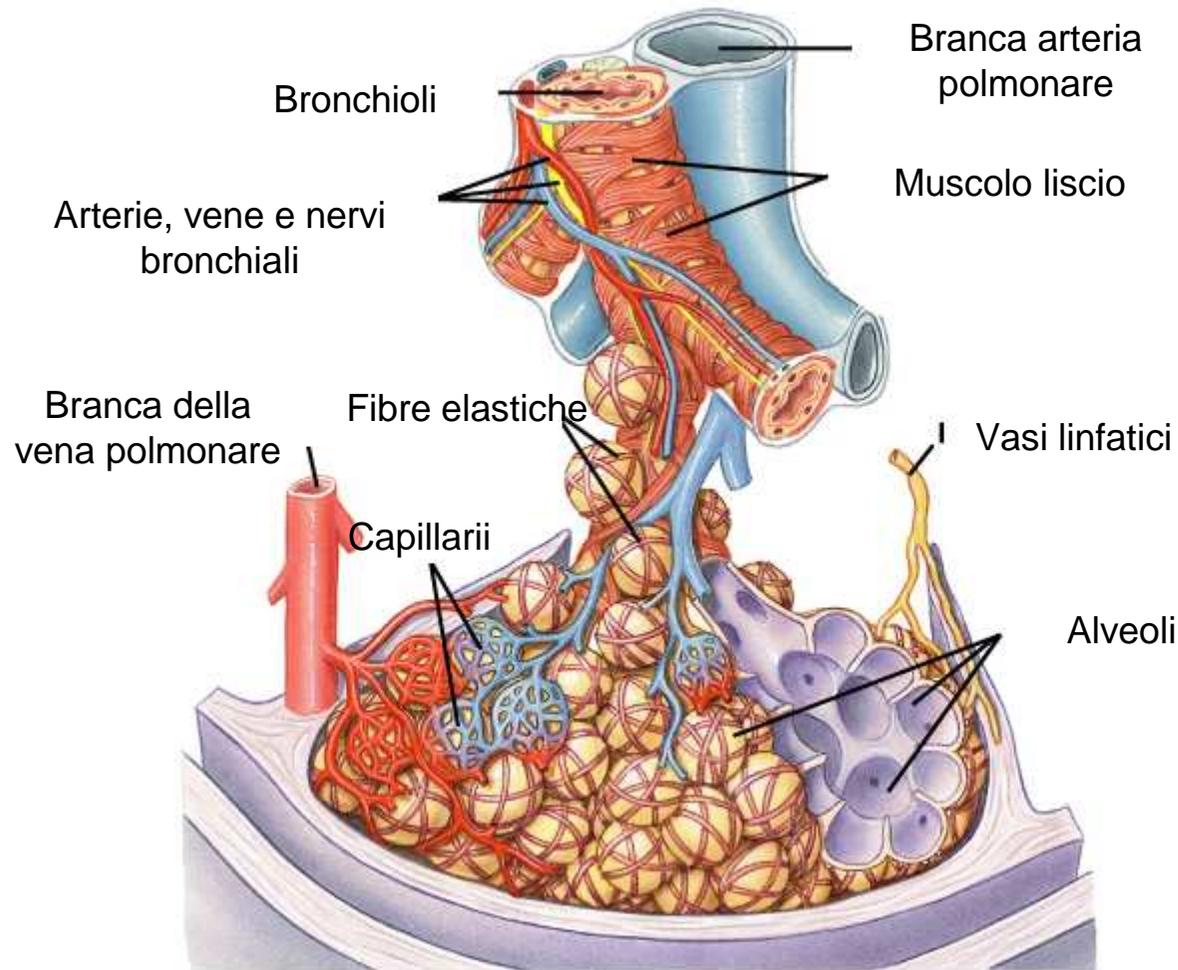


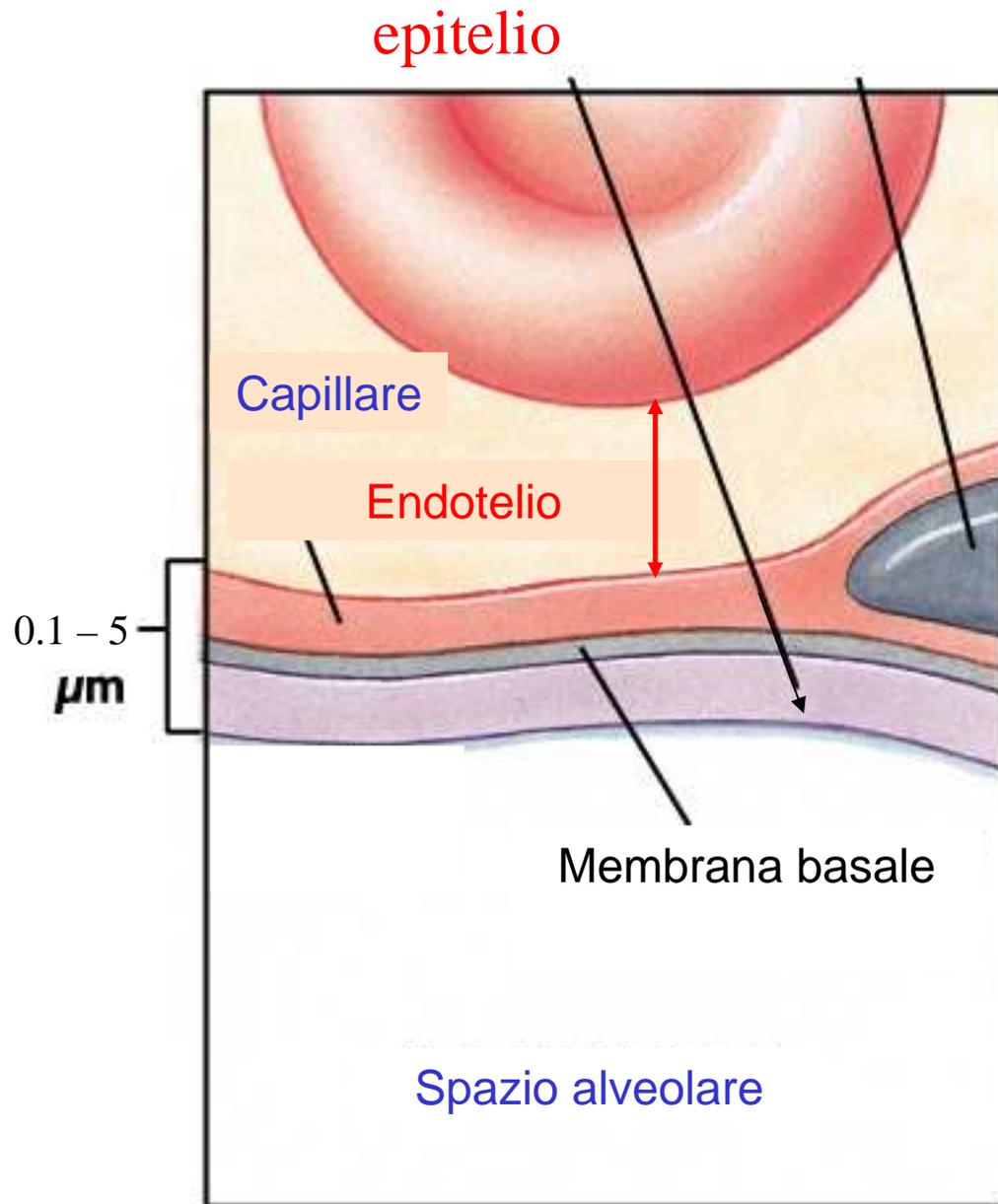
# EVENTI COINVOLTI NEL PROCESSO DI SCAMBIO GASSOSO

- **VENTILAZIONE** movimento aria dall'esterno all'interno del polmone e viceversa
- **DIFFUSIONE** movimento  $O_2$  e  $CO_2$  attraverso la membrana respiratoria
- **PERFUSIONE POLMONARE** flusso sanguigno polmonare richiesto per apportare sangue a, e rimuovere sangue dalla zona di scambio
- **RAPPORTO VENTILAZIONE-PERFUSIONE** importante per l'efficacia degli scambi gassosi
- **TRASPORTO  $O_2$  e  $CO_2$  NEL SANGUE**
- **TRASFERIMENTO  $O_2$  DAI CAPILLARI ALLE CELLULE E  $CO_2$  IN DIREZIONE OPPOSTA**
- **UTILIZZAZIONE  $O_2$  E PRODUZIONE  $CO_2$  NELLE CELLULE**



✓Lo scambio dei gas respiratori avviene a livello dell'unità alveolo-capillare. Gli alveoli sono circa  $300 \cdot 10^6$  e formano una superficie di scambio totale di circa  $100-140 \text{ m}^2$

✓La circolazione polmonare è la più estesa e si distribuisce per circa **80% degli alveoli**. Ogni sacco alveolare riceve un singolo ramo capillare

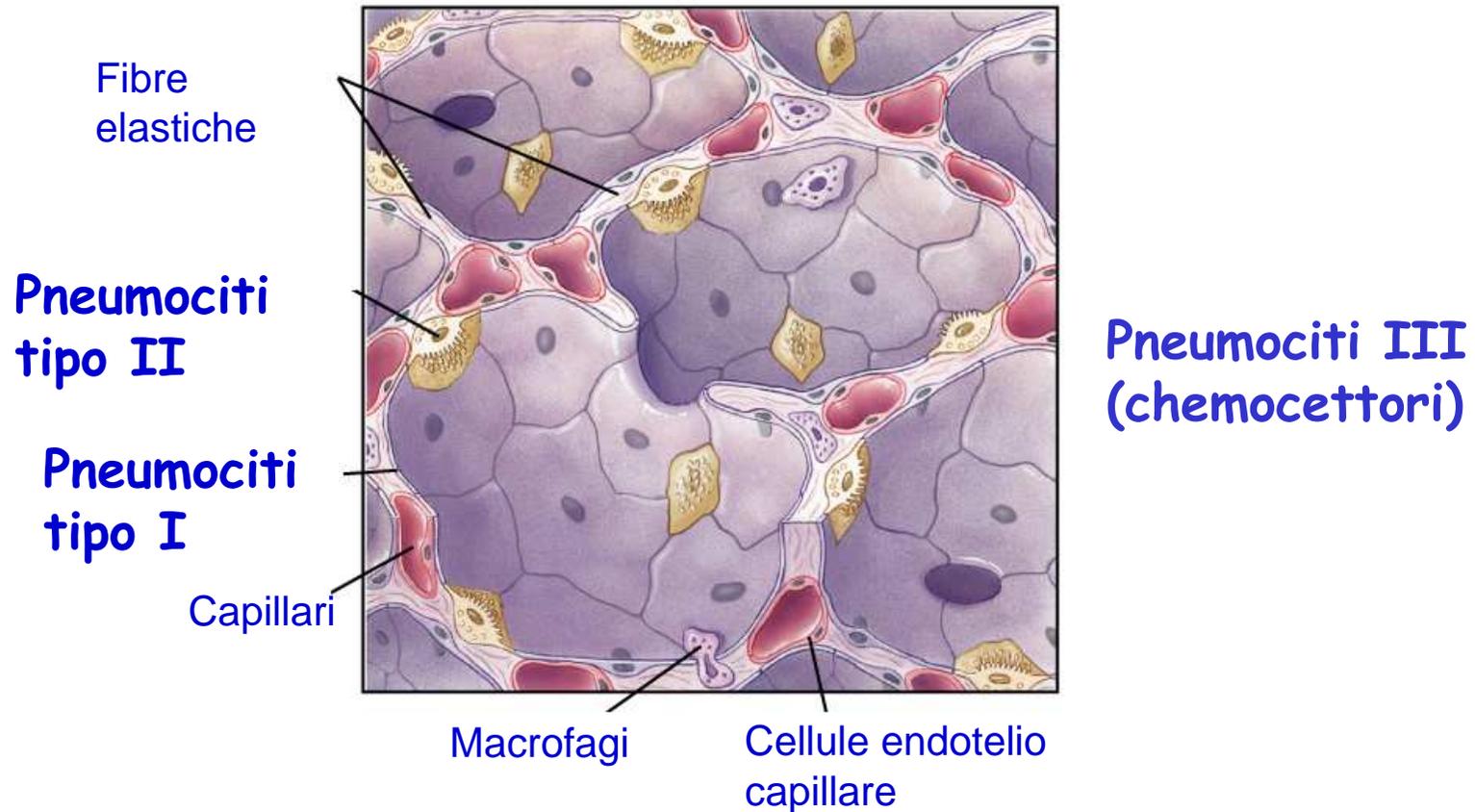


*Gli scambi gassosi avvengono a livello della membrana respiratoria (alveolo-capillare).*

*Lo spessore ridotto della membrana facilita il processo di diffusione dei gas.*

## Struttura alveolare:

Gli alveoli sono composti di pneumociti di tipo I, per gli scambi gassosi, e pneumociti di tipo II che sintetizzano surfattante.



Per lesione di tipo I, il tipo II sostituisce e poi si trasforma in tipo I

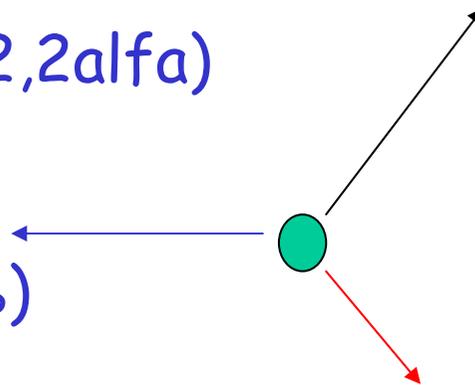
## Trasformazione di sostanze del circolo

### Rimosse:

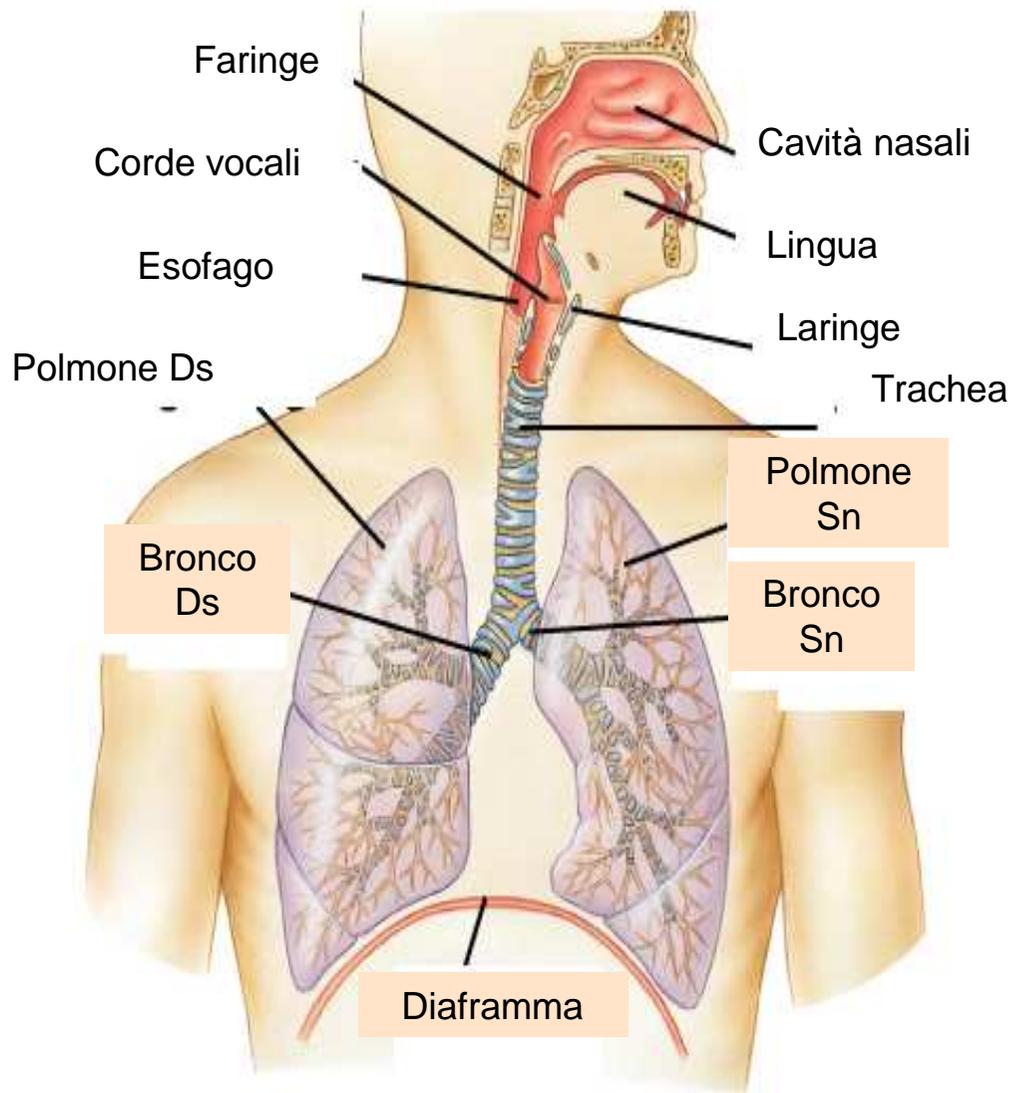
Prostaglandine E(1,2,2alfa)  
Leucotrieni  
Serotonina  
Noradrenalina (30%)  
ATP, AMP

### Inattivate:

Acetilcolina  
Bradichinina



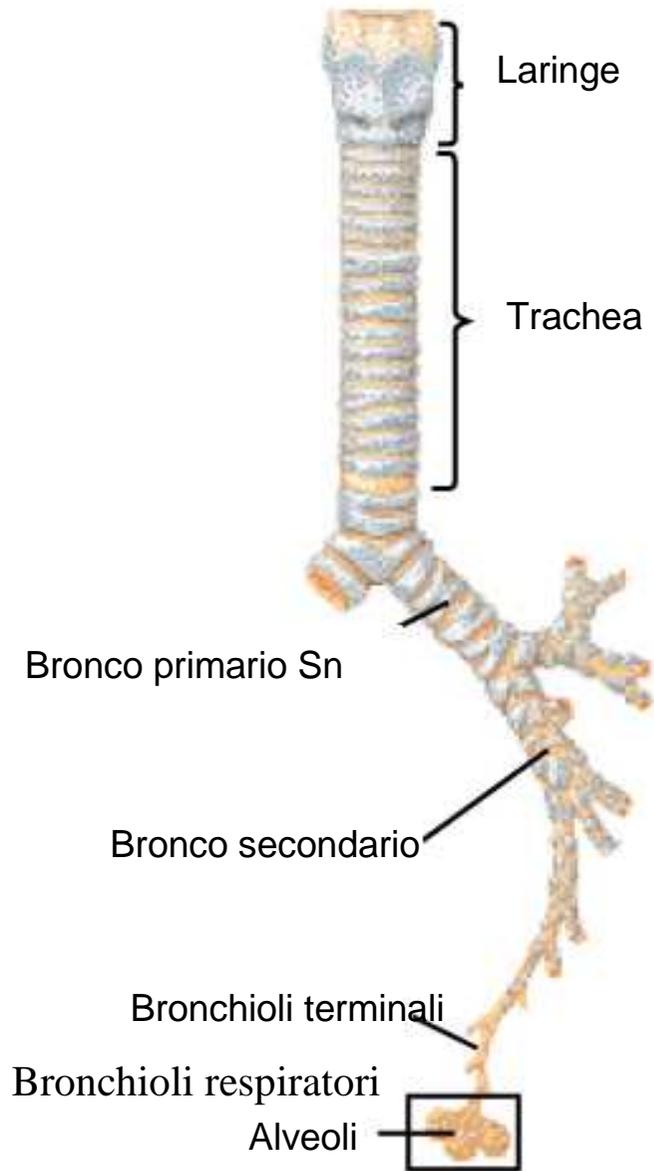
Convertita : Angiotensina I in II



Il ricambio di aria alveolare è un processo intermittente legato al ciclo respiratorio (12/min).

Ad ogni inspirazione 500 ml di aria (volume corrente) si diluiscono in 2,3l già contenuti nel polmone.

Il ricambio completo con 12-16 atti respiratori



Aria entra attraverso le vie aeree di conduzione:

**trachea e bronchi** (dotati di anelli cartilaginei per evitare il collasso)

Dai bronchi primari si dipartono 23 generazioni di condotti secondari fino agli alveoli.

Aria si muove con movimento di massa fino ai bronchioli terminali e poi per diffusione

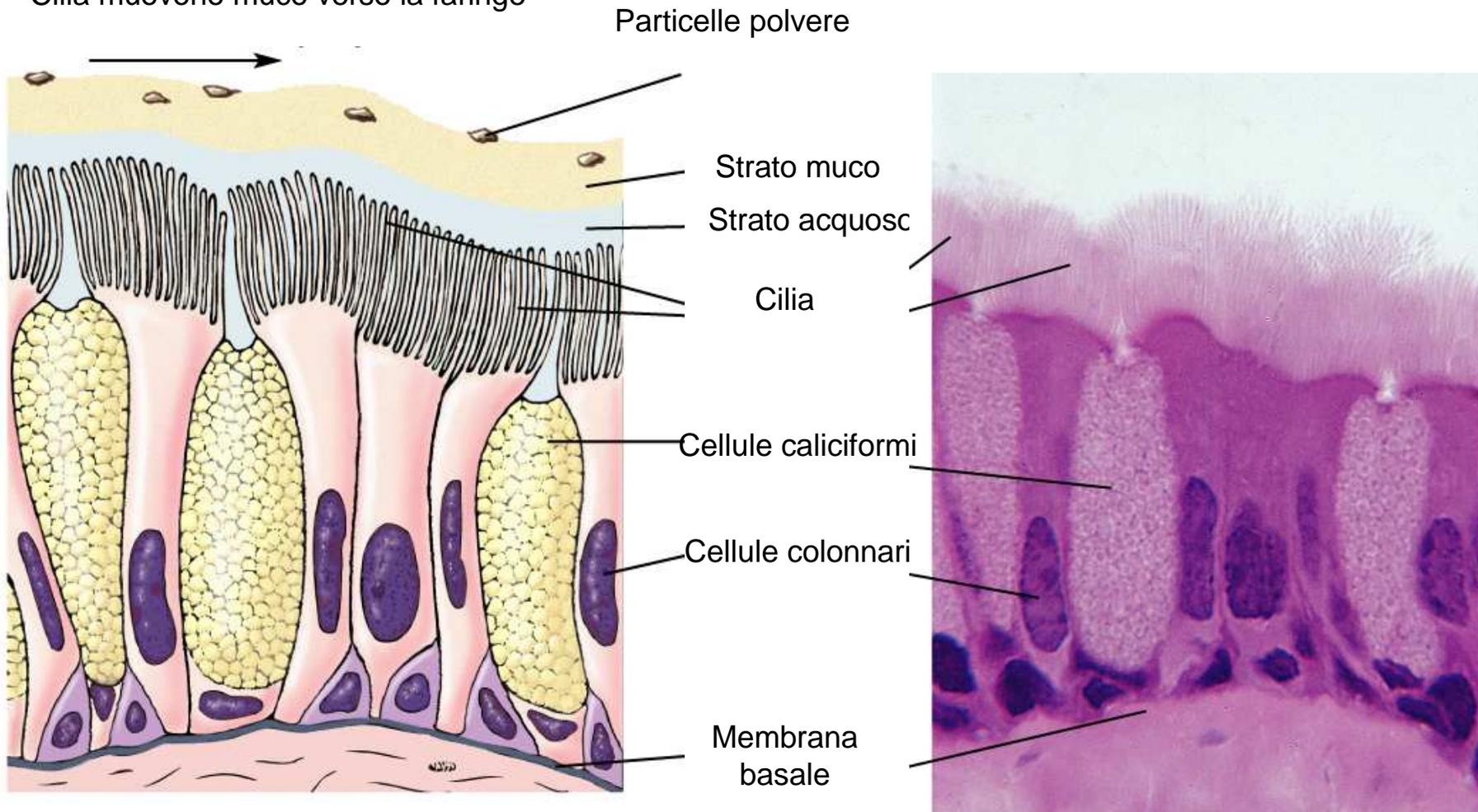
	Name	Division	Diameter (mm)	How many?	Cross-sectional area (cm)
Zona conduzione	Trachea	0	15-22	1	2.5
	Primary bronchi	1	10-15	2	↓
	Smaller bronchi	2	1-10	4	
		3			
		4			
		5			
↓	1 x 10 <sup>4</sup>				
Zona transizione	Bronchioles	17-19	0.5-1	2 x 10 <sup>4</sup>	100
Zona scambi	Alveoli	20-23	0.3	8 x 10 <sup>7</sup>	5 x 10 <sup>3</sup>
		24		3-6 x 10 <sup>8</sup>	>1 x 10 <sup>6</sup>

La prima parte delle vie aeree, fino alla 17<sup>a</sup> generazione non partecipano agli scambi gassosi (spazio morto anatomico). Gli scambi avvengono dalla 17<sup>a</sup> generazione in poi

Il progressivo aumento della sezione trasversa delle vie aeree poste in parallelo determina una progressiva riduzione della velocità dell'aria

A livello delle vie aeree di conduzione l'aria viene preriscaldata, umidificata (per contatto con il secreto che bagna la mucosa) e depurata (muco trattiene la polvere che viene eliminata attraverso il meccanismo di scala mobile mucociliare)

Cilia muovono muco verso la faringe



# Difesa

- Vibrisse e moto vorticoso (le particelle finiscono nella zona vicino alle adenoidi e tonsille): > 10-15 micron
- Intorno ai 10 finisce in trachea e bronchi, dove il muco elimina a 5-20 mm/min (motilità cilia 1000 cicli/min inibita dal fumo,) broncocostrizione. Starnuto e tosse.
- Tra 2 e 5 micron sedimenta nelle vie aeree di piccolo calibro (flusso molto lento)
- Sotto 2 micron finisce negli alveoli. Macrofagi degradano. Se non è degradabile, si allontana per il movimento dei macrofagi verso la zona di conduzione e verso linfatici, o per movimento del fluido alveolare. Talvolta rimane per sempre: asbestosi e silicosi

# Modificazione calibro vie aeree

Sistema nervoso parasimpatico (vago, Ach su recettori M3):

Broncocostrizione (riflessi attivati da agenti irritanti, stimoli meccanici, CO<sub>2</sub>)

Adrenalina circolante (su recettori  $\beta_2$ ): Broncodilatazione

Sistema nervoso simpatico (NA su recettori  $\alpha$ ): Broncocostrizione (effetto scarso), agisce prevalentemente su arterie bronchiali e ghiandole

Fattori locali rilasciati durante infiammazioni o reazioni allergiche; Istamina (dai mastociti durante reazioni allergiche) e PG (durante infiammazioni):

Broncocostrizione

Il movimento di aria dall'esterno al polmone e viceversa, è assicurato da un gradiente pressorio che si crea tra l'esterno ( $P$  atmosferica) e l'interno del polmone ( $P$  alveolare).

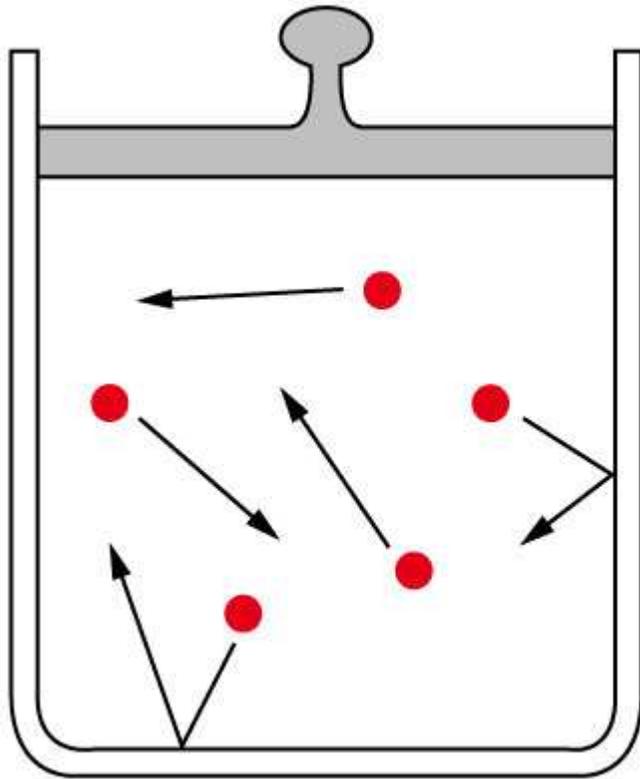
Per la Legge di Boyle  $P.V = K$  la  $P$  alveolare si modifica attraverso cambiamenti del volume polmonare.

**Inspirazione:** -  $P$  alveolare  $\longrightarrow$  aria entra  
 $\longrightarrow$  + volume del polmone,

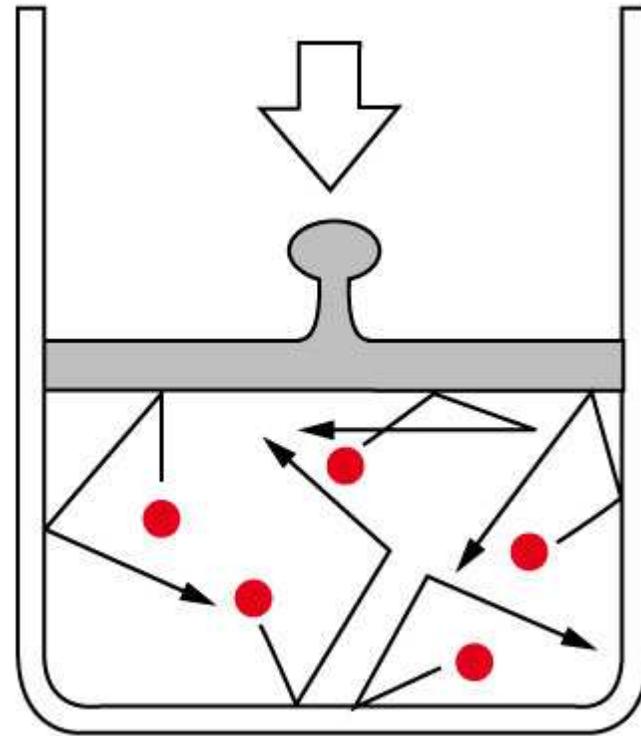
.

**Espirazione:** + $P$  alveolare  $\longrightarrow$  aria esce  
 $\longrightarrow$  - volume del polmone.

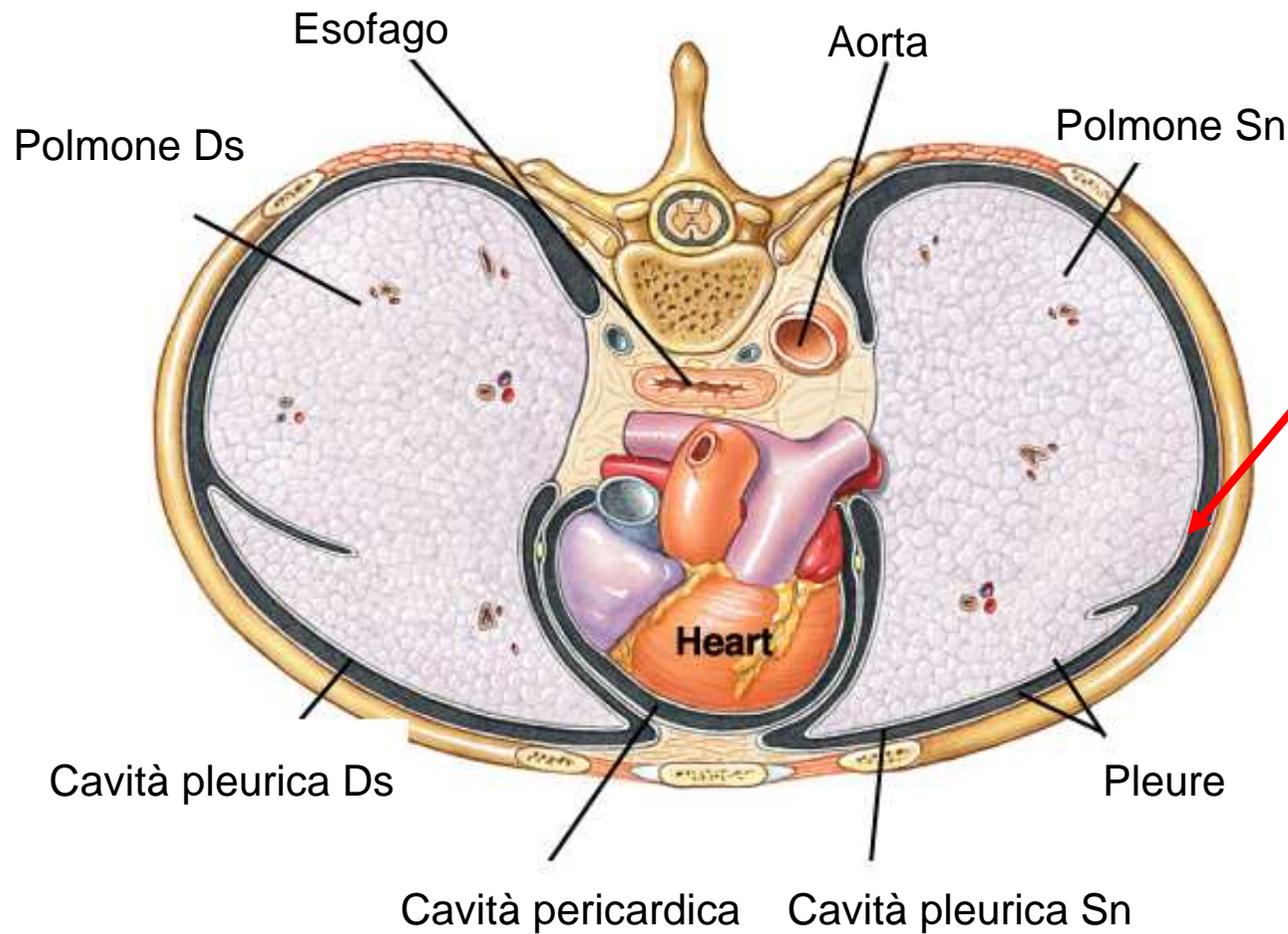
**Boyle's Law:  $P_1V_1 = P_2V_2$**



**$V_1 = 1.0\text{ L}$**   
 **$P_1 = 100\text{ mm Hg}$**



**$V_2 = 0.5\text{ L}$**   
 **$P_2 = 200\text{ mm Hg}$**



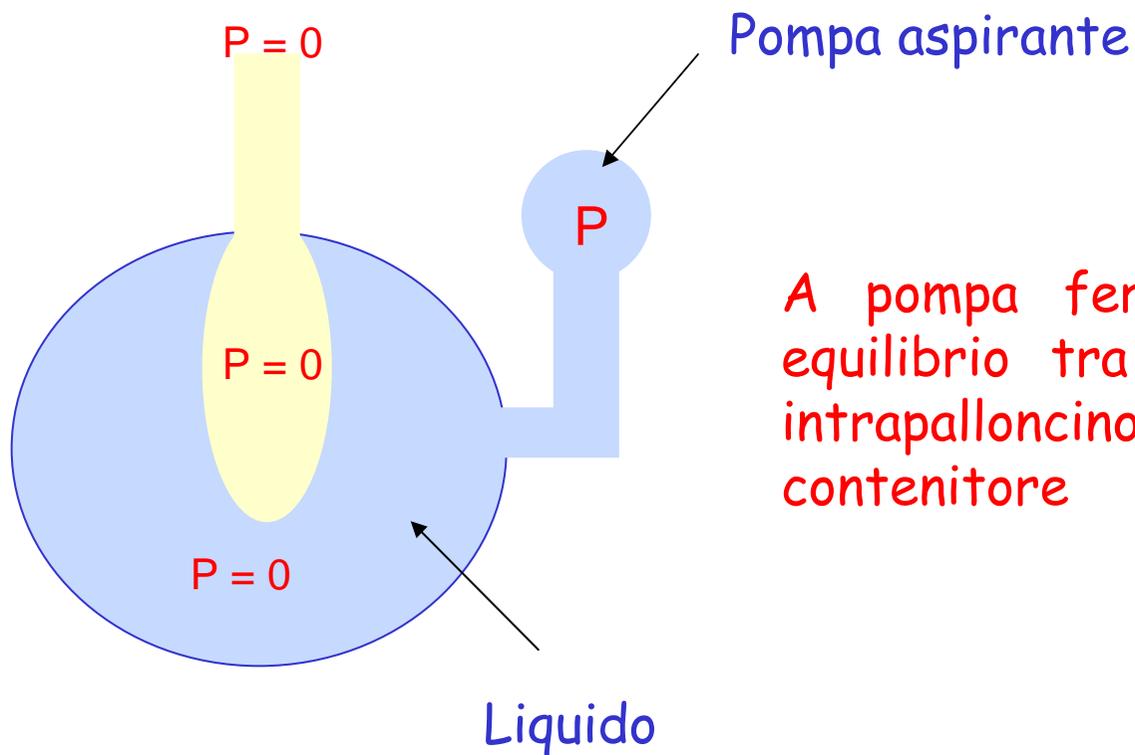
Nella cavità pleurica è contenuto un velo di liquido (2 ml) che mantiene adesi i foglietti pleurici e ne consente lo scivolamento.

Nella cavità pleurica esiste una P subatmosferica (negativa)

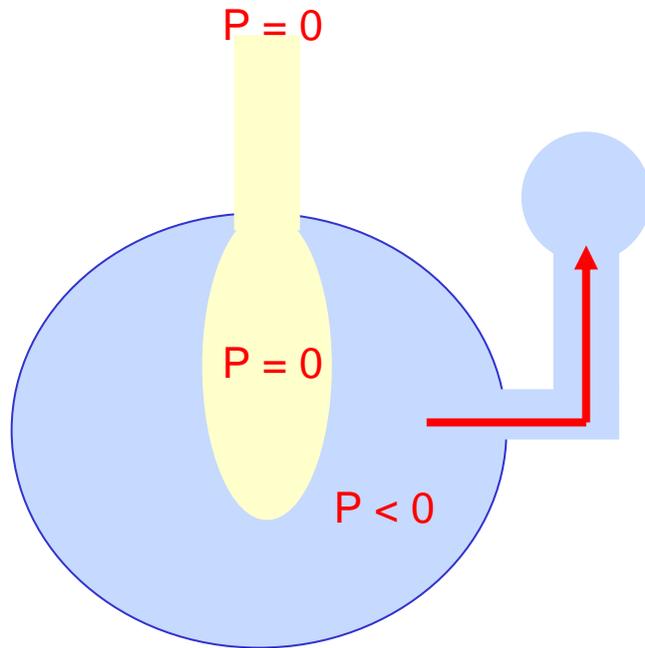
Il polmone non è dotato di strutture di sostegno o muscolari, ma è adeso alla gabbia toracica attraverso la pleura (parietale e viscerale).

Le variazioni di volume del polmone dipendono dai movimenti della gabbia toracica.

## Modello per spiegare l'esistenza di una $P$ negativa nello spazio pleurico

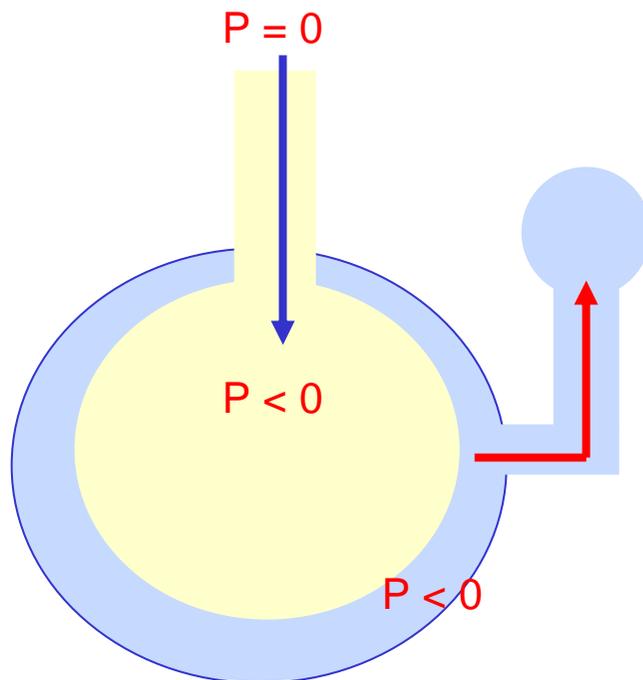


A pompa ferma esiste un equilibrio tra  $P$  esterna,  $P$  intrapalloncino e  $P$  nel contenitore

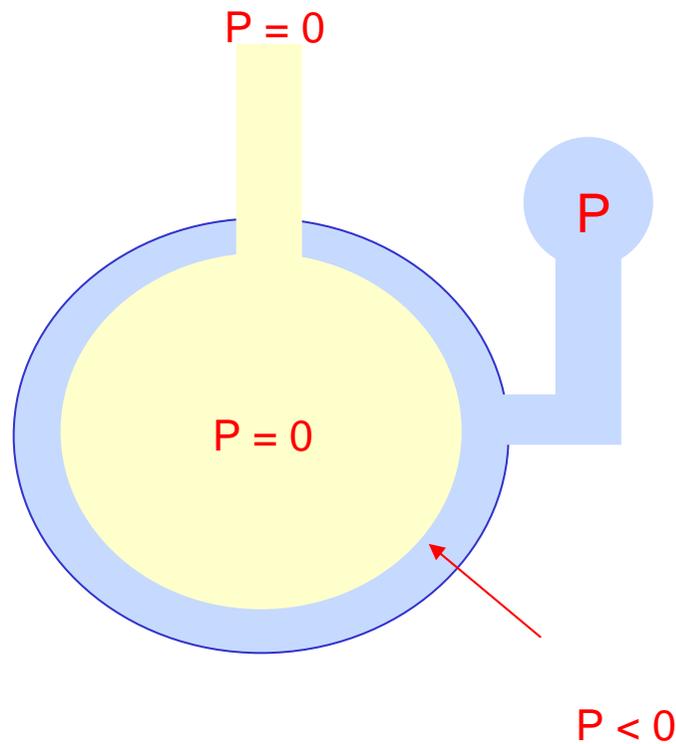


La pompa aspira liquido:

- La  $P$  del contenitore diventa  $< 0$
- Si crea una differenza di  $P$  tra l'interno e l'esterno del palloncino (pressione trasmurale positiva) che determina espansione del palloncino



L'aumento del volume del palloncino determina diminuzione della  $P$  al suo interno, il palloncino si riempie di aria grazie al gradiente di  $P$  tra esterno ed interno



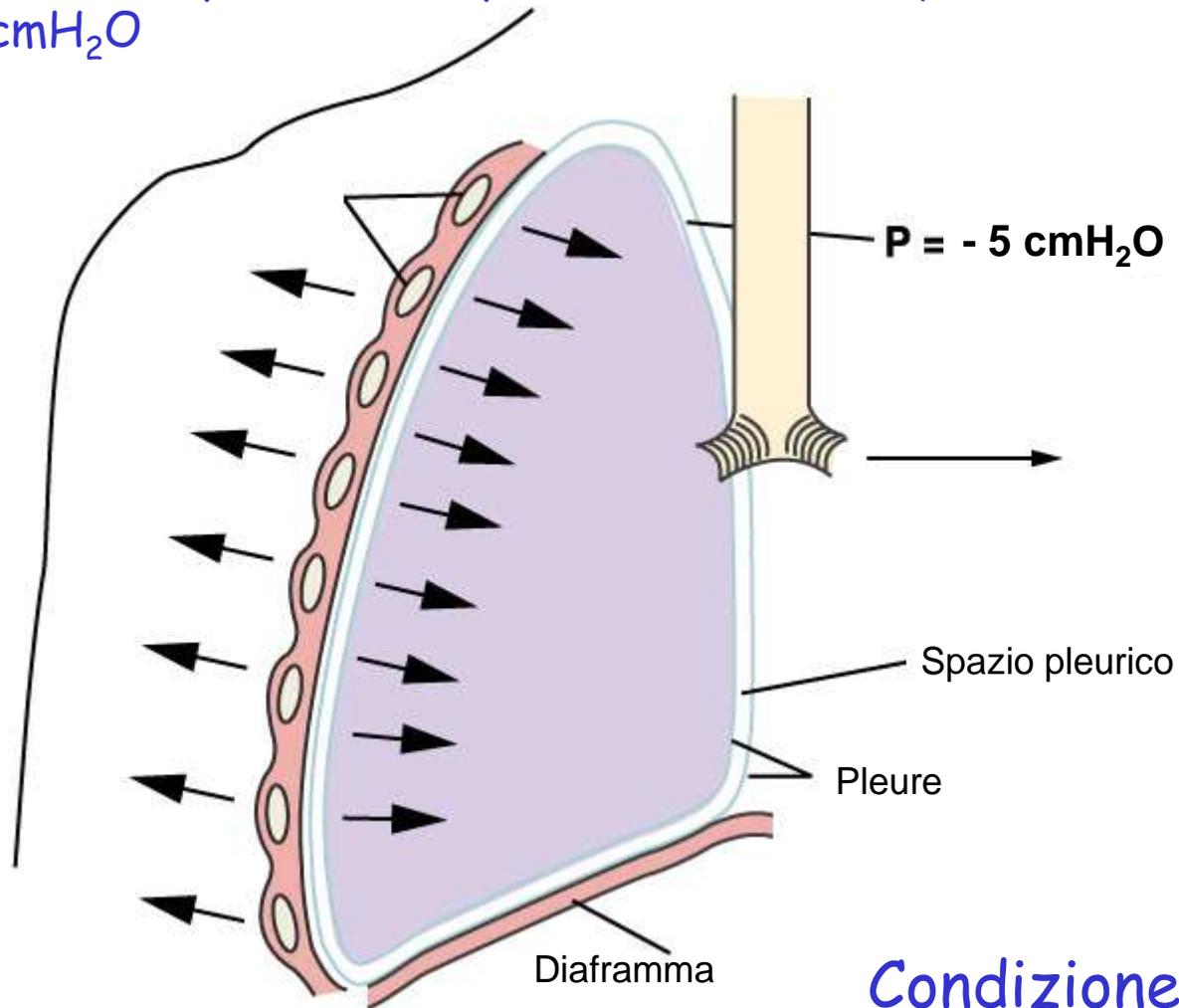
### Condizione finale:

- il volume del palloncino è quasi uguale a quello del contenitore
- $P$  all'interno del palloncino =  $P$  atmosferica
- $P$  intercapedine è negativa ed è espressione della tendenza del palloncino a tornare alla situazione di equilibrio, sgonfiandosi.

Il **polmone** (struttura elastica) è adeso alla **gabbia toracica** grazie alle pleure. Non è mai in equilibrio elastico, ed è quindi sottoposto continuamente ad una forza di retrazione, espressa dalla negatività dello spazio pleurico. L'adesione tra polmone e gabbia toracica è mantenuta dalla continua aspirazione del liquido pleurico da parte dei linfatici, che impedendo lo scollamento del polmone dalla parete toracica, contribuisce al mantenimento della negatività endopleurica

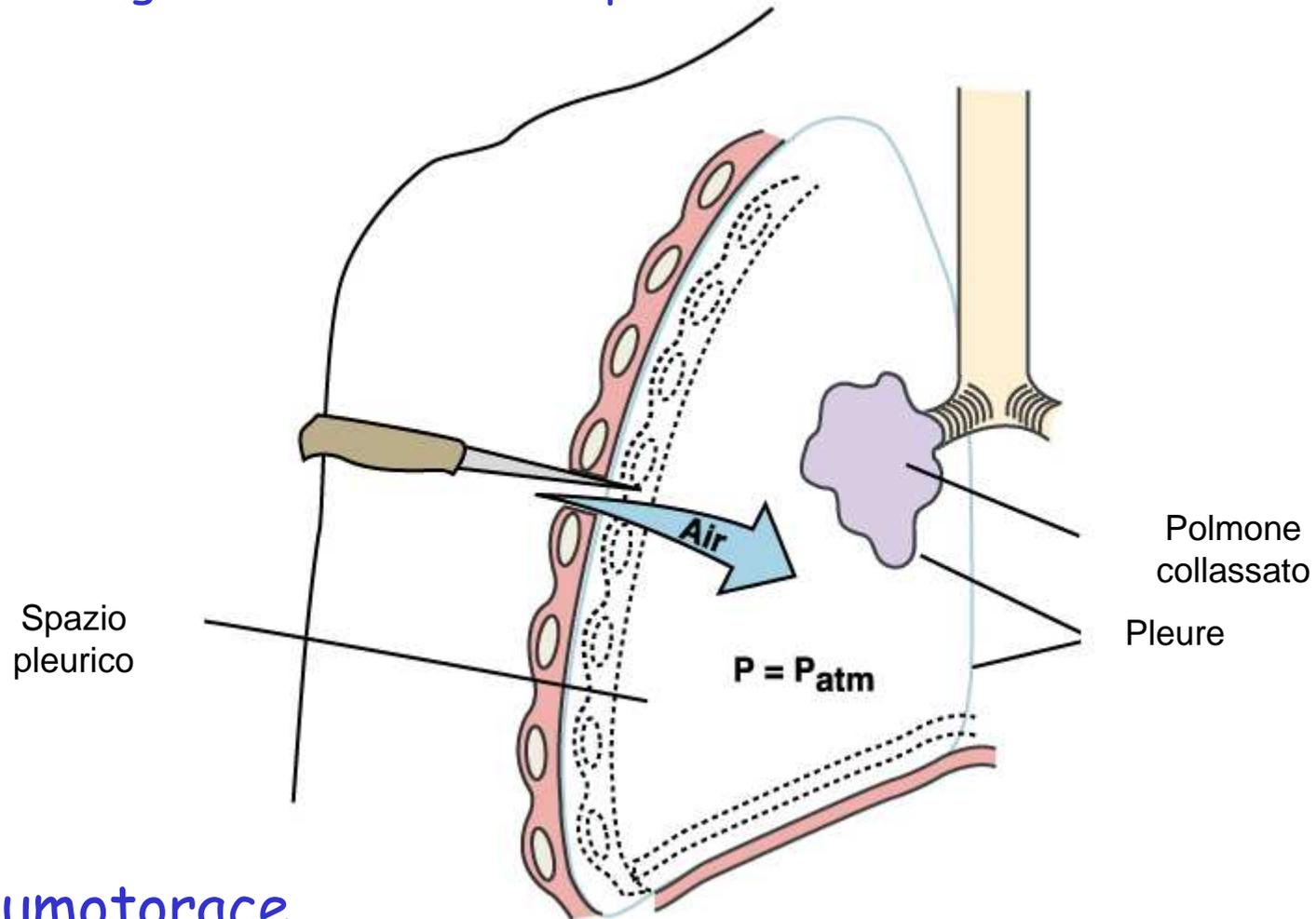
Anche la gabbia toracica è una struttura elastica, con una tendenza continua all'espansione. In condizioni di riposo (fine espirazione tranquilla) la forza di retrazione elastica del polmone è perfettamente controbilanciata da quella della gabbia toracica.

Il sistema toraco-polmonare è perfettamente in equilibrio, la P endopleurica è circa  $-5 \text{ cmH}_2\text{O}$



Condizione di riposo

L'esistenza di forze elastiche uguali e contrarie è dimostrato dal fatto che quando entra aria nello spazio pleurico (pneumotorace), il polmone collassa e la gabbia toracica si espande.



Pneumotorace

L'espansione del polmone durante l'atto respiratorio avviene come conseguenza dell'aumento di volume della gabbia toracica ottenuto con la contrazione dei muscoli respiratori, che compiono un lavoro per vincere le forze di retrazione elastica del polmone.

Contrazione muscoli inspiratori



+ Volume cavità toracica



+ negatività  $P_{ep}$



+  $P_{tp}$



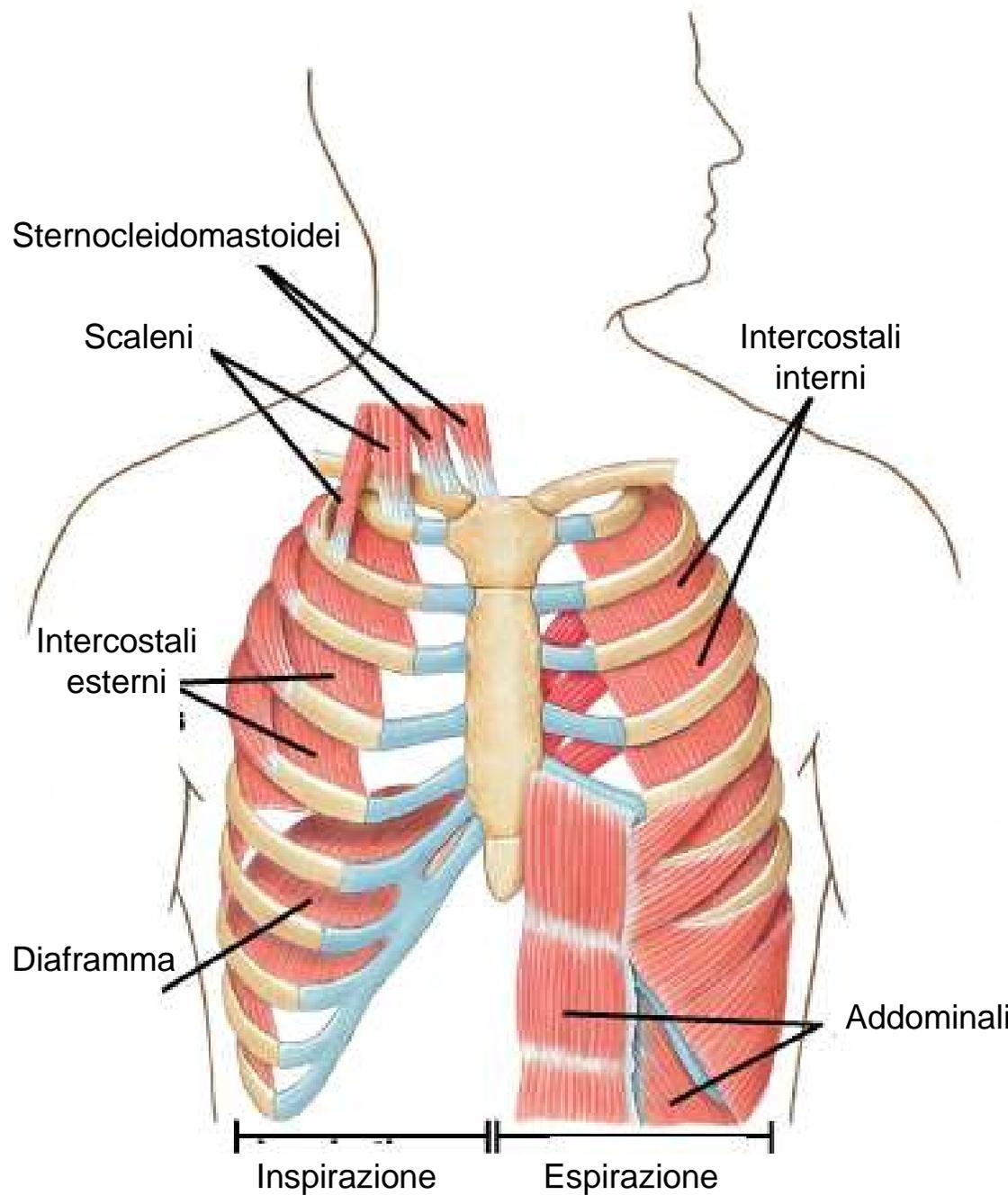
+ Volume polmoni



-  $P_a$



Aria entra nei polmoni finchè  $P_a = P_{atm}$



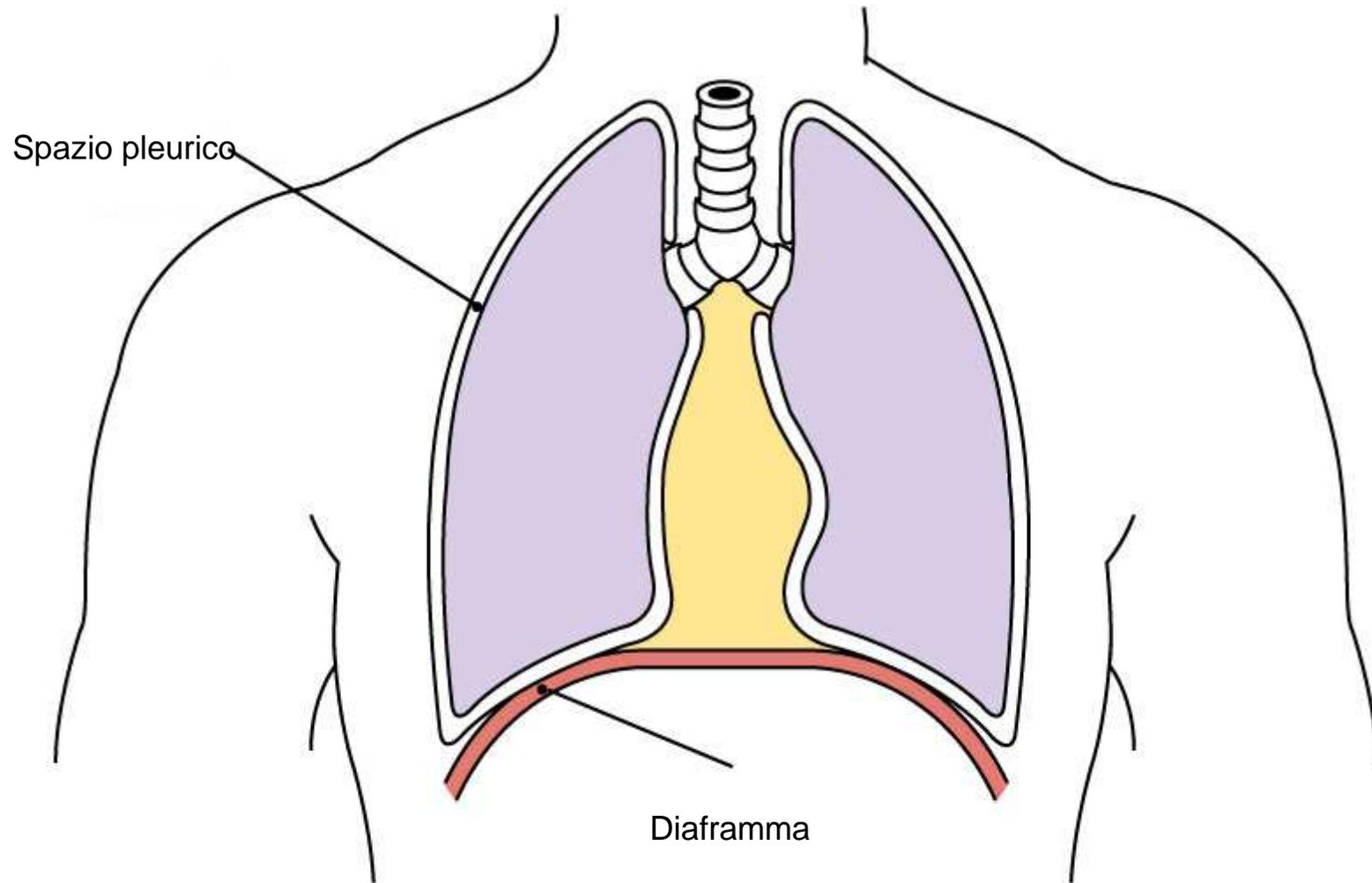
## Muscoli respiratori

### Inspiratori:

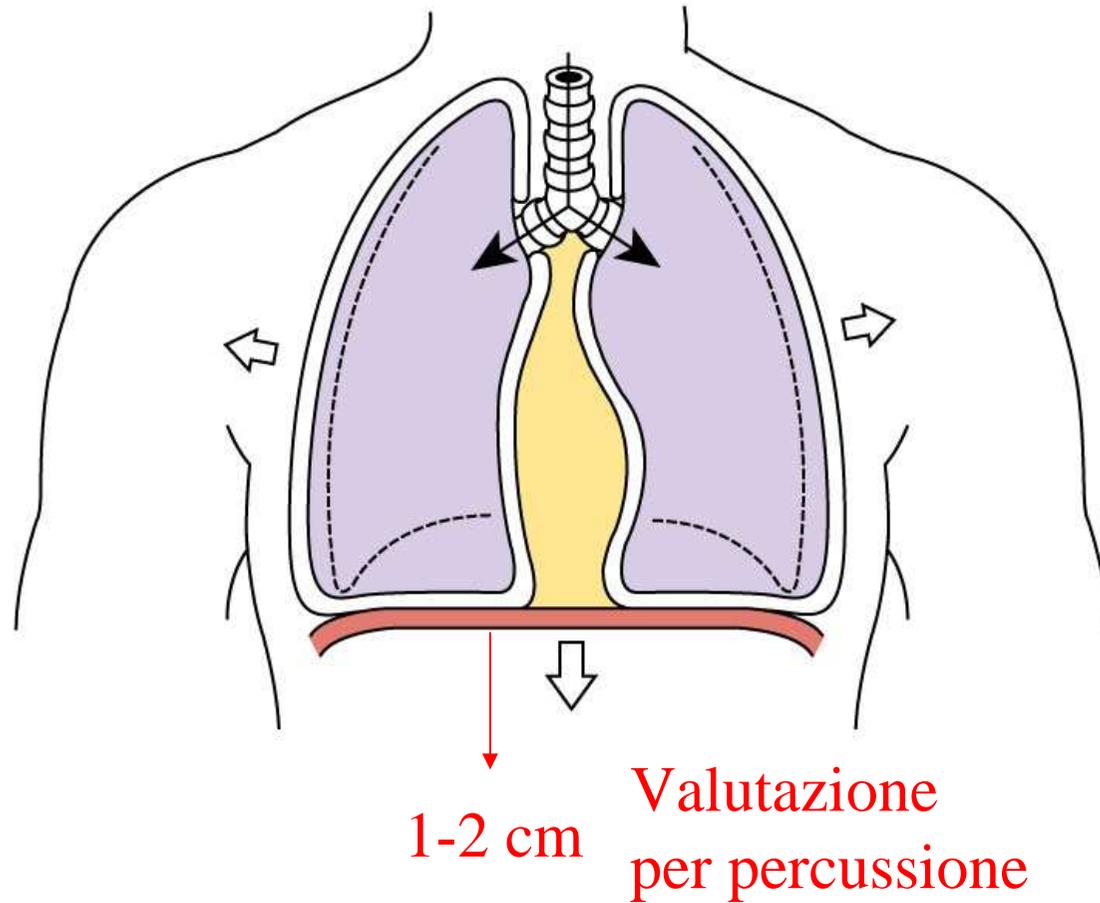
Diaframma  
 Intercostali esterni  
 Sternocleidomastoidei  
 Scaleni

### Espiratori:

Intercostali interni  
 Addominali

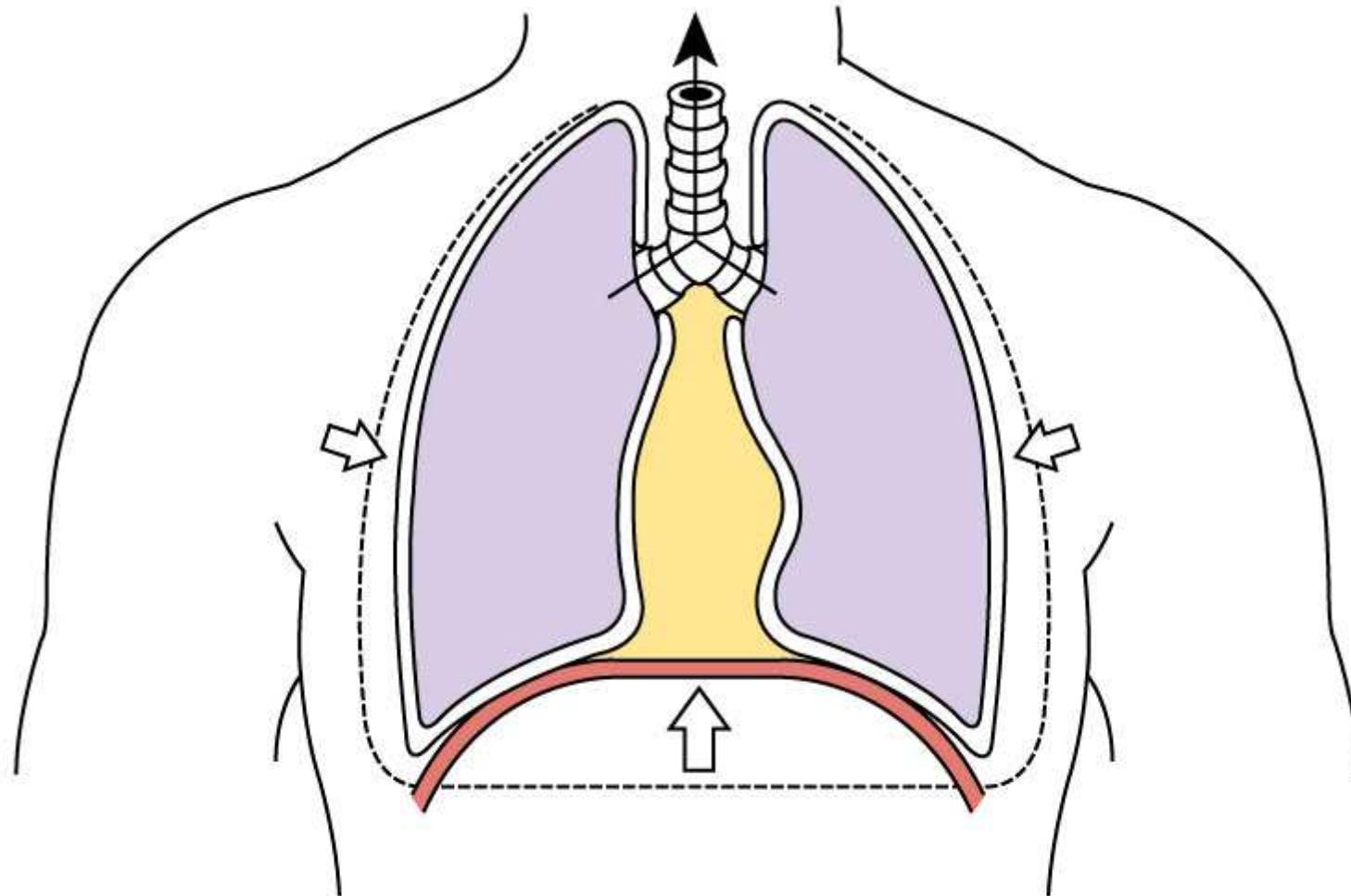


A riposo il diaframma è rilassato



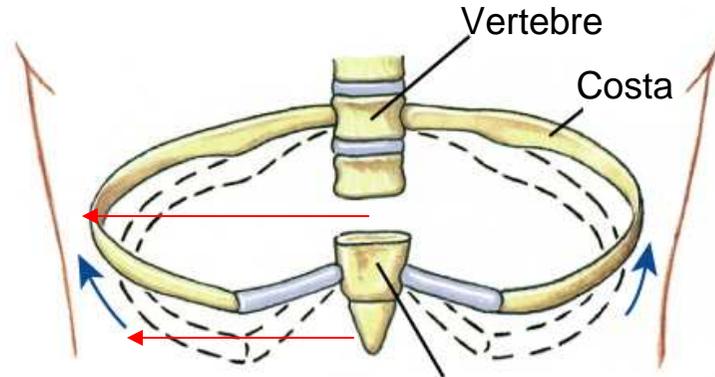
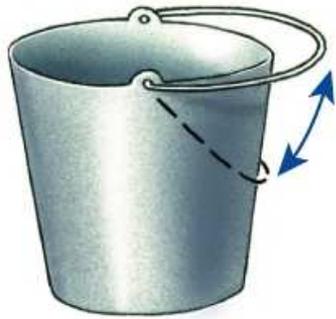
Il diaframma, innervato dal nervo frenico (C3-C5) si contrae, il volume della gabbia toracica aumenta per aumenti dei diametri cranio-caudale e trasverso.

Responsabile per 2/3 dell'aumento di volume polmonare

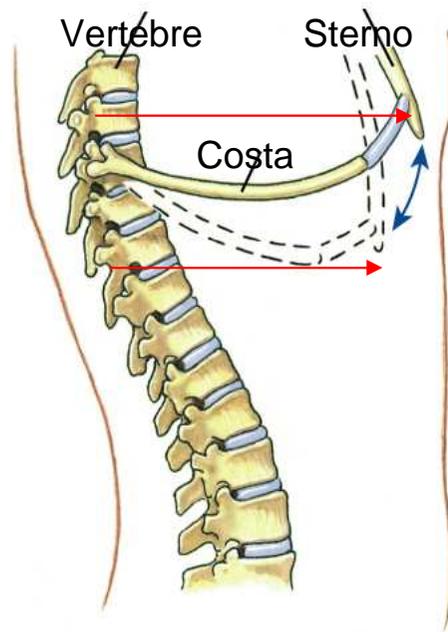
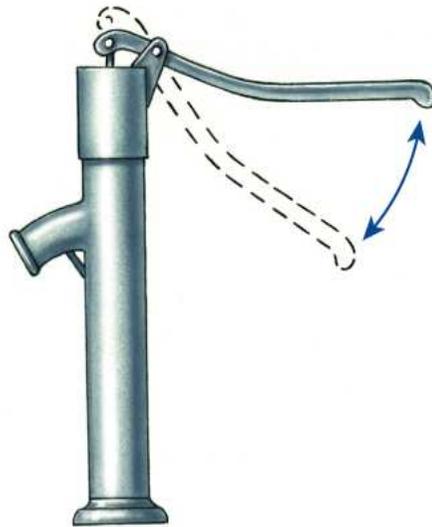


Il diaframma si rilascia, il volume della gabbia toracica diminuisce.

L'espiazione in condizioni di riposo non necessita di contrazione muscolare. In seguito al rilasciamento dei ms inspiratori le forze di retrazione del polmone garantiscono il ritorno ai volumi di partenza



**Muscoli intercostali esterni** disposti obliquamente dall'alto in basso e in avanti, determinano innalzamento delle coste. Le coste superiorivengono insieme sollevate dai muscoli scaleni



Movimento tipo leva di 3° tipo: potenza (muscoli) resistenza distribuita sulla parete anteriore della costa, fulcro (articolazione costo vertebrale).

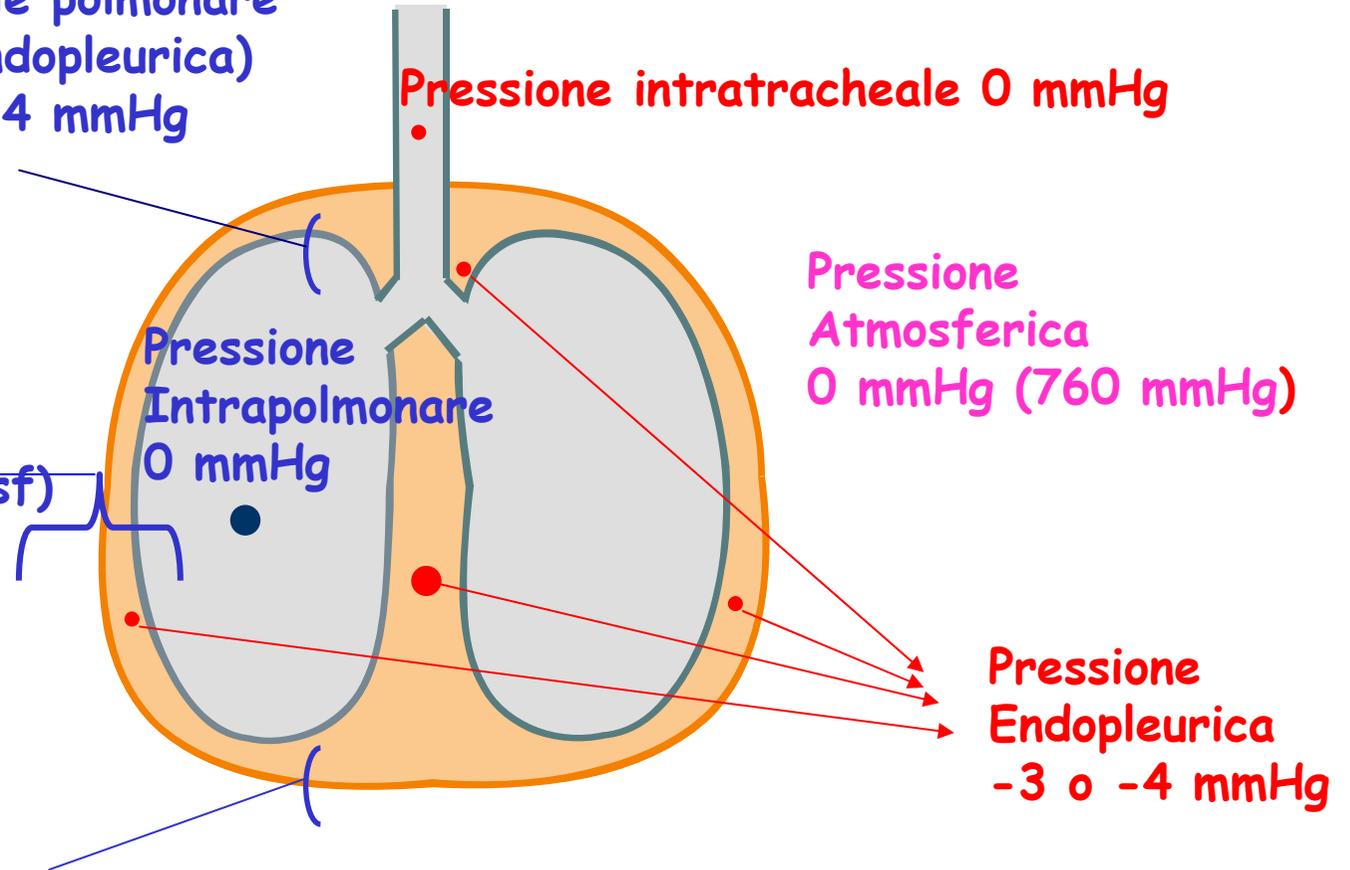
Aumenta il diametro antero-posteriore e trasverso della gabbia toracica

# Pressioni nell'apparato respiratorio

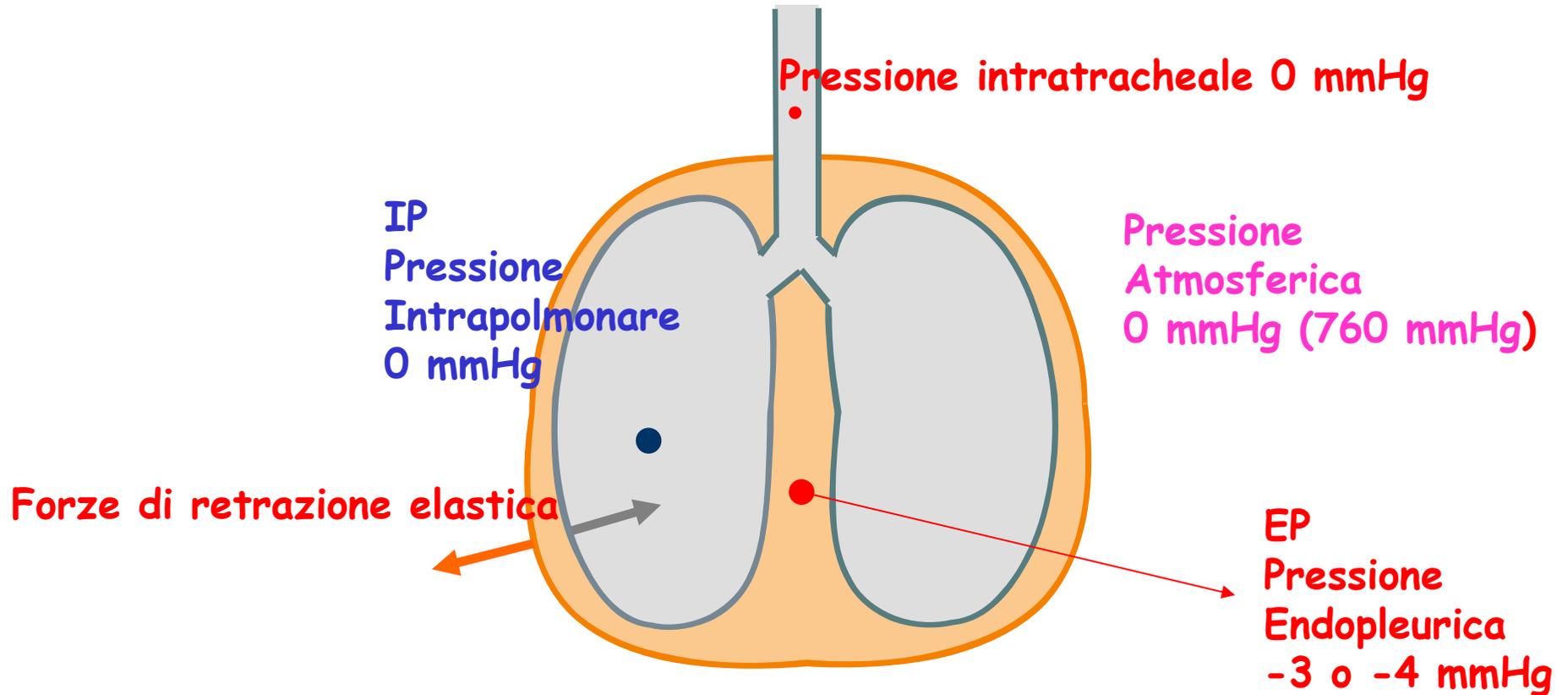
Pressione trasmurale polmonare  
(intrapolmonare - endopleurica)  
 $0 - (-3 \text{ o } -4) = 3 \text{ o } 4 \text{ mmHg}$

Pressione trasmurale  
(intrapolmonare - atmosf)  
 $0 - 0 = 0$

Pressione trasmurale toracica  
(endopleurica - atmosferica)  
 $-3 \text{ o } -4 \text{ mmHg} - 0 = -3 \text{ o } -4 \text{ mmHg}$



# Pressioni nell'apparato respiratorio



All'equilibrio (termine dell'espirazione) la pressione endopleurica è Negativa per forze di retrazione elastica del polmone e del torace di uguale entità e direzione opposta.

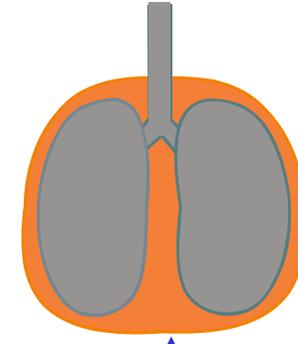
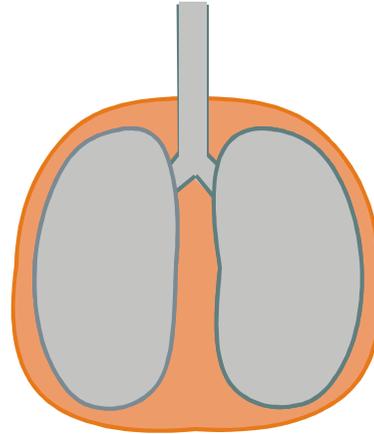
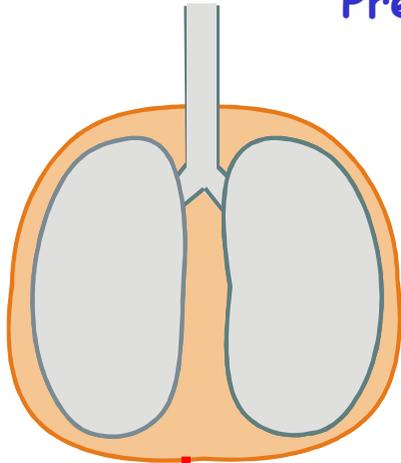
La pressione intrapulmonare è zero perché in connessione con l'esterno

**Inspirazione**

**Riposo**

**Espirazione**

**Pressioni nell'inspirazione ed espirazione**

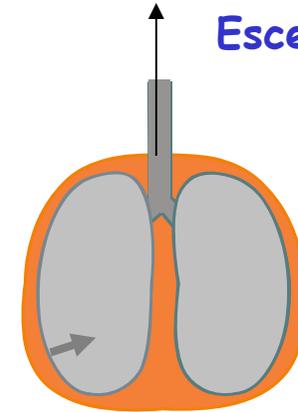
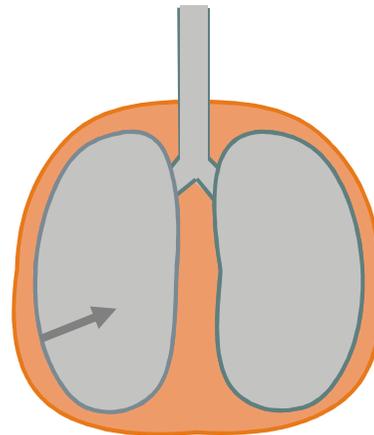
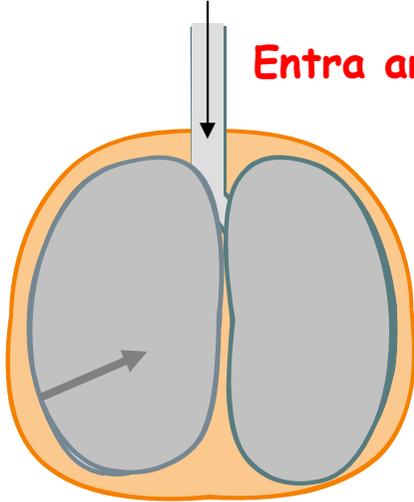


**Depressione 1° EP 2° IP**

**Aumento pressione 1° EP 2° IP**

**Entra aria**

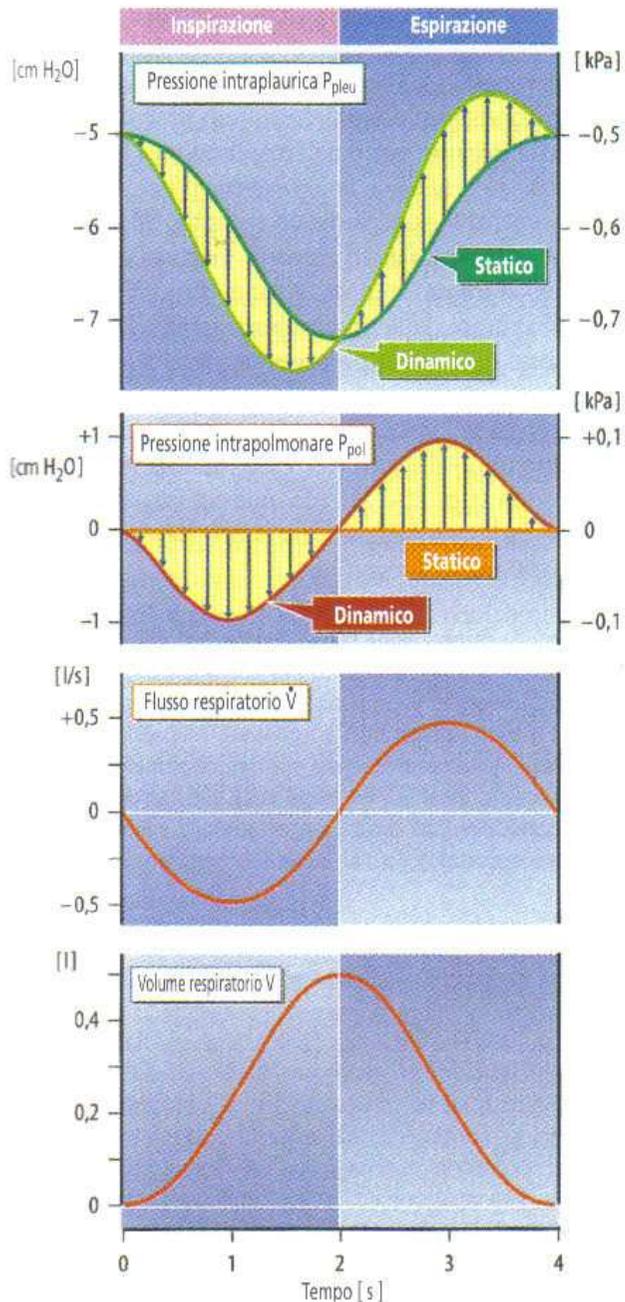
**Esce aria**



**Pressione IP = 0, EP più negativa**

**Pressione IP = 0, EP meno negativa**

# Andamento temporale delle pressioni e dei volumi respiratori

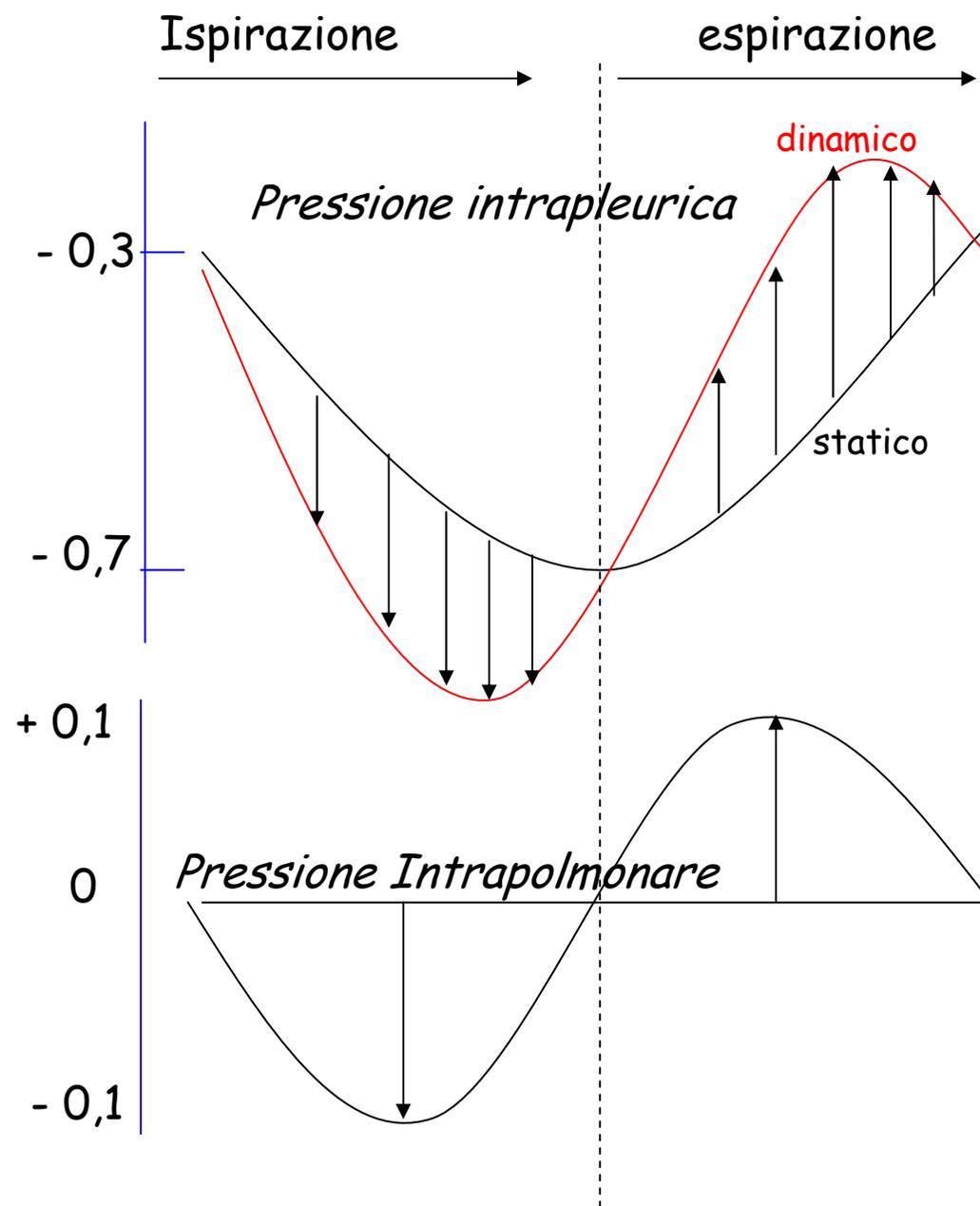


Pressione endopleurica

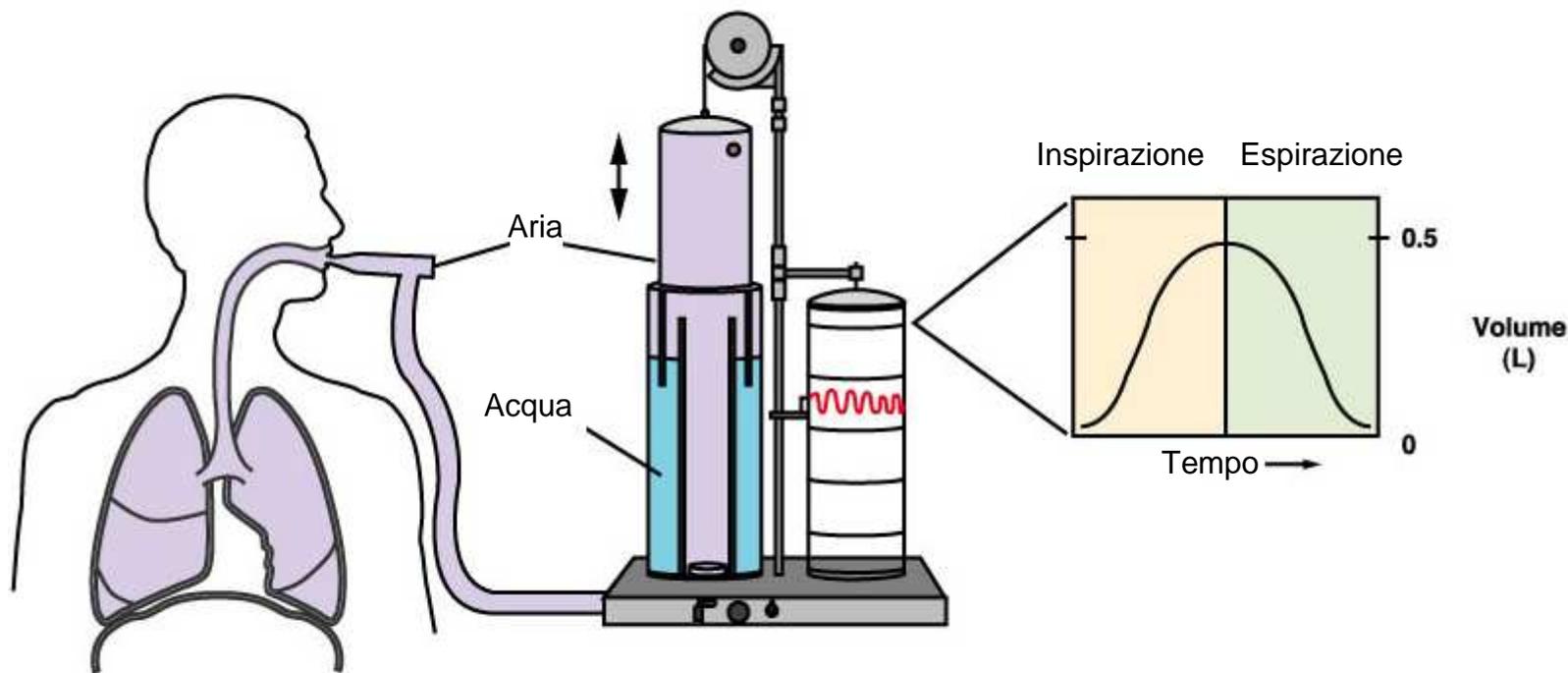
Pressione intrapolmonare

Velocità di flusso

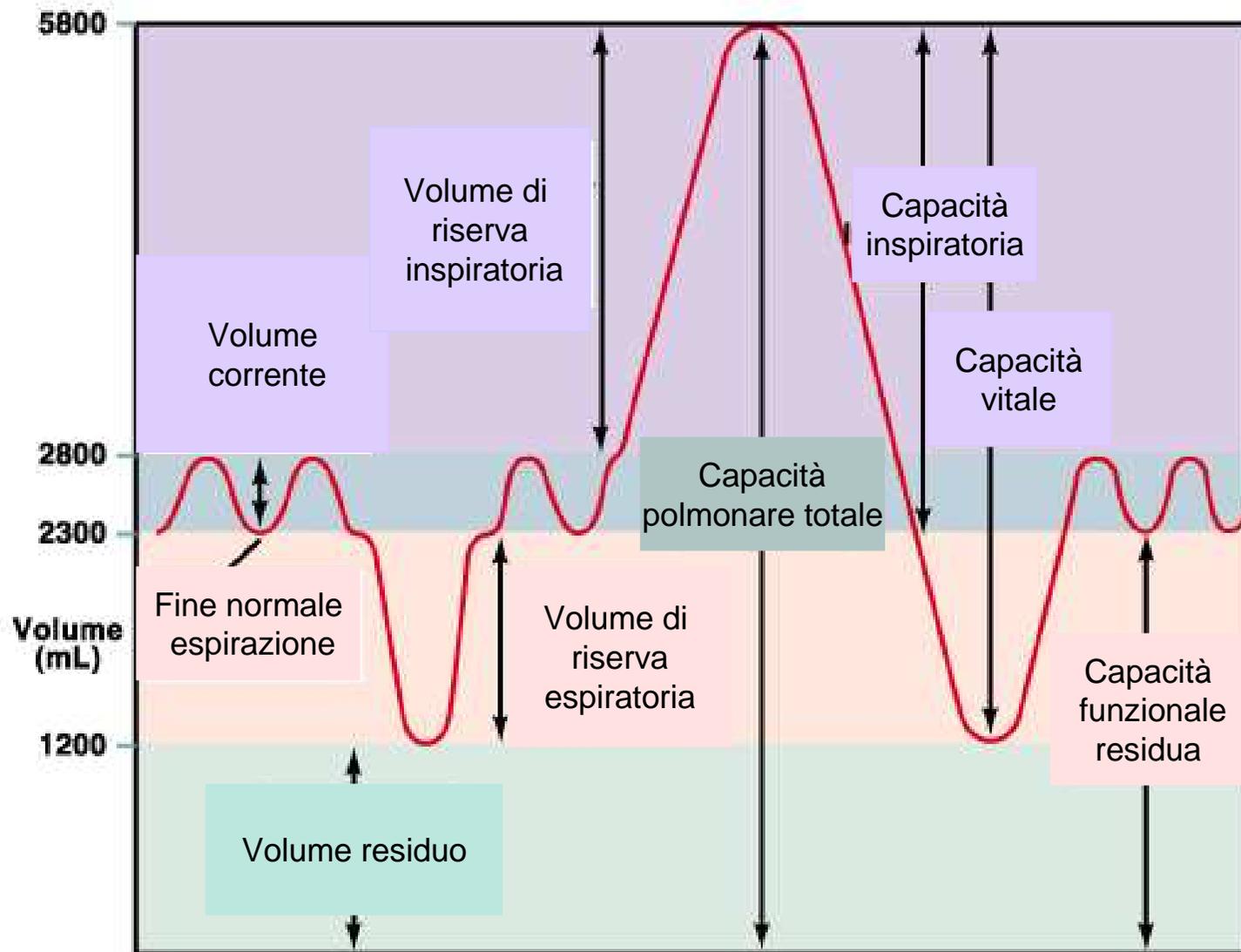
Volume respiratorio

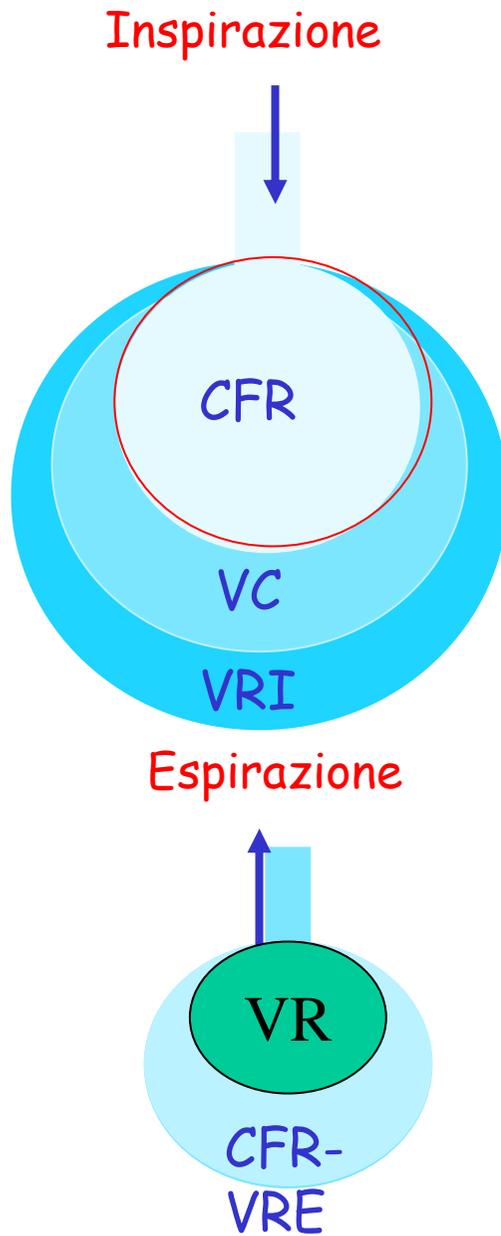


**Spirometria:** Le variazioni di volume polmonare durante gli atti respiratori provocano corrispondenti variazioni di volume nello spirometro, con movimenti della campana, che possono essere registrati su carta (spirogramma)



Tecnica attuale con una farfalla che ruota al passaggio dell'aria e vengono contati I giri





**VC = Volume corrente**, Volume inspirato ed espirato in condizioni normali (500 ml)

**VRI = Volume di riserva inspiratoria**, volume massimo che può essere inspirato oltre un'inspirazione normale (3000 ml)

**VRE = Volume di riserva espiratoria**, volume massimo che può essere espirato oltre un'espirazione normale (1100 ml)

**VR = Volume residuo**, volume che rimane nel polmone alla fine di un'espirazione massima (1200 ml)

**CFR = Capacità funzionale residua**, volume presente nei polmoni alla fine di un'espirazione normale (VRE+VR)

**CI = Capacità inspiratoria**, volume massimo che può essere inspirato a partire dalla fine di un'espirazione normale (VC+VRI)

**CPT = Capacità polmonare totale**, volume presente nei polmoni alla fine di un'inspirazione massima

**CV = Capacità vitale**, volume massimo che può essere inspirato ed espirato (VC+VRI+VRE)