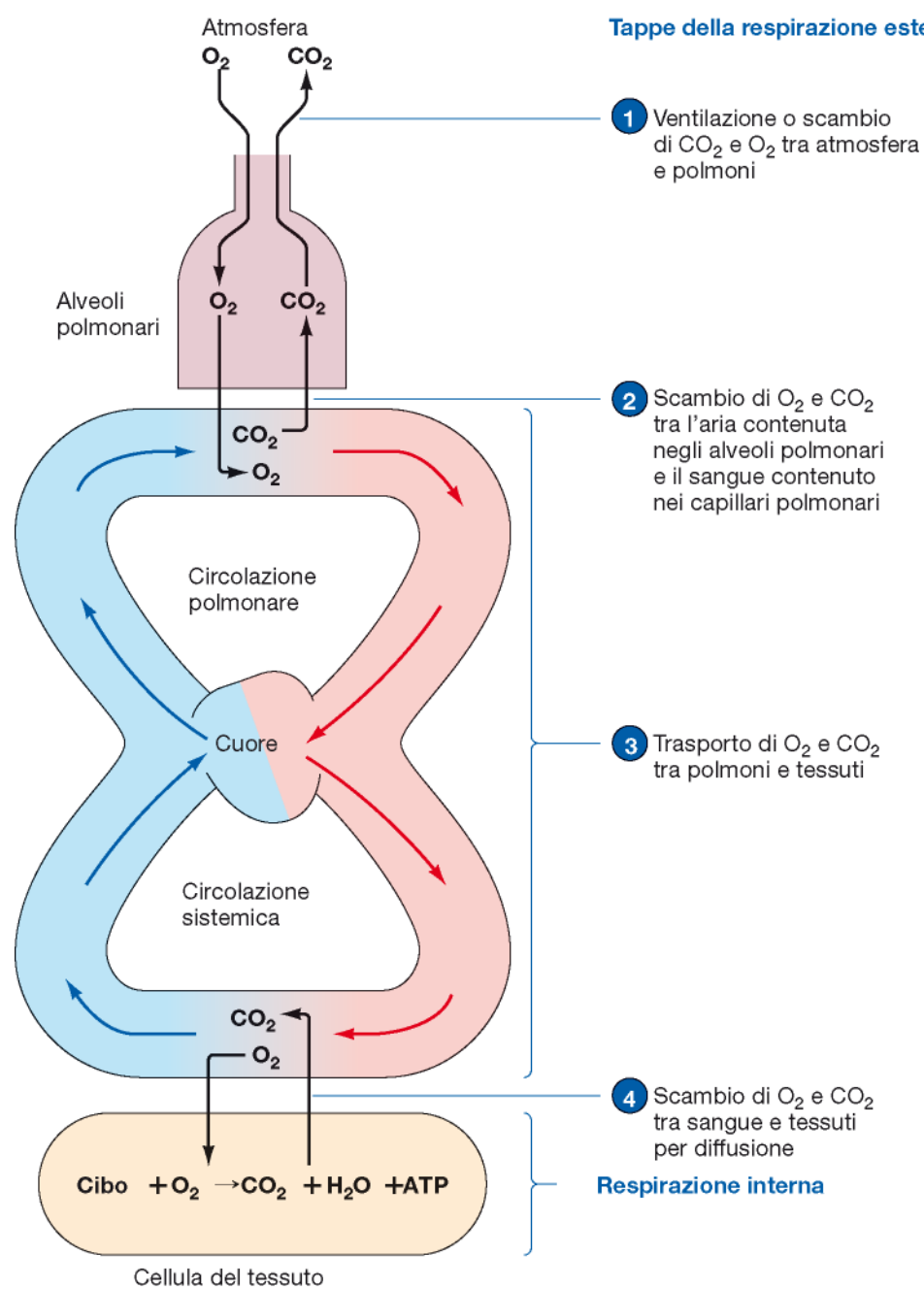
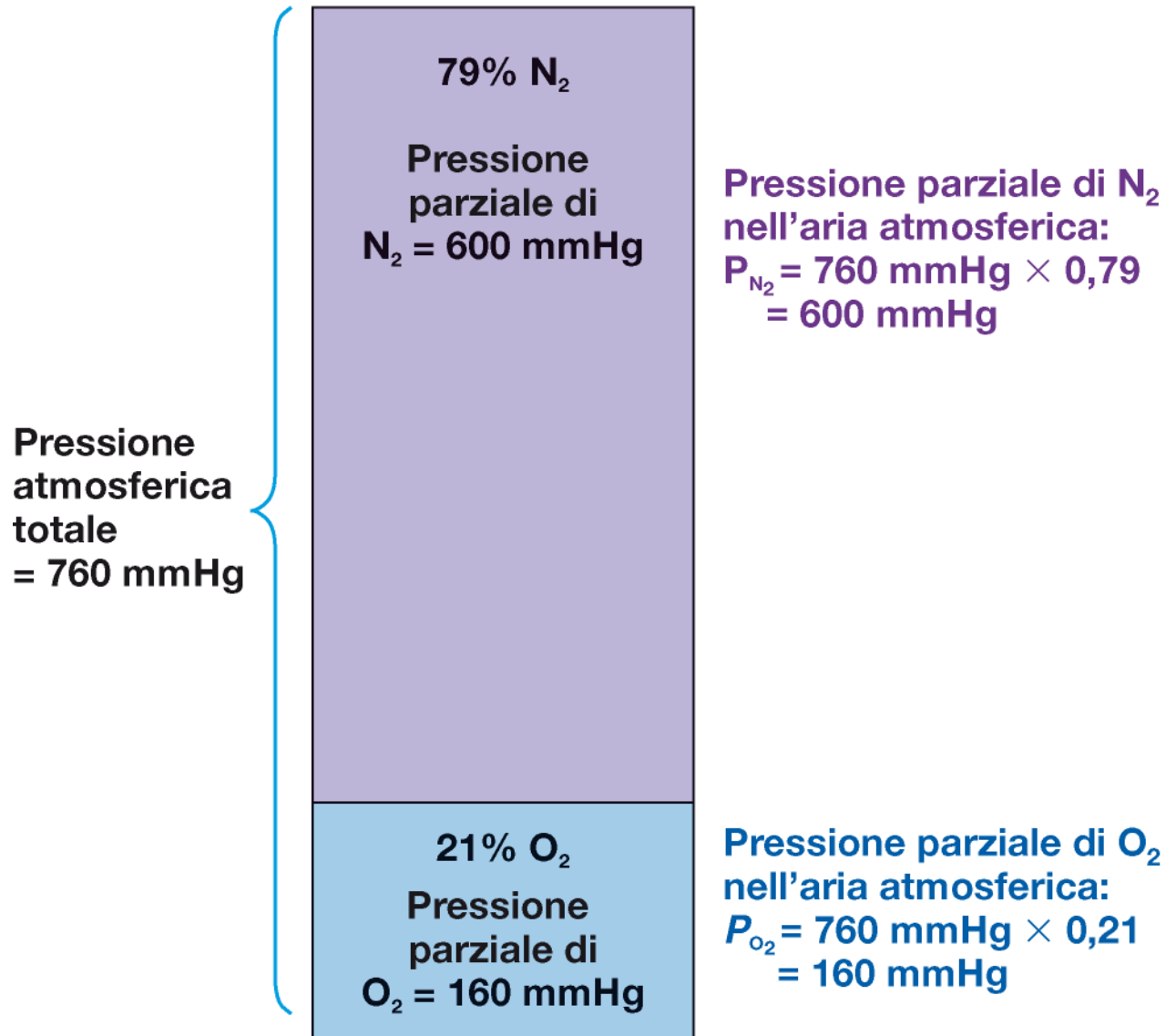
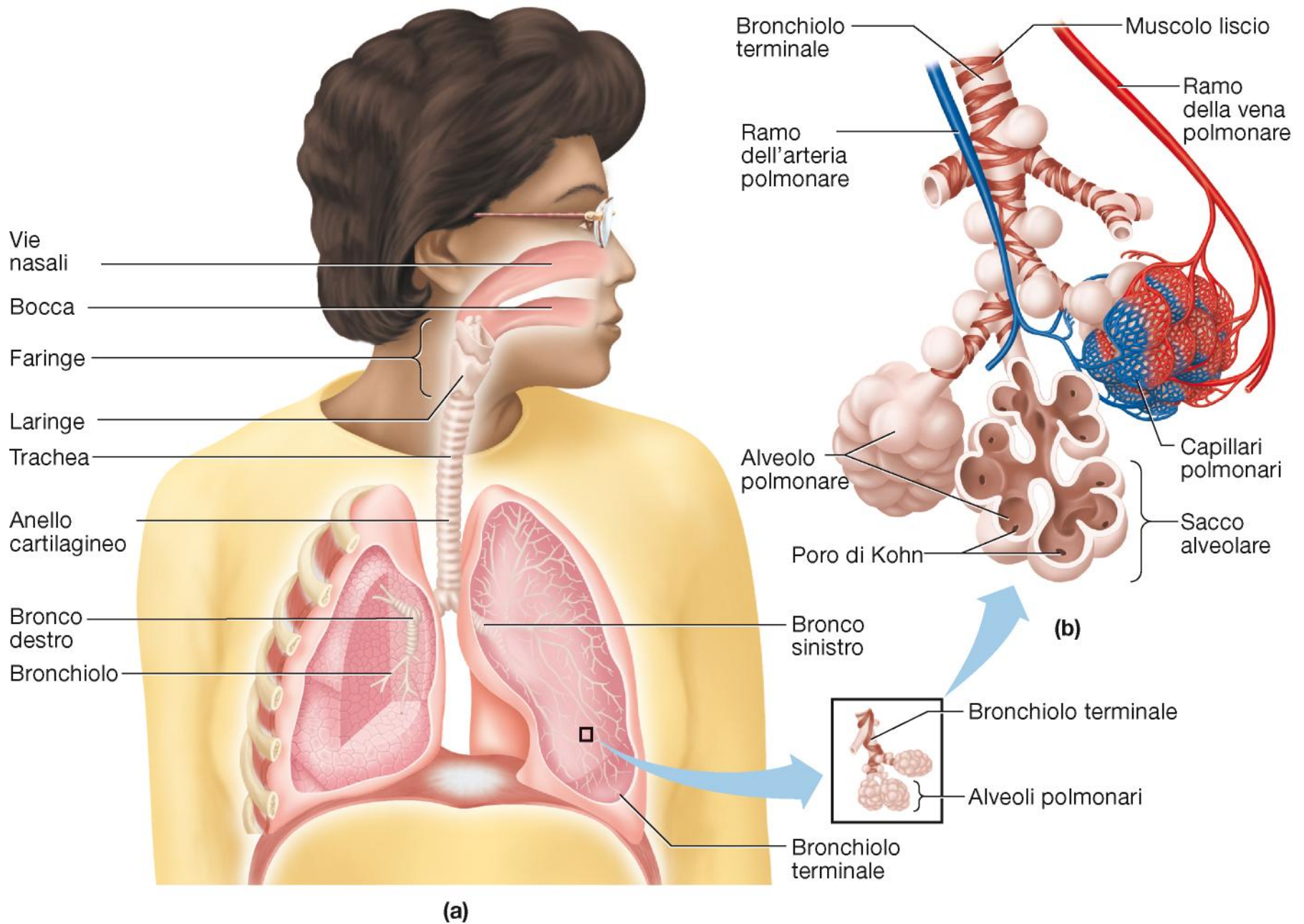


Tappe della respirazione esterna

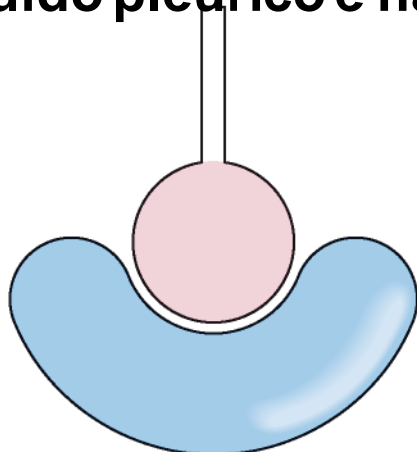
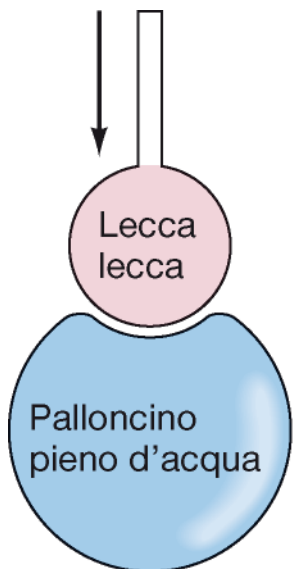


Composizione percentuale
e pressioni parziali nell'aria
atmosferica

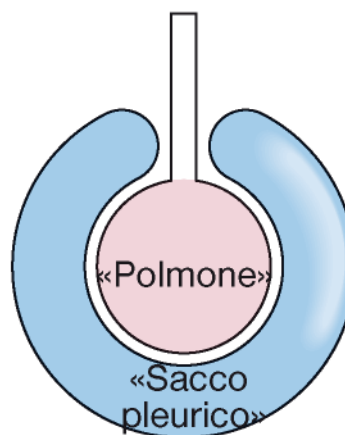




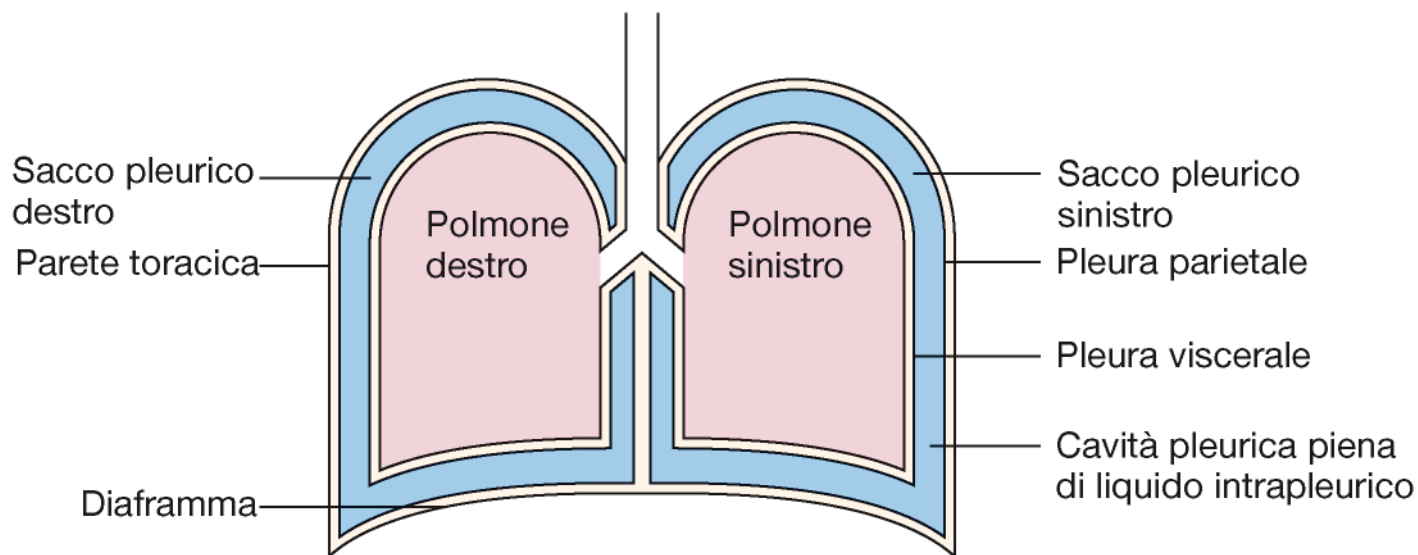
Le pleure sono costituite da diversi strati di tessuto connettivo elastico e numerosi capillari. Esse contengono il liquido pleurico e hanno due funzioni fondamentali:



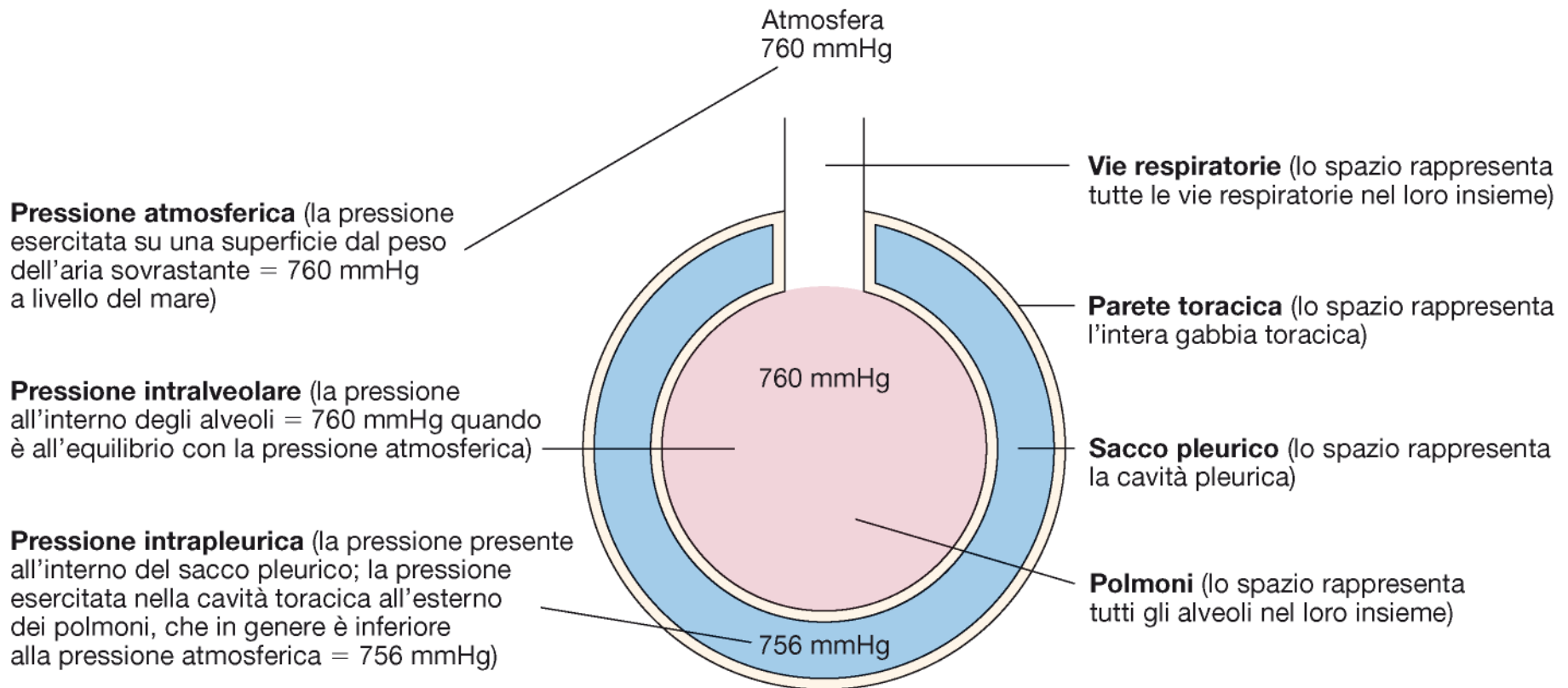
(a)

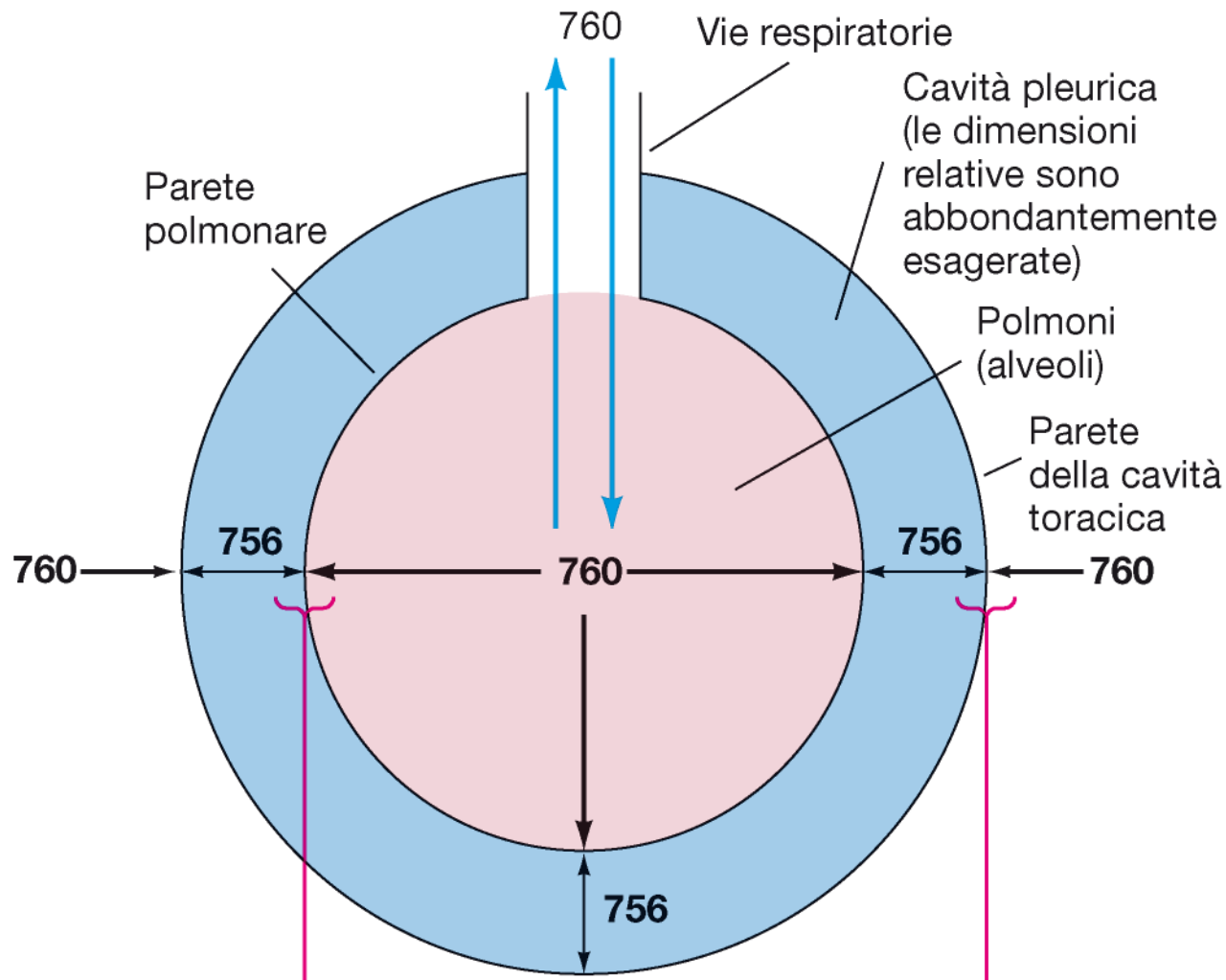


- **1 - creare una superficie di scorrimento**
- **2 - mantenere i polmoni a stretto contatto con la parete toracica**



(b)

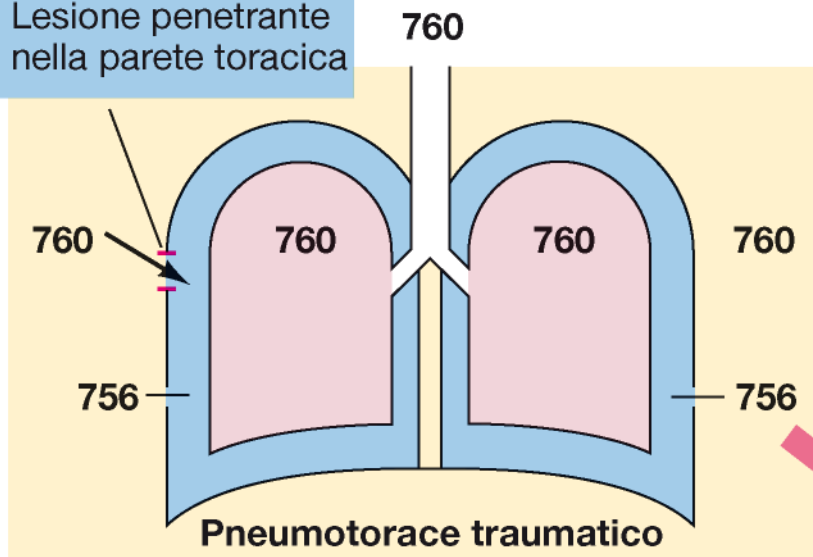




Gradiente di pressione transmurale attraverso la parete polmonare = pressione intralveolare meno pressione intrapleurica

Gradiente di pressione transmurale attraverso la parete toracica = pressione atmosferica meno pressione intrapleurica

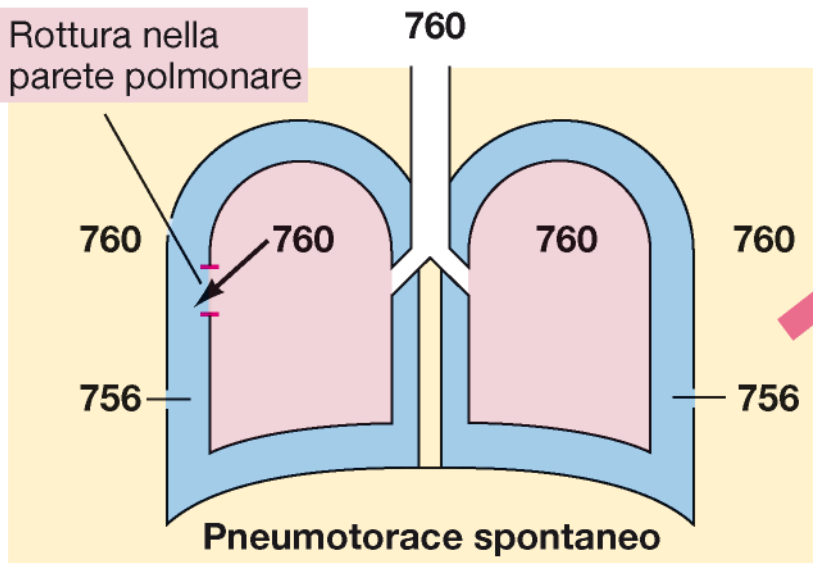
Lesione penetrante
nella parete toracica



Pneumotorace traumatico

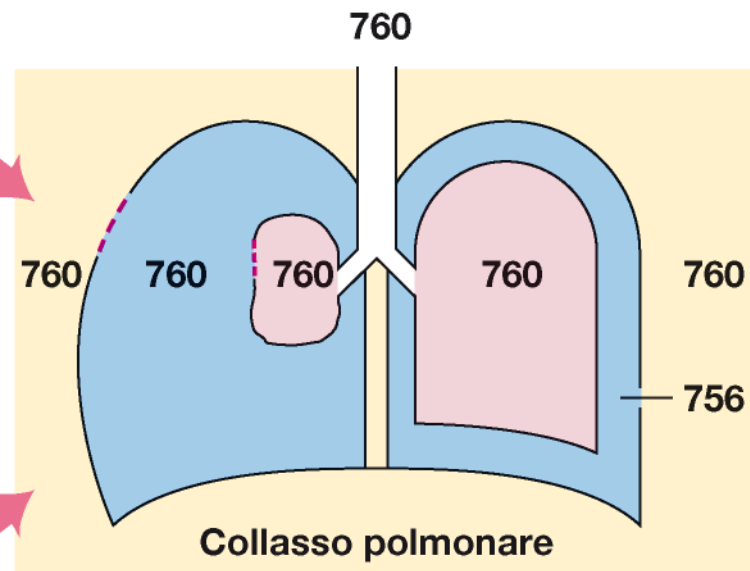
(a)

Rottura nella
parete polmonare



Pneumotorace spontaneo

(c)



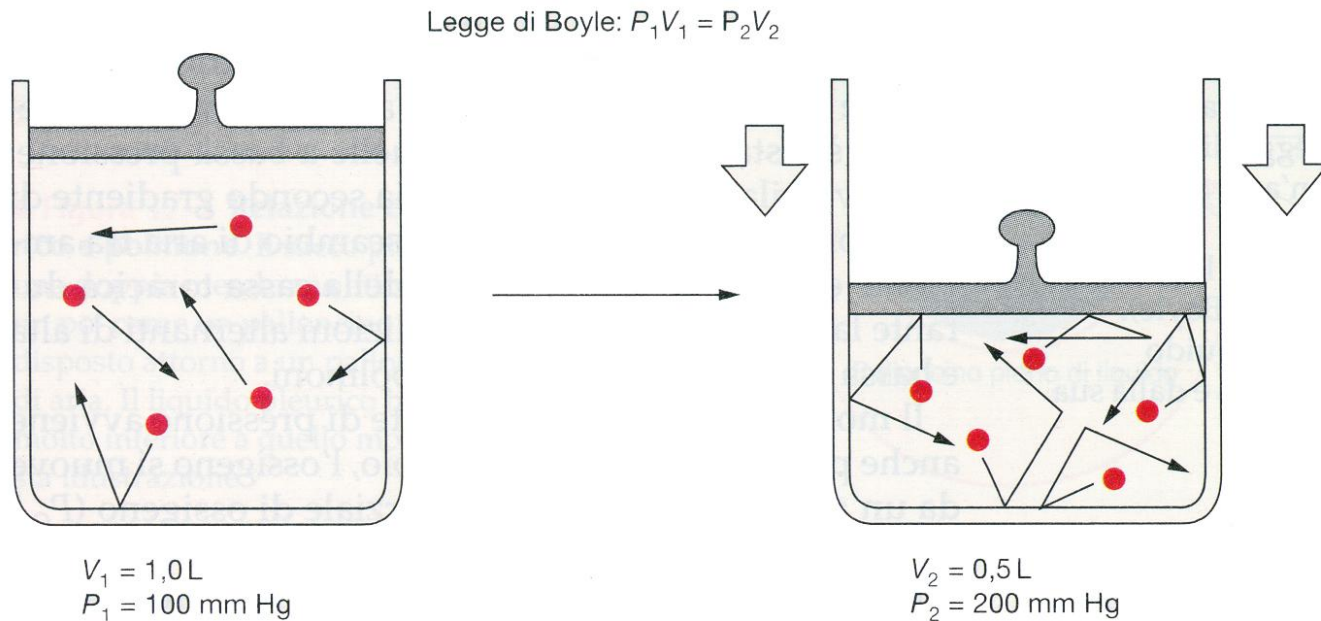
Collasso polmonare

(b)

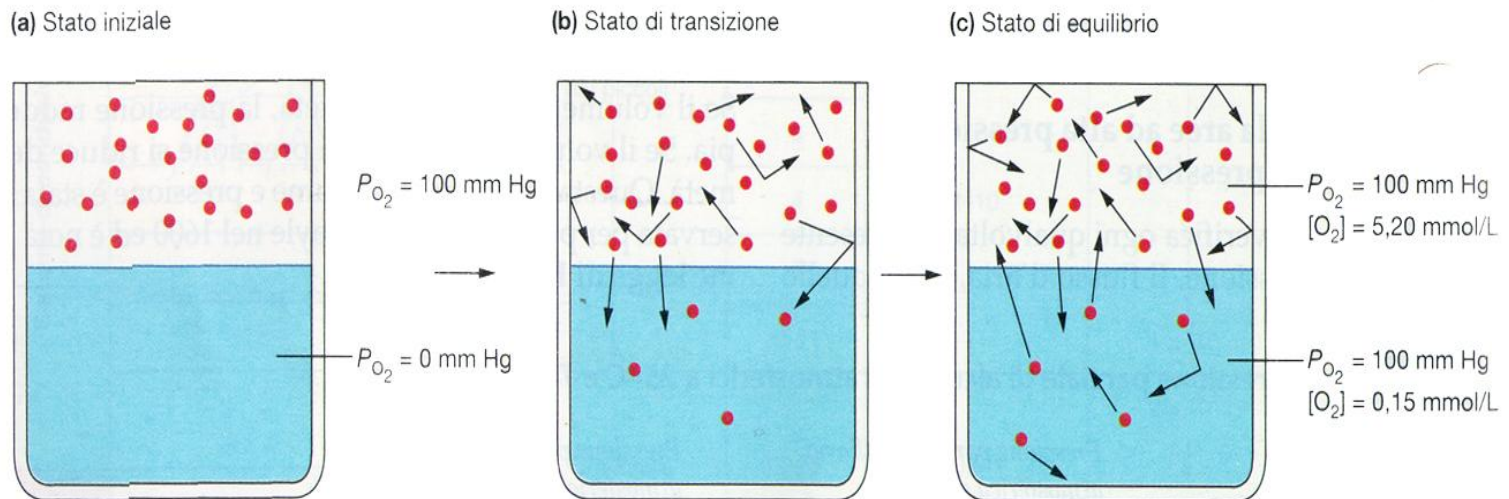
(I numeri indicano i valori della pressione in mmHg.)

Leggi dei gas

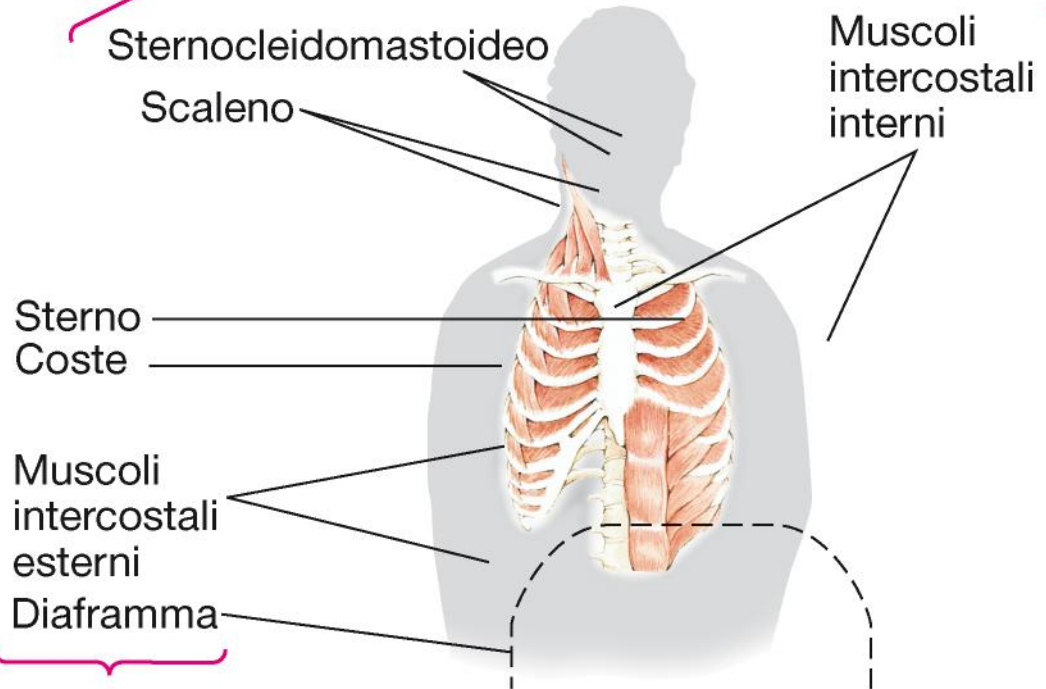
- 1 - La pressione totale di una miscela dei gas è uguale alla somma delle pressioni dei singoli gas (legge di Dalton)
- 2 - Se il volume del contenitore cambia, la pressione del gas contenuto cambierà in maniera inversamente proporzionale (legge di Boyle)



- 3 - I gas si spostano da un'area ad alta pressione verso un'area a bassa pressione
- 4 - La quantità di gas che può sciogliersi in un liquido è determinata dalla pressione parziale del gas e dalla sua solubilità nel liquido.



Muscoli inspiratori accessori
(si contraggono soltanto durante l'inspirazione forzata)



Principali muscoli inspiratori
(si contraggono a ogni inspirazione; il loro rilasciamento provoca l'espirazione passiva)

Muscoli per l'espirazione attiva (si contraggono soltanto durante l'espirazione attiva)

Muscoli usati per la ventilazione

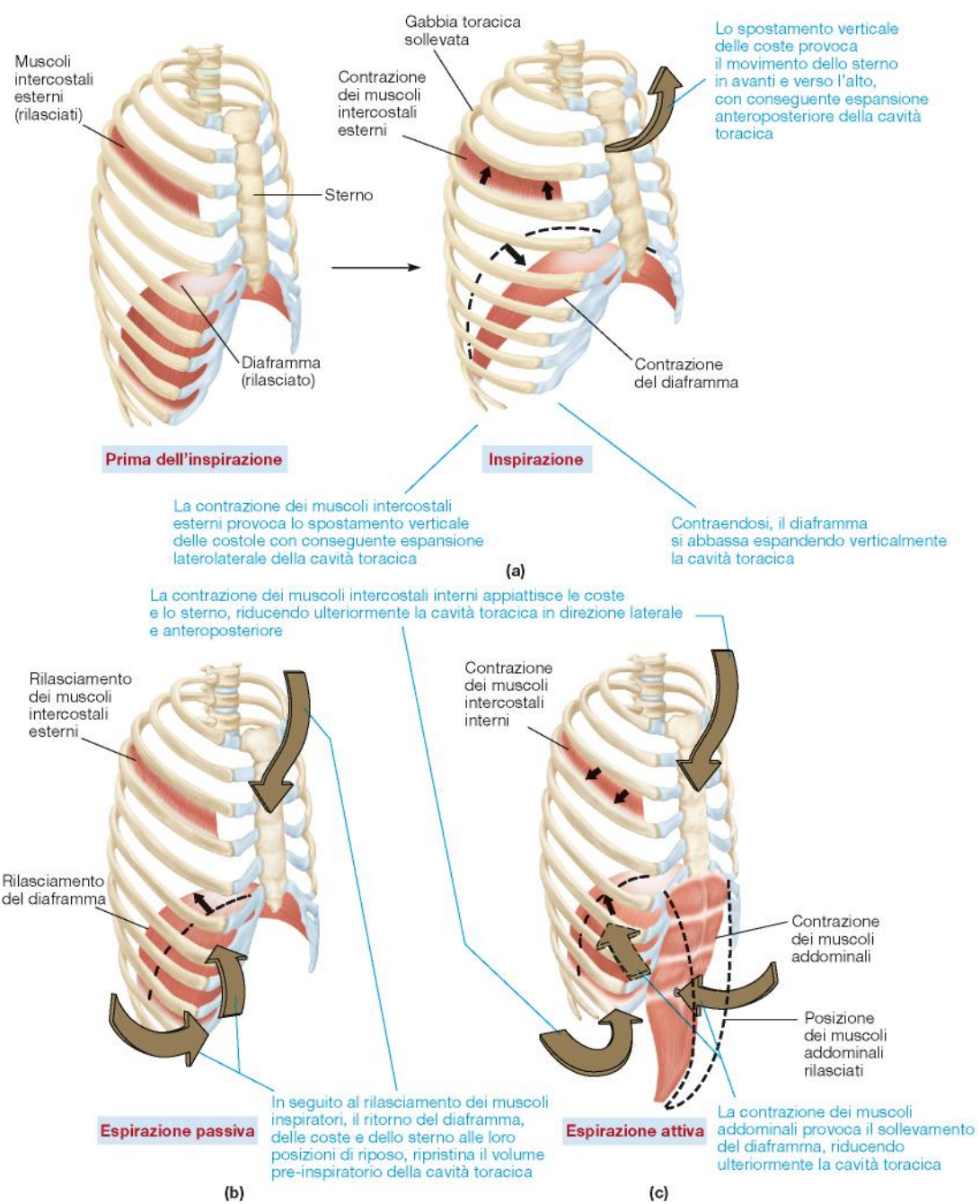
Fase inspiratoria:

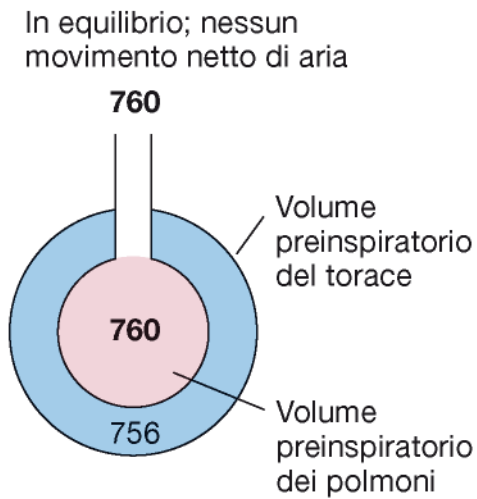
- a - diaframma
- b - intercostali esterni
- c - sternocleidomastoideo
- d - scaleni

Fase espiratoria:

- a - intercostali interni
- b - addominali

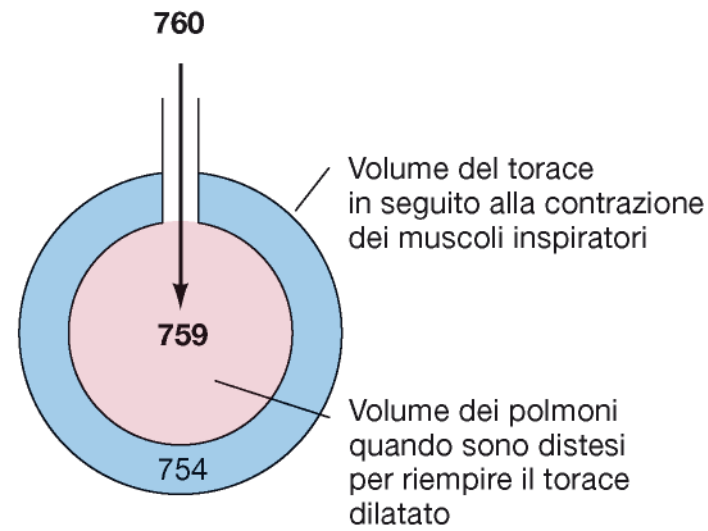
La fase inspiratoria è sempre attiva mentre la fase espiratoria può anche essere passiva (es.: a riposo)





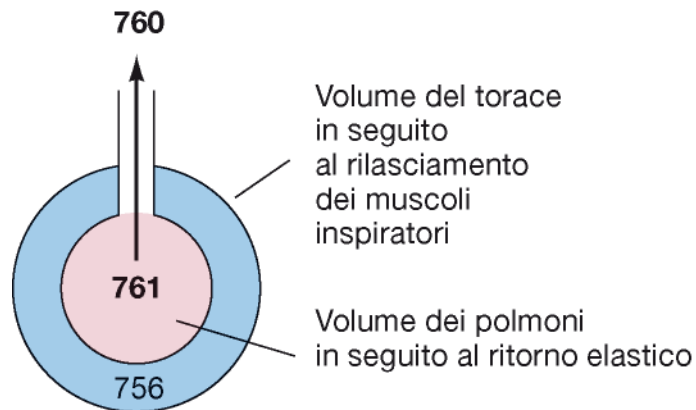
Prima dell'inspirazione

(a)



Durante l'inspirazione

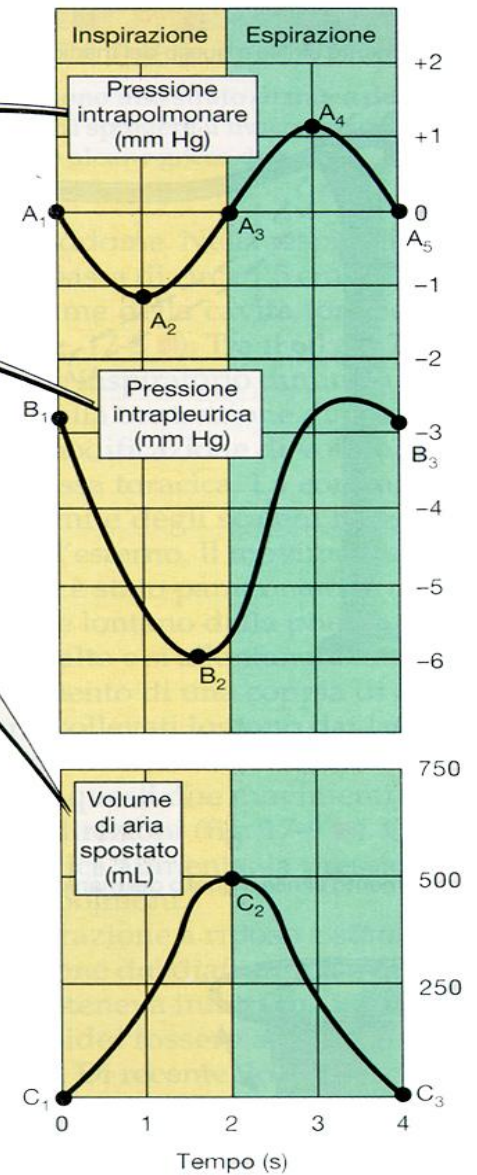
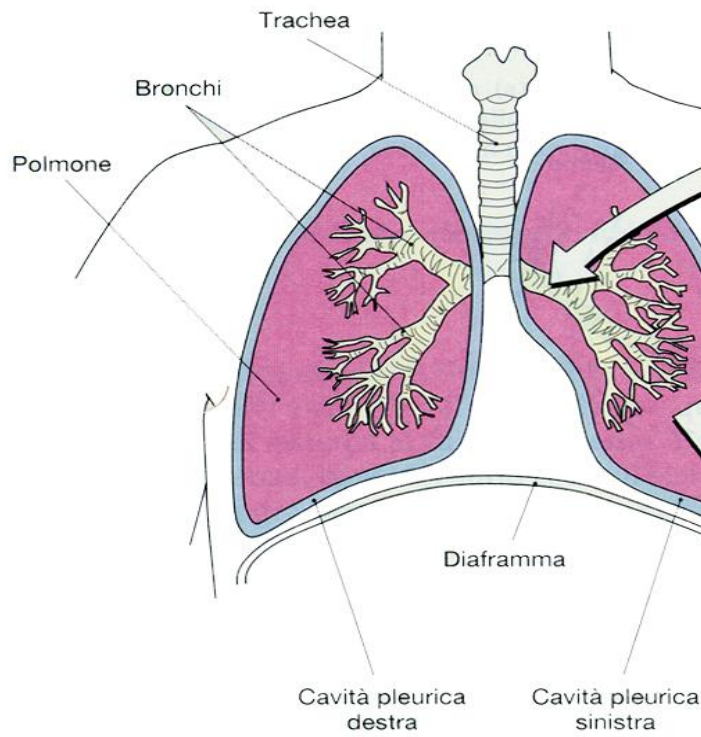
(b)



Durante l'espirazione

(c)

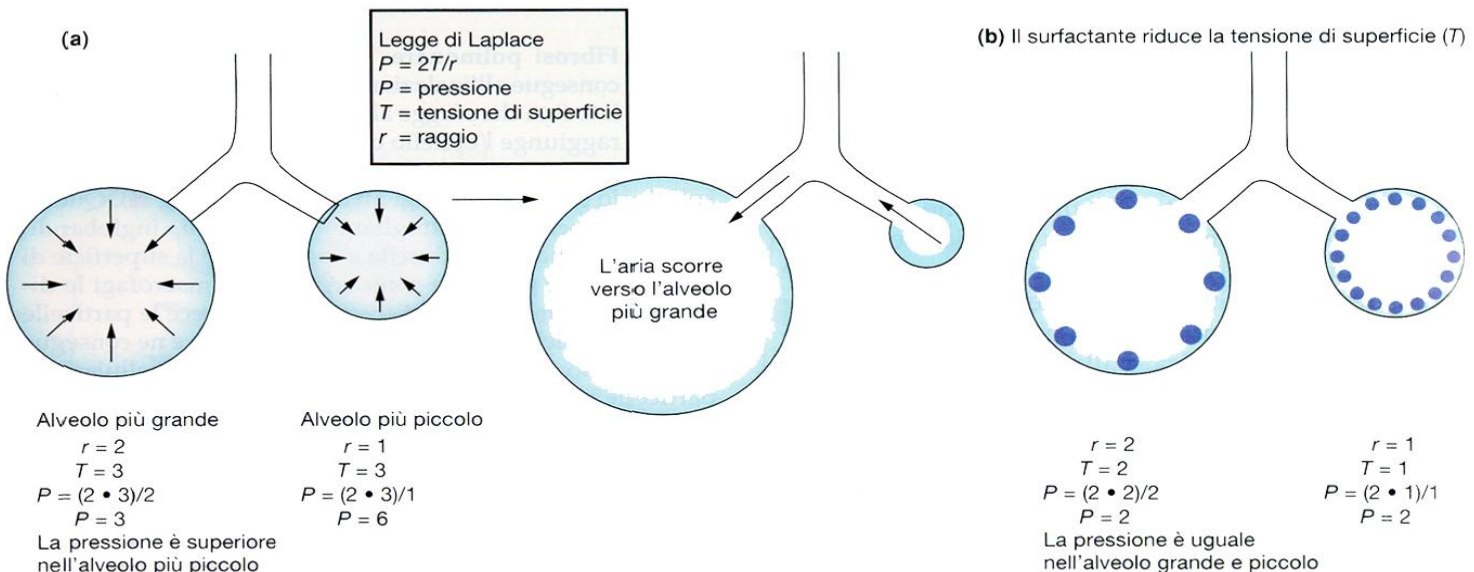
(I numeri indicano le pressioni in mmHg.)



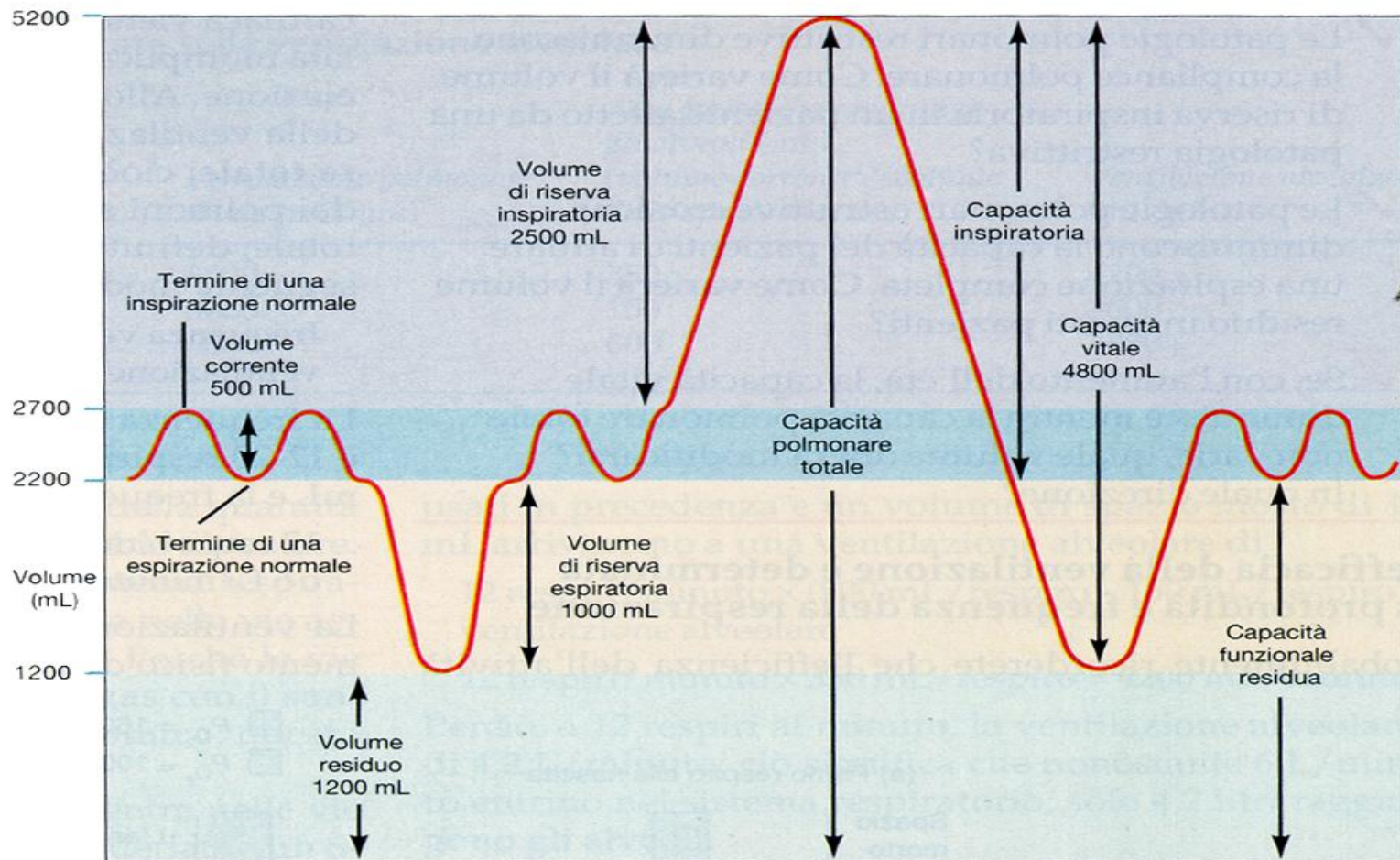
Variazioni durante le fasi inspiratoria ed espiratoria di:

- 1 - Pressione intrapolmonare
- 2 - Pressione intrapleurica
- 3 - Volume intrapolmonare

Instabilità degli alveoli e ruolo del surfactante. All'interfaccia aria-liquido negli alveoli la superficie del liquido ha una tensione superficiale che genera una pressione diretta verso l'interno. La pressione a cui gli alveoli sono sottoposti è determinata dalla legge di Laplace ($P=2T/r$). L'alveolo più piccolo sarà soggetto a pressioni maggiori: questo genera il fenomeno dell'instabilità degli alveoli. Il *surfactante* (miscela contenente lipoproteine come la dipalmitoilfosfatidilcolina) è la sostanza che impedisce il collasso degli alveoli stessi.



Volumi e capacità polmonari

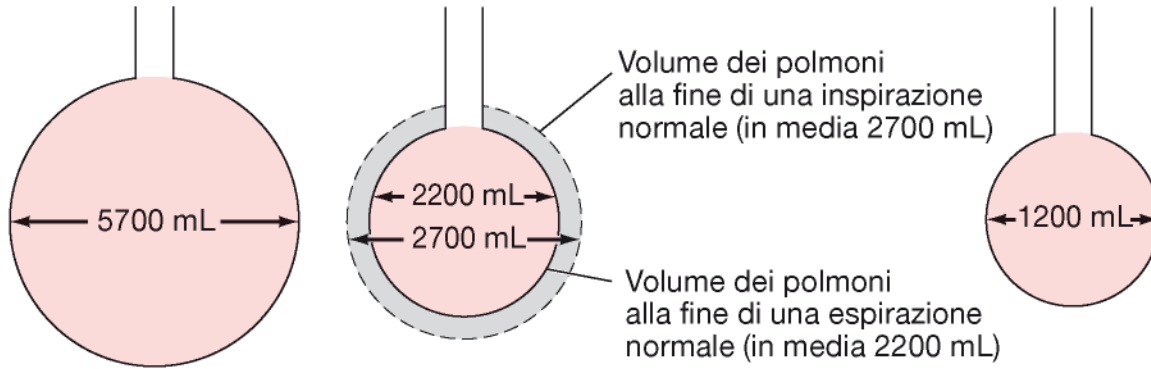


(a)

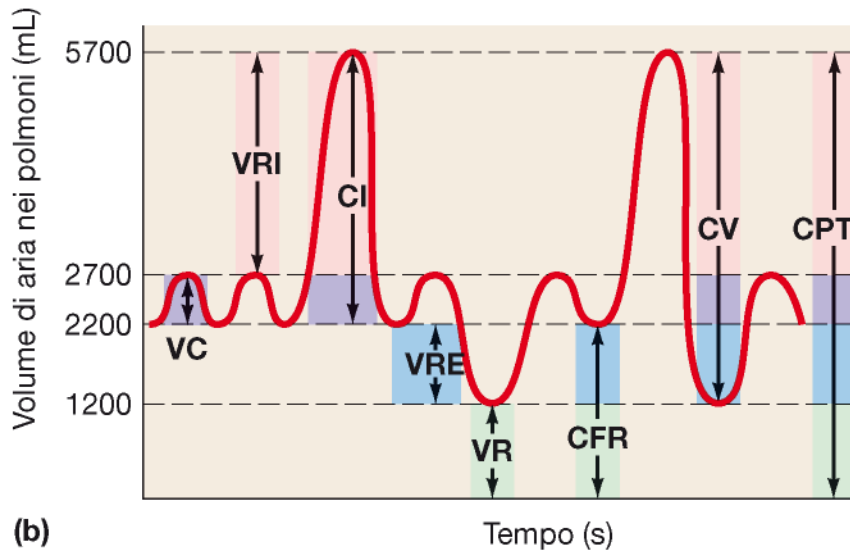
Capacità polmonare totale alla fine di una inspirazione massima

Variazione del volume polmonare durante la respirazione normale in condizioni di riposo

Volume polmonare minimo (volume residuo) alla fine di una espirazione massima



La differenza tra il volume polmonare alla fine dell'espirazione e quello alla fine dell'inspirazione è uguale al volume corrente (in media 500 mL).



(b)

	<u>Uomo</u>
VC = Volume corrente	500 mL
VRI = Volume di riserva inspiratorio	3000 mL
CI = Capacità inspiratoria	3500 mL
VRE = Volume di riserva espiratorio	1000 mL
VR = Volume residuo	1200 mL
CFR = Capacità funzionale residua	2200 mL
CV = Capacità vitale	4500 mL
CPT = Capacità polmonare totale	5700 mL

(Sono riportati i valori medi per un maschio adulto giovane sano; i valori per una donna sono un po' più bassi.)



**Dopo l'inspirazione,
prima dell'espirazione**

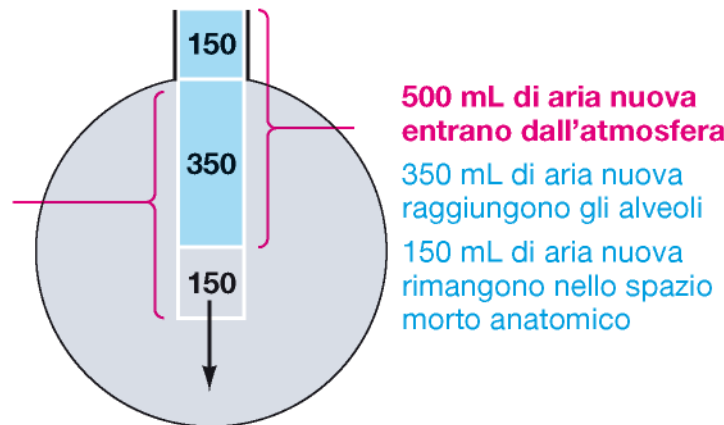


Durante l'espirazione

500 mL entrano negli alveoli

150 mL di aria «vecchia»
dallo spazio morto (rimasti
dalla precedente espirazione)

350 mL di aria nuova
dall'atmosfera

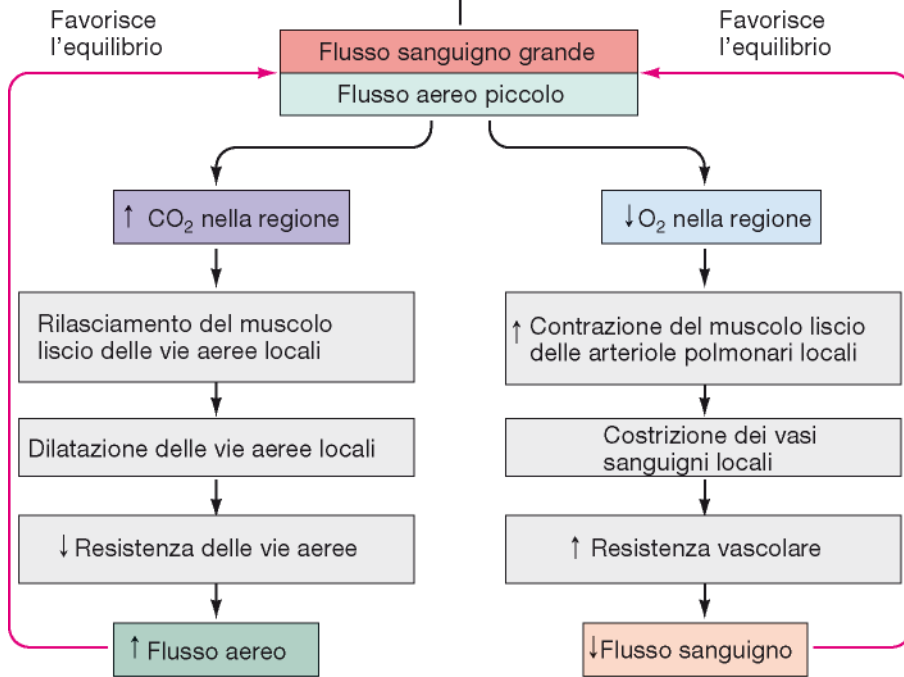


Durante l'inspirazione

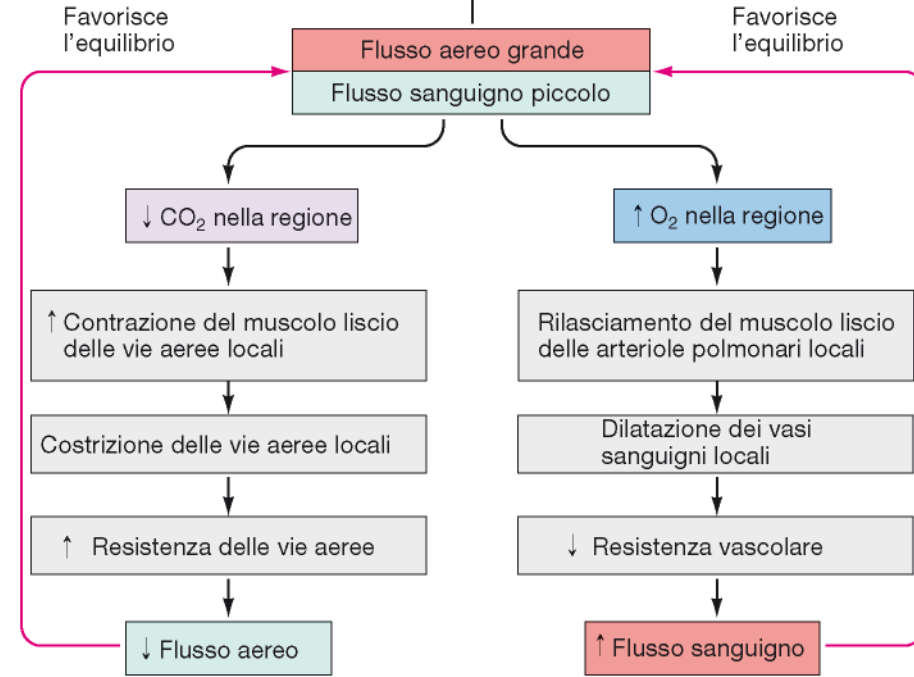
- Aria alveolare «vecchia» che ha scambiato O_2 e CO_2 con il sangue
- Aria atmosferica nuova che non ha scambiato O_2 e CO_2 con il sangue

(I numeri nella figura indicano mL di aria.)

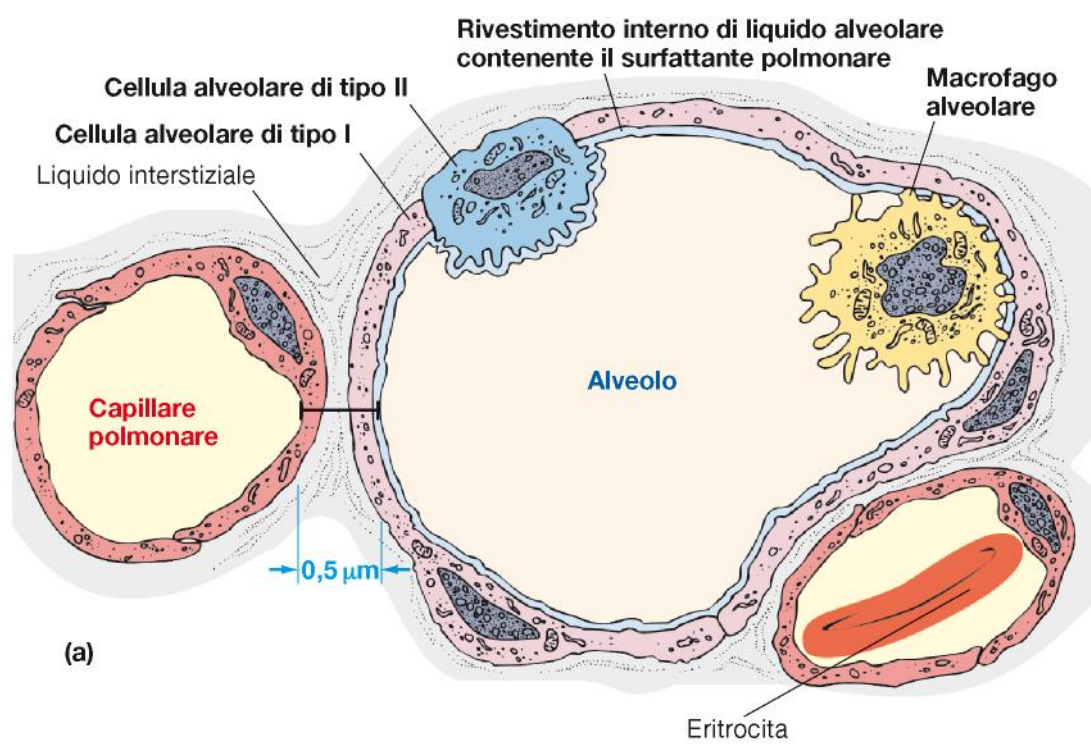
Regione in cui il flusso sanguigno (perfusione) è maggiore del flusso di aria (ventilazione)



Regione in cui il flusso aereo (ventilazione) è maggiore del flusso di sangue (perfusione)



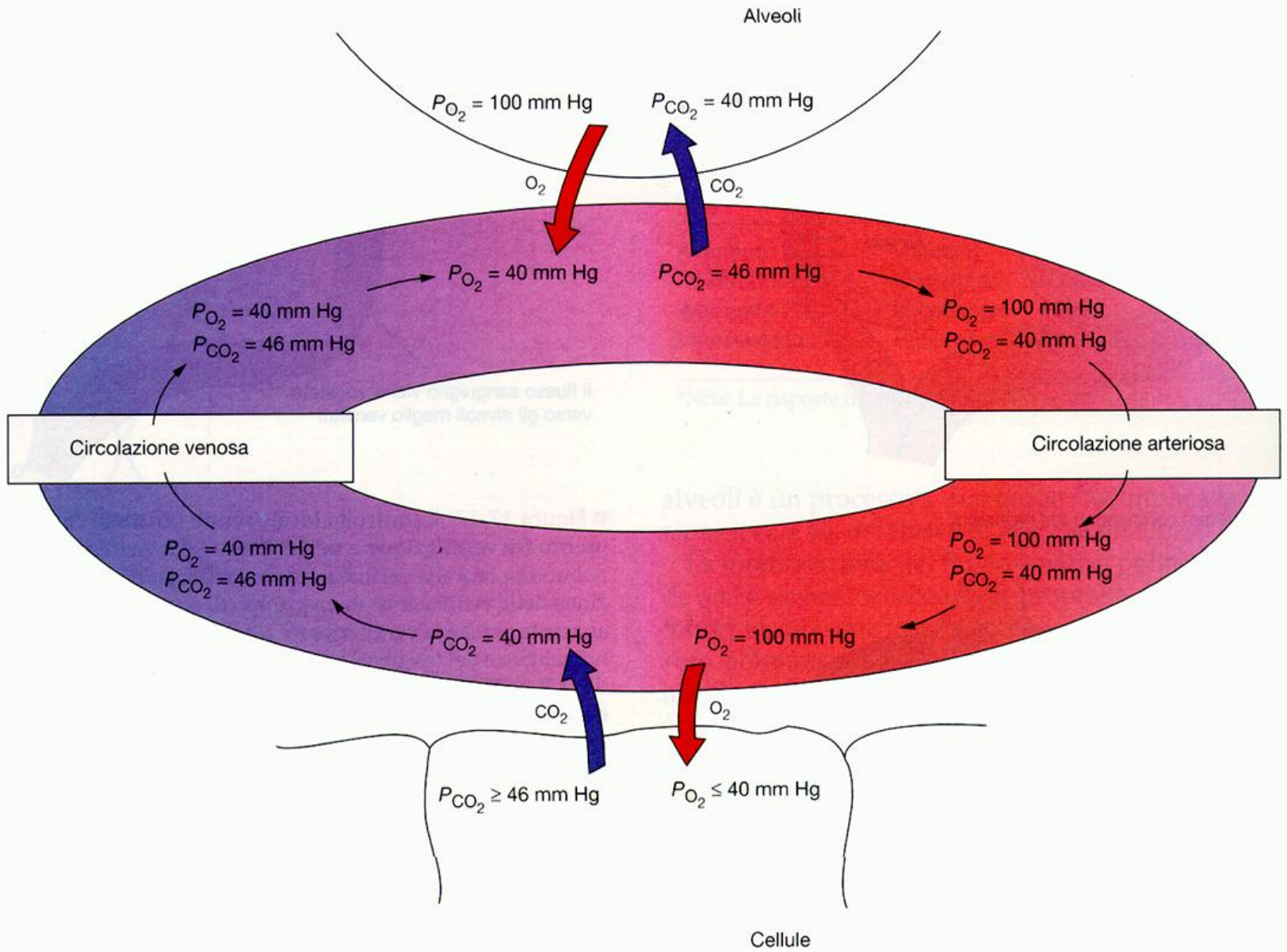
La ventilazione alveolare è accoppiata al flusso sanguigno alveolare. Il diametro dei bronchioli è controllato dalla P_{CO_2} : una diminuzione della P_{CO_2} determina broncocostrizione. La broncocostrizione determina abbassamento della P_{O_2} che induce vasocostrizione. Il flusso sanguigno si sposta verso regioni polmonari maggiormente ventilate. Se la P_{O_2} aumenta l'alveolo in questione è sovraventilato e quindi le arteriole devono dilatarsi per aumentare lo scambio sanguigno.



(a)



(b)

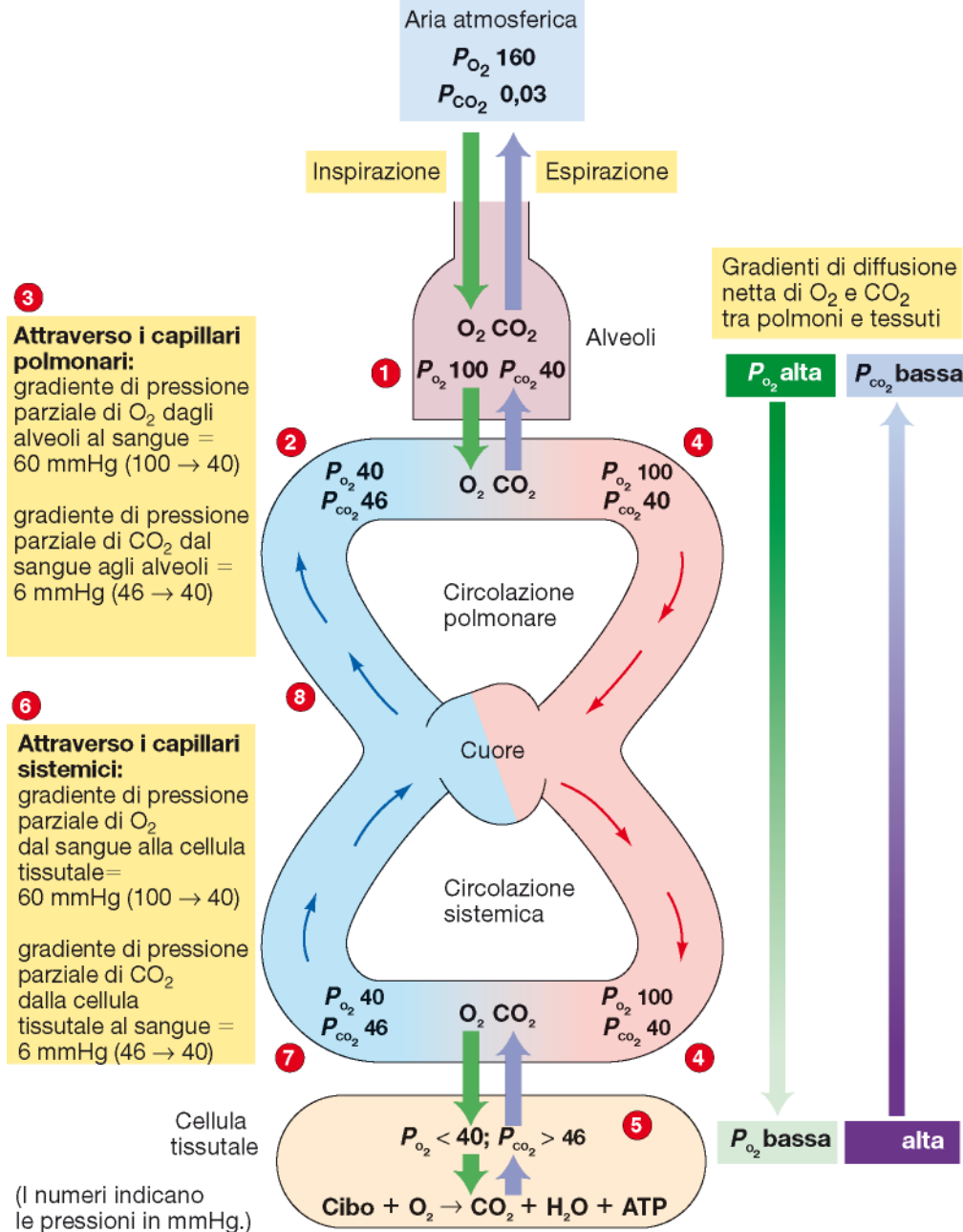


Lo scambio gassoso nei polmoni

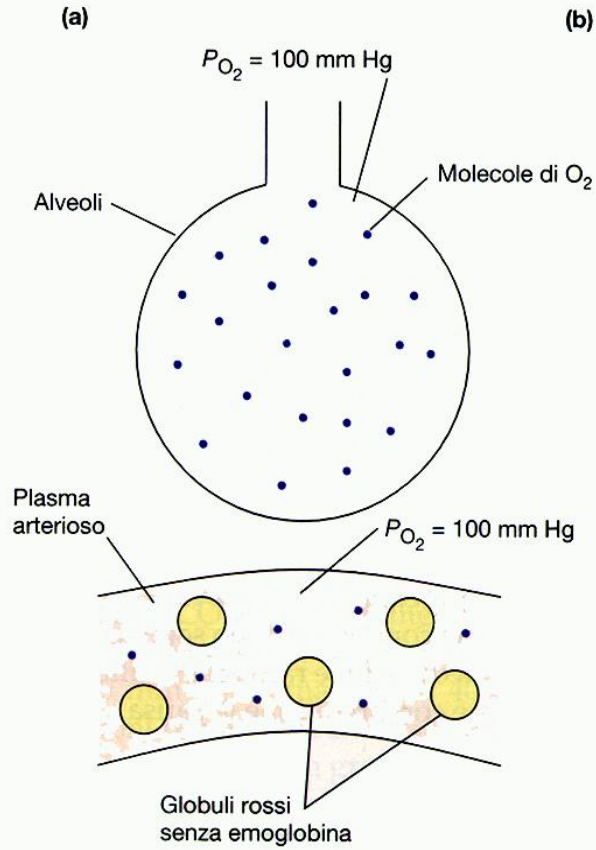
La diffusione dei gas tra alveoli e sangue obbedisce alle regole della diffusione semplice:

- La velocità di diffusione attraverso le membrane è direttamente proporzionale al gradiente di pressione di pressione parziale.
- La velocità di diffusione attraverso le membrane è direttamente proporzionale all'area di scambio disponibile
- La velocità di diffusione attraverso le membrane è inversamente proporzionale allo spessore della membrana
- La diffusione è molto rapida sulla breve distanza

Ricordiamoci anche **i gas si spostano da un'area ad alta pressione verso un'area a bassa pressione.**



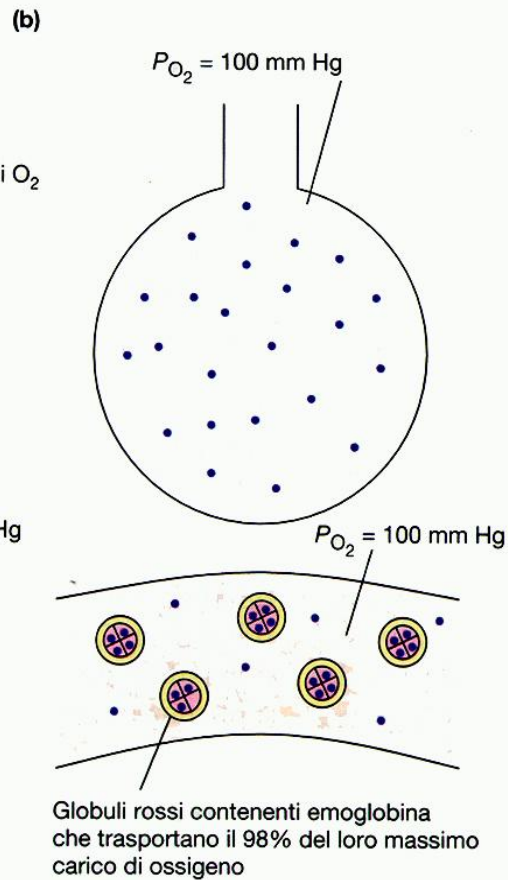
- 1 La P_{O_2} alveolare resta relativamente alta e la P_{CO_2} rimane relativamente bassa perché durante ogni atto respiratorio una parte dell'aria alveolare viene scambiata con aria atmosferica nuova.
- 2 In contrasto, il sangue venoso sistemico che entra nei polmoni è relativamente povero di O_2 ed è ricco di CO_2 , avendo ceduto O_2 e captato CO_2 a livello dei capillari sistemici.
- 3 Pertanto, tra l'aria alveolare e il sangue dei capillari polmonari si stabiliscono gradienti di pressione parziale che promuovono la diffusione passiva di O_2 nel sangue e di CO_2 fuori dal sangue finché la pressione parziale ematica e la pressione parziale alveolare non sono diventate uguali.
- 4 Il sangue che esce dai polmoni ha quindi un contenuto relativamente alto di O_2 e basso di CO_2 . Il sangue viene distribuito ai tessuti con lo stesso contenuto di gas ematici che aveva quando è uscito dai polmoni.
- 5 La pressione parziale di O_2 è relativamente bassa e quella di CO_2 è relativamente alta nelle cellule tissutali che consumano O_2 e producono CO_2 .
- 6 Di conseguenza, a livello dei tessuti, i gradienti di pressione parziale per lo scambio dei gas favoriscono il movimento passivo di O_2 dal sangue alle cellule, che permette di sostenere le loro richieste metaboliche; inoltre, promuovono il simultaneo trasferimento di CO_2 dalle cellule al sangue.
- 7 Essendo giunto all'equilibrio con le cellule, il sangue che esce dai tessuti ha un contenuto relativamente basso di O_2 e alto di CO_2 .
- 8 Il sangue torna quindi nei polmoni per ricaricarsi di O_2 e scaricare la CO_2 .



O_2 contenuto nel sangue = $3 \text{ mL } O_2/\text{L sangue}$

O_2 contenuto nei globuli rossi = 0

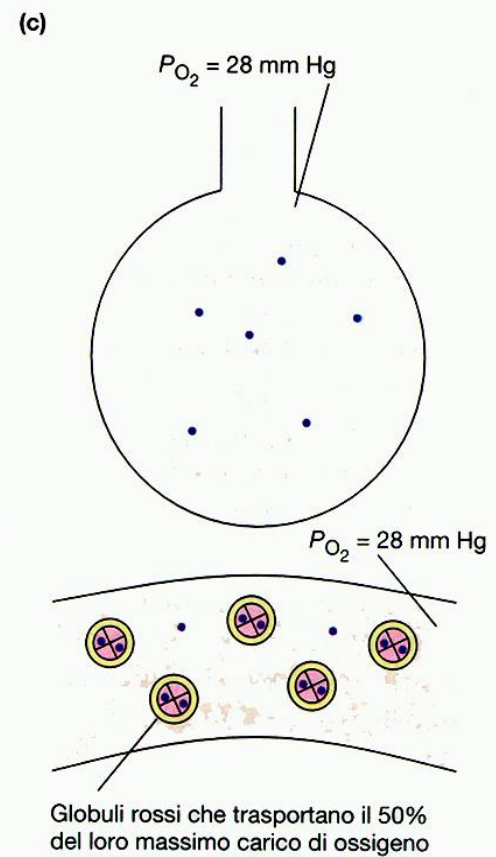
Capacità di trasporto totale dell'ossigeno = $3 \text{ mL } O_2/\text{L sangue}$



O_2 contenuto nel sangue = $3 \text{ mL } O_2/\text{L sangue}$

O_2 contenuto nei globuli rossi = $197 \text{ mL } O_2/\text{L sangue}$

Capacità di trasporto totale dell'ossigeno = $200 \text{ mL } O_2/\text{L sangue}$



O_2 contenuto nel sangue = $0,8 \text{ mL } O_2/\text{L sangue}$

O_2 contenuto nei globuli rossi = $99,5 \text{ mL } O_2/\text{L sangue}$

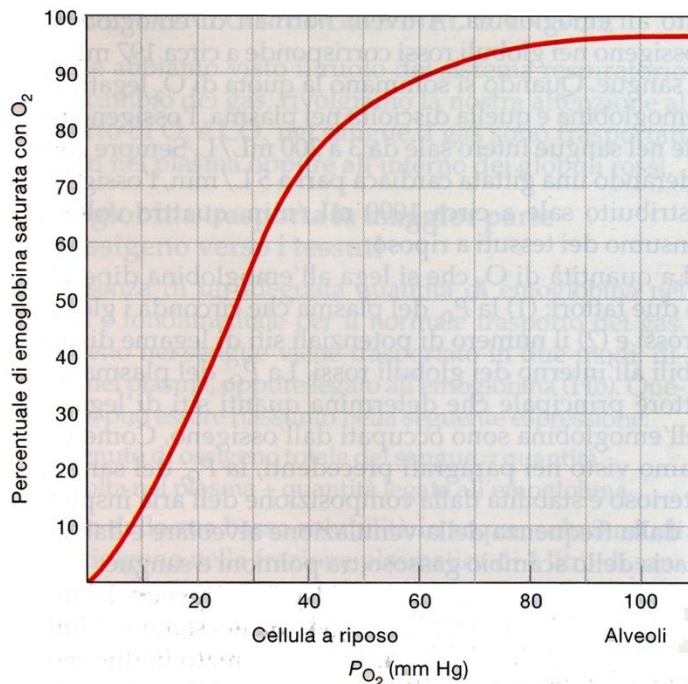
Capacità di trasporto totale dell'ossigeno = $100,3 \text{ mL } O_2/\text{L sangue}$

Curva di dissociazione O₂/emoglobina

Il fatto che la curva ai livelli più elevati si appiattisce indica che il livello alveolare della P_{O₂} può scendere significativamente senza influenzare di molto la saturazione dell'emoglobina stessa.

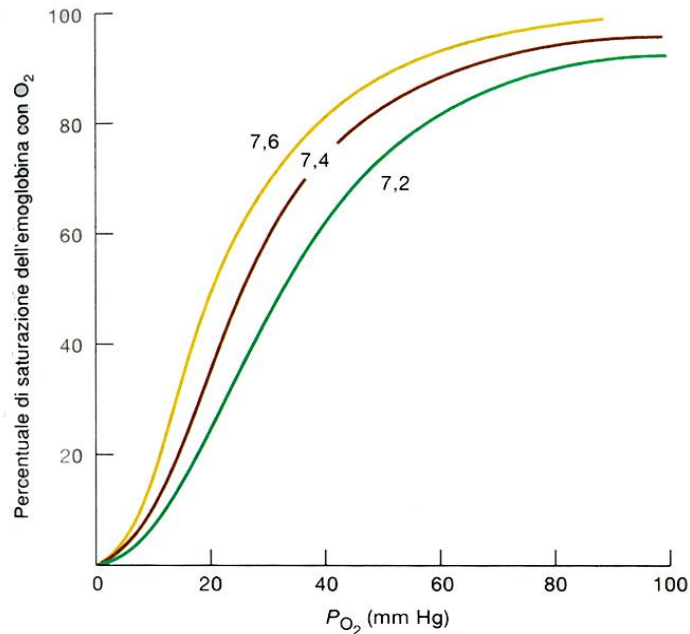
Quando la P_{O₂} scende sotto i 60 mm Hg allora la curva diventa molto più ripida: a questo punto piccole variazioni della P_{O₂} causano variazioni consistenti nella capacità dell'emoglobina di

rilasciare l'ossigeno. Ad una P_{O₂}=40 mm Hg (valore delle cellule a riposo) l'emoglobina è ancora satura al 75% e rilascia solo 1/4 dell'ossigeno trasportato: questo rappresenta la capacità di riserva dell'organismo. A questo punto una diminuzione del 20% della P_{O₂} (P_{O₂}=20 mm Hg, valori raggiunti dal muscolo sotto sforzo) causerà il rilascio di un addizionale 40% di ossigeno da parte dell'emoglobina.

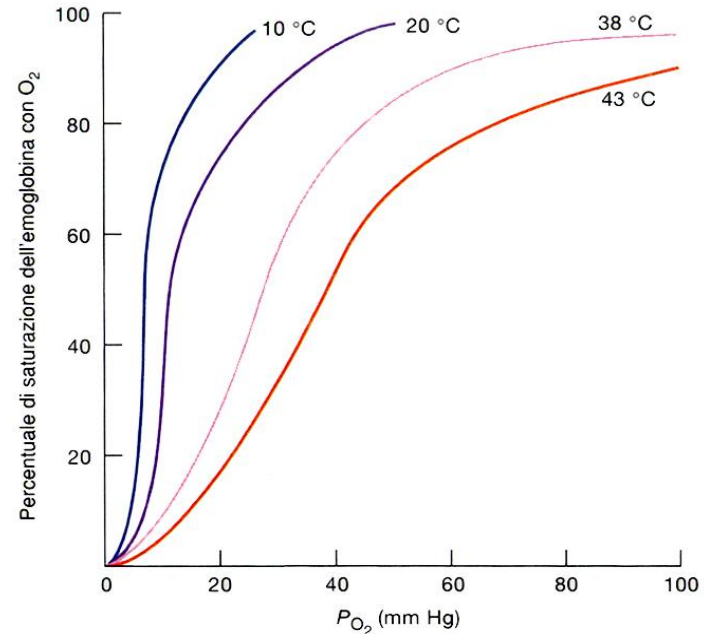


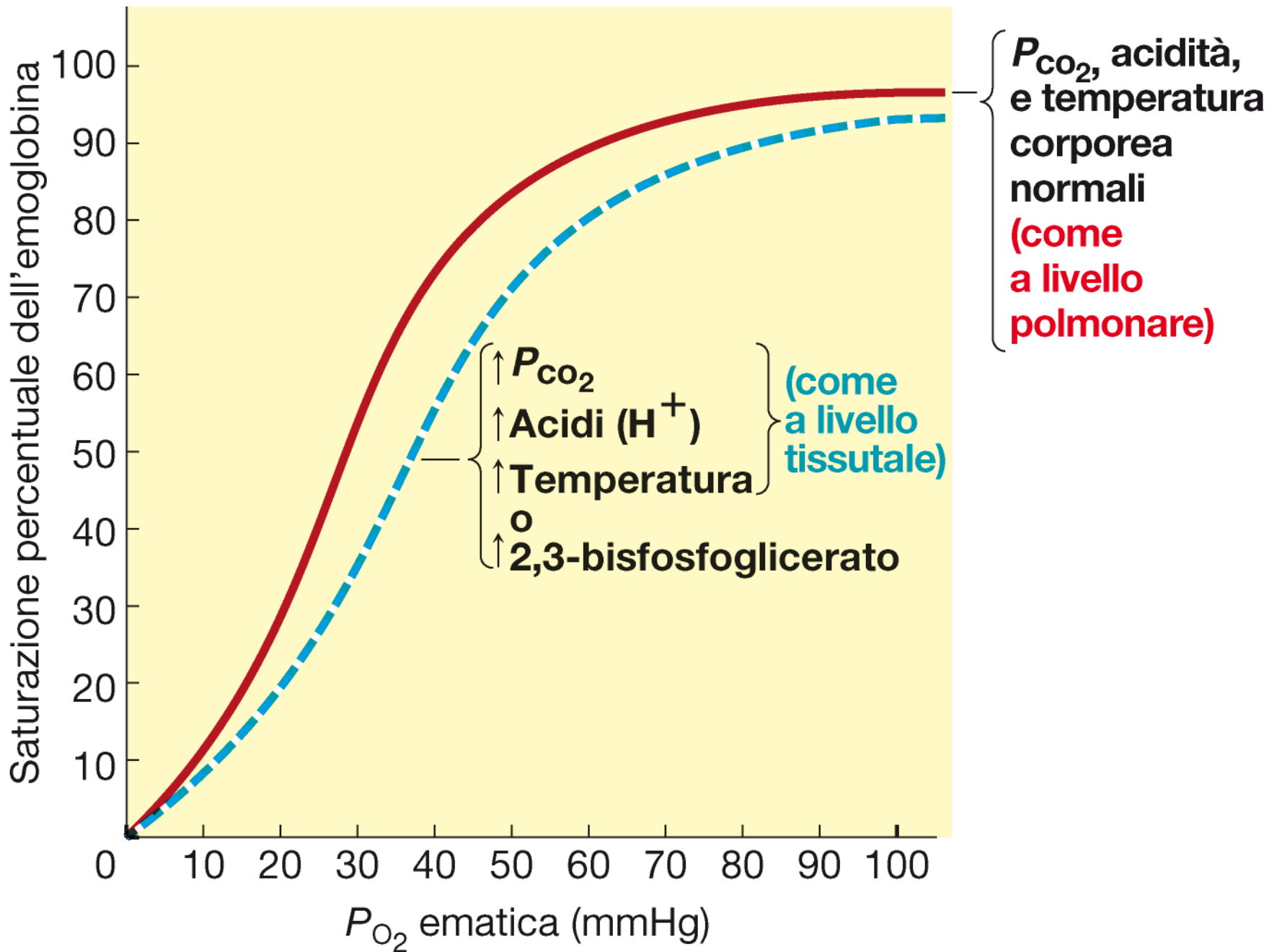
pH e temperatura (e anche P_{CO_2}) influenzano il legame tra ossigeno e emoglobina. Gli aumenti di temperatura, P_{CO_2} e $[H^+]$ diminuiscono l'affinità delle molecole di emoglobina per l' O_2 e quindi aumentano il rilascio di ossigeno a livello dei tessuti. Il pH a riposo è di ~ 7.4 : l'esercizio fisico in condizioni di anaerobiosi genera un abbassamento del pH fino a valori di ~ 7.2 . Lo spostamento della curva di saturazione dell'emoglobina derivante dal cambiamento di pH è noto come effetto Bohr.

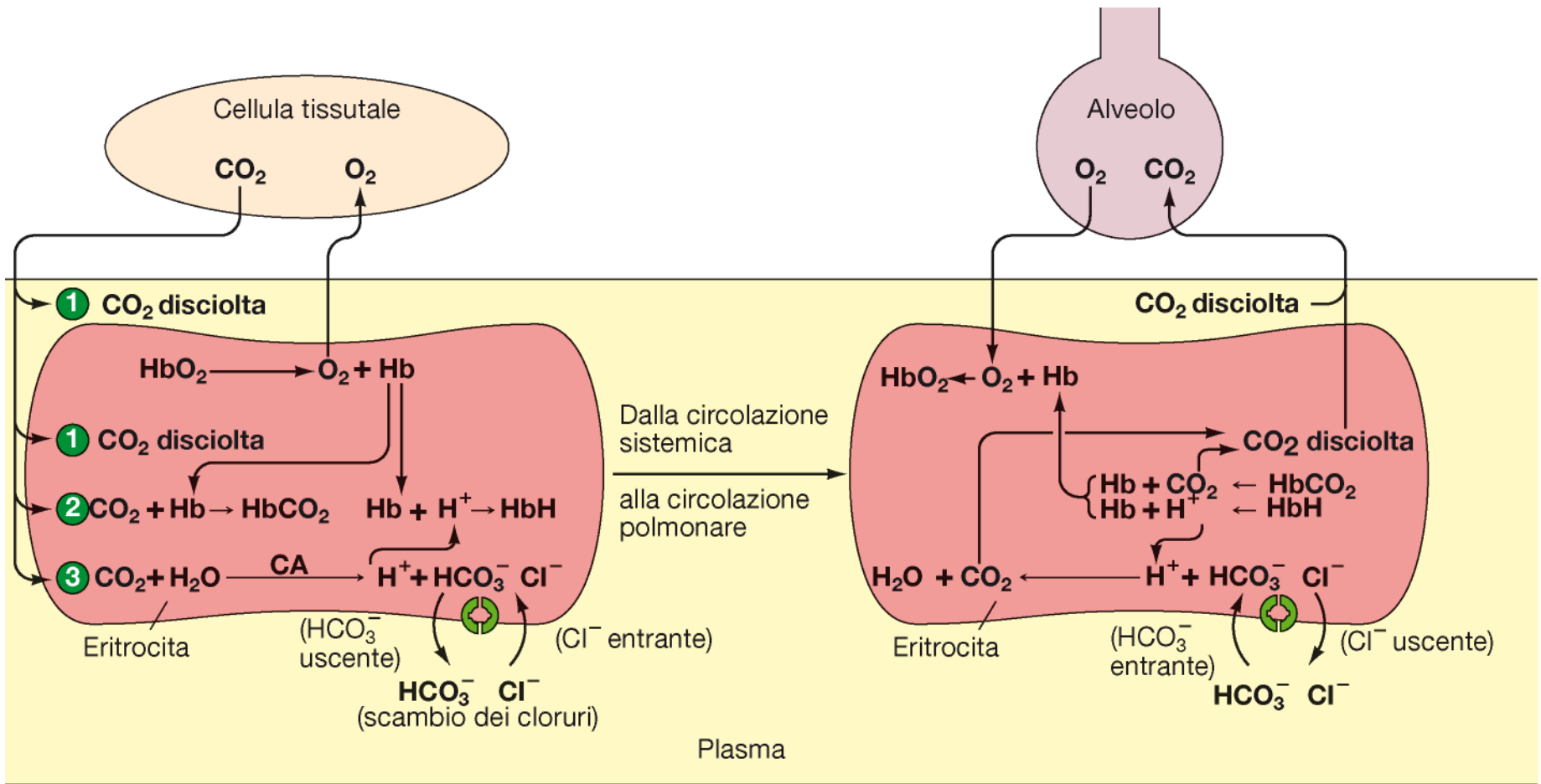
(a) Effetto del pH



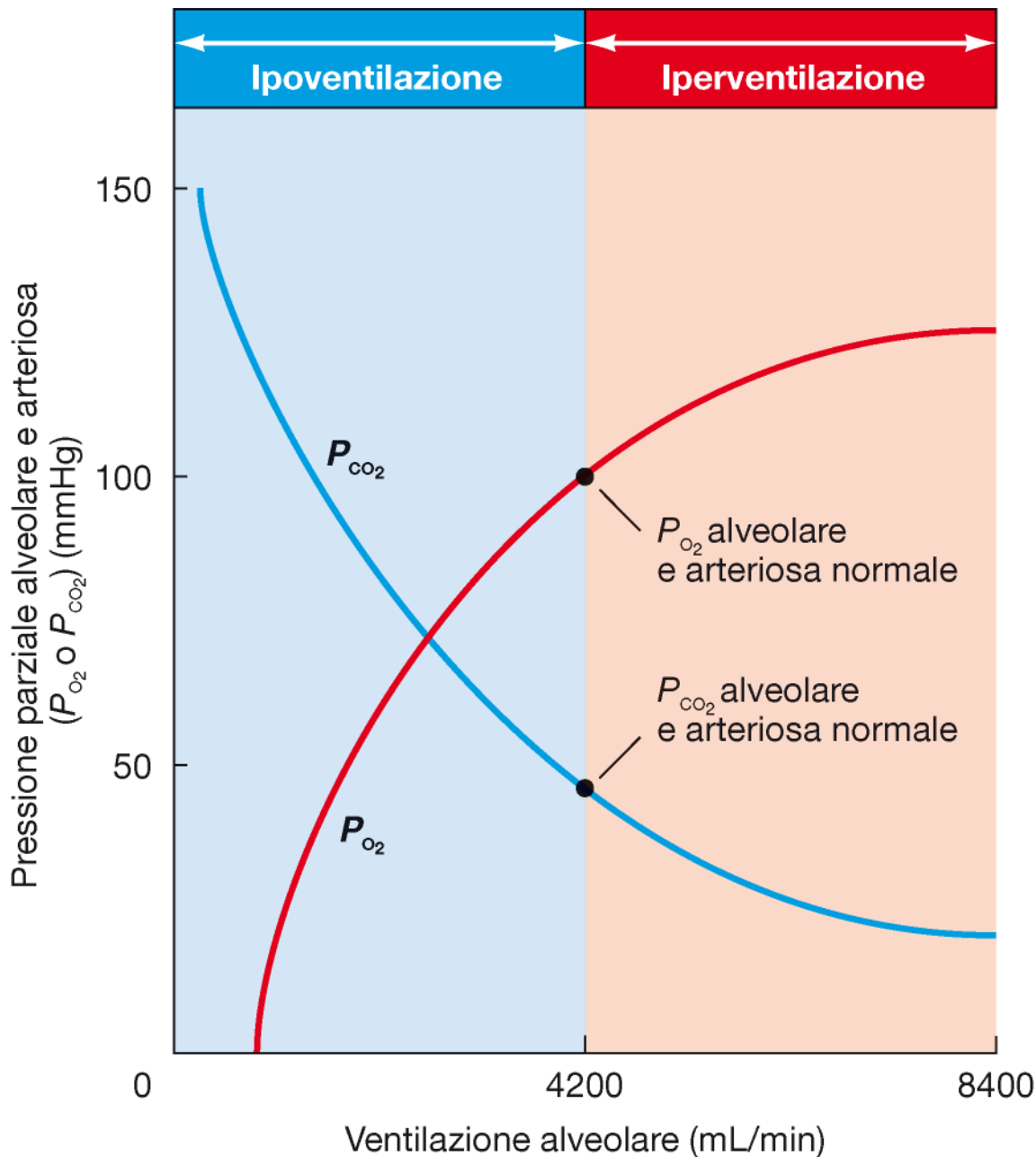
(b) Effetto della temperatura





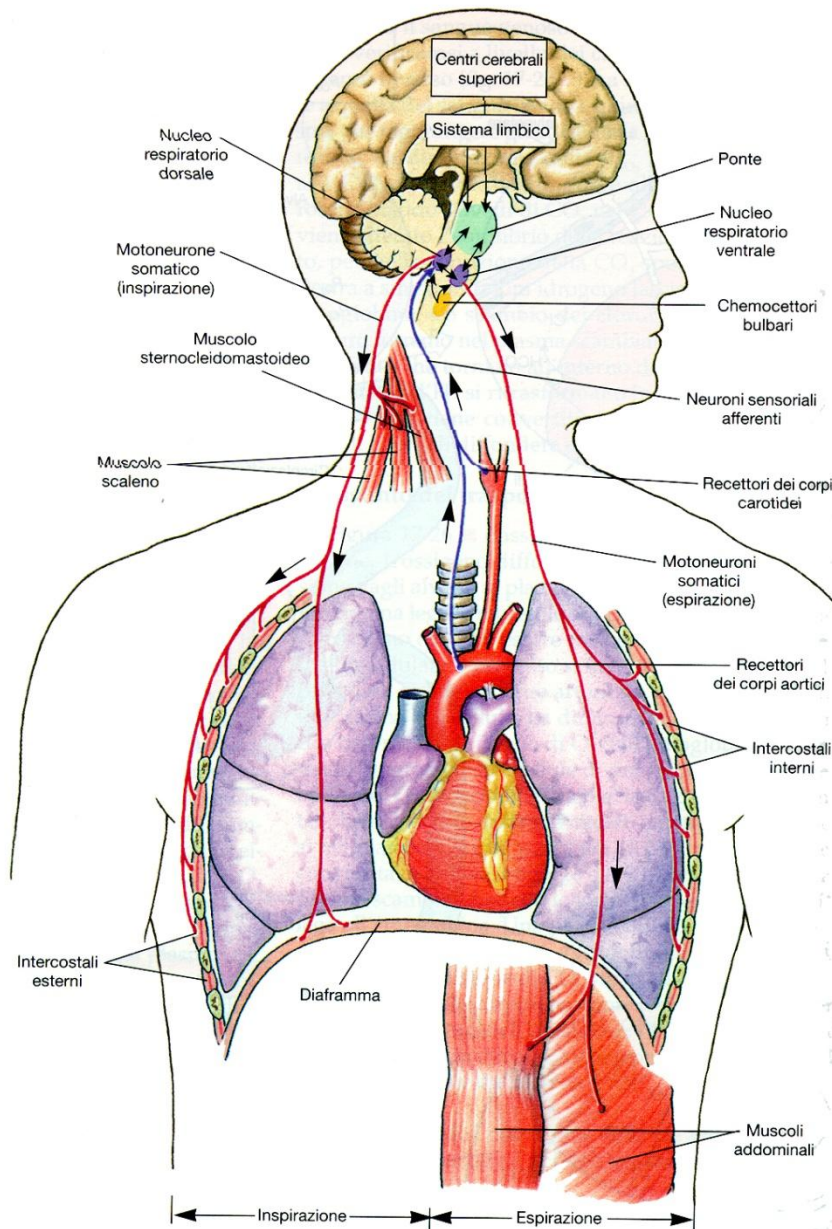


CA = anidraasi carbonica



Effetto della ventilazione sulle pressioni alveolari parziali di O_2 e CO_2 . In condizioni normali le pressioni parziali di O_2 e CO_2 sono rispettivamente di 100 e 40 mmHg. L'iperventilazione porta all'innalzamento della prima e all'abbassamento della seconda; l'ipoventilazione ha l'effetto inverso.

Controllo riflesso della ventilazione



La ventilazione è un processo ritmico che avviene in assenza di pensiero cosciente, simile quindi al battito cardiaco. In realtà i muscoli respiratori sono scheletrici e sono innervati da motoneuroni somatici. Neuroni di controllo sono localizzati nel bulbo e nel ponte. Si ritiene che la ritmicità derivi da una rete neuronale con potenziali di membrana instabili.

