



www.fisiokinesiterapia.biz

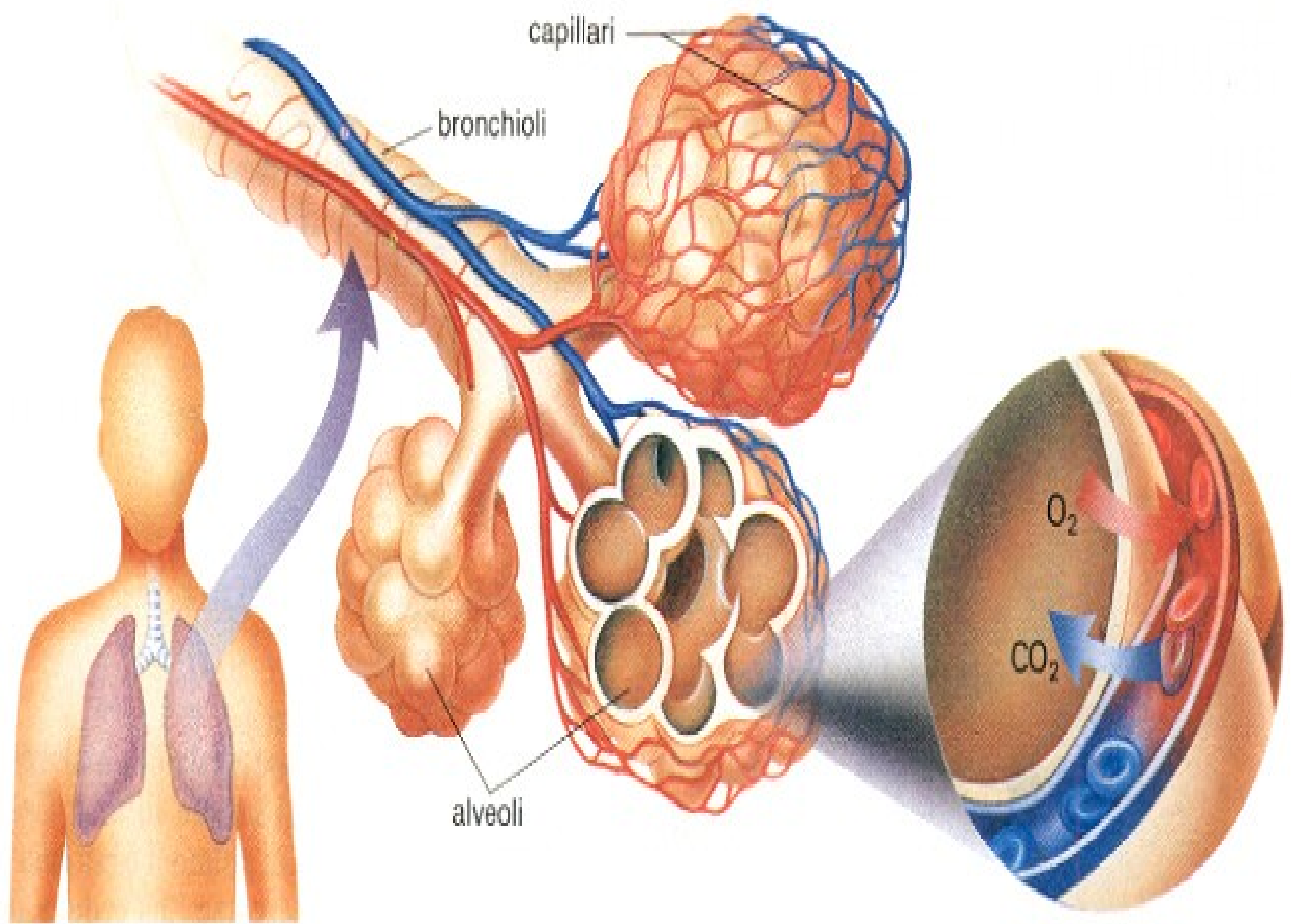
Composizione dell'aria respirata

Qual è la composizione in percentuale dell'aria ?

	%	mmHg
■ Azoto (N ₂)	72.8	554
■ Ossigeno (O ₂)	20.9	159
■ Anidride carbonica (CO ₂).....	0.04	0,3
■ Vapor acqueo (H ₂ O)	6.18	47
■ Argon (Ar)	0.9	
■ Altri gas	0.1	



www.fisiokinesiterapia.biz



Composizione dell'aria respirata

A livello alveolare

O₂ 100 mmHg

CO₂ 40 mmHg

Capacità dei polmoni

- Spazio morto
- Volumi polmonari statici
- Volumi polmonari dinamici

The background of the slide is a solid dark brown color. Overlaid on this background are several faint, stylized outlines of autumn leaves in a lighter brown shade. The leaves are scattered across the frame, with some showing prominent veins. The overall aesthetic is warm and seasonal.

SPAZIO MORTO

Spazio morto

Parte dell'aria inspirata non raggiunge gli alveoli ma rimane nelle vie aeree di conduzione. Il volume delle vie aeree di conduzione è definito

SPAZIO MORTO ANATOMICO ed è nell'adulto circa 150 ml.

Spazio morto

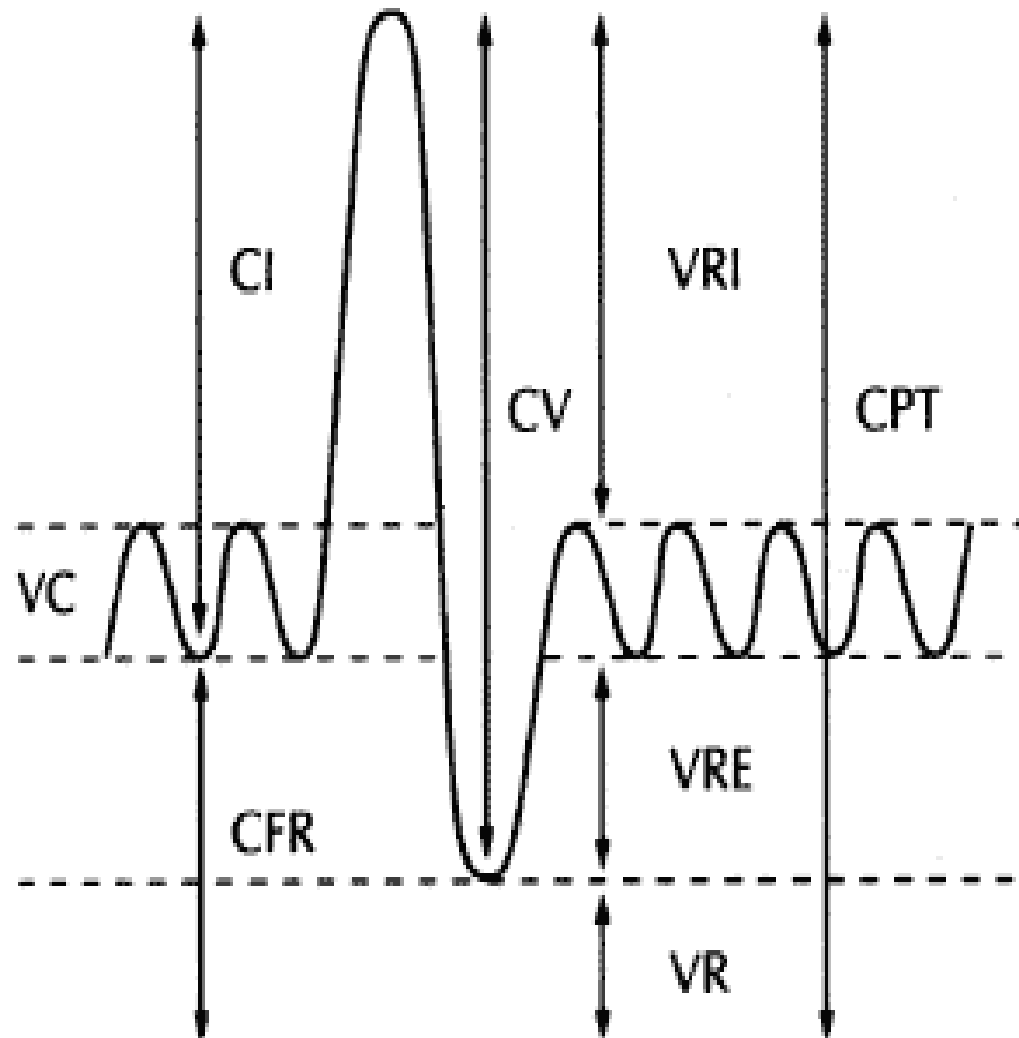
Si definisce **SPAZIO MORTO FISIOLOGICO** l'insieme dello spazio morto anatomico e degli spazi alveolari che, per problemi di perfusione, non partecipano agli scambi (**spazio morto alveolare**).

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.

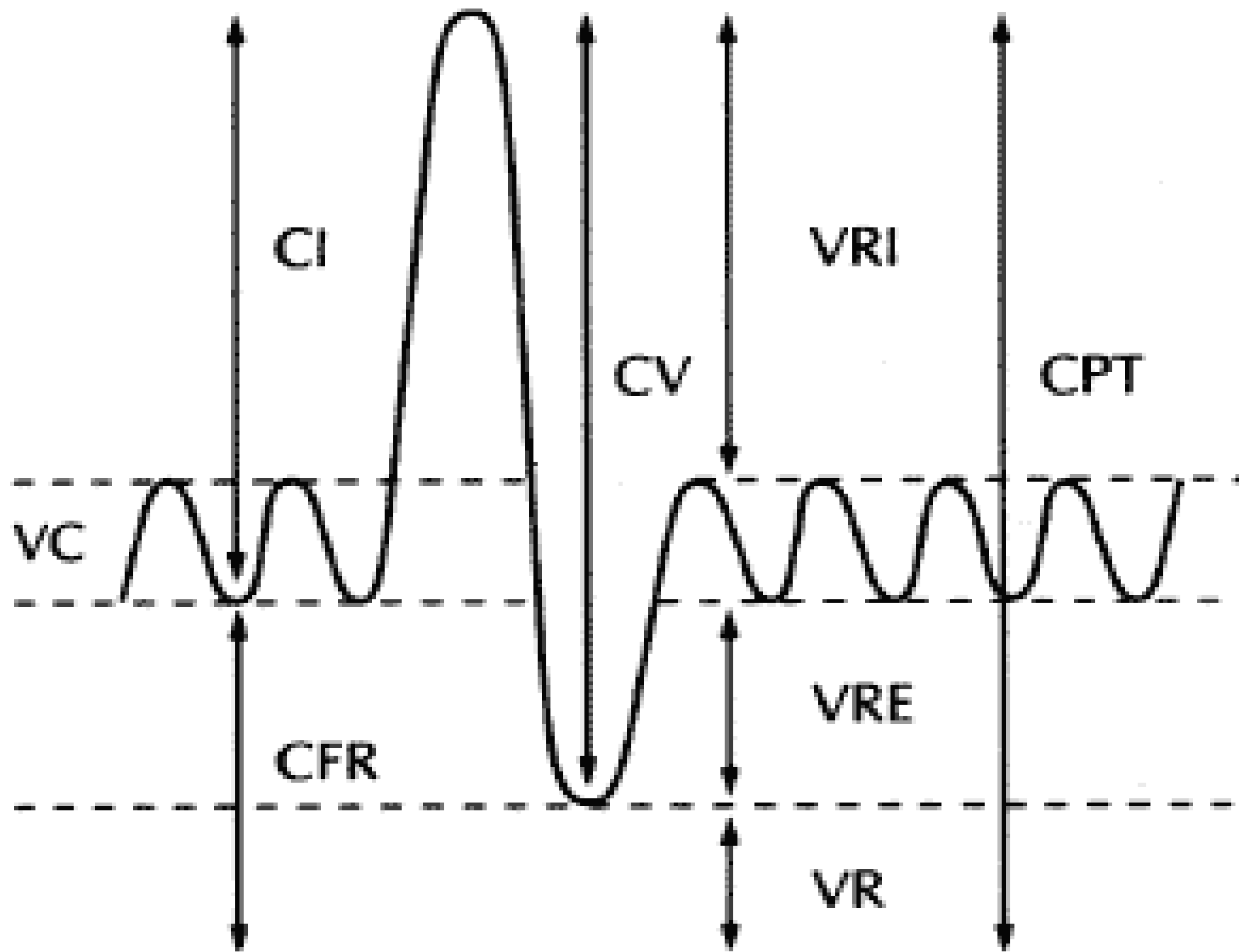
Volumi polmonari statici

- volume corrente - VC
- volume di riserva inspiratoria VRI
- volume di riserva espiratoria VRE
- volume residuo VR
- capacità polmonare totale CPT
- capacità vitale CV
- capacità inspiratoria CI
- capacità funzionale residua CFR



Volumi polmonari statici

- **volume corrente - VC**
volume di gas inspirato ed espirato durante ciascun atto respiratorio. (500 ml)
- **volume di riserva inspiratoria VRI**
massima quantità di gas che può essere inspirata al termine di un'inspirazione normale. (3000 ml)
- **volume di riserva espiratoria VRE**
massima quantità di gas che può essere espirata al termine di un'espirazione normale. (1100 ml)
- **volume residuo VR**
quantità di gas che rimane nei polmoni al termine di un'espirazione forzata. (1200 ml)
- **capacità polmonare totale CPT**
quantità di gas contenuta nei polmoni al termine di un'inspirazione massima ($CPT = VRI + VC + VRE + VR$).
- **capacità vitale CV**
quantità di gas che può essere espulsa dai polmoni dopo un'inspirazione massima ($CV = VRI + VC + VRE$).
- **capacità inspiratoria CI**
quantità massima di gas che può essere inspirata a partire dal livello espiratorio di base ($CI = VRI + VC$).
- **capacità funzionale residua CFR**
quantità di gas che rimane nei polmoni al livello espiratorio di riposo ($CFR = VRE + VR$).



Volumi polmonari dinamici

■ **A - Tracciato Volume-Tempo**

Questa curva riflette la capacità di svuotamento rapido dei polmoni sotto lo sforzo massimale dei muscoli respiratori

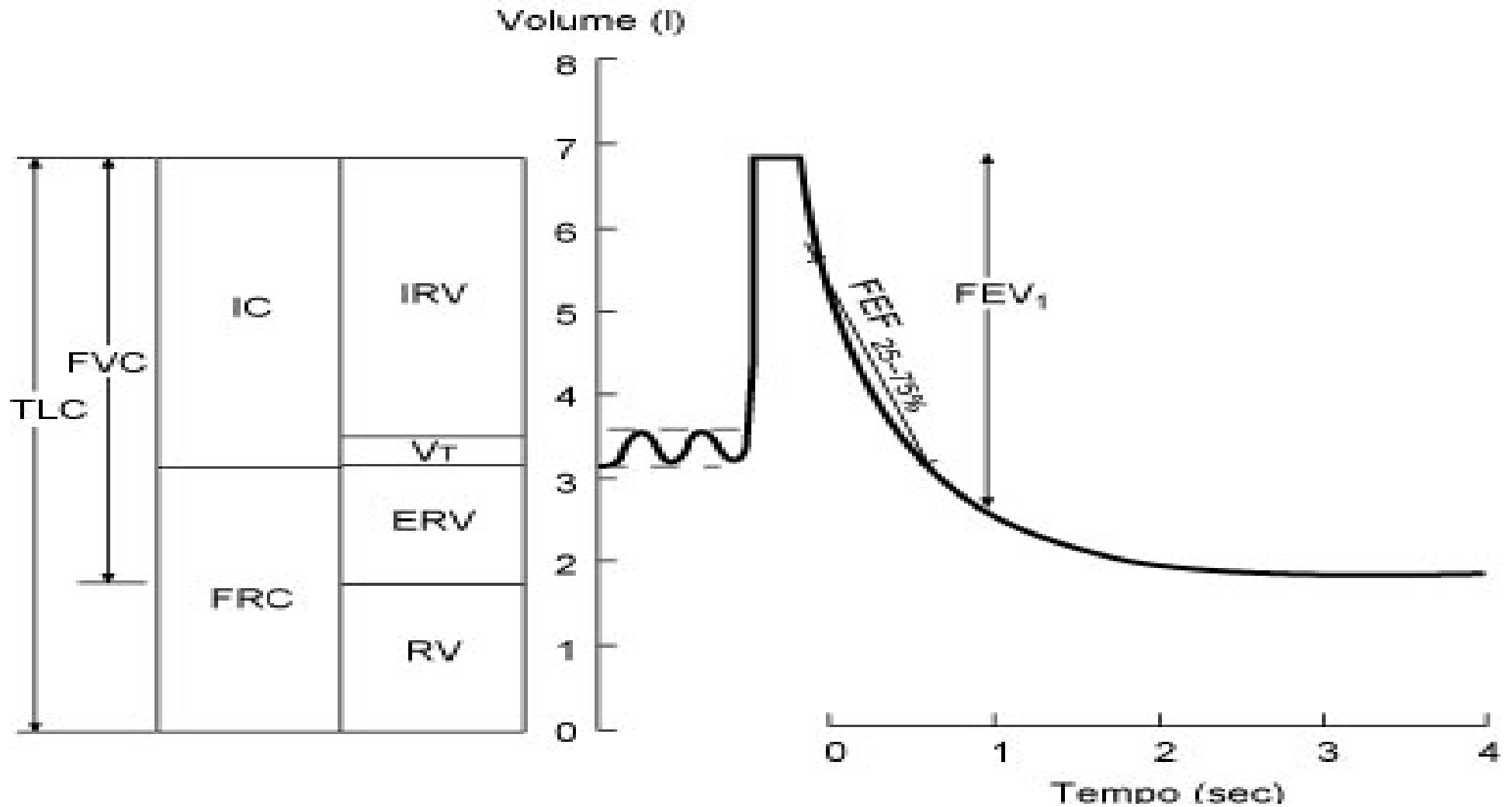
_Nel momento di massima inspirazione si fa eseguire una espirazione forzata e vengono misurati:

- **Il volume espiratorio forzato in 1 secondo FEV1** (v.n. 80%) che rappresenta il volume di aria espirata durante il primo secondo di un'espirazione forzata.
- **Il flusso espiratorio forzato tra il 25% e il 75% del CVF FEF 25-75.**
- **La capacità vitale forzata CVF**
volume d'aria espirata forzatamente dopo un'inspirazione massimale.

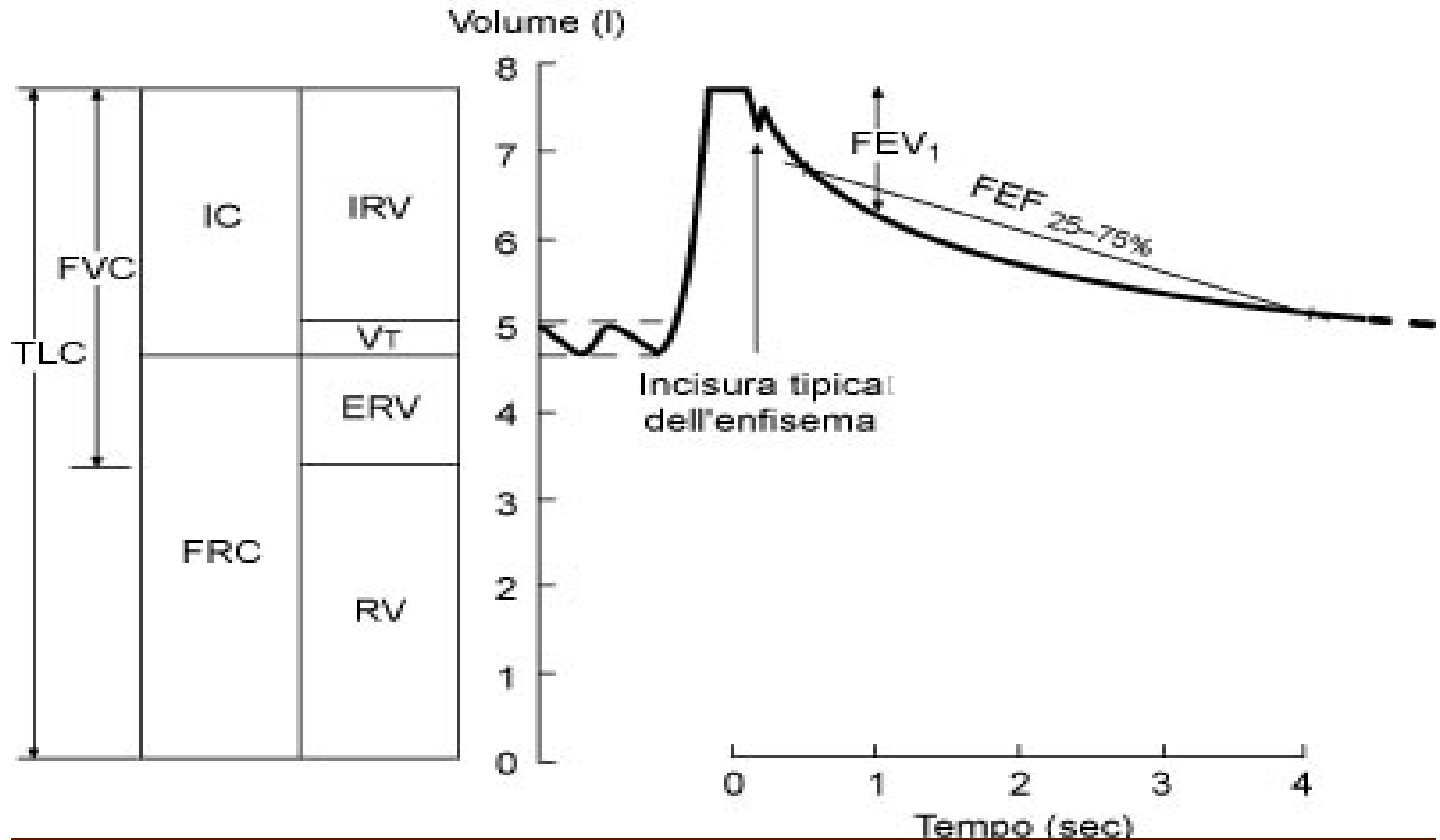
_Dalle misurazione effettuate (FEV1 e CVF) si calcola anche:

- **L'indice di Tiffeneau** (rapporto $FEV1/CVF \times 100$, v.n. 80%)
- **L'indice di Motley** (rapporto VR/CPT v.n. 20-30%)

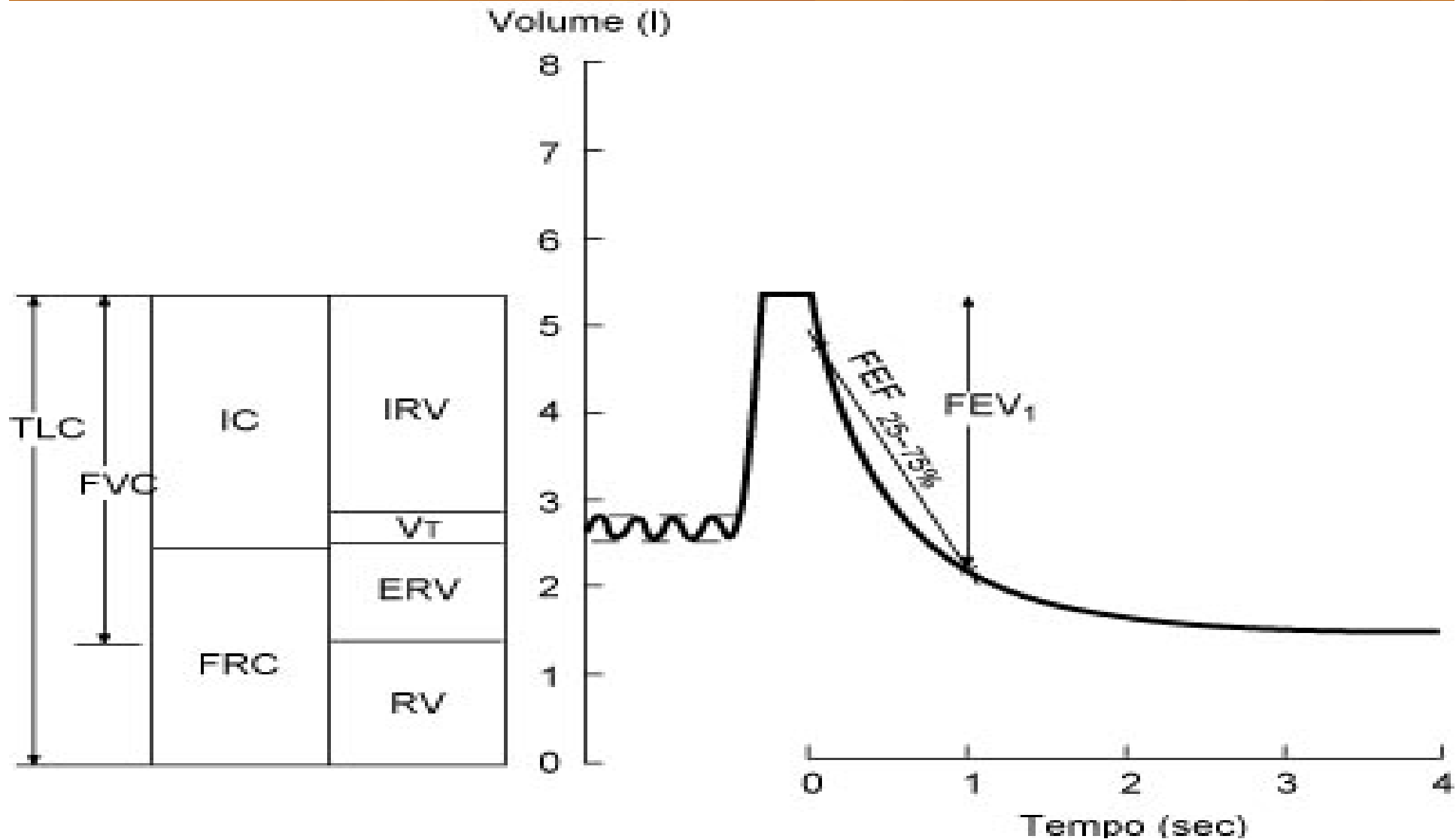
Spirometria normale



Spirometria ostruttiva



Spirometria restrittiva



Volumi polmonari

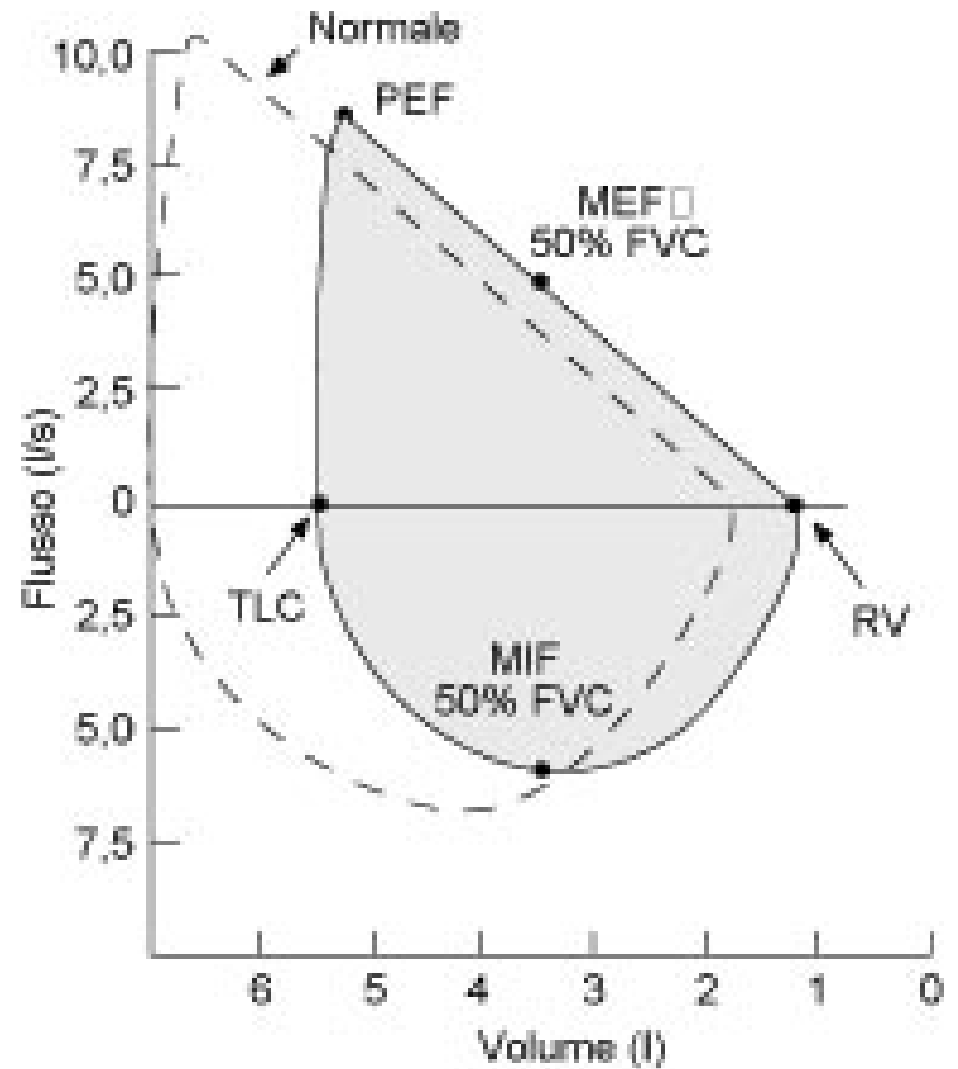
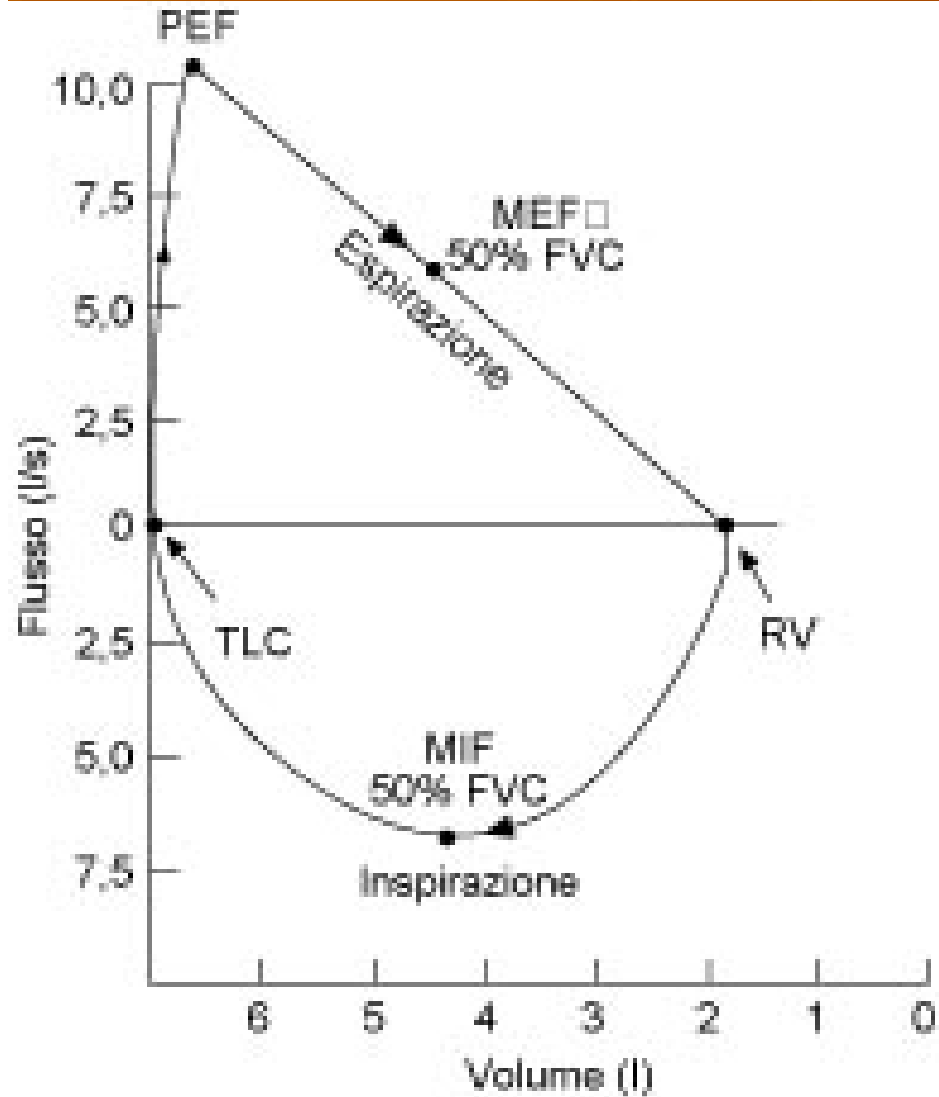
- **B - Curva Flusso-Volume**

- Durante ogni fase del ciclo respiratorio vengono misurati e rappresentati graficamente su un sistema di assi cartesiani i volumi polmonari con i rispettivi flussi

Il tracciato mostra:

- **Il picco di flusso espiratorio PEF**
massimo flusso espirato in dipendenza dello sforzo espiratorio.
- **La capacità vitale forzata CVF**
volume d'aria espirata forzatamente dopo un'inspirazione massimale

Curva flusso-volume



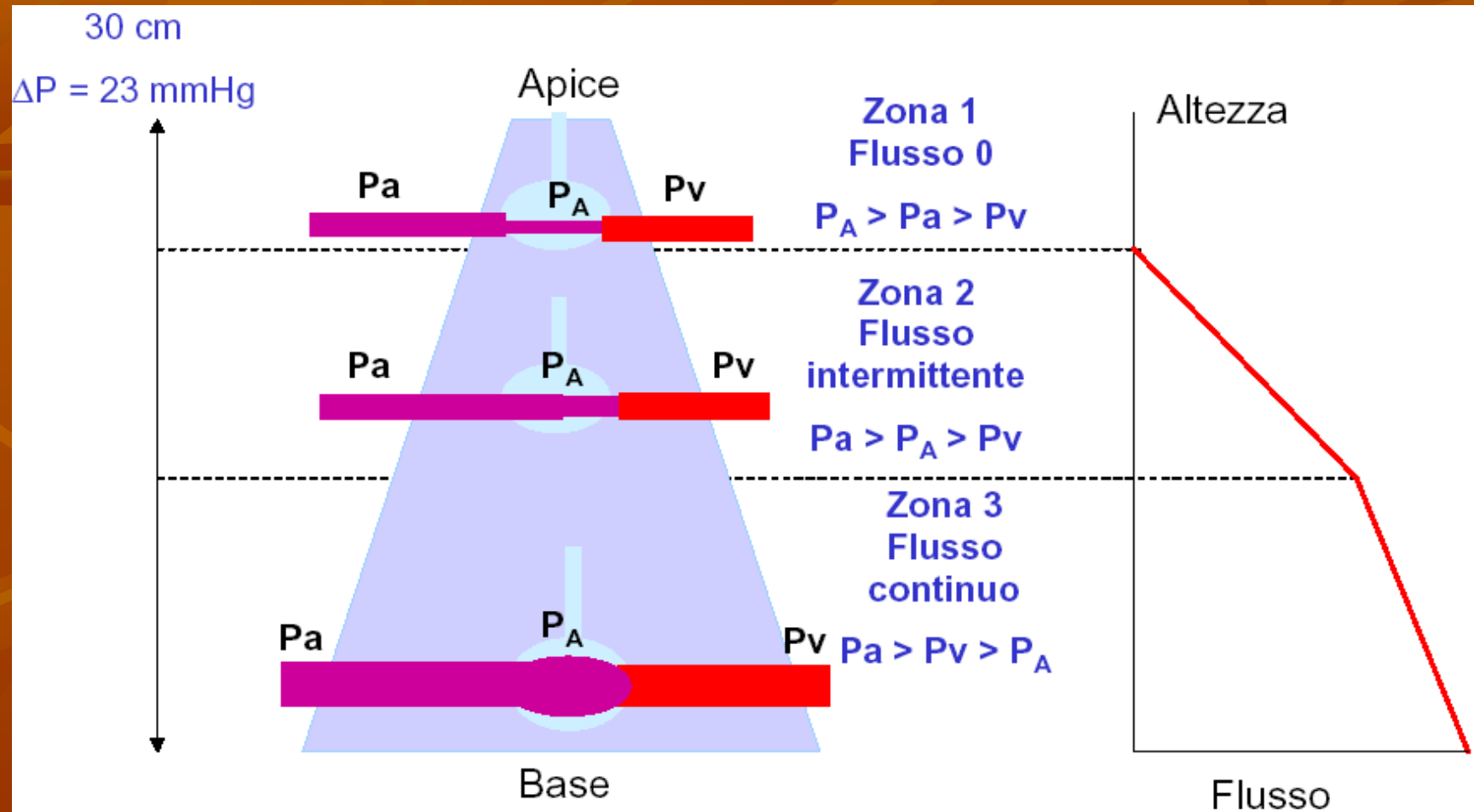
Rapporto ventilazione perfusione

Distribuzione della perfusione polmonare

Come conseguenza degli effetti gravitazionali, il flusso polmonare nel polmone normale in posizione ortostatica aumenta dall'apice verso la base.

Rapporto ventilazione perfusione

Distribuzione della perfusione polmonare



Rapporto ventilazione perfusione

Distribuzione della perfusione polmonare

Normalmente i polmoni presentano solo **zone di flusso 2 (intermittente)**, da 10 cm sopra il cuore fino all'apice, e **zone di flusso 3 (continuo)**, in tutte le parti più basse.

- **Zona 2:** Pa circa 15 mmHg inferiore a quella a livello del cuore (25/8 mmHg)

Pa sistolica = 10 mmHg, Pa diastolica = -7 mmHg, flusso presente durante la sistole, assente in diastole.

- **Zona 3:** Pa circa 8 mmHg superiore a quella a livello del cuore (25/8 mmHg)

Pa sistolica 33 mmHg, Pa diastolica = 16 mmHg, flusso sempre presente

- **Zona 1:** presente solo in condizioni di ridotta pressione arteriosa polmonare o aumentata pressione alveolare (suonatori strumenti a fiato)

Rapporto ventilazione perfusione

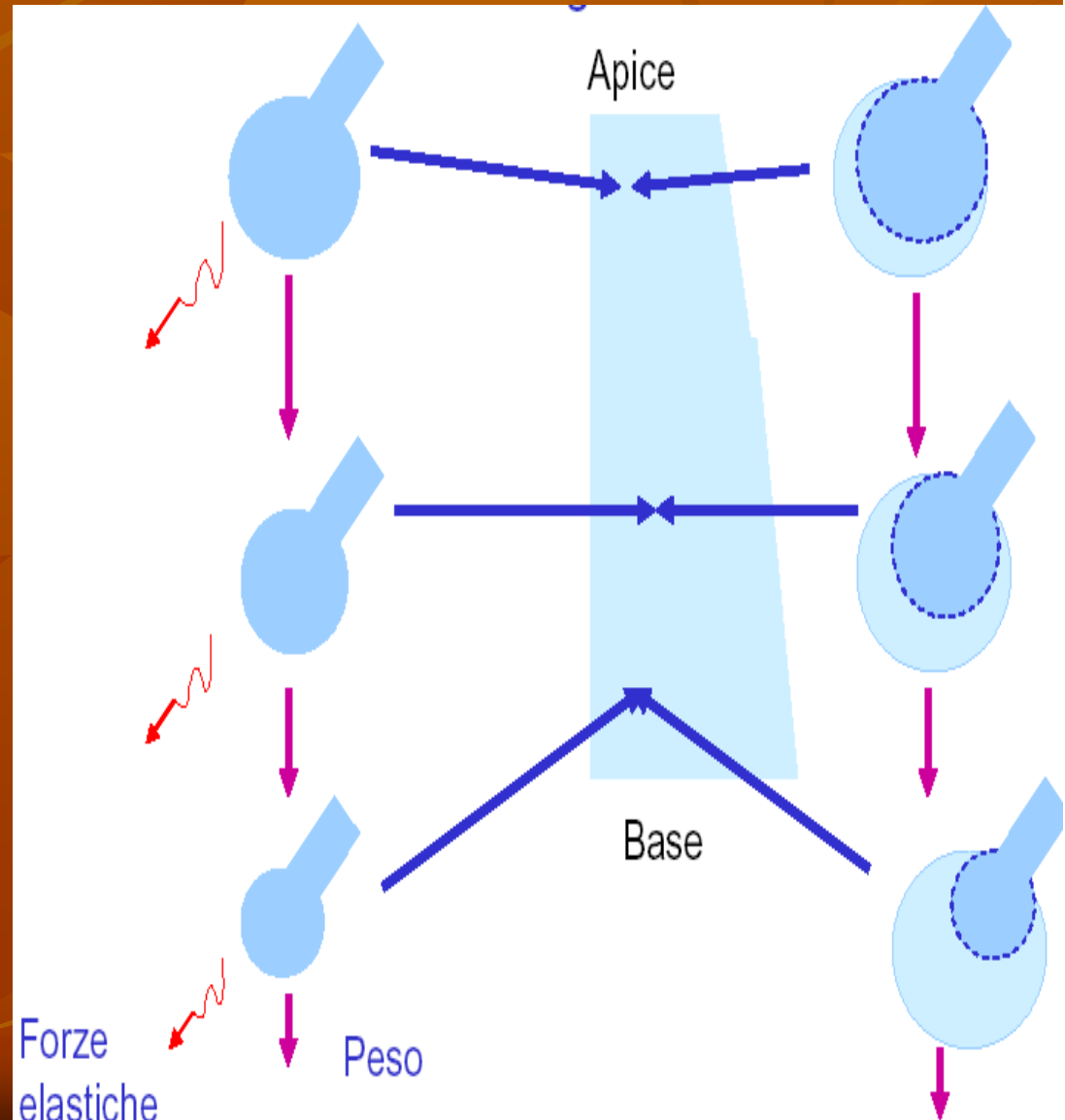
Distribuzione della ventilazione

A Riposo:

Gli alveoli sono più distesi all'apice e meno distesi alla base del polmone

Durante l'Inspirazione:

Gli alveoli si espandono di più alla base che all'apice del polmone, la ventilazione aumenta andando dall'apice alla base



ABBIAMO VISTO

- **VOLUMI POLMONARI**
- **DISTRIBUZIONE DELLA PERFUSIONE POLMONARE**
- **DISTRIBUZIONE DELLA VENTILAZIONE POLMONARE**

Compliance

Se l'elastanza è una misura della forza con cui un sistema si oppone alla distensione

La Compliance

È una misura della distensione di un sistema su cui si esercita una forza.

$$C_T = \Delta V (l) / \Delta P (\text{cmH}_2\text{O})$$

v.n. 100 ml/cmH₂O

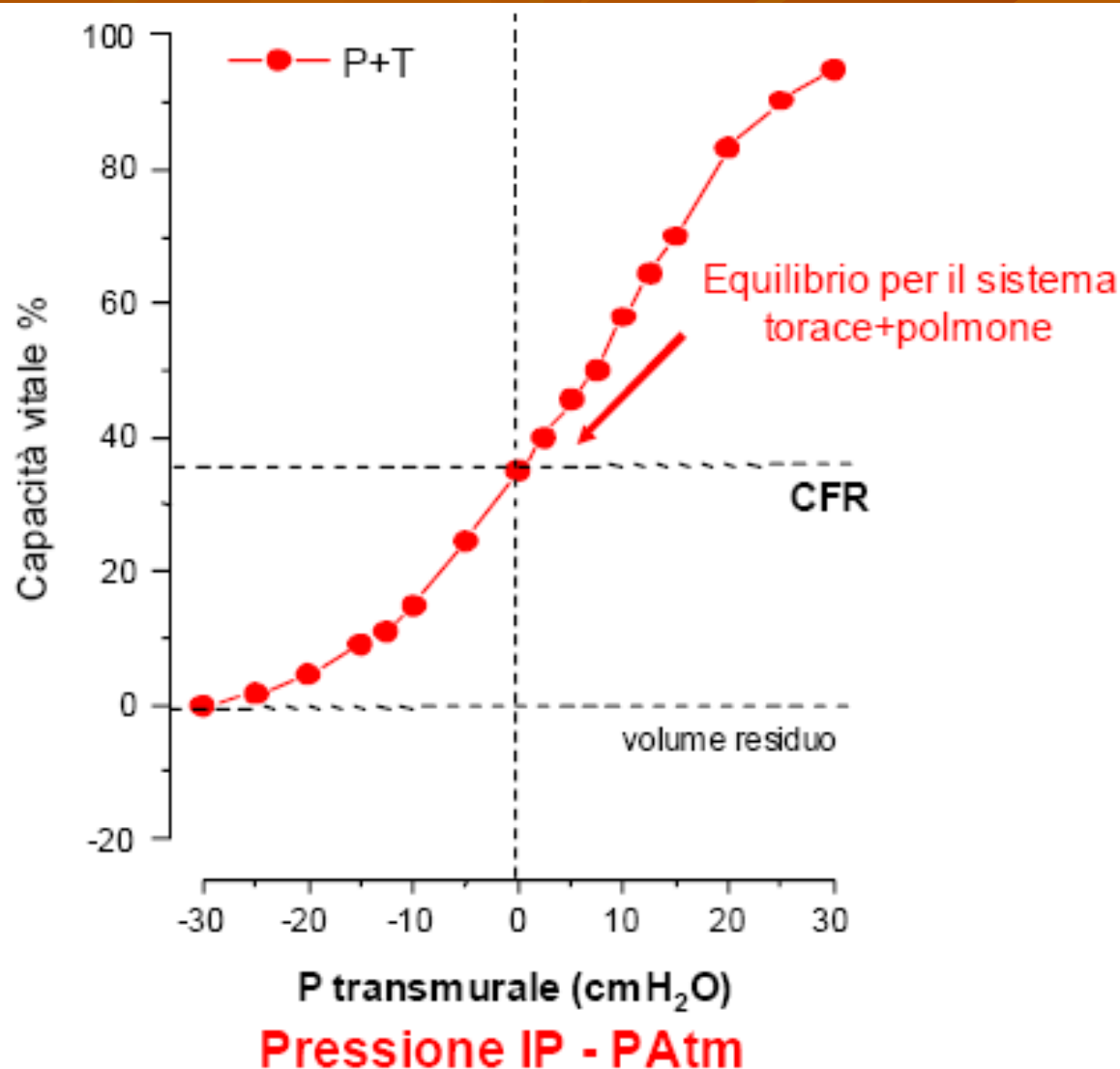
Compliance

La compliance o distensibilità si riferisce alle proprietà elastiche del polmone ed a quelle della parete toracica. Normalmente la caduta della pressione intrapleurica di 1 cm di H₂O provoca una espansione polmonare di circa 200 ml.

Le principali componenti che influenzano la distensibilità polmonare sono il suo contenuto in fibre elastiche e collagene, la tensione superficiale alveolare e la presenza di surfactante (che agisce riducendo la tensione alveolare).

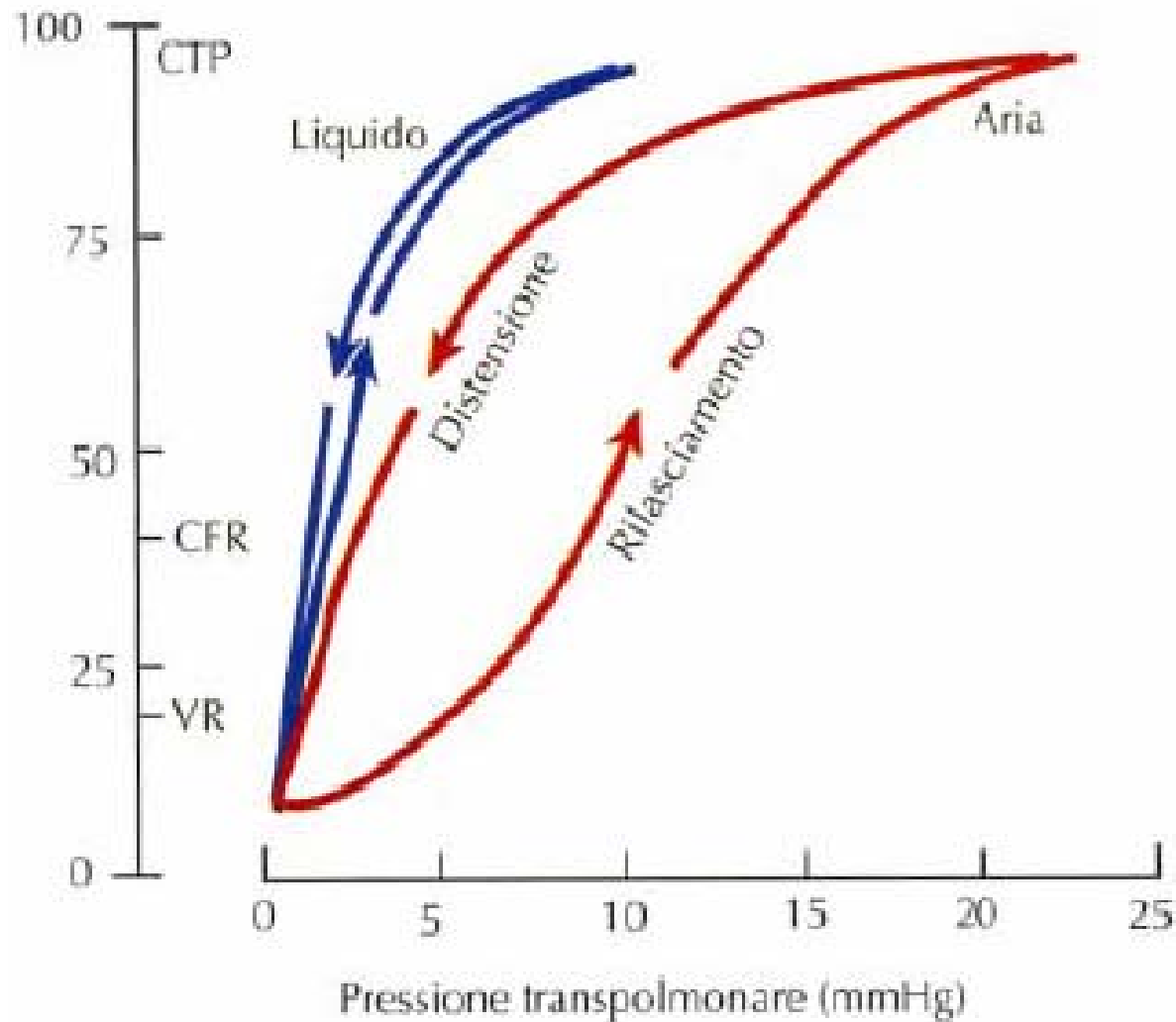
Nell'enfisema e nell'anziano il polmone aumenta la sua compliance (atteggiamento inspiratorio); si riduce invece in corso di numerose patologie (fibrosi polmonare, ispessimenti pleurici, atelettasia, ecc.).

Compliance



Per ricavare la curva di rilasciamento del solo polmone si misura, a diversi volumi, la pressione trasmurale.

Compliance



Nel polmone riempito di aria, le curve corrispondenti all'insufflazione e desufflazione sono diverse (isteresi)

Resistenze delle vie aeree

La relazione tra gradiente di pressione ed entità del flusso d'aria è conosciuta come resistenza delle vie aeree.

$$R = \Delta P / \dot{U}$$

Resistenze delle vie aeree

Il movimento dell'aria che percorre le vie aeree richiede una forza necessaria a vincere le resistenze opposte al flusso aereo.

I valori normali sono 1-2 cm H₂O/litro/secondo; le resistenze aumentano con l'aumentare del flusso. La regione dell'albero bronchiale di massima resistenza al flusso è quella dei bronchi di medio calibro, mentre le piccole vie aeree (diametro < ai 2 mm) contribuiscono solo per il 20% alle resistenze globali delle vie aeree.

Fisiologicamente le resistenze polmonari aumentano durante l'espiazione, questo fenomeno si accresce molto in corso di espiazione forzata, con l'inalazione di fumo di sigaretta o di altri irritanti e nelle malattie ostruttive polmonari.

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 $F = \Delta P \pi r^4 / 8 \mu l$

- 70% Resistenze rappresentate dai bronchi maggiori fino ai bronchi di medio calibro
- 30% Resistenze rappresentate dai bronchi con diametro < 2 mm
- Flusso laminare nelle piccole vie aeree
- Flusso turbolento nelle vie aeree più grandi
- Flusso transizionale nelle biforcazioni

Resistenze delle vie aeree

$$R_{\text{cond}} = K_1 + K_2 \dot{U}$$

se $\uparrow \dot{U} \uparrow R$

$$R_{\text{tiss}} = a/\dot{U} + b$$

se $\uparrow \dot{U} \downarrow R$

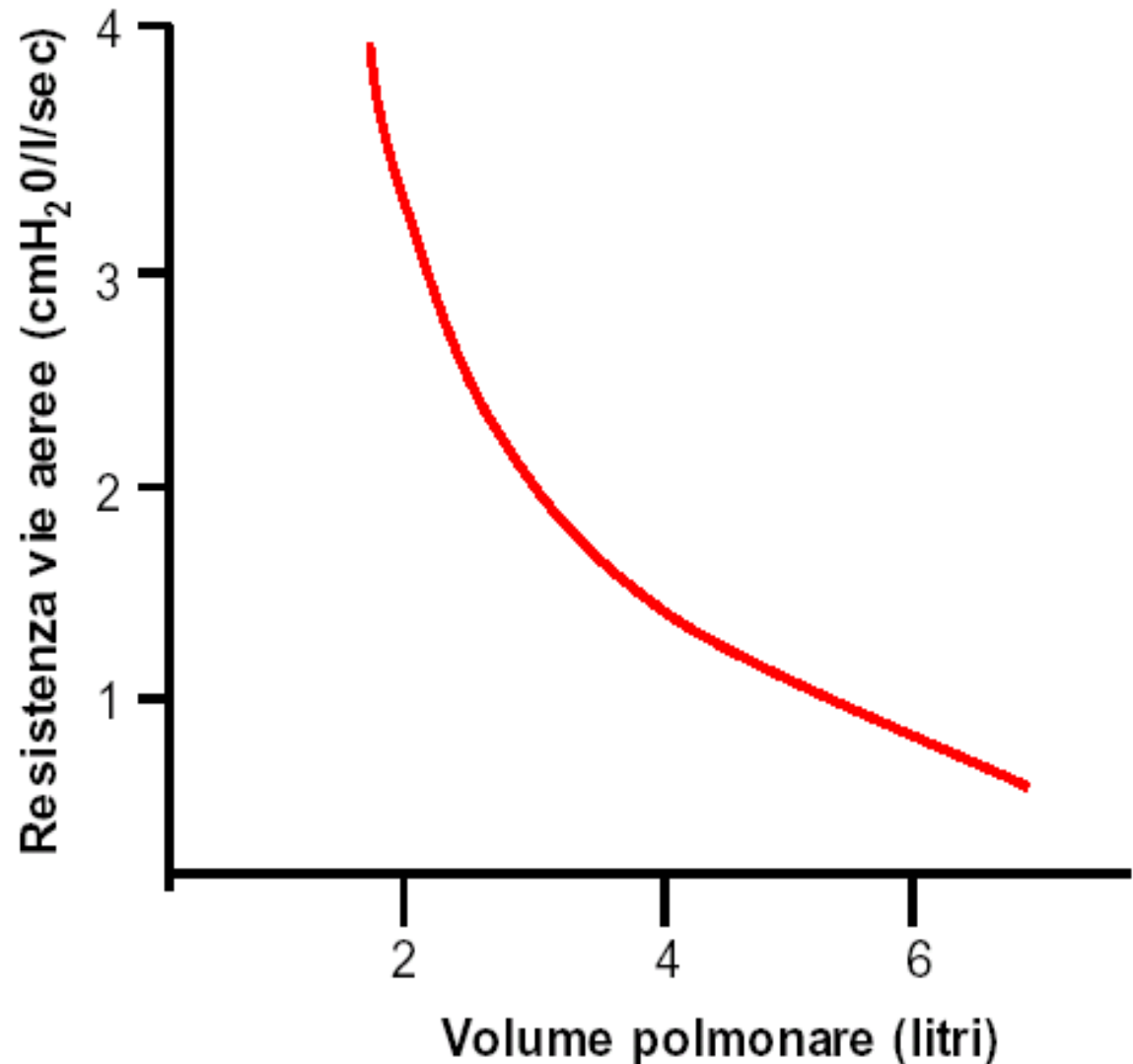
Fino a 1-2 l/sec. prevale R_{tiss} , oltre prevale

R_{cond}

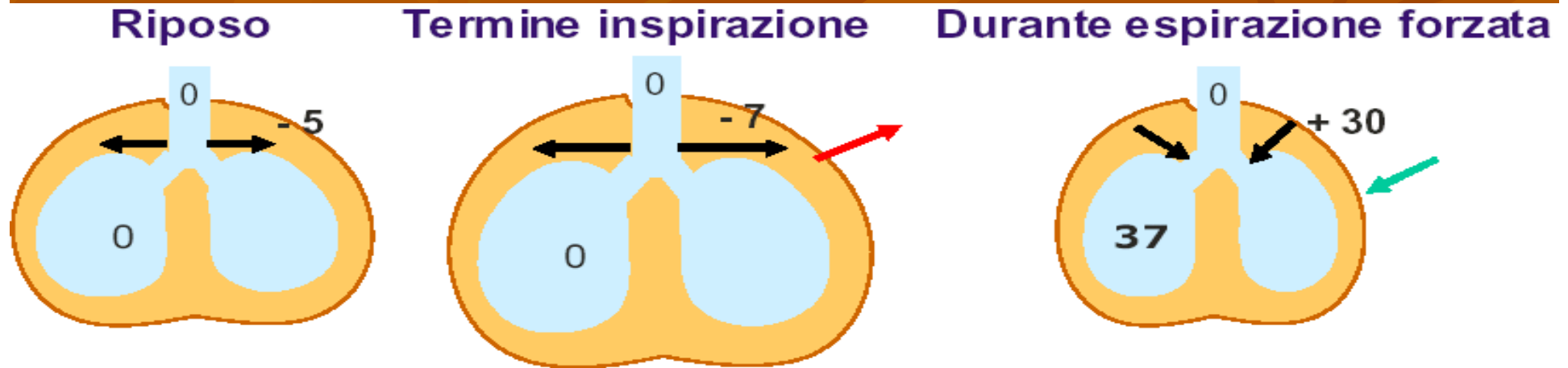
Resistenze delle vie aeree

All'aumentare del volume polmonare, le vie aeree offrono meno resistenza, perché il loro calibro aumenta:

- I condotti vengono distesi in seguito alla maggiore negatività della P_e che determina una maggiore P_{tm}
- La maggiore retrazione elastica degli alveoli determina una maggiore trazione meccanica sulle pareti, distendendole.



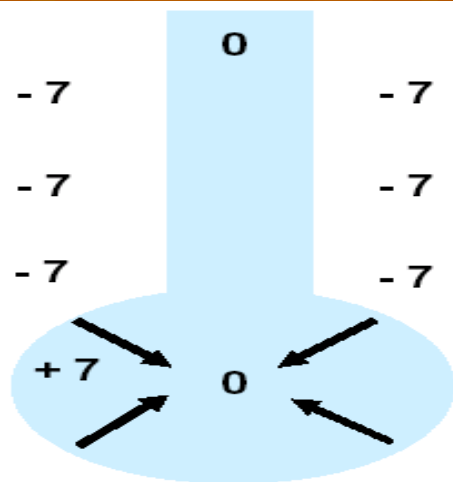
Le Resistenze delle vie aeree aumentano durante l'espirazione forzata



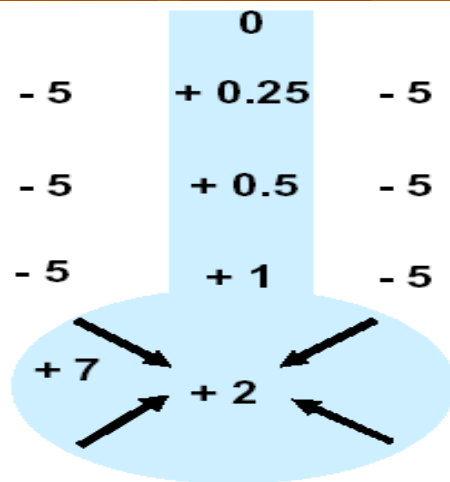
Durante l'espirazione a bassi volumi (espirazione forzata) la R delle vie aeree aumenta perché:

- 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)

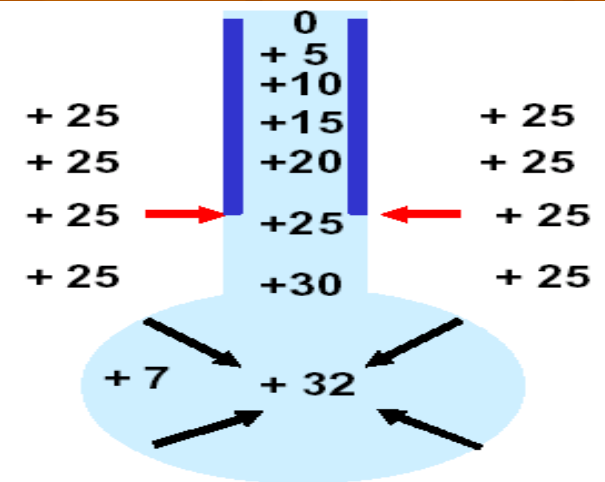
Resistenze delle vie aeree



Fine inspirazione
Retrazione elastica
espressa dalla $P_{tp} = P_i - P_e$



Espirazione normale
 $P_i = 7 + (-5) = +2$
 P_e sempre $< P$ vie
aeree



Espirazione forzata
 $P_i = 7 + (+25) = +32$
Quando $P_e > P$ vie aeree,
chiusura e aumento R

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 delle vie aeree, si sposta sempre più verso le zone più profonde del polmone.

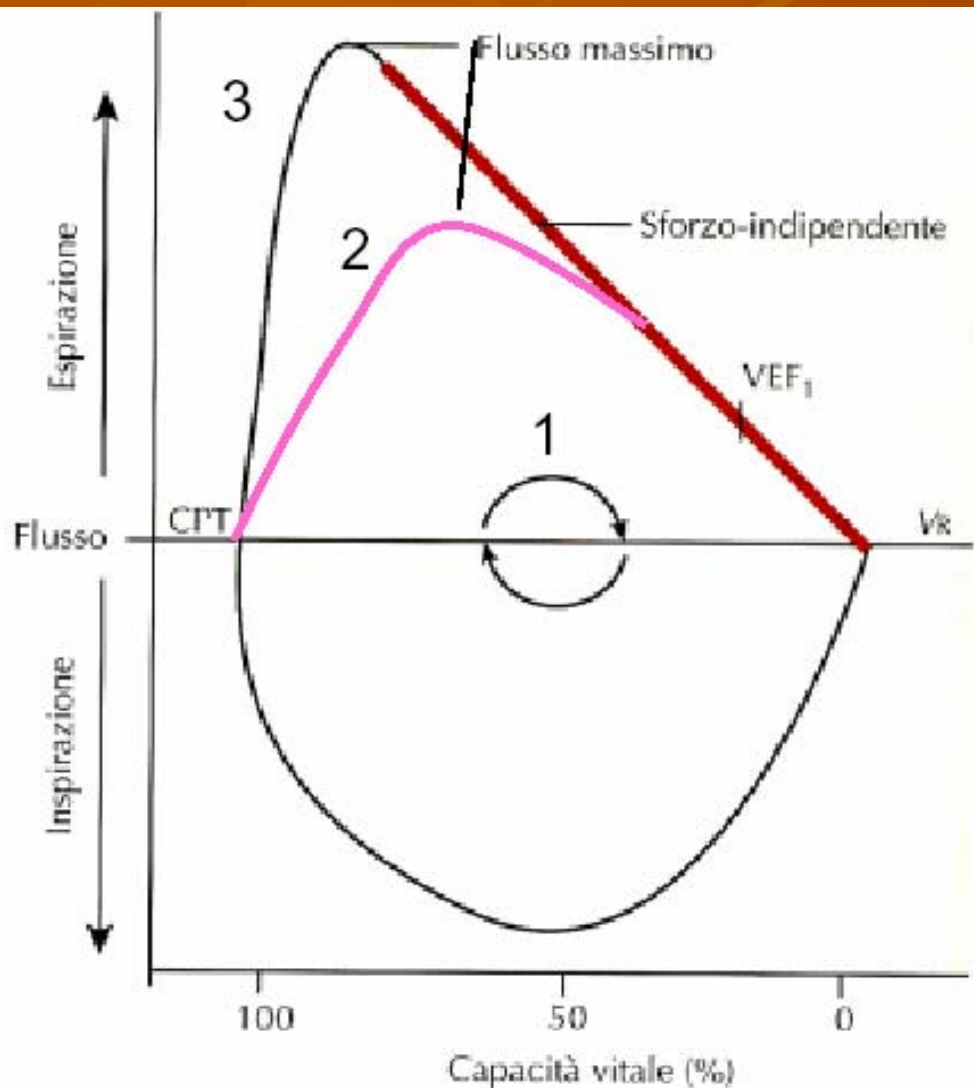
Resistenze delle vie aeree

Flusso espiratorio massimo

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

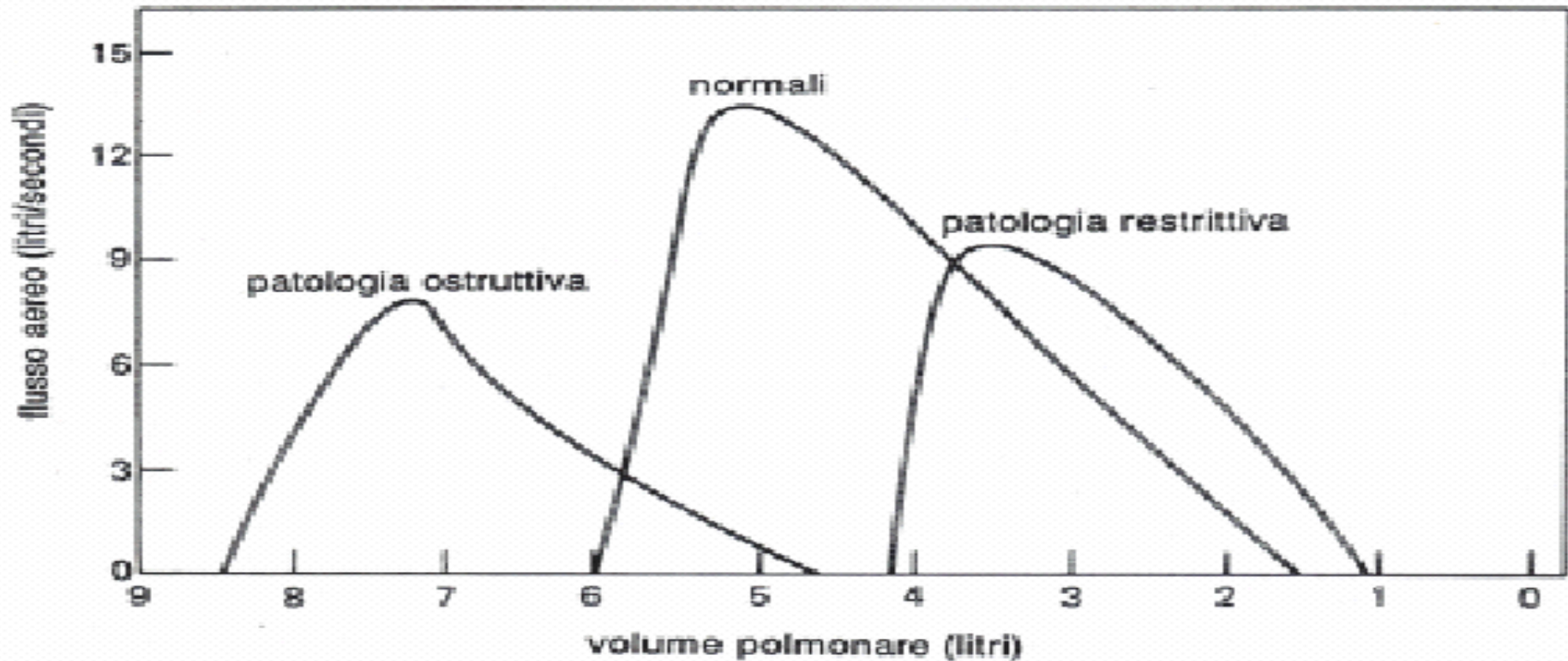
Il flusso espiratorio massimo è tanto maggiore quanto è maggiore il volume inspirato e si riduce progressivamente man mano che si riduce il volume polmonare per compressione delle vie aeree.

Resistenze delle vie aeree



Diagrammi **flusso-volume** durante la respirazione normale (1) e in condizioni di espirazioni forzate a partire dalla CPT con sforzi espiratori diversi (2 e 3).

Durante le espirazioni forzate, il flusso aumenta rapidamente fino ad un massimo, che dipende dallo sforzo compiuto ad elevati volumi, e poi declina per quasi tutta la durata dell'espirazione e diventa indipendente dallo sforzo espiratorio (curva 2 sovrapposta alla 3). 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 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 sia il VR, per la maggiore difficoltà ad espandere il polmone. Il flusso espiratorio massimo è minore perché sono minori i volumi raggiunti, la parte sforzo dipendente della curva è normale.

Lavoro respiratorio

$$L = P \times V$$

Se $\uparrow R$ o $\downarrow C_T$ il L aumenta

Lavoro respiratorio

Muovere polmoni, gabbia toracica e aria nelle vie aeree richiede un lavoro, compiuto dai muscoli respiratori, con conseguente consumo di ossigeno. Nel soggetto normale il costo energetico della respirazione è trascurabile, ma nel paziente affetto da grave ostruzione delle vie aeree il consumo di O₂ può divenire una frazione non indifferente del consumo totale.

I pazienti con "rigidità" dei polmoni o della gabbia toracica, per ridurre il consumo di ossigeno, adottano una **respirazione superficiale e frequente**: tale pattern respiratorio è però a sua volta svantaggioso, in quanto buona parte dell'aria mossa con la ventilazione *appartiene allo spazio morto* ed è pertanto inutile alla respirazione.

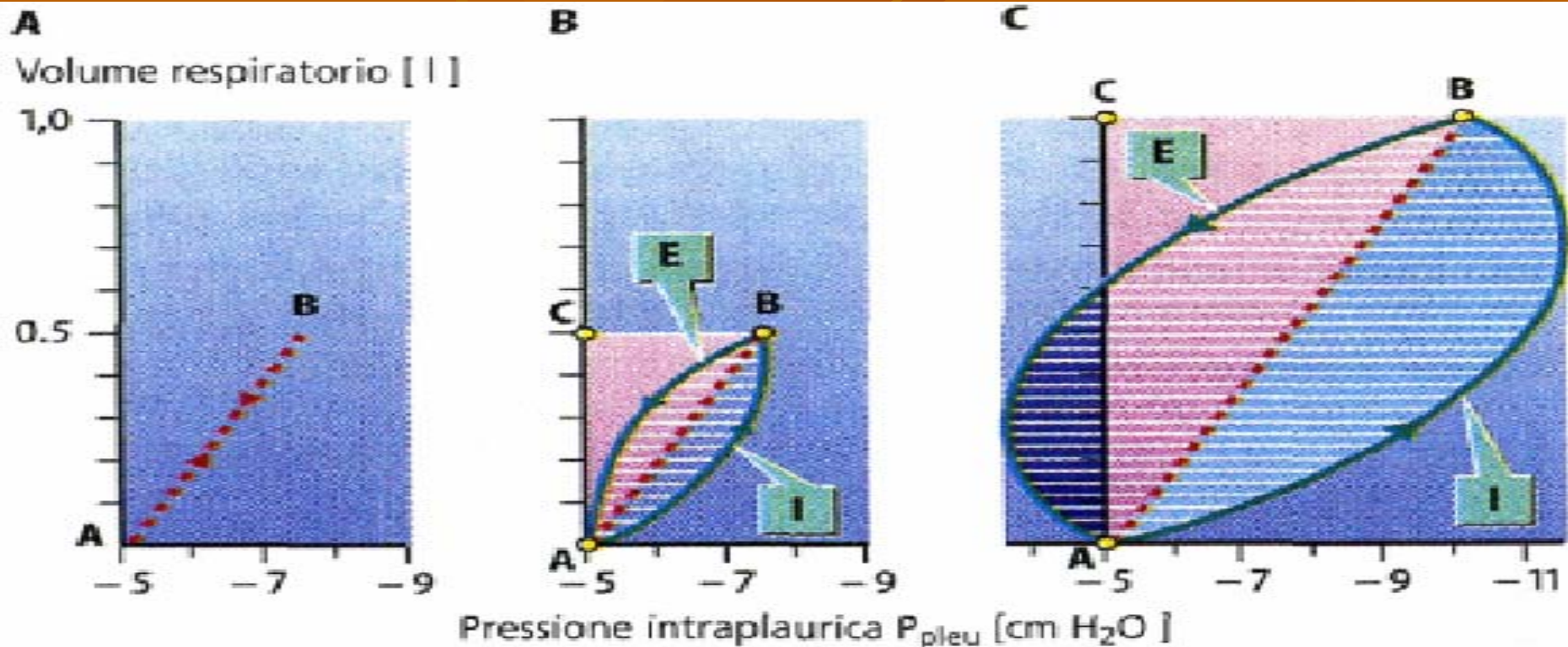
Equazione della ventilazione alveolare

$$(V_T - V_D) \times RR = V_A$$

$$500 - 150 \times 10 = 3500$$

$$250 - 150 \times 20 = 2000$$

Lavoro respiratorio



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.

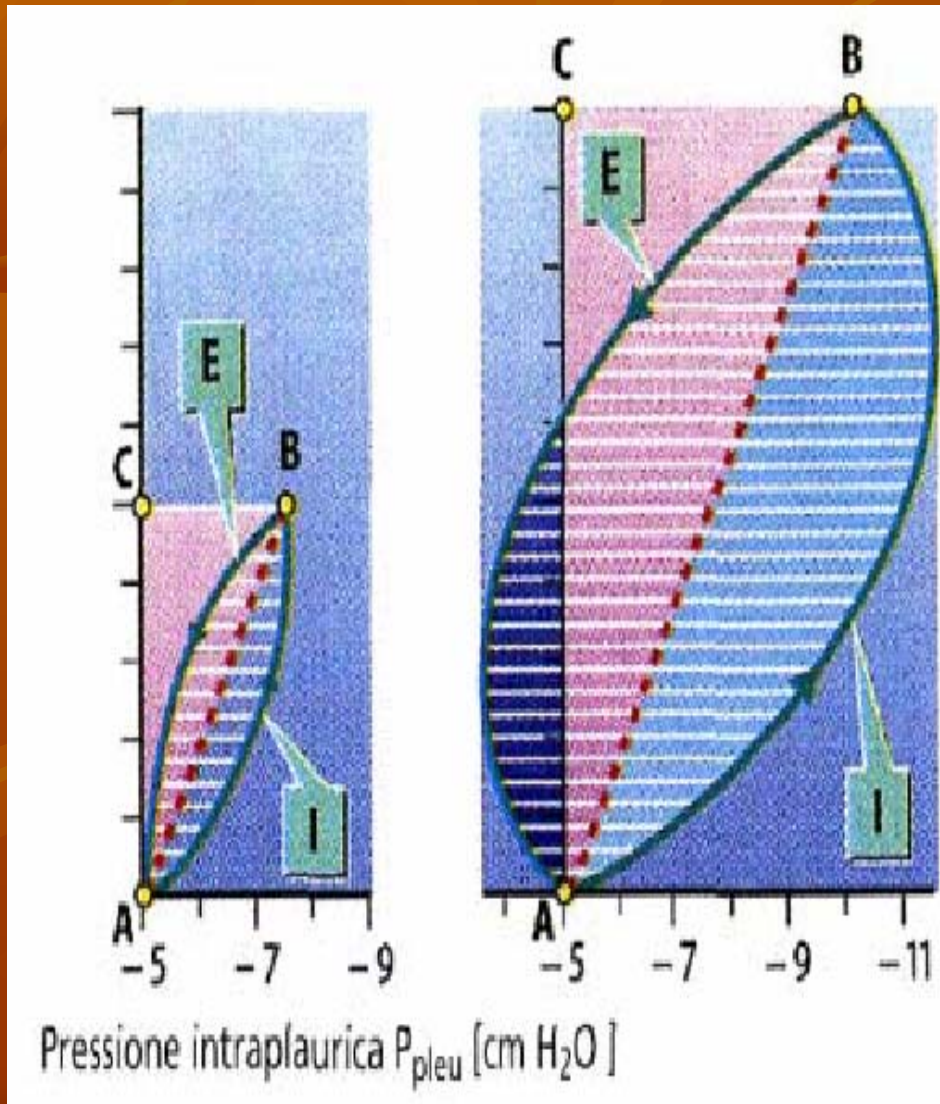
Durante una respirazione profonda e a frequenza maggiore l'ansa si allarga, perché aumenta la resistenza delle vie aeree.

Lavoro respiratorio

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).

Lavoro respiratorio



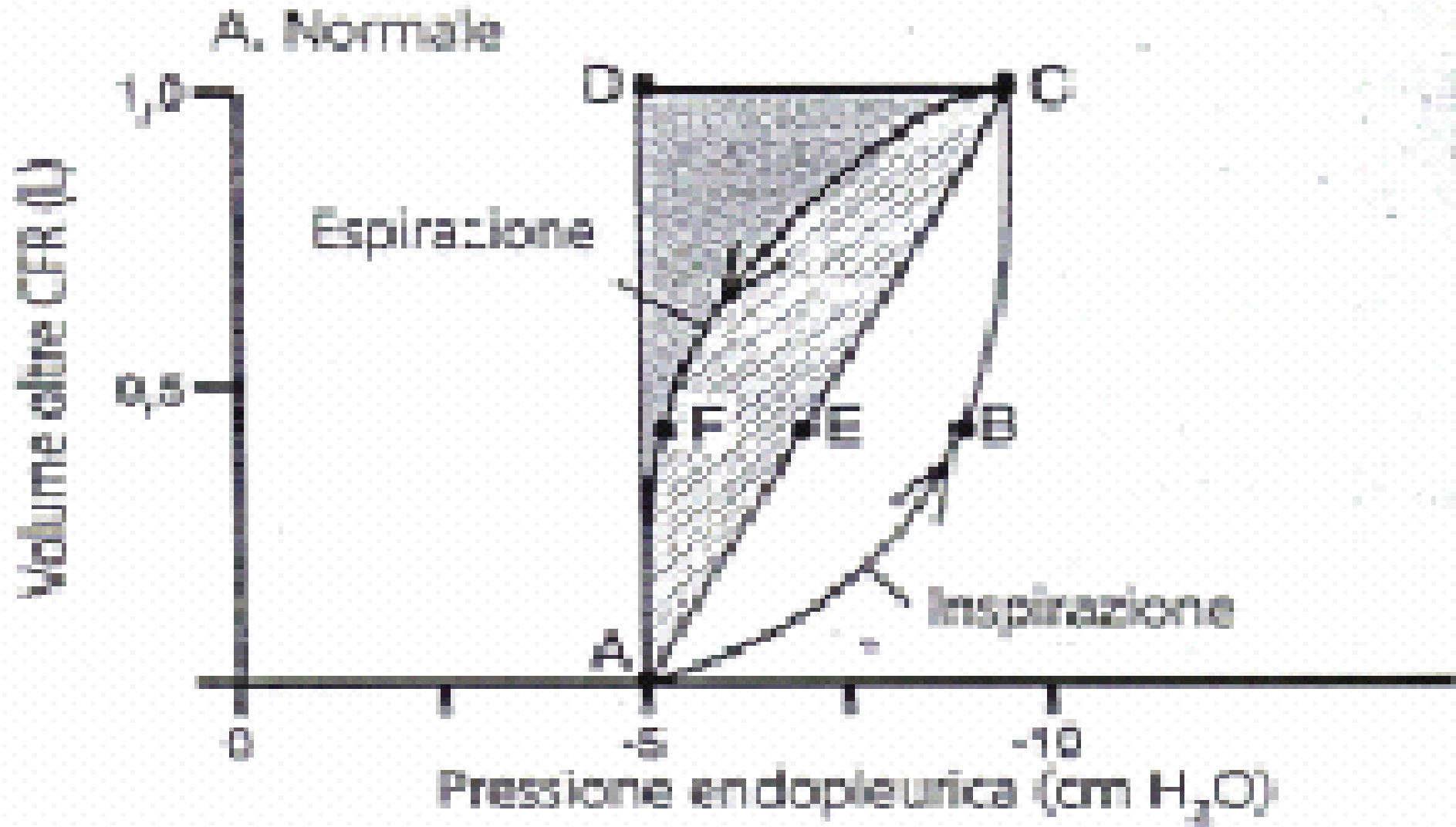
Il Lavoro respiratorio corrisponde all'area sottesa dalle curve nel diagramma P-V

Area rossa ABCA = Lavoro inspiratorio contro le resistenze elastiche

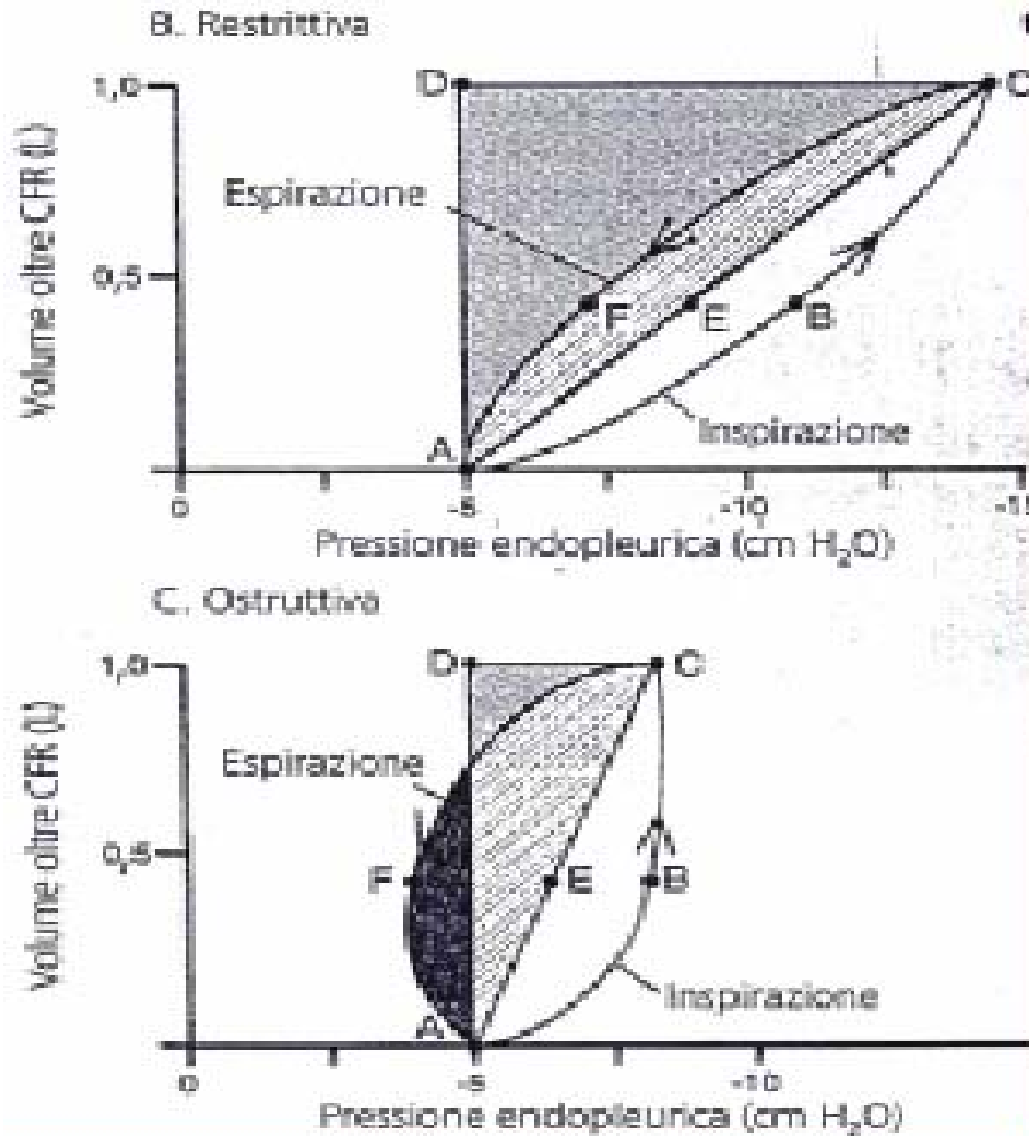
Area tratteggiata ABA = Lavoro in ed espiratorio contro le resistenze delle vie aeree. In condizioni normali il lavoro espiratorio è minore dell'energia elastica accumulata durante l'inspirazione, pertanto l'espirazione è passiva.

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

Lavoro respiratorio



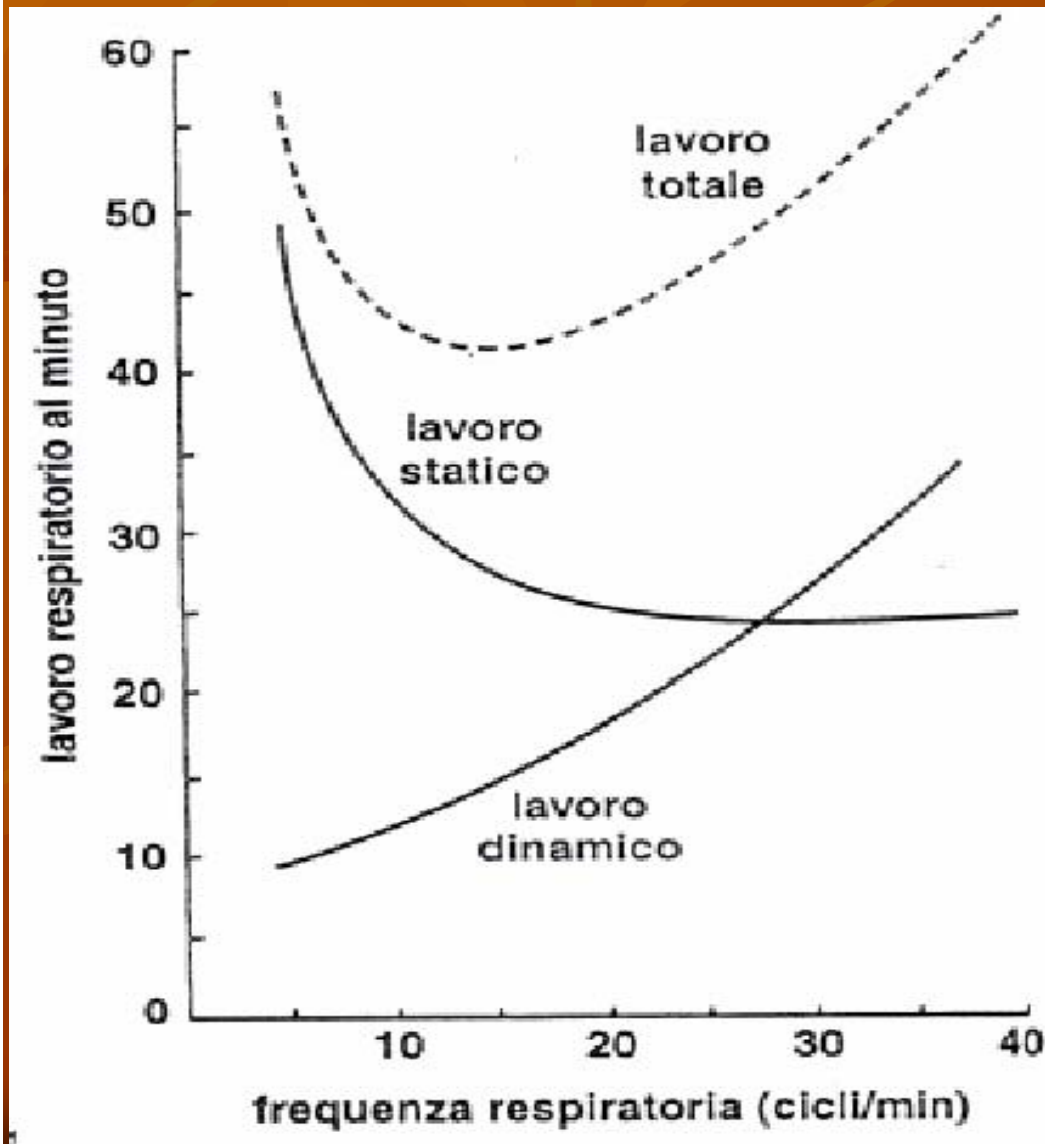
Lavoro respiratorio



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'espiazione è attiva con intervento della muscolatura espiratoria.

Lavoro respiratorio



La ventilazione alveolare in condizioni normali ammonta a circa 5 l/min

Lo stesso valore può essere ottenuto con diversi valori di volume corrente e frequenza respiratoria.

Con l'aumentare della frequenza, il lavoro elastico (statico) diminuisce perché si riduce il VC, 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).

Riassumendo

- DEFINIRE LA COMPLIANCE POLMONARE
- DEFINIRE LE RESISTENZE POLMONARI
- DEFINIRE IL LAVORO POLMONARE