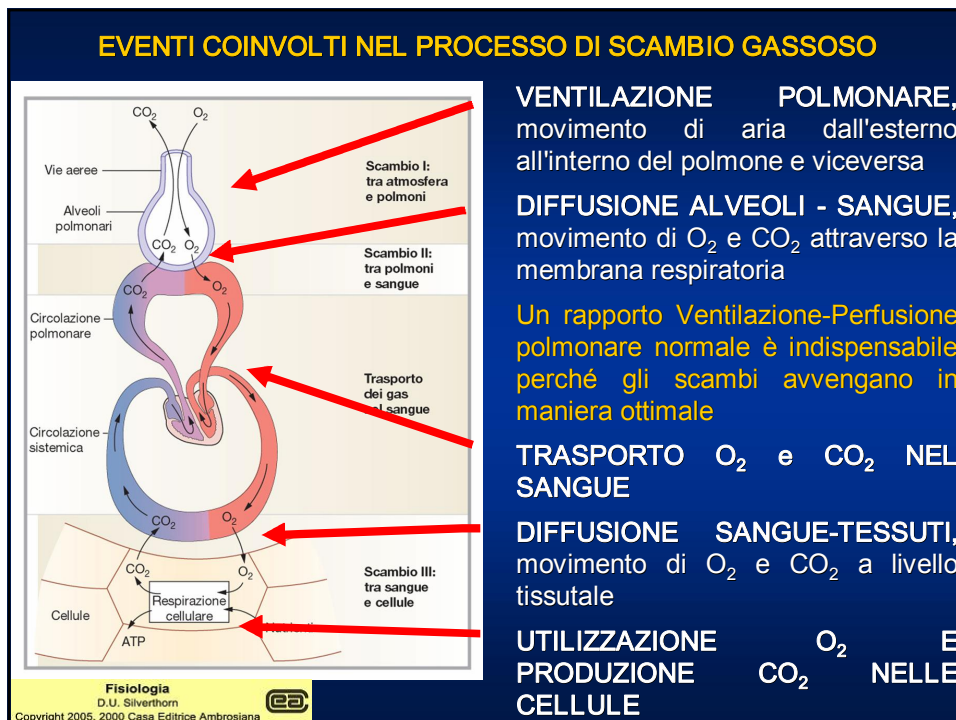


Funzioni della respirazione:

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



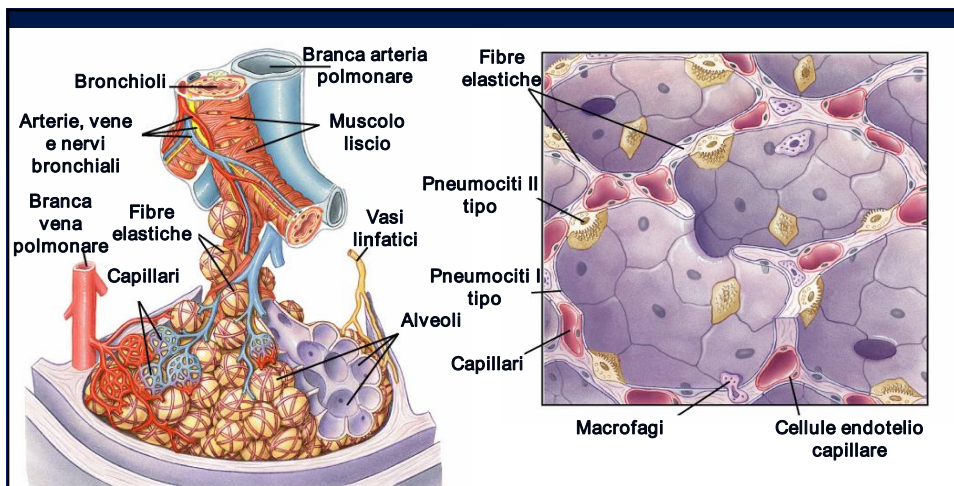
FENOMENI ASSOCIATI

➤ MECCANICA RESPIRATORIA

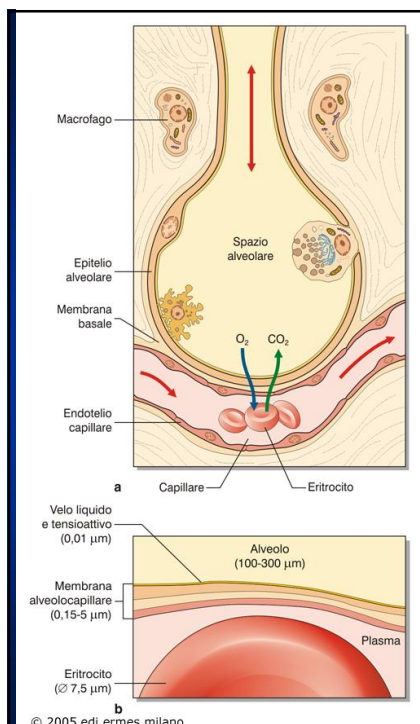
Forze implicate nel mantenere in posizione il polmone e la gabbia toracica e nel determinarne il movimento durante l'atto respiratorio

➤ CONTROLLO DELLA VENTILAZIONE

Meccanismi che regolano la funzione degli scambi gassosi nel polmone

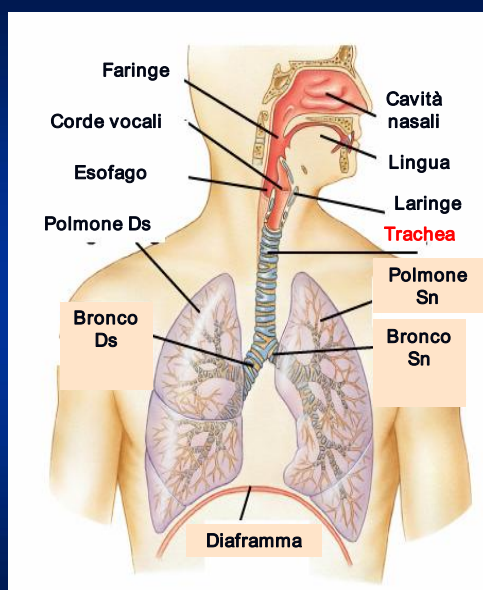


Lo scambio dei gas respiratori avviene a livello dell'unità alveolo-capillare. Gli alveoli sono circa $300 \cdot 10^6$ e formano una superficie di scambio totale di circa 140 m^2 . Sono composti di pneumociti di I tipo, per gli scambi gassosi, e pneumociti di II tipo, che sintetizzano surfattante.



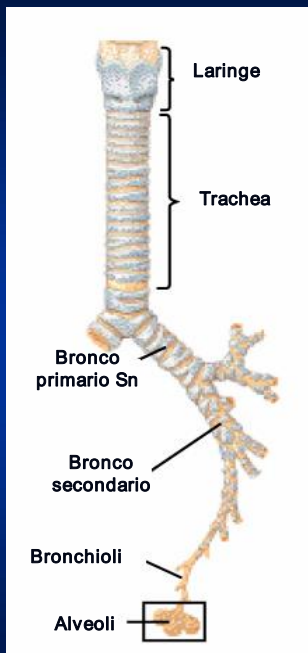
Gli scambi gassosi avvengono per diffusione a livello della membrana respiratoria (alveolo-capillare)

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.



Aria entra nel polmone attraverso le vie aeree di conduzione:

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

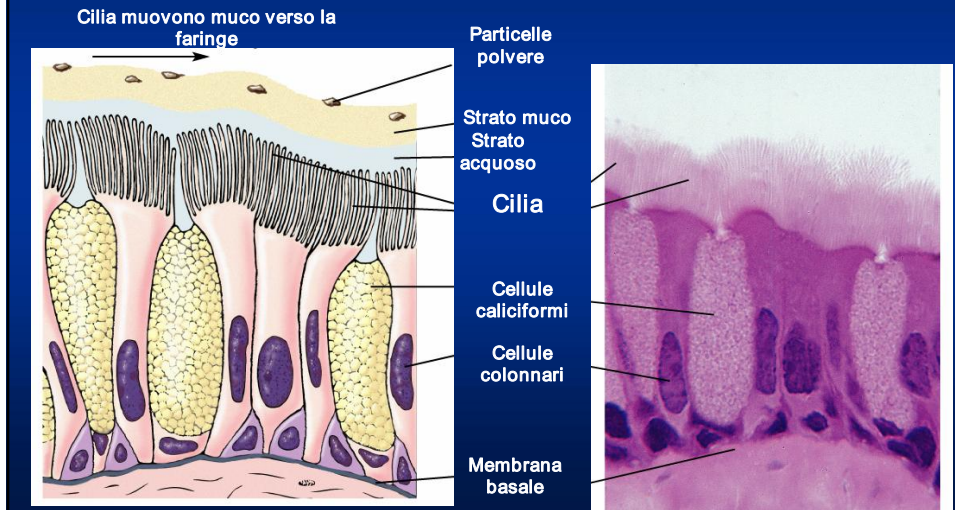
Dai bronchi primari si dipartono 23 generazioni di condotti secondari fino agli alveoli

L'aria si muove con movimento di massa fino ai bronchioli terminali e poi per diffusione

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

Le vie aeree fino alla 17^a generazione non partecipano agli scambi gassosi (**spazio morto anatomico**). Gli scambi avvengono dalla 17^a generazione in poi. Il progressivo aumento della sezione trasversa totale delle vie aeree poste in parallelo comporta una progressiva riduzione della velocità dell'aria

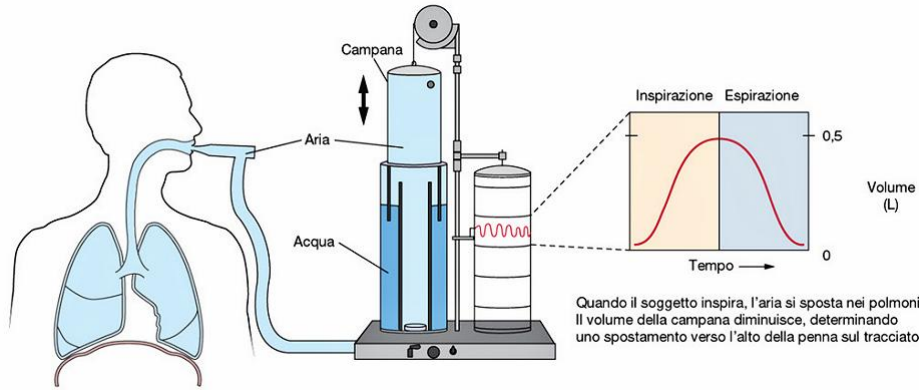
A livello delle vie aeree di conduzione l'aria viene preriscaldata, umidificata (per contatto con il secreto che bagna la mucosa) e depurata (muco trattiene la polvere che viene eliminata attraverso il meccanismo di scala mobile mucociliare)



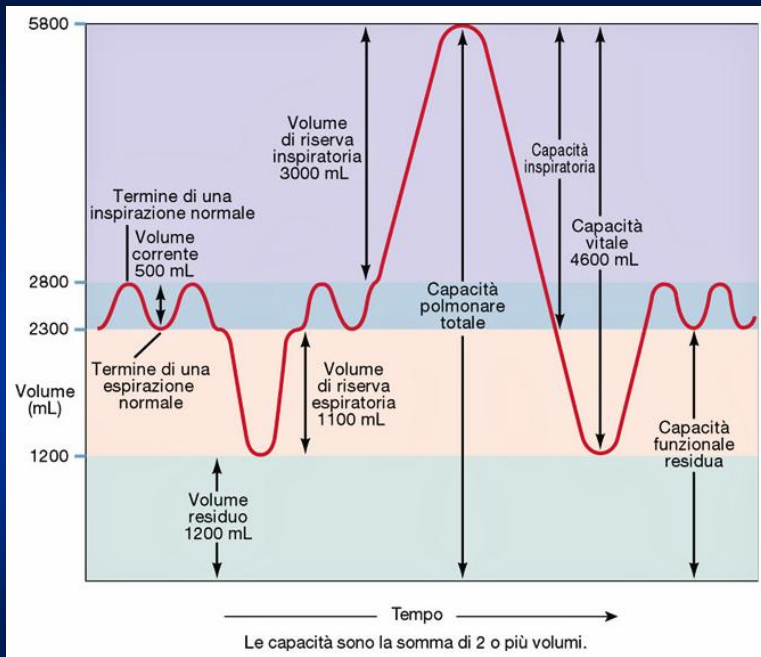
Modificazione calibro vie aeree

- Sistema nervoso parasimpatico (vago, Ach su recettori M3):
Broncocostrizione (riflessi attivati da agenti irritanti, stimoli meccanici, CO₂)
- Adrenalina circolante (su recettori β_2)
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

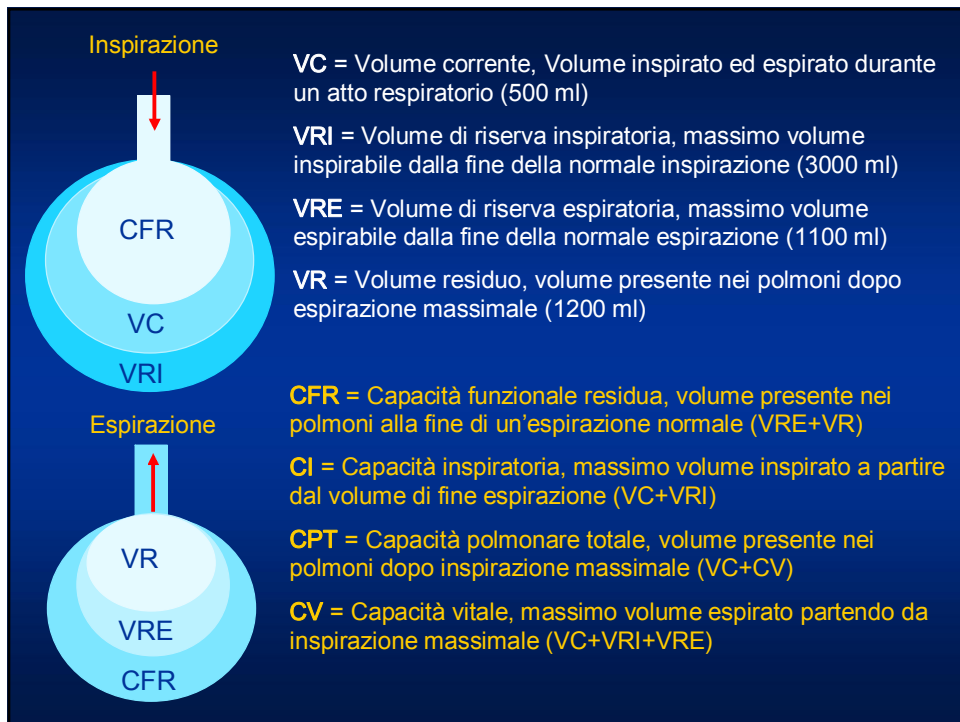
Spirometria: Permette la misura diretta dei volumi respiratori. Le variazioni di volume polmonare durante gli atti respiratori provocano corrispondenti variazioni di volume nello spirometro, con movimenti della campana, che possono essere registrati su carta (spirogramma)



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:

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

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

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

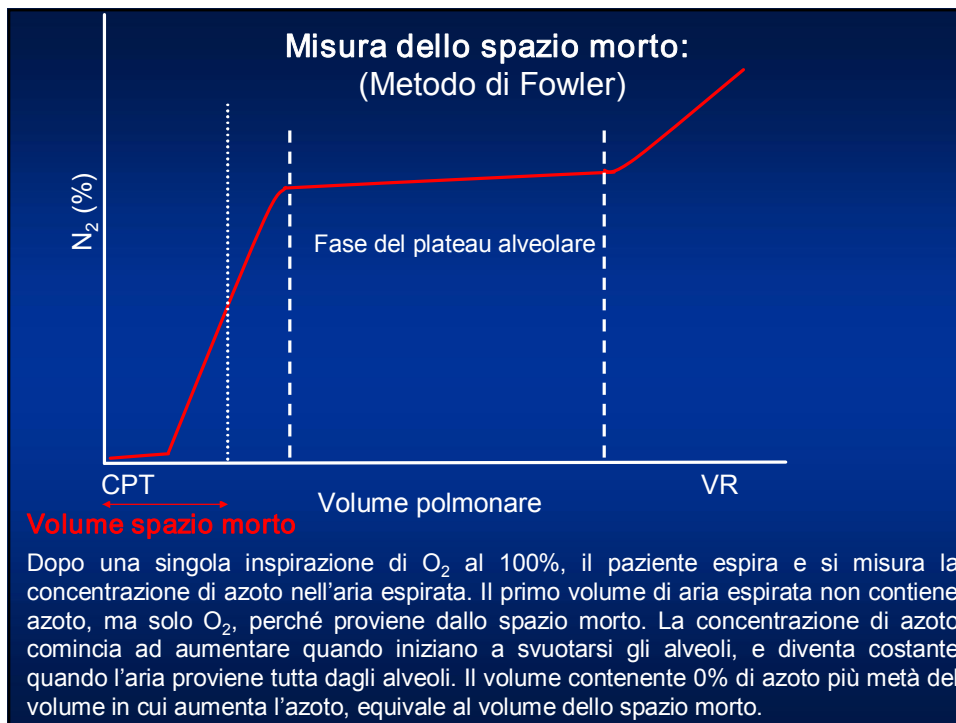
$$\text{CFR} = (C_1/C_2 - 1) \cdot V_1$$

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 FISIOLOGICO** 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 ($V_A \times C_{CO_2A}$).

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

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

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)**

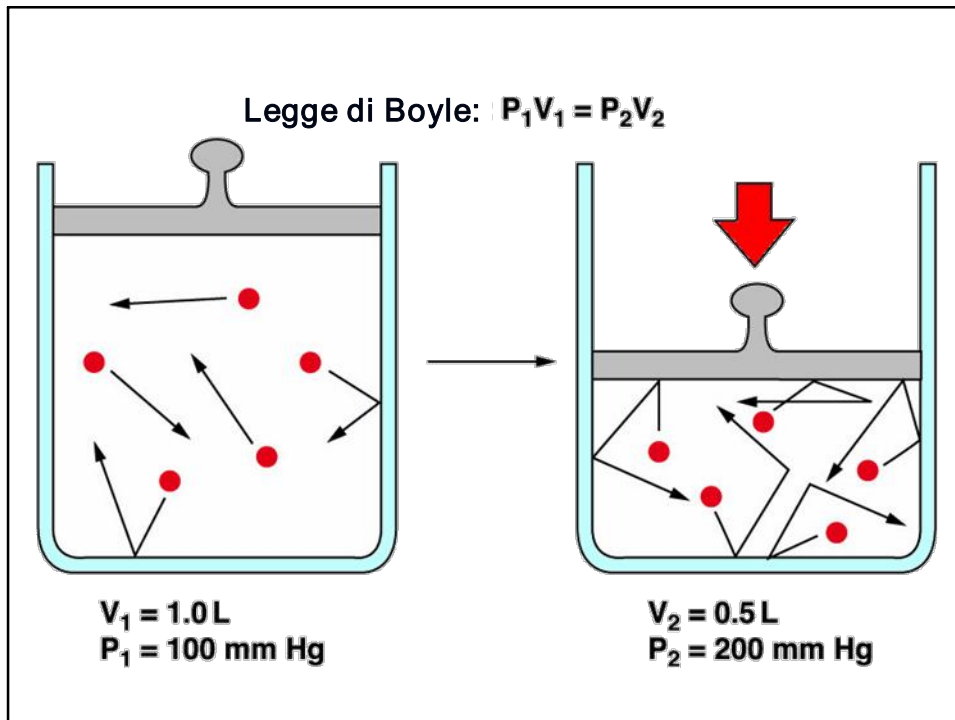
Per la Legge di Boyle

$$P \cdot V = K$$

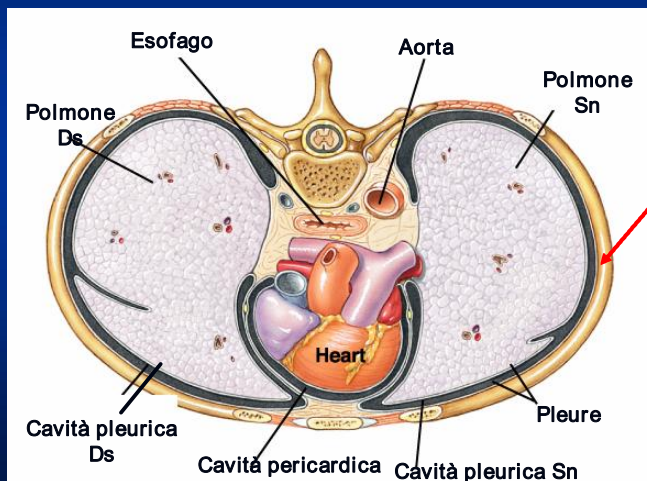
la P alveolare si modifica se cambia il volume del polmone.

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

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



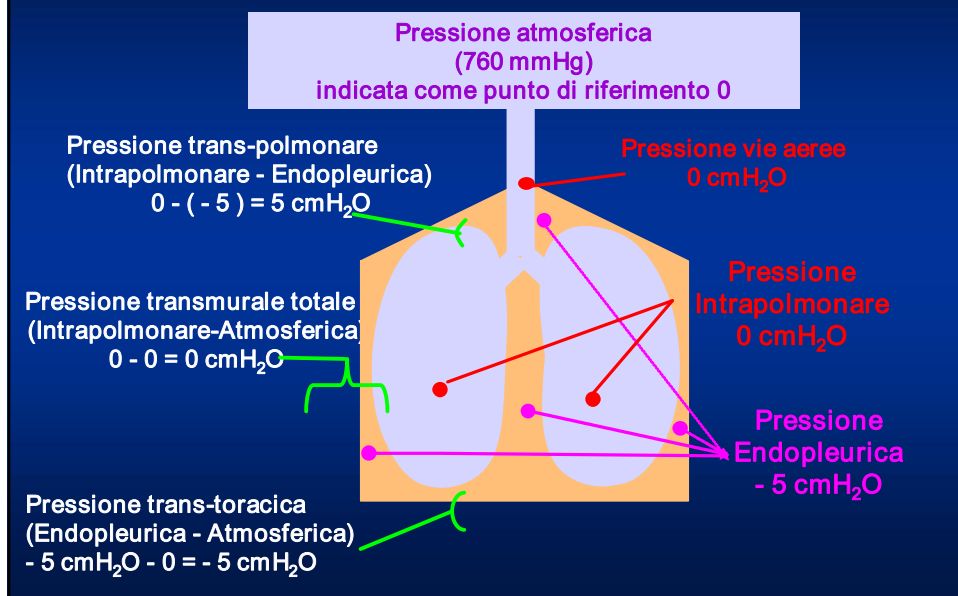
Il polmone è privo di strutture di sostegno o muscolari, ma è adeso alla gabbia toracica attraverso la pleura (parietale e viscerale).
Le variazioni di volume del polmone dipendono quindi dai movimenti della gabbia toracica.



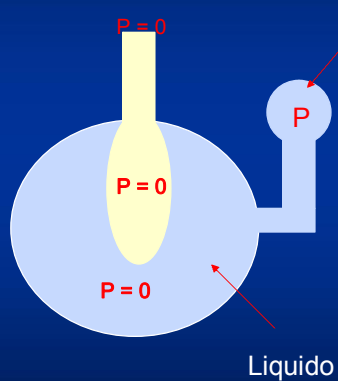
La cavità pleurica contiene un velo di liquido (circa 2 ml) che mantiene adesi i foglietti pleurici e ne consente lo scivolamento.

Nella cavità pleurica esiste una P subatmosferica (negativa)

Pressioni nell'apparato respiratorio a riposo
(indicate in $\text{cmH}_2\text{O} = 1,36 \text{ mmHg}$)



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



A pompa ferma, il sistema è in equilibrio. Le P all'interno del palloncino e del contenitore sono uguali alla P esterna.

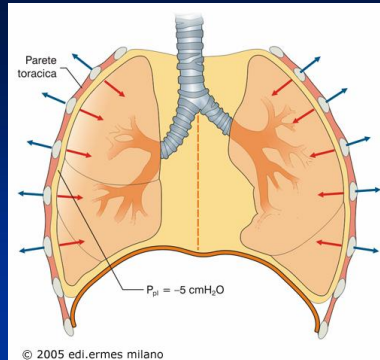
La pompa aspira liquido:

- 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

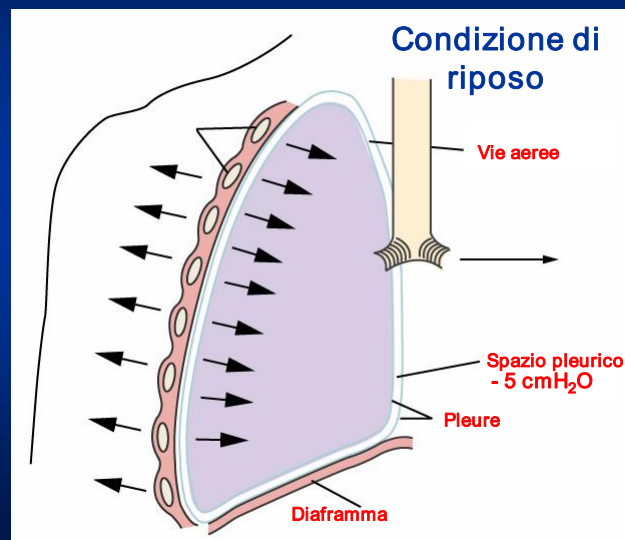
Condizione finale:

- il volume del palloncino è quasi uguale a quello del contenitore
- P all'interno del palloncino = P esterna
- P nello spazio tra palloncino e parete del contenitore è negativa ed è espressione della tendenza del palloncino a tornare alla situazione di equilibrio, sgonfiandosi.

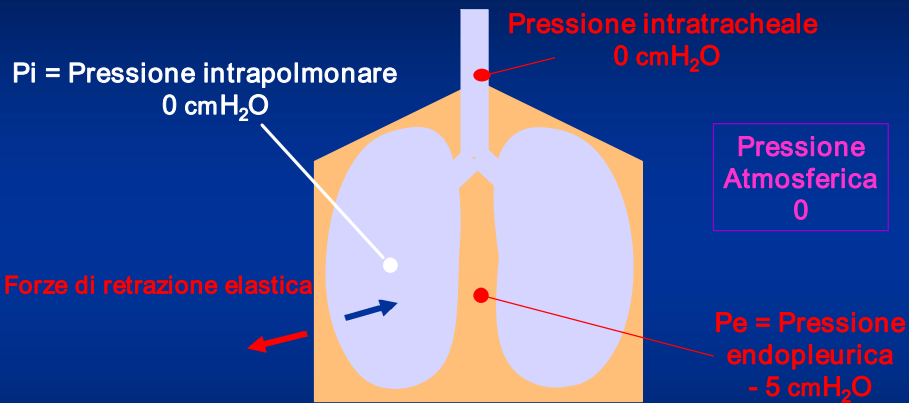


Il **polmone** e la **gabbia toracica** sono strutture elastiche, che aderiscono attraverso le pleure. Il polmone è espanso rispetto alla sua condizione di equilibrio e quindi sottoposto ad una forza di retrazione verso l'interno, la gabbia toracica, viceversa, è normalmente compressa e quindi sottoposta 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.

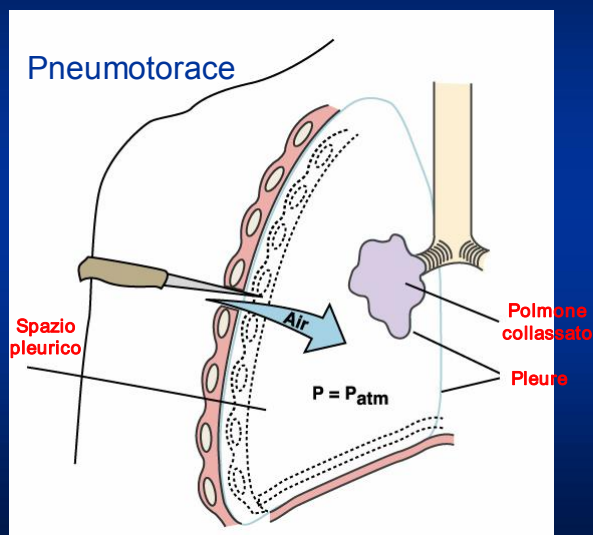


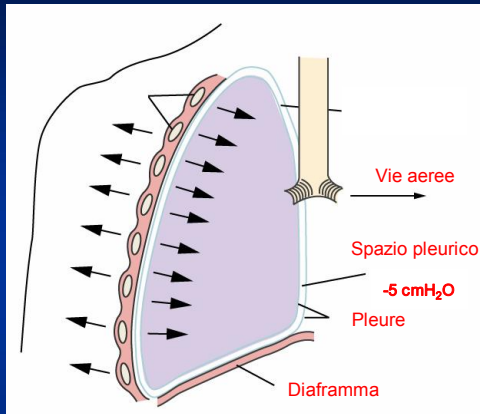
Pressioni alla CFR



Alla fine di un'espirazione normale (CFR), condizione di equilibrio, la Pe è negativa e la Pi è 0, perché il polmone è in connessione con l'esterno.

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.





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.

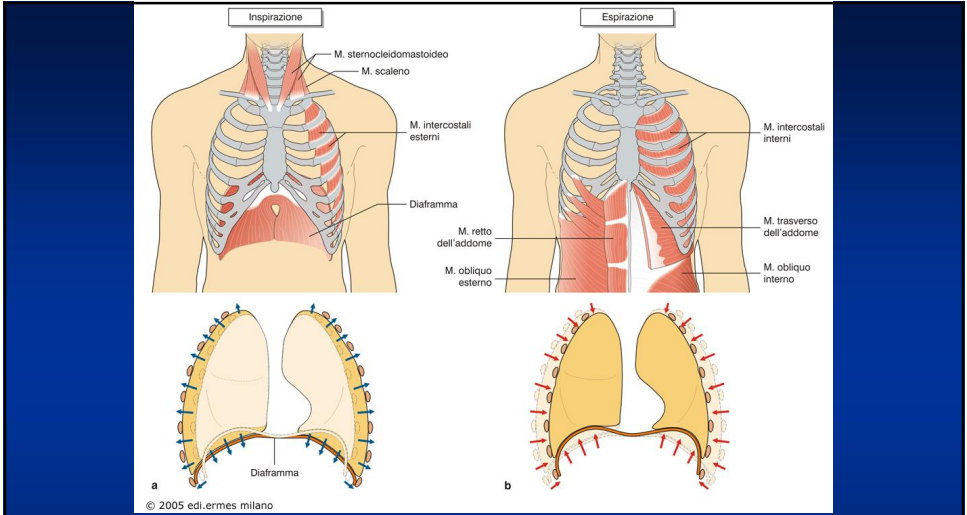
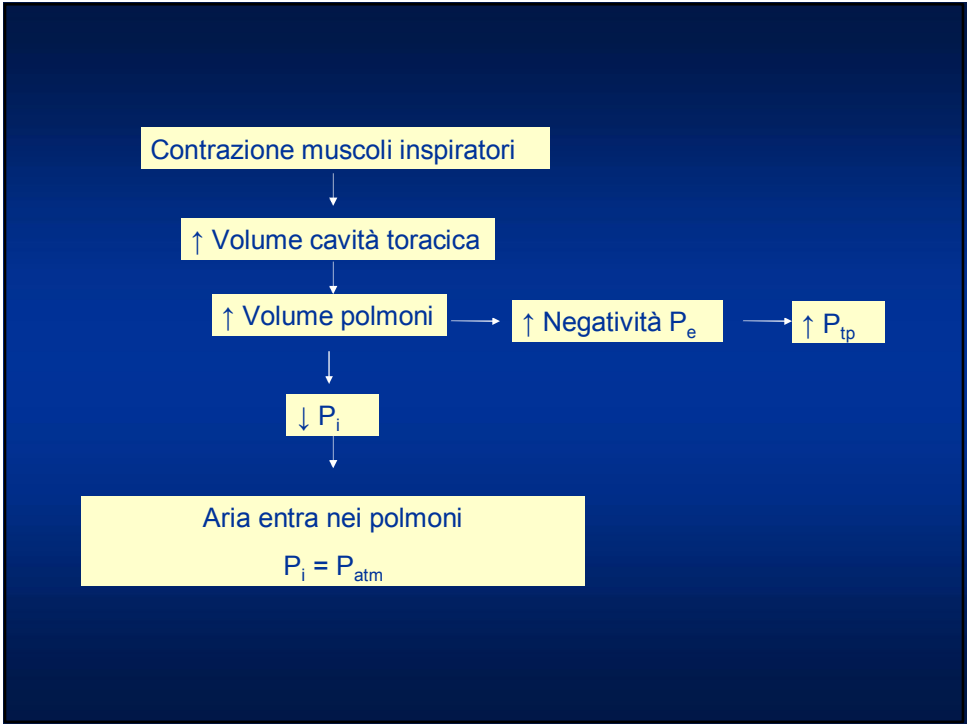
- Ogni variazione di volume rispetto alla **CFR** prevede lo sviluppo di forza muscolare.

- 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).

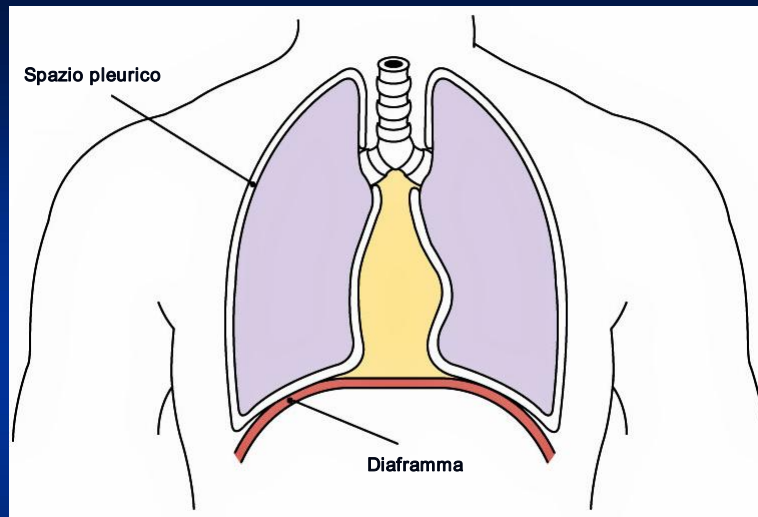
➤ L'inspirazione è conseguenza dell'espansione del polmone, che segue l'aumento di volume della gabbia toracica, ottenuto per contrazione dei muscoli inspiratori, che compiono un lavoro per vincere le forze di retrazione elastica del polmone.

➤ 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.



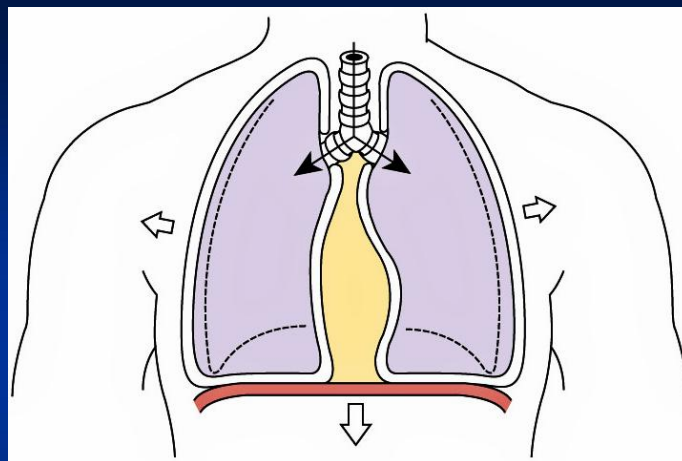
Muscoli **Inspiratori**: Aumentano il volume della gabbia toracica
Diaframma
Intercostali esterni
Sternocleidomastoidei
Scaleni

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)

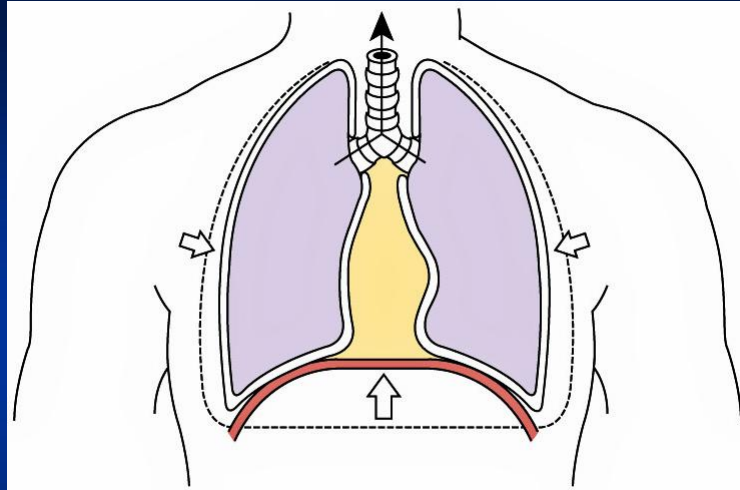


DIAFRAMMA

Innervato dai nervi frenici (C3-C5). A riposo il diaframma è rilassato
 Le sue fibre si inseriscono sullo sterno, costole più basse e colonna vertebrale, le restanti nel legamento centrale che aderisce al pericardio

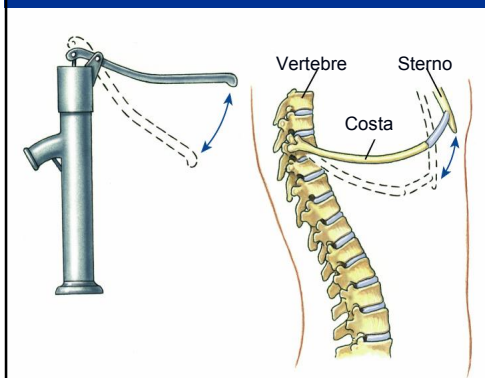
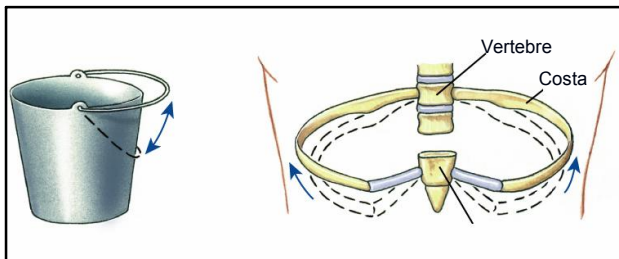


La contrazione del diaframma aumenta il diametro cranio-caudale della gabbia toracica, determinando il 60-80% dell'incremento di volume polmonare in inspirazione. In condizioni eupnoiche la cupola diaframmatica si abbassa di 1-2 cm con un aumento del volume di 200 - 400 ml, mentre in condizioni di inspirazione forzata si abbassa di 10 cm con un aumento del volume di 2 - 4 l. L'efficienza del diaframma diminuisce nella donna durante la gravidanza, negli obesi e per compressione della parete addominale



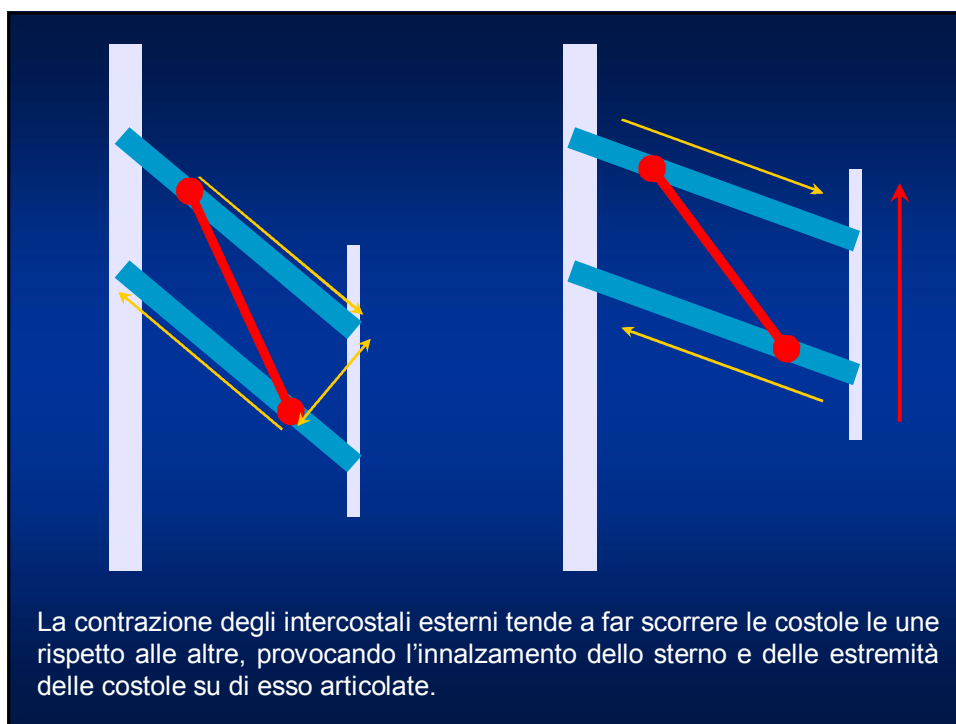
Il diaframma si rilaccia, il volume della gabbia toracica diminuisce.

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.

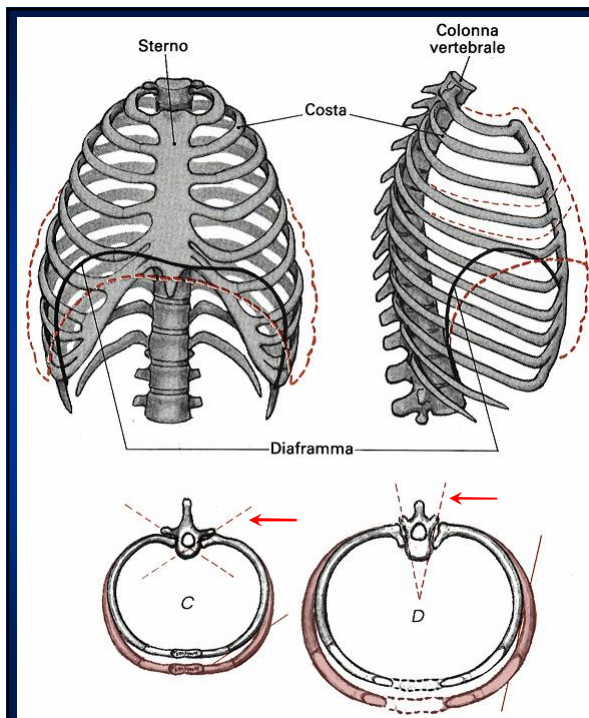
Movimento tipo leva di 3° tipo: potenza (muscoli) resistenza distribuita sulla parete anteriore della costa, fulcro (articolazione costo vertebrale).



Gli assi di rotazione delle coste sono tangenti al collo e formano un angolo che diminuisce in senso cranio-caudale (125° I costa, 88° 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 si sollevano e si muovono verso l'esterno, contribuendo soprattutto all'espansione laterale del torace.



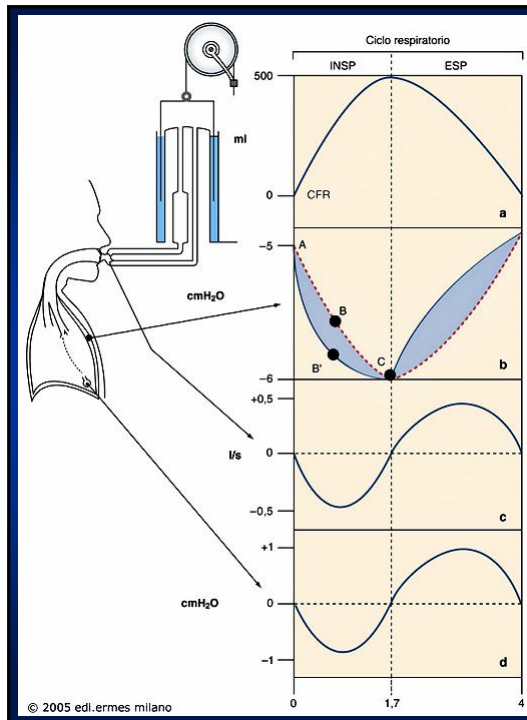
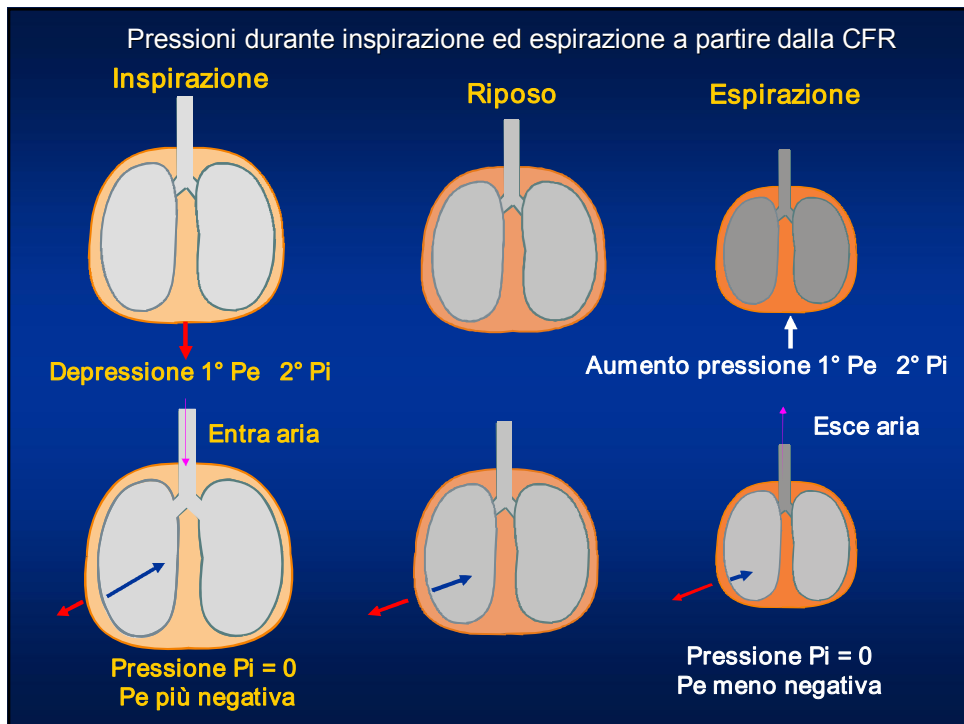
A causa dell'angolo dell'articolazione costo-vertebrale, le costole non ruotano soltanto nel piano sagittale, ma anche nel piano trasversale.

La componente trasversale della rotazione, che è più marcata nelle costole inferiori, aumenta il diametro latero-laterale della gabbia toracica,.

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



Ciclo respiratorio

- volume corrente
- pressione endoesofagea = endopleurica
- flusso
- pressione intrapolmonare

Condizioni statiche. In condizioni quasi stazionarie, quando il flusso è quasi 0, la variazione di pressione endopleurica (ABC) rispecchia la necessità di vincere solo le resistenze elastiche del sistema toraco-polmonare.

Condizioni dinamiche. In presenza di flusso (respirazione normale), è necessaria una pressione aggiuntiva (A'B'C') per vincere anche le resistenze delle vie aeree.