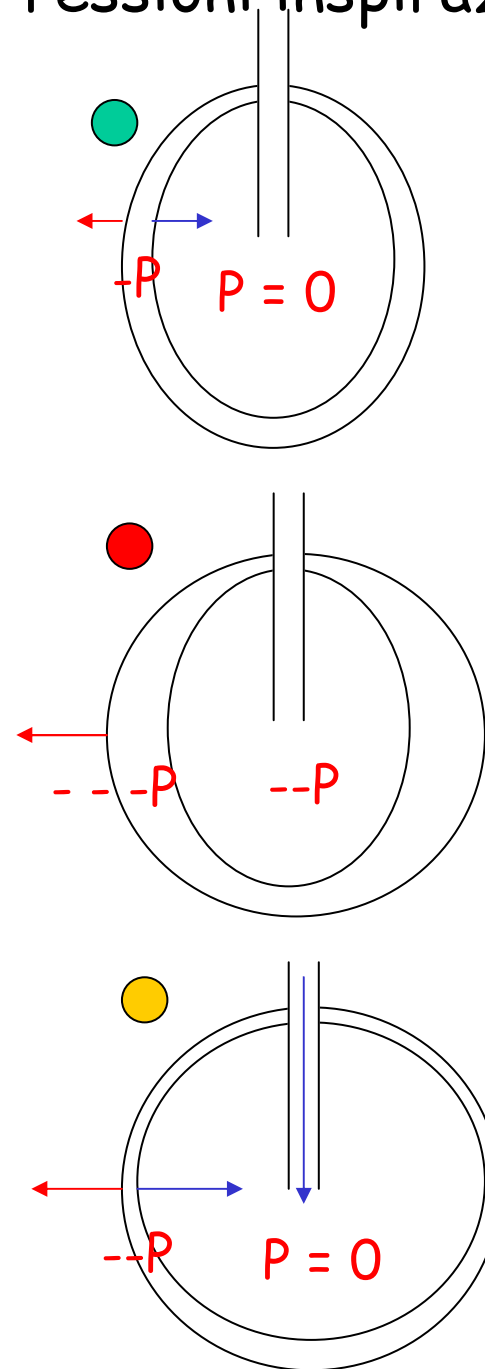
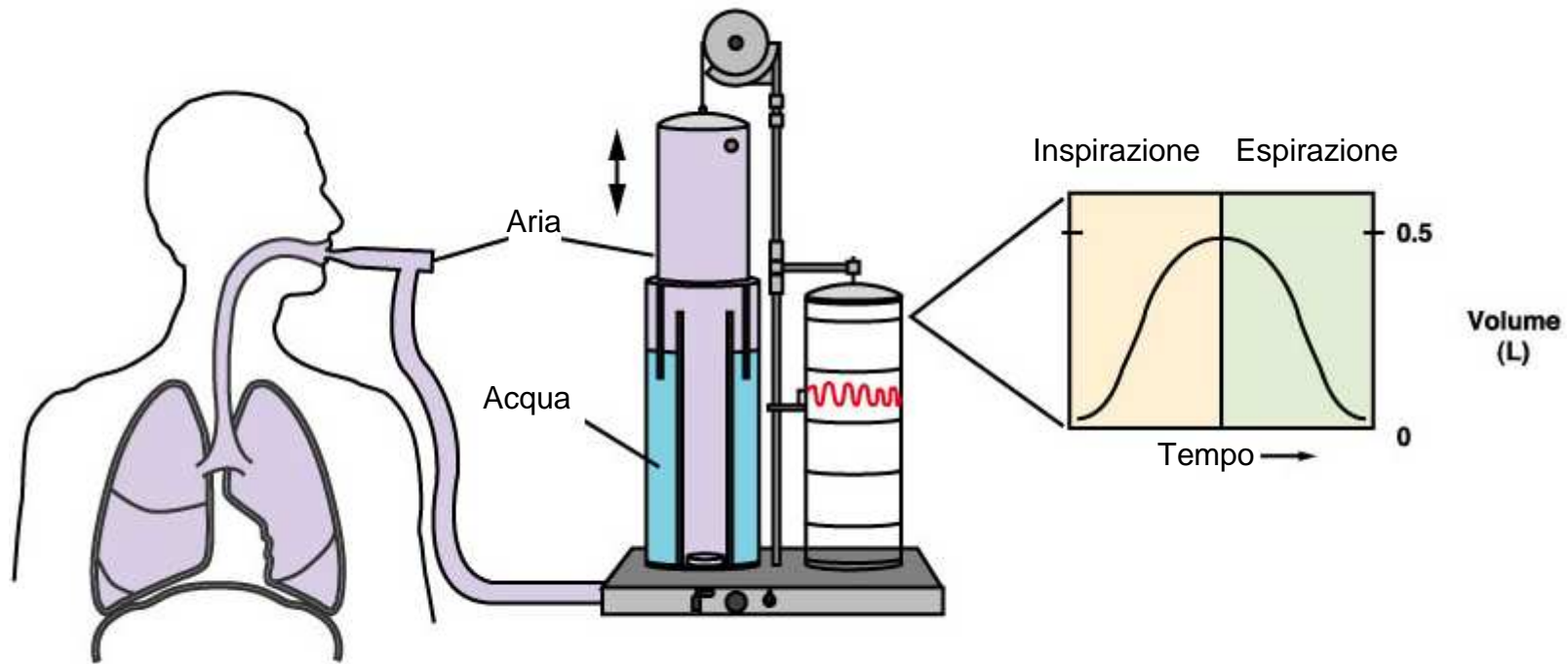


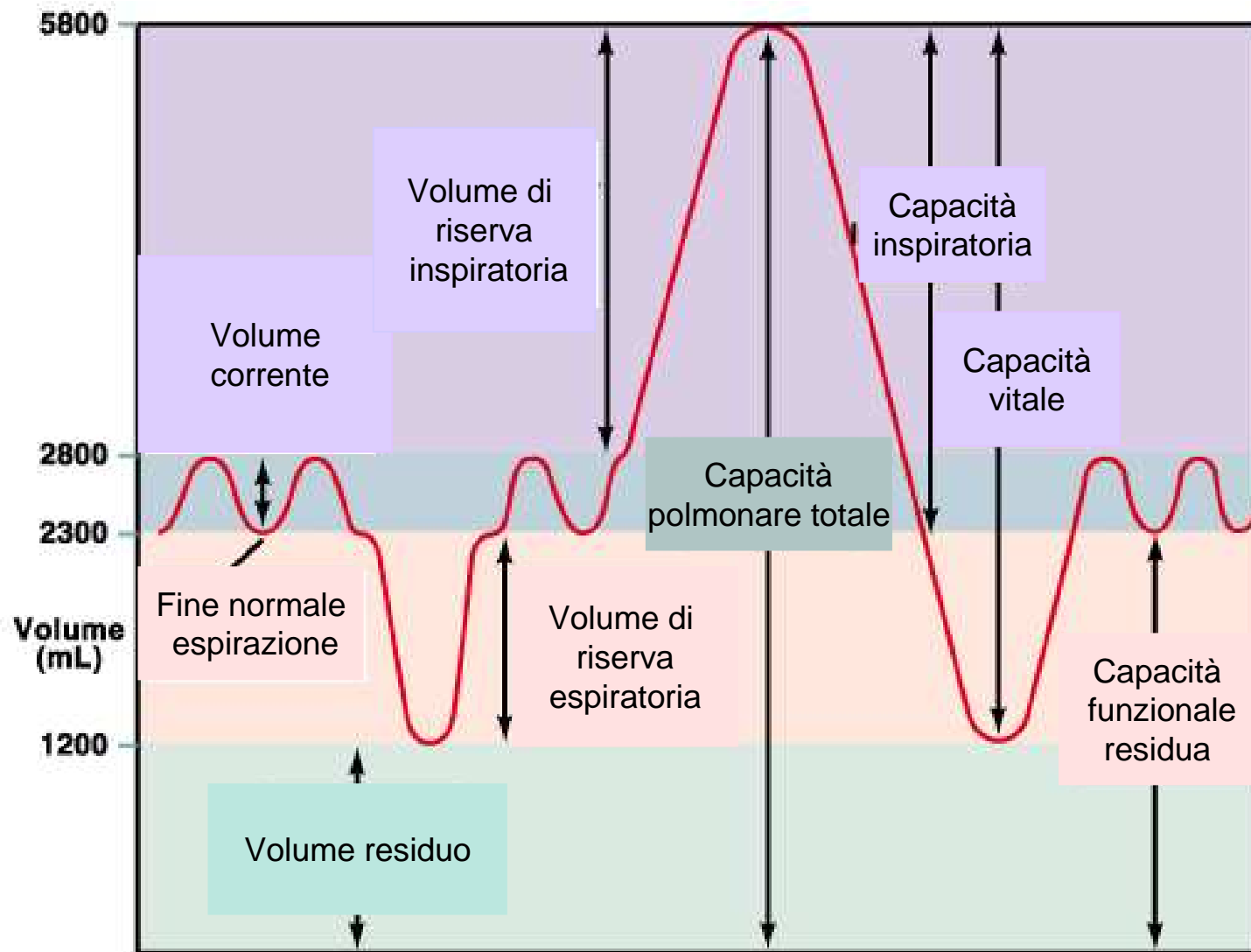
Pressioni inspirazione

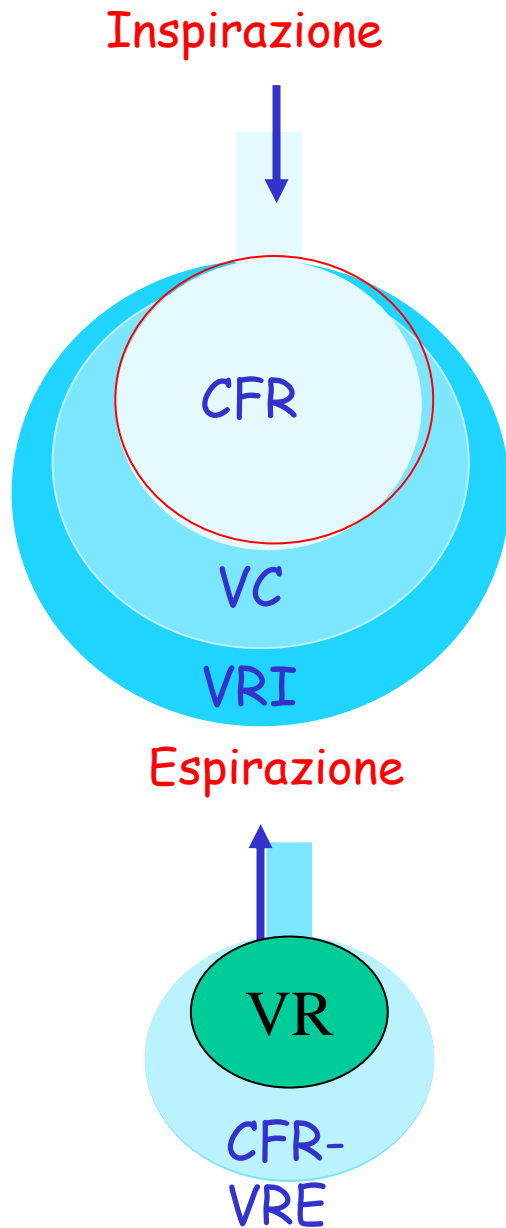


Spirometria: Le variazioni di volume polmonare durante gli atti respiratori provocano corrispondenti variazioni di volume nello spirometro, con movimenti della campana, che possono essere registrati su carta (spirogramma)



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)

Valutazioni dei volumi (CFR) tramite il lavaggio dell'azoto, la diluizione dell'elio e la pletismografia

$$Q/V = C$$

$$P.V = K$$

1) N_2 = Respirare O_2 puro: misurare la quantità N eliminata
 $1/[N_2]^* N_2$ quantità

2) $EL = Q_e \text{ inspir} = Q_e \text{ espir}$ (all'equilibrio in-out)
 $C_e * V \text{ inspir} = C_m \text{ espir} * (V_{\text{espir}} + V_{\text{polm}})$

3) Pletismografia

Disomogenea distribuzione dei volumi

- L'apice è appeso alla volta e pesa sulla base che viene compressa
- La base parte da volumi minori (Pe - 3cm H₂O), l'apice da volumi maggiori (Pe - 9 cmH₂O)
- L'apice si distende meno: è meno ventilato
- La base (più compressa) si distende di più: è più ventilata

Meccanica respiratoria: resistenze

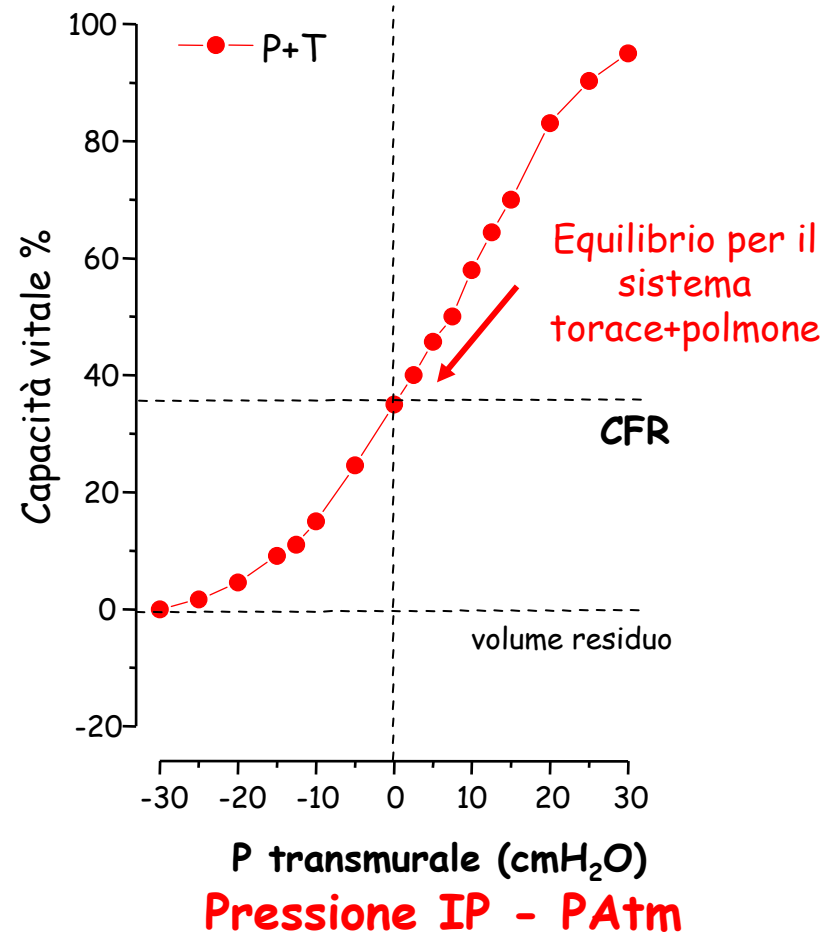
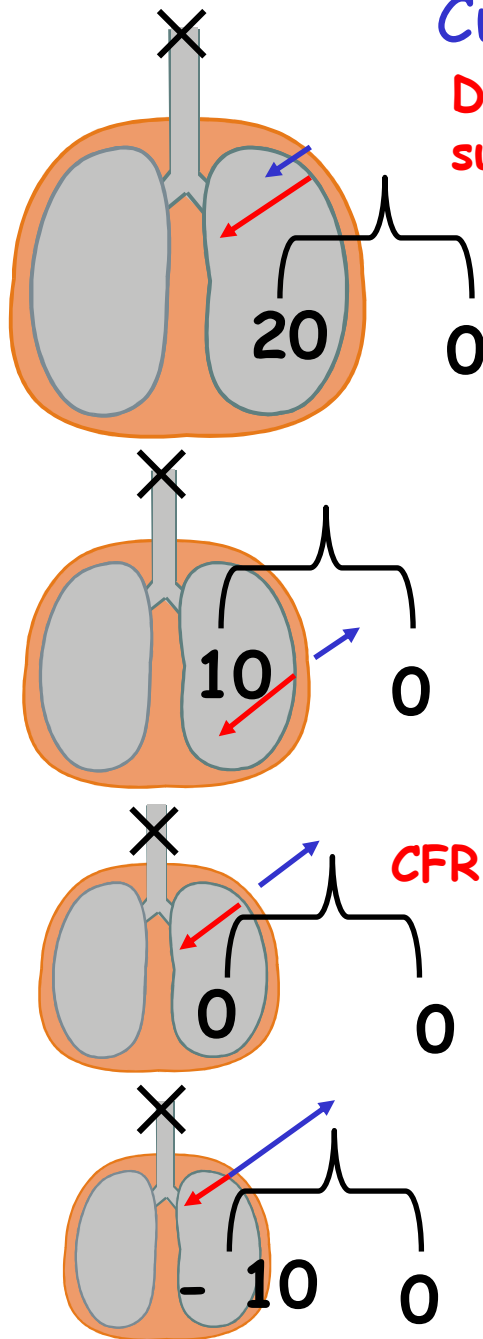
L'aumento di volume della gabbia toracica è contrastato dalla difficoltà dei tessuti a distendersi (resistenze elastiche) e dalla resistenza al flusso di aria nei condotti delle vie aeree (resistenze non elastiche)

- Le **resistenze elastiche** del sistema toraco-polmonare si determinano misurando la **forza necessaria** per mantenere un certo **volume** attraverso la costruzione della curva di rilasciamento toraco-polmonare (curva P-V), che esprime la relazione esistente tra le variazioni di pressione e le variazioni di volume del sistema toraco-polmonare.

- Il soggetto inspira od espira, a naso chiuso, un dato volume da 0 in uno spirometro. Raggiunto il volume, si interrompe la comunicazione con lo spirometro, si chiede al soggetto di rilassare la muscolatura respiratoria e si misura, con un manometro alla bocca, la pressione delle vie aeree, che in condizioni statiche è uguale alla pressione intrapolmonare.

Curva di rilasciamento toraco-polmonare

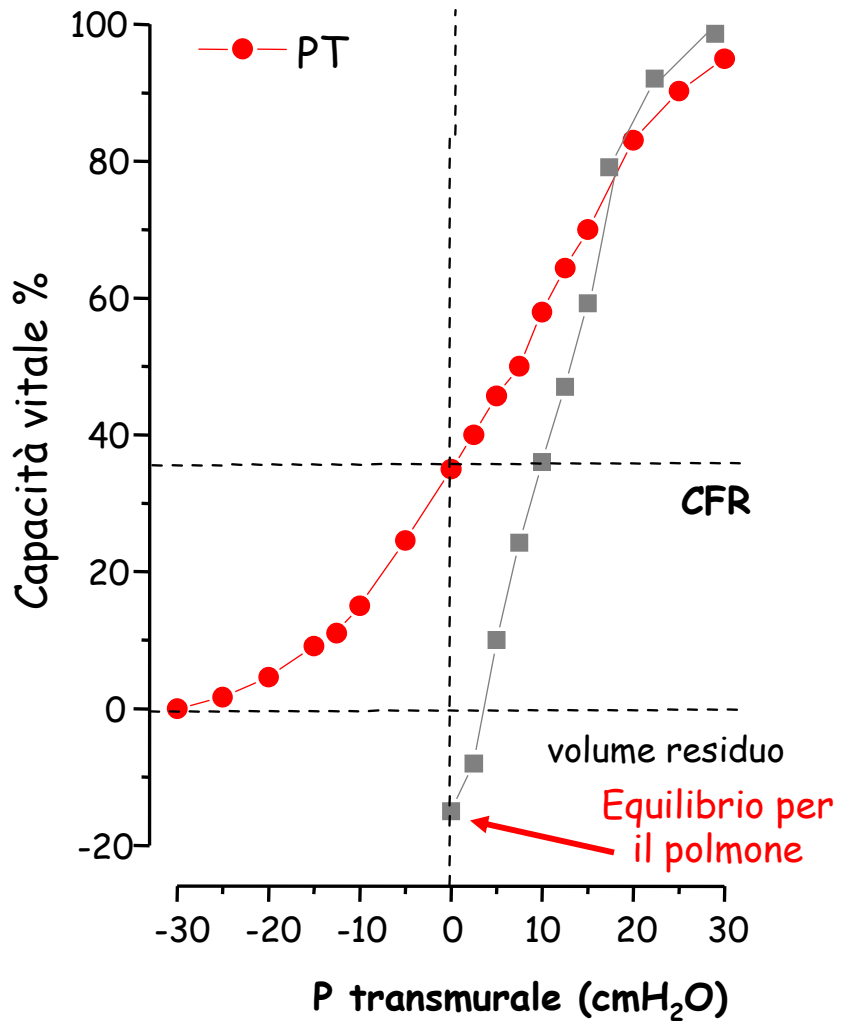
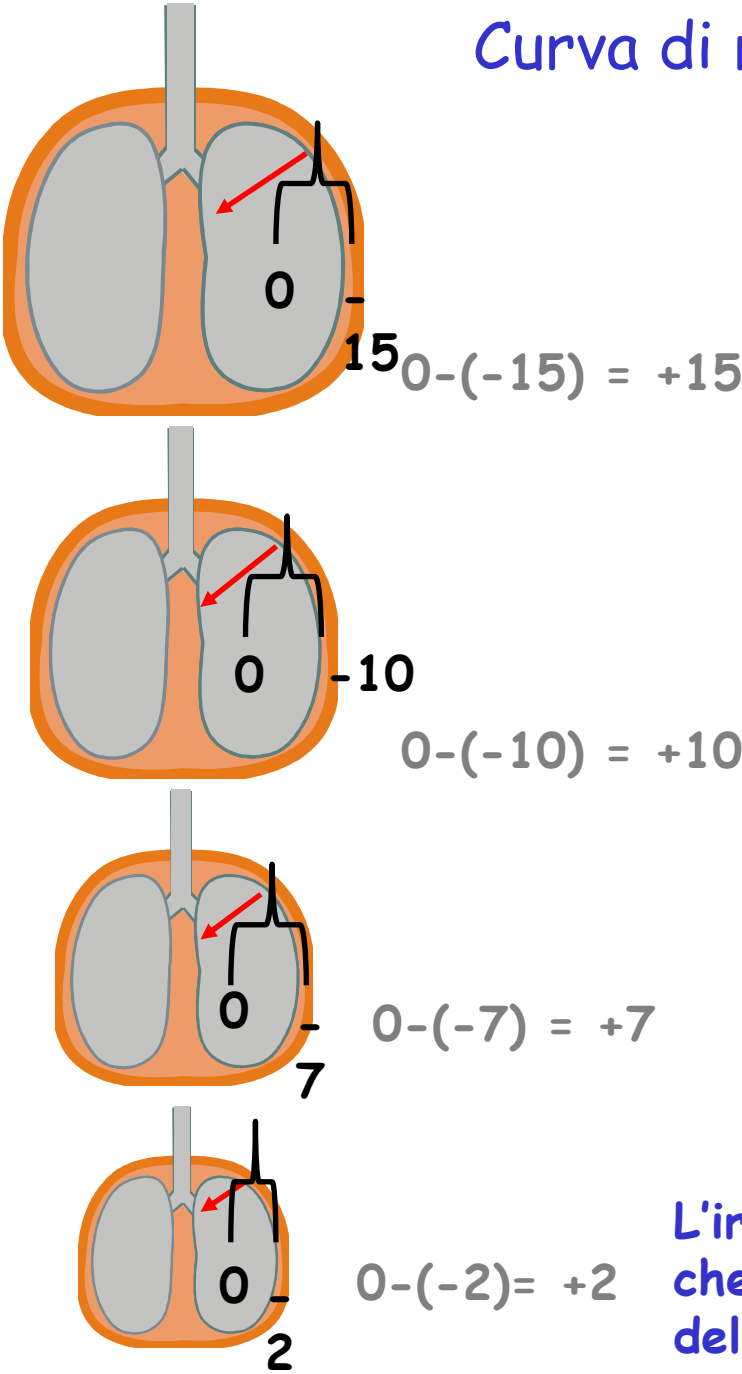
Direzione delle forze di retrazione elastica ed effetto sulla P_i



La chiusura delle vie aeree fa in modo che la P_i sia dipendente dal ritorno elastico del polmone e del torace

- Per ricavare la curva di rilasciamento del solo polmone si misura, a diversi volumi, la **pressione endopleurica**, mantenendo la **muscolatura respiratoria contratta** e la **glottide aperta**.

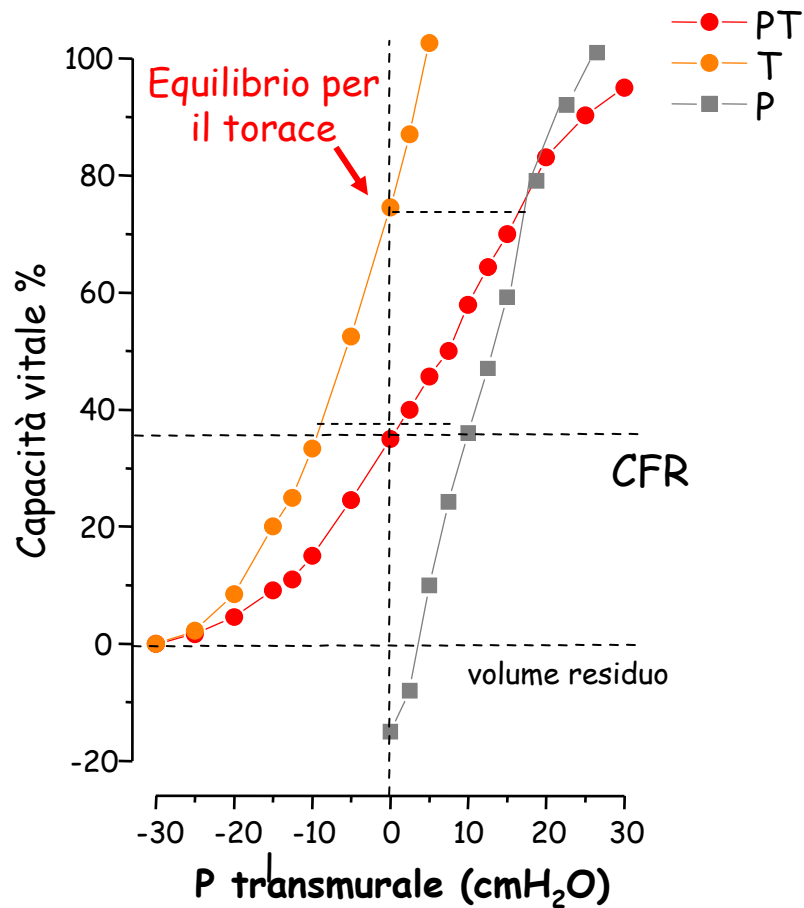
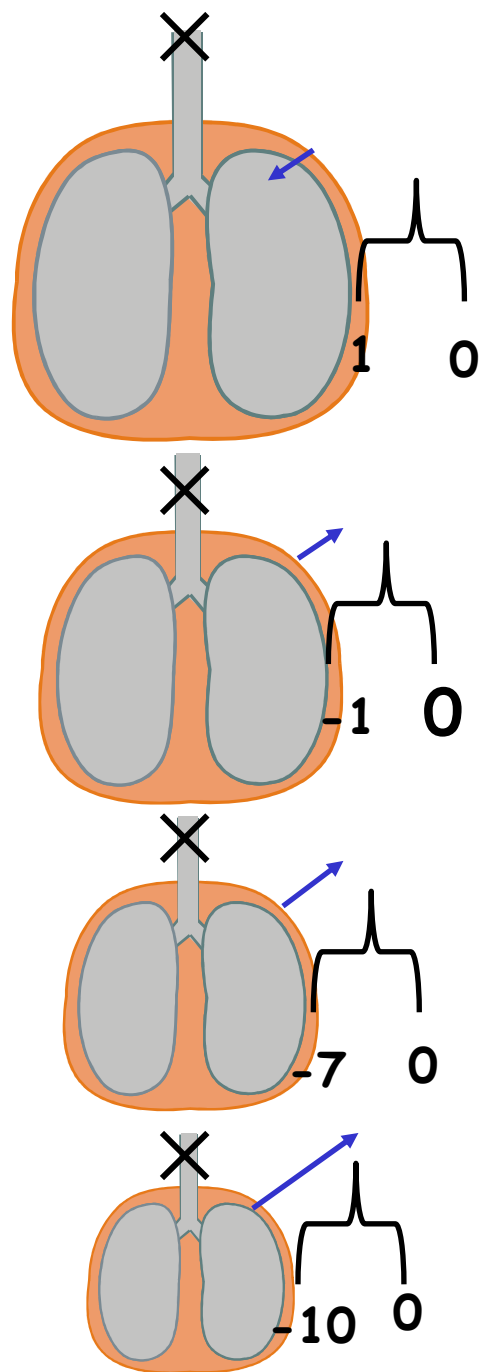
Curva di rilasciamento polmonare



L'irrigidimento della parete toracica fa in modo che la P_e sia dipendente dal solo ritorno elastico del polmone

- Per ricavare la curva di rilasciamento della sola **gabbia toracica** si misura, a diversi volumi, la pressione endopleurica, con la muscolatura respiratoria rilasciata e la glottide chiusa.

Curva di rilasciamento toracica



Il ritorno elastico del polmone è annullato dall'aria al suo interno. La P_e dipende dal solo ritorno elastico del torace

La pendenza delle curve di rilasciamento, cioè il rapporto:

$\Delta V/\Delta P$ esprime la **COMPLIANCE** del sistema.

Il polmone e il torace sono sistemi disposti in serie per cui:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

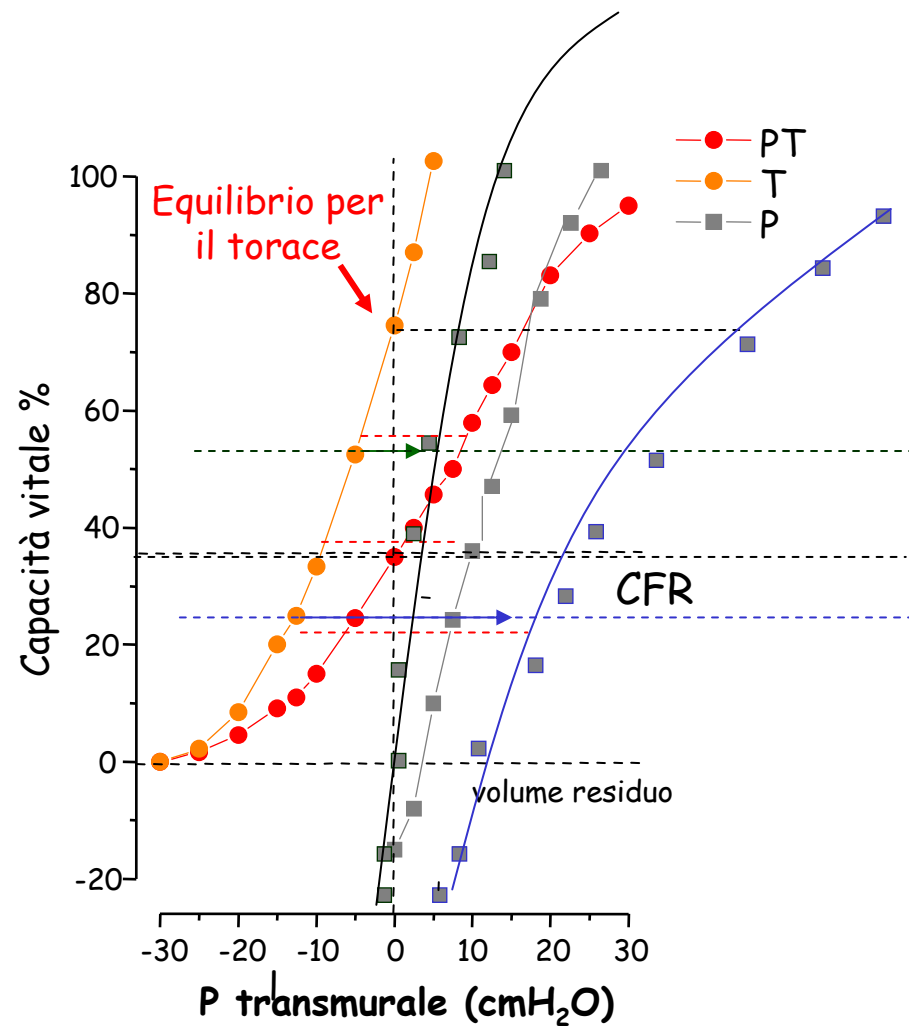
$$1/C_{t-p} = 1/C_t + 1/C_p$$

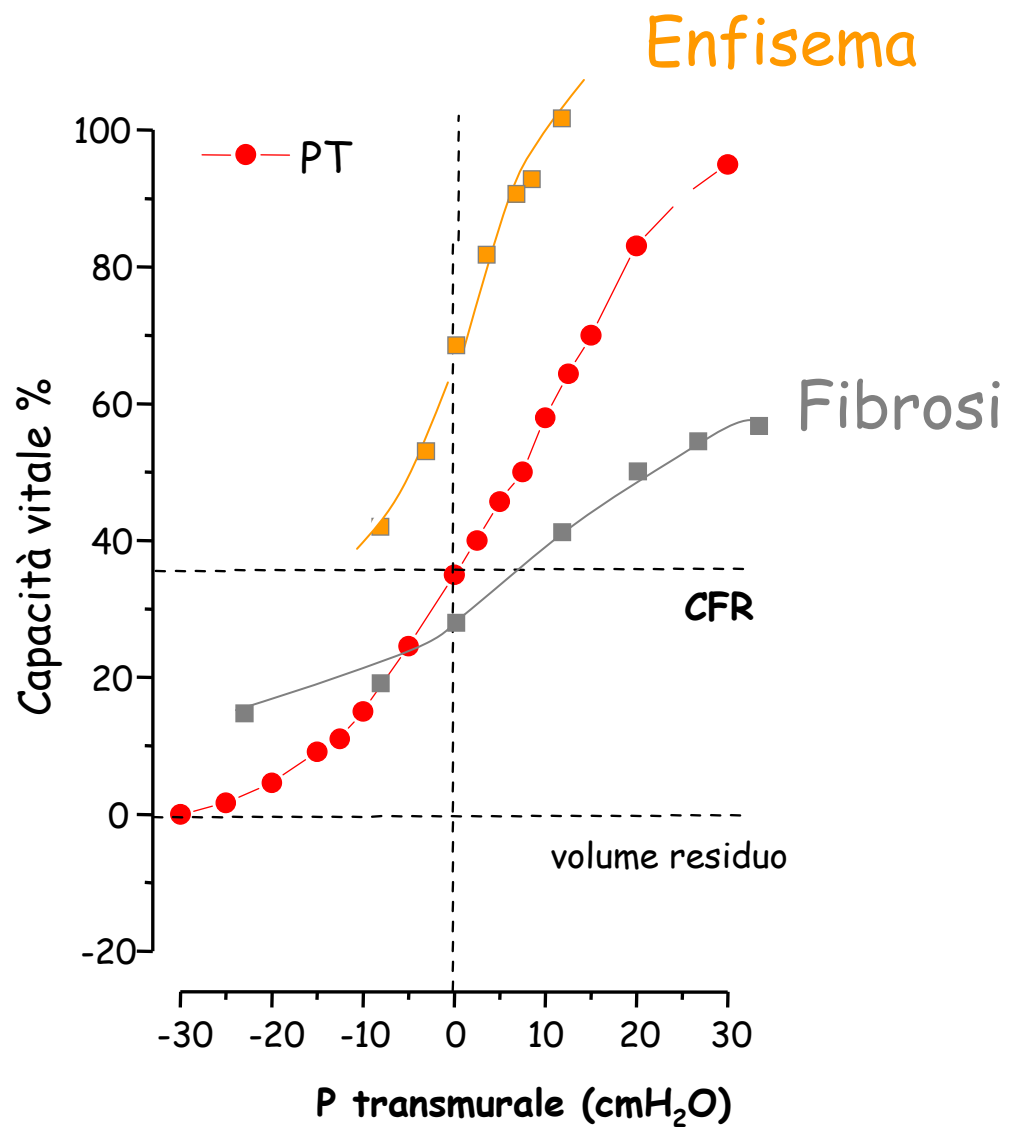
$$1/C_{t-p} = 1/200\text{ml/cmH}_2\text{O} + 1/200\text{ml/cmH}_2\text{O} = C_{t-p} = 100\text{ml/cmH}_2\text{O}$$

La compliance varia al variare del volume, quindi viene normalmente indicata la **compliance specifica**, riferita alla CFR:

$$C_p / \text{CFR}$$

La Compliance diminuisce in tutte le condizioni in cui il polmone diventa più rigido (patologie restrittive, fibrosi ecc.) e aumenta nelle patologie in cui il polmone è meno rigido (enfisema).





Diversità tra clinostatismo ed ortostatismo.

In clinostatismo non varia la P/V del polmone rispetto all'ortostatismo, ma si sposta a destra la P/V del torace: è più difficile distendere il torace a causa dei visceri.

Il respiro è più difficoltoso.

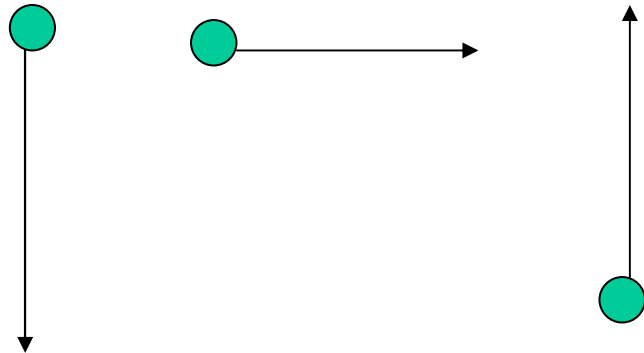
I pazienti con dispnea preferiscono stare seduti

Effetto Gravità

CFR = 50%

35%

30%



La pendenza delle curve di rilasciamento, cioè il rapporto:

$\Delta V/\Delta P$ esprime la **COMPLIANCE** del sistema.

Il polmone e il torace sono sistemi disposti in serie per cui:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

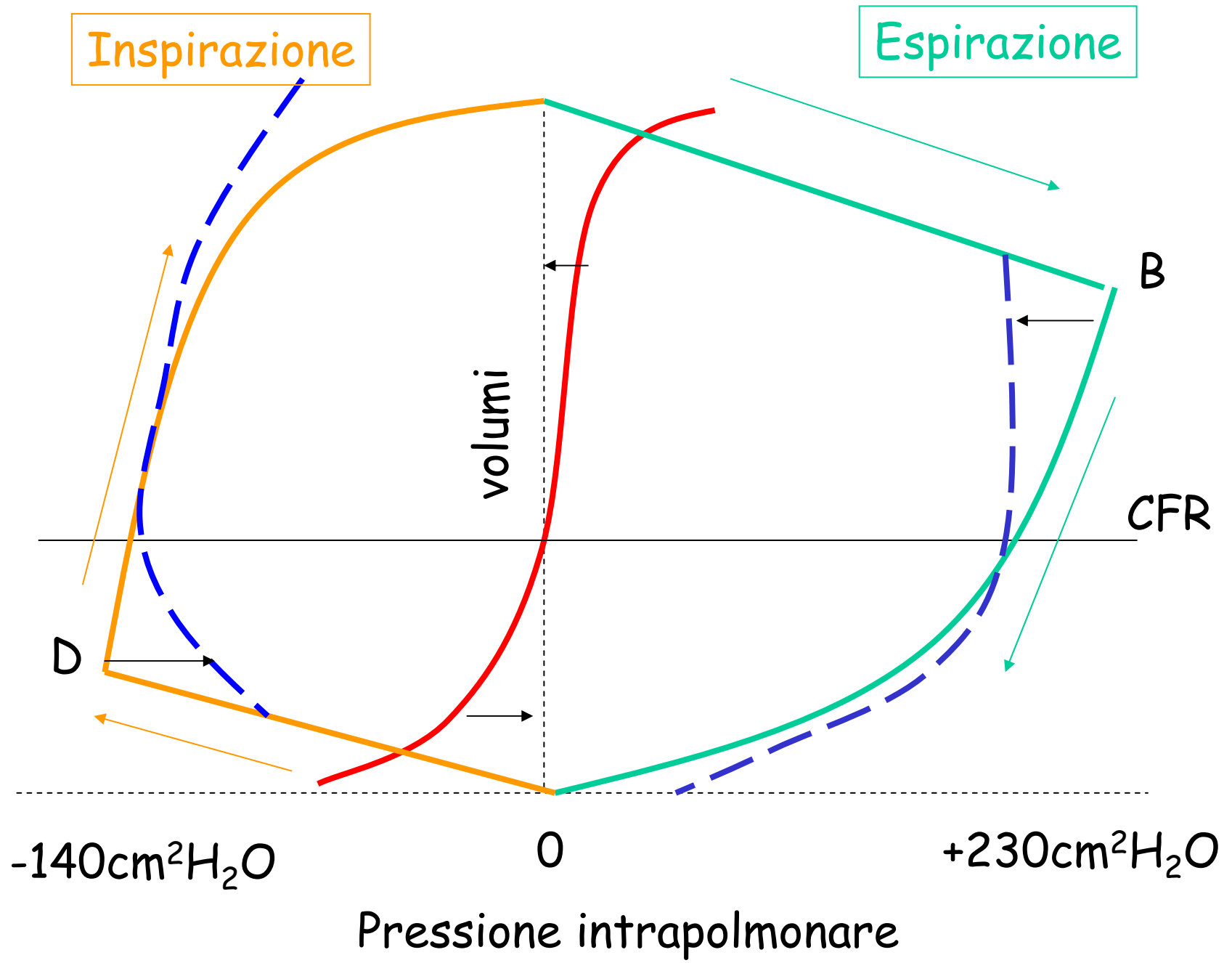
$$1/C_{t-p} = 1/C_t + 1/C_p$$

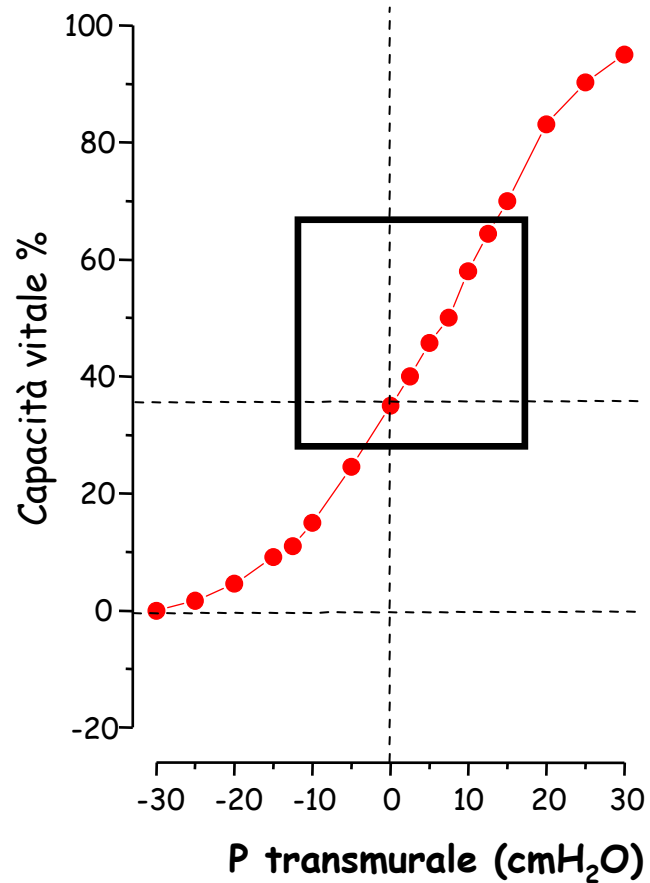
$$1/C_{t-p} = 1/200\text{ml/cmH}_2\text{O} + 1/200\text{ml/cmH}_2\text{O} = C_{t-p} = 100\text{ml/cmH}_2\text{O}$$

La compliance varia al variare del volume, quindi viene normalmente indicata la **compliance specifica**, riferita alla CFR:

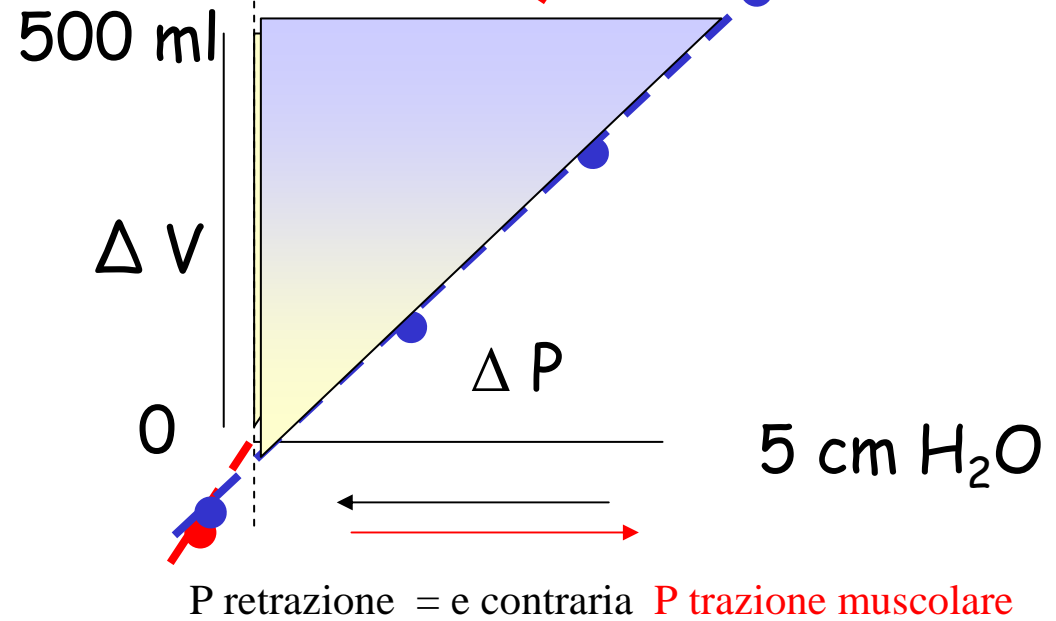
$$C_p / \text{CFR}$$

La Compliance diminuisce in tutte le condizioni in cui il polmone diventa più rigido (patologie restrittive, fibrosi ecc.) e aumenta nelle patologie in cui il polmone è meno rigido (enfisema).





Lavoro statico

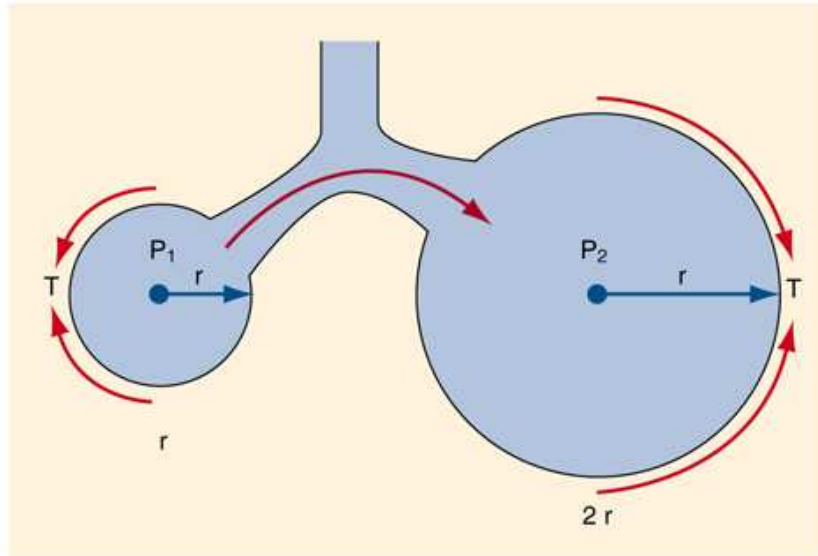


- Lavoro respiratorio (dal valore delle resistenze)
- L dinamico + statico ($P \cdot V / 2$)

Il comportamento elastico del polmone dipende da:

- **Componenti elastiche** del tessuto polmonare formato da fibre di elastina (facilmente distensibili) e collagene (meno distensibili).
- **Tensione superficiale**, che si forma a livello alveolare nell'interfaccia aria-liquido.
- La tensione superficiale: **50%** del lavoro elastico è da attribuire alla tensione superficiale

Tensione superficiale



© 2005 edi.ermes milano

Legge di Laplace

$$P = 2T/r$$

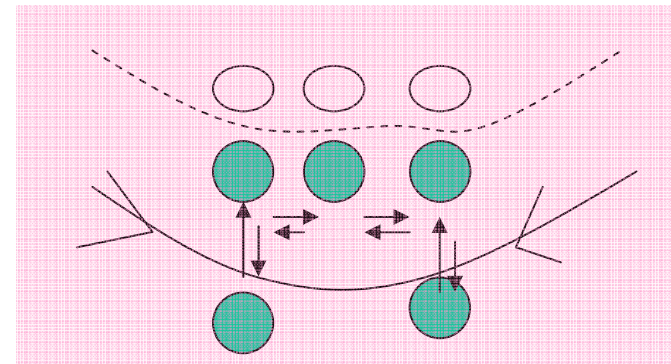
2 = in una sfera liquida

P = pressione

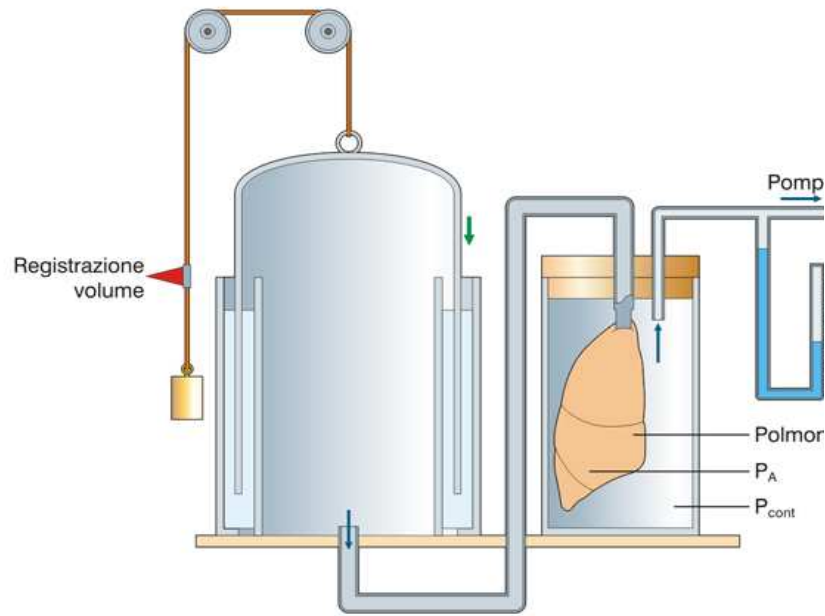
T = Tensione

r = raggio

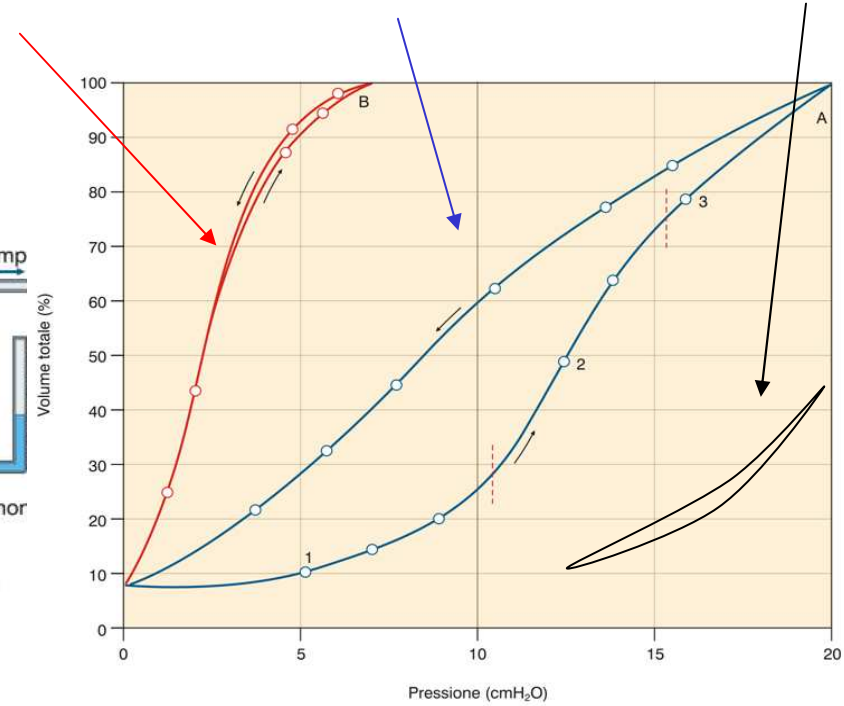
La struttura polare dell'acqua genera la tensione superficiale: attrazione delle molecole acqua solo dal basso e lateralmente.



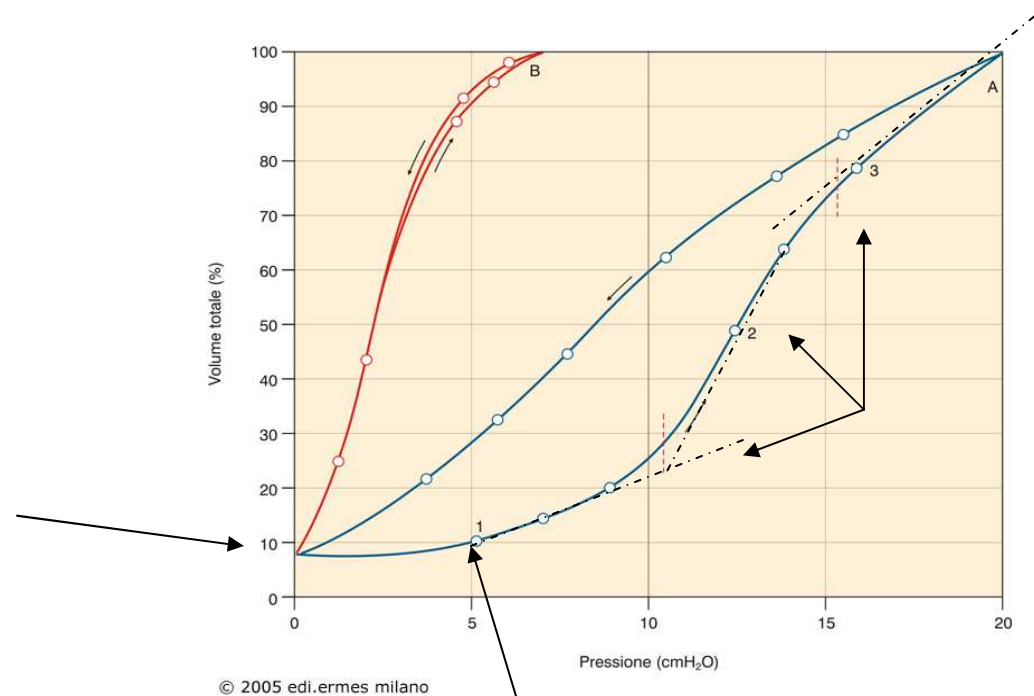
Liquido-liquido Liquido-aria+surf Liquido-aria-surf



© 2005 edi.ermes milano

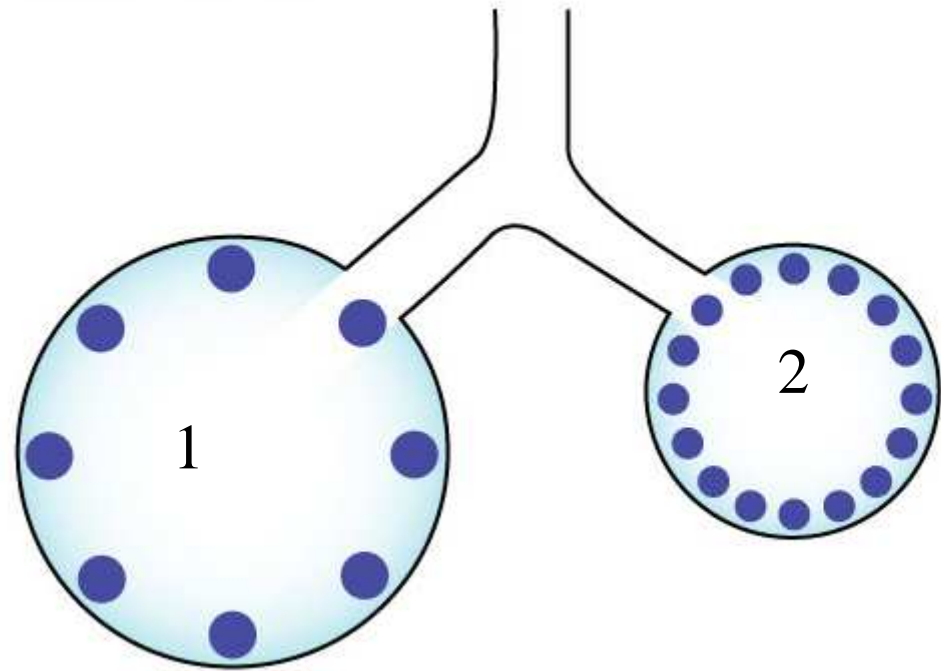
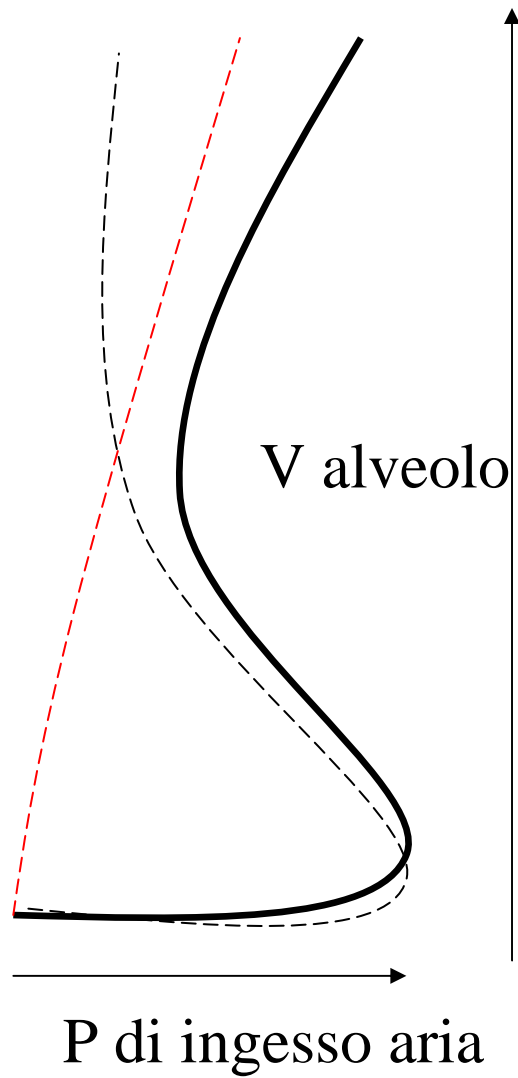


© 2005 edi.ermes milano

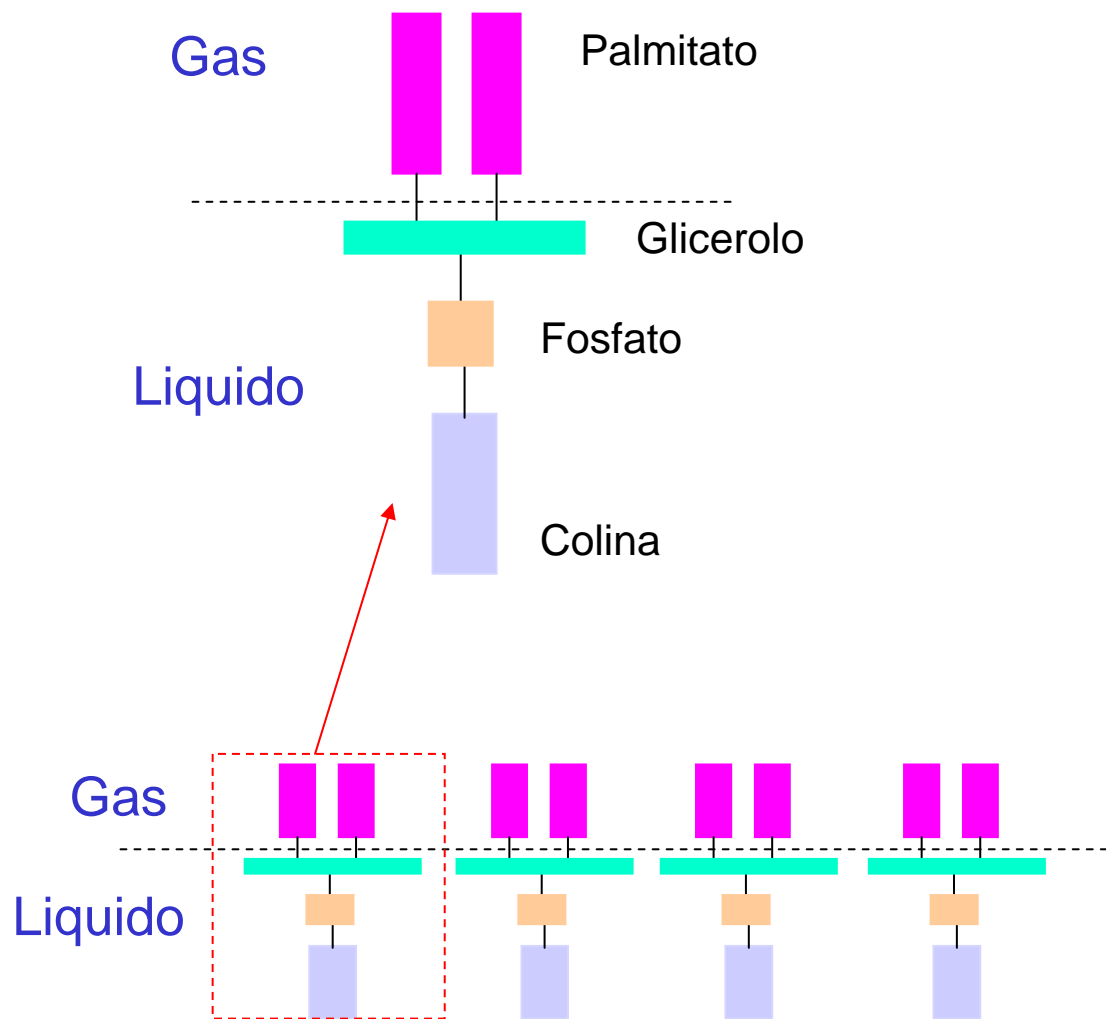


- 1) Volume minimo
- 2) Pressione critica di apertura
- 3) Reclutamento alveolare (dipende dal diametro alveolare)
- 4) Pendenze diverse
- 5) Isteresi: 3/4 dell'isteresi sono dovuti a fenomeni di superficie

Laplace : problemi



Il difficile equilibrio di due bolle:
Le dimensioni tendono ad aumentare
di una rispetto all'altra



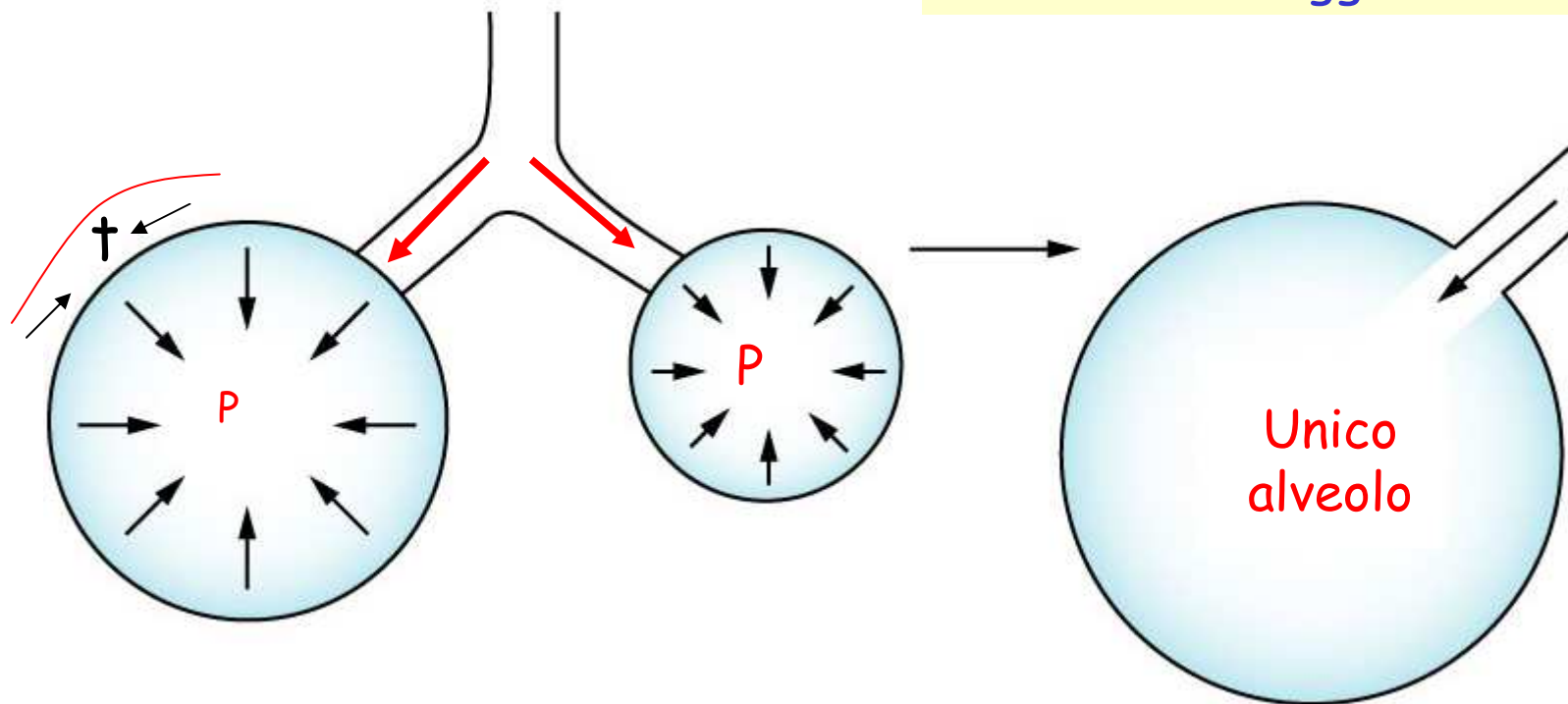
- Il surfattante è un fosfolipide: **Dipalmitoil-fosfatidilcolina (DPPC)** prodotto dai pneumociti di II tipo.
- Si dispone sulla superficie alveolare con la parte polare, idrofila, immersa nella fase liquida e la parte non polare, idrofoba, rivolta verso la fase gassosa.
- Le molecole di tensioattivo sono compresse durante la deflazione polmonare ed espansive durante l'insufflazione
- Il ricambio delle molecole di surfattante è favorito dall'espansione polmonare.

- La tensione superficiale in una bolla genera pressione.
- La relazione tra tensione superficiale e pressione è stabilita dalla Legge di Laplace

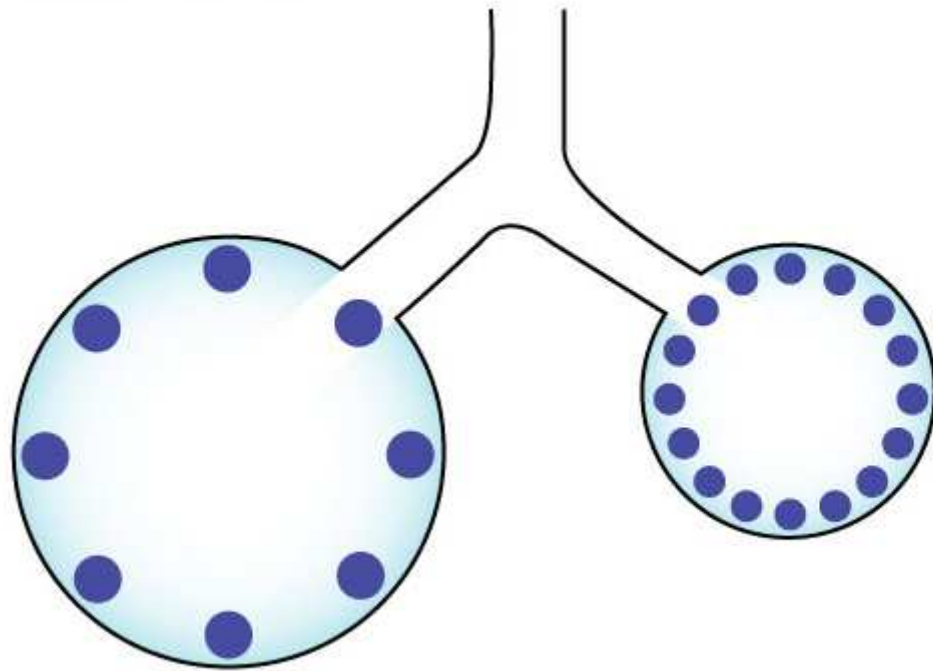
Legge di Laplace

$$P = 2T/r$$

P = pressione, T = Tensione,
r = raggio



A parità di tensione superficiale, la P è maggiore negli alveoli piccoli rispetto a quelli grandi. Gli alveoli piccoli tendono a svuotarsi in quelli grandi



- La tensione superficiale è ridotta dal tensioattivo polmonare (surfattante).
- L'effetto del surfattante è dipendente dall'estensione della superficie alveolare per cui T è contrastata maggiormente negli alveoli piccoli che in quelli grandi.
- Questo comportamento è legato alla diversa distribuzione del surfattante ai diversi volumi alveolari e spiega l'isteresi polmonare.

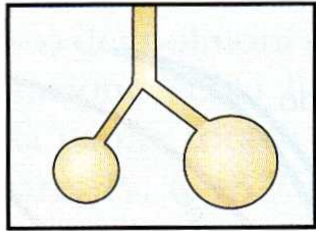
Il surfattante riduce la tensione superficiale quindi:

- Aumenta la compliance polmonare
- Mantiene la stabilità alveolare
- Impedisce il collasso degli alveoli (atelettasia) a bassi volumi
- Impedisce l'edema polmonare (minore pressione T_p , > pressione perialveolare)

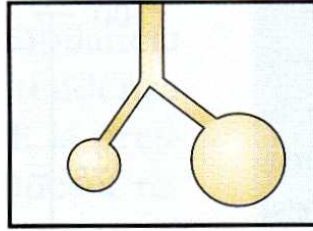
Il surfattante si forma tra il **IV-VII mese di gravidanza** (completo al 34° settimana), la sua mancanza è causa della sindrome da distress respiratorio del neonato.

- Nell'adulto la formazione del surfattante è ridotta dall'ipossia. La sua mancanza causa la sindrome da distress respiratorio dell'adulto (polmone da shock).

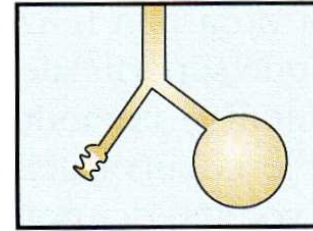
- La riduzione della T a bassi volumi è limitata dalla rottura dello strato monomolecolare di surfattante.
- Il ricambio delle molecole di surfattante è favorito dall'espansione polmonare.
- Il sospiro, lo sbadiglio, quando si respira a bassi volumi, favoriscono il ricambio impedendo l'atelettasia alveolare.



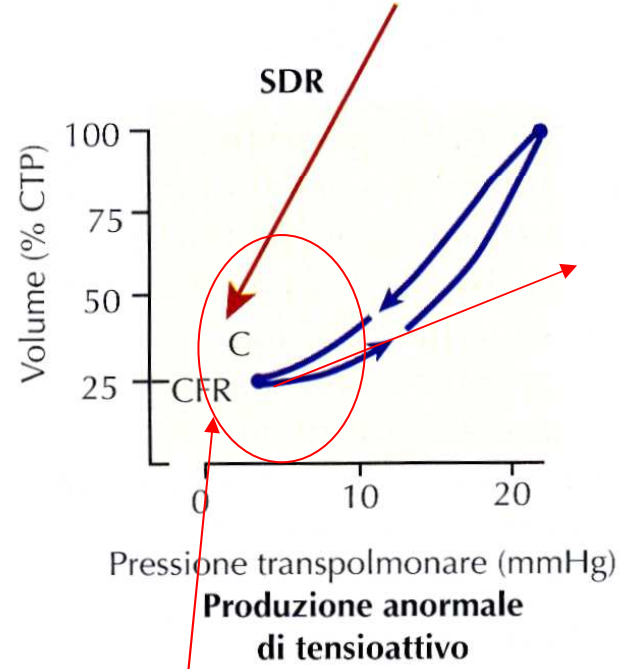
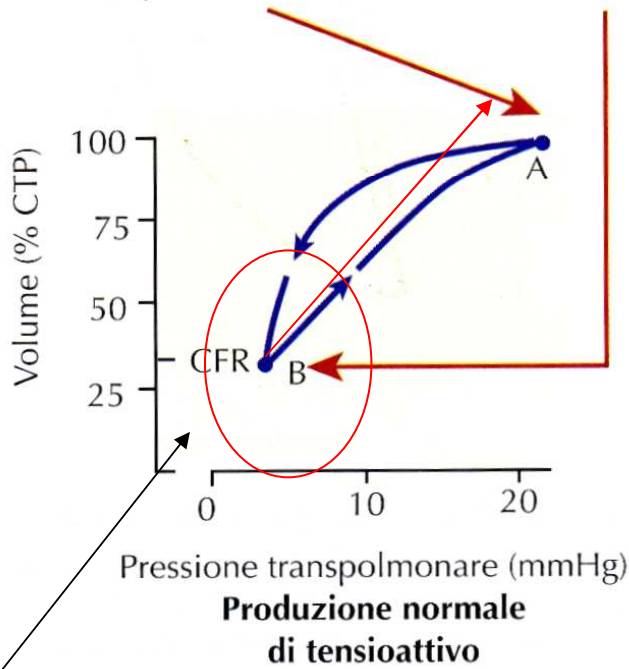
A: Fine inspirazione
(tensione superficiale alta)



B: Fine espirazione
(tensione superficiale bassa)



C: Fine espirazione
(tensione superficiale alta)



Facilitazione da surfactante

Mancanza di facilitazione

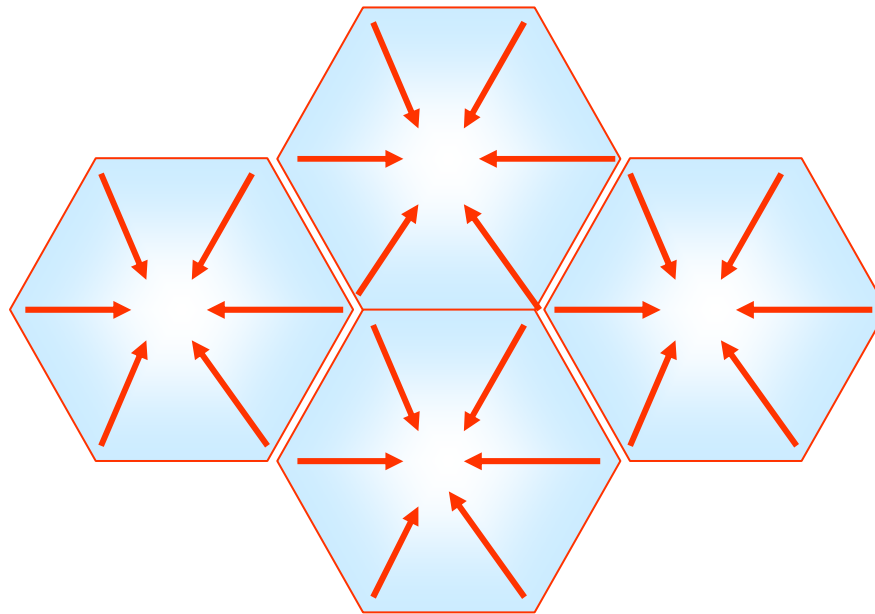
La stabilità alveolare è garantita da:

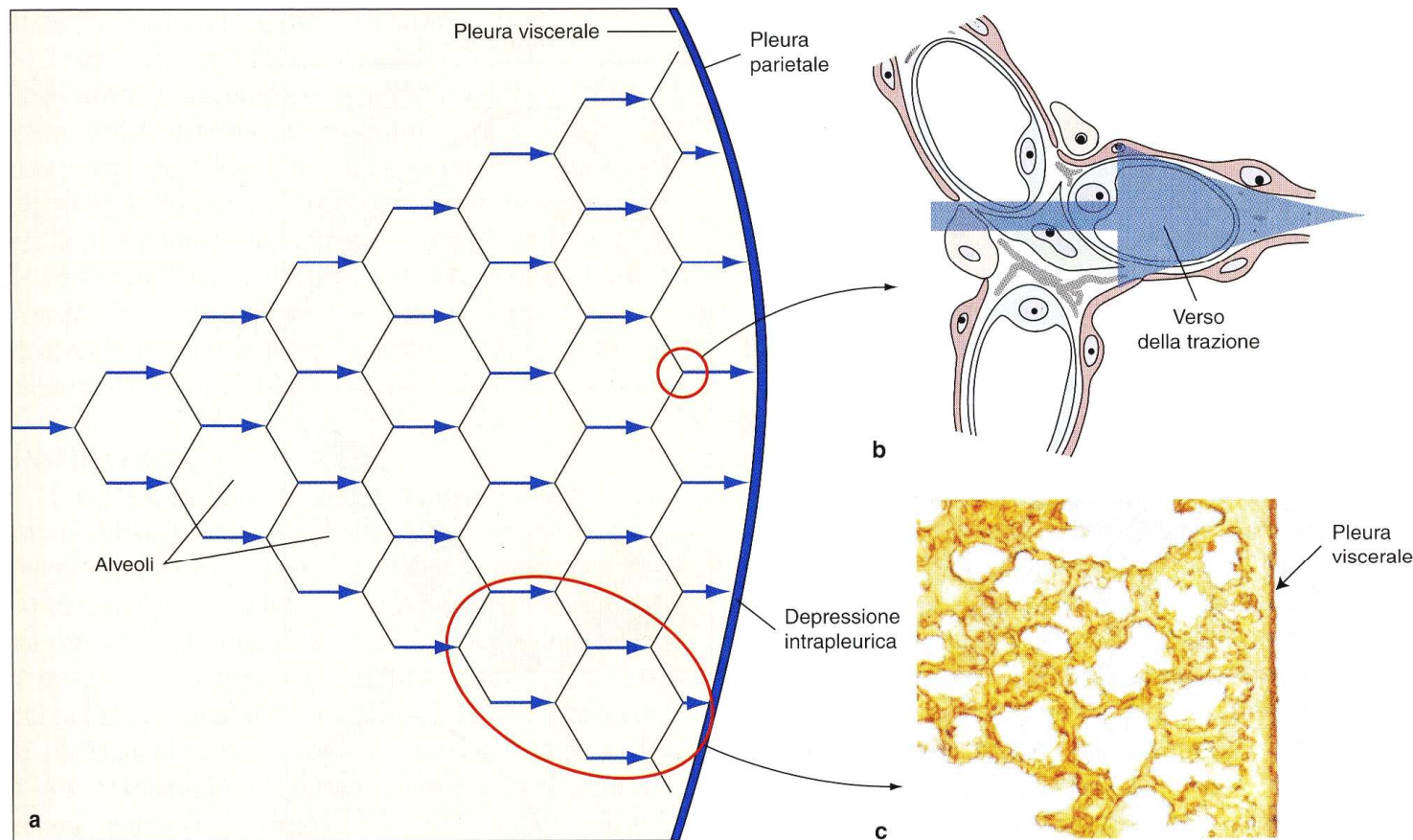
Tensioattivo polmonare (Surfattante):

Riduce la tensione superficiale.

Interdipendenza alveolare:

Quando un alveolo tende a collassare, viene sorretto dalla forza di retrazione elastica degli alveoli vicini.





La pervietà delle vie aeree piccole e degli alveoli è garantita dalla messa in tensione delle strutture elastiche dei setti, nelle quali le vie aeree e gli alveoli sono inglobati. I setti e gli alveoli più esterni sono mantenuti espansi dalla pleura viscerale. La tensione si trasmette meccanicamente dalla zona sottopleurica a quella più profonda del polmone.