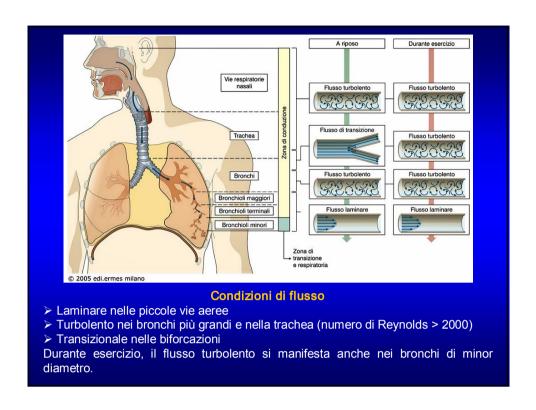
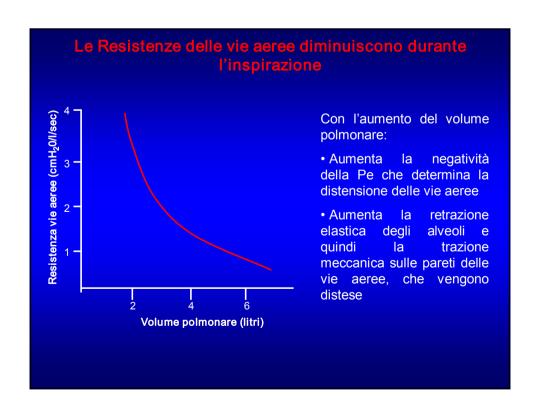
## Resistenze delle vie aeree

Valutabili in condizioni dinamiche, quando si crea flusso.

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

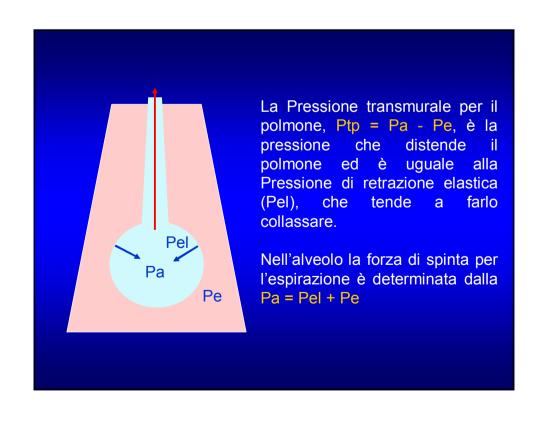
- 70% delle resistenze nei bronchi maggiori fino ai bronchi di medio calibro
- 30% delle resistenze nei bronchi di piccolo calibro

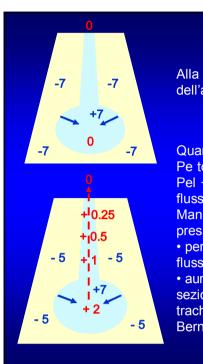




# Le Resistenze delle vie aeree aumentano durante l'espirazione forzata

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





#### Fine inspirazione

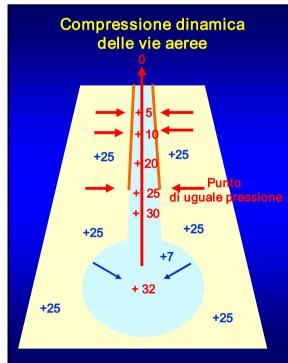
Alla fine dell'inspirazione, la Pa all'interno dell'alveolo è 0, la Pe è -7 e la Pel +7.

#### Espirazione passiva

Quando la muscolatura inspiratoria si rilascia, la Pe torna al valore pre-inspirazione (-5) e la Pa = Pel + Pe, 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



#### **Espirazione forzata**

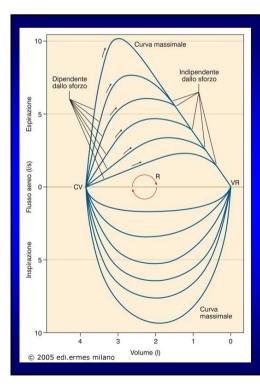
Nell'espirazione forzata la Pe positiva, diventa con consequente aumento della Pa e del flusso espiratorio. C'è un punto, tra gli alveoli e la bocca, in cui la P delle vie aeree è uguale alla Pe (punto di uguale pressione). Oltre questo punto, la Pe maggiore della P delle vie vengono aeree che compresse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

Maggiore è lo sforzo espiratorio, più positiva diventa la **Pe** 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.

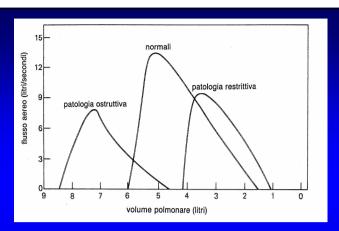


Diagrammi **flusso-volume** durante la respirazione normale (R) e in condizioni di espirazioni forzate a partire dalla CV con sforzi espiratori diversi

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.

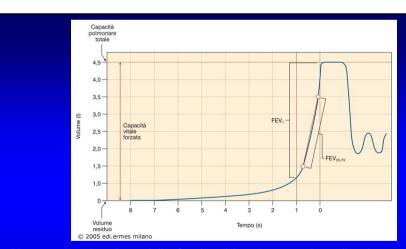
L'indipendenza dallo sforzo è dovuta alla compressione dinamica delle vie aeree, che comporta un aumento della R al flusso.

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.

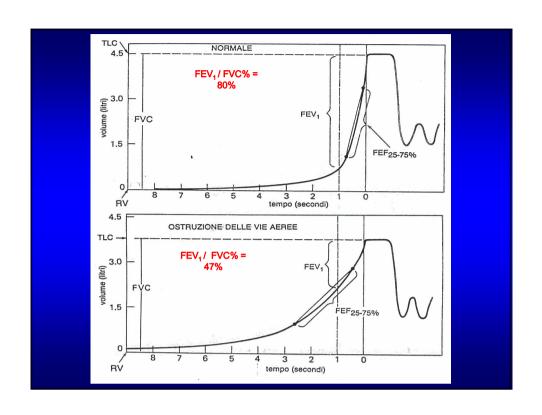
Nelle **patologie restrittive** (maggiore resistenza elastica, fibrosi ecc.) sono ridotti sia la CPT che il VR, per la maggiore difficoltà ad espandere il polmone. Il flusso espiratorio massimo è minore perché sono minori i volumi raggiunti ma la parte sforzo dipendente della curva è praticamente normale.

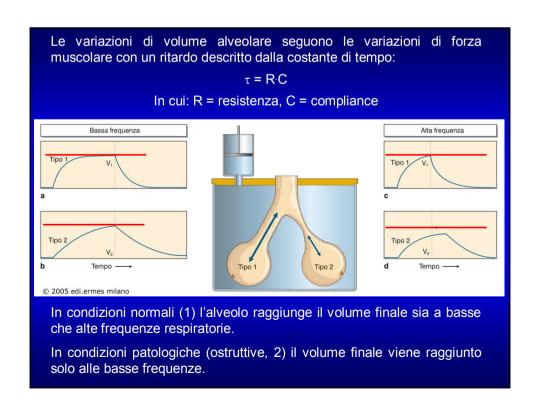


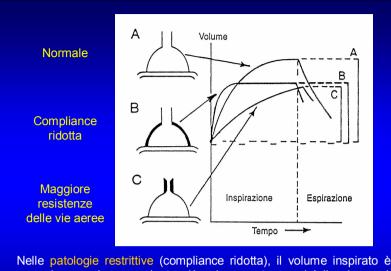
Un test di valutazione della funzionalità polmonare è quello che consiste nel registrare, mediante uno spirometro, la capacità vitale forzata (FVC) che è il volume espirato forzatamente partendo dalla CPT

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.

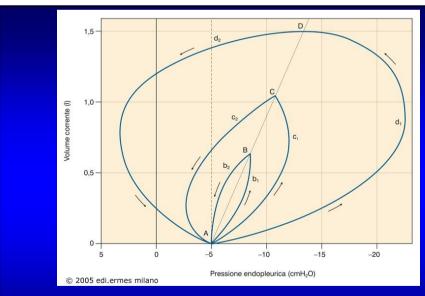




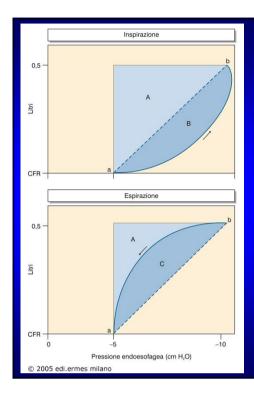


Nelle patologie restrittive (compliance ridotta), il volume inspirato è minore del normale, ma viene raggiunto più velocemente, perché il polmone ha maggiore difficoltà a distendersi.

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).



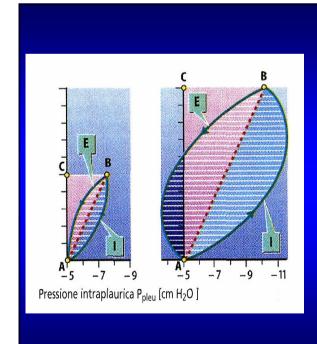
Relazione P-V dinamica di un ciclo respiratorio a riposo e durante iperventilazione moderata ed intensa. L'ansa respiratoria si allarga a causa dell'aumento del volume corrente e della maggiore resistenza delle vie aeree che si verifica a frequenze respiratorie maggiori.



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.

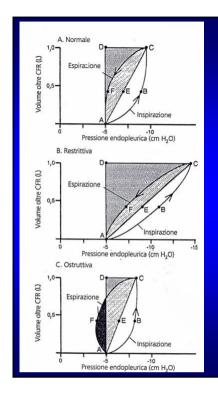


Il Lavoro respiratorio corrisponde all'area sottesa dalle curve nel diagramma P-V

Area rosa ABCA = 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.

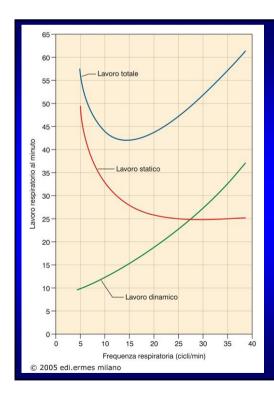
Area blu tratteggiata = Lavoro compiuto dai muscoli espiratori durante una respirazione a frequenza maggiore.



#### Condizioni normali

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'espirazione è attiva, con intervento della muscolatura espiratoria. Il soggetto compensa aumentando il volume corrente e riducendo la frequenza respiratoria



La ventilazione alveolare:

[(Vc-Vd) x F] 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  $V_{\rm C}$ , ma aumenta il lavoro non elastico (dinamico) perché aumenta il flusso nelle vie aeree

Il lavoro totale (Ls + Ld) è minimo per frequenze respiratorie normali (12-14 atti/min).