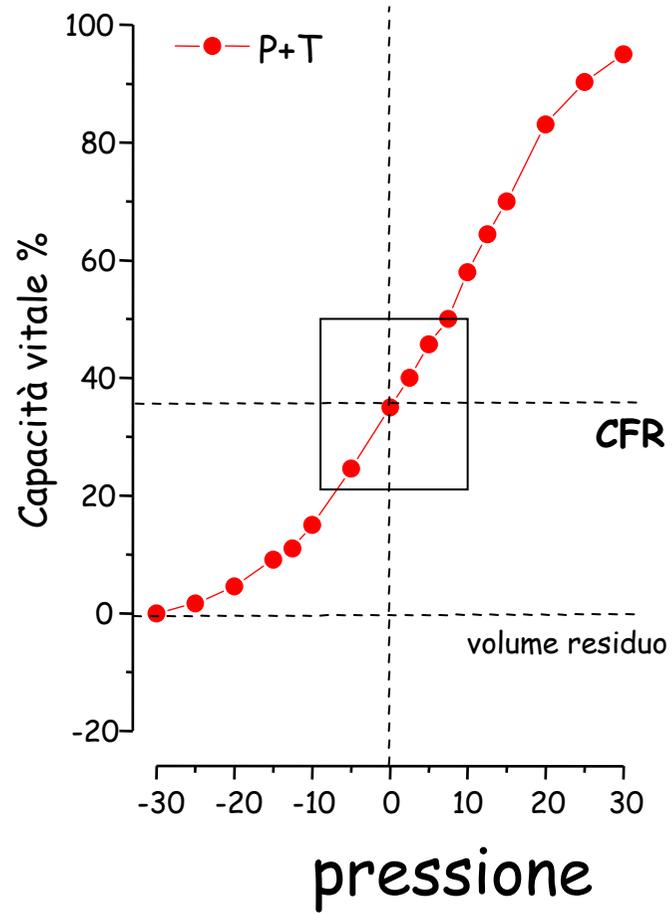
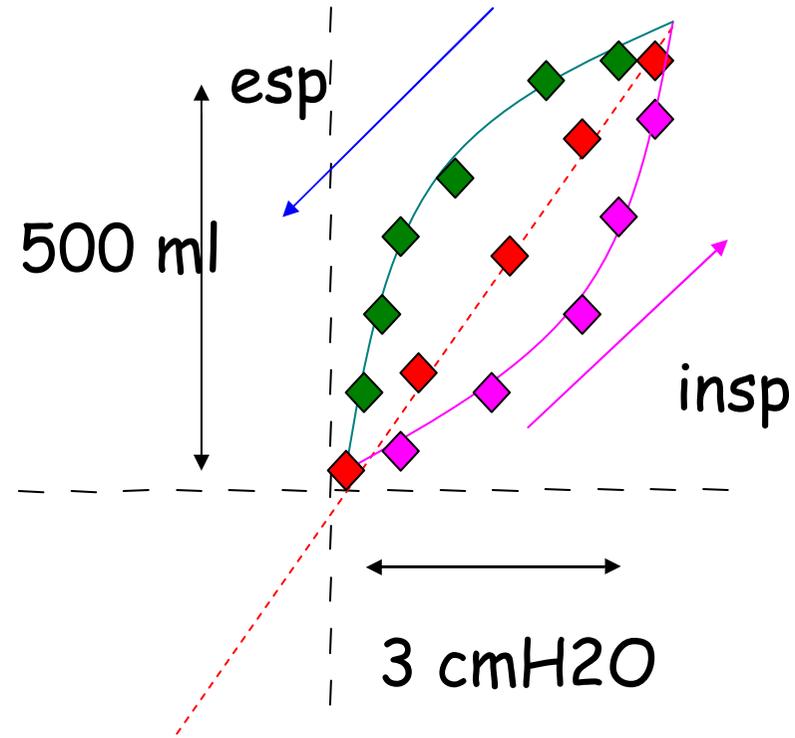


## Curva statica



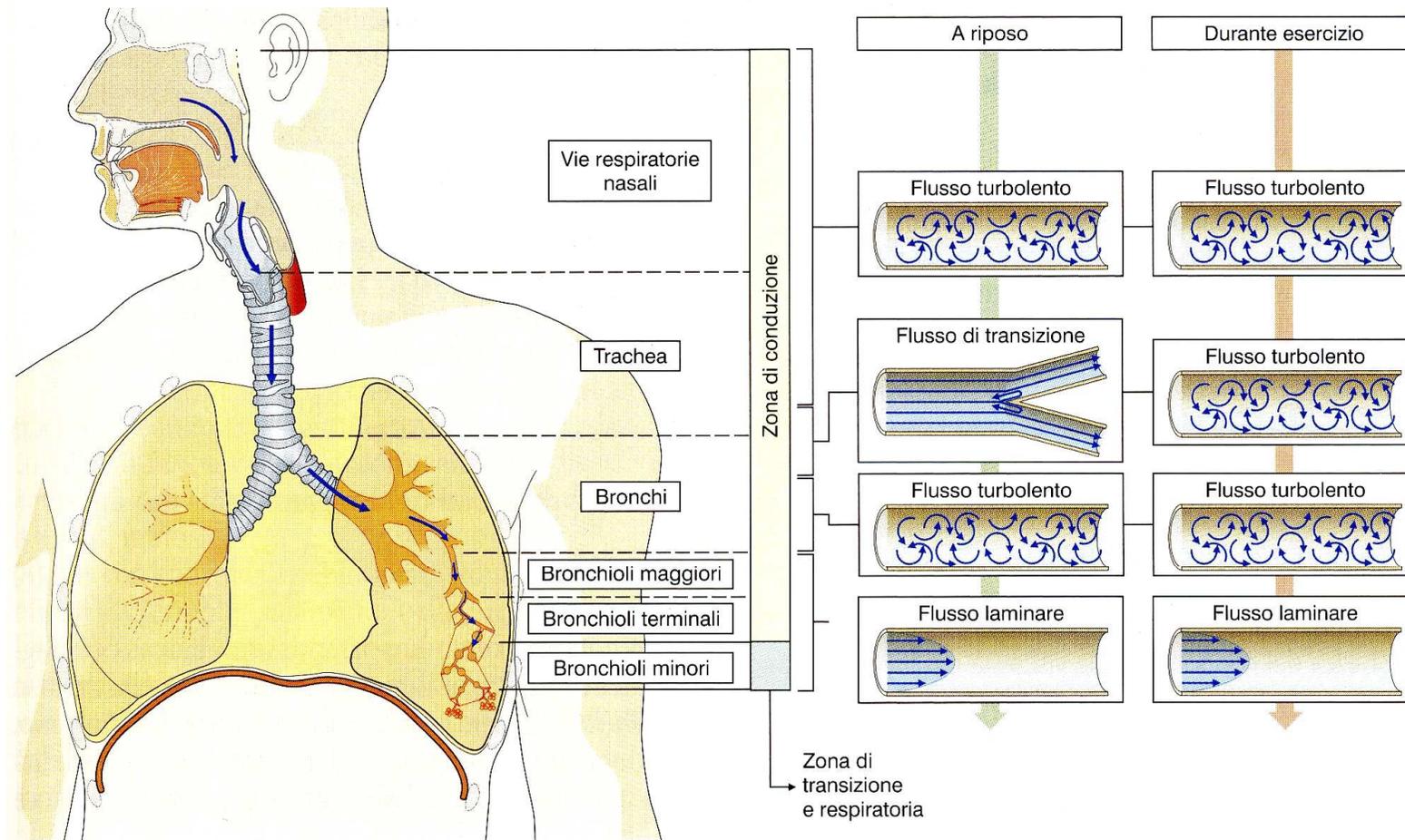
## Curva dinamica: tempo



## Curve dinamiche

- Isteresi per la tensione superficiale
- Isteresi per la viscosità dei tessuti
- Isteresi per le resistenze delle vie aeree

# Flusso nelle vie aeree



# Resistenze delle vie aeree

Valutabili in condizioni dinamiche, quando si crea flusso.

- Flusso turbolento nelle vie aeree più grandi (numero di Reynolds  $> 2000$ ) ( $Re = r \cdot v \cdot d / \eta$ )
- Flusso transizionale nelle biforcazioni
- Flusso turbolento nei bronchi piccoli
- Flusso laminare nelle piccole vie aeree

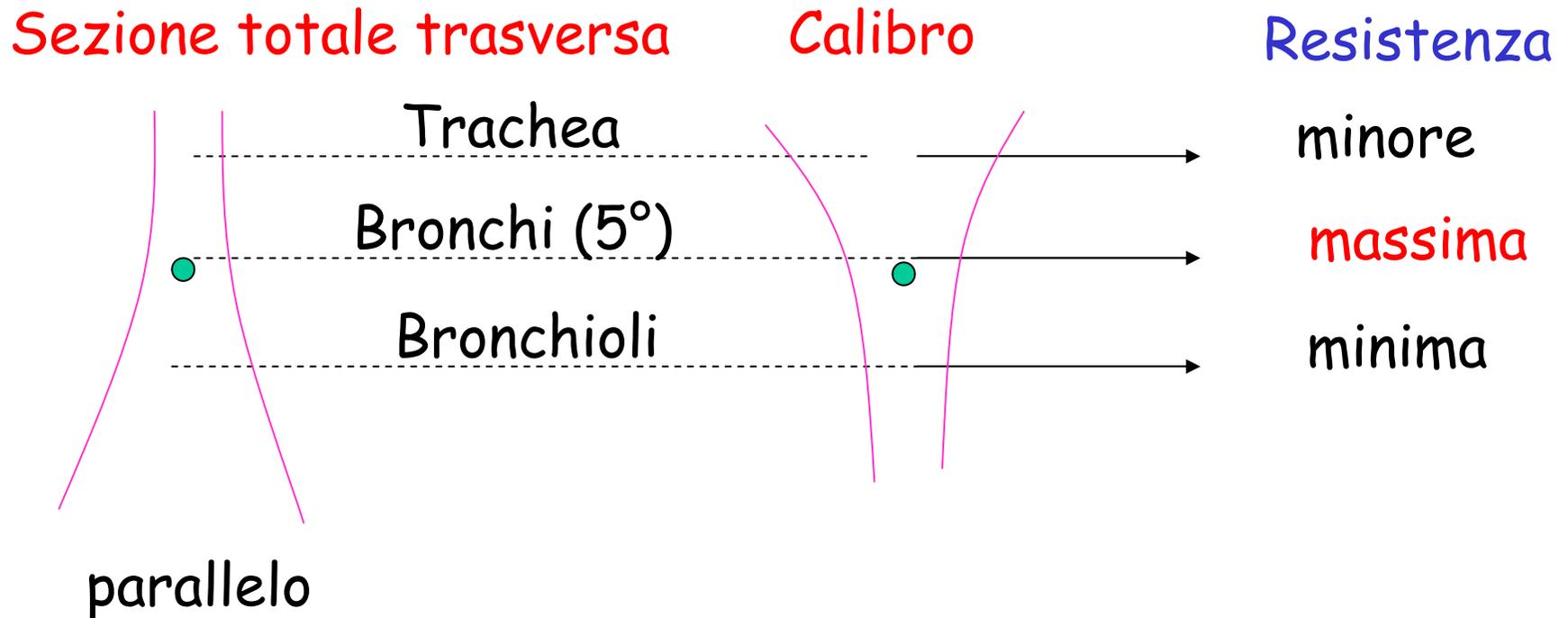
Anche per il flusso nelle vie aeree è applicabile l'equazione di Poiseuille  $\Delta P = F \cdot R \left( \frac{8\eta l}{\pi r^4} \right) = V \cdot K$  se il flusso è laminare. Nel flusso turbolento la resistenza al flusso è decisamente maggiore:  $\Delta P = V^2 \cdot K$

In individui normali  $R \cong 1.5$   
 $\text{cmH}_2\text{O}/(\text{l}/\text{s})$  (range 0.6-2.3).

Aumenta nelle patologie restrittive  
fino a  $10 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{l}/\text{s}$

# Resistenze e vie aeree

Massima resistenza nei bronchi 5 generazione per il loro ancora scarso numero (sez. trasversa) e il loro piccolo calibro

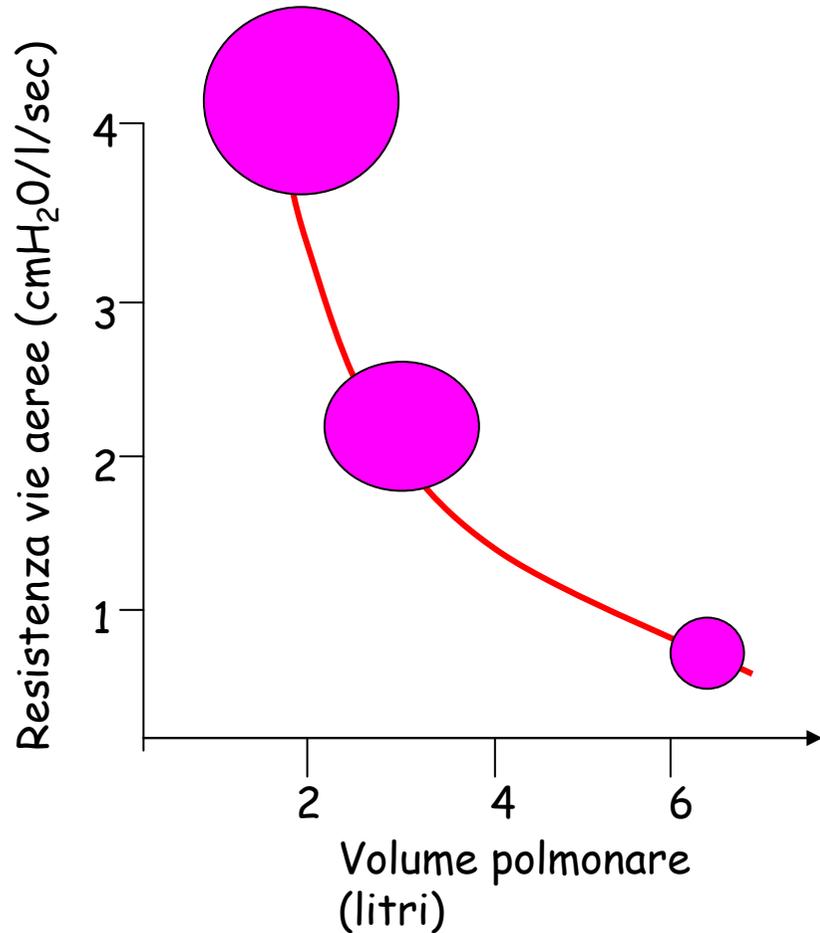


# Resistenze e sistema nervoso. autonomo

Parasimpatico: costrizione e  
ipersecrezione bronchiale

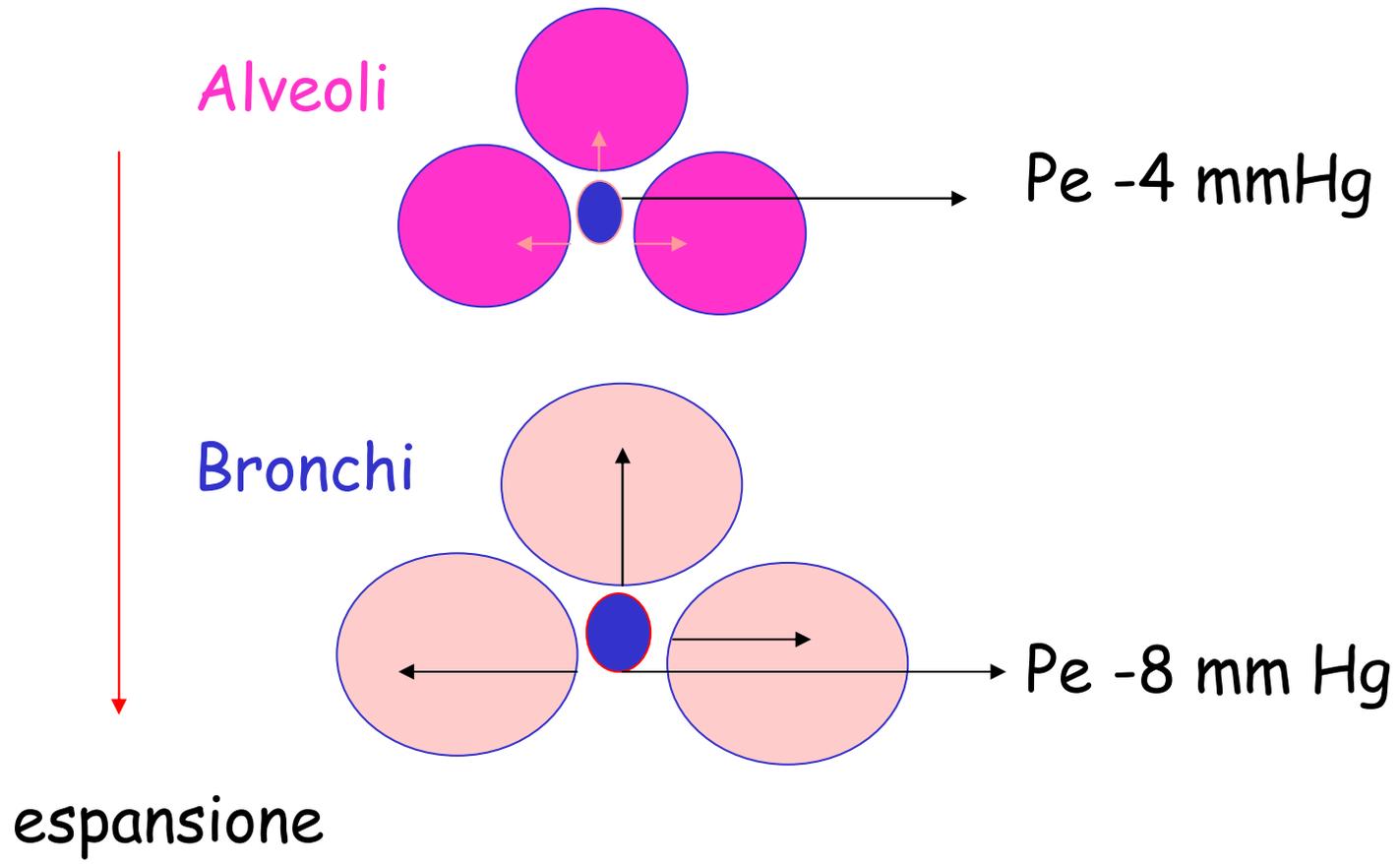
Simpatico (adrenergico): dilatazione  
e iposecrezione

## Volume polmonare e resistenze vie aeree



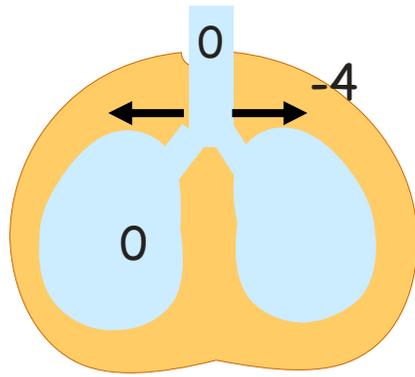
La R delle vie aeree diminuisce all'aumentare del volume polmonare perché aumenta il loro calibro:

- la **maggiore negatività della  $P_e$** , aumenta la  $P_{tm}$  provocando distensione dei condotti
- la **maggiore retrazione elastica** degli alveoli determina una maggiore trazione meccanica sulle pareti, distendendole

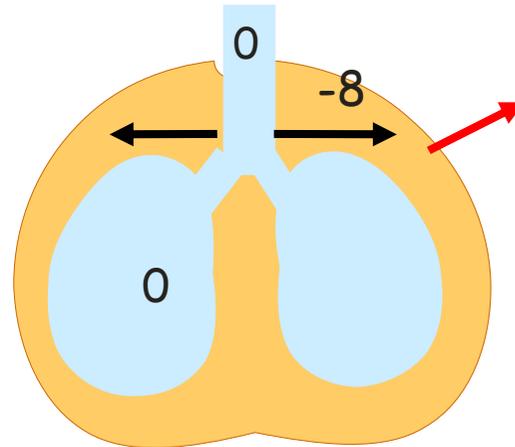


## Resistenze nelle vie aeree

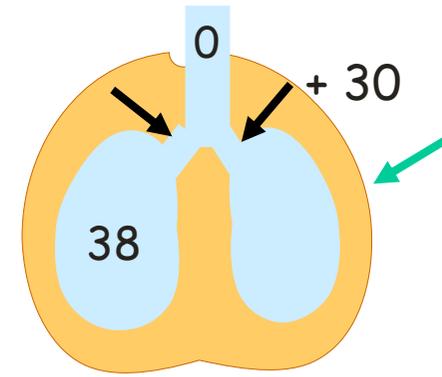
Riposo



Termine inspirazione



Durante espirazione forzata

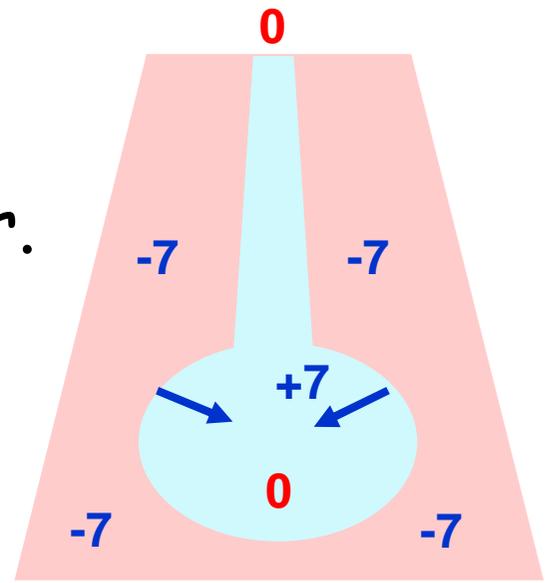


Durante l'espirazione a bassi volumi (espirazione forzata) la R delle vie aeree aumenta perché:

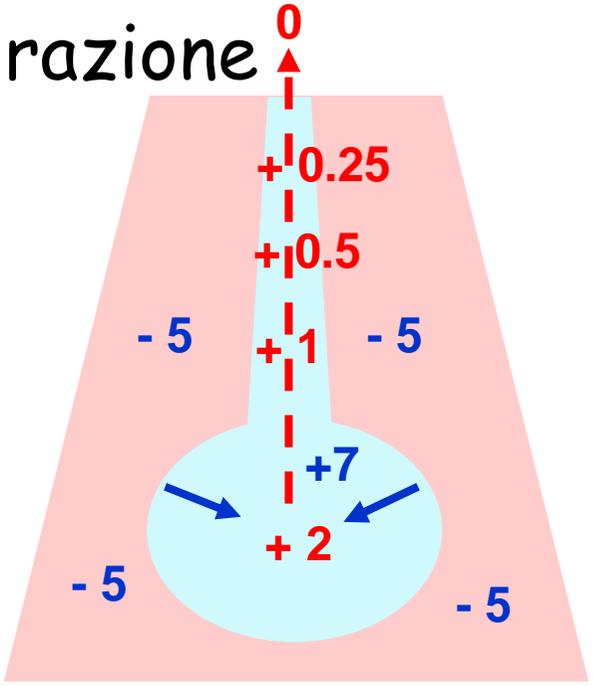
le vie aeree piccole collassano sotto l'azione della  $P_e$  che diventa positiva

a bassi volumi diminuisce la forza di retrazione alveolare (trazione meccanica)

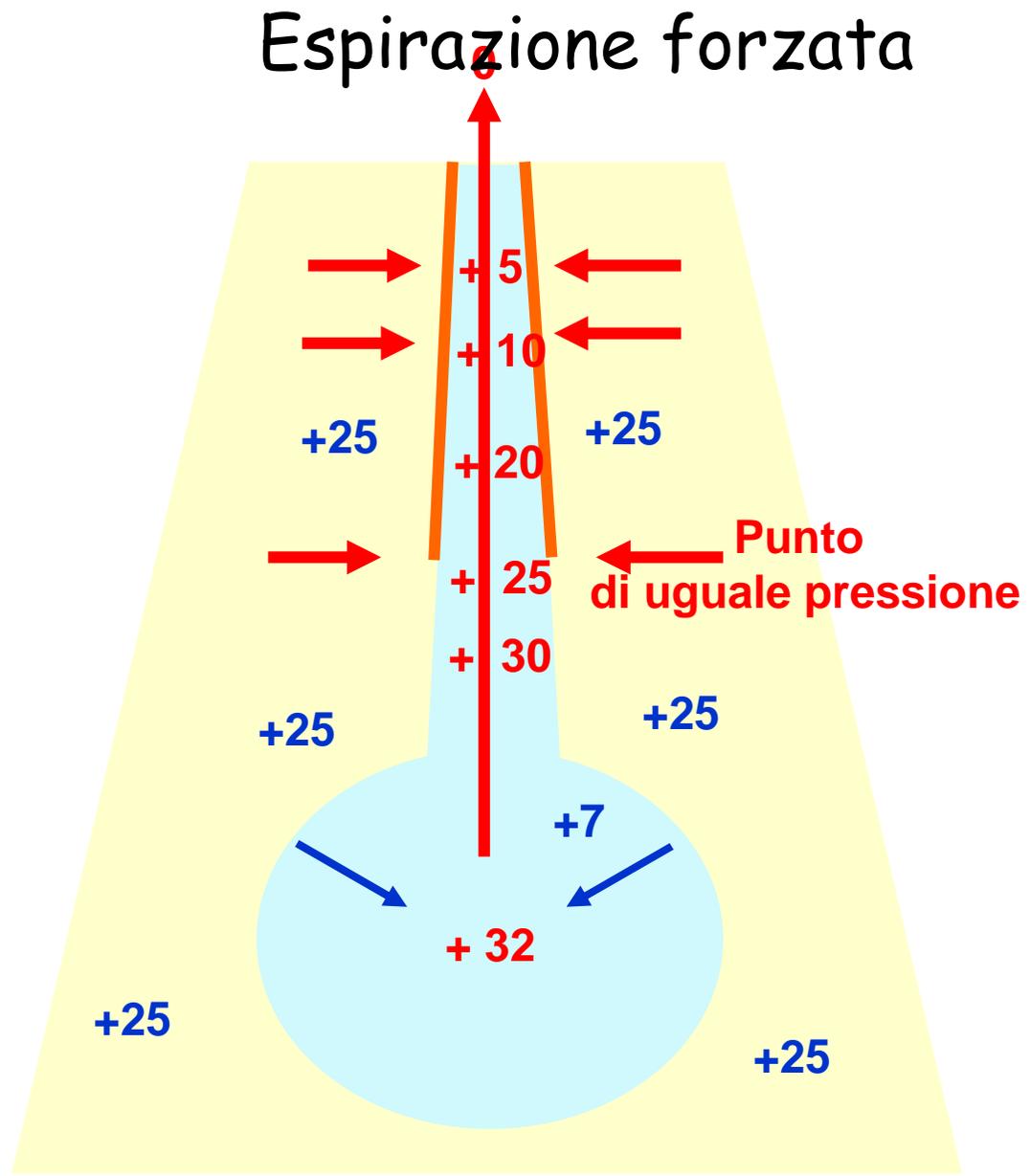
Fine Ispir.



espirazione



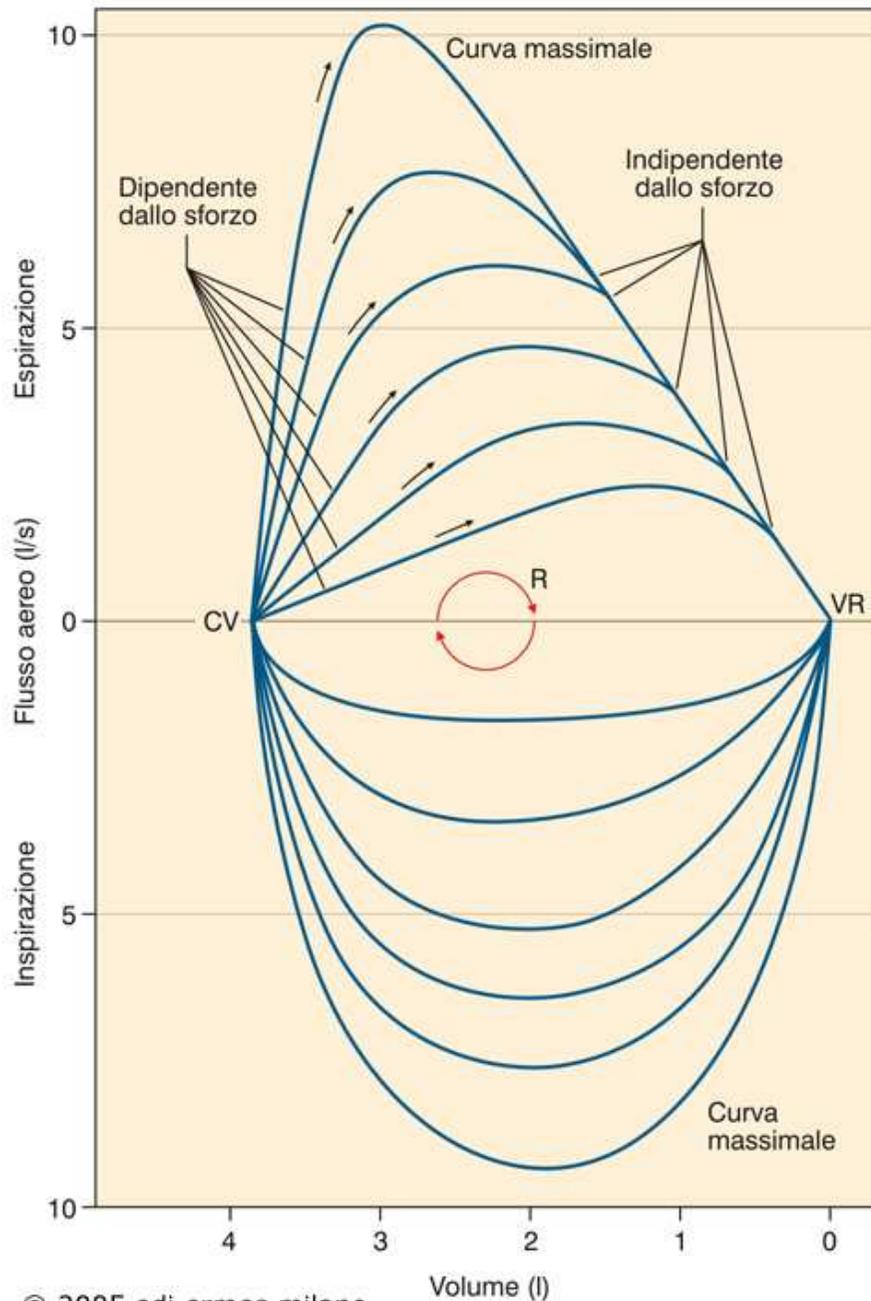
Espirazione forzata



Durante l'espiazione forzata si raggiunge un punto lungo le vie aeree in cui la  $P_e$  supera la  $P$  delle vie aeree determinando compressione delle stesse.

Più aumenta lo sforzo espiratorio, più positiva diventa la  $P_e$  e il punto di uguale pressione, oltre il quale si ha compressione, si sposta sempre più verso le zone più profonde del polmone.

**OLD PEOPLE BREATHING**

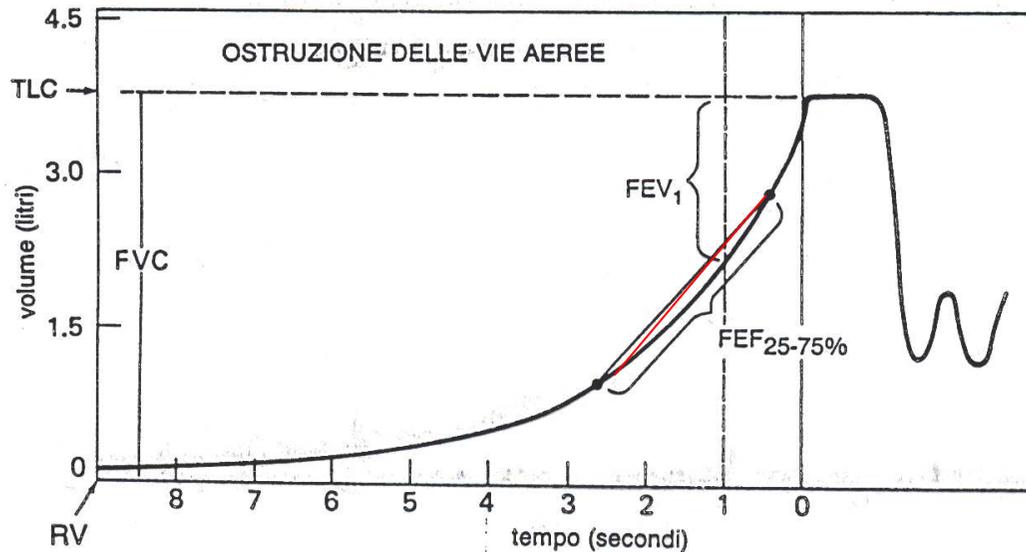
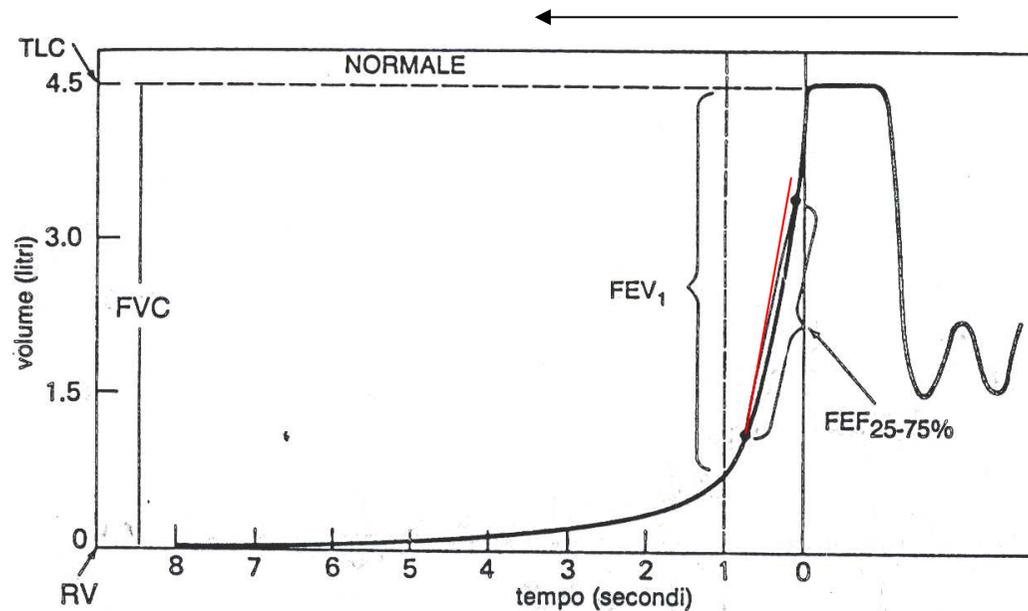


Diagrammi **flusso-volume** durante la respirazione normale (R) e in condizioni di espirazioni forzate a partire dalla CV con sforzi espiratori diversi

Durante le espirazioni forzate, il flusso aumenta rapidamente fino ad un massimo, che dipende dallo sforzo compiuto, e poi diminuisce per il resto dell'espirazione e diventa indipendente dallo sforzo espiratorio.

L'indipendenza dallo sforzo è dovuta alla compressione dinamica delle vie aeree, che comporta un aumento della R al flusso.

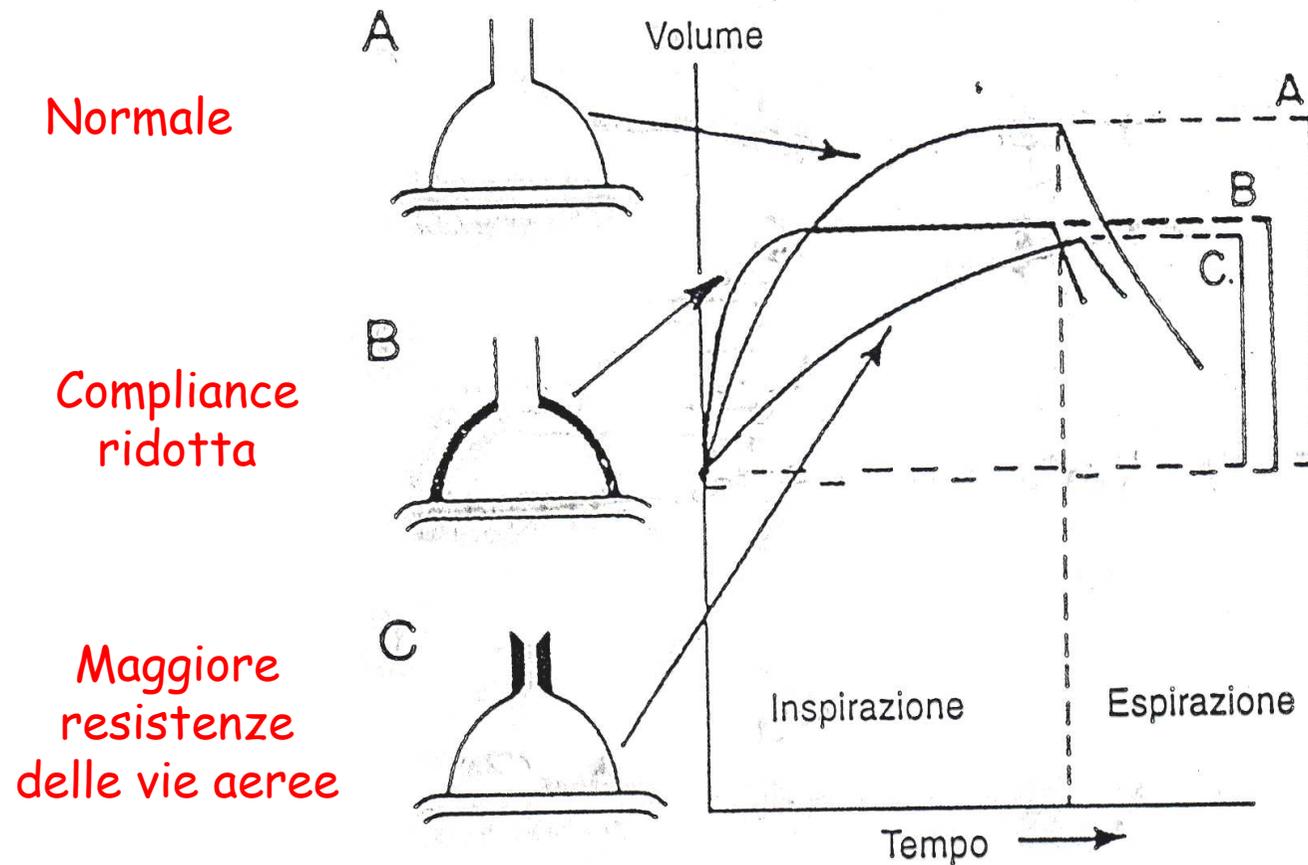
Nel soggetto sano la limitazione di flusso si osserva solo durante l'espirazione forzata.



In clinica, la valutazione delle resistenze delle vie aeree viene effettuata con **il test di capacità vitale forzata** (espirazione forzata partendo da CPT)

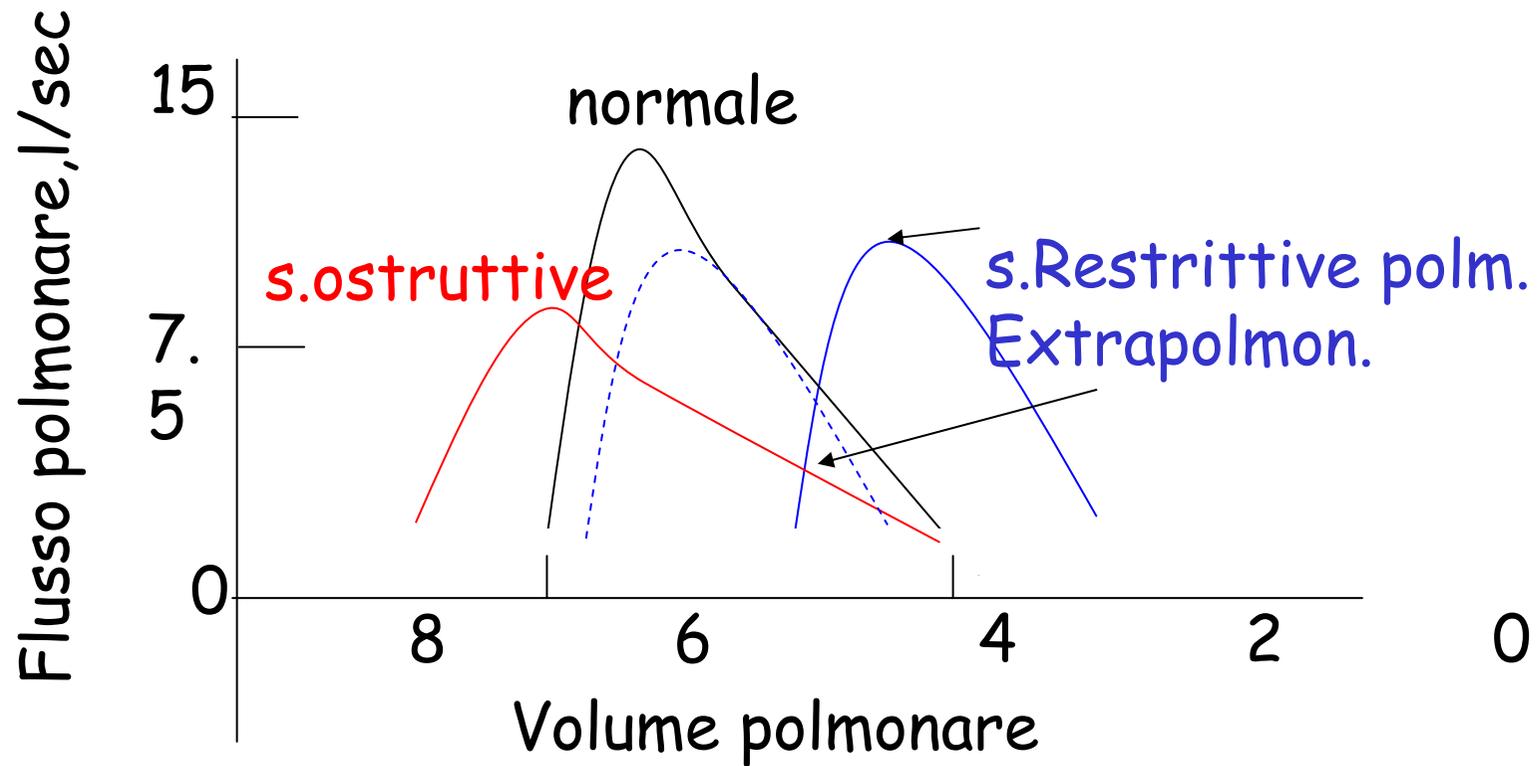
Si valuta il FEV<sub>1</sub> volume aria espirata nel primo secondo e si esprime come FEV<sub>1</sub> / CV (**indice di Tiffeneau**), che nel soggetto normale è 70-80% (70-80% del volume espirato viene espulso nel primo secondo)

Nelle patologie ostruttive il rapporto FEV<sub>1</sub> / FVC è < 80%



Nelle patologie restrittive il volume inspirato è basso perché il polmone è meno distensibile ma viene raggiunto velocemente

Nelle patologie ostruttive il volume inspirato è basso perché l'aumentata resistenza delle vie aeree ritarda il raggiungimento di un volume normale (l'inspirazione finisce prima che tale volume venga raggiunto)



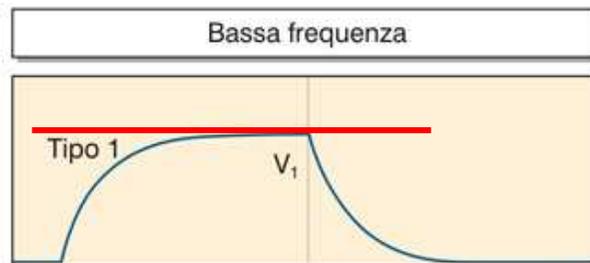
Nelle **patologie ostruttive** (aumentata resistenza delle vie aeree, asma, enfisema, ecc.) il flusso massimo è minore perché  $R$  è maggiore, la parte sforzo dipendente è alterata.

Nelle **patologie restrittive** (maggiore resistenza elastica, fibrosi ecc) il flusso è minore perché sono minori i volumi raggiunti, la parte sforzo dipendente della curva è normale.

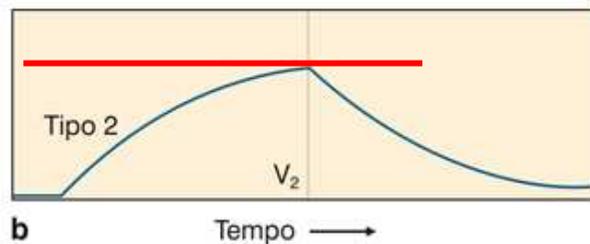
Le variazioni di volume alveolare seguono le variazioni di forza muscolare con un ritardo descritto dalla costante di tempo:

$$\tau = R \cdot C$$

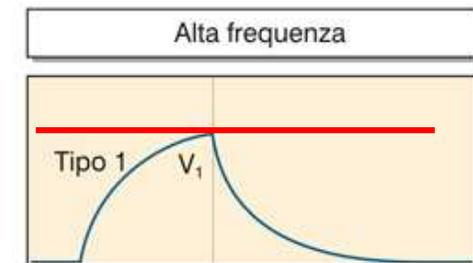
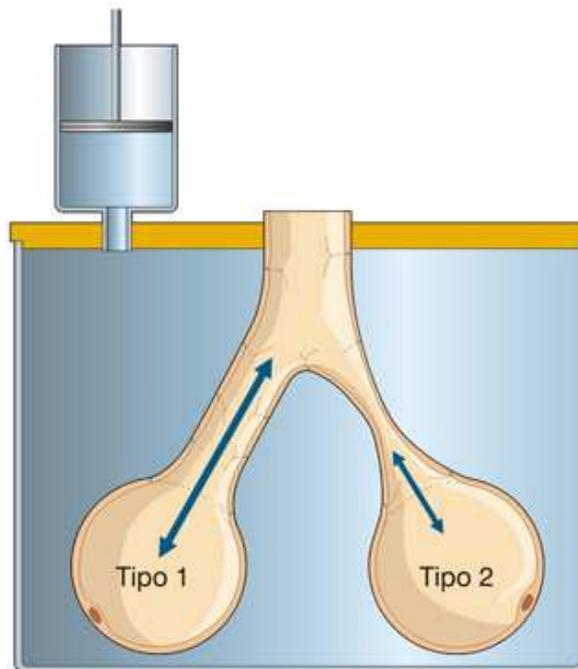
R = resistenza, C = compliance



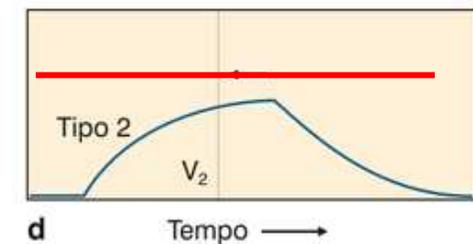
a



b



c

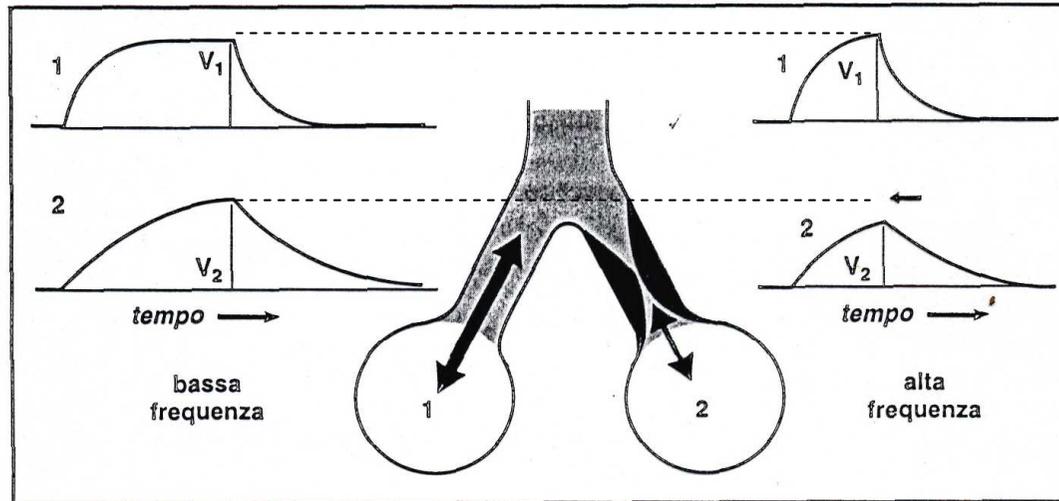


d

© 2005 edi.ermes milano

Con frequenza 12/min un ciclo respiratorio dura 5 sec (inspirazione 2.5 s). In condizioni normali (1) l'alveolo raggiunge il volume finale dopo 0.6 sec. Il volume può essere raggiunto anche ad alte frequenze respiratorie.

In condizioni patologiche (ostruttive, 2) il volume finale può essere raggiunto solo se la frequenza è bassa.



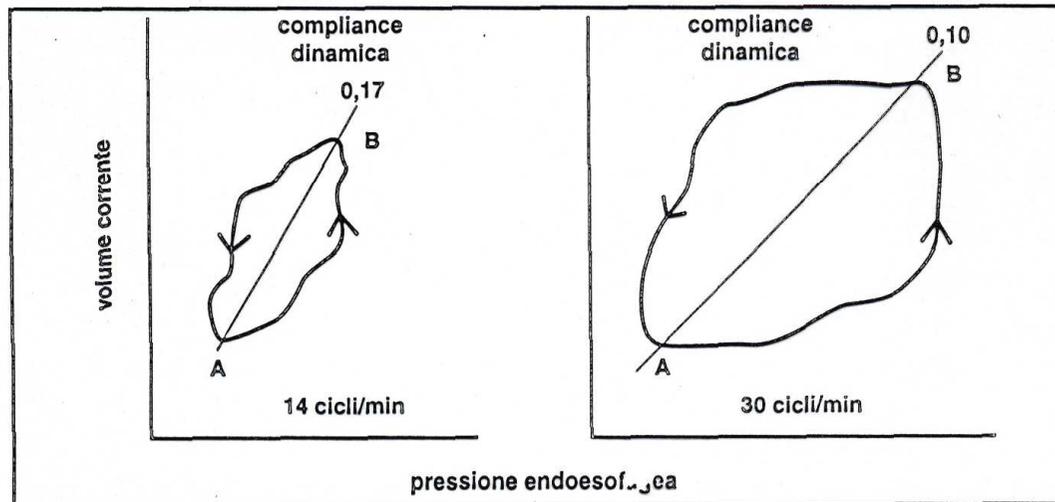
Le variazioni di volume alveolare seguono le variazioni di forza muscolare con un ritardo descritto dalla costante di tempo:

$$\tau = R \cdot C$$

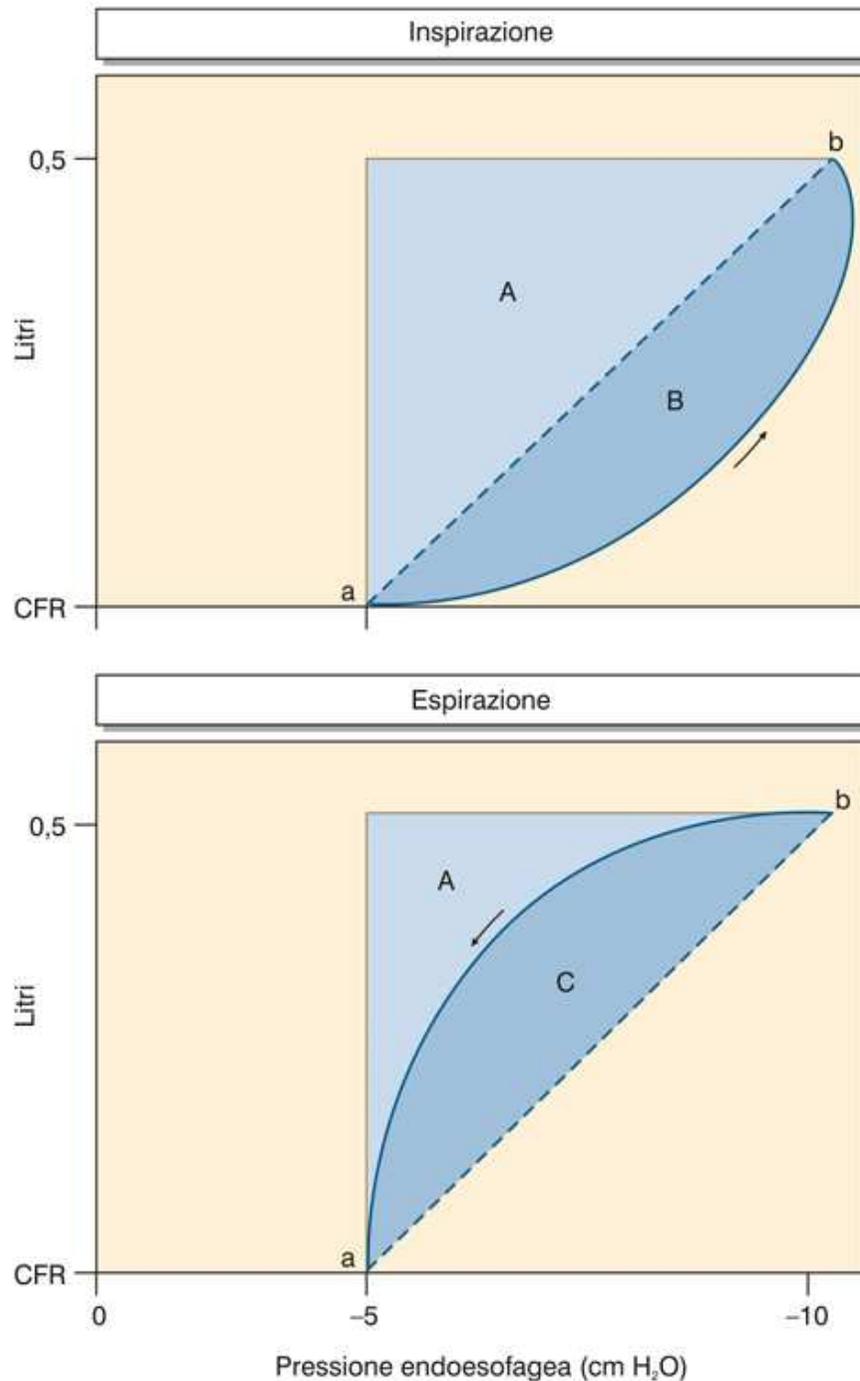
R = resistenza, C = compliance

In condizioni normali (1) l'alveolo raggiunge il volume finale sia a basse che alte frequenze respiratorie.

In condizioni patologiche (ostruttive, 2) il volume finale viene raggiunto solo alle basse frequenze.



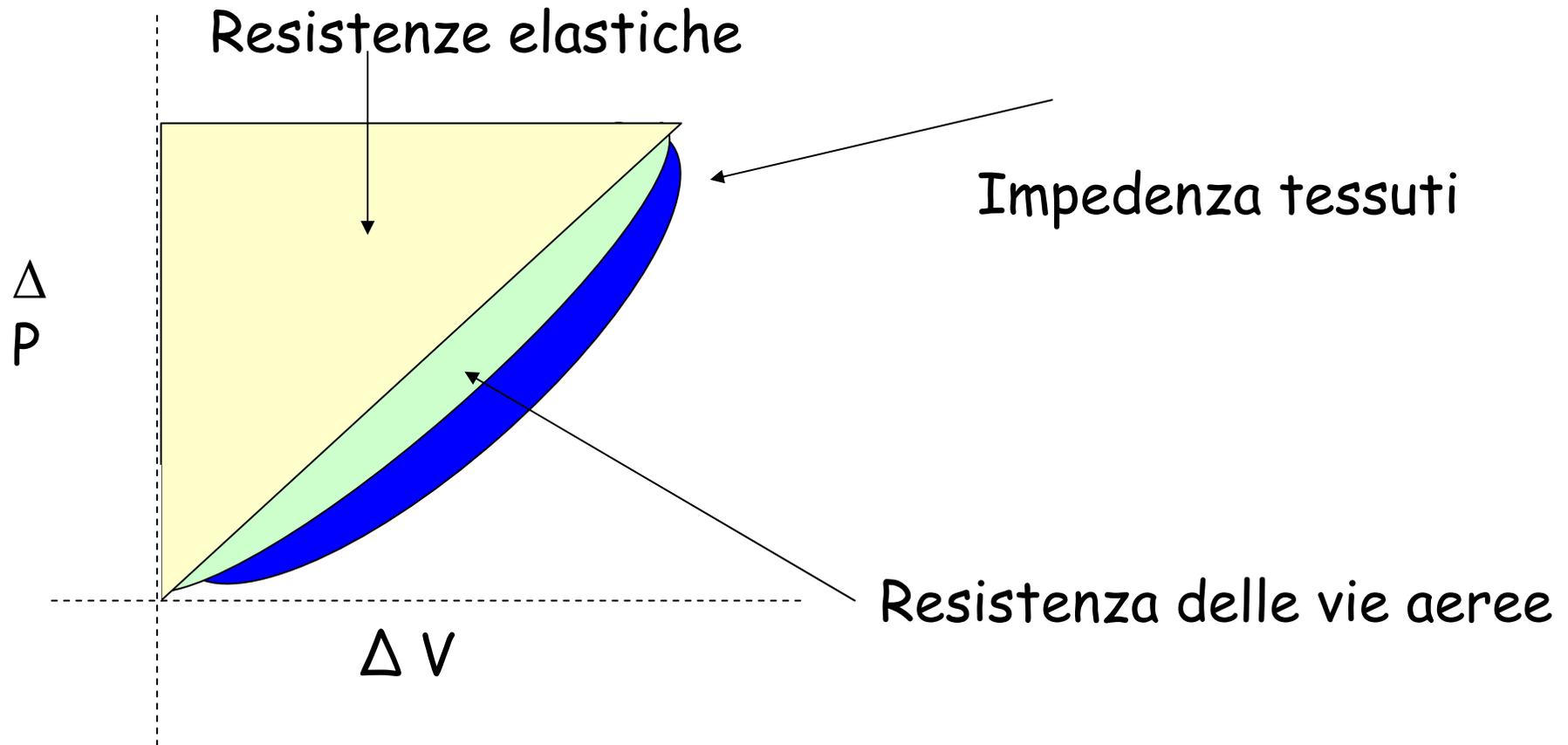
Sui può verificare che l'alveolo normale si scarica in espirazione nell'alveolo che ritarda (pendolo d'aria)



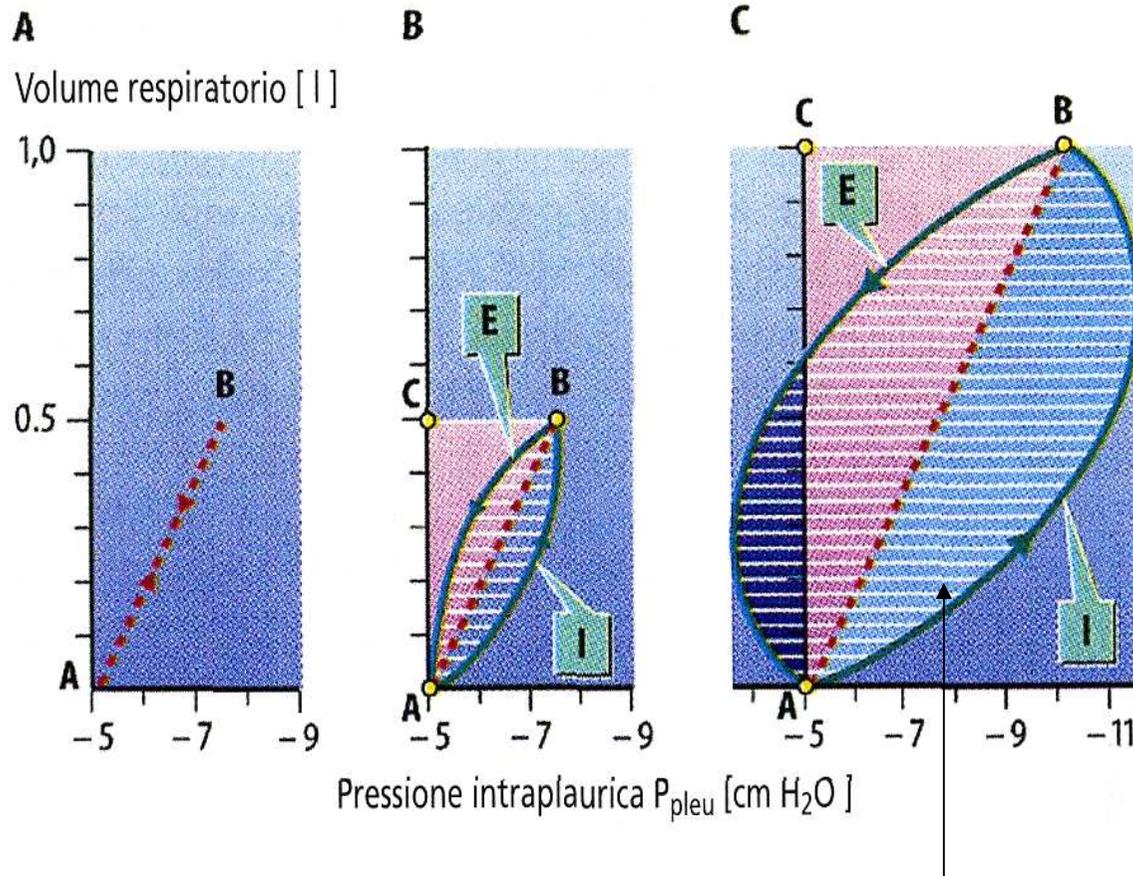
## Calcolo del lavoro inspiratorio ed espiratorio durante respirazione tranquilla

**Inspirazione:** l'area **A** rappresenta il lavoro fatto dalla muscolatura inspiratoria sul solo polmone per vincere le resistenze elastiche, mentre l'area **B** quello per vincere le resistenze delle vie aeree (non elastiche).

**Espirazione:** l'area **C** rappresenta il lavoro necessario a vincere le resistenze non elastiche (delle vie aeree). In condizioni normali il lavoro espiratorio è minore dell'energia elastica accumulata durante l'inspirazione (area **C** all'interno dell'area **A**), pertanto l'espirazione è passiva.



- Lavoro respiratorio
- L dinamico + statico ( $P \cdot V / 2$ )
- Consumo  $O_2$  2%
- Nel lavoro muscolare può aumentare fino al 20%

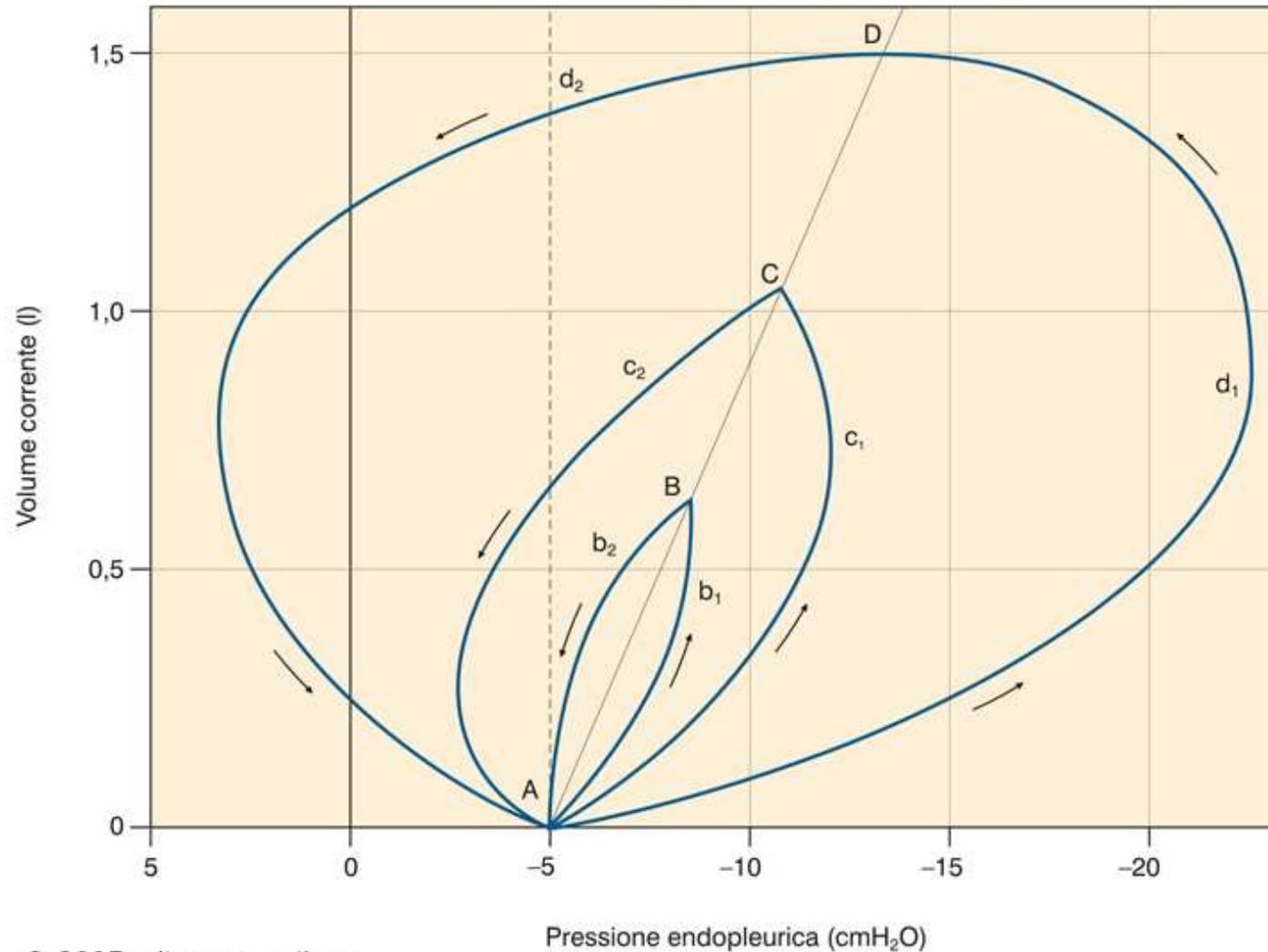


Frequenza maggiore

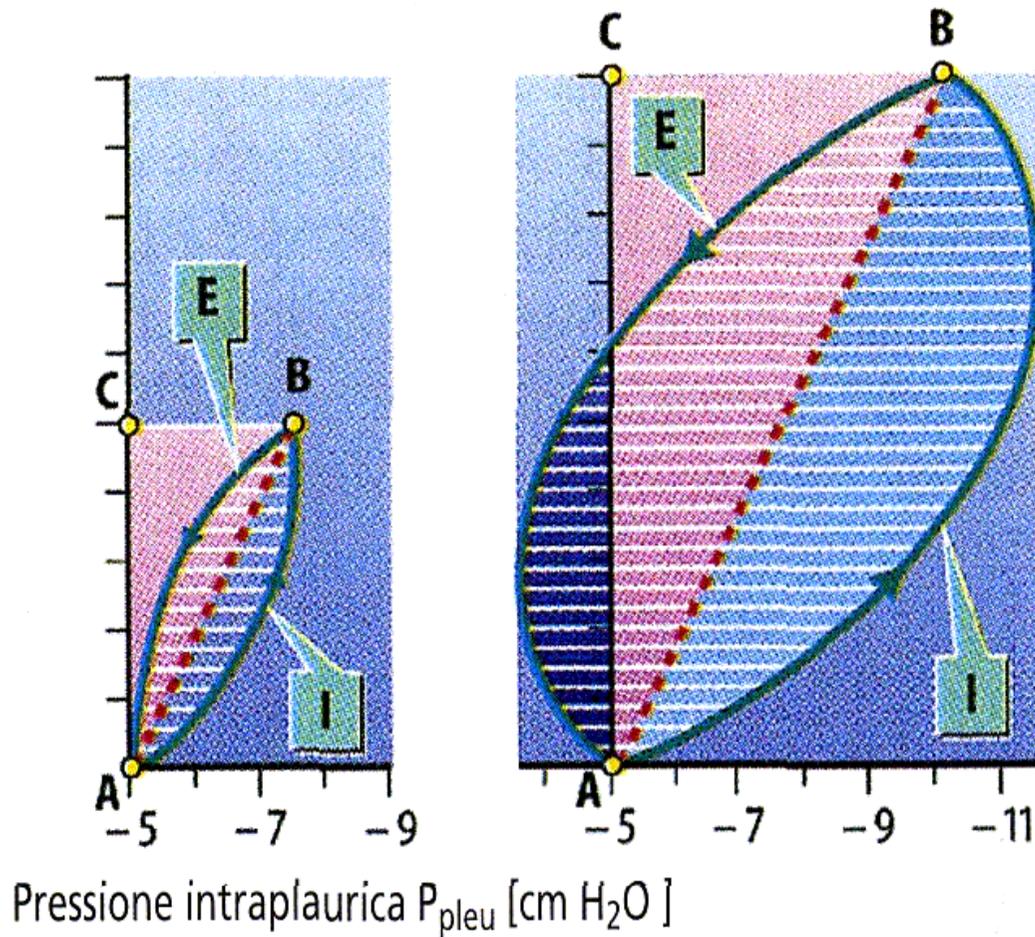
Se nell'inspirazione dovessero essere vinte solo le resistenze elastiche, la relazione P-V sarebbe espressa dalla retta AB.

La necessità di vincere anche le resistenze delle vie aeree, comporta maggiori variazioni di pressione. A frequenza normale l'inspirazione e l'espirazione sono espresse dall'ansa AB-BA.

Durante una respirazione profonda e a frequenza maggiore l'ansa si allarga. La maggior curvatura dimostra come la resistenza delle vie aeree aumenti a frequenze respiratorie maggiori.



Relazione P-V dinamica di un ciclo respiratorio a riposo e durante iperventilazione moderata ed intensa. L'ansa respiratoria si allarga a causa dell'aumento del volume corrente e della maggiore resistenza delle vie aeree che si verifica a frequenze respiratorie maggiori.

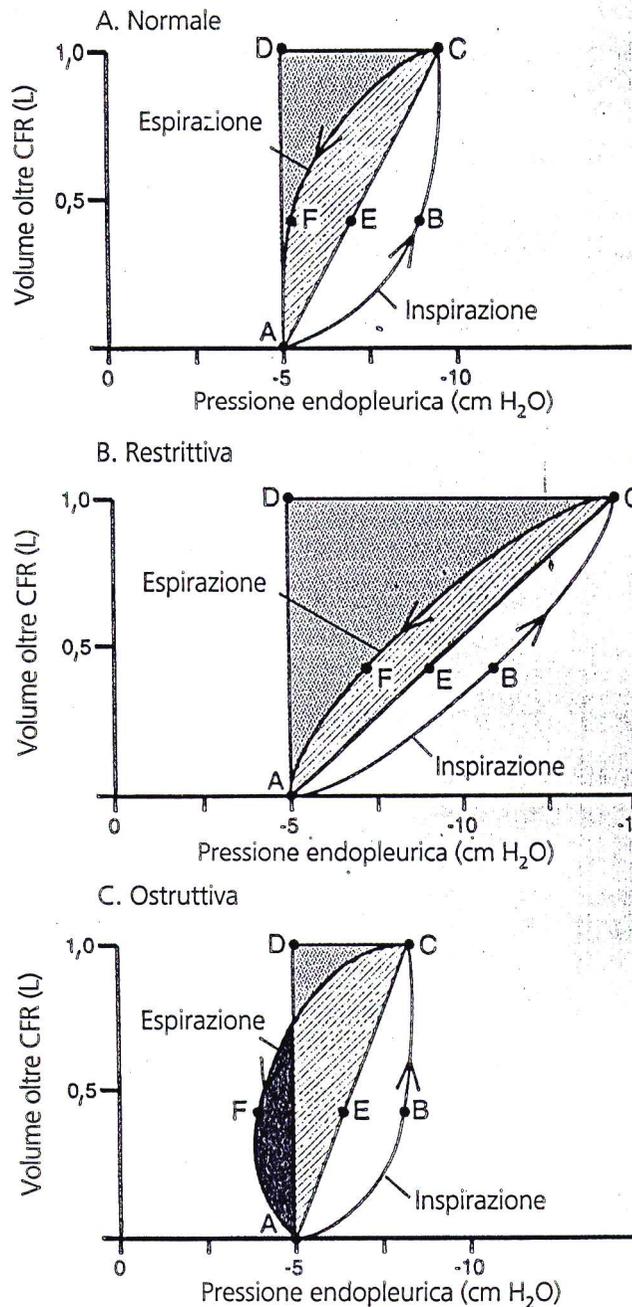


Lavoro corrisponde all'area sottesa dalle curve nel diagramma P-V

**Area rossa ABC** = Lavoro inspiratorio contro le resistenze elastiche

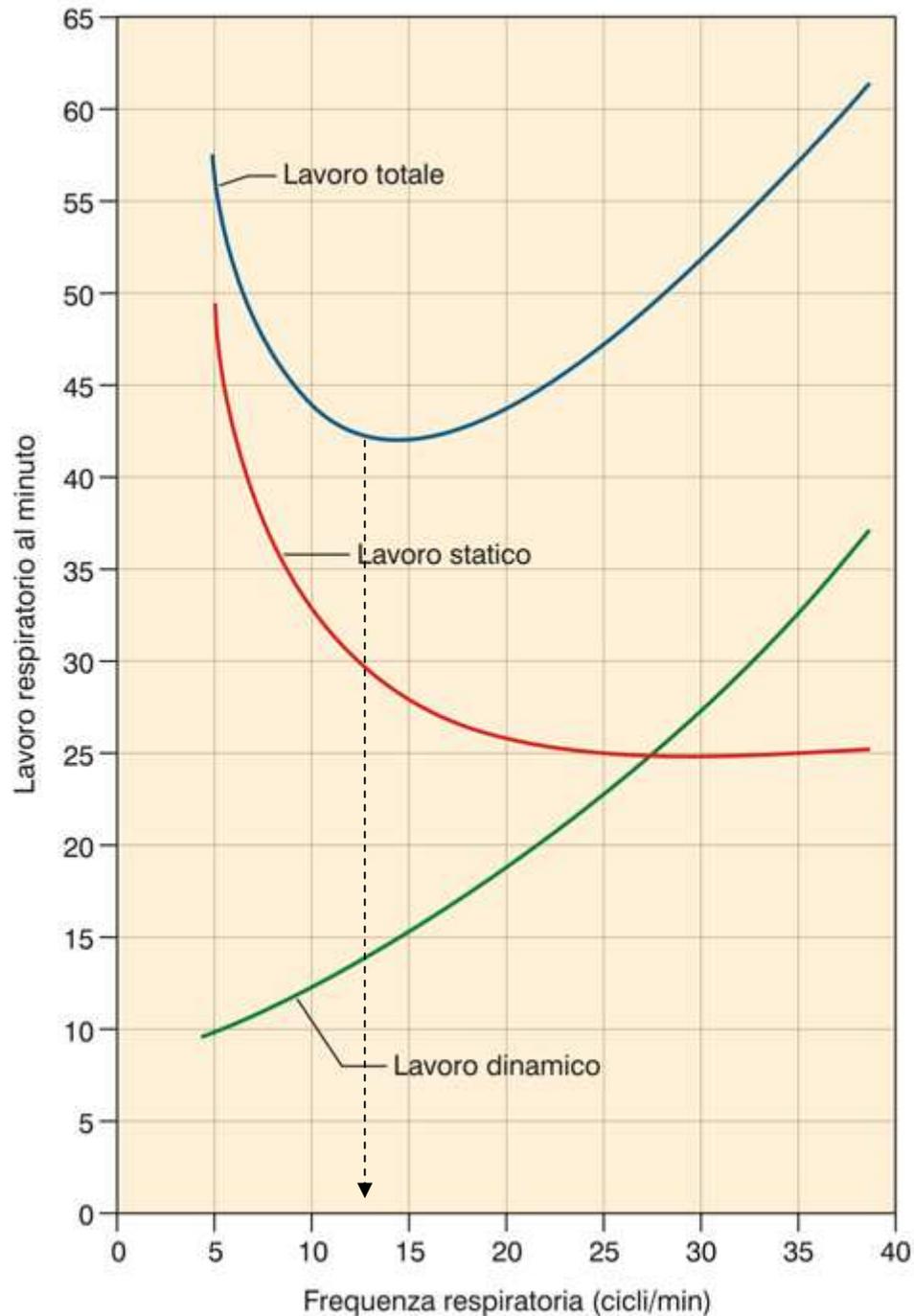
**Area tratteggiata ABA** = Lavoro in- ed espiratorio contro le resistenze delle vie aeree. In condizioni normali il lavoro espiratorio è minore dell'energia elastica accumulata durante l'inspirazione, pertanto l'espirazione è passiva.

**Area blu tratteggiata** = Lavoro compiuto dai muscoli espiratori durante una respirazione a frequenza maggiore.



Nelle **patologie restrittive**, aumenta il lavoro elastico, il soggetto compensa riducendo il volume corrente ed aumentando la frequenza respiratoria

Nelle **patologie ostruttive**, il lavoro elastico è normale, aumenta quello per vincere la resistenza delle vie aeree, l'expiratione è attiva con intervento della muscolatura espiratoria. Il soggetto compensa aumentando il volume corrente e riducendo la frequenza respiratoria.



La ventilazione alveolare:

$[(V_c - V_d) \times Fr]$  in condizioni normali è circa 5 l/min

Lo stesso valore può essere ottenuto variando il volume corrente e la frequenza respiratoria.

Con l'aumentare della frequenza, il lavoro elastico (statico) diminuisce perché si riduce il  $V_c$ , ma aumenta il lavoro non elastico (dinamico) perché aumenta il flusso nelle vie aeree

Il lavoro totale ( $L_s + L_d$ ) è minimo per frequenze respiratorie normali (12-14 atti/min).