

# **Fisiologia della Respirazione**

## **6.Meccanica respiratoria:**

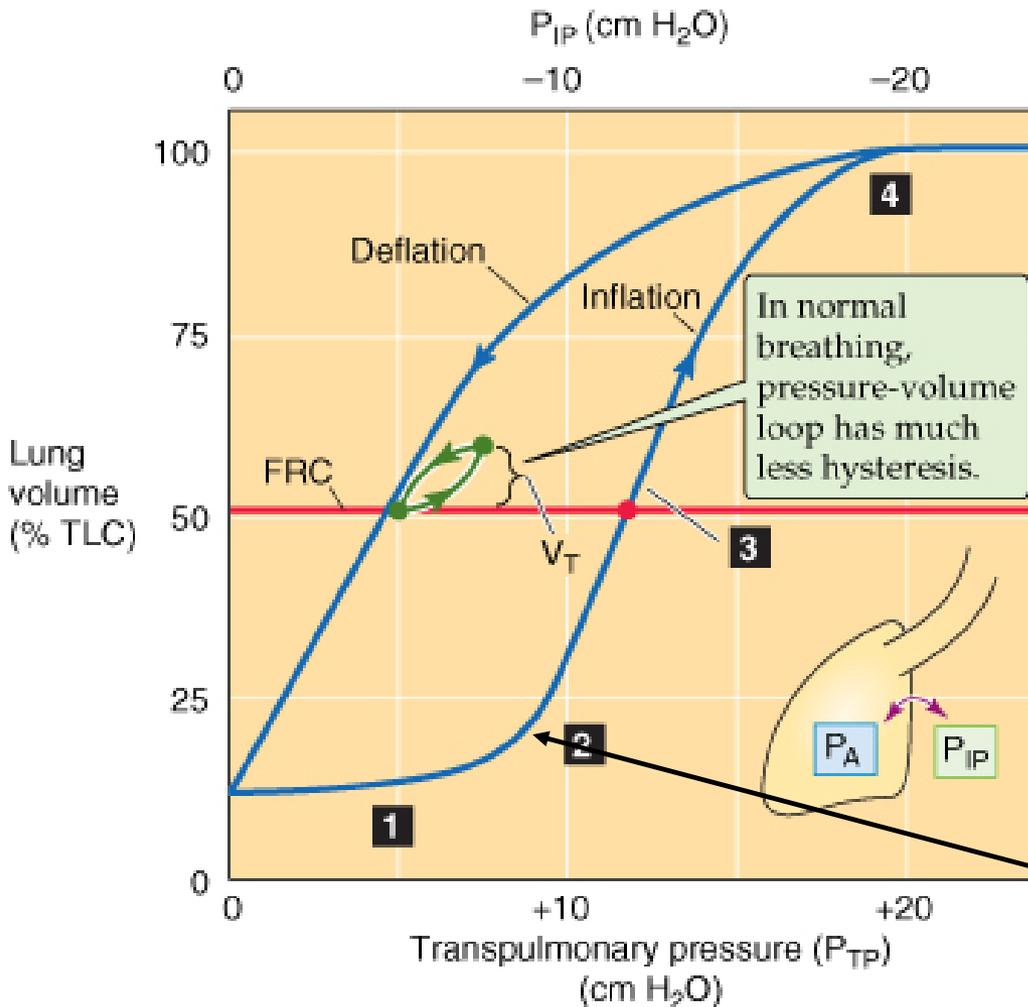
### **Statica e fenomeni di superficie 2**

**FGE aa.2015-16**

# Obiettivi

- I fenomeni di superficie principali determinanti dell'isteresi polmonare e della pressione transpolmonare (pressione di apertura e condizione metastabile del surfactante polmonare)
- Surfactante polmonare e stabilità alveolare
- Distribuzione topografica della ventilazione alveolare
- Curva P/V del torace; compliance statica toracica
- Curva P/V del sistema toraco-polmonare combinato: curva a rilasciamento
- Compliance statica del sistema combinato

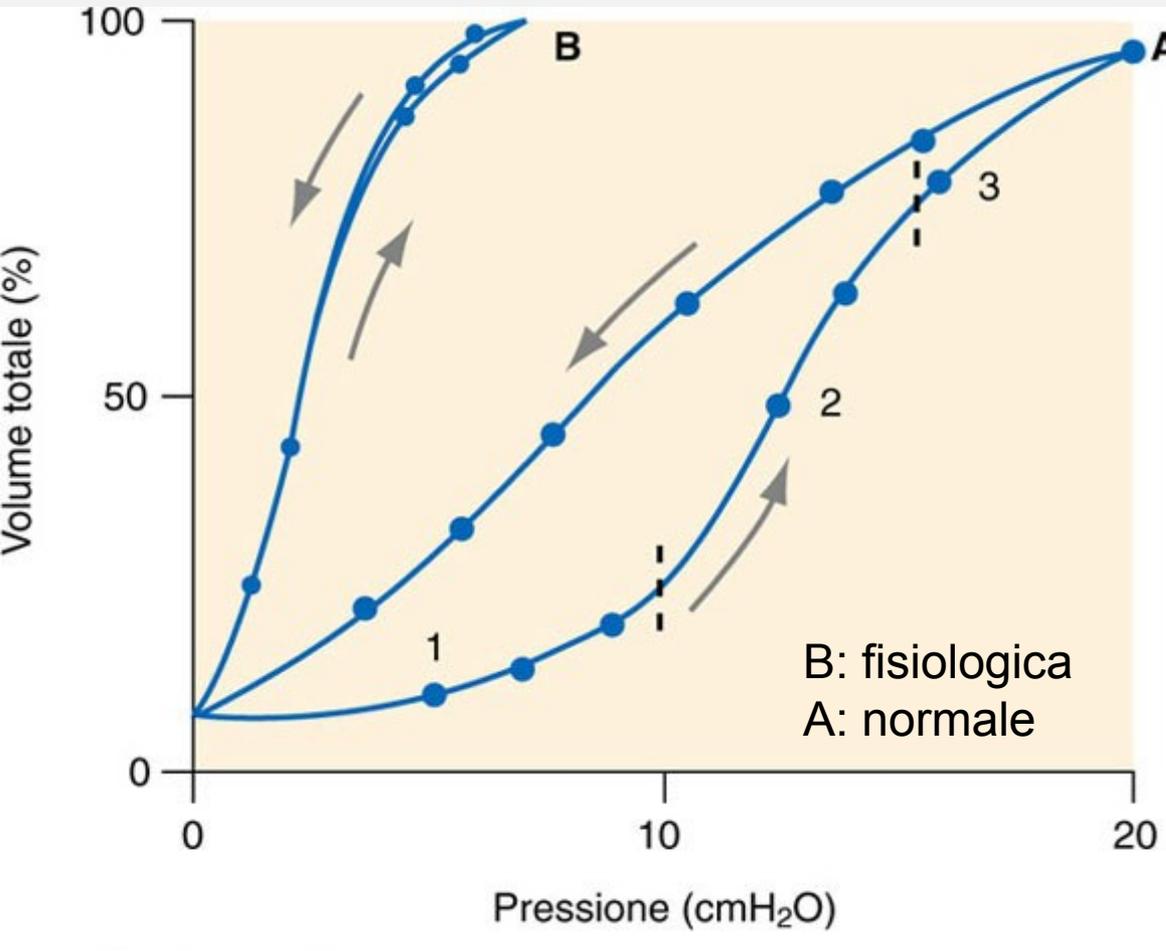
# Isteresi polmonare



- A parità di volume,  $P_{tp}$  è maggiore durante l'espansione che durante la deflazione
1. Insuperfetta elasticità dei tessuti
  2. Differenza nel numero di alveoli aperti
    - Si delimita un'area di **isteresi**
  3. Essa indica che parte dell'energia impiegata per espandere i polmoni non viene restituita durante la deflazione
  4. **Condizione metastabile del polmone (variazione nel tempo della tensione superficiale)**
    - L'area di isteresi è tanto maggiore quanto minore è il volume polmonare da cui inizia l'inspirazione

*Pressione di apertura*

# Tensione superficiale e meccanica alveolare



## 1. Fisiologica

- La curva è tutta spostata a sinistra
- Non si osserva la pressione di apertura
- L'area di isteresi è ridottissima
- Si conclude che la tensione superficiale contribuisce in larga parte alle caratteristiche elastiche del polmone
- L'isteresi tissutale è trascurabile

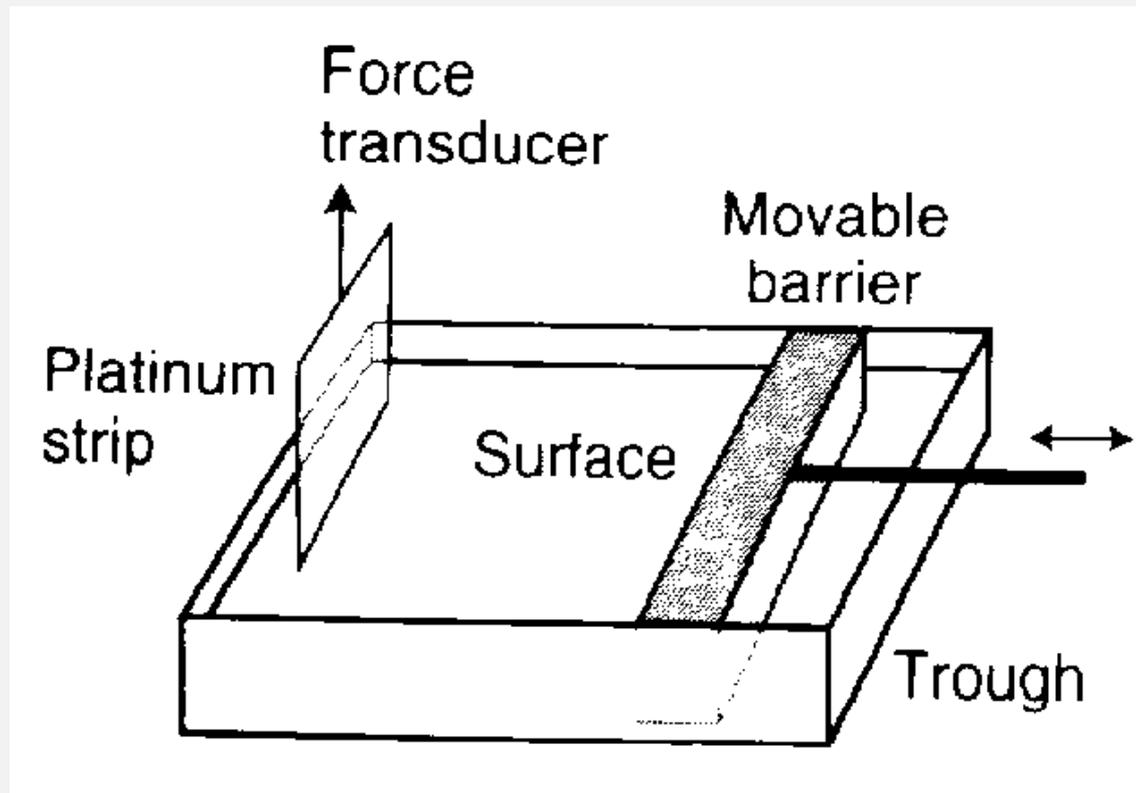
# Tensione superficiale e meccanica alveolare

## Isteresi

- *Isteresi tissutale è trascurabile*
- 1. La maggior pressione richiesta per riespandere le zone collabite è causa di isteresi soprattutto rilevante quando il polmone si riespande da bassissimi volumi (pressione di apertura)
- **2. L'isteresi del film di lipoproteine assorbito all'interfaccia alveolo-aria rappresenta il fattore più importante dell'isteresi polmonare**

# Misura della tensione superficiale in funzione di $S$ con lavaggio alveolare

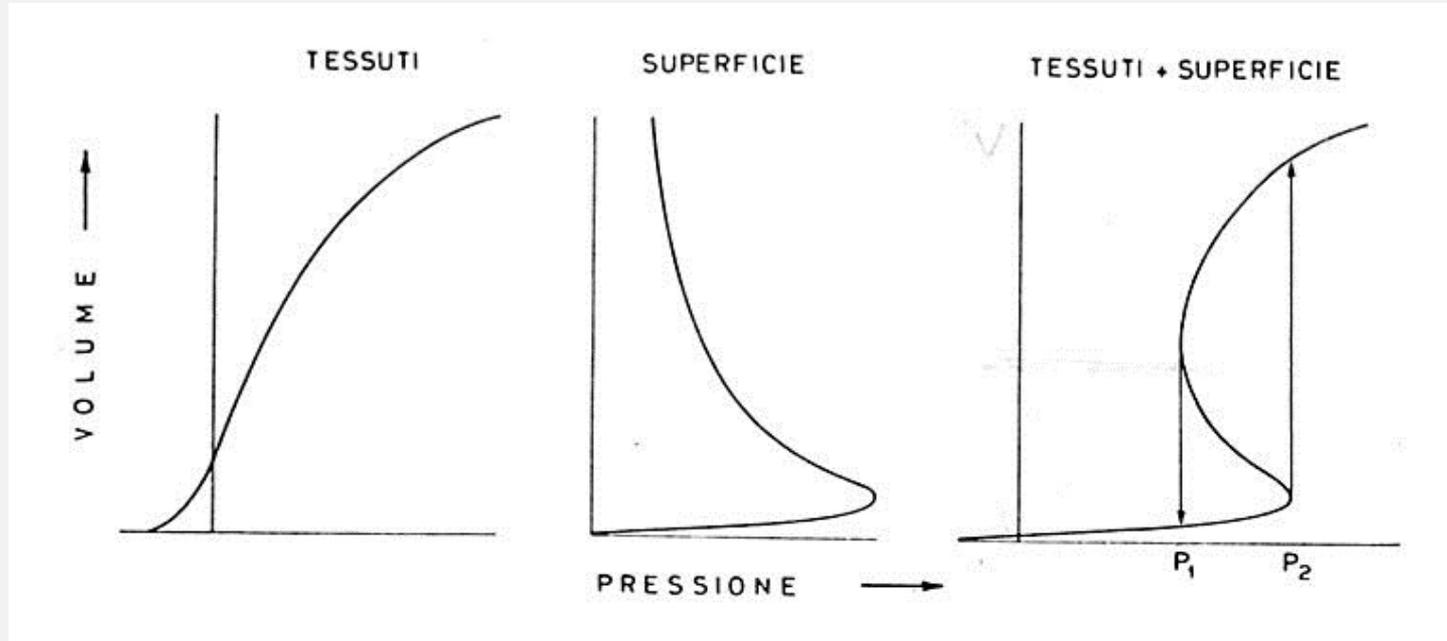
- La **bilancia di Wilhelmy** consente di misurare  $T$  (ascissa) in modo continuo in funzione dell'area  $A$  (ordinata) espressa come percentuale dell'area occupata inizialmente



*$\gamma$  lavaggio alveolare = 25 - 30 dine/cm*  
 *$\gamma$  dipende da  $S$*

# Interazione Tensione superficiale-Tensione elastica

- La pressione con cui tende a collassare un alveolo è dovuta anche alla Tensione elastica tessutale



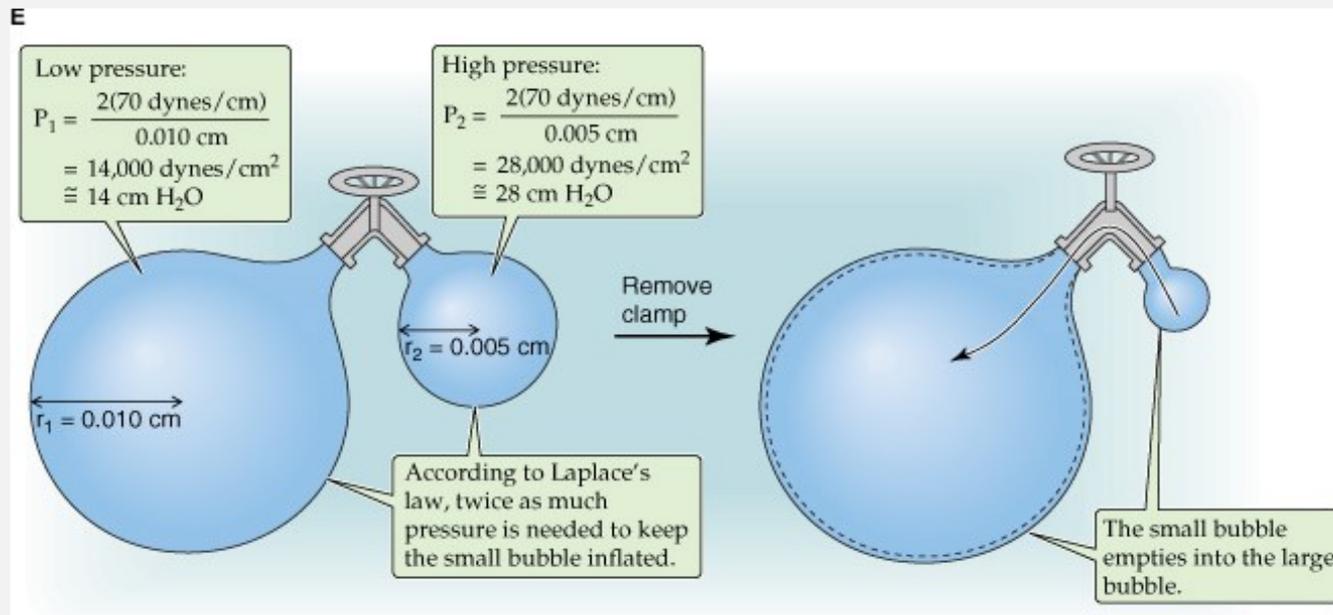
- Secondo questa rappresentazione, per un dato  $dV/dP$  sarebbe espansione completa e non parziale, cioè se le strutture elastiche vengono poste sotto tensione
- Tuttavia, è la ridotta tensione superficiale non costante.

# Surfactante e stabilità alveolare

## 1. Stabilità alveolare

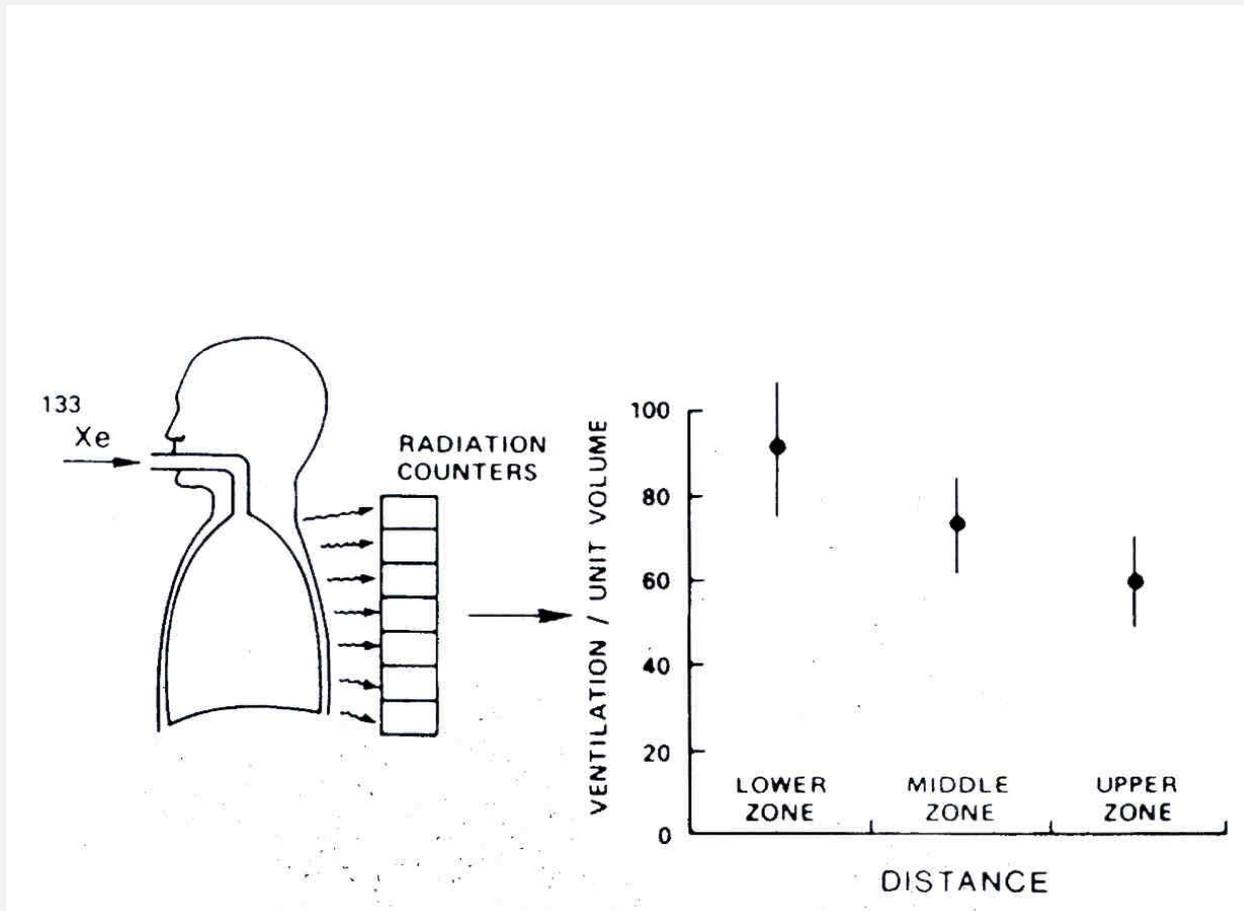
La variazione della tensione superficiale con la variazione dell'area dell'interfaccia aria-alveolo rende stabile l'equilibrio durante l'**espirazione** fra gli alveoli posti in parallelo.

Quando un alveolo a  $r$  di curvatura più piccolo inizia a svuotarsi in un altro a  $r$  di curvatura maggiore, la concentrazione di del tensioattivo aumenta e la tensione superficiale diminuisce riducendo la tendenza dell'alveolo al collasso. Viceversa, nell'alveolo più grande la tensione superficiale aumenta. Si stabilisce in **meccanismo a feed-back negativo**



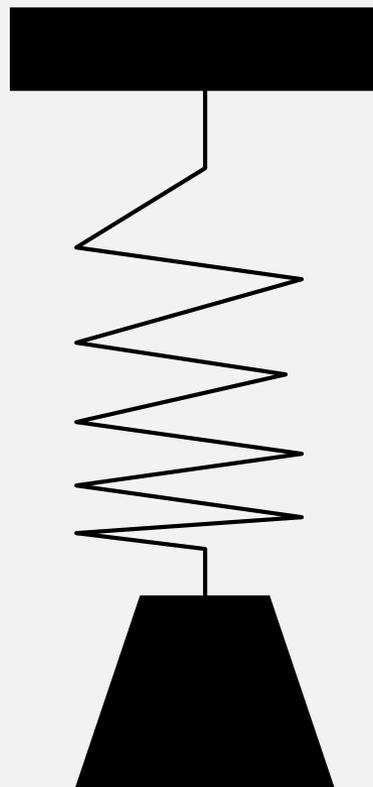
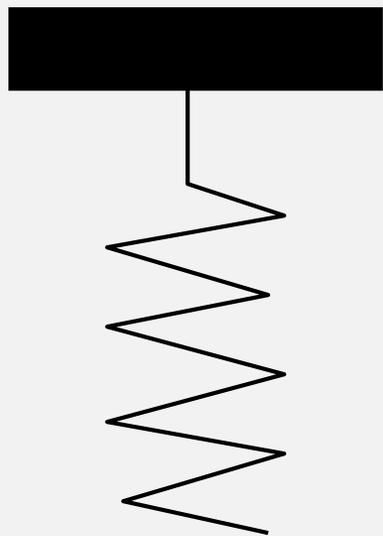
# Distribuzione della ventilazione

- 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.

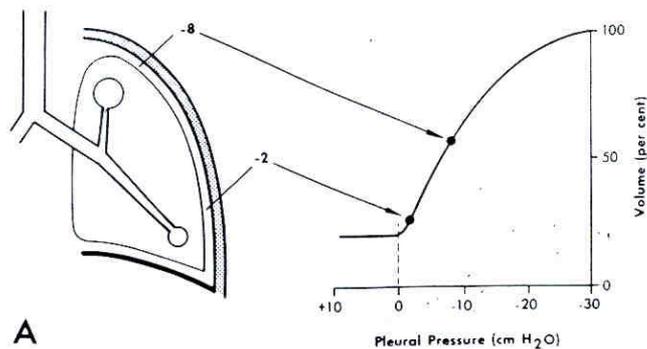


# Distribuzione della ventilazione

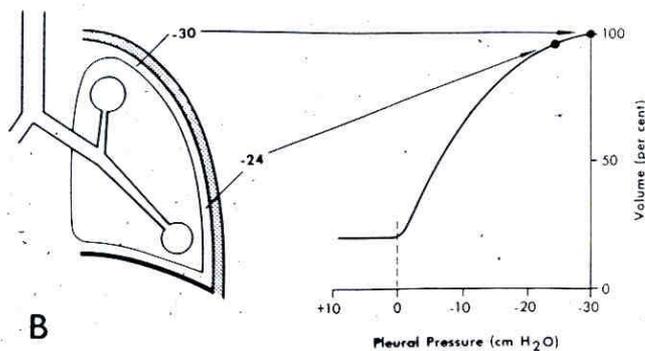
- Il gradiente verticale di  $P_{pl}$  ( $P_{es}$ ) e di volume regionale polmonare dipende dalla gravità;
- Il polmone pesa



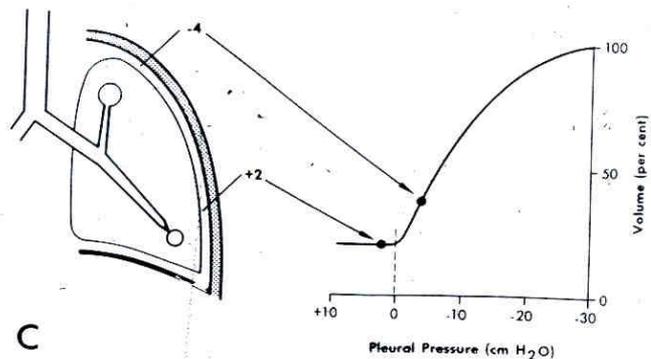
# Distribuzione della ventilazione



A



B



C

Effetto del gradiente di pressione pleurica sull'espansione regionale del polmone a diversi volumi polmonari.

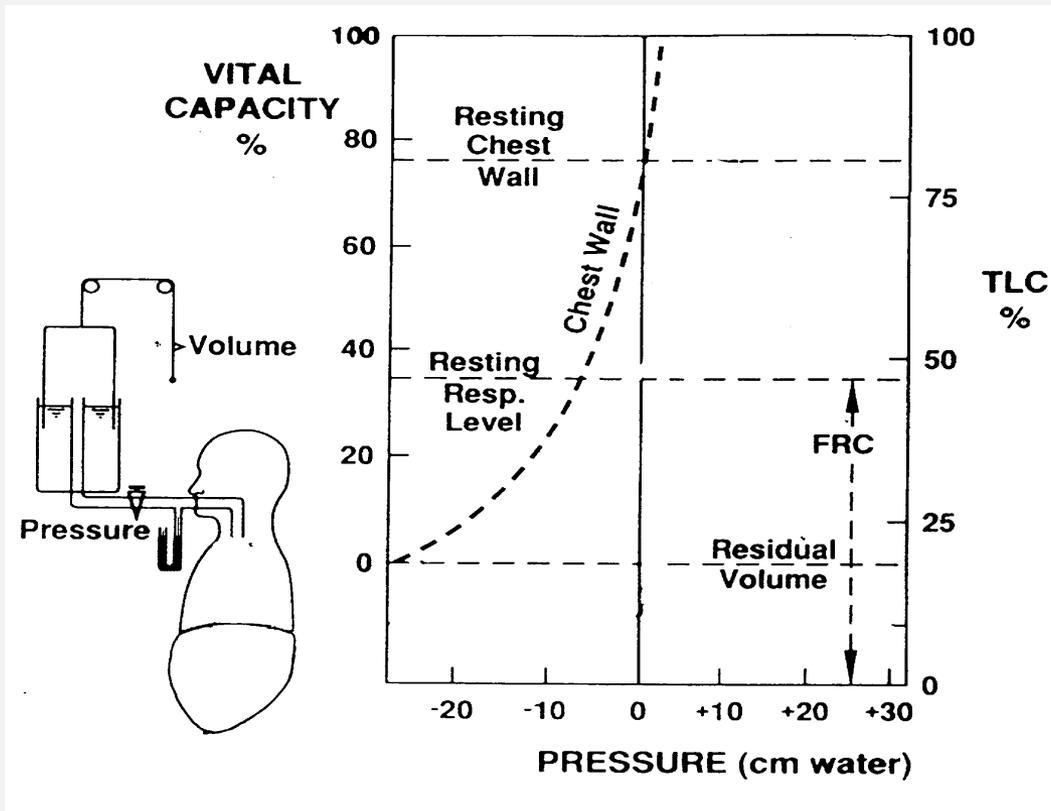
Ad **FRC (A)** la maggior parte del gas inspirato va agli alveoli della base perchè gli alveoli sono situati sulla parte più ripida (maggiore compliance) della curva pressione-volume.

A **CPT (B)** la maggior parte del gas va ancora agli alveoli della base, ma la differenza è minima. A **VR (C)**, l'aria inspirata va agli alveoli degli apici prima che inizi il flusso verso le basi.

Nota che tutti gli alveoli sono sulla stessa curva P-V, ma, in funzione del grado di espansione, giacciono su parti differenti della curva.

# Curva P-V del Torace

- Relazione  $V_t - P_{tt}$
- La pressione esercitata dalla parete toracica ( $P_{tt}$ ) è uguale alla differenza tra  $P_{pl}$  e la pressione atmosferica.
- Se i muscoli sono rilasciati in condizioni **statiche** a vie **aeree chiuse**  $P_{tt} = P_{pl} (P_{es})$

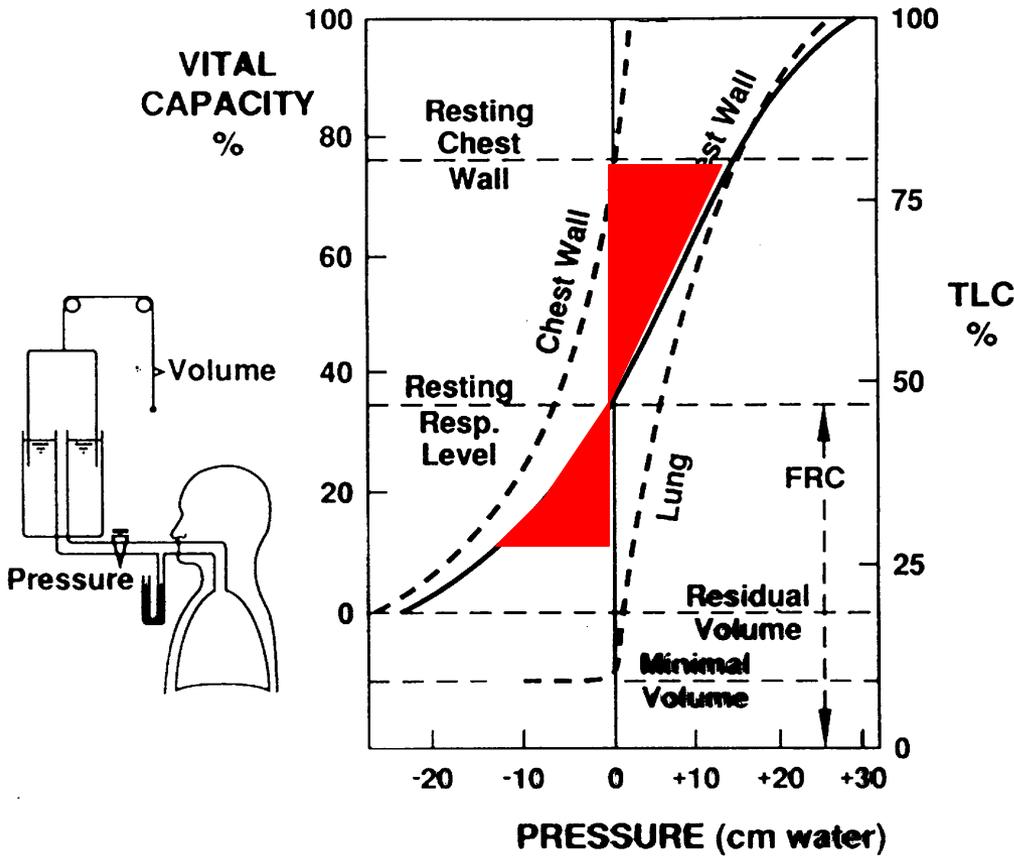


- Il ritorno elastico della cassa toracica è *bi-direzionale*
- Tende ad espandersi per volumi  $< 75\% CV$
- Tende a contrarsi per volumi  $> 75\% CV$
- $C_{tt} = 200 \text{ ml /cm H}_2\text{O}$

# Curva P-V del sistema combinato

- Il sistema respiratorio è formato da due strutture poste in serie: polmone e cassa toracica
- La pressione esercitata dal sistema combinato ( $P_{rs}$ ) è la somma algebrica delle pressioni esercitate da queste due strutture:  $P_{rs} = P_{tp} + P_{tt}$
- $P_{rs} = P_A$  con **vie aeree chiuse e muscoli rilasciati**
- La variazione di volume è identica nelle due strutture
- La compliance totale è il reciproco della somma dei due reciproci delle singole compliance polmonare e toracica:  $1/C_{rs} = 1/C_p + 1/C_t$

# Curva P-V del sistema combinato



- Lavoro meccanico positivo che deve essere compiuto da MP
- Il volume in corrispondenza del quale  $P_{tp}$  è equilibrata da  $P_{tt}$  è un punto di equilibrio **CFR**
- In un'inspirazione o di espirazione forzata questo lavoro si trova sotto forma di energia potenziale elastica che serve a riportare il sistema ad equilibrio

# Bibliografia

- **Fisiologia dell'Uomo, autori vari, Edi.Ermes, Milano**
  - **Capitolo 12: I polmone (Capitolo 12.5)**
- **Fisiologia Medica, a cura di Conti F, seconda edizione, Edi.Ermes, Milano**
  - **Capitolo 50.1: Statica del sistema toracopolmonare**
- **West JB, Fisiologia della Respirazione, IV edizione italiana, PICCIN, Padova**