

# **Fisiologia della Respirazione**

## **7. Meccanica respiratoria: dinamica**

**FGE aa.2016-17**

# Obiettivi

- Relazione P-flusso in regime di flusso lineare; resistenze
- Flusso turbolento e numero di Reynolds
- Flusso di transizione
- Resistenze aeree polmonari
- Pressioni pleurica, alveolare, e transpolmonare durante il ciclo respiratorio
- Lavoro respiratorio

# Analogo Meccanico dell'Apparato Respiratorio

$$P = f_1 V + f_2 \dot{V} + I \ddot{V}$$

- Il termine  $f_2 \dot{V}$  rappresenta la reazione al moto dell'aria e dei tessuti e viene studiato in **dinamica**

## Flusso Laminare

- Il flusso  $\dot{V}$  è proporzionale alla differenza di pressione ( $\Delta P$ ) ed è inversamente proporzionale alla resistenza  $R$

$$\dot{V} = \frac{\Delta P}{R}$$

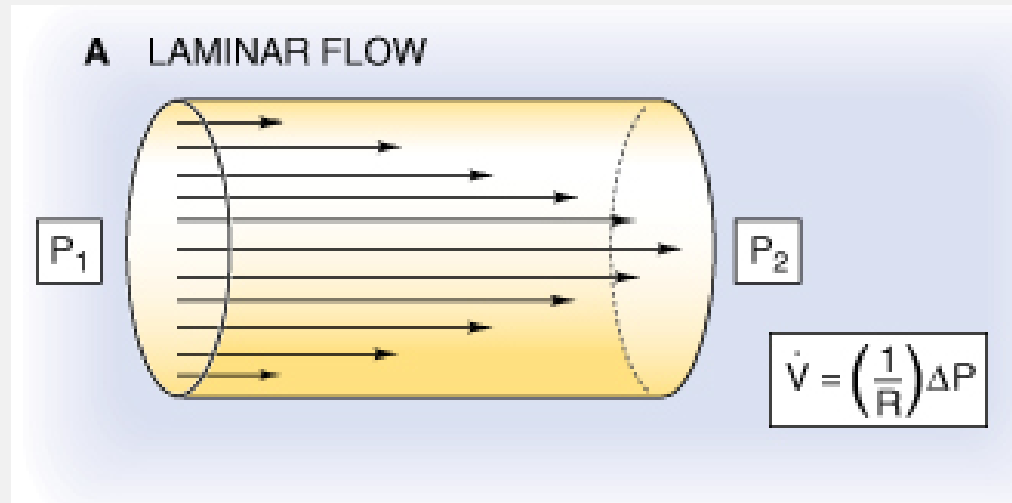
$\Delta P$  è la pressione necessaria per sostenere il moto dell'aria e vincere le resistenze viscosse delle strutture tessutali; essa è data dalla differenza fra la pressione a monte e a valle delle masse in moto:  $P_B$  e  $P_A$

# Resistenze al flusso

- R è proporzionale alla viscosità ( $\eta$ ) ed alla lunghezza (l) del condotto, ma è inversamente proporzionale alla quarta potenza del raggio r

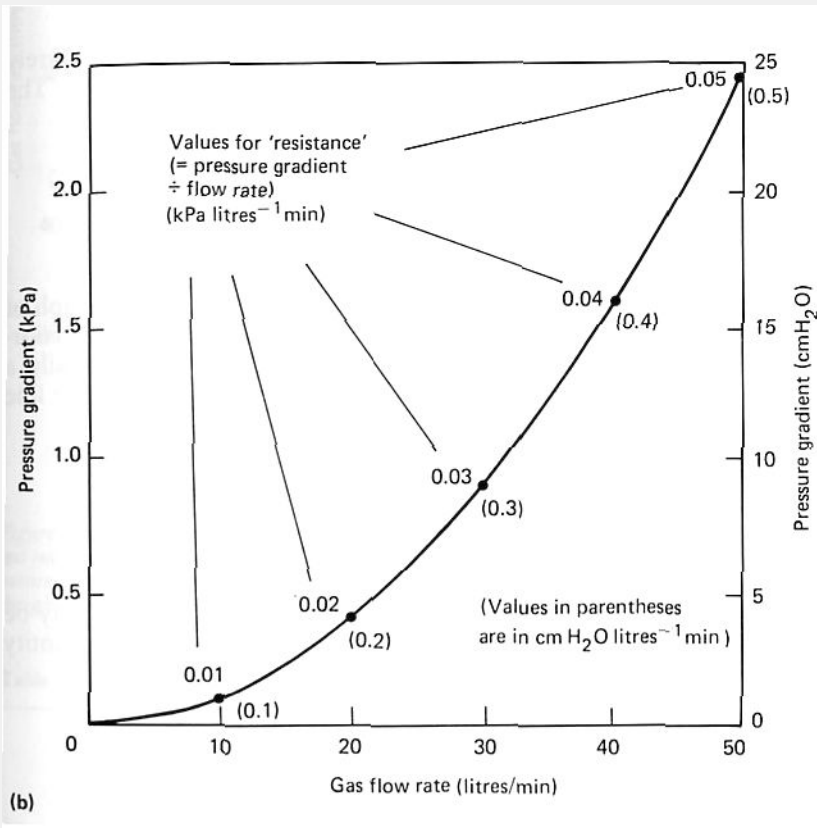
$$R = \frac{8}{\pi} \cdot \frac{\eta l}{r^4}$$

- Il profilo della velocità di liquido che si muove con flusso laminare è parabolico



# Flusso turbolento

- Se la velocità media del flusso supera un certo valore **critico**, il flusso diventa **turbolento**;
- In questo caso si sviluppano vortici e R aumenta notevolmente. La relazione tra flusso e pressione non è più lineare.



$$\Delta P = k_1 V' + k_2 (V'')^2$$

$$\Delta P (\text{cm H}_2\text{O}) = 2.4 V' + 0.3 (V'')^2$$

$$\Delta P = K (V'')^n$$

$$\Delta P (\text{cm H}_2\text{O}) = 2.4 (V'')^{1.3}$$

# Flusso turbolento

- In condizioni ideali, il flusso rimane lineare se il cosiddetto numero di Reynolds (Re) è inferiore a 2000\*

$$\text{Re} = \frac{2 r \bar{v} \rho}{\eta} \quad \text{viscosità } (\eta)$$

La caratteristica del gas che influenza Re è il rapporto tra  $\rho$  (densità) e  $\eta$  (viscosità) e cinematica del gas ( $v$  (vel));

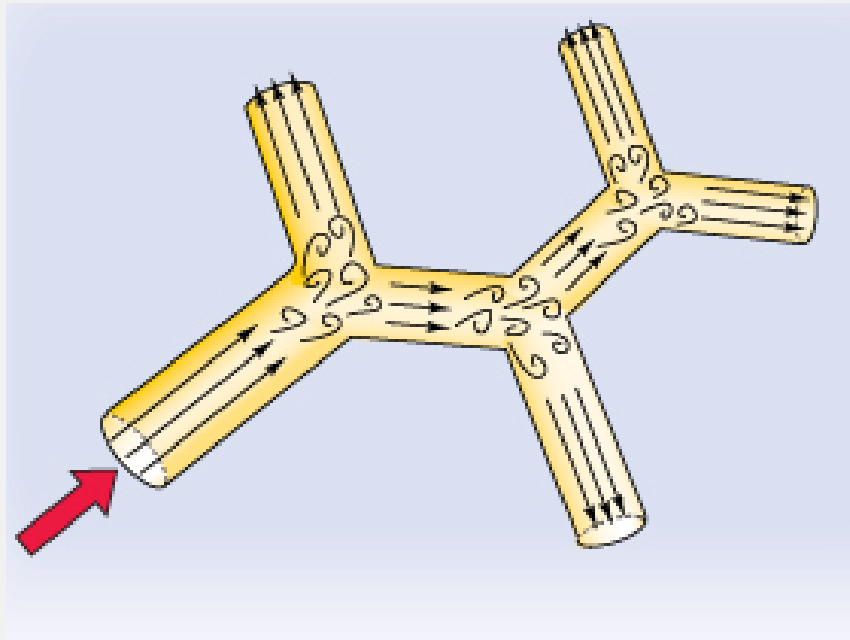
$\eta$  dei gas respiratori ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , He,  $\text{N}_2\text{O}$ ) è molto simile, mentre vi sono marcate differenze nelle singole  $\rho$ .

	Viscosità	Densità	v
Ossigeno	1.11	1.11	1.00
70% $\text{N}_2\text{O}$ /30% $\text{O}_2$	0.89	1.41	0.63
80% He/20% $\text{O}_2$	1.08	0.33	3.22

\*se Re è > 3000, il flusso è turbolento, se Re è tra 2000 e 3000 il flusso è instabile

# Flusso di transizione

- La particolare anatomia delle vie aeree (curve, biforcute, corte) induce turbolenza nelle vie aeree anche quando  $Re$  è inferiore a 2000;
- Si parla di flusso di **transizione**;
- $Re$  fisiologico è addirittura uguale a 1;
- In pratica il flusso laminare è solo presente nelle vie aeree distali



# Resistenze aeree nel polmone sano e patologico

- Nel polmone sano, la frazione più grande della resistenza al flusso è dovuta alle grandi vie aeree
- Quelle piccole (diam < 2mm) sono moltissime e disposte in parallelo

Localizzazione	Normale	COPD
Faringe - Laringe	0.6	0.6
Vie aeree > 2mm Ø	0.6	0.9
Vie aeree < 2mm Ø	0.3	3.5
Resistenza Totale	1.5	5.0

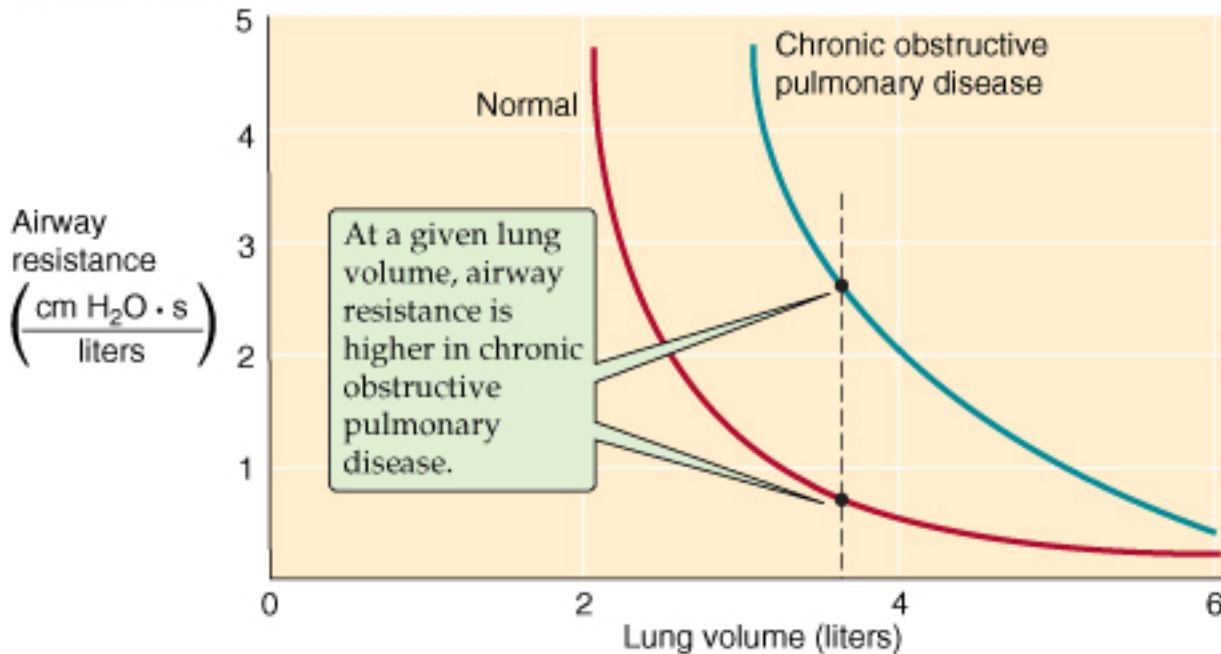
U.M.:  $\text{cm H}_2\text{O}/(\text{l s}^{-1})$

- COPD: tutto l'incremento delle  $R_t$  è dovuto all'aumento di  $R$  nelle piccole vie aeree

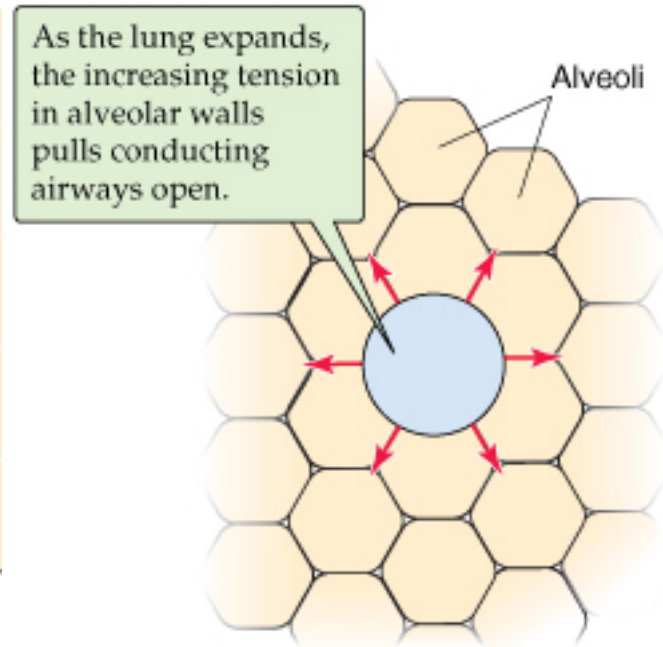


# Volume polmonare e resistenze

**A** DEPENDENCE OF AIRWAY RESISTANCE ON LUNG VOLUME



**B** MECHANICAL TETHERING



# Pressioni pleurica, alveolare e transpolmonare durante il ciclo respiratorio

- La pressione transpolmonare  $P_{tp}$  è la differenza tra  $P_A$  e  $P_{pl}$  ( $P_{es}$ )

$$P_{tp} = P_A - P_{pl}$$

- $P_A$  è sempre uguale alla somma di  $P_{pl}$  ( $P_{es}$ ) e  $P_{tp}$ :

$$P_A = P_{pl} + P_{tp}$$

- $P_{tp}$  è un parametro **statico**. Essa determina, assieme alla compliance, il volume polmonare sia in condizioni *statiche* che in condizioni *dinamiche* (ciclo respiratorio)
- $P_A$  è un parametro **dinamico**. Essa determina, assieme alle resistenze, il flusso ventilatorio.
- $P_{pl}$  è la pressione che viene direttamente controllata dai centri respiratori

$$P_{pl} = (-P_{tp}) + P_A$$

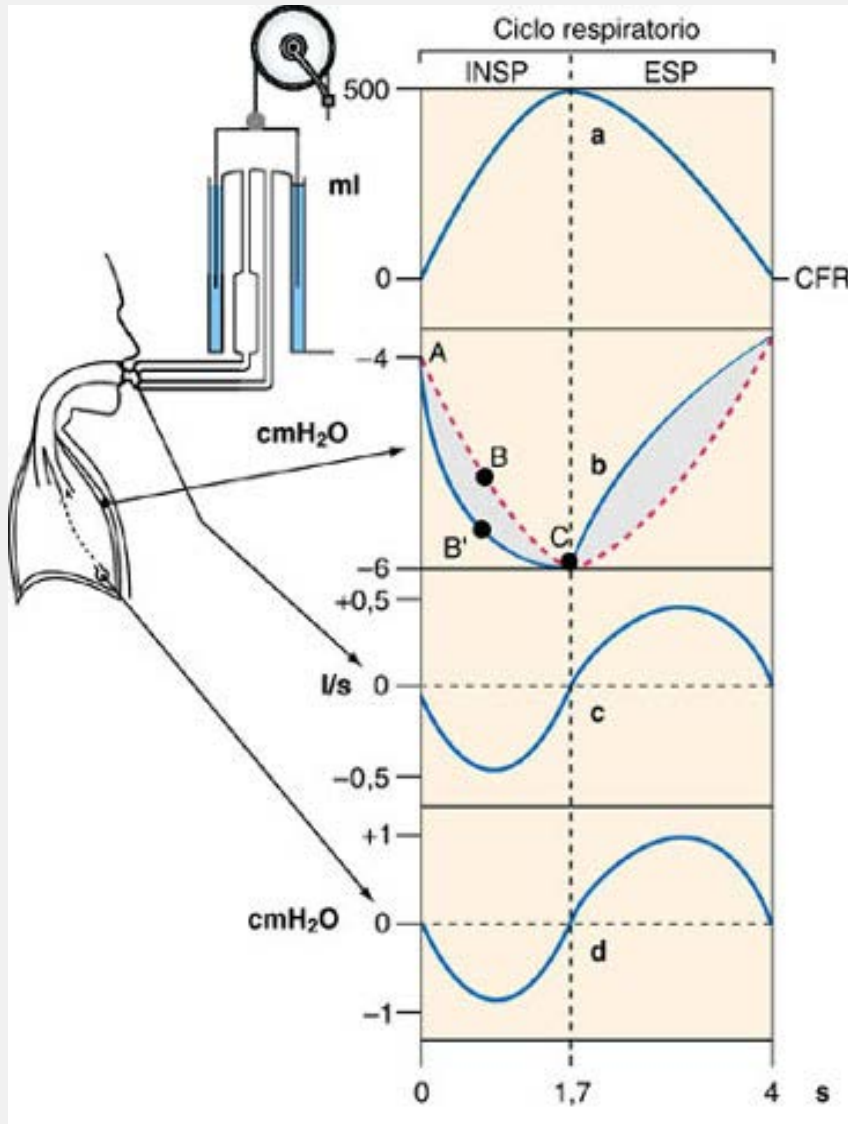
# Pressioni pleurica, alveolare e transpolmonare durante il ciclo respiratorio

Quindi durante l'inspirazione, il fatto che  $P_{pl}$  assuma valori negativi ha due effetti

1. Il sistema fa sì che  $P_A$  diventi transitoriamente negativa. Ciò sostiene il flusso inspiratorio ed aumenta il volume polmonare.
2. Mano a mano che l'inspirazione procede, la tensione dei muscoli respiratori è dedicata a rendere sempre più grande e positiva  $P_{tp}$ . Ciò consente di mantenere il volume raggiunto a causa dell'incremento di flusso.
3. Al termine dell'inspirazione, tutta la tensione muscolare è impiegata per mantenere il volume.

# Ciclo respiratorio spontaneo

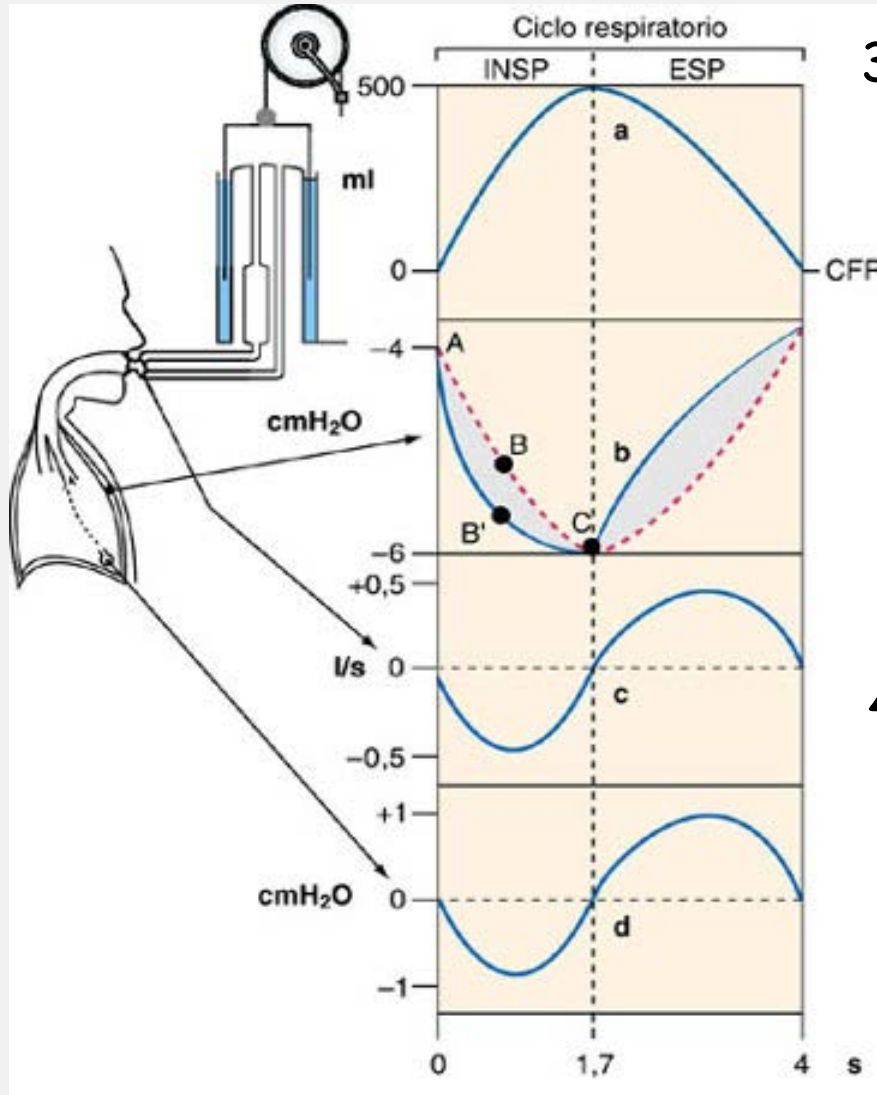
$V$ ,  $P_{pl}$ ,  $V'$  e  $P_A$  durante il ciclo respiratorio



1. A riposo  
L'inspirazione ha una durata inferiore rispetto all'espirazione  
I muscoli espiratori non intervengono
2. Esercizio fisico di media intensità  
Inspirazione e espirazione hanno circa la stessa durata  
L'attività dei muscoli inspiratori in espirazione si riduce  
Nella seconda metà dell'espiazione intervengono i muscoli espiratori

# Ciclo respiratorio spontaneo

$V$ ,  $V'$ ,  $P_{pl}$  e  $P_A$  durante il ciclo respiratorio

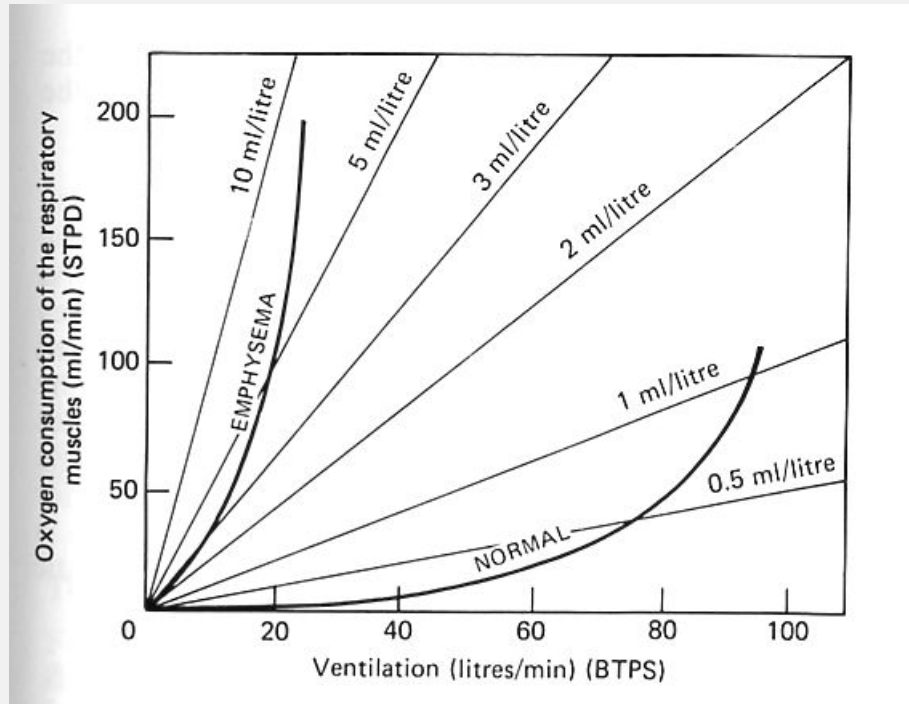


3. Massimo esercizio aerobico  
Volume a fine espirazione diventa inferiore a FRC  
Il contributo dei muscoli espiratori diventa notevole  
L'attività di quelli inspiratori inizia prima che sia cessata quella dei muscoli espiratori
4. Esercizio fisico sovramassimale  
VT sino a 50 % di CV  
Dopo, aumenta solo frequenza (sino a 45 cicli al minuto)

# Lavoro della Respirazione

A riposo, metà del lavoro meccanico inspiratorio è dissipato in calore per vincere le **resistenze al flusso**.

L'altra metà è svolto per deformare le strutture elastiche ed è immagazzinato come energia potenziale.



$V'O_2$  (componente respiratoria) a riposo è circa 3 ml/min (< 2 % del metabolismo basale)

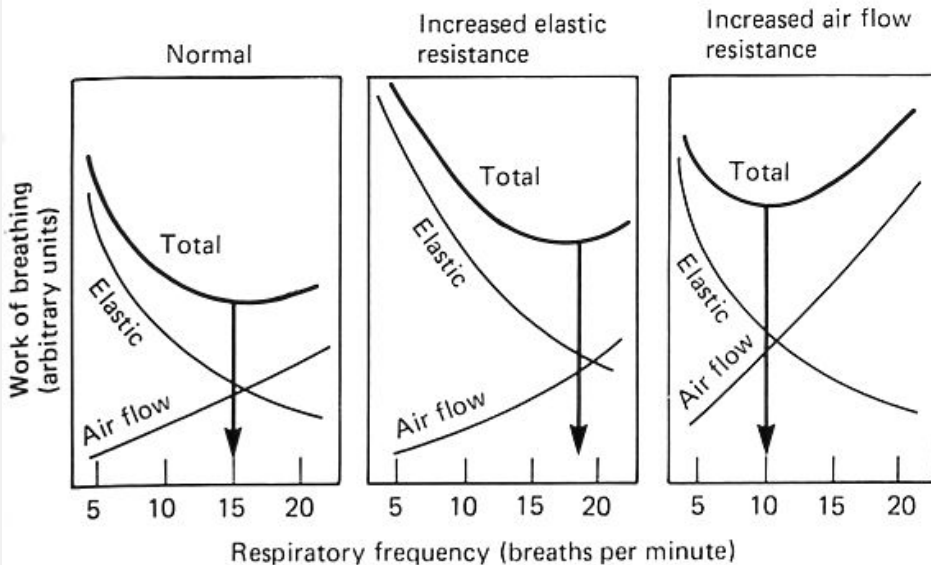
Il rendimento meccanico della respirazione è circa del 10 %

Esso decade ulteriormente alle ventilazioni massimali e in alcune patologie

In questo caso, l'incremento di  $V'O_2$  raggiunto grazie all'incremento della ventilazione è utilizzato esclusivamente per compiere lavoro respiratorio

# Minimo Lavoro della Respirazione

- Per la stessa ventilazione polmonare totale, il lavoro compiuto contro le resistenze elastiche aumenta se la respirazione è lenta e profonda



- Al contrario, il lavoro contro le resistenze al flusso aumentano se la respirazione è superficiale e veloce

- Se si sommano le due componenti, si nota che il lavoro totale è minimizzato in corrispondenza di una determinata frequenza respiratoria

- Se aumenta il lavoro contro le resistenze elastiche → la frequenza ottimale aumenta

- Se aumenta il lavoro contro le resistenze al flusso → la frequenza ottimale diminuisce

# Bibliografia

- **Fisiologia dell'Uomo, autori vari, Edi.Ermes, Milano**
  - Capitolo 12: I polmone (Capitoli 12.6, 12.7)
- **Fisiologia Medica, a cura di Conti F, seconda edizione, Edi.Ermes, Milano**
  - Capitolo 50.2: Dinamica del sistema toracopolmonare
- **West JB, Fisiologia della Respirazione, IV edizione italiana, PICCIN, Padova**