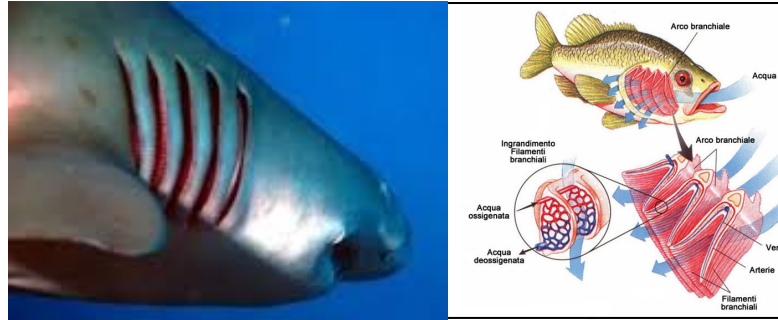


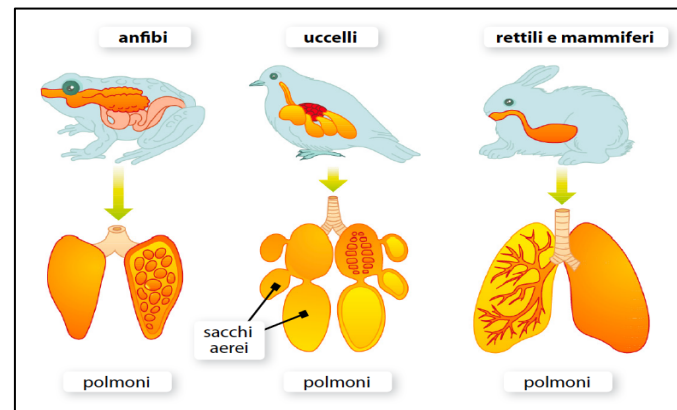
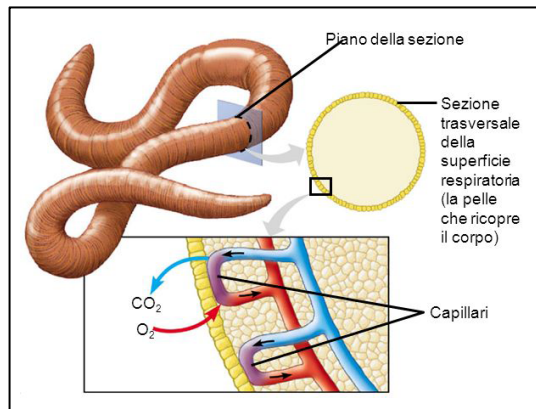
# La respirazione

Fonte di gas respiratori e strategie respiratorie:

- **acqua** (organi respiratori: branchie esterne o interne)

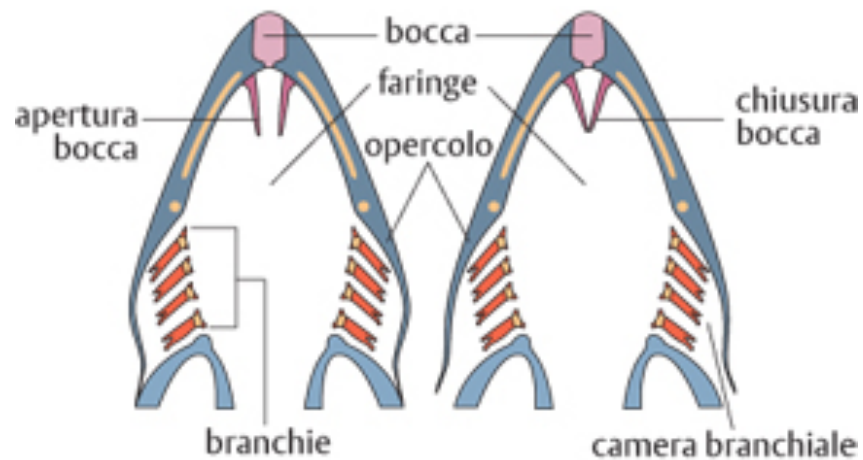
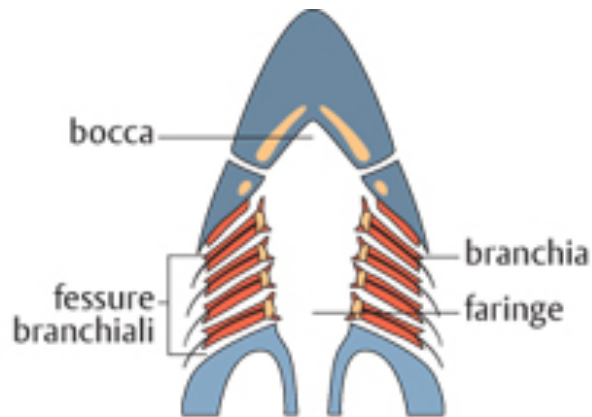


- **aria** (organi respiratori: cute o polmoni)



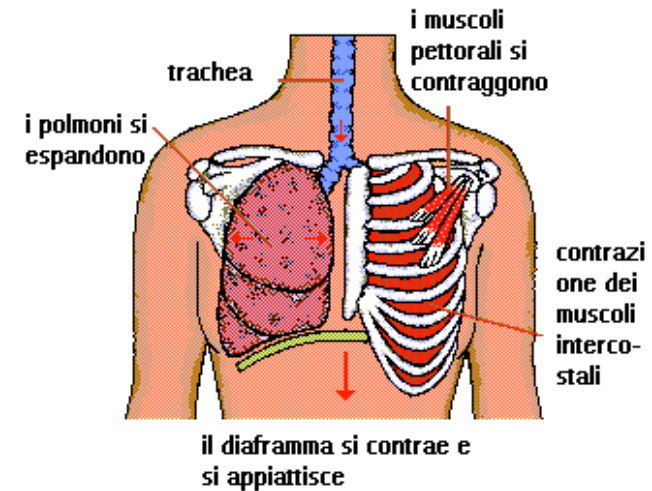
# La muscolatura respiratoria

muscoli natatori  
(respirazione dinamica)

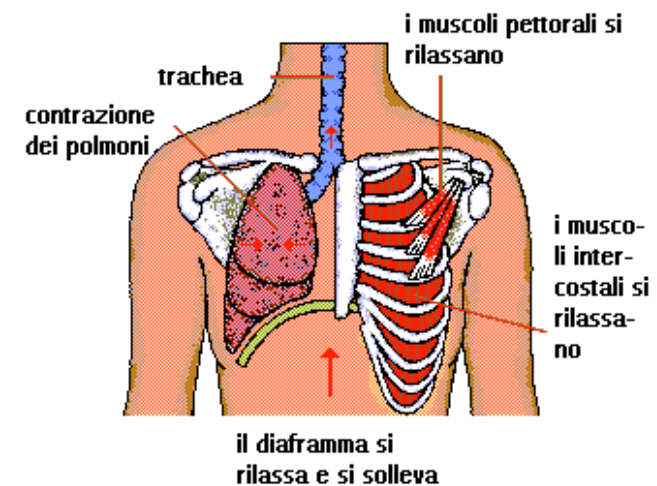


muscoli della cavità orale e opercolare

INSPIRAZIONE

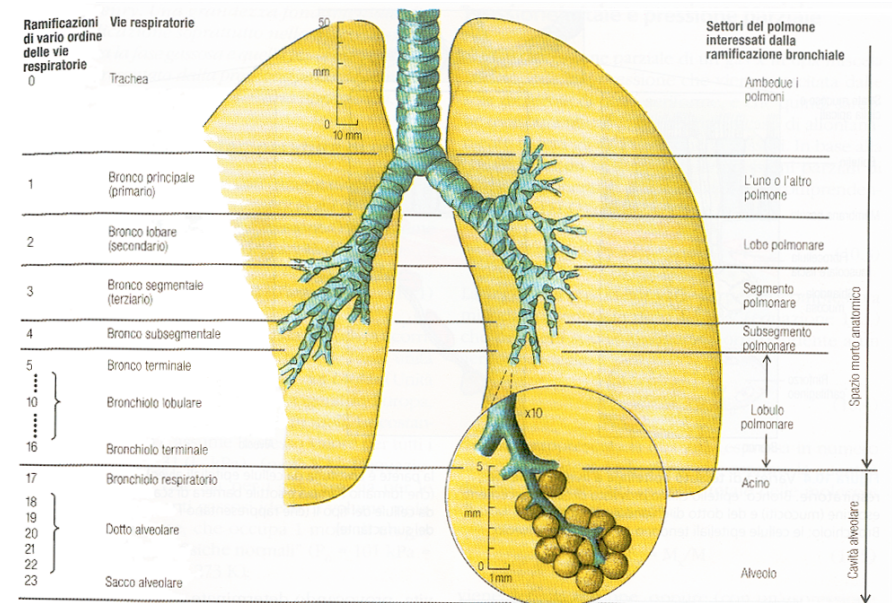
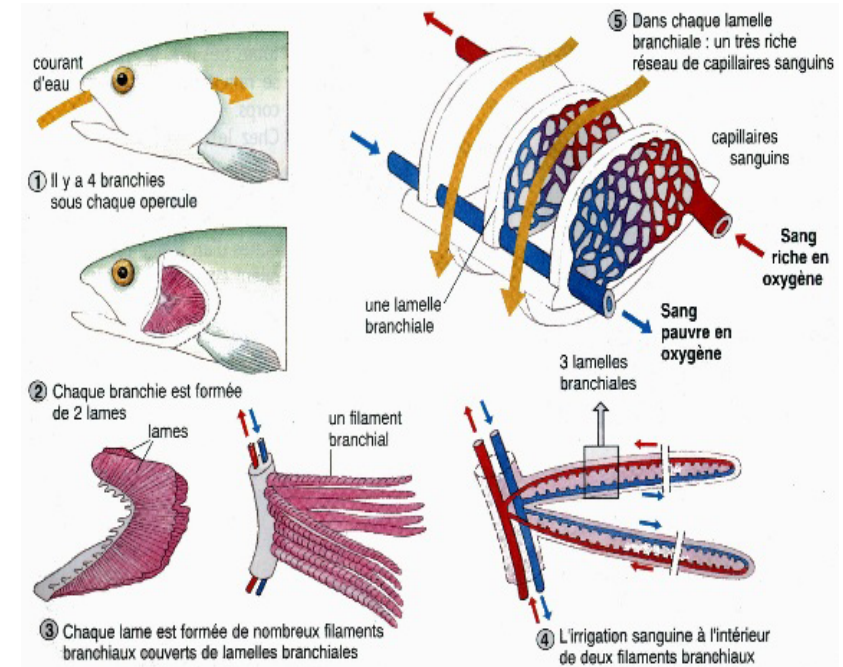


ESPIRAZIONE

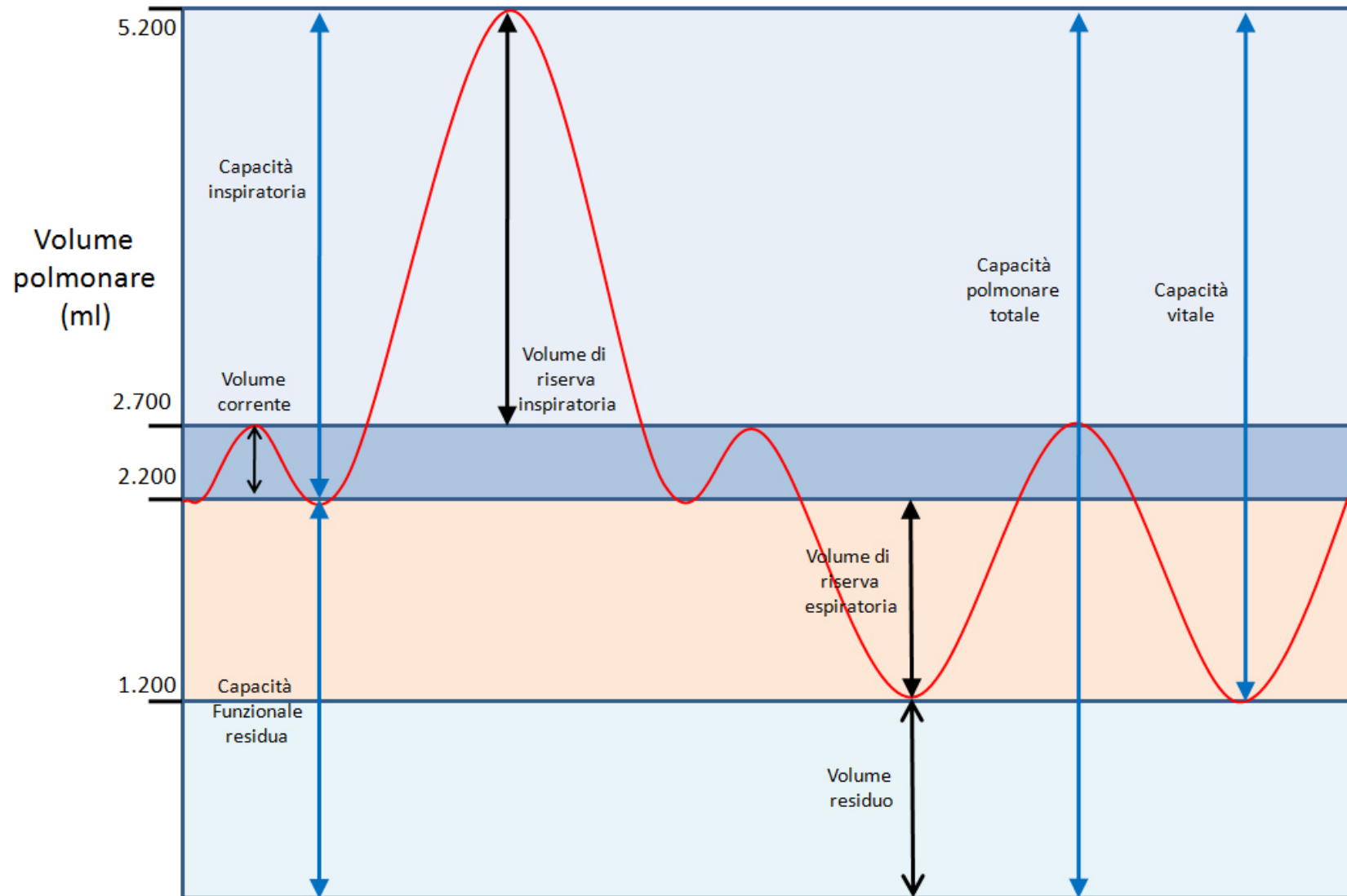


# Anatomia degli organi respiratori:

## 1. aumentare la superficie di scambio



# I volumi polmonari nell'uomo





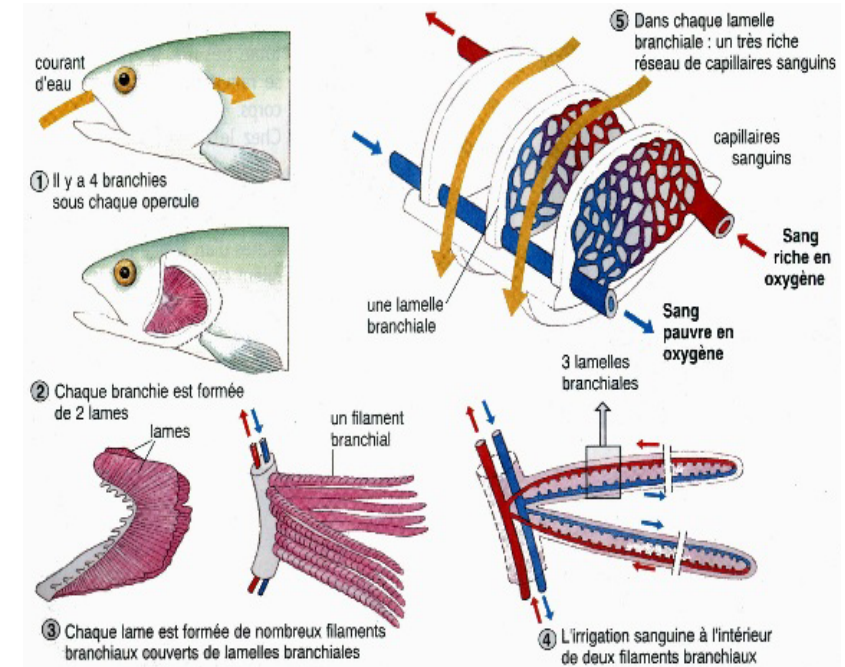
# Anatomia degli organi respiratori:

## 2. modificare la composizione dell'aria

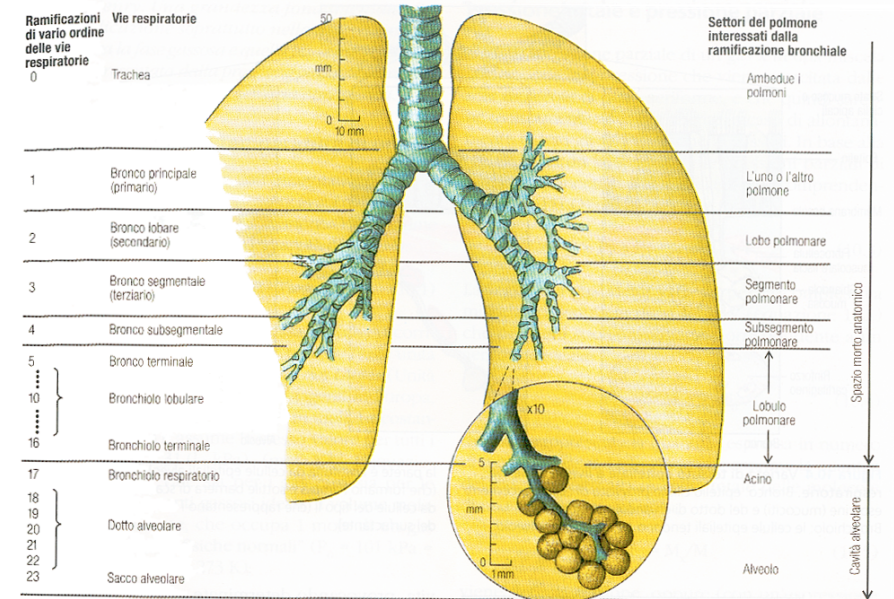
a. umidificazione

b. filtrazione

c. riscaldamento

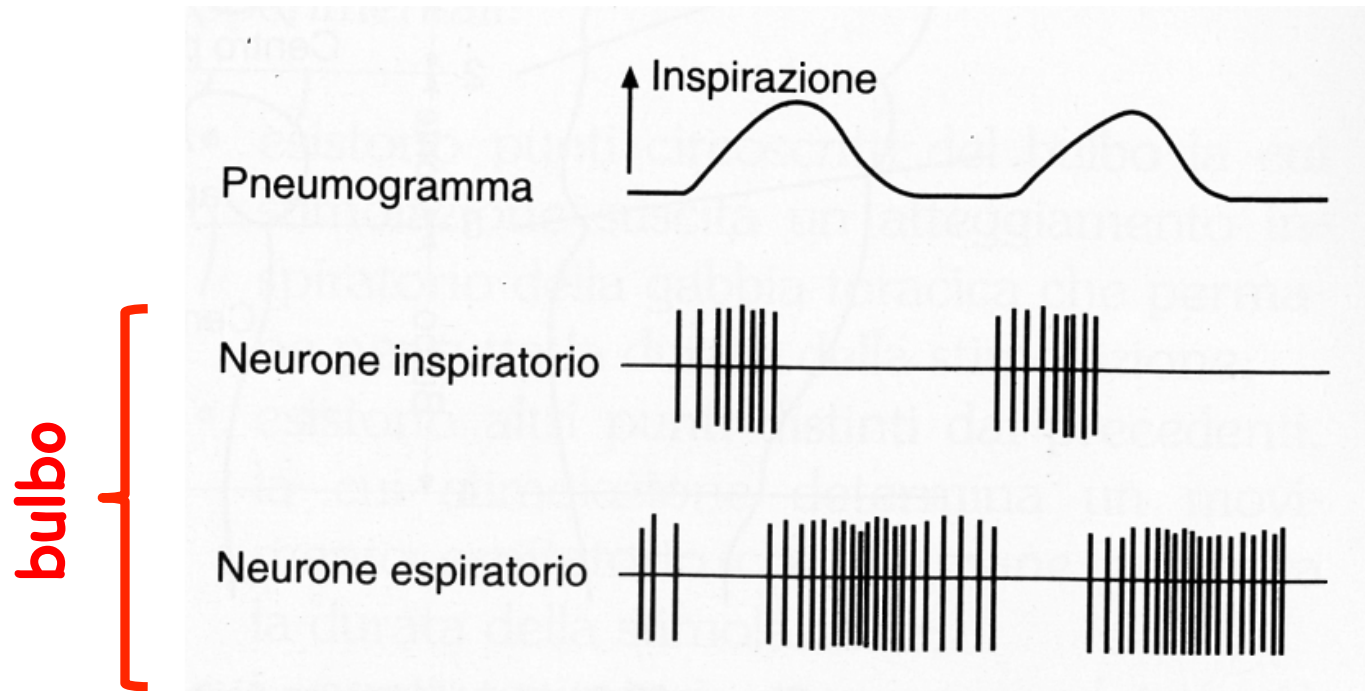


| Gas              | Aria ambiente o atmosferica |                 | Aria nella trachea |                 | Aria alveolare |                 |
|------------------|-----------------------------|-----------------|--------------------|-----------------|----------------|-----------------|
|                  | mmHg                        | %               | mmHg               | %               | mmHg           | %               |
| O <sub>2</sub>   | 158                         | (20.79)         | 149                | (19.61)         | 100            | (13.16)         |
| CO <sub>2</sub>  | 0.3                         | (0.04)          | 0.3                | (0.04)          | 40             | (5.26)          |
| H <sub>2</sub> O | 5.7                         | (0.75)          | 47.0               | (6.18)          | 47             | (6.18)          |
| N <sub>2</sub>   | 596                         | (78.42)         | 563.7              | (74.17)         | 573            | (75.39)         |
| <b>Totali</b>    | <b>760</b>                  | <b>(100.00)</b> | <b>760</b>         | <b>(100.00)</b> | <b>760</b>     | <b>(100.00)</b> |



L'attività dei neuroni inspiratori accompagna la fase inspiratoria  
l'attività dei neuroni espiratori la fase espiratoria

---

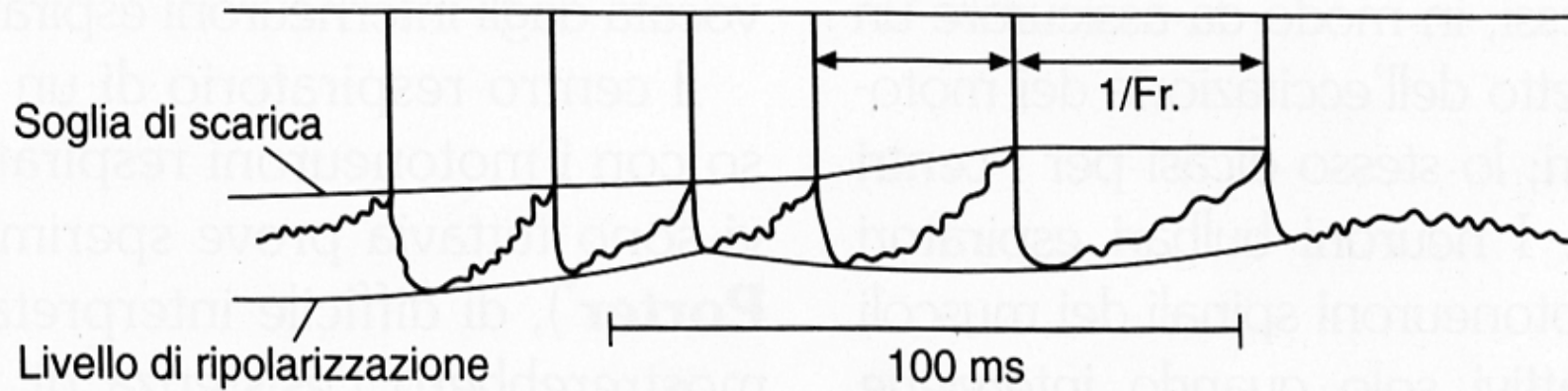


**Figura 69-3** Registrazione contemporanea della scarica di impulsi da due neuroni respiratori bulbari (due tracciati inferiori) e dello pneumogramma (tracciato superiore, inspirazione verso l'alto).

N.B.

Alcuni centri nervosi responsabili della regolazione del respiro si trovano anche nel ponte

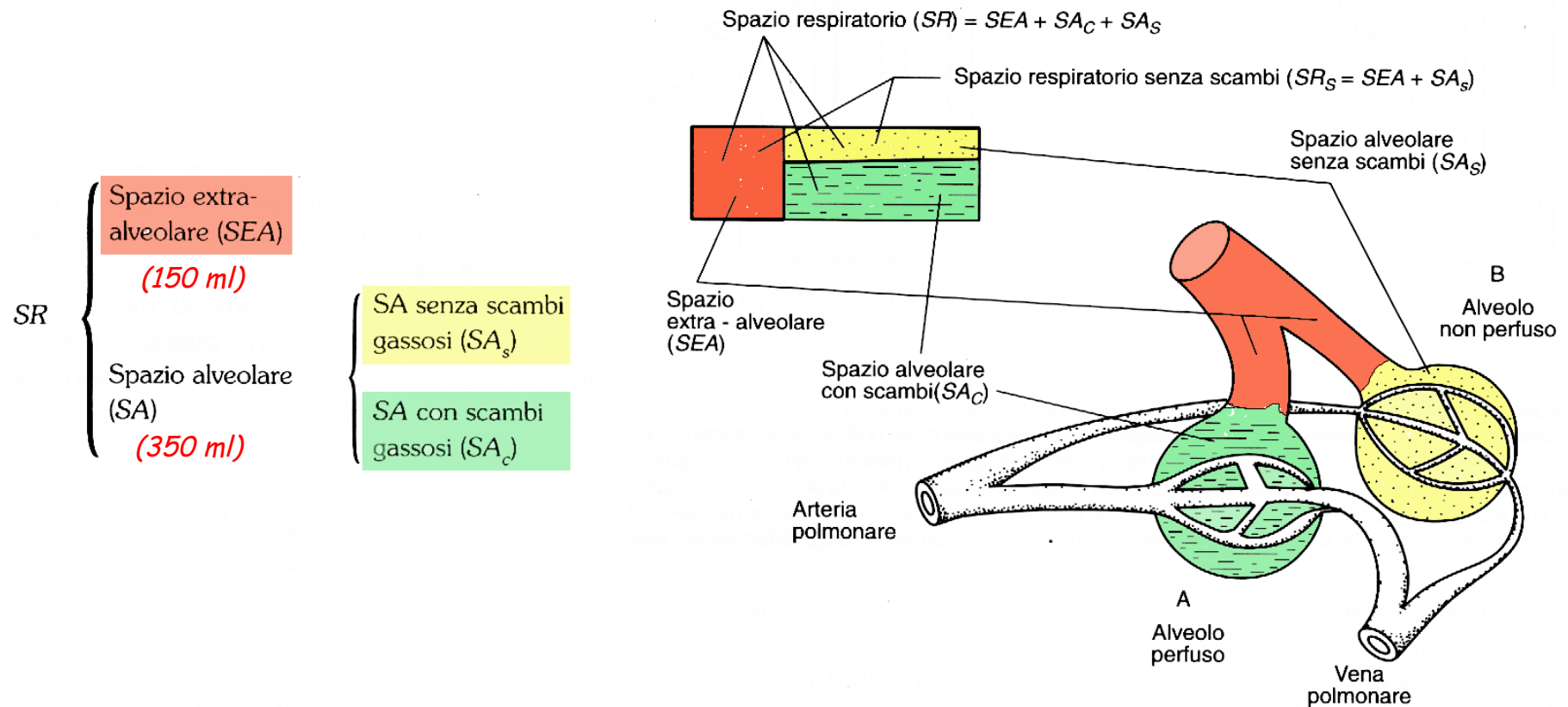
## I motoneuroni inspiratori sono dotati di automatismo



**Figura 69-4** Potenziali d'azione, registrati mediante microelettrodo intracellulare, di un singolo neurone inspiratorio bulbare. Si noti come ogni potenziale d'azione sia provocato da una depolarizzazione graduale (pre-potenziale). La frequenza di scarica rallenta quando la soglia di scarica s'innalza: se l'innalzamento è notevole, il pre-potenziale non riesce più a raggiungere il livello della soglia (*vedi* ultimo pre-potenziale, a destra) e la scarica del neurone si interrompe. Per i neuroni inspiratori tale processo è responsabile dell'interruzione dell'attività inspiratoria e dell'inizio della fase espiratoria. Il mancato raggiungimento della soglia di scarica dei neuroni inspiratori è spesso dovuto a influenze inibitrici di neuroni a funzione espiratoria.

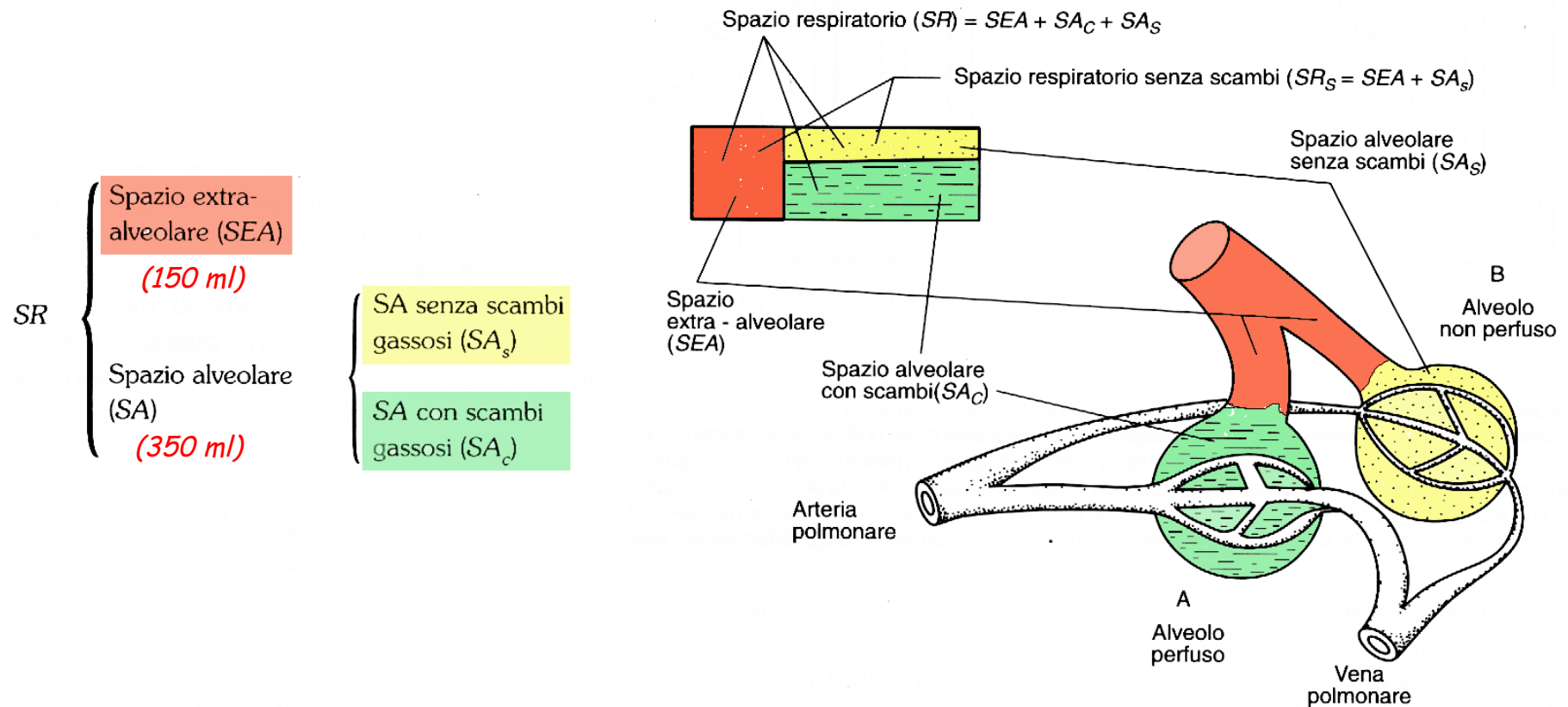


# Distribuzione dell'aria nello spazio respiratorio



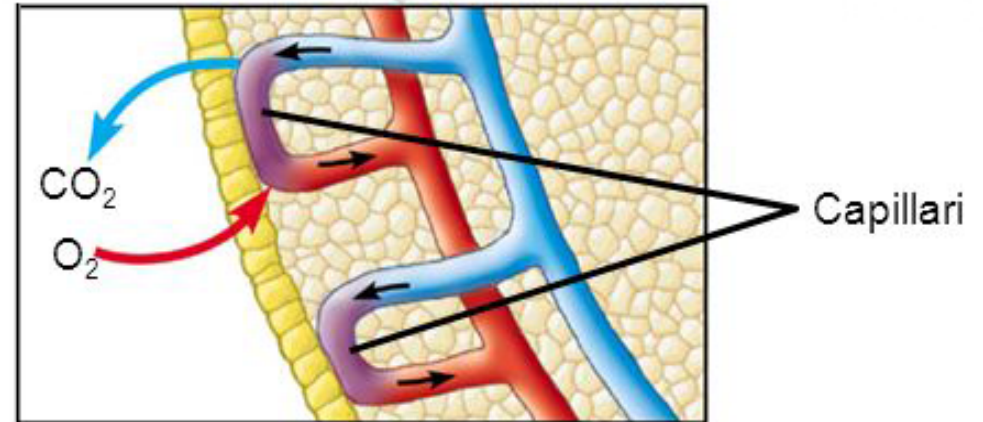


# Distribuzione dell'aria nello spazio respiratorio

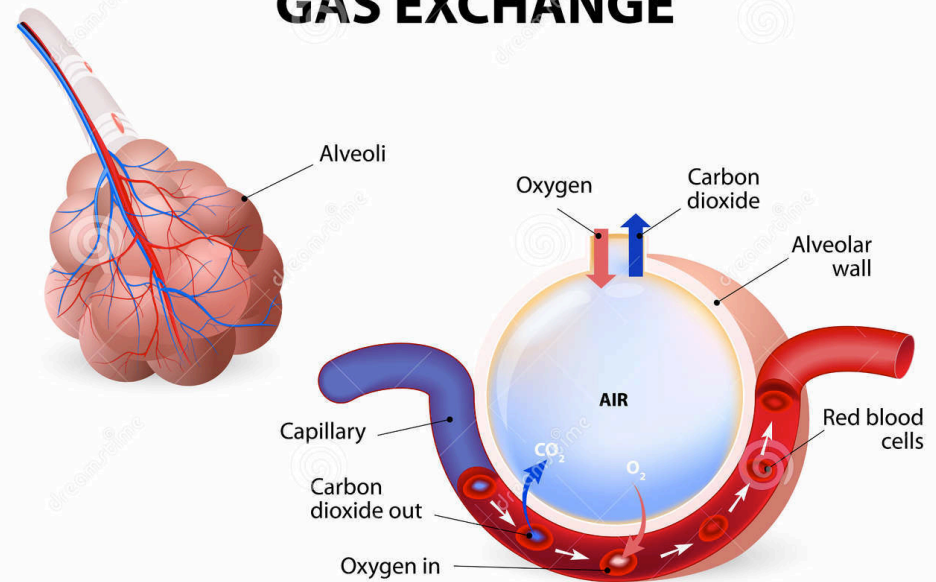


# La membrana respiratoria

avvicinare il più possibile  
il mezzo (acqua/aria) al sangue

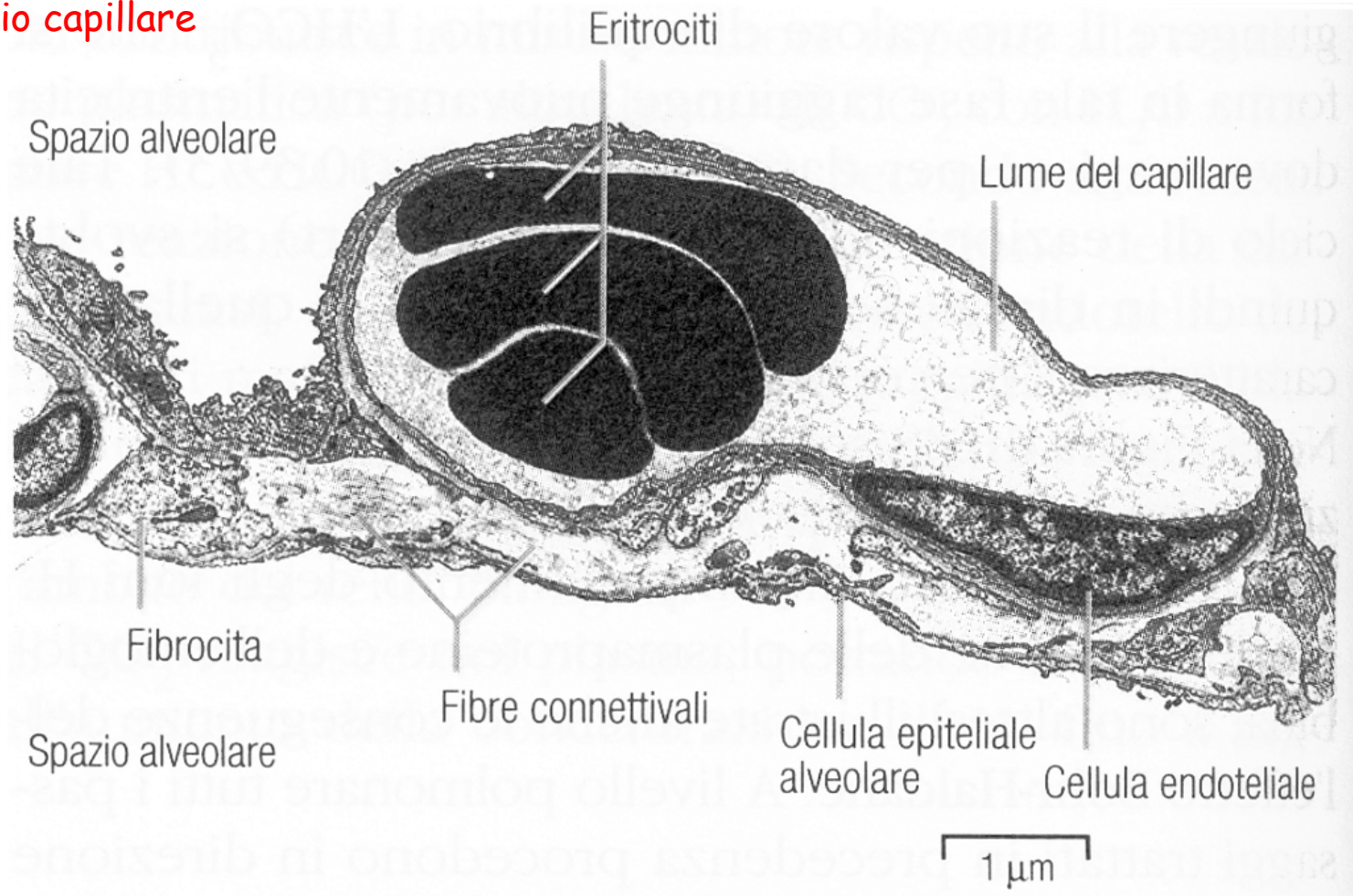


## ALVEOLUS GAS EXCHANGE

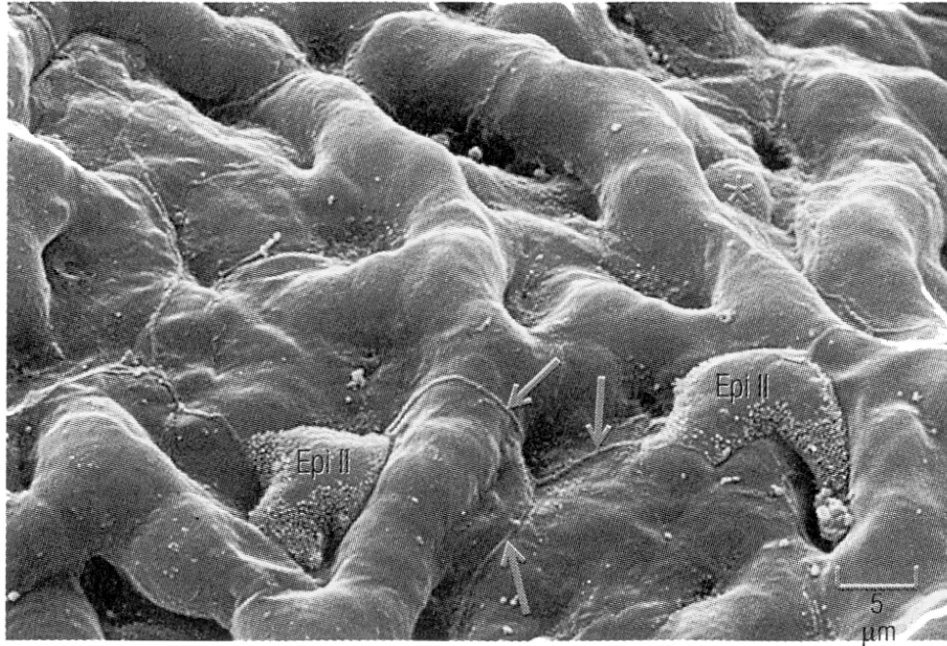


# La membrana respiratoria negli animali con polmoni

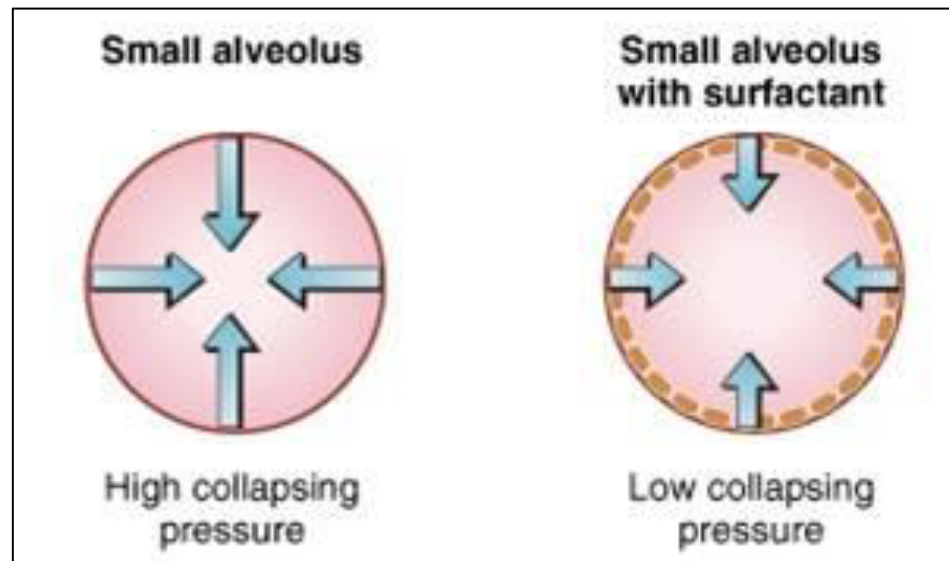
1. epitelio alveolare
2. strato connettivale
3. endotelio capillare



# L'epitelio alveolare



Cellule epiteliali di tipo I:  
*ruolo strutturale*



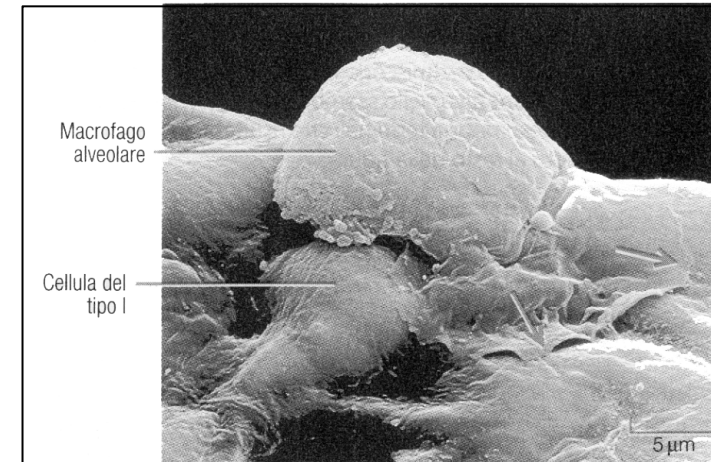
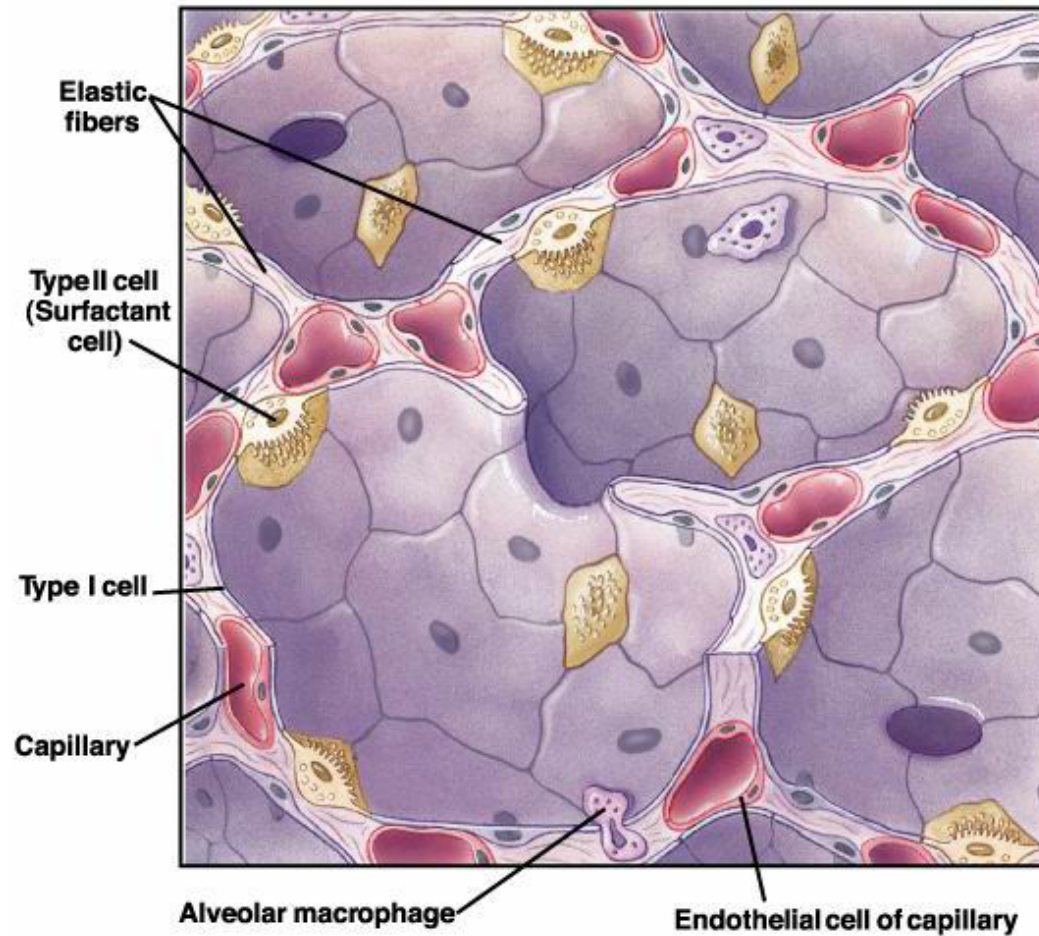
Cellule epiteliali di tipo II:  
*producono e secernono  
surfactante (o surfattante)*



# Ruolo dei macrofagi negli alveoli polmonari

## Alveolar structure

*The alveoli are composed of type I cells for gas exchange and type II cells that synthesize surfactant. Alveolar macrophages ingest foreign material that reaches the alveoli.*



**Figura 10.5 Un macrofago alveolare.** Questa cellula migrante si muove sulla superficie dell'epitelio alveolare estroflettendo una lamina citoplasmatica rivestita di plasmalemma (uno pseudopodio), e si sposta sul substrato nel senso indicato dalle frecce. Immagine al SEM (da [23]).

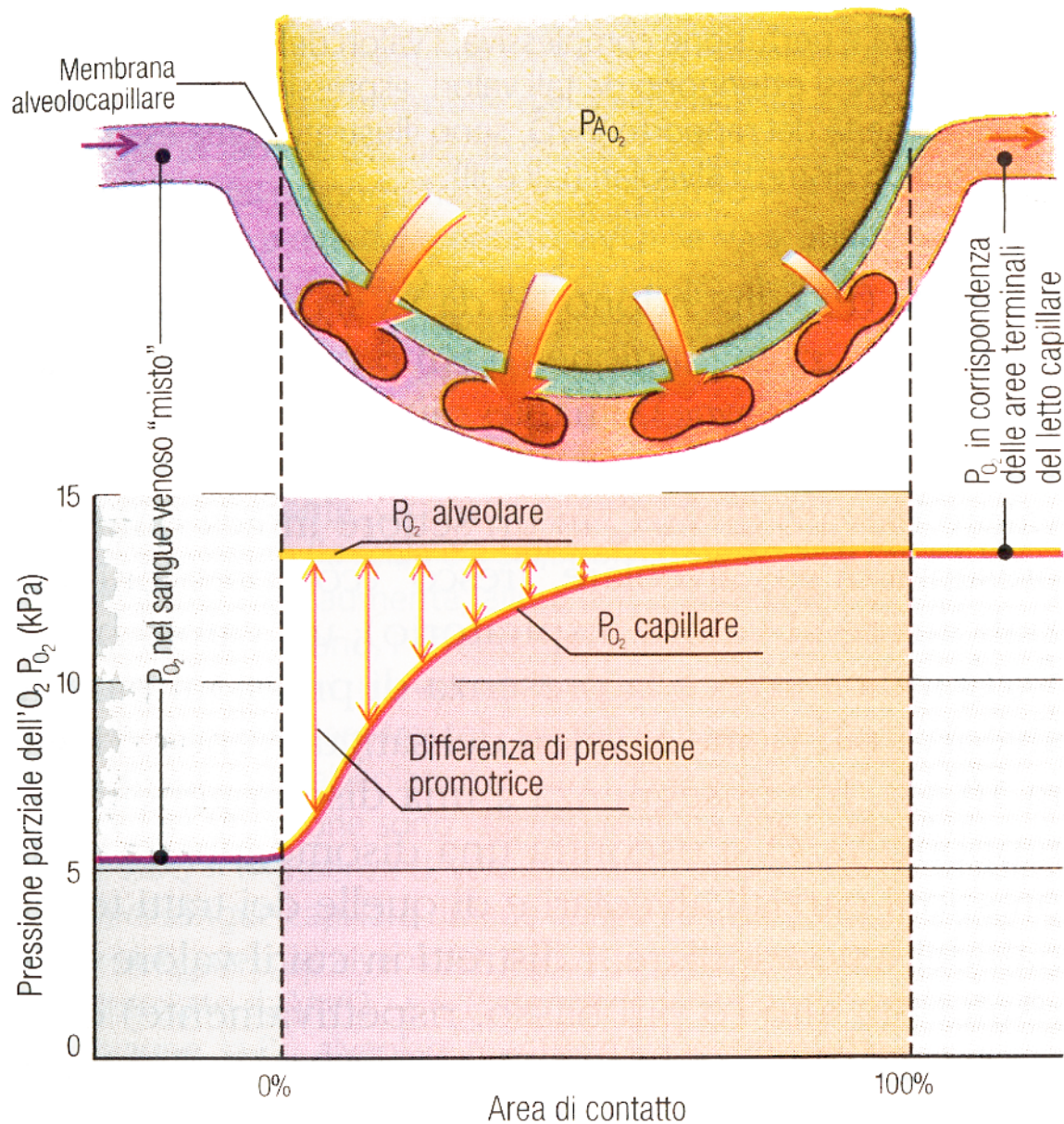
## I gradienti pressori dei gas respiratori

|            | Aria<br>alveolare<br>(mm Hg) | Sangue<br>venoso<br>(mm Hg) | Gradiente<br>alveolo-<br>capillare<br>(mm Hg) | Gradiente<br>capillare<br>alveolo<br>(mm Hg) |
|------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| $P_{O_2}$  | 100                          | 40                          | 60                                            | —                                            |
| $P_{CO_2}$ | 40                           | 46                          | —                                             | 6                                            |

**Tabella 66-4** Pressioni parziali e gradienti alveolo-capillari dei gas respiratori.

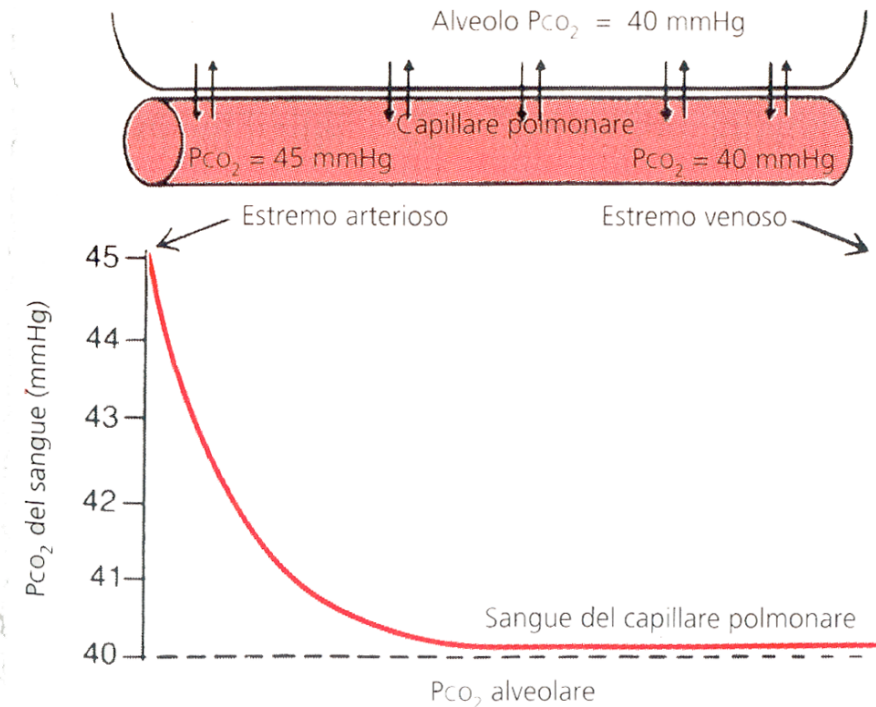
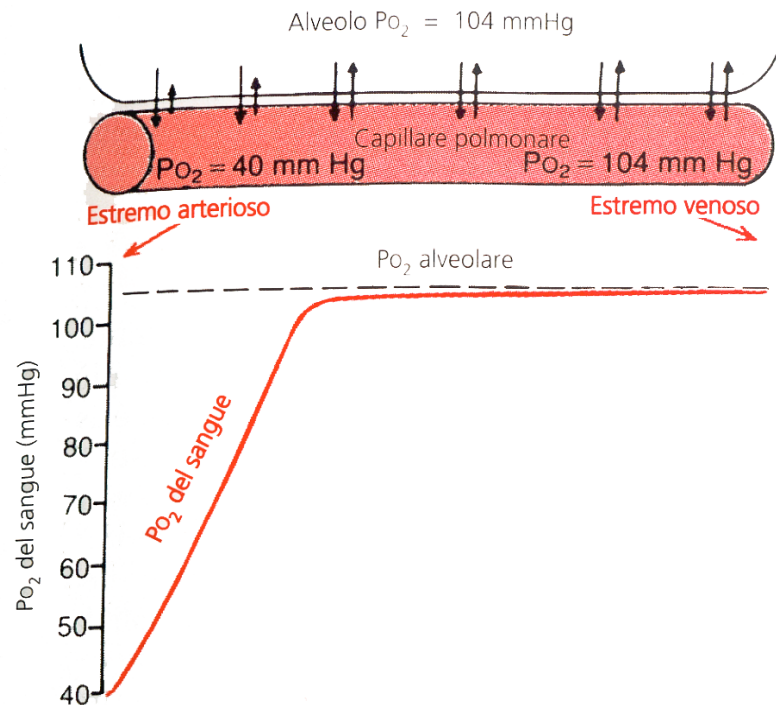


# La respirazione è basata sulla diffusione



**Figura 10.42** Il passaggio di  $O_2$  dal gas alveolare al sangue che scorre nei capillari del piccolo circolo. Nei tratti iniziali dei capillari la differenza di pressione promotrice risulta alta, ed elevate quantità di  $O_2$  diffondono attraverso la membrana alveolocapillare. In seguito all'assunzione dell' $O_2$ , lungo i capillari la  $P_{O_2}$  aumenta, abbassando quindi la differenza di pressione promotrice e, di conseguenza il flusso di diffusione. Il sangue che lascia i capillari terminali (quelli con cui si esaurisce il letto vascolare delle arterie polmonari) presenta praticamente la medesima  $P_{O_2}$  (e la medesima  $P_{CO_2}$ ) del gas alveolare. In condizioni normali la curva che esprime la tendenza dell'alveolo ad adeguarsi alla  $P_{O_2}$  capillare si avvicina a quella alveolare e decorre generalmente con pendenza maggiore rispetto a quella qui rappresentata; la differenza media della  $P_{O_2}$  alveolocapillare ammonta generalmente a un valore modesto, circa 1 kPa (si veda il testo).

# Gli scambi dei gas respiratori a livello alveolare



**Tempo di contatto minimo necessario per il completamento degli scambi: 0.30 s**

*Tempo di contatto a riposo:*

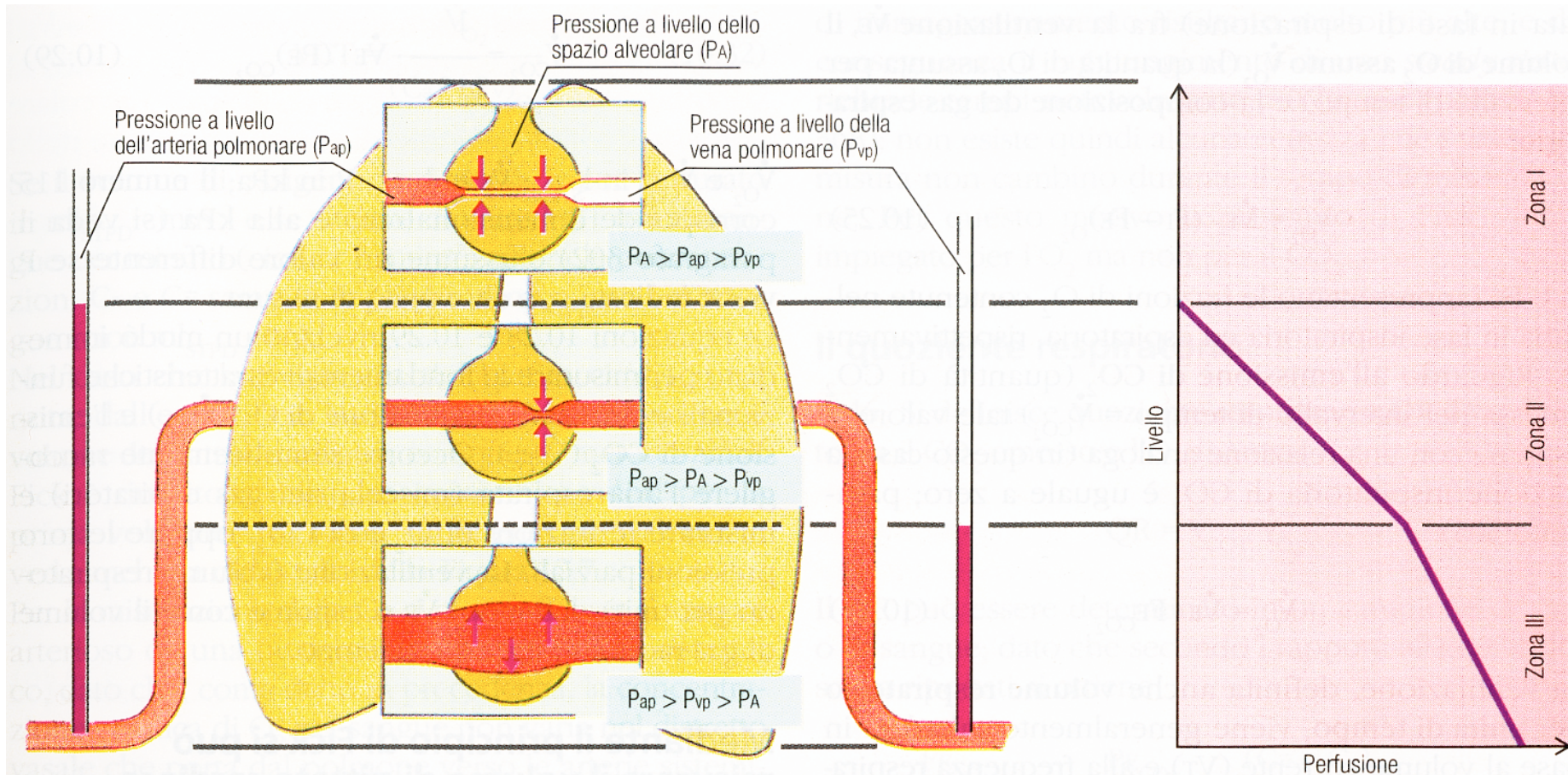
**0.70 s**

*Tempo di contatto durante l'esercizio fisico intenso:*

**0.35 s**



# La forza di gravità incide sugli scambi gassosi dell'uomo

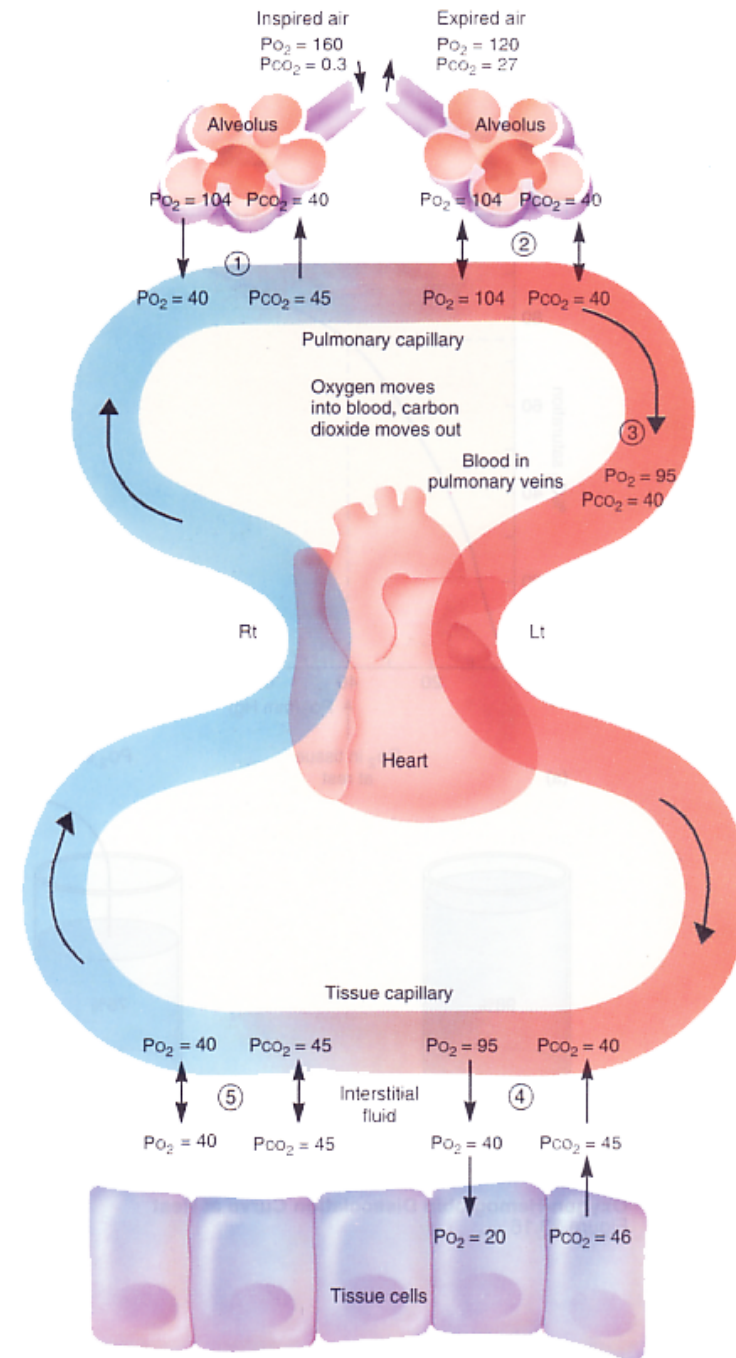


**Figura 10.25** Nel polmone tenuto in posizione verticale la distribuzione della perfusione sanguigna dipende dalla forza di gravità. La pressione di perfusione non è misurabile a livello dell'apice polmonare (zona I). Nella zona II sussiste una

compressione dei capillari, in modo tale che la perfusione dipende dalla differenza ( $P_{ap} - P_A$ ), ma risulta indipendente da  $P_{vp}$ . Nella zona III sussistono condizioni normali di perfusione; la pressione sanguigna relativamente alta porta alla dilatazione dei capillari.

## Respirazione esterna

## Respirazione interna





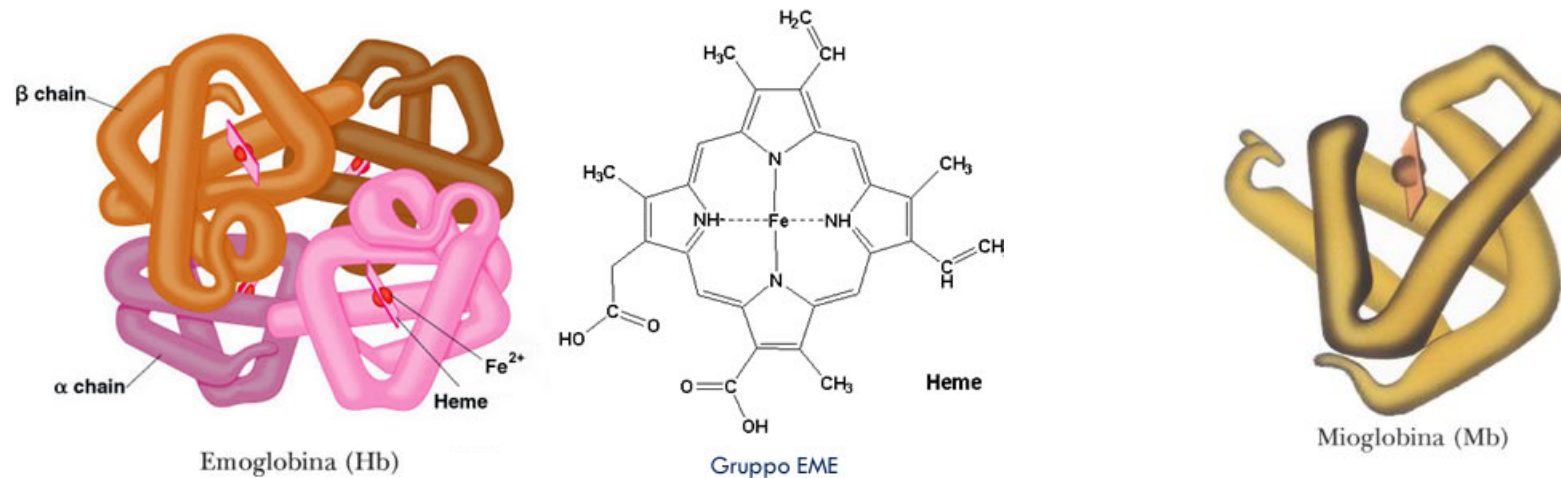
# I pigmenti respiratori e la loro distribuzione

I pigmenti respiratori si distinguono in 4 categorie:

- 1) **Emoglobine** (gruppo eme coniugato ad un atomo di ferro ferroso + globina)
- 2) Emocianine (2 atomi di rame + globina)
- 3) Emoeritrine (atomi di ferro ferroso + proteina  $\neq$  globina)
- 4) Clorocruorine (gruppo eme coniugato ad un atomo di ferro ferroso + proteina  $\neq$  globina)

Negli Invertebrati le emoglobine possono essere extracellulari o intracellulari.

Nei Vertebrati le emoglobine sono intracellulari e quasi sempre tetrameriche



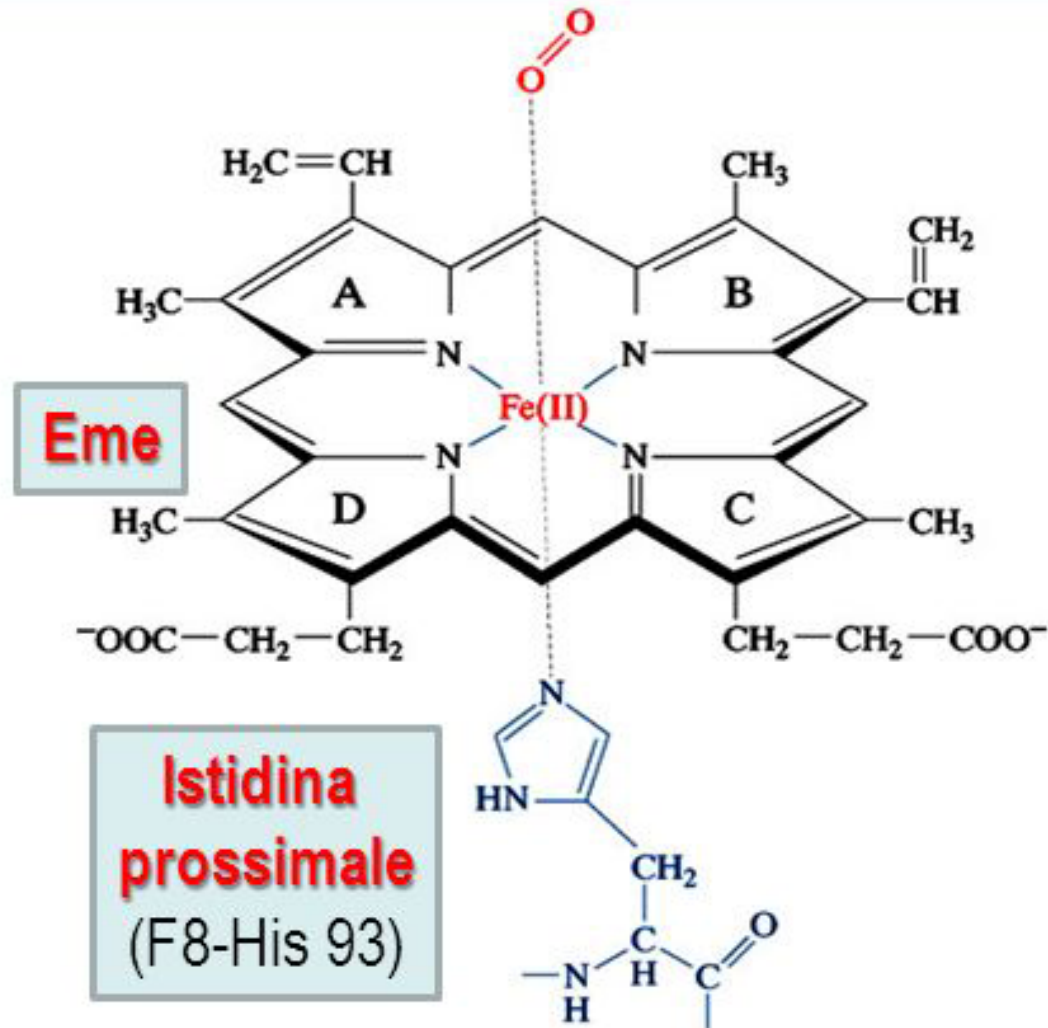
Hb adulta:  $\alpha_2\beta_2$

Hb fetale:  $\alpha_2\gamma_2$

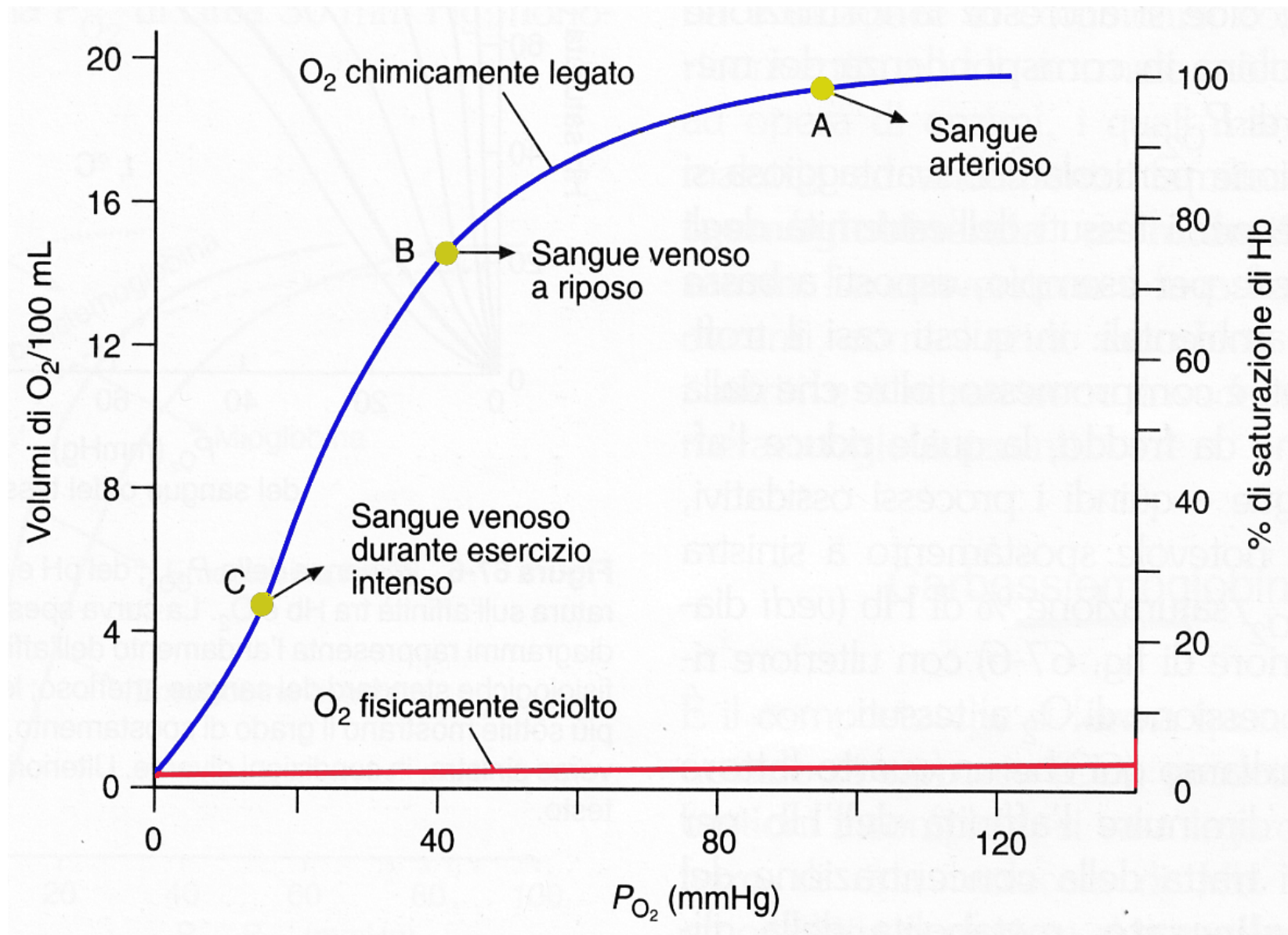


Il legame dell'O<sub>2</sub> all'Hb è e deve essere reversibile

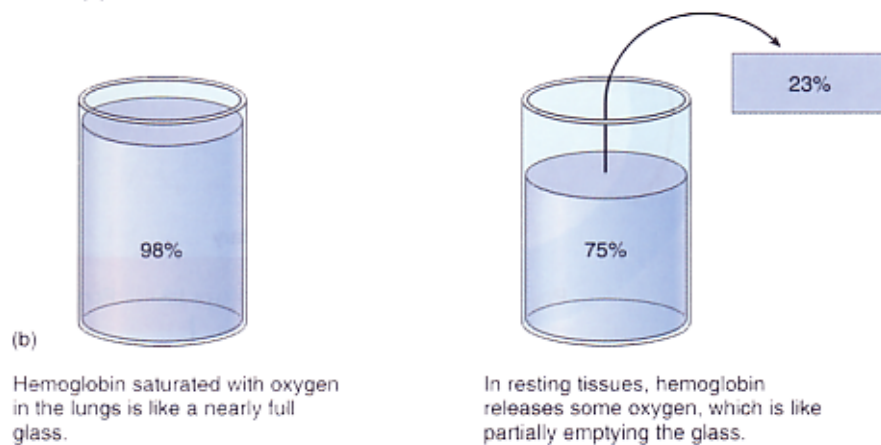
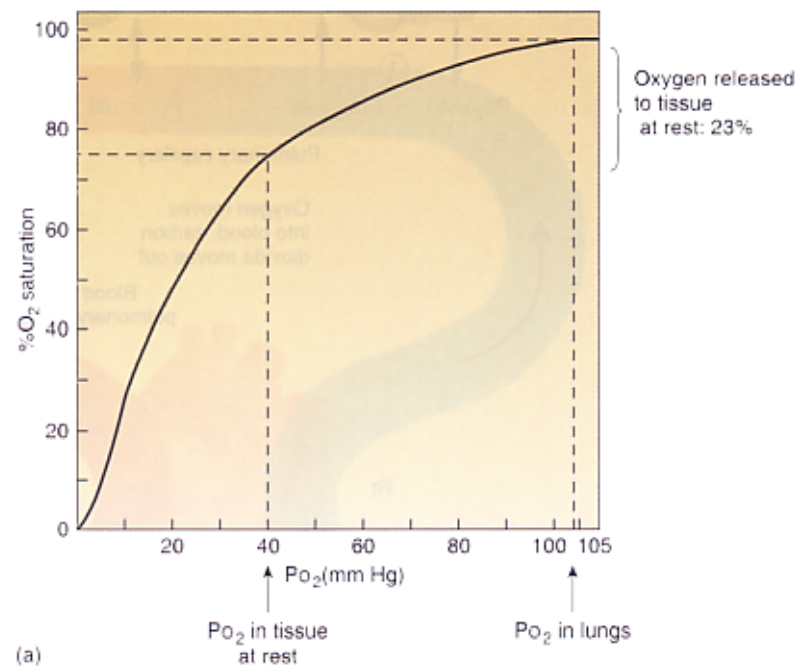
---



## Curva di dissociazione dell'emoglobina

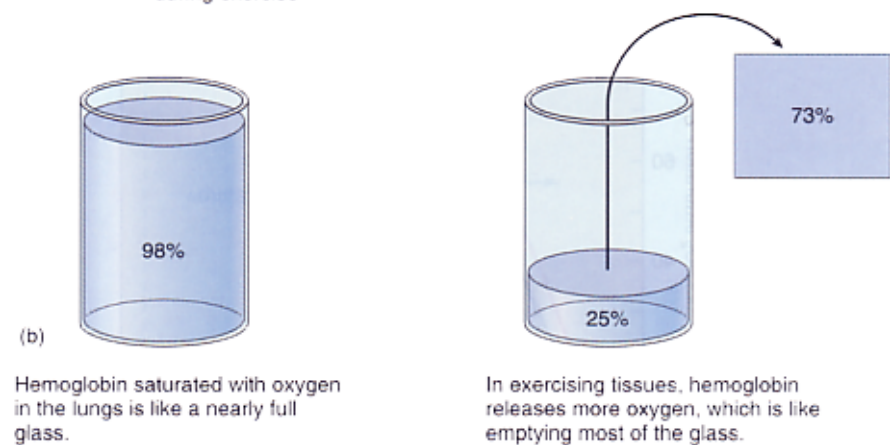
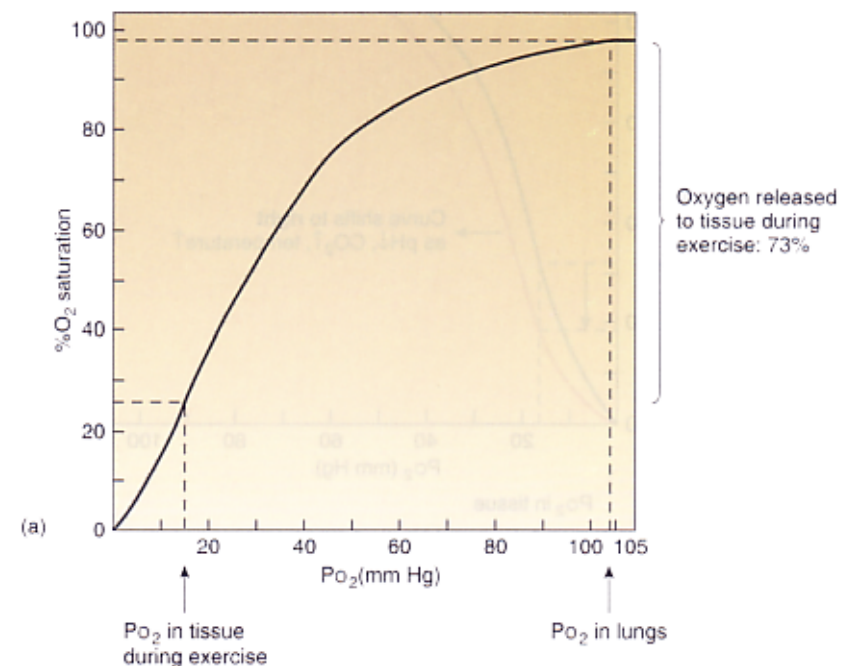


## A riposo



**Oxygen-Hemoglobin Dissociation Curve at Rest**  
Figure 23.16

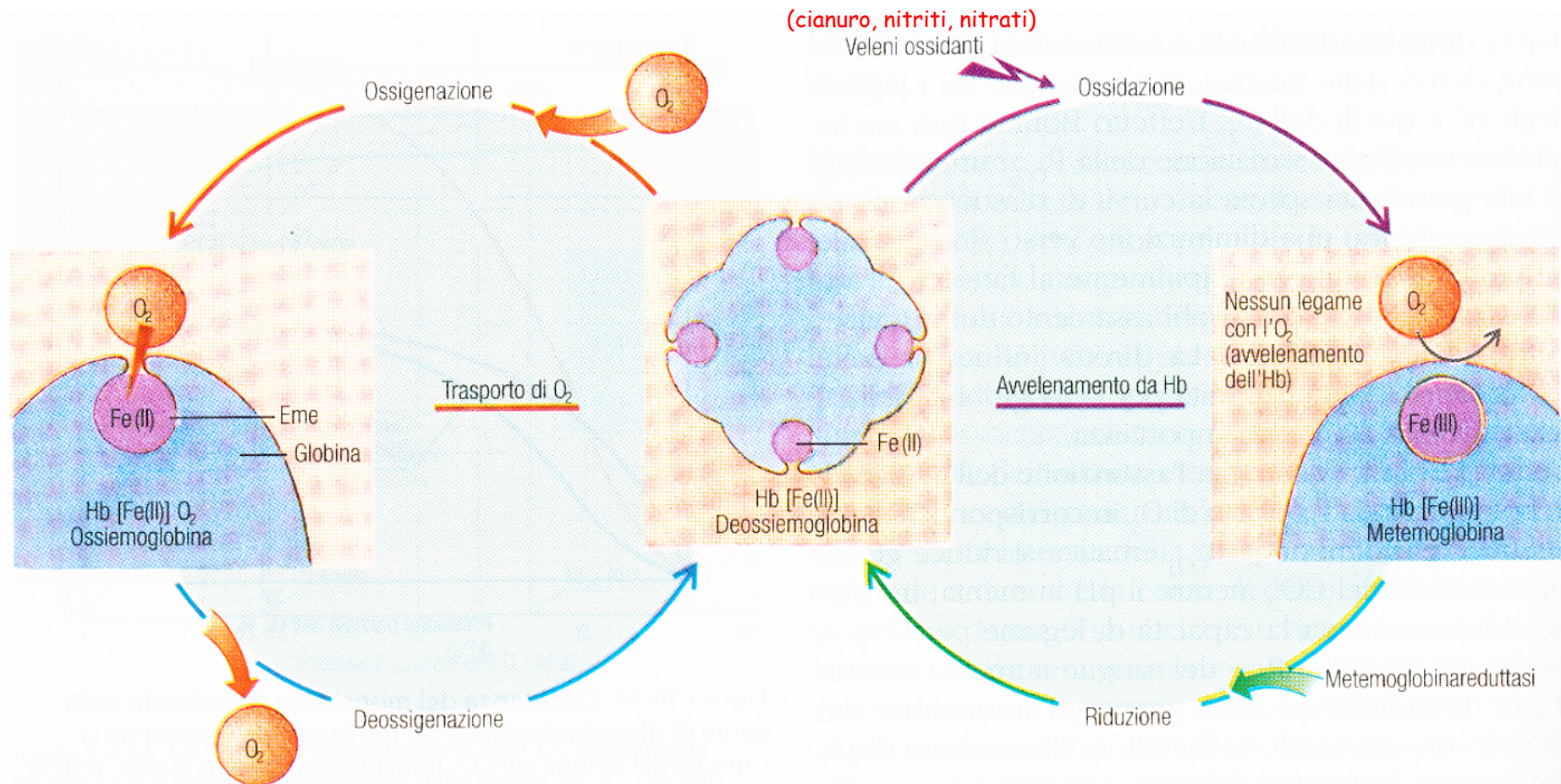
## Nello sforzo



**Oxygen-Hemoglobin Dissociation Curve During Exercise**  
Figure 23.17



# L'importanza della molecola di ferro ferroso dell'Hb

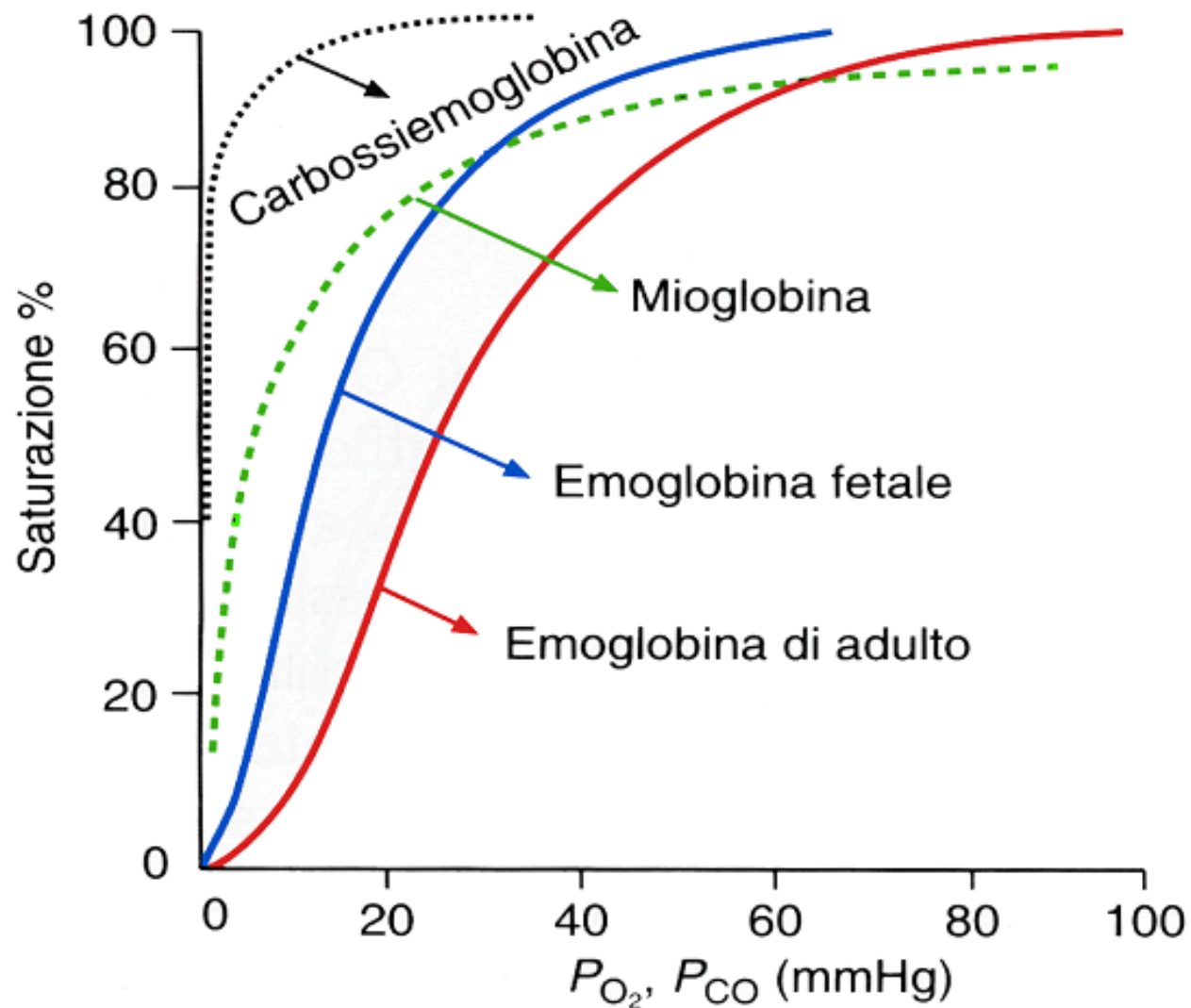


**Figura 10.35** Ossigenazione e ossidazione dell'emoglobina. In caso di ossigenazione dell'emoglobina (a sinistra) si assiste a un legame reversibile dell' $O_2$  molecolare all'atomo di ferro bivalente (in questo modo si verifica un trasporto di  $O_2$ ). In caso di ossidazione (a destra) l'atomo di ferro viene portato alla

sua forma trivalente, determinando la formazione di metemoglobina, che non è più in grado di legare l' $O_2$  (si parla di avvelenamento dell'Hb). L'enzima metemoglobinoreductasi favorisce la trasformazione della metemoglobina in deossiemoglobina.

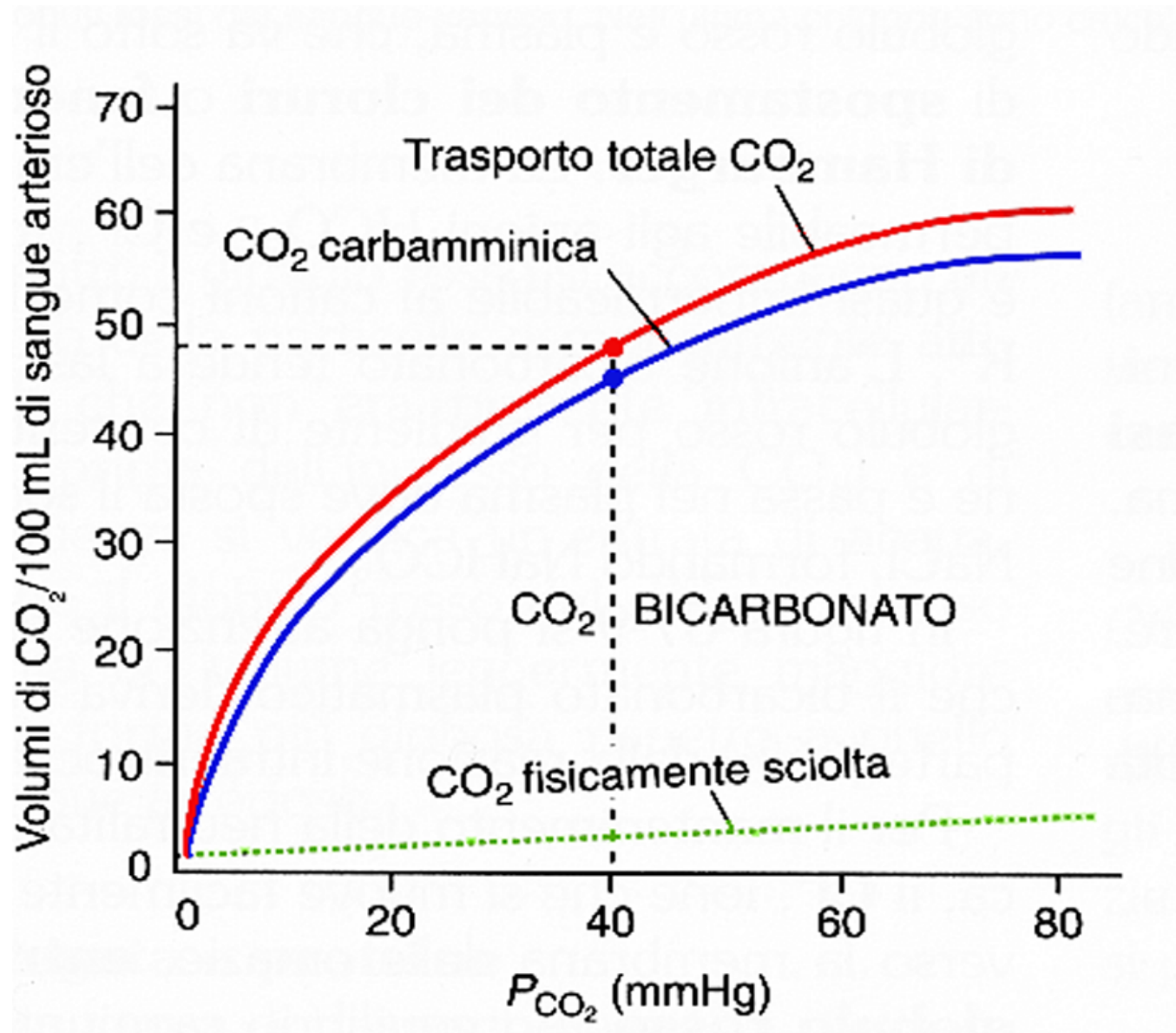
## Curva di dissociazione dell'emoglobina e della mioglobina

---



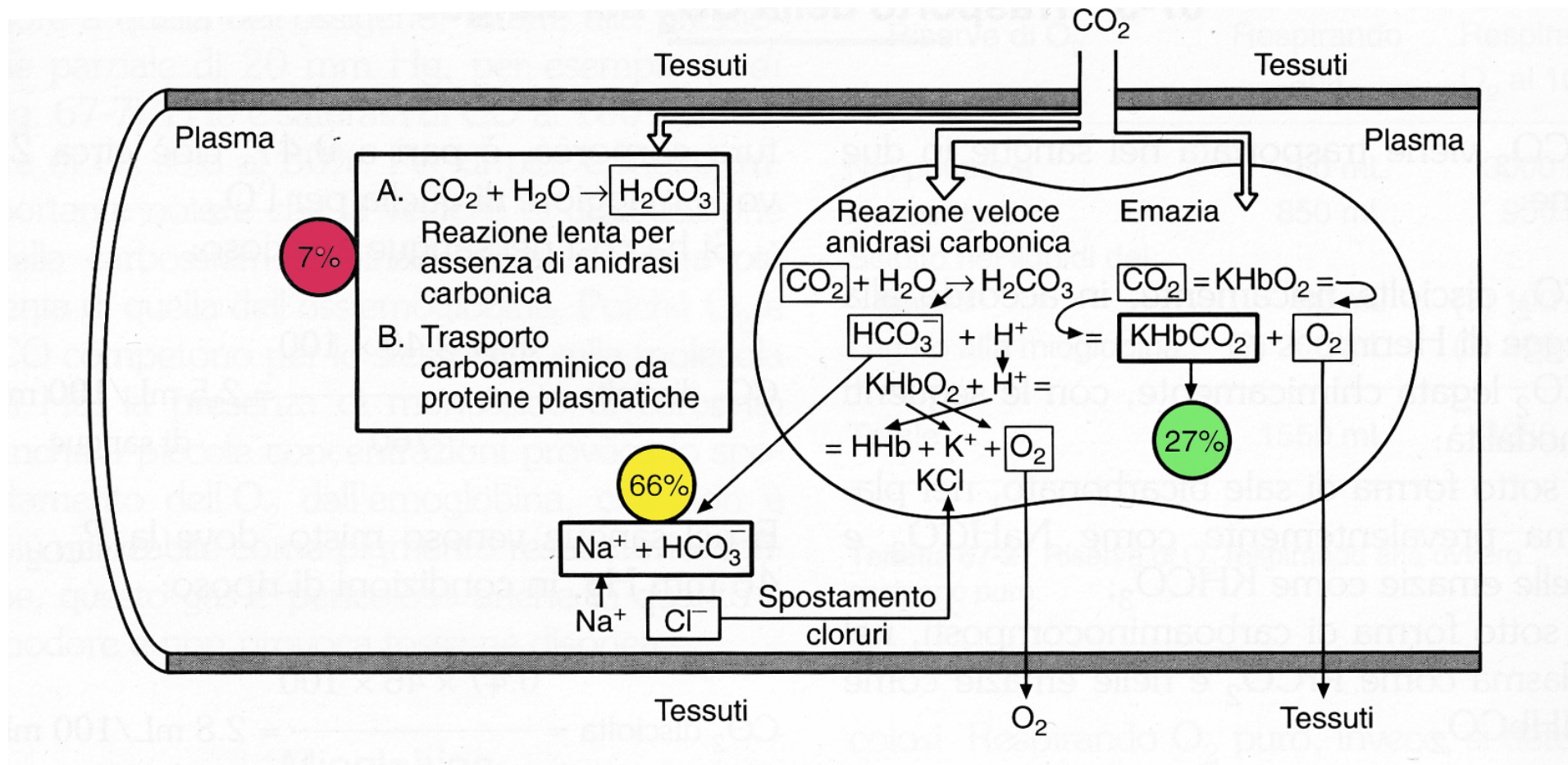


## Curva di dissociazione dell'anidride carbonica

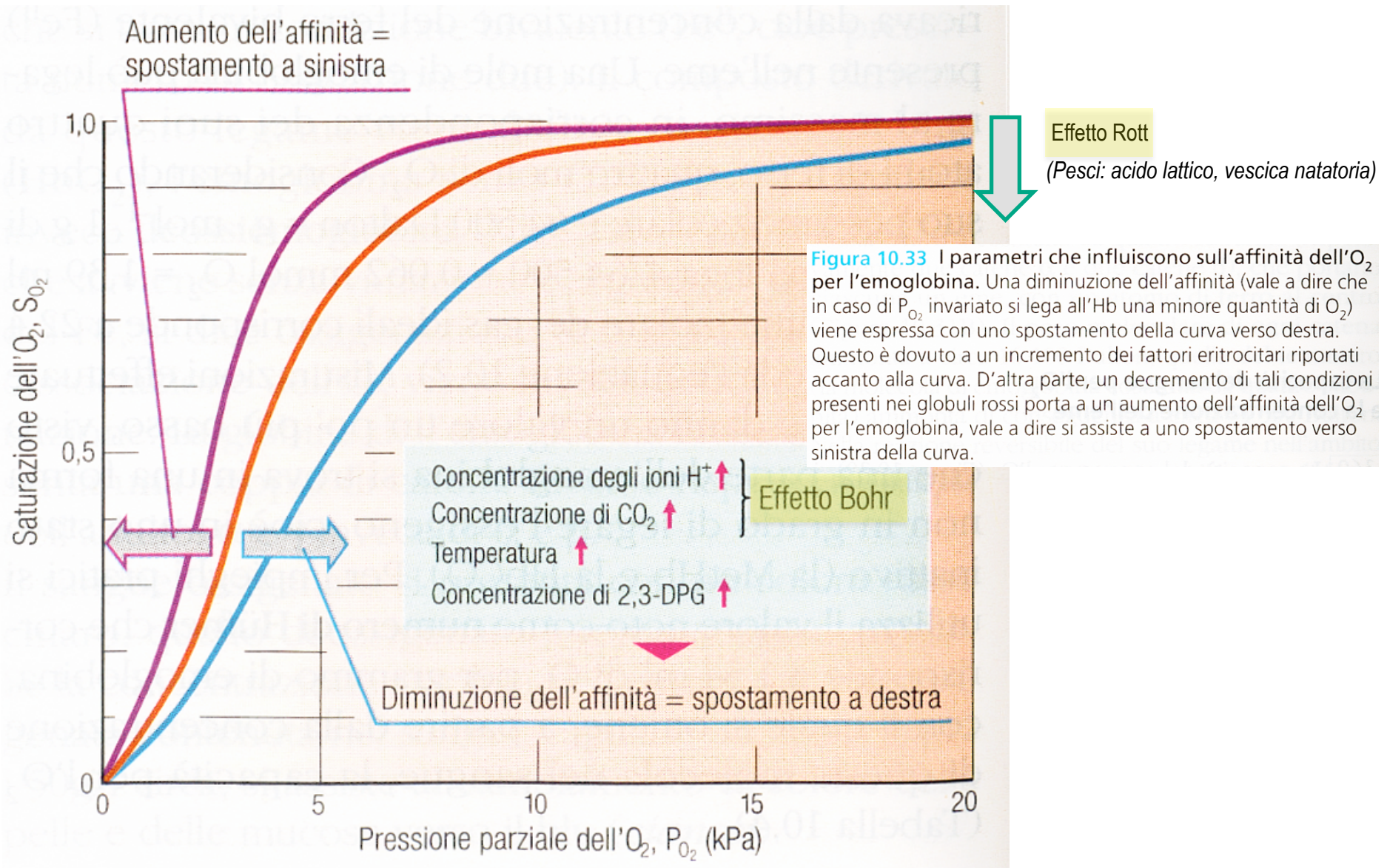




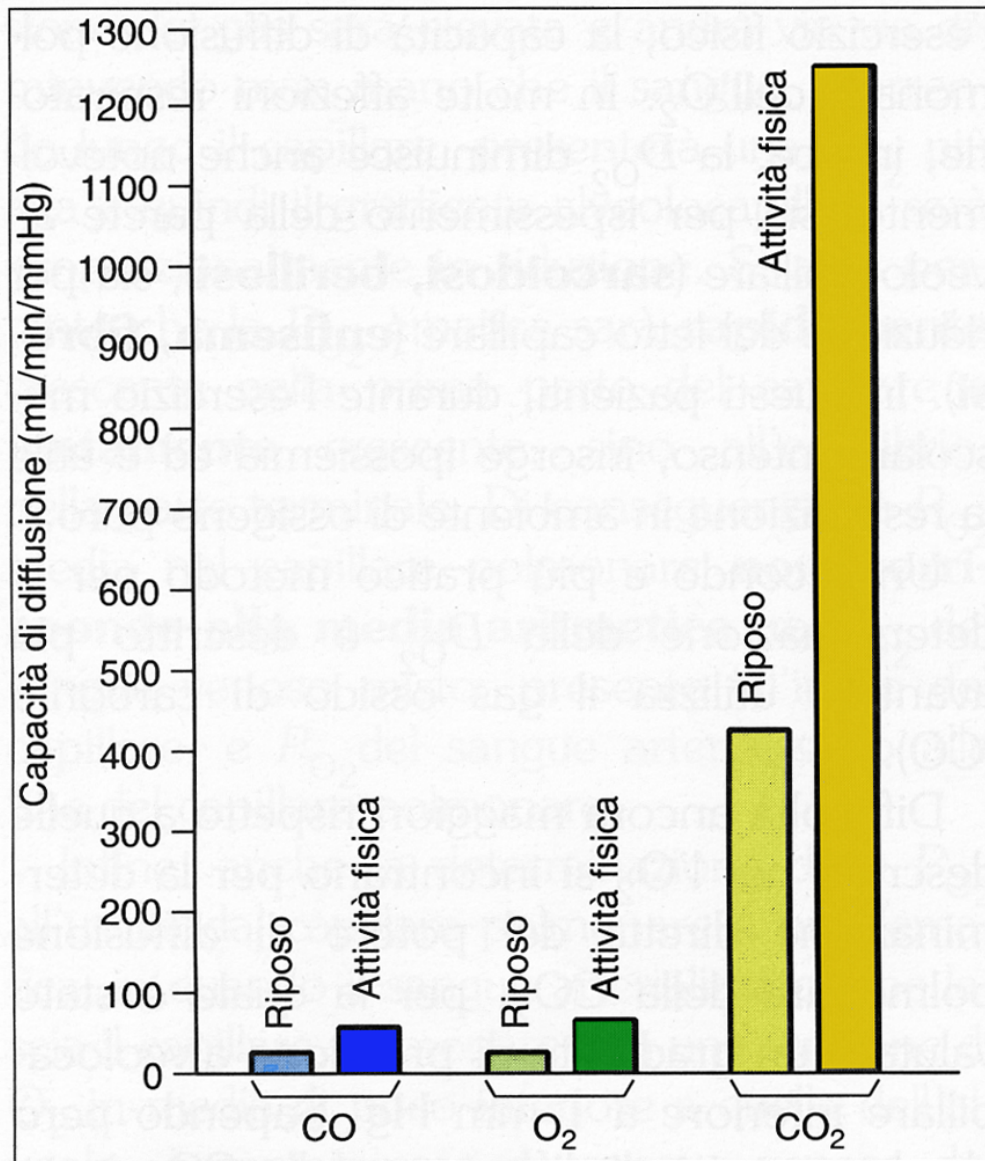
## Modalità di trasporto della $\text{CO}_2$



# Modulazione dell'affinità dell'O<sub>2</sub> per l'emoglobina







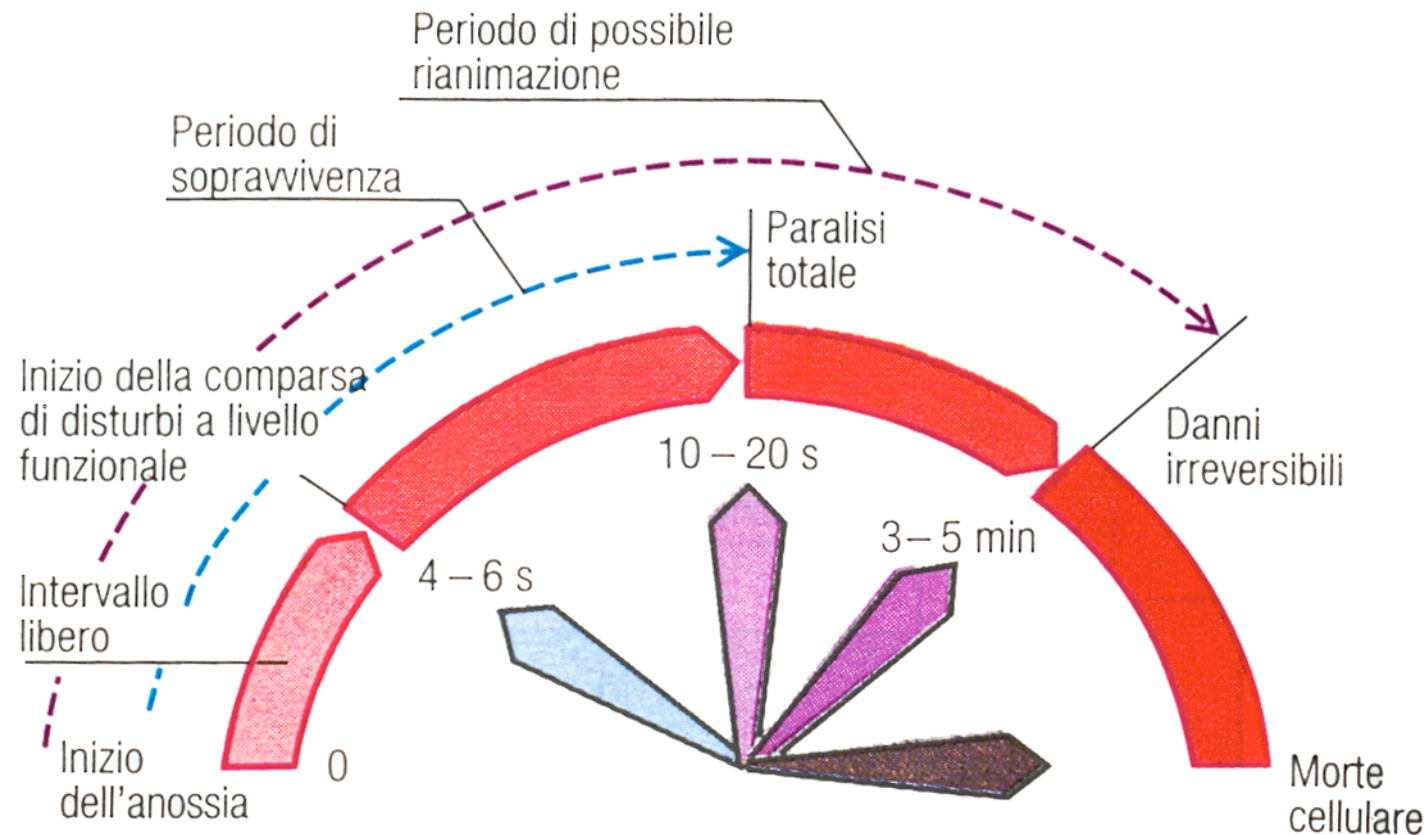
**Figura 66-7** Potere o capacità di diffusione polmonare dell'O<sub>2</sub>, della CO<sub>2</sub> e dell'ossido di carbonio (CO).

## Gli scambi gassosi durante l'esercizio fisico

- ↑ gradiente pressorio
- ↑ area di scambio
- ↓ spessore membrana respiratoria



# Gli effetti dell'anossia sul sistema nervoso centrale

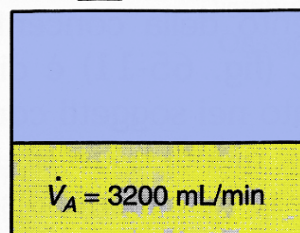


**Figura 10.58** La degenerazione e la morte cellulare dovute a carenza acuta di  $O_2$  in corrispondenza della corteccia telencefalica. I valori temporali riportati sono puramente indicativi.

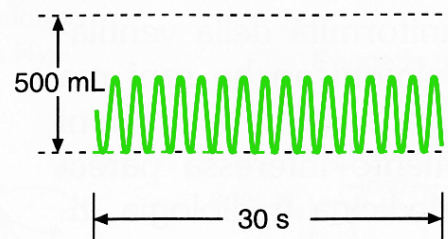
# I parametri respiratori e l'iperventilazione

Volume corrente x frequenza = ventilazione polmonare ( $\dot{V}_P$ )

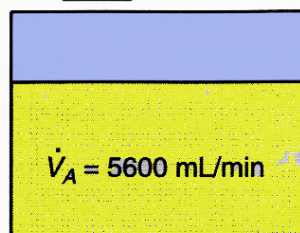
$$250 \times 32 = 8000 \text{ mL/min}$$



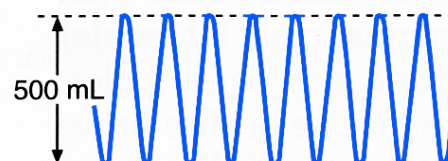
(a)



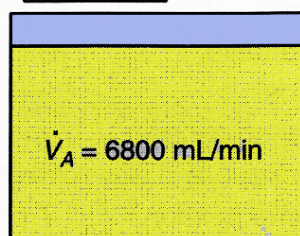
$$500 \times 16 = 8000 \text{ mL/min}$$



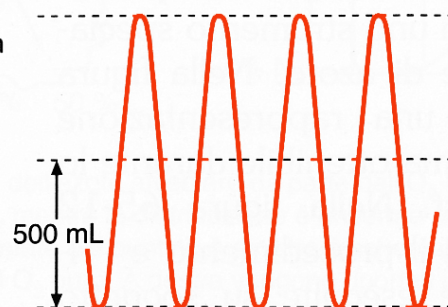
(b)



$$1000 \times 8 = 8000 \text{ mL/min}$$



(c)

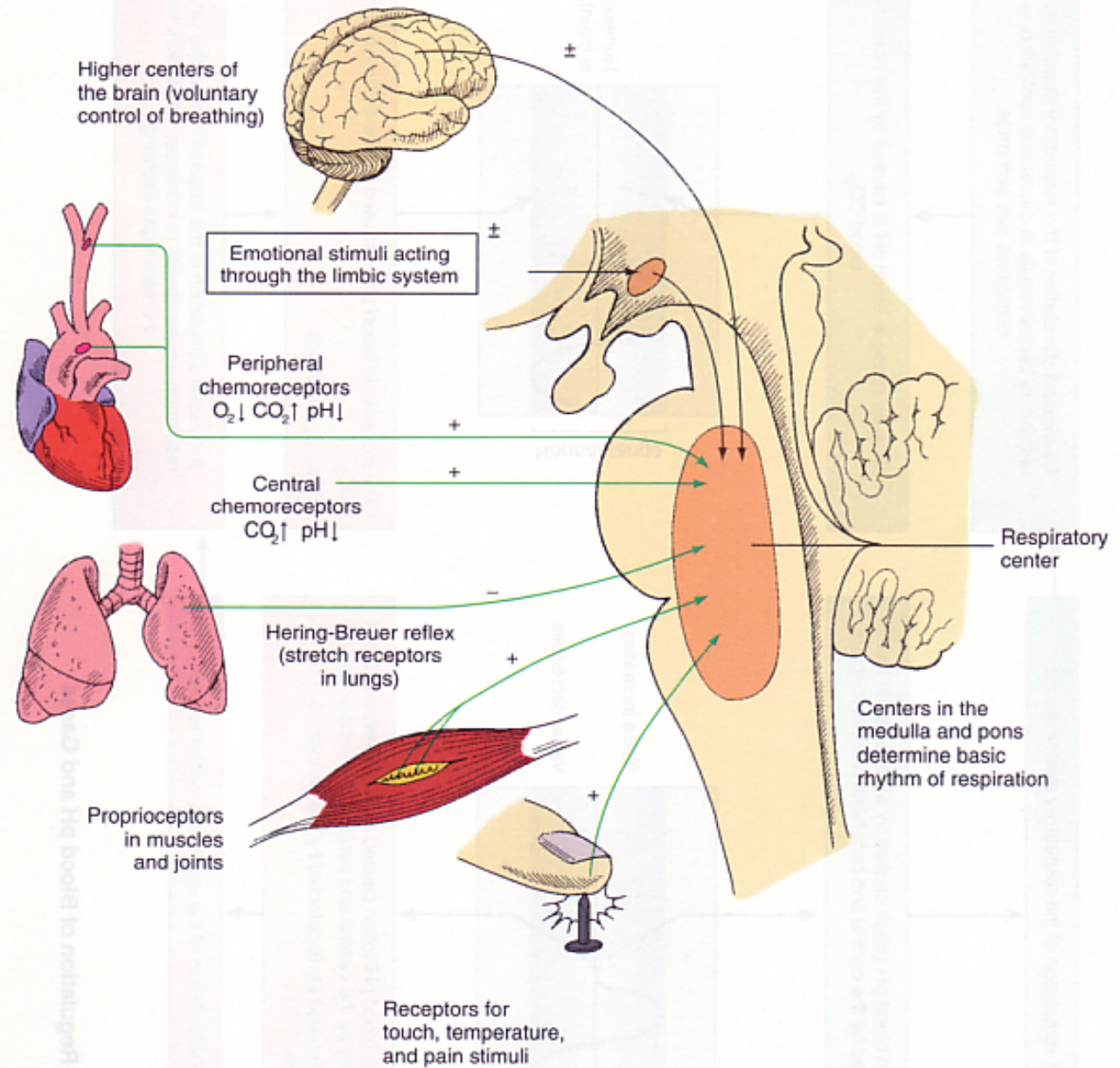


(Volume corrente - spazio extra alveolare) x frequenza = ventilazione alveolare ( $\dot{V}_A$ )

**Figura 65-10** Ventilazione polmonare a differenti valori di volume corrente e di frequenza respiratoria. L'area di ciascun piccolo rettangolo rappresenta il valore variabile di volume corrente (250, 500, 1000 mL). L'area complessiva di ciascun rettangolo grande (zona tratteggiata e zona bianca) rappresenta il valore costante della ventilazione polmonare (8000 mL/min). L'area tratteggiata di ciascun rettangolo grande indica il valore variabile della ventilazione alveolare. Nei tre esempi lo spazio extra-alveolare è considerato pari a 150 mL. A destra sono riportati i corrispondenti tracciati spirografici.

# La regolazione della respirazione

1



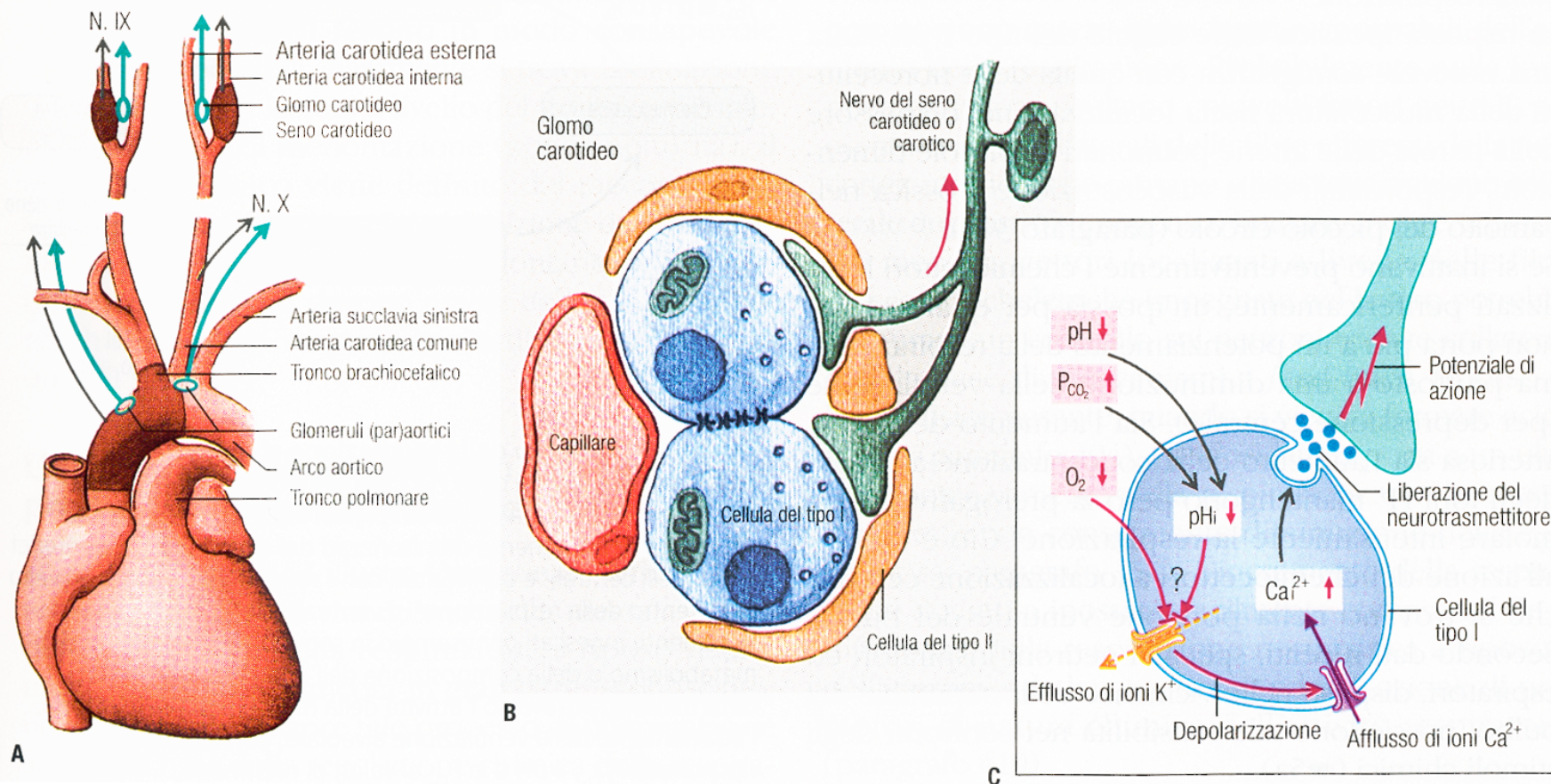
Modifying Respiration  
Figure 23.21



# I chemiocettori periferici

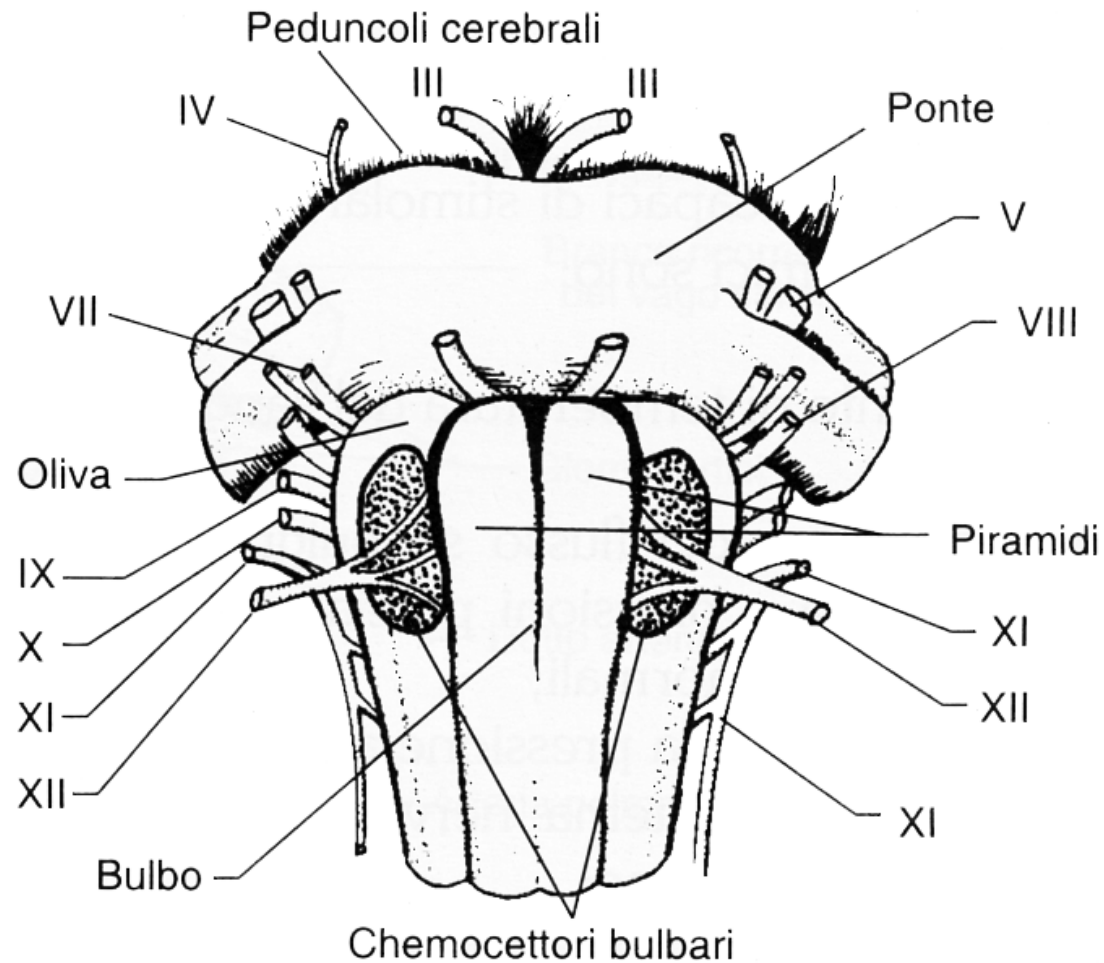
**Figura 10.51** I chemiocettori periferici. **A** Il globo carotideo posto in corrispondenza della biforcazione della carotide comune è irrorato dal sangue proveniente dal tratto iniziale dell'arteria carotide esterna ed è innervato dal nervo glossofaringeo (IX). I glomeruli paraortici vengono irrorati dal sangue proveniente dall'aorta e innervati dai rami del nervo vago (X). Le aree di localizzazione dei pressocettori nel settore del seno carotideo (o carotico) e di quelli dell'arco dell'aorta sono rappresentate in

marrone scuro, mentre in celeste vengono indicati i pressocettori stessi e le loro proiezioni. **B** mostra due cellule del tipo I con le rispettive sinapsi nei confronti dei dendriti delle fibre del nervo del seno carotideo; sono inoltre mostrate le cellule del tipo II che circondano il globo carotideo ed è inoltre rappresentato un capillare. In **C** sono rappresentati schematicamente i meccanismi della trasduzione dei segnali chimici che portano alla liberazione dei neurotrasmettitori (dettagli nel testo).



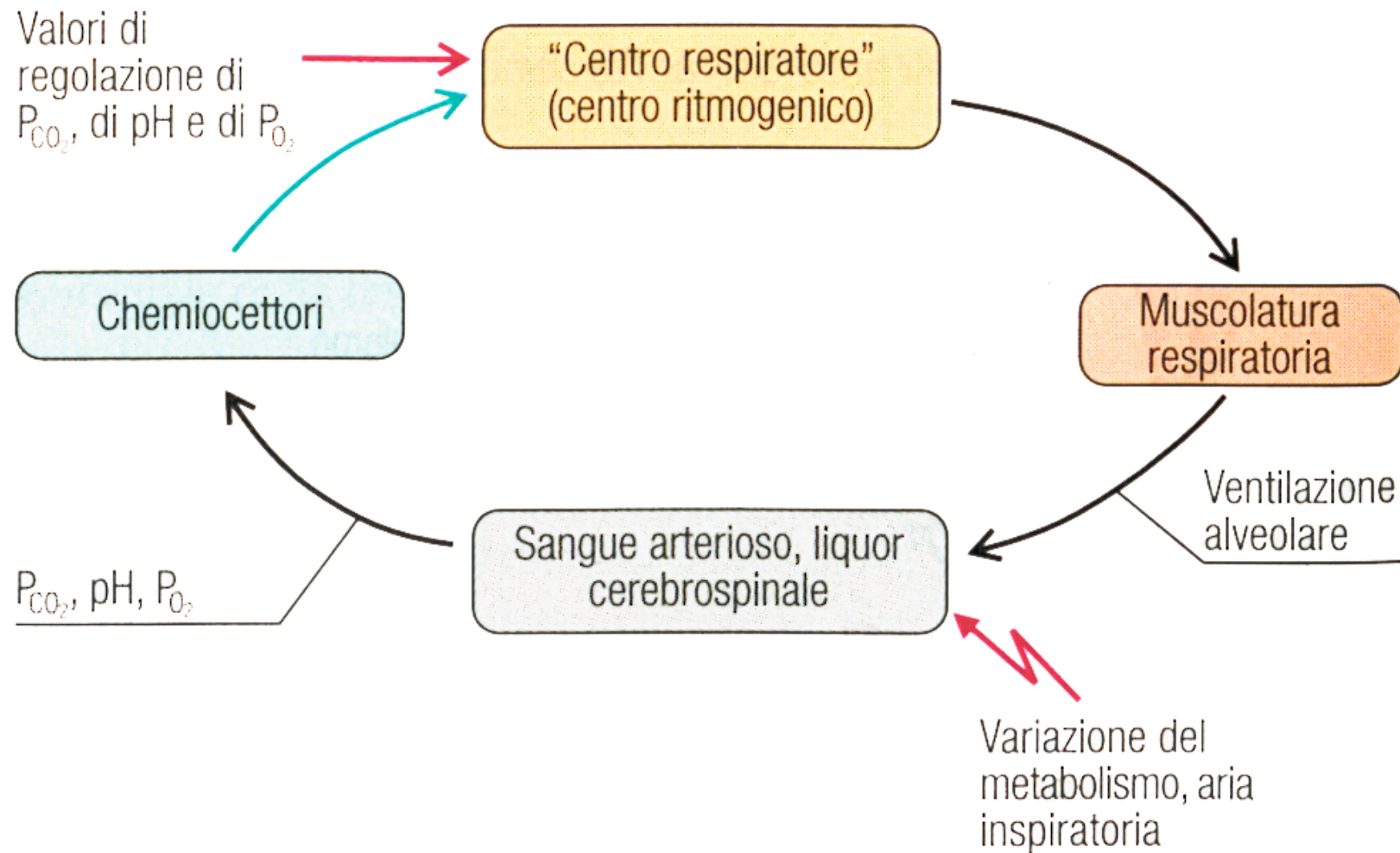
## I chemiocettori centrali

---



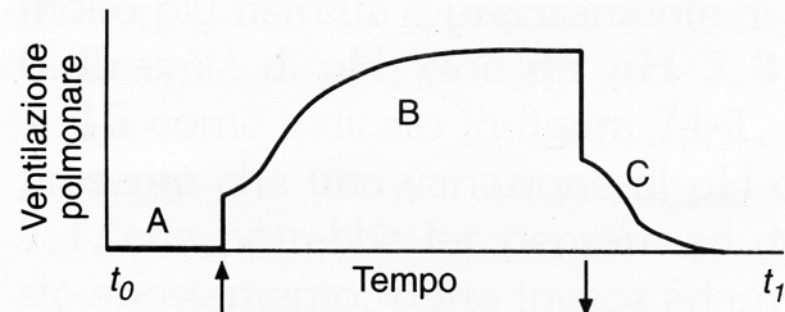
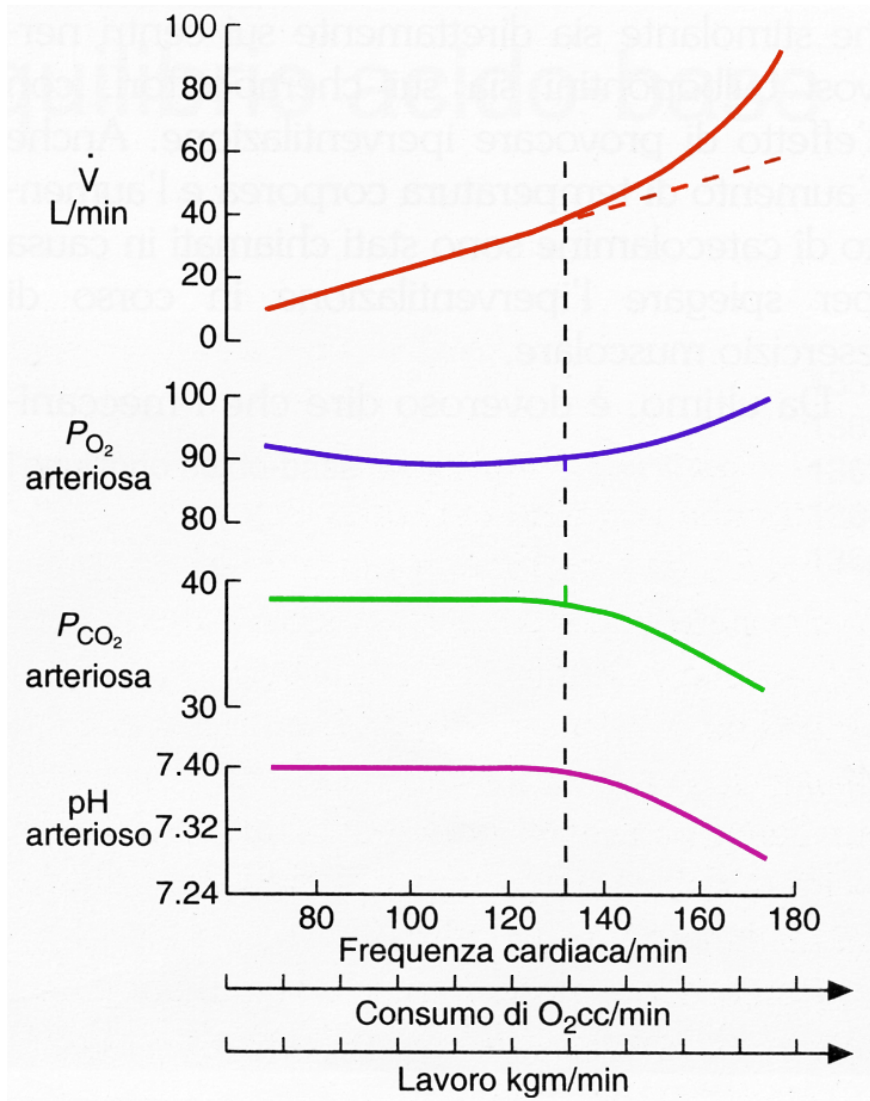
**Figura 70-6** Aree chemocettive (punteggiate) centrali indicate sulla superficie ventrale del bulbo.

## La regolazione chimica del respiro (il riflesso chemiocettivo)

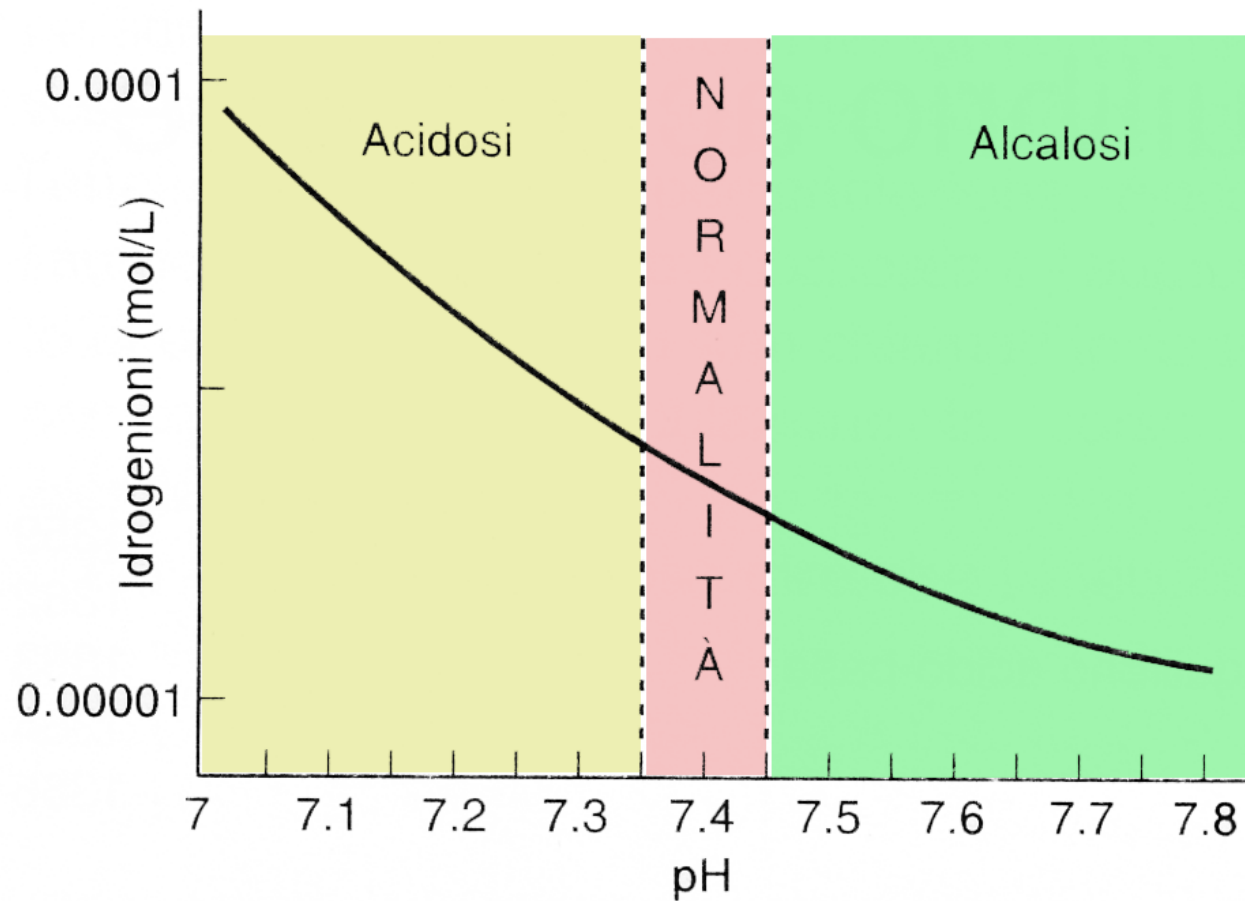




# La respirazione e l'esercizio fisico

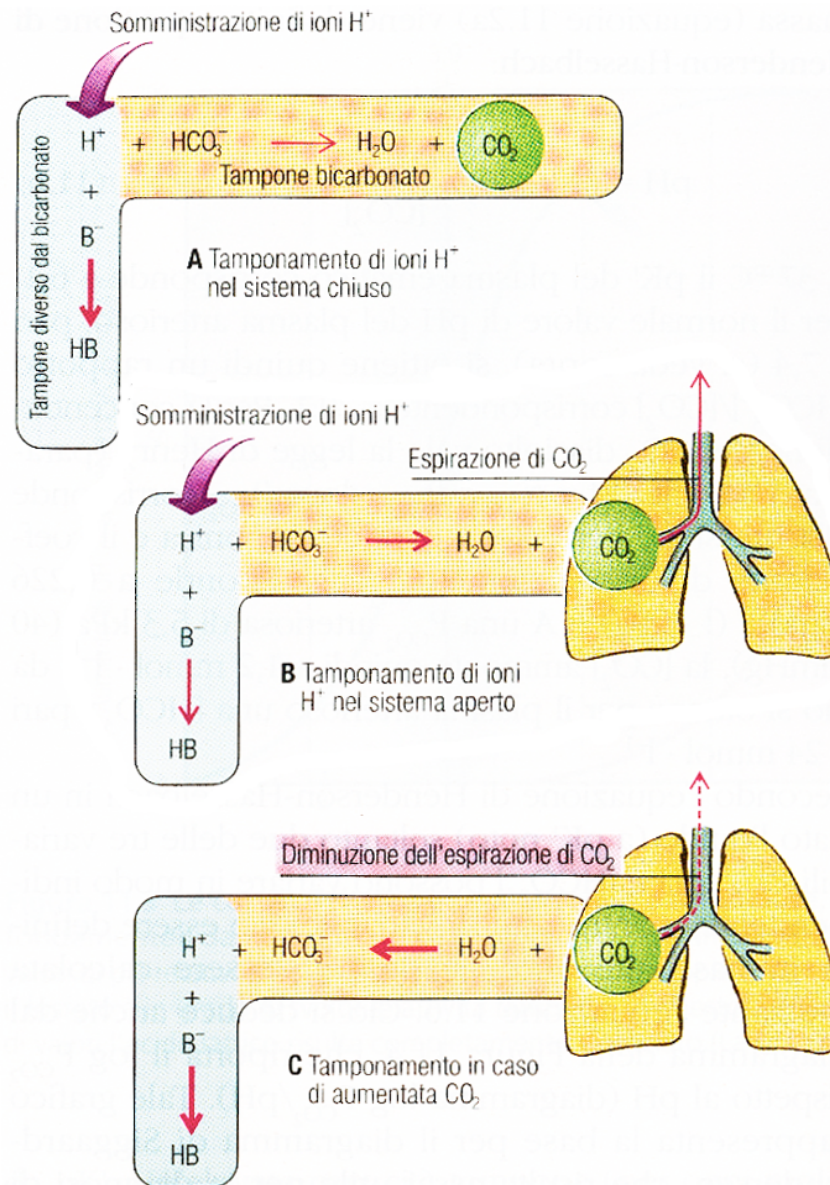


**Figura 70-15** Andamento temporale della ventilazione polmonare prima (A), durante (B) e dopo (C) lavoro muscolare. Le freccette indicano inizio (verso l'alto) e fine (verso il basso) del lavoro.



**Figura 71-1** Relazione tra concentrazione idrogenionica (in ordinata) e pH. La banda verticale tra i due tratteggi indica il rango fisiologico nel quale l'organismo è capace di compensare gli squilibri acido-base senza spostare significativamente il pH. A sinistra e a destra rispettivamente acidosi e alcalosi.

# I polmoni svolgono un ruolo chiave nel controllo del pH



**Figura 11.5** L'attività tampone in caso di aggiunta (o di formazione) di ioni  $H^+$  e in caso di aumento della  $P_{CO_2}$ . La capacità tampone del sistema  $HCO_3^-/CO_2$  risulta più elevata in caso di aggiunta di ioni  $H^+$ , se il  $CO_2$  che si forma a livello dei tessuti può essere espirato attraverso i polmoni (sistema aperto, **B**), rispetto a quanto accade se tale gas rimane nell'organismo (sistema chiuso, **A**). In **C** aumenta in primo luogo la concentrazione di  $CO_2$ , ad esempio quando l'espiazione di tale gas risulta ostacolata. La reazione del sistema  $HCO_3^-/CO_2$  avviene quindi a favore degli ioni  $HCO_3^-$  e gli ioni  $H^+$  che si formano si legano ai tamponi diversi dal bicarbonato ( $B^-$ ). In definitiva si origina nettamente un numero di ioni  $HCO_3^-$  uguale a quelli  $B^-$  che sono stati utilizzati per tamponare gli ioni  $H^+$ , per cui la concentrazione complessiva delle basi tampone,  $[HCO_3^-] + [B^-]$ , rimane di conseguenza invariata.