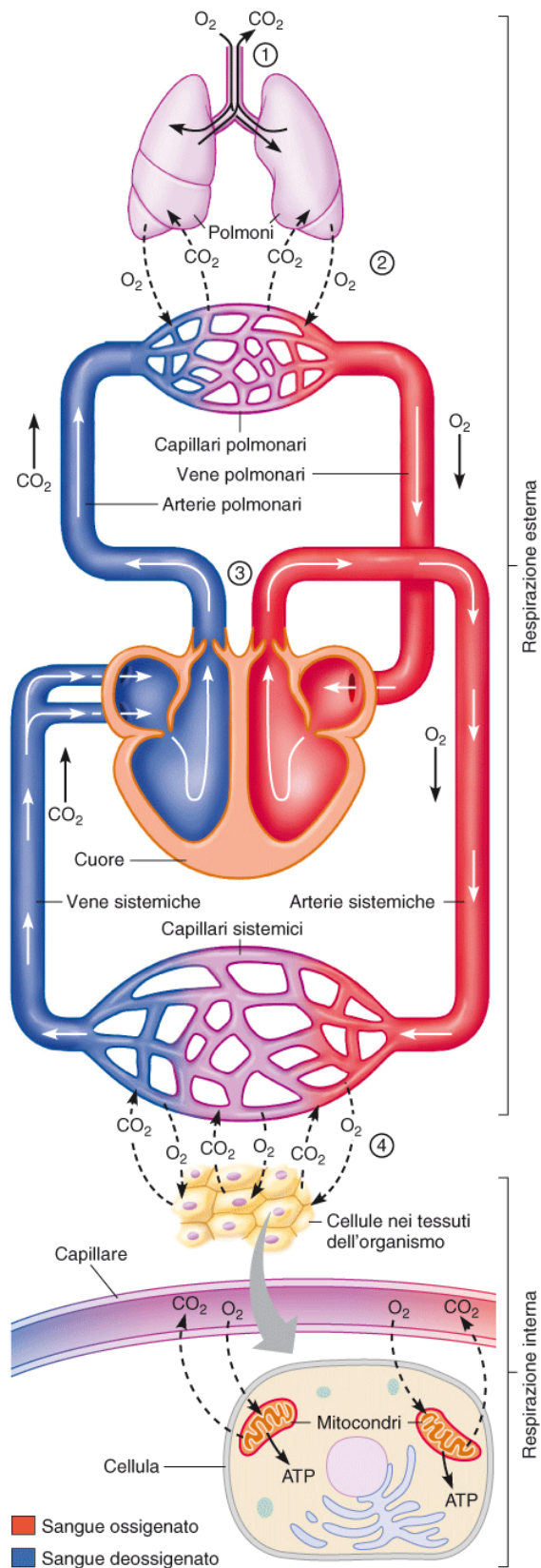


## 7.3 LO SCAMBIO DEI GAS



# 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

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

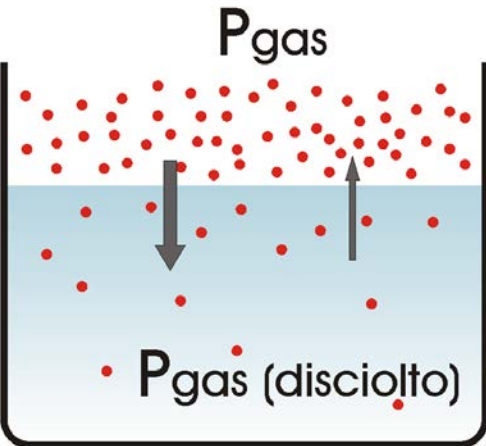
**Esempio:** Nell'aria  $N_2 = 79\%$ ,  $O_2 = 21\%$  e la  $P_{\text{tot}} = 760 \text{ mmHg}$

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

$$\begin{array}{rcl} P_{O_2} & = & 760 \times 0.21 = 160 \text{ mmHg} \\ \hline P_{\text{tot}} & & = 760 \text{ mmHg} \end{array}$$

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



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

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

**C** = quantità di gas in fase acquosa

**P<sub>gas</sub>** = pressione parziale del gas in fase gassosa

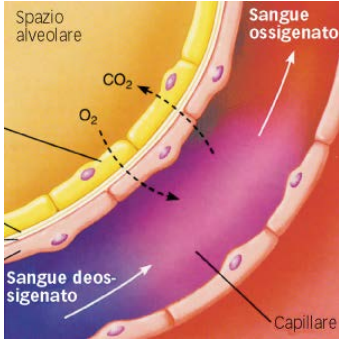
**S** = solubilità del gas in acqua

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

La  $\text{CO}_2$  ha un coefficiente di solubilità 24 volte superiore a quello dell' $\text{O}_2$ .

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

## Legge di Graham



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

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

$\Delta P$  = 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 ( $\Delta P$ ) per spostare volumi di  $CO_2$  paragonabili a quelli di  $O_2$**

▪  $\Delta PO_2 = PO_{2alv} - PO_{2capill} = 104 - 40 = 64 \text{ mmHg}$

▪  $\Delta PCO_2 = PCO_{2capill} - PCO_{2alv} = 45 - 40 = 5 \text{ mmHg}$

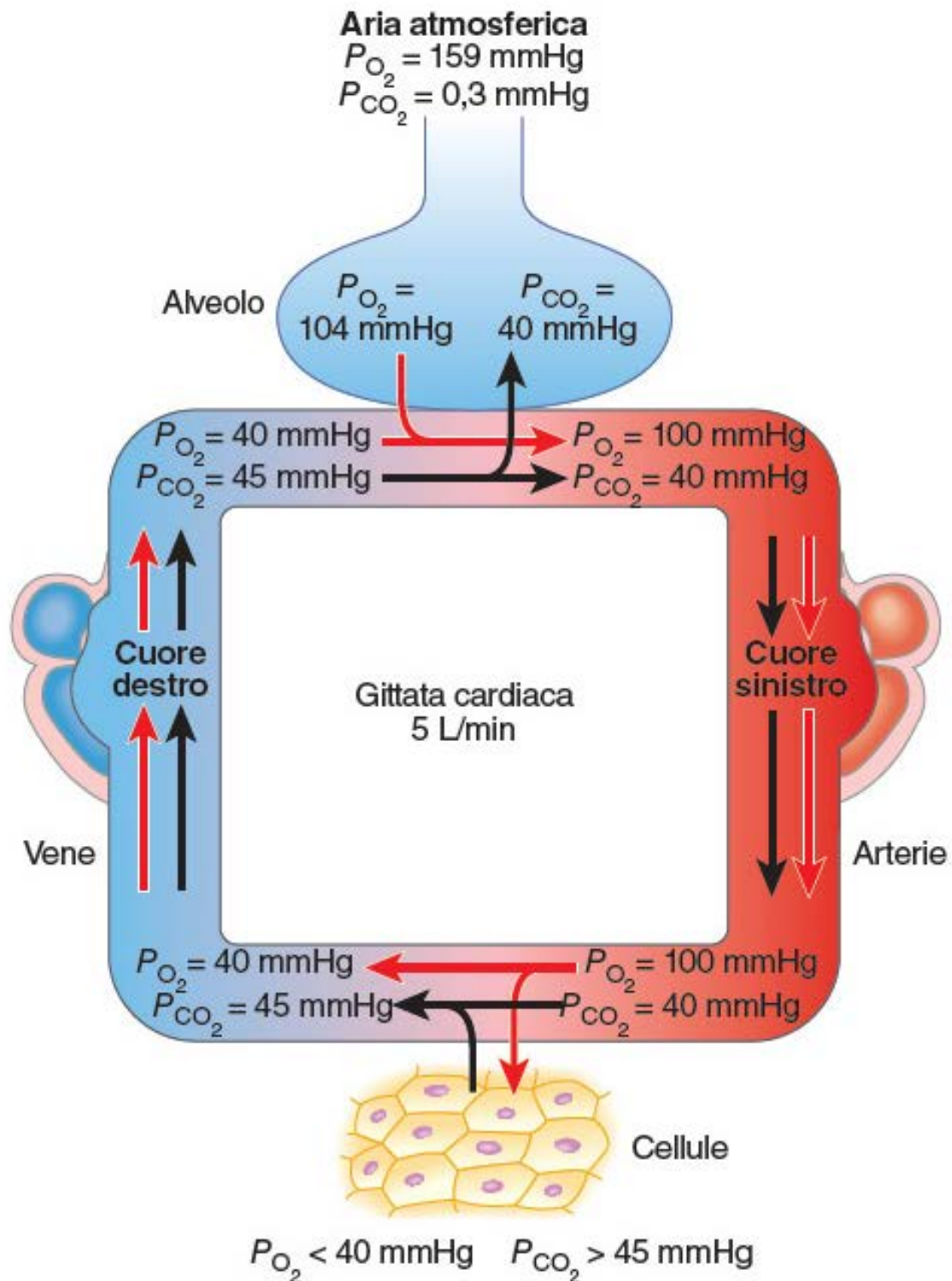
$$D = \frac{\Delta P \times S \times A}{d \times \sqrt{P.M.}}$$

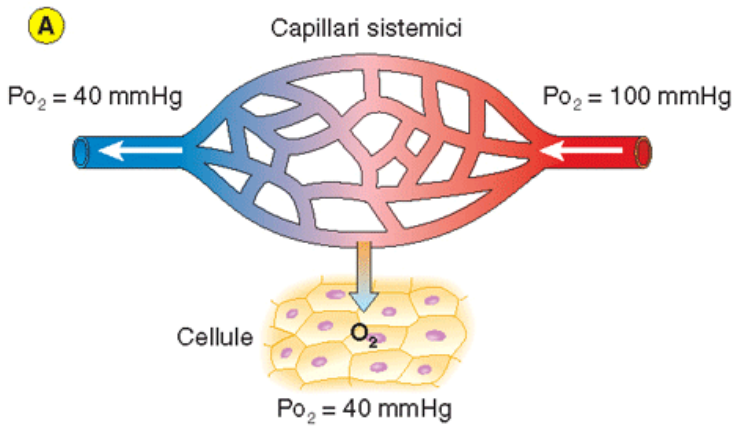
I fattori costitutivi **d** e **A** sono uguali per l'O<sub>2</sub> e la CO<sub>2</sub> ma possono variare in caso di:

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

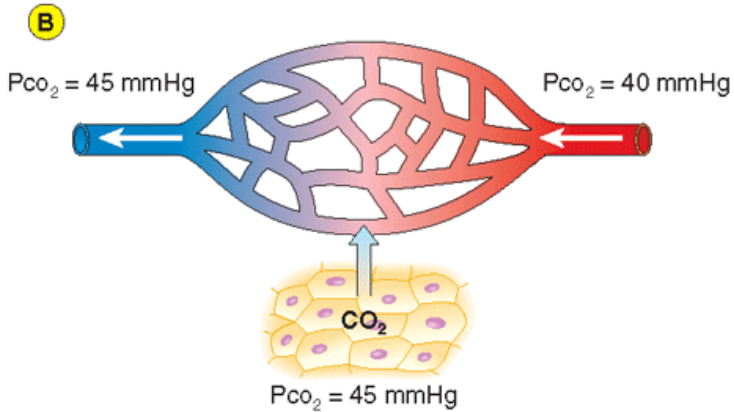
# SCAMBIO DEI GAS TRA ALVEOLI E CAPILLARI

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.

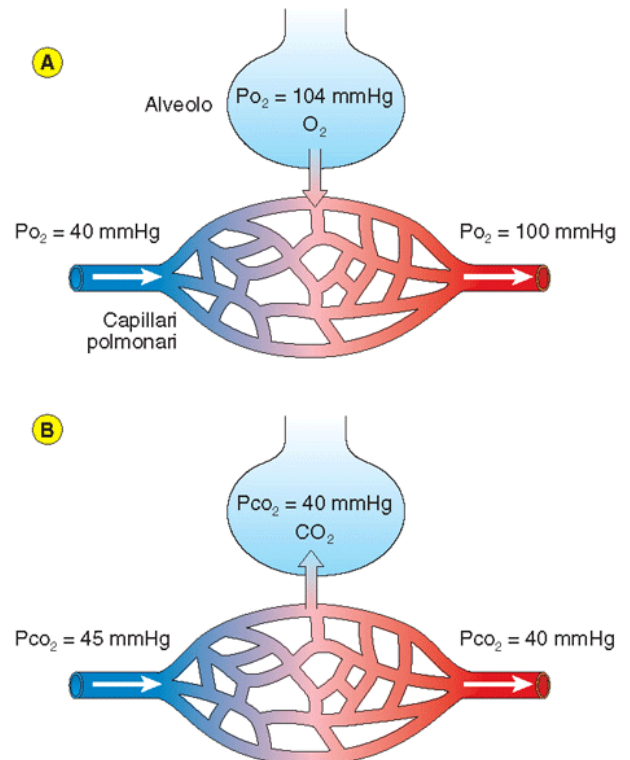




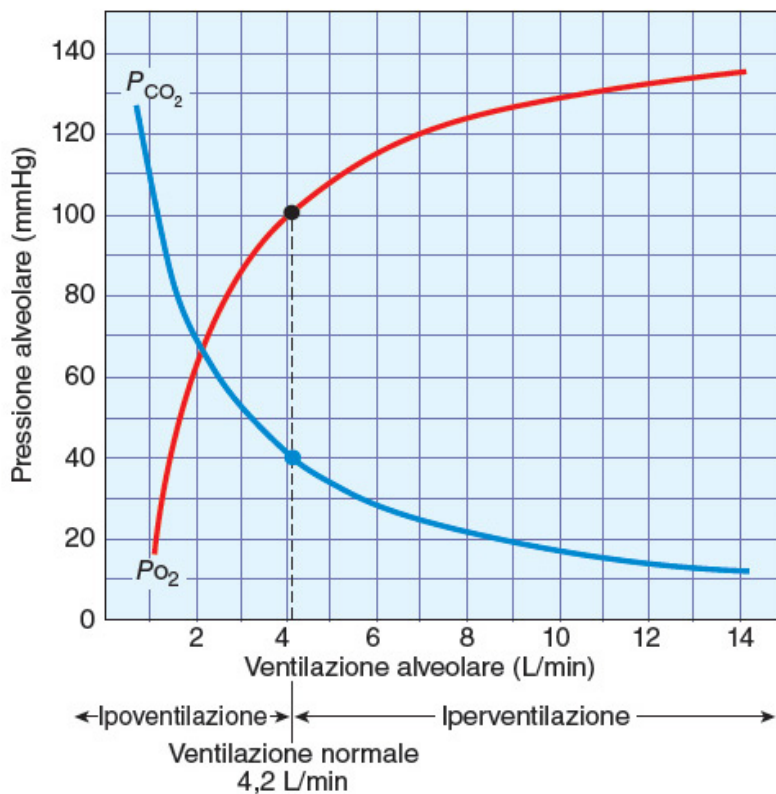
## Capillari sistemici



## Capillari alveolari



# $P_{O_2}$ 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**

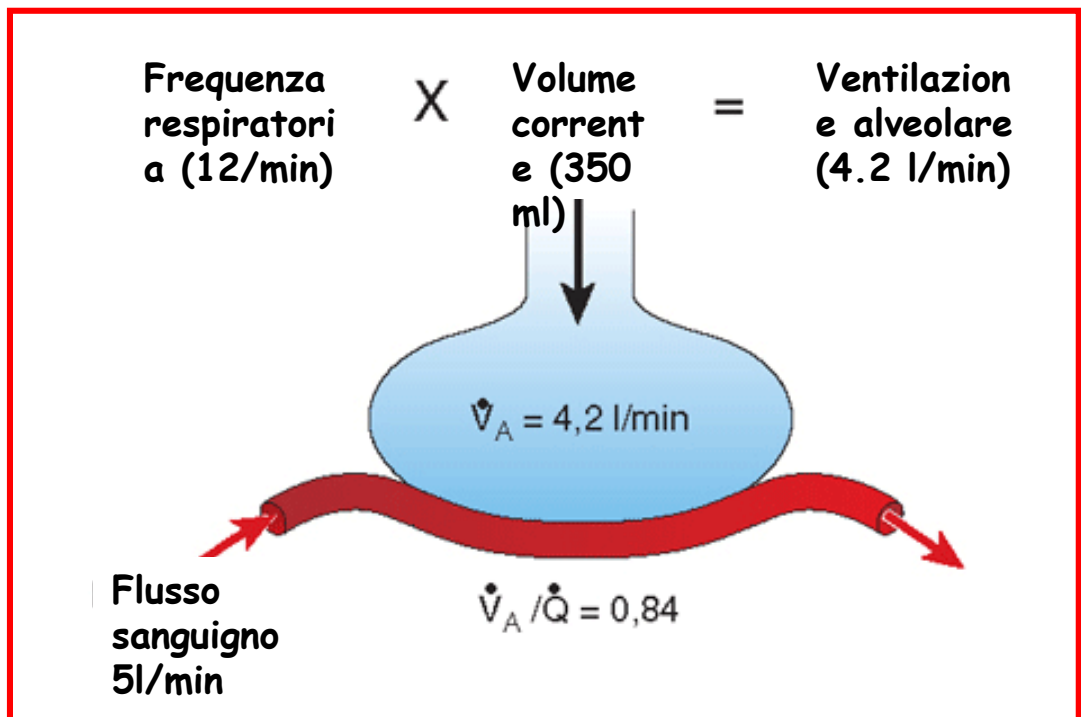


# Il rapporto ventilazione/perfusione ( $\dot{V}_A/\dot{Q}$ )

Alveolo normalmente ventilato e ben perfuso

• •

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



• •

Il rapporto ottimale  $\dot{V}_A/\dot{Q}=0.84 \approx 1$  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

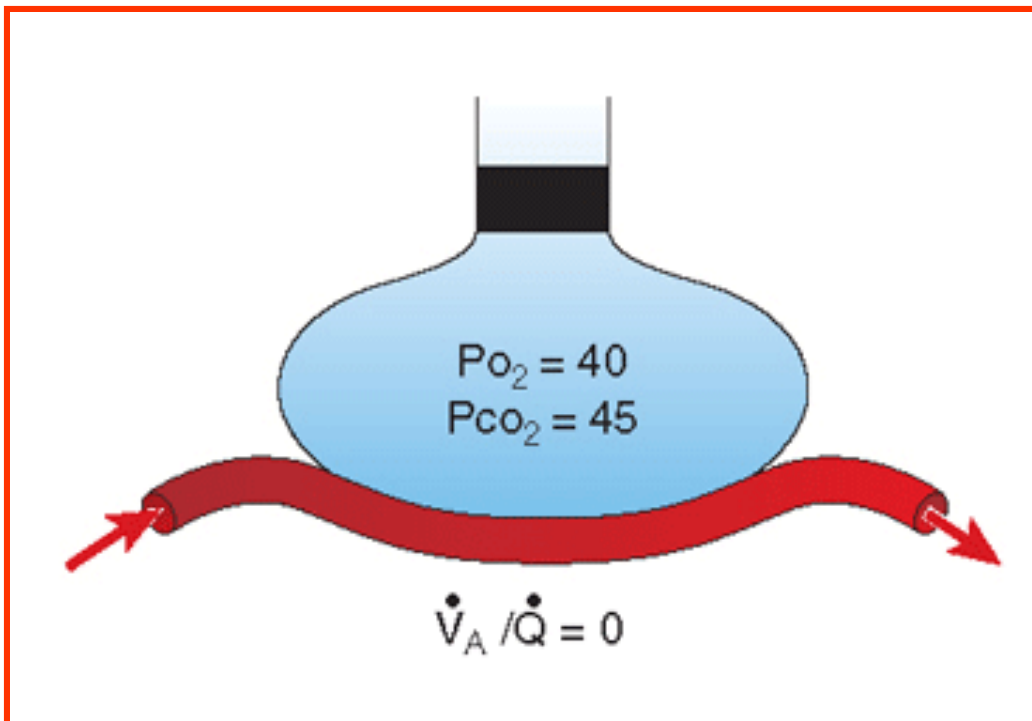
• •

$$V_A/Q < 1$$

**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

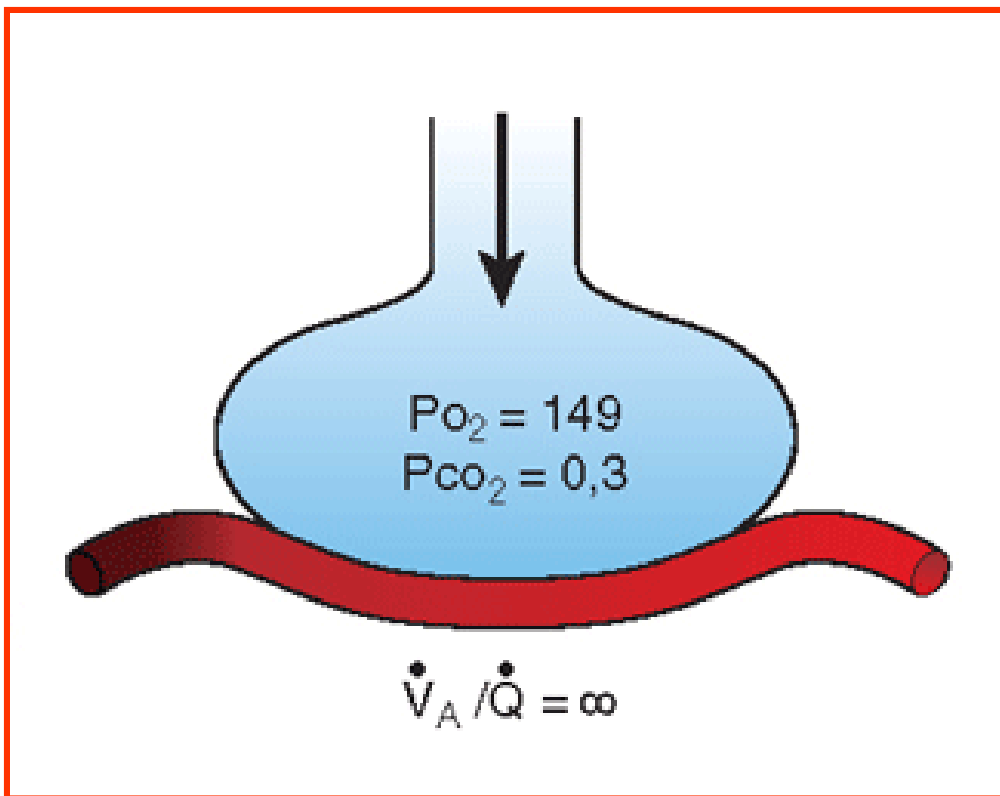
• •

$$V_A/Q = \infty$$

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

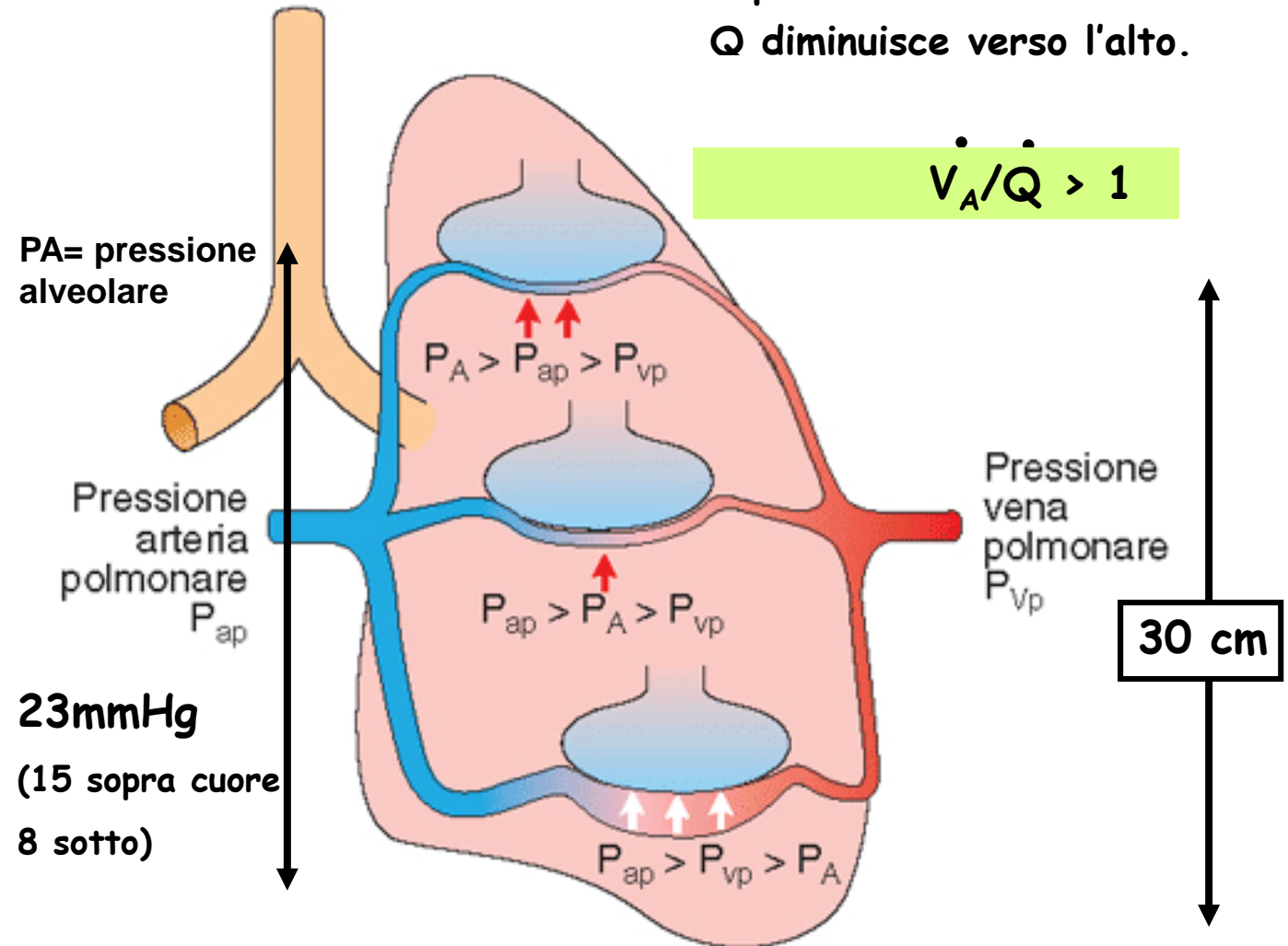


La ventilazione eccede il flusso sanguigno polmonare

# 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.



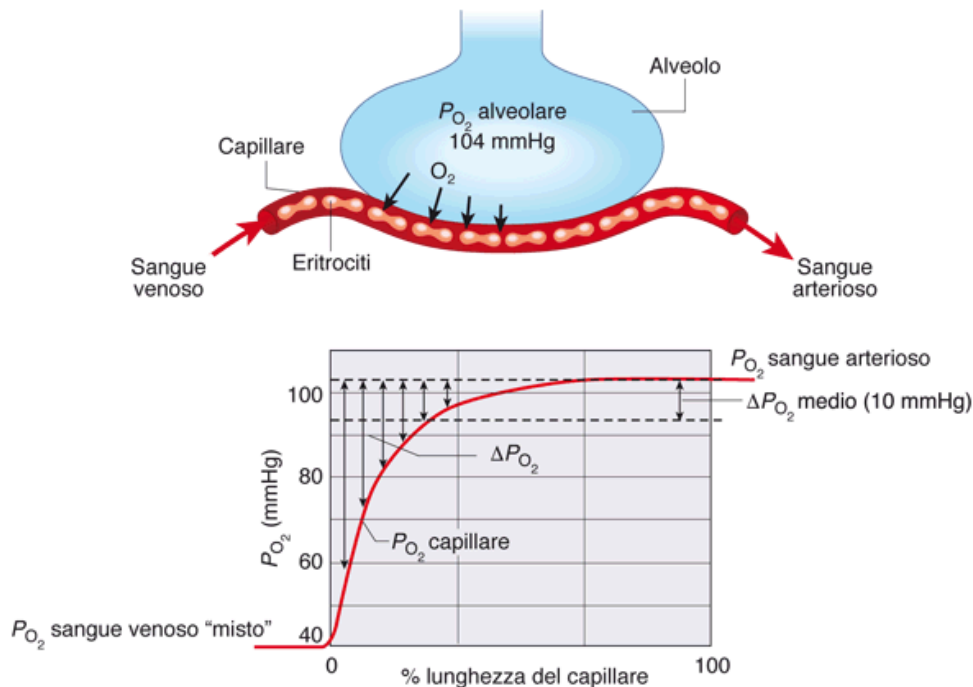
nella parte bassa dei polmoni  
i capillari sono dilatati

(Q aumenta verso il basso)

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

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  $PO_2$  del capillare passa da 40 a 104 mmHg in breve tempo ( $\approx 1/3$  del percorso)
- La  $\Delta P_{media}$  non è  $64/2 = 32$  mmHg ma molto più bassa ( $\approx 10$  mmHg) ( $64 = 104 - 40$ )
- Questo garantisce che se la G.C. aumenta il sangue possa essere egualmente ossigenato.