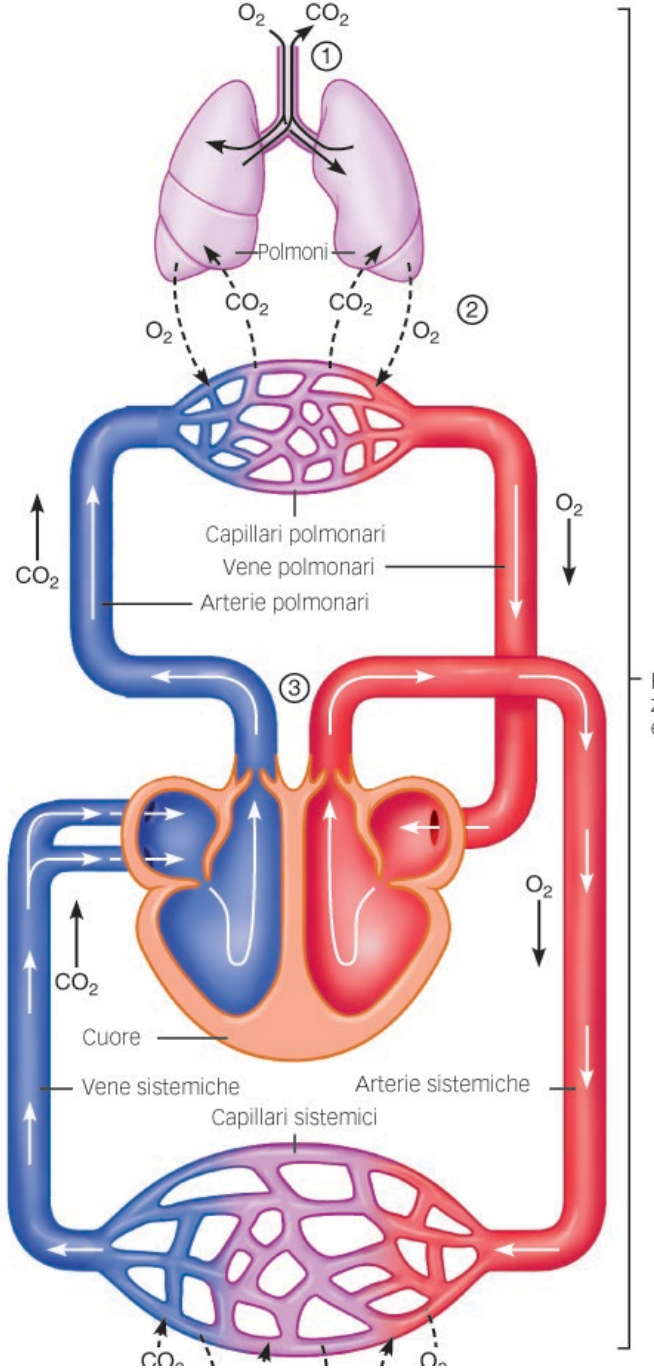


# **SISTEMA RESPIRATORIO (Scambi gassosi e trasporto dei gas nel sangue)**

**Prof. Flavia Trettel  
Farmacia Fisiologia canale A-L**



Lo scambio dei gas attraverso tra alveoli e sangue avviene per **DIFFUSIONE**

## ARIA ATMOSFERICA:

miscela gassosa di azoto, ossigeno, vapore acqueo, anidride carbonica



**1 Atmosfera = 760 mmHg (pressione esercitata su una superficie dal peso dell'aria sovrastante)**

La **Pressione Parziale** di un gas è la pressione dovuta ad un singolo gas all'interno di una miscela gassosa

In una miscela gassosa ciascun gas contribuisce alla pressione totale in proporzione alla sua abbondanza relativa

**ARIA: 79% azoto  $\text{N}_2$  - 21% ossigeno  $\text{O}_2$**   
anidride carbonica  $\text{CO}_2$ - vapore acqueo  $\text{H}_2\text{O}$  trascurabili

$P_{\text{O}_2}$  = percentuale di  $\text{O}_2$  nell'aria (21%) X 760 mmHg = circa 160 mmHg

$P_{\text{N}}$  = percentuale di N nell'aria (79%) X 760 mmHg = circa 600 mmHg

## LEGGE DI DALTON

**La somma delle pressioni parziali equivale alla pressione totale esercitata dalla miscela di gas**

$$\text{aria} \quad P_{\text{N}_2} + P_{\text{O}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}} + P_{\text{CO}_2} = 760 \text{ mmHg}$$

$$P_x = P_B \times C$$

La  $PO_2$  nell'aria secca inspirata si calcola moltiplicando la pressione della miscela di gas (cioè, la pressione atmosferica) per la concentrazione dell' $O_2$ , che è di 0,21. Pertanto, nell'*aria secca inspirata*,

$$\begin{aligned} P_{O_2} &= 760 \text{ mmHg} \times 0,21 \\ &= 160 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

La  $PO_2$  dell'area umidificata nella trachea è inferiore alla  $PO_2$  dell'aria secca inspirata perché la pressione totale deve essere corretta in relazione alla pressione del vapore acqueo (47 mmHg a 37 °C). Così, nell'*aria umidificata della trachea*,

$$\begin{aligned} P_{O_2} &= (760 \text{ mmHg} - 47 \text{ mmHg}) \times 0,21 \\ &= 713 \text{ mmHg} \times 0,21 \\ &= 150 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

$$P_x = (P_B - P_{H_2O}) \times C$$

dove

$P_x$  = Pressione parziale del gas (mmHg)

$P_B$  = Pressione barometrica o atmosferica (mmHg)

$P_{H_2O}$  = Pressione del vapore acqueo a 37 °C (47 mmHg)

$C$  = Concentrazione del gas

# COMPOSIZIONE DELL'ARIA ATMOSFERICA, ALVEOLARE, ESPIRATA

Aria **ATMOSFERICA**: 79% azoto - 21% ossigeno  
anidride carbonica (CO<sub>2</sub>)- vapore acqueo trascurabili

Aria **ALVEOLARE** differisce perché:

- Meno ossigeno O<sub>2</sub>
- Più anidride carbonica CO<sub>2</sub>
- Più vapore acqueo

- riscaldata e umidificata nel passaggio attraverso le vie aeree
- O<sub>2</sub> viene sottratto perchè diffonde nei polmoni e viene sostituito da CO<sub>2</sub> che dal sangue diffonde negli alveoli
- solo una frazione del gas alveolare viene rinnovata ad ogni atto respiratorio

Aria **ESPIRATA** si diluisce con l'area atmosferica dello "spazio morto" e avrà composizione intermedia

# Scambio dei gas respiratori

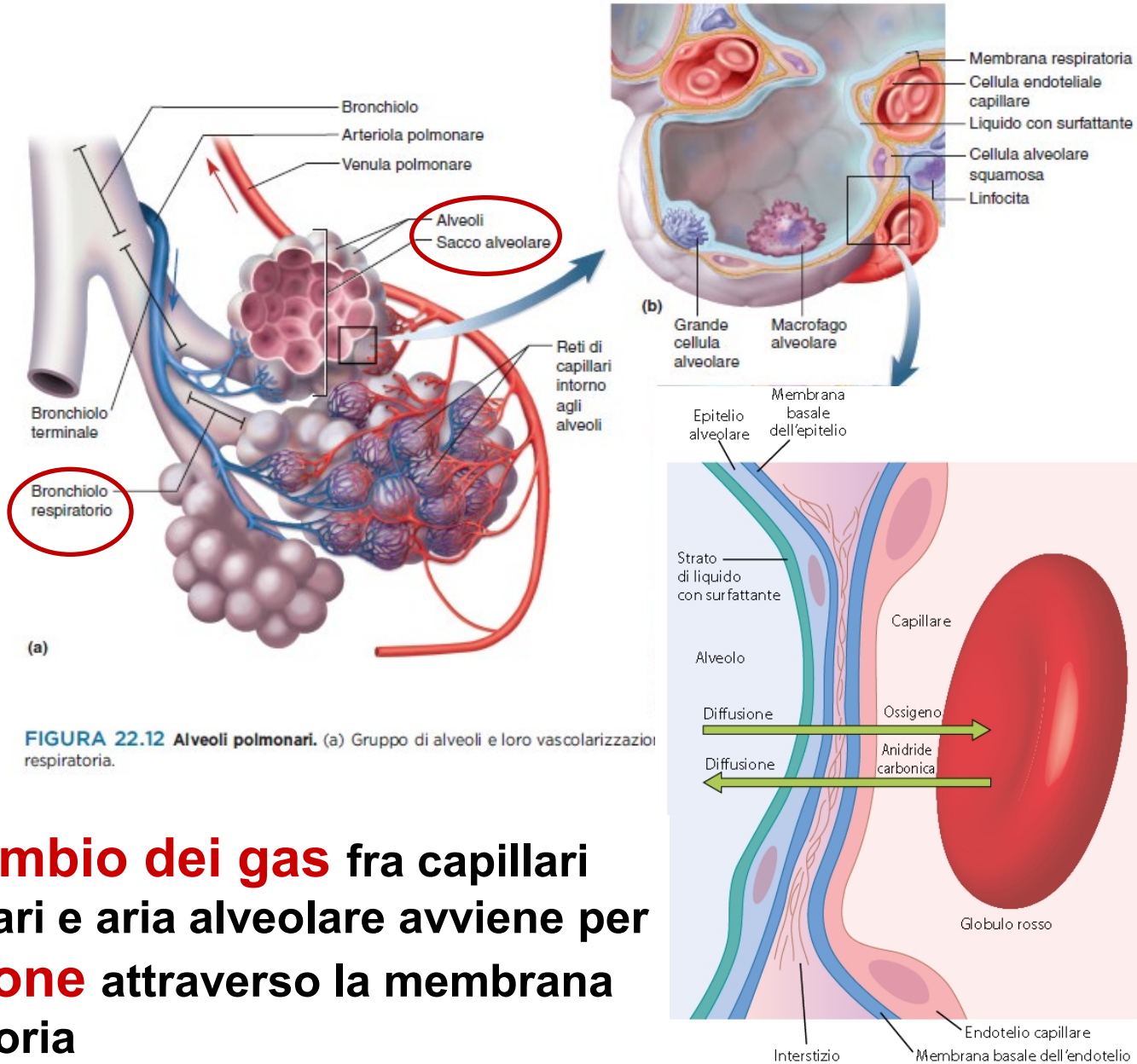


FIGURA 22.12 Alveoli polmonari. (a) Gruppo di alveoli e loro vascolarizzazione respiratoria.

**Lo scambio dei gas** fra capillari polmonari e aria alveolare avviene per **diffusione** attraverso la membrana respiratoria

**Tabella 40.1** Pressioni parziali dei gas respiratori (in mmHg) in entrata e in uscita dai polmoni (a livello del mare)

	Aria atmosferica*	Aria umidificata	Aria alveolare	Aria espirata
N <sub>2</sub>	597,0 (78,62%)	563,4 (74,09%)	569,0 (74,9%)	566,0 (74,5%)
O <sub>2</sub>	159,0 (20,84%)	149,3 (19,67%)	104,0 (13,6%)	120,0 (15,7%)
CO <sub>2</sub>	0,3 (0,04%)	0,3 (0,04%)	40,0 (5,3%)	27,0 (3,6%)
H <sub>2</sub> O	3,7 (0,50%)	47,0 (6,20%)	47,0 (6,2%)	47,0 (6,2%)
TOTALE	760,0 (100,0%)	760,0 (100,0%)	760,0 (100,0%)	760,0 (100,0%)

\*In una giornata fresca, senza nuvole.

# Fattori che influenzano l'efficienza di scambio dei gas respiratori

Lo scambio dei gas fra capillari polmonari e aria alveolare avviene per diffusione attraverso la membrana respiratoria

Direzione della diffusione netta: differenza di  $P_{\text{gas}}$  nelle due fasi

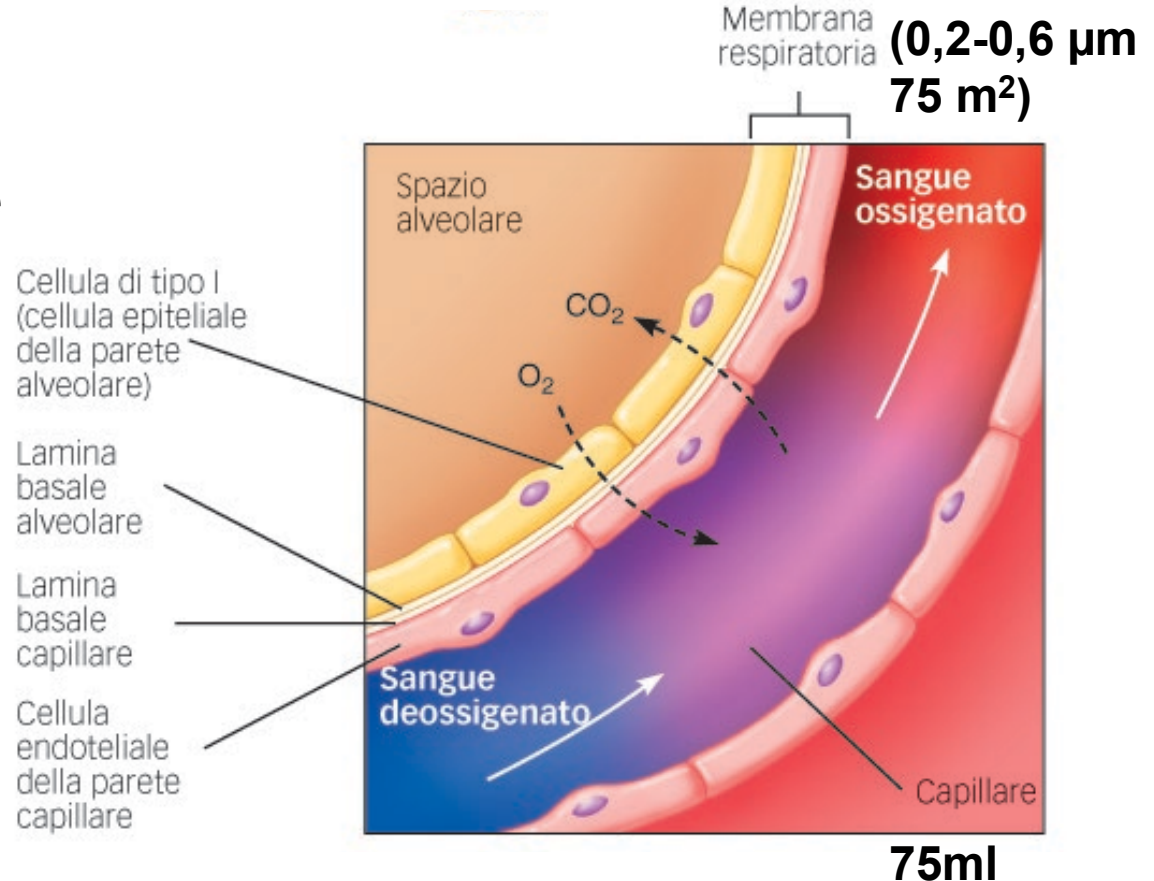
Proporzionale a

**Gradiente di pressione parziale**

• **Coeff. diffusione dei gas**

• **Area superficie di scambio**

inversamente proporzionale allo **spessore della membrana**





## Diffusione netta in un liquido

**LEGGE DI FICK**  $V = \frac{\Delta P_x \times A \times S}{\Delta X \times \sqrt{PM}}$

Coefficiente di diffusione =  $S/\sqrt{PM}$

Ossigeno	1,0
Anidride carbonica	20,3
Monossido di carbonio	0,81
Azoto	0,53
Elio	0,95

(c) Patologie che causano ipossia

$\text{Diffusione} \propto \text{area della superficie} \times \text{barriera di permeabilità/distanza}^2$

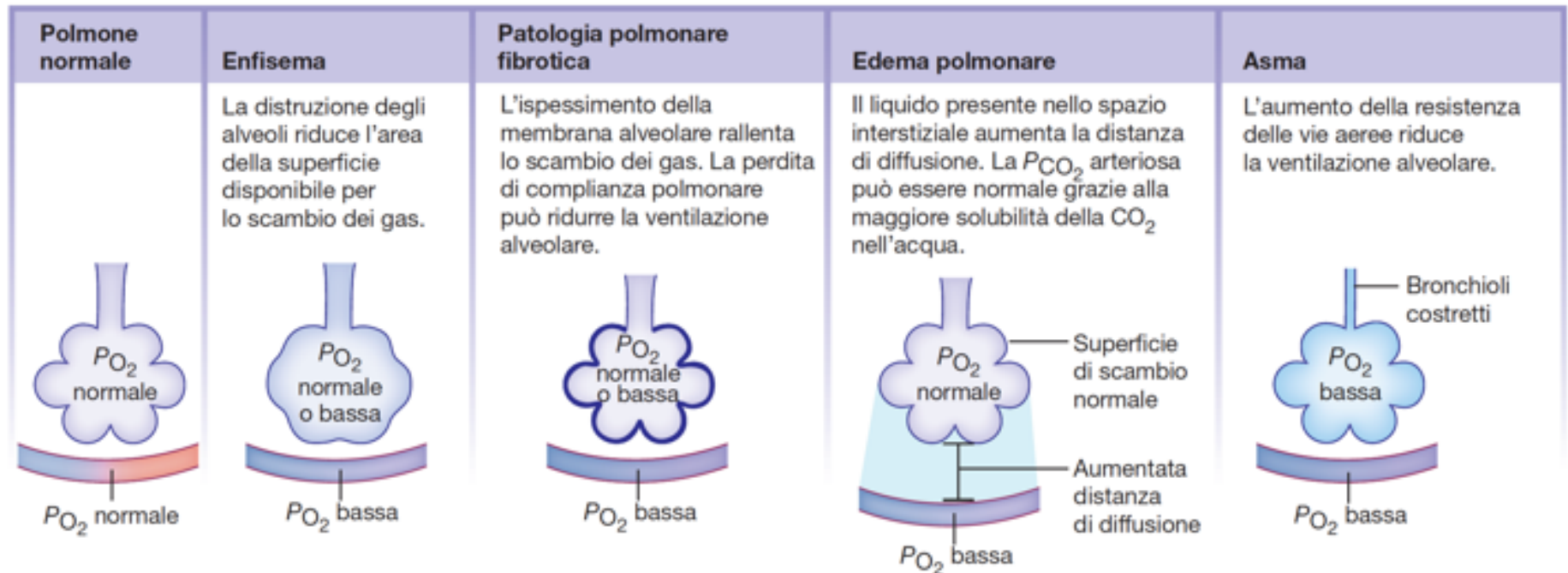
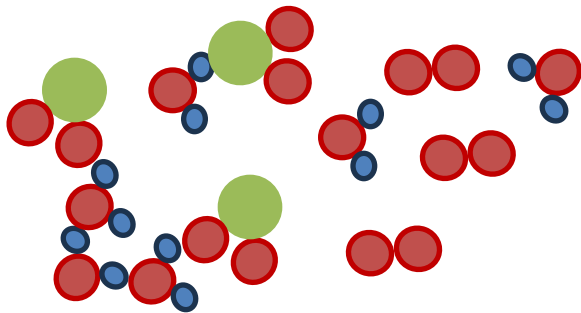


FIGURA 18.3 Scambi di gas negli alveoli.

# Fattori che determinano le pressioni parziali di un gas disciolto nel liquido

## LEGGE DI HENRY

Pressione parziale  
(di un gas disciolto) =  $\frac{\text{concentrazione di un gas disciolto}}{\text{coefficiente di solubilità}}$



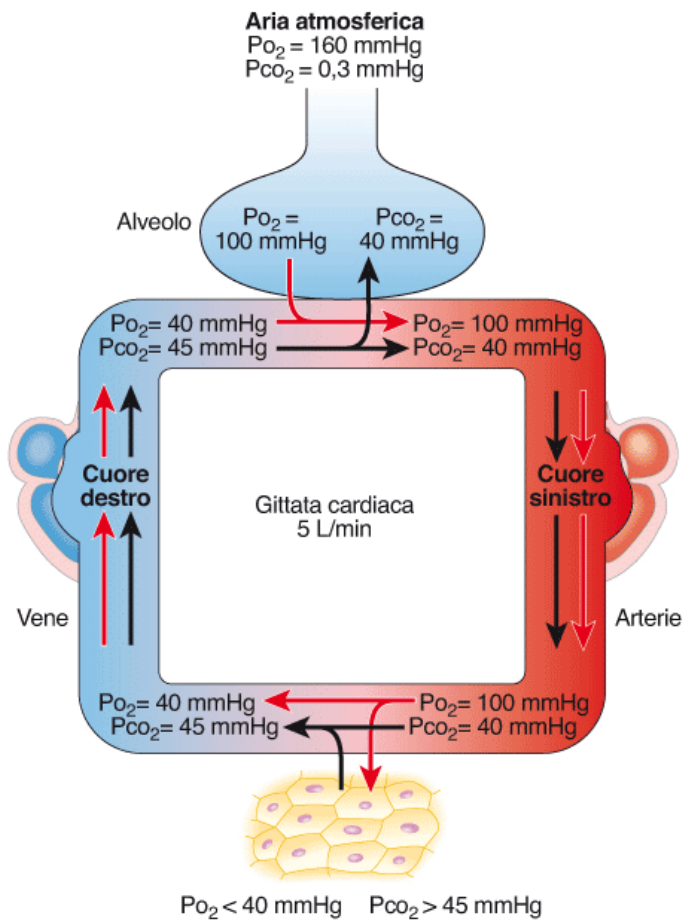
## Coefficiente di solubilità

Ossigeno	0,024
Anidride carbonica	0,57
Monossido di carbonio	0,018
Azoto	0,012
Elio	0,008

A parità di concentrazione dei due gas, la  $\text{CO}_2$  esercita una  $P_{\text{CO}_2}$  che è 1/20 della  $P_{\text{O}_2}$

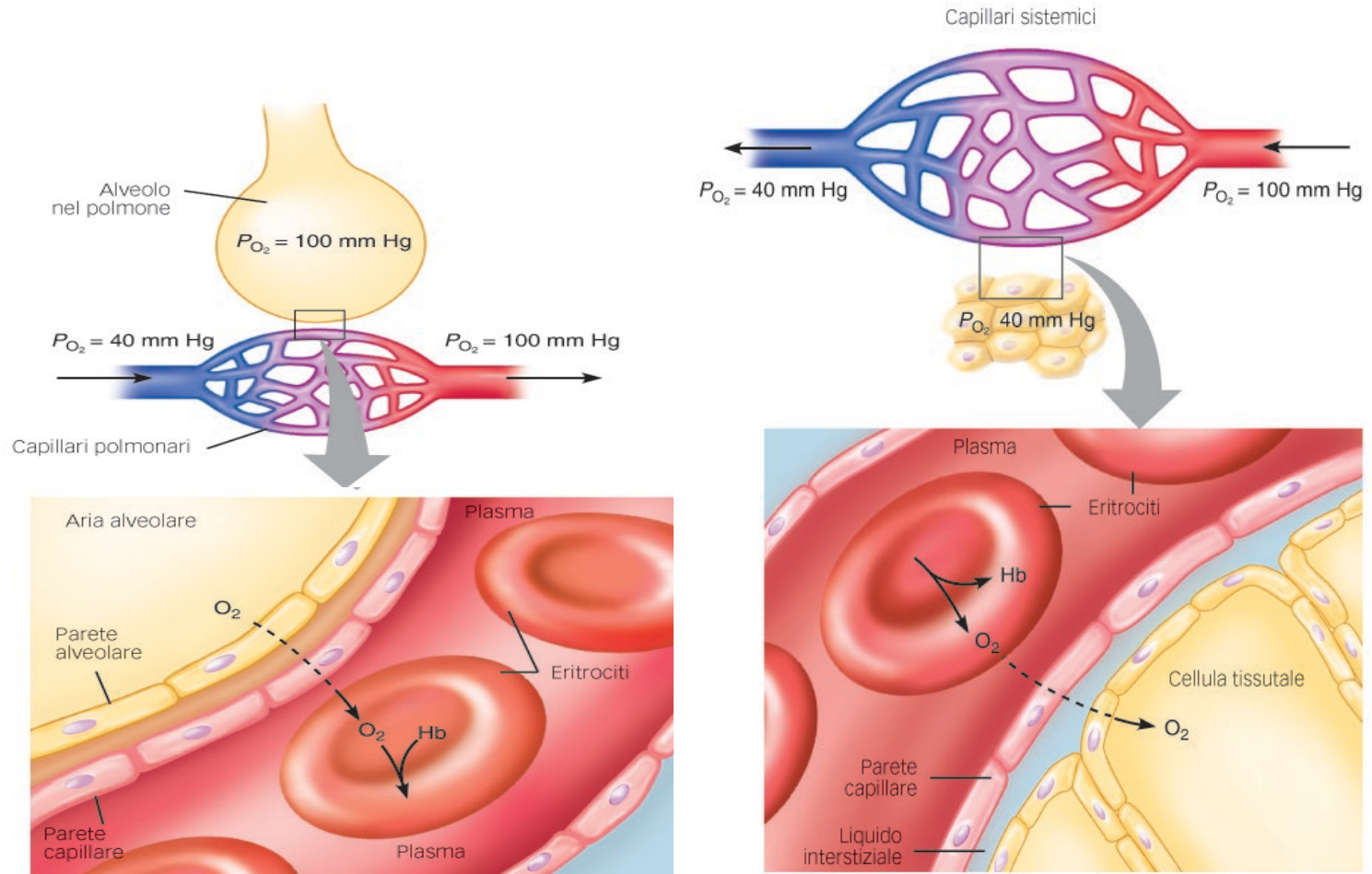
**A parità di pressione parziale è fisicamente disciolta nel sangue una quantità maggiore di  $\text{CO}_2$  rispetto all' $\text{O}_2$**

# Scambio gassosi a livello alveolare



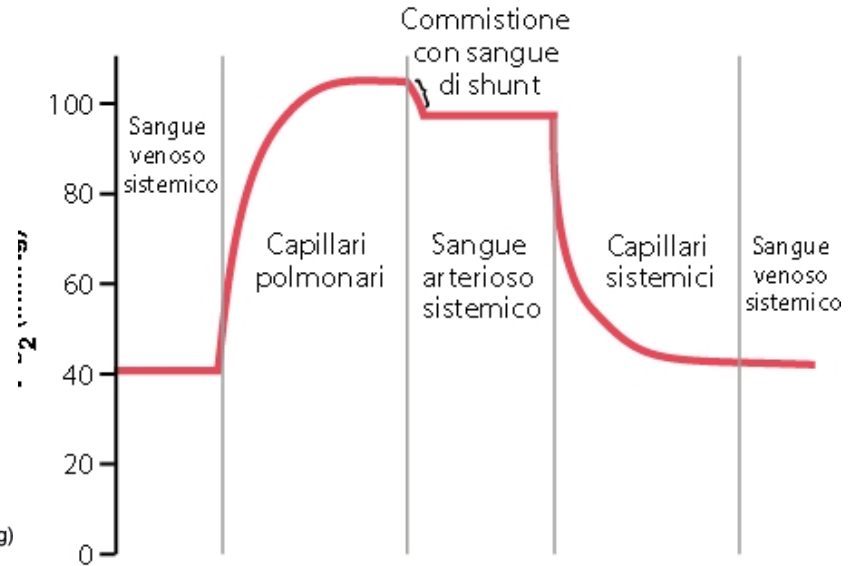
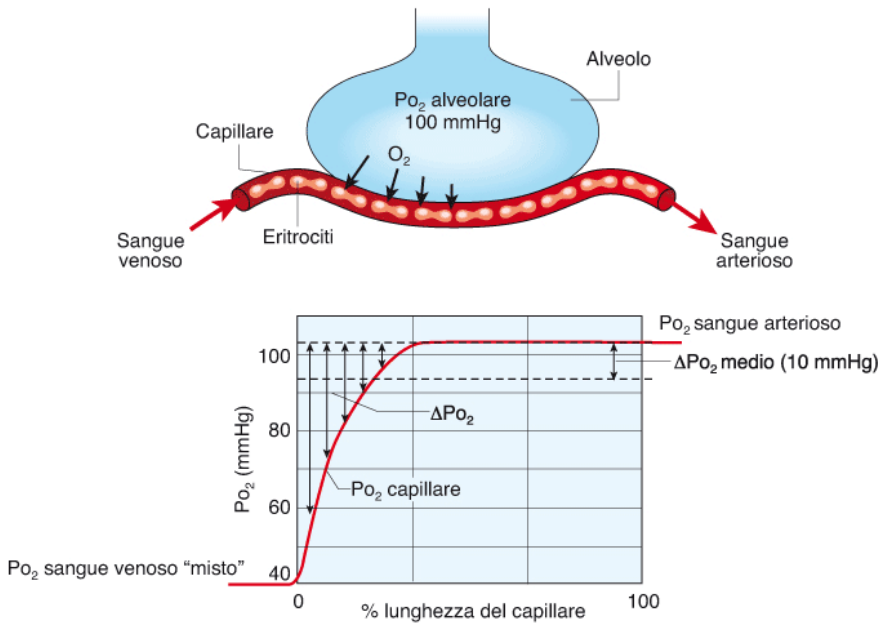
**Figura 10.25** Pressioni parziali di  $O_2$  e  $CO_2$  nell'atmosfera, negli alveoli, lungo il circolo polmonare e sistemico e nei tessuti, in condizioni di ventilazione alveolare e gittata cardiaca normali.

# TRASPORTO DEI GAS NEL SANGUE

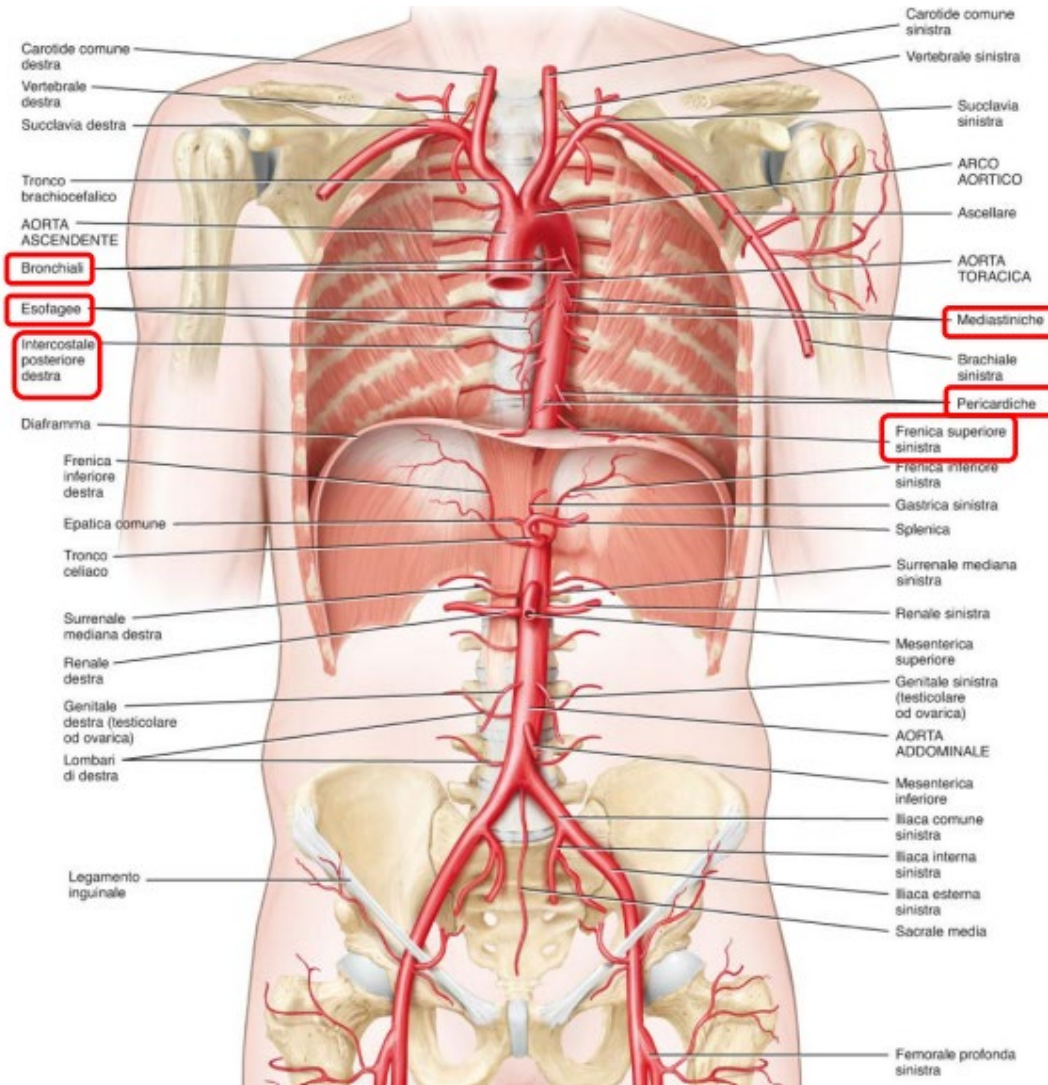


Po<sub>2</sub> alveolare = 104 mmHg

# TRASPORTO OSSIGENO



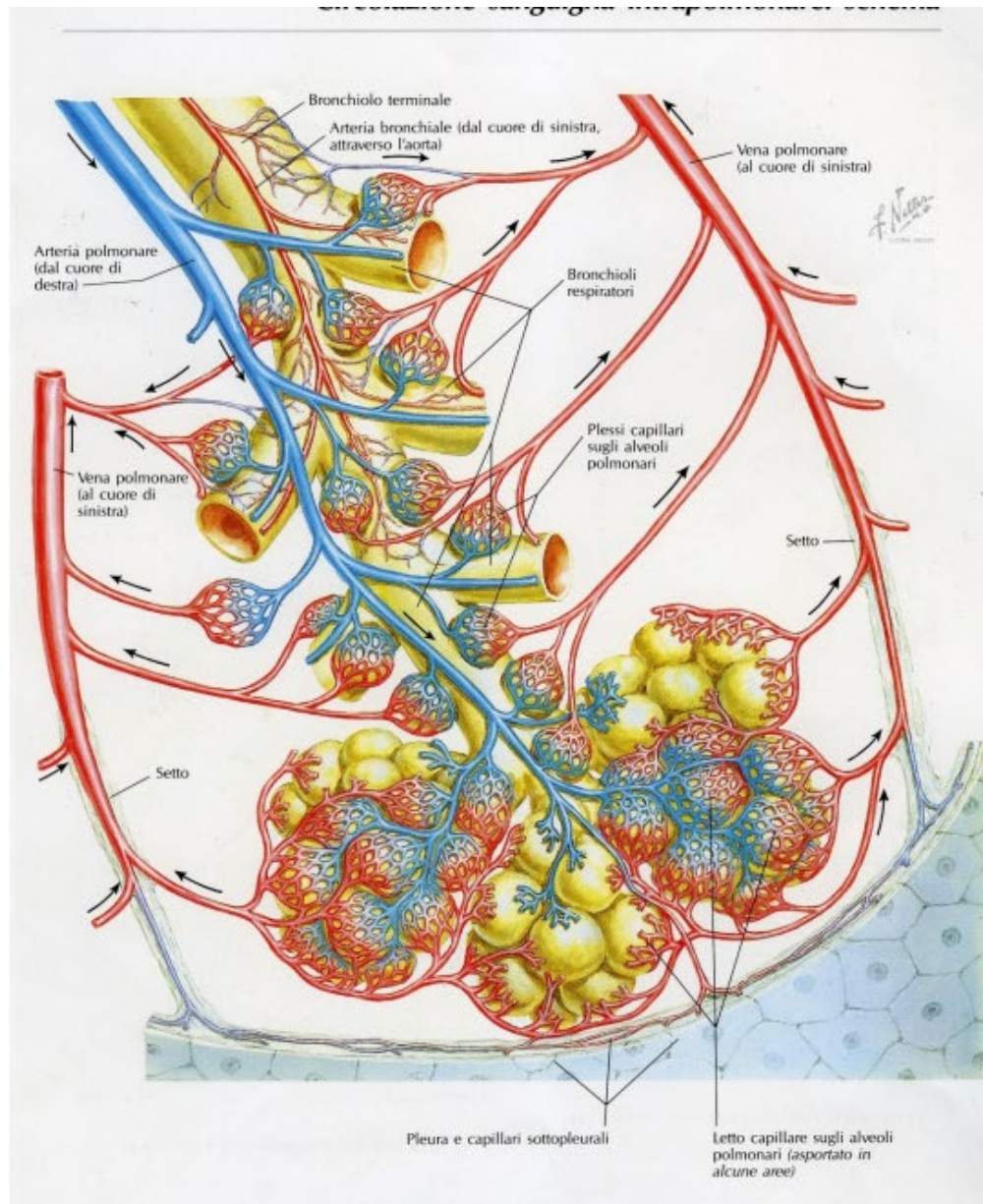
**Figura 40.2** Variazioni della Po<sub>2</sub> nel sangue dei capillari polmonari, nel sangue arterioso e in quello dei capillari sistemici. Si noti l'effetto della "commistione venosa".



**Toracica:** (decorre nel mediastino posteriore a livello della parete toracica dorsale lievemente a sx). Attraversa diaframma a livello di T12.

→ **RAMI VISCERALI:** a. bronchiali, a. pericardiche, a. esofagee, a. mediastiniche

→ **RAMI PARIETALI:** a. intercostali, a. freniche superiori.



## **Circolo Polmonare Funzionale (vasi polmonari)**

**Tronco polmonare dal ventricolo destro del cuore, **ARTERIE** polmonari dx e sx con sangue venoso**

**Arterie polmonari seguono le ramificazioni dei bronchi fino a risolversi nei capillari che circondano gli alveoli**

**Il SANGUE a livello di tali capillari cede CO<sub>2</sub> e si arricchisce di O<sub>2</sub> diventa sangue arterioso**

**I capillari confluiscono si formano le 4 VENE Polmonari (2 da dx e 2 da sx) che portano il sangue arterioso all'atrio sinistro del cuore**

## **Circolo Polmonare Nutritivo (vasi bronchiali)**

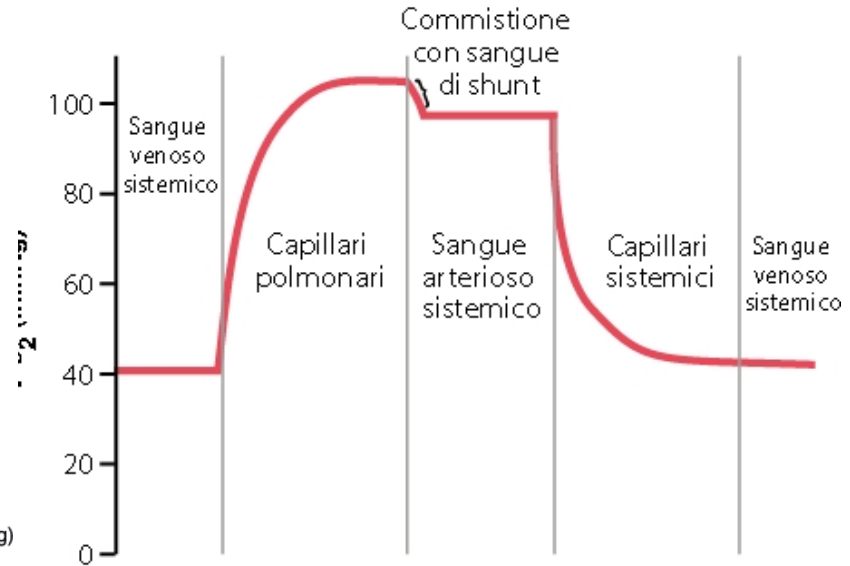
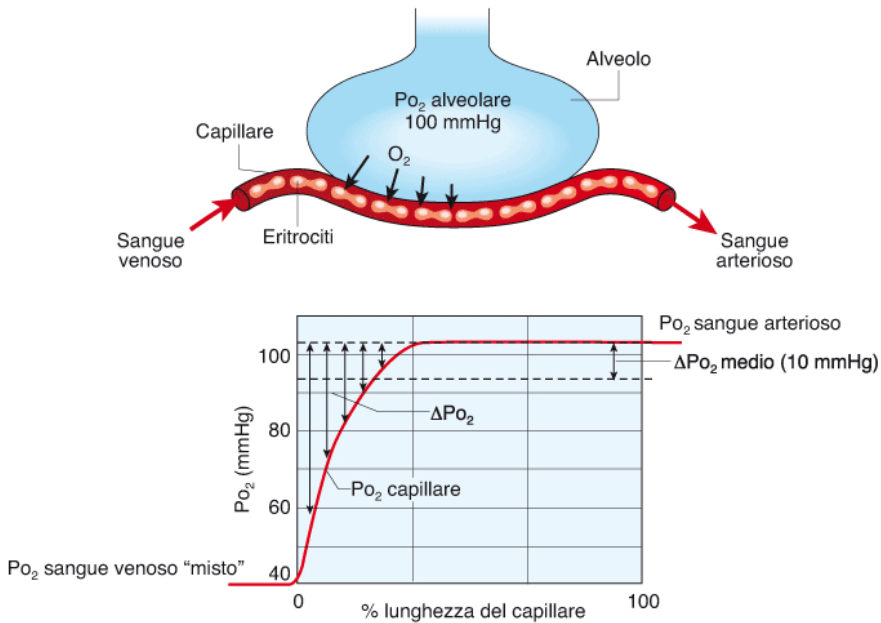
**Arterie bronchiali : dall'aorta toracica seguono le ramificazioni dei bronchi**

**Vene bronchiali**

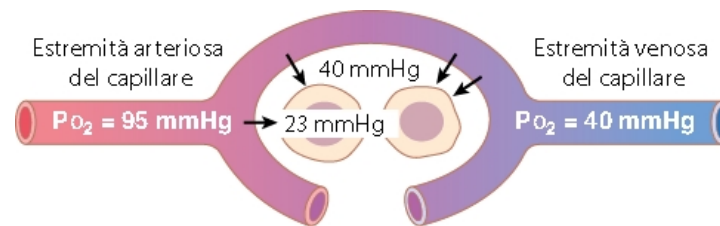


Po<sub>2</sub> alveolare = 104 mmHg

# TRASPORTO OSSIGENO



**Figura 40.2** Variazioni della Po<sub>2</sub> nel sangue dei capillari polmonari, nel sangue arterioso e in quello dei capillari sistemici. Si noti l'effetto della "commistione venosa".



**Figura 40.3** Diffusione dell'ossigeno da un capillare tissutale periferico alle cellule. (Po<sub>2</sub> nel liquido interstiziale = 40 mmHg e nella cellula = 23 mmHg.)

# TRASPORTO DI OSSIGENO

200-300 milioni di molecole **EMOGLOBINA Hb** in ogni GR

Ossiemoglobina  $HbO_2$   
Carbaminoemoglobina  $HHb+CO_2$   
Carbossiemoglobina ( $HbCO$ )

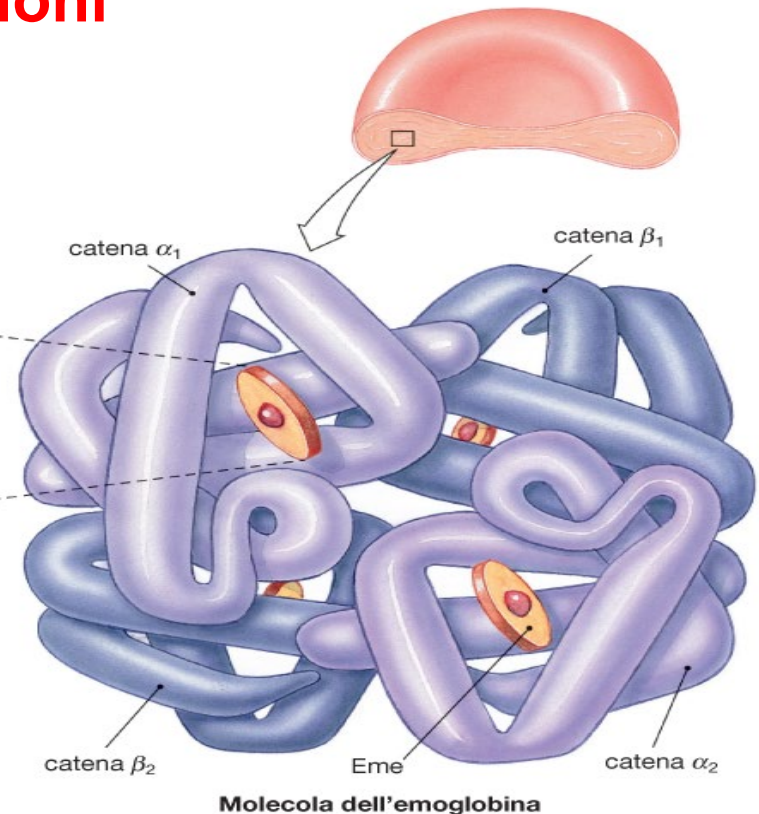
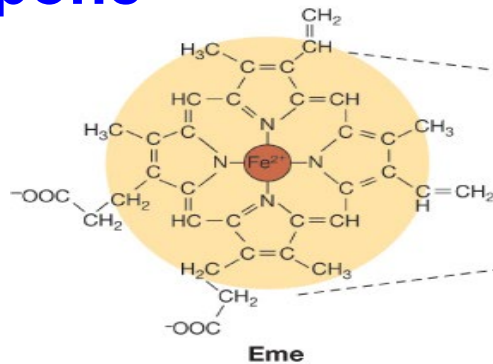
## FUNZIONE

Captazione dell'ossigeno nei polmoni

Trasporto nel sangue

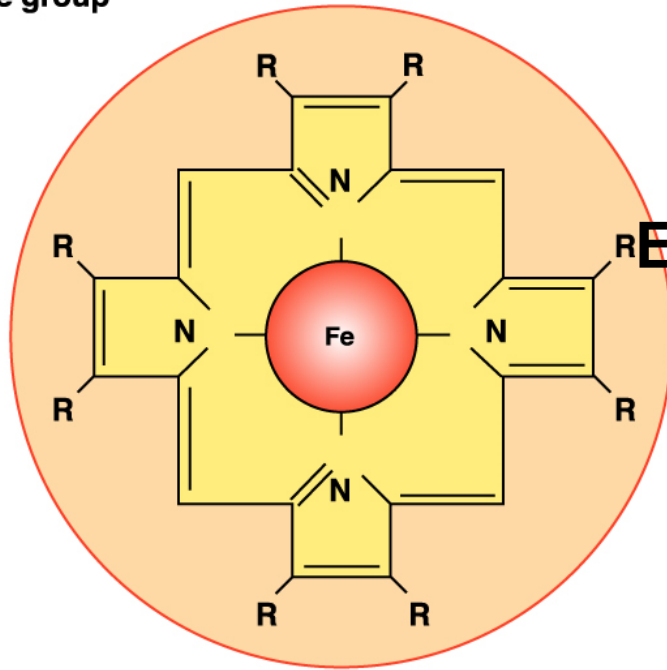
Cessione ai tessuti periferici

Sistema tampone



# O<sub>2</sub> si lega all'atomo di Ferro (Fe<sup>2+</sup>) del gruppo EME

Heme group



R = additional C, H, O groups

Nei polmoni



Emoglobina diventa ossiemoglobina

Nei tessuti

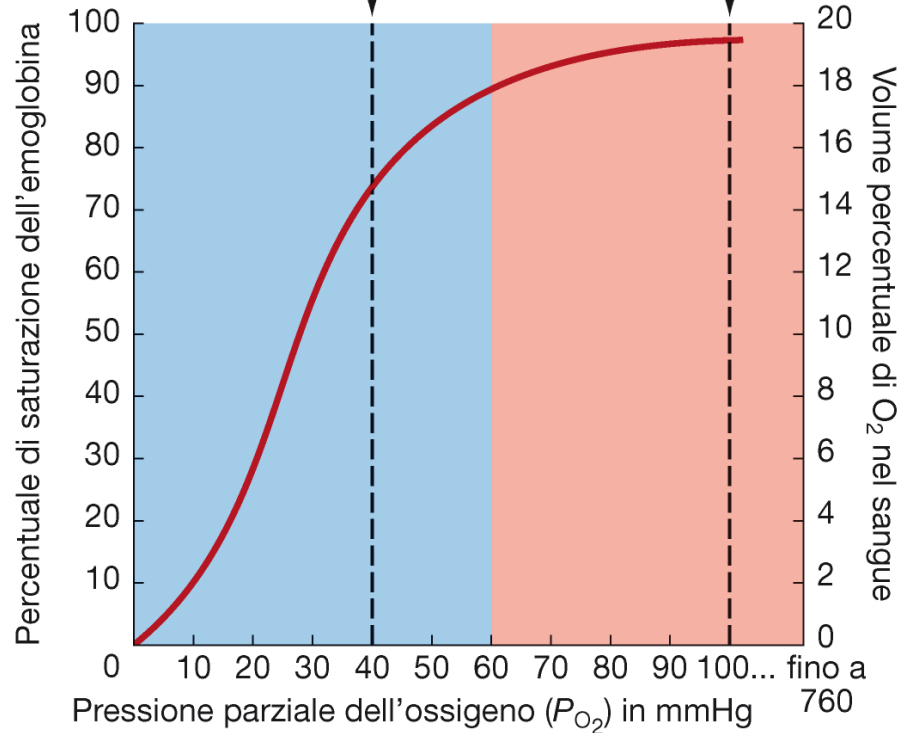


L'ossigeno si dissocia  
emoglobina ridotta

Capacità di trasporto di ossigeno del sangue = O<sub>2</sub> che è capace di trasportare l'emoglobina in 100 mL =  
= 15 g/dL \* X1.34 ml O<sub>2</sub>/g = 20.1 mL O<sub>2</sub>/dL

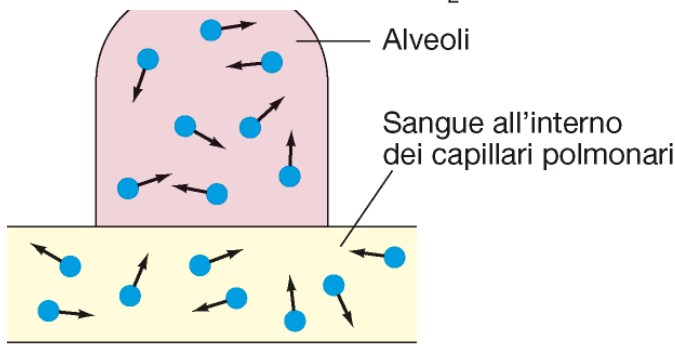
$P_{O_2}$  media a livello  
dei capillari sistemici  
in condizioni di riposo

$P_{O_2}$  normale  
a livello dei capillari  
polmonari



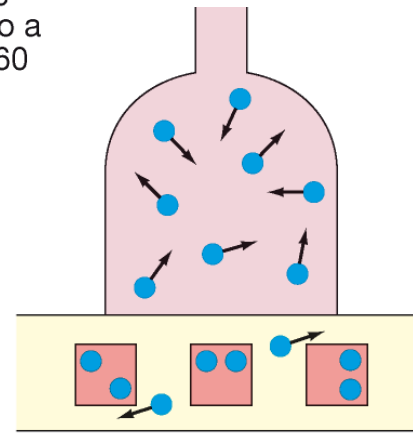
**L'emoglobina**  
**Prolunga l'esistenza di un**  
**gradiente di pressione**

**Ha un ruolo importante nella**  
**quantità totale di  $O_2$  che il**  
**sangue è in grado di captare**  
**nei polmoni e cedere ai**  
**tessuti**



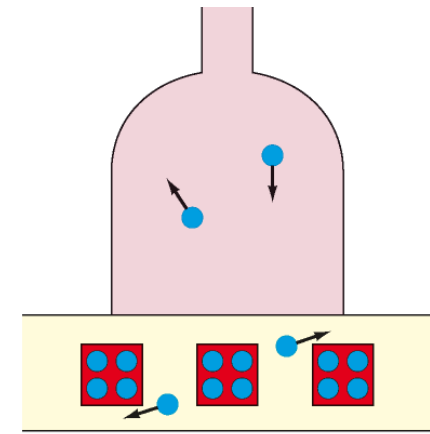
$P_{O_2}$  alveolare =  $P_{O_2}$  ematica

(a)



$P_{O_2}$  alveolare >  $P_{O_2}$  ematica

(b)



$P_{O_2}$  alveolare =  $P_{O_2}$  ematica

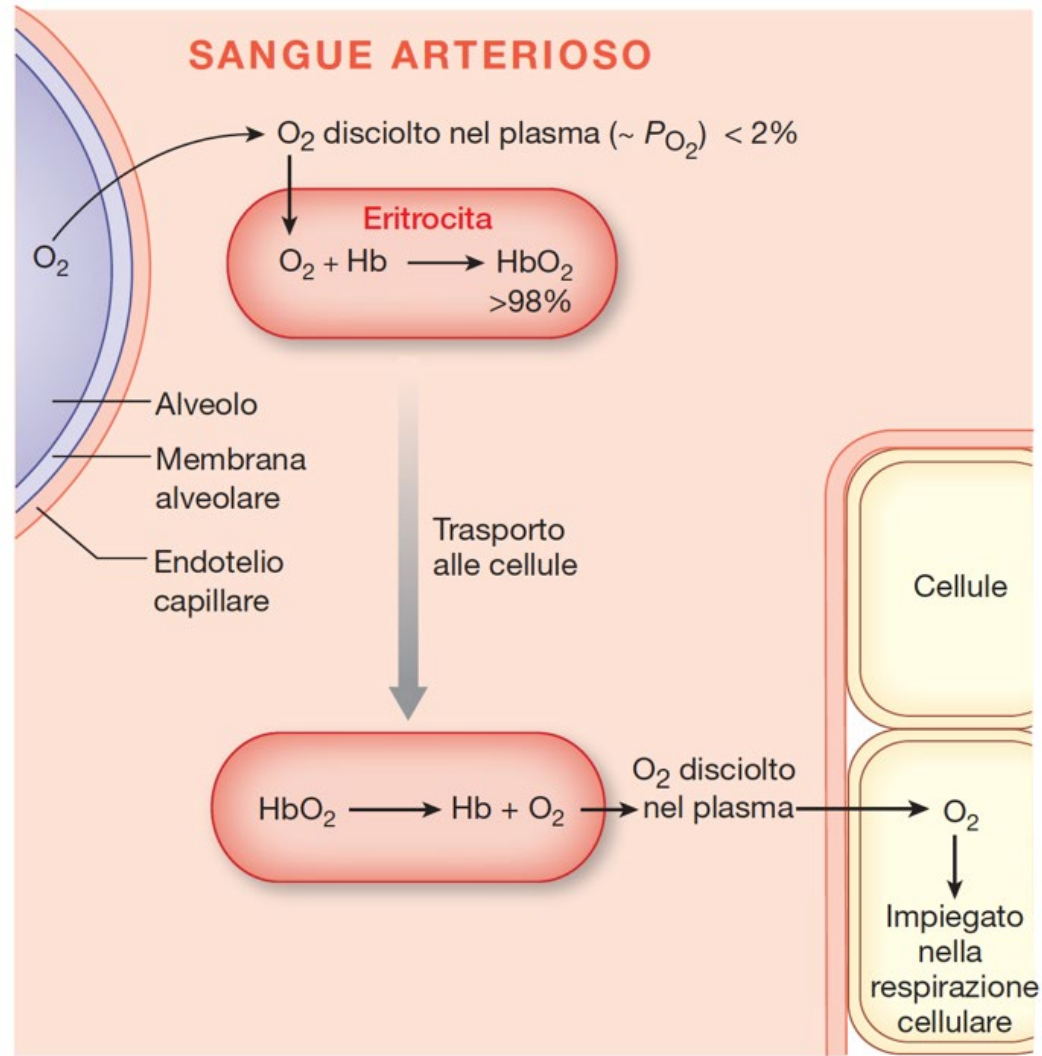
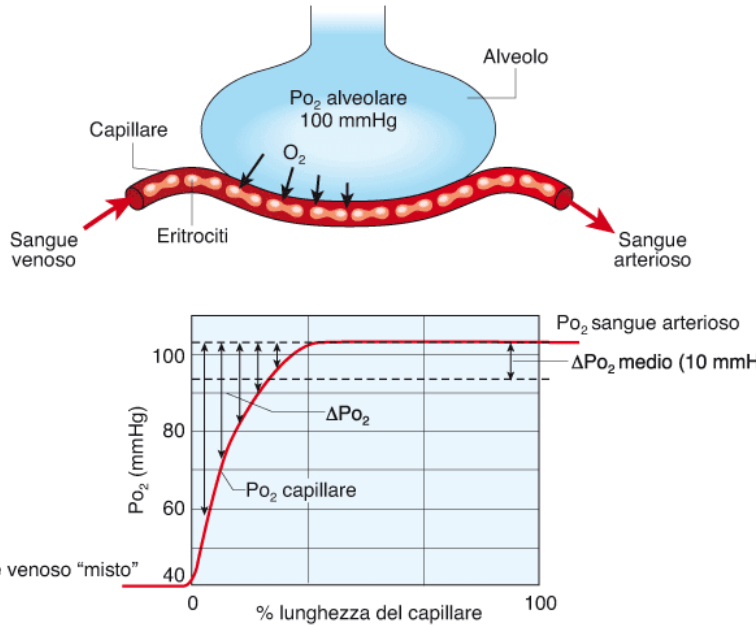
(c)

● Molecola di  $O_2$

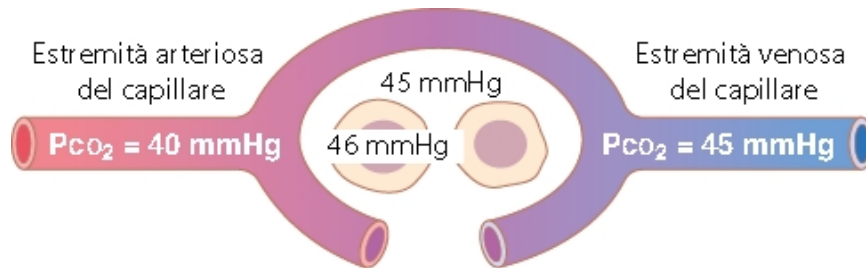
■ Molecola di emoglobina  
parzialmente saturata

■ Molecola di emoglobina  
completamente saturata

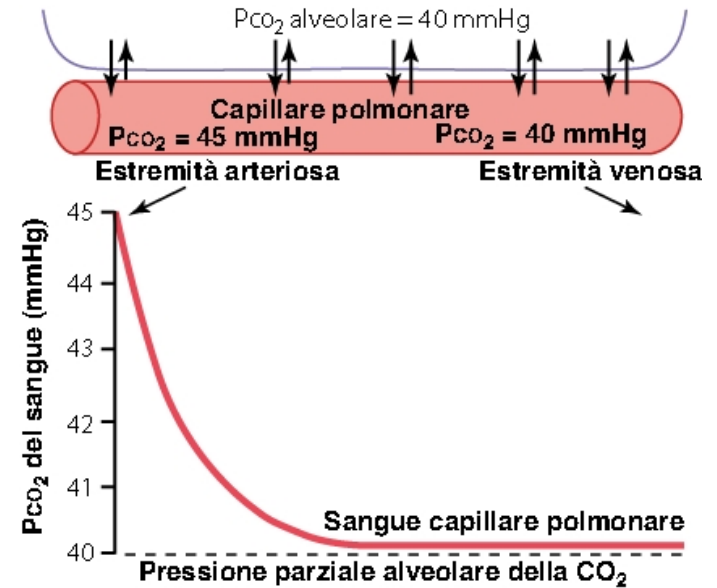
# TRASPORTO OSSIGENO



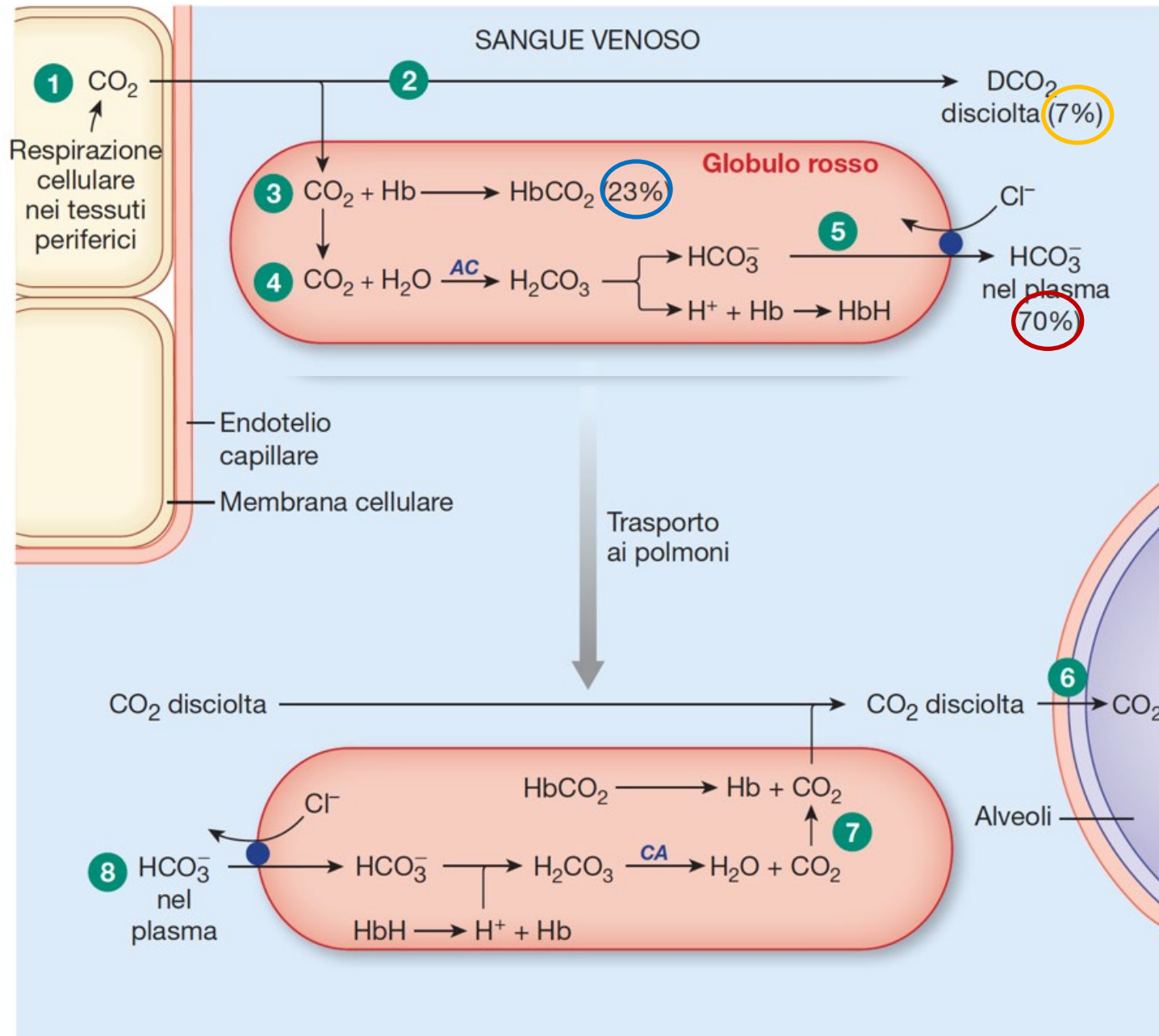
# TRASPORTO ANIDRIDE CARBONICA



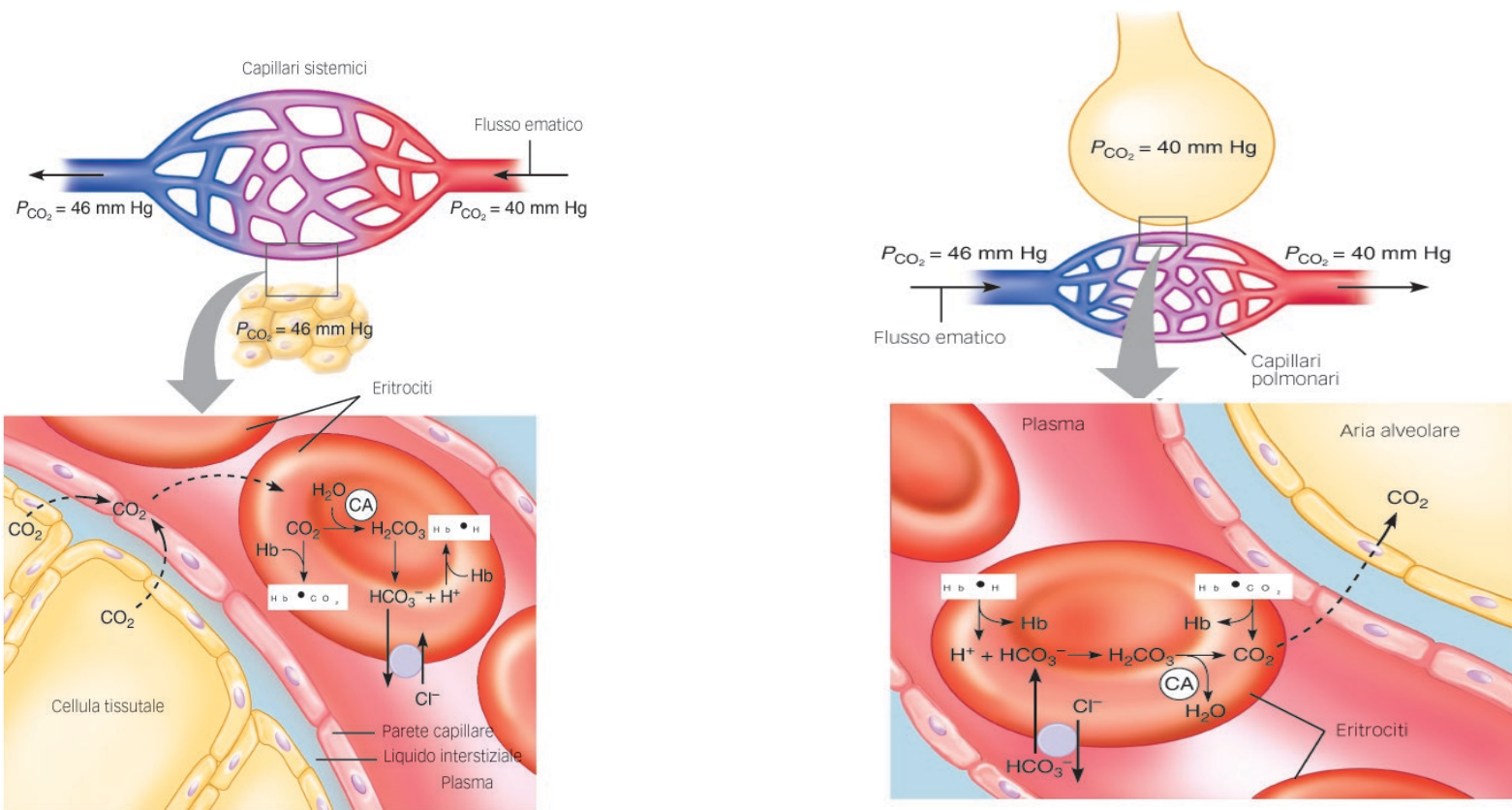
**Figura 40.5** Assunzione di anidride carbonica da parte del sangue dei capillari tissutali. ( $P_{CO_2}$  cellulare = 46 mmHg e nel liquido interstiziale = 45 mmHg.)



**Figura 40.6** Diffusione di anidride carbonica dal sangue polmonare all'alveolo. (Fonte dati Milhorn HT Jr, Pulley PE Jr: A theoretical study of pulmonary capillary gas exchange and venous admixture. *Biophys J* 8:337, 1968.)



# TRASPORTO DEI GAS NEL SANGUE





# Quoziente respiratorio

La ventilazione ricambia solo parzialmente e in modo intermittente l'area alveolare

Mentre il sangue dei capillari estrae continuamente  $O_2$  e immette  $CO_2$  nell'area alveolare

$V_a$  ( 4,2 L/min)

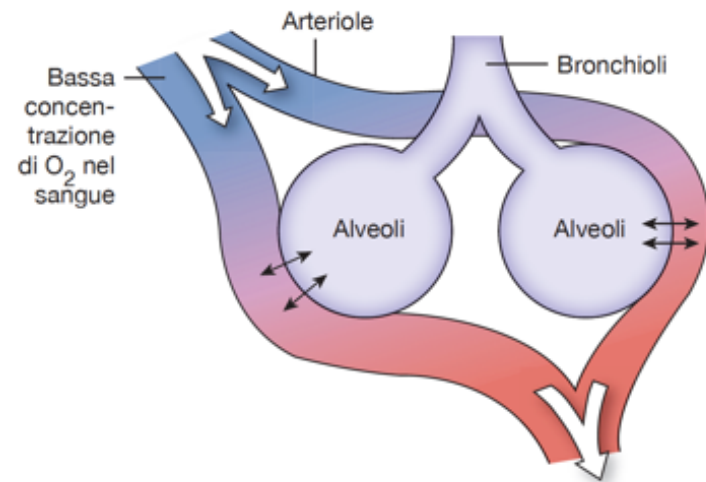
$Q$  (5L/ min)

$V_a/Q = 0,8$

250 ml/min  $O_2$  consumo

210 ml/min  $CO_2$  produzione

(a) Normalmente la perfusione del sangue attorno agli alveoli è adeguata alla ventilazione degli alveoli per ottimizzare lo scambio dei gas.

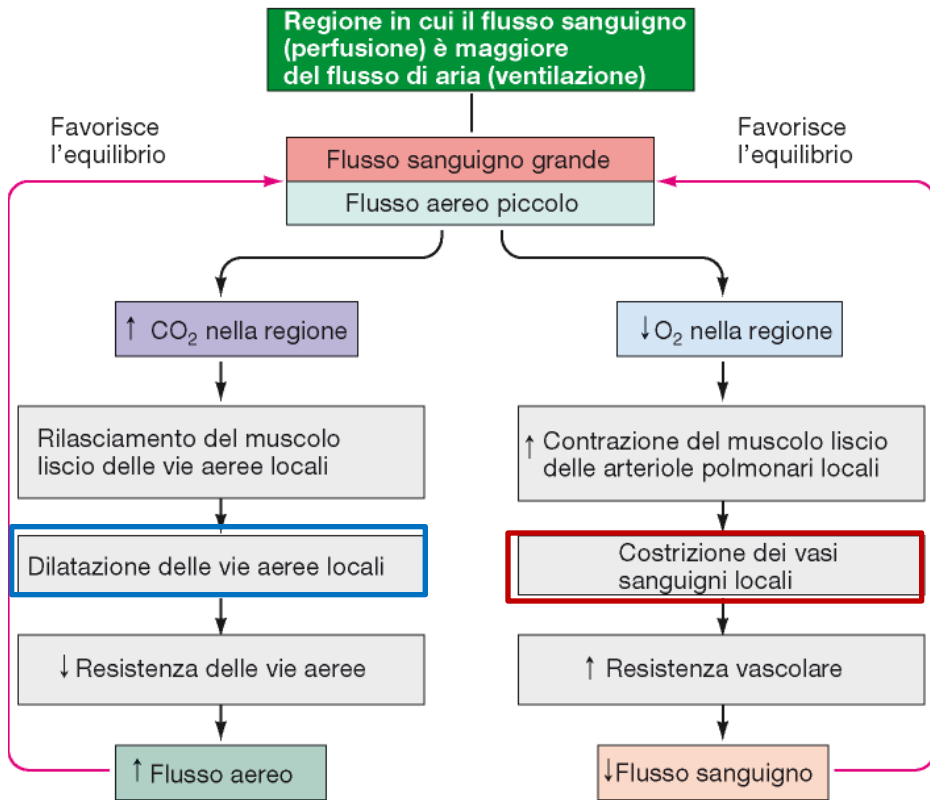


La ventilazione e il flusso ematico sono regolati congiuntamente

Flusso vie aeree: regolato da  $[CO_2]$  alveolare

Flusso arteriole: regolato da  $[O_2]$  locale

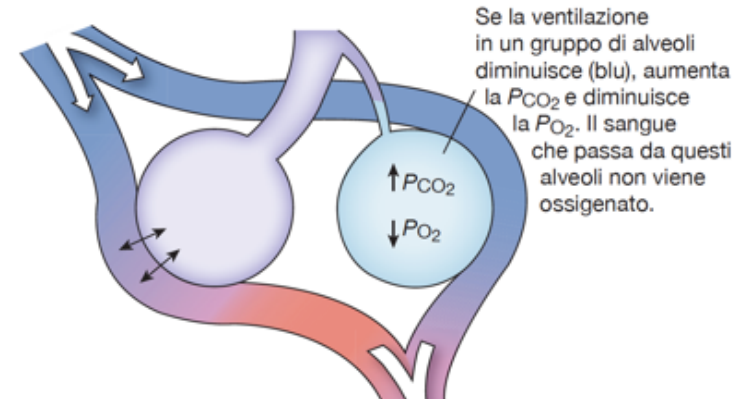
# Regolazione perfusione di sangue da parte della concentrazione $O_2$ $V_a/Q < 0,8$



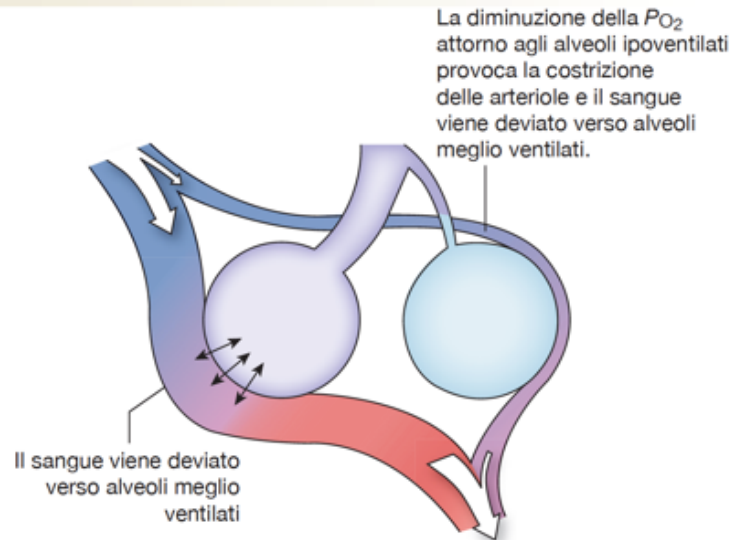
Muscolatura liscia bronchiolare

Muscolatura liscia vasale polmonare

(b) Disaccoppiamento ventilazione-perfusione causato da alveoli sottoventilati.

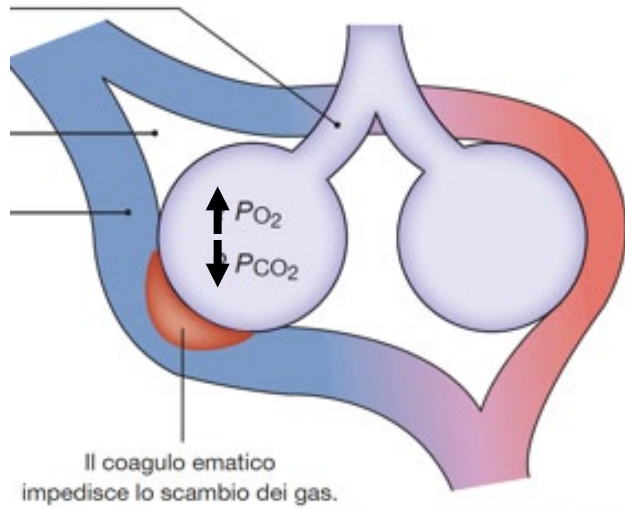


(c) Meccanismi di controllo locale cercano di tenere accoppiati perfusione e ventilazione.

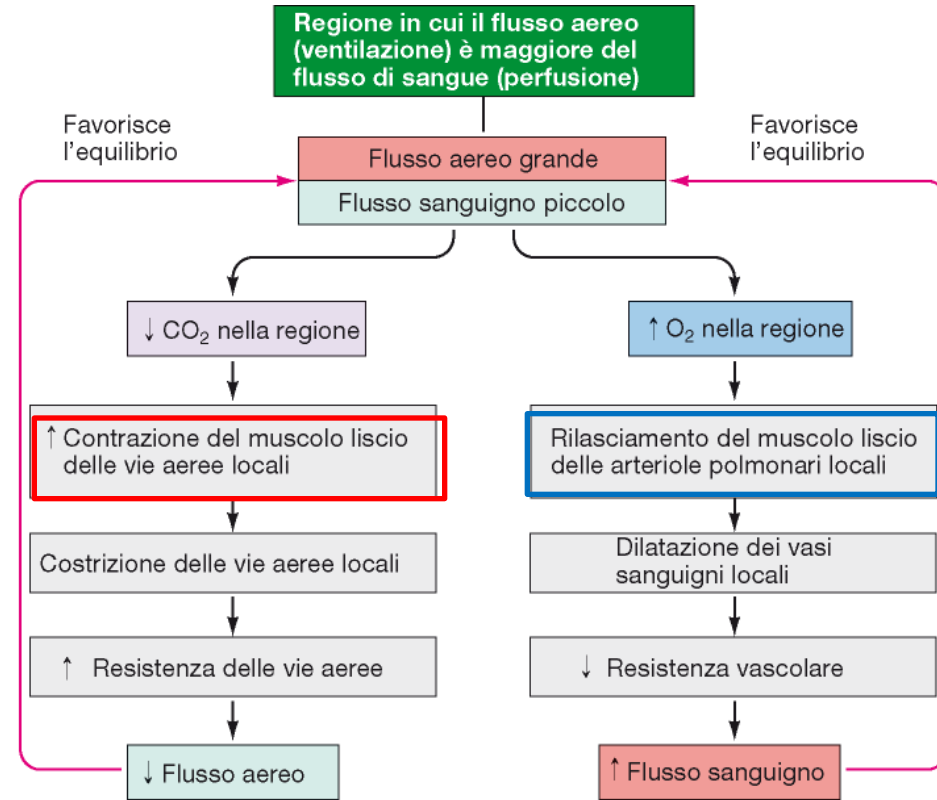


# Regolazione perfusione di sangue da parte della concentrazione O<sub>2</sub>

$$V_a/Q > 0,8$$



one e perfusione.

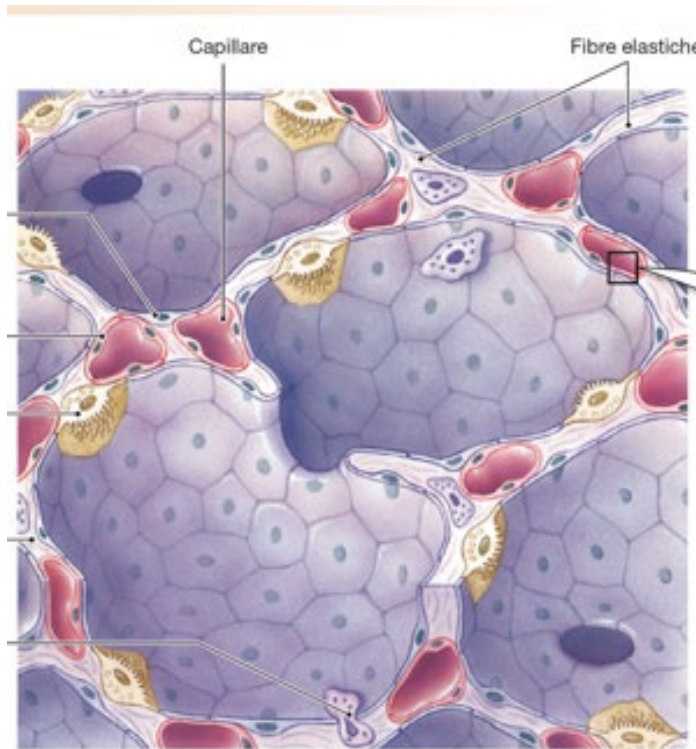


Muscolatura liscia bronchiolare

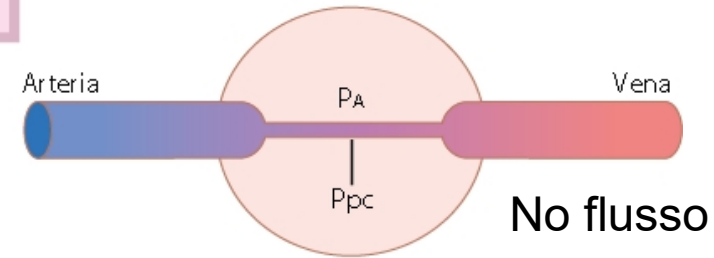
Muscolatura liscia vasale polmonare

**Distribuzione del flusso di sangue:**  
regolato dalla concentrazione  $O_2$   
e dal Gradiente idrostatico

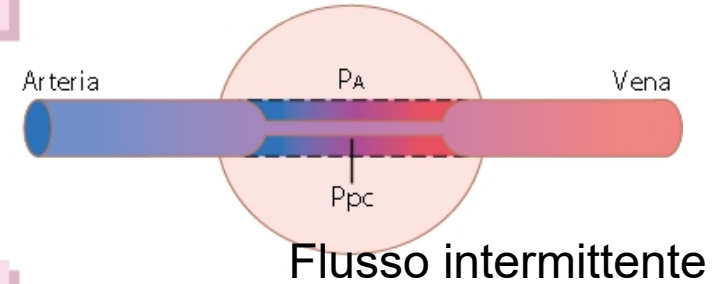
# FLUSSO EMATICO REGIONALE ( effetto grad. idrostatico)



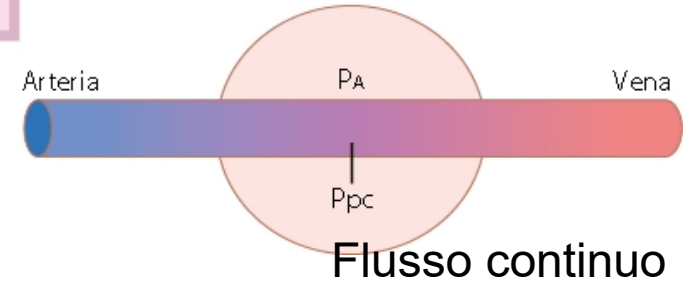
ZONA 1



ZONA 2



ZONA 3



# FLUSSO EMATICO REGIONALE ( effetto grad. idrostatico)

Posizione eretta:

$P_{art.p}$ : -15 mmHg rispetto al cuore

