

# Fisiologia della Respirazione

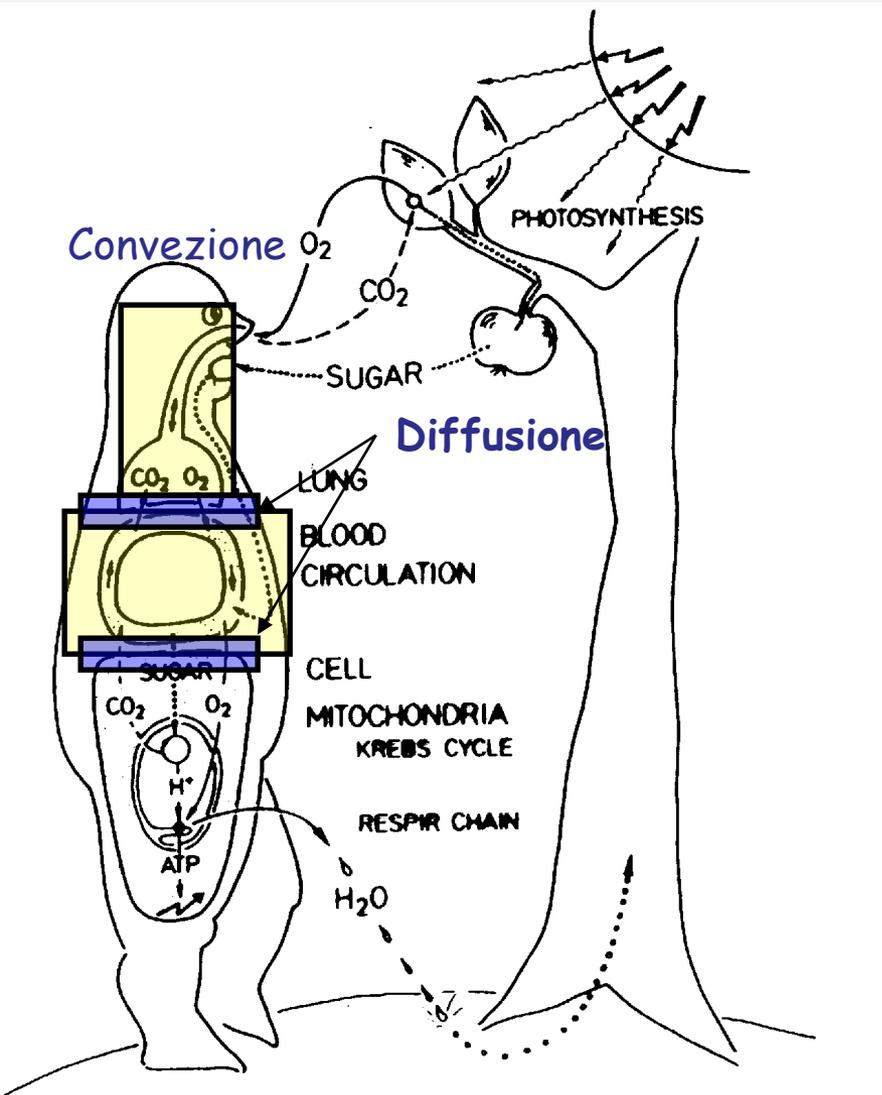
## 1. Introduzione-Leggi dei Gas

FGE aa.2016-17

# Obiettivi

- Trasporto ventilatorio convettivo dei gas integrato con trasporto convettivo circolatorio e respirazione cellulare
- Cenni di anatomia funzionale
- Nozioni di fisica-chimica dei gas
  - Equazione di stato dei gas
  - Legge di Avogadro
  - Legge di Dalton
  - Legge di Henry
  - Prima legge di Fick
- Vapore d'acqua (frazioni di gas secche e umide)
- Correzione dei volumi respiratori (ATPS, STPD, BTPS)
- Composizione dell'aria ambiente

# Introduzione



- **Fisiologia della Respirazione:** Studia come si attua e viene regolato lo scambio di gas ( $O_2$ ,  $CO_2$ ) tra ambiente esterno e ambiente cellulare per sostenere il metabolismo energetico

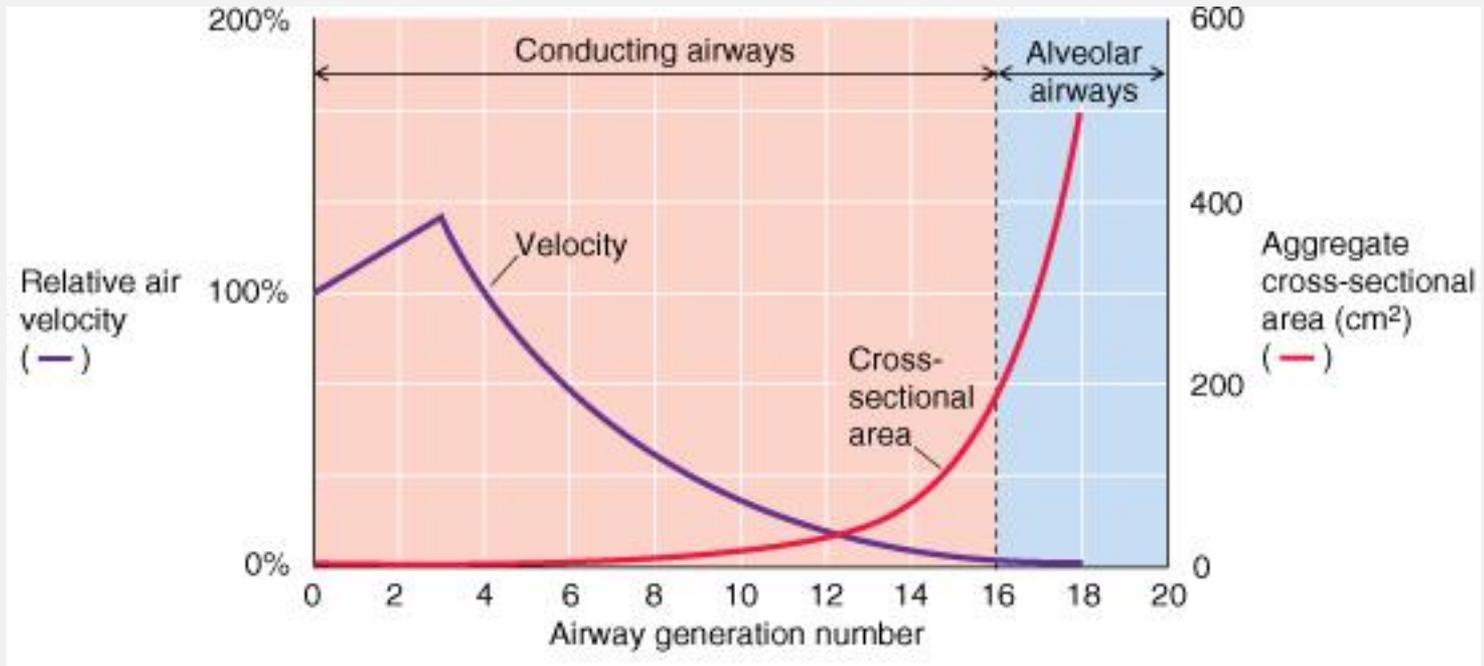
1. Ventilazione e meccanica polmonare
2. Scambi gassosi
  - Diffusione alveolo - capillare
  - Trasporto dei gas nel sangue
  - Rapporto ventilazione-perfusione polmonari
3. Controllo della ventilazione
4. Controllo fisiologico del pH

# Struttura e funzione

## Vie aeree e flusso

		Generazione	Calibro (cm)	Lunghezza (cm)	Numero	Sezione trasversa totale (cm <sup>2</sup> )	
Zona di conduzione	Trachea	0	1,80	12,0	1	2,54	
	Bronchi	1	1,22	4,8	2	2,33	
		2	0,83	1,9	4	2,13	
		3	0,56	0,8	8	2,00	
	Bronchioli	4	0,45	1,3	16	2,48	
Bronchioli terminali	5	0,35	1,07	32	3,11		
	16	0,06	0,17	$6 \times 10^4$	180,0		
Zona di transizione e respiratoria	Bronchioli respiratori	17	↓	↓	↓	↓	
		18	↓	↓	↓	↓	
		19	0,05	0,10	$5 \times 10^5$	$10^3$	
	Dotti alveolari	T <sub>3</sub>	20	↓	↓	↓	↓
		T <sub>2</sub>	21	↓	↓	↓	↓
		T <sub>1</sub>	22	↓	↓	↓	↓
Sacchi alveolari	T	23	0,04	0,05	$8 \times 10^6$	$10^4$	

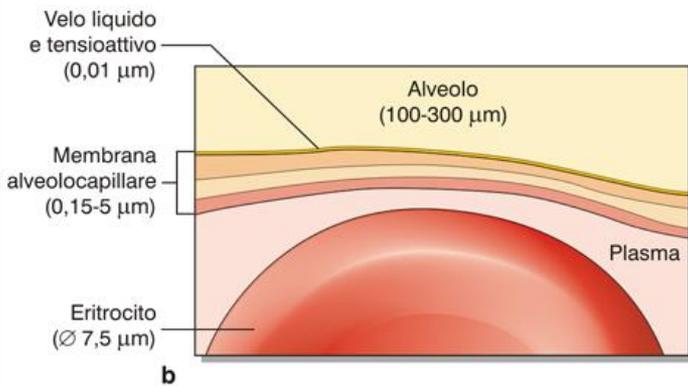
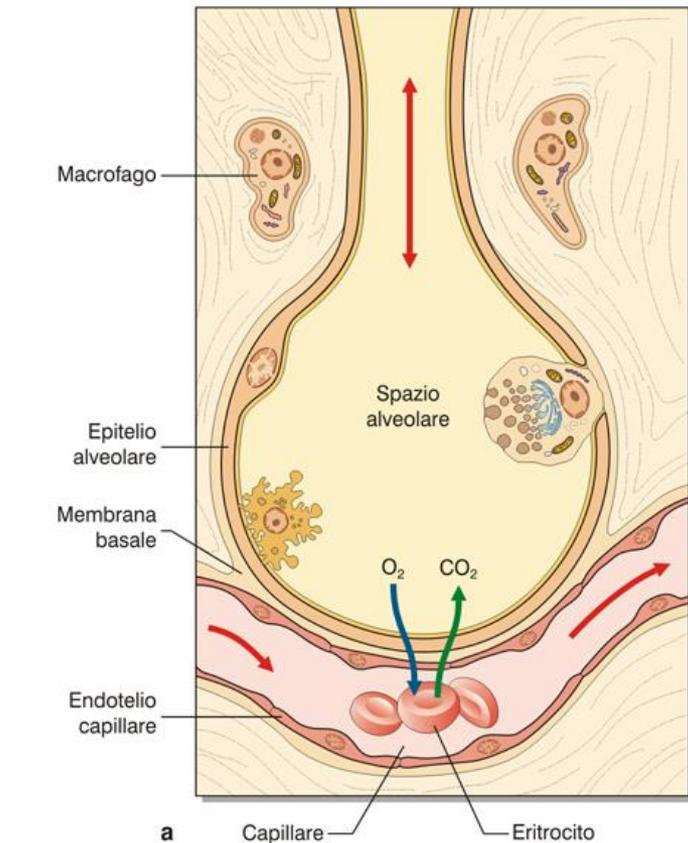
# Velocità e CSA



- Nelle vie aeree della zona alveolare o respiratoria si ha solo diffusione
- Nella zona di transizione si depositano le particelle di "pollutants"
- In questa zona, di piccole vie aeree, inizia a svilupparsi la bronchite

# Interfaccia gas-sangue

- 300 milioni di alveoli
- Superficie di scambio = 50- 100 m<sup>2</sup>
- Ogni alveolo ha un diametro pari a 1/3 mm
- Spessore della membrana alveolo-capillare inferiore a  $\mu\text{m}$  0.15
- La membrana è polarizzata
- Nell'interstizio troviamo fibroblasti e collagene IV



# Nozioni di Fisica dei Gas-Equazione di Stato e legge di Avogadro

## Equazione di stato dei gas

$$PV = NRT$$

$$PV/T = NR$$

$$P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2$$

$$V_2 = V_1 P_1/P_2 \cdot T_2/T_1$$

## Legge di Avogadro

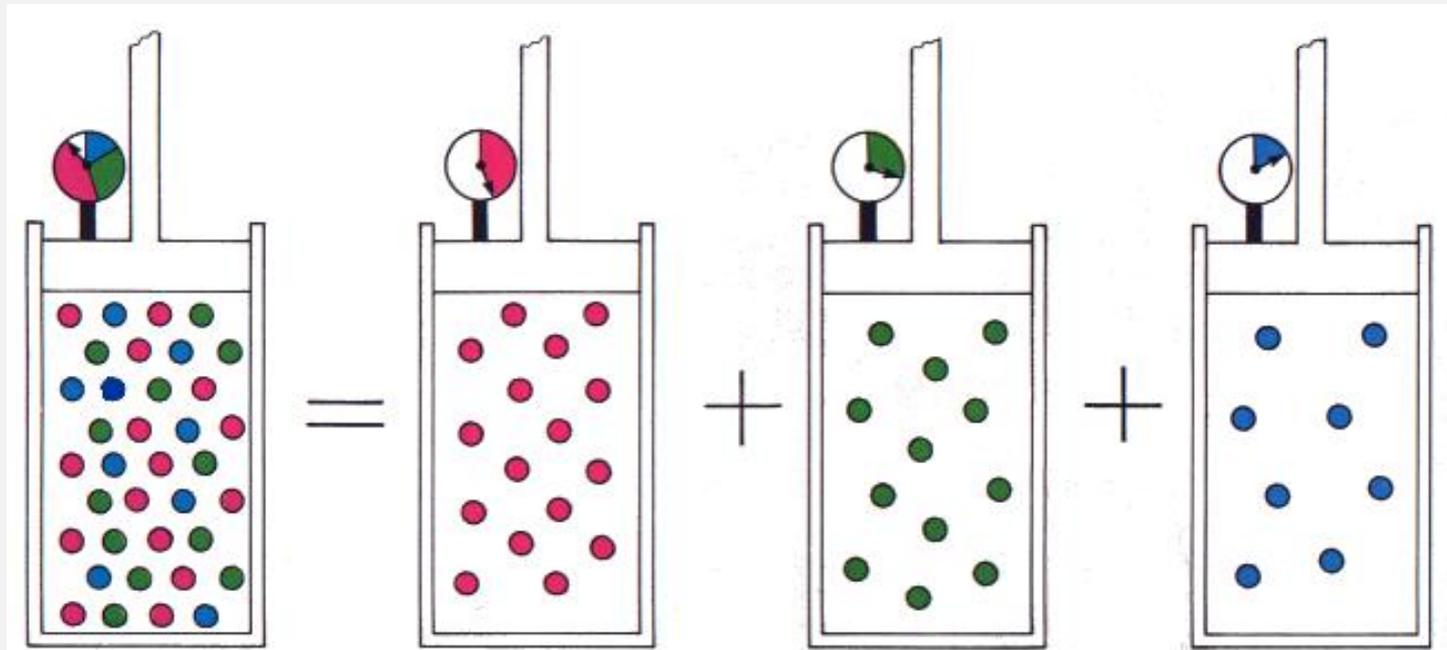
1 mole di gas perfetto a 0° C (273 K) e ad 1 atm (760 mmHg) occupa 22.393 l (6 10<sup>23</sup> molecole)

$$R = 22.4/273 = 0.082 \text{ l atm per grado K e per mole}$$

# Nozioni di Fisica dei Gas Legge di Dalton

## Legge di Dalton

La pressione di una miscela di gas è uguale alla somma delle **pressioni parziali** dei gas componenti. La pressione parziale è quella pressione che eserciterebbe ciascun componente se occupasse da solo il volume occupato dalla miscela



# Nozioni di Fisica dei Gas Legge di Dalton

## Legge di Dalton

Dato che i vapori non seguono le leggi dei gas e che la concentrazione di vapor d'acqua varia facilmente, la frazione di un gas ( $F_X$ ) in una miscela è sempre espressa rispetto al gas secco

$$F_X = \frac{P_X}{P_{\text{tot}} - P_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{V_X}{V_{\text{tot}} - V_{\text{H}_2\text{O}}}$$

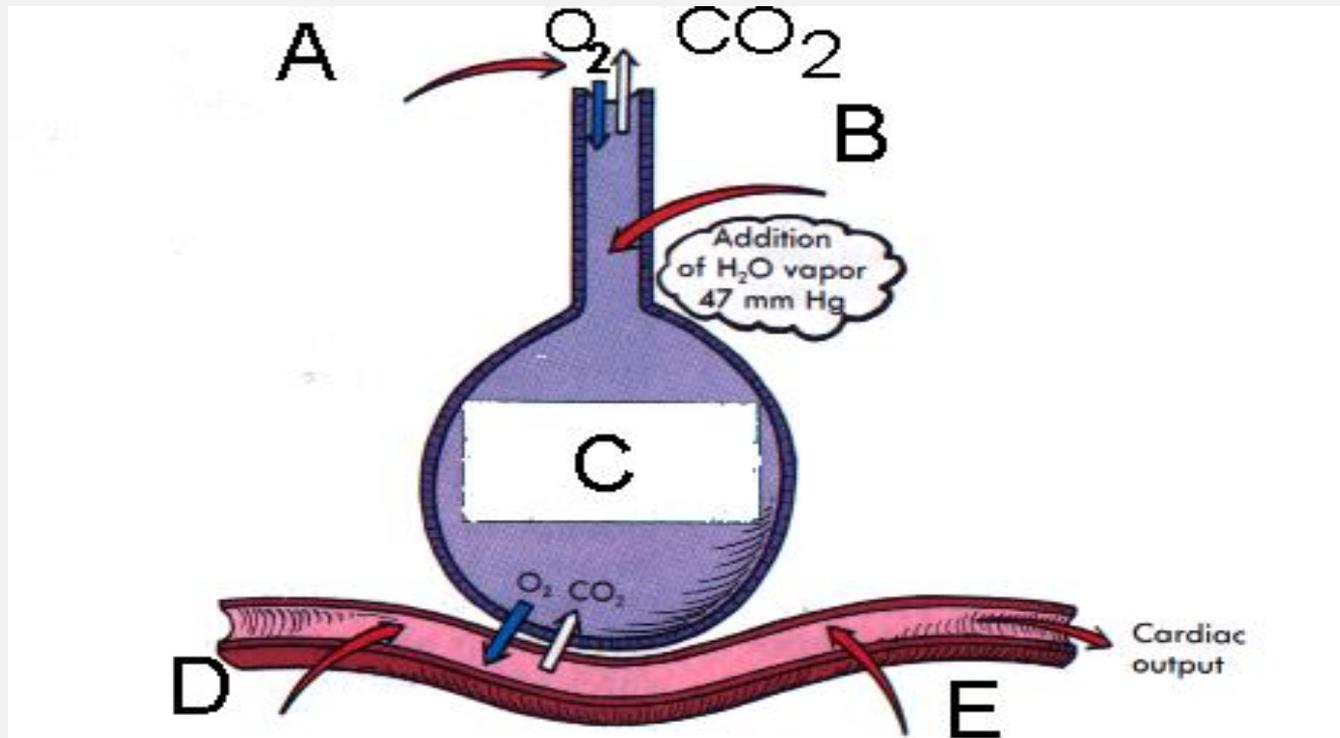
# Tensione di vapore d'acqua

I vapori non seguono le leggi dei gas

La pressione di vapor d'acqueo ( $P_{H_2O}$ )  
dipende dalla temperatura

$t$ (° C)	P (mmHg)	C (g/m <sup>3</sup> )	$t$ (° C)	P (mmHg)	C (g/m <sup>3</sup> )
-20	0.8	0.9	30	31.8	30.0
-15	1.2	1.4	35	42.2	39.2
-10	1.9	2.1	36	44.6	41.3
-5	3	3.2	37	47.1	43.5
0	4.6	4.8	38	49.7	45.7
5	6.5	6.8	39	52.4	48.1
10	9.2	9.3	40	55.3	
15	12.8	12.7	41	58.3	
20	17.5	17.1	42	61.5	
25	23.8	22.8	100	100	

# Esempi



A

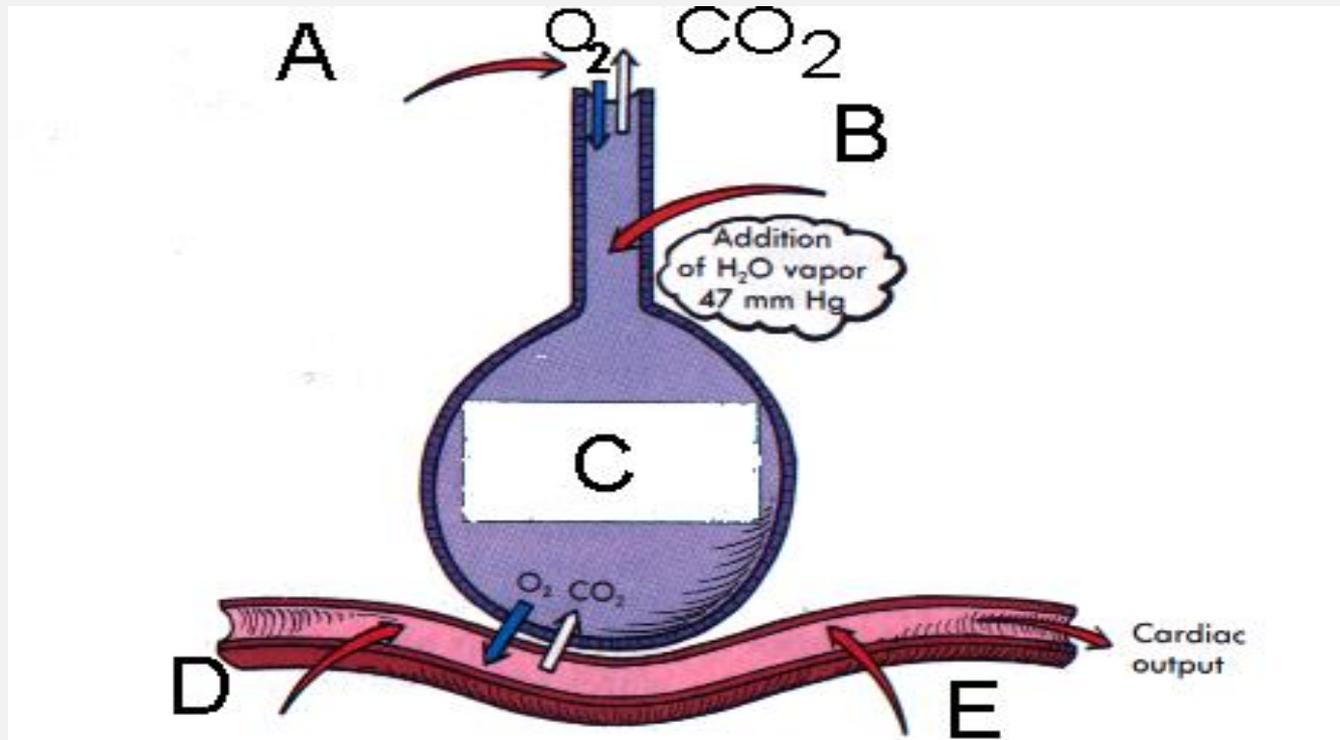
• A Verona:

• Gas secco:

$$PO_2 = F_I O_2 \times P_B - P_{H_2O}$$

$$PO_2 = .2093 \times 760 = 159 \text{ mmHg}$$

# Esempi



A

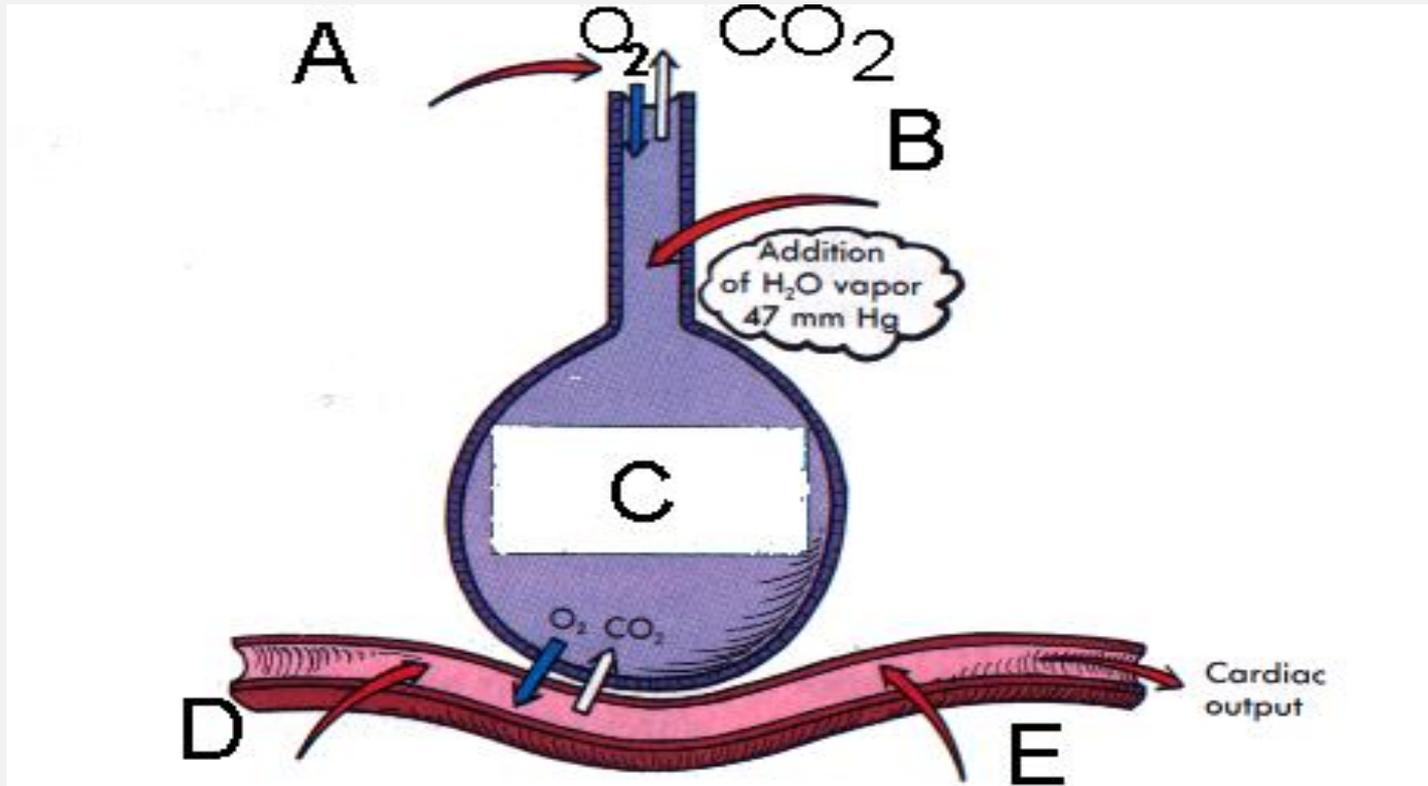
• A La Paz (3650 m slm):

• Gas secco:

$$PO_2 = F_I O_2 \times P_B \quad 0$$

$$PO_2 = .2093 \times 495 = 104 \text{ mmHg}$$

# Esempi



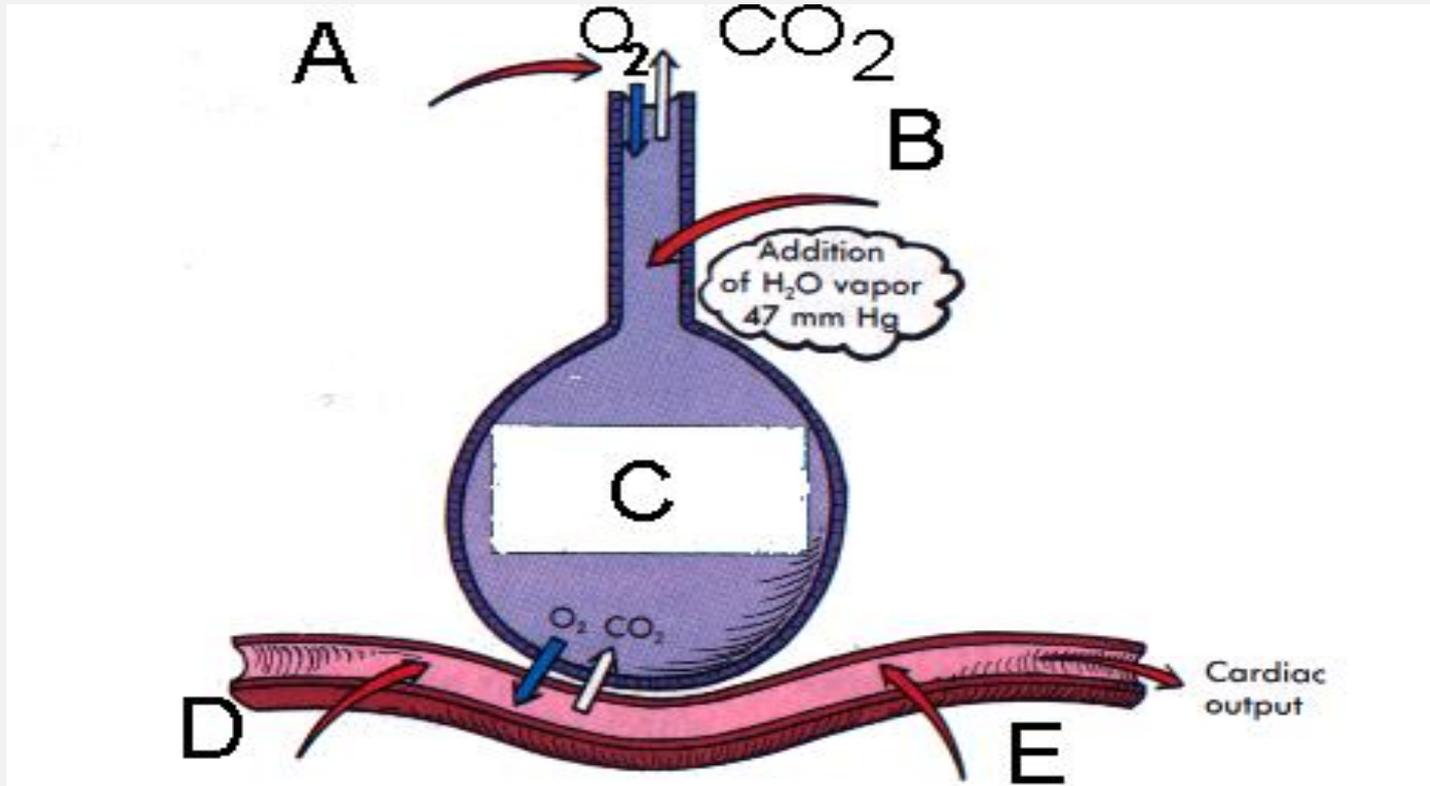
B

• A Verona:

• Gas Umido:  $PO_2 = F_I O_2 \times (P_B - P_{H_2O})$  o

$$PO_2 = .2093 \times (760 - 47) = 149 \text{ mmHg}$$

# Esempi



B

• A La Paz:

• Gas Umido:  $PO_2 = F_I O_2 \times (P_B - P_{H_2O})$  o

$$PO_2 = .2093 \times (495 - 47) = 94 \text{ mmHg}$$

# Correzione dei Volumi di Gas

## 1. STPD

Le quantità di gas vengono espresse in moli o in volumi in **condizioni standard** (gas secco a 0° C e 760 mmHg). Occorre quindi correggere V da **ATPS (Ambient Temperature and Pressure, Saturated)** a **STPD (Standard Temperature and Pressure, Dry)**.

$$V_{\text{STPD}} = V_{\text{ATPS}} \frac{273}{273 + t} \bullet \frac{P_B}{760} \bullet \frac{P_B - P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_B}$$

# Correzione dei volumi-Esempio

1 litro di gas misurato in condizioni ATPS:

- 25 ° C
- 750 mmHg
- UR 80%

$$(P_{iH_2O} = UR/100 * P_{SatH_2O} \text{ (UR: Umidità relativa in \%)})$$



$$(P_{iH_2O} = 19 \text{ mmHg})$$

1000  
cc

$$* .975$$

975  
cc

$$* .987$$

962  
cc

$$* .916$$

**STPD**

881  
cc

# Correzione dei volumi di gas

## 1. BTPS

Volume occupato dai gas in *condizioni fisiologiche*: **BTPS** (37° C, pressione ambiente, saturo di vapor d'acqua, **Body Temperature and Pressure, Saturated**).

$$V_{\text{BTPS}} = V_{\text{ATPS}} \frac{273 + 37}{273 + t} \bullet \frac{P_{\text{B}} - P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{B}} - 47}$$

# Nozioni di fisica dei gas-Legge di Henry

## Legge di Henry

Il volume di gas (V) che si scioglie in un volume di liquido (Q) è direttamente proporzionale alla pressione parziale (P) del gas secondo il suo **coefficiente di solubilità** ( $\lambda$ ) in quel liquido  
Non vale per i gas che reagiscono con l'acqua

$$V = \lambda Q P$$

$\lambda$ : volume di gas sciolto in un volume di liquido quando la pressione del gas è 760 mmHg  
aumenta con il diminuire della temperatura

Solubilità dei gas di interesse respiratorio (ml di gas STPD/ml H<sub>2</sub>O a 760 mm Hg)

Gas	20 ° C	37 ° C
N <sub>2</sub>	0.015	0.012
O <sub>2</sub>	0.031	0.023
CO <sub>2</sub>	0.88	0.54
He	0.009	0.009
Ar	0.034	0.026
Xe	0.123	0.081
CO	0.023	0.018
N <sub>2</sub> O	0.629	0.403
SO <sub>2</sub>	39.37	18.8

# Nozioni di fisica dei gas-Legge di Fick

## Legge di Fick

La diffusione avviene nelle tre direzioni dello spazio. Considerando una **sola direzione**, la versione semplificata della legge di Fick ci indica che la massa di sostanze che passa in un intervallo di tempo infinitesimale ( $dM/dT$ ) attraverso una sezione ( $A$ ) perpendicolare al flusso è

$$\frac{dM}{dt} = -DA \frac{dC}{dL}$$

$D$ : *coefficiente di diffusione*

$dC/dL$ : *gradiente di concentrazione*

# Legge di Fick applicata ai gas

- $D$  dei gas è **inversamente proporzionale alla radice quadrata del peso molecolare** (Legge di Graham) ed aumenta con il diminuire della pressione ambiente
- Quando la diffusione di un gas avviene in una fase liquida,  $dM/dT$  dipende dal **gradiente di pressione parziale\***

$$\frac{dM}{dt} = -DA \frac{dP}{dL}$$

\* l'attività chimica dipende dalla pressione parziale

# Composizione dell' Aria Ambiente

La Pressione barometrica diminuisce in maniera mono- esponenziale con l' altitudine slm

km	mmHg	g/l	° C
0	760.0	1.225	15.1
1	674.1	1.112	8.6
2	596.3	1.007	2.1
3	525.9	0.909	-4.4
4	462.5	0.819	-10.9
5	405.4	0.763	-17.4
6	345.2	0.660	-23.9
7	308.3	0.590	-30.4
8	267.4	0.526	-36.9
9	231.0	0.467	-43.4
10	198.8	0.413	-49.8
11	170.3	0.365	-56.3
15	90.8	0.195	-56.4
20	41.5	0.089	-56.5

# Composizione dell' Aria Ambiente

$$F_{\text{I}}\text{O}_2 = 0.2095 \text{ (20.95 \%)}$$

$$F_{\text{I}}\text{CO}_2 = 0.0003 \text{ (0.03 \%)}$$

$$F_{\text{I}}\text{N}_2 = 0.7808 \text{ (78.08 \%)}$$

$$F_{\text{I}}\text{Ar} = 0.0094 \text{ (0.94 \%)}$$

Poiché la composizione dell' aria rimane costante, la *pressione parziale di un gas nell'aria ambiente diminuisce* con i' aumentare dell' altitudine con *lo stesso andamento della pressione ambiente*

# Bibliografia

- **Fisiologia dell'Uomo, autori vari, Edi.Ermes, Milano**
  - **Capitolo 12: Il Polmone (Capitoli 12.1, 12.2, 12.3. 12.8.1, 12.8.2)**
- **Fisiologia Medica, a cura di Conti F, seconda edizione, Edi.Ermes, Milano**
- ***West JB, Fisiologia della Respirazione, IV edizione italiana, PICCIN, Padova***