteriose: la P_{O_2} e la P_{CO_2} alveolari

Regolazione della ventilazione alveolare: in base a consumo di ossigeno e produzione di anidride carbonica

Iperpnea: aumento della ventilazione alveolare per rispondere alle richieste dei tessuti metabolicamente molto attivi

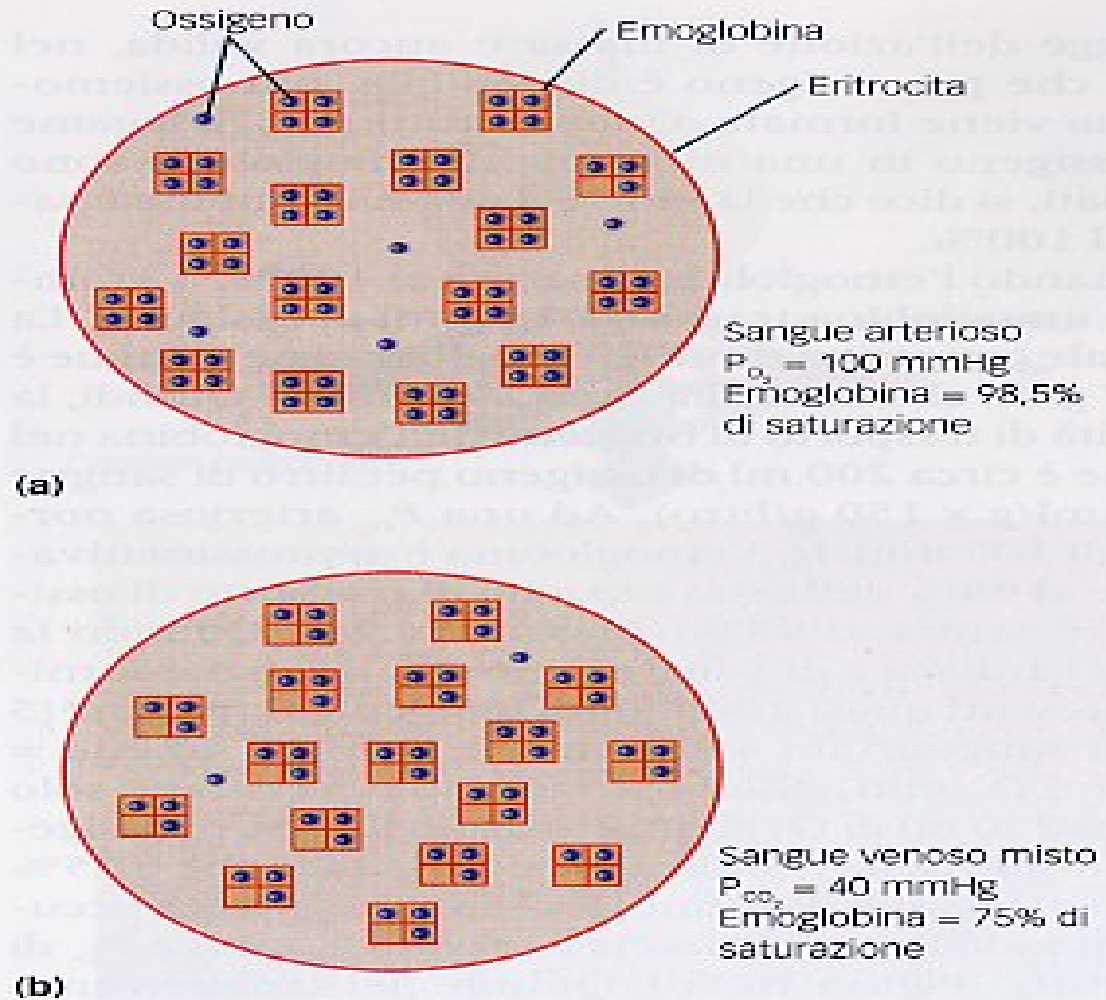
Trasporto di ossigeno nel sangue

Trasporto dell'ossigeno nel sangue (O_2): disciolto (1,5%) o legato ad una proteina globulare dei globuli rossi, l'emoglobina (98,5%)

Nel sangue arterioso sistemico: quasi tutti i 4 siti emoglobinici di legame per il sangue sono occupati (P_{O_2} 100 mmHg)

Nel sangue venoso misto: solo circa 3 siti emoglobinici sono occupati (P_{O_2} 40 mmHg)

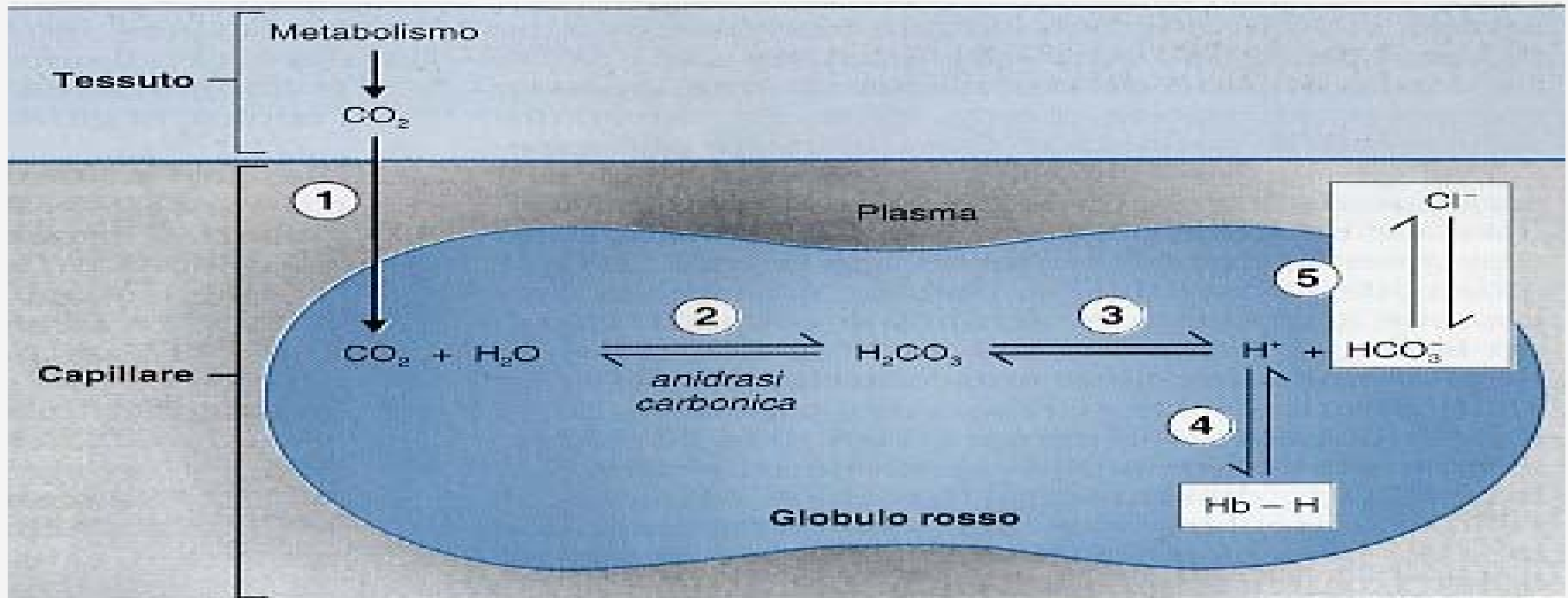
Fig. 16.7 di Germann-Stanfield, Fisiologia umana, EdiSES, 2003



Trasporto dell'anidride carbonica nel sangue

L'anidride carbonica (CO_2) nel sangue: è trasportata disciolta nel plasma (5-6%), legata all'emoglobina (Hb, 5-8%) e principalmente disciolta come ioni bicarbonato (HCO_3^- , 86-90%). All'interno dei globuli rossi, CO_2 e acqua (H_2O) sono convertiti prima in *acido carbonico* dall'enzima anidrasi carbonica e poi in ioni idrogeno (H^+) e bicarbonato (HCO_3^-). Lo H^+ è legato (tamponato) dall'emoglobina (Hb-H) all'interno dei globuli rossi. Lo HCO_3^- viene scambiato con Cl^- ed è trasportato nel plasma. I numeri in figura indicano la sequenza degli eventi. Un aumento di anidride carbonica porta ad un aumento di ioni idrogeno e bicarbonato da anidride carbonica, una riduzione di anidride carbonica porta ad un aumento di anidride carbonica da ioni idrogeno e bicarbonato

Fig. 5-22 di Costanzo, Fisiologia umana, EdiSES, 1998

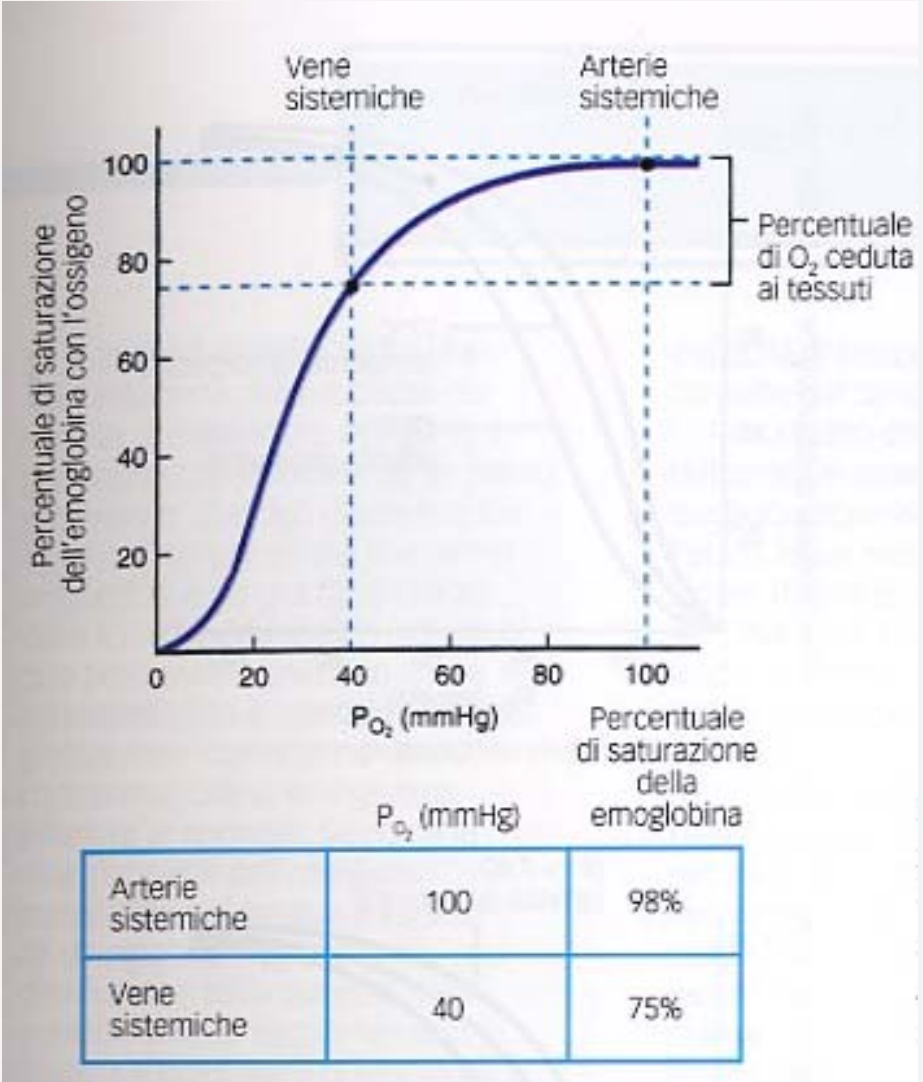


Curva di affinità ossigeno-emoglobina

Curva di dissociazione dell'emoglobina dall'ossigeno:

La relazione tra P_{O_2} e quantità di ossigeno legato all'emoglobina è non lineare (forma a "S", sigmoide). A basse P_{O_2} aumenta rapidamente l'affinità dell'ossigeno all'emoglobina fino a stabilizzarsi quando la saturazione si avvicina al 100% (tutti i siti emoglobinici occupati dall'ossigeno). Il 50% di saturazione (metà siti emoglobinici occupati) è un valore di riferimento per capire gli effetti di sostanze sull'affinità ossigeno-emoglobina

Fig. 16.8 di Germann-Stanfield, Fisiologia umana, EdiSES, 2003



Influenza di sostanze sulla curva di affinità ossigeno-emoglobina

Legame (affinità) ossigeno-emoglobina:

dipende da temperatura, pH, P_{O_2} , 2,3-DPG (difosfoglicerolo: composto che in caso di anemia favorisce la liberazione di ossigeno nei tessuti), monossido di carbonio e P_{O_2}

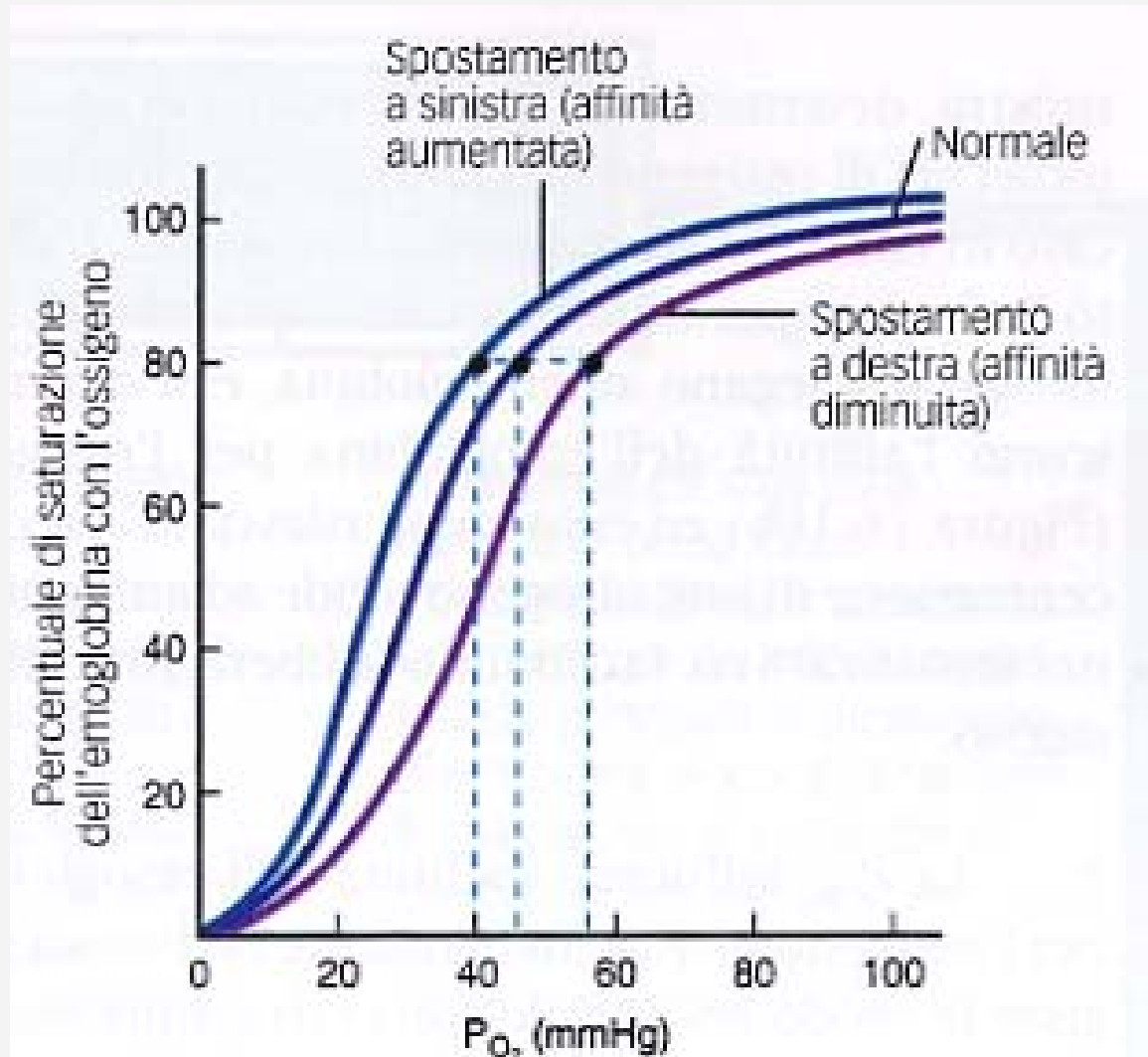
Rilascio di ossigeno nei tessuti:

l'affinità dell'emoglobina per l'ossigeno diminuisce quando l'emoglobina si lega agli ioni idrogeno (**effetto Bohr**) o all'anidride carbonica (**effetto carbaminico**)

Rilascio di anidride carbonica negli alveoli:

l'affinità dell'emoglobina per gli ioni idrogeno e l'anidride carbonica diminuisce all'aumento della P_{O_2} (**effetto Haldane**)

Fig. 16.9 di Germann-Stanfield, Fisiologia umana, EdiSES, 2003



AUTOVALUTAZIONE

ANATOMIA FUNZIONALE DEL SISTEMA RESPIRATORIO

La respirazione interna

La respirazione esterna

Le vie respiratorie superiori

Il tratto respiratorio

La zona di conduzione

La zona respiratoria

Gli alveoli

Le cellule di tipo I

Le cellule di tipo II

Le pleure

Lo spazio intrapleurico

La parete toracica

I muscoli della parete toracica

AUTOVALUTAZIONE

LA MECCANICA RESPIRATORIA

Forze che intervengono nella ventilazione polmonare

La pressione atmosferica

La pressione alveolare

La pressione intrapleurica

L'inspirazione e l'espirazione

Il gradiente di pressione

L'inspirazione

L'espirazione durante la respirazione a riposo

L'espirazione attiva

Fattori che influenzano la ventilazione polmonare

La velocità del flusso d'aria dentro e fuori dai polmoni

Compliance polmonare

La resistenza delle vie respiratorie

Volumi respiratori misurati con spirometro

Le capacità polmonari

La capacità vitale forzata

Il volume espiratorio forzato

La ventilazione al minuto

La ventilazione alveolare al minuto