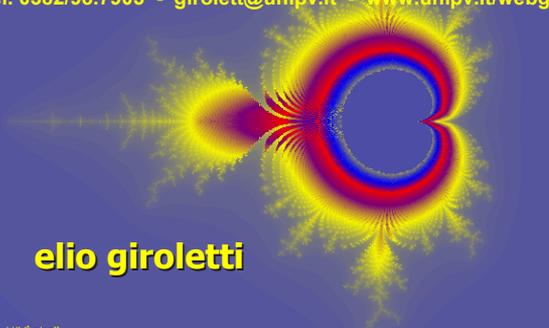




**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA**  
 dip. Fisica nucleare e teorica  
 via Bassi 6, 27100 Pavia, Italy  
 tel. 0382/98.7905 - girolett@unipv.it - www.unipv.it/webgiro



**elio giroletti**

LMitchell  
 FISICA/OSTI - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido

---

---

---

---

---

---

---

---



**MEMBRANE**  
**equilibri gas-liquido**

**FISICA MEDICA e RADIOPROTEZIONE**  
*elio giroletti, 2005*

Classe Lauree  
 di **INFERMIERISTICA e OSTETRICIA**

corso integrato  
 FISICA, STATISTICA e INFORMATICA  
 disciplina: FISICA MEDICA e RADIOPROTEZIONE

---

---

---

---

---

---

---

---

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Infermieristica e Ostetricia - equilibri gas/liquido

Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica



**MEMBRANE**  
**equilibri gas-liquido**

**FISICA MEDICA e RADIOPROTEZIONE**  
*elio giroletti, 2005*

- Diffusione gas-liquido
- Condizioni di vapore saturo
- Compartimento e membrana alveolare
- Diffusione azoto
- Trasporto ossigeno
- Diffusione gas anestetici

lucidi di Domenico Scannicchio, rivisti da Elio Giroletti

---

---

---

---

---

---

---

---

**DIFFUSIONE GAS-LIQUIDO**

diffusione gas      liquido

gas      liquido

$n_{\text{ingresso}} \propto p_i$   
 $n_{\text{uscita}} \propto V_i$

**equilibrio dinamico:**  
 $n_{\text{uscita}} = n_{\text{ingresso}}$

$p_i V = n_i R T$      $n_i = \frac{V}{RT} p_i$

**legge di GRAHAM**     $D_M = \frac{K}{\sqrt{\text{massa}}}$   
 diffusione attraverso la membrana

CL-INF/OST - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido

---

---

---

---

---

---

---

---

**DIFFUSIONE GAS-LIQUIDO**      ②

diffusione gas → liquido

gas      liquido

$n_{\text{ingresso}} \propto p_i$   
 $n_{\text{uscita}} \propto V_i$

**legge di Henry**  
 $V_i = s_i p_i$

**equilibrio dinamico:**  $n_{\text{uscita}} = n_{\text{ingresso}}$

$V_i$  = volume gas-i (a NTP) sciolto in 100 cm<sup>3</sup> di liquido  
 $p_i$  = pressione parziale gas-i  
 $s_i$  = **coefficiente di solubilità** gas-i, cm<sup>3</sup>/atm     $s_i = s_i(T)$

CL-INF/OST - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido

---

---

---

---

---

---

---

---

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Infermieristica e Ostetricia - equilibri gas/liquido

Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica

**DIFFUSIONE GAS-LIQUIDO**      ③

$V_i = s_i p_i$     **legge di Henry**

$s_i$  = **coefficiente di solubilità gas-i** =  $s_i(T)$   
 = volume (a STP) disciolto in 100 cm<sup>3</sup> di liquido

**solubilità di gas in H<sub>2</sub>O (cm<sup>3</sup> atm<sup>-1</sup>)**

| in H <sub>2</sub> O | 0 °C    | 40 °C   |
|---------------------|---------|---------|
| O <sub>2</sub>      | s = 4,9 | s = 2,3 |
| CO <sub>2</sub>     | s = 170 | s = 53  |
| azoto               | s = 2,4 | s = 1,2 |

CL-INF/OST - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido

---

---

---

---

---

---

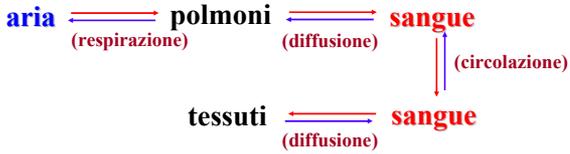
---

---



### ARIA ALVEOLARE

meccanismi di trasporto (gas biologici)



1

CL-INF/OST - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido

---

---

---

---

---

---

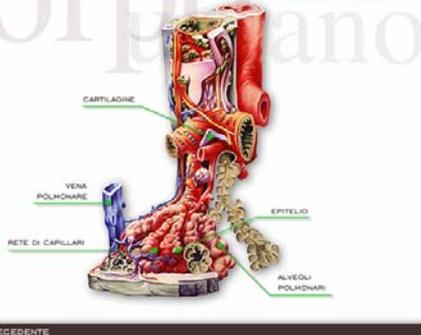
---

---



### ARIA ALVEOLARE

BRONCHI BRONCHIOLI



CL-INF/OST - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido

Enciclopedia Rizzoli Larousse, cd-rom, 1998

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Infermieristica e Ostetricia - equilibri gas/liquido

Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica

---

---

---

---

---

---

---

---

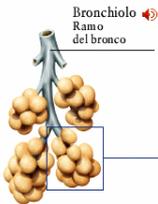


### ARIA ALVEOLARE

#### ALVEOLI

**G**LI ALVEOLI sono piccole dilatazioni sferiche della parte terminale dei bronchioli. Svolgono il compito, essenziale per la vita, di fornire l'ossigeno al sangue

e di eliminare l'anidride carbonica di rifiuto. In ogni polmone ci sono più di trecento milioni di alveoli: potrebbero ricoprire la superficie di un campo da tennis.



Enciclopedia del corpo umano, cd-rom, Rizzoli, 1997

CL-INF/OST - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido

---

---

---

---

---

---

---

---

②

### ARIA ALVEOLARE

le pressioni esistenti favoriscono lo scambio

|                       | composiz., %                          | press. parziale   |
|-----------------------|---------------------------------------|-------------------|
| <b>ARIA INSPIRATA</b> | N <sub>2</sub> 79.04                  | 600.7 mmHg        |
|                       | O <sub>2</sub> 20.92                  | 159.0 mmHg        |
|                       | CO <sub>2</sub> 0.04                  | 0.3 mmHg          |
|                       | H <sub>2</sub> O 0.00                 | 0.0               |
|                       | <u>100.00 %</u>                       | <u>760.0 mmHg</u> |
| <b>ARIA ALVEOLARE</b> | N <sub>2</sub> 80.4                   | 573.2 mmHg        |
|                       | O <sub>2</sub> 9.0                    | 99.8 mmHg         |
|                       | CO <sub>2</sub> 5.6                   | 40.0 mmHg         |
|                       | H <sub>2</sub> O <b>vapore saturo</b> | <b>47.0 mmHg</b>  |
|                       | <u>100.0 %</u>                        | <u>760.0 mmHg</u> |

alveoli coperti da un velo di liquido

CL-INF/OST - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### MEMBRANA ALVEOLARE

**area totale, A, membrana alveolare**

$r = \text{raggio alveolo} = (50+150) 100\mu\text{m} = 10^{-2} \text{ cm,}$   
 $N = \text{numero alveoli} = 600 \text{ milioni} = 0,6 \cdot 10^9$

$A = 4\pi r^2 N = 4\pi(10^{-2})^2 0,6 \cdot 10^9 \approx 7,5 \cdot 10^5 \text{ cm}^2 = 75 \text{ m}^2$

CL-INF/OST - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Infermieristica e Ostetricia - equilibri gas/liquido

Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica

①

### DIFFUSIONE AZOTO

quanto azoto abbiamo in corpo?

**solubilità N<sub>2</sub>** (in acqua a 37°C)  $s = 1,2 \text{ cm}^3 \text{ atm}^{-1}$

**legge di Henry**

$V_{\text{N}_2} = s p_{\text{N}_2} = 1,2 \frac{573}{760} = 1 \text{ cm}^3 \text{ N}_2 (1 \text{ atm})$   
 (in 100 cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O)

$m = 80 \text{ kg} \text{ [67\% H}_2\text{O]}$

$V_{\text{N}_2} = 80 \times 67\% \frac{10^{-3} \text{ litri N}_2}{10^{-1} \text{ litri H}_2\text{O}} \approx 0,55 \text{ litri N}_2 (1 \text{ atm})$

CL-INF/OST - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## DIFFUSIONE AZOTO

2

### immersione subacquea: profondità 20 m

$$p = \rho g h = 1 \text{ g cm}^{-3} \cdot 980 \text{ cm s}^{-2} \cdot 20 \cdot 10^2 \text{ cm} = 2 \cdot 10^6 \text{ barie} = 2 \text{ atm}$$

$$P_{\text{effettiva}} = 1 \text{ atm} + 2 \text{ atm} = 3 \text{ atm}$$

$$V_{\text{N}_2} = 0.55 \text{ litri atm}^{-1} \cdot 3 \text{ atm} = \mathbf{1.615 \text{ litri}} (1 \text{ atm})$$

### emersione rapida

liberati  $1.65 - 0.55 = 1.1$  litri gas N<sub>2</sub>  
(bolle di gas)

**embolia gassosa**

CL-INF/OST - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido


---

---

---

---

---

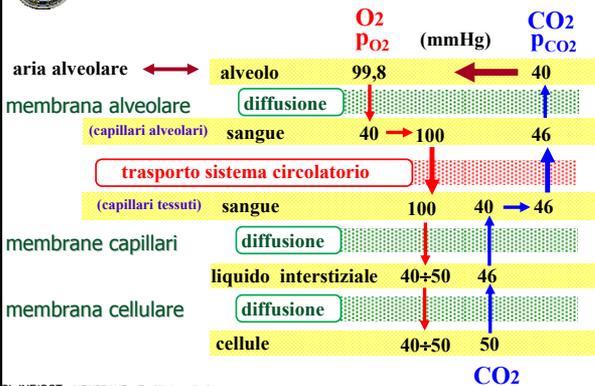
---

---

---



## TRASPORTO OSSIGENO, O<sub>2</sub>, e CO<sub>2</sub>


CL-INF/OST - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Infermieristica e Ostetricia - equilibri gas/liquido

Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica

---

---

---

---

---

---

---

---



## TRASPORTO OSSIGENO

1

quanto ossigeno ci serve?

**metabolismo basale:**  $50 \text{ kcal ora}^{-1} \text{ m}^{-2}$

V = minima necessità di ossigeno:

1 litro O<sub>2</sub> → 4,825 kcal (cal. svilupp. da O<sub>2</sub>)

superficie corporea ≈ 2 m<sup>2</sup>

$$V_o = \frac{50 \text{ kcal ora}^{-1} \text{ m}^{-2} \cdot 2 \text{ m}^2}{4.825 \text{ kcal / litro O}_2} \approx 21 \frac{\text{litri O}_2}{\text{ora}} \text{ (NTP)}$$

$$t = 37^\circ\text{C} = 310 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$V = \frac{V_o T}{273^\circ} = 21 \frac{310^\circ}{273^\circ} \approx 24 \frac{\text{litri O}_2}{\text{ora}}$$

CL-INF/OST - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido


---

---

---

---

---

---

---

---



## TRASPORTO OSSIGENO

②

l'apporto della diffusione è sufficiente?

solubilità O<sub>2</sub> in acqua a 37 °C:  $s = 2,3 \text{ cm}^3 \text{ atm}^{-1}$

**legge di Henry (diffusione)**  $V_i = s_i \cdot p_i$

$$V_{O_2} = s \cdot p_{O_2} = 2,3 \frac{99,8}{760} = 0,3 \text{ cm}^3 \text{ (in 100 mlitri sangue)}$$

$$V_s = 60 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \cdot 3600 \text{ s ora}^{-1} = 216 \frac{\text{litri}}{\text{ora}} \text{ (sangue ai tessuti)}$$

$$V_{O_2} = 216 \text{ lt ora}^{-1} \cdot 0,3 \text{ cm}^3 \text{ O}_2 \text{ lt}^{-1} = 0,65 \frac{\text{litri O}_2}{\text{ora}}$$

necessari  $V \approx 24 \frac{\text{litri O}_2}{\text{ora}}$

**INSUFFICIENTE**

CL-INF/OST - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido

---

---

---

---

---

---

---

---



## TRASPORTO OSSIGENO

③

**meccanismo biochimico:**

**cattura O<sub>2</sub> da emoglobina (Hb)**  $\text{Hb} + 4 \text{ O}_2 \rightarrow \text{HbO}_2$

- 1 g Hb satura assorbe 1,34 cm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>
- 0,1 litri sangue contengono 15 g Hb

- ↓
- 0,1 litri sangue contengono al massimo:  
1,34 cm<sup>3</sup> O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> 15 g = 20 cm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>

$$V_{O_2} = 216 \frac{\text{litri}}{\text{ora}} \frac{20 \text{ cm}^3 \text{ O}_2}{0,1 \text{ litri}} = 43000 \frac{\text{cm}^3 \text{ O}_2}{\text{ora}}$$

$$= 43 \frac{\text{litri O}_2}{\text{ora}} \gg 24 \frac{\text{litri O}_2}{\text{ora}} \text{ (minimo necessario)}$$

**SUFFICIENTE!**

CL-INF/OST - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Infermieristica e Ostetricia - equilibri gas/liquido

Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica

---

---

---

---

---

---

---

---



## GAS ANESTETICI

$V_i = s_i \cdot p_i$  **legge di Henry**

gas anestetici sono neutri ⇒

- diffondono secondo la legge di Henry  
⇒ il coefficiente di solubilità è importante:  
se è piccolo, il sangue satura rapidamente per cui l'anestesia è più rapida

- **ciclopropano**:  $s=41,5 \text{ cm}^3/\text{atm}$ , anestesia rapida
- **etere etilico**:  $s=1520 \text{ cm}^3/\text{atm}$ , anestesia lenta

CL-INF/OST - MEMBRANE - Equilibri gas-liquido

---

---

---

---

---

---

---

---

**MEMBRANE**  
**equilibri gas-liquido**



**FISICA MEDICA e RADIOPROTEZIONE**  
*elio giroletti, 2005*

dispense su internet  
[www.unipv.it/webgiro](http://www.unipv.it/webgiro)



*elio giroletti*  
Università degli Studi di Pavia  
dip. Fisica nucleare e teorica  
giroletti@unipv.it - tel. 98.7905

---

---

---

---

---

---

---

---

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Infermieristica e Ostetricia - equilibri gas/liquido

Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica