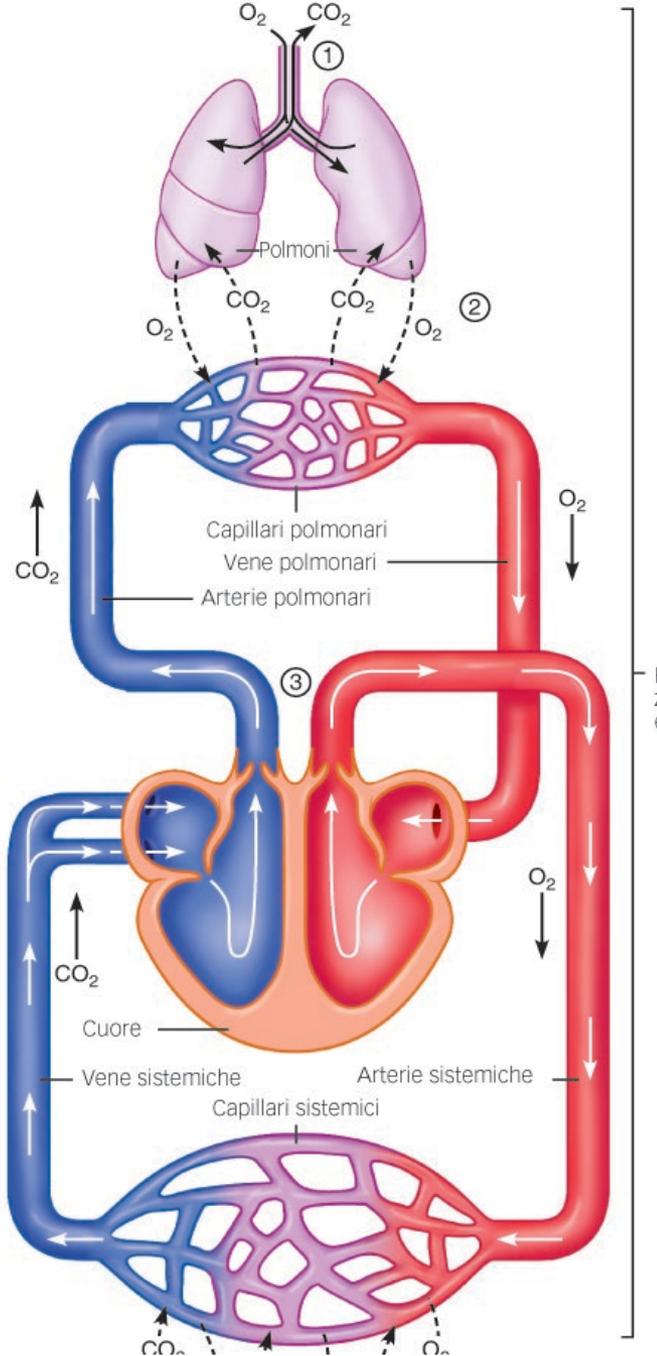


SISTEMA RESPIRATORIO (Scambi gassosi e trasporto dei gas nel sangue)

**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 N_2 - 21% ossigeno O_2
anidride carbonica CO_2 - vapore acqueo H_2O trascurabili

P_{O_2} = percentuale di O_2 nell'aria (21%) X 760 mmHg = circa 160 mmHg

P_{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 (CO₂)- vapore acqueo trascurabili

Aria **ALVEOLARE** differisce perché:

- Meno ossigeno O₂
- Più anidride carbonica CO₂
- Più vapore acqueo

- riscaldata e umidificata nel passaggio attraverso le vie aeree
- O₂ viene sottratto perchè diffonde nei polmoni e viene sostituito da CO₂ 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

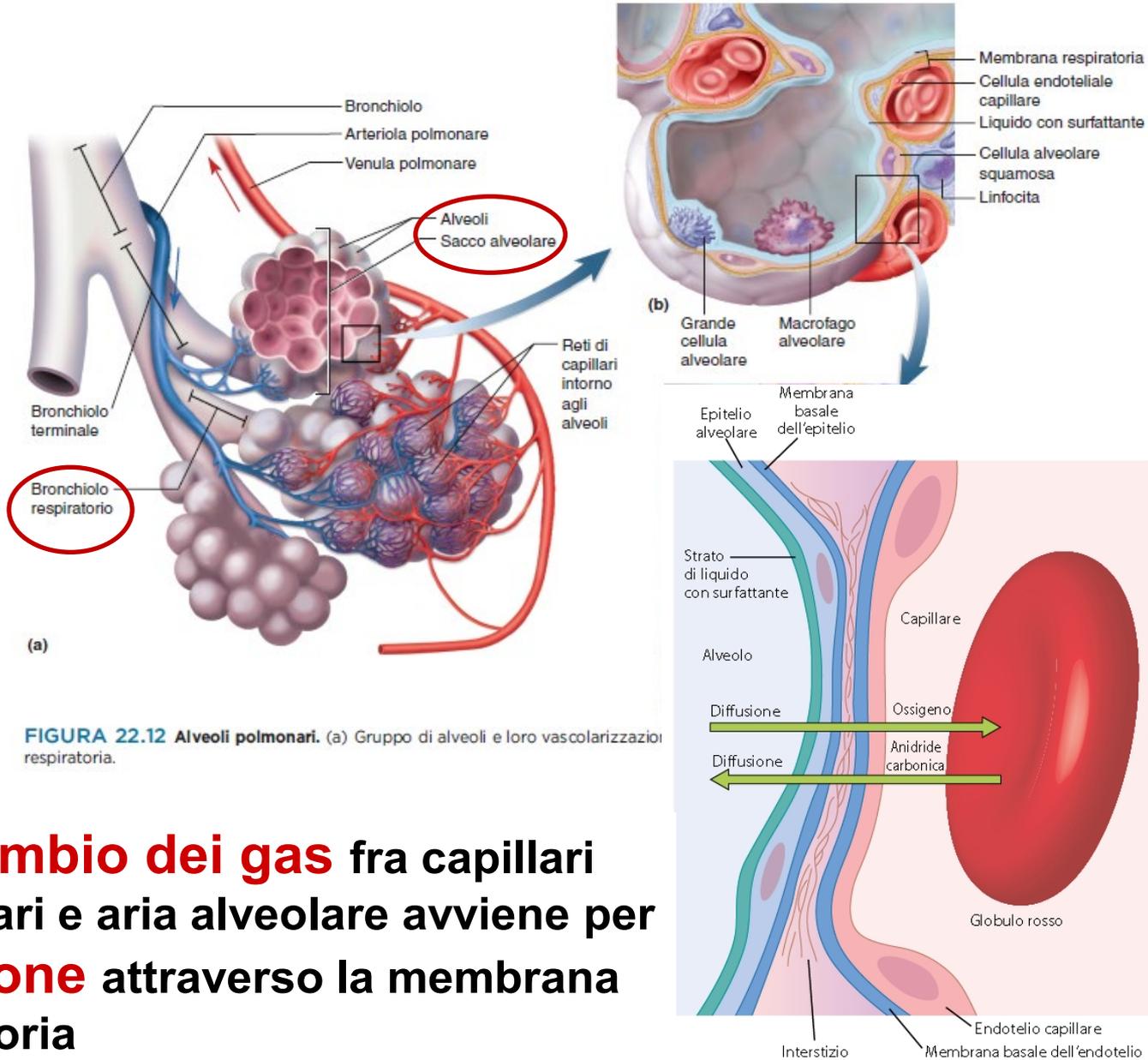


FIGURA 22.12 Alveoli polmonari. (a) Gruppo di alveoli e loro vascolarizzazione respiratoria.

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 ₂	597,0 (78,62%)	563,4 (74,09%)	569,0 (74,9%)	566,0 (74,5%)
O ₂	159,0 (20,84%)	149,3 (19,67%)	104,0 (13,6%)	120,0 (15,7%)
CO ₂	0,3 (0,04%)	0,3 (0,04%)	40,0 (5,3%)	27,0 (3,6%)
H ₂ 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_{gas} nelle due fasi

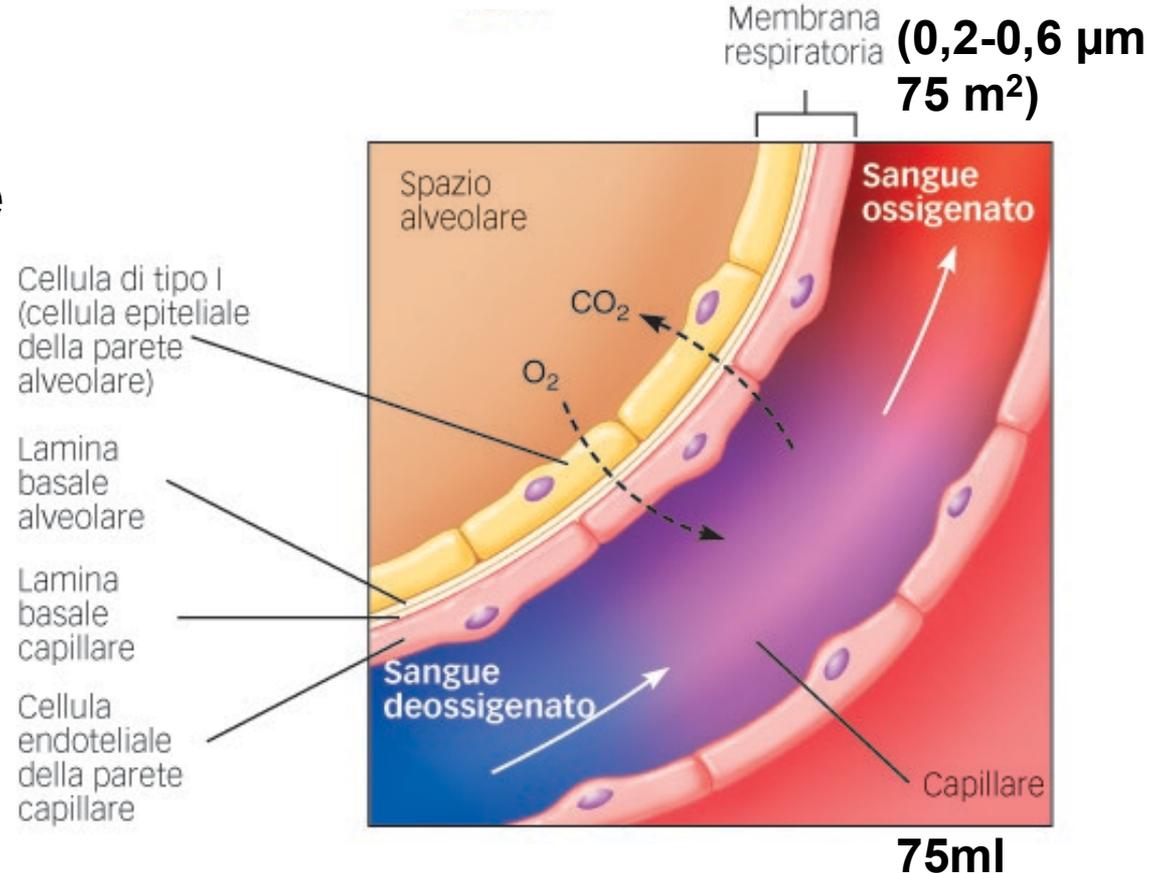
Proporzionale a

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

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

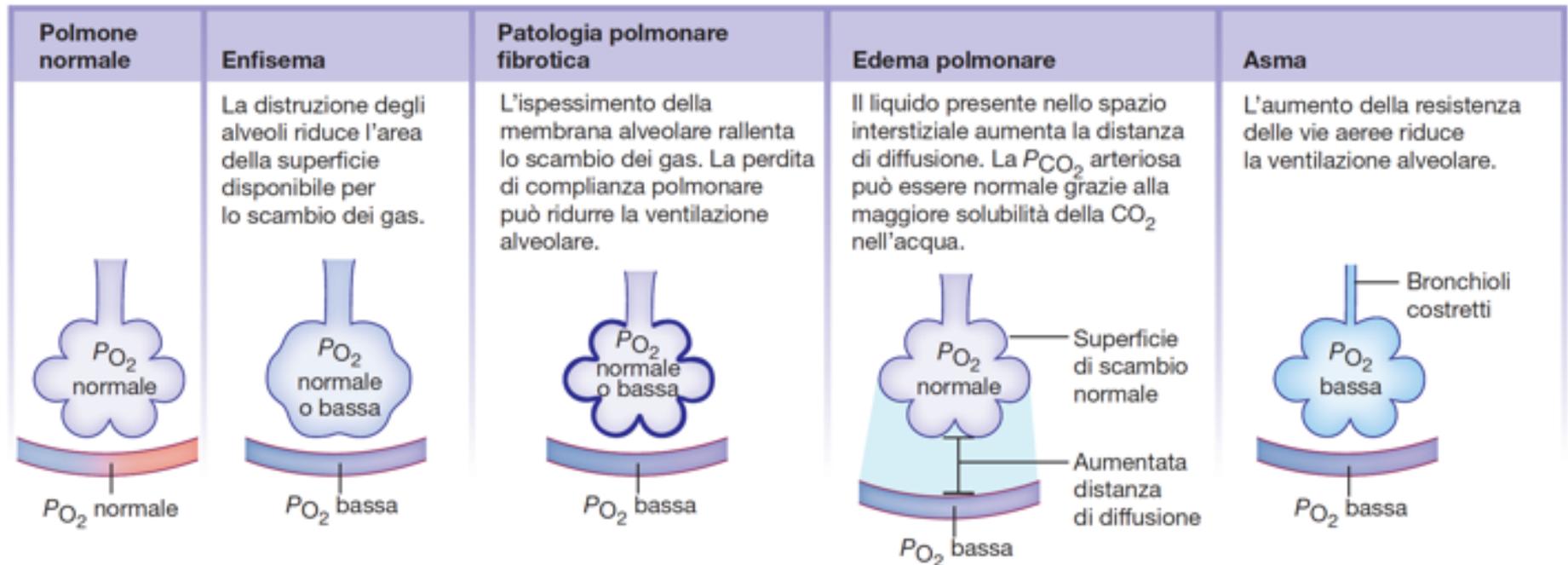
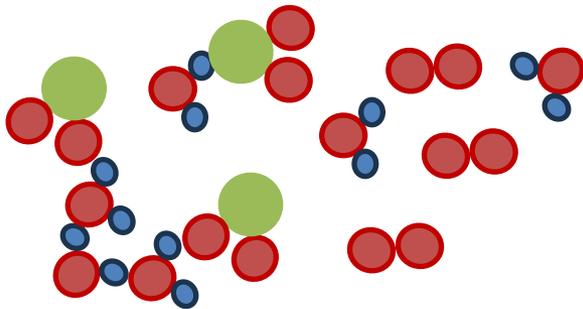


FIGURA 18.3 Scambi di gas negli alveoli.

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 CO_2 esercita una P_{CO_2} che è 1/20 della P_{O_2}

A parità di pressione parziale è fisicamente disciolta nel sangue una quantità maggiore di CO_2 rispetto all' O_2

Scambio gassosi a livello alveolare

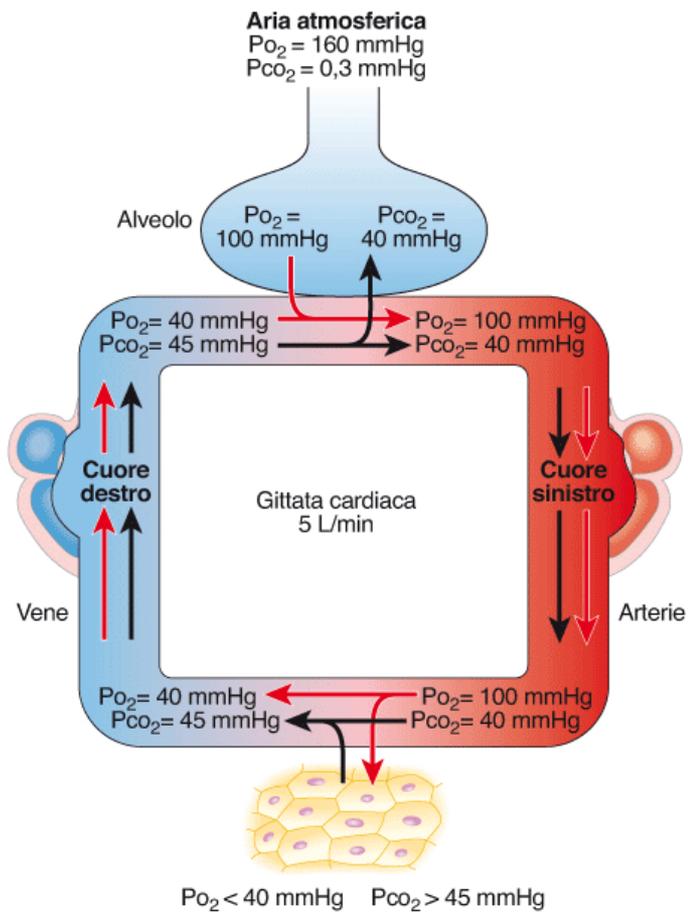
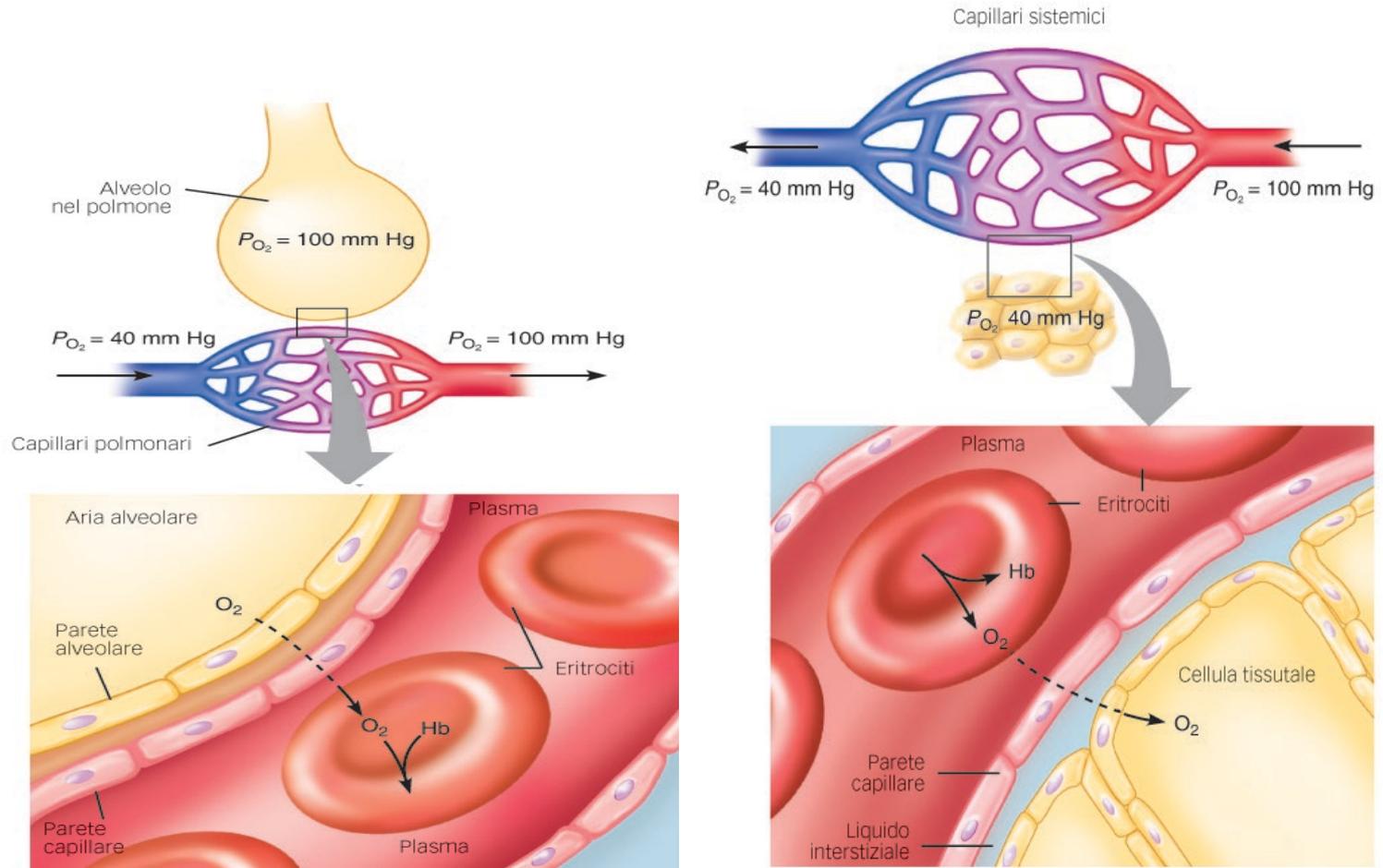


Figura 10.25 Pressioni parziali di O_2 e CO_2 nell'atmosfera, negli alveoli, lungo il circolo polmonare e sistemico e nei tessuti, in condizioni di ventilazione alveolare e gittata cardiaca normali.

TRASPORTO DEI GAS NEL SANGUE



Po₂ alveolare = 104 mmHg

TRASPORTO OSSIGENO

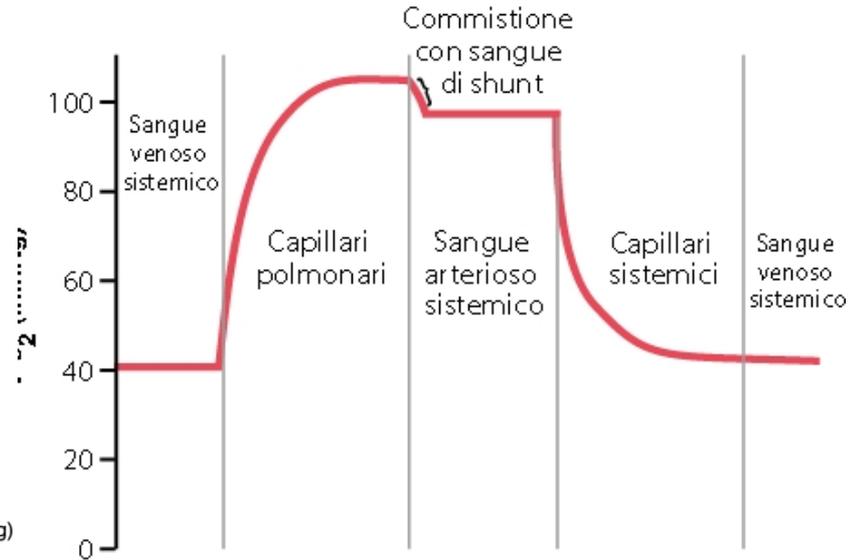
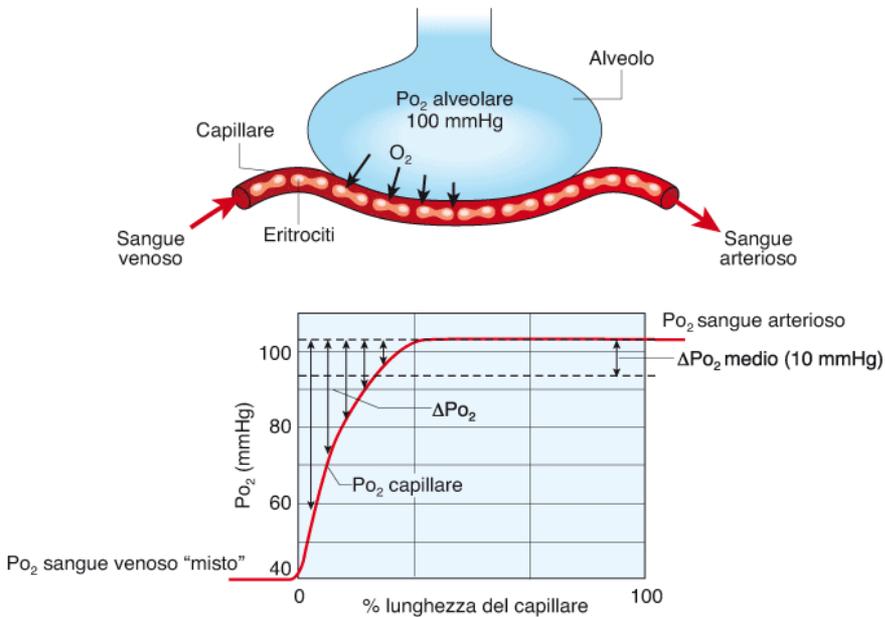
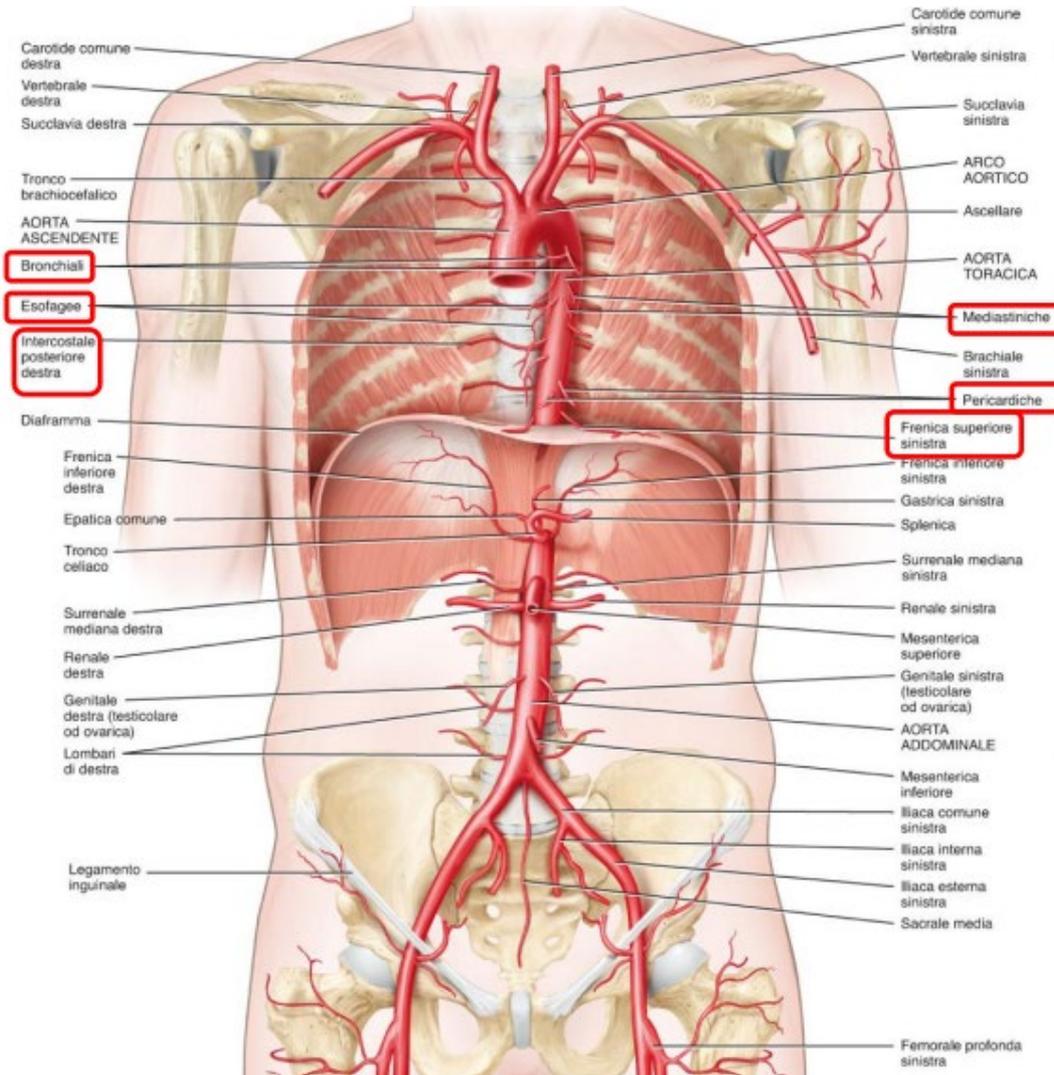


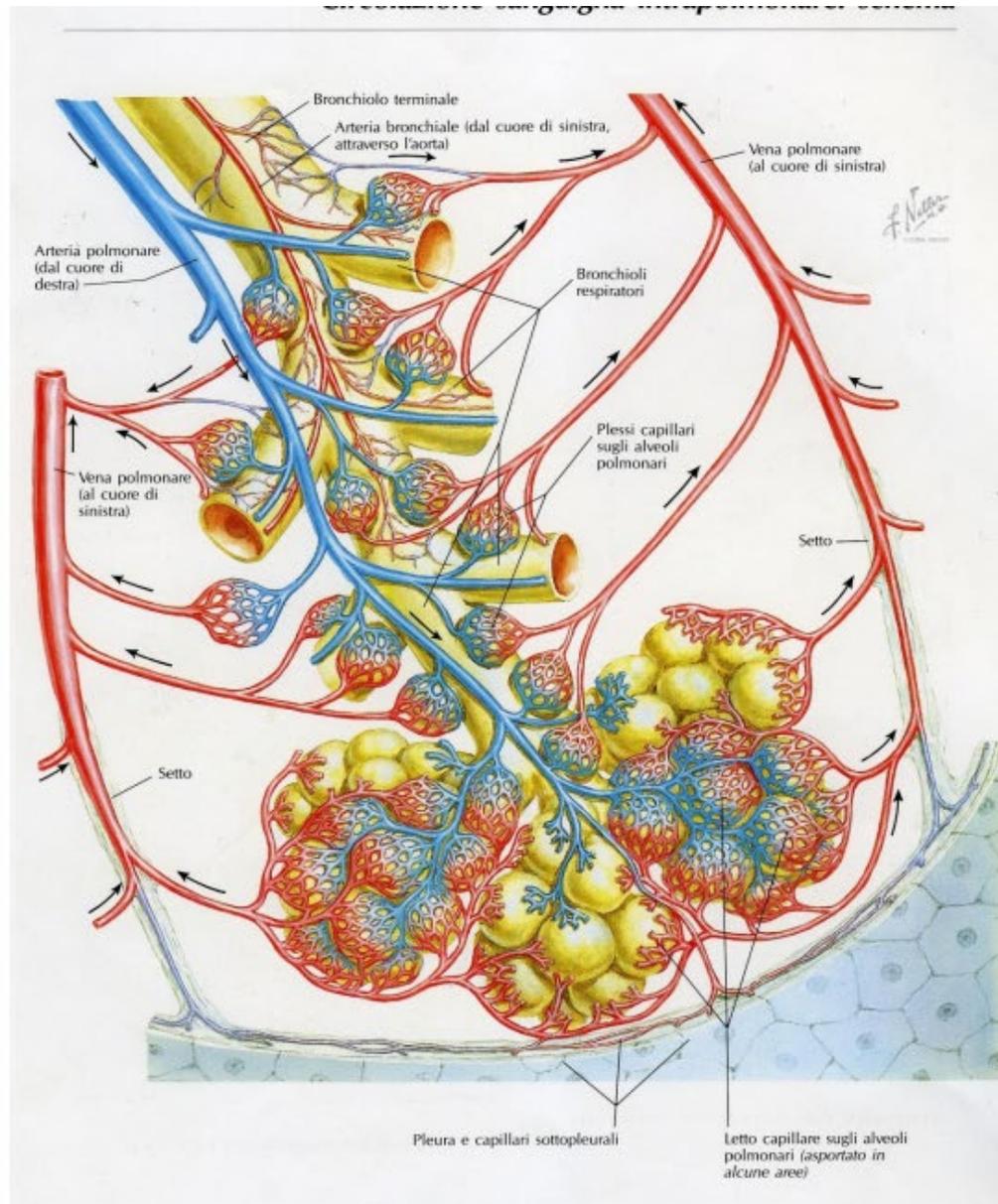
Figura 40.2 Variazioni della Po₂ nel sangue dei capillari polmonari, nel sangue arterioso e in quello dei capillari sistemici. Si noti l'effetto della "commistione venosa".



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 CO₂ e si arricchisce di O₂ 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

TRASPORTO OSSIGENO

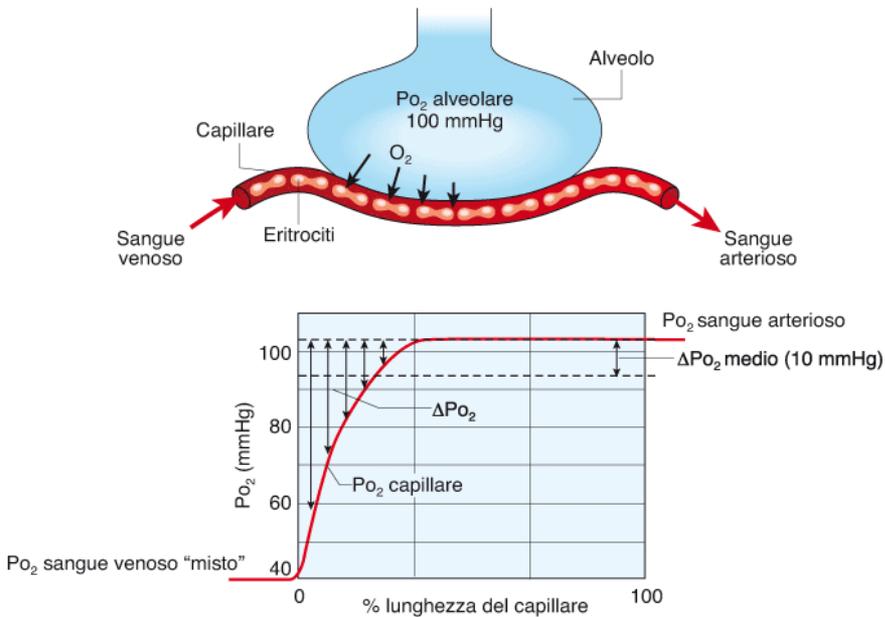


Figura 40.2 Variazioni della Po₂ nel sangue dei capillari polmonari, nel sangue arterioso e in quello dei capillari sistemici. Si noti l'effetto della "commistione venosa".

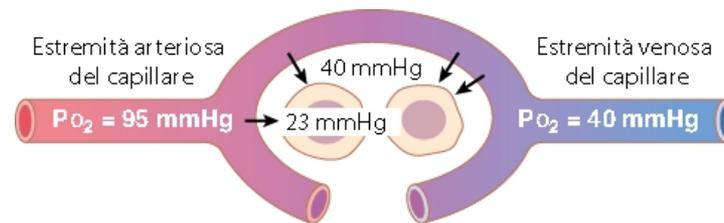


Figura 40.3 Diffusione dell'ossigeno da un capillare tissutale periferico alle cellule. (Po₂ nel liquido interstiziale = 40 mmHg e nella cellula = 23 mmHg.)

TRASPORTO DI OSSIGENO

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

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

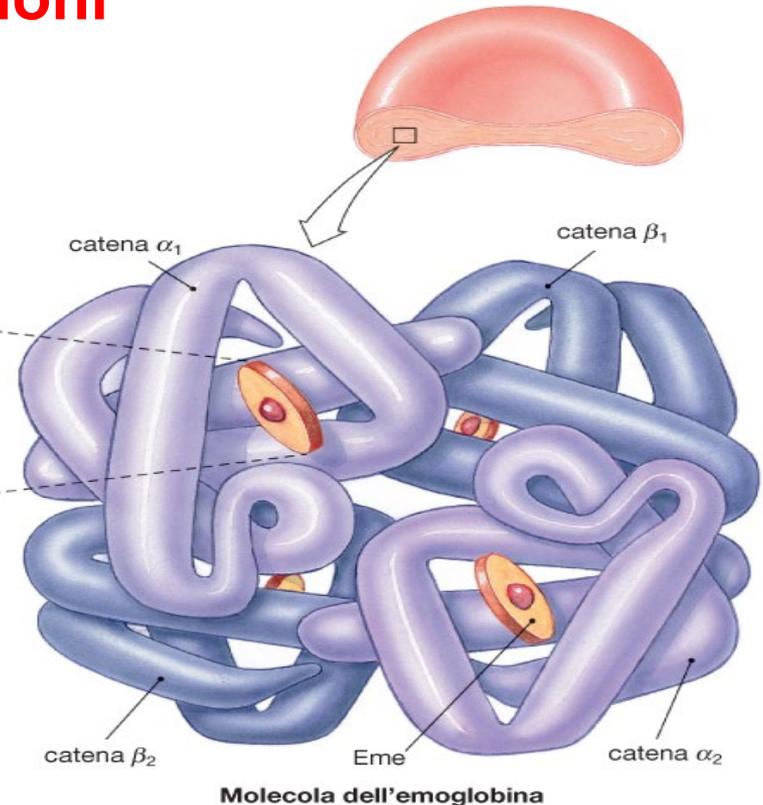
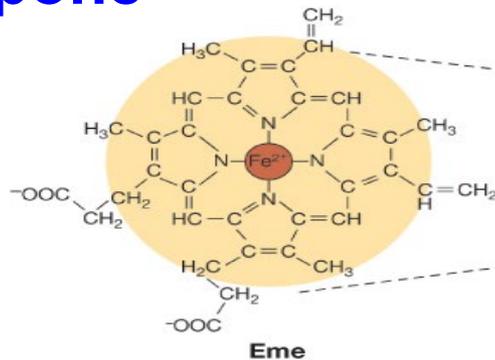
FUNZIONE

Captazione dell'ossigeno nei polmoni

Trasporto nel sangue

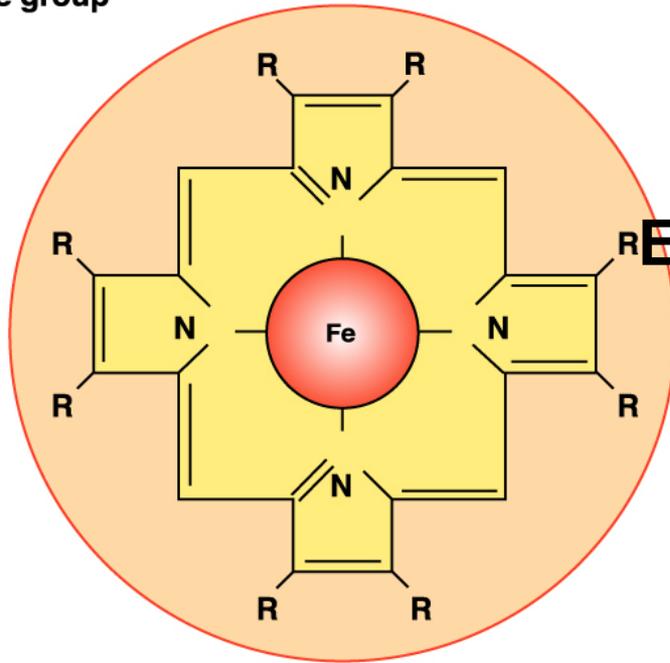
Cessione ai tessuti periferici

Sistema tampone



O₂ si lega all'atomo di Ferro (Fe²⁺) del gruppo EME

Heme group



R = additional C, H, O groups

Nei polmoni



Emoglobina diventa ossiemoglobina

Nei tessuti

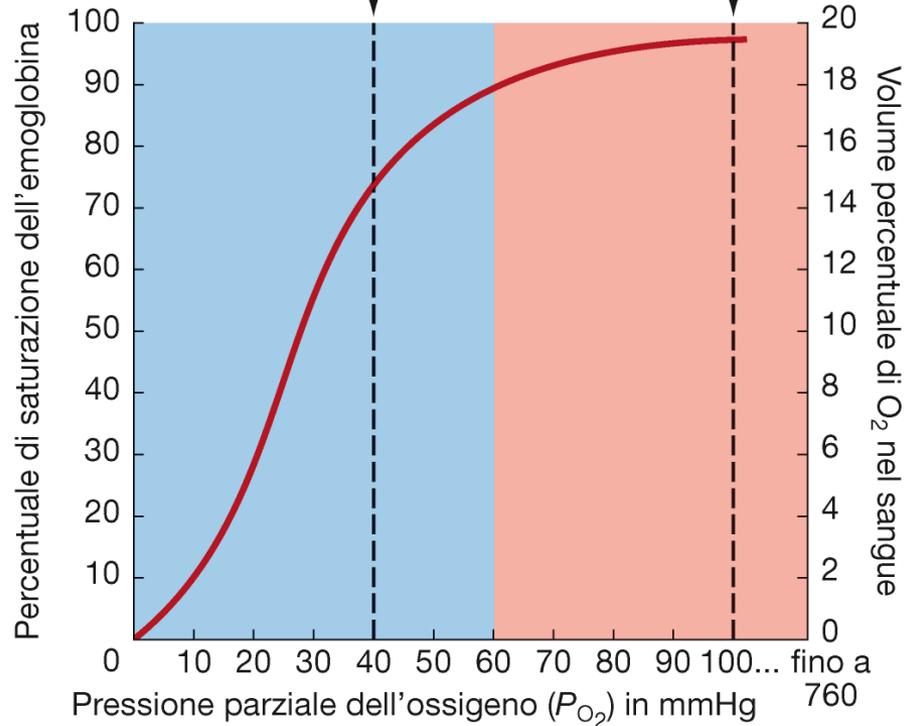


L'ossigeno si dissocia
emoglobina ridotta

Capacità di trasporto di ossigeno del sangue = O₂ che è capace di trasportare l'emoglobina in 100 mL =
= 15 g/dL * X1.34 ml O₂/g = 20.1 mL O₂/dL

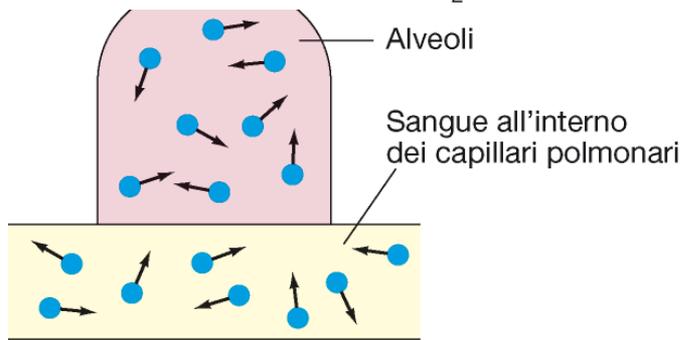
P_{O_2} media a livello
dei capillari sistemici
in condizioni di riposo

P_{O_2} normale
a livello dei capillari
polmonari



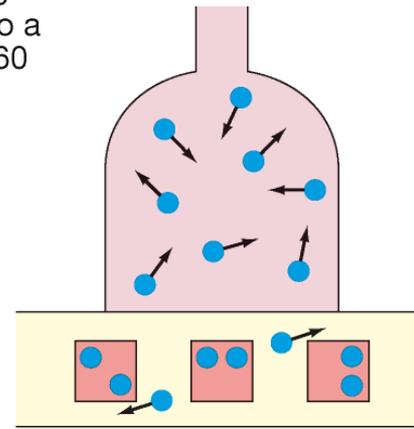
L'emoglobina
Prolunga l'esistenza di un
gradiente di pressione

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



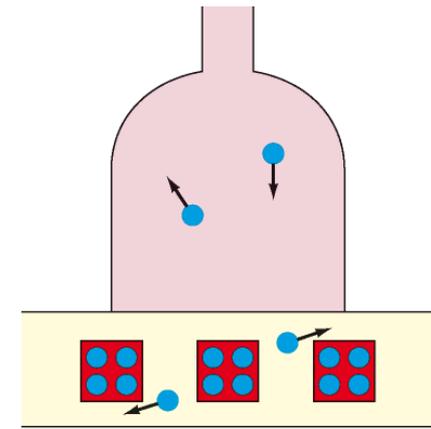
P_{O_2} alveolare = P_{O_2} ematica

(a)



P_{O_2} alveolare > P_{O_2} ematica

(b)



P_{O_2} alveolare = P_{O_2} ematica

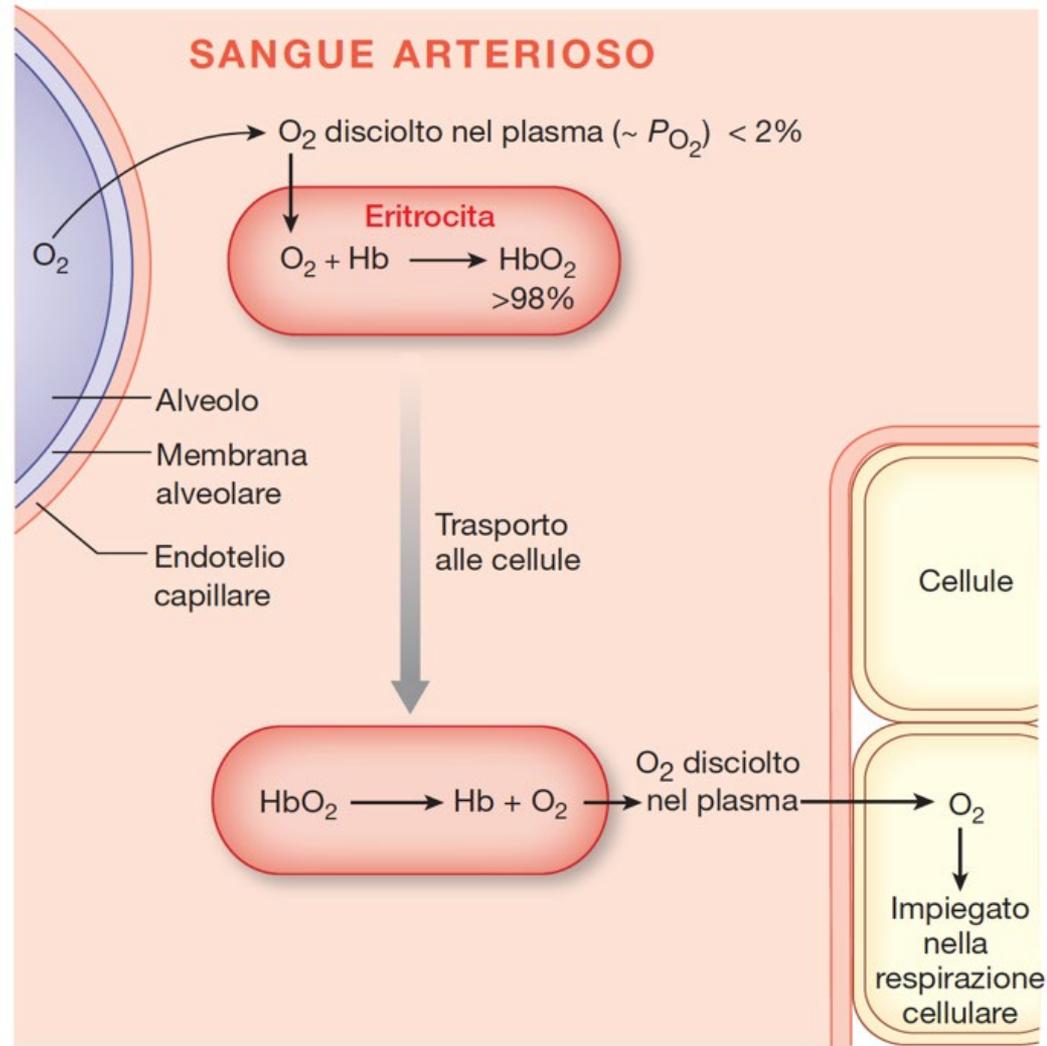
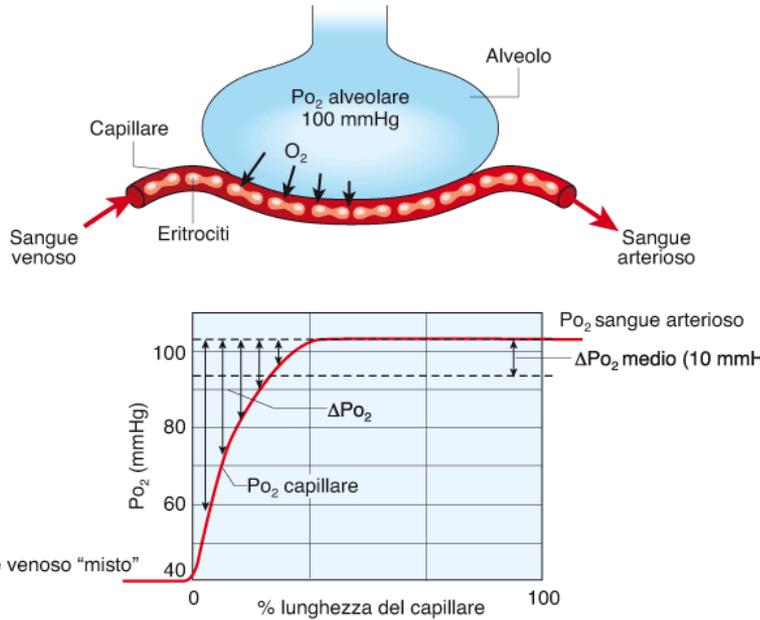
(c)

● Molecola di O_2

■ Molecola di emoglobina
parzialmente saturata

■ Molecola di emoglobina
completamente saturata

TRASPORTO OSSIGENO



TRASPORTO ANIDRIDE CARBONICA

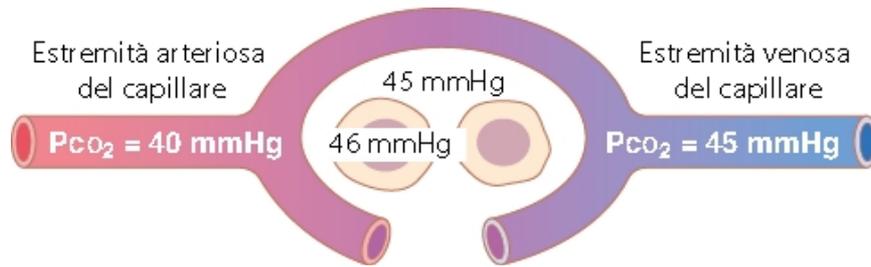


Figura 40.5 Assunzione di anidride carbonica da parte del sangue dei capillari tissutali. (P_{CO_2} cellulare = 46 mmHg e nel liquido interstiziale = 45 mmHg.)

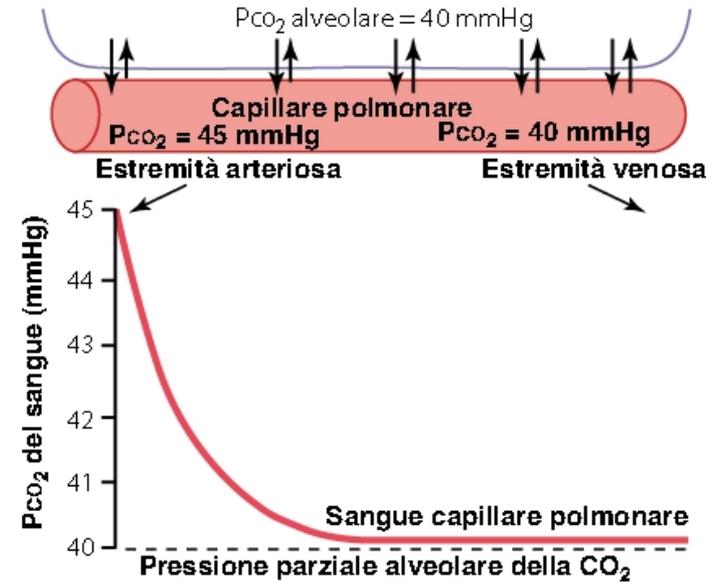
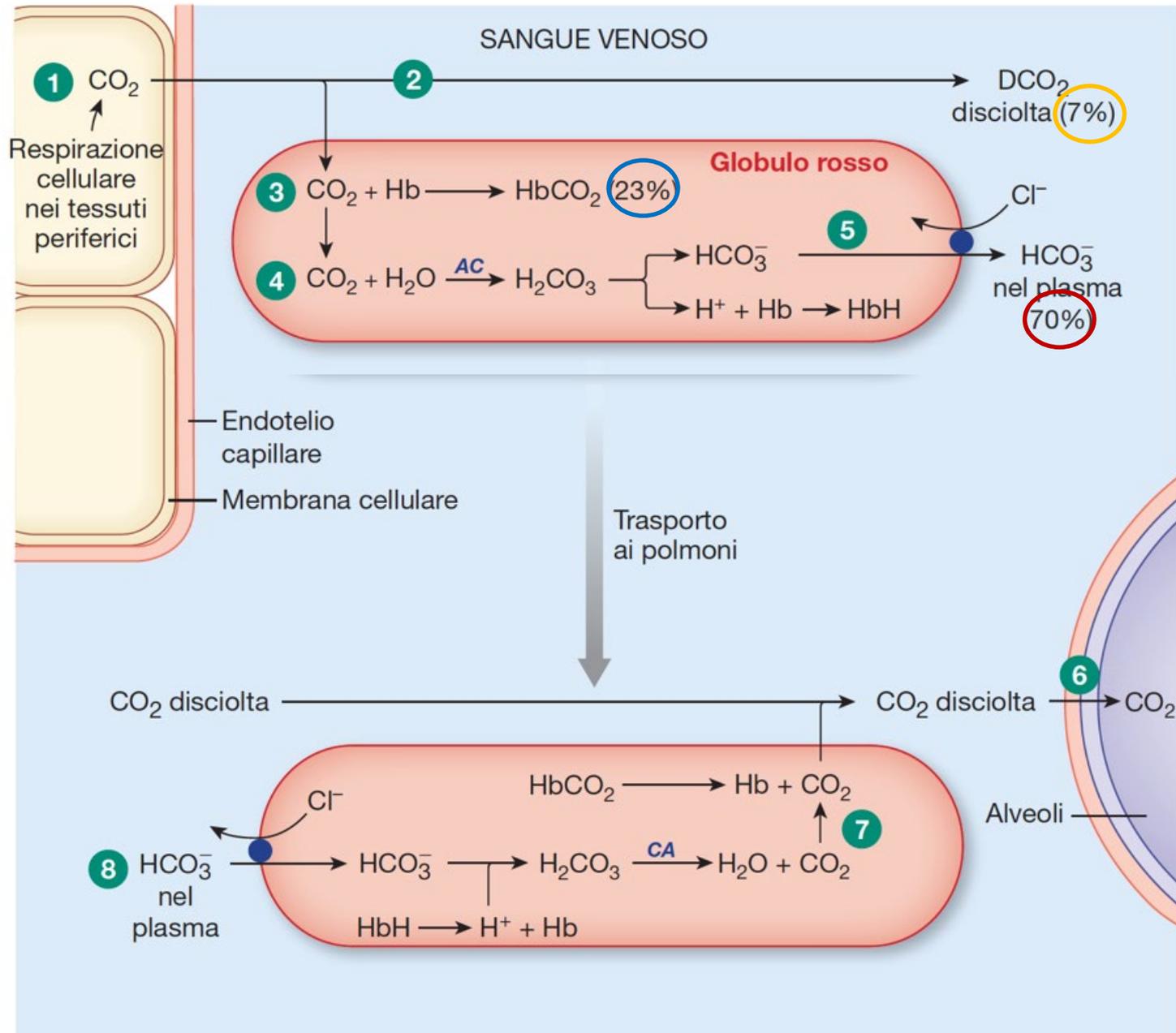
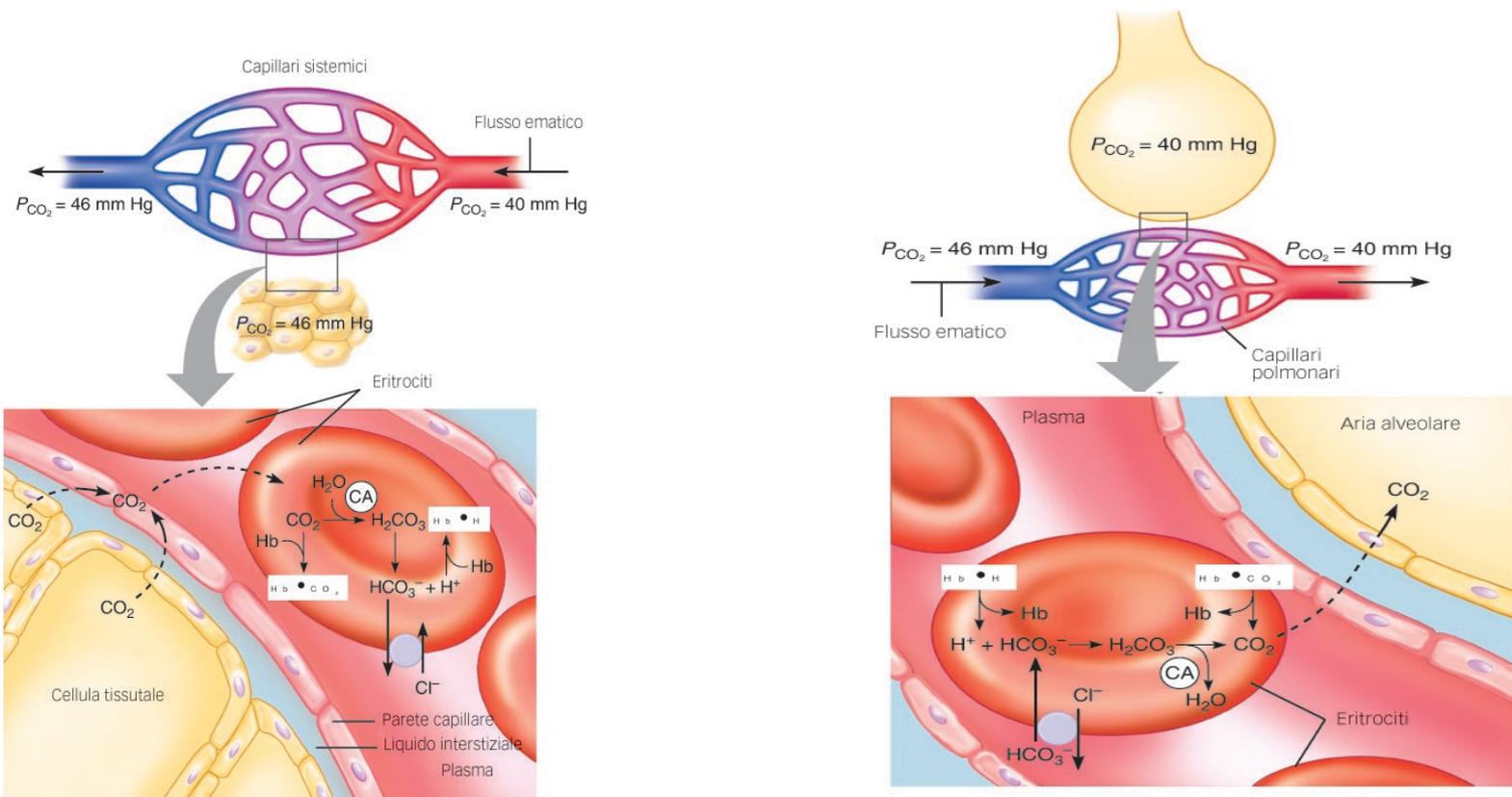


Figura 40.6 Diffusione di anidride carbonica dal sangue polmonare all'alveolo. (Fonte dati Milhorn HT Jr, Pulley PE Jr: A theoretical study of pulmonary capillary gas exchange and venous admixture. *Biophys J* 8:337, 1968.)



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)

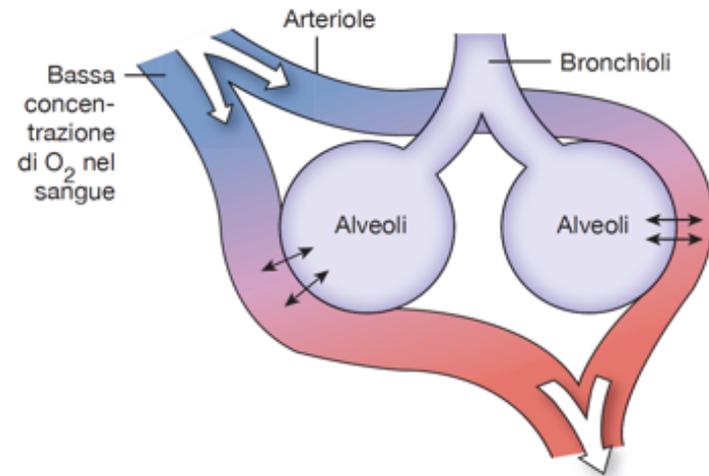
Q (5L/ min)

$V_a/Q = 0,8$

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.

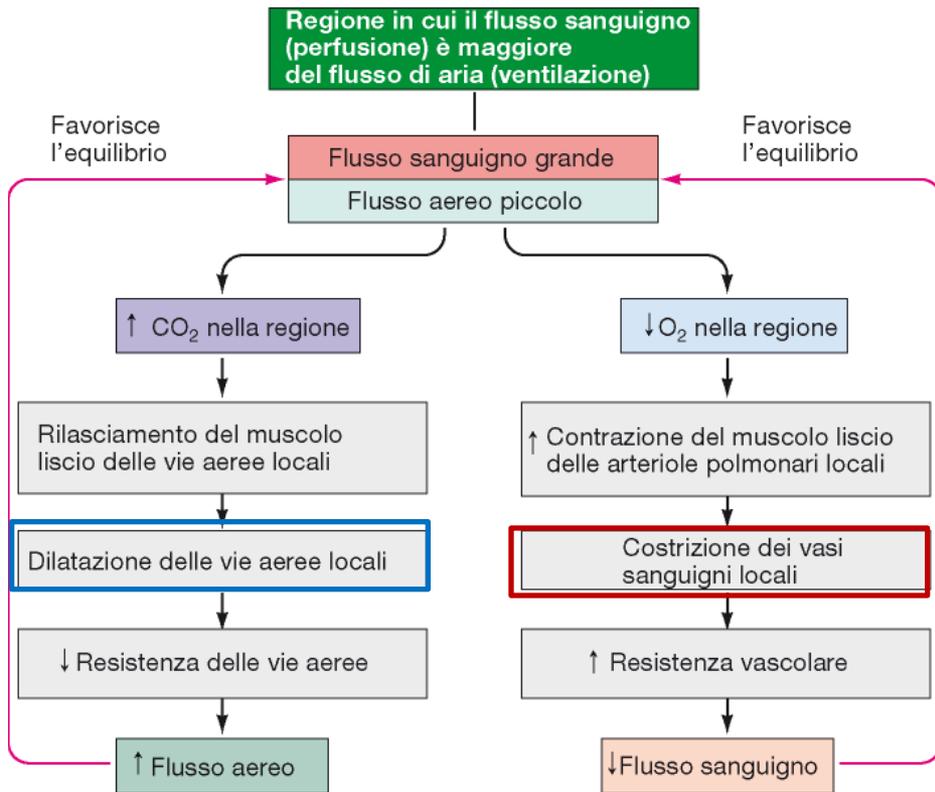


La ventilazione e il flusso ematico sono regolati congiuntamente

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

Flusso arteriole: regolato da $[O_2]$ locale

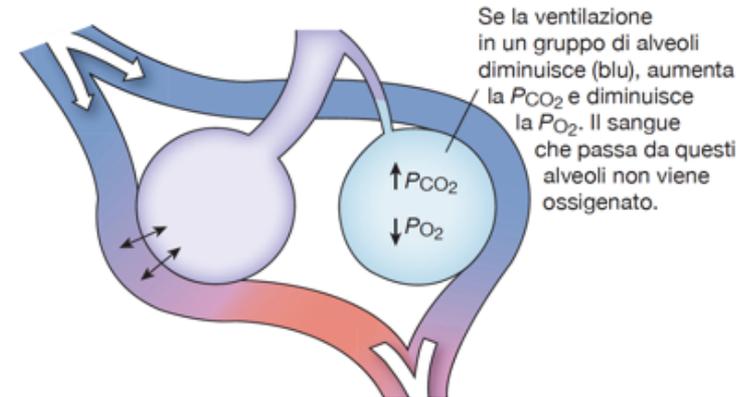
Regolazione perfusione di sangue da parte della concentrazione O_2 $V_a/Q < 0,8$



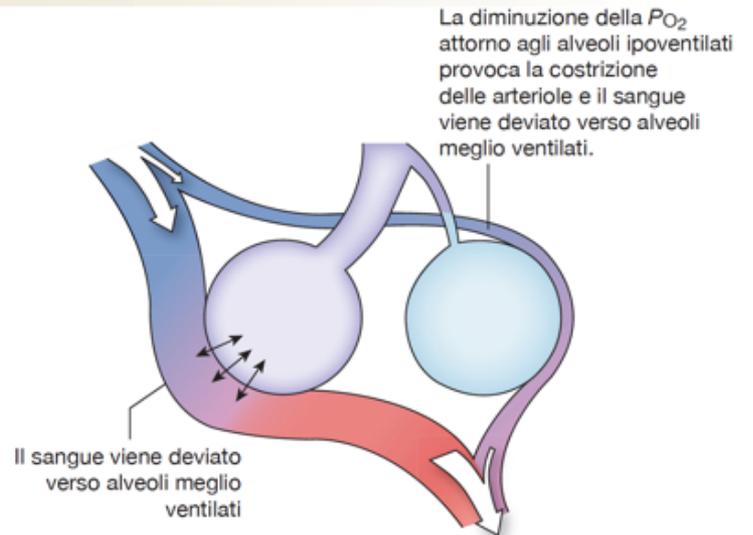
Muscolatura liscia bronchiolare

Muscolatura liscia vasale polmonare

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

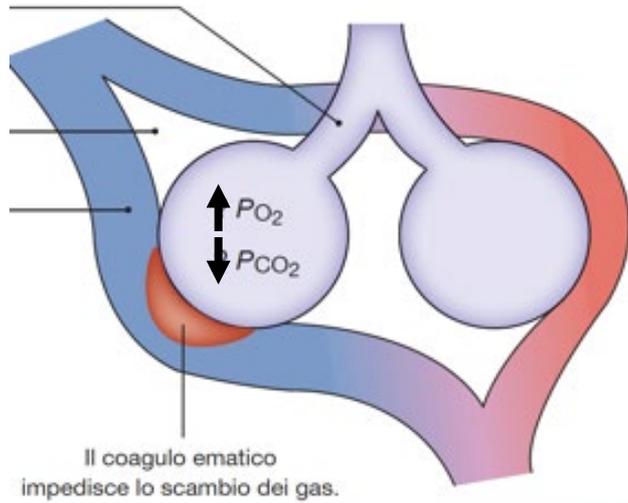


(c) Meccanismi di controllo locale cercano di tenere accoppiati perfusione e ventilazione.

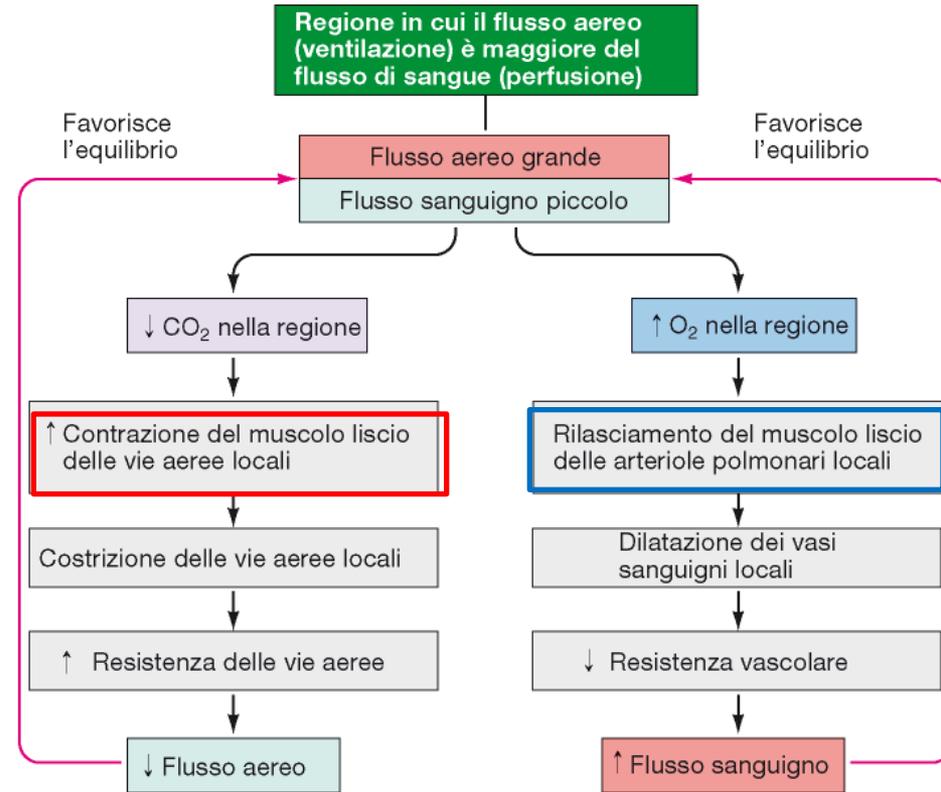


Regolazione perfusione di sangue da parte della concentrazione O_2

$$V_a/Q > 0,8$$



one e perfusione.

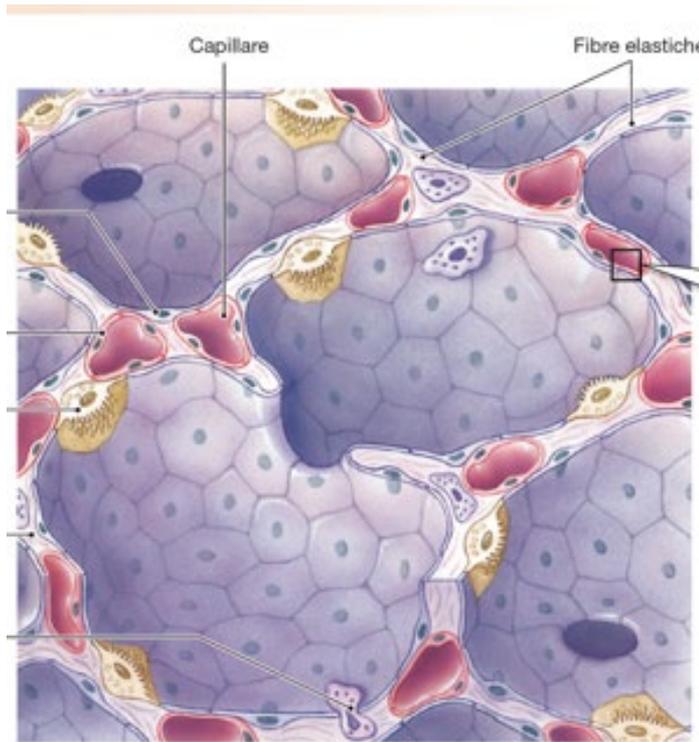


Muscolatura liscia bronchiolare

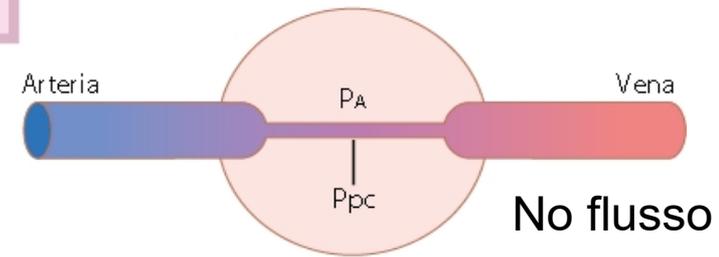
Muscolatura liscia vasale polmonare

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

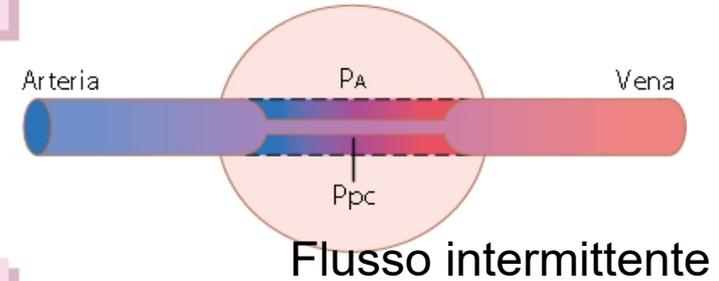
FLUSSO EMATICO REGIONALE (effetto grad. idrostatico)



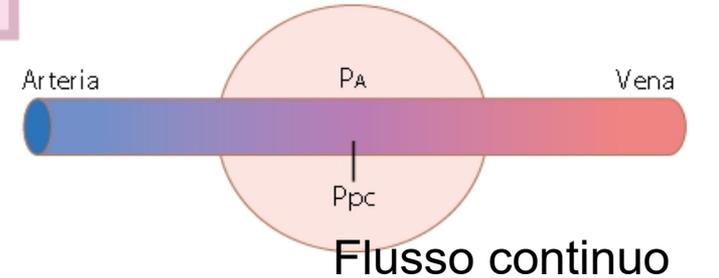
ZONA 1



ZONA 2



ZONA 3



FLUSSO EMATICO REGIONALE (effetto grad. idrostatico)

Posizione eretta:

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

