

## **7.2 MECCANICA RESPIRATORIA**

**Muscoli respiratori**

**Pressioni respiratorie e loro variazioni durante l'inspirazione e l'espirazione**

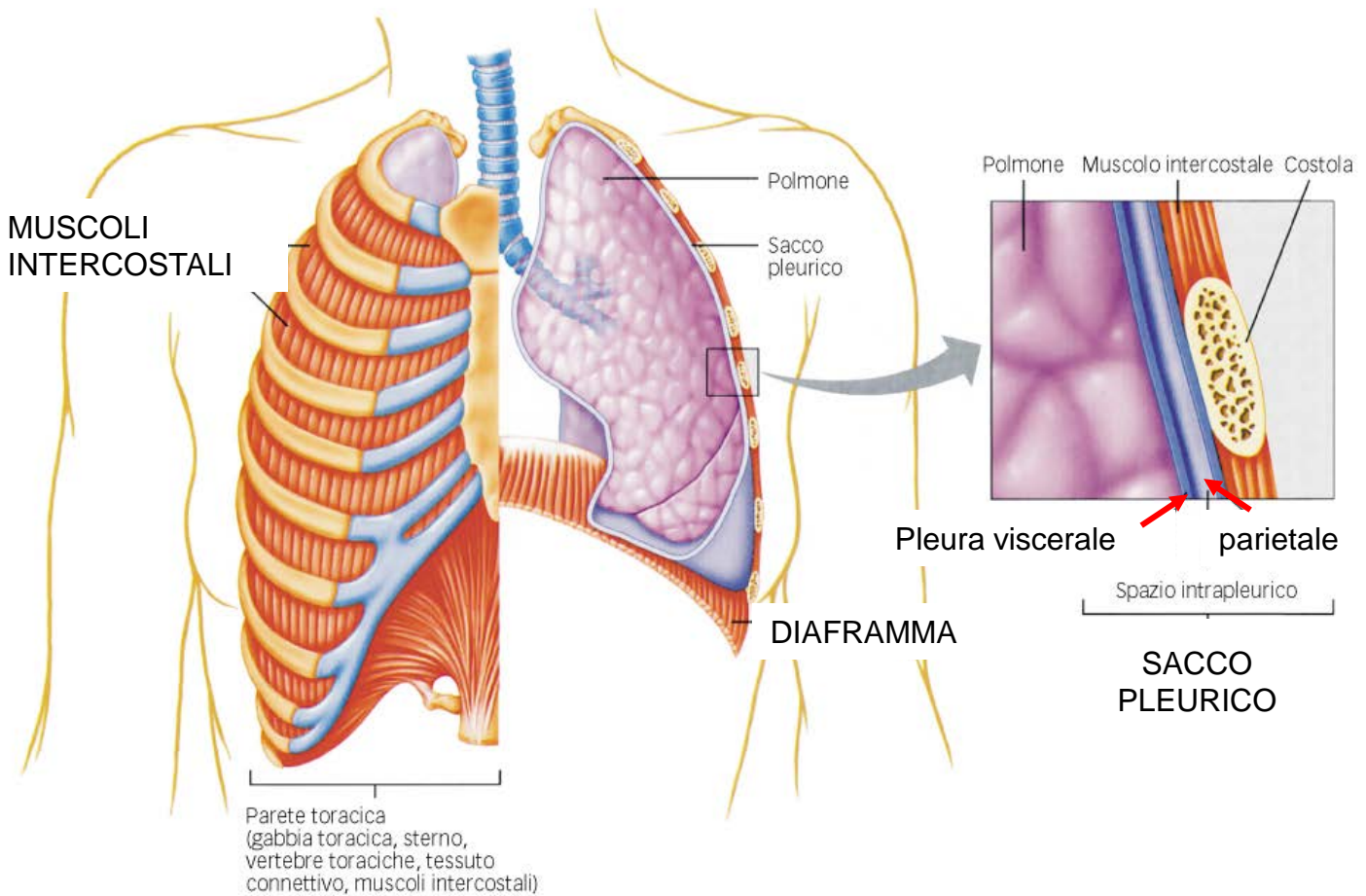
**Funzione del tensioattivo**

**Compliance polmonare**

**Resistenze delle vie respiratorie**

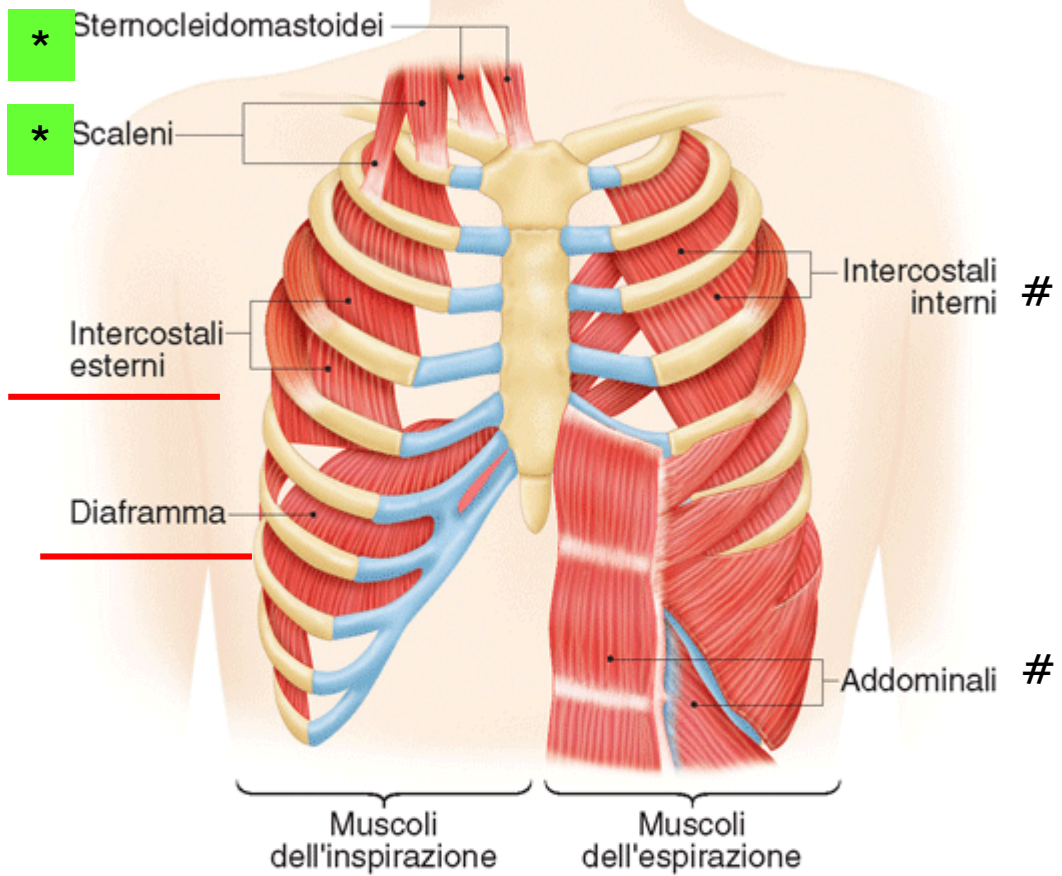
**Ventilazione polmonare ed alveolare**

**Volumi e capacità polmonari**



Il liquido pleurico (15 ml) è presente tra la i due foglietti pleurici;

- 1) Crea una superficie umida che riduce l'attrito tra le membrane pleuriche
- 2) tiene adesi i polmoni alla parete toracica, consentendo movimenti solidali delle due strutture.



Inspirazione/expiratione a riposo

\* Inspirazione forzata

# expiratione forzata

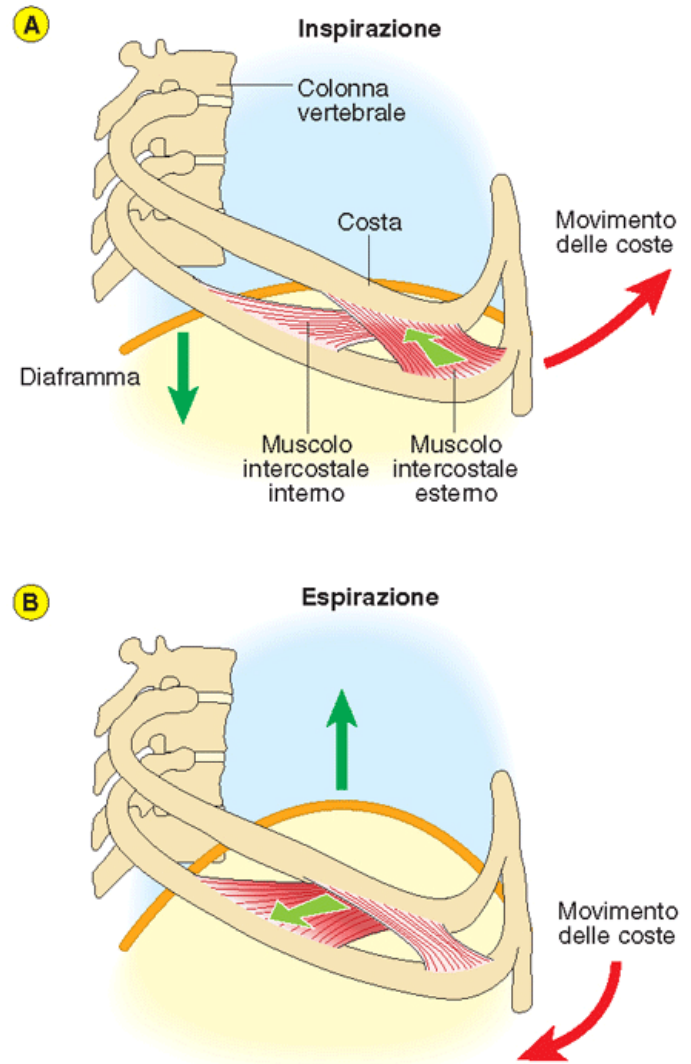
## Respirazione normale (tranquilla):

- il solo movimento del **diaframma** è sufficiente per espandere o comprimere i polmoni

- nell'**inspirazione** il diaframma si contrae e si abbassa, le coste si alzano

- nell'**espirazione** il diaframma si distende e si alza, le coste si abbassano

- i **nervi frenici** (motoneuroni) controllano lo stato di contrazione del diaframma



# Pressioni respiratorie

Pressione atmosferica: 760 mm Hg

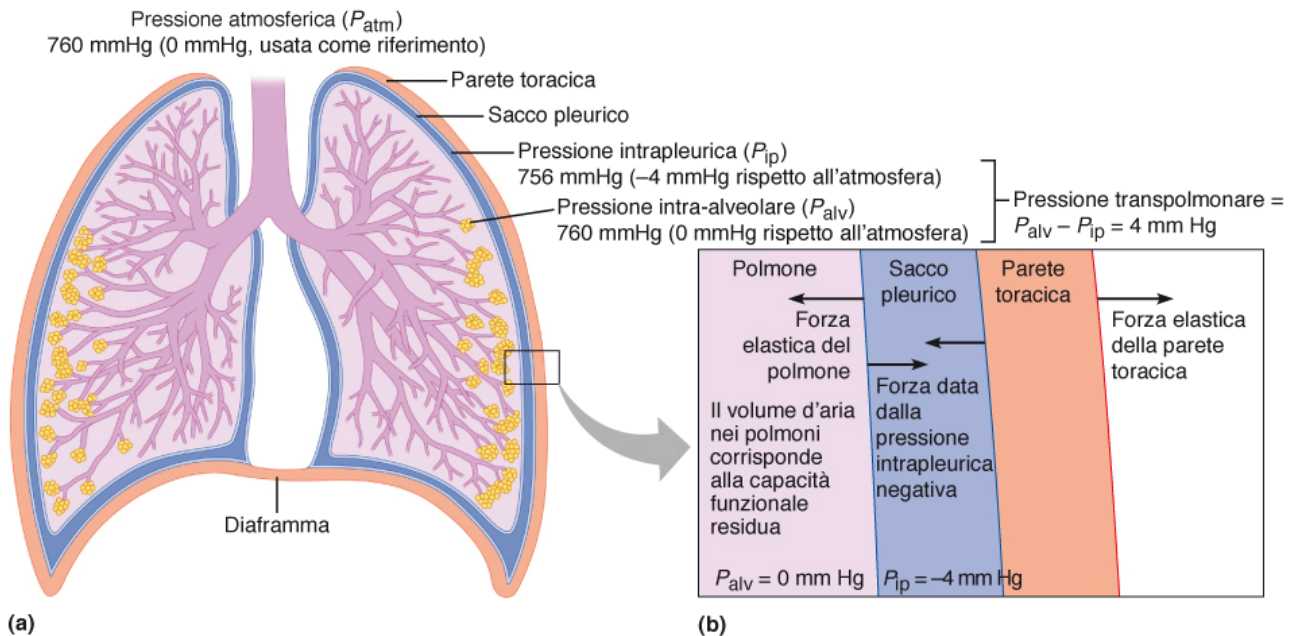
Pressione intra-alveolare (interno del polmone):

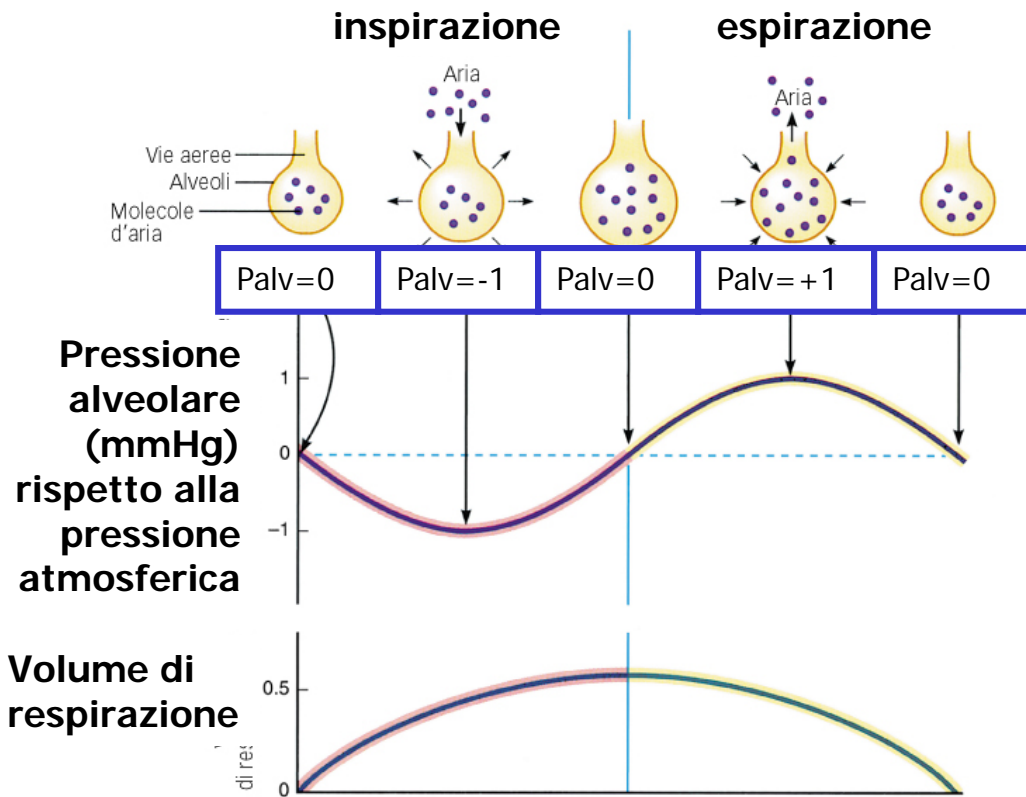
0 mm Hg a riposo ( $\pm 1$  mm Hg)

Pressione intra-pleurica (esterno dei polmoni):

-4 mm Hg a riposo (-7 mm Hg)

Pressione transpolmonare:  $P_{\text{alveolare}} - P_{\text{intrapleurica}}$

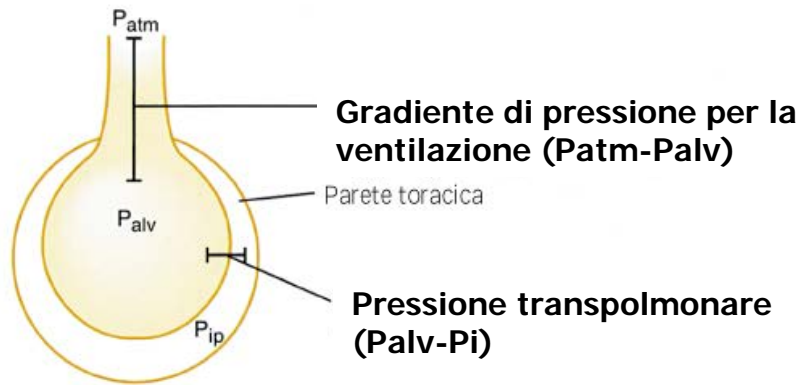




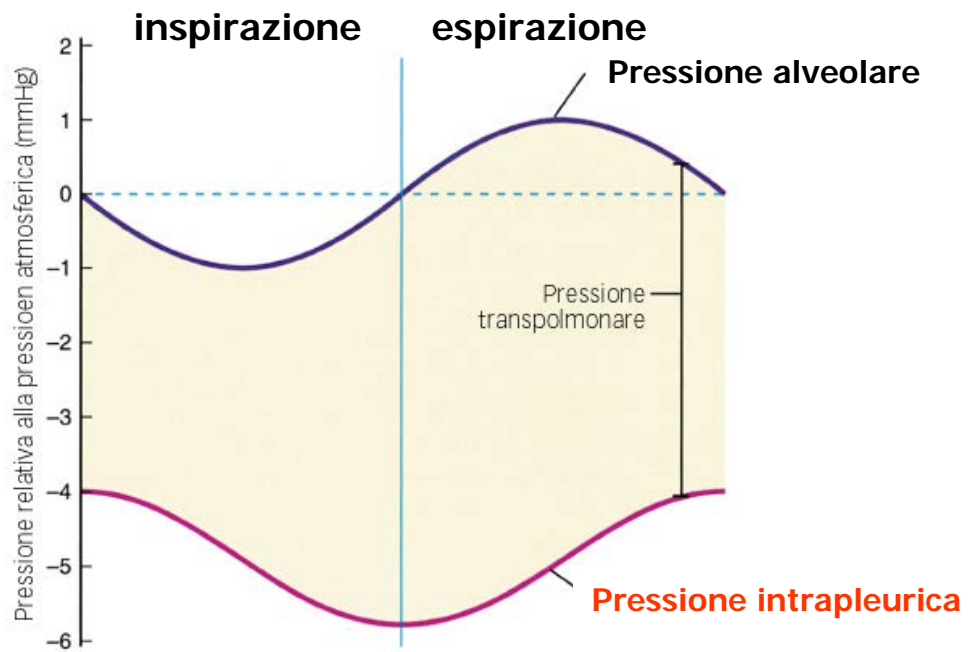
**Inspirazione:** l'espansione dei polmoni provoca l'aumento di volume degli alveoli e la diminuzione della  $P_{alveolare}$ : il gradiente di pressione attira aria nei polmoni (LEGGE DI BOYLE,  $PV = \text{cost.}$ )

**Espirazione:** torace e polmoni tendono a ritornare nella posizione originale. Diminuisce il volume alveolare e aumenta la pressione: tale gradiente di pressione fa fuoriuscire l'aria dai polmoni.

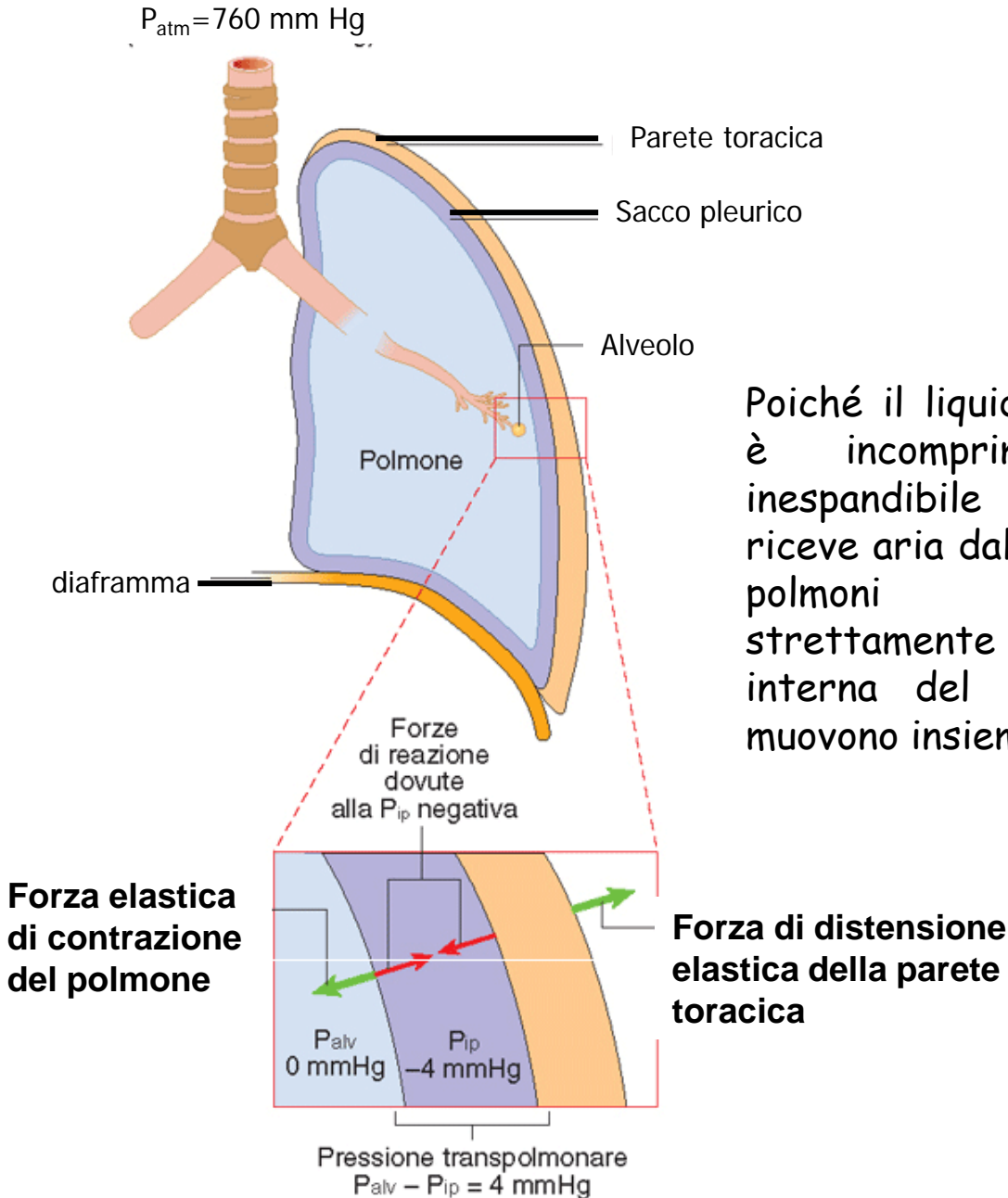
## La pressione transpolmonare ( $P_{alv}-P_i$ )



(a)



# La pressione intrapleurica



Poiché il liquido pleurico è incompressibile e inespandibile e non riceve aria dall'esterno, i polmoni aderiscono strettamente alla parete interna del torace: si muovono insieme.

All'inizio dell'inspirazione, la pressione intrapleurica è  $-4 \text{ mmHg}$  (data dalla combinazione tra spinta verso l'esterno della cassa toracica e ritorno elastico verso l'interno dei polmoni).

Mentre l'inspirazione procede, le membrane pleuriche ed i polmoni seguono la cassa toracica, ma il tessuto polmonare elastico si oppone allo stiramento, ed i polmoni tentano di allontanarsi dalla parete toracica, facendo diminuire la pressione intrapleurica.



## SEQUENZA DI EVENTI DURANTE L'INSPIRAZIONE:

**IL TORACE SI ESPANDE**



**$P_{ip}$  DIVENTA + NEGATIVA**



**P TRANSPOLMONARE ( $P_{alv} - P_{ip}$ ) AUMENTA**



**I POLMONI SI ESPANDONO**

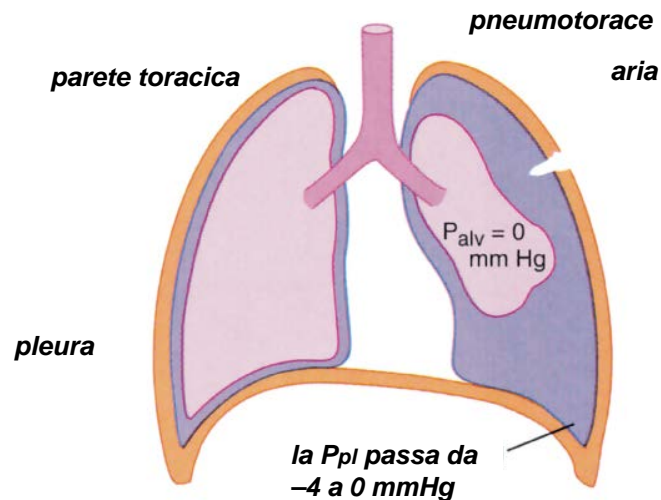


**$P_{alv}$  DIVENTA SUBATMOSFERICA**



**L'ARIA FLUISCE NEGLI ALVEOLI**

Se si buca la pleura, la **Ppl** si annulla e il polmone collassa (**pneumotorace**)



La negatività della  $P_{pl}$  è assicurata solo se il sacco pleurico è integro. In caso contrario  $P_{pl}$  si equilibra con la  $P_{atm}$  e si annulla. Il polmone collassa.

L'aria che penetra nella cavità pleurica rompe il legame che tiene il polmone adeso alla parete toracica.

Il polmone elastico collassa, mentre la parete toracica si espande.

# Il tensioattivo stabilizza la struttura dei piccoli alveoli

La superficie interna degli alveoli è rivestita da un sottile strato di acqua, che causa:

1) Riduzione della compliance polmonare

2) all'interfaccia aria-liquido si sviluppa una tensione superficiale che tende a far collassare l'alveolo, ma questo non avviene:

Per la legge di Laplace,  $T = \Delta P \times r$ ,

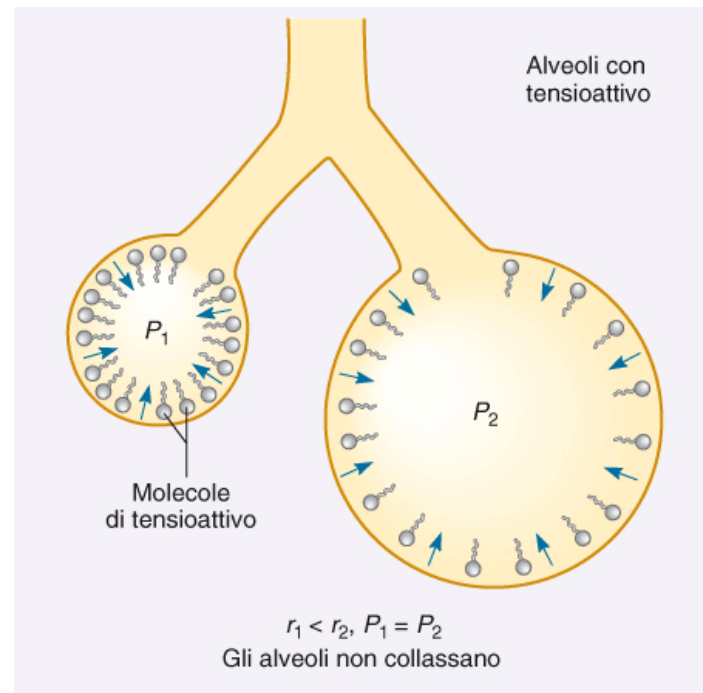
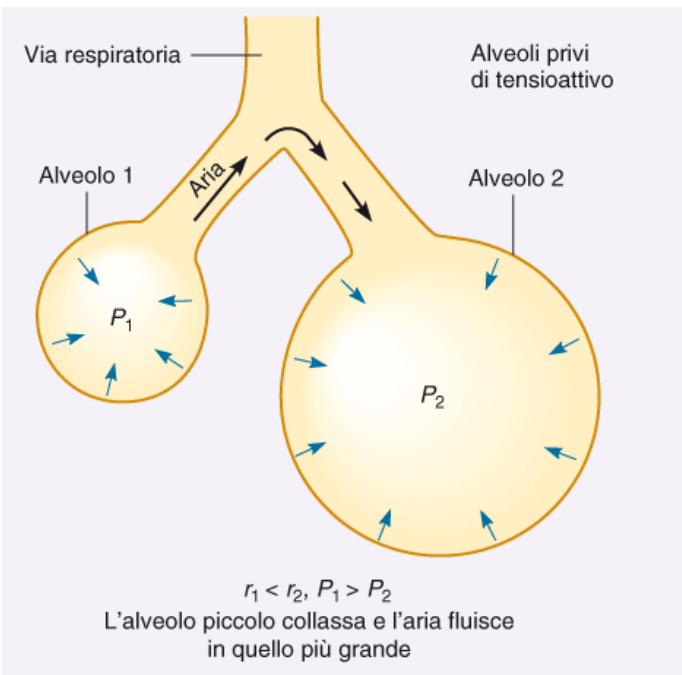
$\Delta P$  è la pressione all'interno degli alveoli,  $r$  il raggio,  $T$  la tensione superficiale.

il tensioattivo, una miscela di lipoproteine (dipalmitoil lecitina + proteine) secreta dai pneumociti granulari (tipo II)

-abbassa la tensione superficiale e diminuisce il lavoro respiratorio

- senza in tensioattivo la Ppl aumenterebbe a -20, -30 mmHg con collasso dei polmoni

- stabilizza la struttura dei piccoli alveoli



## Il tensioattivo stabilizza la struttura dei piccoli alveoli

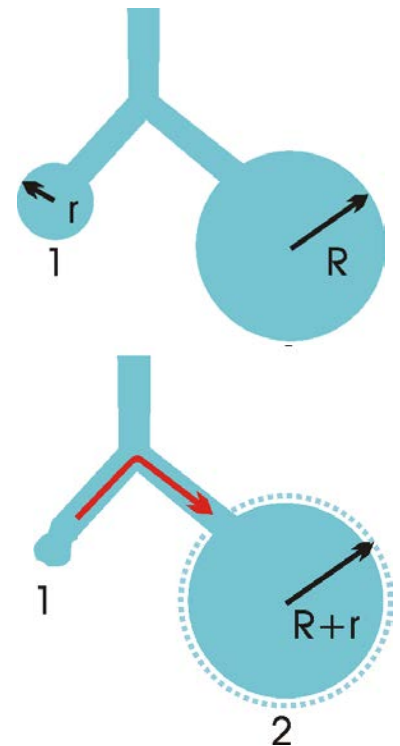
Se due alveoli di dimensioni diverse comunicano tra loro, e la tensione superficiale  $T$  fosse identica, per la legge di Laplace:

$$\Delta p_1 = T_1/r \quad \Delta p_2 = T_2/R$$

se  $T_1 = T_2$  e  $r \ll R$

$$\Delta p_1 \gg \Delta p_2$$

l'alveolo più piccolo collaserebbe in quello più grande!



Il tensioattivo si distribuisce nell'alveolo più piccolo, abbassa la tensione superficiale

( $T_1 < T_2$ ) e riduce  $\Delta p_1$ :

$$\Delta p_1 = T_1/r$$

$$\Delta p_2 = T_2/R$$

# La compliance polmonare

La compliance polmonare ( $C_p$ ) indica la facilità con cui si distende un polmone. Si definisce come:

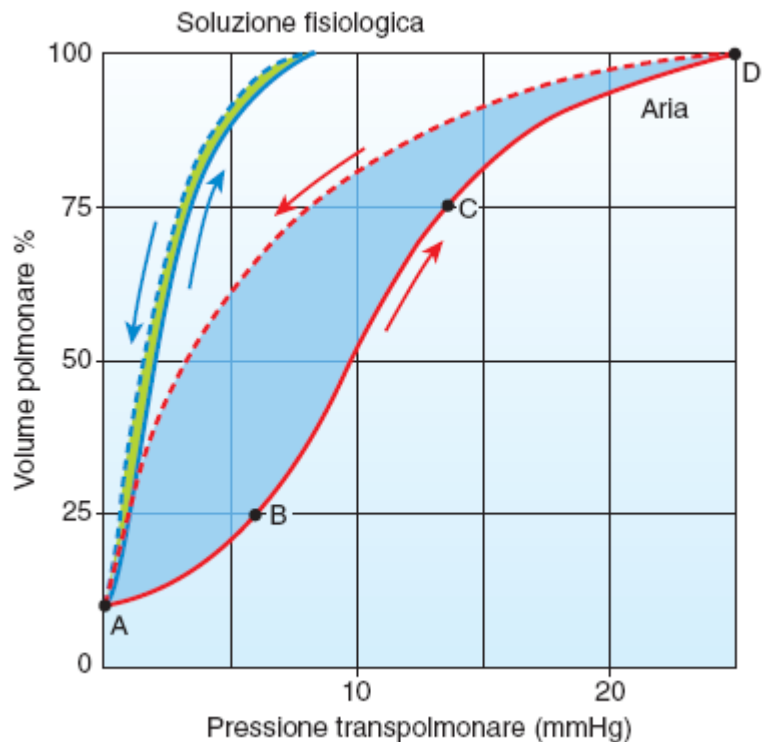
$$C_p = \Delta V / (P_{alv} - P_{ip})$$

- Polmoni normali hanno **alta**  $C_p$  (pochi mmHg muovono 500 ml d'aria)
- Polmoni con fibrosi hanno **bassa**  $C_p$

La  $C_p$  è influenzata da:

- *elasticità* del tessuto polmonare
- *tensione superficiale* del liquido all'interno degli alveoli

Un polmone riempito con una soluzione fisiologica possiede una  $C_p$  più alta di uno normale riempito d'aria perché la tensione superficiale aria-liquido è annullata.



# LA VENTILAZIONE POLMONARE

La ventilazione polmonare è lo scambio di aria tra atmosfera ed alveoli.

L'aria si muove passando da una regione ad alta pressione verso una a bassa pressione.

$$F = \Delta P / R = (P_{\text{alv}} - P_{\text{atm}}) / R$$

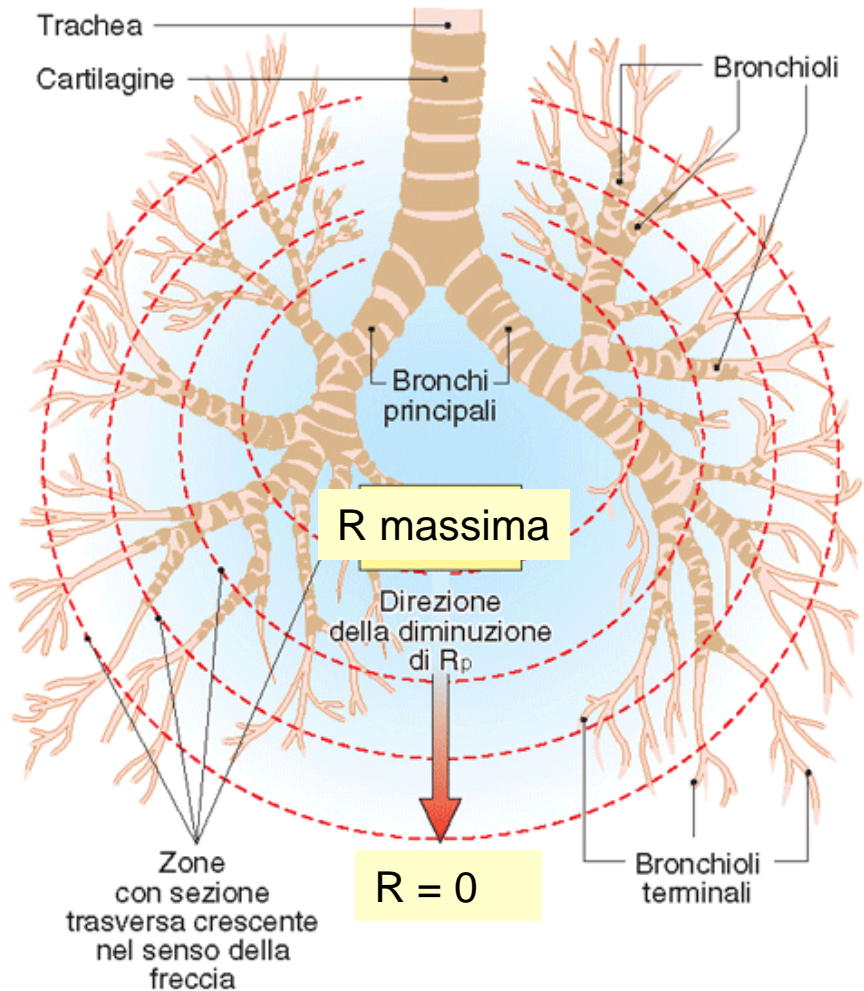
- GRADIENTE DI PRESSIONE (tra aria e polmoni)
- RESISTENZA DELLA VIE RESPIRATORIE (resistenza dell'intero sistema di vie respiratorie)

TUTTE LE PRESSIONI DELL'APPARATO RESPIRATORIO SONO ESPRESSE RISPETTO ALLA PRESSIONE ATMOSFERICA.

Esempio: se  $P_{\text{alv}}=0$ , significa che  $P_{\text{alv}} = P_{\text{atm}}$ , ed il flusso è nullo.

# Resistenza delle vie respiratorie

- R: massima nelle vie respiratorie di conduzione (80% del totale): vie aeree superiori, tratto respiratorio
- R: bassa nelle vie respiratorie interne, con diametro < 2 mm (20% del totale)
- R ≈ 0 ai bronchioli terminali (massima compliance polmonare)



$$R = \frac{8\eta l}{4r^4} \quad (\text{Poiseulle})$$

Quando aumenta la resistenza, è necessaria una  $P_{alv}$  maggiore per spostare un volume di aria



## Fattori neuroendocrini e paracrini che influenzano Rp

Neurotrasmettitori ed ormoni agiscono sulla muscolatura liscia bronchiale causando broncocostrizione (contrazione muscolatura liscia, diminuzione raggio dei bronchioli Rp aumenta ) o broncodilatazione.

### BRONCOCOSTRIZIONE:

-Il sistema nervoso **parasimpatico** (ACh) causa contrazione del muscolo liscio (broncocostrizione) tramite attivazione dei recettori muscarinici  $M_1$  e  $M_3$

-**istamina**, rilasciata durante reazioni allergiche, aumenta Rp e causa broncocostrizione

### BRONCODILATAZIONE:

-Il sistema **simpatico** (NA) e adrenalina (A) in circolo inibiscono la muscolatura liscia polmonare e causano broncodilatazione, tramite i recettori  $\beta_2$ -AR.

I farmaci  $\beta_2$ -**agonisti** sono utilizzati nel trattamento dell'asma.

-**CO<sub>2</sub>** alte concentrazioni provocano broncodilatazione

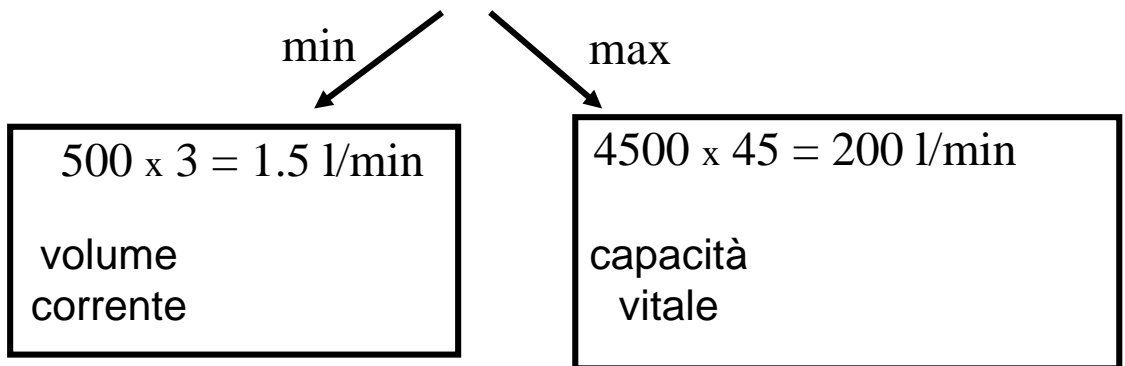
# Ventilazione polmonare

E' la quantità d'aria immessa nelle vie respiratorie al minuto

$$\text{ventil polm} = V_{\text{corr}} \times \text{freq resp}$$

$$= 500 \text{ ml} \times 12 \text{ resp/min}$$

$$= 6 \text{ litri/min}$$



## Ventilazione alveolare

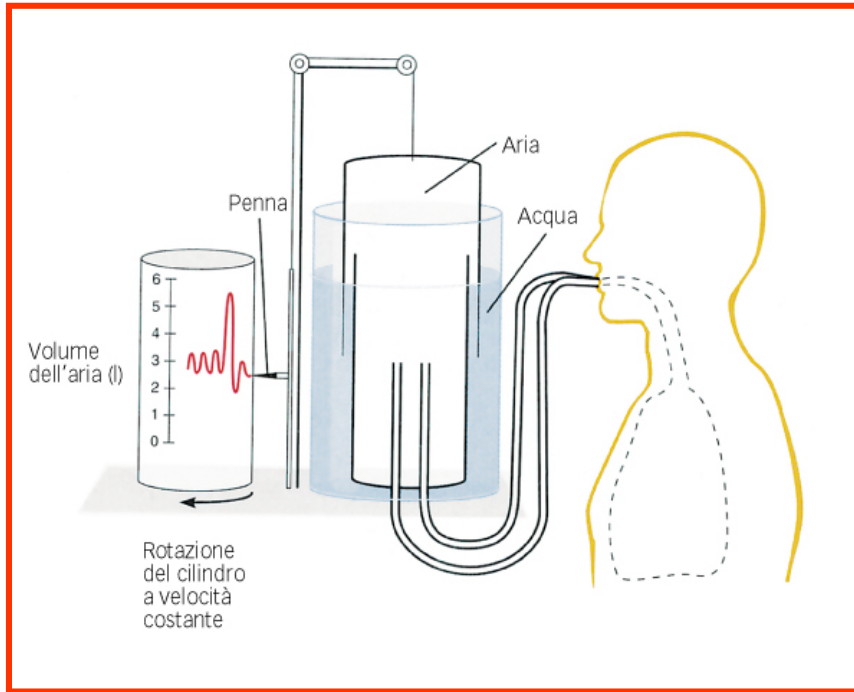
- la **ventilazione alveolare** è la quantità d'aria sostituita ad ogni minuto nella regione polmonare dove avvengono gli scambi gassosi (aria fresca che giunge agli alveoli)

-l'unità respiratoria dove avvengono gli scambi gassosi è solo una frazione dei costituenti dell'apparato respiratorio, quindi **ventil alv < ventil polm**

$$\text{ventil alv} = \text{freq resp} \times (V_{\text{corr}} - V_{\text{spazio morto}})$$

$$= 12 \text{ resp/min} \times (500 - 150) \text{ ml} = 4200 \text{ ml/min}$$

# Misura dei volumi polmonari con lo spirometro



## Volumi e capacità polmonari

Volume

(ml)

5800

2800

2300

1200

0

