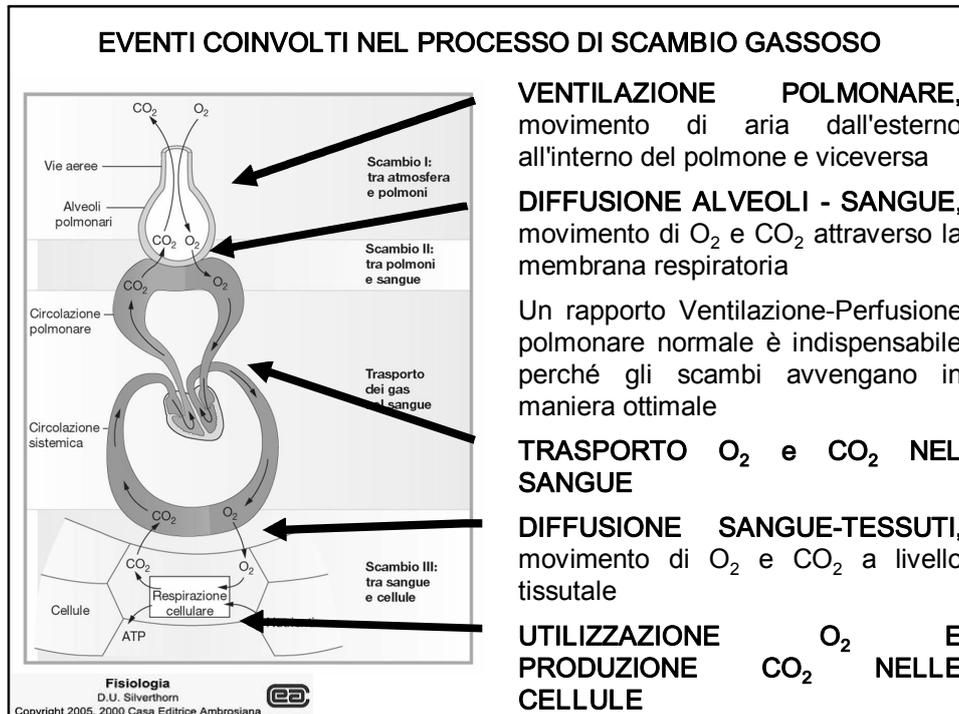


## Funzioni della respirazione:

- ✓ Fornire ossigeno ai tessuti
- ✓ Eliminare dall'organismo l'anidride carbonica, che si forma nei tessuti in seguito al metabolismo



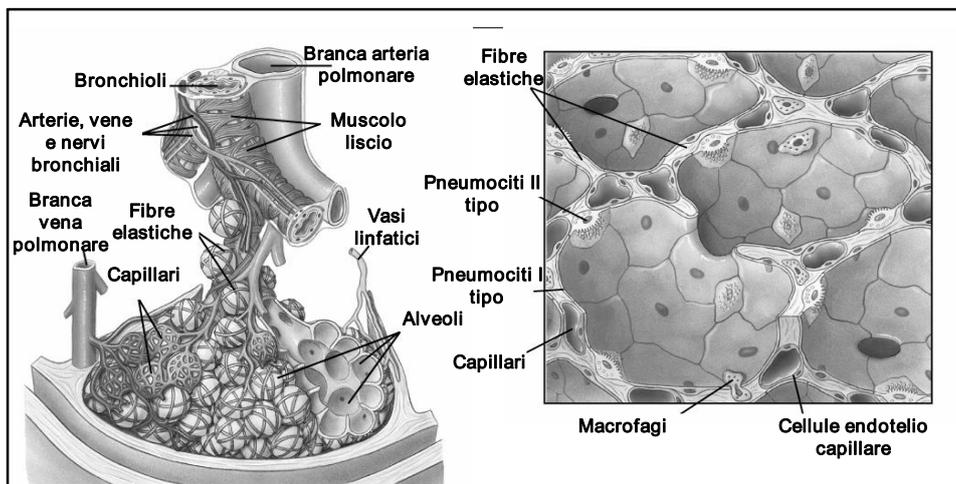
## FENOMENI ASSOCIATI

### ➤ MECCANICA RESPIRATORIA

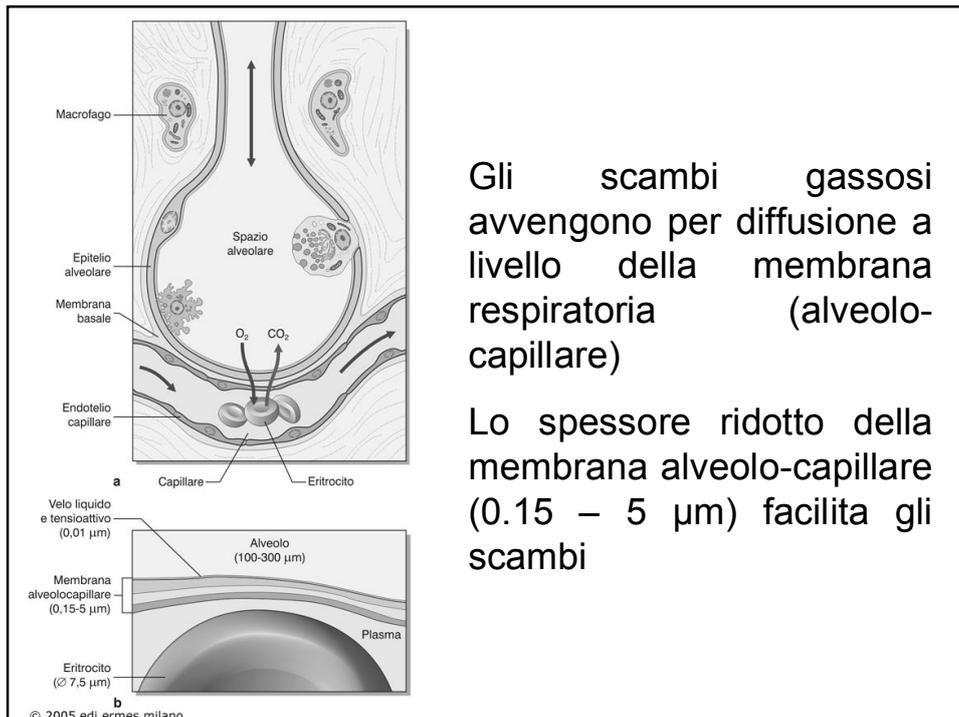
Forze implicate nel mantenere in posizione il polmone e la gabbia toracica e nel determinarne il movimento durante l'atto respiratorio

### ➤ CONTROLLO DELLA VENTILAZIONE

Meccanismi che regolano la funzione degli scambi gassosi nel polmone

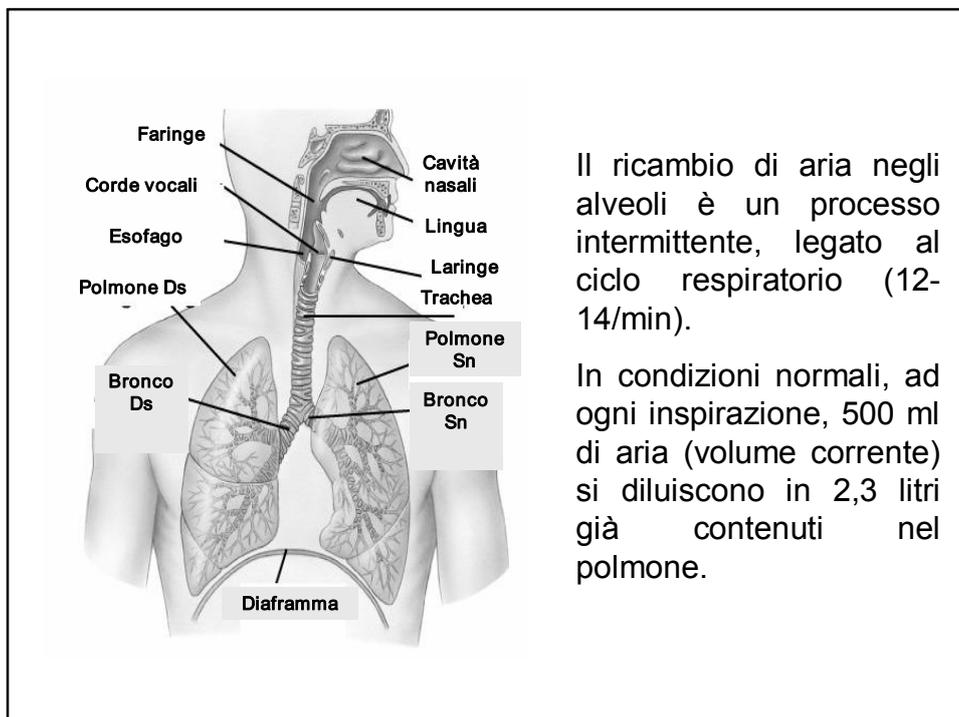


Lo scambio dei gas respiratori avviene a livello dell'unità alveolo-capillare. Gli alveoli sono circa  $300 \cdot 10^6$  e formano una superficie di scambio totale di circa  $140 \text{ m}^2$ . Sono composti di pneumociti di I tipo, per gli scambi gassosi, e pneumociti di II tipo, che sintetizzano surfattante.



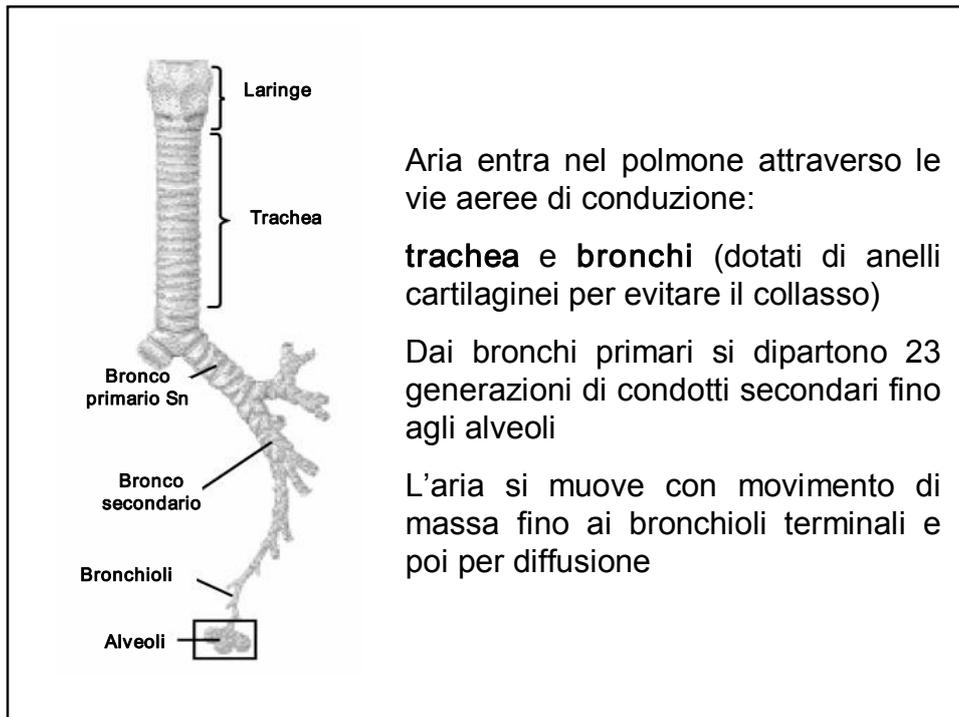
Gli scambi gassosi avvengono per diffusione a livello della membrana respiratoria (alveolo-capillare)

Lo spessore ridotto della membrana alveolo-capillare (0.15 – 5 µm) facilita gli scambi



Il ricambio di aria negli alveoli è un processo intermittente, legato al ciclo respiratorio (12-14/min).

In condizioni normali, ad ogni inspirazione, 500 ml di aria (volume corrente) si diluiscono in 2,3 litri già contenuti nel polmone.

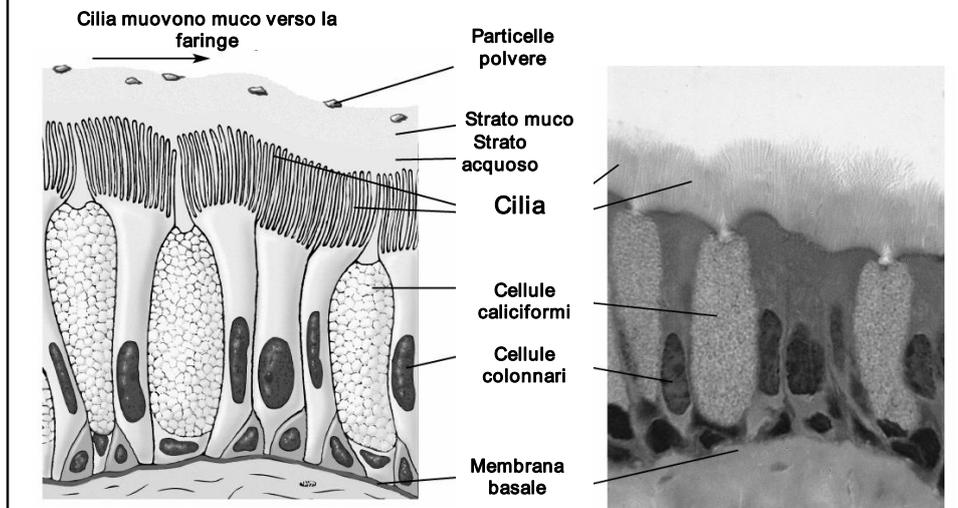


		Generazione	Calibro (cm)	Lunghezza (cm)	Numero	Sezione trasversa totale (cm <sup>2</sup> )	
Zona di conduzione	Trachea	0	1,80	12,0	1	2,54	
	Bronchi	1	1,22	4,8	2	2,33	
		2	0,83	1,9	4	2,13	
		3	0,56	0,8	8	2,00	
	Bronchioli	4	0,45	1,3	16	2,48	
Zona di transizione e respiratoria	Bronchioli terminali	5	0,35	1,07	32	3,11	
		16	0,06	0,17	6×10 <sup>4</sup>	180,0	
	Bronchioli respiratori	17	↓	↓	↓	↓	
		18	↓	↓	↓	↓	
		19	0,05	0,10	5×10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup>	
	Dotti alveolari	T <sub>3</sub>	↓	↓	↓	↓	
		T <sub>2</sub>	↓	↓	↓	↓	
		T <sub>1</sub>	↓	↓	↓	↓	
	Sacchi alveolari	T	23	0,04	0,05	8×10 <sup>6</sup>	10 <sup>4</sup>

© 2005 ed.ermes milano

Le 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 totale delle vie aeree poste in parallelo comporta una progressiva riduzione della velocità dell'aria

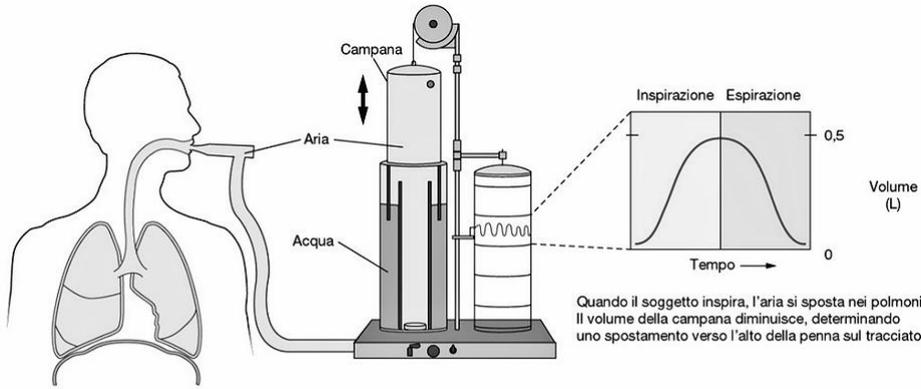
A livello delle vie aeree di conduzione l'aria viene preriscaldata, umidificata (per contatto con il secreto che bagna la mucosa) e depurata (muco trattiene la polvere che viene eliminata attraverso il meccanismo di scala mobile mucociliare)



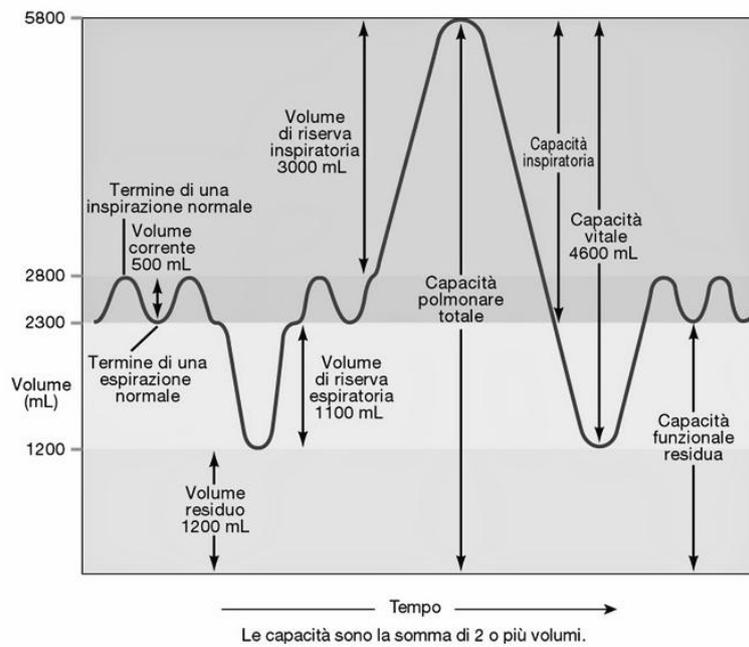
### Modificazione calibro vie aeree

- Sistema nervoso parasimpatico (vago, Ach su recettori M3):  
Broncocostrizione (riflessi attivati da agenti irritanti, stimoli meccanici, CO<sub>2</sub>)
- Adrenalina circolante (su recettori β<sub>2</sub>)  
Broncodilatazione
- Sistema nervoso simpatico (NA su recettori α)  
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

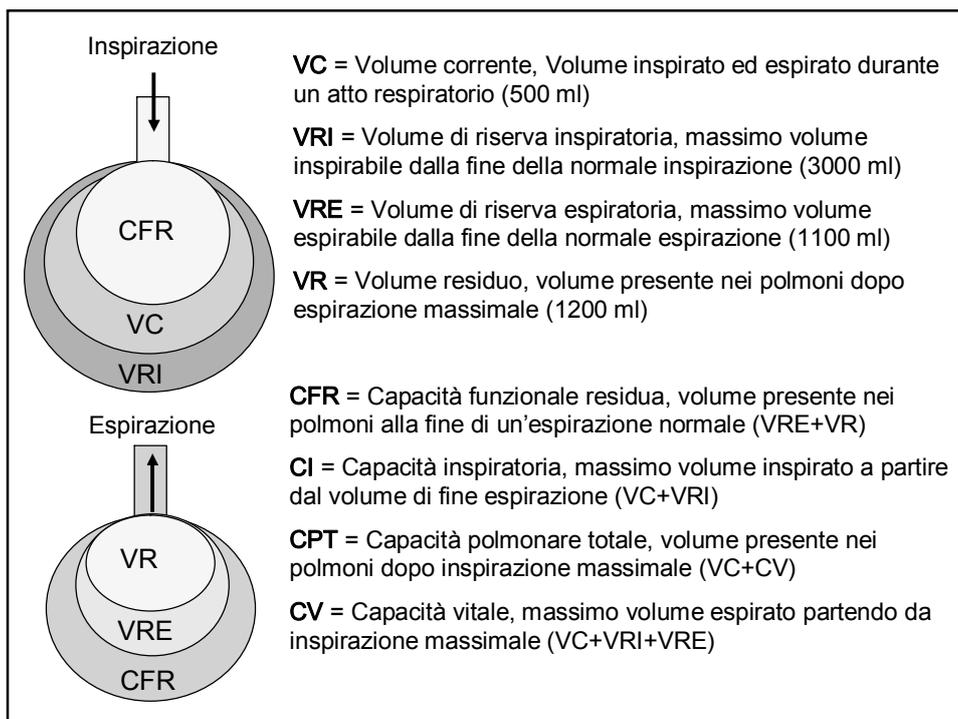
**Spirometria:** Permette la misura diretta dei volumi respiratori. Le variazioni di volume polmonare durante gli atti respiratori provocano corrispondenti variazioni di volume nello spirometro, con movimenti della campana, che possono essere registrati su carta (spirogramma)



Fisiologia  
D.U. Silverthorn  
Copyright 2005, 2000 Casa Editrice Ambrosiana



Fisiologia  
D.U. Silverthorn  
Copyright 2005, 2000 Casa Editrice Ambrosiana



La **CFR** non può essere misurata direttamente con la spirometria, perchè non è possibile valutare il **VR** (volume di aria che non può essere espulso dal polmone).

Si usano metodi indiretti come il **metodo della diluizione dell'elio**.

- Si riempie uno spirometro con un volume noto di una miscela di aria ed elio a concentrazione conosciuta.  $Q_{E1} = C_1 \times V_1$   $V_1$  = volume dello spirometro
- Dopo un'espirazione normale il soggetto viene collegato allo spirometro e comincia a respirare la miscela che si mescola con l'aria rimasta nel polmone (CFR)
- L'elio si diluisce nella CFR, la quale può essere valutata dal grado di diluizione dell'elio. Infatti:

$$Q_{E2} = C_2 \times V_2 \text{ dove } V_2 = V_1 + \text{CFR}$$

$$\text{Essendo all'equilibrio } Q_{E1} = Q_{E2}$$

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times (V_1 + \text{CFR})$$

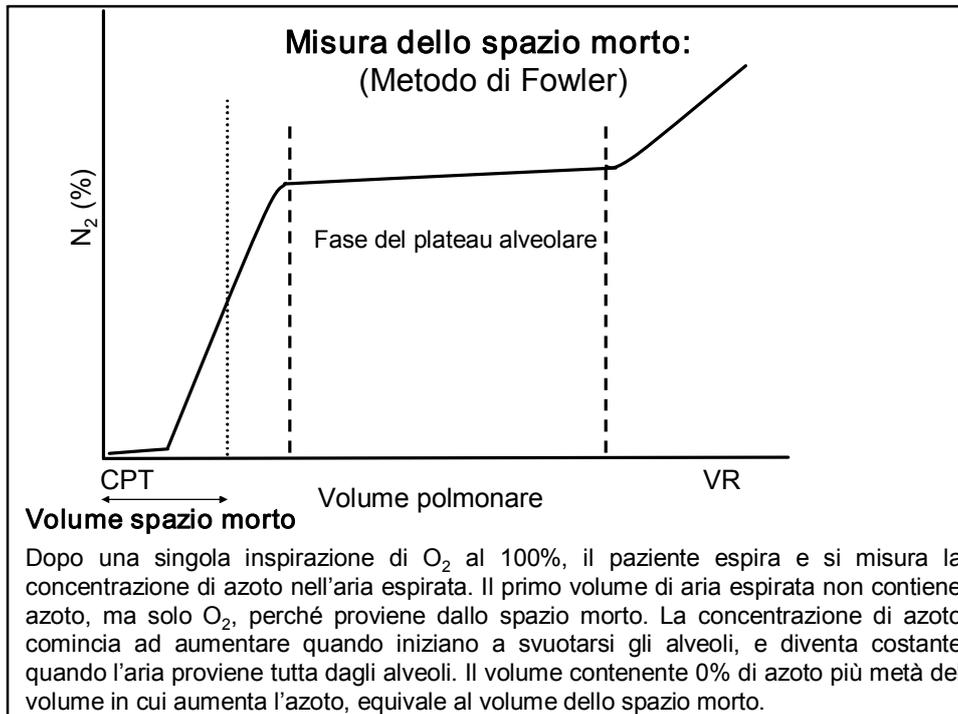
$$\text{CFR} = (C_1/C_2 - 1) \cdot V_1$$

**Il VR si può calcolare come CFR-VRE**

Il volume di aria inspirata che non raggiunge gli alveoli ma rimane nelle vie aeree di conduzione è definito **SPAZIO MORTO ANATOMICO** ed è nell'adulto circa 150 ml.

Si definisce **SPAZIO MORTO FISIOLÓGICO** l'insieme dello spazio morto anatomico e degli spazi alveolari che, per problemi di perfusione, non partecipano agli scambi.

Nel polmone normale il numero degli alveoli in cui gli scambi non avvengono è molto ridotto, quindi lo **spazio morto fisiologico**, in un soggetto sano, corrisponde allo **spazio morto anatomico**.



## Esempio di misurazione dello spazio morto

Un paziente collegato ad uno spirometro respira un volume corrente di 500 ml ad una frequenza di 12 respiri/min. Alla fine di una espirazione completa si sostituisce al gas inspirato ossigeno puro e si misura continuamente la concentrazione di azoto durante la successiva espirazione.

La concentrazione di azoto è 0 nei primi 130 ml e poi aumenta del 50% quando il gas emesso è 170 ml, rimanendo a questo livello per tutta la restante durata dell'espirazione.

**Volume dello spazio morto =  $130 + \frac{1}{2} (170-130) = 150$  ml.**

## MISURA DELLO SPAZIO MORTO

(Metodo di Bohr)

Il volume espirato  $V_E$  comprende aria dello spazio morto,  $V_D$  e dello spazio alveolare,  $V_A$   $V_E = V_D + V_A$

La quantità di  $CO_2$  espirata ( $V_E \times C_{CO_2E}$ ) = quantità di  $CO_2$  che proviene dallo spazio morto, ( $V_D \times C_{CO_2D}$  dove  $C_{CO_2D} = C_{CO_2I} = 0$ ) più la quantità di  $CO_2$  che proviene dagli alveoli ( $V_A \times C_{CO_2A}$ ).

$$V_E C_{CO_2E} = V_D C_{CO_2I} + V_A C_{CO_2A} \qquad V_E C_{CO_2E} = V_A C_{CO_2A}$$

$$V_E C_{CO_2E} = (V_E - V_D) C_{CO_2A}$$

La concentrazione è proporzionale alla pressione parziale del gas:

$$V_E P_{CO_2E} = P_{CO_2A} (V_E - V_D)$$

Poiché  $P_{CO_2A} = P_{CO_2a}$

$$\frac{V_D}{V_E} = 1 - \frac{P_{CO_2E}}{P_{CO_2atm}}$$

Il metodo di Fowler misura il volume delle vie aeree di conduzione fino al livello in cui il gas inspirato viene rapidamente diluito con il gas già presente nei polmoni. Misura quindi lo **SPAZIO MORTO ANATOMICO**

Il metodo di Bohr misura il volume polmonare che non elimina l'anidride carbonica, quindi misura lo **SPAZIO MORTO FISIOLÓGICO**

Nei soggetti normali lo spazio morto anatomico e fisiologico sono circa uguali.

Si definisce **volume minuto** o **ventilazione polmonare** il volume di aria in- ed espirato nell'unità di tempo.

$$V = V_c \cdot Fr$$

$V_c = 0.5 \text{ l}$ ,  $Fr = 14 \text{ respiri/min}$

$$V = 7 \text{ l/min}$$

Quella parte del volume minuto che ventila gli alveoli è detta **ventilazione alveolare**, il resto, **ventilazione dello spazio morto**.

$$V_A = (V_c - V_D) \cdot Fr$$

In condizioni normali  $V_D = 150 \text{ ml}$

$$V_A = (500 - 150) \cdot 14 = 4.9 \text{ l/min}$$

Il movimento di aria dall'esterno all'interno del polmone e viceversa, è assicurato da un gradiente pressorio tra l'esterno (**P atmosferica**) e l'interno del polmone (**P alveolare**).

- Se la P alveolare diminuisce, rispetto alla P atmosferica, si parla di ventilazione a P negativa (condizione naturale)
- Se la P atmosferica (pressione alla bocca) aumenta, rispetto alla P alveolare, si parla di ventilazione a P positiva (respiratori)

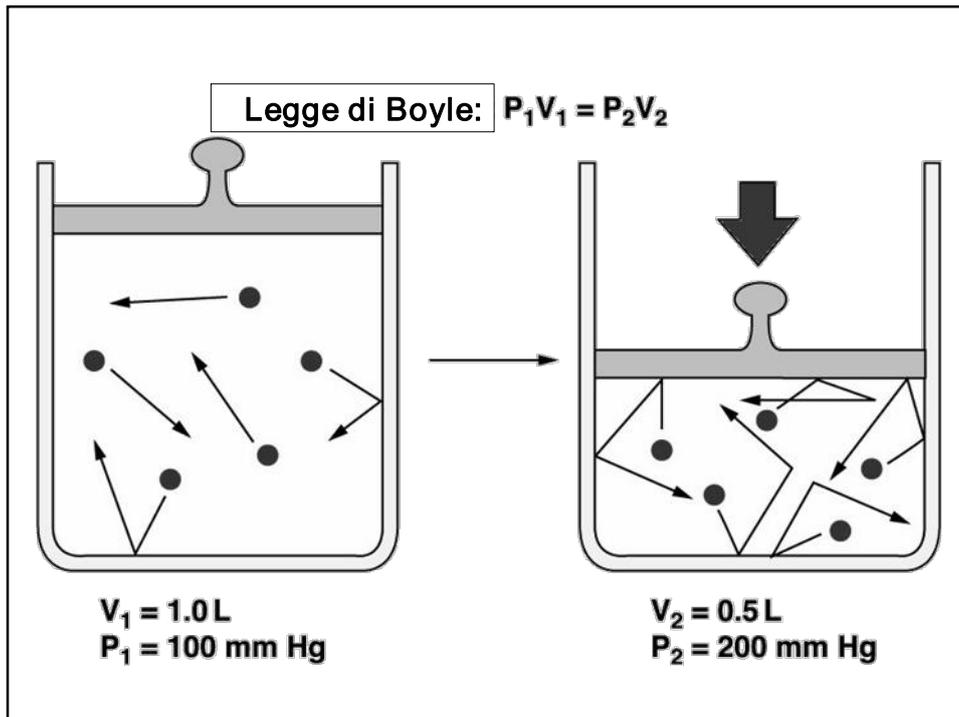
Per la Legge di Boyle

$$P \cdot V = K$$

la P alveolare si modifica se cambia il volume del polmone.

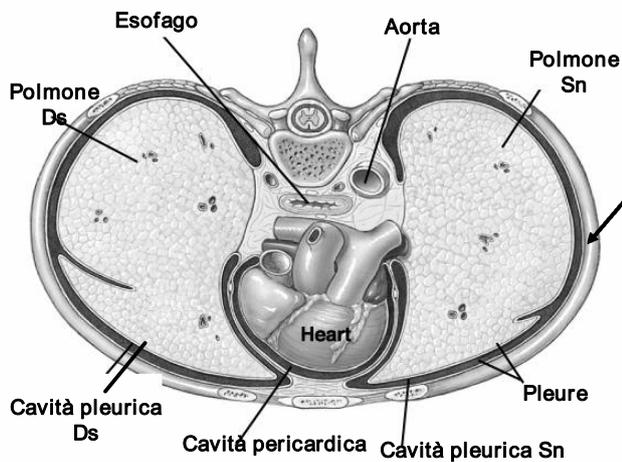
**Inspirazione:** ↑ volume del polmone ↓ P alveolare, aria entra.

**Espirazione:** ↓ volume del polmone, ↑ P alveolare, aria esce.



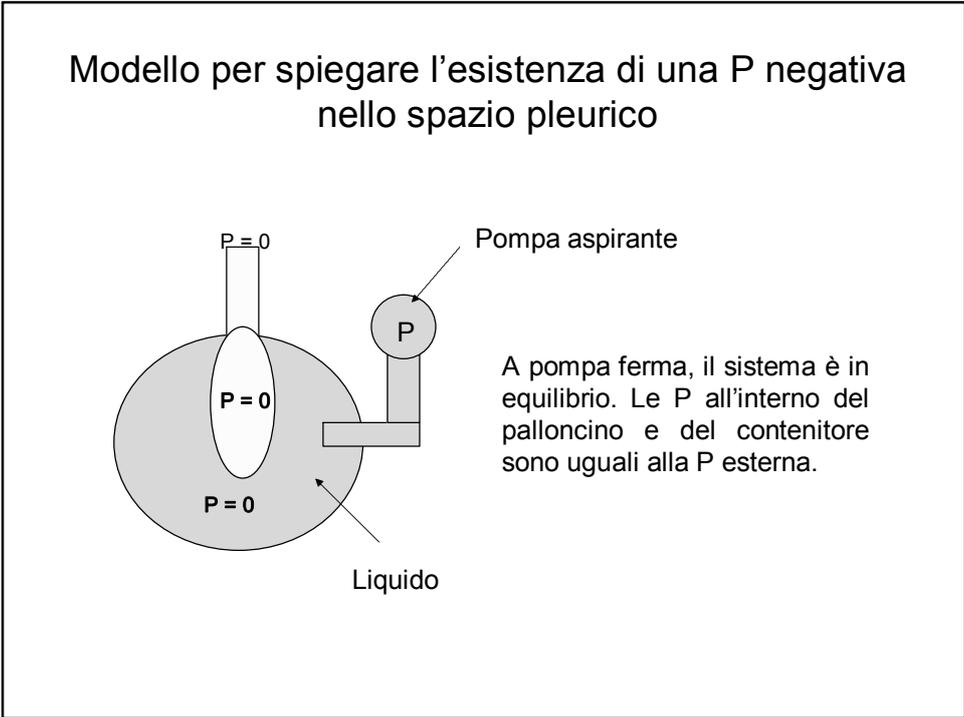
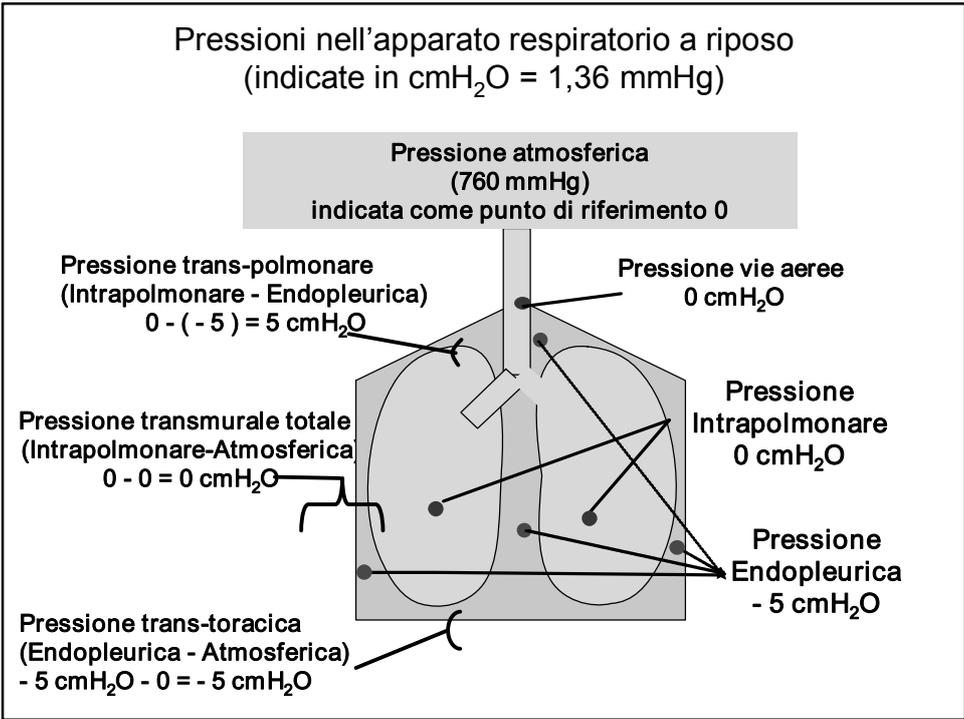
Il polmone è privo di strutture di sostegno o muscolari, ma è adeso alla gabbia toracica attraverso la pleura (parietale e viscerale).

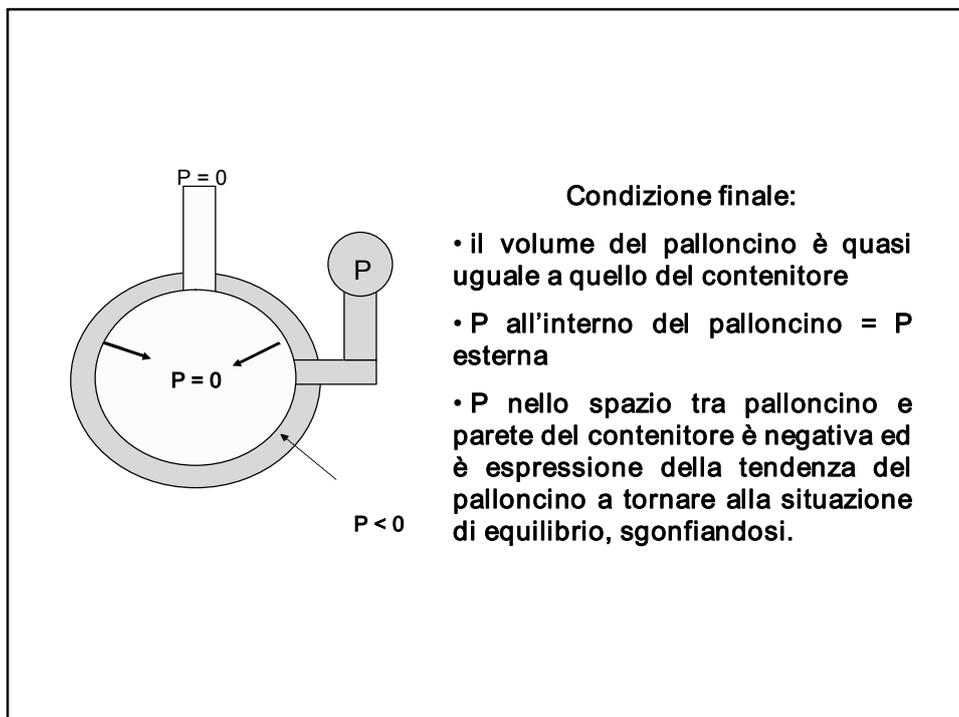
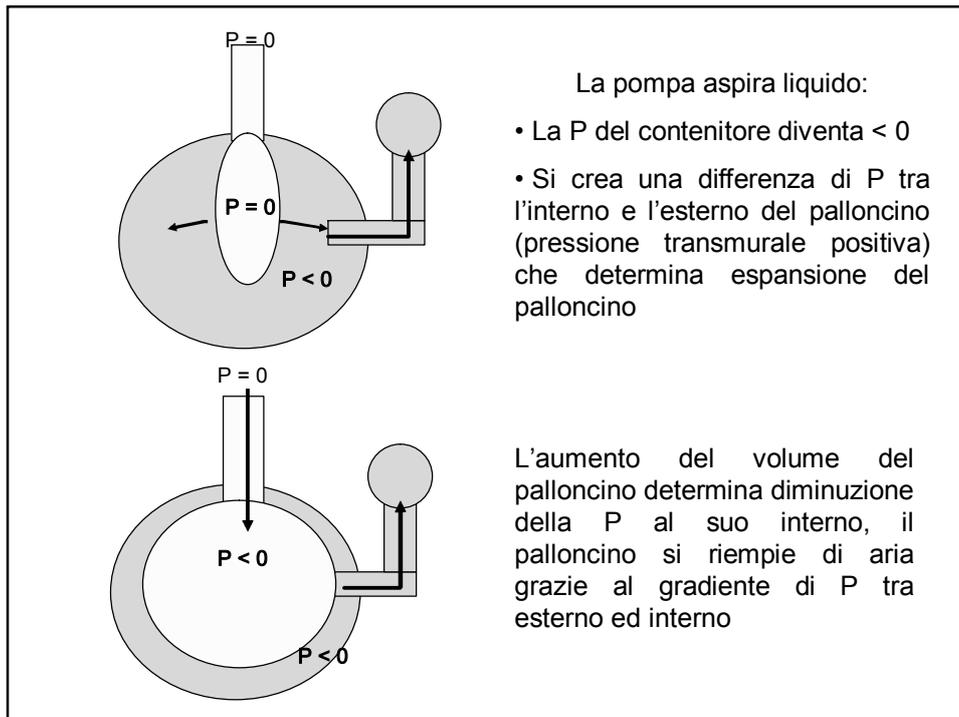
Le variazioni di volume del polmone dipendono quindi dai movimenti della gabbia toracica.

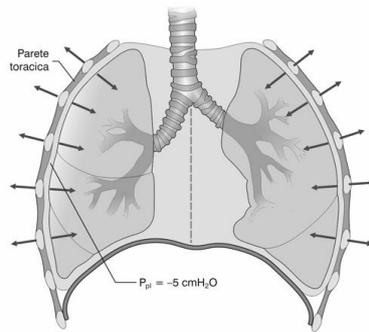


La cavità pleurica contiene un velo di liquido (circa 2 ml) che mantiene adesi i foglietti pleurici e ne consente lo scivolamento.

Nella cavità pleurica esiste una  $P$  subatmosferica (negativa)



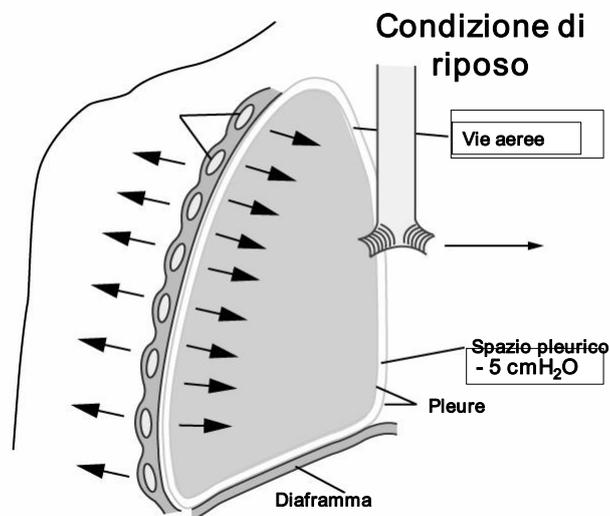


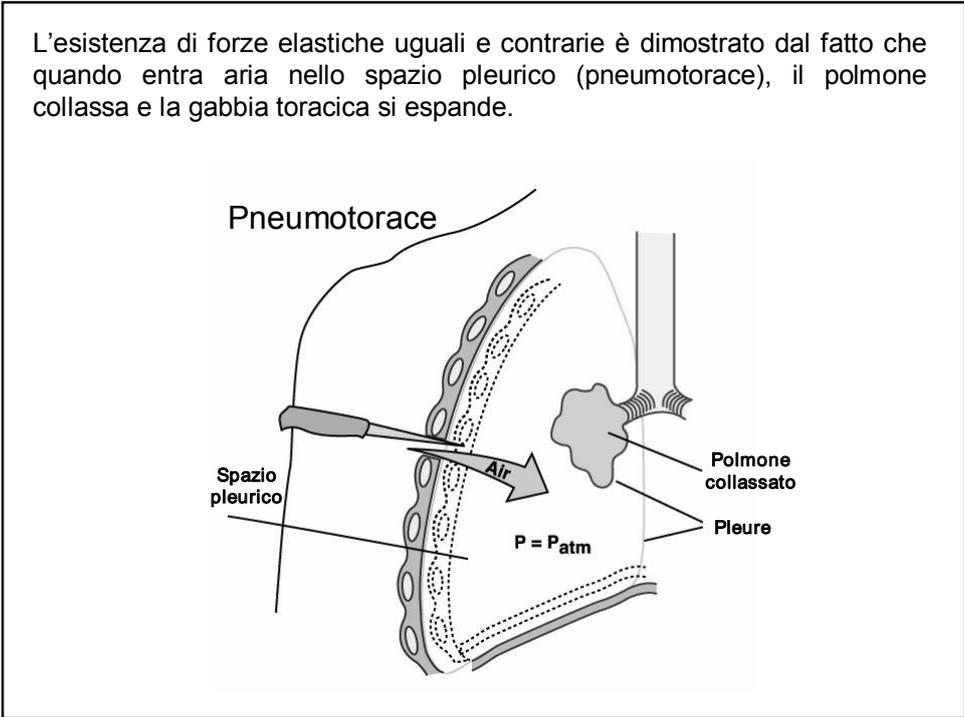
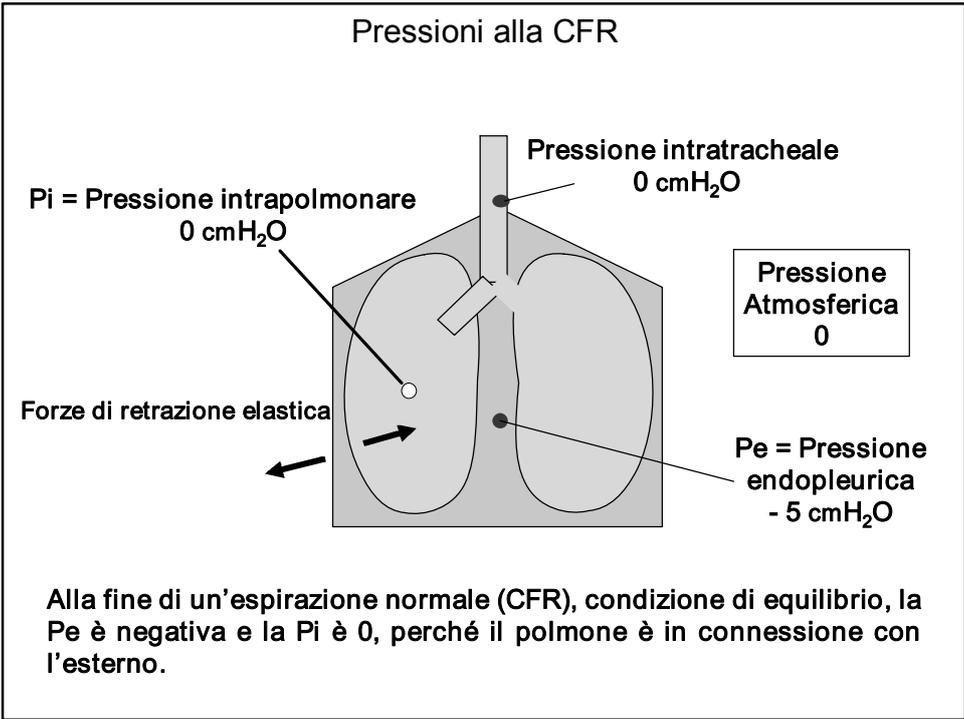


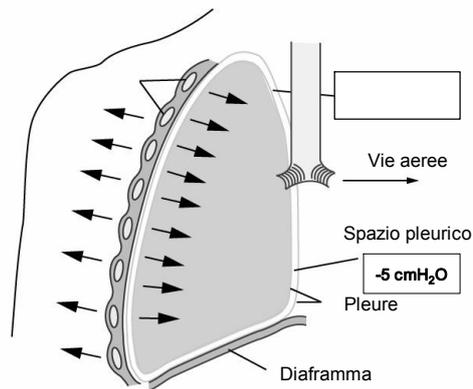
© 2005 edl.ermes milano

Il **polmone** e la **gabbia toracica** sono strutture elastiche, che aderiscono attraverso le pleure. Il polmone è espanso rispetto alla sua condizione di equilibrio e quindi sottoposto ad una forza di retrazione verso l'interno, la gabbia toracica, viceversa, è normalmente compressa e quindi sottoposta ad una forza di retrazione verso l'esterno. La negatività dello spazio pleurico è espressione di queste due forze opposte, che tendono a dilatare lo 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, contribuiscono al mantenimento della negatività endopleurica

In condizioni di riposo, cioè alla fine di un'espirazione normale, quando il polmone contiene un volume di aria definito come **capacità funzionale residua (CFR)**, la forza di retrazione elastica del polmone è perfettamente controbilanciata da quella della gabbia toracica.







Condizione di riposo  
(CFR)

- Alla **CFR** il sistema toraco polmonare è in equilibrio, perché le forze di retrazione elastica del polmone sono uguali e contrarie a quelle della gabbia toracica.

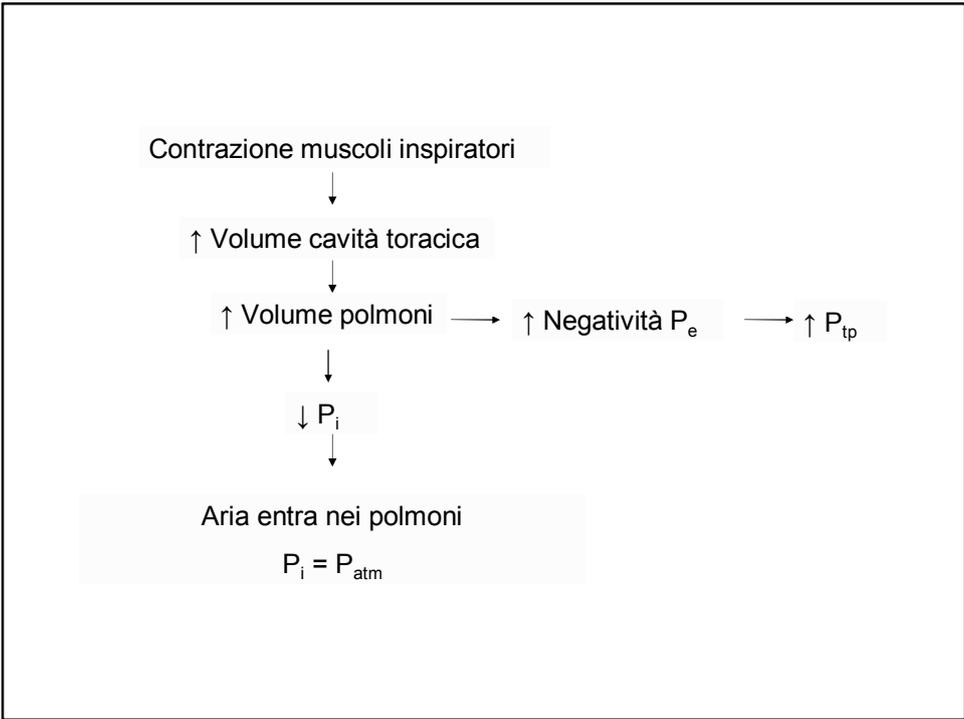
- Ogni variazione di volume rispetto alla **CFR** prevede lo sviluppo di forza muscolare.

- Per volumi > della CFR, è necessario vincere la maggiore forza di retrazione elastica del polmone, (muscolatura inspiratoria).

- Per volumi < della CFR è necessario vincere la maggiore forza di retrazione elastica della gabbia toracica (muscolatura espiratoria).

➤ L'inspirazione è conseguenza dell'espansione del polmone, che segue l'aumento di volume della gabbia toracica, ottenuto per contrazione dei muscoli inspiratori, che compiono un lavoro per vincere le forze di retrazione elastica del polmone.

➤ L'espirazione è un fenomeno passivo, associato al rilasciamento della muscolatura inspiratoria, che consente alla gabbia toracica e quindi al polmone di tornare al volume di partenza.



**Inspirazione**

M. sternocleidomastoideo  
M. scaleno  
M. intercostali esterni  
Diaframma

**Espirazione**

M. intercostali interni  
M. trasverso dell'addome  
M. obliquo interno

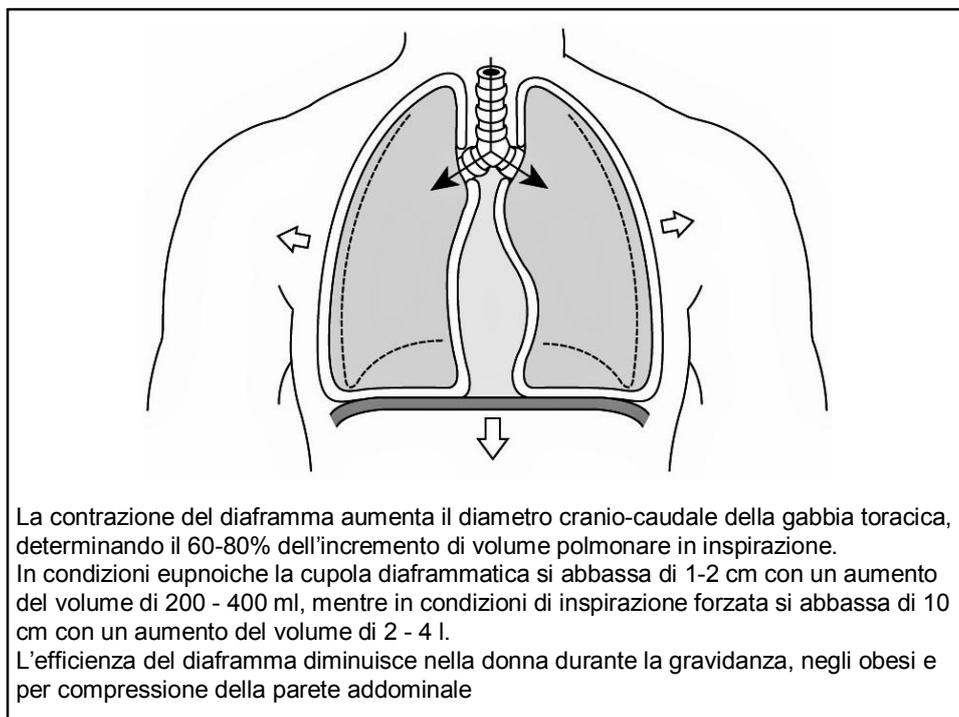
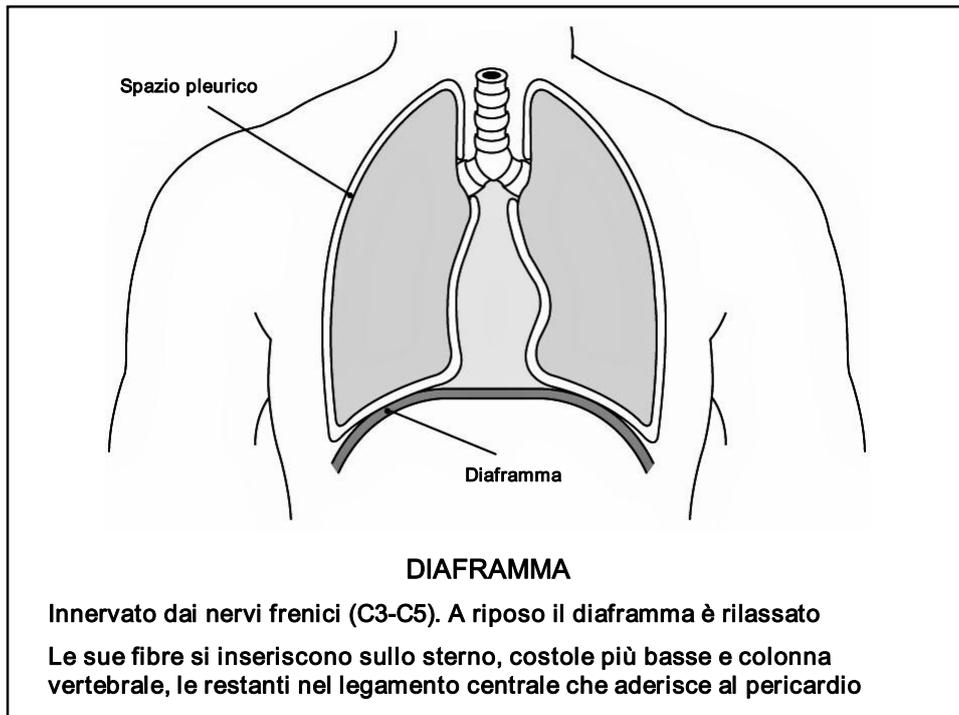
a

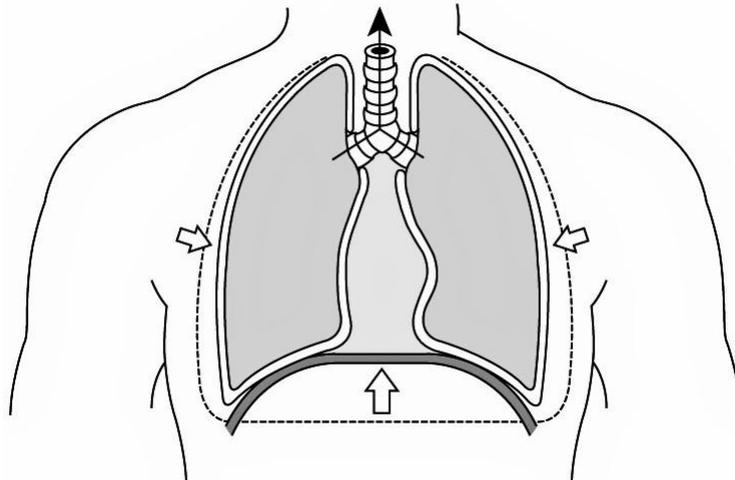
b

© 2005 edi.ermes milano

**Muscoli Inspiratori:** Aumentano il volume della gabbia toracica  
 Diaframma  
 Intercostali esterni  
 Sternocleidomastoidei  
 Scaleni

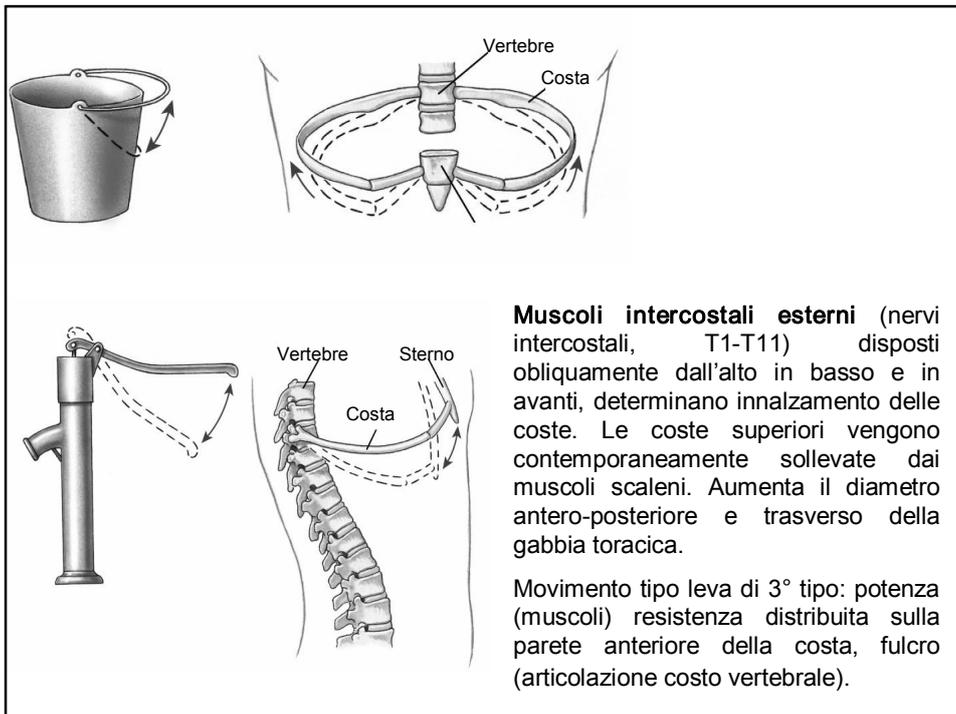
**Muscoli Espiratori:** Riducono il volume della gabbia toracica, sono attivi nell'espiazione forzata (esercizio fisico, fonazione, canto, fase espiratoria starnuto e tosse)  
 Intercostali interni, Addominali, Accessori (Grande dorsale, Dentato posteriore-inferiore, Quadrato dei lombi)





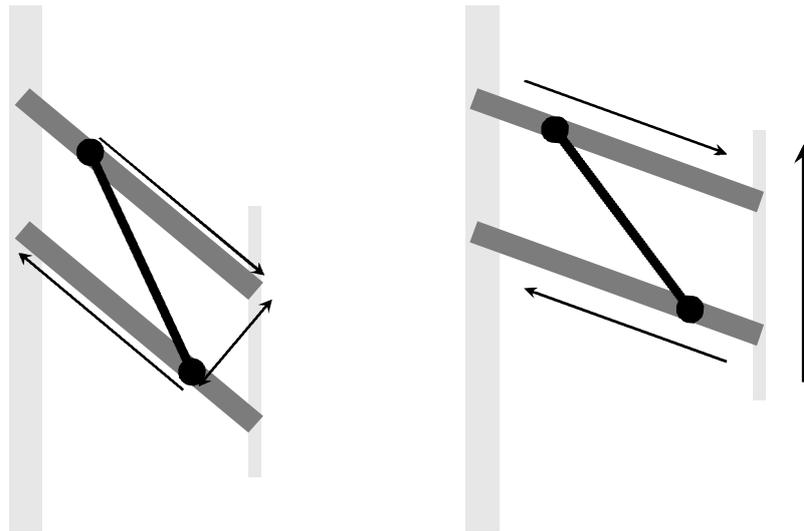
**Il diaframma si rilaccia, il volume della gabbia toracica diminuisce.**

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



**Muscoli intercostali esterni** (nervi intercostali, T1-T11) disposti obliquamente dall'alto in basso e in avanti, determinano innalzamento delle coste. Le coste superiori vengono contemporaneamente sollevate dai muscoli scaleni. Aumenta il diametro antero-posteriore e trasverso della gabbia toracica.

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

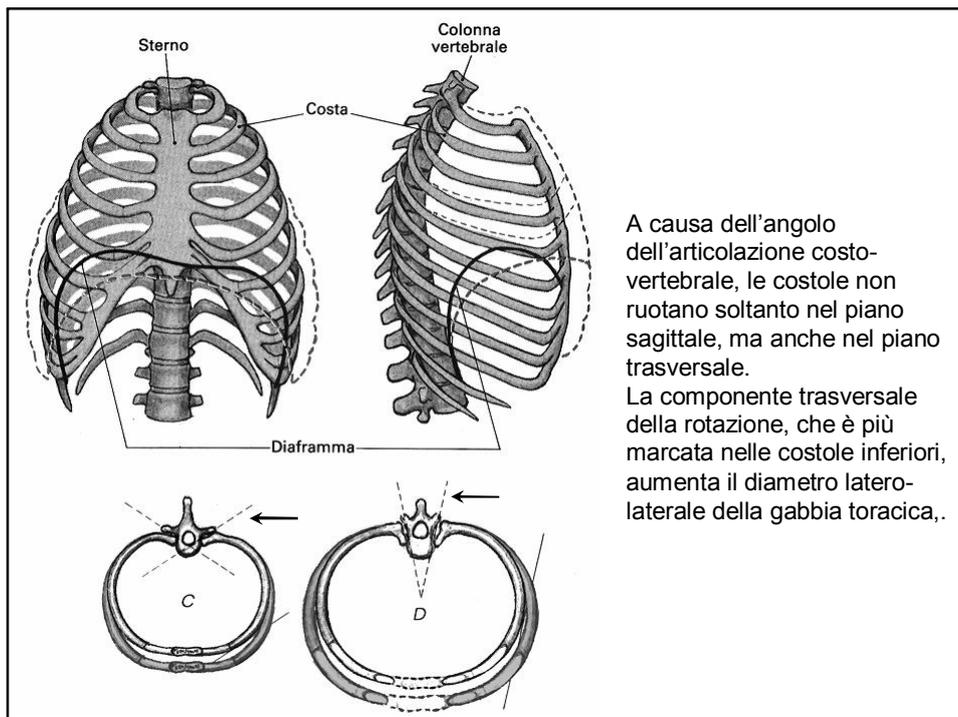


La contrazione degli intercostali esterni tende a far scorrere le costole le une rispetto alle altre, provocando l'innalzamento dello sterno e delle estremità delle costole su di esso articolate.

Gli assi di rotazione delle coste sono tangenti al collo e formano un angolo che diminuisce in senso cranio-caudale ( $125^\circ$  I costa,  $88^\circ$  VI costa).

Le coste più alte si muovono in avanti, aumentando il diametro antero-posteriore del torace con movimento dello sterno in alto ed in avanti

Le coste più basse sin sollevano e si muovono verso l'esterno, contribuendo soprattutto all'espansione laterale del torace.



Muscoli inspiratori accessori: attivi nell'inspirazione forzata (esercizio fisico, tosse, patologie ostruttive come l'asma)

Sternocleidomastoidei: sollevano lo sterno, aumentando il diametro antero-posteriore e trasverso

Scaleni: sollevano le prime due coste

