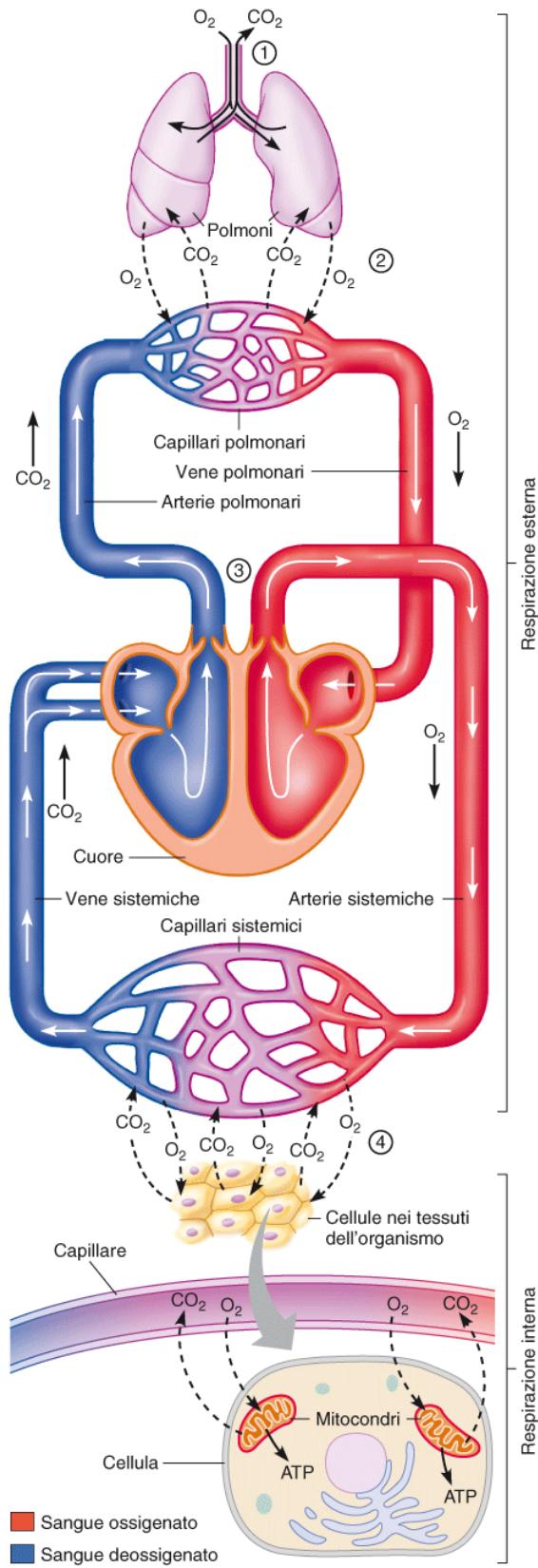


7.3 LO SCAMBIO DEI GAS



LE LEGGI DEI GAS

Legge di Dalton

La pressione totale di una miscela di gas è data dalla somma delle pressioni parziali esercitate dai singoli gas che la compongono

$$P_{\text{tot}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

Esempio: Nell'aria $N_2 = 79\%$, $O_2 = 21\%$ e la $P_{\text{tot}} = 760 \text{ mmHg}$

quindi $\Rightarrow P_{N_2} = 760 \times 0.79 = 600 \text{ mmHg}$

$$\frac{P_{O_2} = 760 \times 0.21 = 160 \text{ mmHg}}{P_{\text{tot}} = 760 \text{ mmHg}}$$

gas	aria atmosferica		aria umidificata* (37°C)		aria alveolare		aria espirata	
N_2	597	78.7 %	563	74.0 %	569	75.0 %	566	74.5 %
O_2	159	20.8 %	149	19.7 %	104	13.6 %	120	15.7 %
CO_2	0.3	0.04 %	0.3	0.04 %	40	5.3 %	27	3.6 %
H_2O	3.7	0.5 %	47	6.2 %	47	6.1 %	47	6.2 %
Tot	760	100 %	760	100 %	760	100 %	760	100 %

legge di Henry

P_{gas}

• P_{gas} (disciolto)

La concentrazione del gas dissolto dipende dalla pressione parziale e dalla solubilità

$$C = P_{\text{gas}} \times S$$

C = quantità di gas in fase acquosa

P_{gas} = pressione parziale del gas in fase gassosa

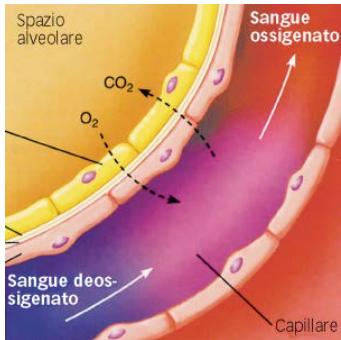
S = solubilità del gas in acqua

Il coefficiente di solubilità dipende dalle interazioni del gas con il liquido.

La CO₂ ha un coefficiente di solubilità 24 volte superiore a quello dell'O₂.

$$\frac{S_{\text{CO}_2}}{S_{\text{O}_2}} = 0.57 / 0.024 \approx 24$$

Legge di Graham



Il coefficiente di diffusione D di un gas che diffonde dall'alveolo al capillare dipende da:

$$D = \frac{\Delta P \times S \times A}{d \times \sqrt{P.M.}}$$

ΔP = gradiente di pressione

S = solubilità del gas nel plasma

A = area della superficie di scambio

d = spessore delle pareti

P.M. = peso molecolare del gas

Poichè il rapporto di solubilità tra la CO_2 e l' O_2 vale 24, e poichè:

$$\sqrt{CO_2} = \sqrt{44} = 6.63$$

$$\sqrt{O_2} = \sqrt{32} = 5.66$$

il rapporto $S/\sqrt{P.M.}$ (CO_2 vs O_2) vale:

$$24 \times 5.66 / 6.63 = 20.3$$

Il coefficiente di diffusione è 20 volte maggiore per la CO_2 e quindi richiede minori gradienti di pressione (ΔP) per spostare volumi di CO_2 paragonabili a quelli di O_2

$$\blacksquare \Delta PO_2 = PO_2 \text{alv} - PO_2 \text{capill} = 104 - 40 = 64 \text{ mmHg}$$

$$\blacksquare \Delta PCO_2 = PCO_2 \text{capill} - PCO_2 \text{alv} = 45 - 40 = 5 \text{ mmHg}$$

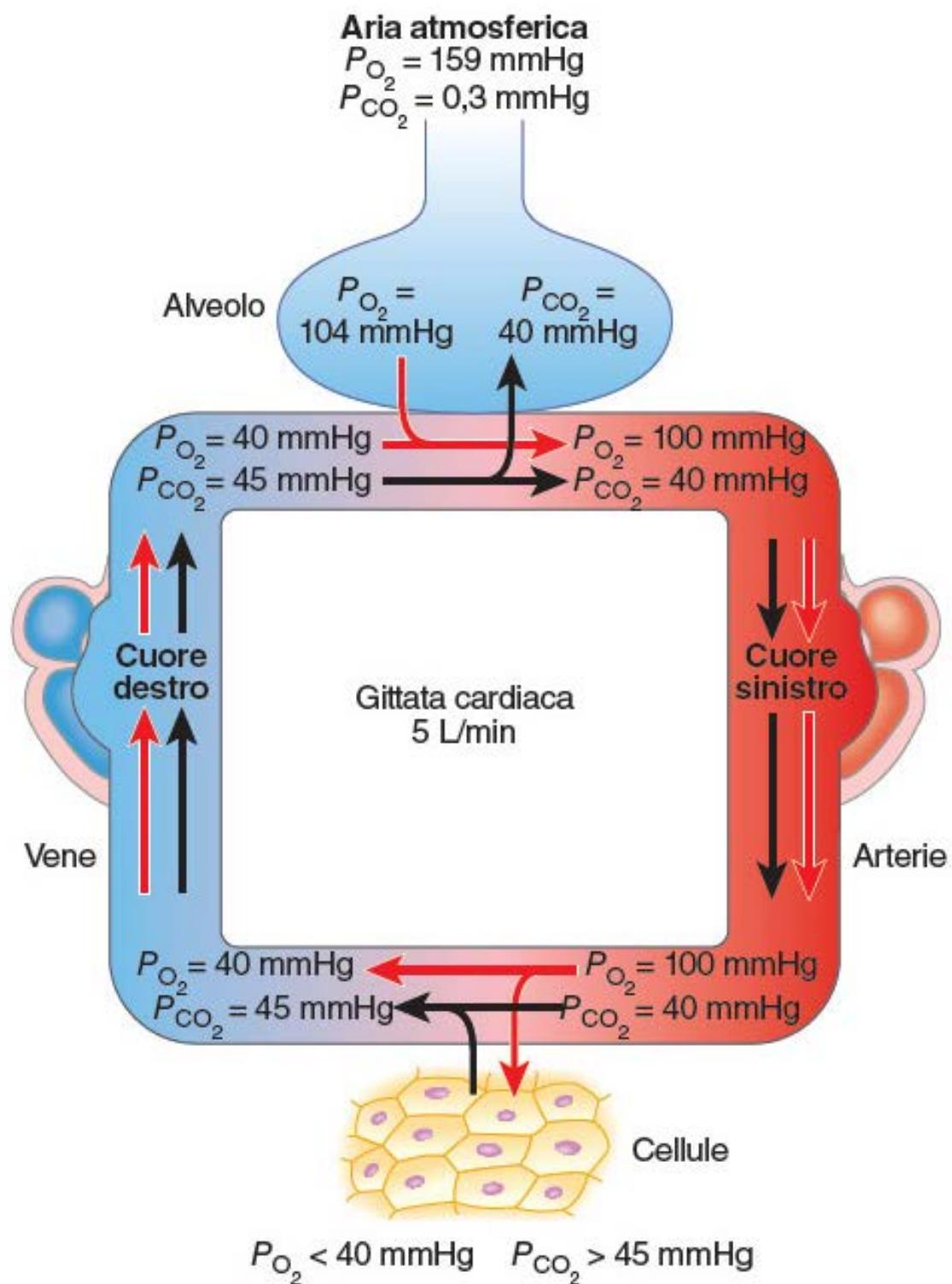
$$D = \frac{\Delta P \times S \times A}{d \times \sqrt{P.M.}}$$

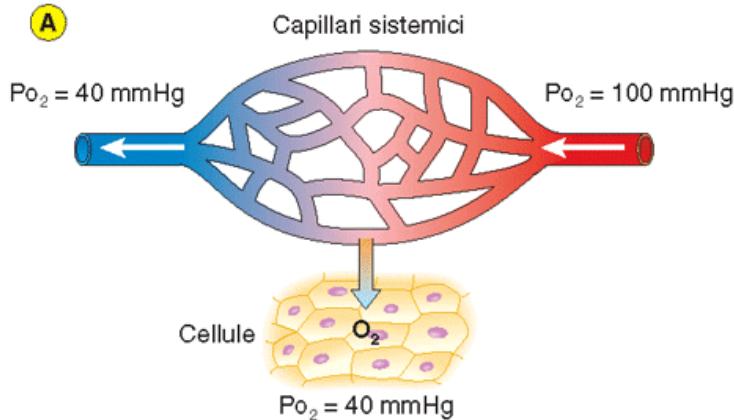
I fattori costitutivi d e A sono uguali per l' O_2 e la CO_2 ma possono variare in caso di:

- **edemi o fibrosi polmonari**: d aumenta
- **traumi o enfisemi**: A diminuisce

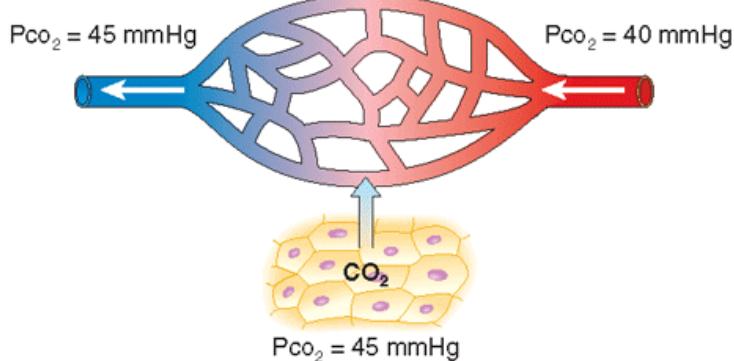
SCAMBIO DEI GAS TRA ALVEOLI E CAPILLARI

Nelle miscele di gas, ciascun gas diffonde in base al suo gradiente di pressione: questo gradiente determina lo scambio di ossigeno e anidride carbonica tra alveoli e sangue, tra sangue e tessuti.

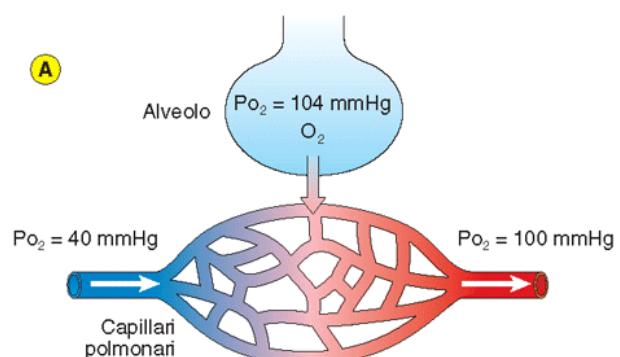
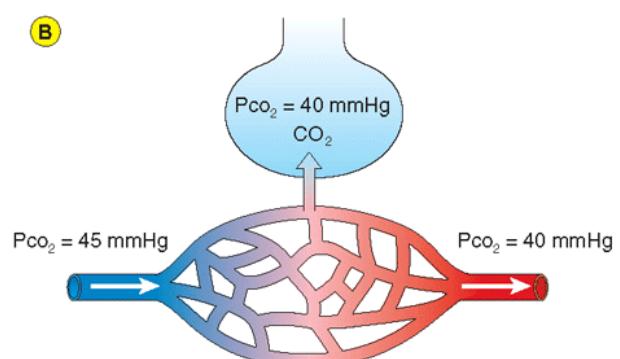


A

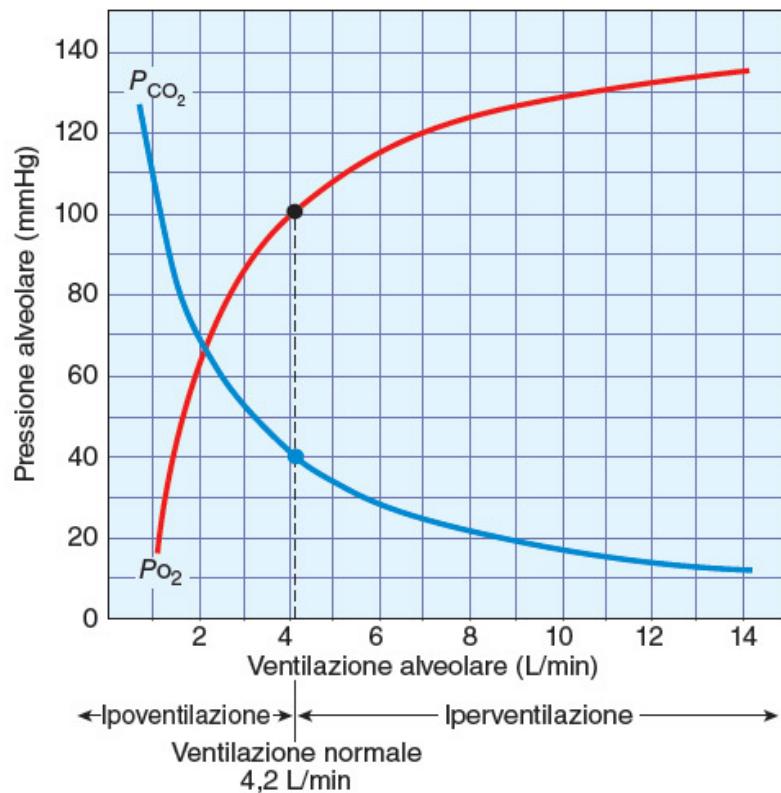
Capillari sistemici

B

Capillari alveolari

A**B**

P_{O_2} e P_{CO_2} alveolare in funzione della ventilazione alveolare



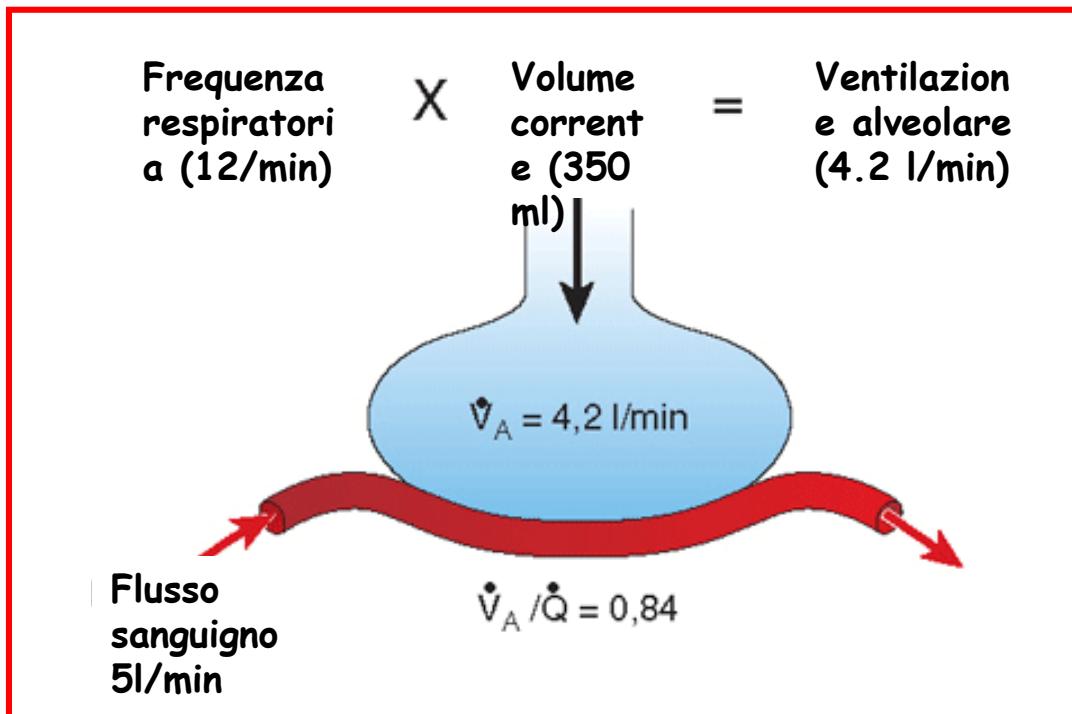
3 fattori possono influenzare la P_{O_2} e la P_{CO_2} alveolare:

- P_{O_2} e la P_{CO_2} dell'aria inspirata (alta quota: $< P_{O_2}$)
- Ventilazione alveolare al minuto (ipoventilazione: ridotta frequenza di ventilazione, causa diminuzione della P_{O_2} alveolare, mentre iperventilazione causa aumento della P_{O_2} alveolare). La P_{CO_2} subisce variazioni opposte.
- Velocità di consumo di O_2 e produzione di CO_2 da parte dei tessuti

Il rapporto ventilazione/perfusione (\dot{V}_A/Q)

Alveolo normalmente ventilato e ben perfuso

$$\dot{V}_A/Q = 1$$



Il rapporto ottimale $\dot{V}_A/Q=0.84 \approx 1$ è un valore medio su tutto il polmone.

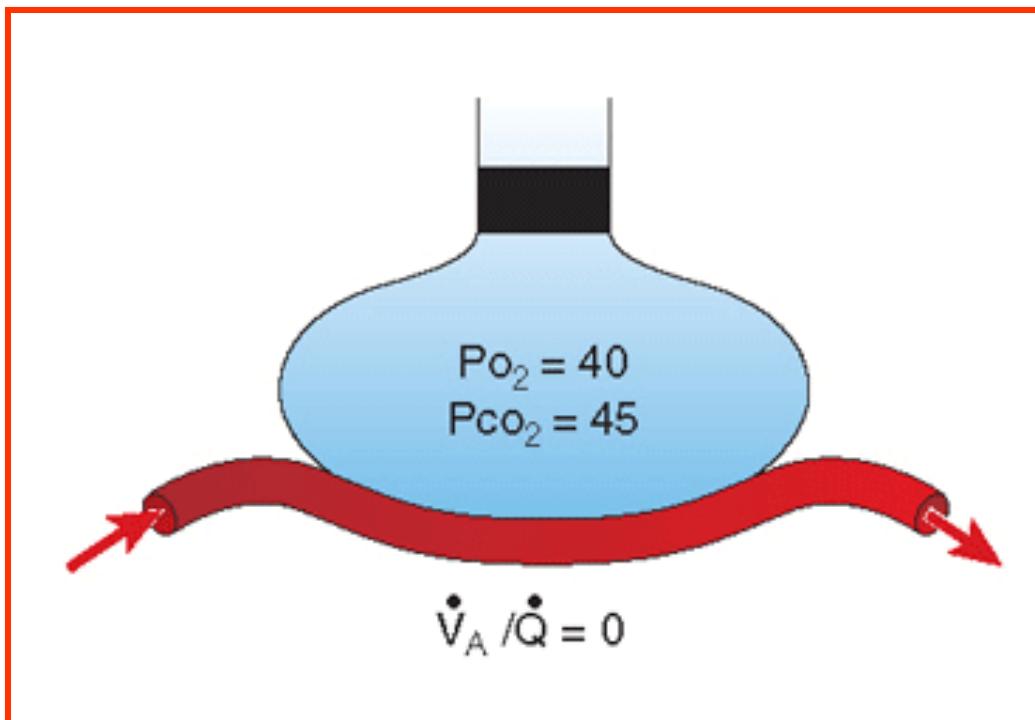
La quantità di flusso d'aria agli alveoli (ventilazione) è uguale alla quantità di flusso di sangue agli alveoli (perfusione): la ventilazione alveolare risponde alle richieste dei tessuti

$$V_A/Q < 1$$

ventilazione bloccata: la ventilazione alveolare non risponde alle richieste dei tessuti:

V_A si riduce (blocco alveolare).

P_{O_2} alveolare diminuisce, P_{CO_2} aumenta



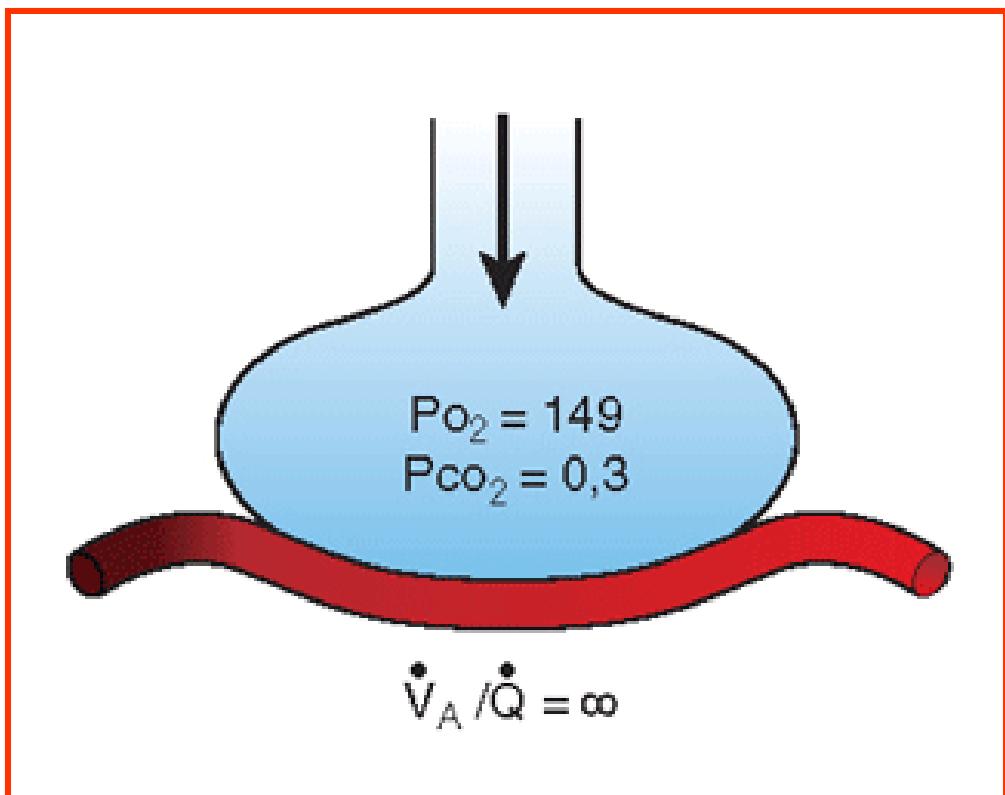
La ventilazione non è sufficiente a ossigenare il sangue che arriva ai polmoni

$$V_A/Q = \infty$$

perfusione bloccata: la ventilazione alveolare (flusso di aria) aumenta rispetto al consumo di O_2 e produzione di CO_2 :

P_{O_2} alveolare aumenta

P_{CO_2} diminuisce



La ventilazione eccede il flusso sanguigno polmonare

I valori del rapporto ventilazione/perfusione variano in funzione dell'altezza

nella parte alta dei polmoni i capillari sono collassati.

Q diminuisce verso l'alto.

$$V_A/Q > 1$$

PA = pressione alveolare

Pressione arteria polmonare P_{ap}

23mmHg

(15 sopra cuore
8 sotto)

Pressione vena polmonare P_{vp}

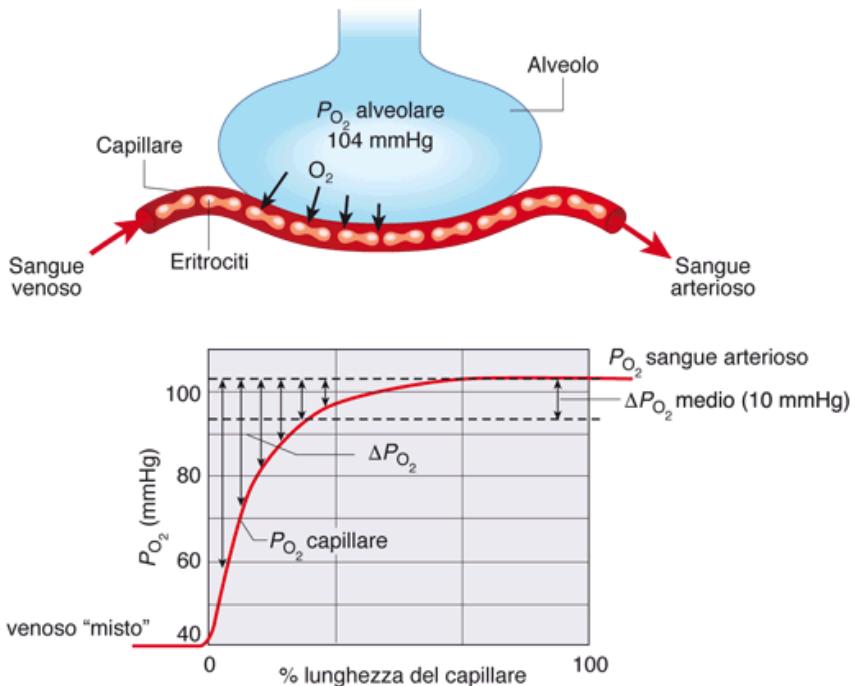
30 cm

nella parte bassa dei polmoni i capillari sono dilatati
(Q aumenta verso il basso)

$$V_A/Q < 1$$

Nei soggetti in posizione eretta. Il flusso diminuisce all'apice (minimo) ed aumenta alla base (5 volte + elevato).

P_{O_2} venosa e arteriosa durante l'ossigenazione alveolare



- La P_{O_2} del capillare passa da 40 a 104 mmHg in breve tempo ($\approx 1/3$ del percorso)
- La ΔP_{media} non è $64/2 = 32$ mmHg ma molto più bassa (≈ 10 mmHg) ($64 = 104 - 40$)
- Questo garantisce che se la G.C. aumenta il sangue possa essere egualmente ossigenato.