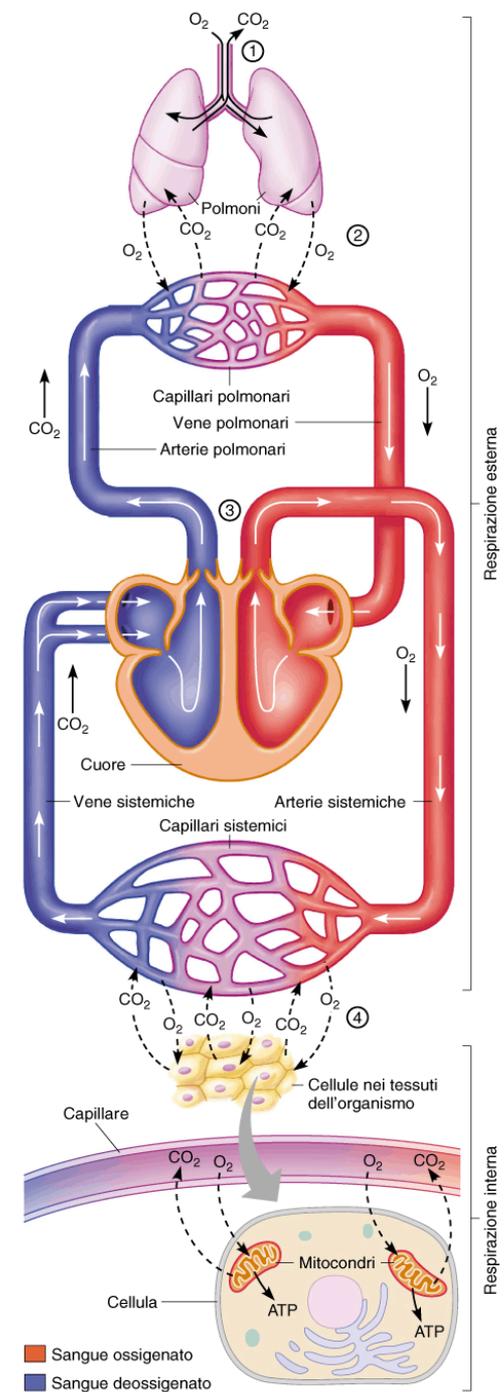
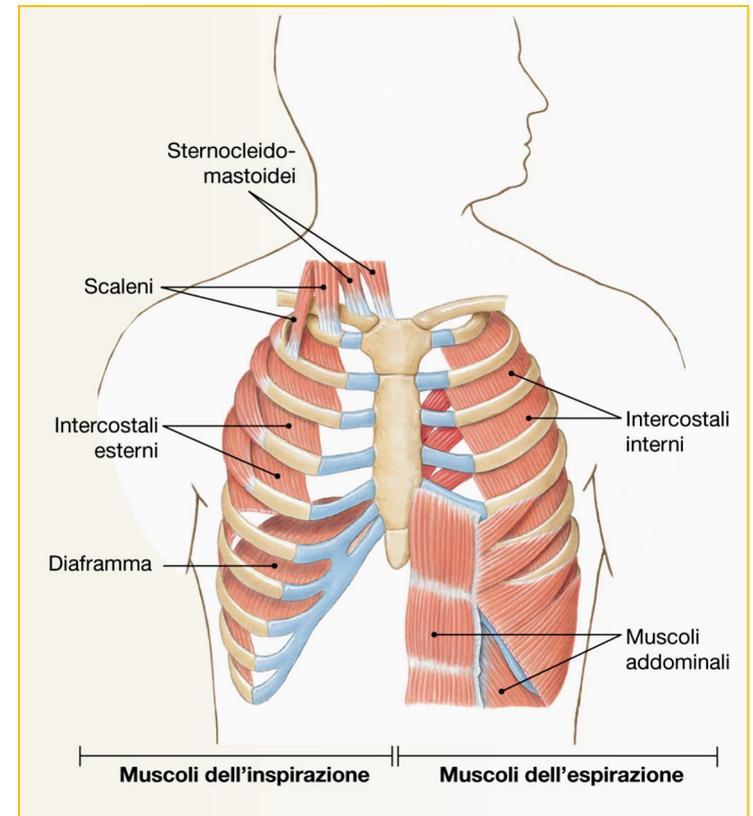
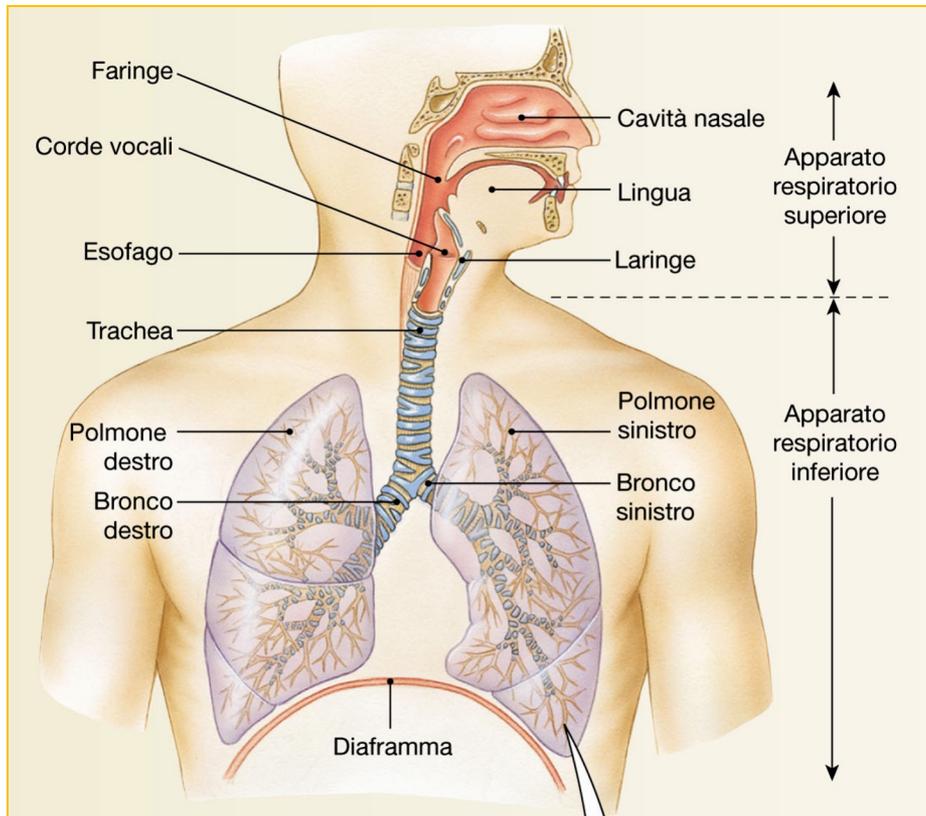


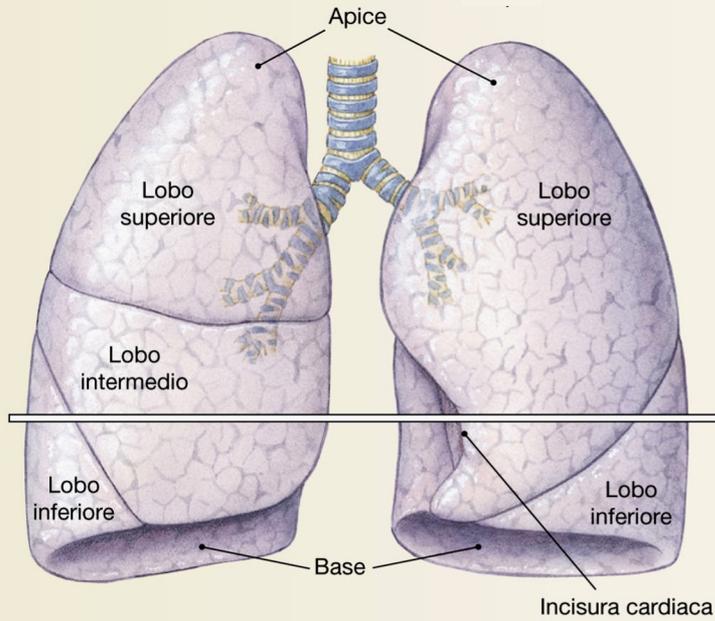
Respirazione esterna e cellulare



I polmoni e la cavità toracica



(c) Anatomia esterna dei polmoni

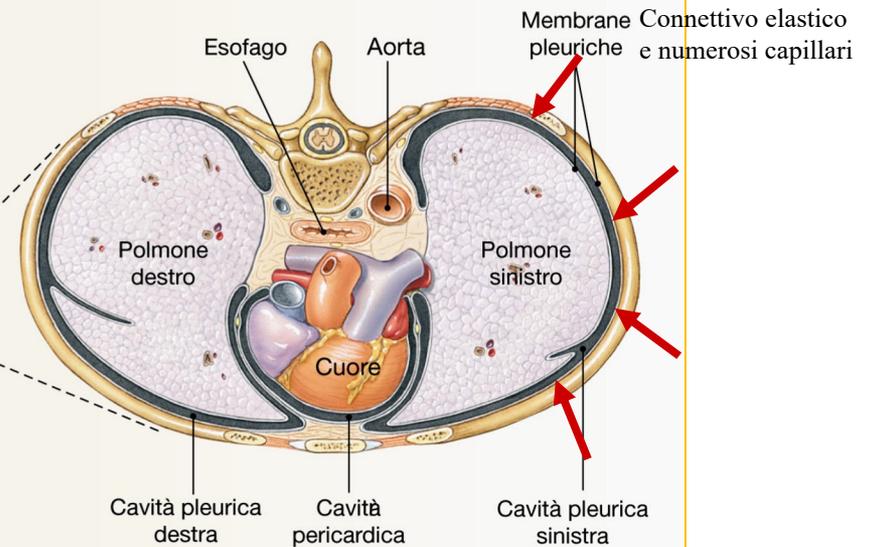


Il polmone destro è suddiviso in tre lobi.

Il polmone sinistro è suddiviso in due lobi.

(d) Vista in sezione del torace

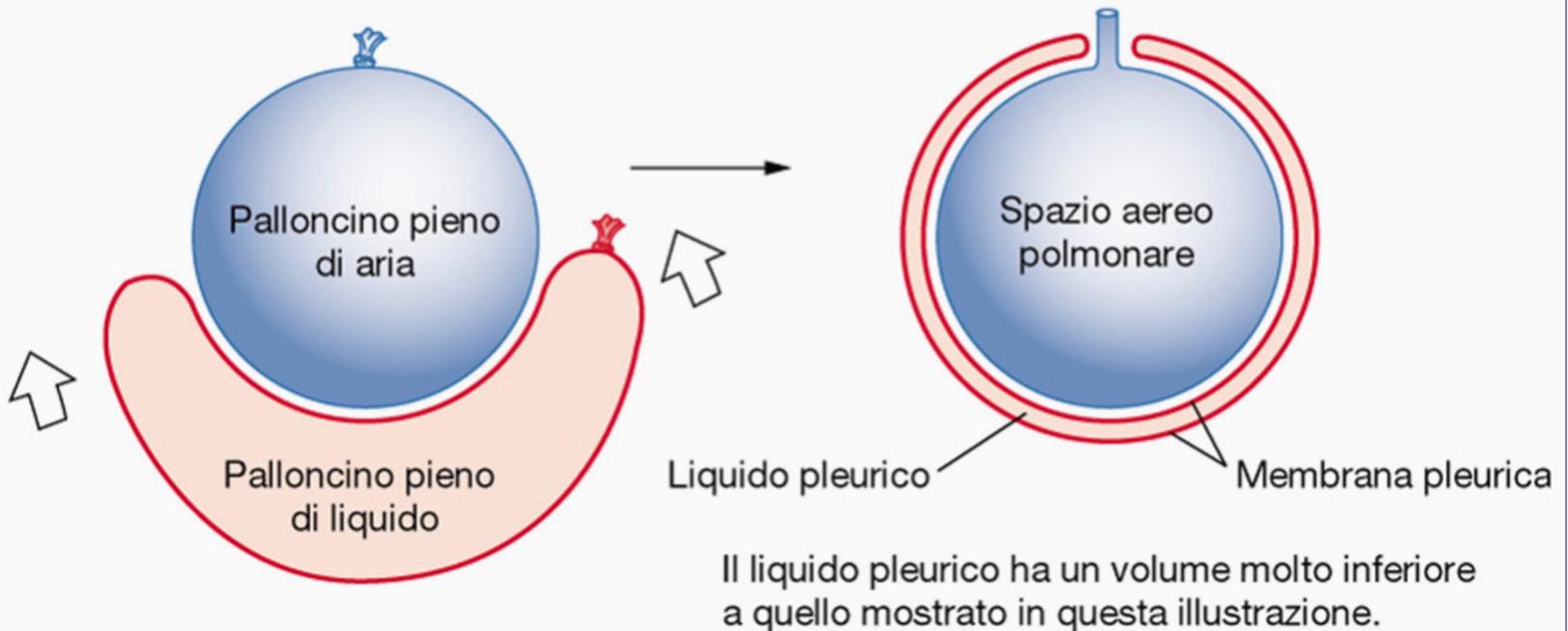
Ciascun polmone è racchiuso entro due membrane pleuriche. L'esofago e l'aorta passano attraverso il torace tra i sacchi pleurici.



Vista superiore

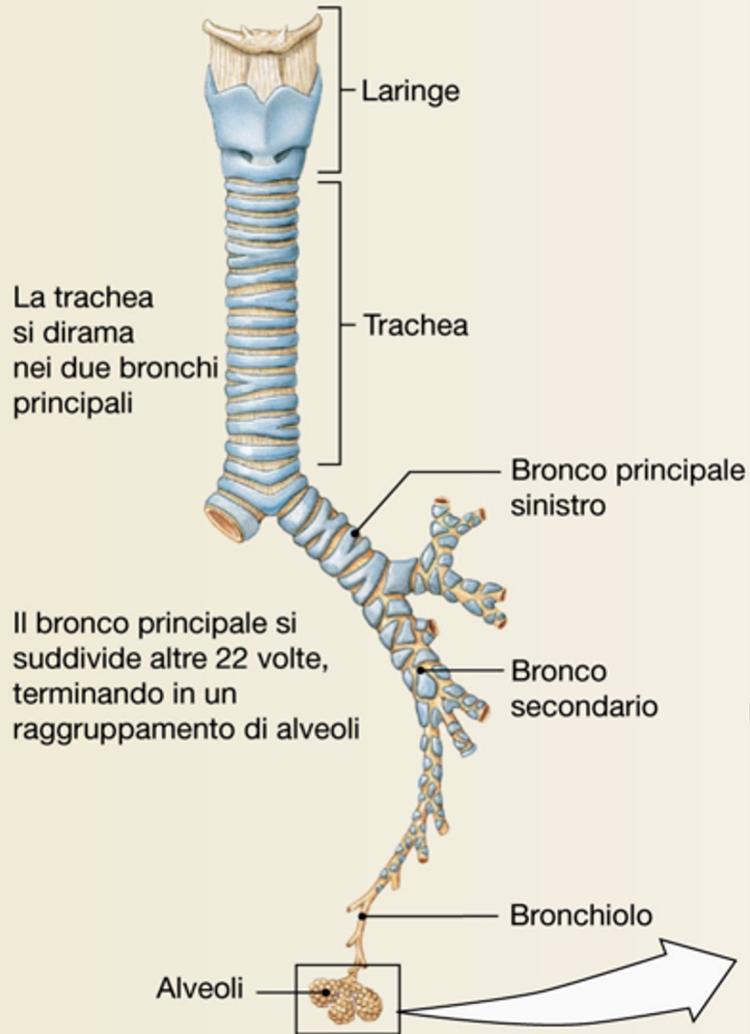
Relazione tra sacco pleurico e polmone

Il sacco pleurico forma una doppia membrana attorno al polmone, un po' come un palloncino pieno di liquido disposto attorno a un palloncino pieno di aria.

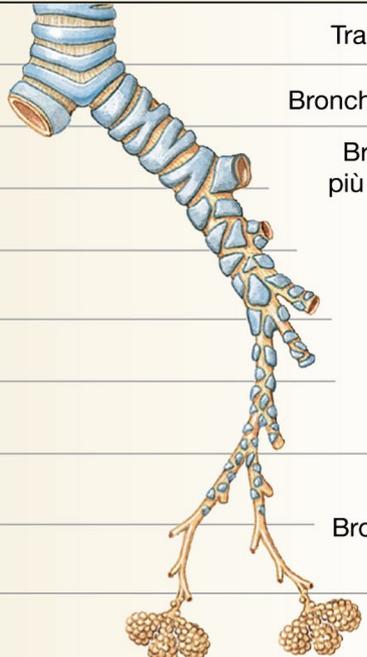


Struttura dei bronchi e degli alveoli

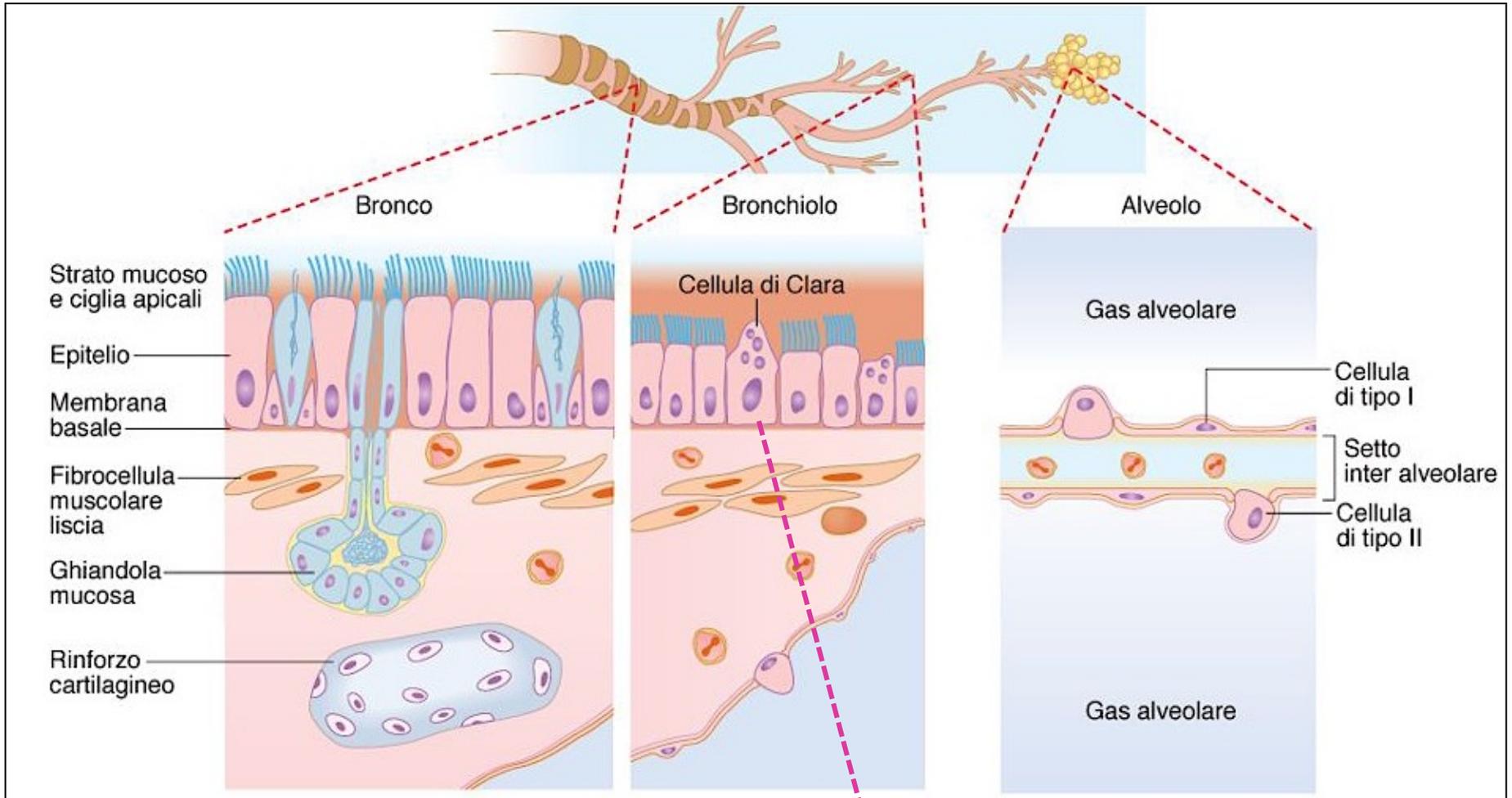
(e) Diramazioni delle vie aeree



Diramazione delle vie aeree

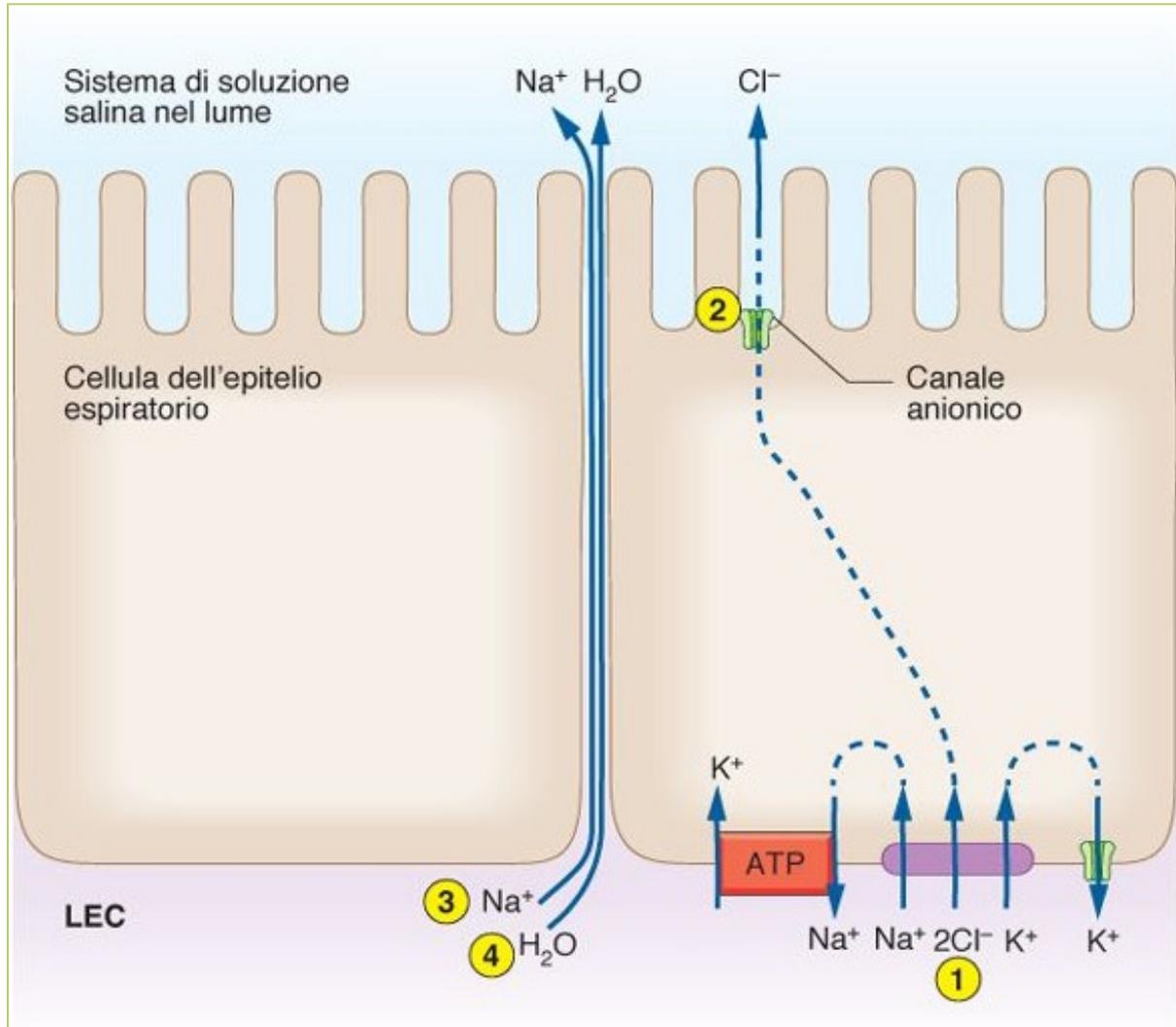
		Nome	Divisione	Diametro (mm)	Numero	Area trasversale (cm ²)
Sistema di conduzione		Trachea	0	15-22	1	2,5
		Bronchi principali	1	10-15	2	
		Bronchi più piccoli	2	1-10	4	
			3			
			4			
			5			
			6-11	1×10^4		
Bronchioli	1-23	0,5-1	2×10^4	100		
Superficie di scambio				8×10^7	5×10^3	
	Alveoli	24	0,3	$3-6 \times 10^8$	$>1 \times 10^6$	

Epitelio delle vie aeree

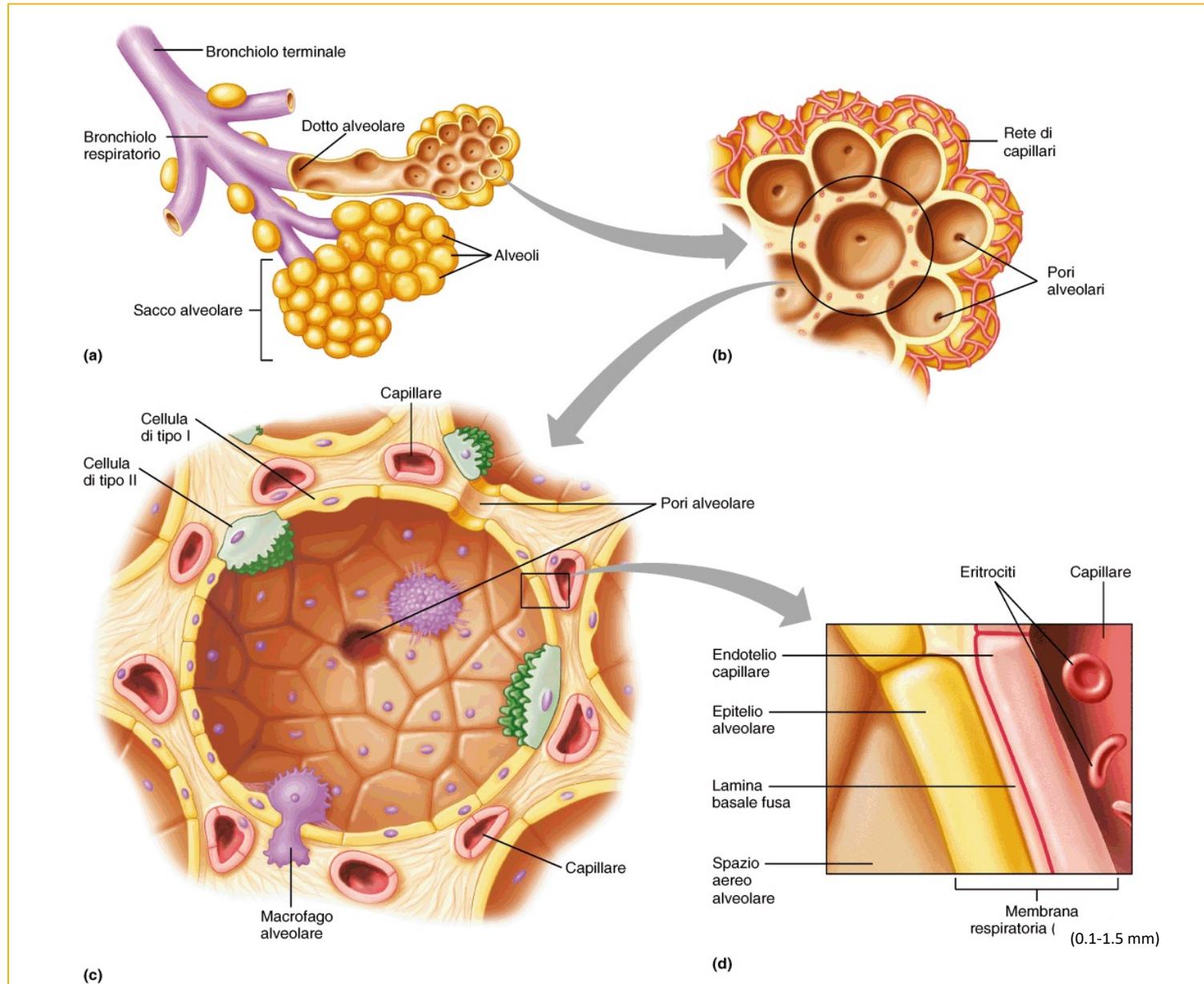


- fosfolipidi tensioattivi ed anti-leucoproteasi,
- inattivazione di sostanze tossiche ispirate
- rigenerazione di cellule ciliate e pneumociti

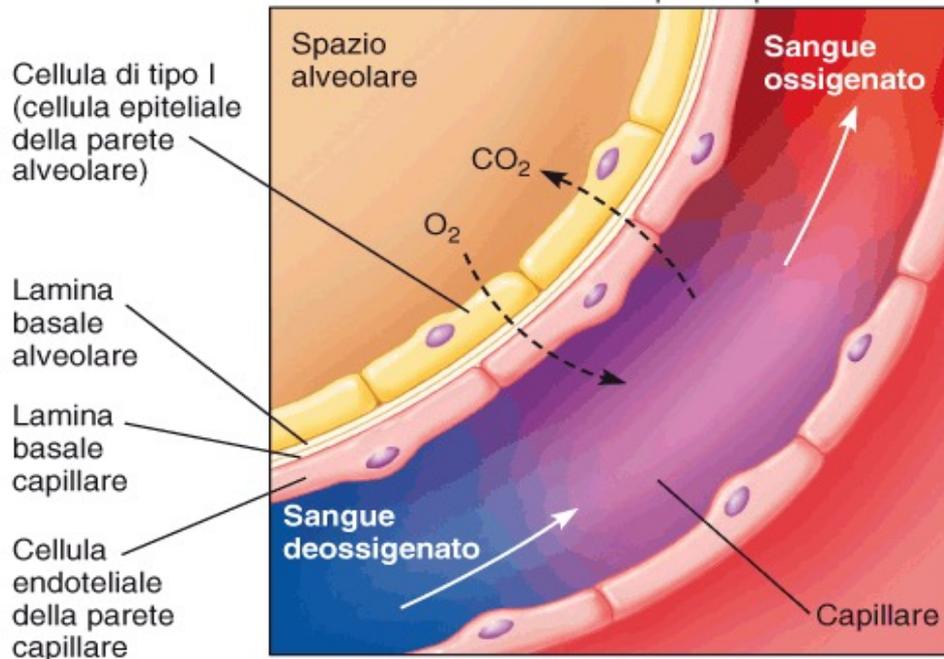
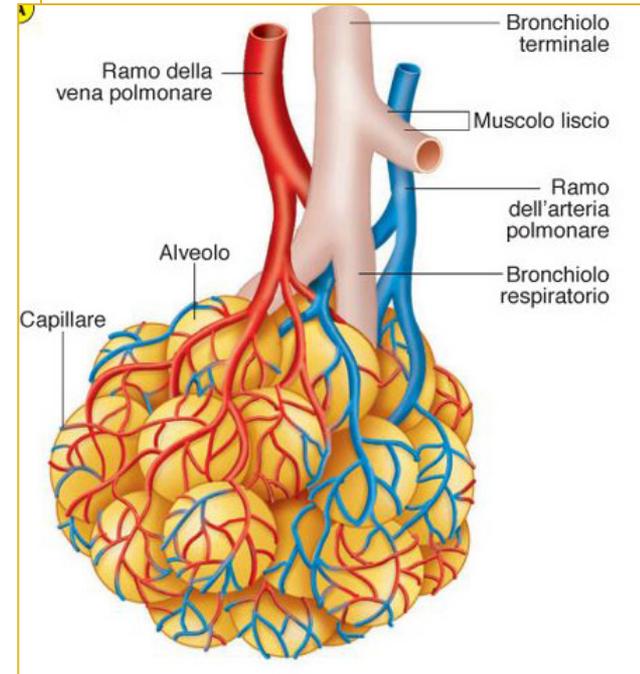
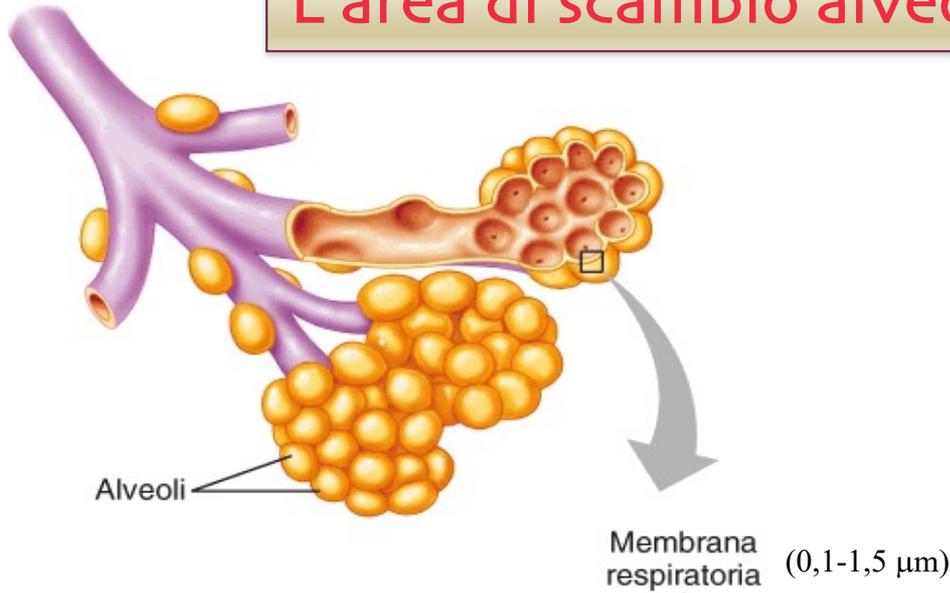
Modello di secrezione di sali e acqua da parte delle cellule epiteliali



Dotti alveolari ed alveoli

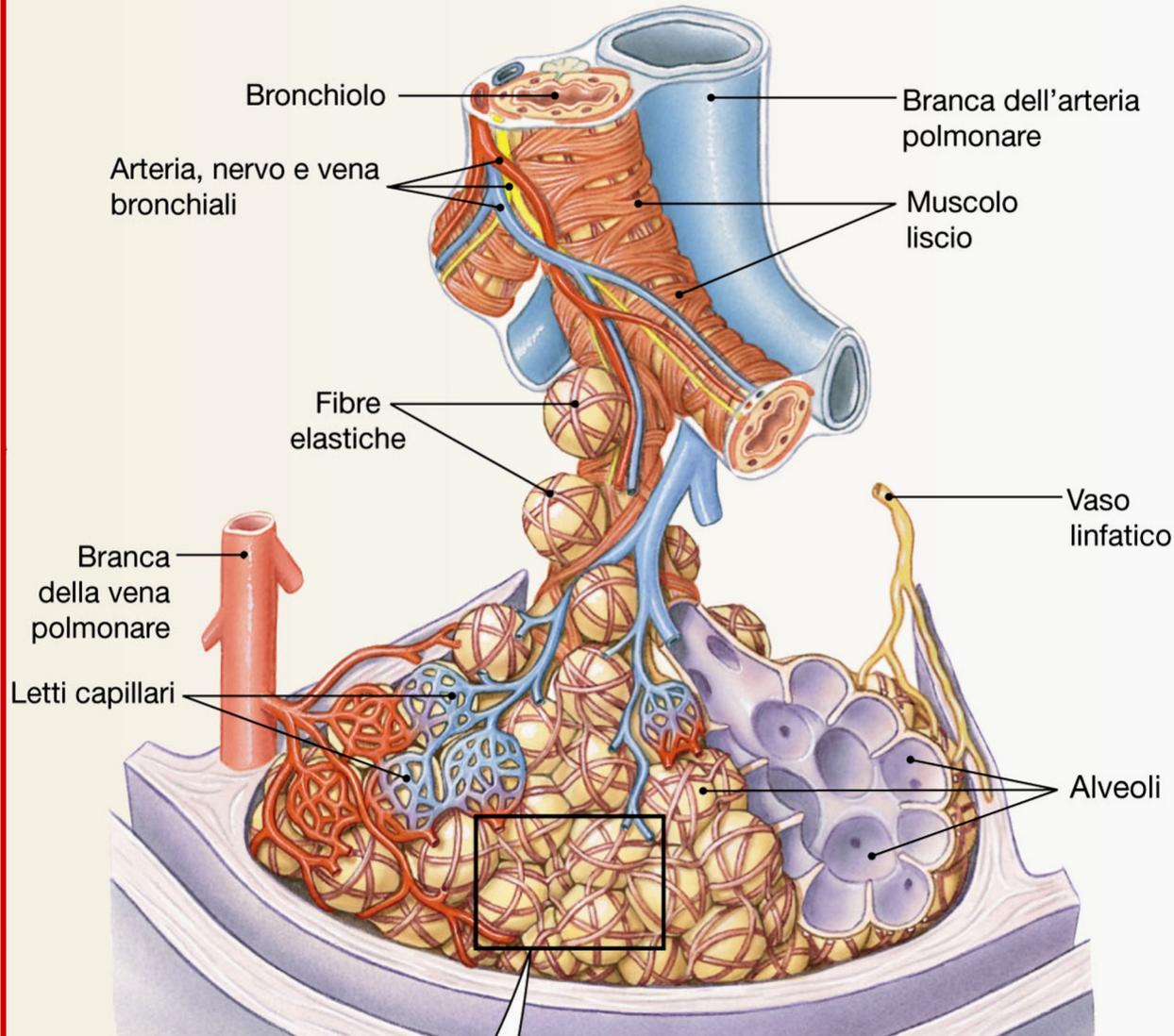


L'area di scambio alveolare



(f) Struttura del lobulo polmonare

Ciascun raggruppamento di alveoli è circondato da fibre elastiche e da una rete di capillari



- Circolazione polmonare contiene circa 0.5 litri di sangue (10% volume totale)
- 75 ml sono a livello dei capillari
- I polmoni ricevono l'intera gittata cardiaca: portata è di 5 L/min di sangue
- La pressione dell'arteria polmonare è di 25/28 mm Hg
- (contro i 80/120 mmHg dell'aorta)

L'aria è una miscela di gas e vapore acqueo

1) Legge di Dalton

La pressione totale di una miscela di gas è data dalla somma delle pressioni dei singoli gas (**Pressione Parziale, P_{gas}**)

$$P_{gas} = P_{atm} \times \% \text{ gas nell'atmosfera} \quad \text{es: } P_{O_2} = 760 \text{ mmHg} \times 21 \% = 160 \text{ mmHg}$$

Pressione parziale di alcuni gas atmosferici a 25° C e 760 mm Hg

<i>Gas</i>	<i>P_{gas} aria atm secca</i>	<i>P_{gas} aria atm umida 100%</i>
Azoto (N ₂)	593 mm Hg	575 mm Hg
Ossigeno (O ₂)	160 mm Hg	154 mm Hg
Anidride carbonica (CO ₂)	0,25 mm Hg	0,24 mm Hg
Vapore acqueo	0 mm Hg	23,8 mm Hg

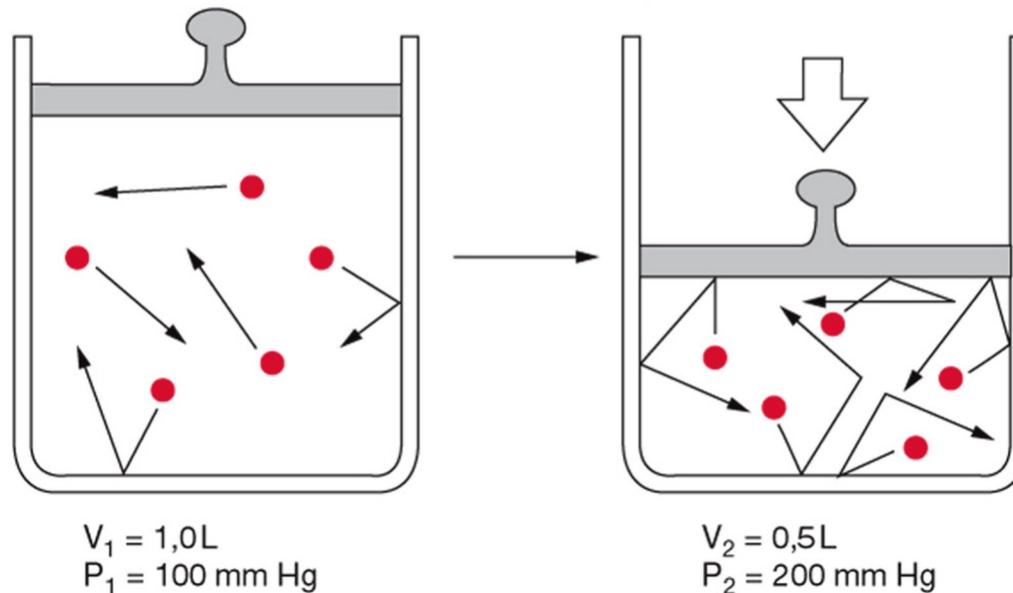
2) I gas, singoli o in miscele, si spostano da un'area ad alta pressione verso un'area a bassa pressione

3) Legge di Boyle relazione pressione-volume dei gas

Se il volume del contenitore di un gas cambia, la pressione del gas cambierà in maniera inversa

$$\text{Legge di Boyle: } P_1 V_1 = P_2 V_2$$

La diminuzione del volume aumenta il numero delle collisioni e aumenta la pressione.

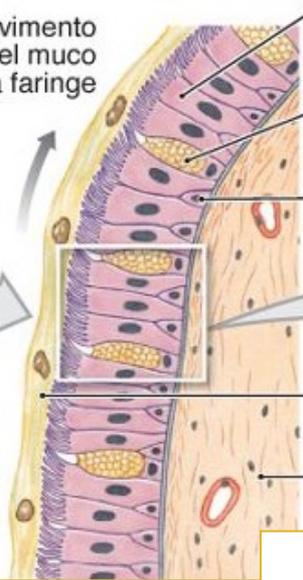


$$100 \text{ mmHg} \times 1 \text{ L} = P_2 \times 0.5 \text{ L}$$

$$P_2 = 200 \text{ mmHg}$$

La Ventilazione

Movimento
del muco
verso la faringe



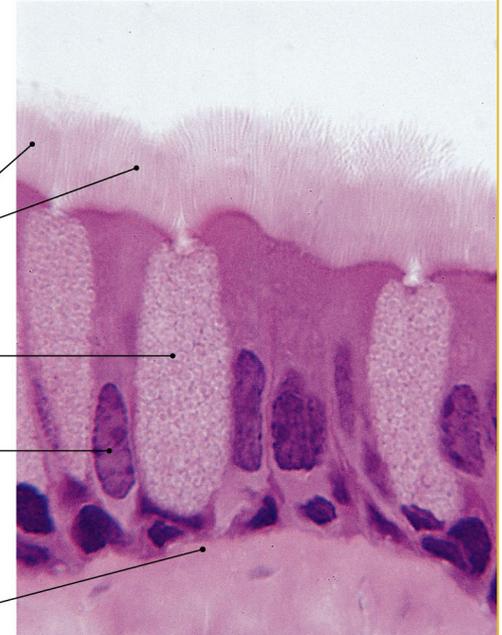
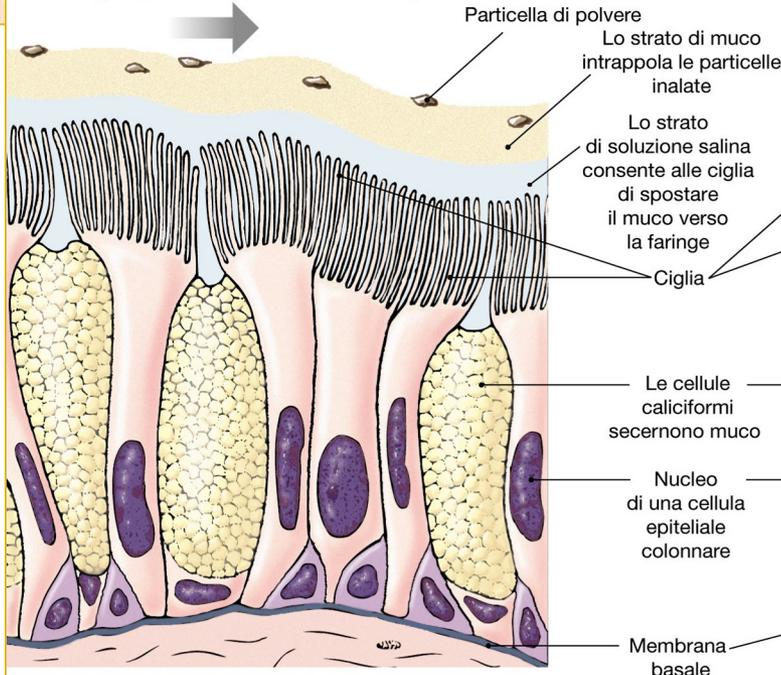
Il passaggio attraverso le vie aeree superiori ed i bronchi:

1) *Riscalda l'aria alla temperatura corporea*

2) *Aggiunge vapore acqueo*

3) *Filtra materiale estraneo*

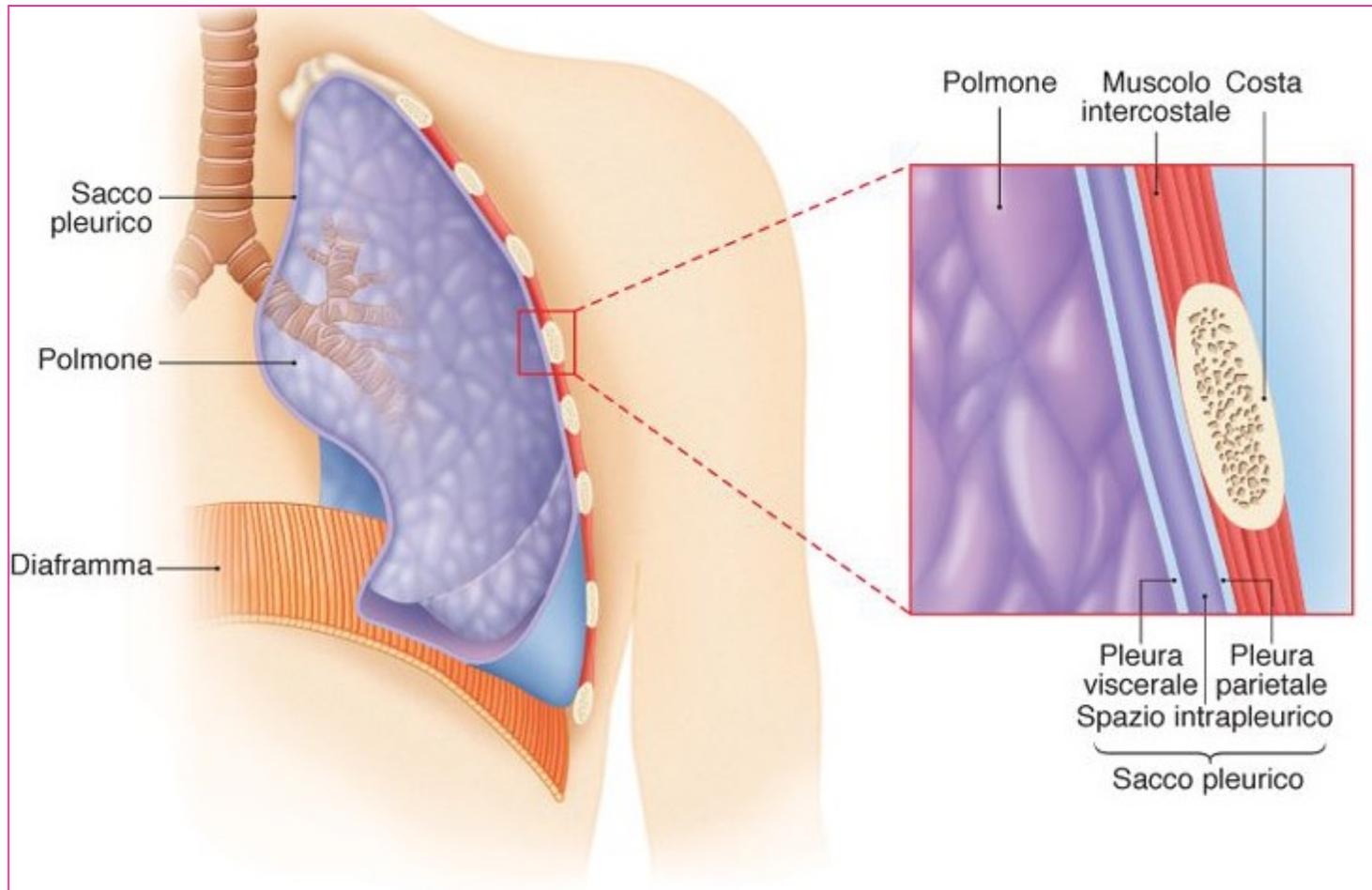
Le ciglia spostano il muco verso la faringe



Epitelio cigliato della trachea

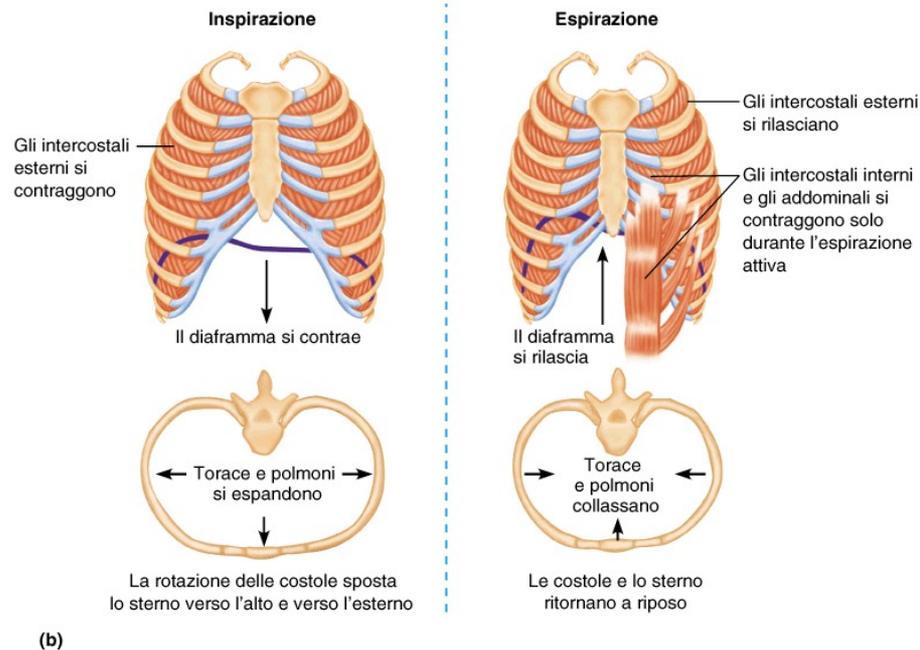
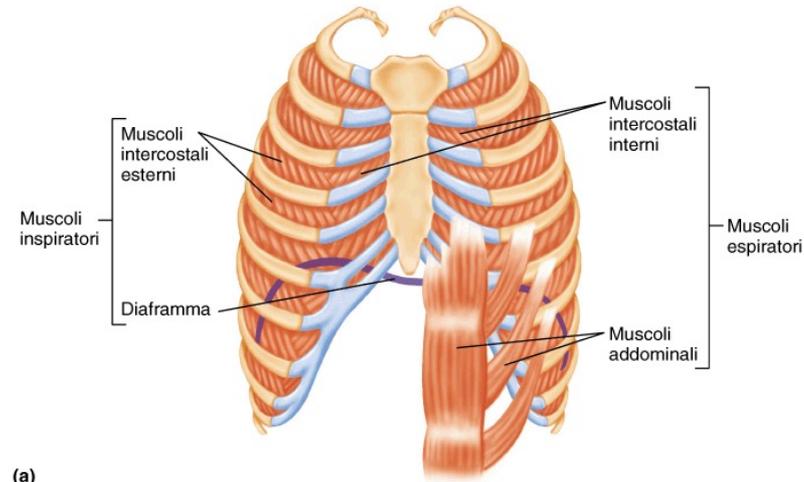
Ciclo respiratorio: inspirazione ed espirazione

Il ruolo della pleura



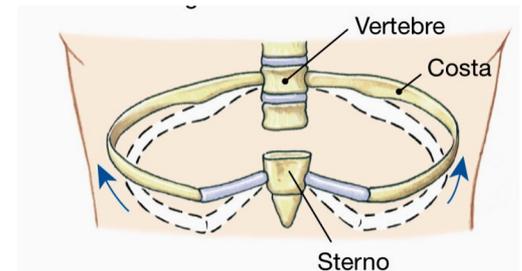
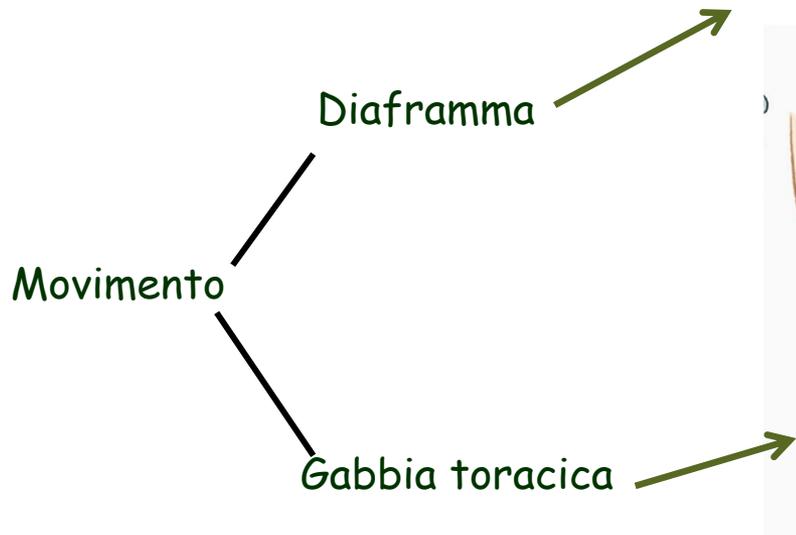
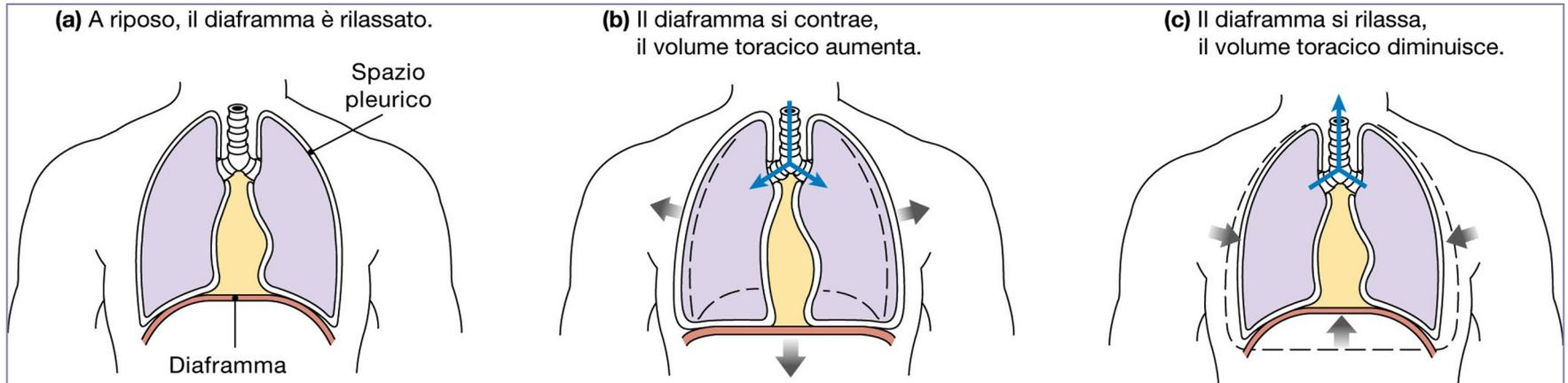
Ciclo respiratorio: inspirazione ed espirazione

Il ruolo dei muscoli intercostali



Ciclo respiratorio: inspirazione ed espirazione

La meccanica



Compliance: capacità dei polmoni ad espandersi

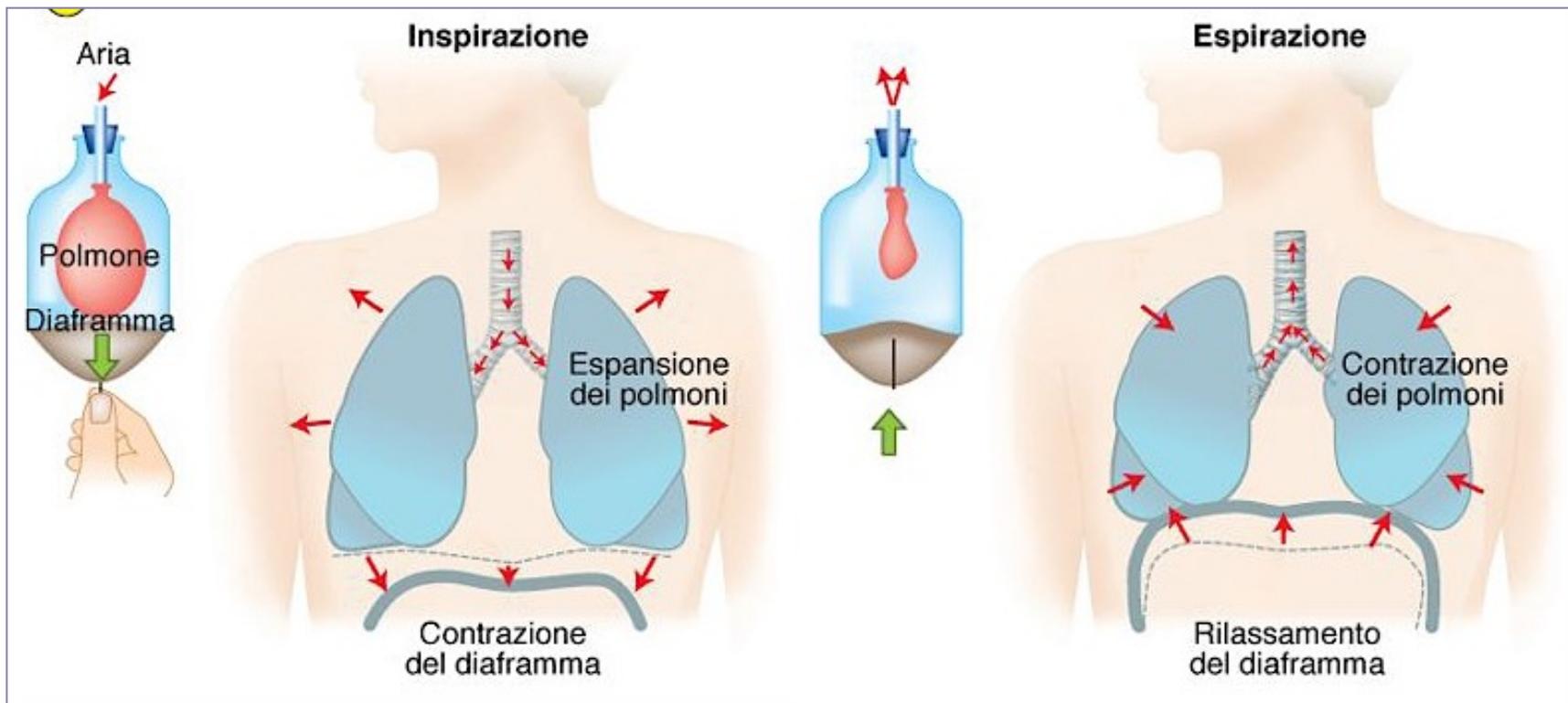
Elastanza: capacità dei polmoni di tornare al volume di riposo

Ciclo respiratorio: inspirazione ed espirazione

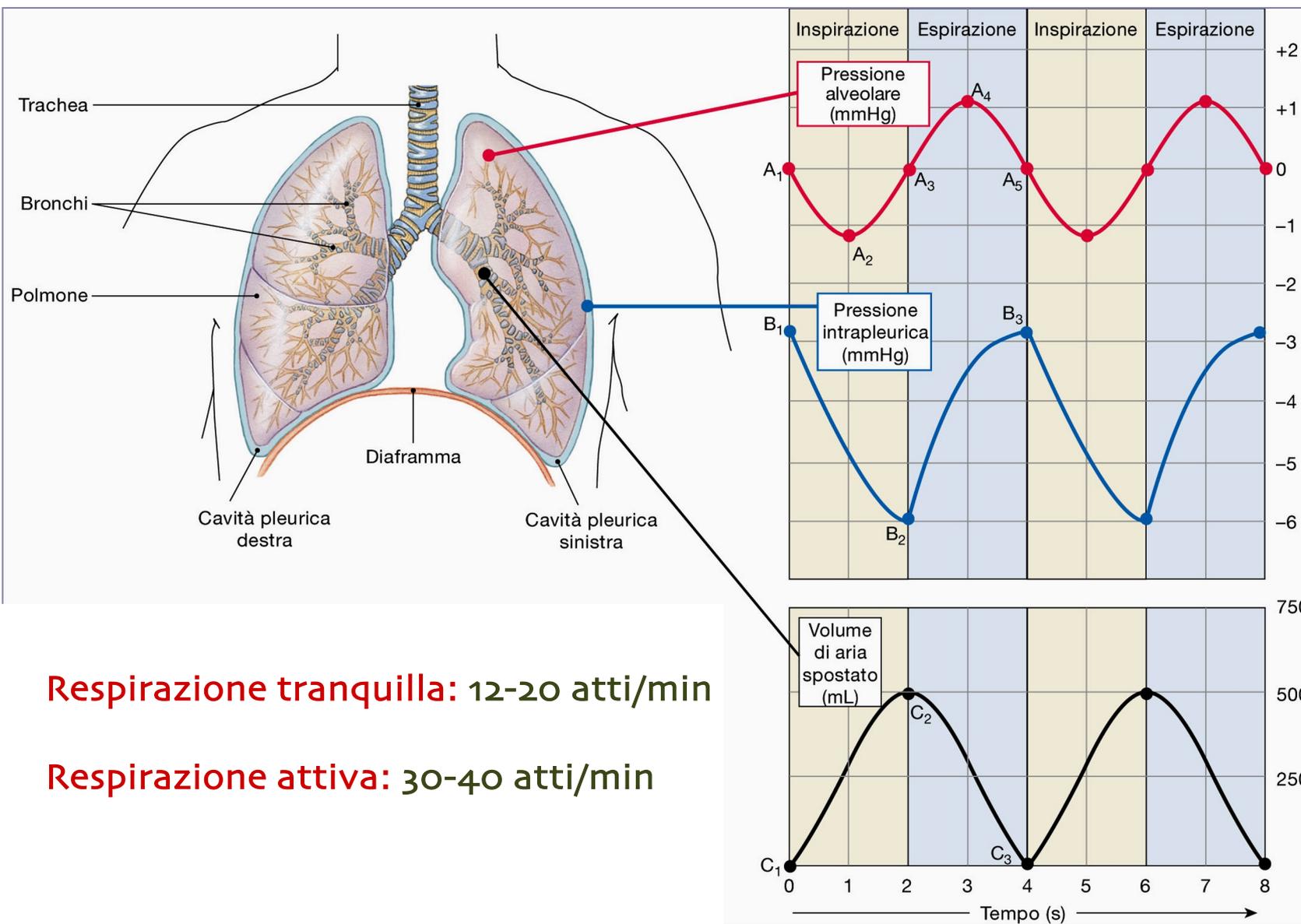
La meccanica e il flusso di aria

FLUSSO $\Delta P/R$ - Il flusso aereo nelle vie respiratorie:

- 1) segue un gradiente di pressione (ΔP)
- 2) decresce quando la resistenza (R) del sistema al flusso aumenta



Cambiamenti della pressione durante la respirazione tranquilla

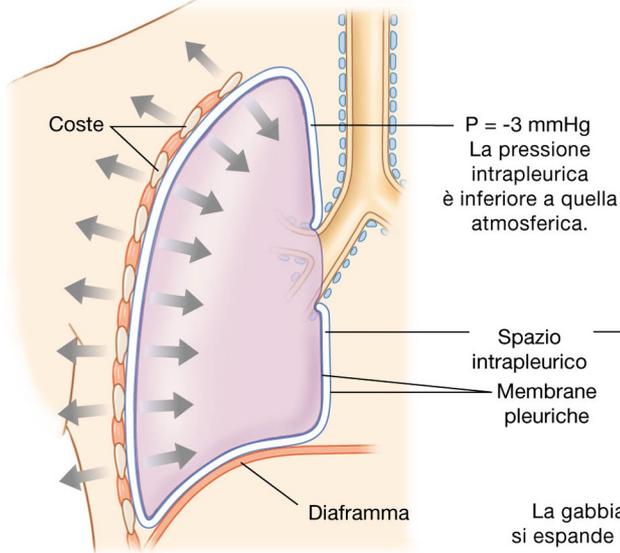


Respirazione tranquilla: 12-20 atti/min

Respirazione attiva: 30-40 atti/min

Pressione nella cavità pleurica

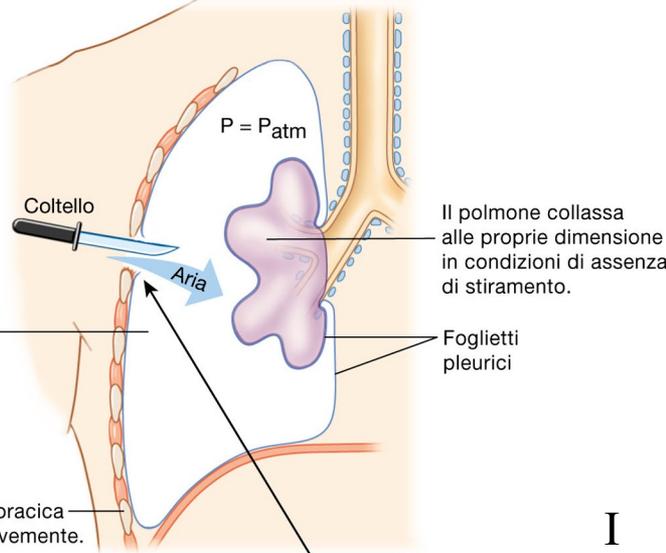
(a) Polmone normale a riposo



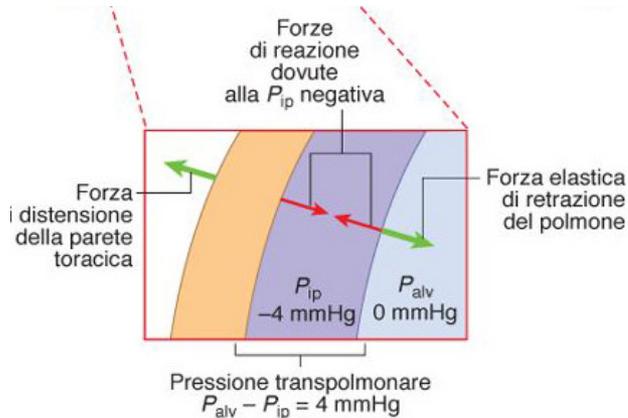
La ritrazione elastica della parete toracica tende a tirare la parete toracica verso l'esterno.

La ritrazione elastica del polmone genera una tensione verso l'interno.

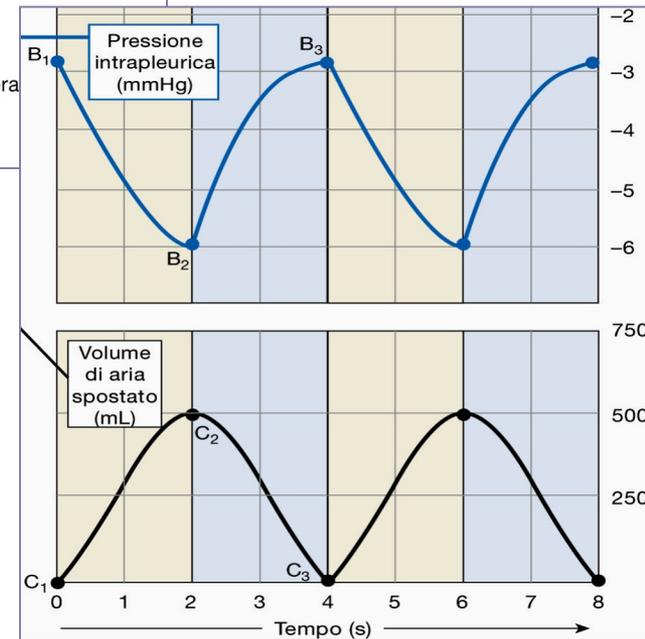
(b) Pneumotorace



Se la cavità pleurica entra in comunicazione con l'atmosfera l'aria vi fluisce dentro.

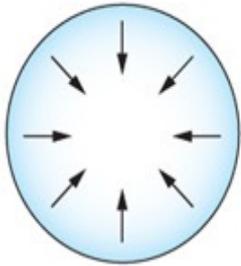


I E

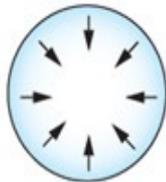


Tensione superficiale

(a) La pressione è superiore nell'alveolo più piccolo.



Bolla più grande
 $r = 2$
 $T = 3$
 $P = (2 \times 3)/2$
 $P = 3$



Bolla più piccola
 $r = 1$
 $T = 3$
 $P = (2 \times 3)/1$
 $P = 6$

Legge di Laplace: $P = 2T/r$
 P = pressione
 T = tensione superficiale
 r = raggio
Per la legge di Laplace, se due bolle hanno la medesima tensione superficiale, la bolla più piccola presenta una pressione maggiore.

(b) Il surfactante riduce la tensione superficiale (T). La pressione diviene uguale nella bolla piccola e in quella grande.



$r = 2$
 $T = 2$
 $P = (2 \times 2)/2$
 $P = 2$



$r = 1$
 $T = 1$
 $P = (2 \times 1)/1$
 $P = 2$

Il surfactante riduce la tensione superficiale ed il lavoro ventilatorio

Fattori che influenzano la resistenza delle vie aeree

Legge di Poiseuille

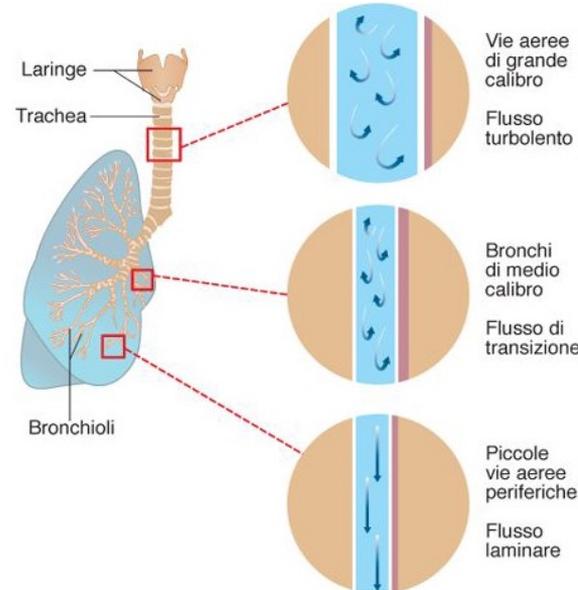
$$R = L \eta / r^4$$

R = resistenza

L = lunghezza del sistema

η = viscosità dell'aria

r = raggio dei condotti del sistema

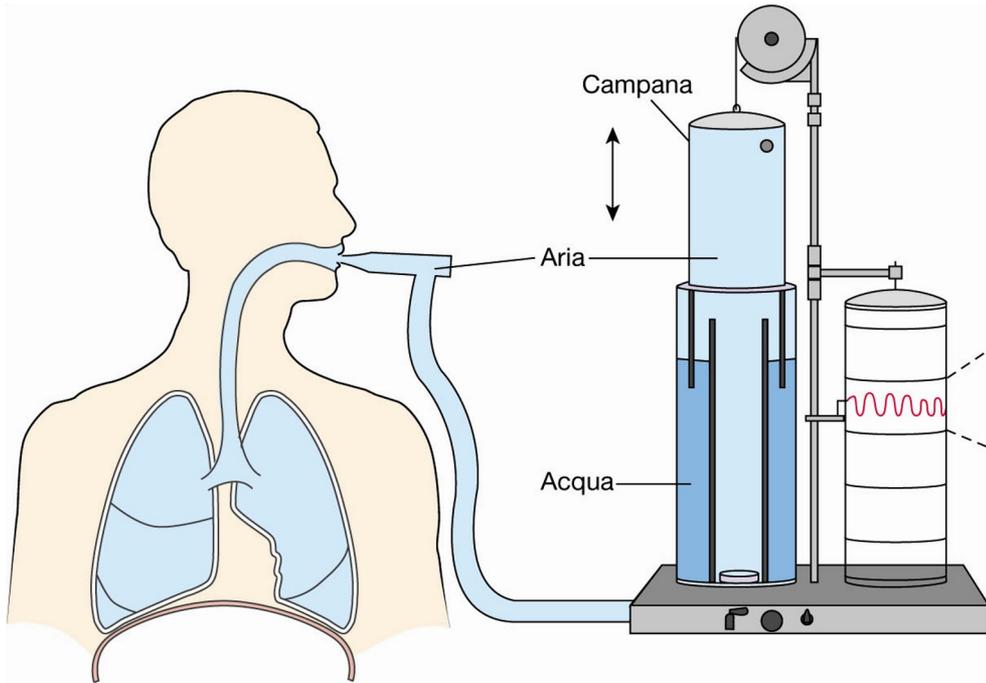


Il flusso dipende dalla densità della miscela dei gas

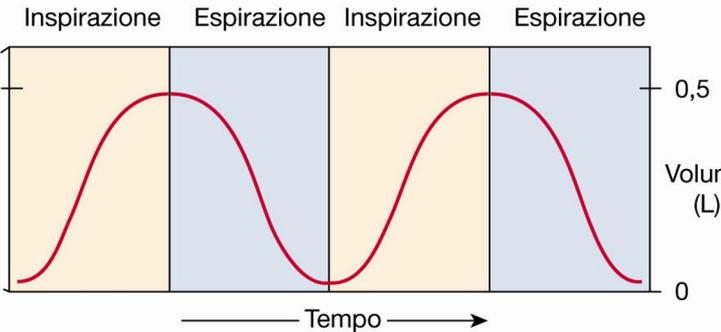
Correlazione lineare tra pressione e flusso secondo la legge di Poiseuille

Fattore	Influenzato	Mediato
Lunghezza del sistema	Costante; non è un fattore rilevante	
Viscosità dell'aria	Di solito costante. Umidità e altitudine possono variarla lievemente	
Diametro delle vie aeree		
<i>Vie aeree superiori</i>	Ostruzione fisica	Muco e altri fattori
<i>Bronchioli</i>	Broncocostrizione	Acetilcolina (parasimpatico, recettori muscarinici), istamina, leucotreni
	Broncodilatazione	CO ₂ , adrenalina (recettori β_2)

Volumi polmonari: la spirometria

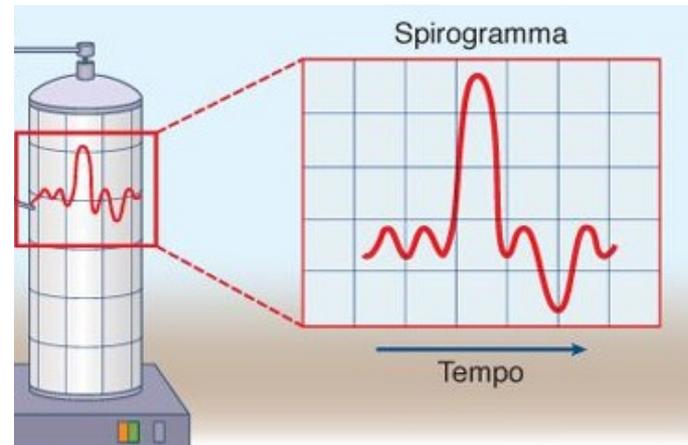


Respiro tranquillo



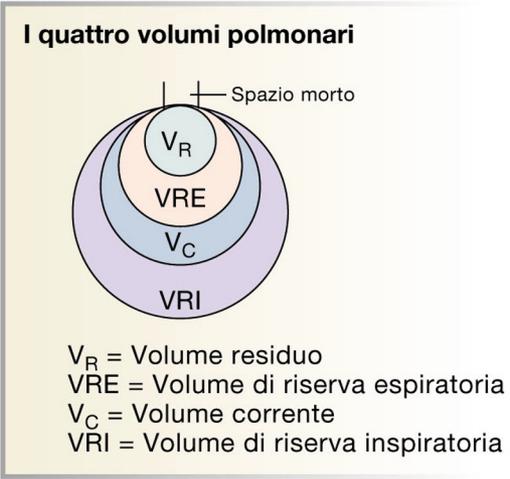
Quando il soggetto inspira, l'aria fluisce nei polmoni. Il volume della campana diminuisce e la penna sale sul tracciato.

Respiro forzato

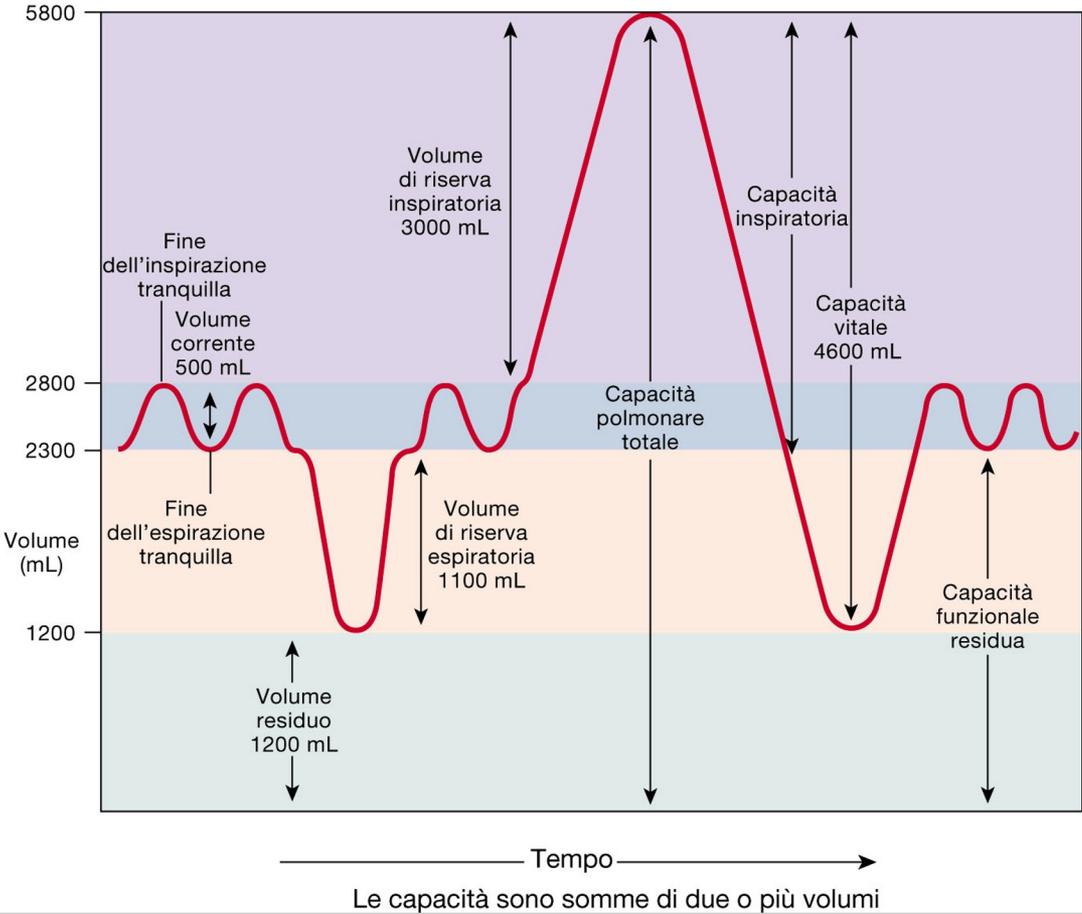


Volumi e capacità polmonari

Un tracciato spirometrico che mostra i volumi e le capacità polmonari



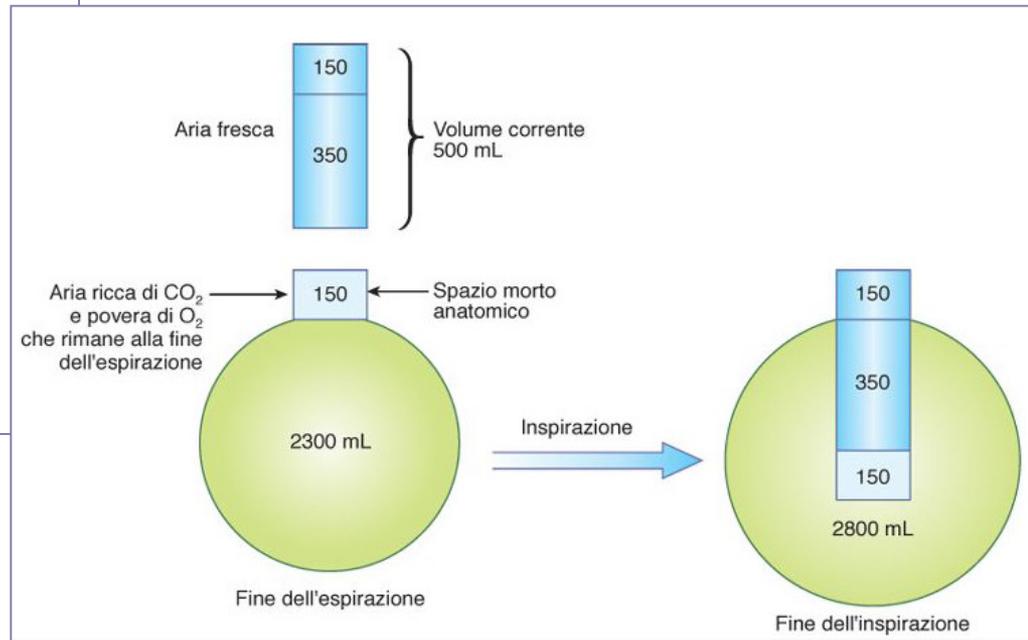
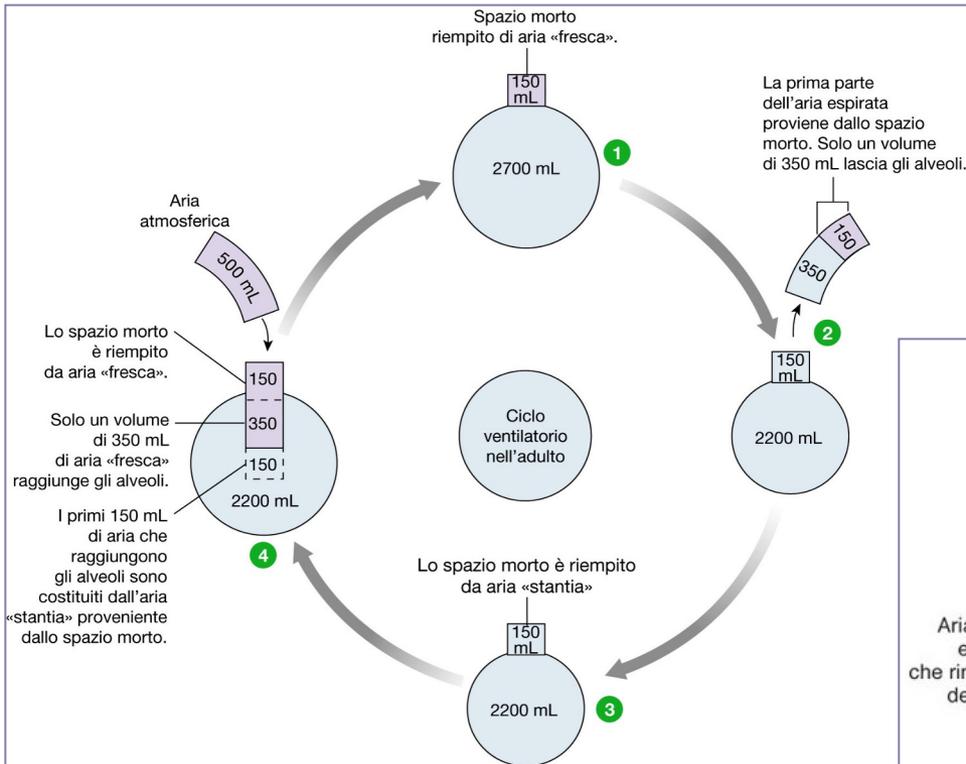
		Maschi	Femmine	
Capacità vitale	V_{RI}	3000	1900	Capacità inspiratoria
	V_C	500	500	
Volume residuo	V_{RE}	1100	700	Capacità funzionale residua
		1200	1100	
		5800 mL	4200 mL	

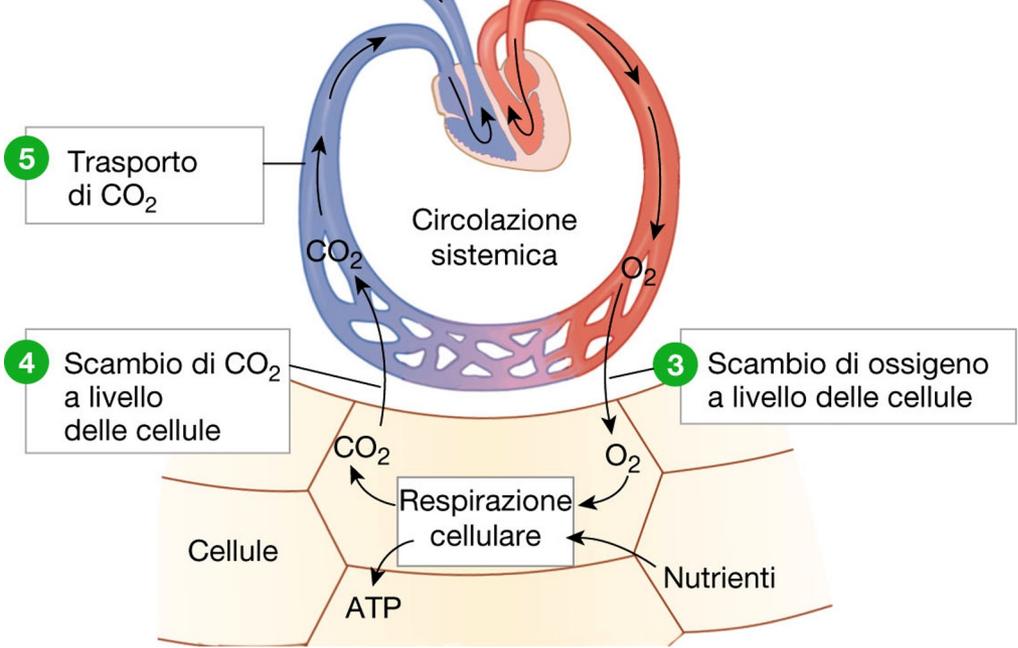
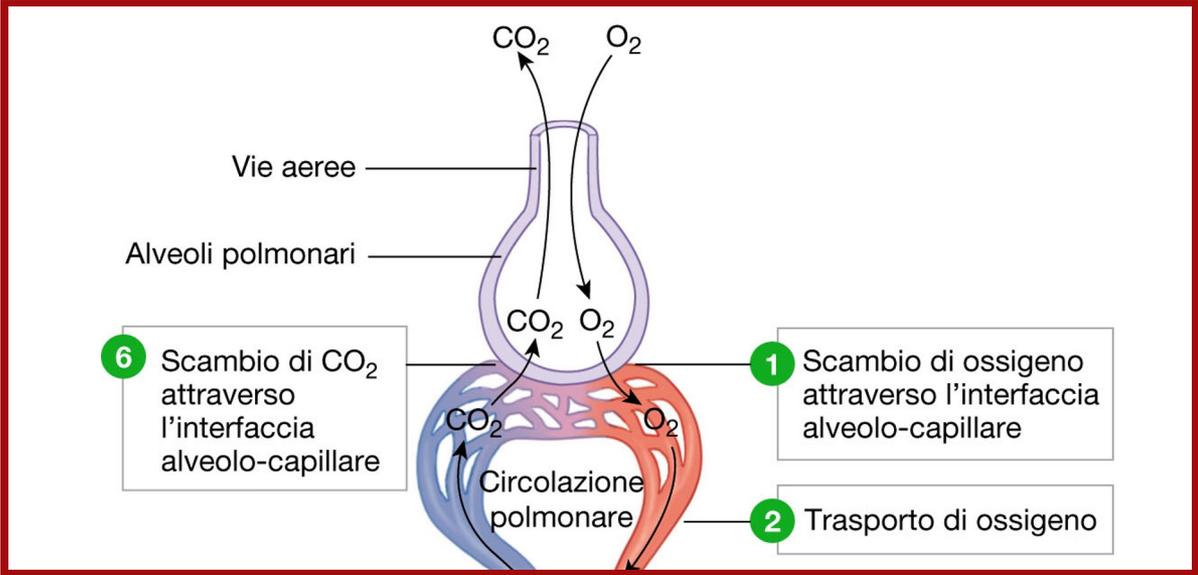


Ventilazione polmonare totale e ventilazione alveolare

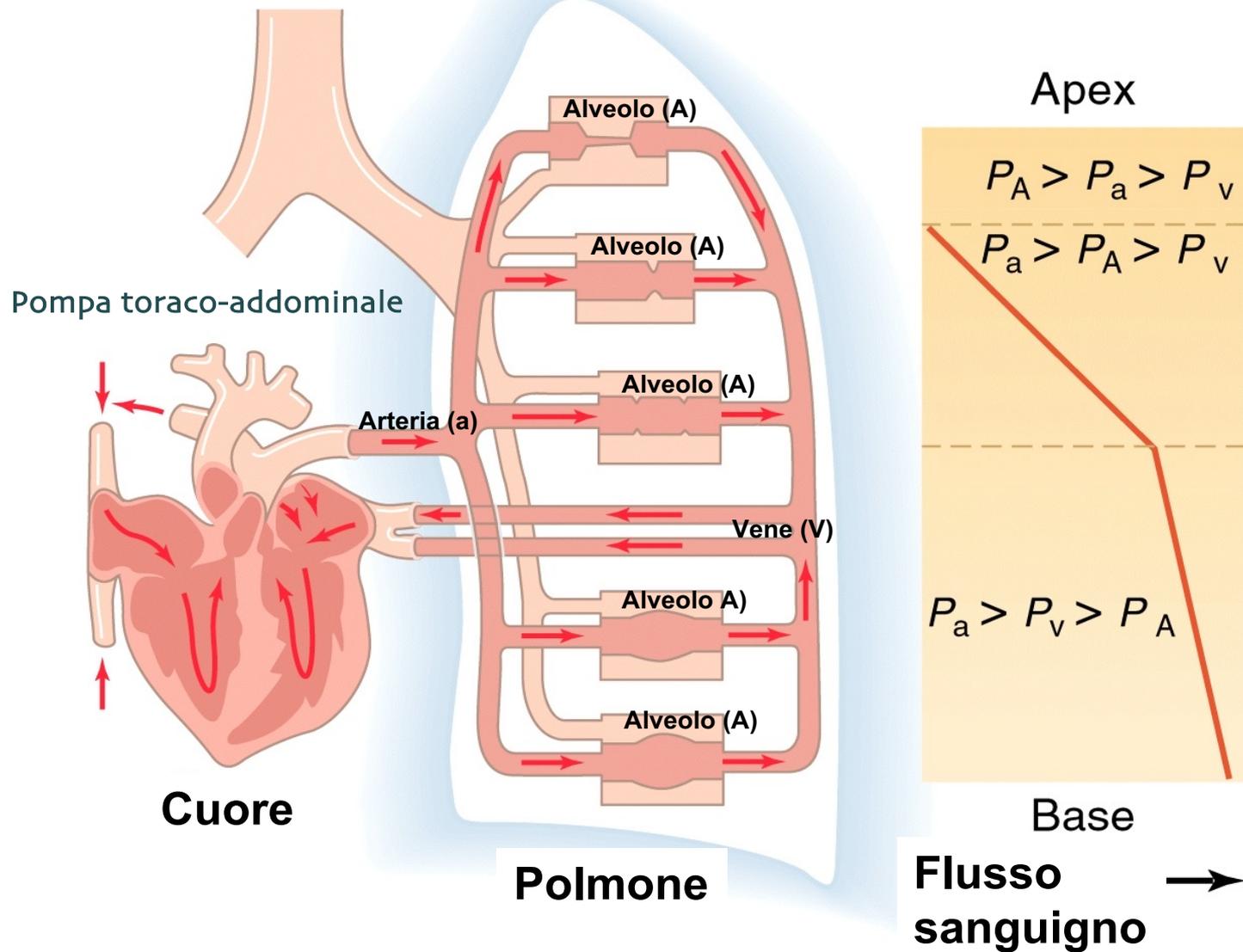
Volume di aria spostato dentro e fuori dai polmoni/min: frequenza respiratoria (12-20 atti/min) x volume corrente (500 ml/atto) = 6 L

Volume di aria che raggiunge gli alveoli/min: frequenza respiratoria (12-20 atti/min) x (volume corrente 500 ml - spazio morto 150 ml) = 4,2 L





Circolazione polmonare (flusso a strato sottile)

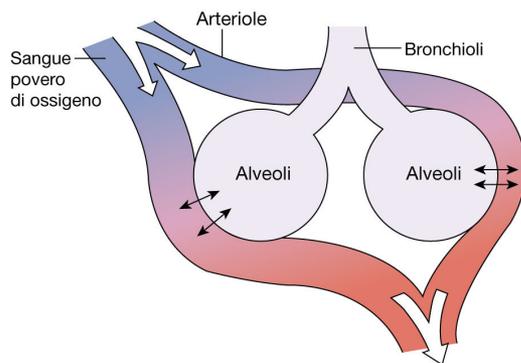


La Pressione Transmurale ($P_{\text{arterioso}} - P_{\text{Alveolare}}$) determina il diametro dei capillari polmonari

Un controllo locale accoppia ventilazione e perfusione

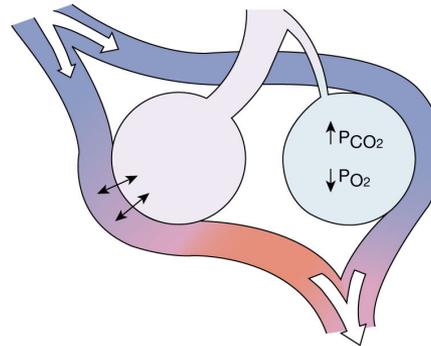
Composizione del gas	Bronchioli	Arteriole polmonari	Arterie sistemiche
Aumento PCO ₂	Dilatazione	Costrizione	Dilatazione
Diminuzione PO ₂	Dilatazione	Costrizione	Dilatazione
Diminuzione PCO ₂	Costrizione	Dilatazione	Costrizione
Aumento PO ₂	Costrizione	Dilatazione	Costrizione

(a) La ventilazione degli alveoli è accoppiata alla perfusione dei capillari polmonari.



(b) Disaccoppiamento ventilazione-perfusione.

Se la ventilazione diminuisce in un gruppo di alveoli (in blu), P_{CO₂} aumenta e P_{O₂} diminuisce. Il sangue che fluisce oltre questi alveoli non è ossigenato.



(c) I meccanismi di controllo locale tendono a mantenere accoppiate ventilazione e perfusione.

La riduzione di P_{O₂} attorno agli alveoli ipoventilati provoca la costrizione delle loro arteriole, convogliando il sangue verso alveoli ventilati meglio. Flusso di sangue convogliato verso alveoli con ventilazione migliore.

