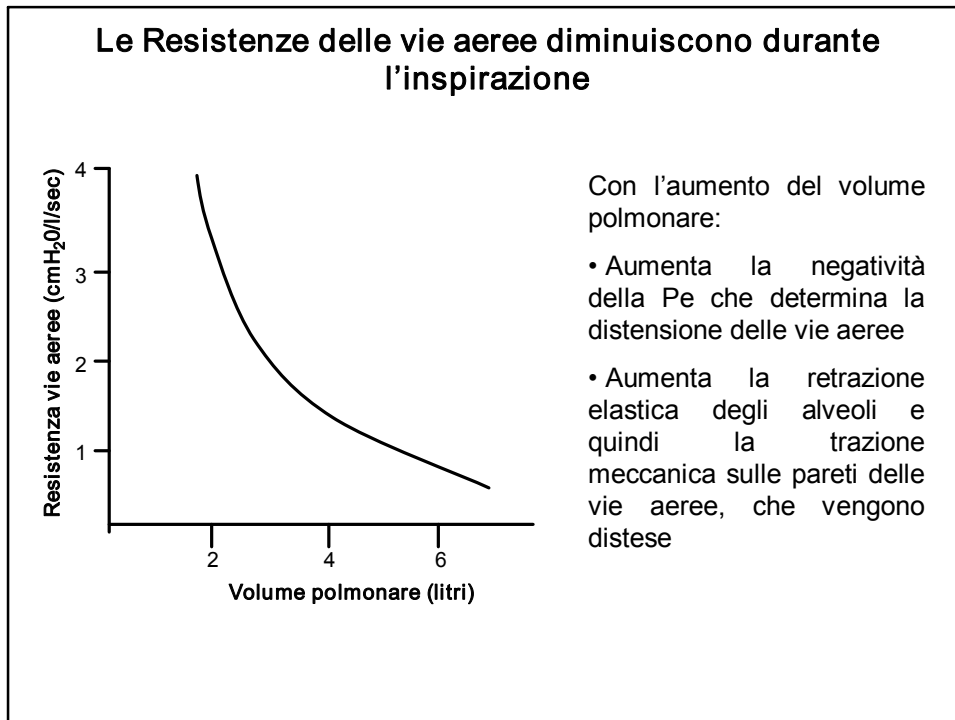
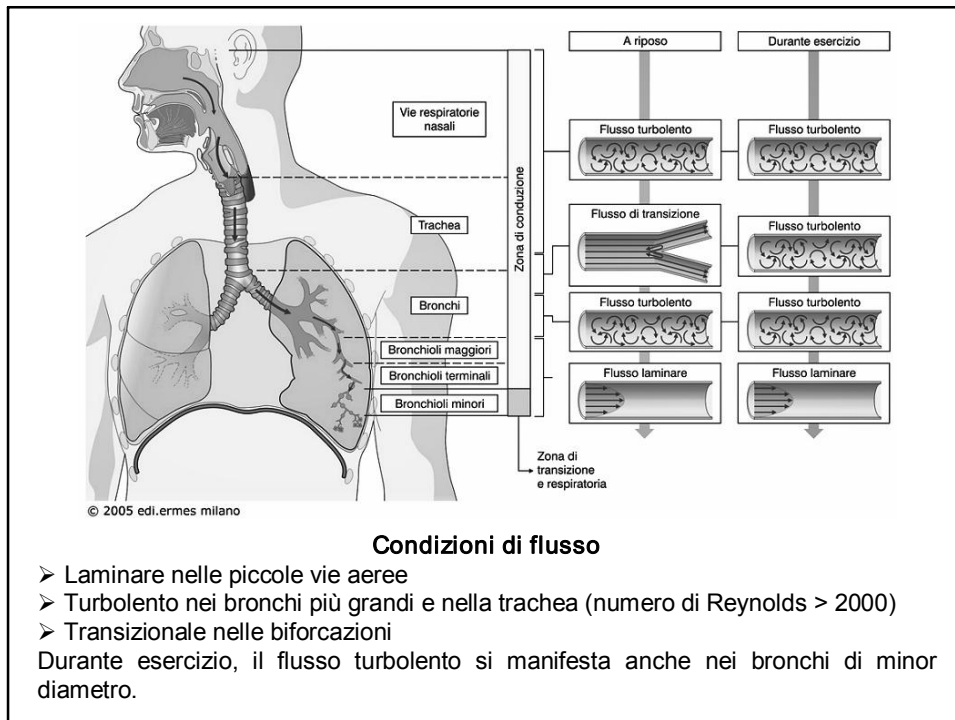


## Resistenze delle vie aeree

Valutabili in condizioni dinamiche, quando si crea flusso.

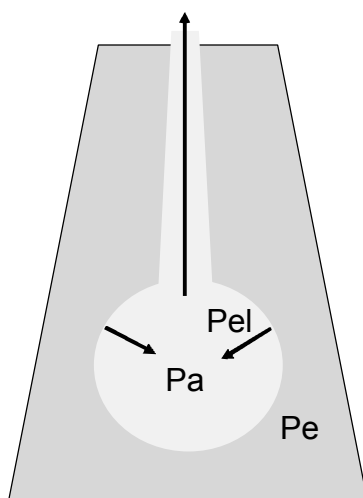
Anche per il flusso nelle vie aeree è applicabile l'equazione di Poiseuille  $F = \Delta P \pi r^4 / 8 \eta l$

- 70% delle resistenze nei bronchi maggiori fino ai bronchi di medio calibro
- 30% delle resistenze nei bronchi di piccolo calibro



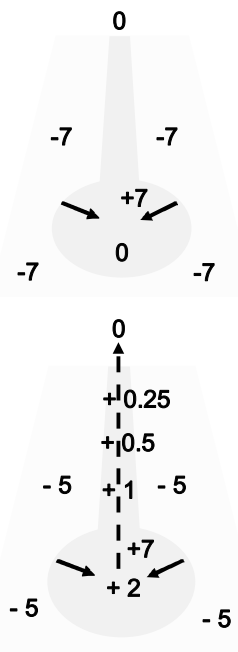
## Le Resistenze delle vie aeree aumentano durante l'espirazione forzata

- Le vie aeree più piccole collassano sotto l'azione della  $P_e$  che diventa positiva
- A bassi volumi diminuisce la forza di retrazione alveolare e quindi la trazione meccanica sulle vie aeree



La Pressione transmurale per il polmone,  $P_{tp} = P_a - P_e$ , è la pressione che distende il polmone ed è uguale alla Pressione di retrazione elastica ( $P_{el}$ ), che tende a farlo collassare.

Nell'alveolo la forza di spinta per l'espirazione è determinata dalla  $P_a = P_{el} + P_e$



### Fine inspirazione

Alla fine dell'inspirazione, la  $P_a$  all'interno dell'alveolo è 0, la  $P_e$  è -7 e la  $P_{el}$  +7.

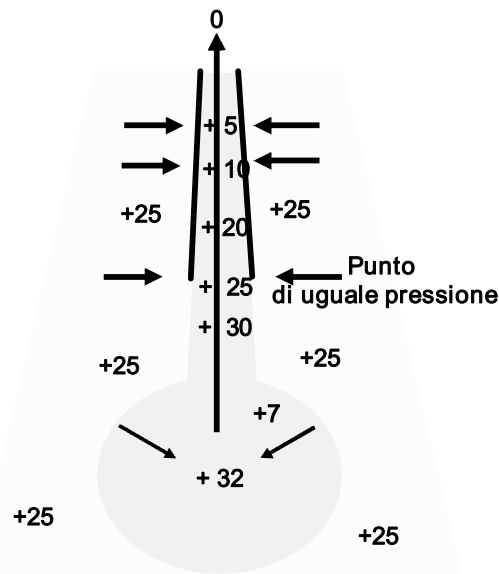
### Espirazione passiva

Quando la muscolatura inspiratoria si rilascia, la  $P_e$  torna al valore pre-inspirazione (-5) e la  $P_a = P_{el} + P_e$ , sale a +2 [+7 + (-5)], determinando il flusso espiratorio quando la glottide si apre.

Man mano che aria esce dagli alveoli la pressione delle vie aeree diminuisce per:

- perdita di energia nel vincere le resistenze al flusso
- aumento della velocità al diminuire dell'area di sezione trasversa delle vie aeree verso la trachea, che determina per il Principio di Bernoulli un'ulteriore caduta della P

### Compressione dinamica delle vie aeree



### Espirazione forzata

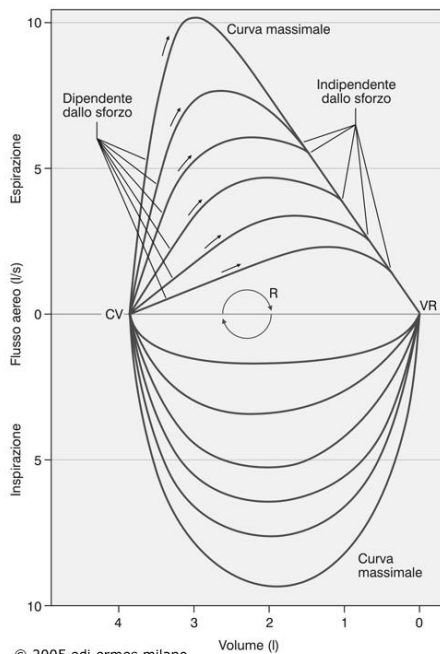
Nell'espiazione forzata la  $P_e$  diventa positiva, con conseguente aumento della  $P_a$  e del flusso espiratorio. C'è un punto, tra gli alveoli e la bocca, in cui la P delle vie aeree è uguale alla  $P_e$  (punto di uguale pressione). Oltre questo punto, la  $P_e$  è maggiore della P delle vie aeree che vengono compresse (compressione dinamica delle vie aeree).

Maggiore è lo sforzo espiratorio, più positiva diventa la  $P_e$  e il punto di uguale pressione, si sposta sempre più verso le zone più profonde del polmone.

## Flusso espiratorio massimo

Quando un soggetto espira forzatamente, il flusso espiratorio raggiunge un massimo, oltre il quale non vi è ulteriore possibilità di aumento, per quanto aumenti lo sforzo espiratorio.

Il flusso espiratorio massimo è tanto maggiore quanto è maggiore il volume inspirato e si riduce progressivamente, man mano che si riduce il volume polmonare, a causa della compressione delle vie aeree.

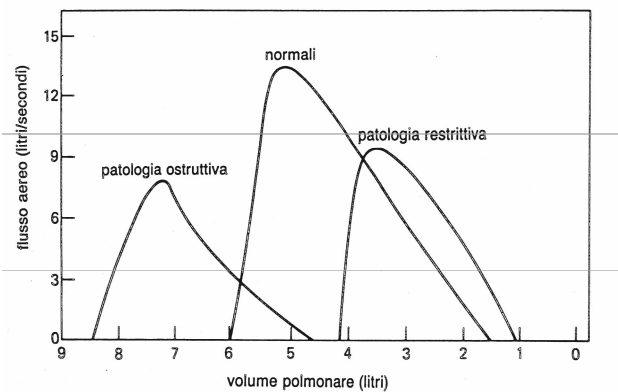


Diagrammi **flusso-volume** durante la respirazione normale (R) e in condizioni di espirazioni forzate a partire dalla CV con sforzi espiratori diversi

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.

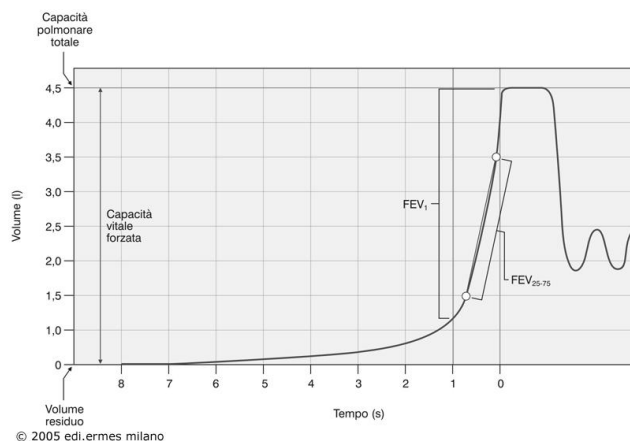
**L'indipendenza dallo sforzo è dovuta alla compressione dinamica delle vie aeree, che comporta un aumento della R al flusso.**

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



Nelle **patologie ostruttive** (aumentata resistenza delle vie aeree, asma, enfisema, ecc.) aumenta la CPT e il VR, perché il soggetto ha difficoltà ad espirare. Il flusso massimo è ridotto per la parziale ostruzione di gran parte delle vie aeree e la parte sforzo dipendente è alterata, perché le vie aeree collassano più facilmente.

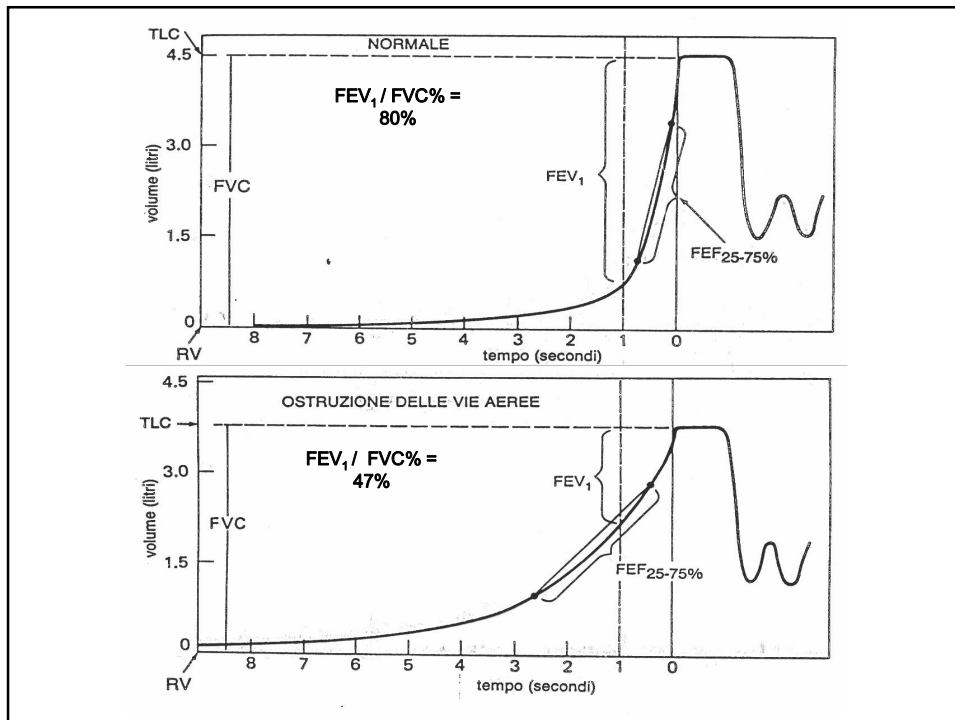
Nelle **patologie restrittive** (maggiore resistenza elastica, fibrosi ecc.) sono ridotti sia la CPT che il VR, per la maggiore difficoltà ad espandere il polmone. Il flusso espiratorio massimo è minore perché sono minori i volumi raggiunti ma la parte sforzo dipendente della curva è praticamente normale.



Un test di valutazione della funzionalità polmonare è quello che consiste nel registrare, mediante uno spirometro, la **capacità vitale forzata (FVC)** che è il volume espirato forzatamente partendo dalla CPT

Si valuta il **FEV<sub>1</sub>** (volume di aria espirato nel primo secondo) e si esprime come FEV<sub>1</sub>/FCV% (indice di Tiffeneau):

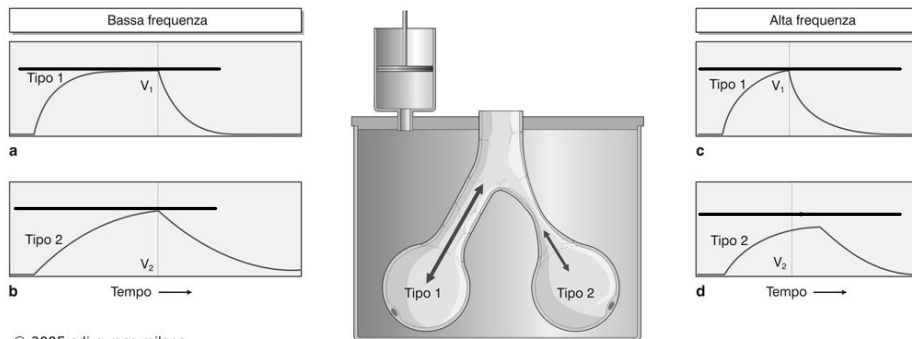
Nel soggetto normale è 70-80% (70-80% del volume espirato viene espulso nel primo secondo), mentre nelle patologie ostruttive risulta minore.



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

$$\tau = R \cdot C$$

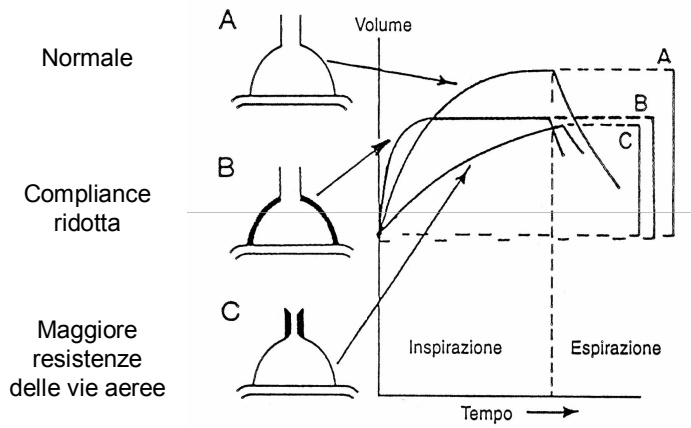
In cui: R = resistenza, C = compliance



© 2005 edi.ermes milano

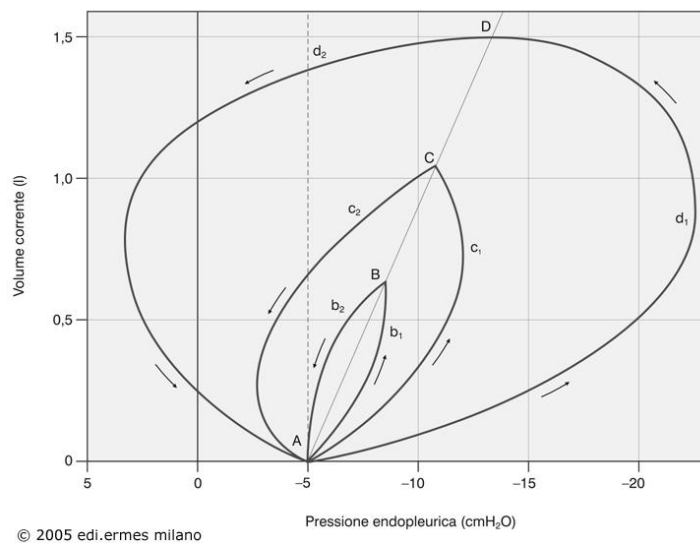
In condizioni normali (1) l'alveolo raggiunge il volume finale sia a basse che alte frequenze respiratorie.

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



Nelle patologie restrittive (compliance ridotta), il volume inspirato è minore del normale, ma viene raggiunto più velocemente, perché il polmone ha maggiore difficoltà a distendersi.

Nelle patologie ostruttive (maggiore resistenza delle vie aeree), il volume inspirato è minore del normale perché l'elevata resistenza ne ritarda il raggiungimento (l'inspirazione finisce prima che tale volume venga raggiunto).



© 2005 edi.ermes milano

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.



