

**Fisiologia della Respirazione**  
**4. Meccanica respiratoria**  
**Statica e fenomeni di superficie**

**FGE aa.2015-16**

# Goals

- Analogo meccanico dell' apparato respiratorio, approccio grafico
- Statica: studio relazione P/V
- Dinamica: studio relazione P/Flusso
- Le pressioni in gioco: definizione e misura
- Curva P/V del polmone; compliance polmonare
- Isteresi della curva P/V: che cosa è e da che cosa è determinata
- La tensione superficiale: definizione e misura
- Surfactante polmonare e tensione superficiale
- Tensione superficiale e pressione trasmurale di una bolla

# Analogo Meccanico dell'Apparato Respiratorio

- L'apparato respiratorio è un **sistema meccanico di secondo ordine**
- All'azione dei muscoli respiratori si oppongono **tre** reazioni: **elastica, viscosa ed inerziale**

$$F = S x + R \frac{dx}{dt} + M \frac{d^2 x}{dt^2}$$

- Nel caso dell'apparato respiratorio, l'azione (forza) si esplica come una forza che agisce perpendicolarmente sulla superficie: **Pressione**
- Si ha, quindi, una relazione tra **Pressione e Volume**

# Analogo Meccanico dell'Apparato Respiratorio

- La reazione elastica e la reazione viscosa non sono esattamente proporzionali al volume e al flusso

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

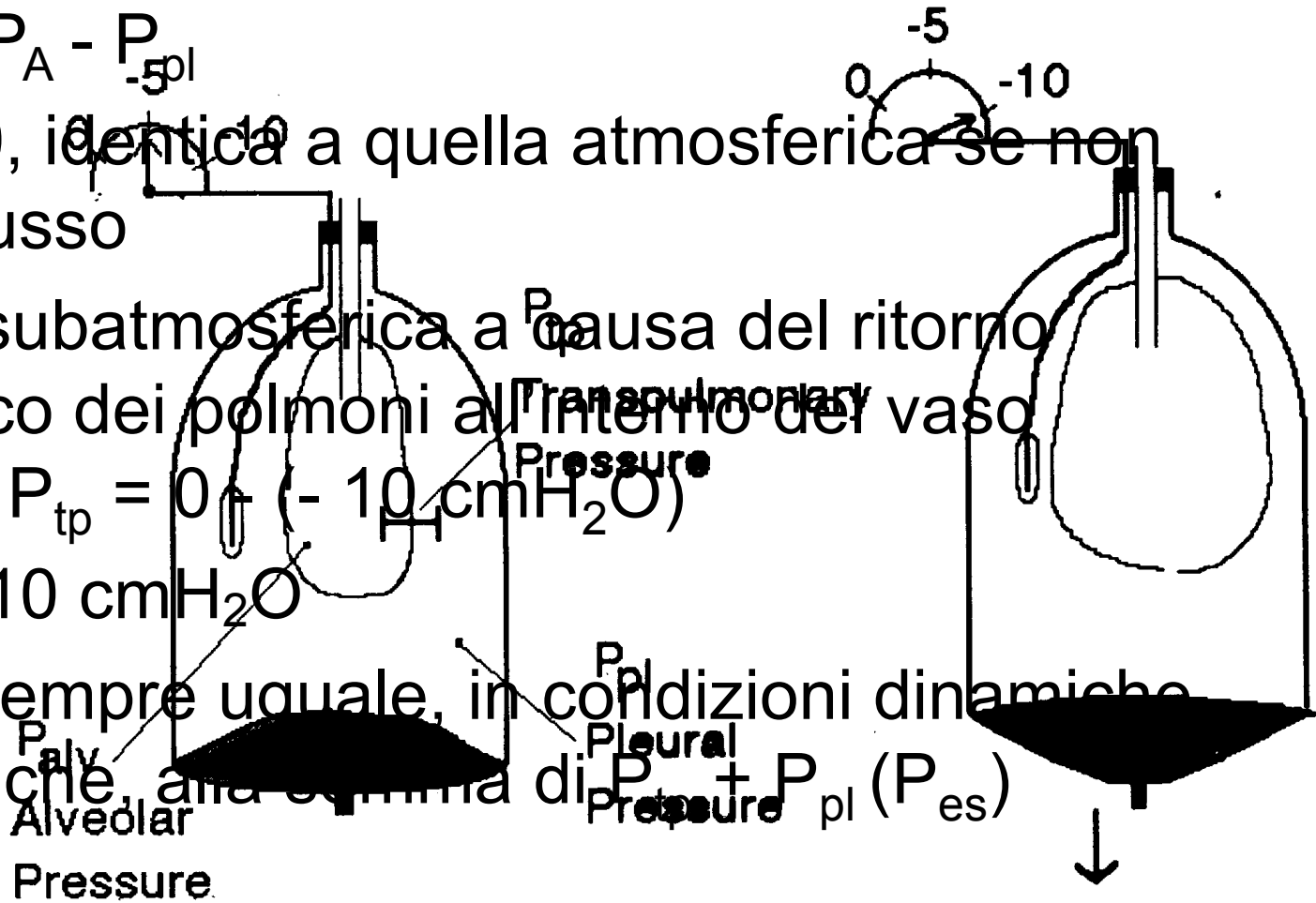
- Ciò richiede **un'Analisi Grafica delle relazioni P-V e P-Flusso**
- Il termine  $f_1 V$  si riferisce alla **statica: diagrammi statici Pressione - Volume.**
- La componente statica della Pressione (P) che si oppone all'azione dei MR è la risultante di tutte le forze il cui effetto dipende dalla **posizione del sistema**: 1) reazione elastica delle strutture e dei gas; 2) il peso delle strutture; 3) la tensione di superficie.

# Statica-Definizioni-Le pressioni in gioco

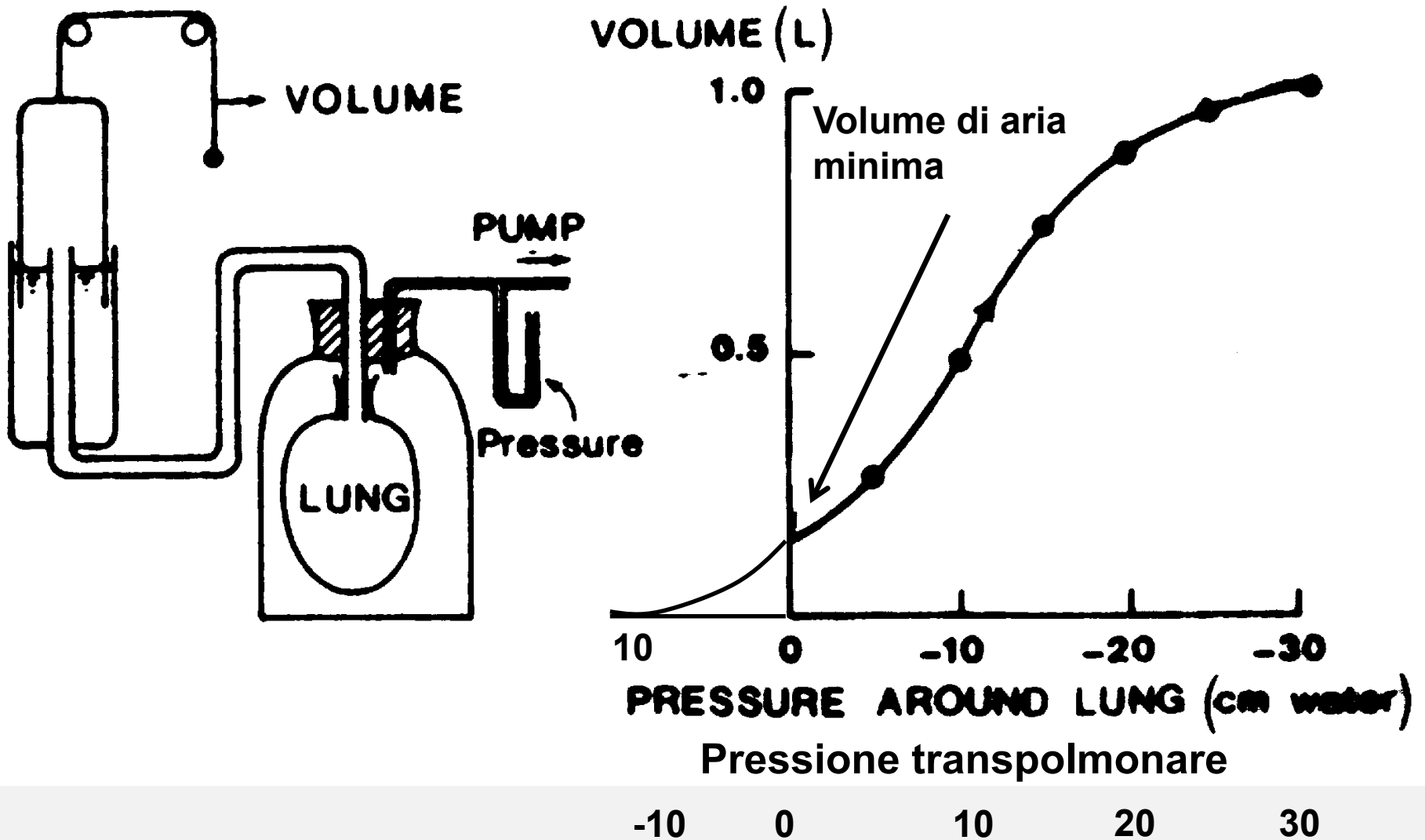
- Pressione **alveolare** ( $P_A$ ): P delle vie aeree
- Pressione **pleurica** ( $P_{pl}$ ): P dello spazio pleurico
- Pressione **transpolmonare** ( $P_{tp}$ ) ( $P_{tp} = P_A - P_{pl}$ )
- Pressione **transtoracica** ( $P_{tt}$ ) ( $P_{tt} = P_{pl} - P_B$ )
- Pressione **esofagea** ( $P_{es} \approx P_{pl}$ ): con palloncino in esofago
- Diagrammi P - V dei **polmoni**, della **cassa toracica** e del sistema combinato **polmoni+cassa toracica**

# Statica Polmonare-Curva P/V polmonare

- $P_{tp} = P_A - P_{pl}$
- $P_A = 0$ , identica a quella atmosferica se non vi è flusso
- $P_{pl}$  è subatmosferica a causa del ritorno elastico dei polmoni all'interno del vaso rigido  $P_{tp} = 0$  (-10 cmH<sub>2</sub>O)
- $P_{tp} = 10$  cmH<sub>2</sub>O
- $P_A$  è sempre uguale, in condizioni dinamiche o statiche, alla somma di  $P_{alv} + P_{pl}$  ( $P_{es}$ )

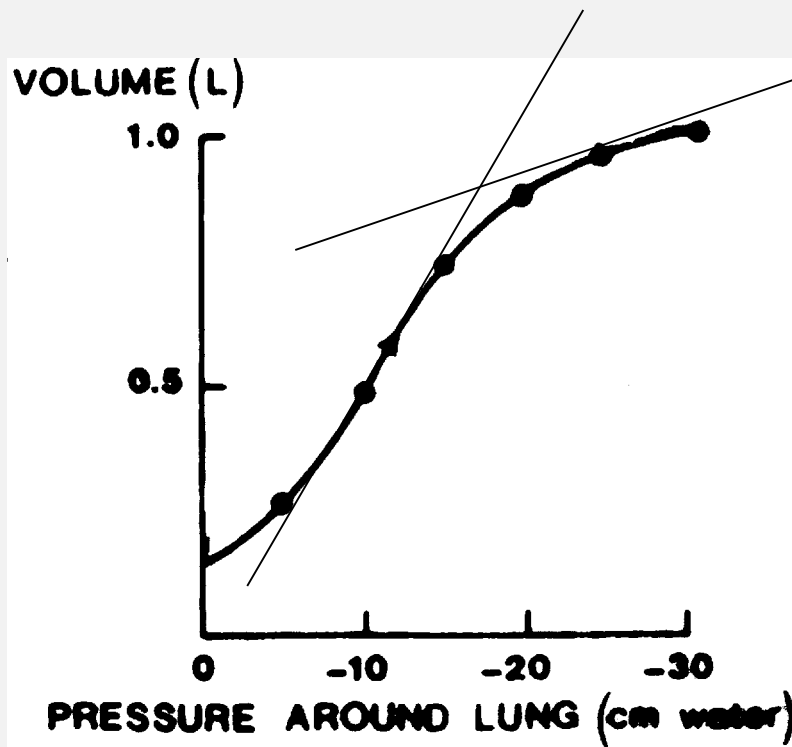


# Curva Pressione - Volume del polmone



# Curva Pressione - Volume del polmone

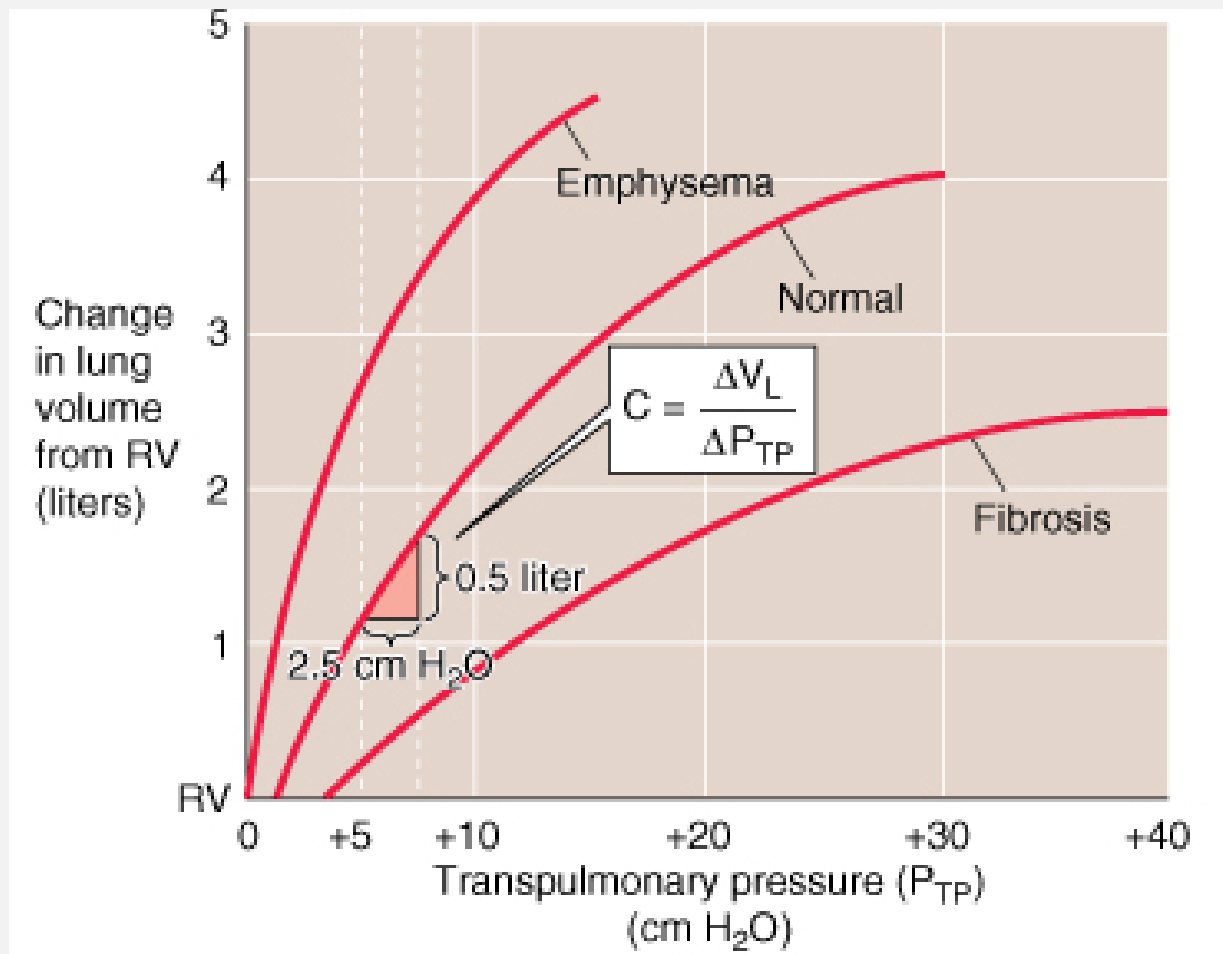
- La curva P-V del polmone descrive le caratteristiche elastiche-statiche del polmone
- La **Compliance polmonare** ( $C_p$ ) quantifica le caratteristiche elastiche:  $C_p = \Delta V / \Delta P$
- $C_p$  = Variazione di volume per variazione unitaria di pressione



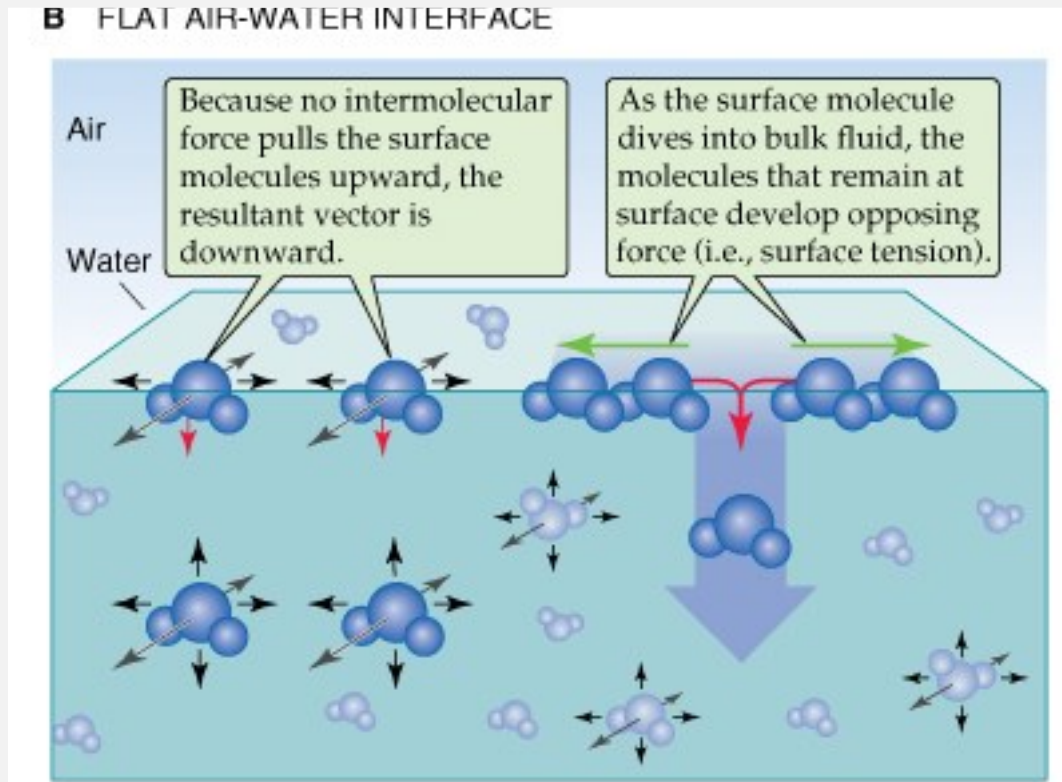
- $C_p$  non è costante
- 200 ml / cm H<sub>2</sub>O
- Compliance specifica (normalizzata per FRC)



# Compliance e Fisiopatologia



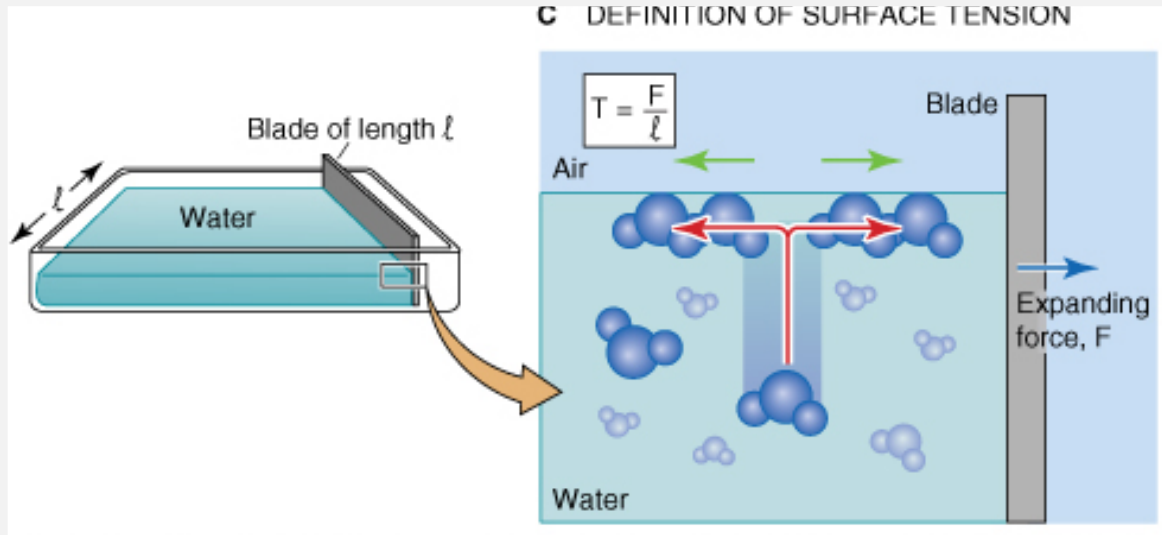
# Tensione superficiale



- Le molecole di acqua alla superficie e quelle in profondità si comportano come delle “perle” connesse tra loro da corde elastiche.
- La forza che tende a far precipitare in profondità le molecole di acqua crea anche una **tensione** tra le molecole poste in superficie che si esercita in **direzione parallela** alla superficie del liquido

# Tensione superficiale

- E' la forza che agisce lungo un tratto (immaginario) lungo 1 cm sulla superficie di un liquido



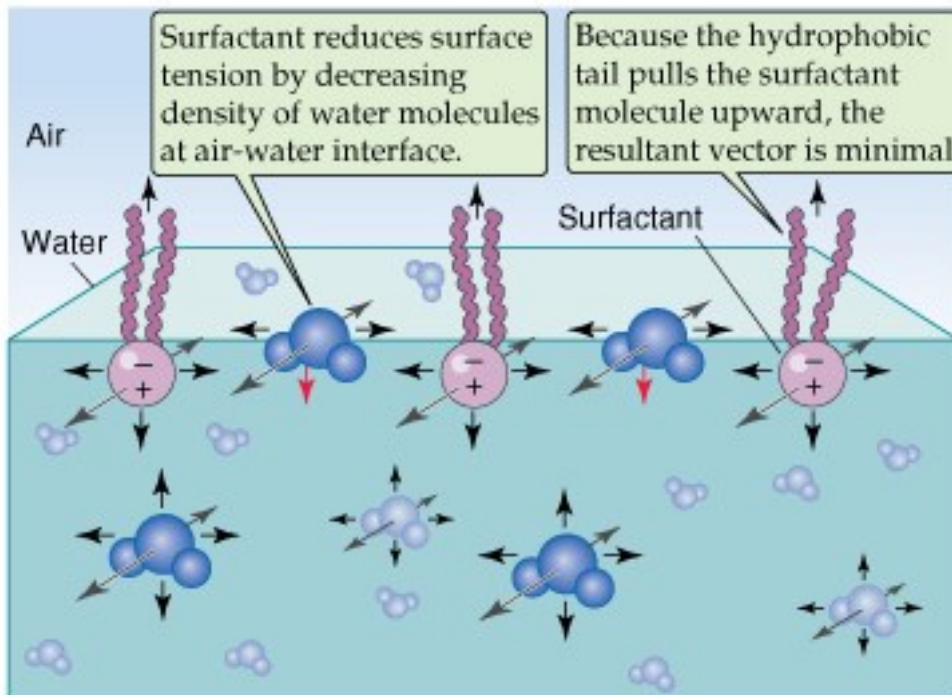
- Se tentiamo di vincere questa tensione e stiriamo l'interfacie acqua-aria aumentandone la superficie, dobbiamo applicare una **forza F** per spostare le molecole di acqua dalla fase liquida (stato a bassa energia) alla superficie (stato ad alta energia)
- Se  $F$  è esercitata su un'estensione di **lunghezza l**, la **tensione superficiale T** è uguale a:

$$T = F/l$$

# Tensione superficiale e surfactante polmonare

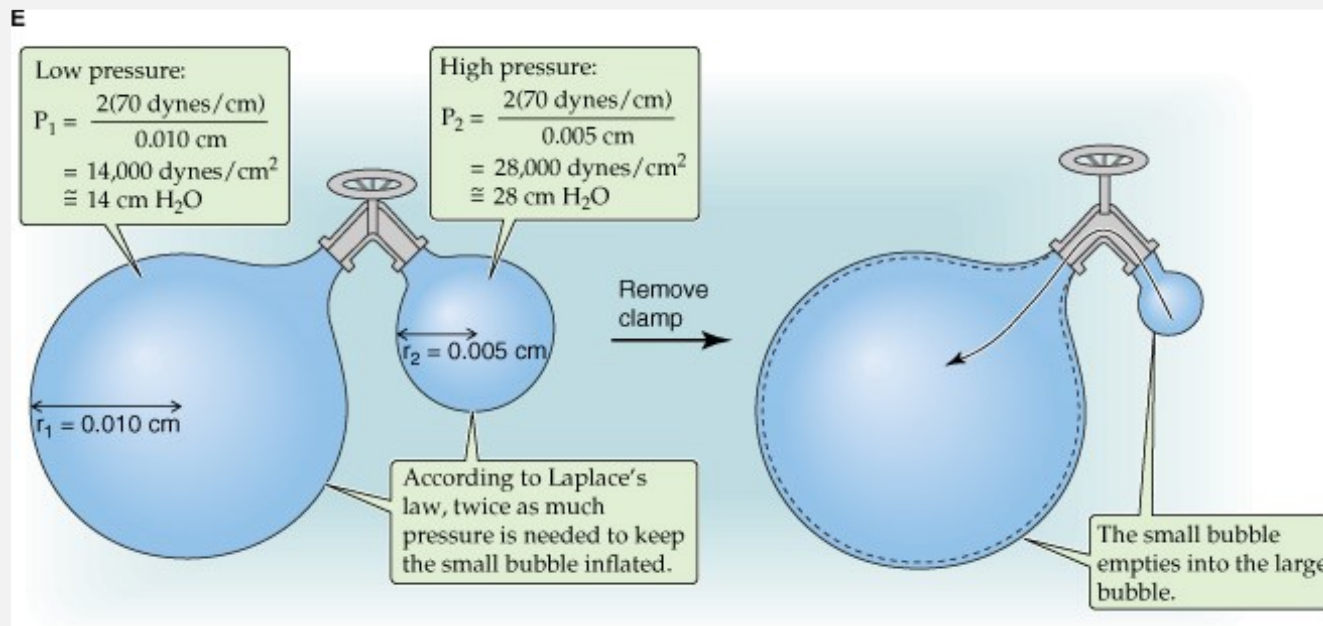
- Surfactante: sostanza tensio-attiva. Possiede una coda **idrofobica** ed una testa **idrofilica**.
- Le molecole del detergente si orientano in modo che le teste idrofiliche interagiscano con le molecole di acqua alla superficie e le code idrofobiche siano esposte all'aria.

**A** EFFECT OF SURFACTANT ON SURFACE TENSION



- La densità di molecole di acqua in superficie è diminuita:  $T$  **diminuisce**
- La coda idrofobica esercita una forza contraria a quella che attrae le molecole di detergente verso la fase liquida
- Le molecole di detergente, quindi, tendono a rimanere alla superficie
- Con ciò, le molecole d'acqua alla superficie sono "più rarefatte": diminuisce la tensione superficiale

# Tensione superficiale e P transmurale di una bolla



- T tende a far diminuire il volume del gas compressibile all'interno della bolla e ad aumentare P all'interno.
- All'equilibrio, la tendenza all'espansione dovuta a  $P_{tm}$  (variabile indipendente) è controbilanciata dalla tendenza a collassare dovuta a T (variabile dipendente). La condizione di equilibrio è descritta dalla legge di Laplace

$$P_{tm} = 2T/r$$

# 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
- Boron WF, Boulpaep EL, Medical Physiology, Saunders