

# **Fisiologia della Respirazione**

## **2. Ventilazione**

**FGE aa.2016-17**

# Obiettivi

- Muscoli inspiratori ed espiratori coinvolti nella respirazione a riposo, durante esercizio, iperpnea e iperventilazione
- Ventilazione polmonare totale e alveolare
- Volumi polmonari accessibili
- Determinazione del volume residuo
- Spazio morto alveolare e anatomico
- Distribuzione topografica della ventilazione

# Muscoli respiratori

## Muscoli inspiratori

### 1 Principali:

- **Diaframma** (n. frenico, C3-C5)

Sposta caudalmente il centro tendineo e fa espandere ed innalzare le coste sulle quali è inserito

- **Intercostali esterni** (n. spinali)

Irrigidiscono la cassa toracica; aumentano il diametro antero-posteriore della cassa toracica (azione a manico di secchio)

### 2 Accessori (inspirazione forzata)

- **Scaleni**
- **Sternocleidomastoideo**
- Muscoli del collo e del dorso
- Muscoli del primo tratto delle vie respiratorie

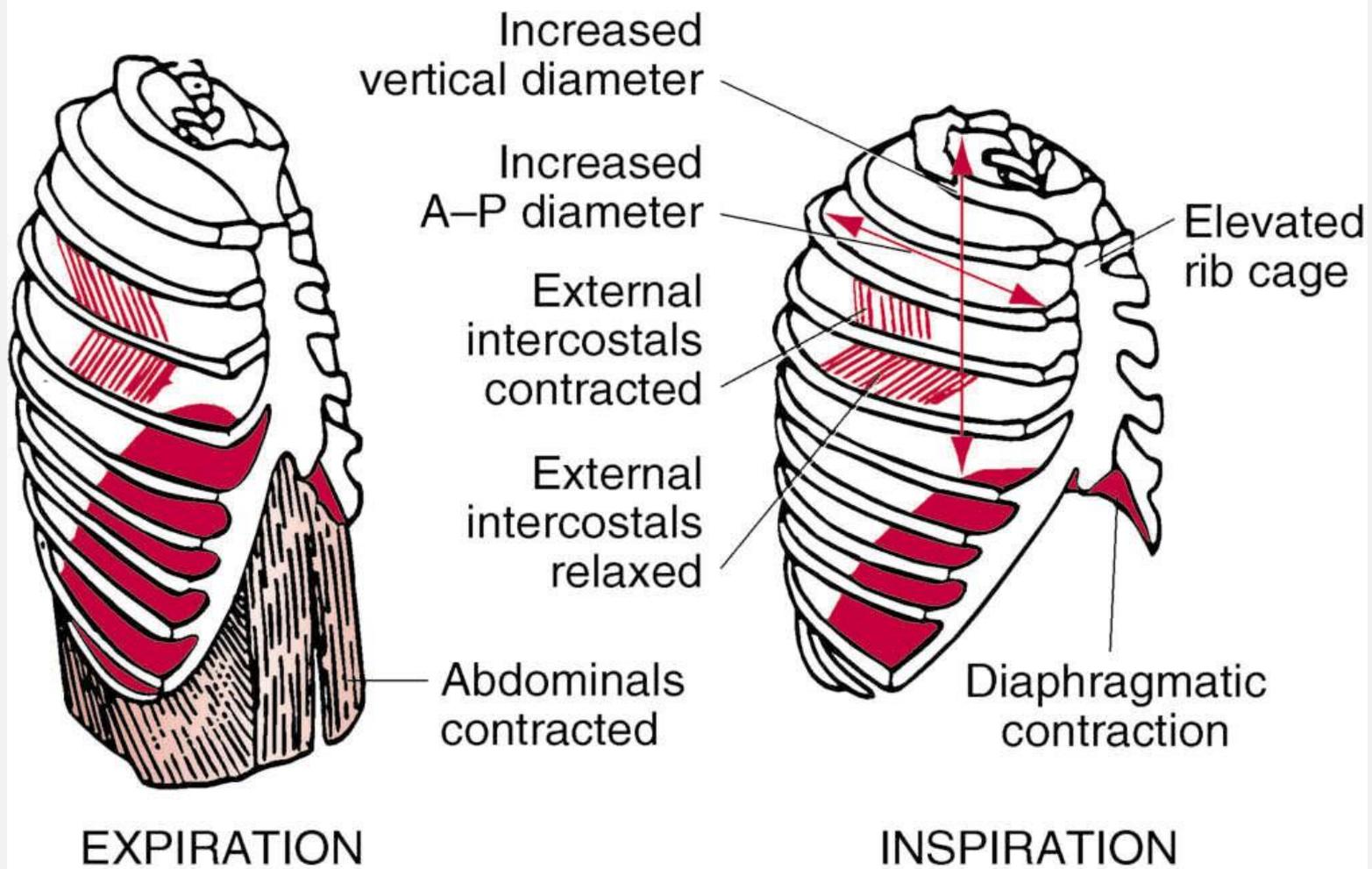
# Muscoli respiratori

## Muscoli espiratori

A riposo, l' espirazione è passiva. Non ci sono muscoli principali espiratori

- 2 Accessori (espirazione forzata, aumento delle resistenze al flusso, p.e. asma)
  - **Addominali**  
Aumentano la pressione addominale e spingono verso l' alto la cupola diaframmatica
  - **Sternocleidomastoideo**
  - **Intercostali interni**
  - Muscoli del collo e del dorso

# Muscoli respiratori



# Ventilazione e Volumi Polmonari

- **Termini e definizioni**

**Ventilazione polmonare totale ( $V'_E{}^{BTPS}$ , l min<sup>-1</sup>)\***

E' il volume di aria che entra ed esce nelle/dalle vie aeree in un minuto. E' uguale al prodotto di **volume corrente** ( $V_T$ , l) per la **frequenza respiratoria** ( $f_r$ , cicli al minuto)

$$V'_E{}^{BTPS} = V_T \cdot f_r$$

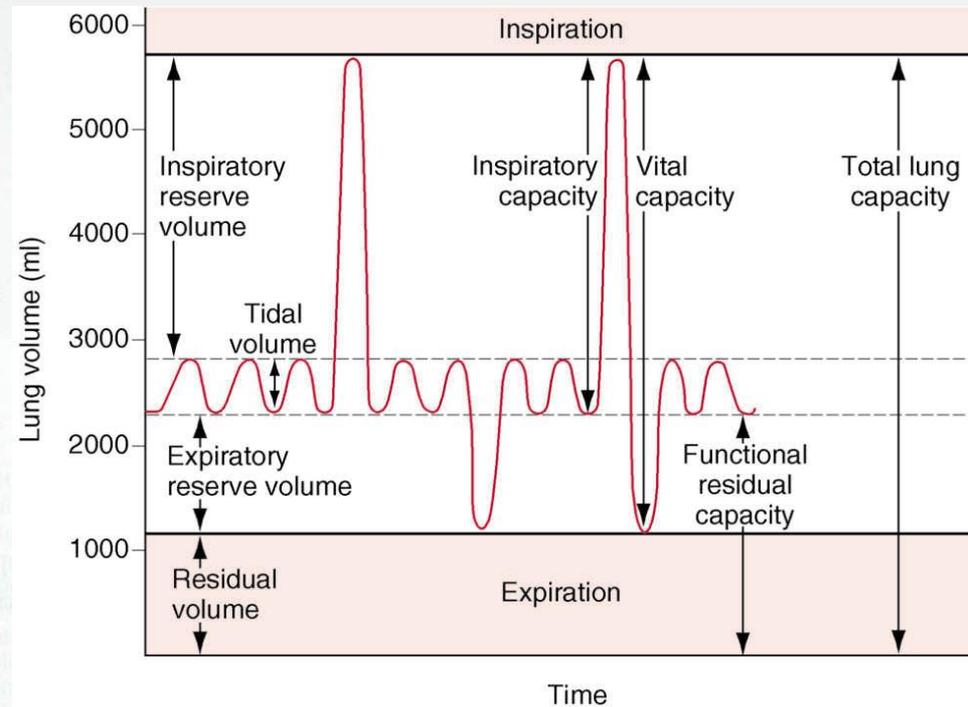
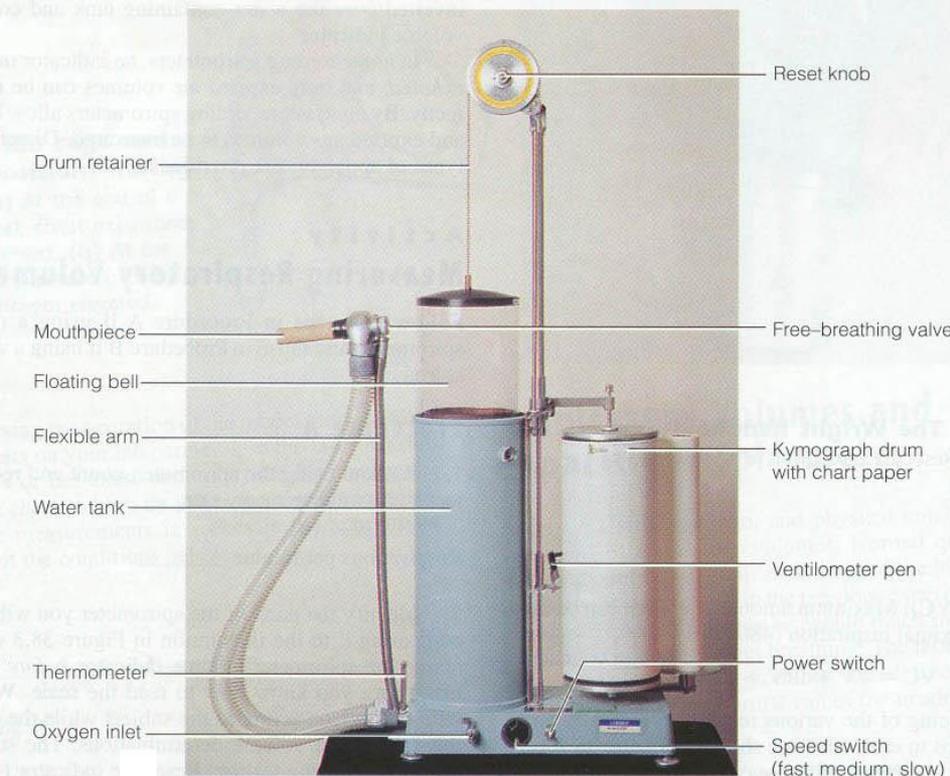
\*Il volume inspiratorio è di solito di circa l' 1% più piccolo del volume che lascia le vie aeree. Si è deciso per convenzione di misurare il volume espiratorio.

# Ventilazione Polmonare

	Riposo	Massimo lavoro aerobico	Lavoro sovramassimale anaerobico
$V'_E$ BTPS	6	60	120
$V_T$ BTPS	0.5	2	2.5
fr	12-15	30	44
$V' O_2$ STPD	0.25	2.5	3.5

# Volumi polmonari

- La ventilazione ed i volumi polmonari si misurano in condizioni BTPS con lo **spirometro a campana**



# Volumi Polmonari

- $V_T$ : 0.4 - 0.5 l
- $V_{RI}$ : 1.9 - 2.5 l

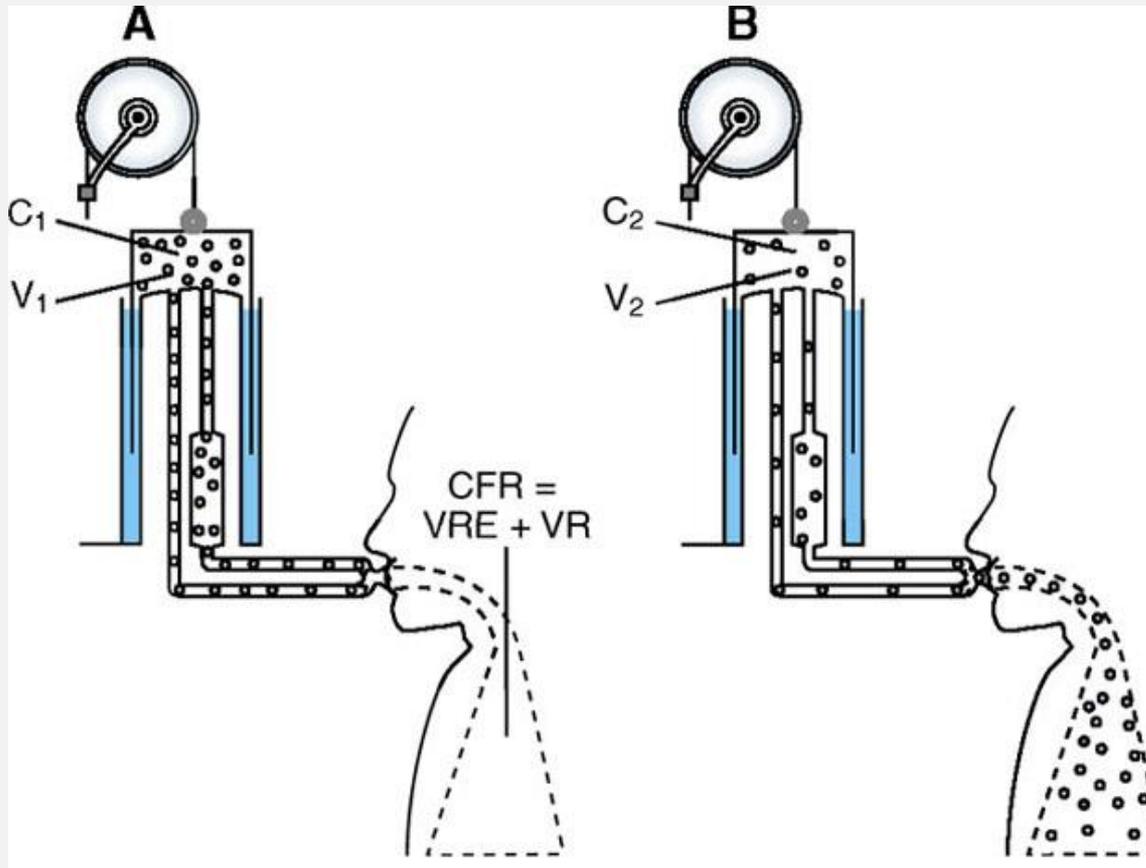
*(dipende dal volume corrente, dalla compliance polmonare, dalla forza dei muscoli inspiratori, dalla flessibilità della gabbia toracica, dalla postura)*

- $V_{RE}$ : 1.1 - 1.5 l
- $CV$  3.4 - 4.5 l
- $CPT$ : 4.9 - 6.4 l
- $CFR$ : 2.6 - 3.4 l
- $CI$ : 2.3 - 3.0

- $VR$ : è il volume di aria che rimane intrappolato nel polmone al termine di una espirazione forzata, 1.5 - 1.9 l

# Determinazione del Volume Residuo

## 1. Metodo della diluizione dell'elio.

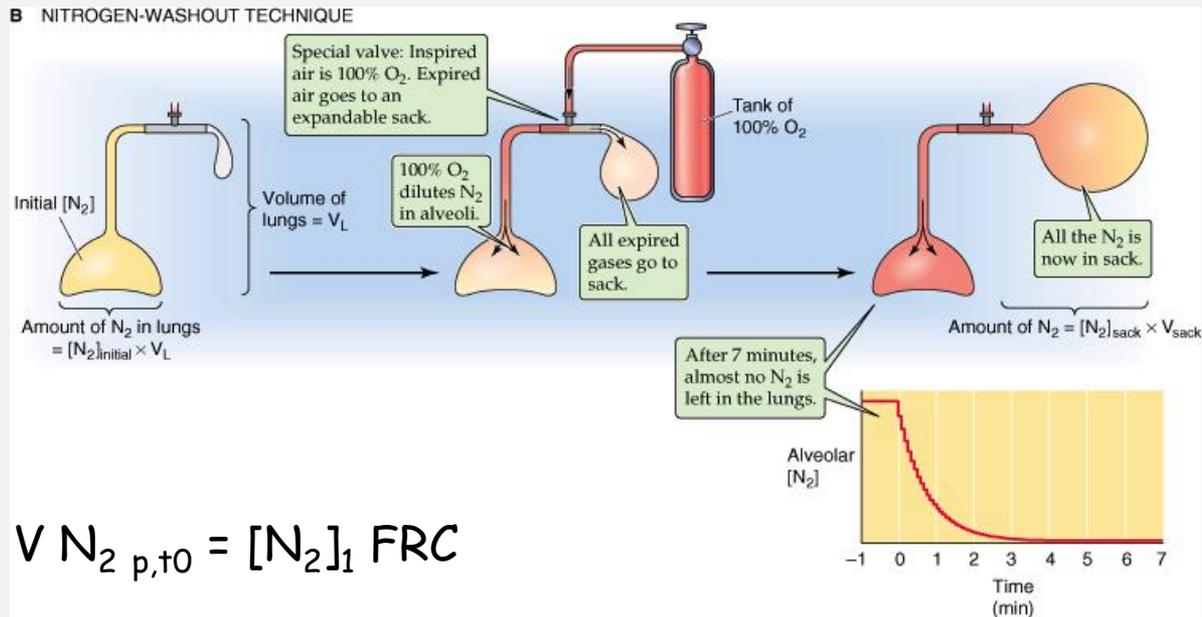


$$[He]_1 V_s = [He]_2 (V_s + V_{FRC})$$

$$V_{FRC} = V_s ([He]_1 / [He]_2 - 1)$$

# Determinazione del Volume Residuo

## 2. Metodo del wash-out dell' azoto



$$V N_{2, p, t0} = [N_2]_1 FRC$$

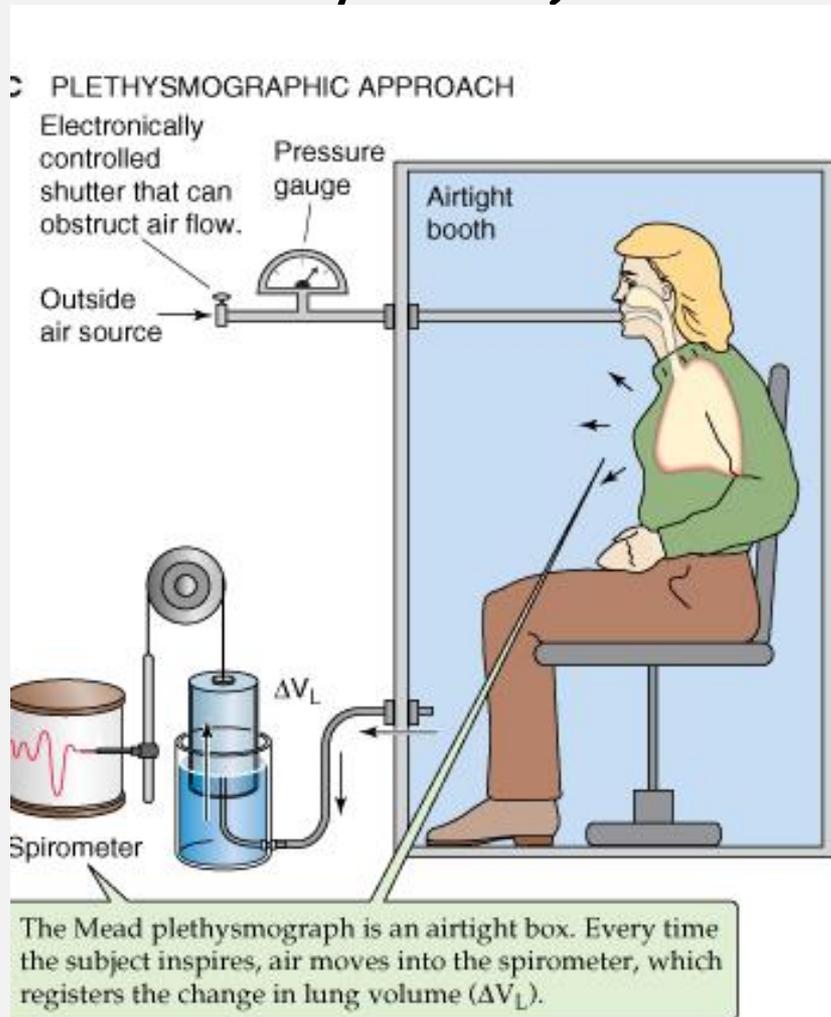
Si raccoglie tutta l' aria espirata in un sacco Douglas

$$[N_2]_1 FRC = [N_2]_2 V_{\text{Douglas}}$$

$$FRC = ([N_2]_2 / [N_2]_1) V_{\text{Douglas}}$$

# Determinazione del Volume Residuo

## 3. Metodo del pletismografo corporeo (metodo di Jerry Mead)

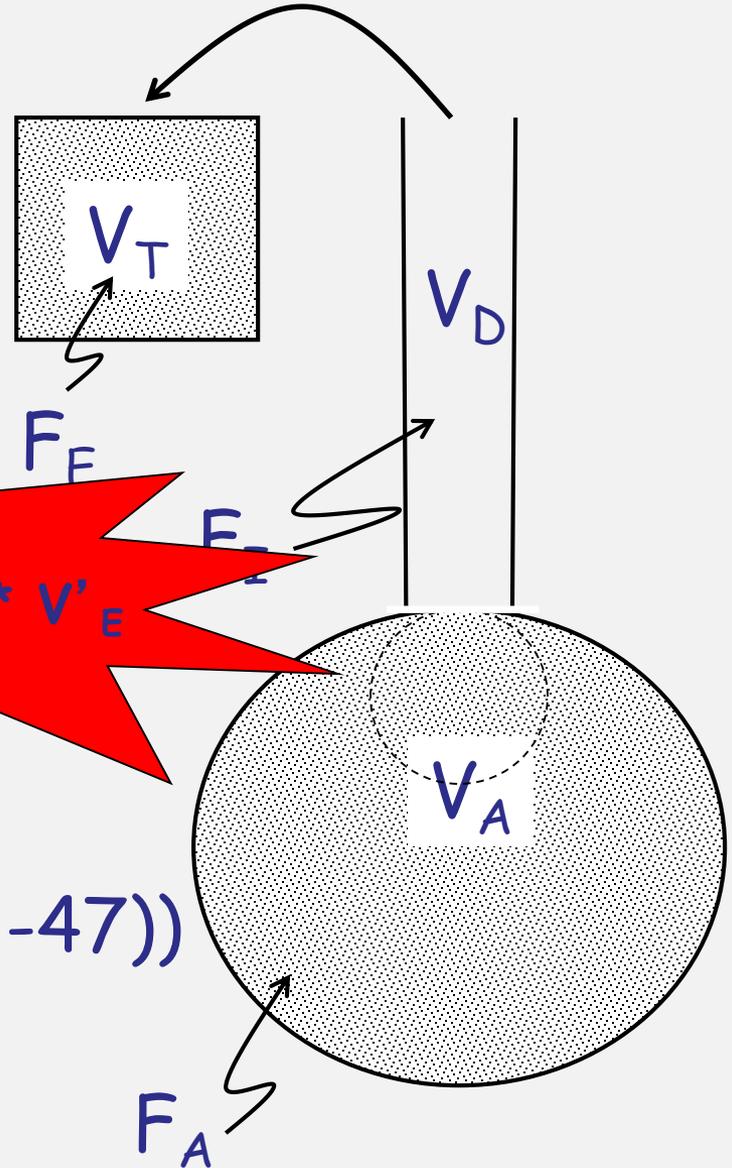


Legge di Boyle:  $P V_L = \text{costante}$

- Si parte da  $V_L = \text{FRC}$
- Durante inspirazione, lo spirometro legge l'aumento del volume polmonare  $\Delta V_L$
- Piccole inspirazioni contro resistenza infinita con aumento di  $V_L$  di un ammontare  $\Delta V_L$  e diminuzione di  $P$  di una quantità  $\Delta P$
- $P V_L = (P - \Delta P) * (V_L + \Delta V_L)$
- $V_L = \Delta V_L * (P - \Delta P) / \Delta P$
  
- Es.o:  $\text{FRC} = 0.05 \text{ L} * (760 - 12) \text{ mmHg} / 12 \text{ mmHg} = 3.11 \text{ L}$

# Ventilazione totale ( $V_E$ ) e alveolare ( $V_A$ )

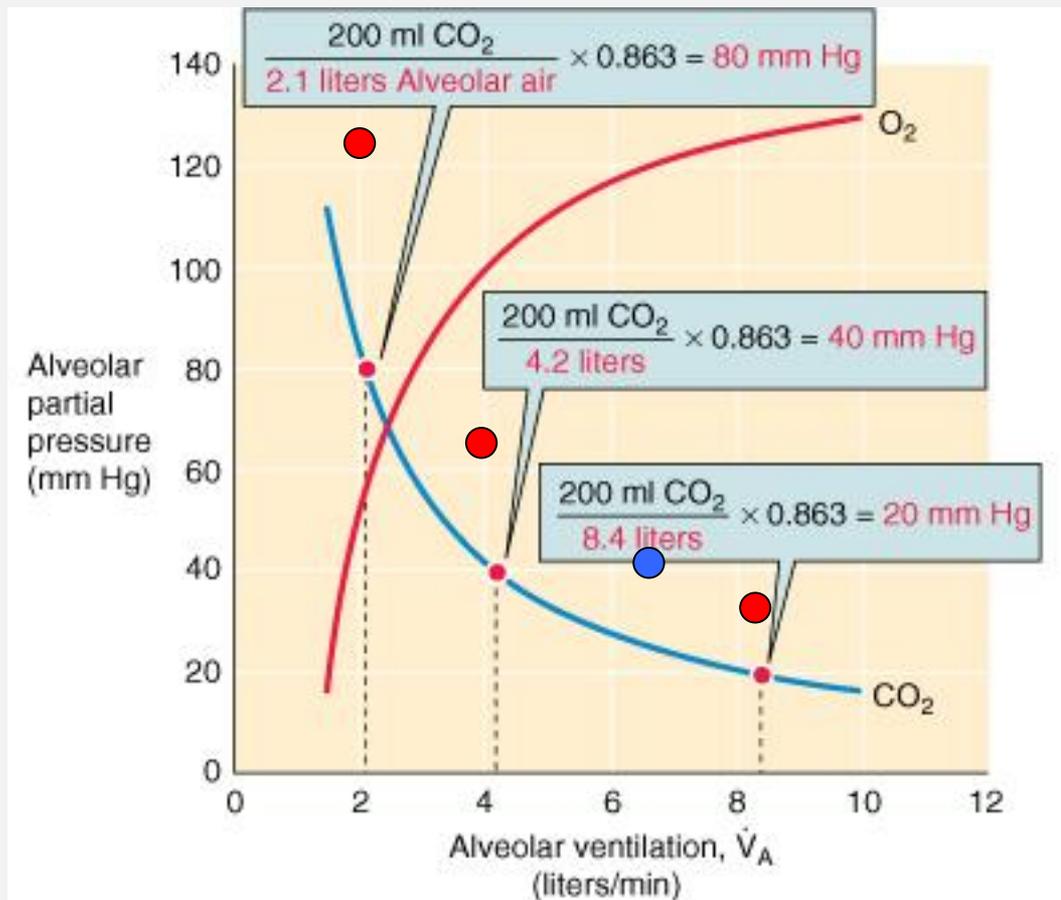
- $V_T = V_D + V_A$
- $V_T \cdot fr = (V_D + V_A) \cdot fr$
- $V'_E = V'_D + V'_A$
- $V'_A = V'_E - V'_D$
- $V'_{CO_2} = V'_E \cdot F_{E,CO_2}$
- $V'_A = V'_{CO_2} \cdot 100 / \%CO_{2A}$
- $V'_A = V'_{CO_2} \cdot 1 / F_{A,CO_2}$
- $V'_A = V'_{CO_2} \cdot 100 / (PCO_2 / (P_B - 47))$
- $P_A CO_2 \approx P_a CO_2$



\* $V_{CO_2}$  in STPD

# Ventilazione alveolare e $\dot{V}'_{CO_2}$

- $F_A CO_2 - P_A CO_2$  sono inversamente proporzionali a  $\dot{V}'_A$



- $300/4.2 \times 0.863 = 61 \text{ mmHg}$
- $300/40 \times 0.863 = 6.5 \text{ L/min}$

# Spazio morto fisiologico

- E' la somma dello spazio morto anatomico ed alveolare (alveoli ventilati e non perfusi)
- Si calcola con l'equazione di Bohr
- $V_E \cdot F_E CO_2 = V_A \cdot F_A CO_2 = VCO_2$
- $V_E = V_A + V_D$
- $V_A = V_E - V_D$
- $V_E \cdot F_E CO_2 = (V_E - V_D) \cdot F_A CO_2$

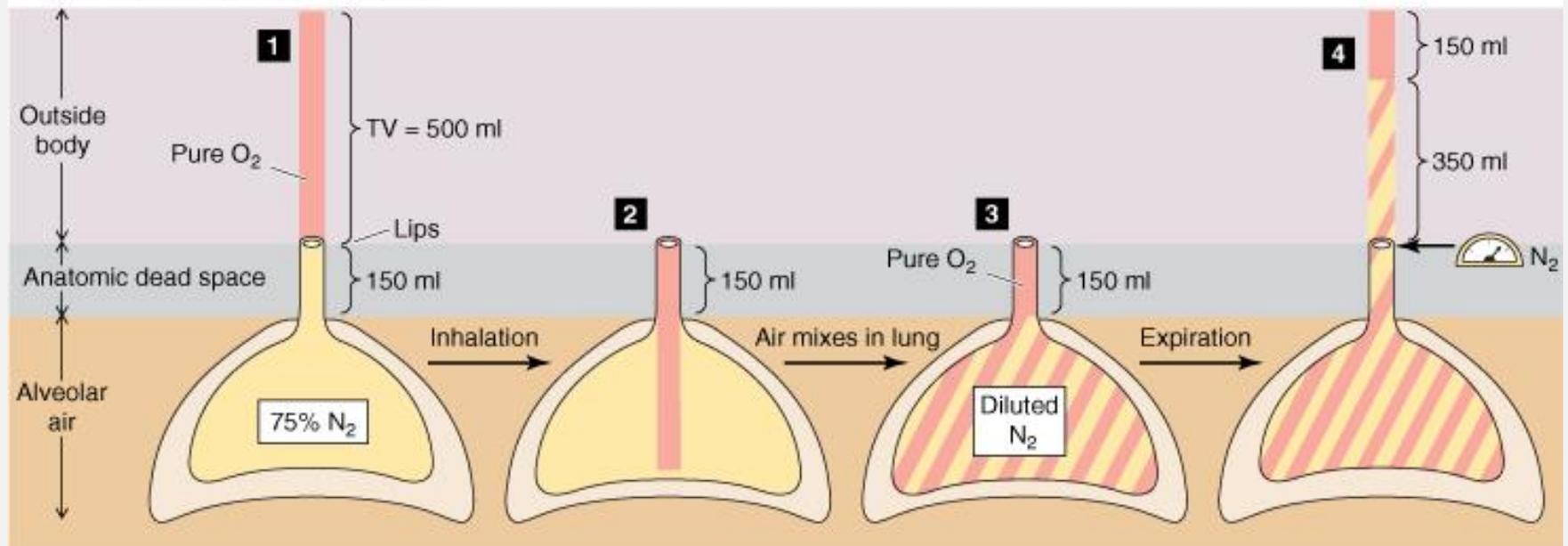
$$\frac{V_D}{V_E} = \frac{F_A - F_E}{F_A}$$

$$\frac{V_D}{V_E} = \frac{P_{ACO_2} - P_{ECO_2}}{P_{ACO_2}} = 0.2 - 0.35$$

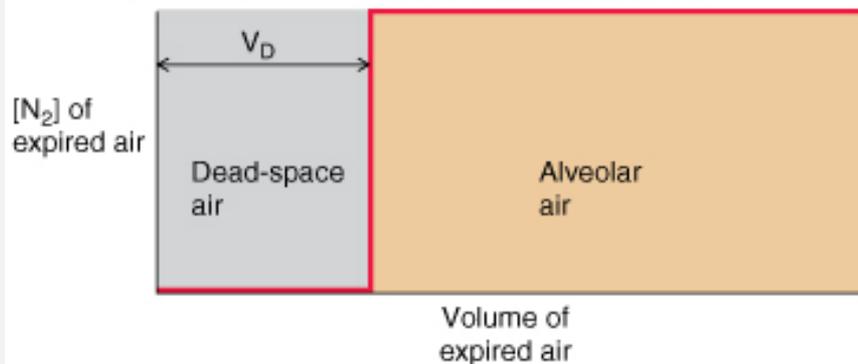
# Spazio morto anatomico

- E' il volume delle vie di conduzione
- E' misurato con il metodo di Fowler (*single breath N<sub>2</sub> wash-out*)

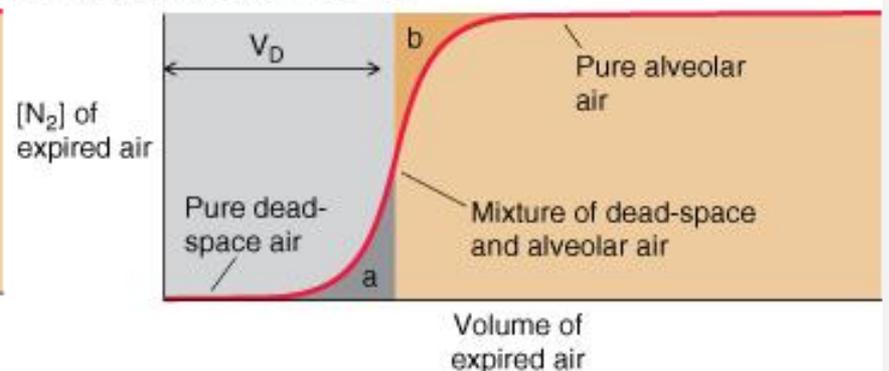
**A** DILUTION OF INSPIRED 100% O<sub>2</sub>



**B** [N<sub>2</sub>] PROFILE OF EXPIRED AIR WITH NO MIXING

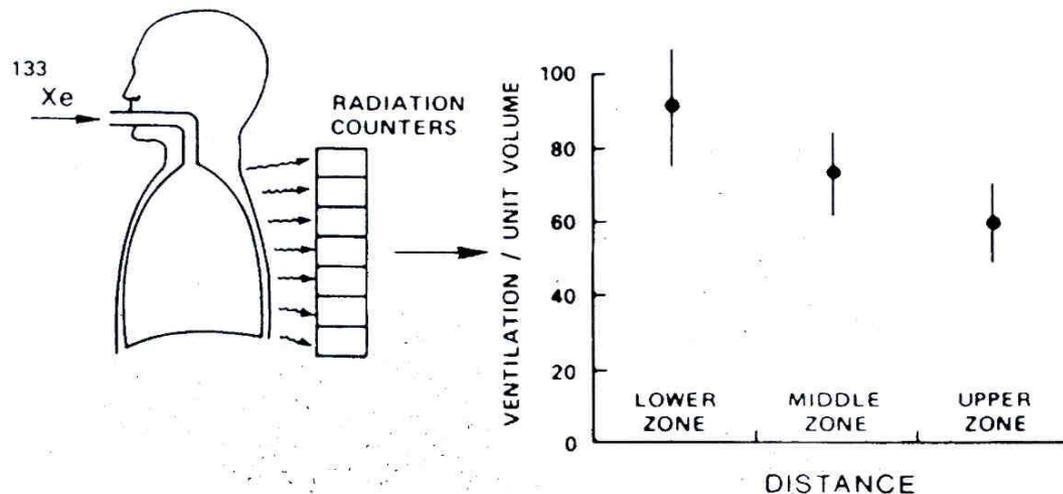


**C** MEASURED [N<sub>2</sub>] PROFILE



# Distribuzione regionale della ventilazione

- Ricordiamo come è distribuita la ventilazione alveolare
- L'aria inspirata non si distribuisce uniformemente nelle varie parti del polmone;
- La ventilazione per unità di volume polmonare è maggiore nelle parti inferiori e minore in quelle superiori.



# Bibliografia

- **Fisiologia dell'Uomo, autori vari, Edi.Ermes, Milano**
  - **Capitolo 12: il Polmone (Capitolo 12.4)**
- **Fisiologia Medica, a cura di Conti F, seconda edizione, Edi.Ermes, Milano**
  - **Capitoli 50 e 51: Meccanica respiratoria, Scambi gassosi**
- **West JB, Fisiologia della Respirazione, IV edizione italiana, PICCIN, Padova**