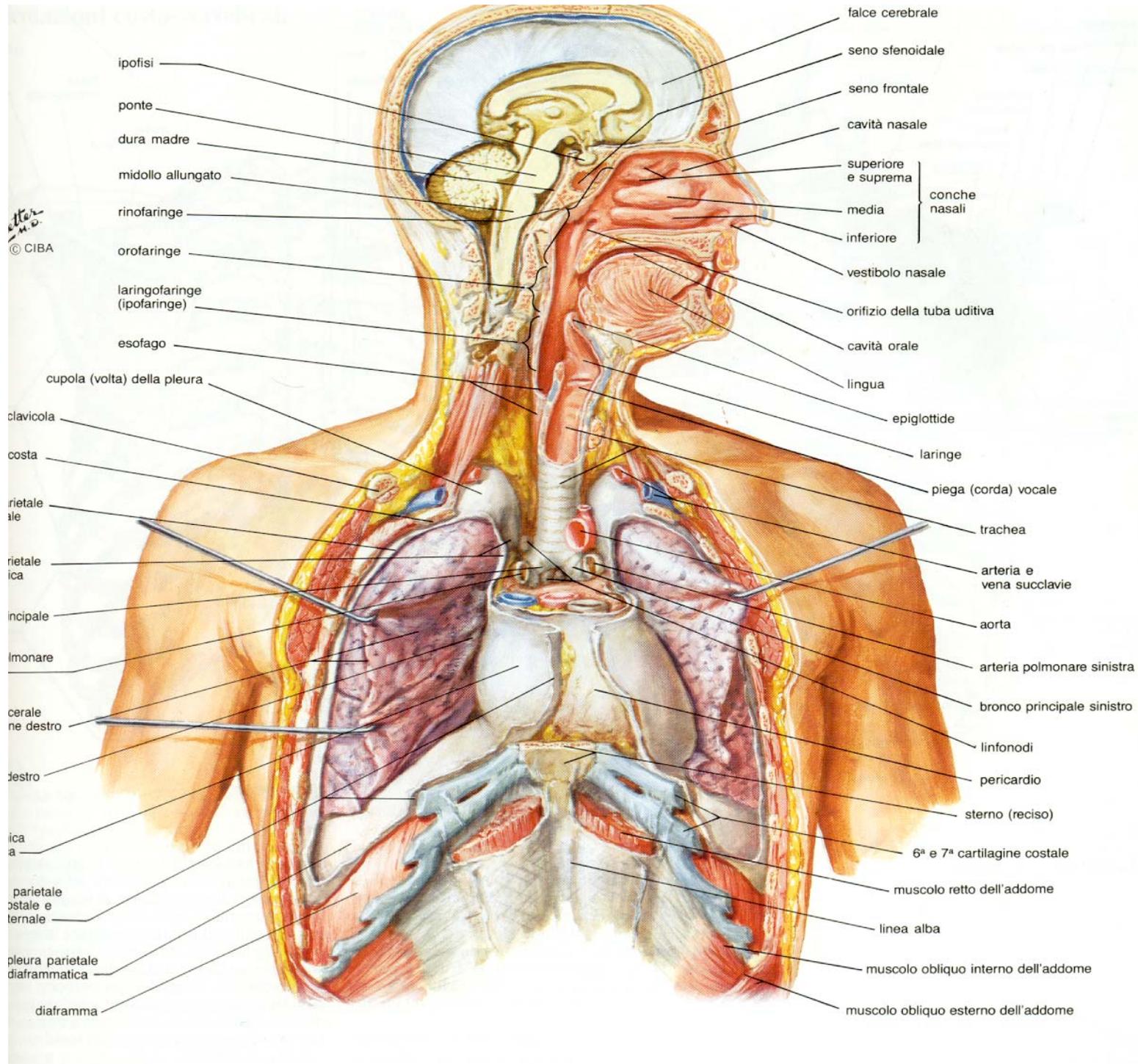
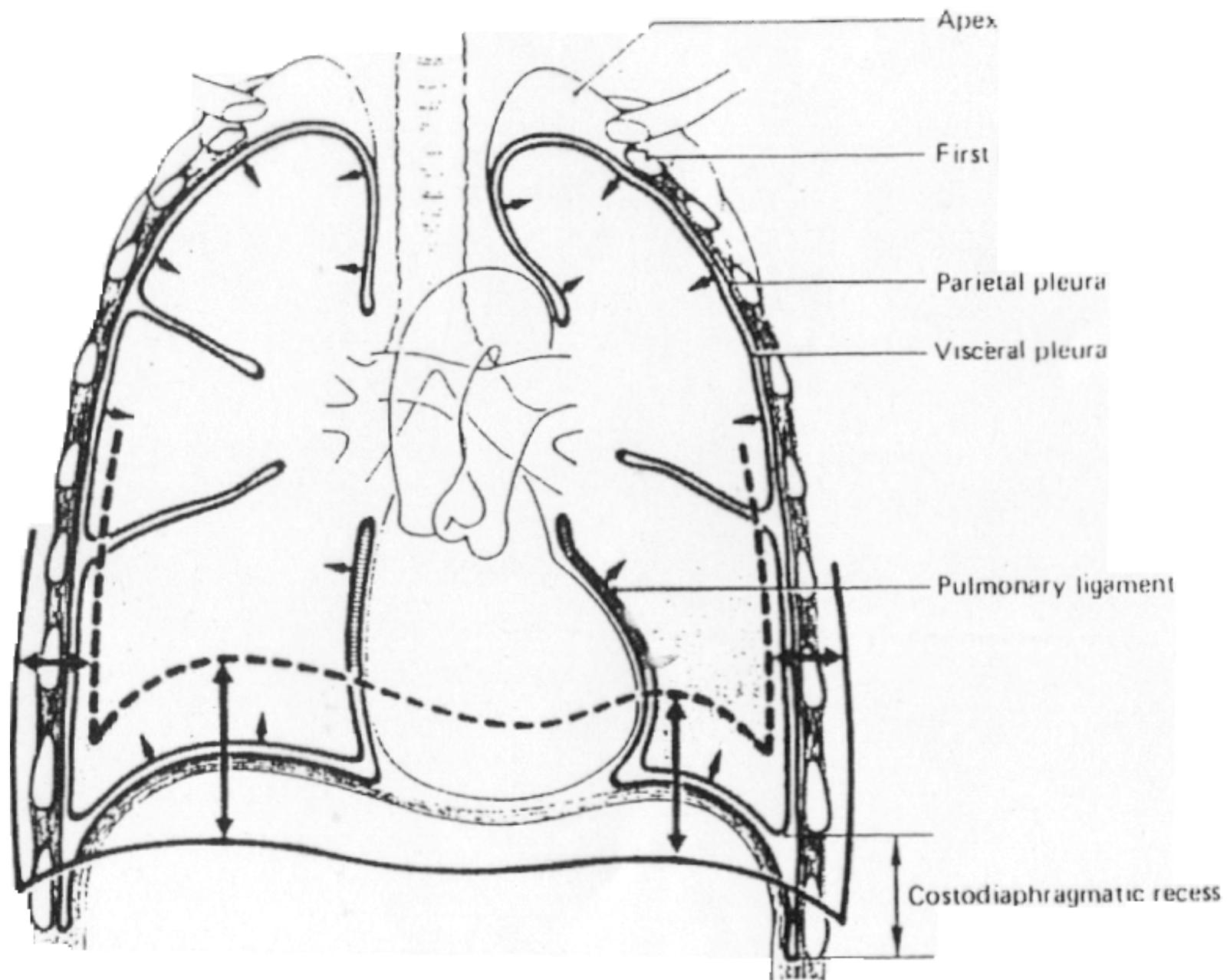


Malattie dell'Apparato Respiratorio

www.fisiokinesiterapia.biz





ple

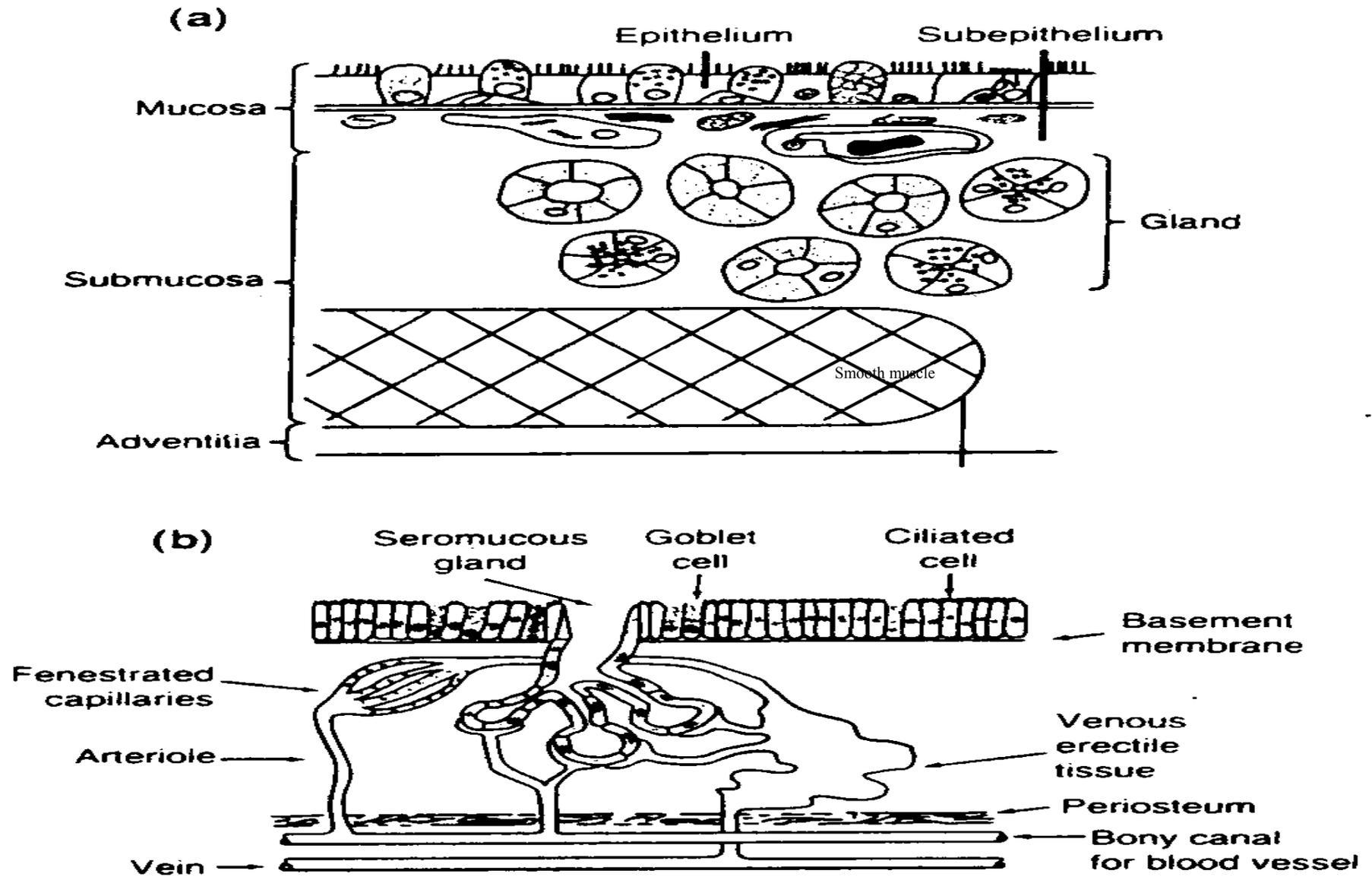
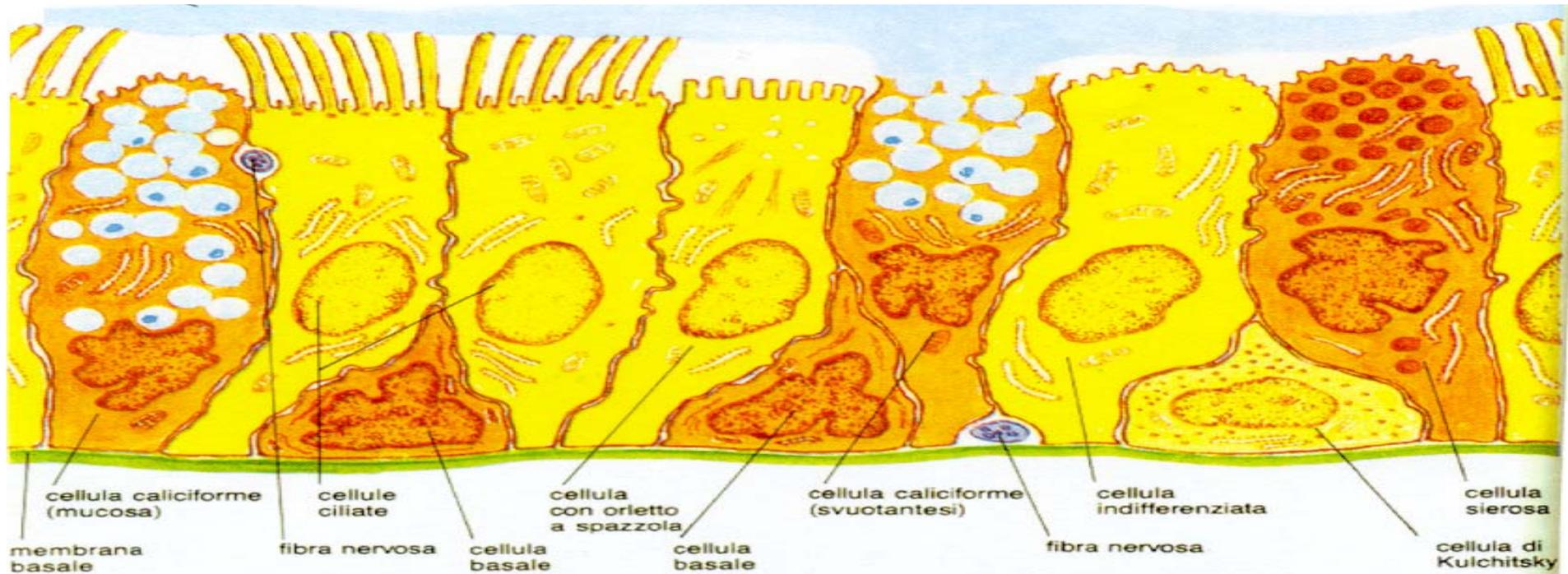
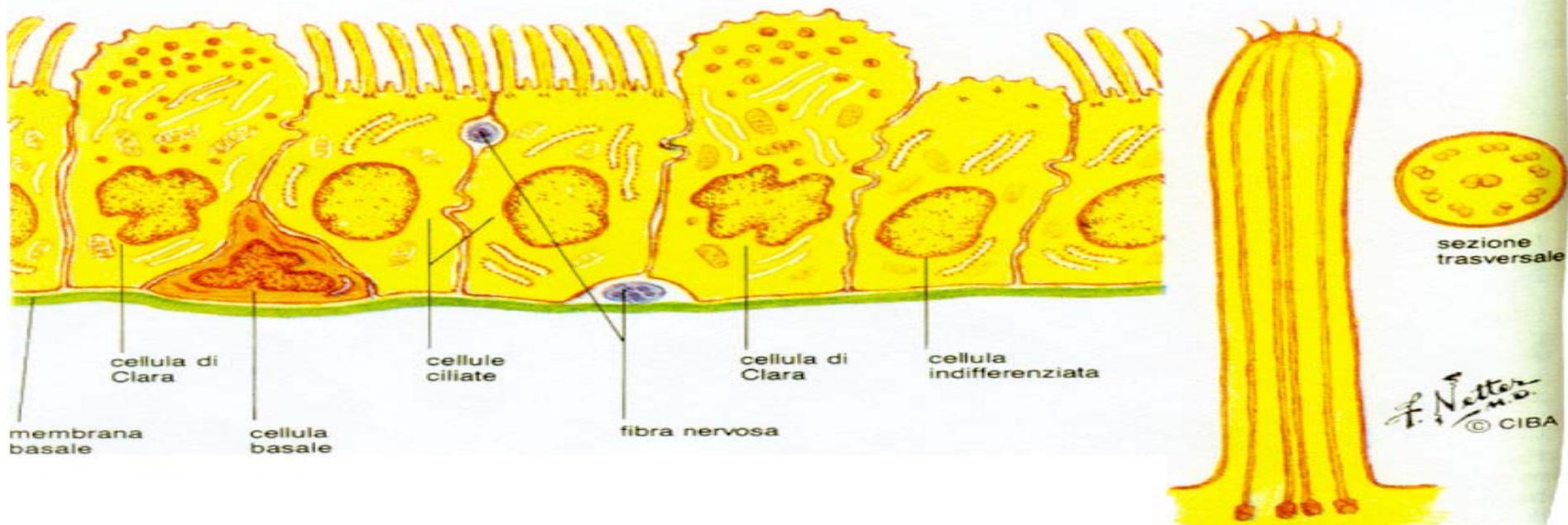


Fig. 1. Schematic cross-section of lower (a) and upper (b) airways illustrating their structure.



trachea e grossi bronchi. Cellule ciliate e caliciformi predominanti, con alcune cellule sierose e rare cellule con orletto a spazzola, cellule indifferenziate (intermedie) e cellule di Clara. Presenti numerose cellule basali e alcune cellule di Kulchitsky



Ordine di suddivisione delle vie aeree

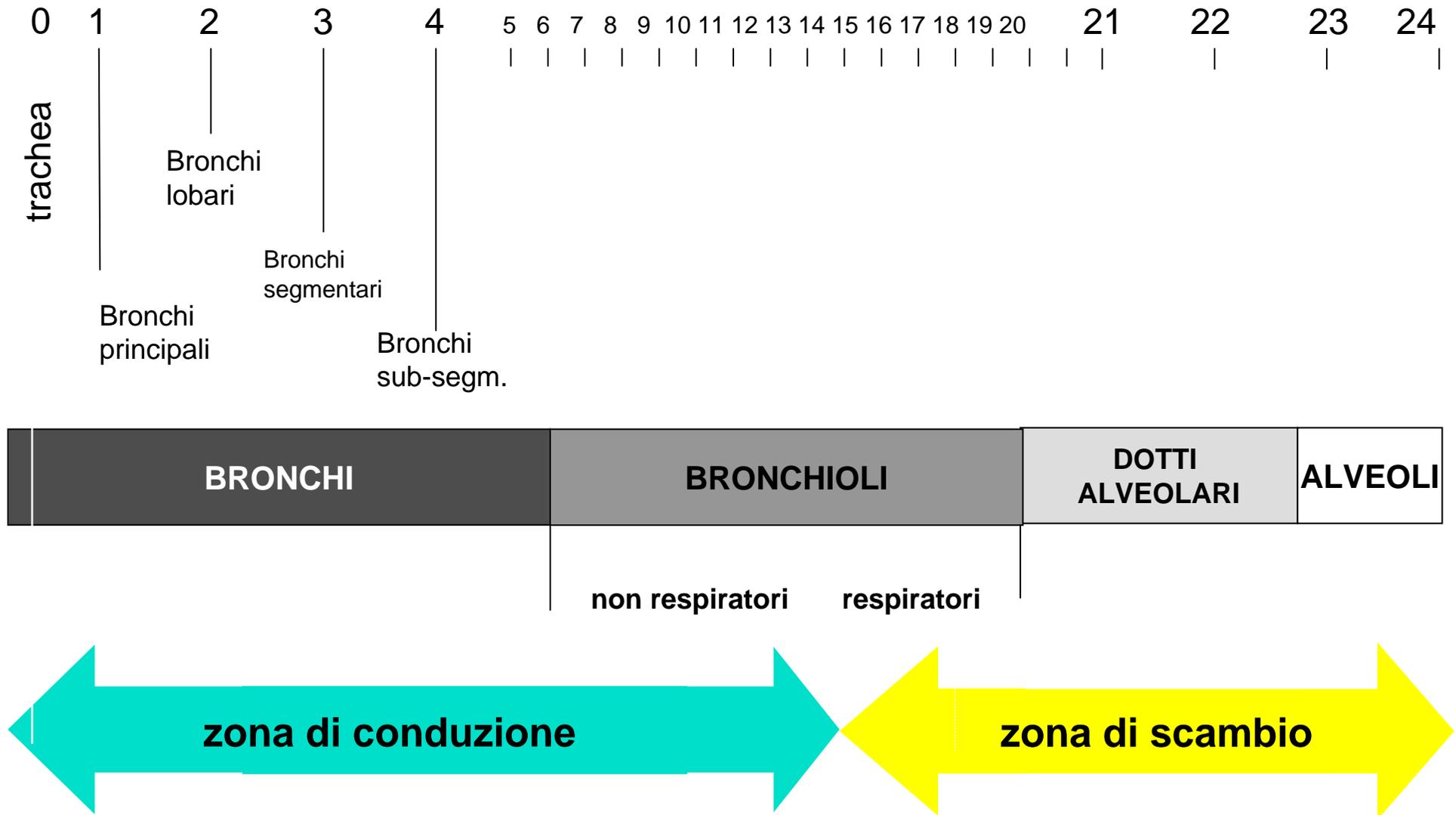
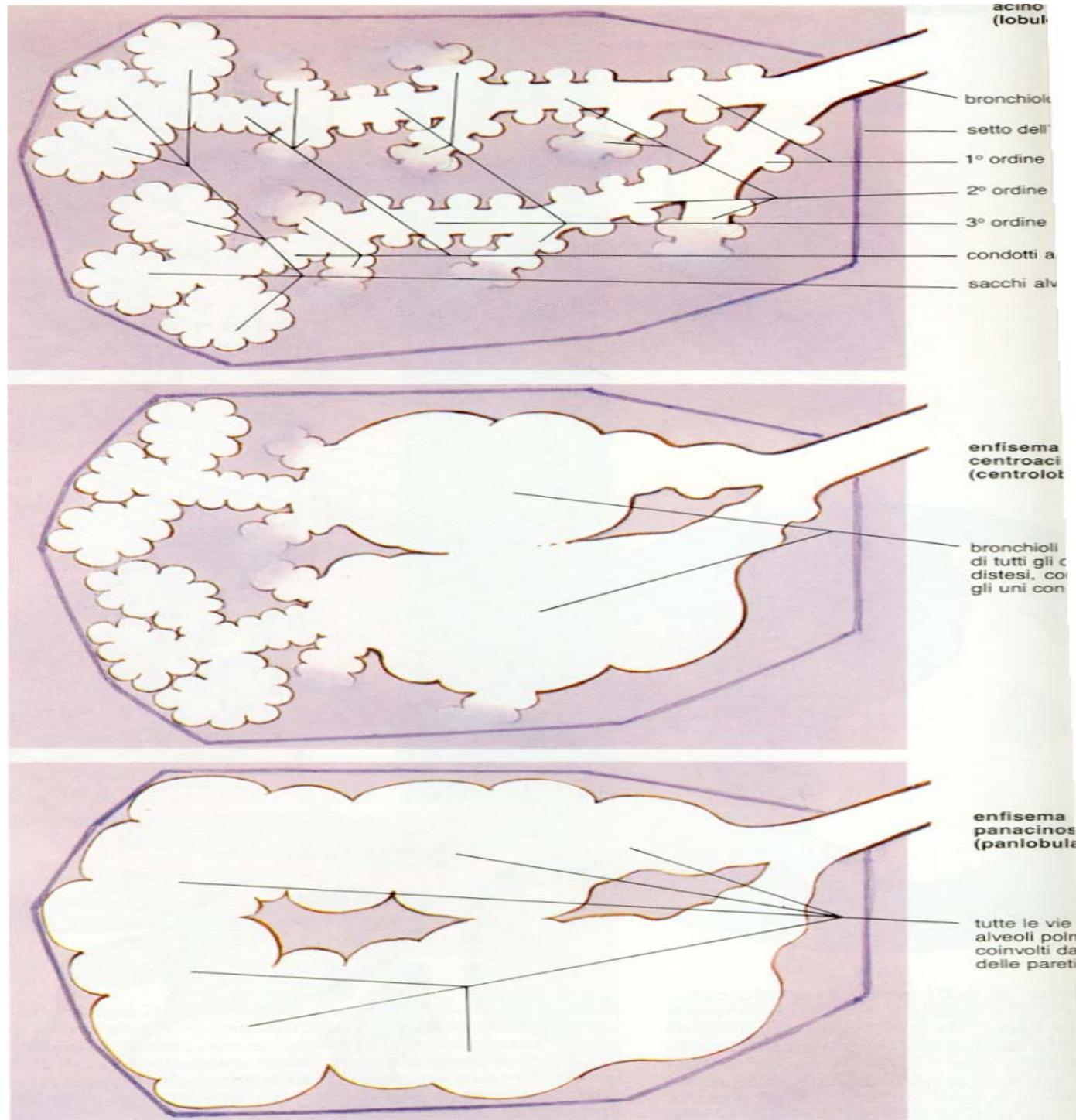
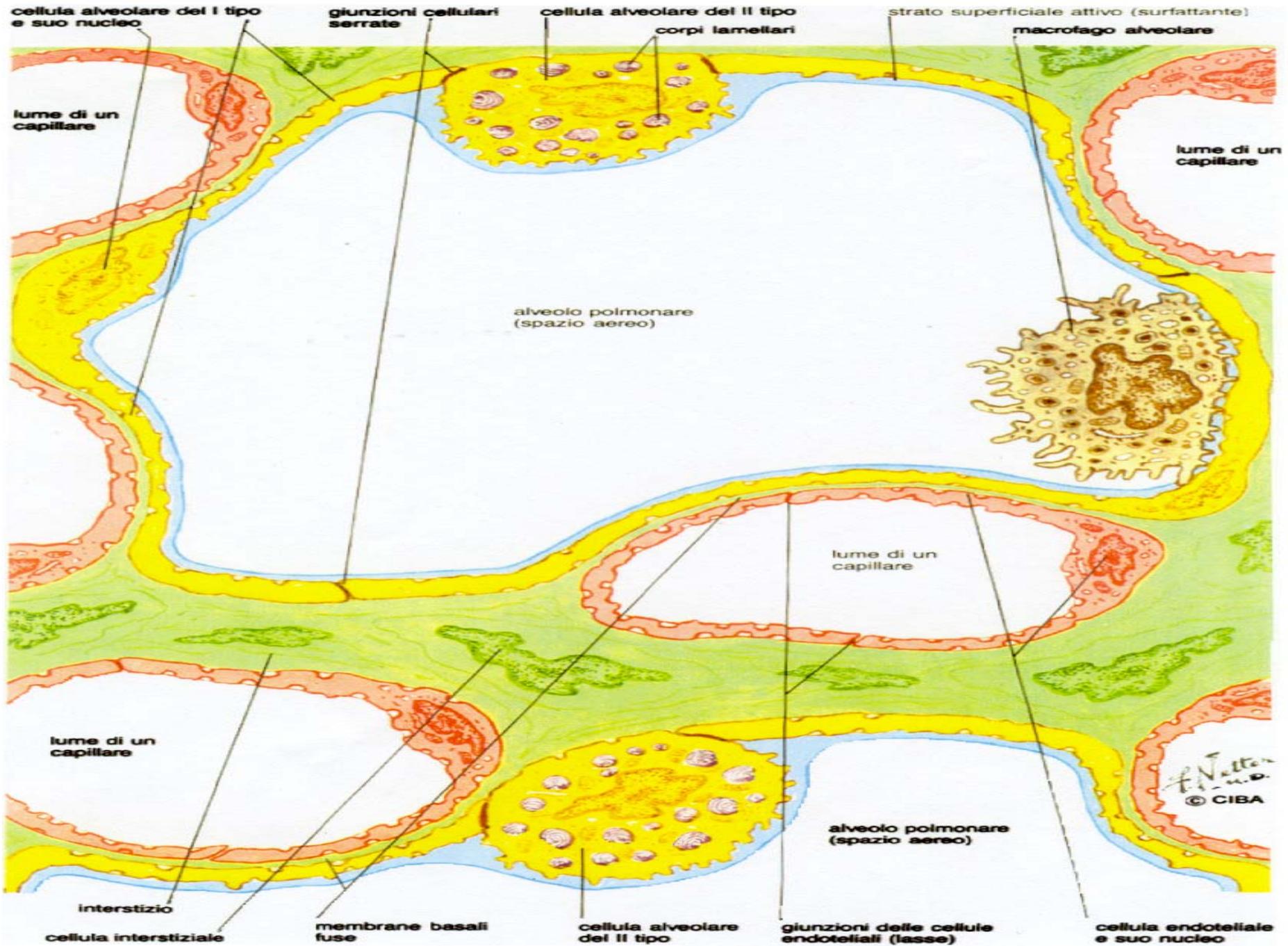


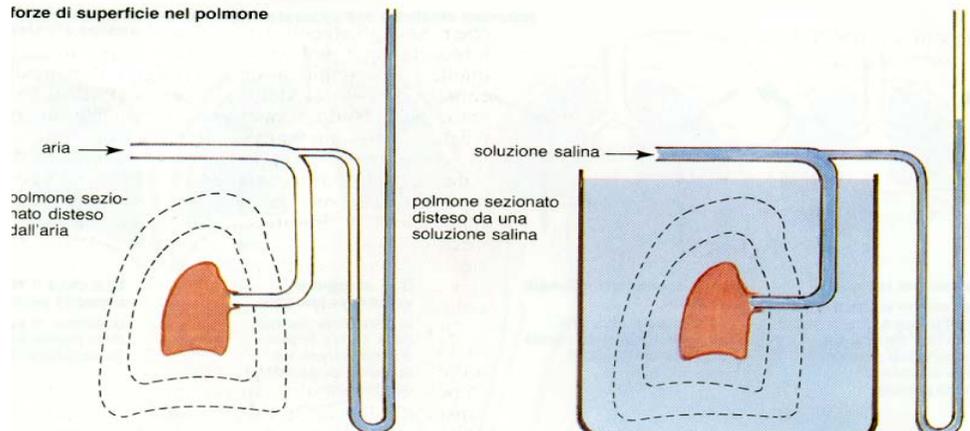
Figura 1



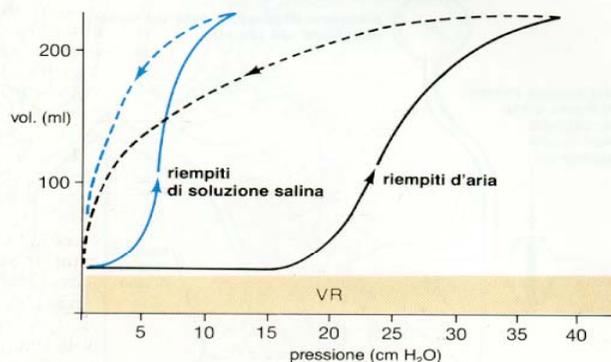
ultrastruttura degli alveoli e capillari polmonari



forze di superficie nel polmone

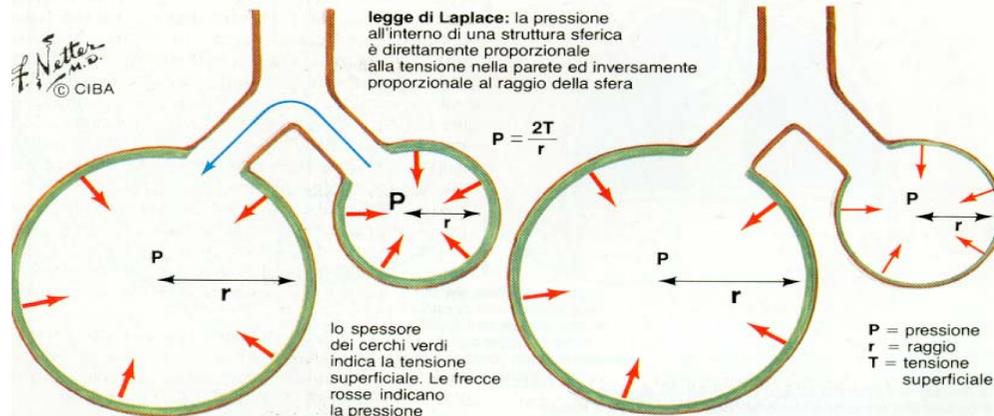


rapporti pressione-volume di polmoni riempiti di aria e di polmoni riempiti di soluzione salina. I polmoni riempiti di liquido richiedono una minore pressione per mantenere un dato volume rispetto a quelli riempiti di aria a causa dell'eliminazione dell'interfaccia liquido-aria



Legge di Laplace

$$P = 2T/r$$



senza il surfattante. La tensione superficiale in entrambi gli alveoli è la stessa. Una maggiore pressione viene richiesta per tenere aperto l'alveolo piccolo. L'alveolo piccolo tende a svuotarsi in quello più grande

con il surfattante. La tensione superficiale è ridotta nell'alveolo piccolo. La pressione che distende entrambi gli alveoli è approssimativamente la stessa. Gli alveoli sono stabilizzati e la tendenza dell'alveolo piccolo a svuotarsi in quello più grande è ridotta

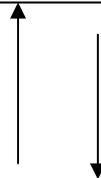
Componenti della respirazione

Ventilazione (vie aeree, polmone)

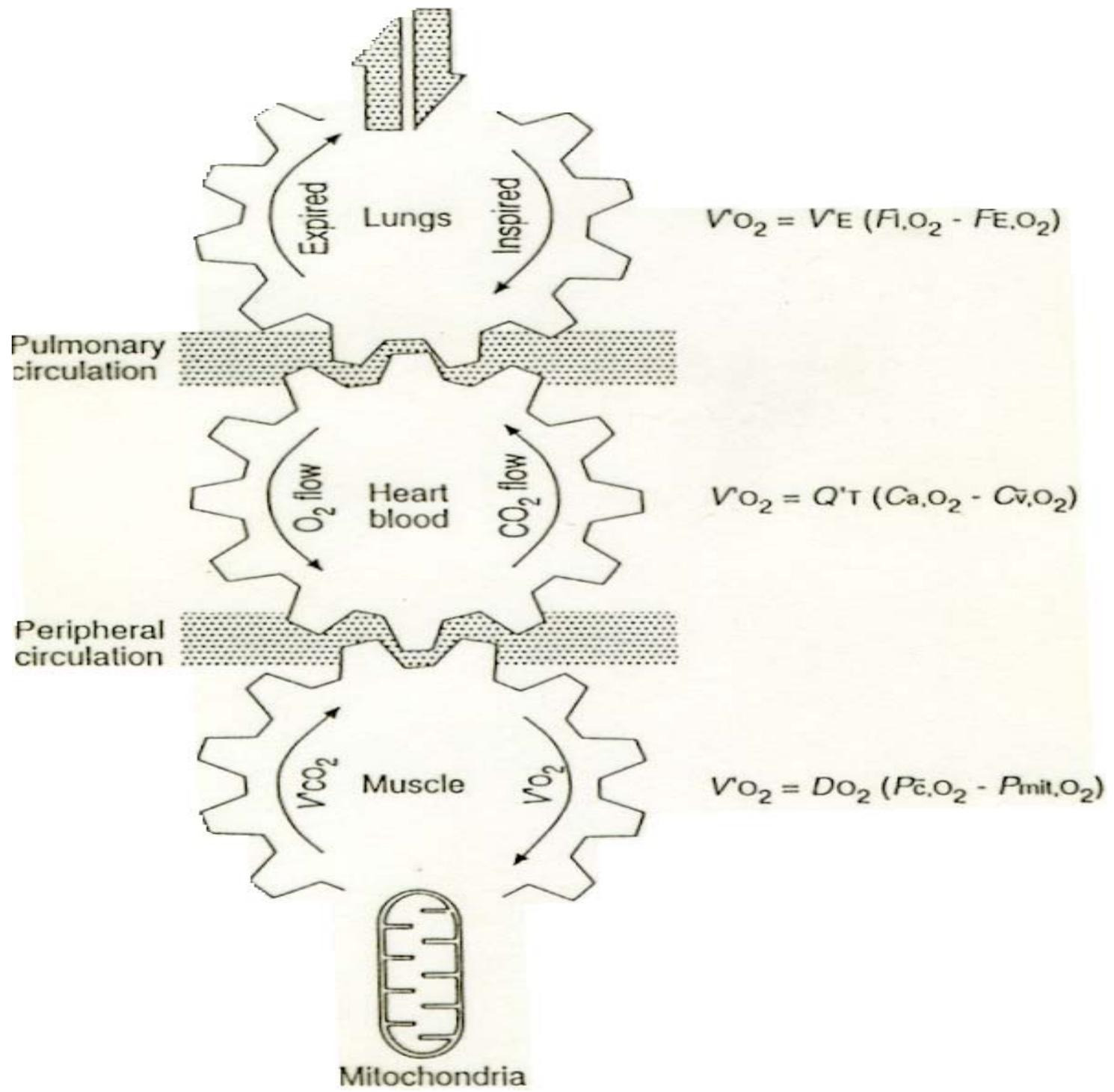
Diffusione-scambio (polmone)

Perfusione-Trasporto (globuli rossi app. cardio-circolatorio)

Meccanismi di controllo



CONSUMO ENERGETICO
(MITOCONDRI)



$$V_{O_2} = V_E (F_{I,O_2} - F_{E,O_2})$$

$$V_{O_2} = Q'T (C_{a,O_2} - C_{v,O_2})$$

$$V_{O_2} = DO_2 (P_{c,O_2} - P_{mit,O_2})$$

Mitochondria

La Ventilazione

www.fisiokinesiterapia.biz

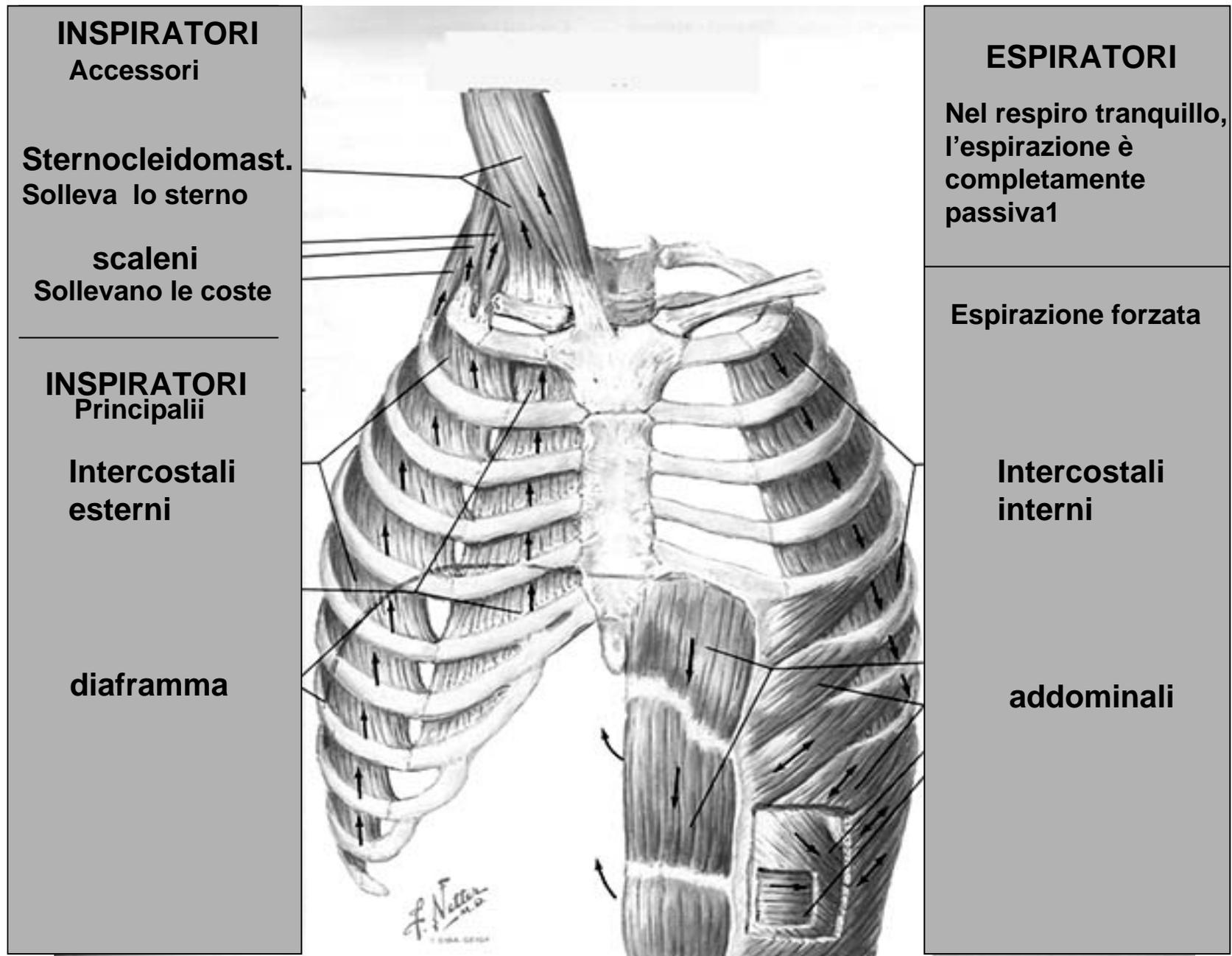


Figura 3

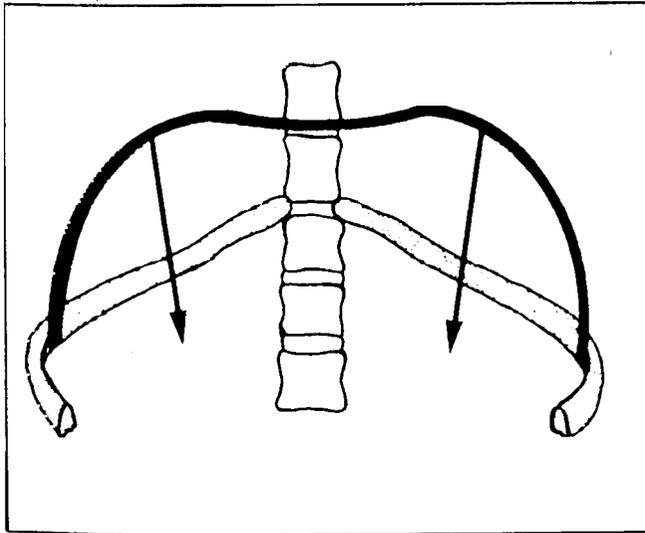


Fig. 20: Nella prima fase della contrazione diaframmatica si attua una discesa delle emicupole con un aumento del loro raggio di curvatura.

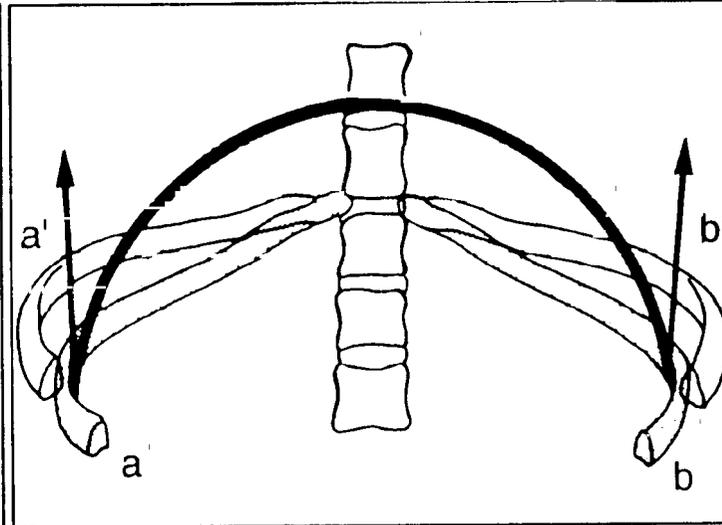


Fig. 21: Nella seconda fase della contrazione diaframmatica si ha un'elevazione delle inserzioni costali (da a verso a' e da b verso b').

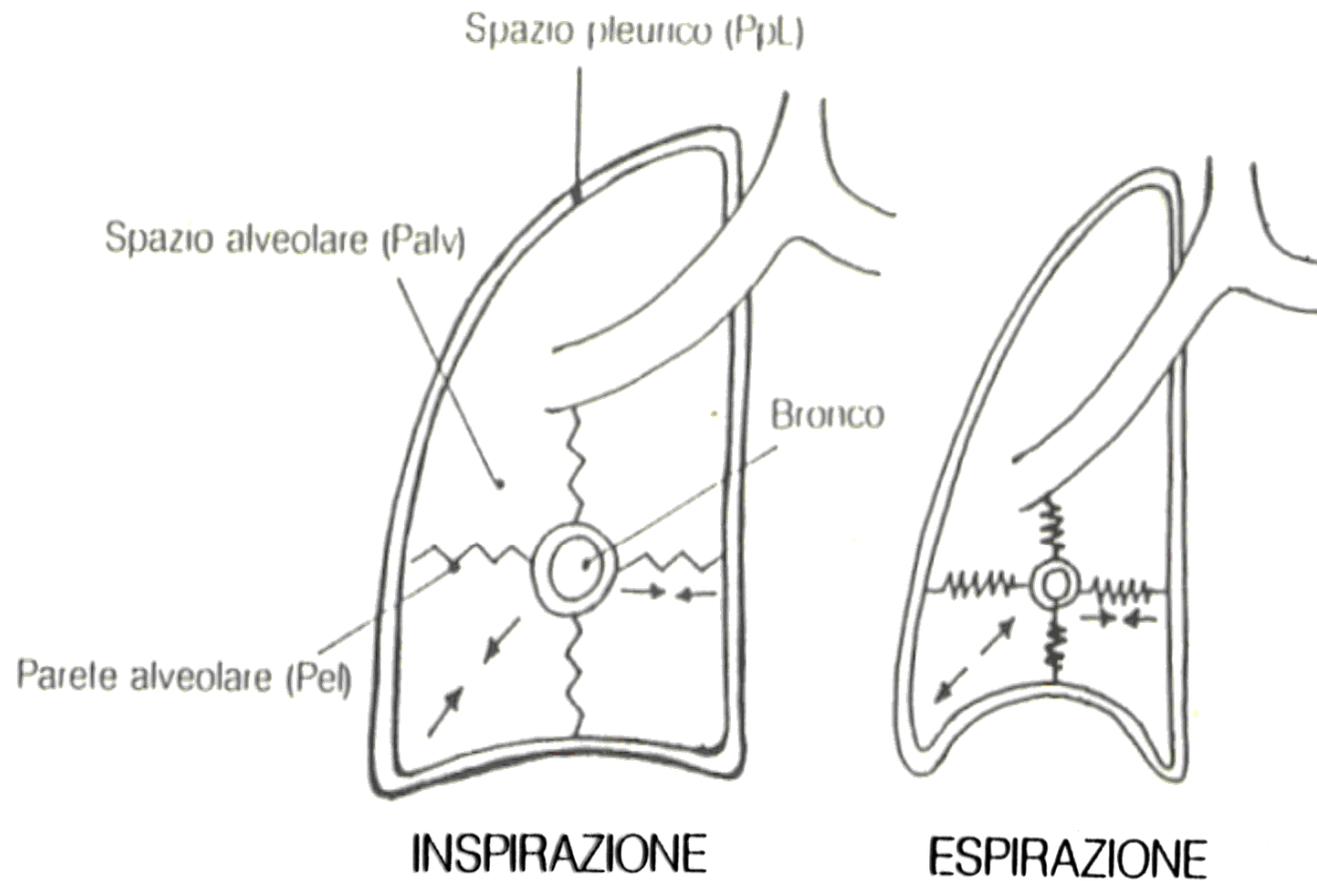


Fig. 35. Comportamento del sistema bronchiale in rapporto alle variazioni di pressione pleurica (P_{pl}), di ritorno elastico (P_{el}) e alveolare (P_{alv}), indotte dai movimenti ventilatori. La P_{pl} è data dalla differenza tra P_{alv} e P_{el} : $P_{pl} = P_{alv} - P_{el}$.

Meccanica del volume corrente

Nel ciclo ventilatorio del respiro normale l'inspirazione è attiva mentre l'espirazione è completamente passiva, a carico del ritorno elastico del polmone

La regolazione del respiro

Il respiro è caratterizzato da due proprietà principali:

La frequenza respiratoria

La profondità degli atti respiratori

La ventilazione minuto è data dal loro prodotto:

Numero dei respiri/min X Volume ventilato ogni respiro

A riposo si respira 12-16 volte al minuto circa 0.5L d'aria a
respiro (6-8L/min)

Sotto sforzo si aumenta profondità e frequenza del respiro e si
possono raggiungere ventilazioni di 10-15 volte maggiori

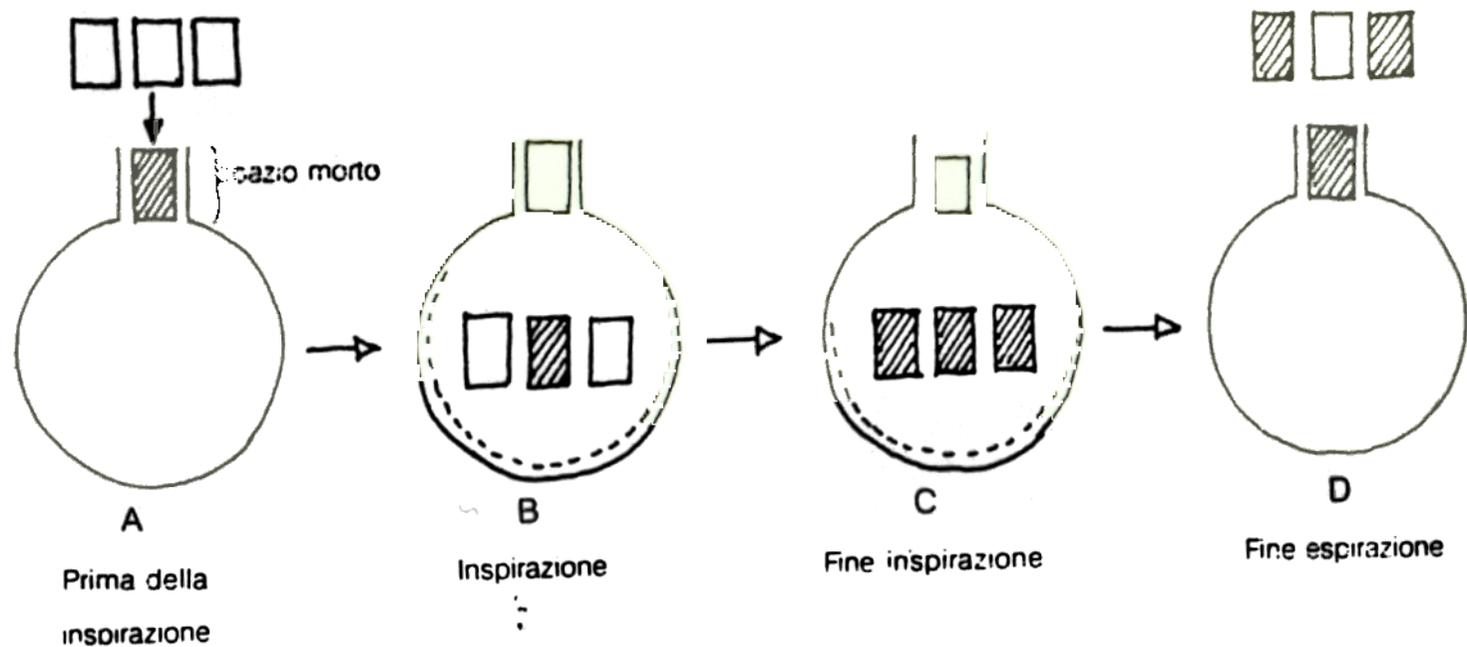


Fig. 37. I blocchetti bianchi rappresentano ognuno 150 cc di aria esterna, quelli tratteggiati aria alveolare che ha già subito gli scambi gassosi. Nella fase di inspirazione (A-B), il volume corrente (450 cc) entra nelle vie aeree: di tale volume però solo 300 cc giungono agli alveoli (moltiplicati per la frequenza costituiscono la ventilazione alveolare), perché gli altri 150 cc occupano lo spazio morto. Questo volume gassoso subisce gli scambi attraverso la membrana alveolo-capillare e diventa aria alveolare (C). Nella fase di espirazione (D) l'aria alveolare spinge all'esterno i 150 cc dello spazio morto e ne sostituisce il relativo volume.

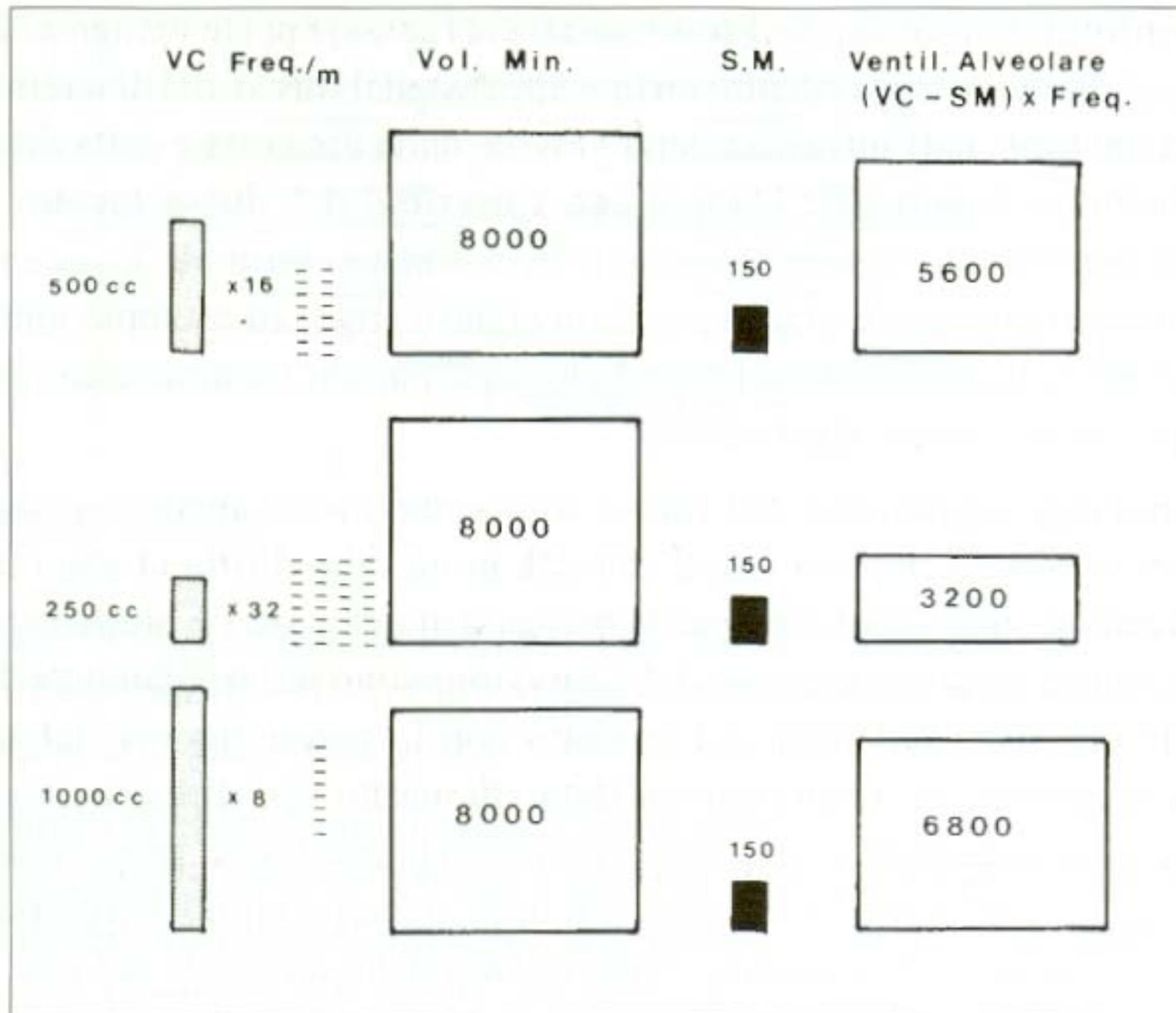


Fig. 41. A. ... B. ... C. ...

Lo spazio morto

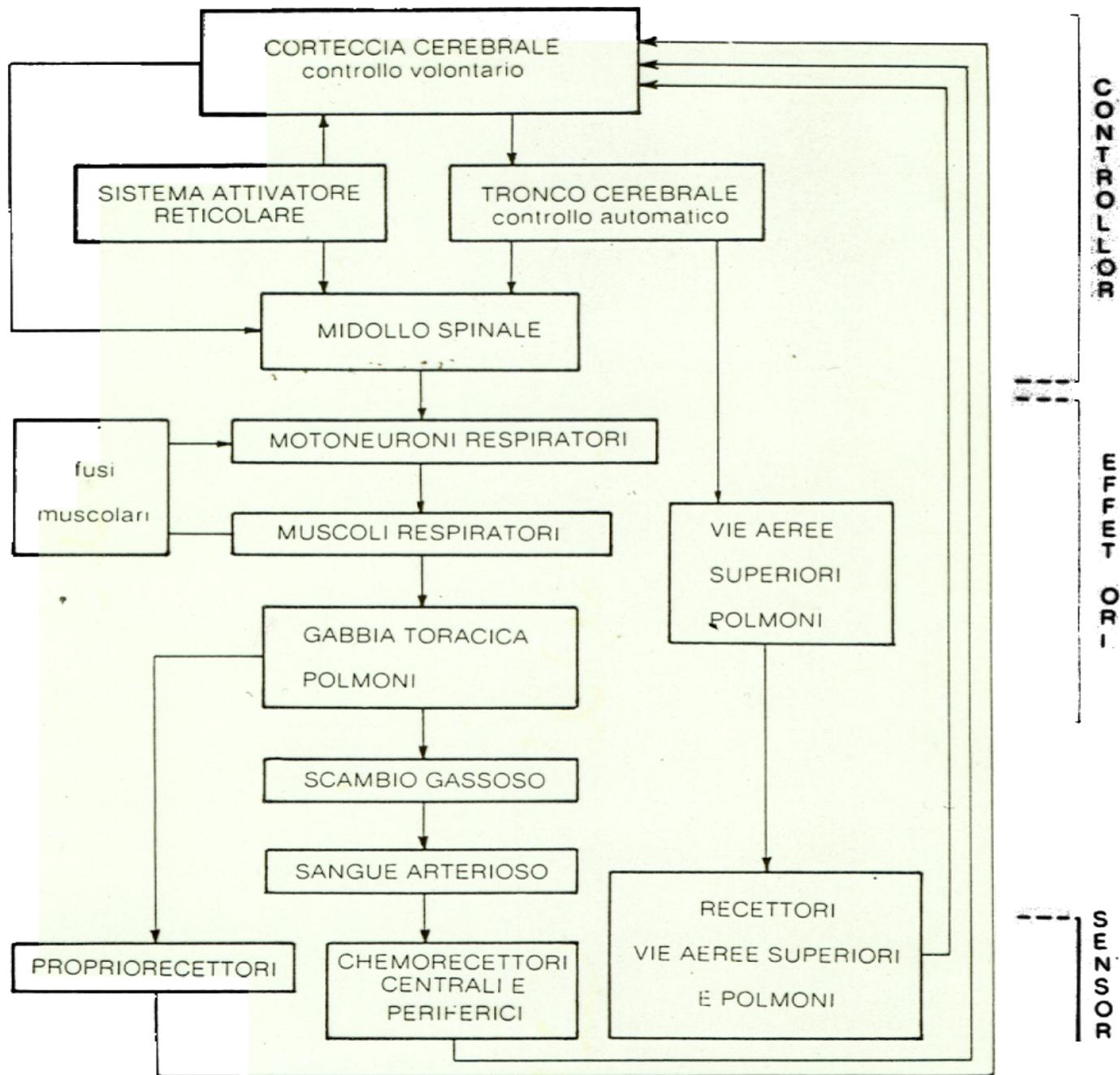
Lo spazio morto è quel volume (150ml) che non partecipa agli scambi gassosi e nel computo della ventilazione alveolare deve essere sottratto dal volume corrente.

Il volume dello spazio morto diluisce il gas alveolare pertanto il calcolo dello spazio morto si può ottenere dalla seguente equazione:

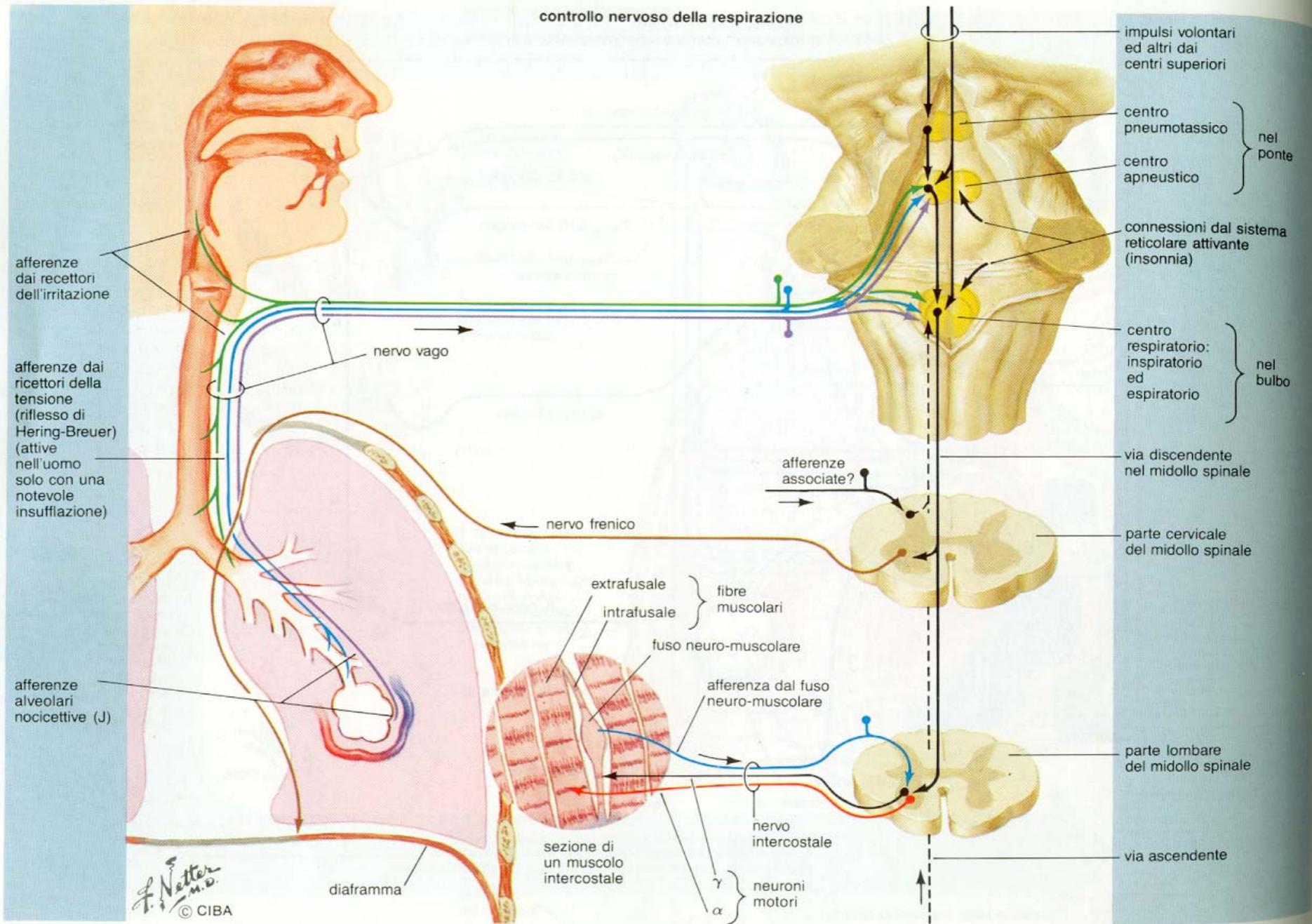
$$VD = (PACO_2 - PECO_2)VE / PACO_2$$

ovvero

$$VD = (PaCO_2 - PECO_2)VE / PaCO_2$$

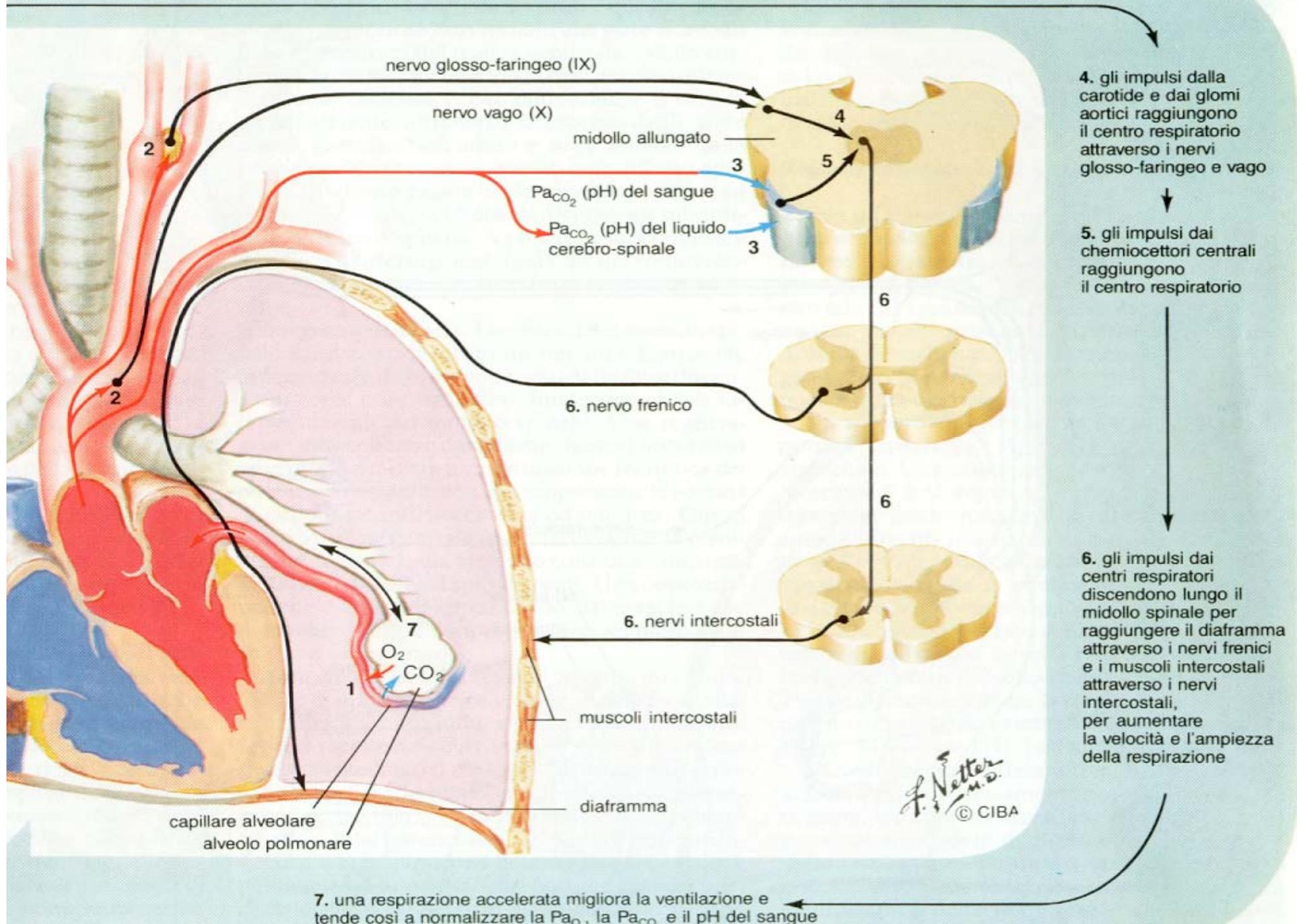


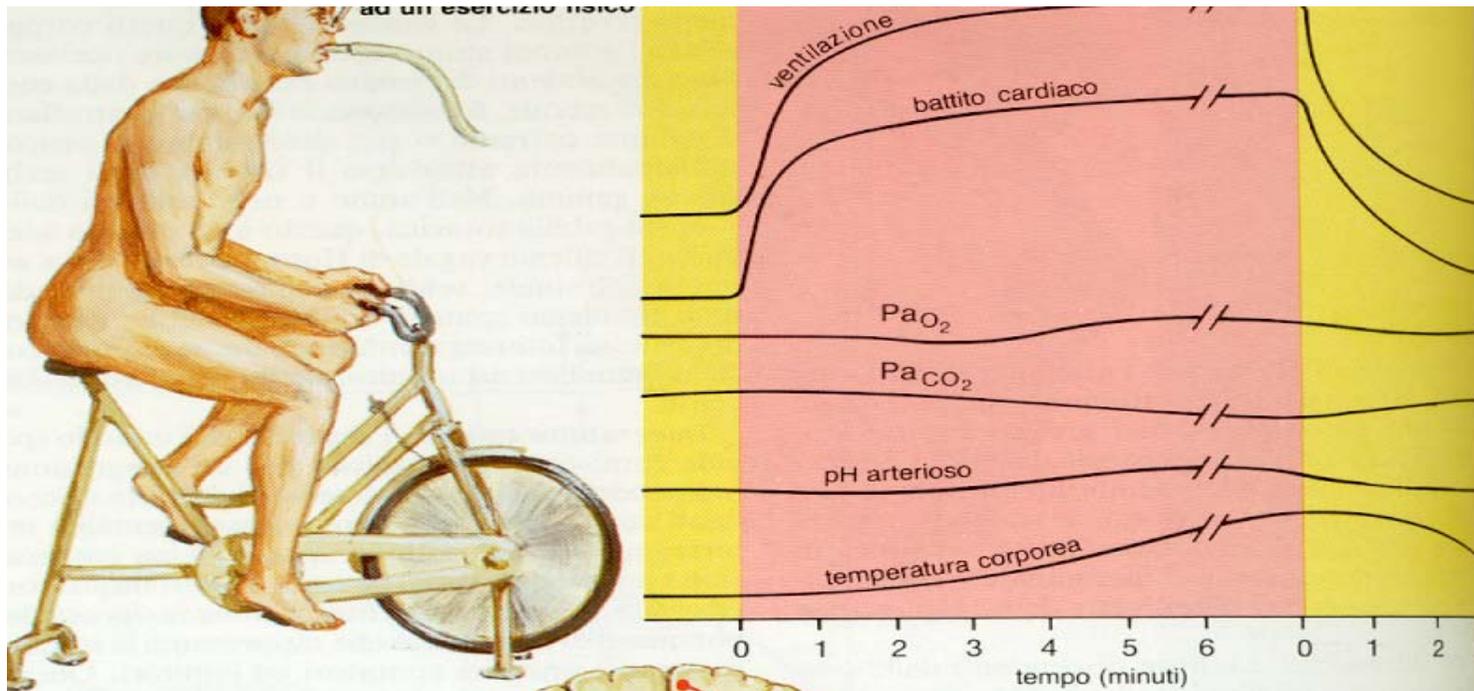
controllo nervoso della respirazione



F. Netter M.D. © CIBA

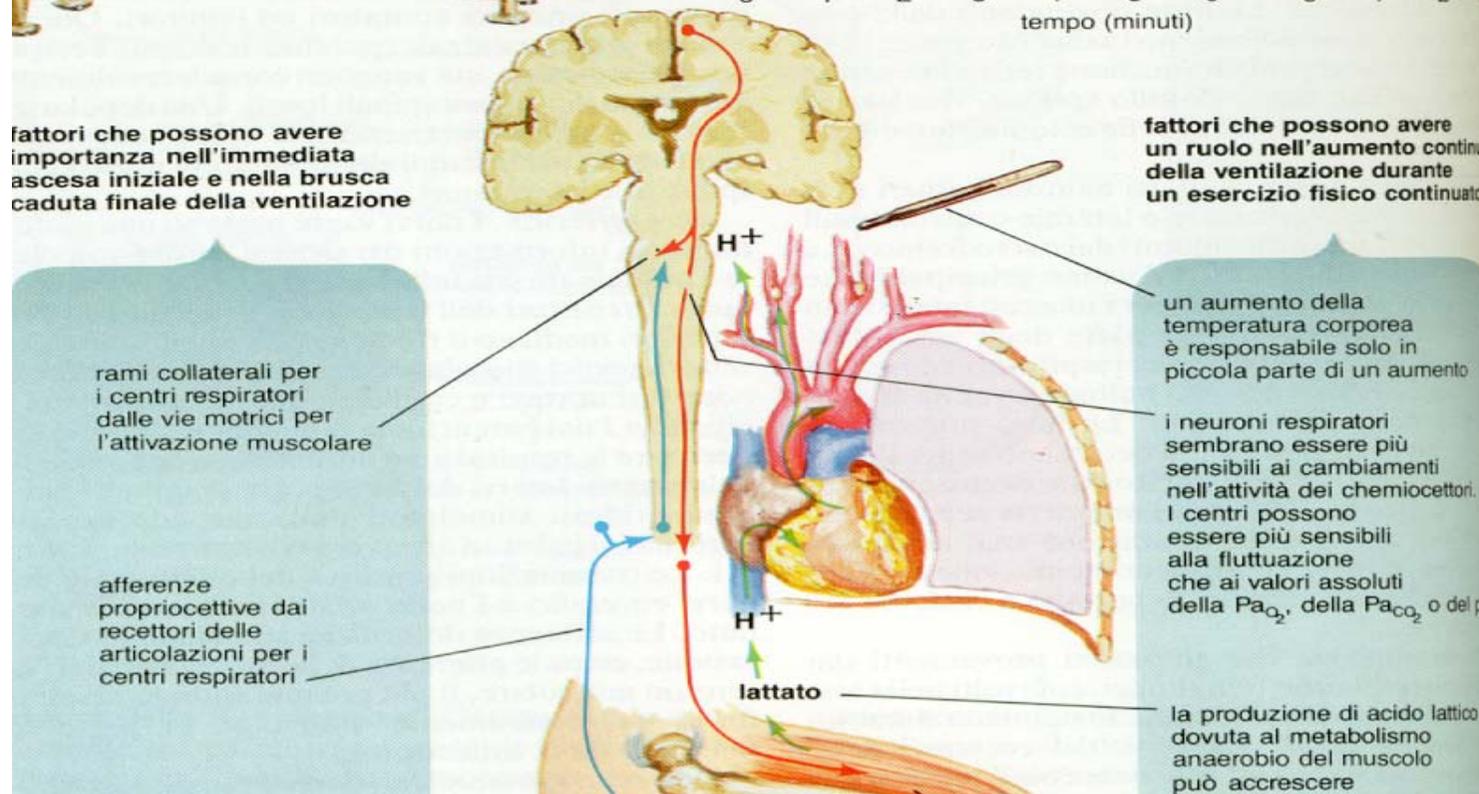
controllo chimico della respirazione (meccanismo di feedback)





fattori che possono avere importanza nell'immediata ascesa iniziale e nella brusca caduta finale della ventilazione

fattori che possono avere un ruolo nell'aumento continuo della ventilazione durante un esercizio fisico continuato



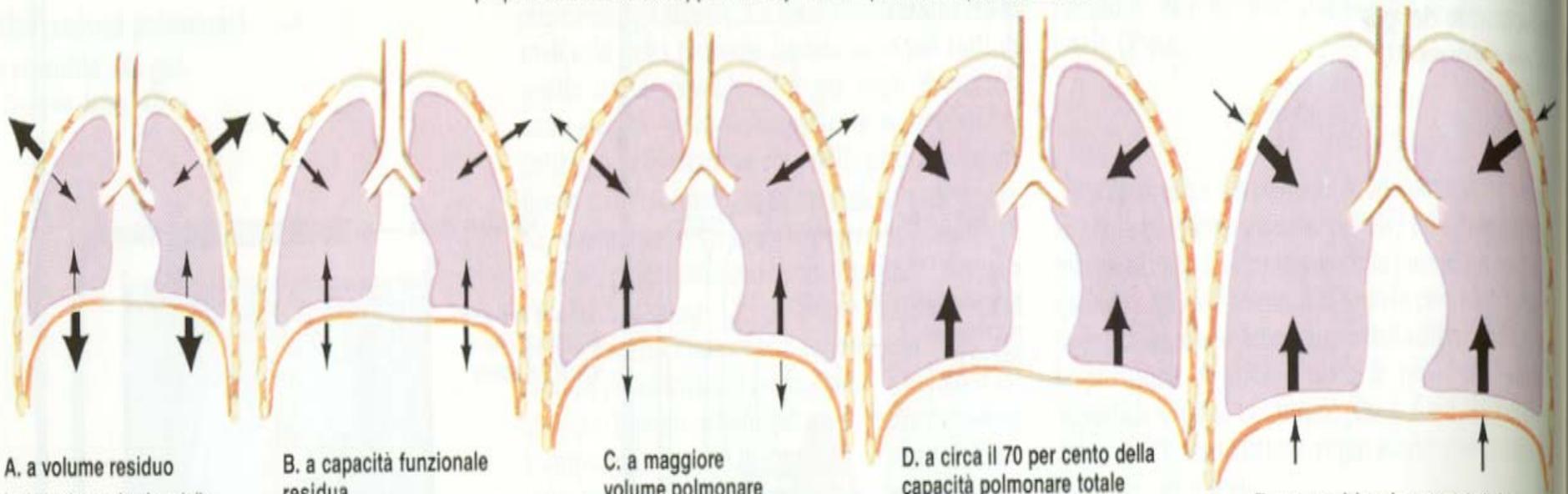
La Meccanica Respiratoria

I volumi e le capacità polmonari

Volumi polmonari mobilizzabili : volume corrente, volumi di riserva, capacità inspiratoria e vitale

Volumi polmonari non mobilizzabili (statici):
Volume residuo, capacità funzionale residua,
capacità polmonare totale

proprietà elastiche dell'apparato respiratorio: polmone e parete toracica



A. a volume residuo
la retrazione elastica della parete toracica diretta verso l'esterno è elevata. La retrazione dei polmoni diretta all'interno è molto piccola

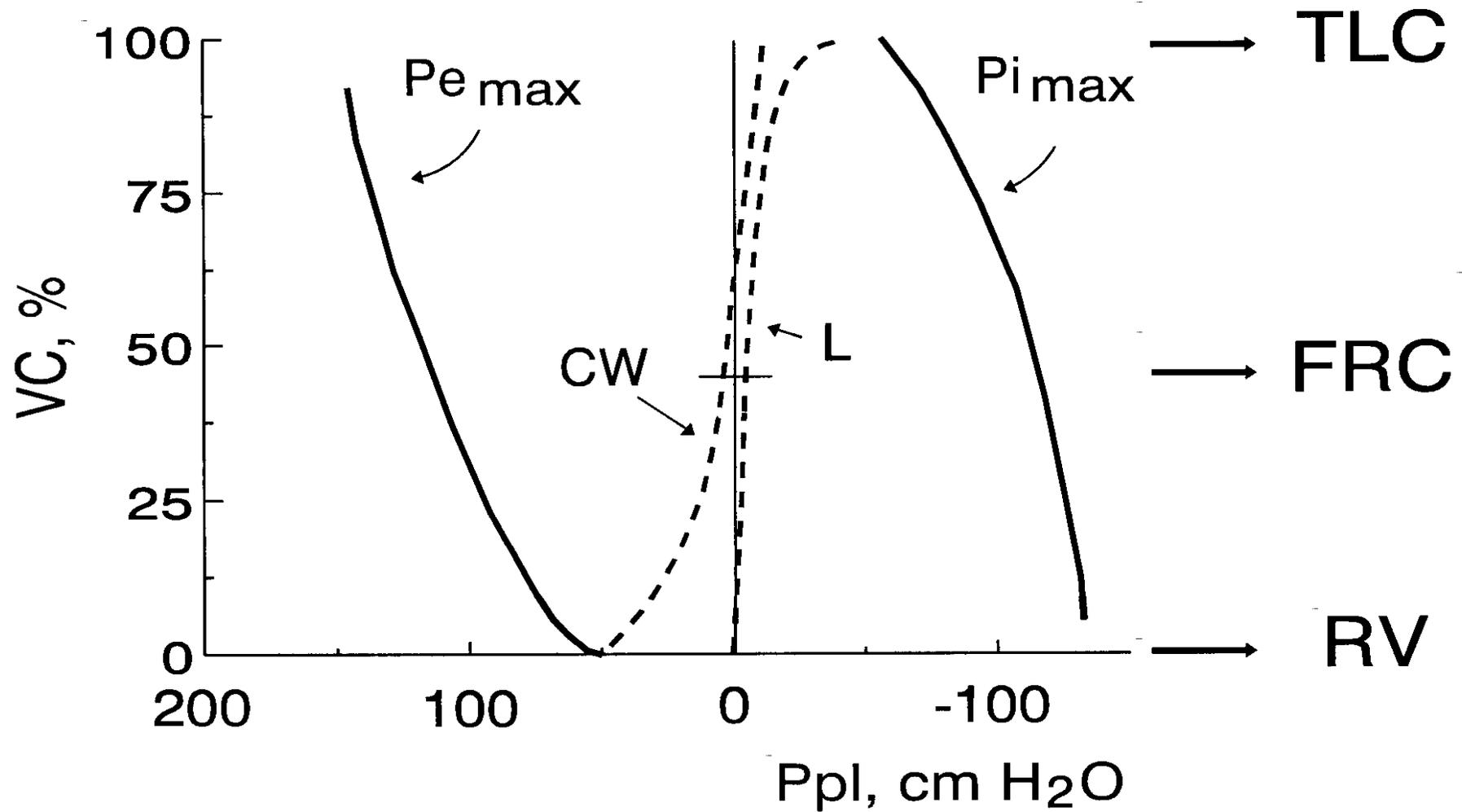
B. a capacità funzionale residua
le retrazioni elastiche dei polmoni e della parete toracica sono uguali ma opposte

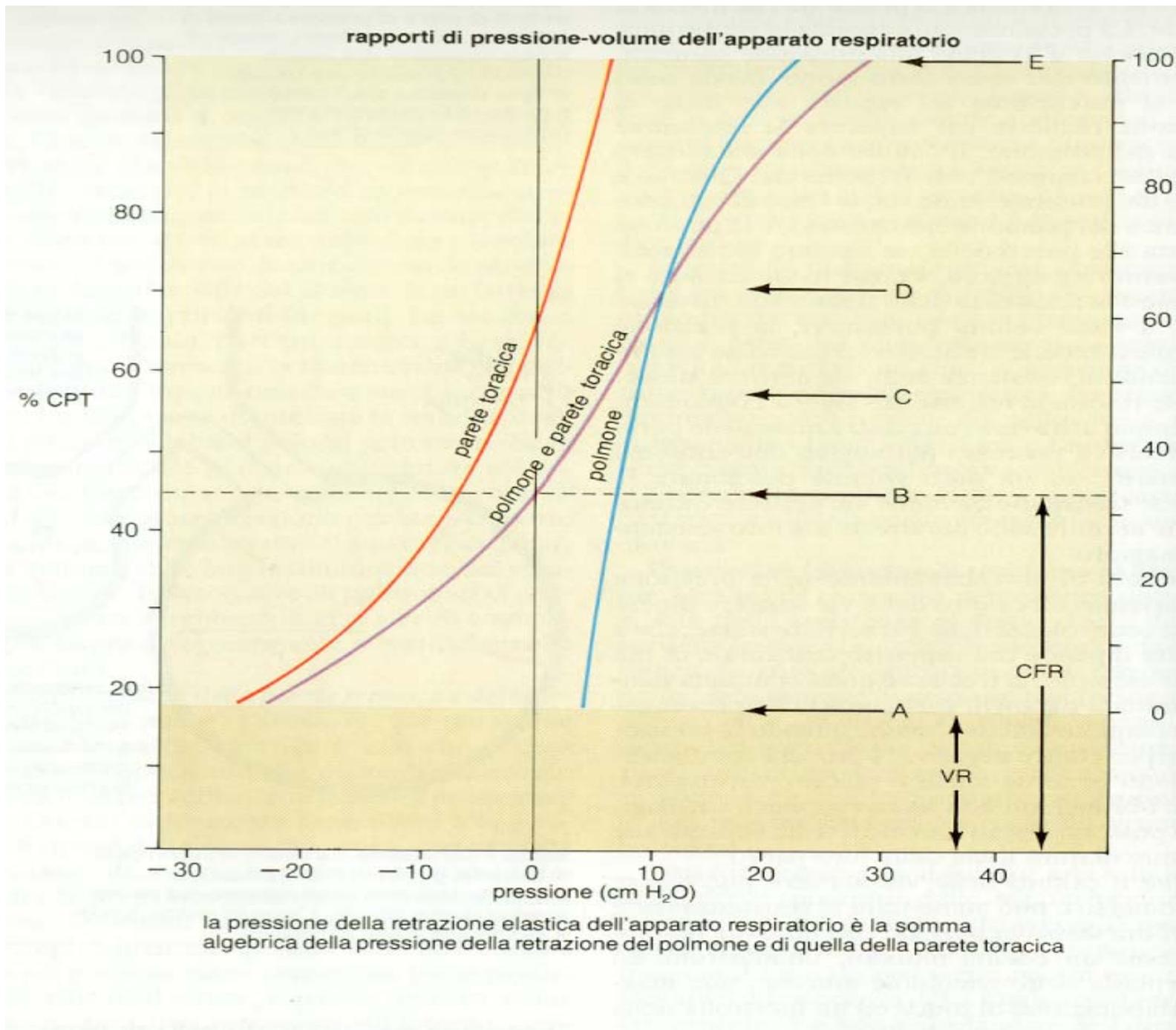
C. a maggiore volume polmonare
la retrazione elastica della parete toracica diventa minore ed aumenta la retrazione dei polmoni

D. a circa il 70 per cento della capacità polmonare totale
posizione di equilibrio della parete toracica (la retrazione è uguale a zero)

E. a capacità polmonare totale
retrazione elastica sia dei polmoni che della parete toracica diretta verso l'interno, che favorisce la diminuzione del volume polmonare

Determinanti statici dei Volumi Polmonari

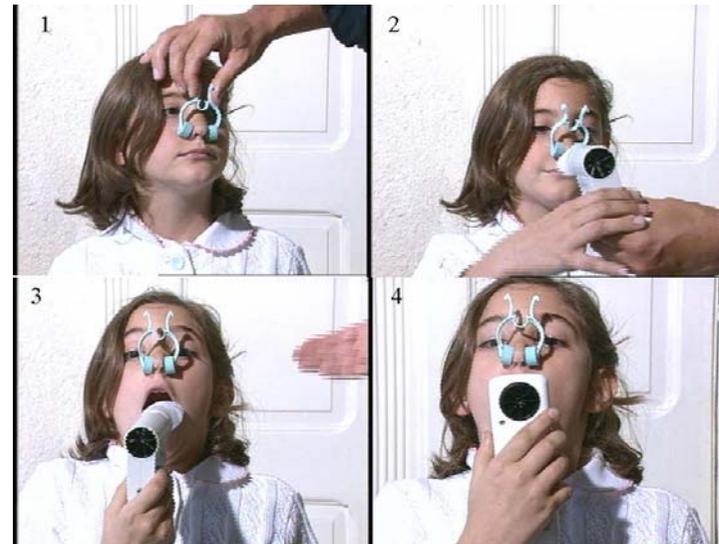
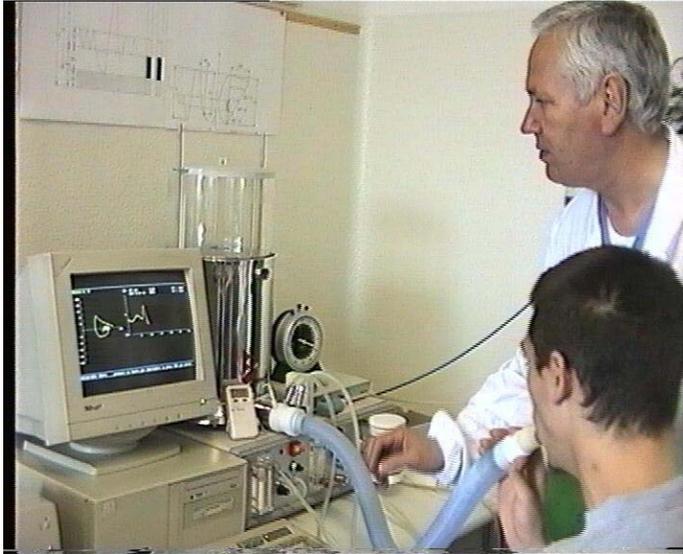


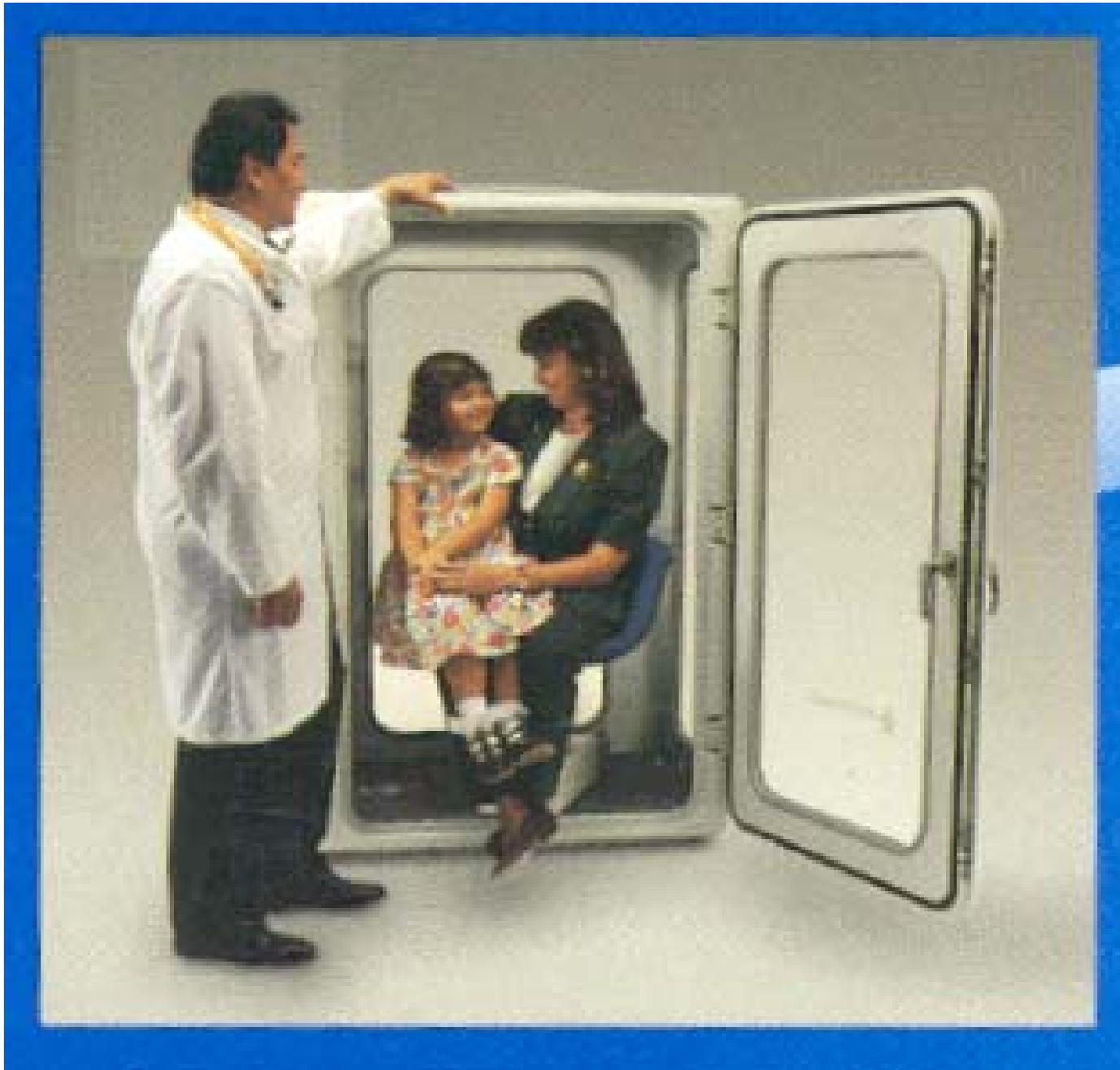


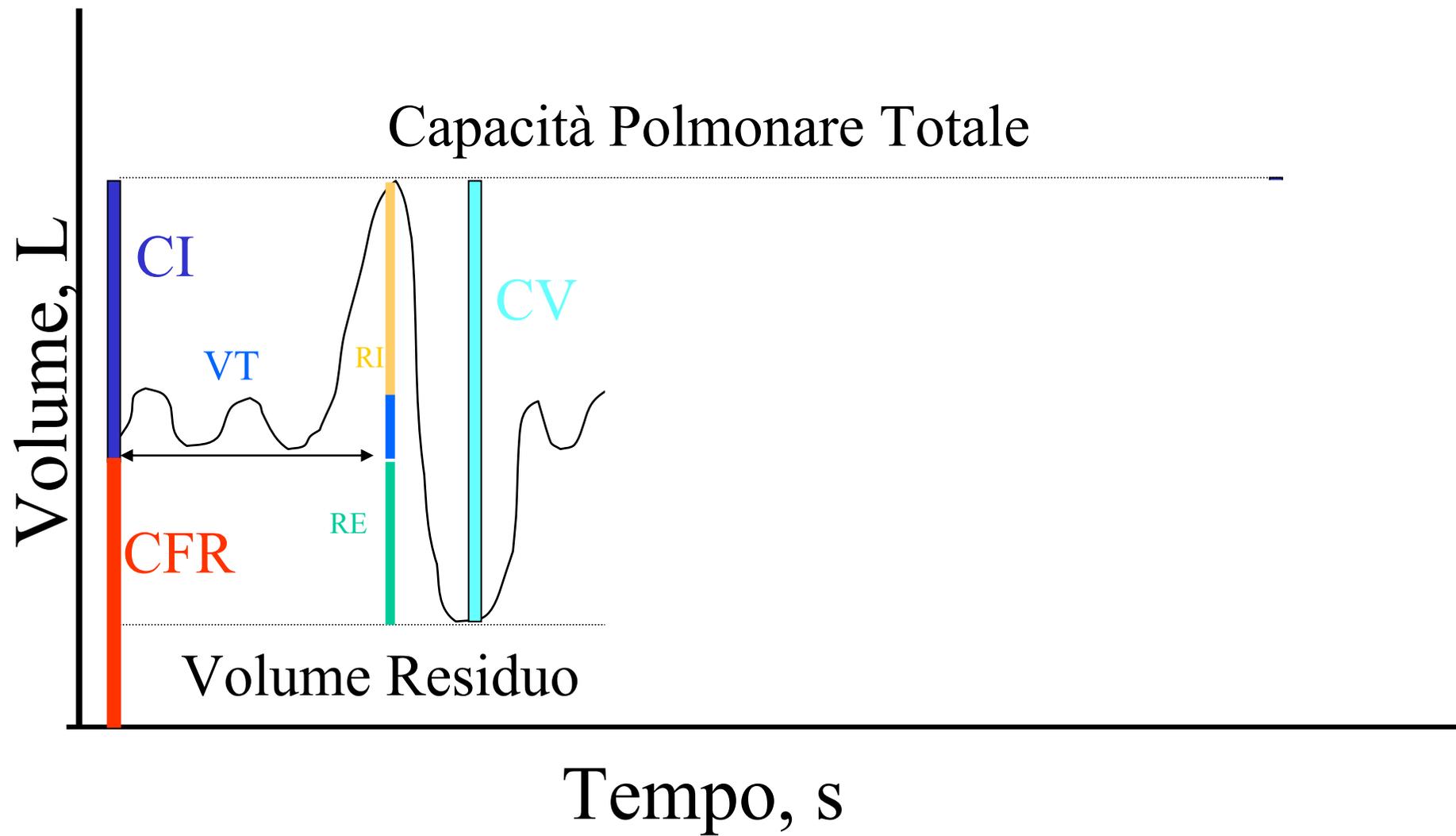
La Spirometria

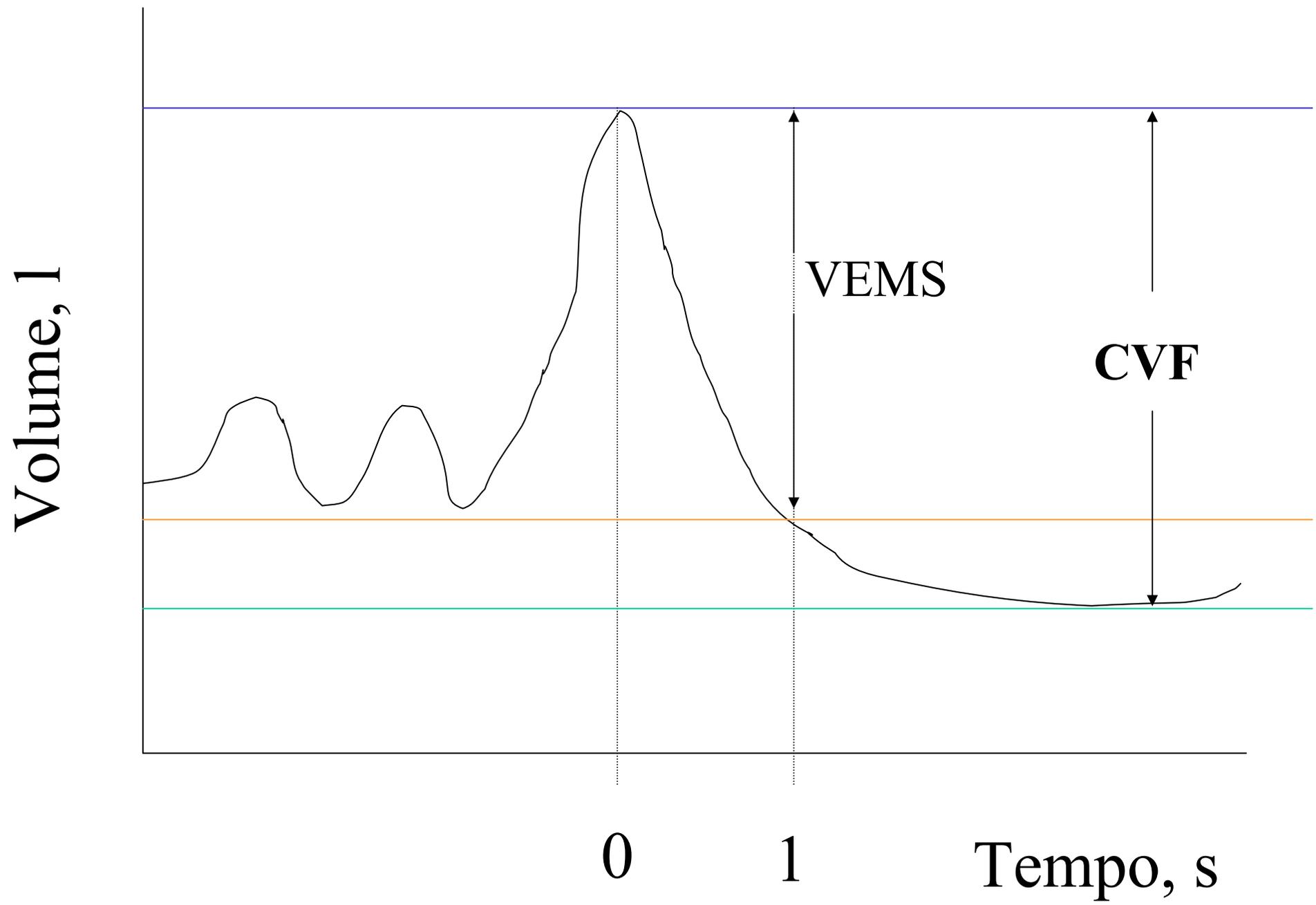
- **Spirometria semplice:** metodologia per la misura quantitativa della ventilazione: quanta aria si riesce a mobilizzare durante l'inspirazione e l'espiazione
- **Spirometria completa:** metodologia per la misura dei volumi mobilizzabili e non mobilizzabili

PROVE DI FUNZIONALITA' RESPIRATORIA

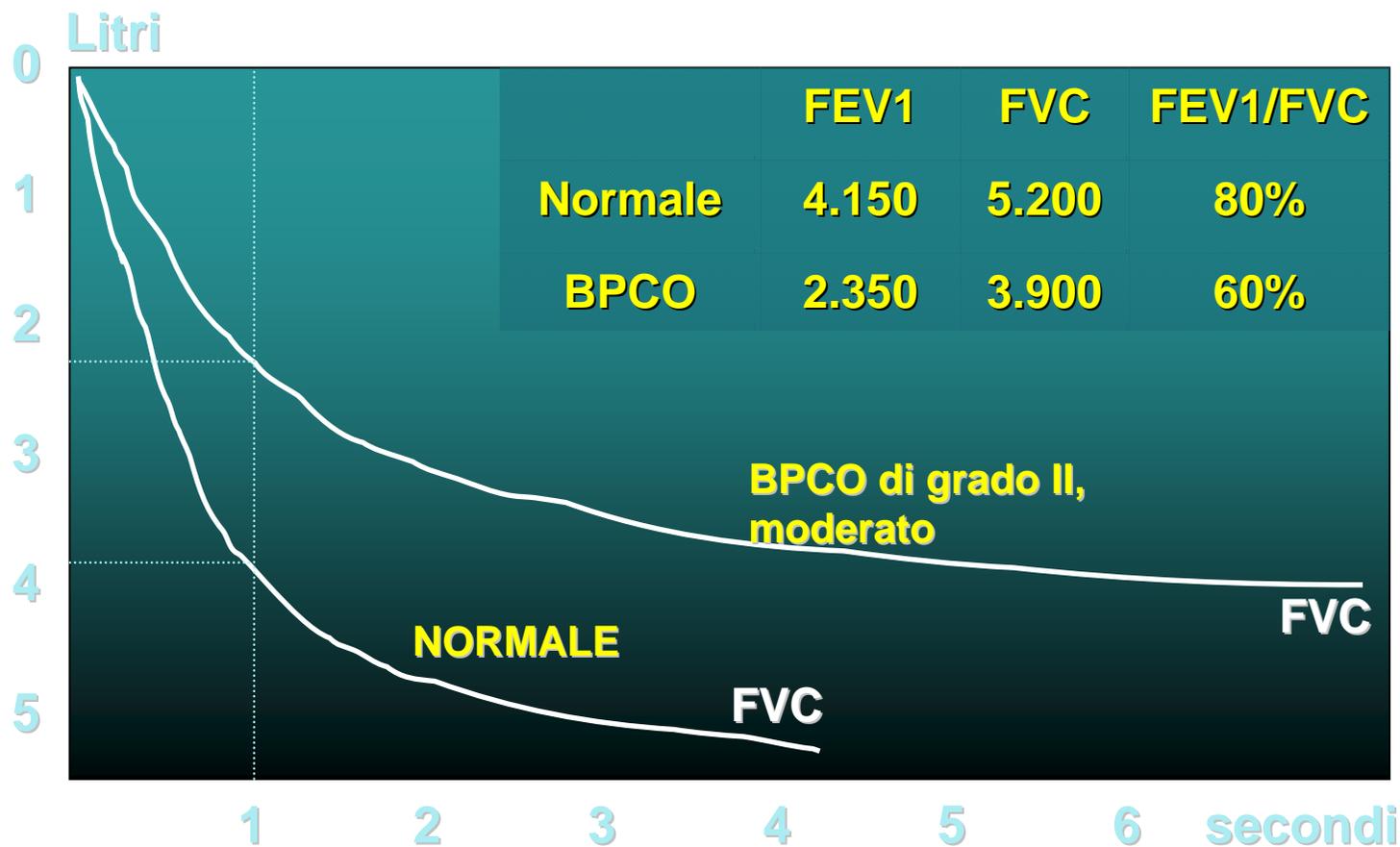


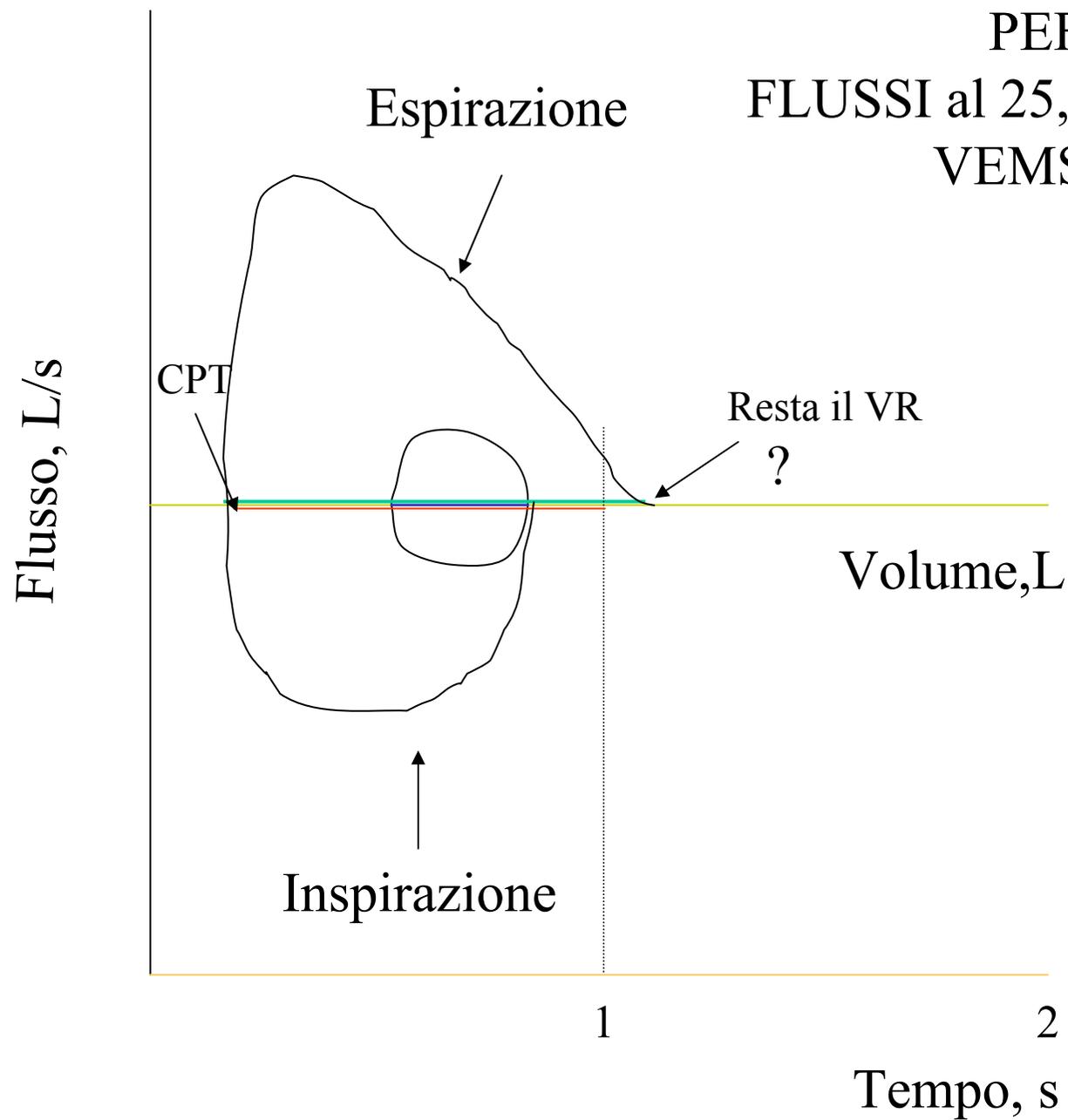






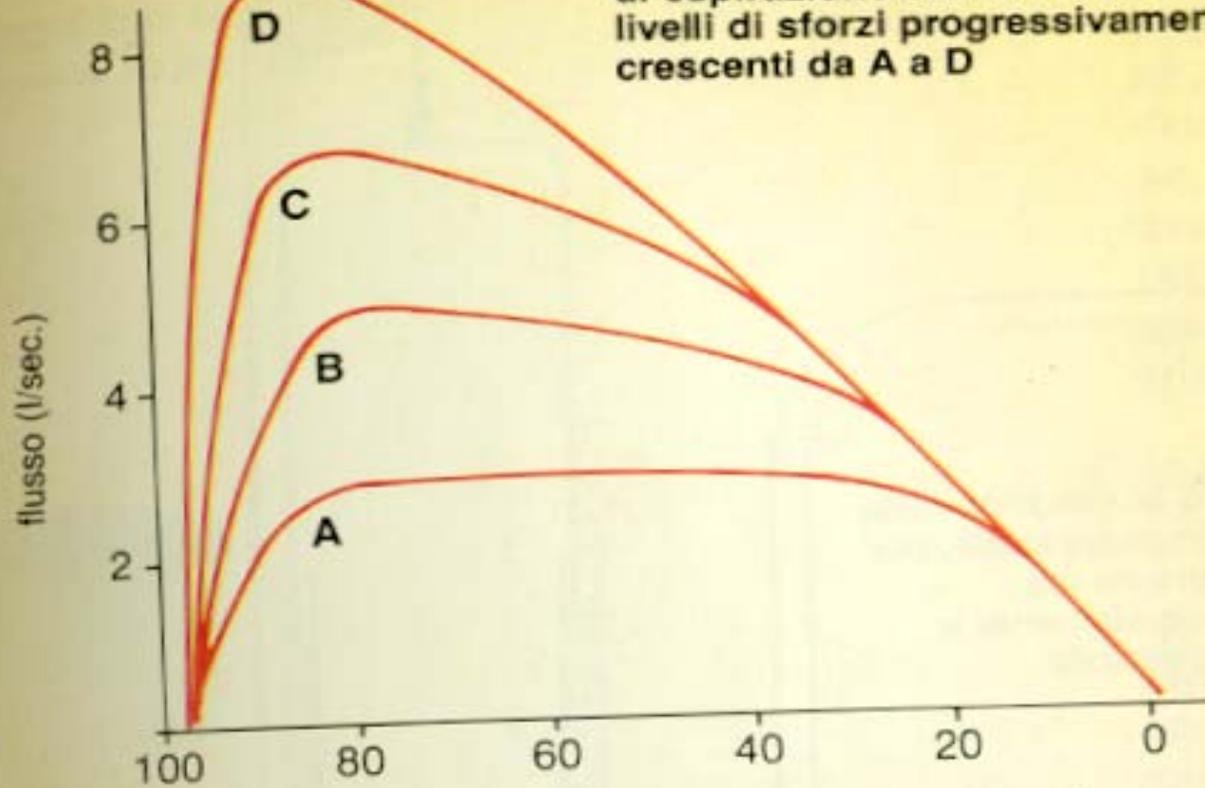
SPIROMETRIA: NORMALE E BPCO





PEF, PIF
FLUSSI al 25,50,75 % di CVF
VEMS e CVF

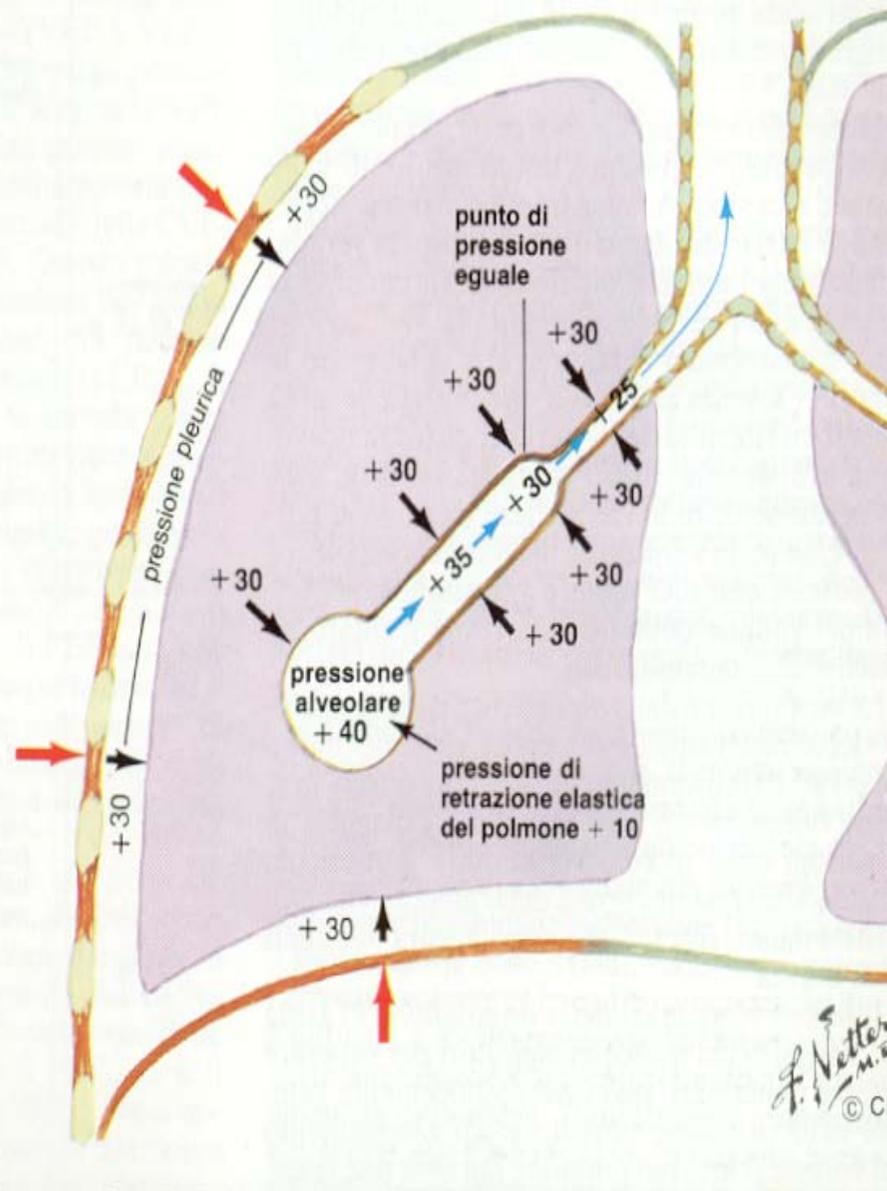
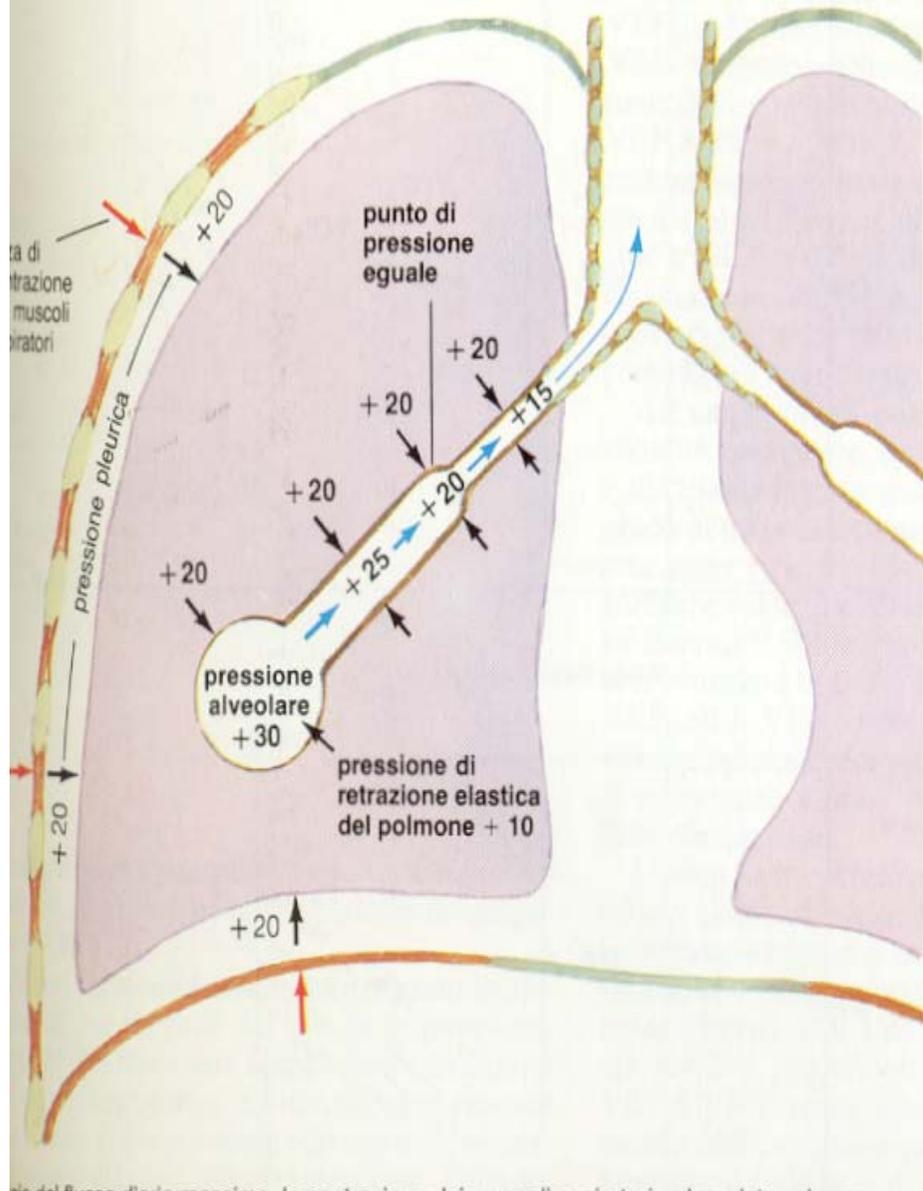
curve di flusso-volume
di espirazione ottenute con
livelli di sforzi progressivamente
crescenti da A a D



ad alti volumi polmonari, la portata del flusso d'aria durante l'espirazione
aumenta progressivamente con la crescita dello sforzo. A volumi polmonari
bassi ed intermedi, il flusso d'aria raggiunge livelli massimi dopo solo uno
sforzo modesto e poi non aumenta più nonostante uno sforzo crescente

cause determi

cause determinanti un flusso espiratorio massimo



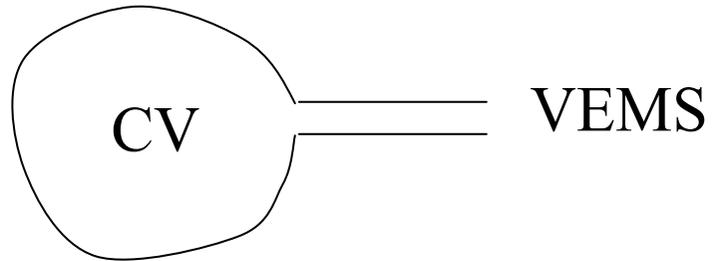
Le anomalie spirometriche

Anomalia ostruttiva

Anomalia restrittiva

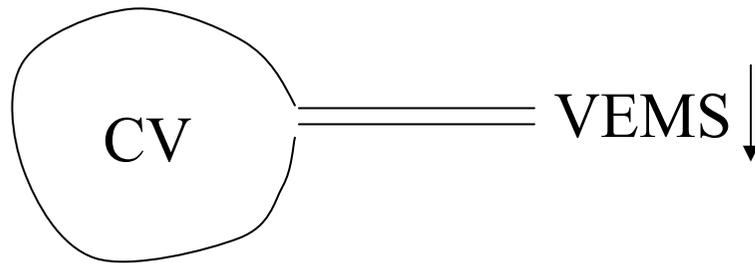
Anomalia mista

Condizione normale



$$\text{VEMS}/\text{CV} = 80\%$$

Ostruzione bronchiale

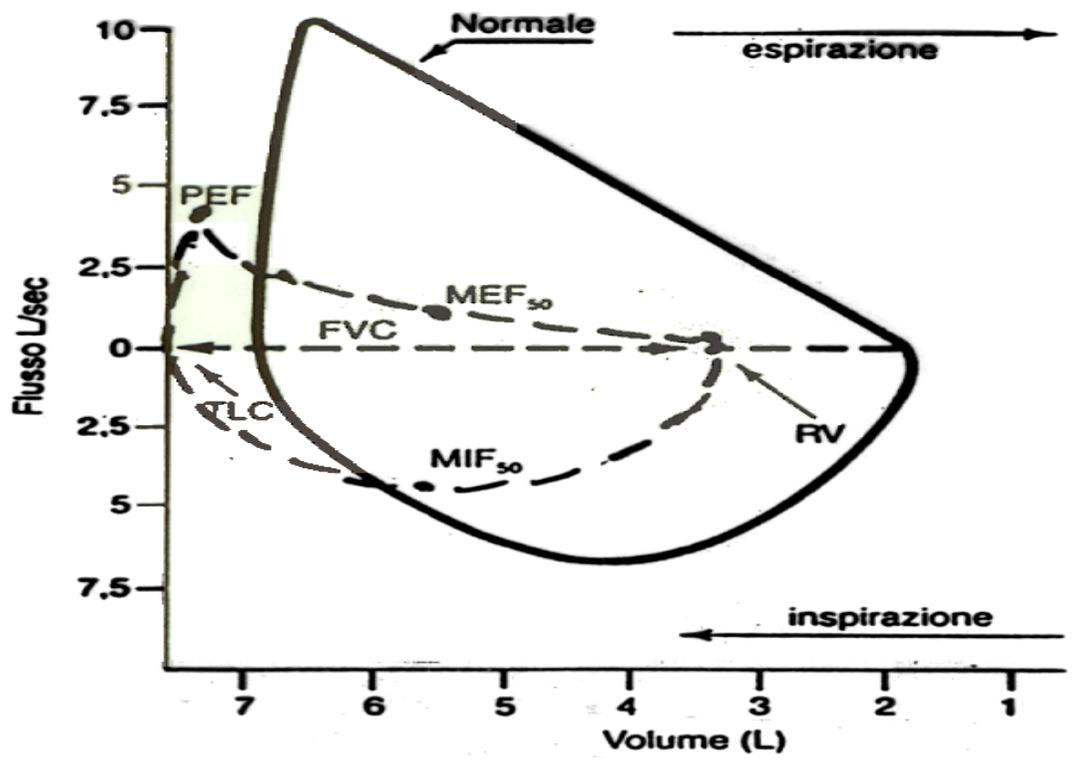
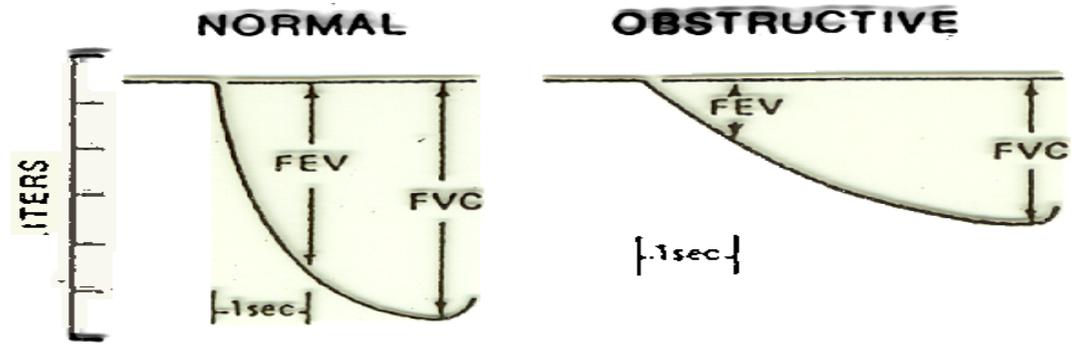


$$\text{VEMS}/\text{CV} \downarrow 80\%$$

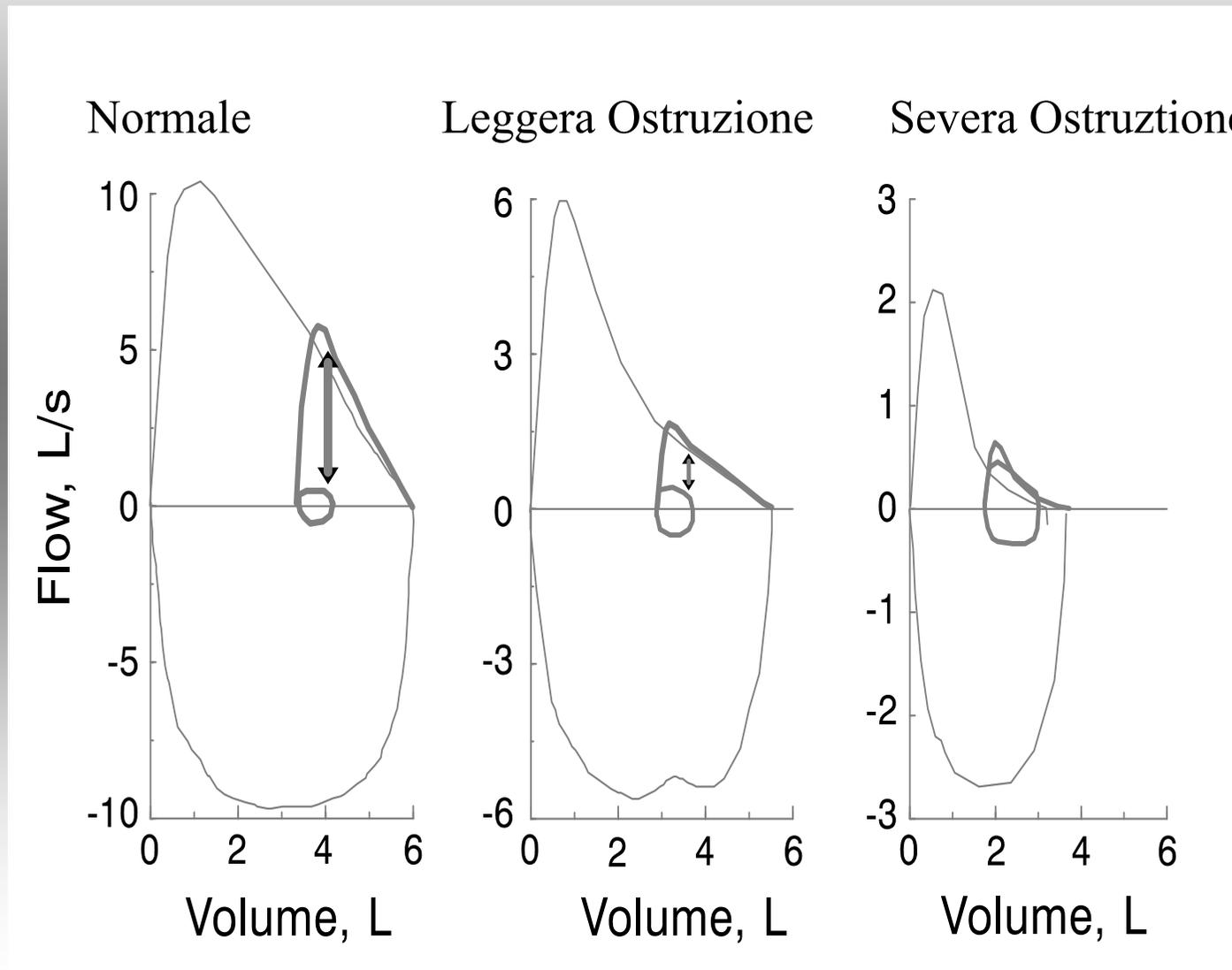
Indice di Tiffeneau

- Rapporto fra VEMS e CV %
- Normalmente: 80%

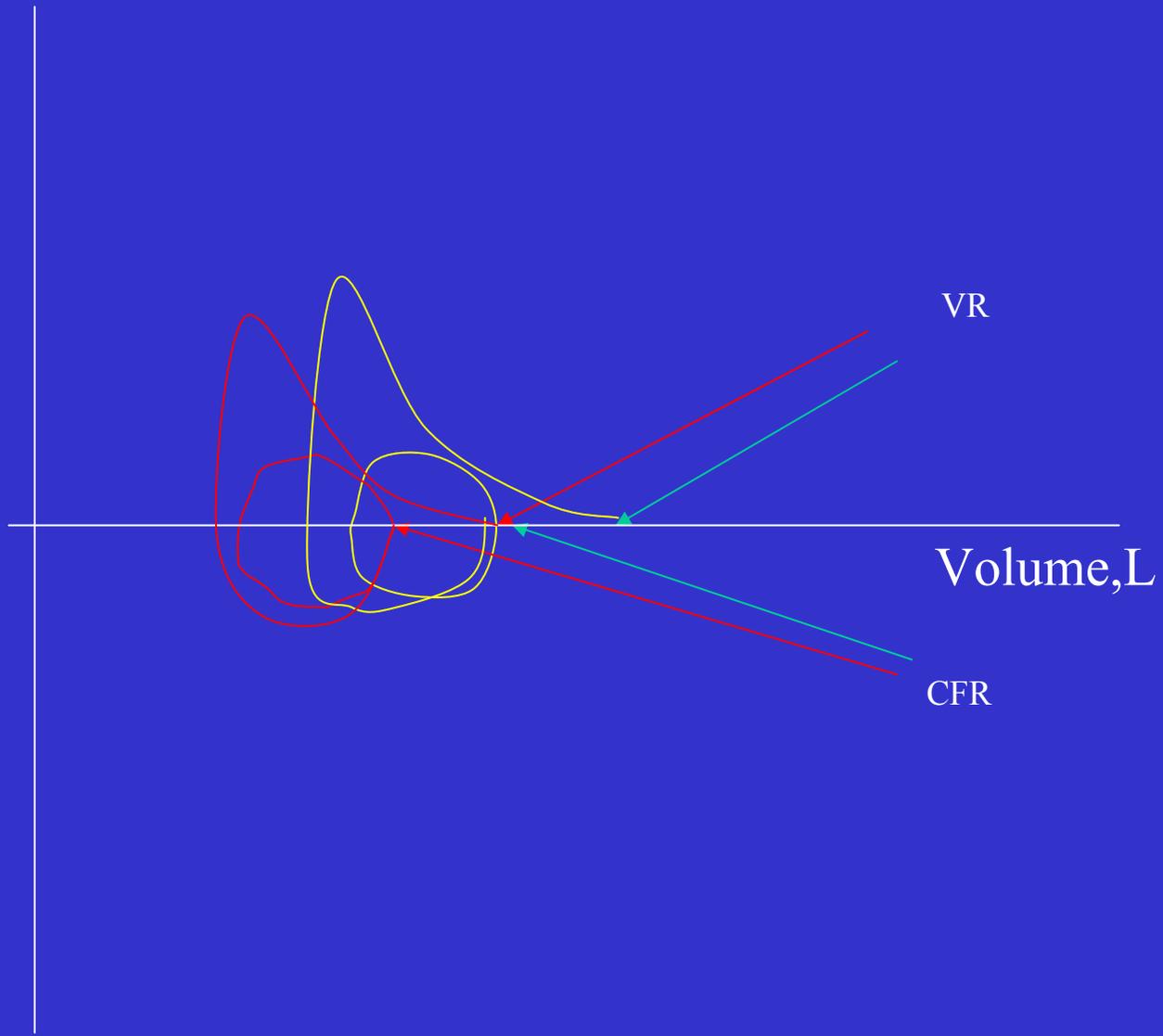
Anomalia ventilatoria ostruttiva ?
VEMS/CV sotto il range di normalità
(<88% del predetto)



Il Concetto della Riserva del Flusso Espiratorio



Flusso, L/s



VR

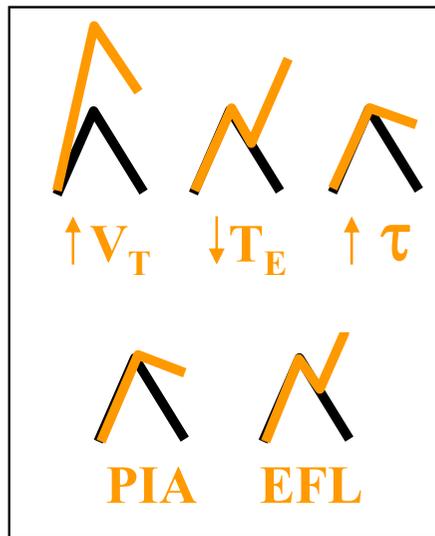
Volume, L

CFR

Meccanismi dell'iperdistensione

Dinamica

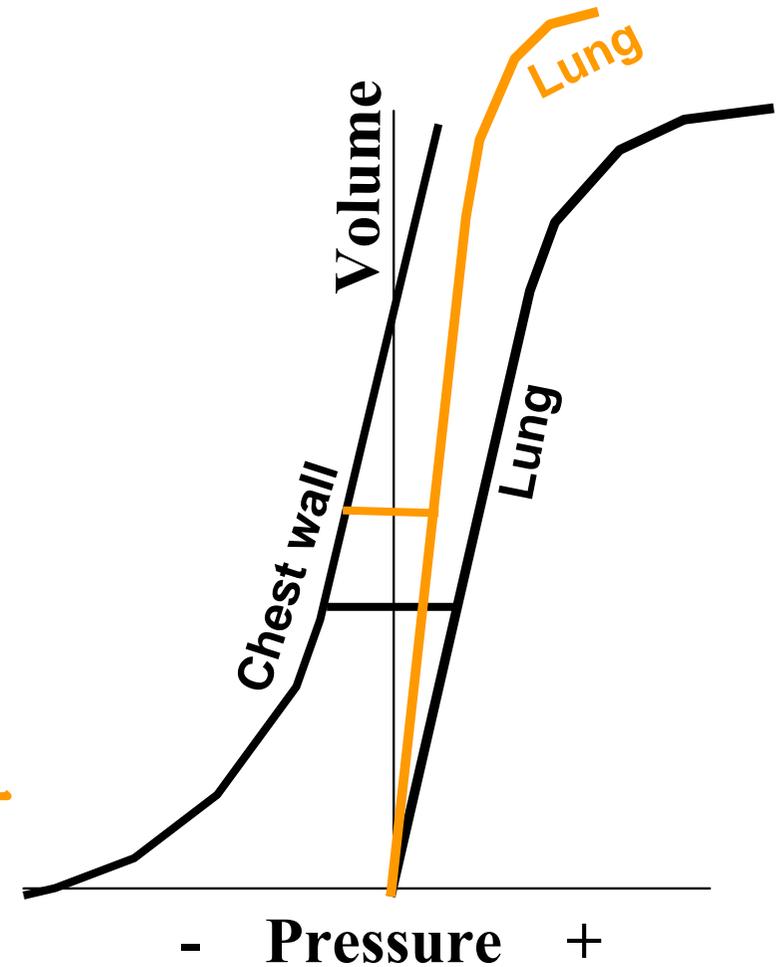
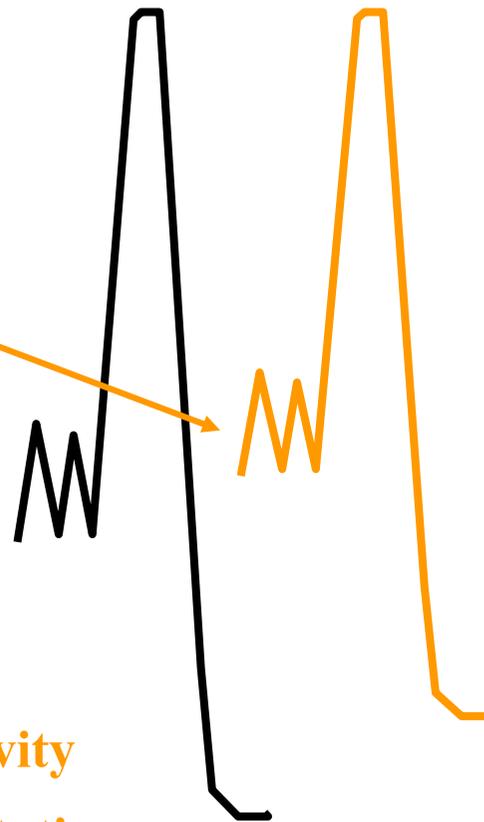
Statica



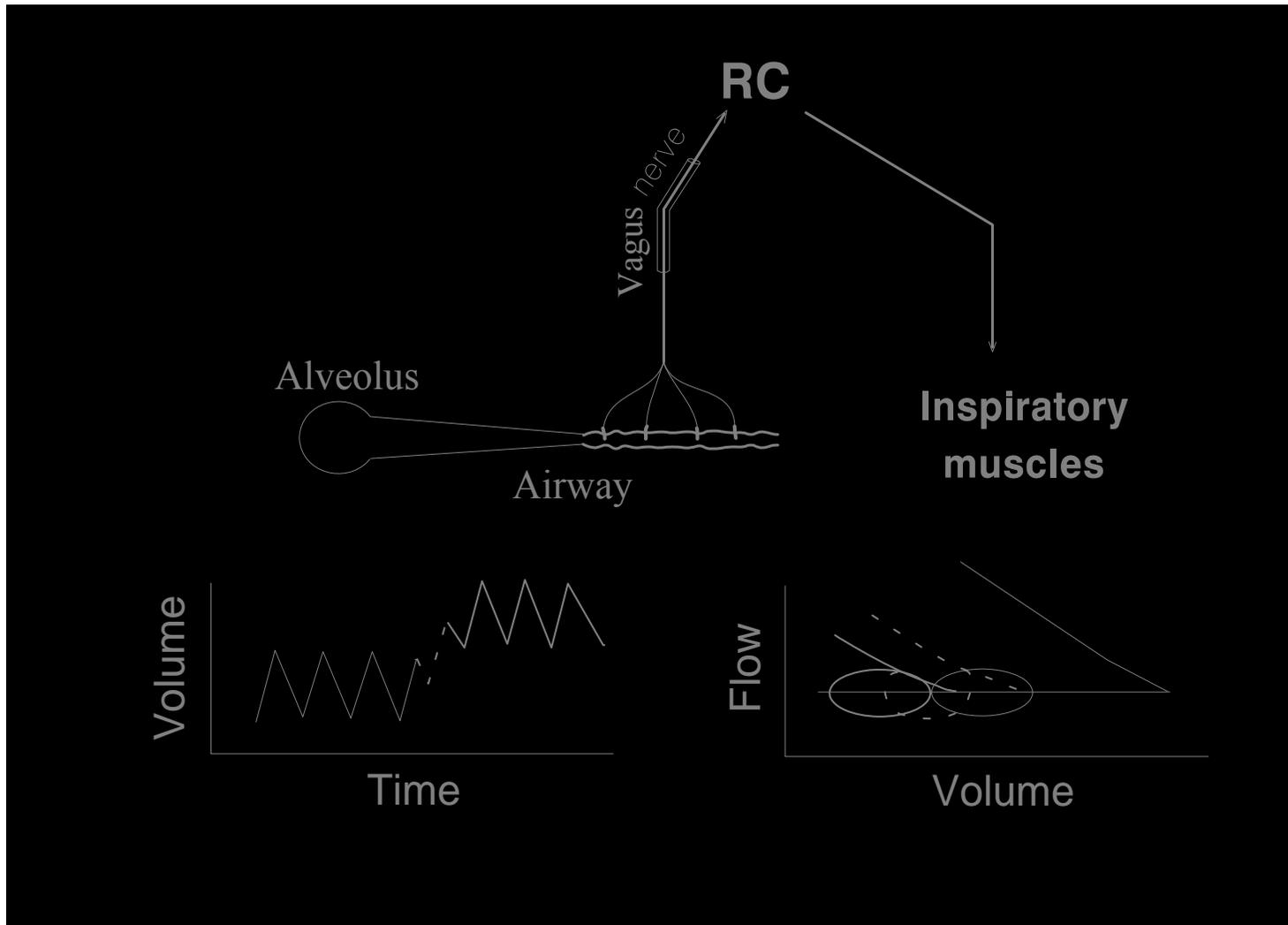
τ =time constant

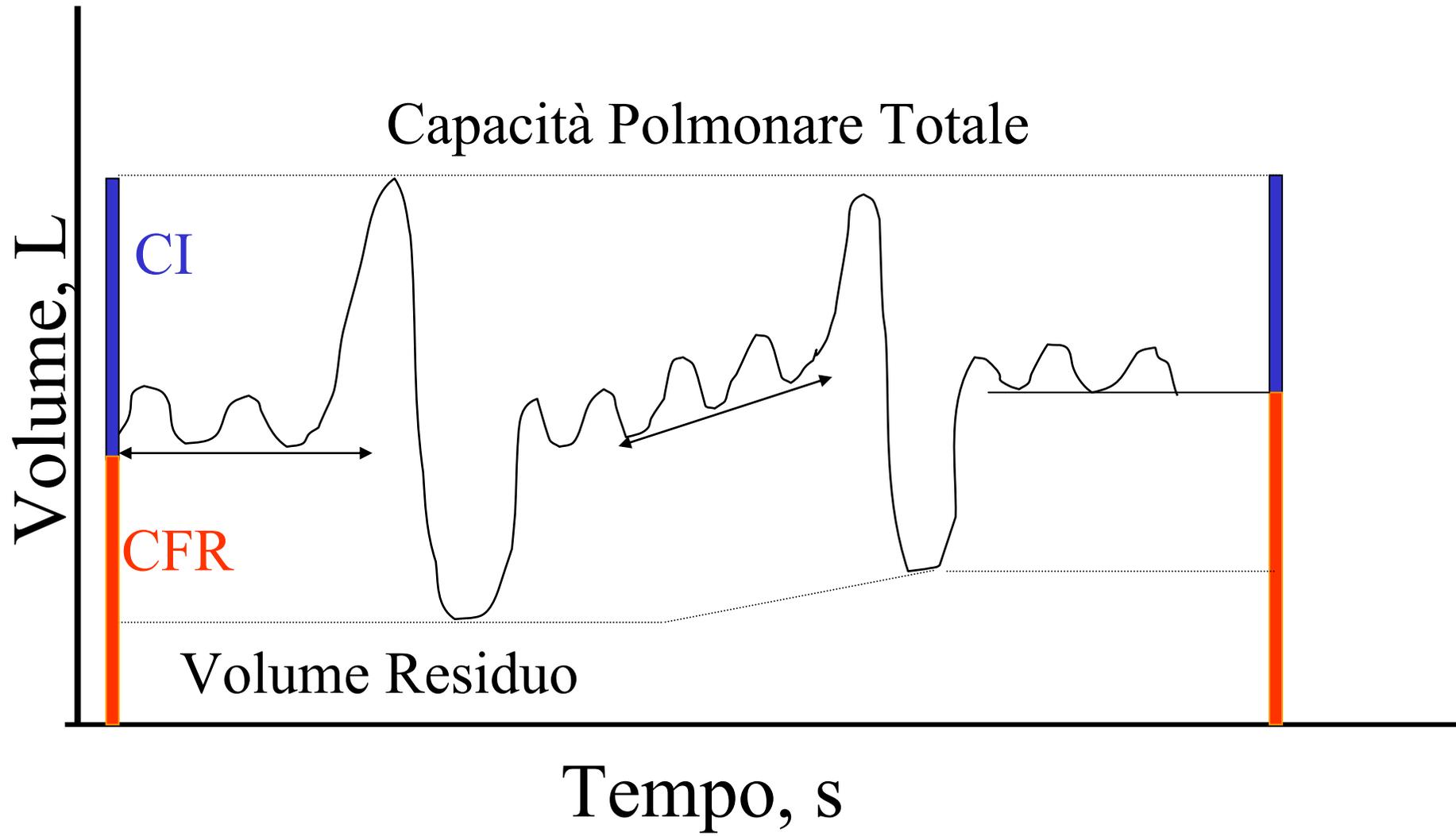
PIA=post-inspiratory activity

EFL=expiratory flow limitation

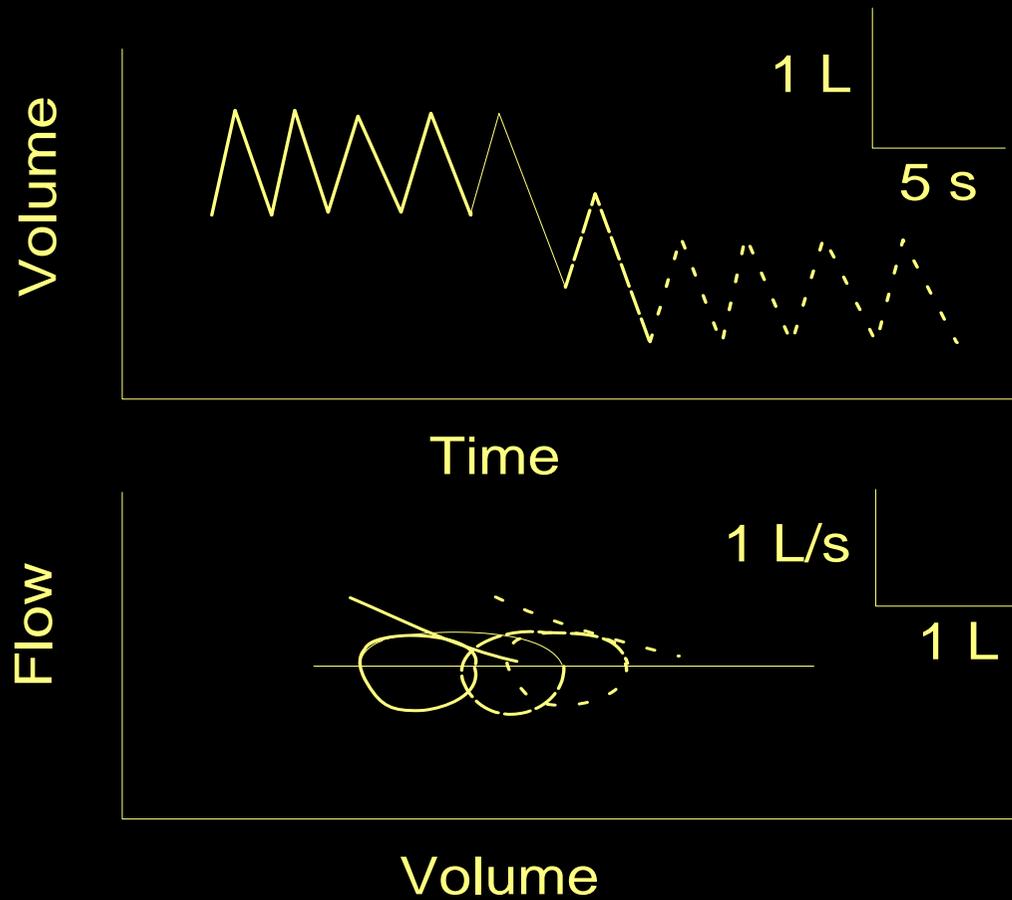


Meccanismi dell' iperdistensione dinamica



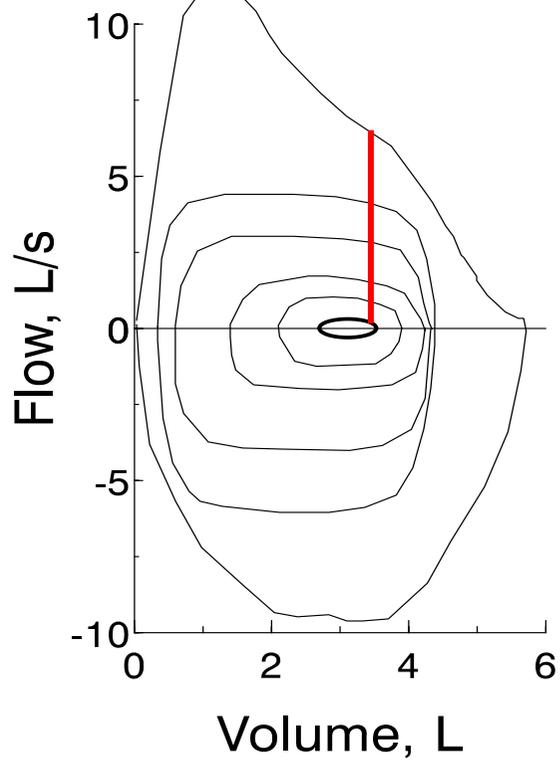


Meccanismi di reversibilita' dell'iperdistensione

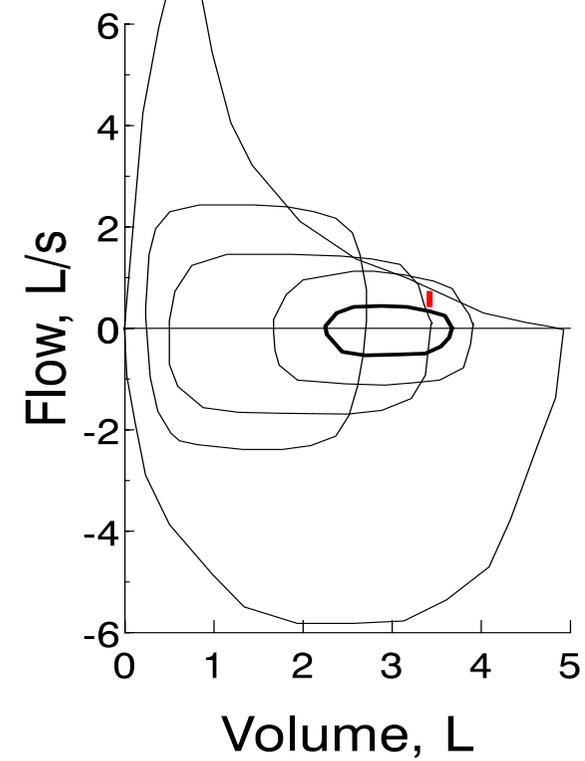


Limitazione ventilatoria all'esercizio

Normale



Ostruito

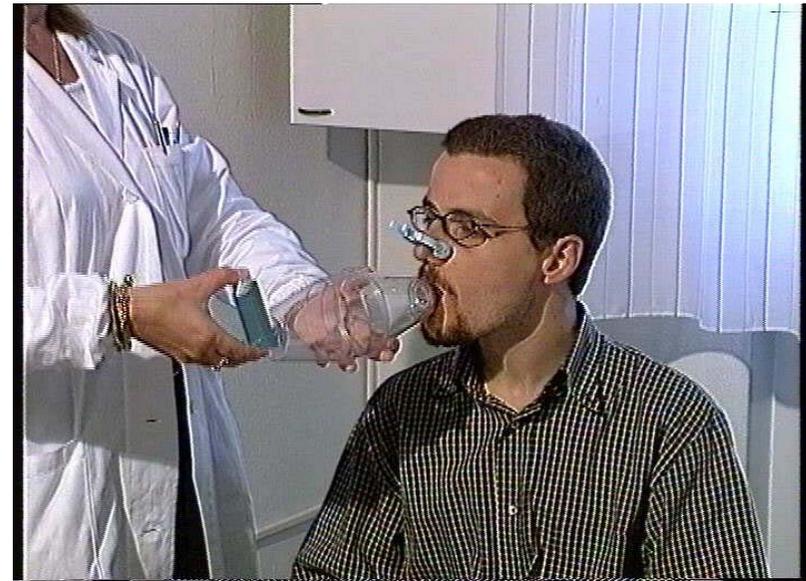
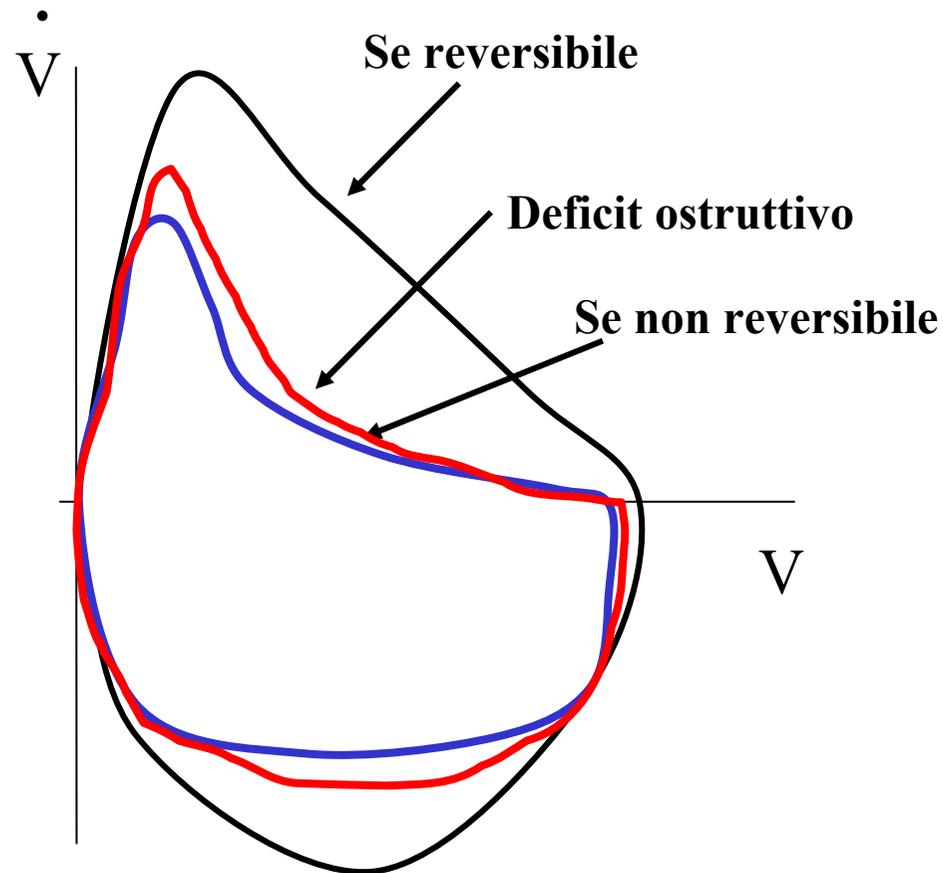


Ostruzione reversibile ?

aumento del VEMS $>12\%$ del basale
con $>200\text{ml}$ in valore assoluto

Separa Asma da BPCO-Enfisema

Curve flusso-volume espiratorie in pazienti con ostruzione bronchiale completamente reversibile o non reversibile dopo 15' dalla somministrazione di salbutamolo spray



Gravità dell'ostruzione, ATS 91

Lieve :	VEMS	100%	>70%
Moderata:	VEMS	<70%	>60%
Moderatamente grave:	VEMS	<60%	>50%
Grave:	VEMS	<50%	>34%
Molto grave:	VEMS	<34%	

Anomalia ventilatoria restrittiva ?

Tutti i volumi mobilizzabili e non mobilizzabili sono sotto il range di normalità: l'indice di Tiffeneau è nella norma ($VEMS/CV=80\%$). E' indispensabile misurare la CPT

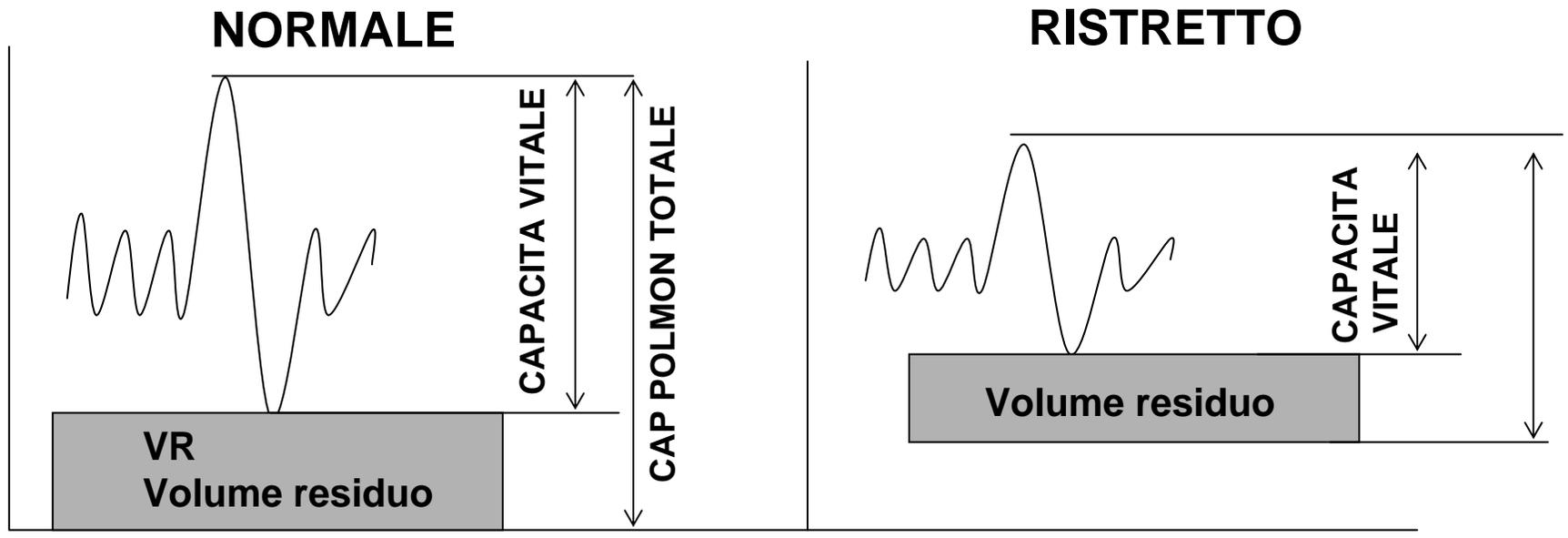
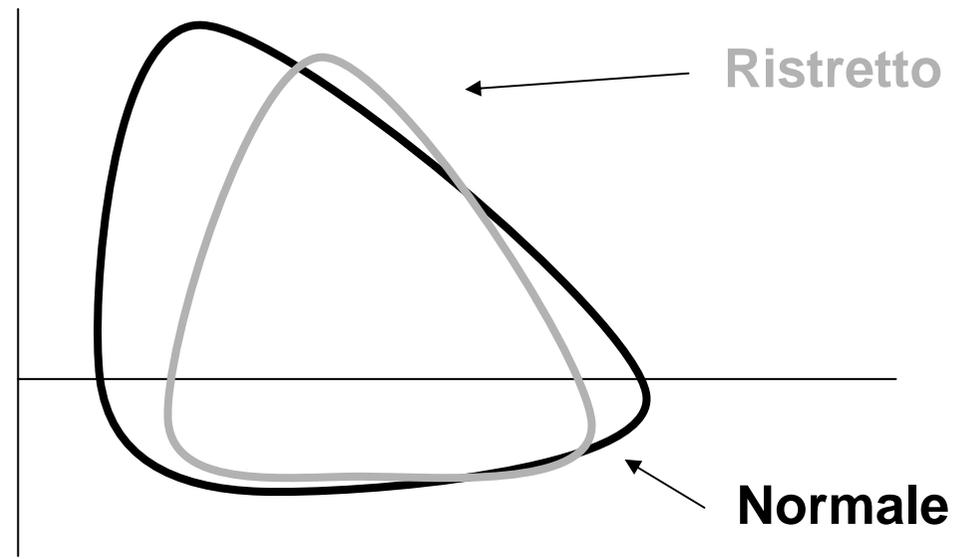
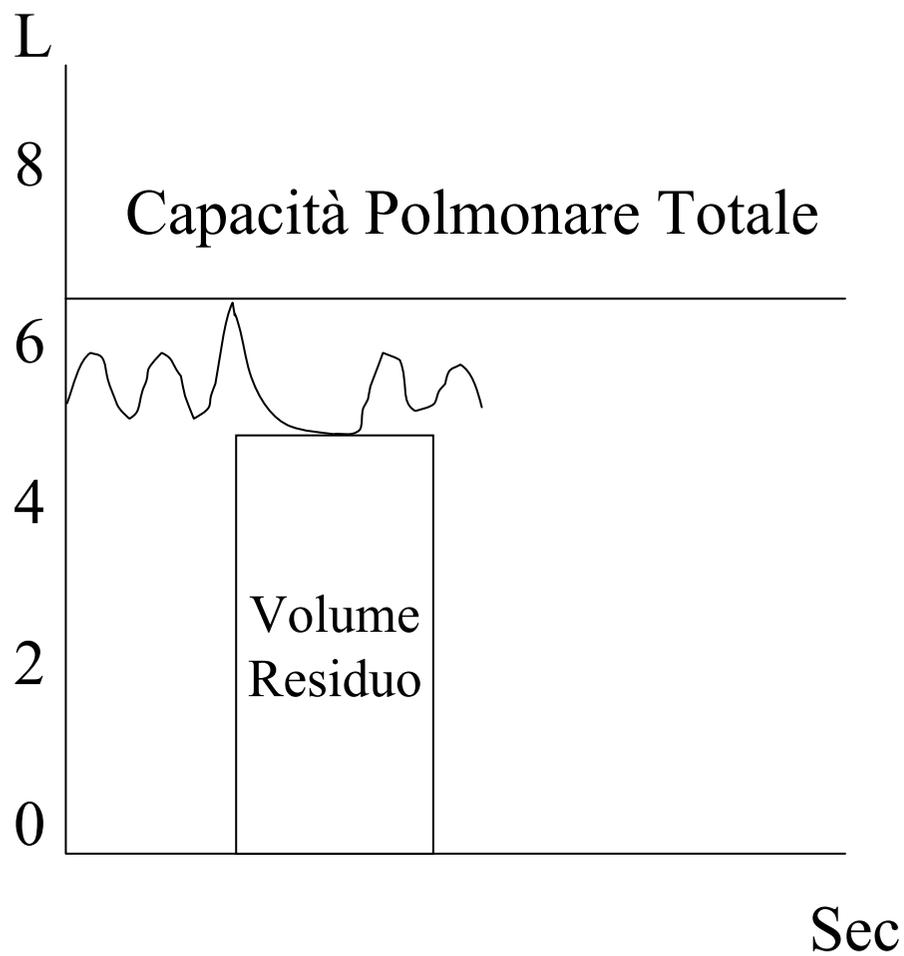


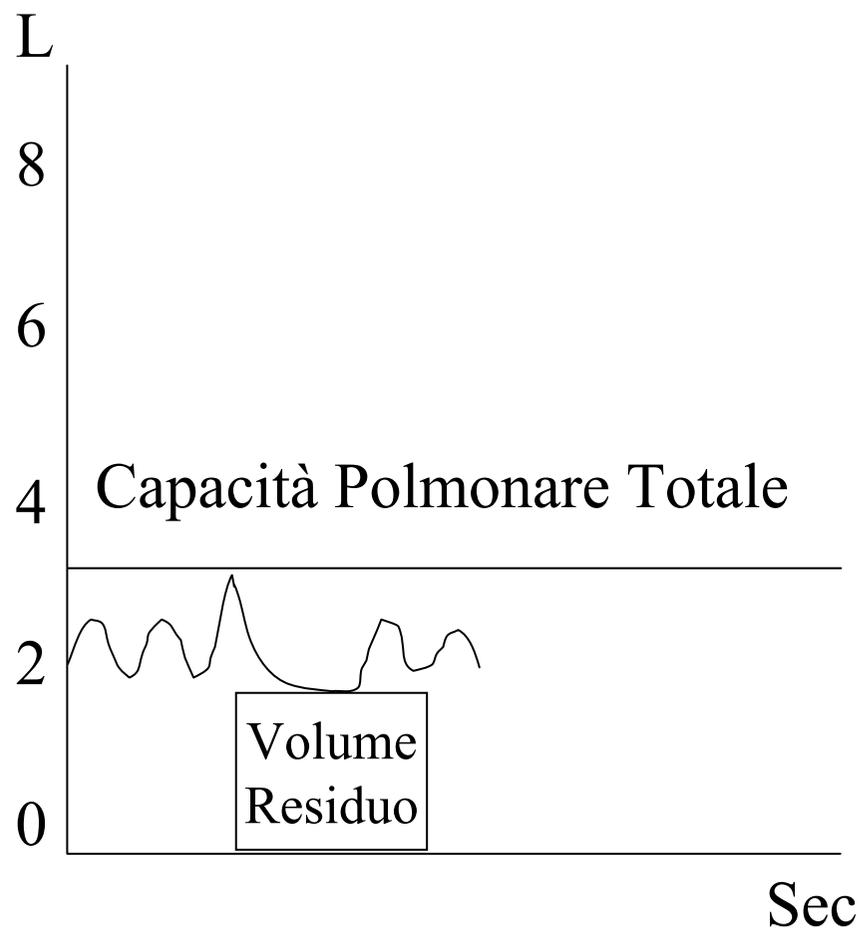
Figura 6
Sindrome restrittiva



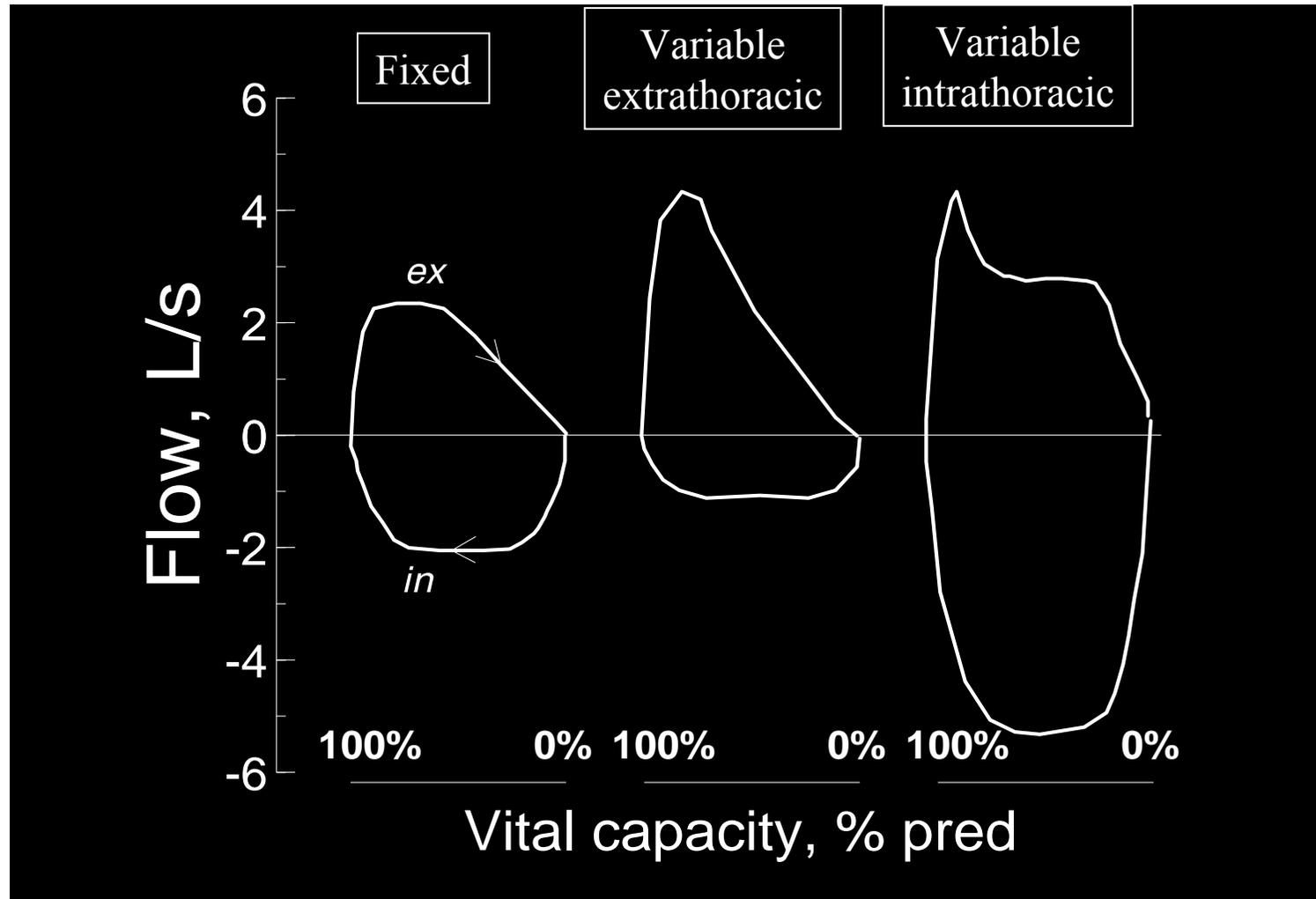
Pseudorestrizione



Restrizione



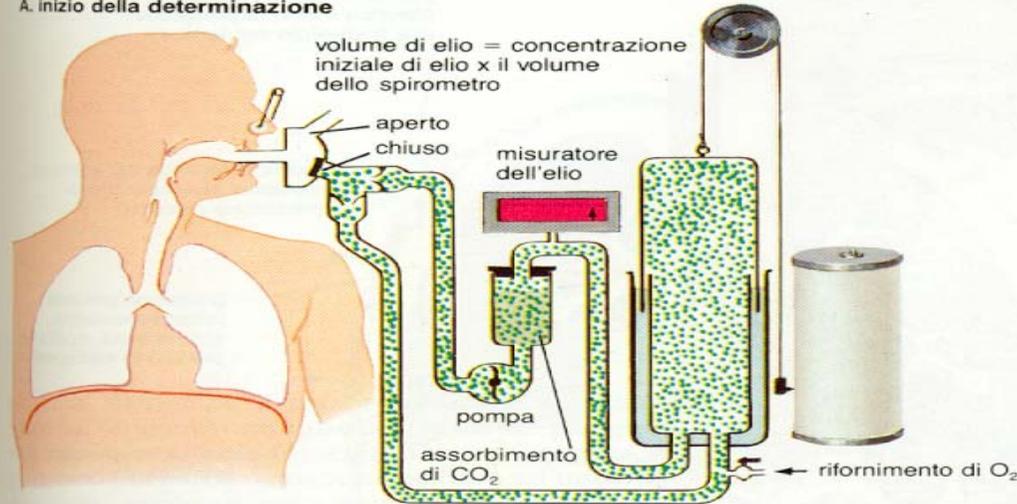
La curva flusso-volume differenzia tipi di ostruzioni delle vie aeree



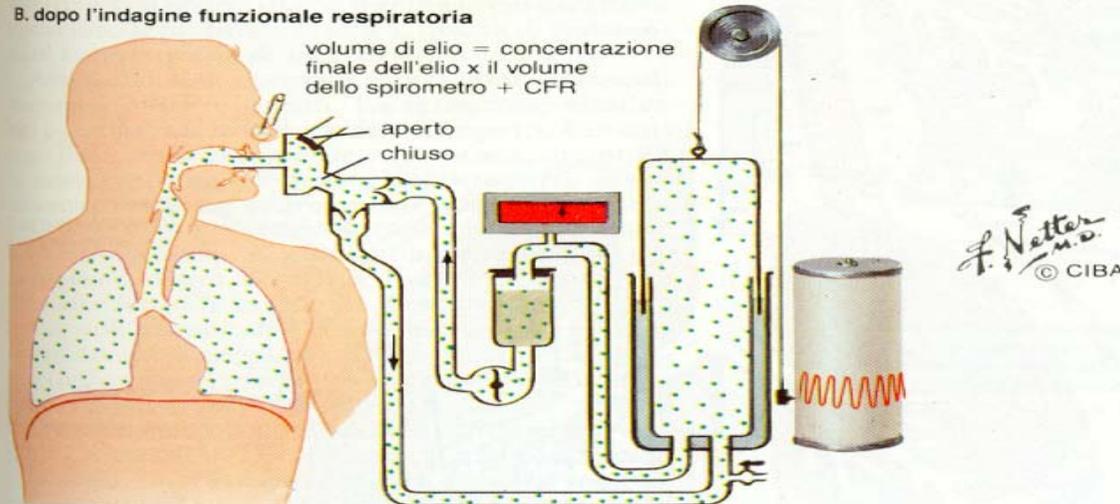
determinazione della capacità f

metodo della diluizione dell'elio a circuito chiuso

A. inizio della determinazione

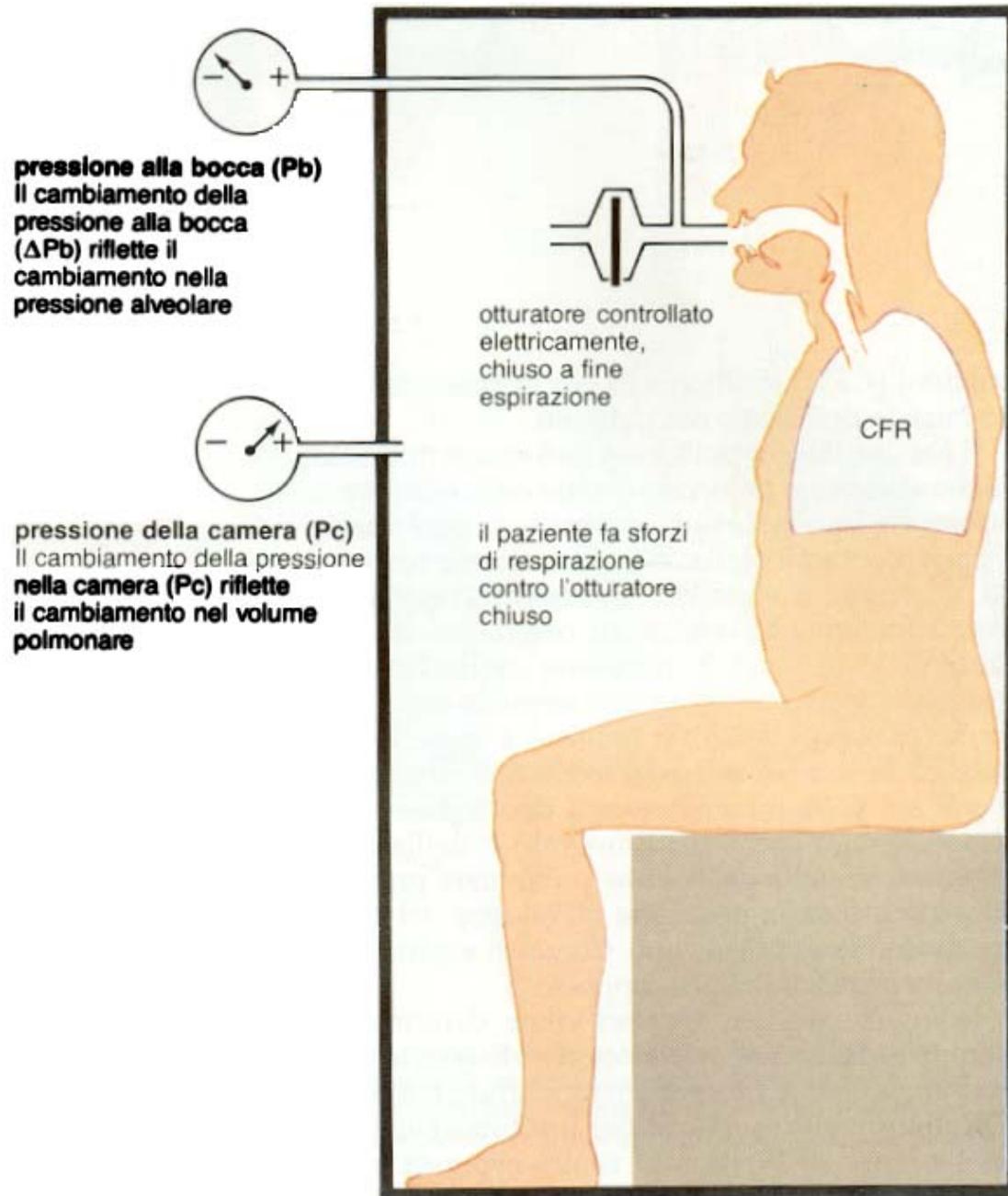


B. dopo l'indagine funzionale respiratoria



$$C_{in} \times V_{spir} = C_{fin} \times (V_{spir} + CFR)$$

$$CFR = V_{spir} \times (He_{in} - He_{fin}) / He_{fin}$$



$$P \times V = K$$

$$P \times V = (P + \Delta P) \times (V + \Delta V)$$

$$V = (P + \Delta P) \times \Delta V / \Delta P$$

$$V = P_{atm} \times \Delta P_c / \Delta P_b$$

$$\text{volume del gas nel torace} = \text{pressione atmosferica} \times \frac{\Delta P_c}{\Delta P_b}$$

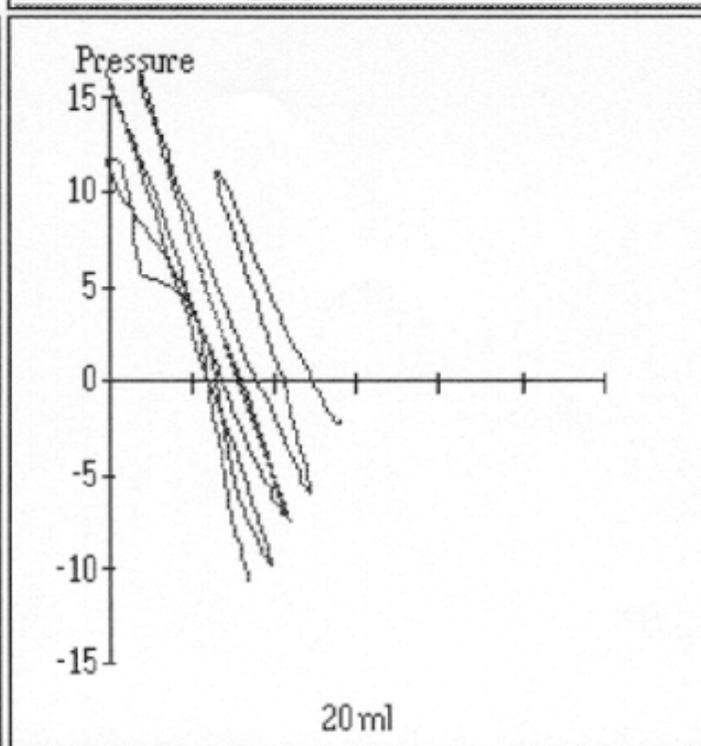
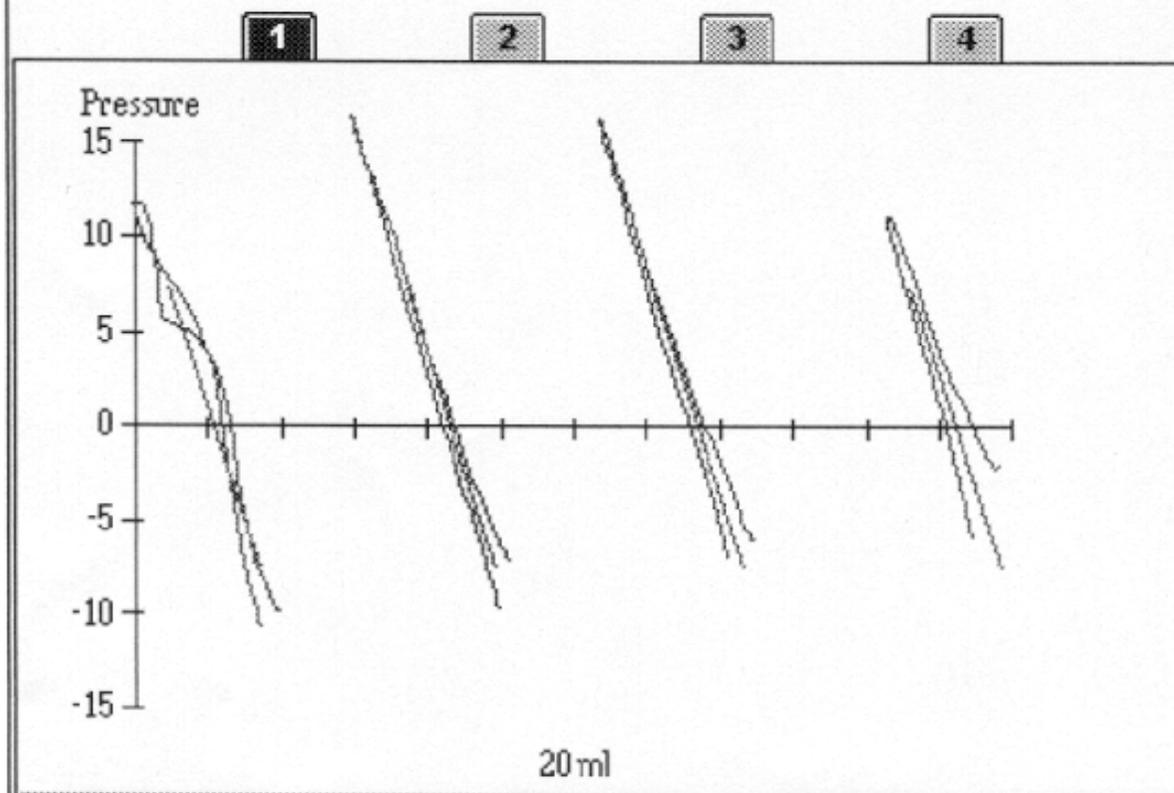
Date: .

Pre

Vtg ---

- PFR

	Ref	4	% Ref
Vtg		1.52	
TLC	4.38	2.73	62
VC	3.43	2.01	59
RV	0.91	0.71	79
IC	3.04	1.45	48
FRC PL	2.06	1.28	62



1.52

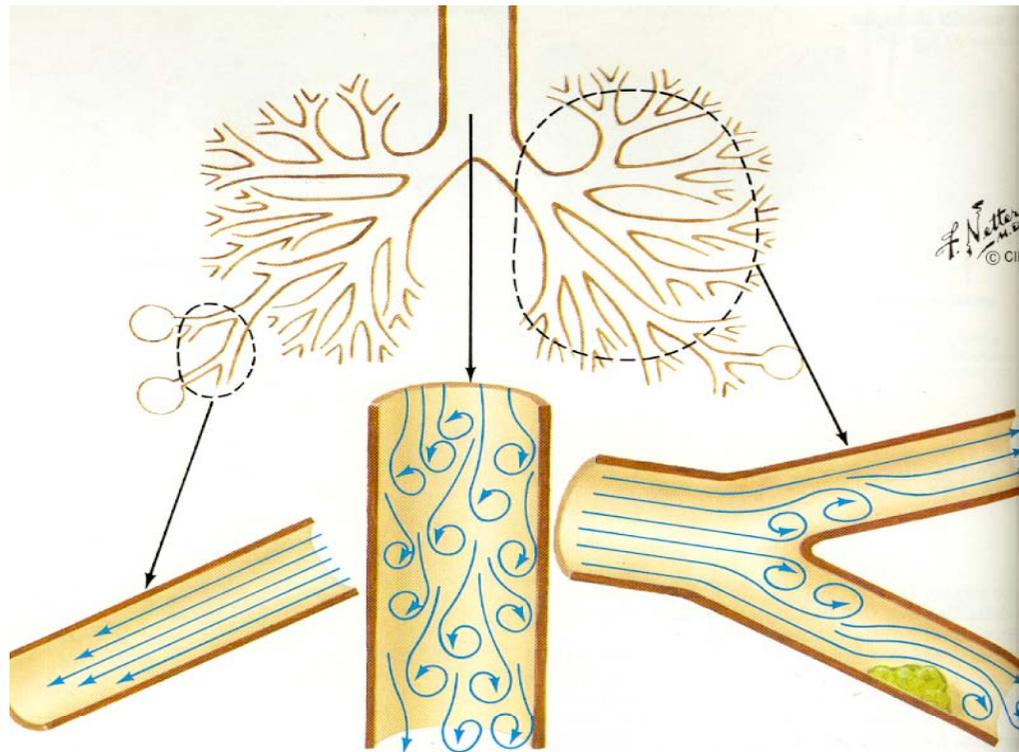
1.48

1.52

1.55

Avg

1.52

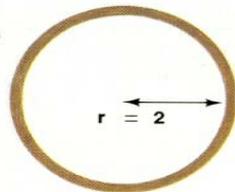


flusso laminare. Avviene principalmente nelle piccole vie aeree periferiche dove la portata del flusso d'aria attraverso ogni via aerea è bassa. La pressione di spinta è proporzionale alla viscosità del gas

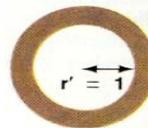
flusso turbolento. Avviene ad alta portata del flusso d'aria nella trachea e nelle vie aeree più larghe. La pressione di spinta è proporzionale al quadrato del flusso e dipende dalla densità del gas

flusso transizionale. Avviene nelle vie aeree più larghe, particolarmente nei punti di ramificazione e nei restringimenti. La pressione di spinta è proporzionale sia alla viscosità che alla densità del gas

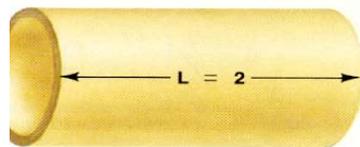
legge di Poiseuille. La resistenza al flusso laminare è inversamente proporzionale al raggio del condotto alla quarta potenza e direttamente proporzionale alla lunghezza del condotto. Quando il raggio viene dimezzato, la resistenza aumenta di 16 volte. Se la pressione di spinta è costante, il flusso scenderà di un sedicesimo. Addoppiando la lunghezza, raddoppia solo la resistenza. Se la pressione di spinta è costante, il flusso d'aria scenderà della metà



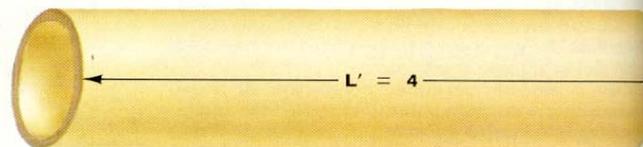
resistenza ~ 1



resistenza ~ 16



resistenza ~ 2



resistenza ~ 4

mento di flusso inferiore, ma non interessano il

Le misurazioni della portata del flusso d'aria

Flusso laminare → Viscosità

$$\Delta P = 8\eta L/\pi r^4 \times \text{Flusso}$$

$$\Delta P = K_1 \times \text{Flusso}$$

Flusso turbolento → Densità

$$\Delta P = K_1 \times \text{Flusso} + \rho \text{Flusso}^2/D$$

$$\Delta P = K_1 \times \text{Flusso} + K_2 \times \text{Flusso}^2$$

Resistenze del sistema

$R = \text{Diff P} / \text{flusso}$

(Equivalente elettrico $R = E/I$)

Resistenze totali = R vie aeree + R tissutali

$R_{\text{tot}} = R_{\text{aw}} + R_{\text{tiss}}$ (55% + 45%)

$R_{\text{aw}} = (\text{Palveolare} - \text{P bocca}) / \text{flusso}$

$S_{\text{raw}} = R_{\text{aw}} \times \text{TGV}$

Unità di misura = $\text{kpas/L/s} \times \text{L} = \text{kpas} \times \text{s}$

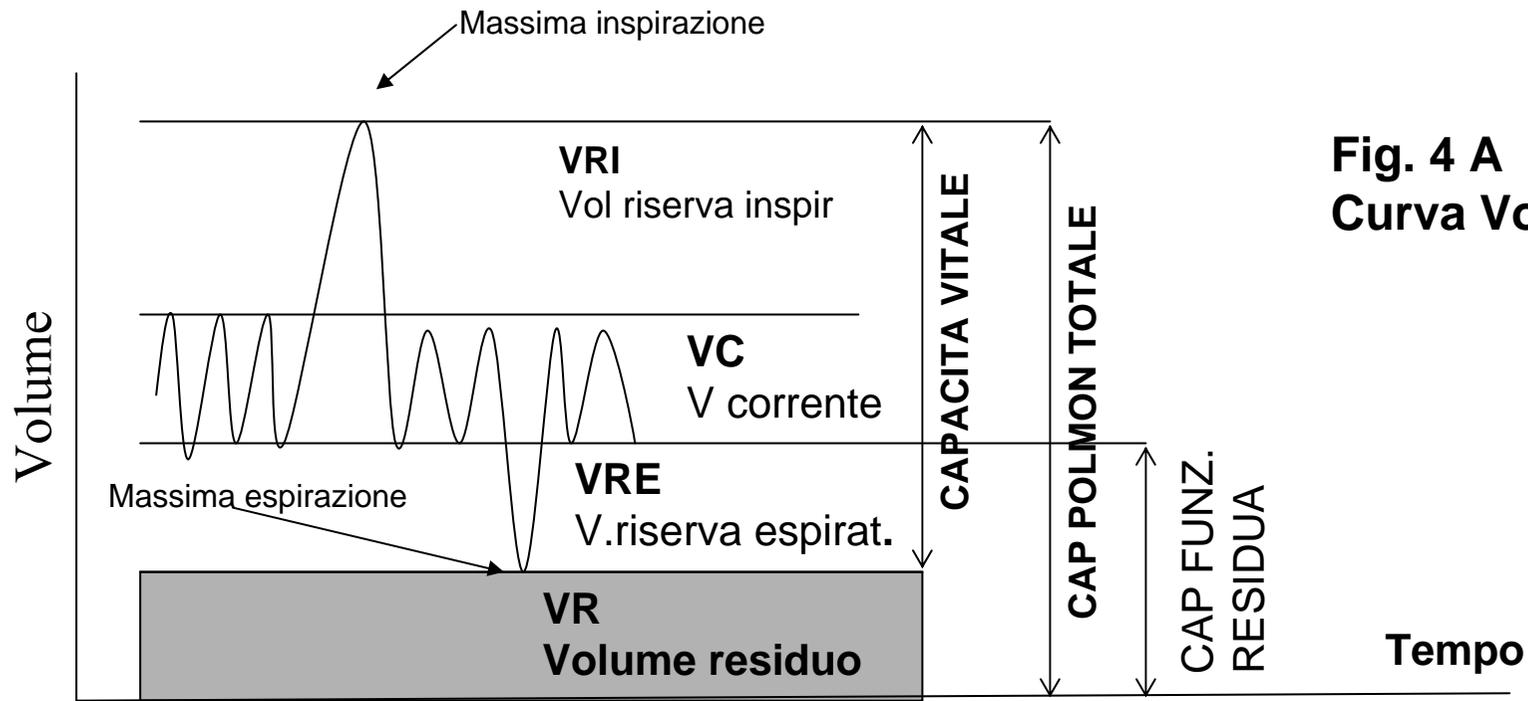
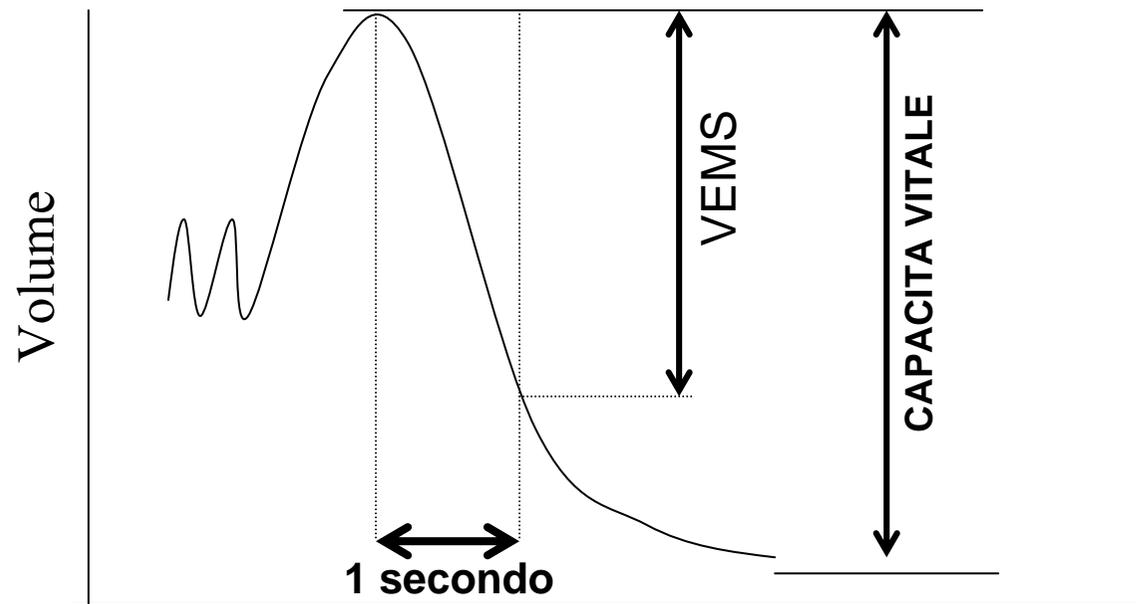


Fig. 4 A
Curva Volume/tempo

Fig. 4 B
VEMS



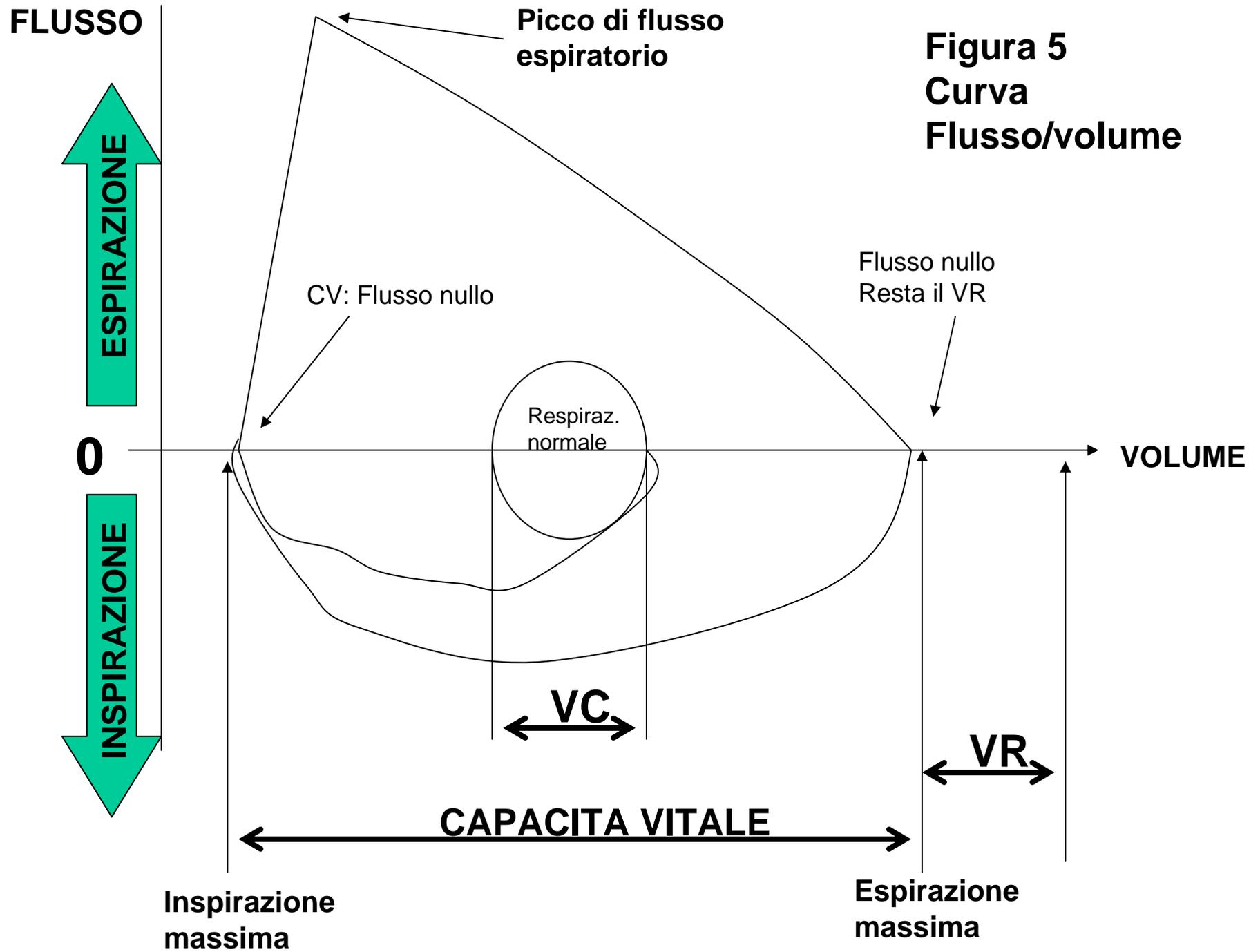
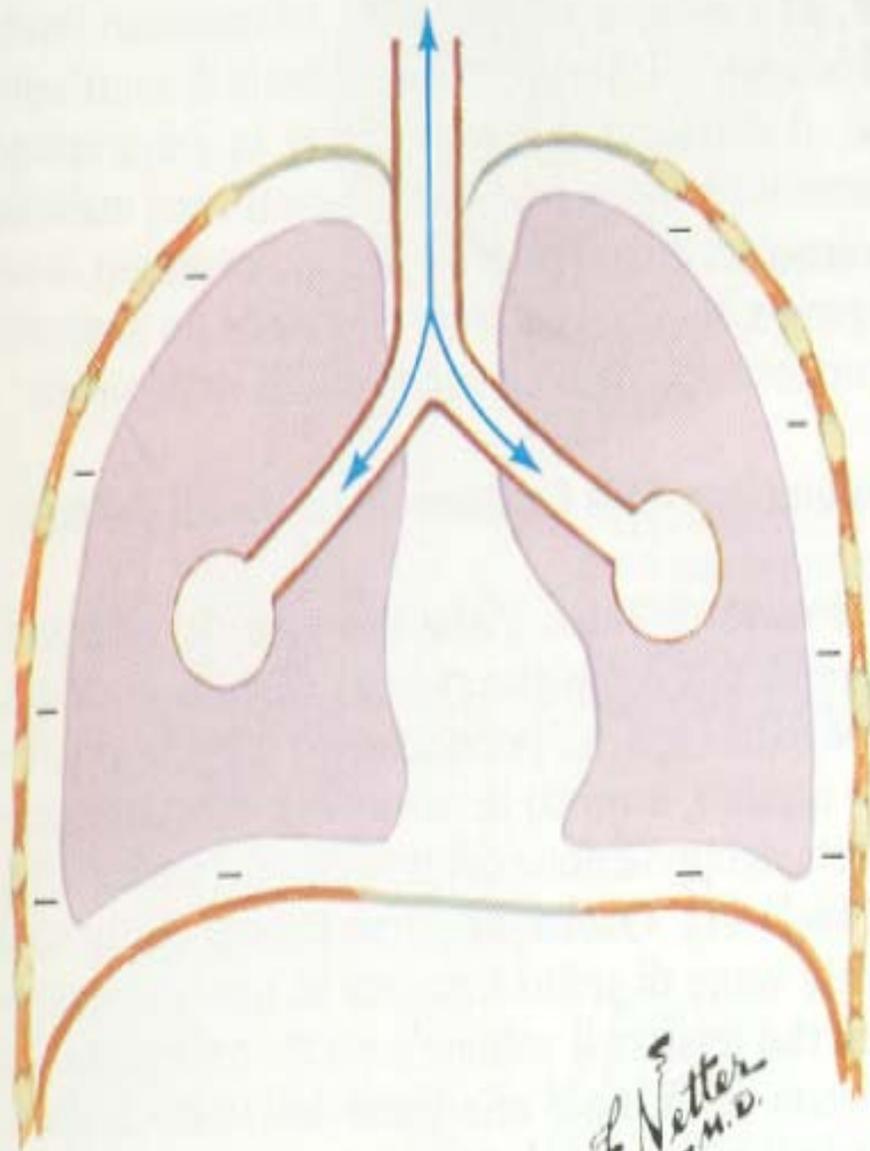


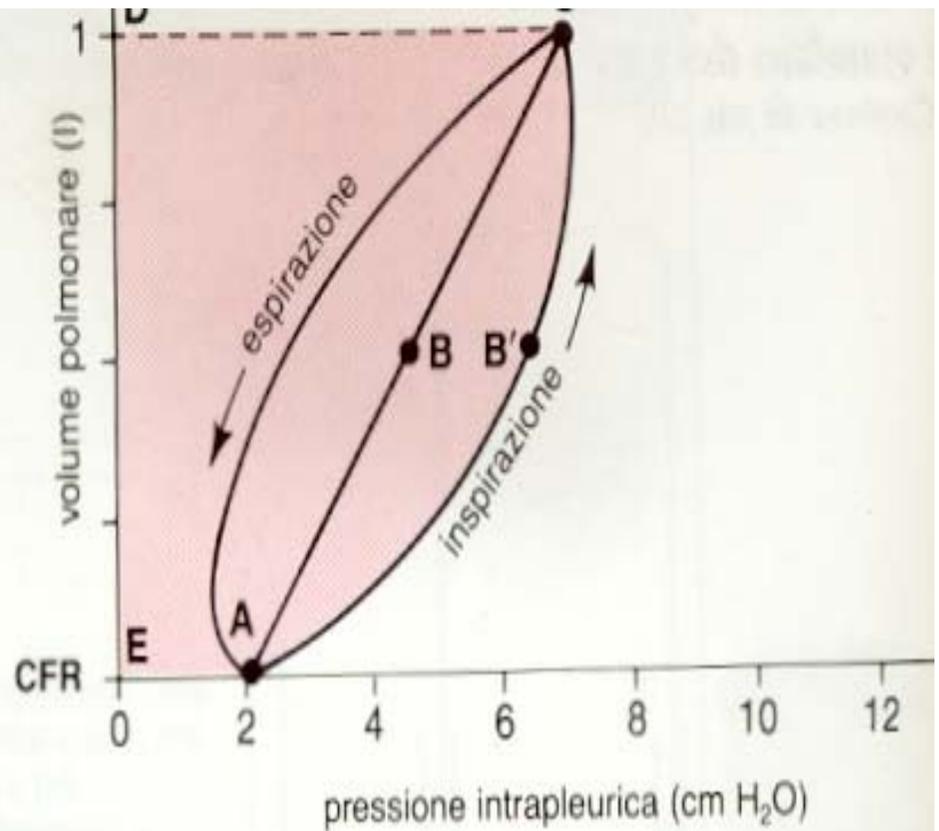
Figura 5
Curva
Flusso/volume

lavoro della respirazione

normale

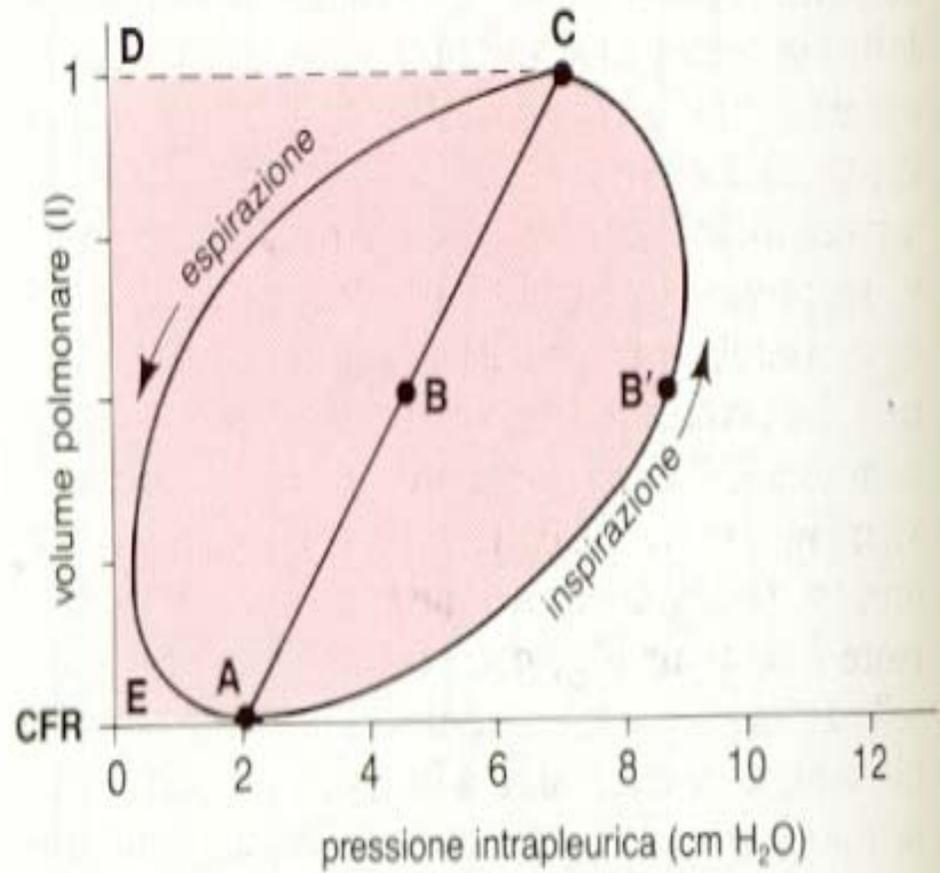
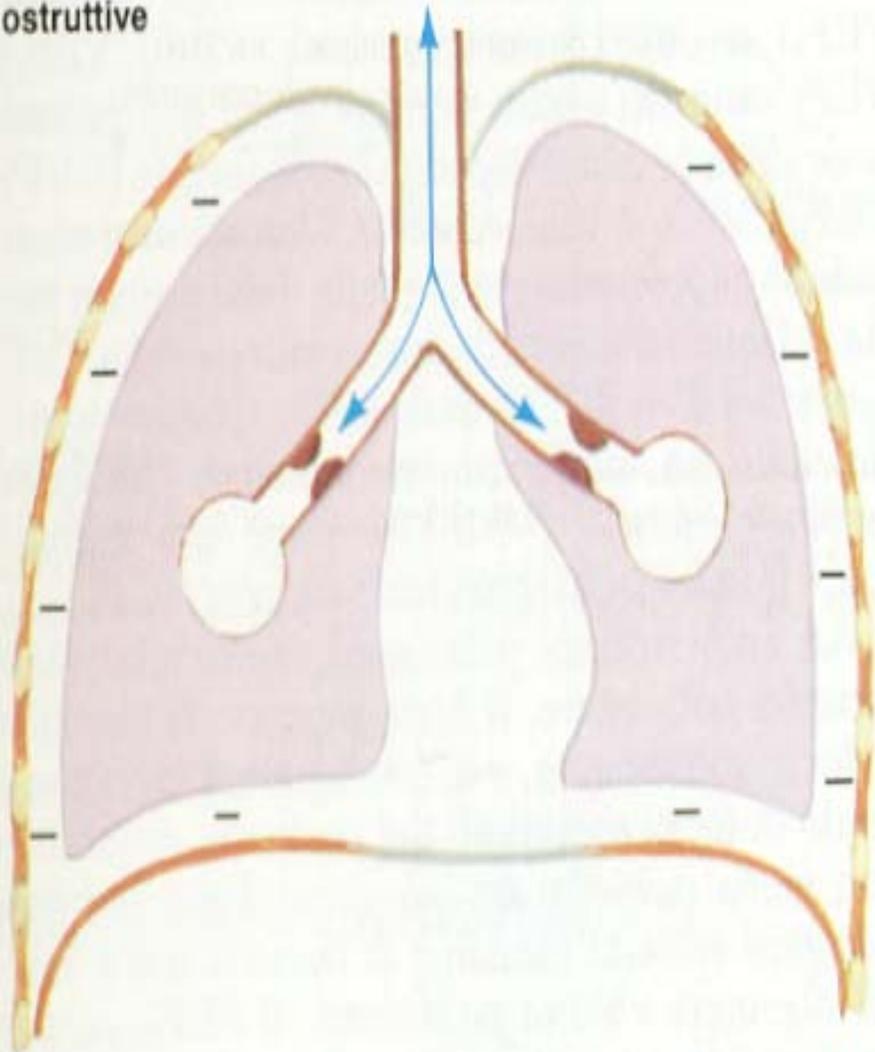


F. Netter
M.D.
© CIBA



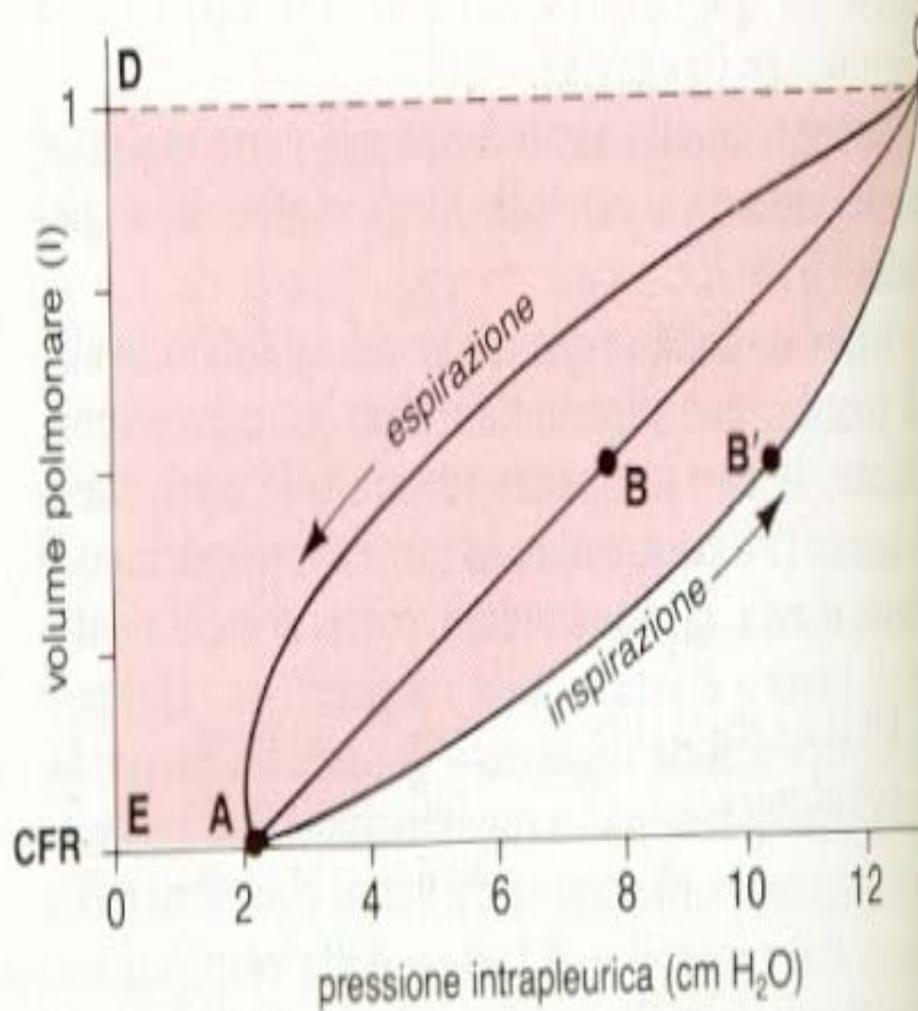
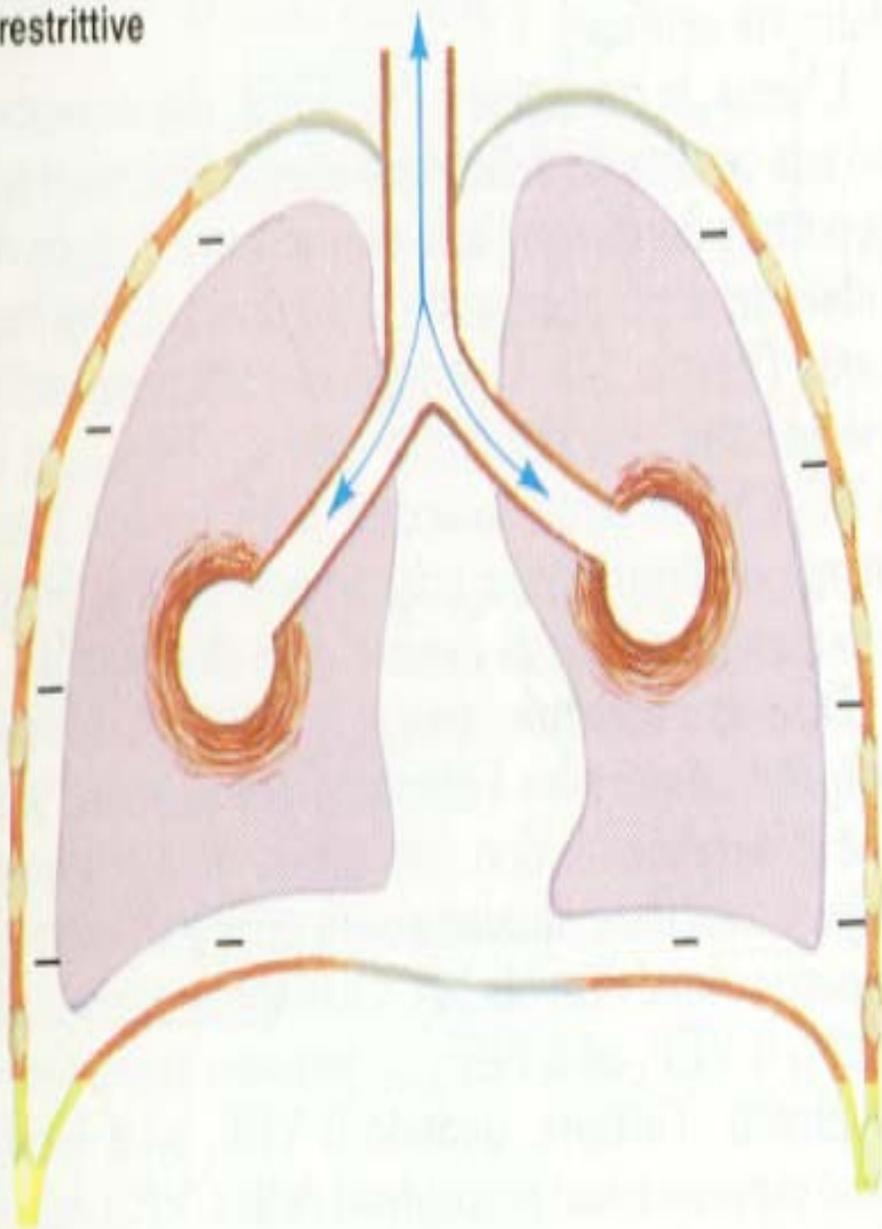
il lavoro che si compie nel polmone durante la respirazione si può determinare dal circuito dinamico di pressione-volume. Il lavoro richiesto per superare le forze elastiche è rappresentato dall'area del trapezoide EABCD. Il lavoro addizionale richiesto per superare la resistenza al flusso durante l'inspirazione è rappresentato dall'area della metà destra del circuito AB'CD.

malattie
ostruttive



in malattie caratterizzate da un'ostruzione delle vie aeree, il lavoro per superare la resistenza al flusso è aumentato; il lavoro elastico della respirazione resta immutato

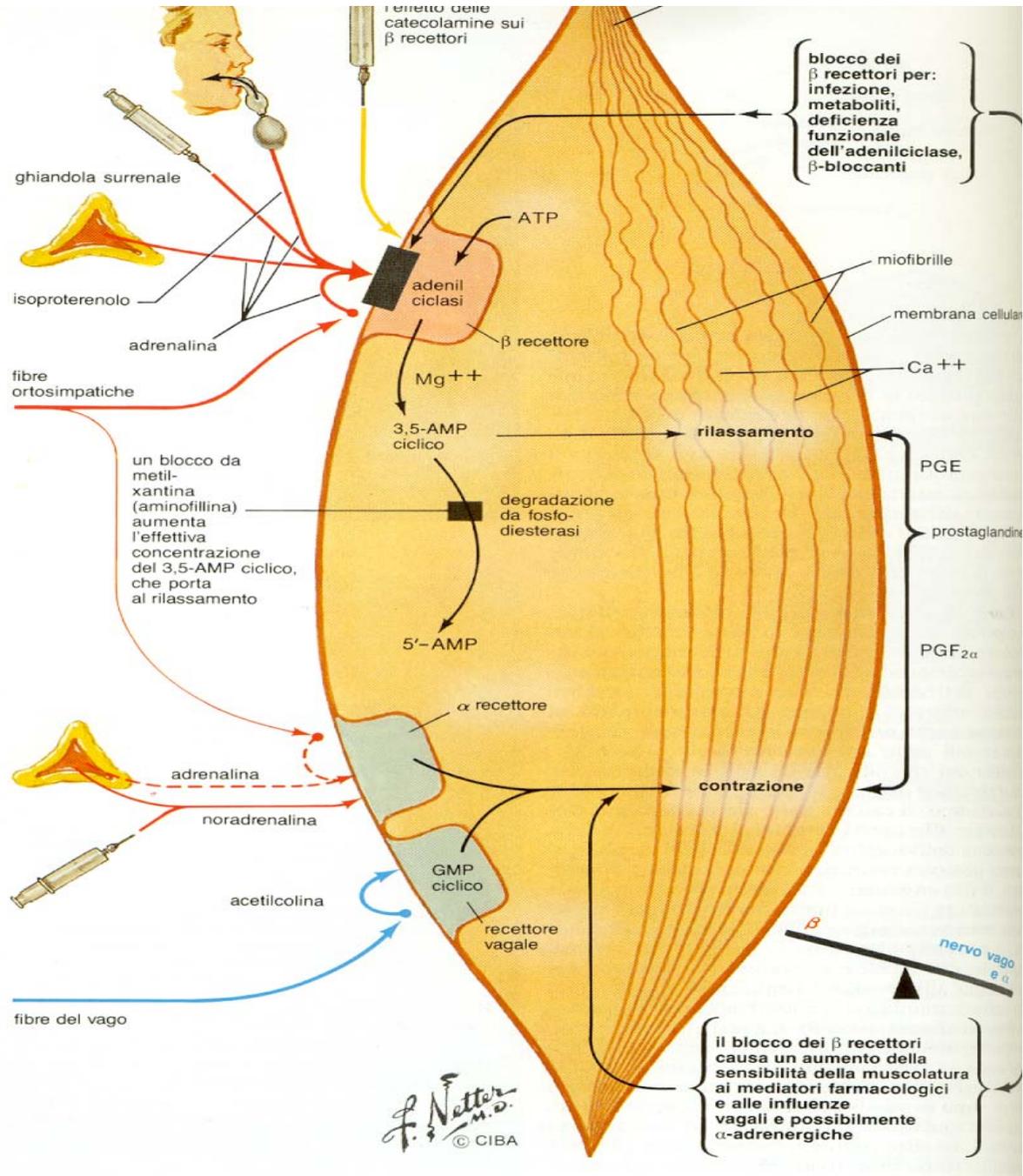
malattie
restrittive



le malattie restrittive del polmone danno luogo ad un aumento del lavoro elastico della respirazione; il lavoro per superare la resistenza al flusso è normale

IL TONO BRONCHIALE

Lo stato di contrazione tonica del muscolo liscio bronchiale presente anche in condizioni di base. Differenti e complessi sistemi nervosi ed umorali regolano il tono. Alterazioni in eccesso del suo controllo provocano patologie da ipertono (Asma, BPCO)



SISTEMA VAGALE

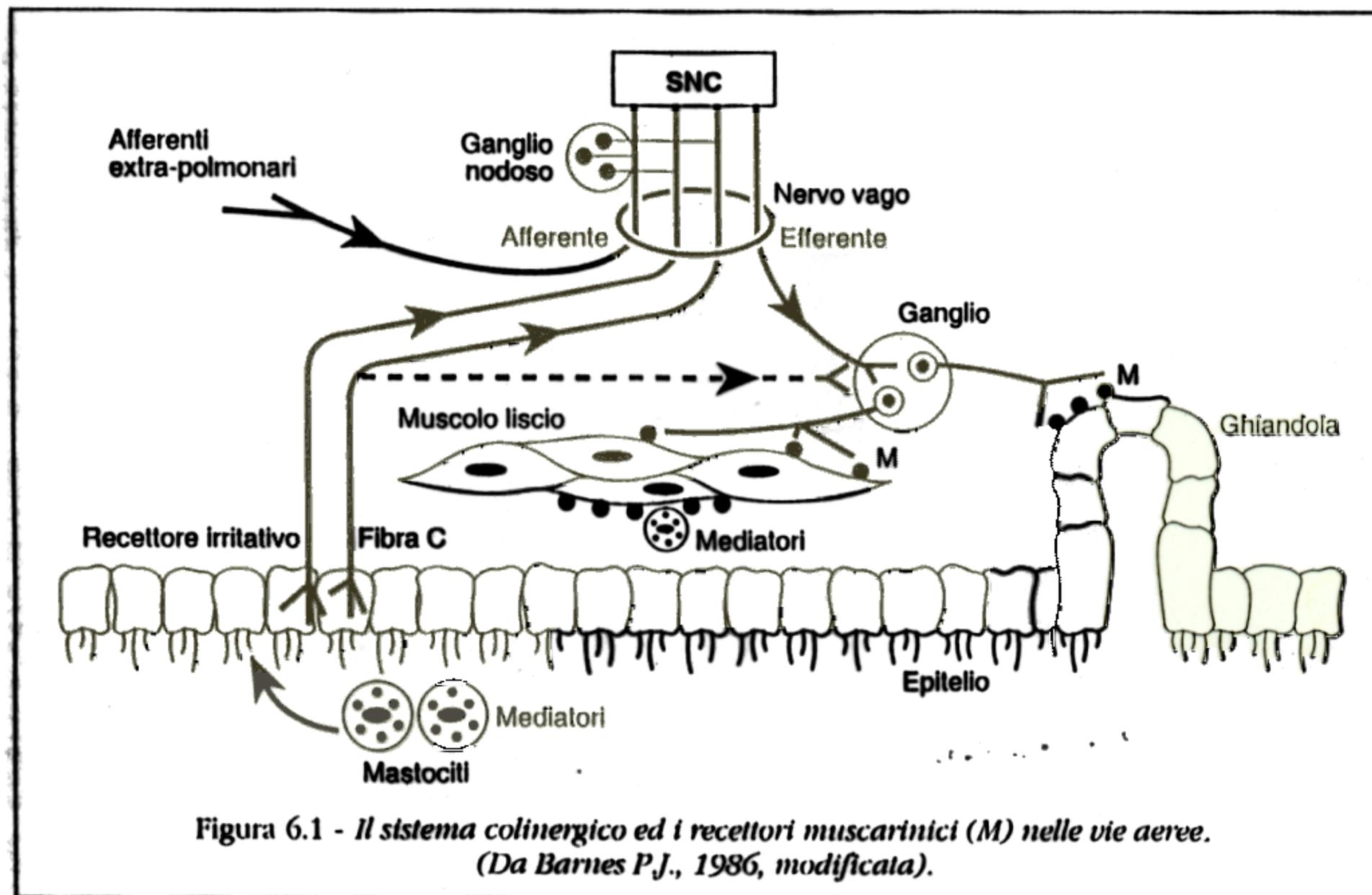


Figura 6.1 - Il sistema colinergico ed i recettori muscarinici (M) nelle vie aeree.
(Da Barnes P.J., 1986, modificata).

SISTEMA SIMPATICO

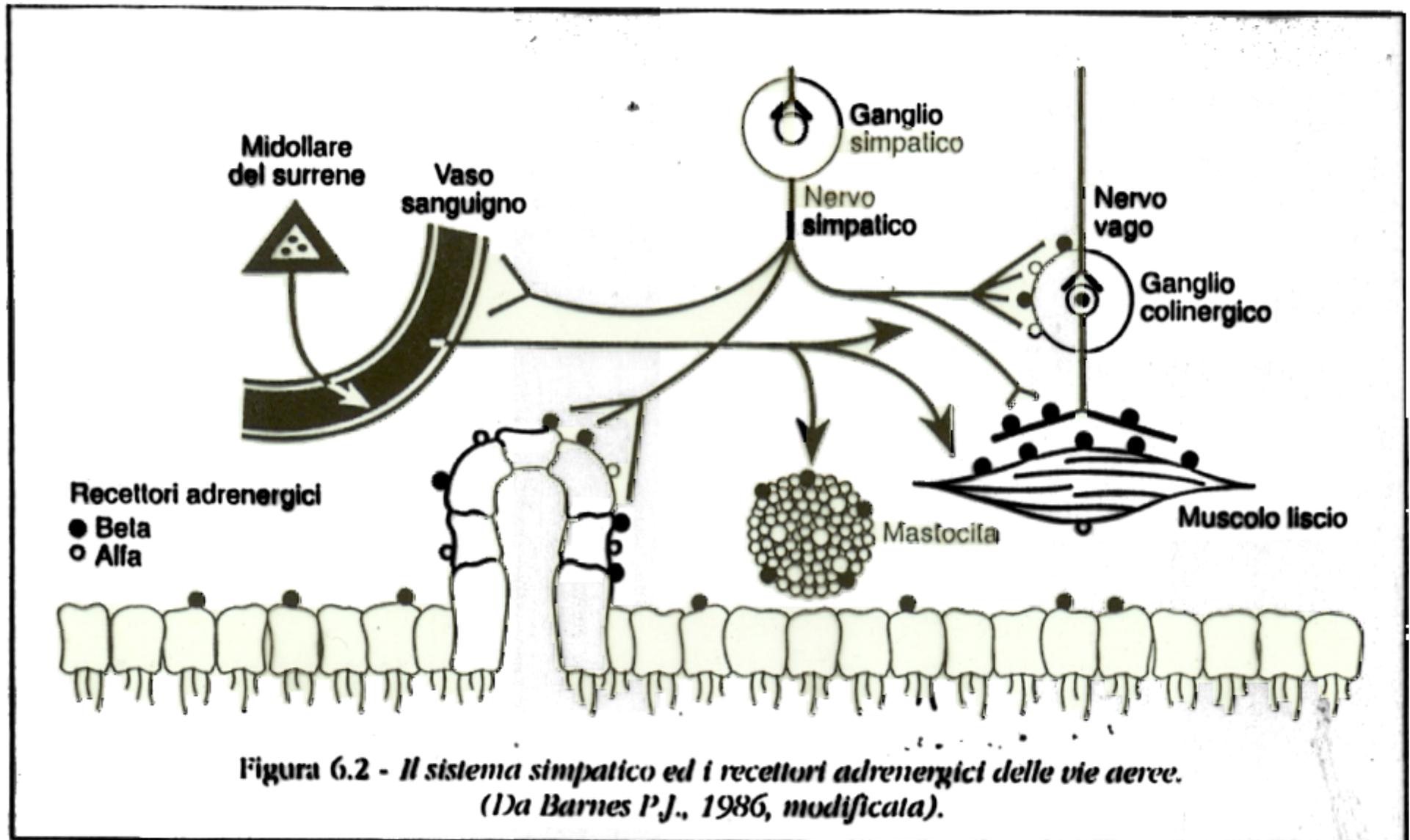
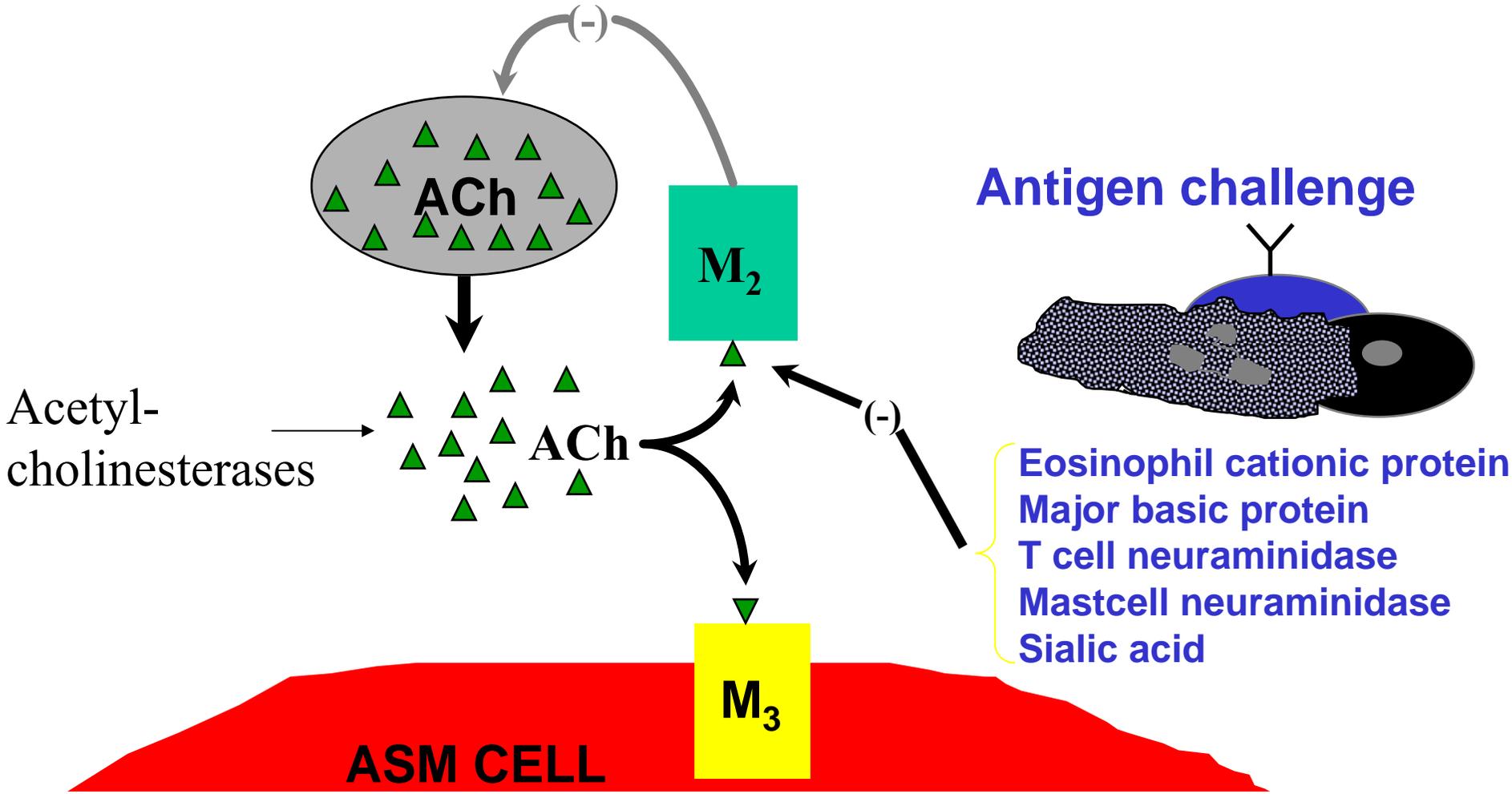


Figura 6.2 - Il sistema simpatico ed i recettori adrenergici delle vie aeree.
(Da Barnes P.J., 1986, modificata).

CHOLINERGIC NERVE TERMINAL



IPERREATTIVITA' BRONCHIALE: definizione

- Esagerata risposta broncocostrittiva a stimoli di varia natura.
- Fenomeno tipico ma non esclusivo di asma bronchiale.

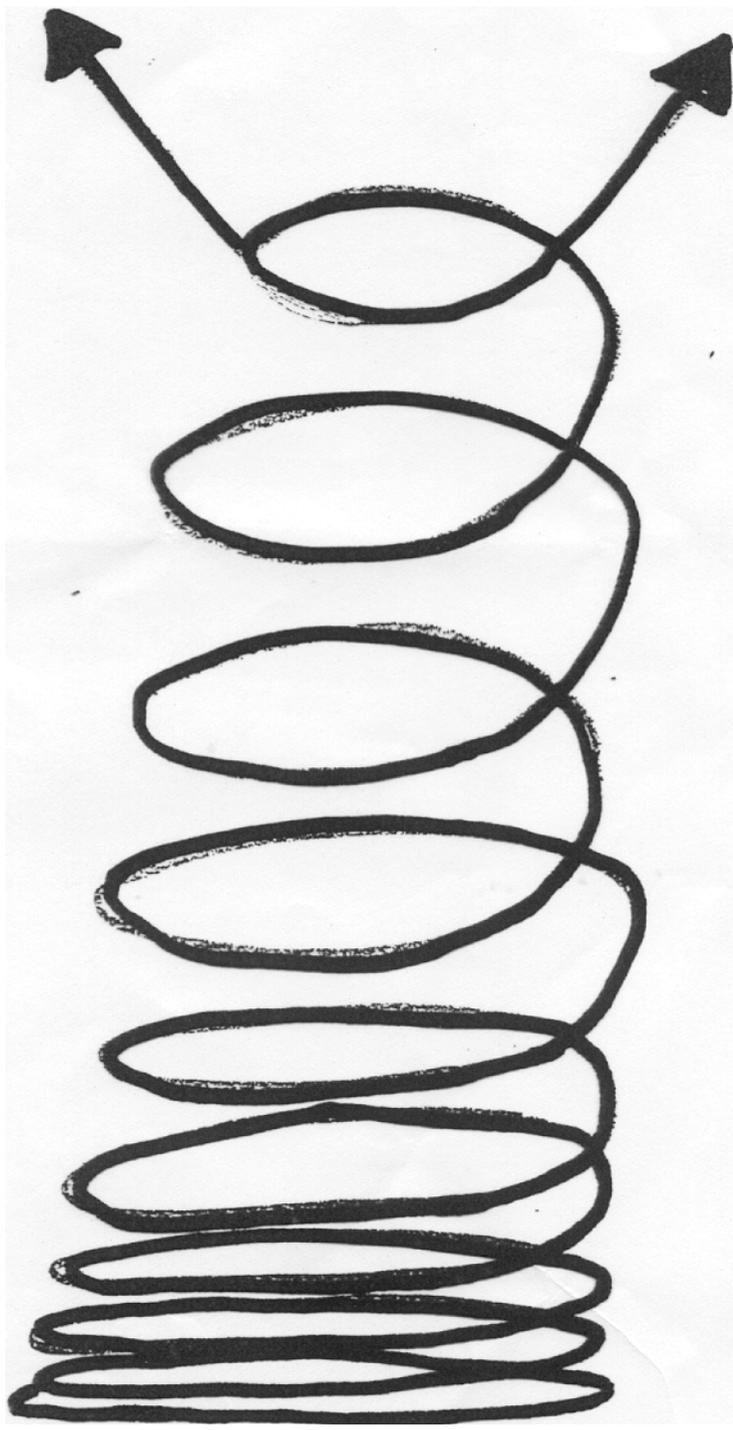
MISURA DELL'IPERREATTIVITA' BRONCHIALE NON-SPECIFICA

- Test di provocazione con agenti costrittori ad azione diretta sul muscolo liscio bronchiale: **metacolina**, istamina.
- Test di provocazione con stimoli ad azione indiretta: **esercizio fisico, iperventilazione isocapnica**, soluzioni ipotoniche (nebbia ultrasonica), soluzioni ipertoniche.

IL TEST DI PROVOCAZIONE BRONCHIALE CON METACOLINA

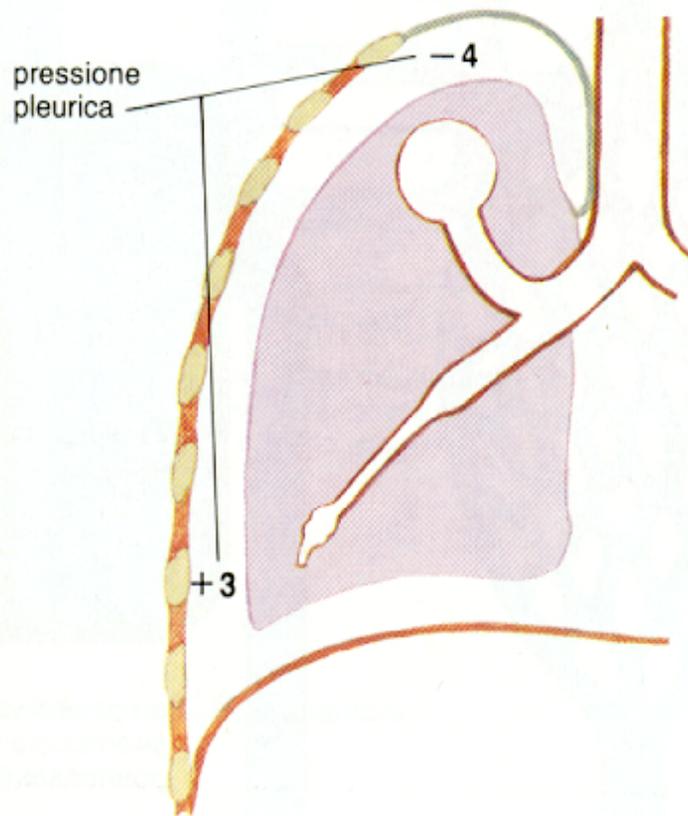
Il test di provocazione bronchiale (TPB) con metacolina (MCh) consiste nell'inalazione di dosi crescenti di MCh fino a variazione significativa del parametro che registra le riduzioni del calibro bronchiale (es. caduta del 20% del VEMS)

Distribuzione della ventilazione e della perfusione

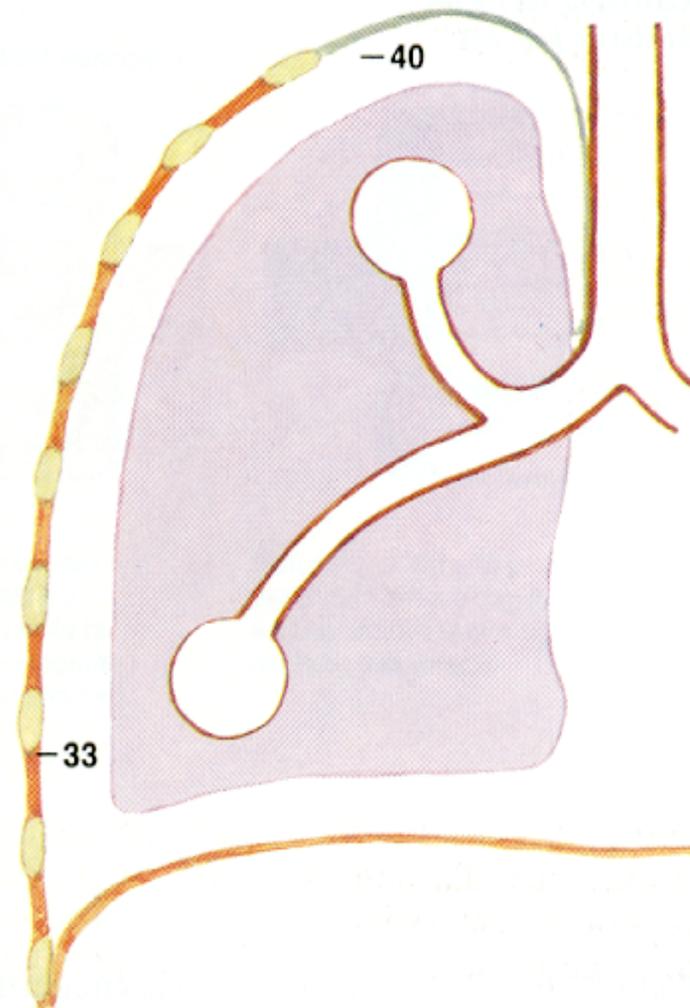


A, T, A, V, A, R, G

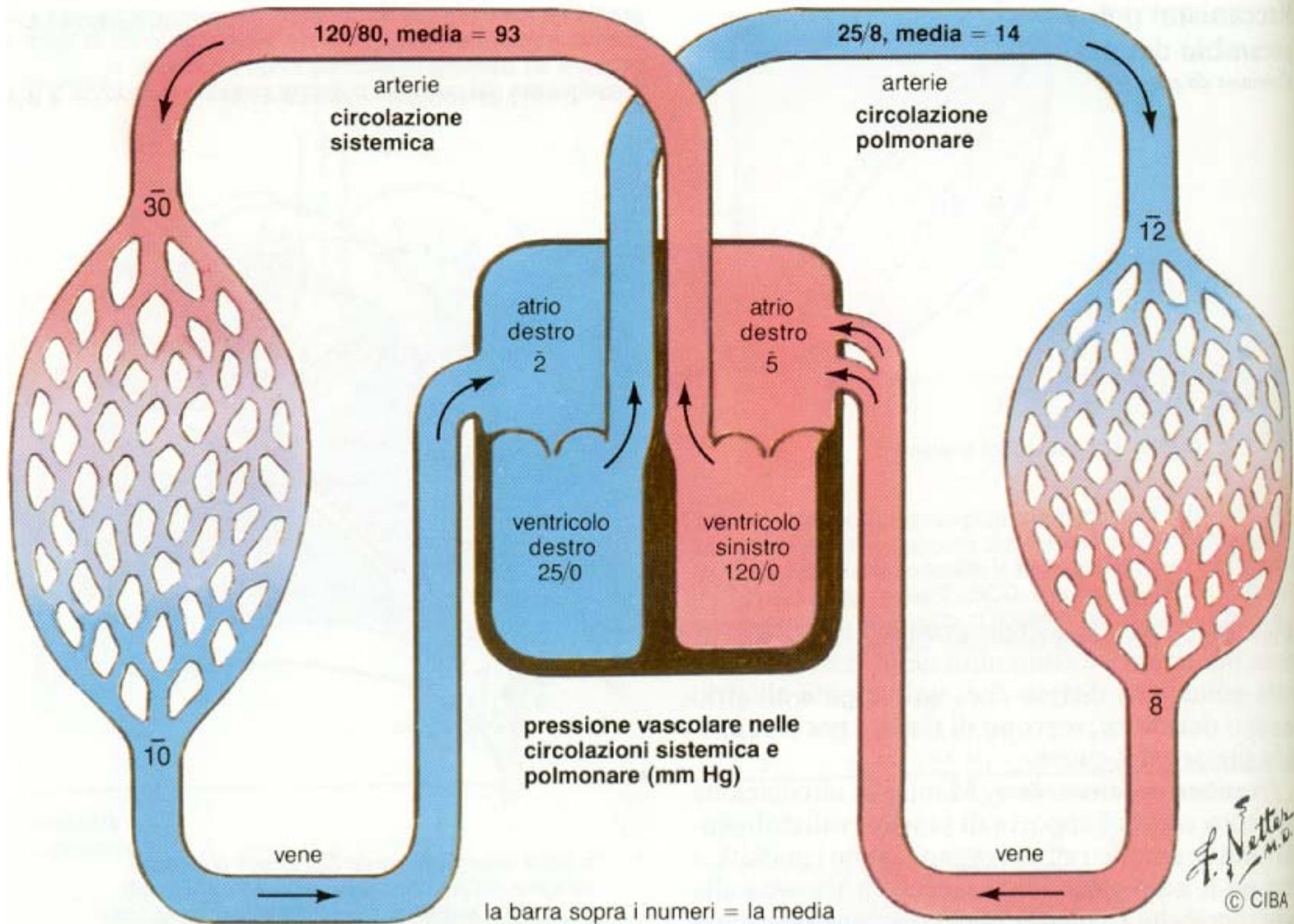
gradiente della pressione pleurica. La pressione pleurica in posizione verticale è maggiormente sottoatmosferica all'apice del polmone ed aumenta scendendo lungo il polmone, in conseguenza del peso del polmone stesso e della forza di gravità



a bassi volumi polmonari, gli alveoli polmonari all'apice del polmone sono più larghi che quelli alla base. Quando la pressione pleurica alla base del polmone supera la pressione atmosferica, le vie aerifere sono compresse e tendono a chiudersi



ad ampi volumi polmonari vicini alla capacità polmonare totale, gli alveoli all'apice e alla base del polmone sono circa della stessa dimensione. Durante un respiro normale, gli alveoli alla base del polmone si espandono più di quelli all'apice



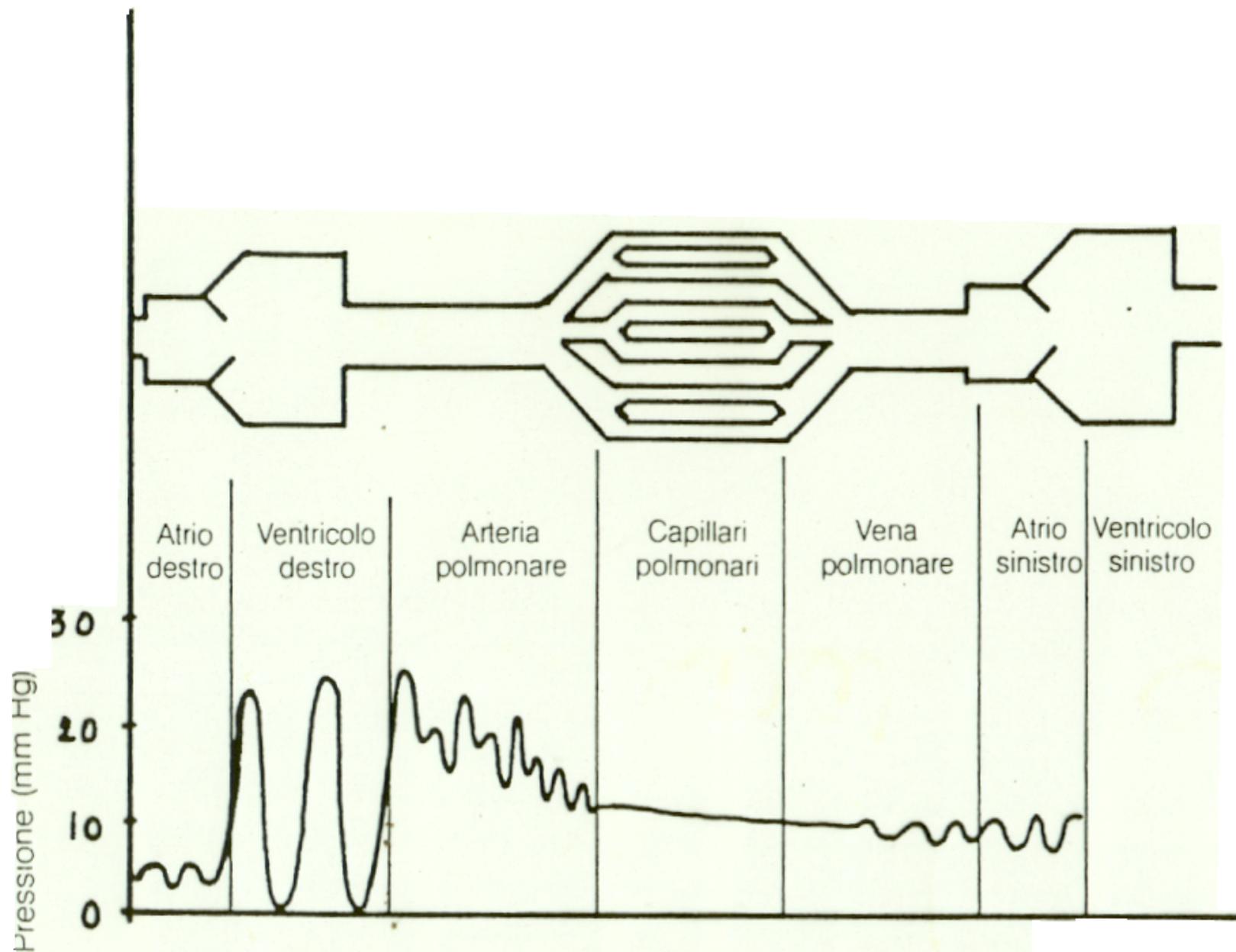
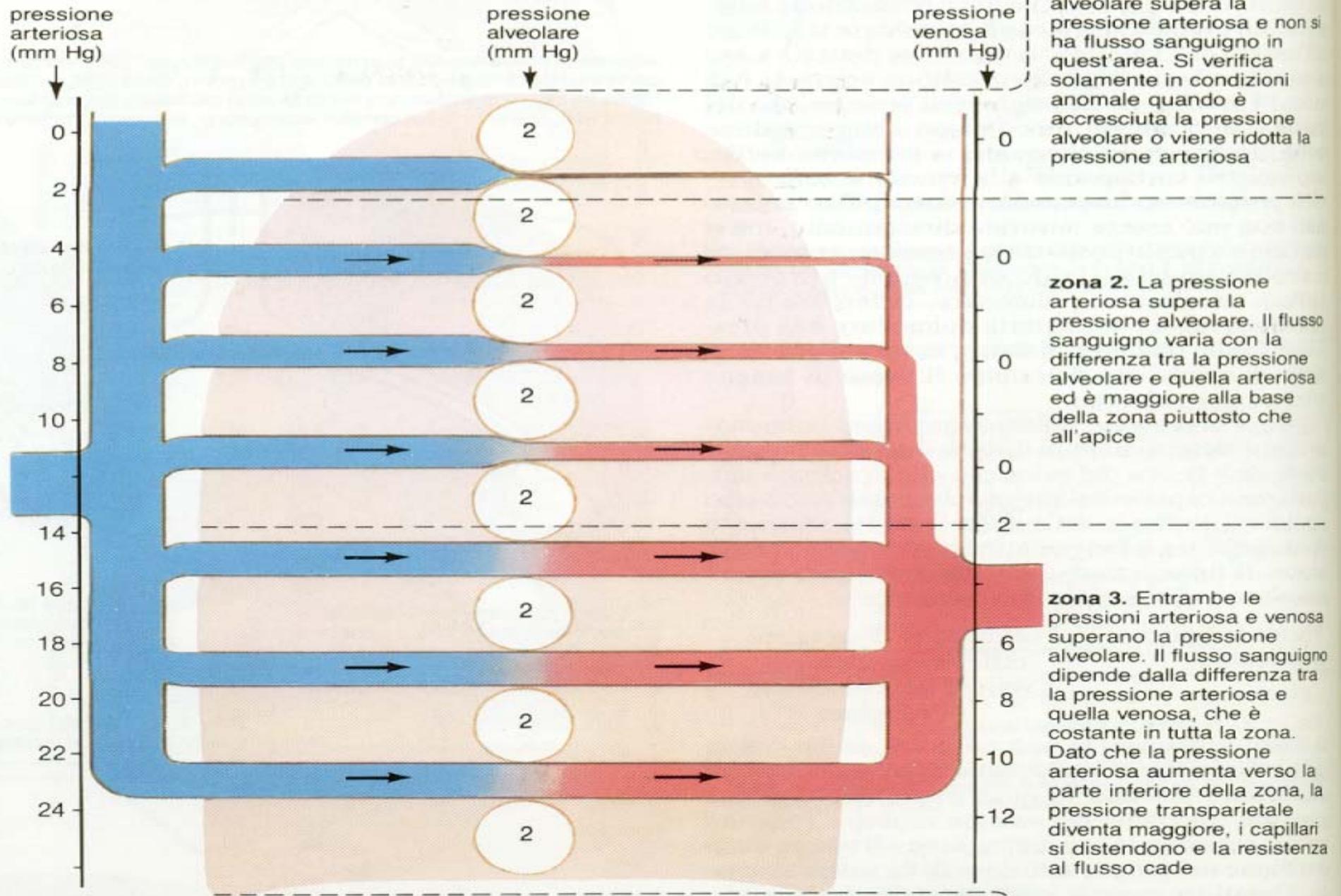


Fig. 40. Distribuzione dei valori pressori nel piccolo circolo.

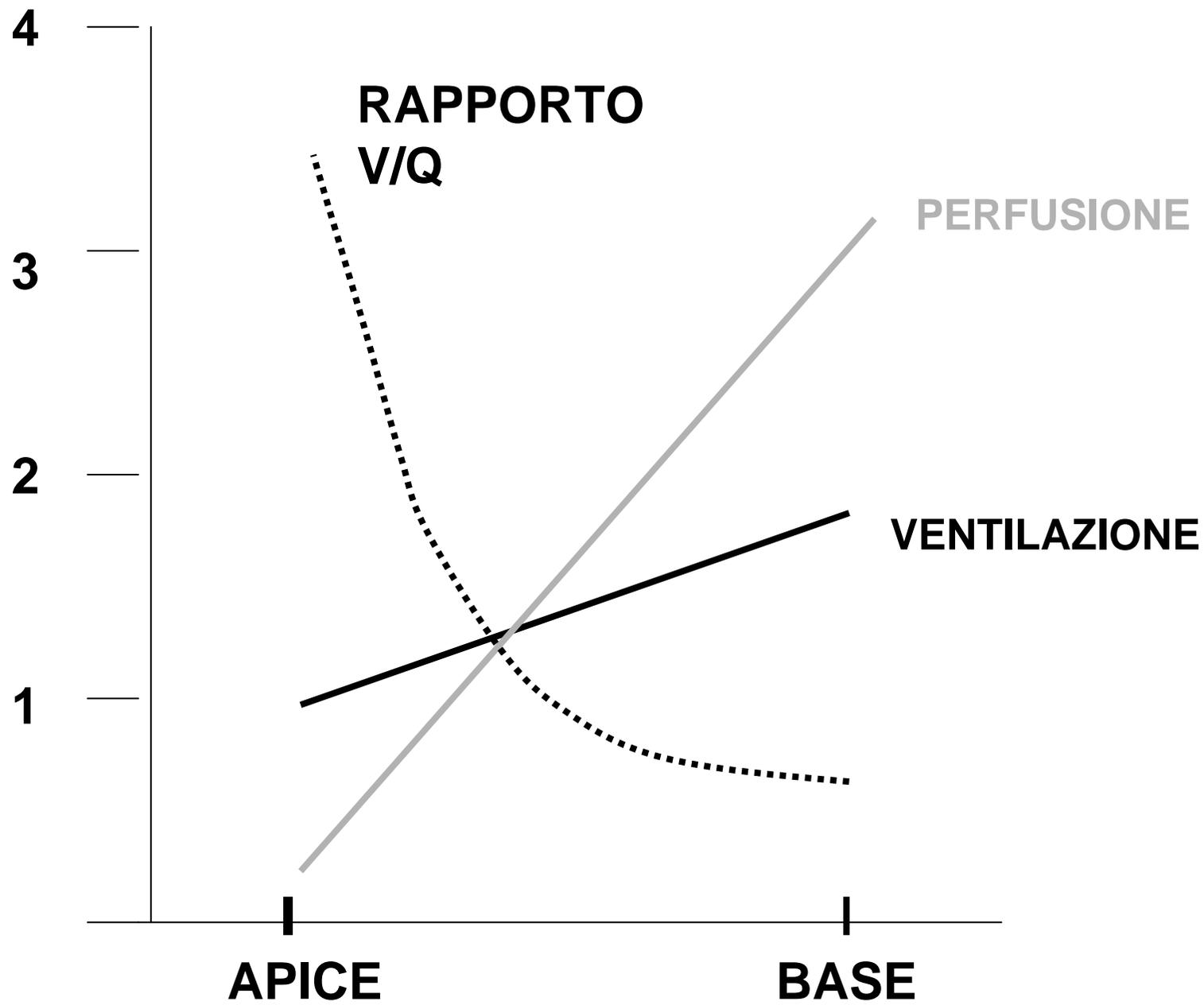
distribuzione del flusso sanguigno polmonare



zona 1. La pressione alveolare supera la pressione arteriosa e non si ha flusso sanguigno in quest'area. Si verifica solamente in condizioni anomale quando è accresciuta la pressione alveolare o viene ridotta la pressione arteriosa

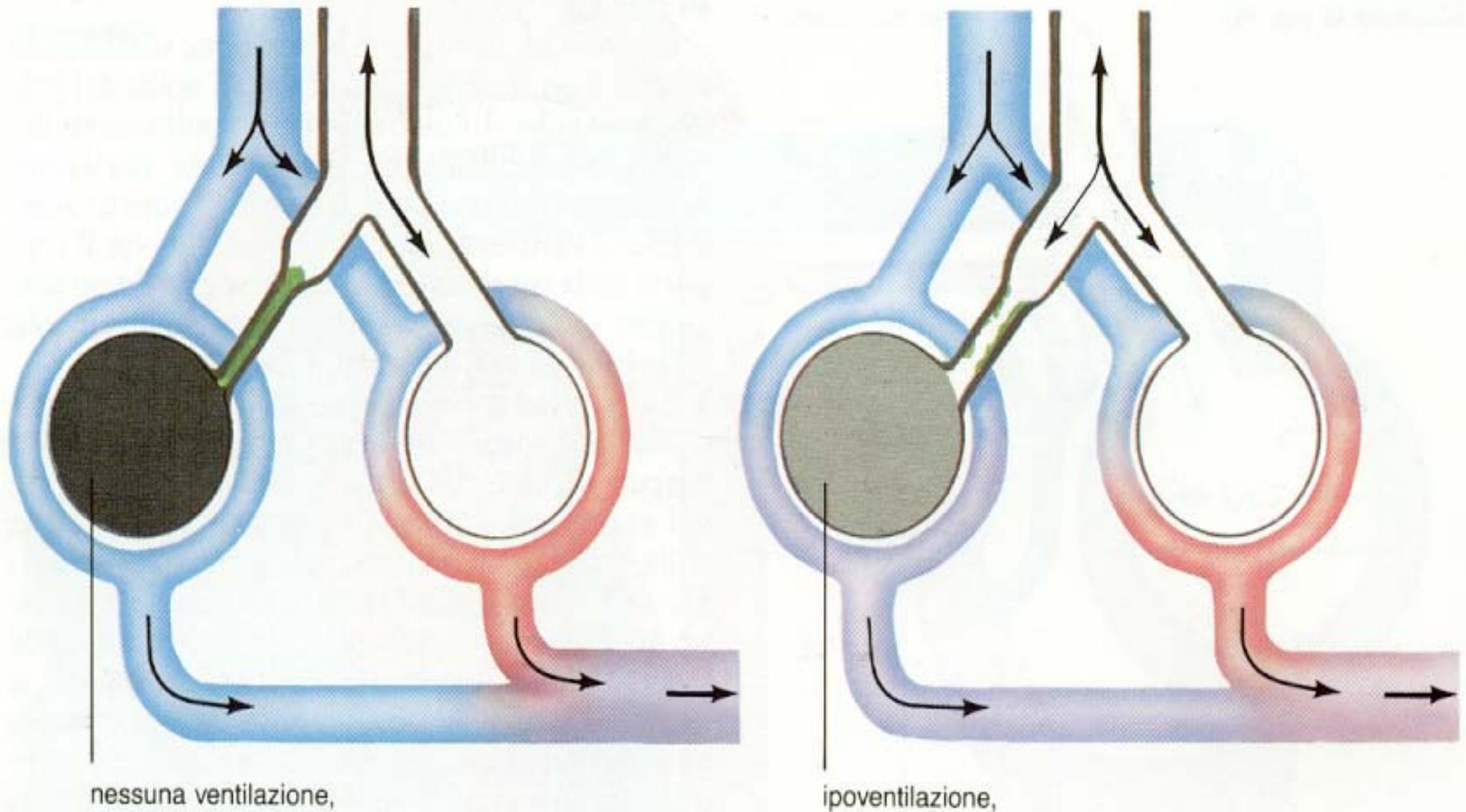
zona 2. La pressione arteriosa supera la pressione alveolare. Il flusso sanguigno varia con la differenza tra la pressione alveolare e quella arteriosa ed è maggiore alla base della zona piuttosto che all'apice

zona 3. Entrambe le pressioni arteriosa e venosa superano la pressione alveolare. Il flusso sanguigno dipende dalla differenza tra la pressione arteriosa e quella venosa, che è costante in tutta la zona. Dato che la pressione arteriosa aumenta verso la parte inferiore della zona, la pressione transparietale diventa maggiore, i capillari si distendono e la resistenza al flusso cade

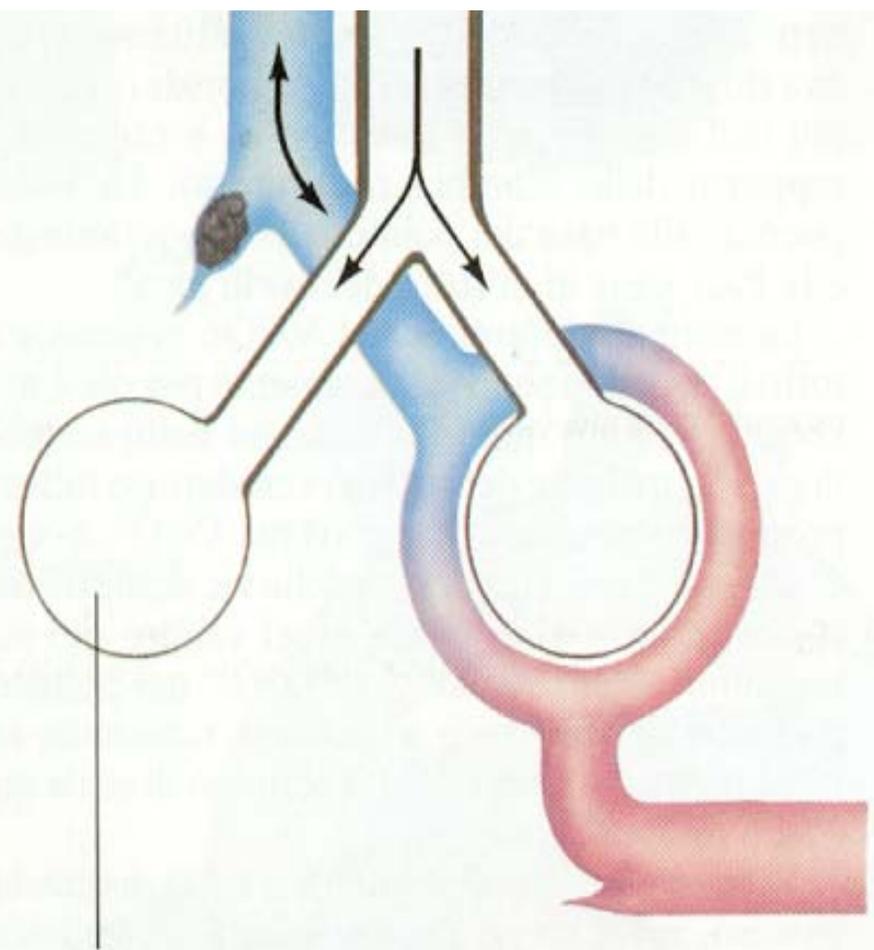


rapporti di ventilazione-perfusione (\dot{V}_A/\dot{Q}_C)

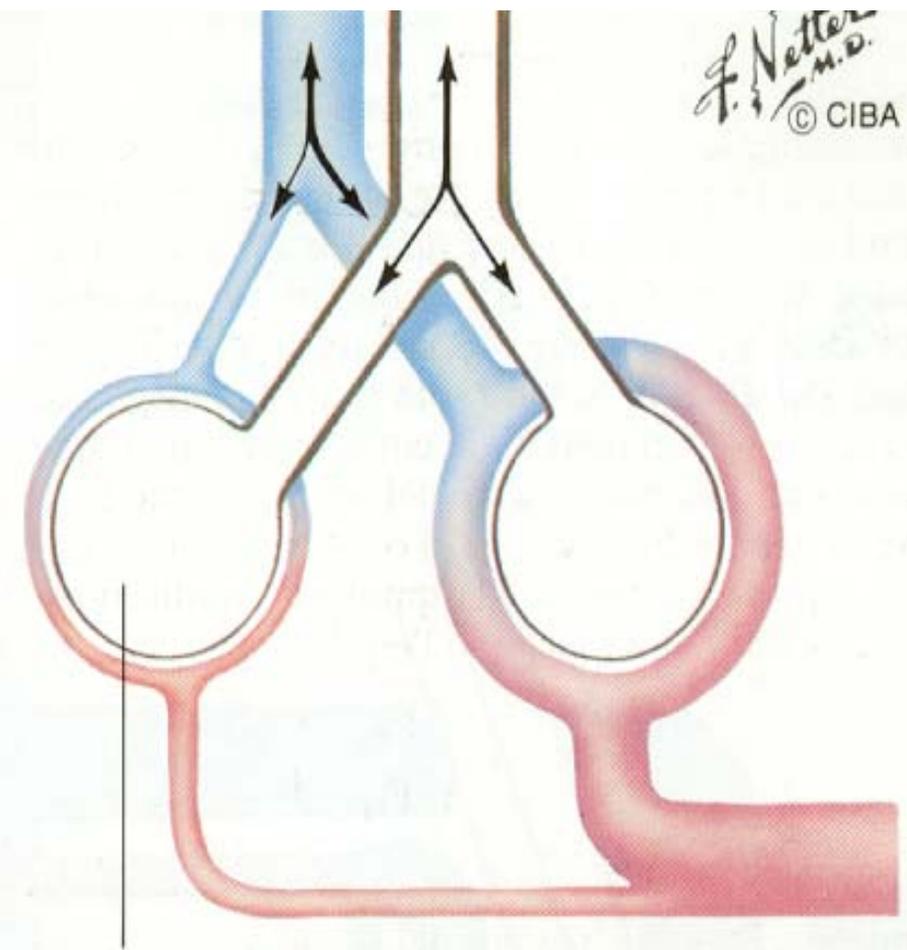
A. condizioni con rapporto basso di ventilazione-perfusione



F. Netter
M.D.
© CIBA



ventilazione normale, nessuna perfusione
(spazio morto fisiologico)



ventilazione normale, ipoperfusione

www.fisiokinesiterapia.biz

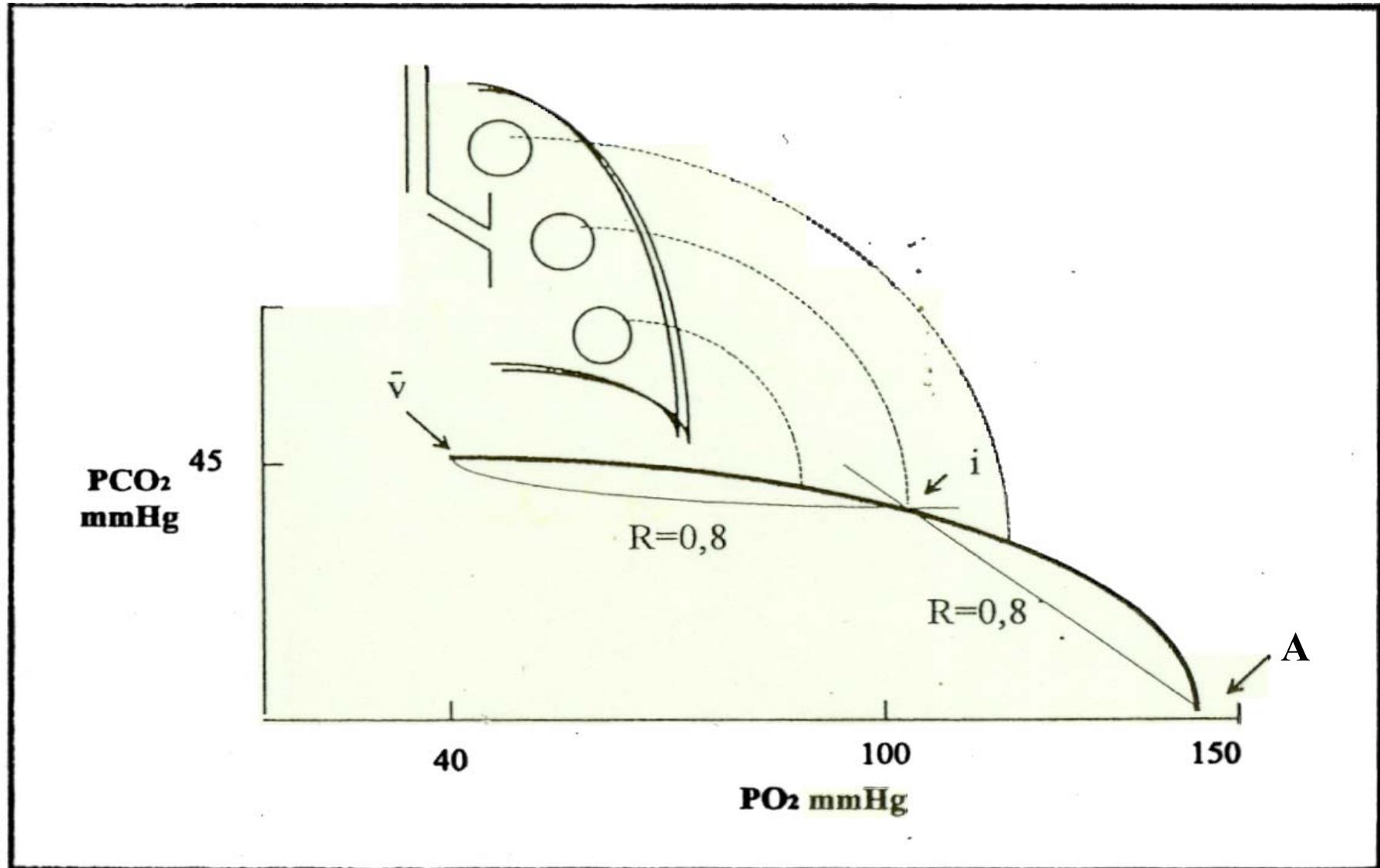
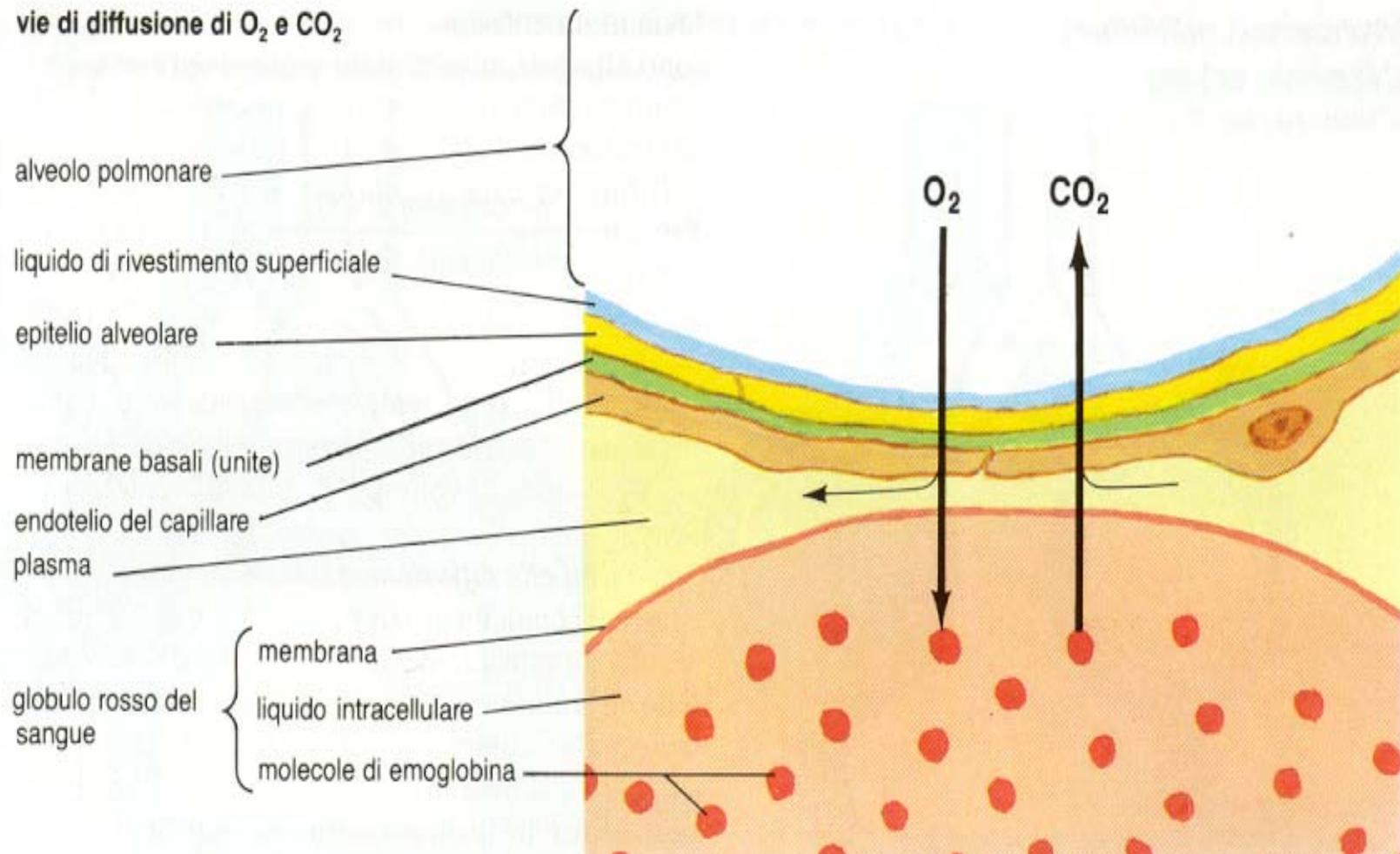


Fig. 3 - Diagramma O_2 - CO_2 e comportamento funzionale delle unità polmonari in rapporto al loro livello topografico.

Diffusione: componente di membrana ed endovascolare



Capacità di diffusione di membrana

$$D = d \alpha F/L \quad \text{dove}$$

d = coefficiente di diffusione del gas

α = coefficiente di solubilità del gas

F = superficie di scambio

L = spessore della membrana

**Capacità di diffusione per l'ossigeno (DLO_2)
e per l'ossido di carbonio ($DLCO$)**

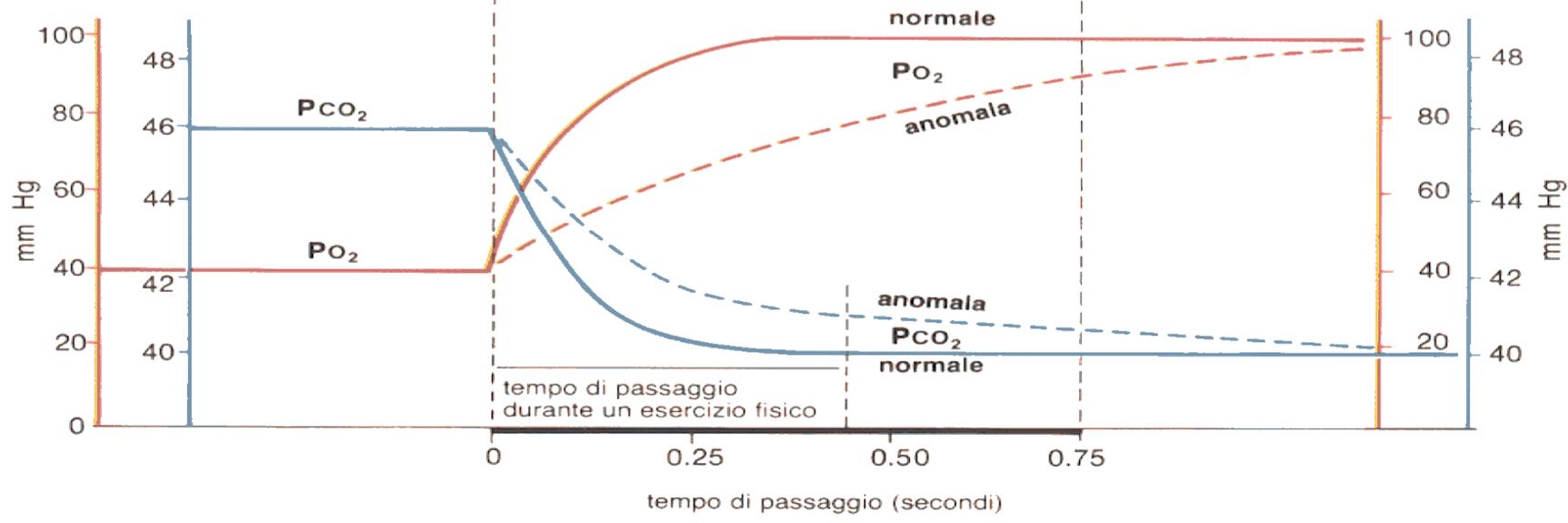
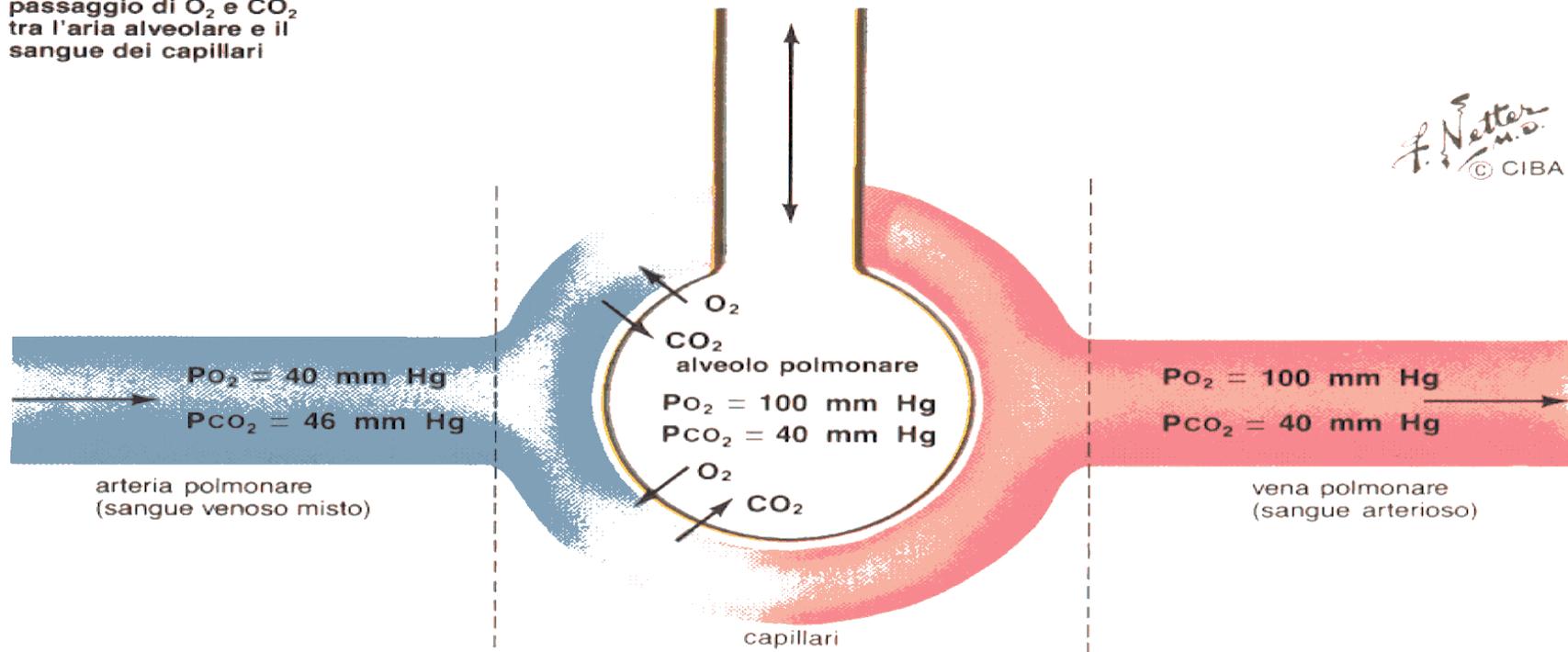
$$DLO_2 = VO_2 / PAO_2 - PcO_2$$

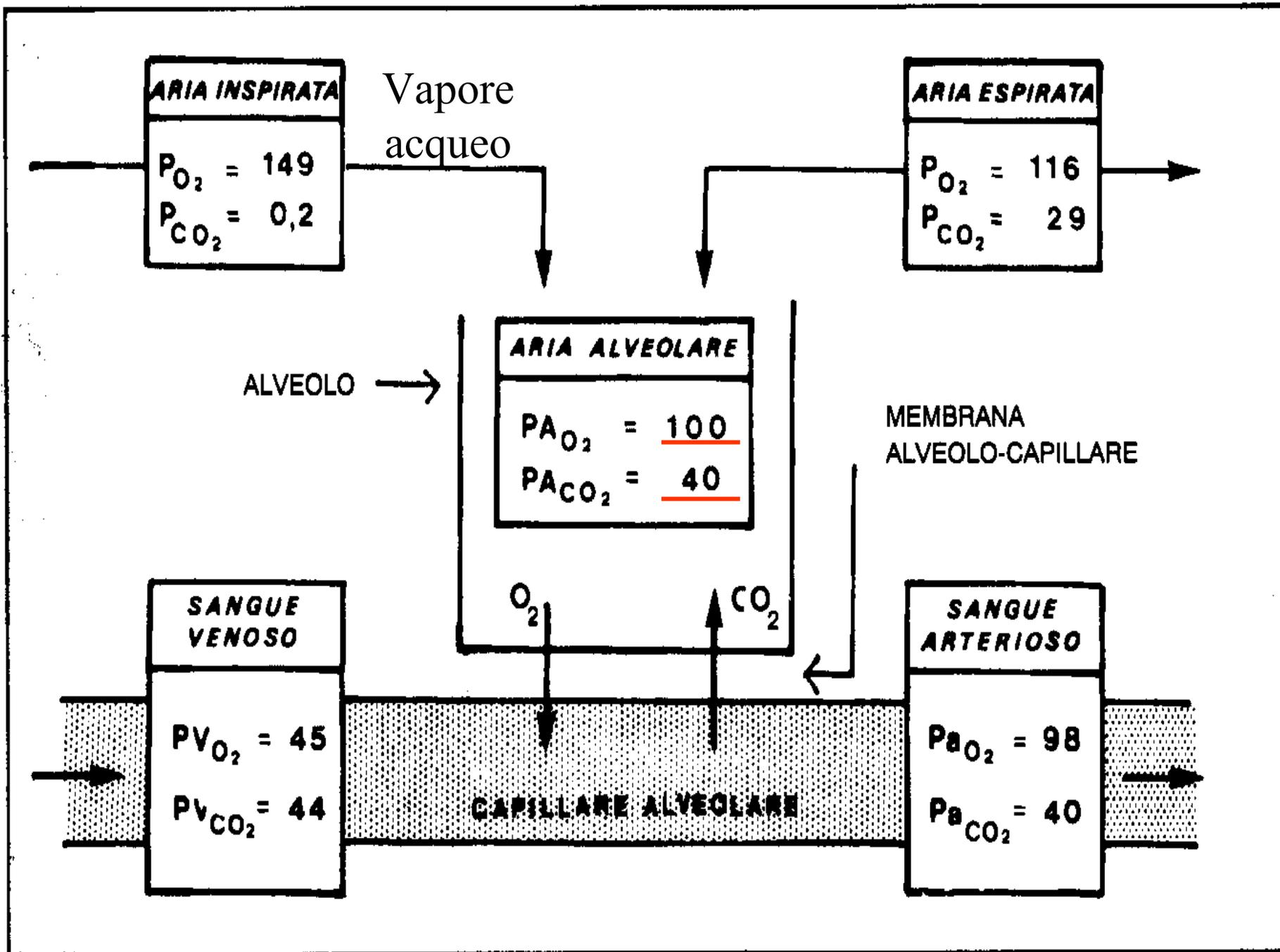
$$DLCO = VCO / PACO - PcCO$$

$$DLCO = VCO / PACO$$

passaggio di O₂ e CO₂ tra l'aria alveolare e il sangue dei capillari

PO₂ = 150 mm Hg } aria atmosferica all'apertura delle vie aeree
 PCO₂ = 0 mm Hg }





L'equazione del gas alveolare

$$PAO_2 = PIO_2 - PH_2O - (PACO_2 / R)$$

Dove R = rapporto di scambio respiratorio, il rapporto fra CO₂ emessa ed O₂ assunto (0.8).

$$PIO_2 = 20.9\% (P_{atm})$$

$$PH_2O = 47 \text{ mmHg}$$

$$PACO_2 = 40 \text{ mmHg}$$

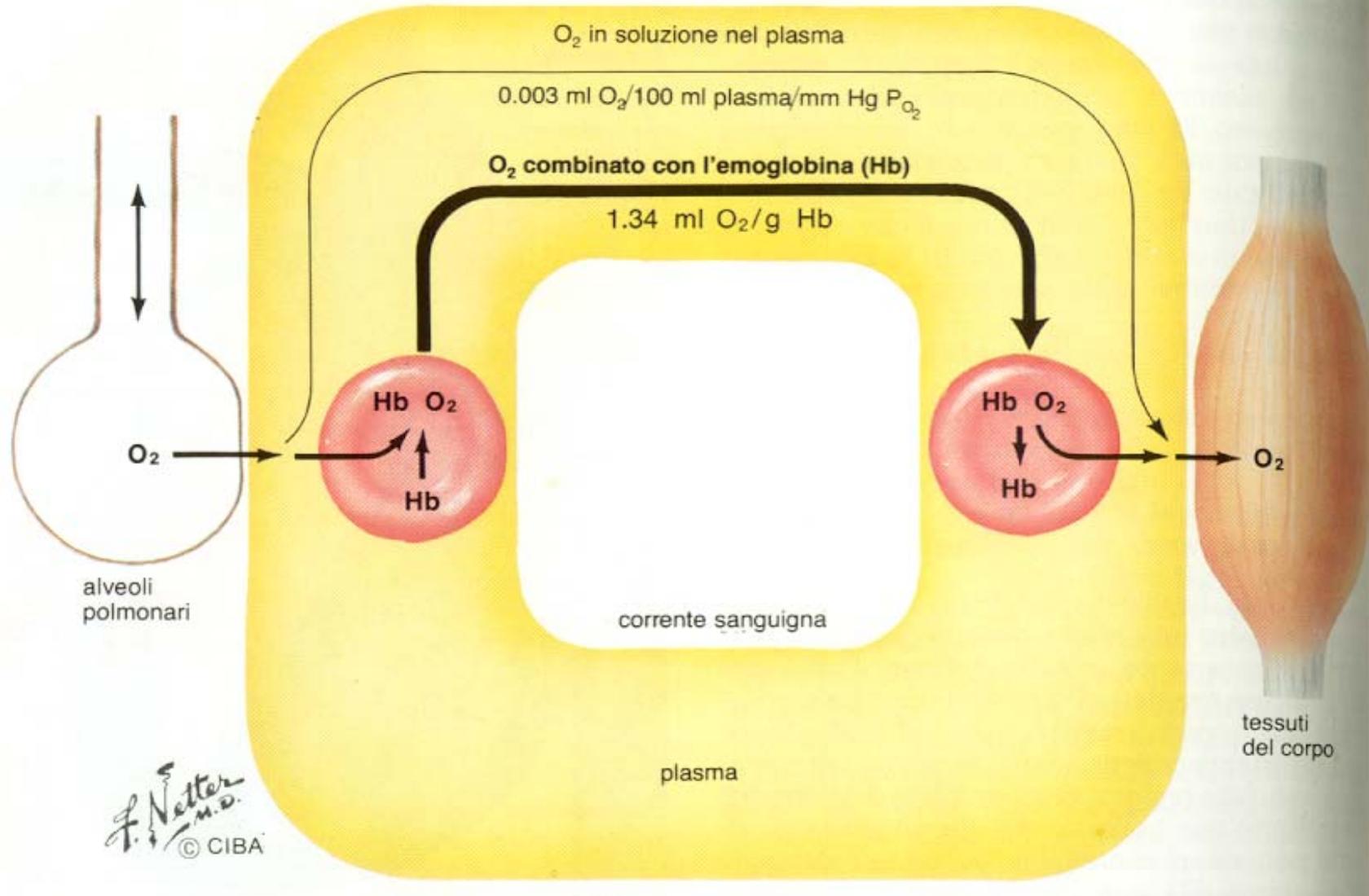
$$PAO_2 = 20.9\% (760 - 47 \text{ mmHg}) = 150 \text{ mmHg}$$

$$PAO_2 = 150 \text{ mmHg} - PACO_2 / 0.8$$

$$PAO_2 = 150 - (40 / 0.8) \text{ mmHg}$$

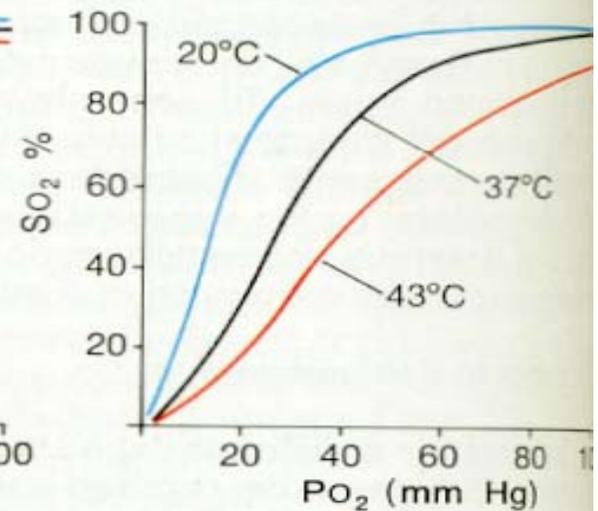
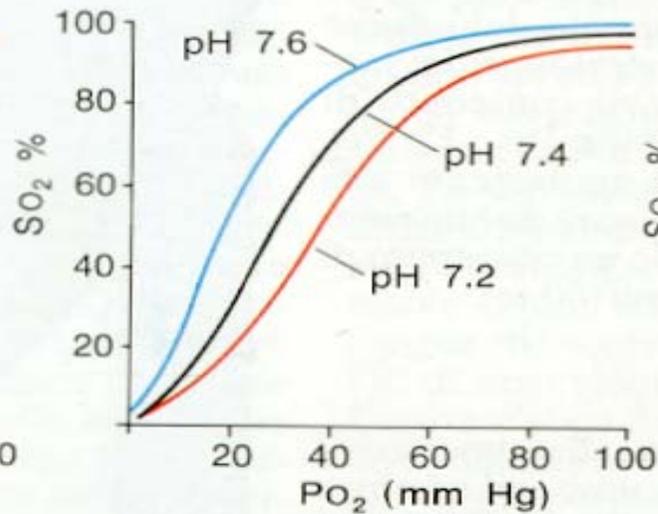
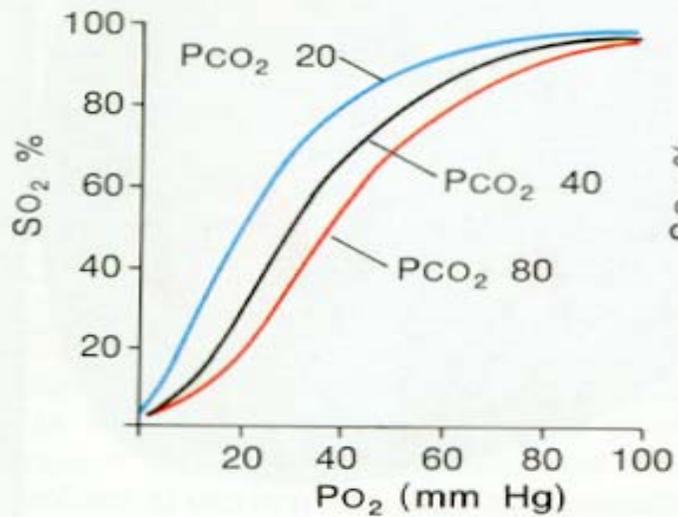
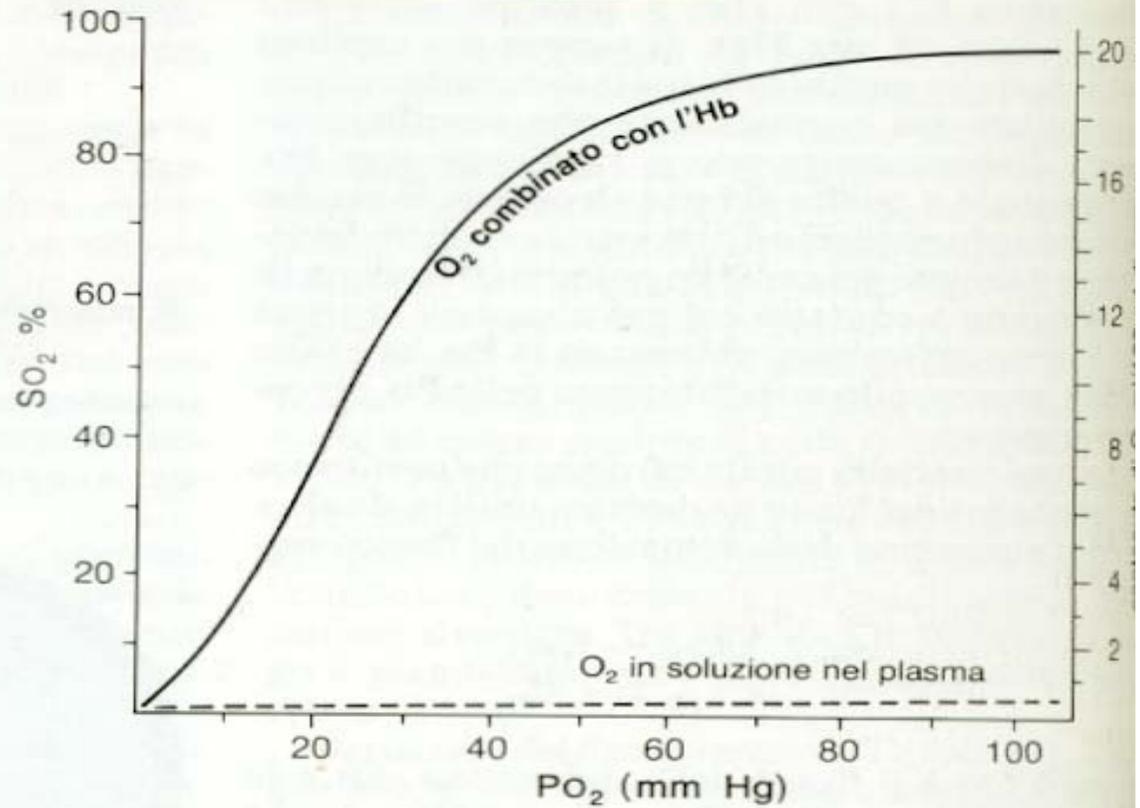
$$PAO_2 = 150 - 50 = \mathbf{100 \text{ mmHg}}$$

trasporto dell'ossigeno

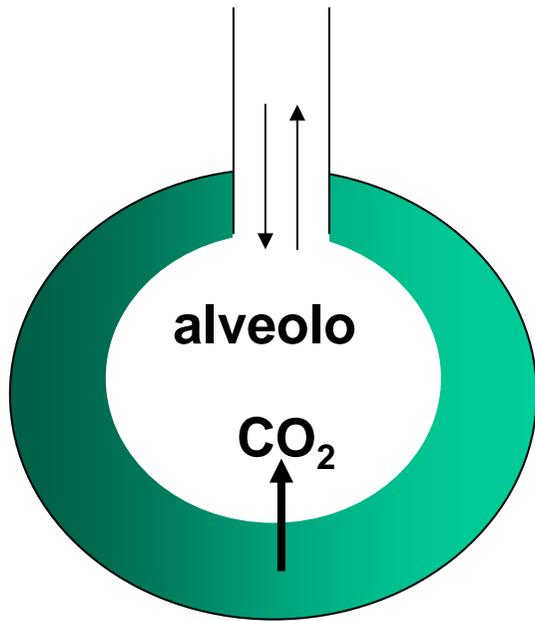


**curva di dissociazione dell'ossiemoglobina
(a pH 7,4, P_{CO_2} 40 mm Hg, 37°C)**

la parte piatta, superiore della curva permette che la saturazione dell'Hb resti relativamente costante durante considerevoli mutamenti della P_{O_2} . A bassi livelli della P_{O_2} , in cui la curva è ripida, piccoli cambiamenti nella P_{O_2} danno luogo a marcati cambiamenti di saturazione. L'aumentata P_{CO_2} , il diminuito pH e l'accresciuta temperatura deviano la curva verso destra e facilitano la liberazione di O_2 ai tessuti. Opposti cambiamenti nella P_{CO_2} , nel pH e nella temperatura deviano la curva verso sinistra

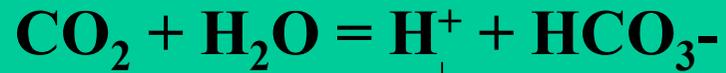


effetti della P_{CO_2} , del pH e della temperatura sulla curva di dissociazione dell' O_2



L'alveolo non riesce a eliminare tutta la CO₂

Aumenta la CO₂
nel sangue arterioso



Aumentano gli H⁺
e diminuisce il pH

Acidosi

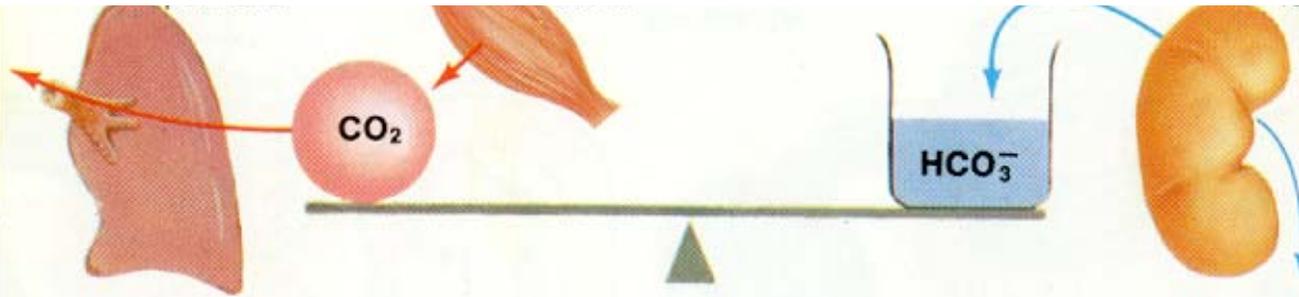
Il rene trattiene HCO₃⁻
e riporta il pH nella norma
OCCORRONO 3-4 giorni

Calcolo del pH

$$\text{pH} = \text{pK} + \text{Log} \frac{(\text{HCO}_3^-)}{(\text{H}_2\text{CO}_3)} = \frac{\text{CO}_2 \text{ combinato}}{\text{CO}_2 \text{ libero}}$$

$$\text{pH} = 6.1 + \text{Log} \frac{25}{1.25} = 6.1 + 1.3 = 7.4$$

equilibrio
acido-basico



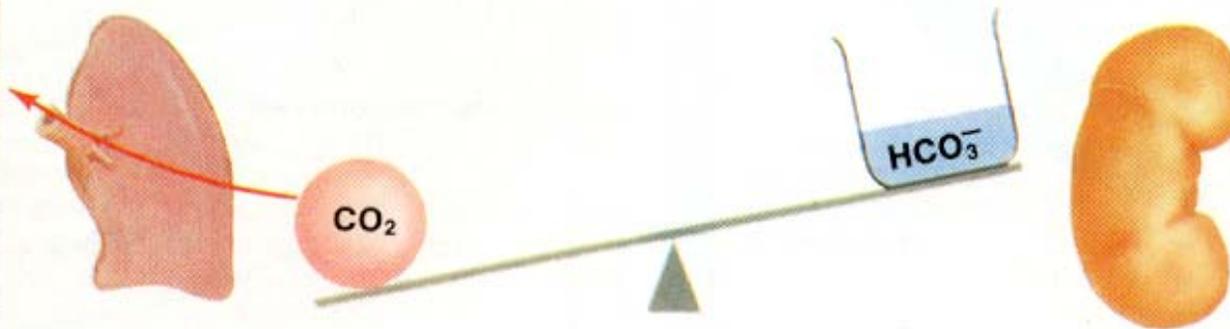
F. Netter
M.D.
© CIBA

respiratoria

- malattie polmonari
- sedativi
- disordini neuro-muscolari
- lesioni cerebrali



acidosi



metabolica

- per aumento di acidi:
diabete
uremia
acidosi lattica
- per perdita di basi:
diarrea

1-
i-
2,
0
0

r-
o-
di
d

si-
li-
lo-
n-
il-
si-
t-
I-
r-
te-
i-
o-
r-
ie-
è-
te-
se-
i-
o-
ta-
s-
a-
il-
r-

alcalosi

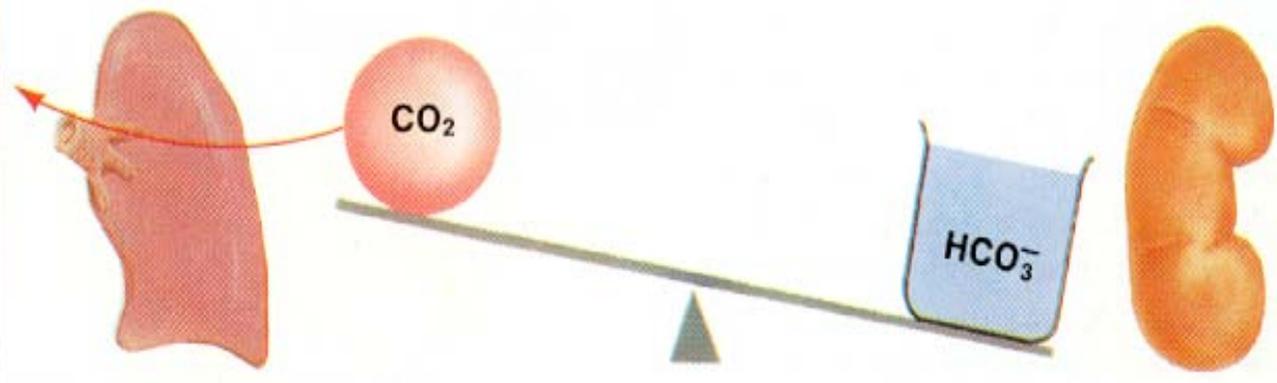
respiratoria

- iperventilazione
- febbre
- ansietà
- disturbi cerebrali



metabolica

- per aumento di basi:
ingestione di alcali
- per perdita di acidi:
diuretici
vomito
lavanda gastrica



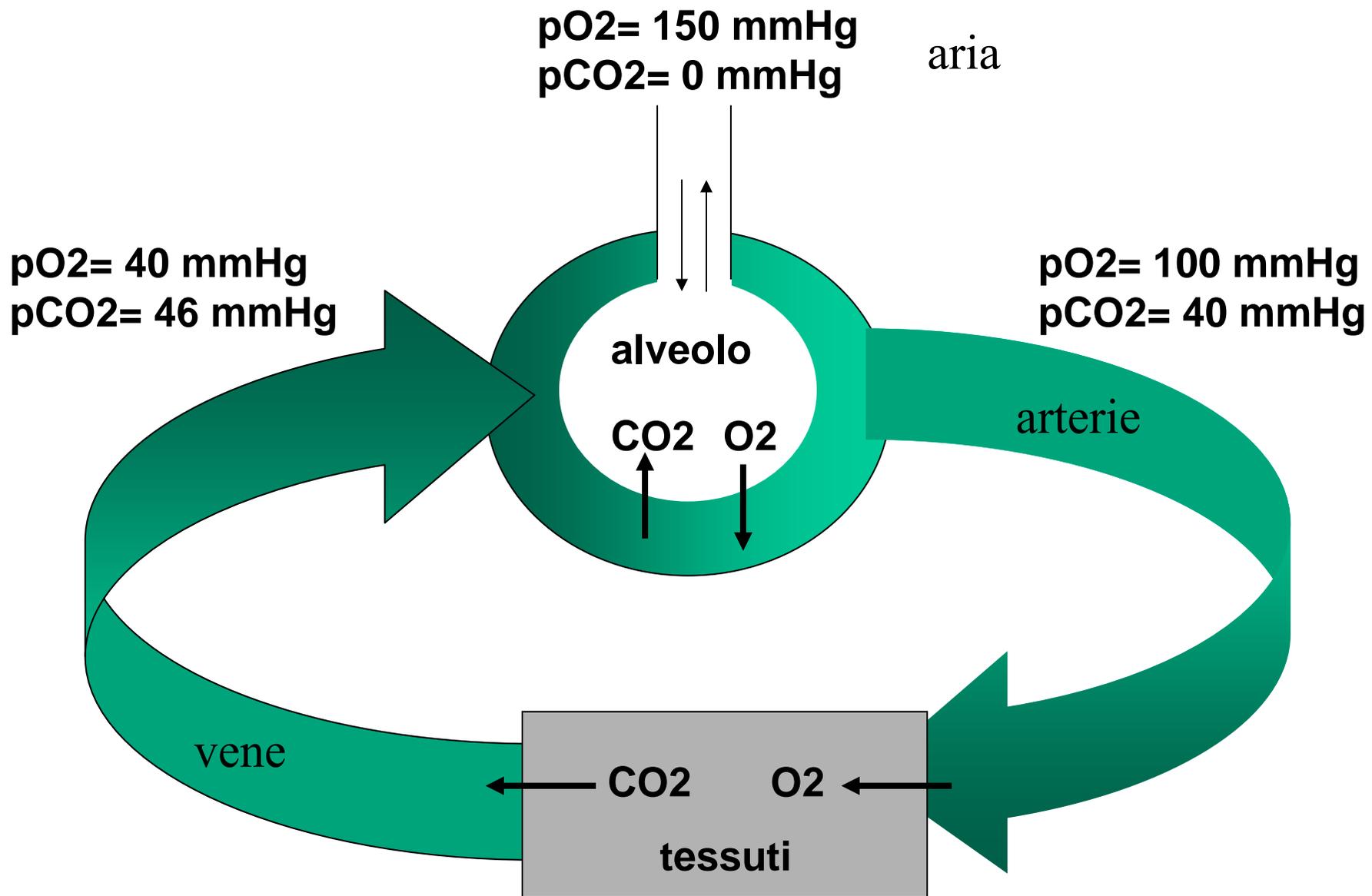


Figura 9