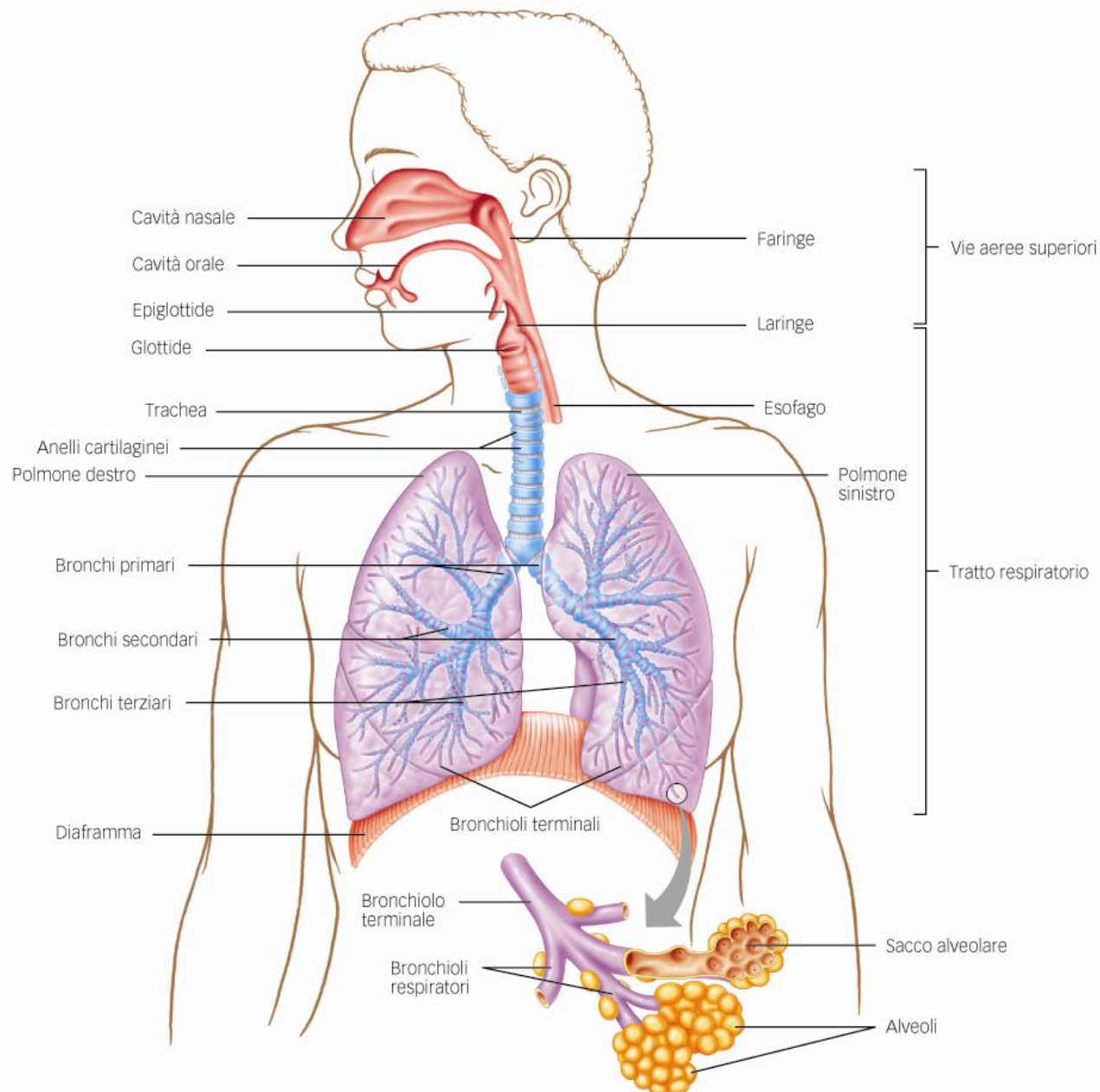
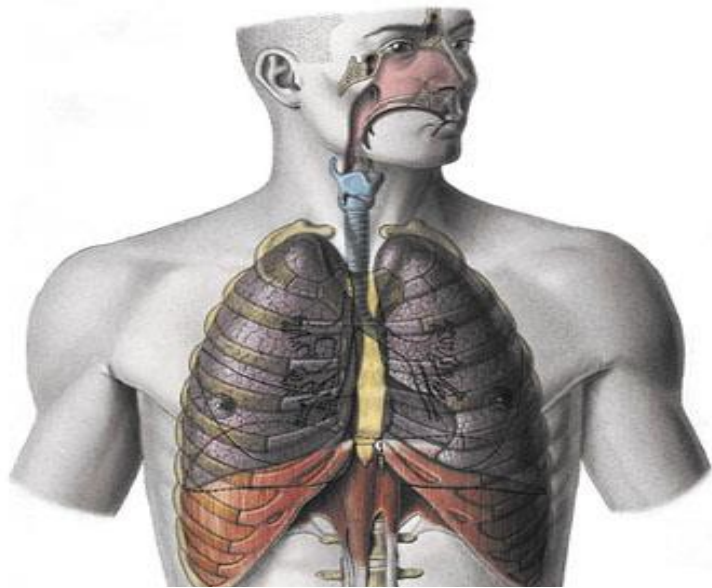


MECCANICA DELLA VENTILAZIONE POLMONARE

Anatomia delle vie respiratorie



Anatomia funzionale delle vie respiratorie

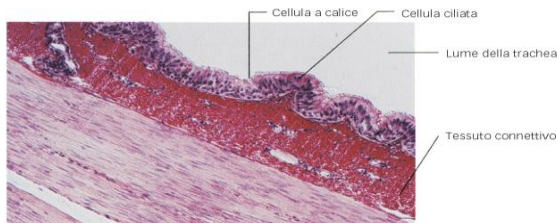


+ NASO

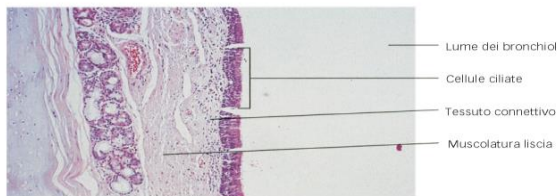
- + Membrana mucosa vascolarizzata (setto nasale e conche)
- + Epitelio colonnare ciliato con cellule caliciformi
- + Ghiandole mucose e sierose (lamina propria)

+ VIE AEREE

- + Supporto cartilagineo
- + Epitelio mucoso ciliato
- + Muscolatura bronchiale



(a)

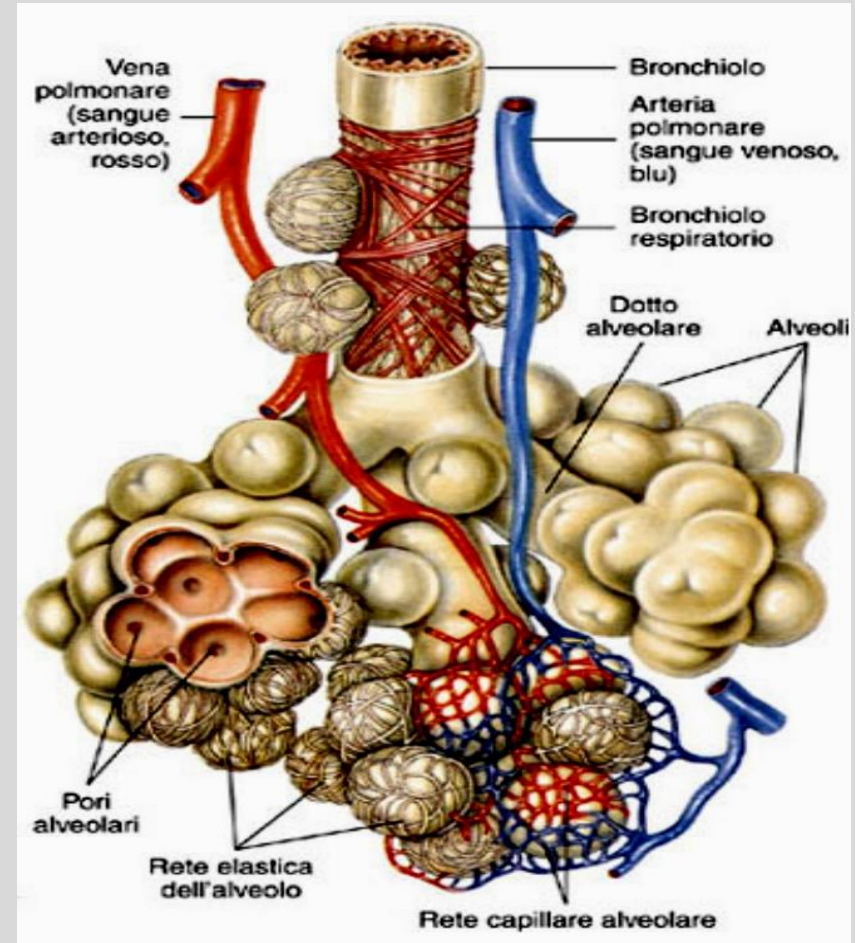
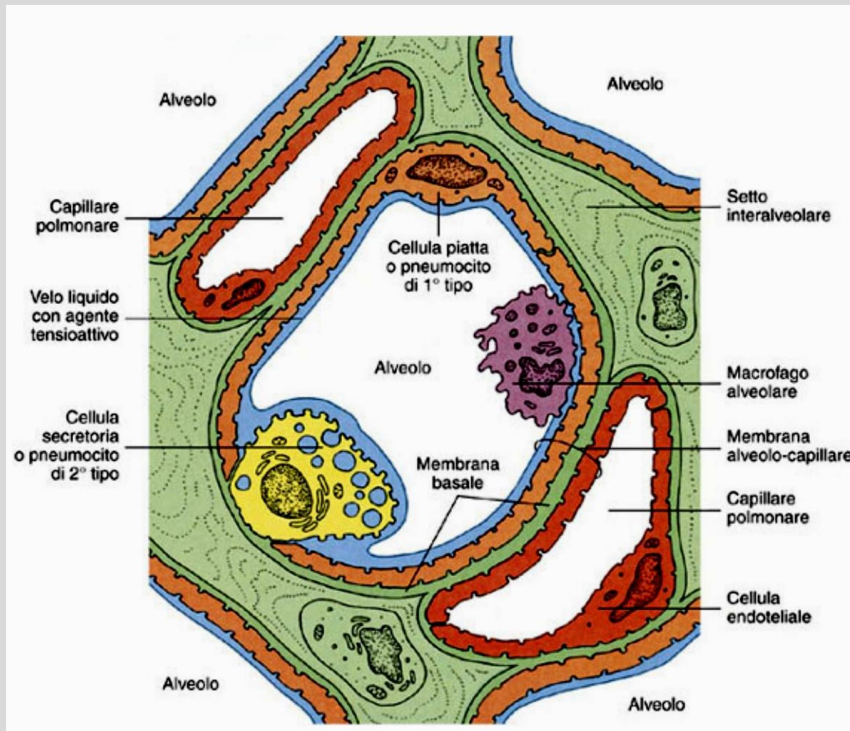


(b)

Anatomia funzionale delle vie respiratorie

MEMBRANA RESPIRATORIA (Spessore: ca 0.7μ ; Area: ca 70 m^2)

- Strato liquido contenente surfactant
- Epitelio alveolare
- Tessuto connettivo
- Membrana basale dei capillari
- Endotelio capillare



Funzioni delle vie aeree superiori

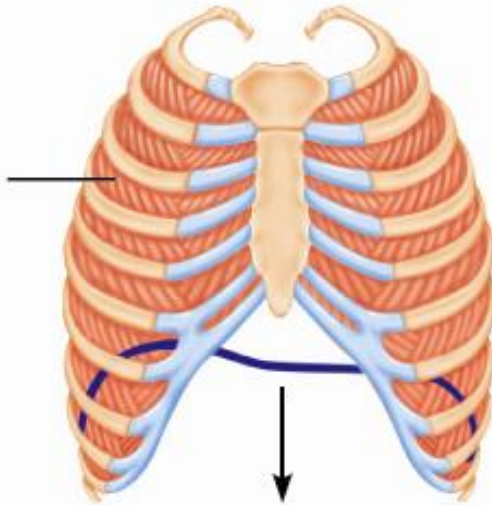
Le vie aeree superiori hanno la funzione di trasportare l'aria agli alveoli e condizionarla per ottimizzare gli scambi; la superficie di scambio alveolare attua la diffusione dei gas respiratori tra aria e sangue

- CONDUZIONE
- CONDIZIONAMENTO DELL'ARIA
 - Riscaldamento
 - Umidificazione
 - Depurazione

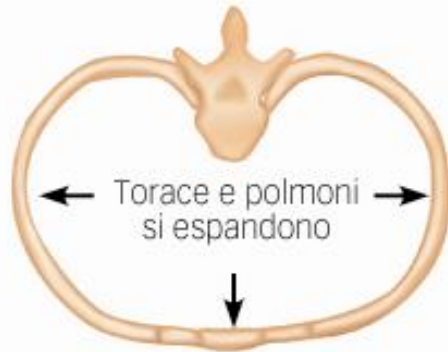
Inspirazione

Inspirazione

Gli intercostali
esterni
si contraggono



Il diaframma si contrae



Torace e polmoni
si espandono

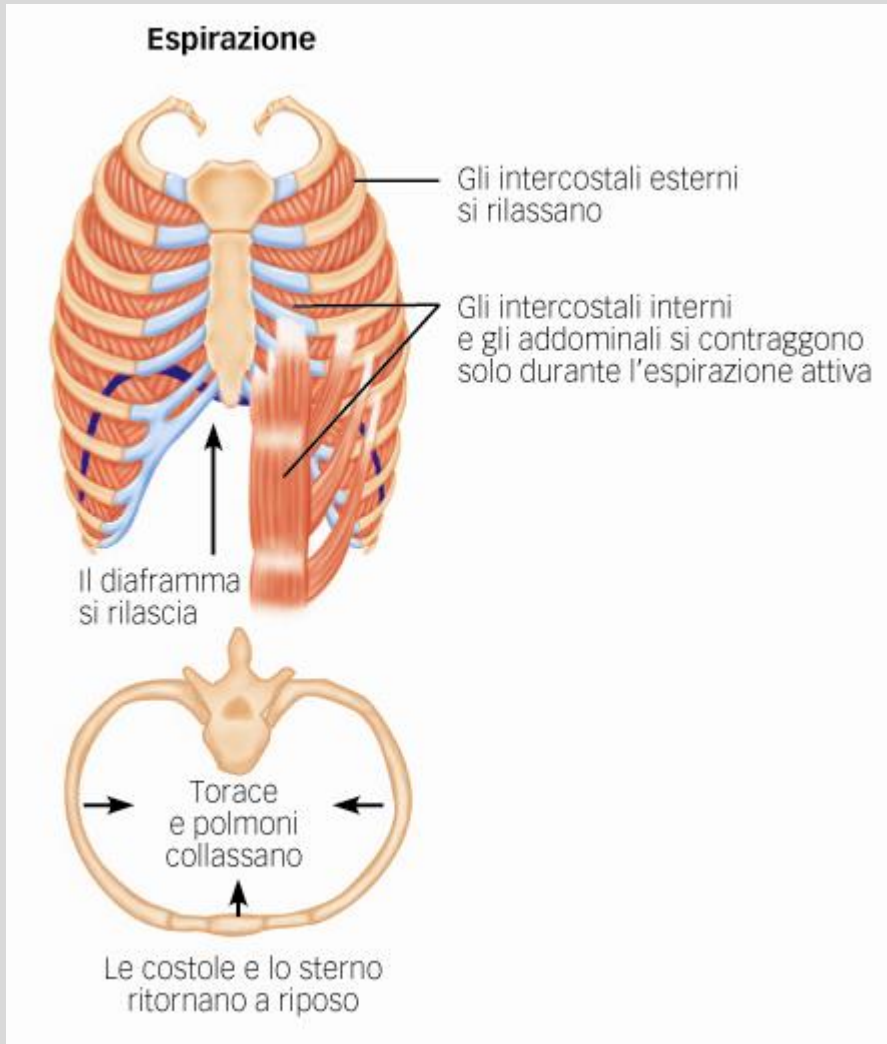
La rotazione delle costole
sposta lo sterno verso
l'alto e verso l'esterno

(b)

L'inspirazione è un processo attivo, nel quale i muscoli della gabbia toracica aumentano il volume polmonare per abbassamento del diaframma, sollevamento e rotazione delle costole e spostamento in avanti dello sterno.

- INSPIRAZIONE (Sempre attiva)
 - Espansione del torace per aumento dei suoi diametri:
 - Verticale
 - Trasverso
 - Antero-posteriore

Espirazione



L'espiazione è un processo passivo dovuto alle forze elastiche del sistema toraco-polmonare

- **ESPIRAZIONE**
(A riposo: passiva. Forzata: attiva)
- Riduzione di volume del torace con meccanismo inverso a quello dell'inspirazione

Meccanismo di espansione del torace

Variazioni del
diametro laterale

Inspirazione

Espirazione

Espirazione

Inspirazione

Variazioni del
diametro A-P

Inspirazione

Espirazione

Espirazione

Inspirazione

Variazioni del
diametro verticale

- IN BASSO

- Abbassamento del diaframma

- LATERALMENTE

- Innalzamento delle costole

- IN AVANTI

- Innalzamento delle costole

- Avanzamento dello sterno

- MECCANISMO DIAFRAMMATICO

- La contrazione del diaframma determina:

- Aumento del diametro verticale
 - Aumento del diametro trasversale

- MECCANISMO COSTALE

- L'innalzamento delle costole determina:

- Aumento del diametro trasverso per:
 - Articolazione costo-vertebrale e costo-sternale (meccanismo a "manico di secchio")
 - Aumento del diametro antero-posteriore per:
 - Articolazione costo-vertebrale
 - Avanzamento dello sterno per la differente lunghezza delle costole

Muscoli respiratori

INSPIRATORI

PRINCIPALI

Diaframma

Intercostali esterni

ACCESSORI

Scaleni

Sterno-cleido-mastoideo

Piccolo pettorale

Grande pettorale

Trapezio

Dentati

ESPIRATORI

(solo accessori)

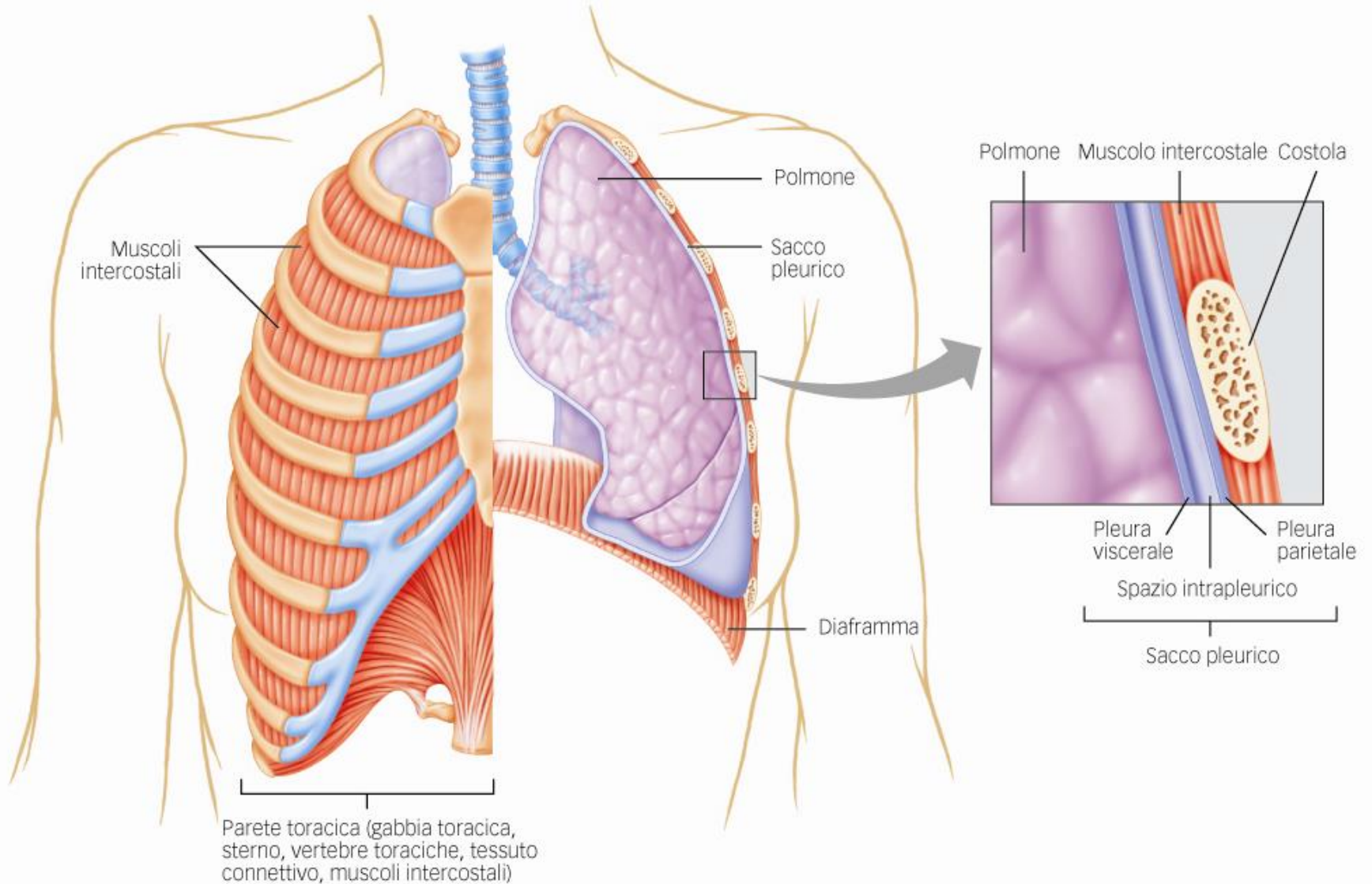
Intercostali interni

Retto addominale

Ileocostale

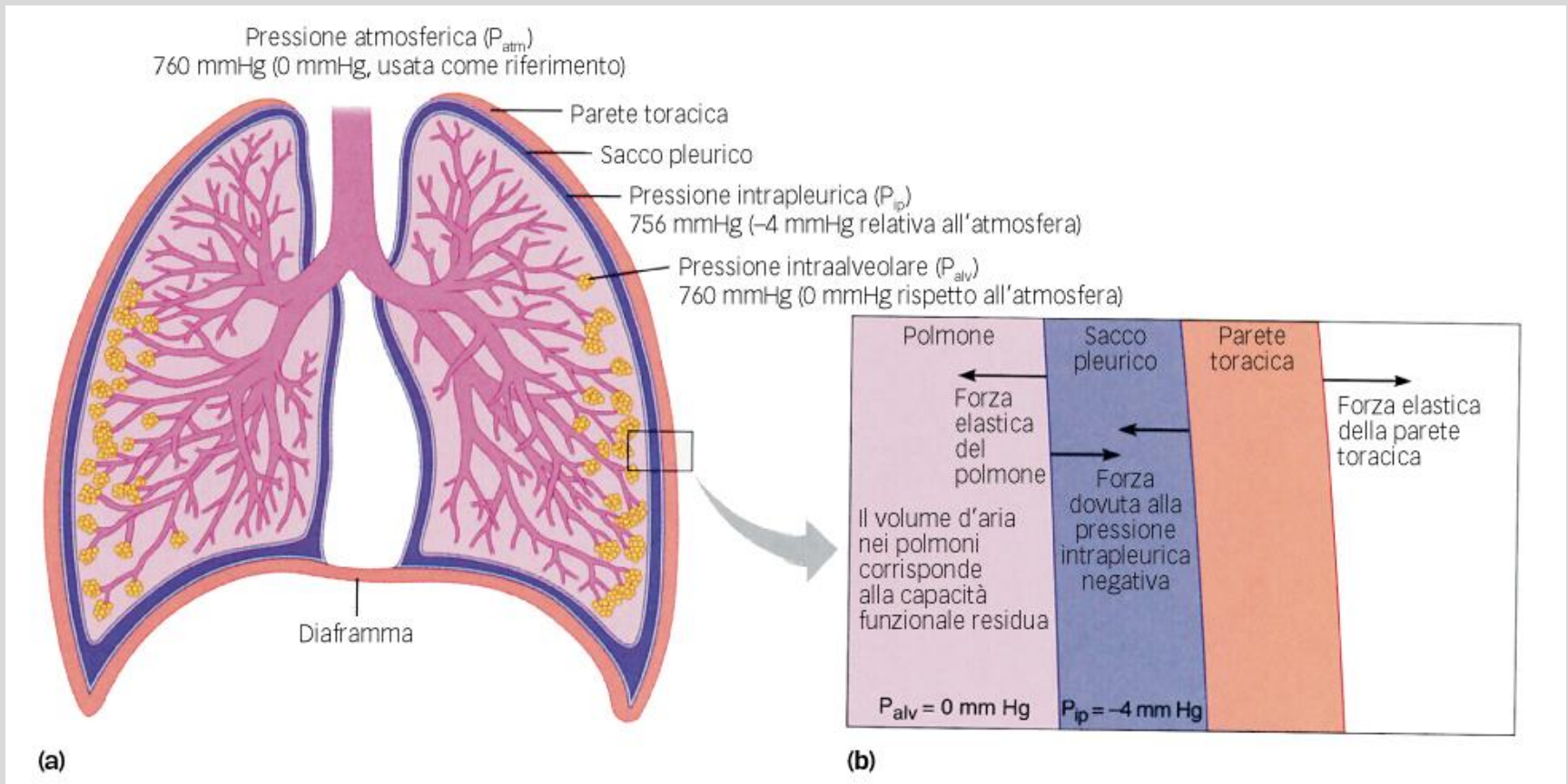
Quadrato dei lombi

Parete toracica e sacco pleurico

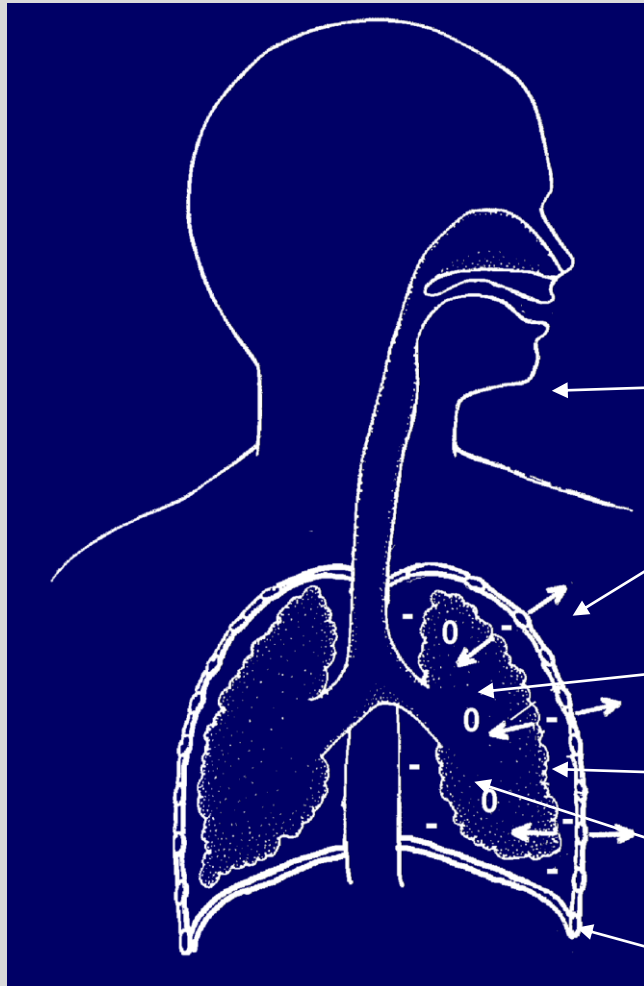


Origine della pressione pleurica

La pressione intratoracica ha un valore negativo, responsabile dell'adesione del polmone alla parete toracica.



Forze elastiche e pressioni a riposo



Flusso d'aria assente

Forza elastica del torace: uguale a quella del polmone

Forza elastica del polmone: uguale a quella del torace

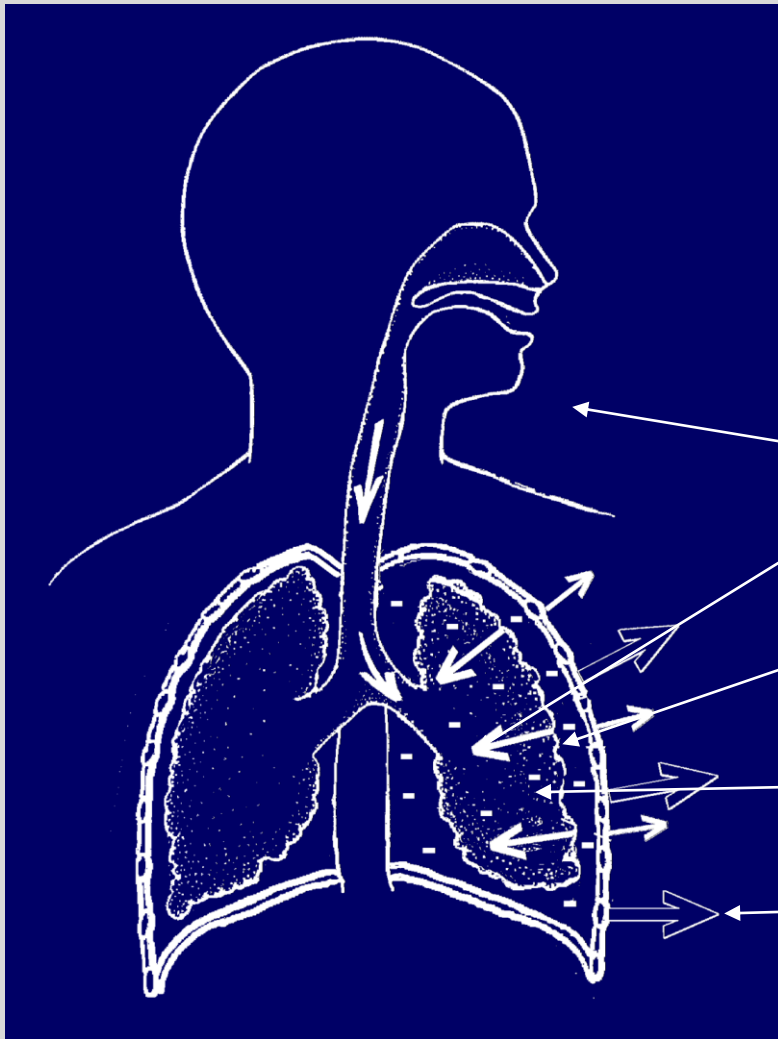
Pressione pleurica: subatmosferica

Pressione alveolare: atmosferica

Muscoli respiratori: a riposo

Forze e pressioni in inspirazione

La pressione intrapolmonare oscilla tra valori negativi e valori positivi determinando così i flussi d'aria.



Flusso d'aria verso i polmoni

Pressione alveolare subatmosferica

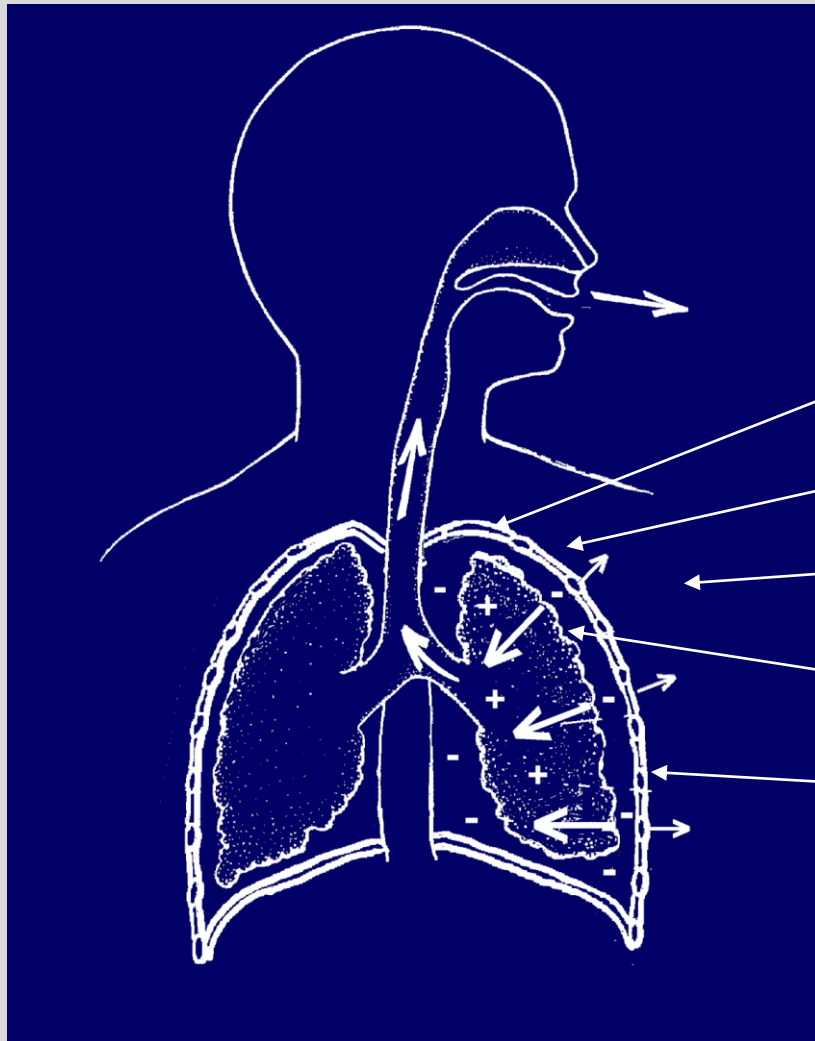
Pressione pleurica sempre più subatmosferica

Forza elastica del polmone vinta dalla contrazione muscolare

I muscoli inspiratori in contrazione espandono il torace

Forze e pressioni in espirazione

La pressione intrapolmonare oscilla tra valori negativi e valori positivi determinando così i flussi d'aria.



Flusso d'aria dai polmoni

Pressione alveolare positiva

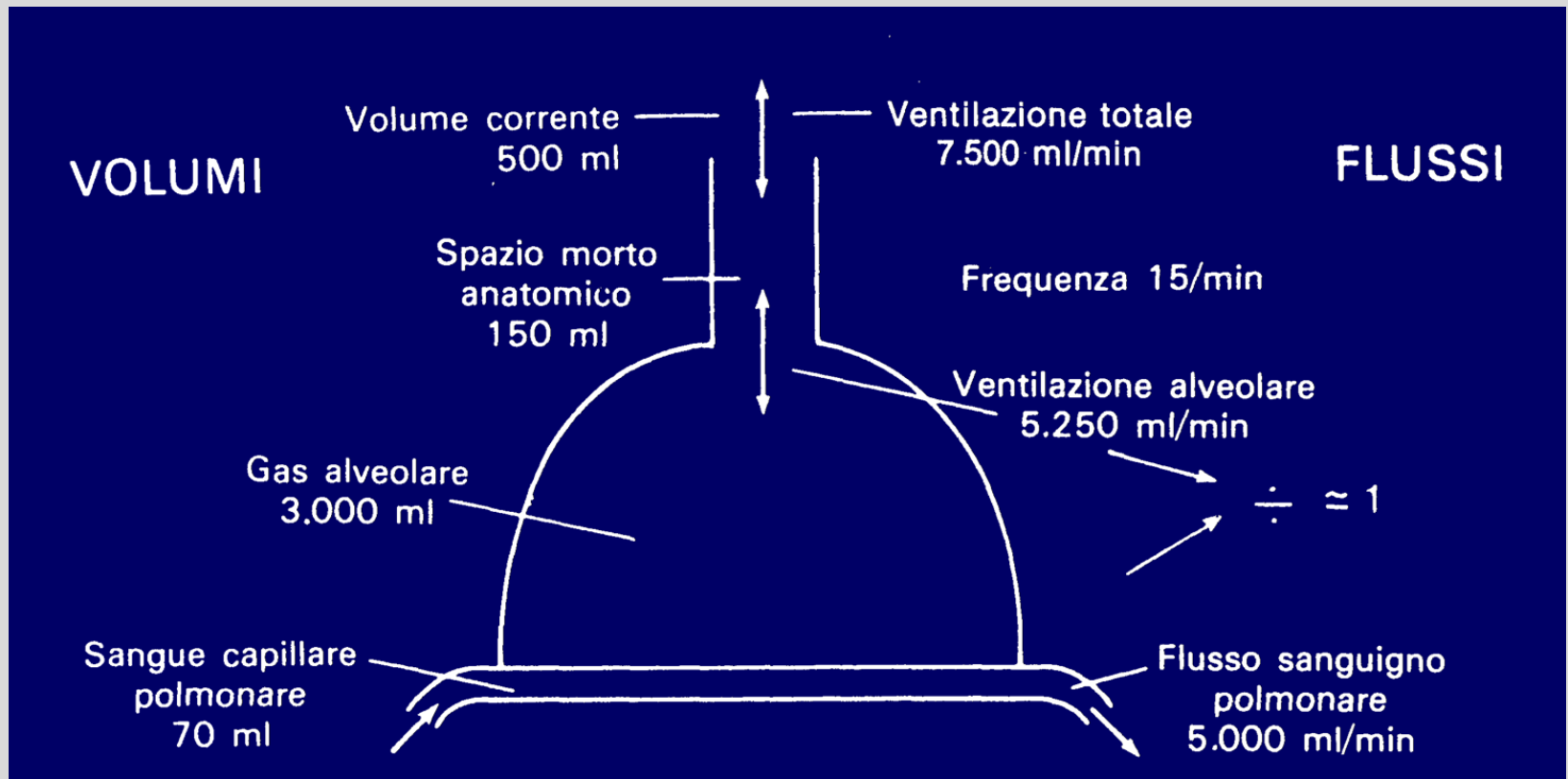
Pressione pleurica subatmosferica

Forza elastica del torace ridotta

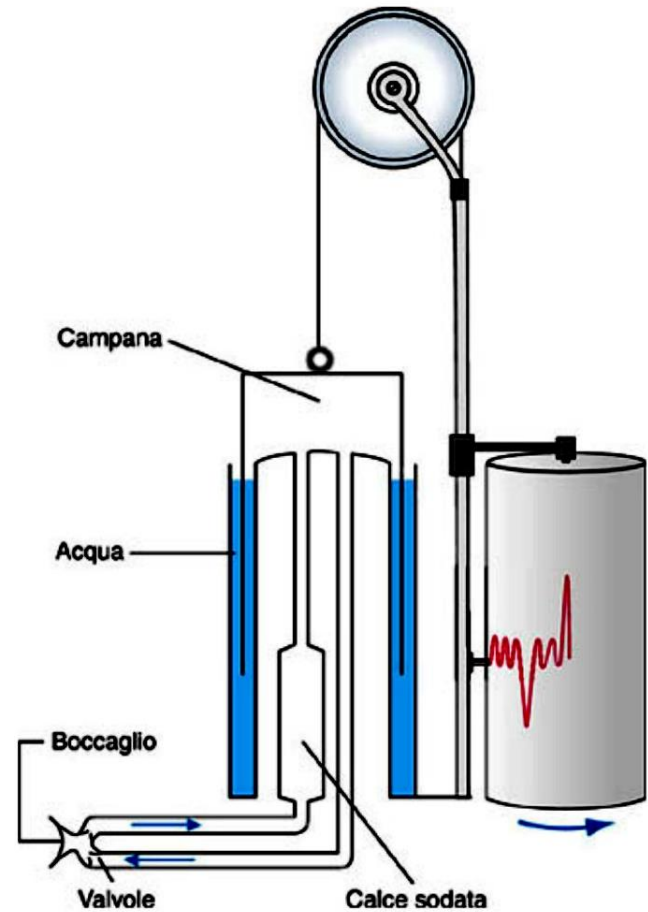
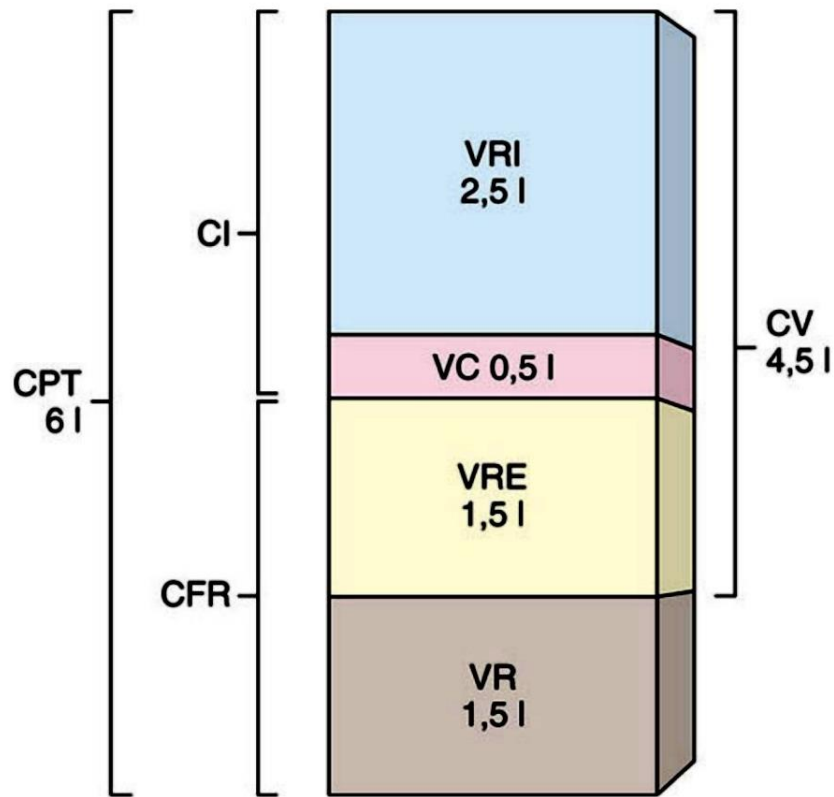
Forza elastica del polmone aumentata

Muscoli inspiratori rilasciati

Volumi e flussi polmonari

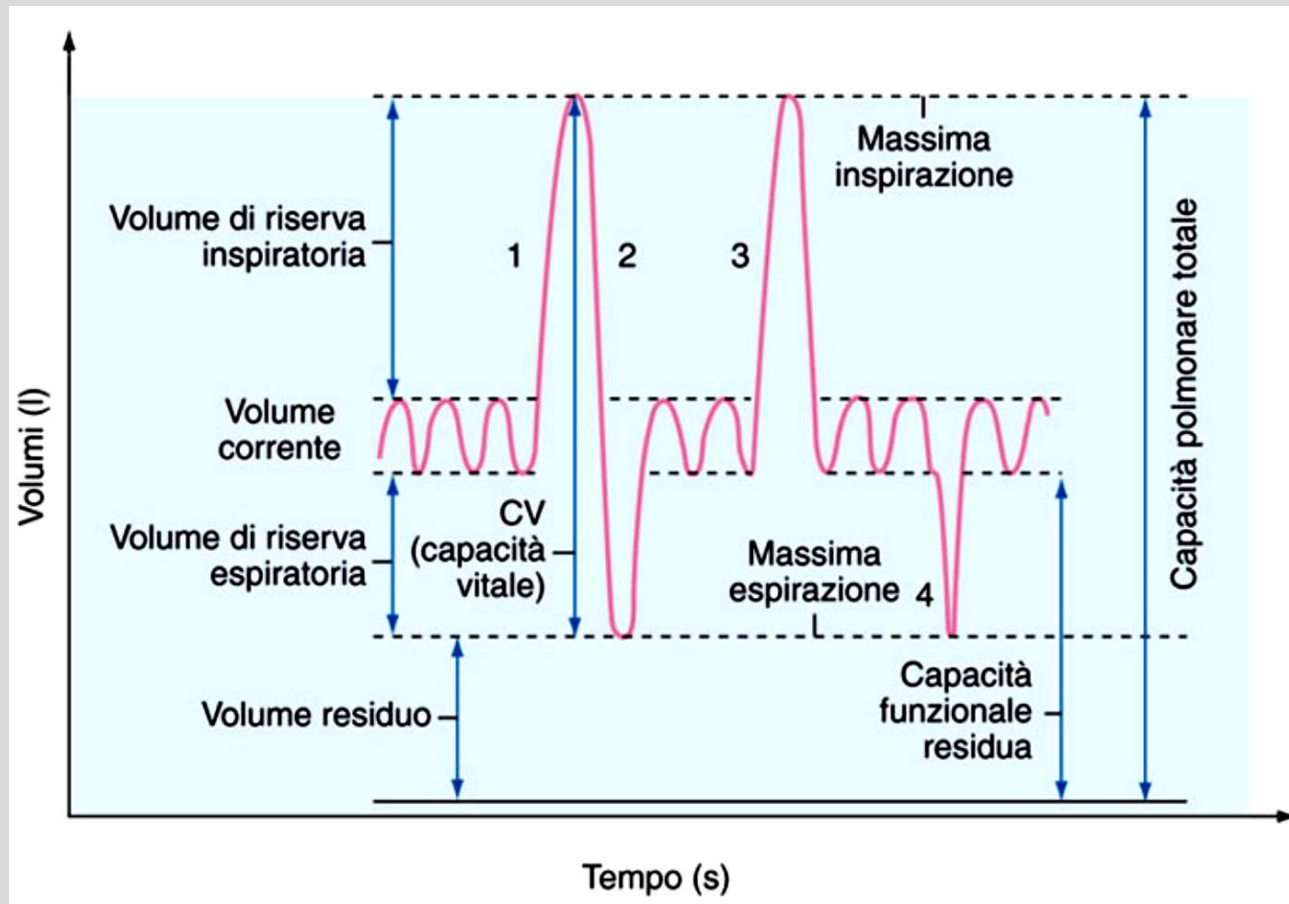


Spirometria



Spirogramma

Durante il respiro tranquillo il mantice toraco-polmonare scambia con l'esterno una quantità d'aria piccola relativamente alla sua capacità totale. I volumi di riserva permettono di incrementare notevolmente l'aria scambiata, per far fronte ad aumentate richieste dell'organismo



RESISTENZE STATICHE E DINAMICHE DELLE VIE AEREE

Pressioni respiratorie

Pressione alveolare: pressione dell'aria all'interno degli alveoli.

La differenza tra pressione alveolare e pressione atmosferica costituisce il gradiente di pressione che guida la ventilazione.

Compliance polmonare

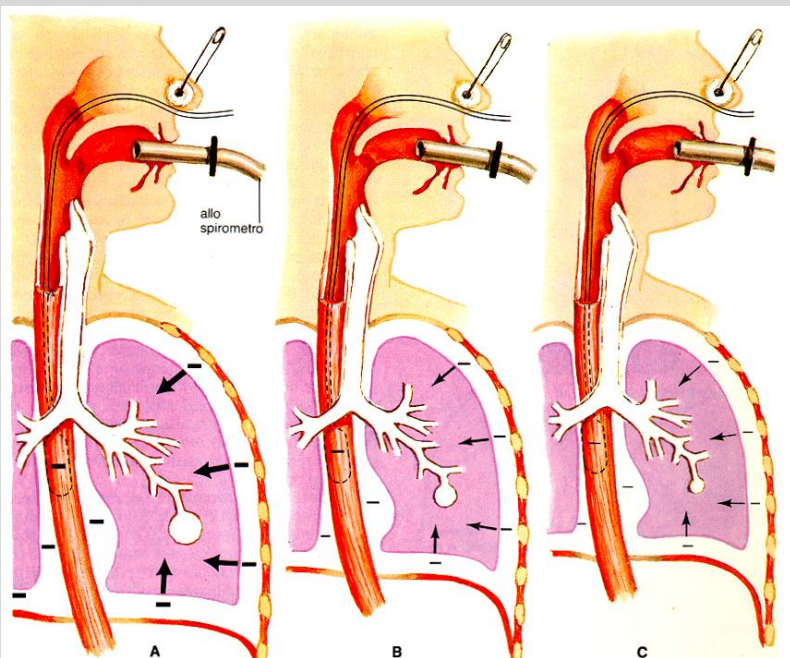
$$C = \Delta V / \Delta P$$

Dove ΔV è l'aumento del volume polmonare e ΔP è l'aumento della pressione transpolmonare

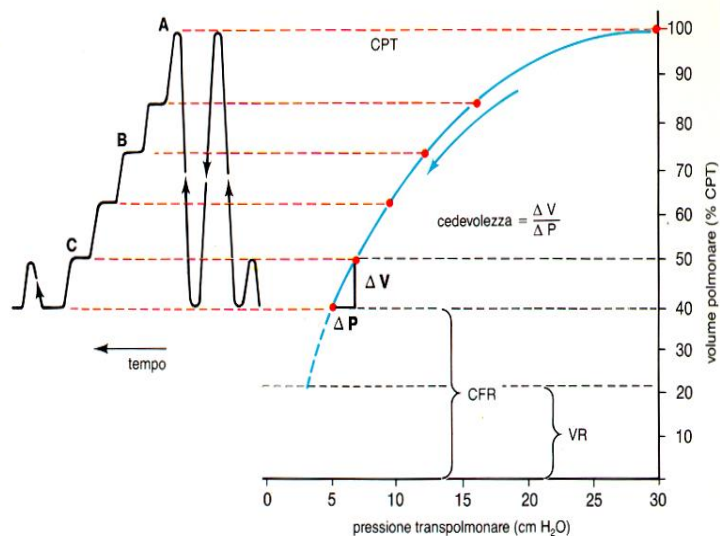
Valori fisiologici di compliance polmonare (l/cm H₂O)

Neonato	0,005
10 anni	0,06
Adulto	0,09 - 0,26

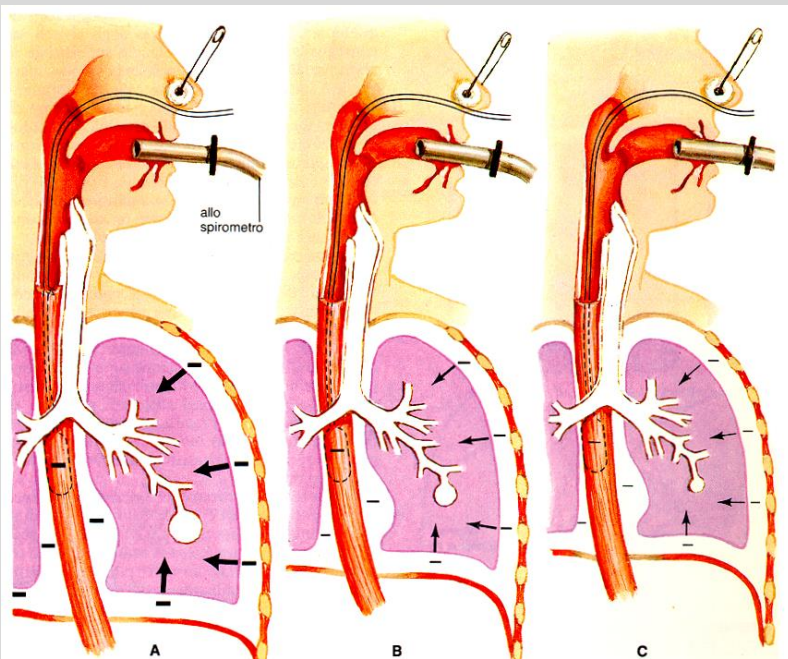
Curva di rilasciamento polmonare



Le curve di rilasciamento del polmone e della parete toracica sono ottenute mediante misurazioni dei volumi e delle pressioni respiratorie e indicano lo stato funzionale statico degli organi respiratori



Curva di rilasciamento polmonare

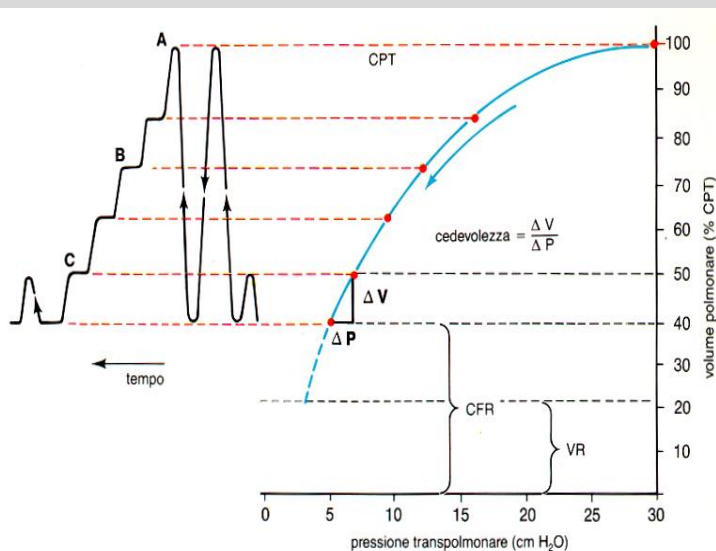


CONDIZIONI:

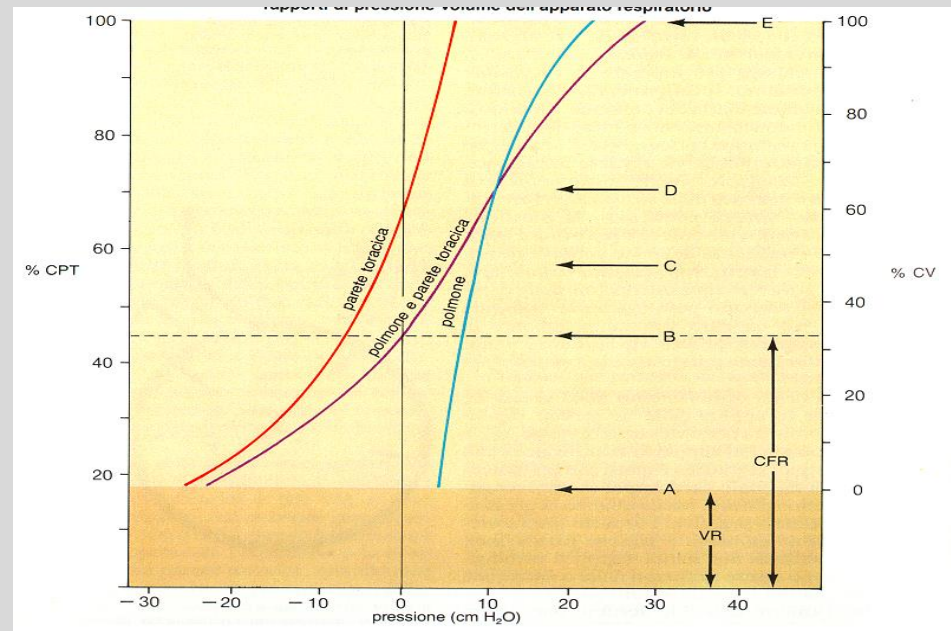
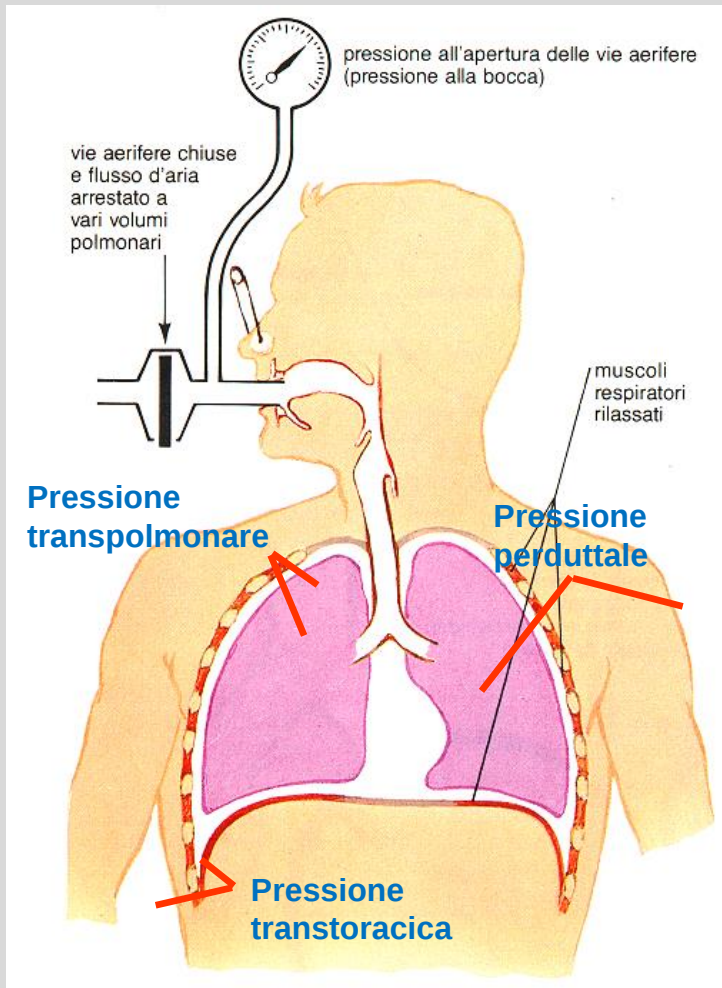
- Volume misurato mediante spirometro
- Pressioni misurate mediante:
 - P. alveolare: manometro alla bocca (tubo chiuso)
 - P. pleurica: sondino esofageo
 - P. atmosferica: manometro ambiente

METODO:

- Inspirazione profonda
- Espirazione con pause
- Per ciascuna pausa:
 - Rilasciamento dei muscoli respiratori a glottide aperta
 - Rilevamento del volume e delle pressioni

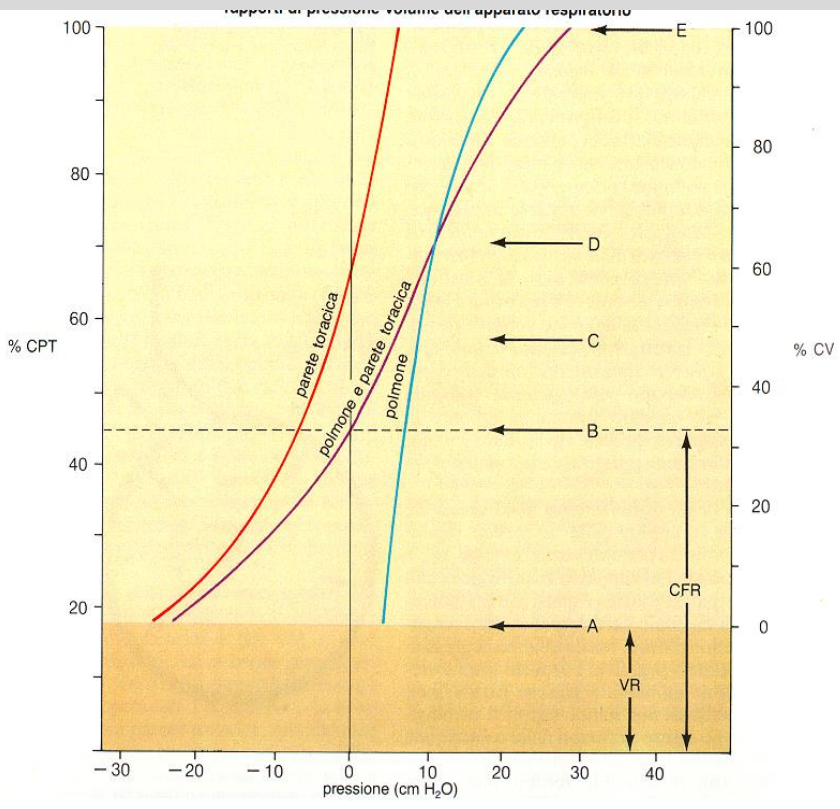


Misura delle diverse curve di compliance



- **Compliance polmonare**
Volume / Pressione **transpolmonare**
 $P. \text{ pleurica} - P. \text{ alv}$
- **Compliance toracica**
Volume / Pressione **transtoracica**
 $P. \text{ pleurica} - P. \text{ amb}$
- **Compliance toraco-polmonare**
Volume / Pressione **percuttate**
 $P. \text{ alveolare} - P. \text{ amb}$

Spiegazione delle curve di complianza

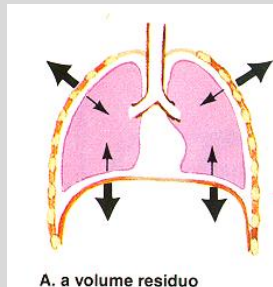


A. Volume residuo

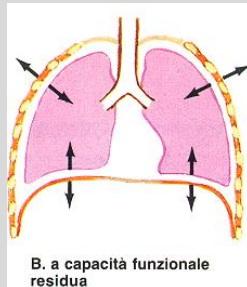
- Forze elastiche del torace: verso l'esterno, superiori a quelle del polmone
- Forze elastiche del polmone: verso l'interno, al loro minimo fisiologico
- Forze elastiche totali: verso l'esterno
- Comportamento passivo: **inspirazione**

B. Capacità funzionale residua

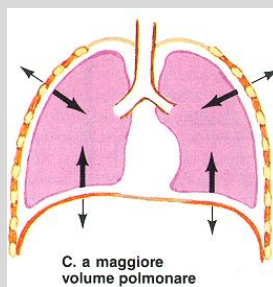
- Forze elastiche del torace: verso l'esterno, uguali a quelle del polmone
- Forze elastiche del polmone: verso l'interno, uguali a quelle del torace
- Forze elastiche totali = 0
- Comportamento passivo: **stasi**



A. a volume residuo



B. a capacità funzionale residua

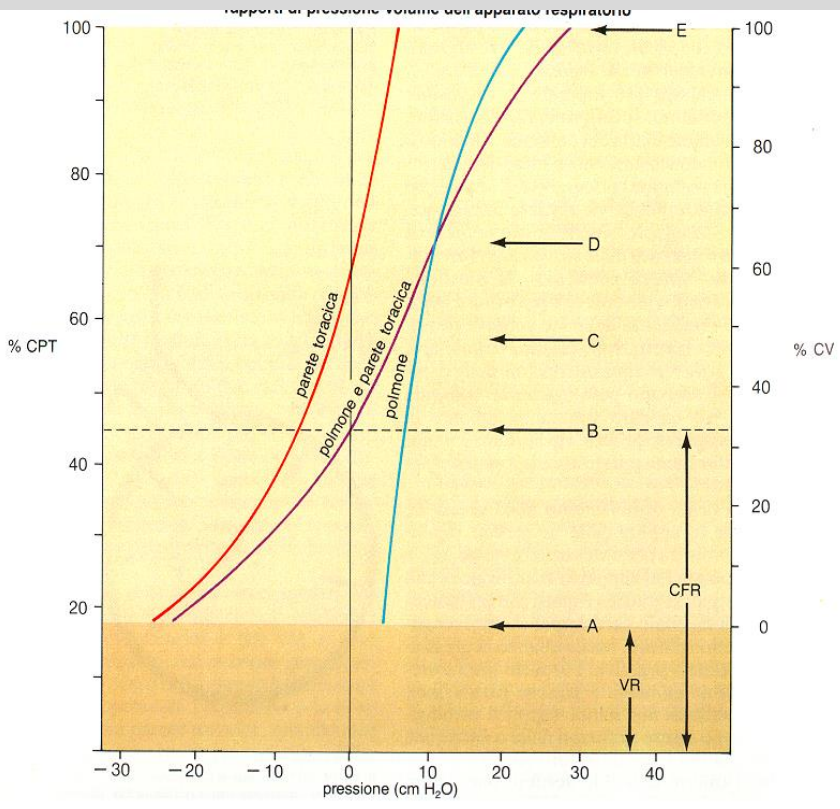


C. a maggiore volume polmonare

C. Meno del 70% del volume polmonare totale

- Forze elastiche del torace: verso l'esterno, minori di quelle del polmone
- Forze elastiche del polmone: verso l'interno, maggiori di quelle del torace
- Forze elastiche totali: verso l'interno
- Comportamento passivo: **espirazione**

Spiegazione delle curve di complianza

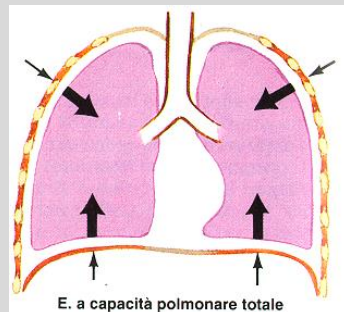
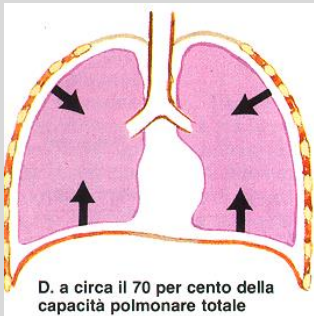


● D. Circa il 70% del volume polmonare totale

- Forze elastiche del torace = 0
- Forze elastiche del polmone: verso l'interno, superiori a quelle dei punti precedenti
- Forze elastiche totali = a quelle del polmone
- Comportamento passivo: **espirazione**

● E. Volume polmonare totale

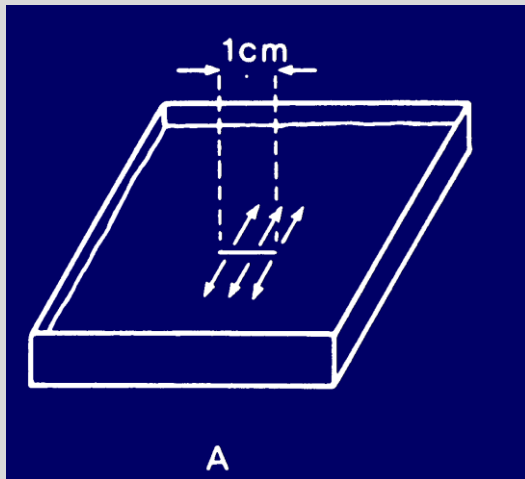
- Forze elastiche del torace: verso l'interno, inferiori a quelle del polmone
- Forze elastiche del polmone: verso l'interno, al loro massimo fisiologico
- Forze elastiche totali = alla somma di quelle del polmone e quelle del torace
- Comportamento passivo: **espirazione**



Fattori che influenzano la compliance

- Quantità di tessuto elastico
 - Volume sanguigno del polmone
 - Efficienza dei muscoli inspiratori
 - Mobilità della gabbia toracica
- Tensione superficiale alveolare

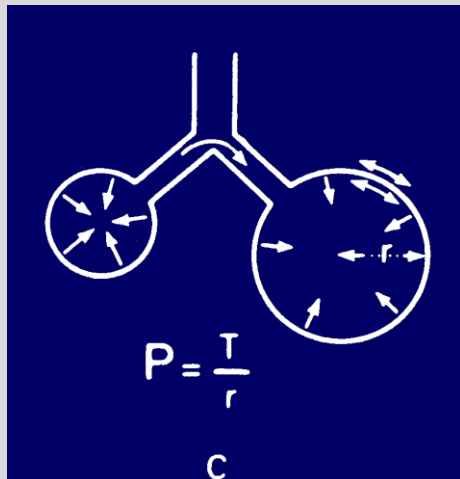
Tensione superficiale



- A. La tensione superficiale è la forza che agisce sui due lati di una linea immaginaria di una superficie liquida
- B. Le forze di superficie in una bolla tendono a generare una pressione dentro alla bolla

Legge di Laplace: $P = 2T / r$

dove r è il raggio di curvatura e T la tensione della parete.



- C. Tanto minore è il raggio tanto maggiore è la pressione. Poiché la bolla più piccola genera una pressione maggiore, per la legge di Laplace, essa va a gonfiare la bolla più grande

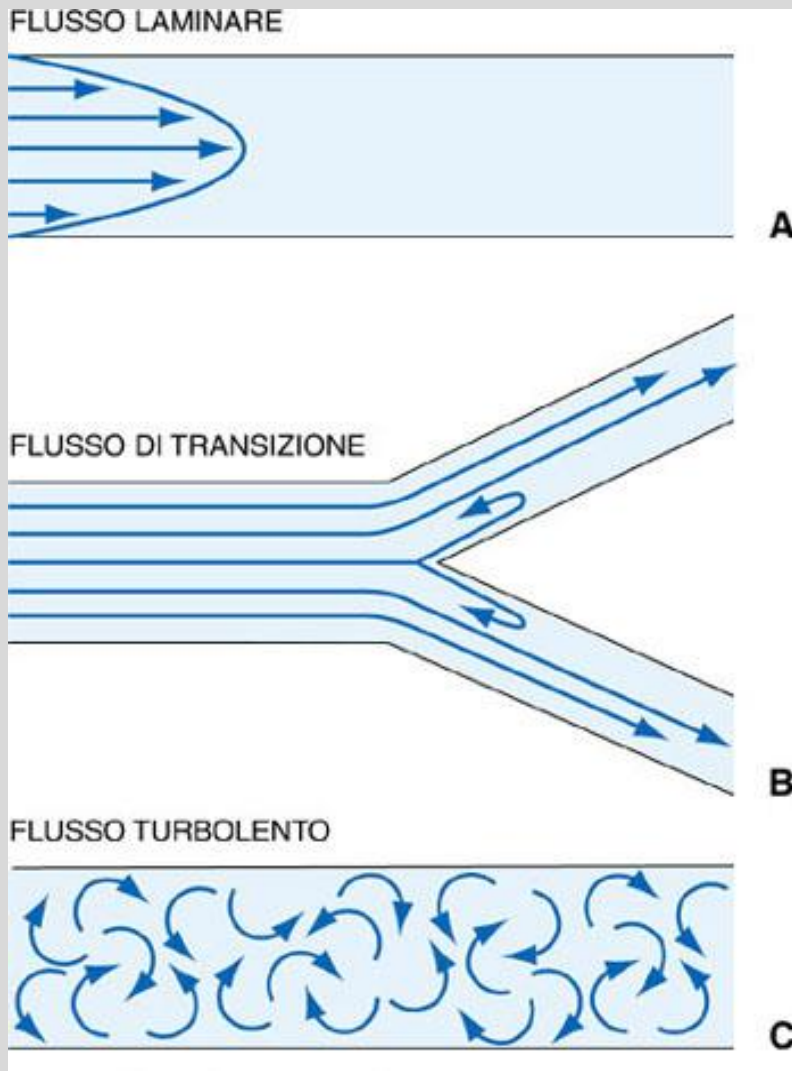
Tensioattivo polmonare

Il fattore surfattante è un tensioattivo prodotto dagli pneumociti, che svolge funzioni di stabilizzazione degli alveoli; in sua assenza gli alveoli collassano producendo atelectasia

- **NATURA CHIMICA:**
Lipoproteica (fosfolipidi + dipalmitoil-lecitina)
- **ORIGINE:**
Secrezione degli pneumociti di II tipo
- **AZIONI:**
Aumento Della Compliance Polmonare
Stabilizzazione Degli Alveoli
Mantenimento della Secchezza Degli Alveoli
- **MECCANISMO D'AZIONE:**
Azione tensioattiva con effetto quantitativamente correlato alla superficie
- **CONSEGUENZA DELL'ASSENZA:**
Atelectasia alveolare

Resistenze dinamiche

Le resistenze dinamiche al flusso dell'aria sono dovute alla viscosità del fluido e rappresentano sempre un ostacolo alla meccanica respiratoria. Esse vengono valutate con i test dinamici di ventilazione



FATTORI DELLE RESISTENZE

- Diametro del condotto
 - Volume polmonare
 - Compliance del condotto
- Lunghezza del condotto
- Velocità del flusso
- Tipo di flusso
 - Trachea e bronchi: turbolento
 - Bronchioli: di transizione
 - Bronchioli terminali: laminare
- Viscosità del gas
- Densità del gas

Conseguenze delle resistenze dinamiche

INSPIRAZIONE

- La forza necessaria ad espandere il polmone (pressione transpolmonare) è più elevata rispetto a quella necessaria a vincere le sole resistenze elastiche
- La pressione pleurica è tanto più negativa quanto maggiori sono queste resistenze

Conseguenze delle resistenze dinamiche

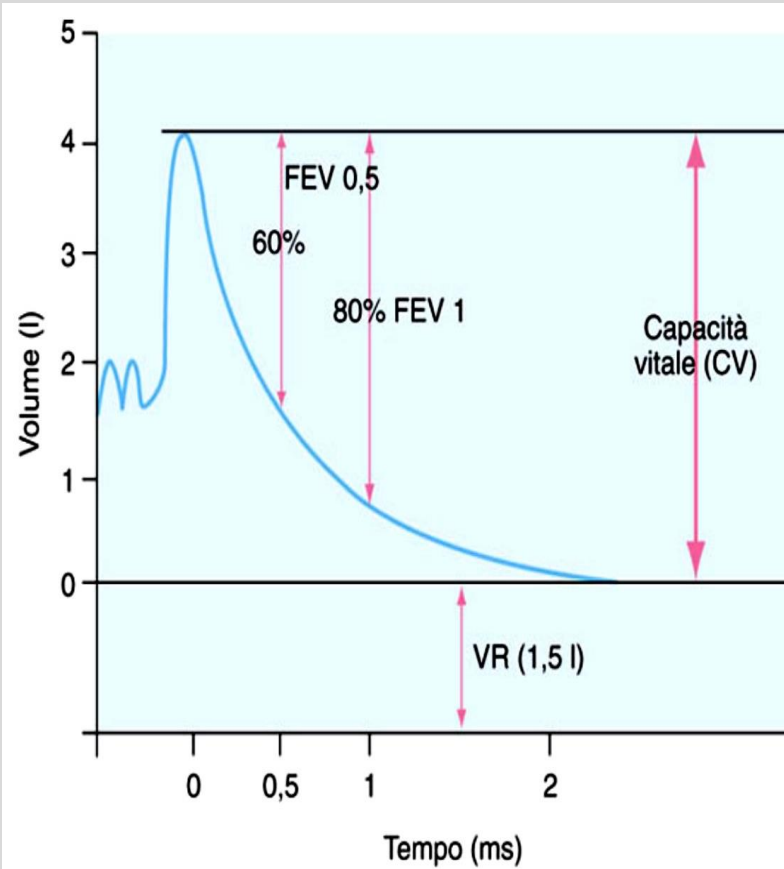
INSPIRAZIONE

- La forza necessaria ad espandere il polmone (pressione transpolmonare) è più elevata rispetto a quella necessaria a vincere le sole resistenze elastiche
- La pressione pleurica è tanto più negativa quanto maggiori sono queste resistenze

ESPIRAZIONE

- La forza necessaria a svuotare il polmone è più elevata rispetto a quella che si genererebbe dalle forze elastiche allo stesso volume se non ci fosse attrito.
- La pressione pleurica è tanto più alta quanto maggiori sono queste resistenze

Test dinamici di ventilazione



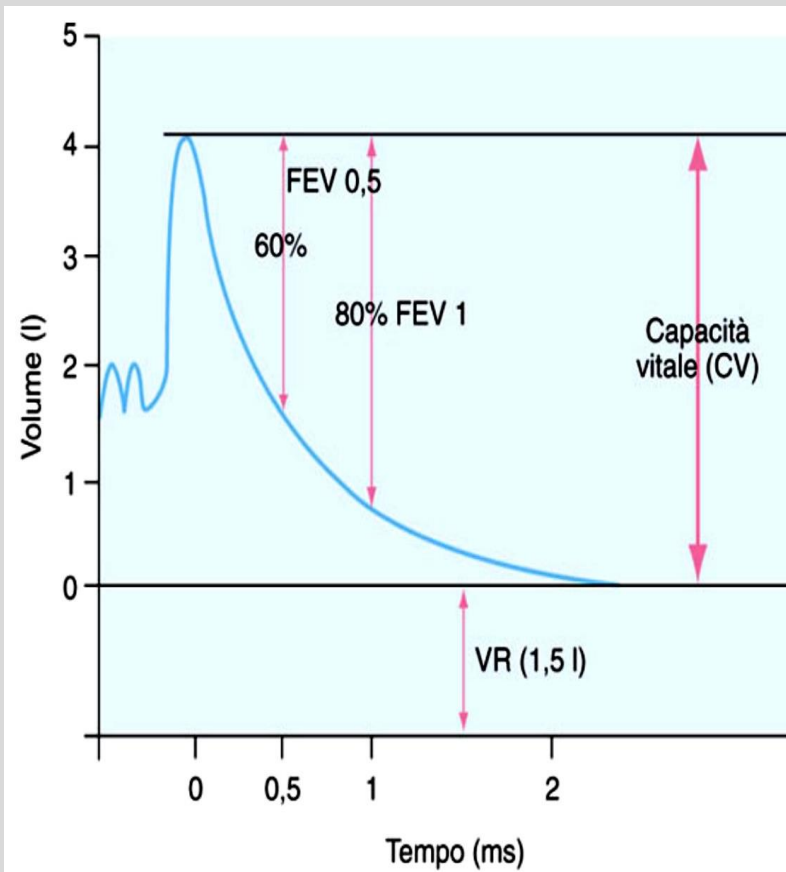
Massima ventilazione volontaria (MVV)

ventilazione con profondità uguale alla capacità vitale e alla massima frequenza, mantenuta per 12 - 15 secondi (valore normale: circa 150 l/min)

Capacità vitale forzata (FVC)

la massima quantità di aria che può essere espulsa in 6 secondi dopo una inspirazione massimale (di solito è uguale alla capacità vitale)

Test dinamici di ventilazione



Volume espiratorio forzato (FEV)

quantità percentuale di aria espulsa in una espirazione forzata a partire dalla capacità polmonare totale dopo:

0,75sec	68%		
1,0	sec	84%	(FEV1)
2,0	sec	94%	(FEV2)
3,0	sec	97%	(FEV3)

Flusso espiratorio di picco (PEF)

massimo flusso di aria producibile in una espirazione forzata massimale (valore normale: 6-12 l/sec)

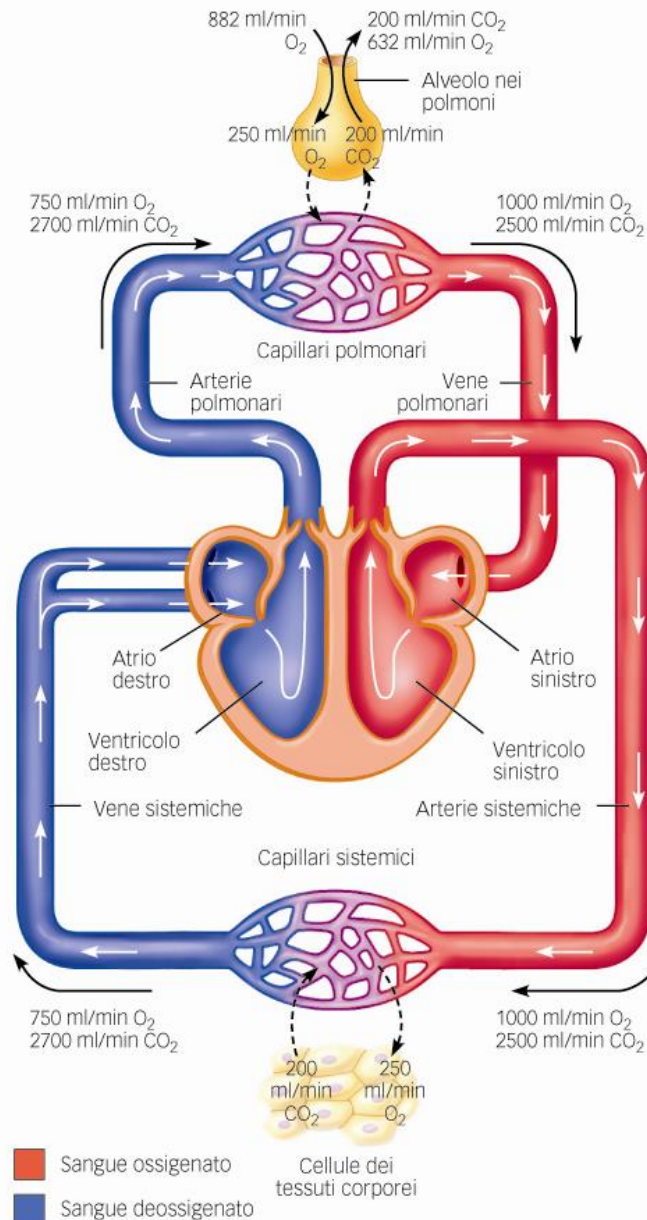
Ventilazione polmonare e ventilazione alveolare

La ventilazione alveolare risulta dalla ventilazione polmonare meno quella dello spazio morto; il suo valore dipende dalla profondità del respiro e dalla frequenza respiratoria.

$\frac{\text{VOLUME CORRENTE} \times \text{FREQUENZA}}{\text{VENTILAZ. POLMONARE}} =$	$\frac{\text{SPAZIO MORTO} \times \text{FREQUENZA}}{\text{VENTILAZ. DELLO SPAZIO MORTO}} =$	$\frac{\text{VOLUME ALVEOLARE} \times \text{FREQUENZA}}{\text{VENTILAZ. ALVEOLARE}} =$
$500 \times 16 = 8000 \text{ ml/min}$	$150 \times 16 = 2400 \text{ ml/min}$	$350 \times 16 = 5600 \text{ ml/min}$
Incremento dello spazio morto e suo compenso		
$500 \times 16 = 8000 \text{ ml/min}$	$300 \times 16 = 4800 \text{ ml/min}$	$200 \times 16 = 3200 \text{ ml/min}$
$500 \times 28 = 14000 \text{ ml/min}$	$300 \times 28 = 8400 \text{ ml/min}$	$200 \times 28 = 5600 \text{ ml/min}$
Effetti dell'incremento di frequenza o di volume corrente		
$500 \times 32 = 16000 \text{ ml/min}$	$150 \times 32 = 4800 \text{ ml/min}$	$350 \times 32 = 11200 \text{ ml/min}$
$1000 \times 16 = 16000 \text{ ml/min}$	$150 \times 16 = 2400 \text{ ml/min}$	$850 \times 16 = 13600 \text{ ml/min}$

SCAMBI GASSOSI

Scambi gassosi



Formula di Fick

Secondo la legge di Fick, i fattori da cui dipendono gli scambi gassosi sono riconducibili alla struttura e alla superficie della membrana respiratoria, ai gradienti di pressione parziale e alla diffusibilità dei gas.

$$V_{\text{gas}} = A D_{\text{gas}} \frac{\Delta P}{d} \quad \text{ml/s}$$

V_{gas} = vol. di gas che diffonde nell'unità di tempo

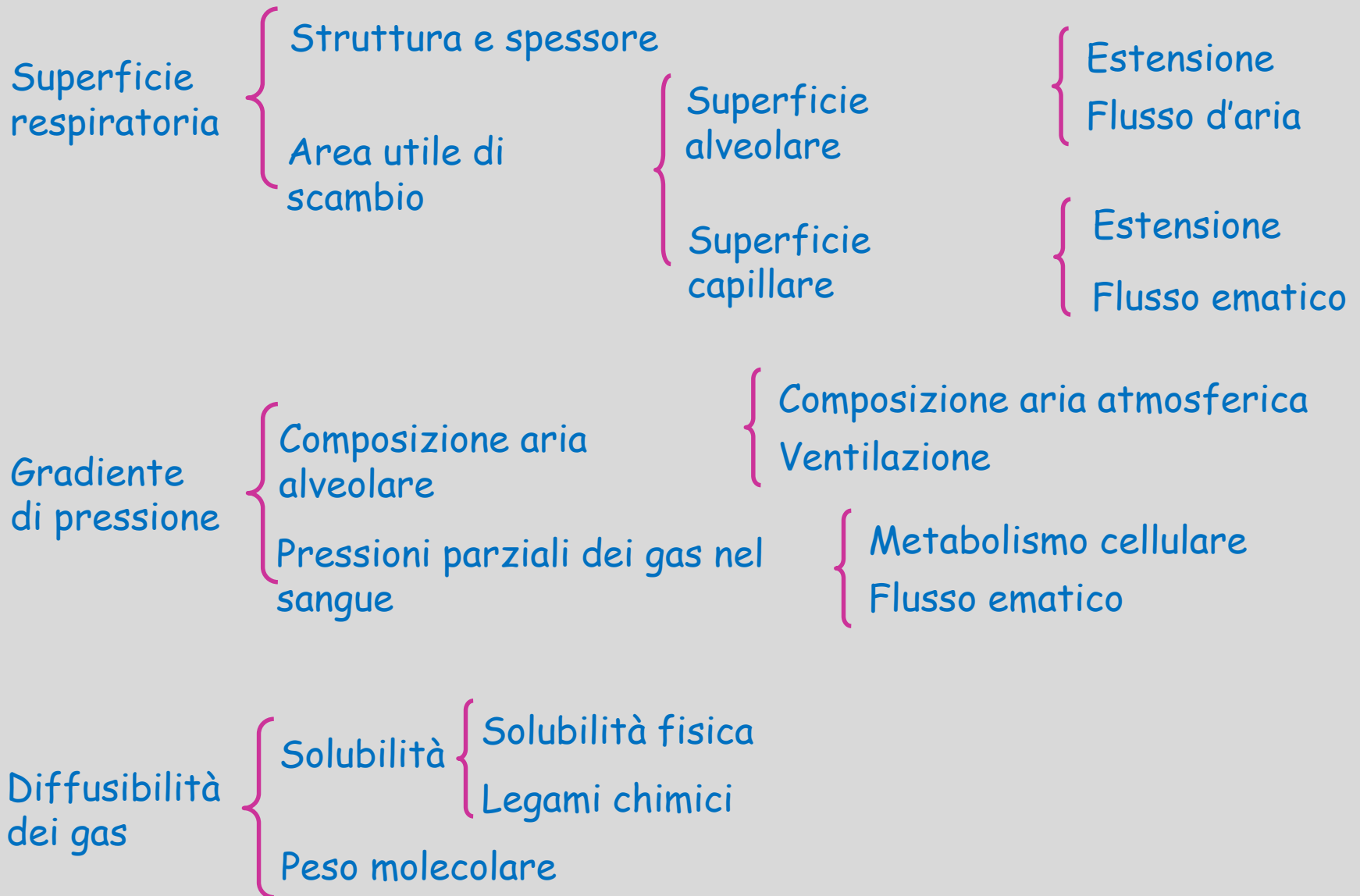
A = area della superficie respiratoria

D_{gas} = coefficiente di diffusione del gas

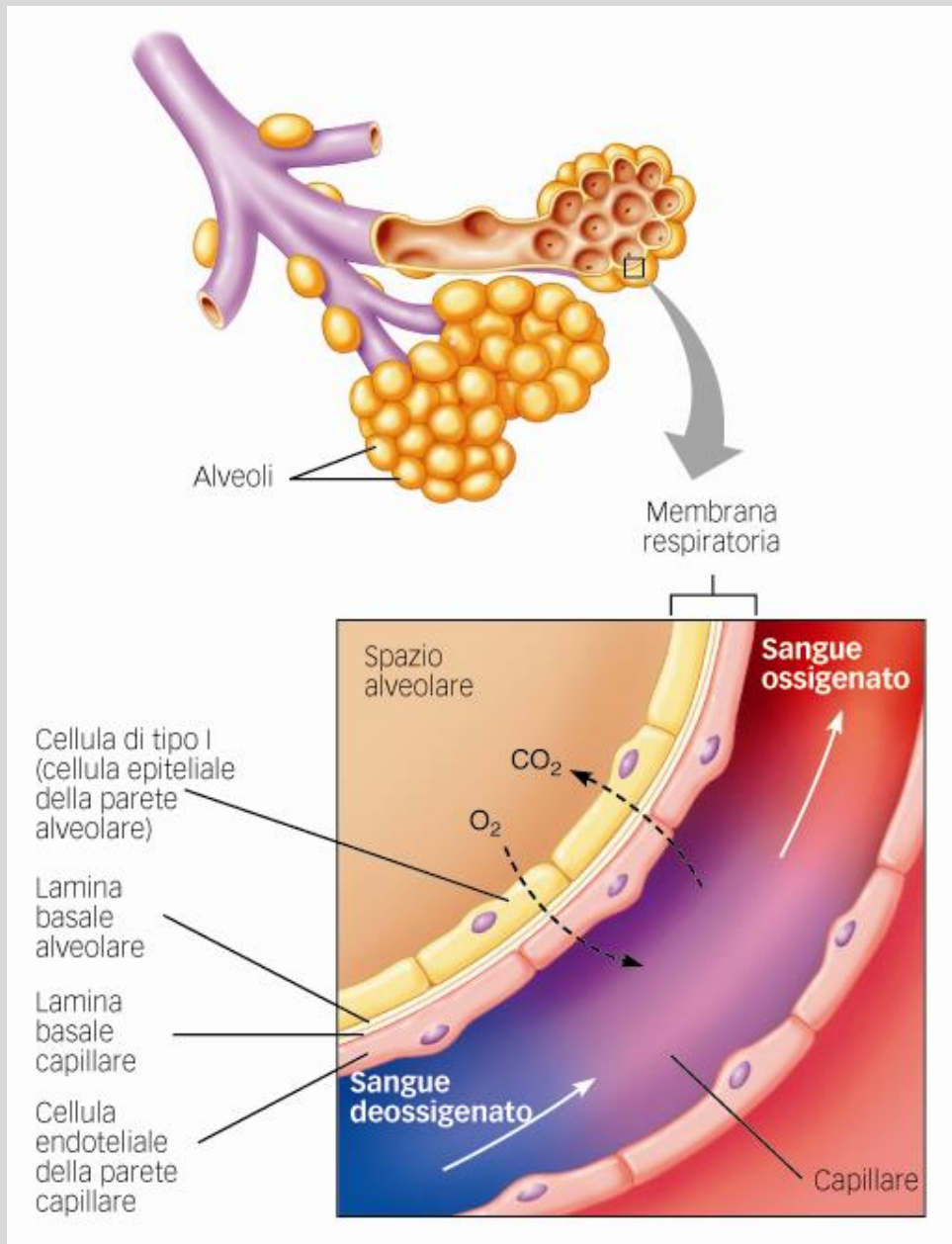
ΔP = differenza di pressione parziale ai due lati della membrana

d = spessore medio della membrana

Fattori da cui dipende lo scambio



Struttura della membrana respiratoria



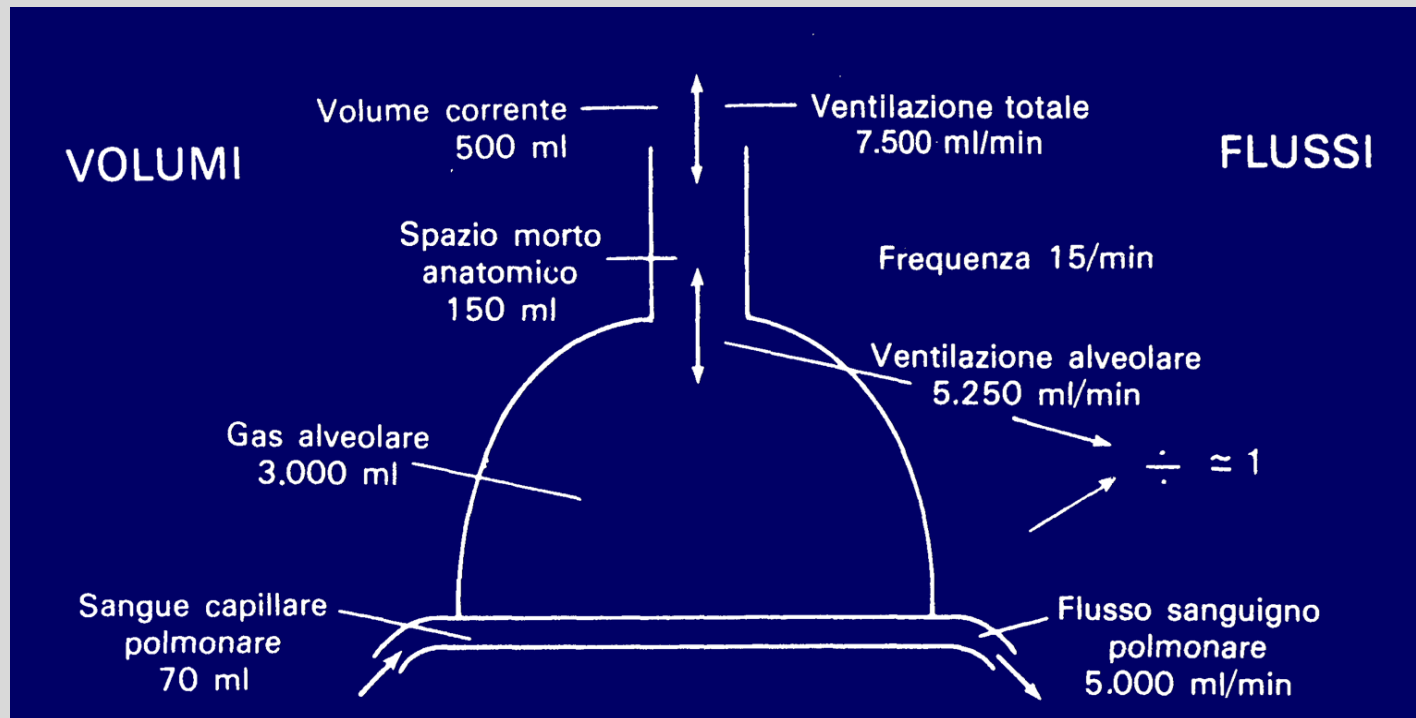
La membrana respiratoria è formata da strati sottilissimi di epitelio, endotelio e membrane eritrocitiche, che ottimizzano la diffusione dei gas

Spessore della membrana respiratoria = $0,3 - 0,7 \mu\text{m}$

Superficie respiratoria

Area alveolare totale = 70 m^2

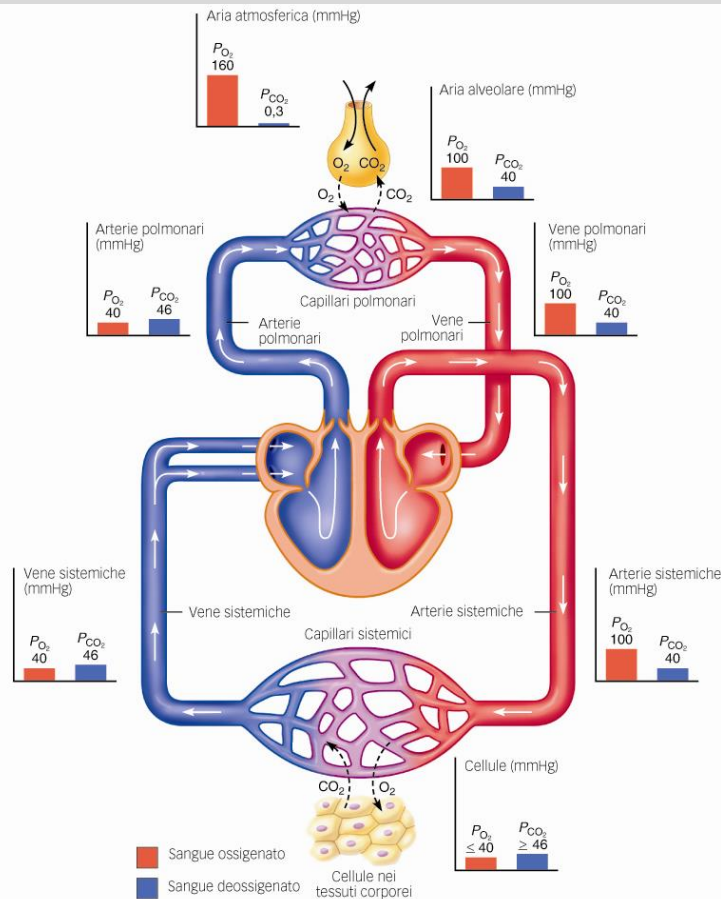
Area capillare totale = 100 m^2



Pressioni parziali dei gas

L'aria alveolare, rispetto a quella atmosferica, ha un più basso tenore di O_2 e una maggiore concentrazione di CO_2 e vapor acqueo. Tali differenze sono dovute a un bilancio dinamico tra i gas inspirati/espirati e quelli assorbiti/ceduti dal sangue.

Pressioni in mmHg (e % di gas nella miscela)

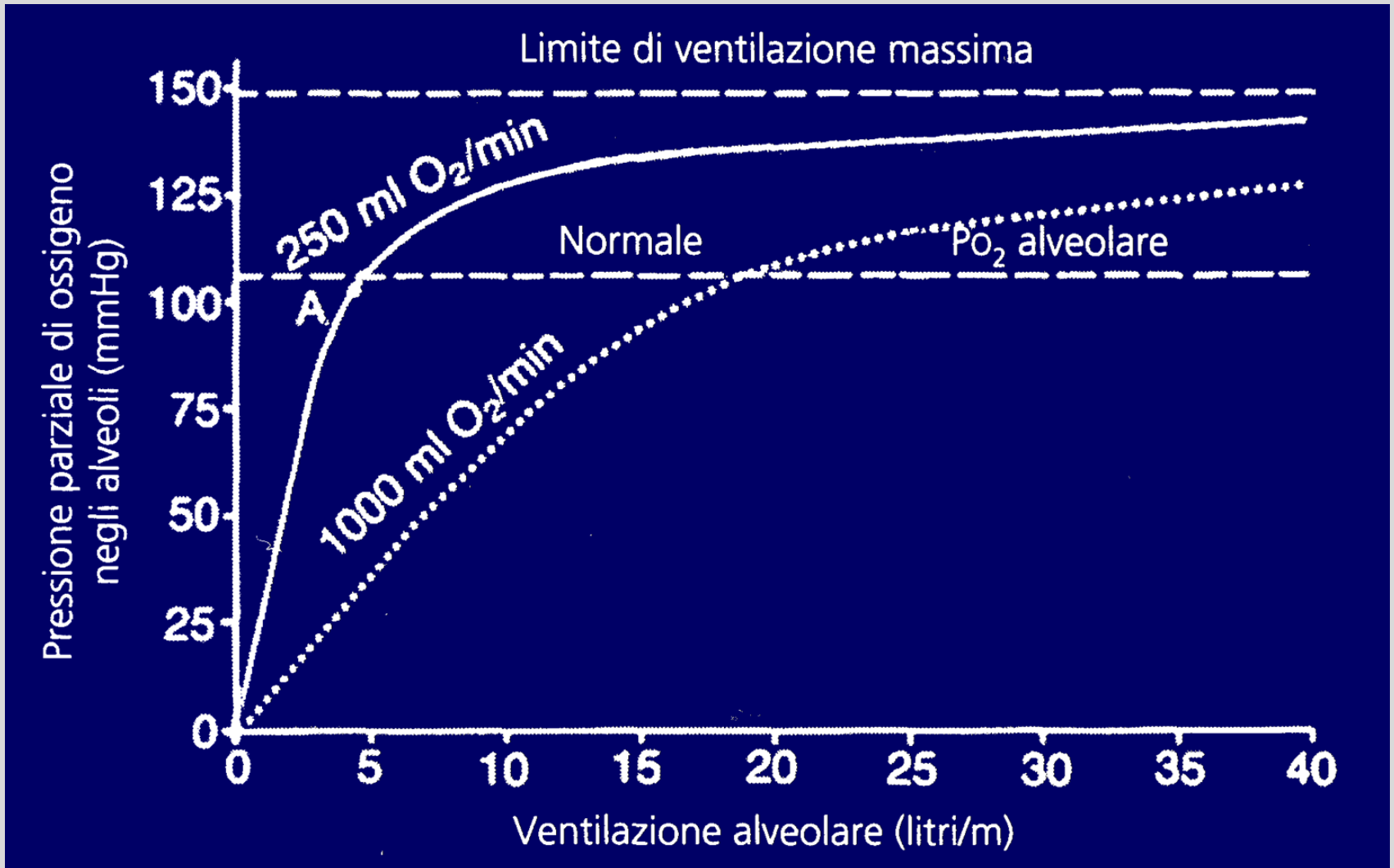


GAS	ATMOSFERA	ALVEOLI	SANGUE ARTERIOSO	SANGUE VENOSO	TESSUTI
O_2	158.0 (20,8%)	100 (13,1%)	95 (12,6%)	40 (5,7)	≤ 40
CO_2	0.3 (0,04%)	40 (5,3%)	40 (5,3%)	46 (6,5%)	≥ 46
H_2O	5.7 (0,8%)	47 (6,2%)	47 (6,2%)	47 (6,7%)	47
N_2	596.0 (78,4%)	573 (75,4)	573 (75,9%)	573 (81,1)	573
TOTALE	760	760	755	706	≥ 706

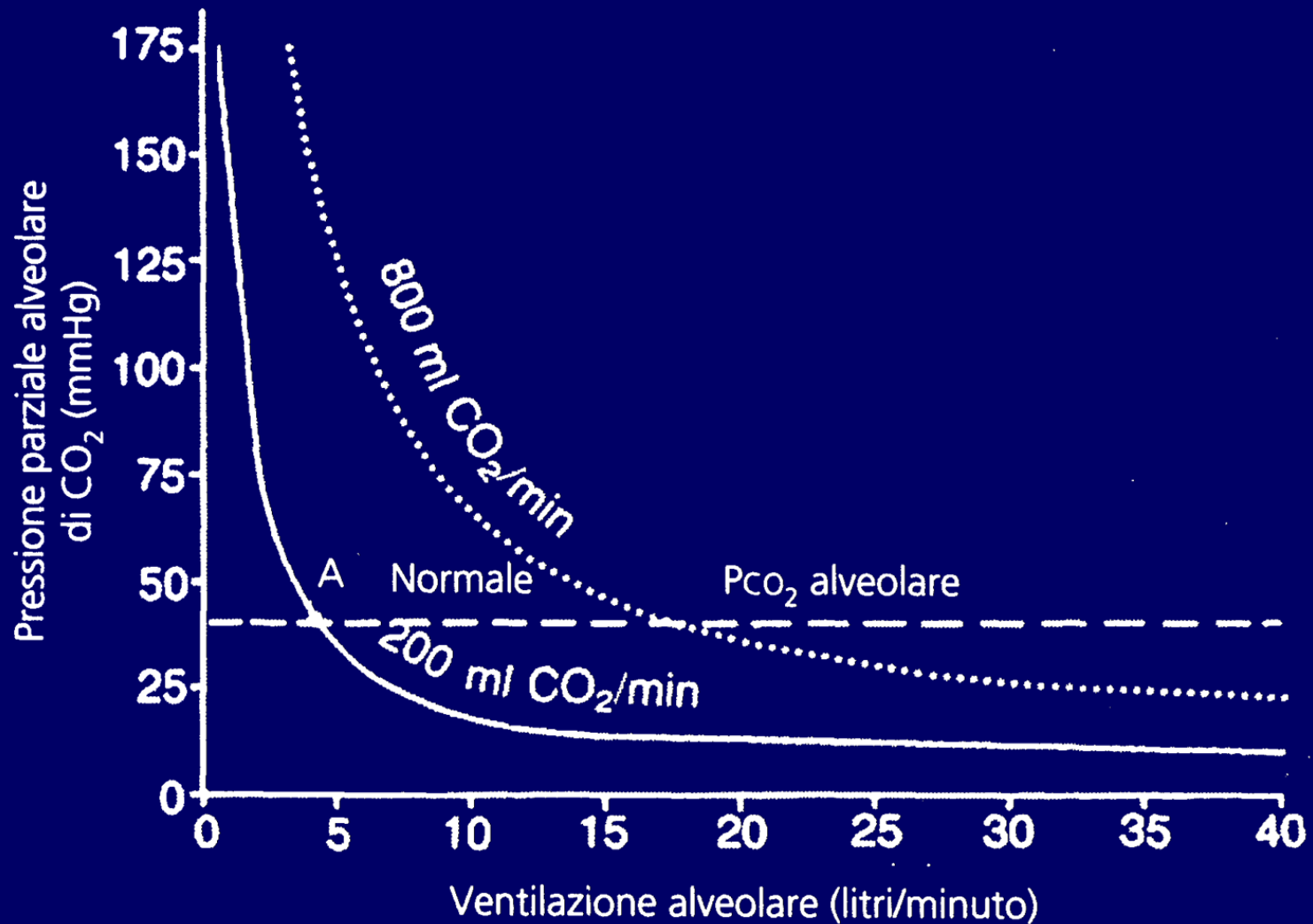
Effetto della ventilazione, del metabolismo e del flusso ematico su P_{CO_2} P_{O_2} alveolare

Le pressioni parziali dei gas alveolari e di quelli ematici dipendono da meccanismi fisici e fisiologici, principalmente legati alla ventilazione, al circolo ematico e al metabolismo tissutale.

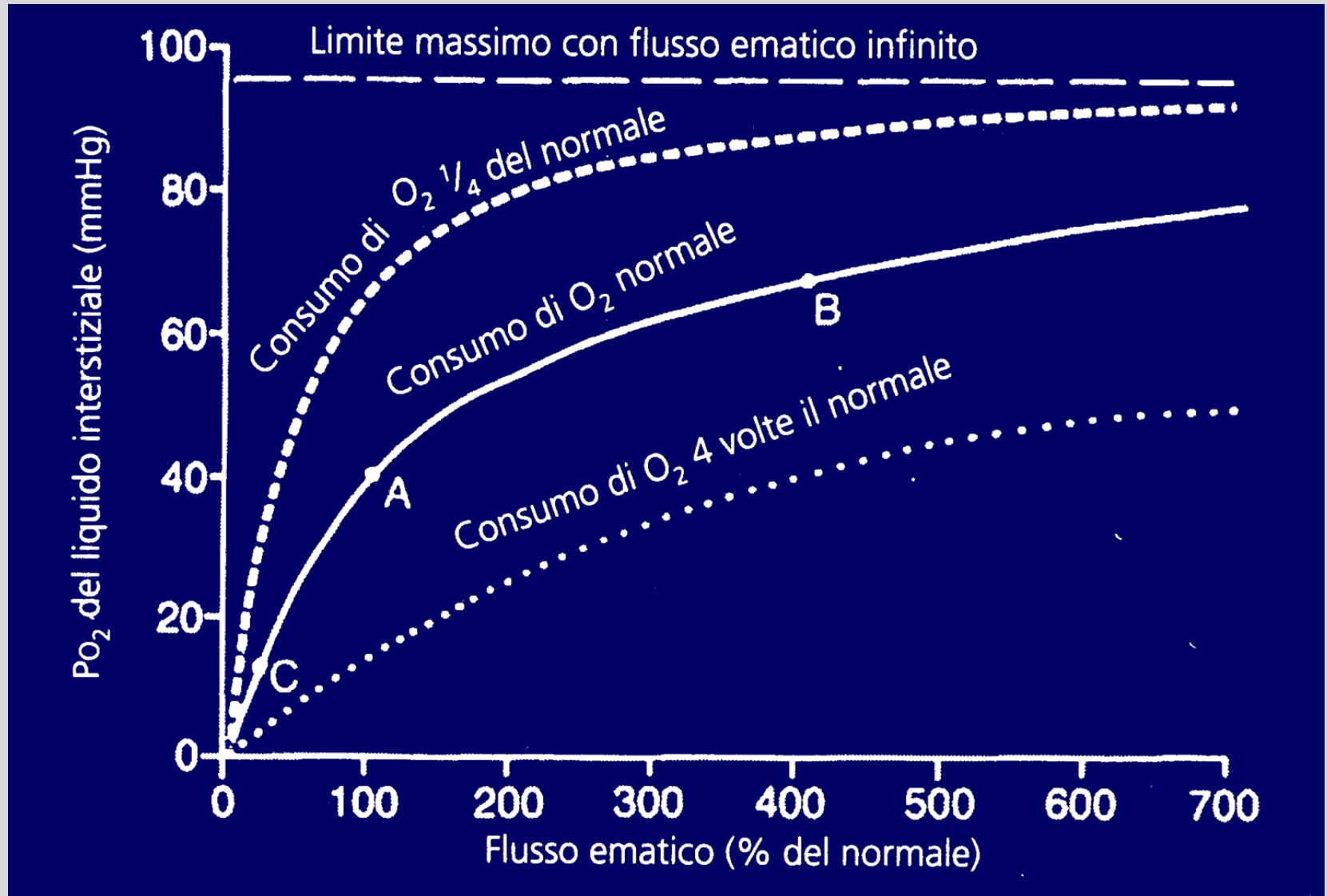
Effetto della ventilazione sulla P_{O_2} alveolare



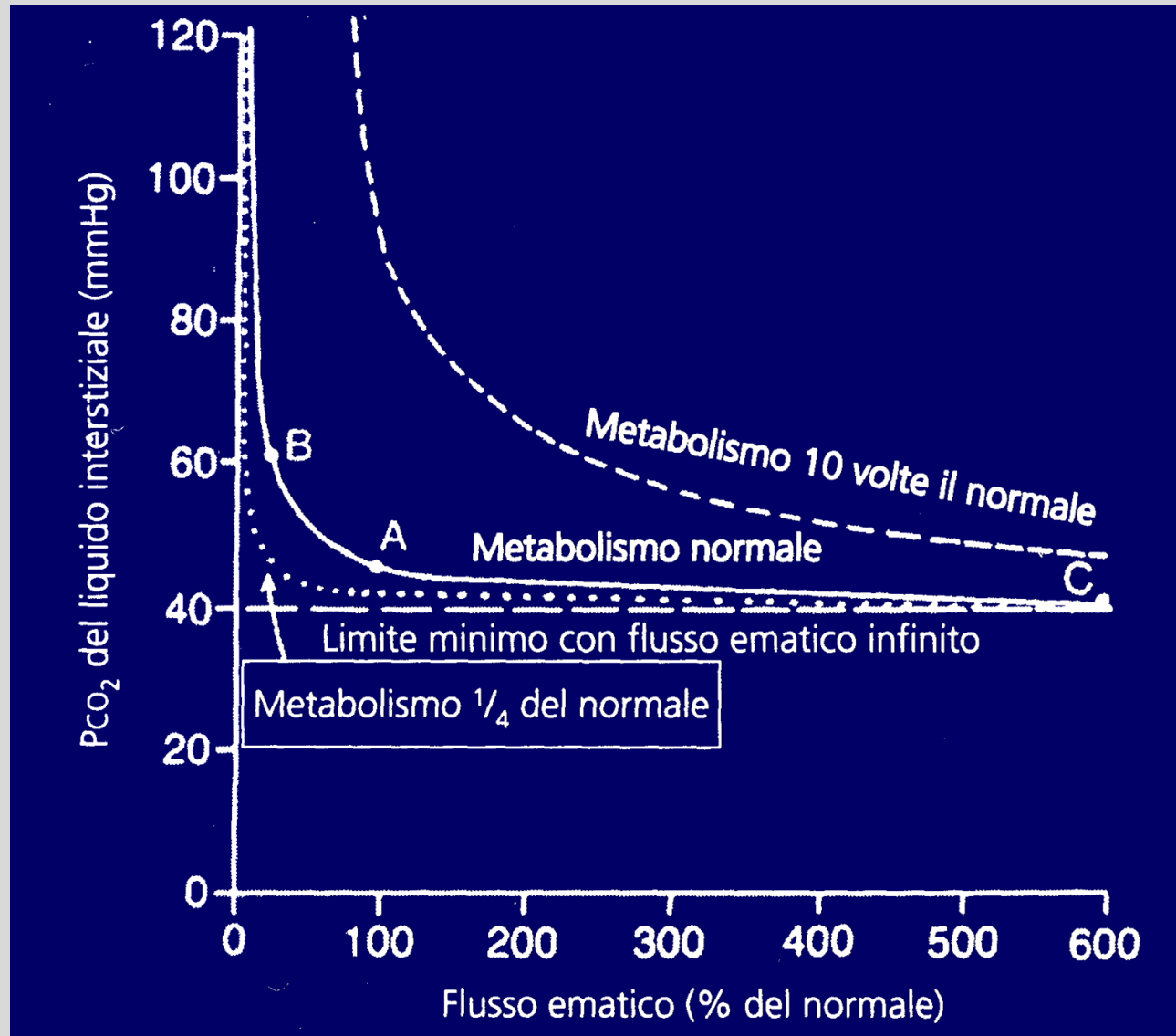
Effetto della ventilazione sulla P_{CO_2} alveolare



Effetti del metabolismo e del flusso ematico sulla P_{O_2} periferica

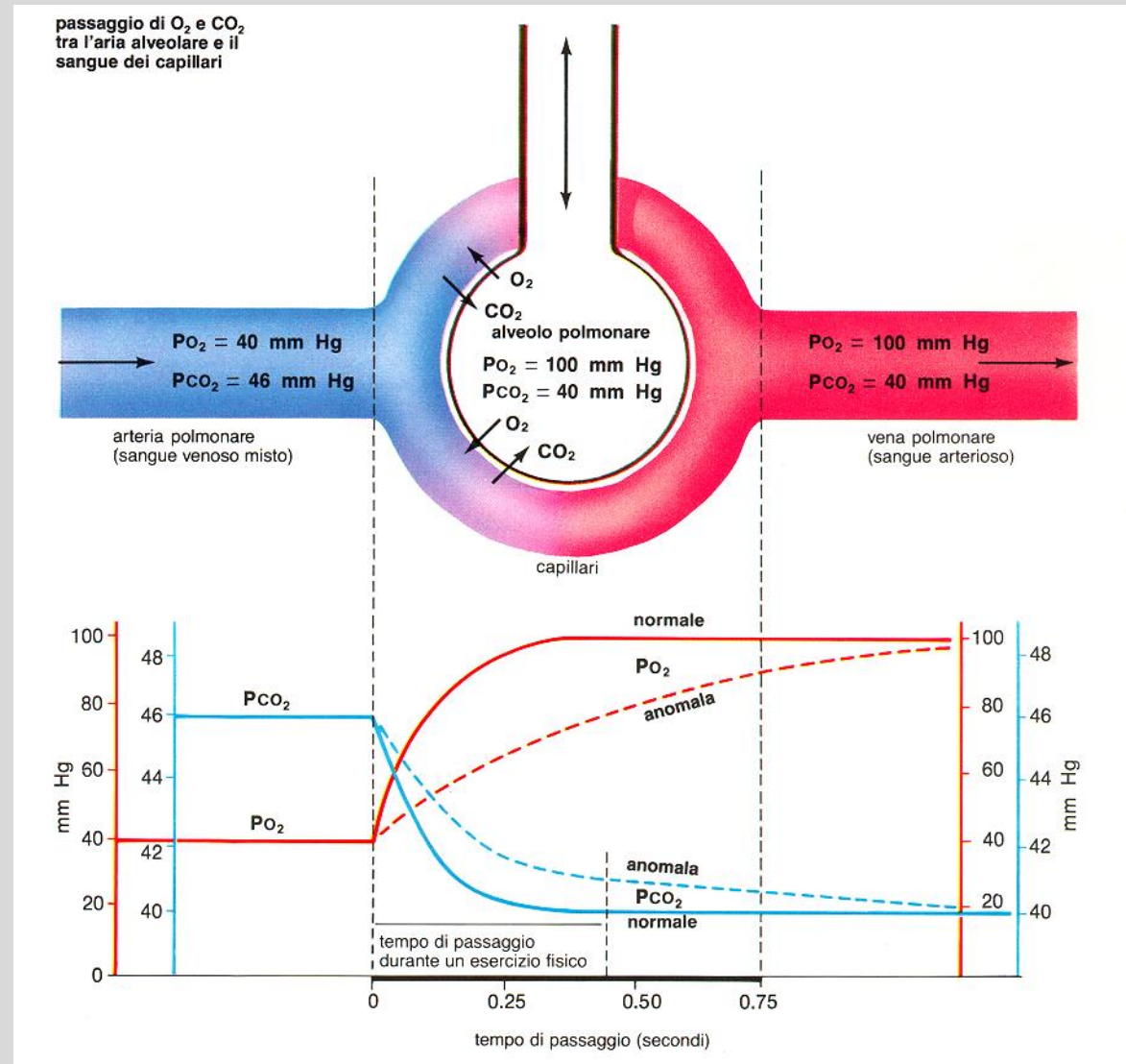


Effetti del metabolismo e del flusso ematico sulla P_{CO_2} periferica



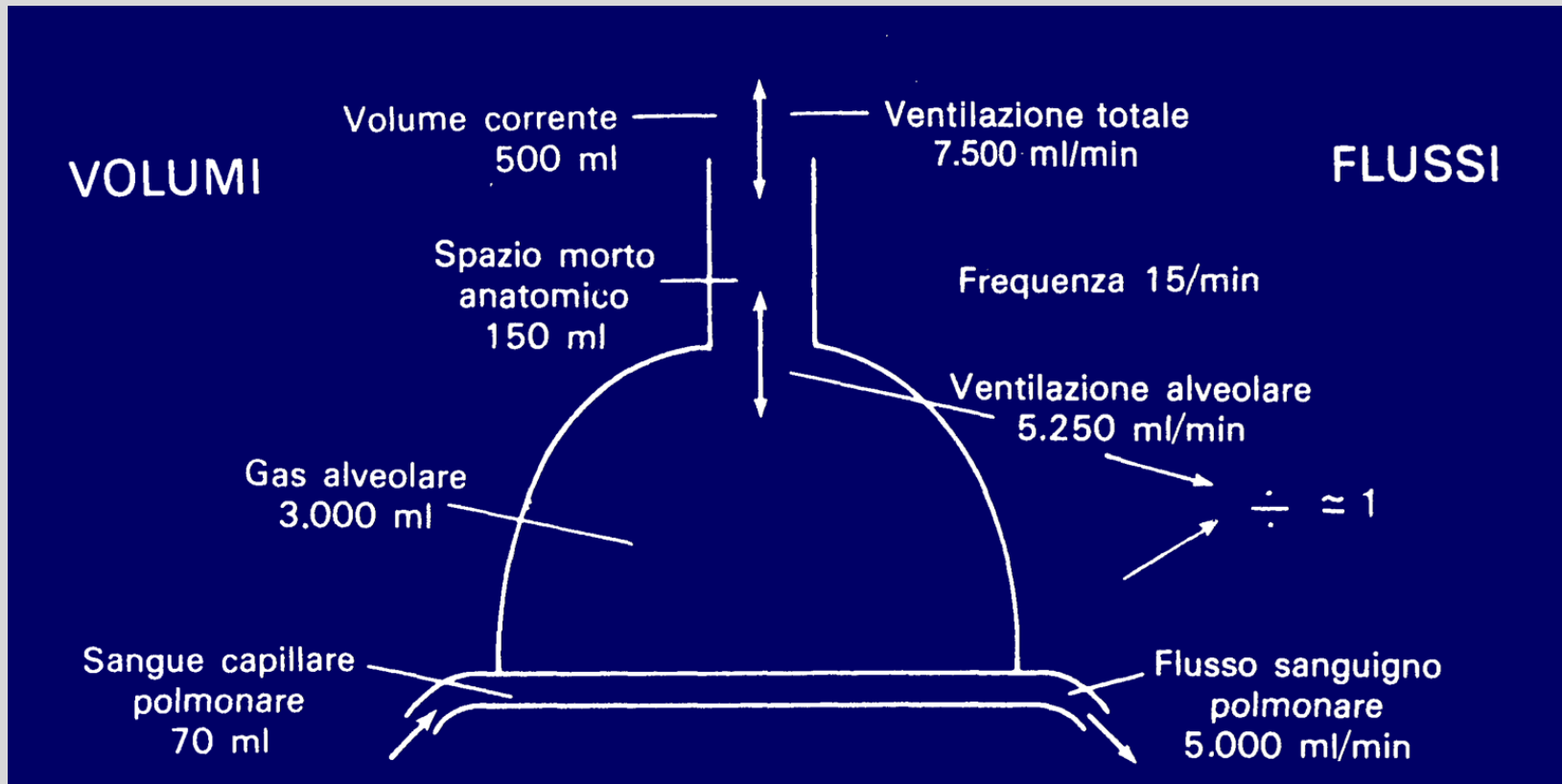
Tempo di transito nei capillari alveolari

Il tempo di attraversamento dei capillari alveolari da parte del sangue è di solito più che sufficiente per l'equilibrio alveolo-capillare delle pressioni parziali, costituendo ciò un fattore di sicurezza per gli scambi.



Rapporto ventilazione/perfusione V_A/Q

Il rapporto tra ventilazione e perfusione nei singoli distretti polmonari può influenzare sostanzialmente i gradienti pressori dei gas, e quindi gli scambi gassosi, rendendoli meno efficienti quando il rapporto si allontana dall'unità.



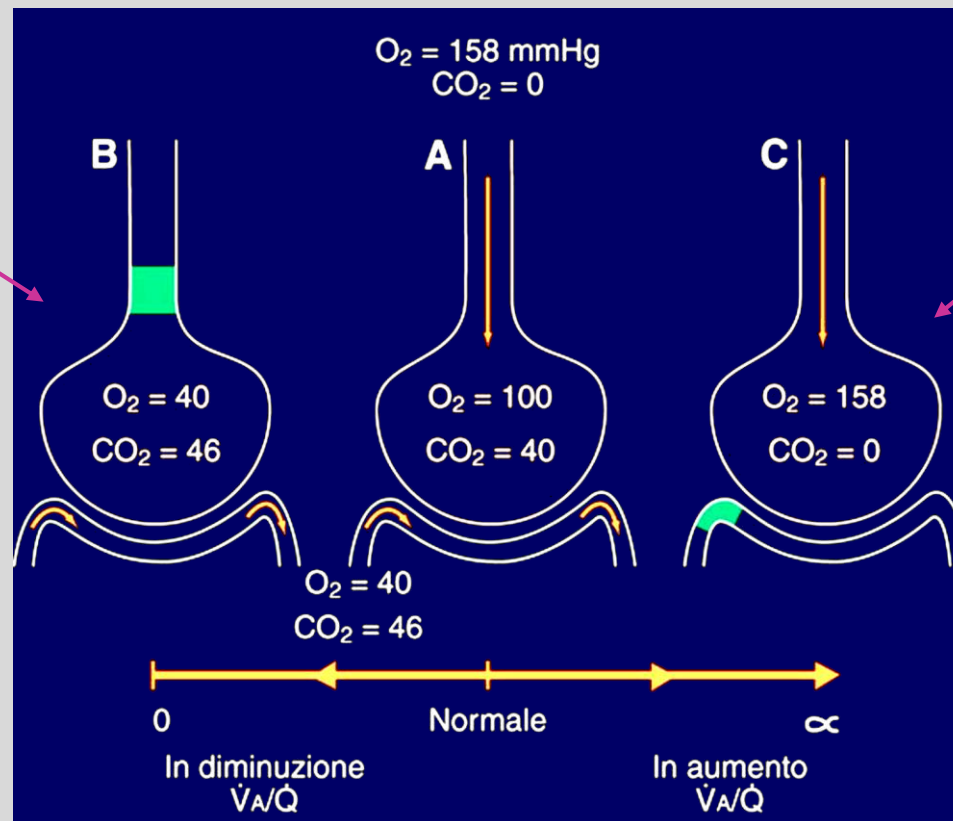
Valori estremi di rapporto ventilazione/perfusione

Alveoli
normoventilati
normoperfusi

$$\dot{V}_A/\dot{Q} = 1$$

Alveoli
ipoventilati
normoperfusi

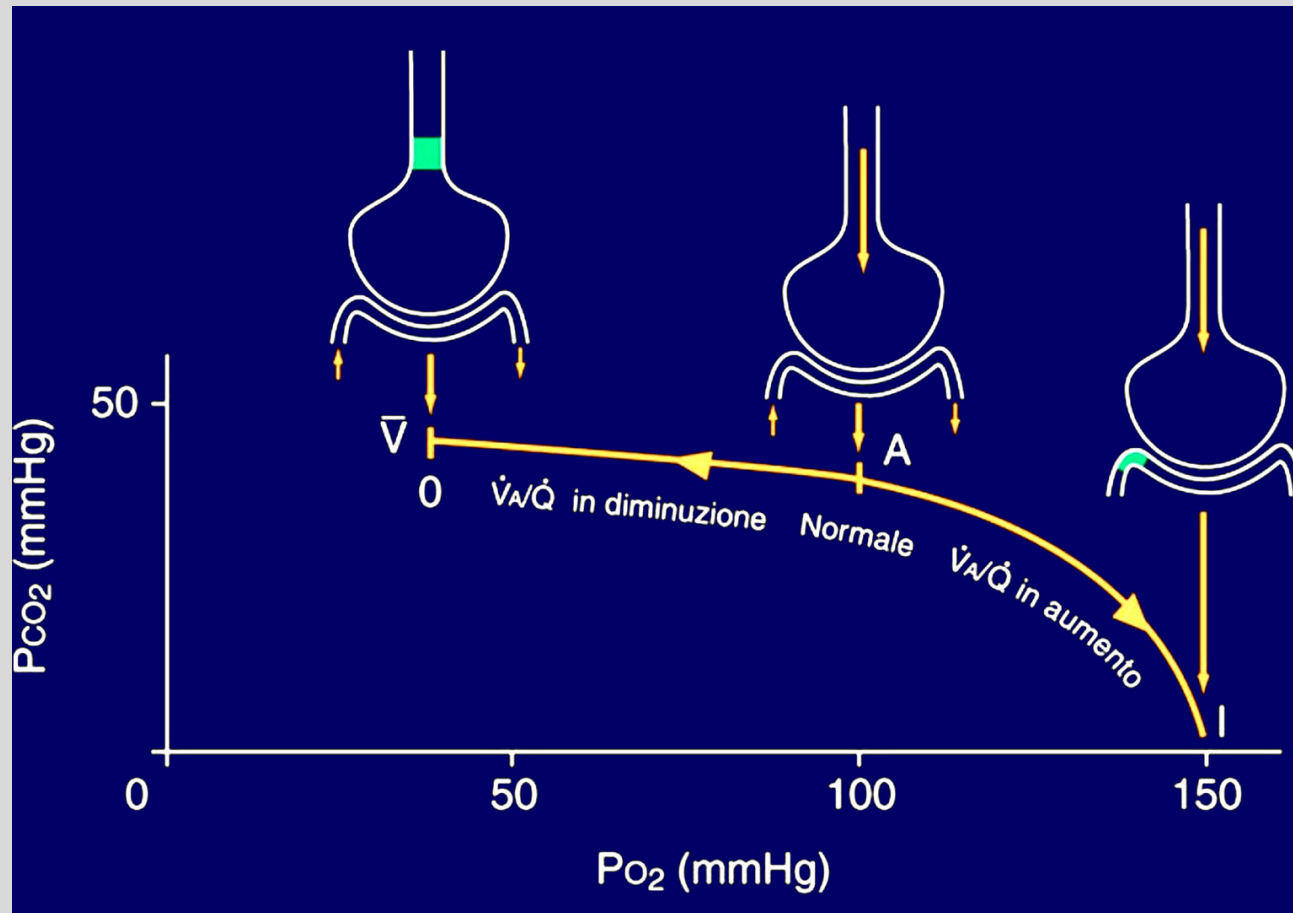
$$\dot{V}_A/\dot{Q} < 1$$



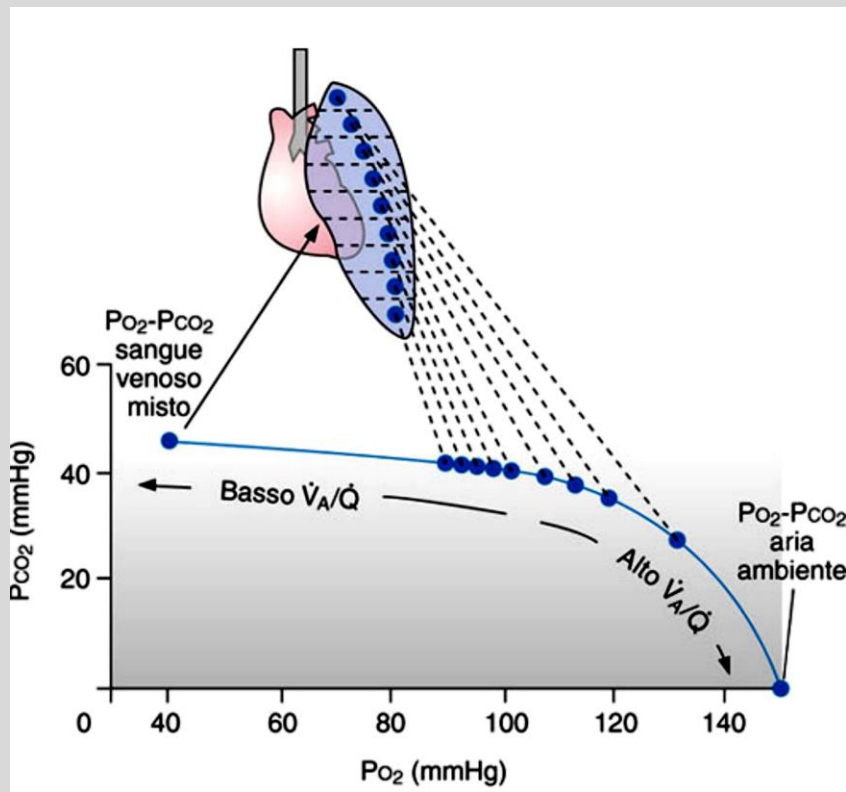
Alveoli
normoventilati
ipoperfusi

$$\dot{V}_A/\dot{Q} > 1$$

Variazioni di P_{O_2} e P_{CO_2} alveolari con $\dot{V}_A/Q'$

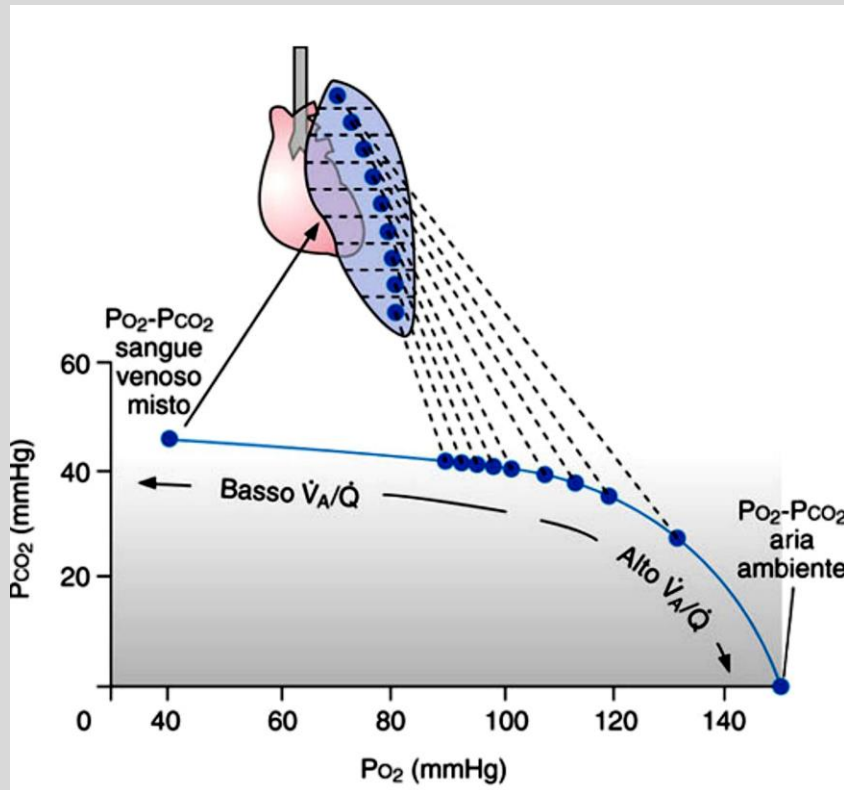


Variazioni di $\dot{V}_A/\dot{Q}$ lungo il polmone

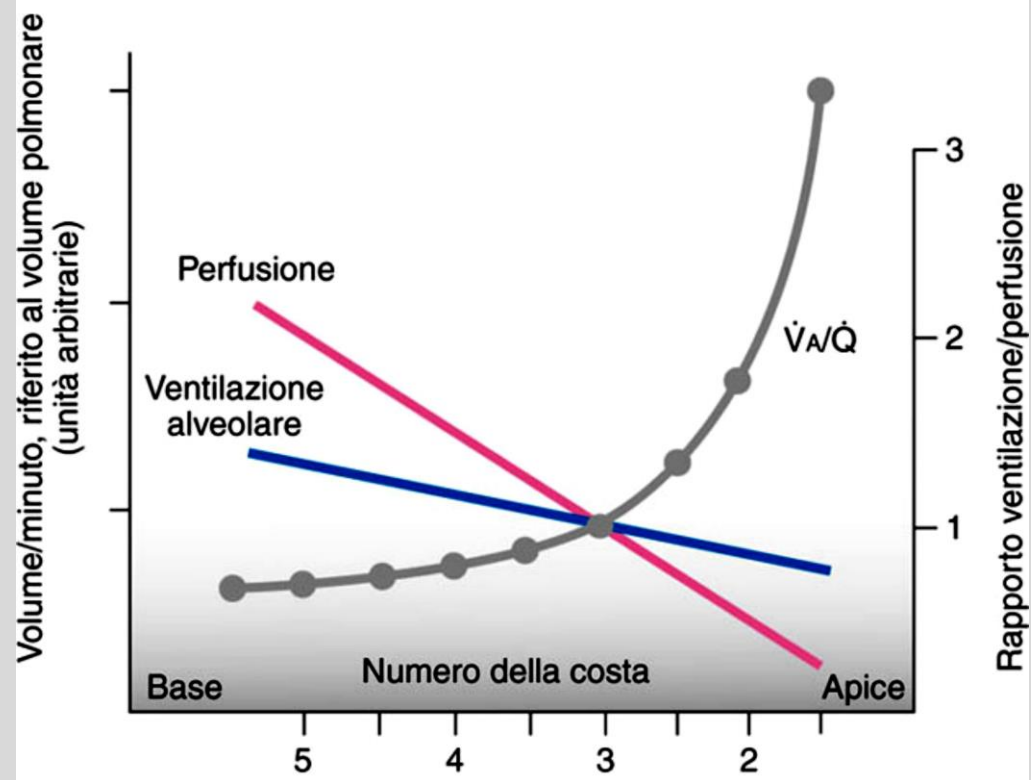


$\dot{V}_A/\dot{Q}$ è maggiore all'apice che alla base del polmone (in ortostatismo)

Variazioni di V'_A/Q' lungo il polmone



V'_A/Q' è maggiore all'apice che alla base del polmone (in ortostatismo)



V'_A/Q' aumenta andando verso l'apice del polmone sempre (in ortostatismo)

TRASPORTO DEI GAS

Solubilità dei gas respiratori

Solubilità in: ml gas / 100 ml di liquido / atm (a 37°C)

	Acqua	Plasma	Sangue
O_2	2,386	2,14	2,36
CO_2	56,7	51,5	-
N_2	1,227	1,18	1,3

Volumi di gas disciolti nel plasma a 37°C

O_2 0,3 ml / 100 ml

CO_2 3 ml / 100 ml

N_2 0,8 ml / 100 ml

Fabbisogno di O_2

O_2 disciolto nel plasma a $37^\circ C$ e 95 mmHg di P_{O_2} = 0,3 ml / 100 ml

O_2 portato ai tessuti con una portata circolatoria di 5 L/min = 15 ml/min.

Fabbisogno di O_2 a riposo = 250 ml/min

Flusso ematico necessario: $250 \text{ ml} / 0,3 \times 100 = 83,3 \text{ L/min}$

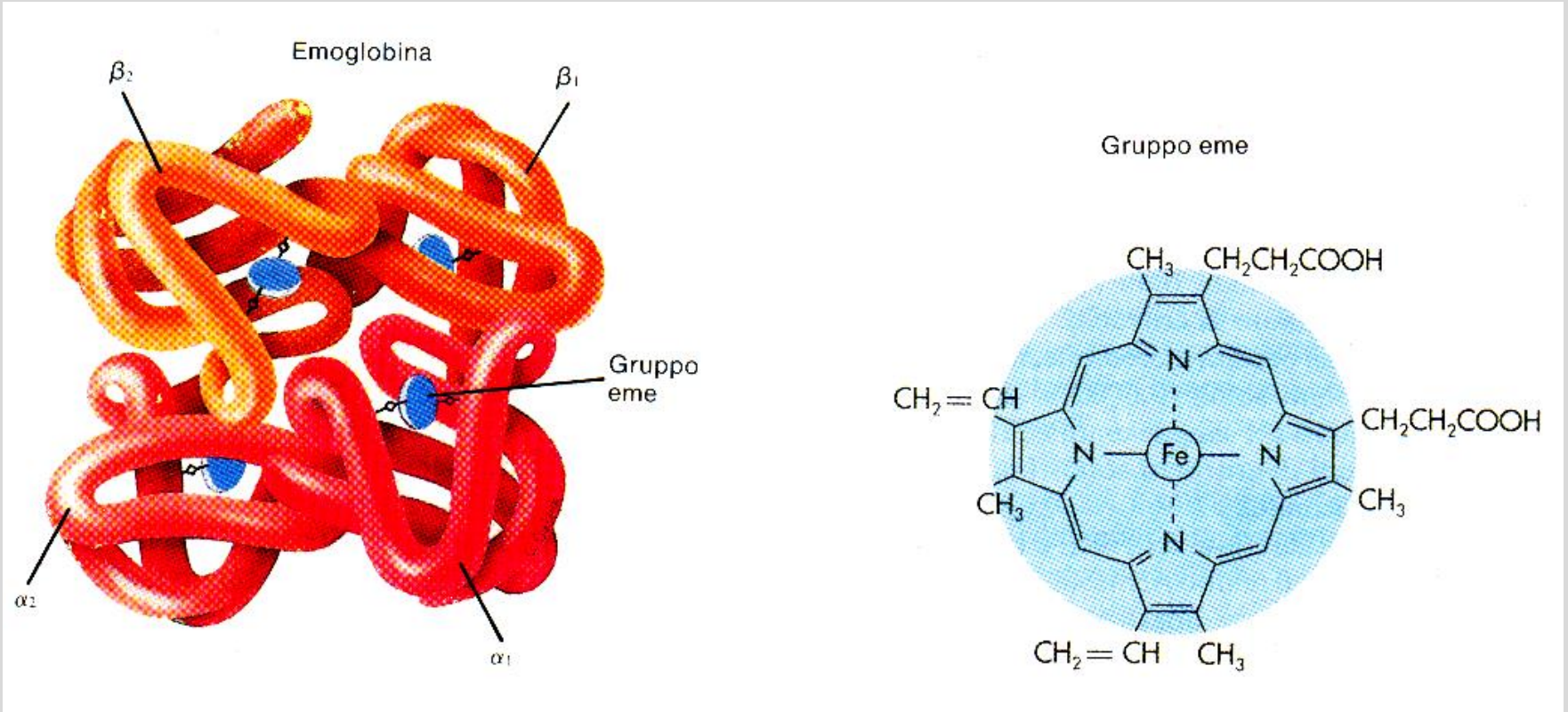
Fabbisogno di O_2 durante l'esercizio muscolare = 4 L/min

Flusso ematico necessario: $4 / 0,3 \times 100 = 1.333 \text{ L/min}$

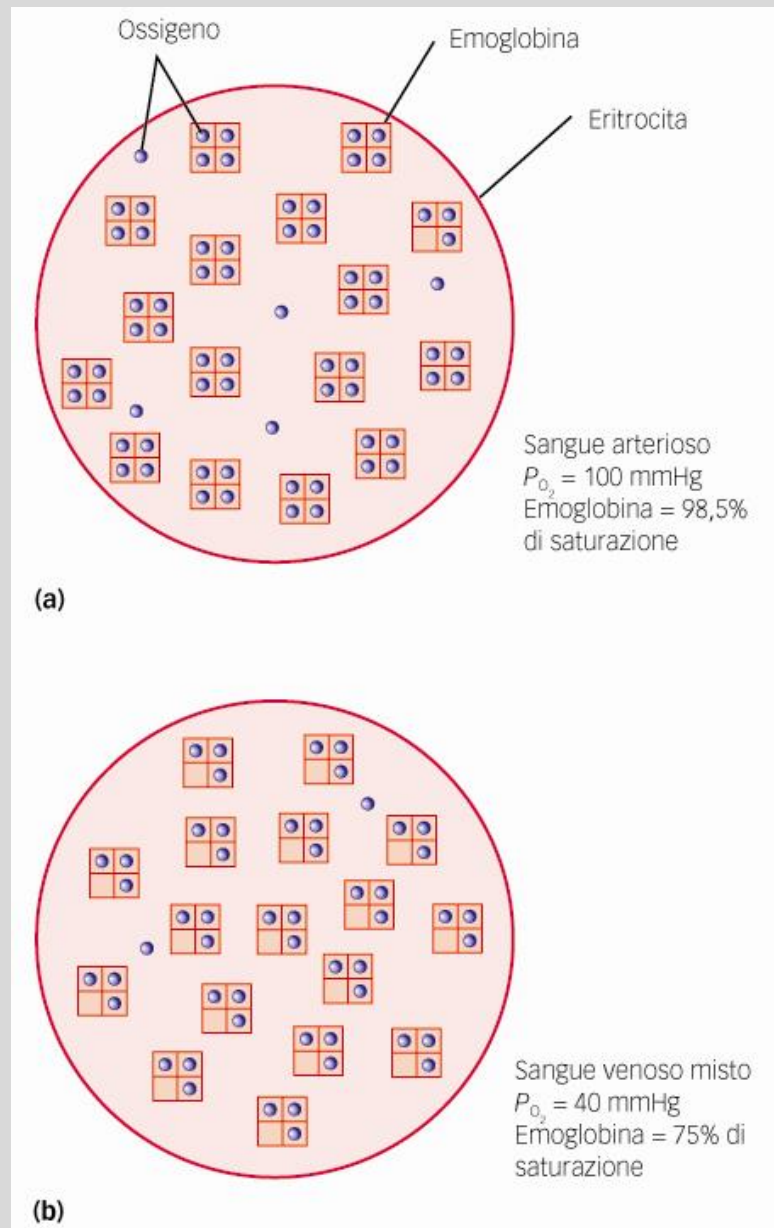
Emoglobina

E' una proteina formata da due coppie di catene globuliniche tra loro differenti.

Al suo interno vi è una molecola organica non proteica detta "eme"; il ferro dell'eme lega l'ossigeno.

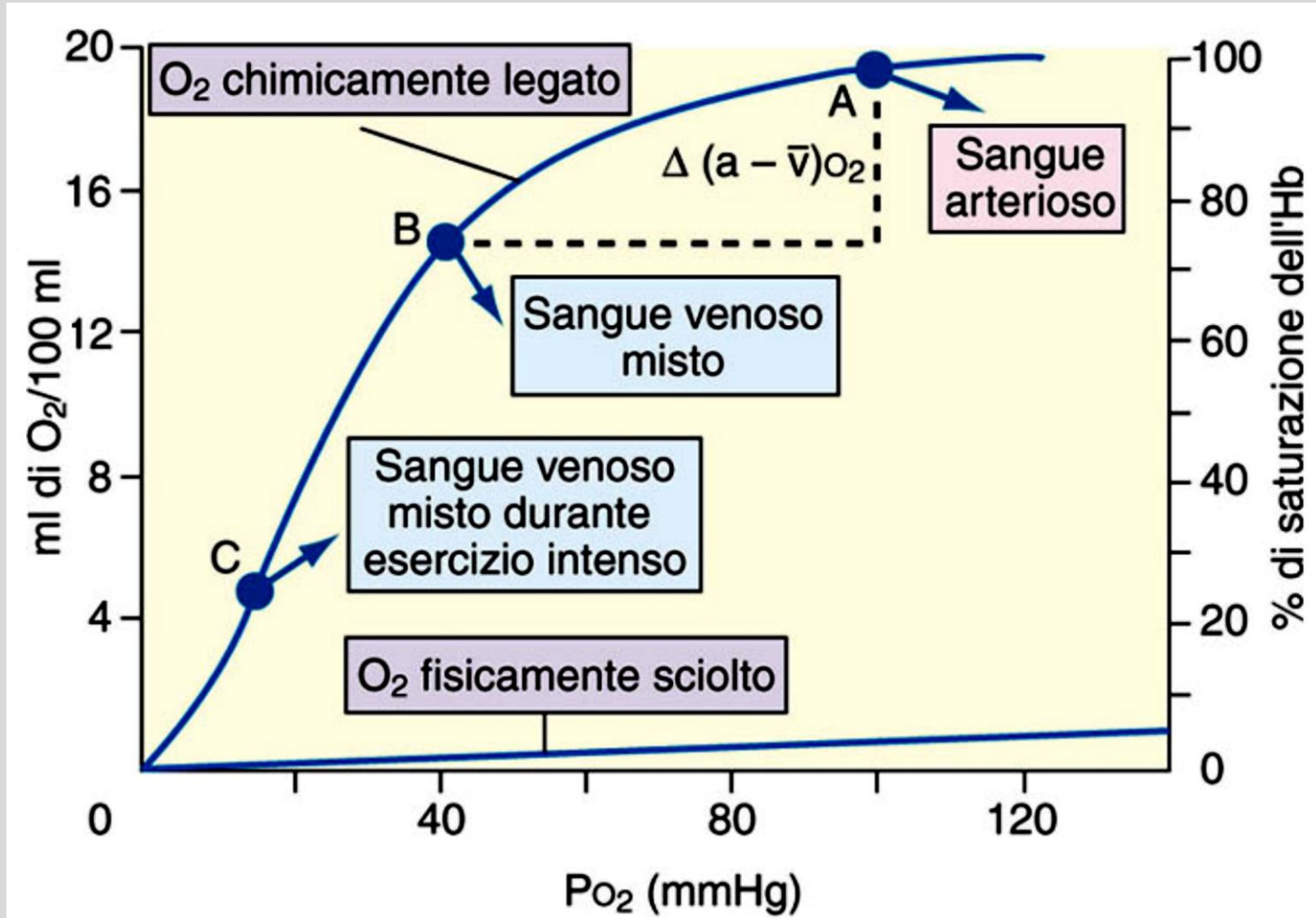


Saturazione dell'emoglobina



Curva di dissociazione dell'emoglobina

Con l'elevarsi della P_{O_2} aumenta progressivamente la percentuale dell'emoglobina legata con l'ossigeno.



Spostamento della curva di dissociazione

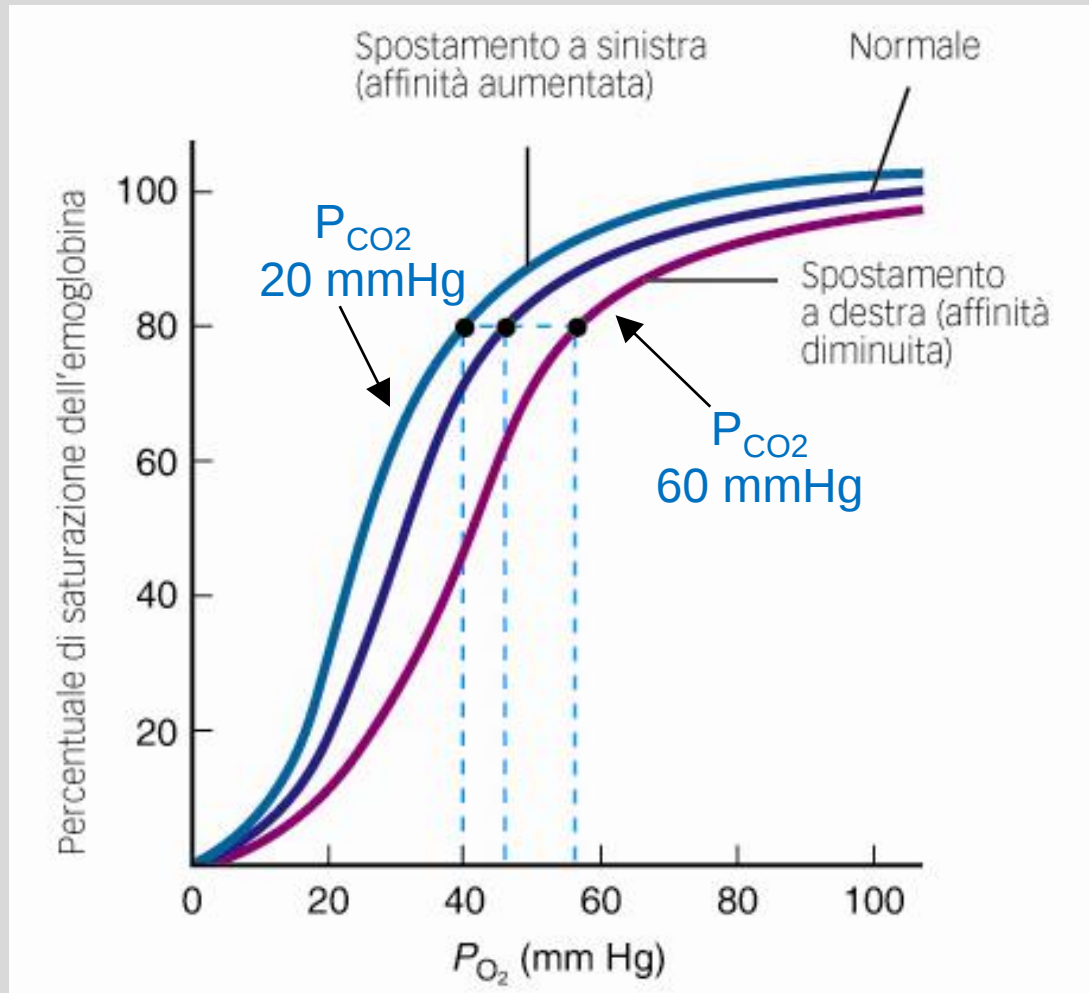
Mentre il sangue passa per i polmoni, la CO_2 diffonde dal sangue negli alveoli. Questo fa diminuire la P_{CO_2} ematica e aumentare il pH. Questi effetti fanno spostare a sinistra e in alto la curva di dissociazione.

Quindi a parità di P_{O_2} alveolare la quantità di emoglobina che si combina con l'ossigeno aumenta, facendo così aumentare la quantità di ossigeno trasportato.

Quando il sangue arriva ai capillari tissutali, la CO_2 entra nel sangue liberando l'ossigeno ad una P_{O_2} più alta di quella che altrimenti sarebbe. Quindi qui la curva di dissociazione si sposta verso destra.

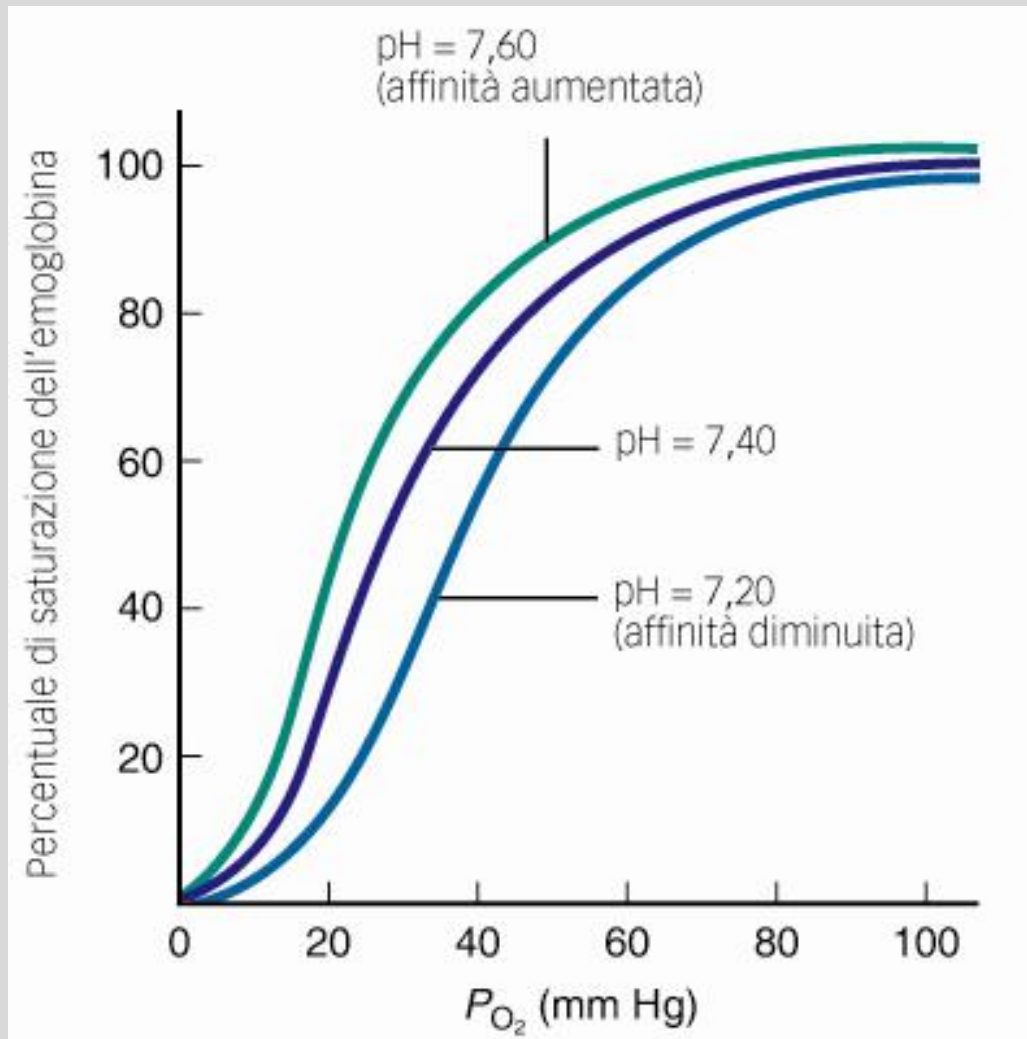
Effetto Bohr

Spostamento della curva di dissociazione dell'emoglobina per variazioni di concentrazione di CO_2 e degli idrogenioni nel sangue è importante per favorire l'ossigenazione del sangue nei polmoni e la cessione di ossigeno ai tessuti.



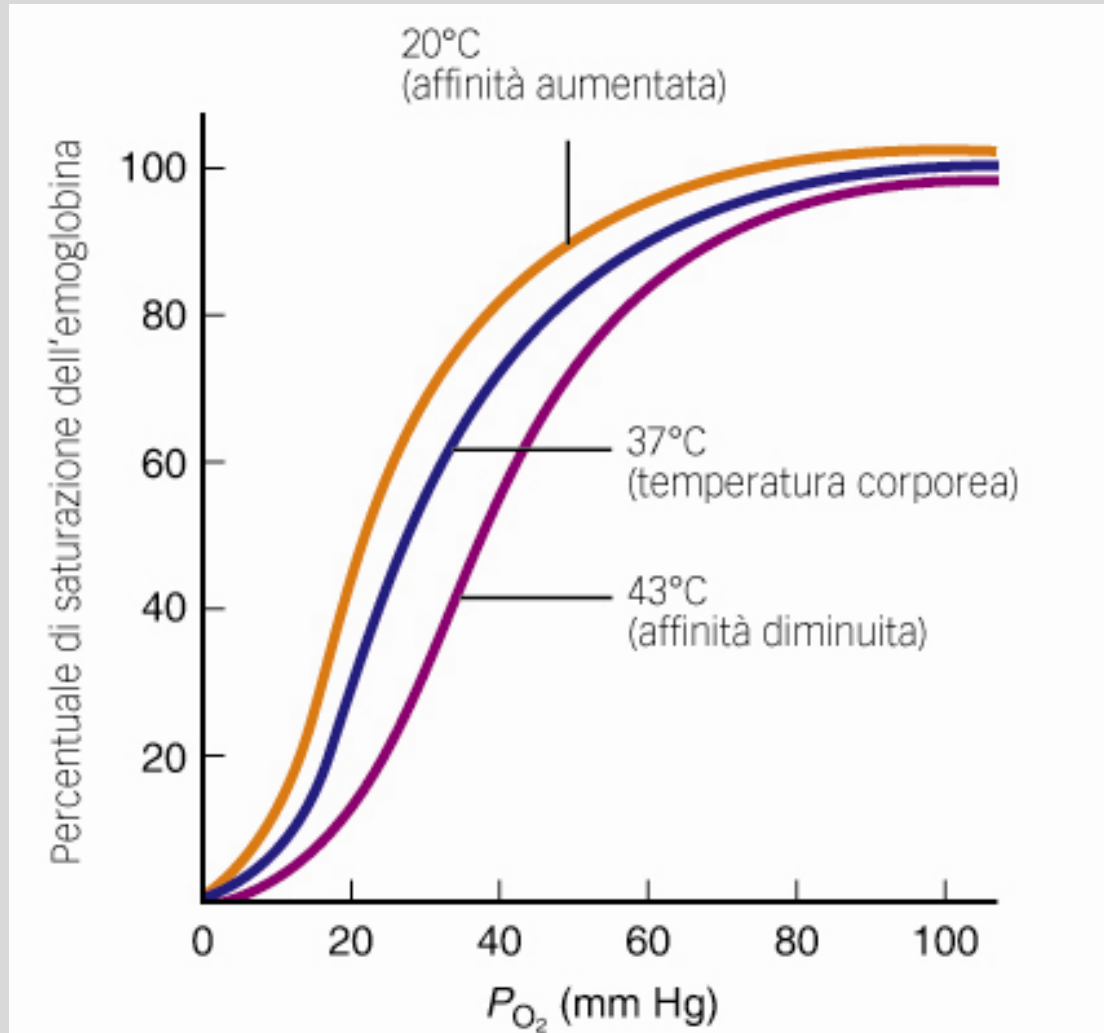
Effetto del pH

Una diminuzione del pH sposta la curva un poco verso destra. Viceversa un aumento provoca uno spostamento verso sinistra.



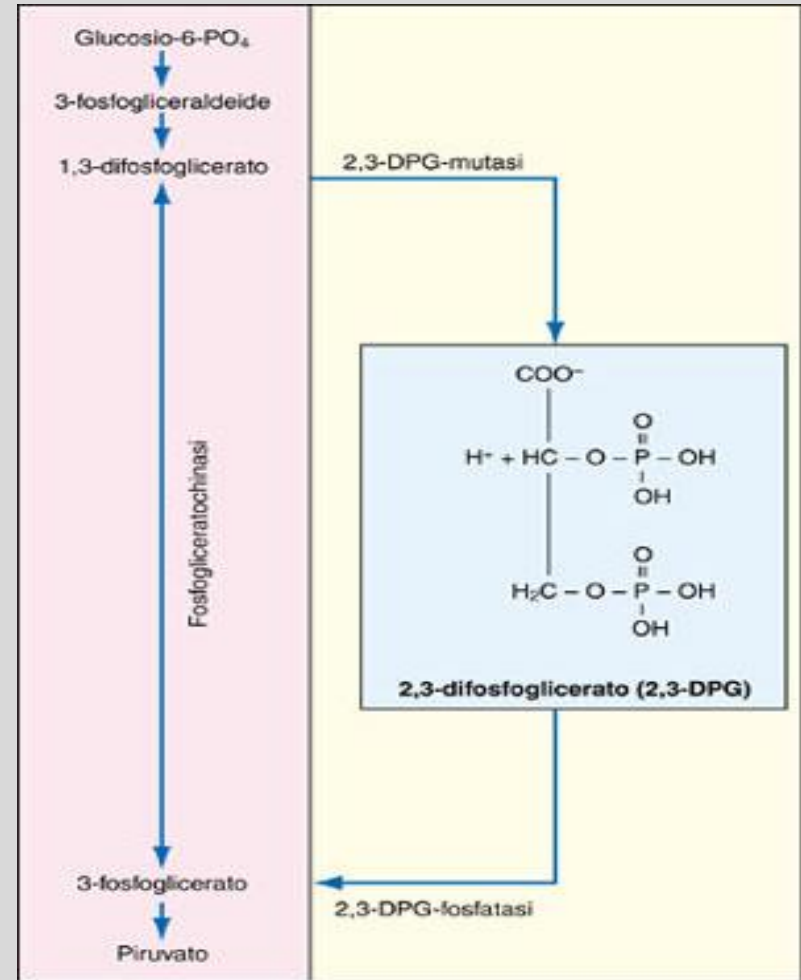
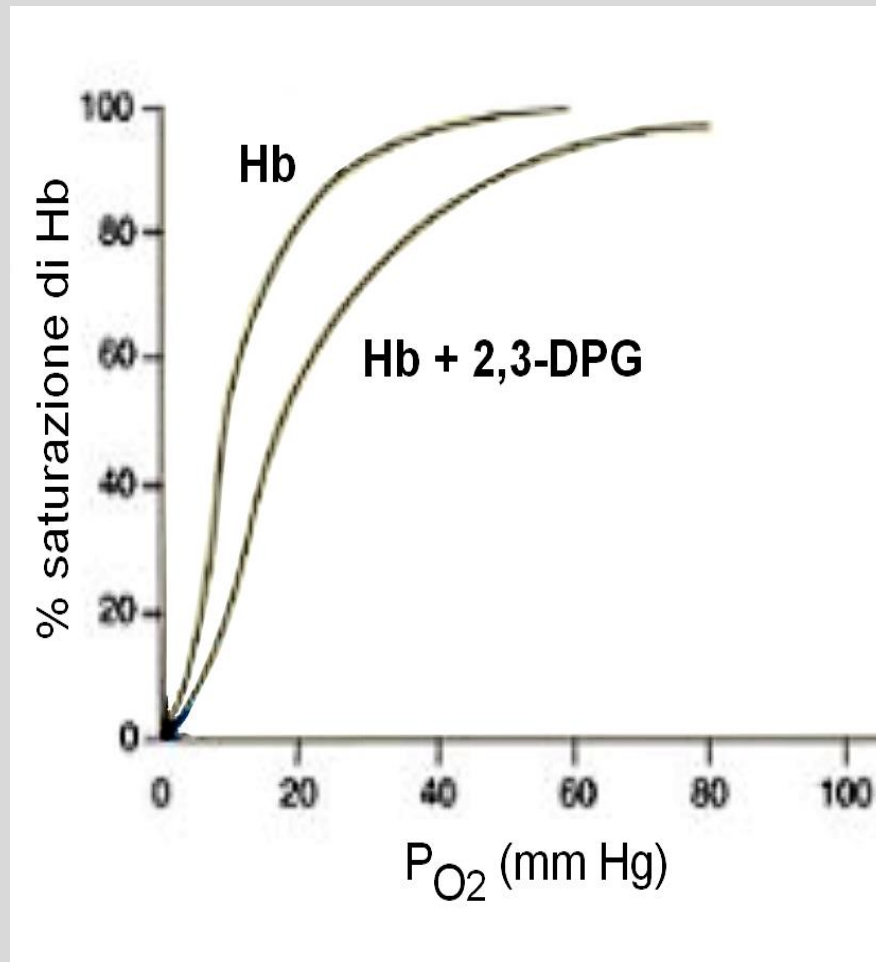
Effetto della temperatura

Una diminuzione della temperatura sposta la curva un poco verso sinistra.
Viceversa un aumento provoca uno spostamento verso destra.



Effetto dei fosfati organici

Il normale contenuto del difosfoglicerato (DPG) mantiene la curva sempre spostata un poco verso destra.



Grandezze del trasporto dell'O₂

		Valore normale
Pressione parziale (mmHg)		95
Capacità di O ₂ (ml/100 ml di sangue)		20.1
Concentrazione di emoglobina (g/100 ml di sangue)		15
Saturazione di O ₂ (%)		97.5
Contenuto di O ₂ (ml / 100 ml di sangue)	legato	19.6
	disciolto	0.3
Quantità di O ₂ trasportato (L / min)		0.99

Esempi di calcolo del trasporto di O_2

PO_2 (mm Hg)	[Hb] (g/100)	Capac O_2 (ml/100)	Satur O_2 (%)	O_2 leg (ml/100)	O_2 disc (ml/100)	O_2 tot (ml/100)	Port circol (l/min)	Port O_2 (l/min)
95	15	20.1	97.5	19.6	0.3	19.9	5	0.99

Esempi di calcolo del trasporto di O_2

PO_2 (mm Hg)	[Hb] (g/100)	Capac O_2 (ml/100)	Satur O_2 (%)	O_2 leg (ml/100)	O_2 disc (ml/100)	O_2 tot (ml/100)	Port circol (l/min)	Port O_2 (l/min)
95	15	20.1	97.5	19.6	0.3	19.9	5	0.99
95	7.5	10.05	97.5	9.8	0.3	10.1	5	0.50

Esempi di calcolo del trasporto di O₂

PO ₂ (mm Hg)	[Hb] (g/100)	Capac O ₂ (ml/100)	Satur O ₂ (%)	O ₂ leg (ml/100)	O ₂ disc (ml/100)	O ₂ tot (ml/100)	Port circol (l/min)	Port O ₂ (l/min)
95	15	20.1	97.5	19.6	0.3	19.9	5	0.99
95	7.5	10.05	97.5	9.8	0.3	10.1	5	0.50
50	15	20.1	80	16.08	0.15	16.2	5	0.81

Forme della CO_2 nel sangue

CO_2 in soluzione



carbaminocomposti



Trasporto della CO_2

La CO_2 viene trasportata in tre modi:

- Disciolta nel plasma

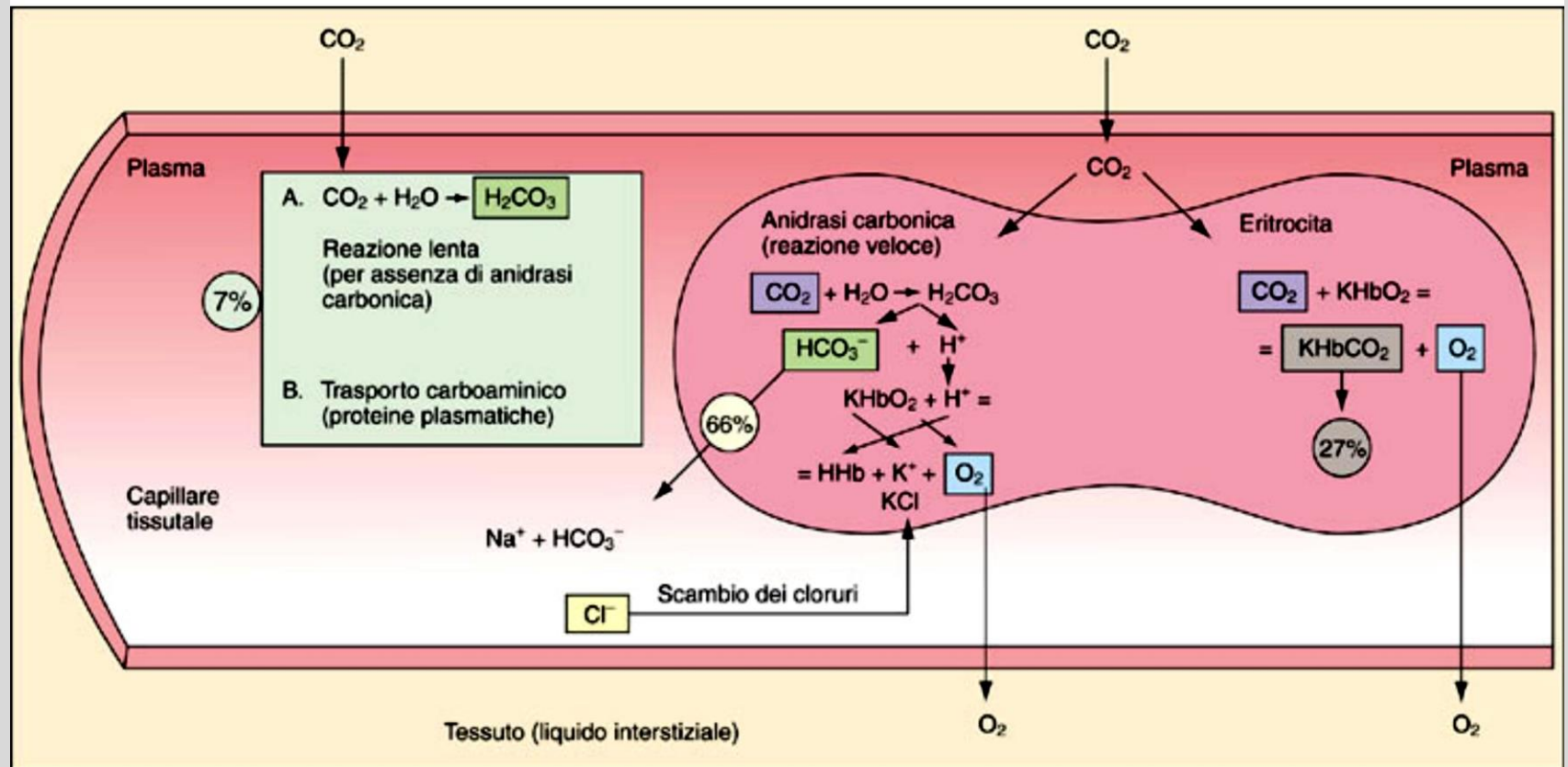
Circa 4 ml di CO_2 per 100 ml di sangue

- Sotto forma di ioni bicarbonato

La CO_2 disciolta nel sangue reagisce con l'acqua per formare acido carbonico; l'acido carbonico si dissocia in idrogenioni e ioni bicarbonato

- Legata all'emoglobina

Trasporto della CO_2

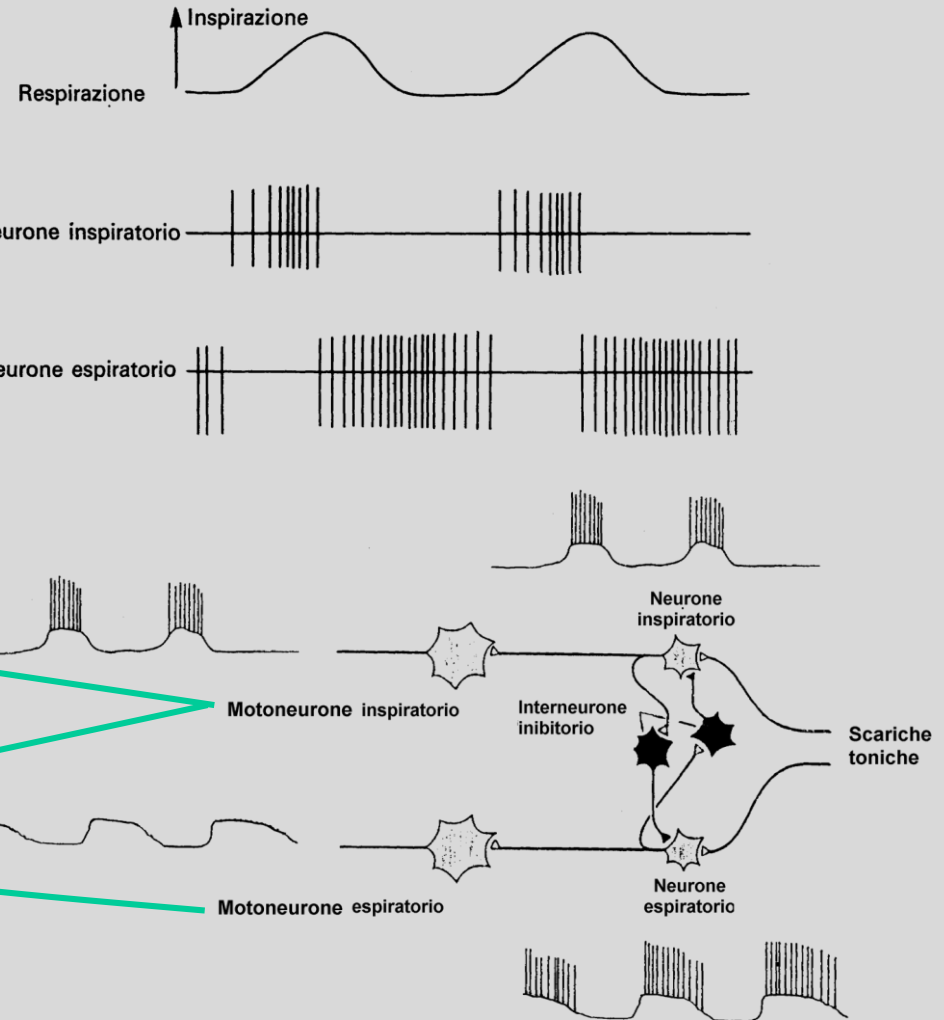
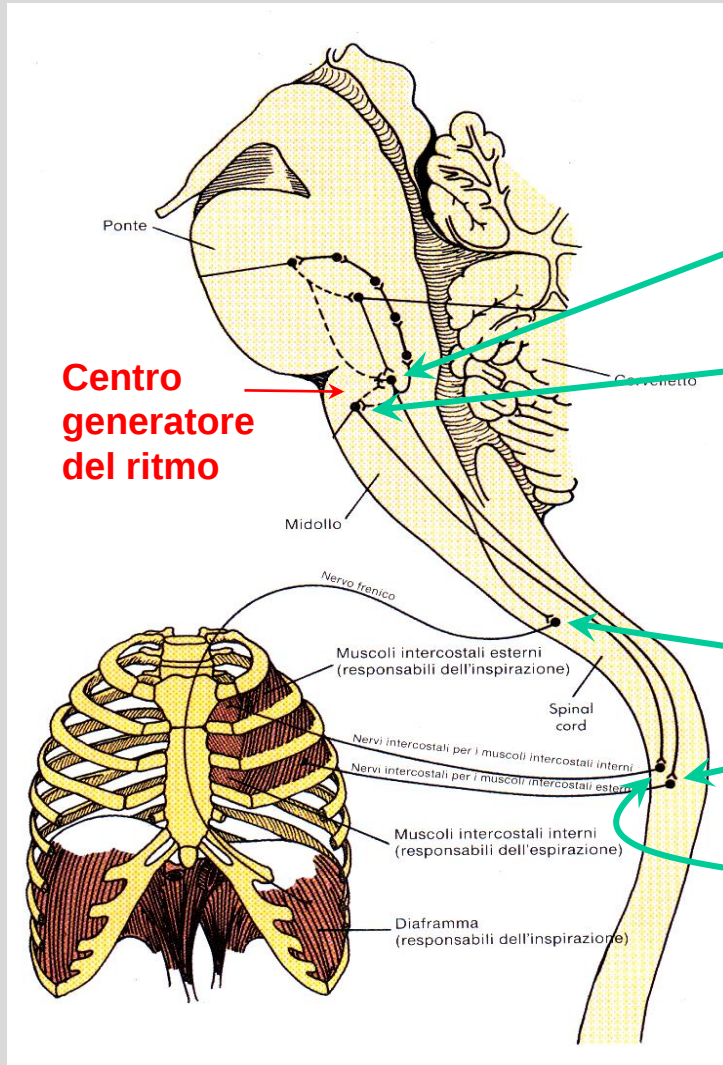


Controllo Respiratorio

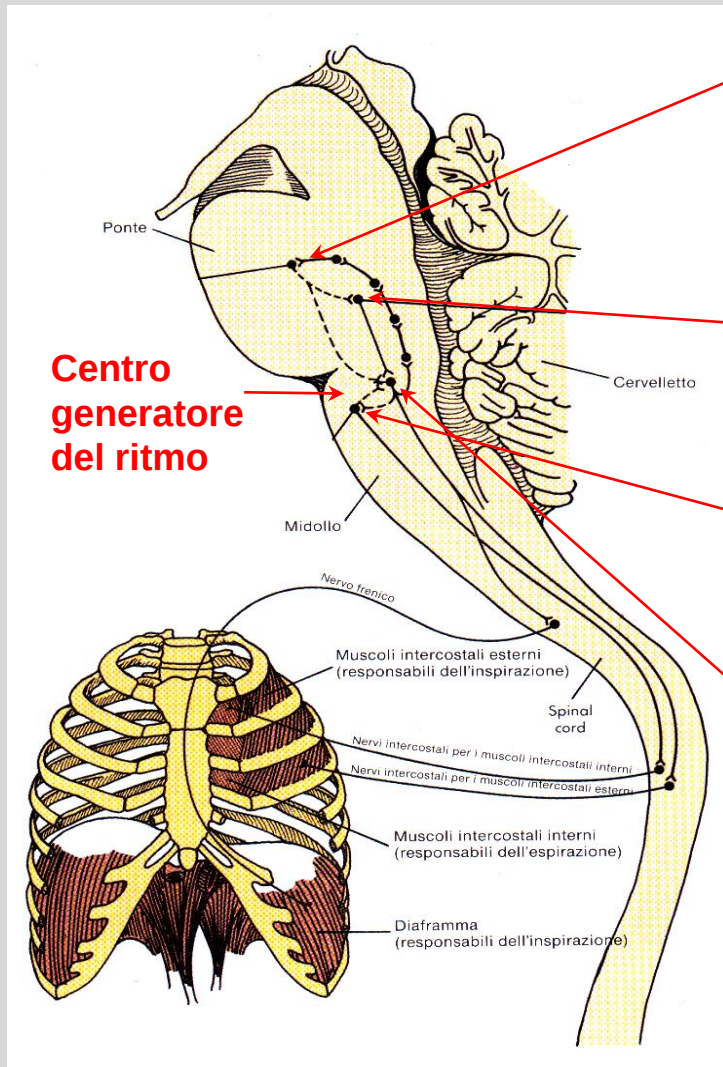
Origine e controllo del ritmo respiratorio

- ◆ Centro generatore del ritmo respiratorio (bulbo)
- ◆ Centri di controllo del SNC
 - Area apneustica (ponte)
 - Area pneumotassica (ponte)
 - Centri superiori (ipotalamo, sistema limbico, corteccia)
- ◆ Riflessi
 - dai polmoni
 - dai muscoli
 - dalla cute
 - dai chemocettori

Centro generatore del ritmo respiratorio



Centri troncoencefalici del respiro



Neuroni dell'area pneumotassica
quando vengono stimolati, inibiscono il centro apneustico e i neuroni inspiratori

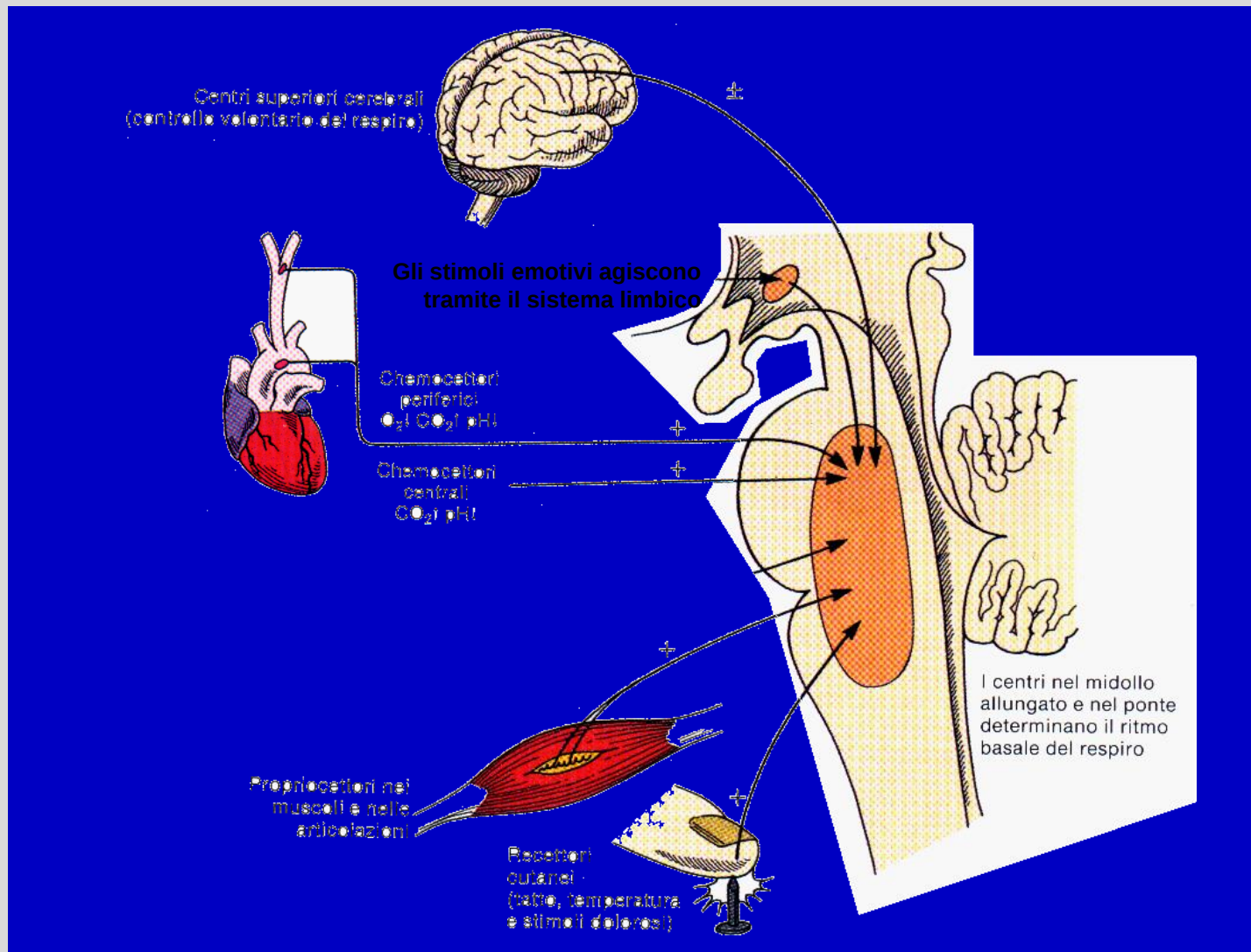
Neuroni dell'area apneustica
stimolano costantemente i neuroni inspiratori

Neuroni espiratori
stimolano i nervi per i muscoli intercostali interni e inibiscono i neuroni inspiratori

Neuroni inspiratori
stimolano i nervi frenici ed i nervi per i muscoli intercostali esterni e inibiscono i neuroni espiratori

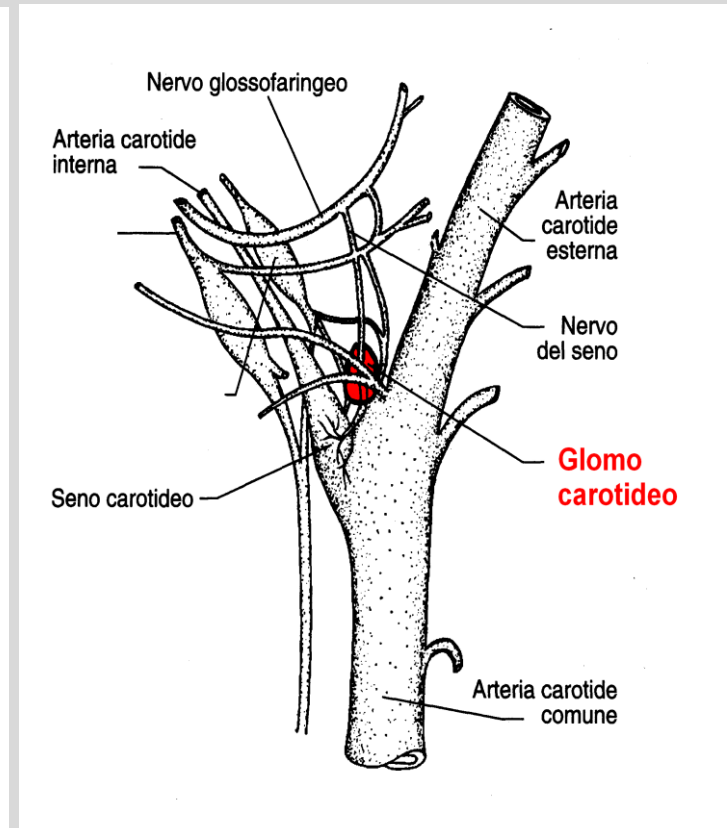
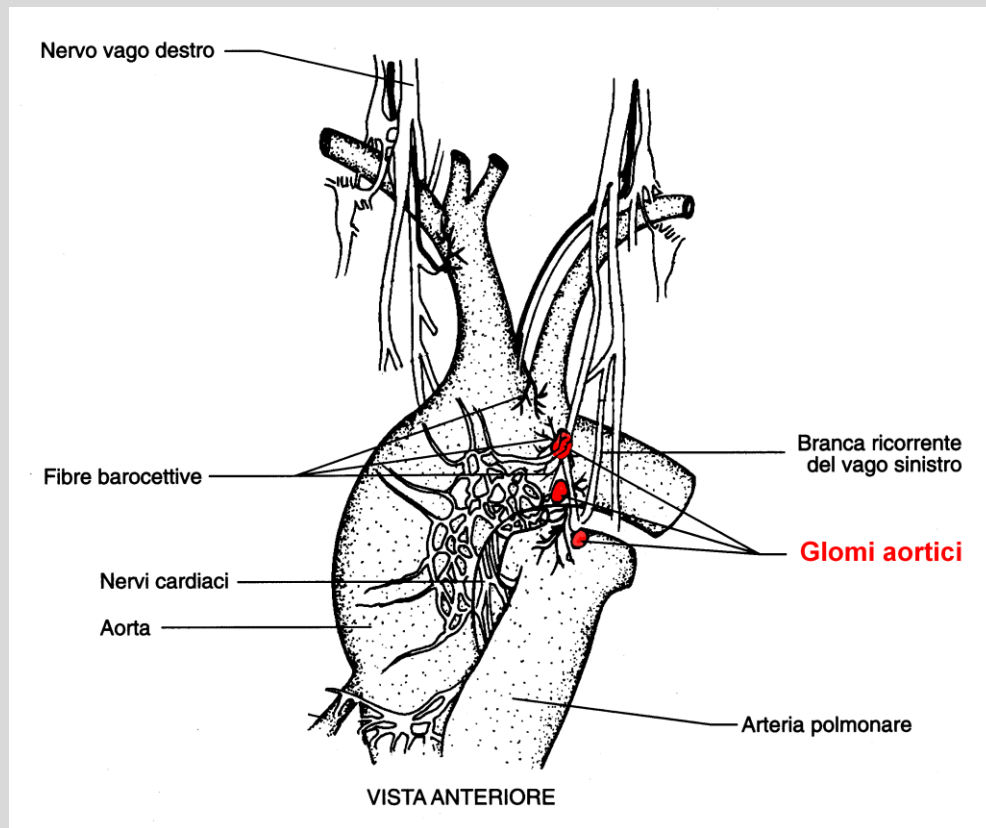
Altri centri di controllo e riflessi

Il ritmo respiratorio è influenzato anche da riflessi nervosi a partenza dai polmoni, dai muscoli e dalla cute, che adeguano il ritmo a specifiche esigenze funzionali



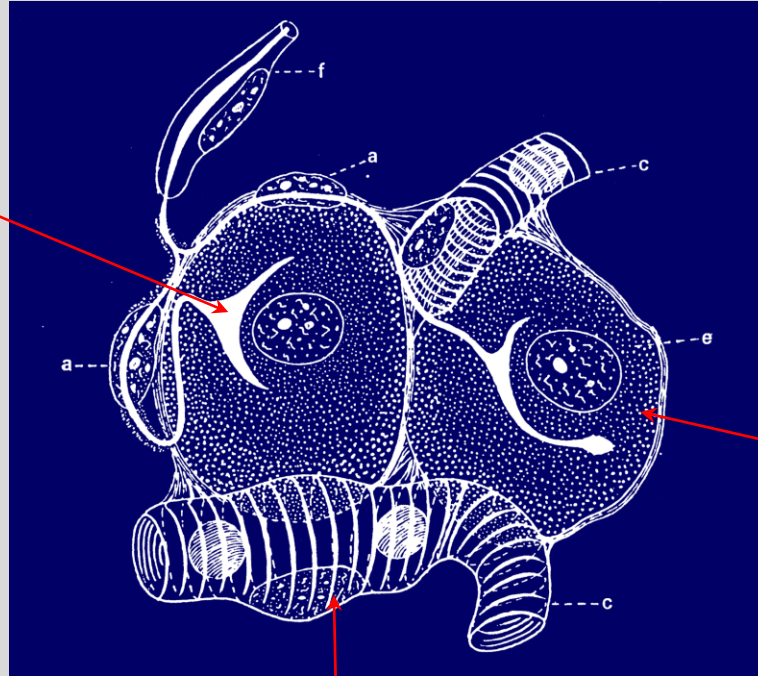
Posizione dei glomi

I glomi aortici e carotidei contengono chemocettori per l' O_2 , la CO_2 e gli ioni H^+ che danno origine a riflessi capaci di mantenere costanti i parametri ematici dei gas respiratori modulando opportunamente la ventilazione.



Struttura dei glomi

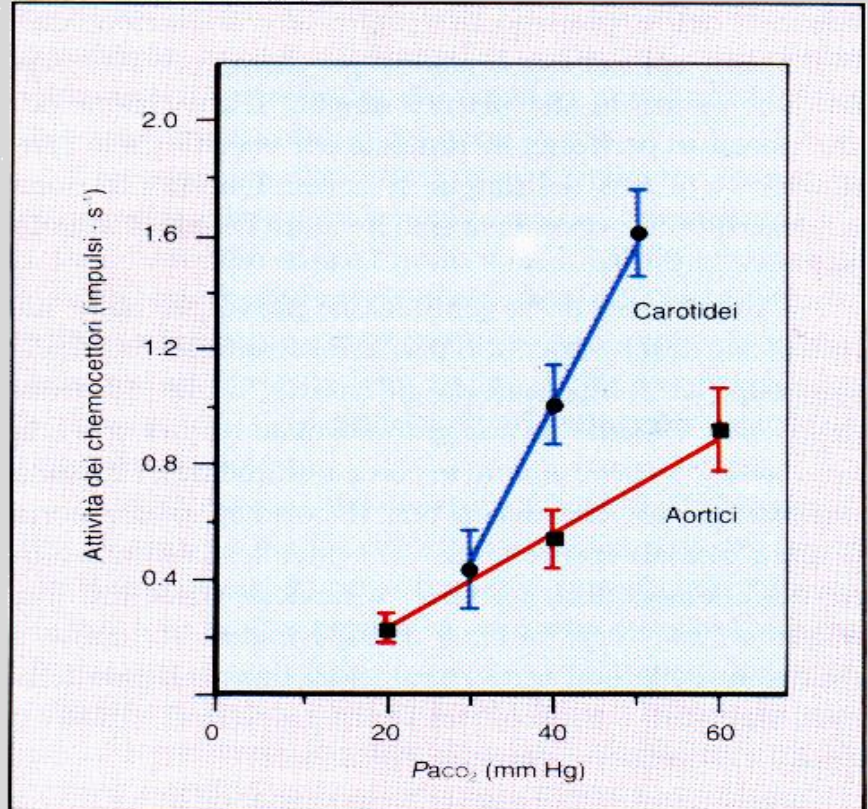
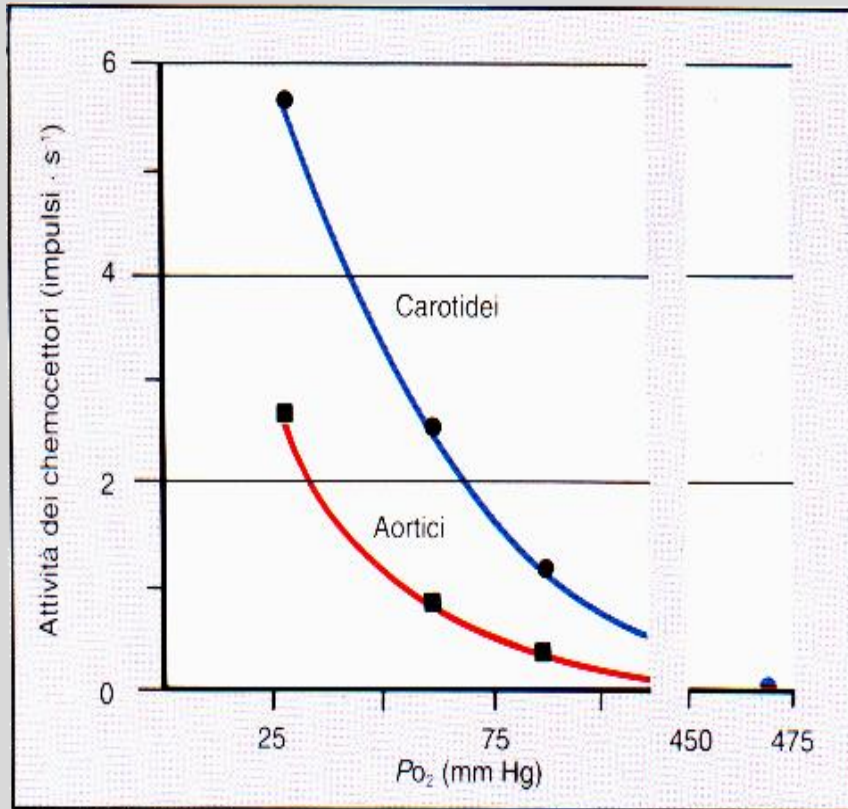
Terminazioni nervose



Cellule recettoriali

Capillare

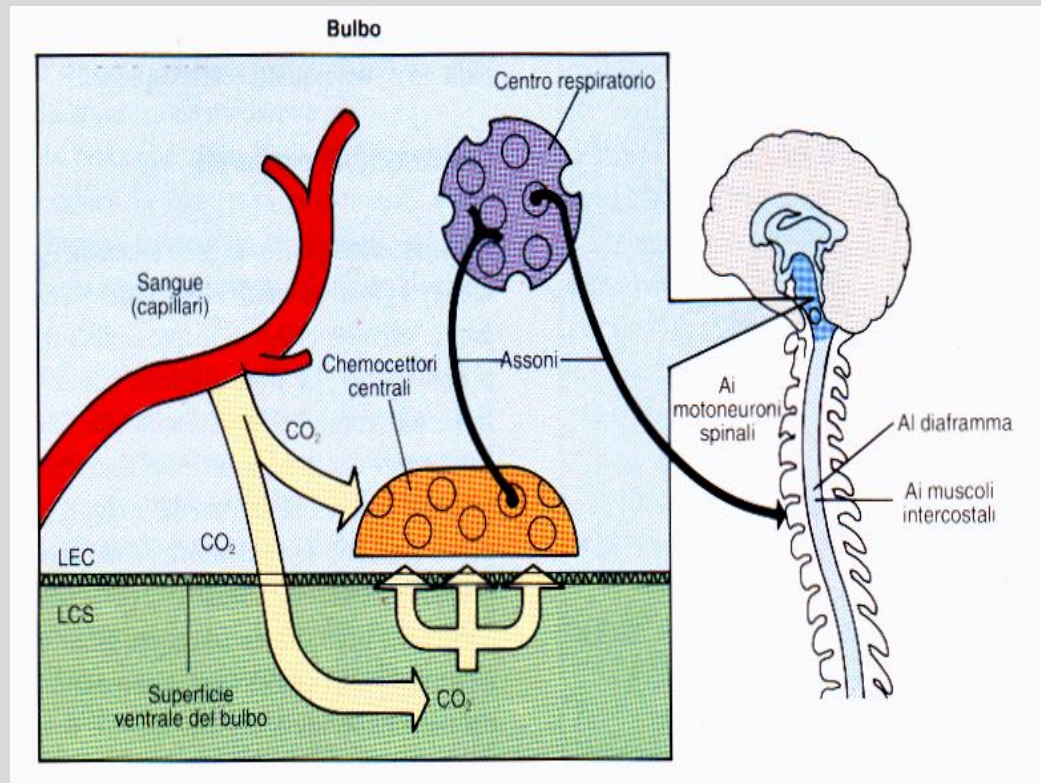
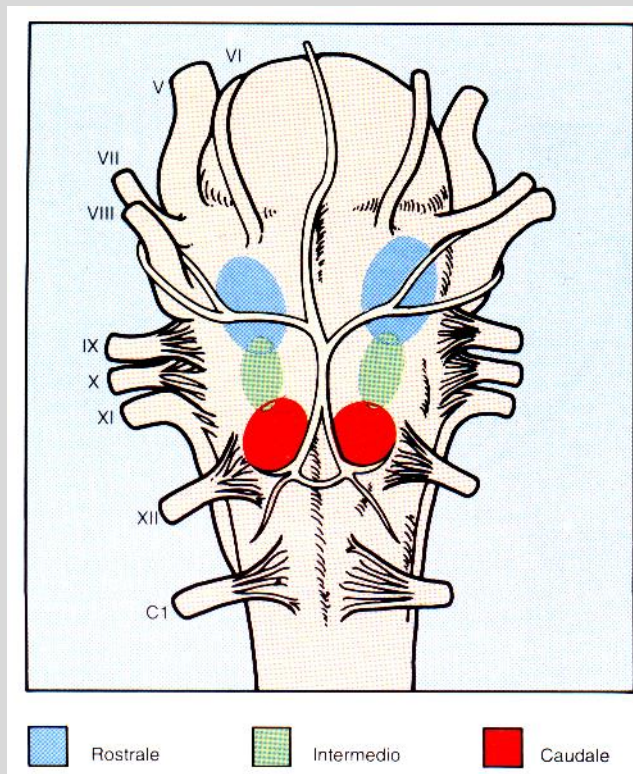
Risposte dei chemocettori periferici



Chemocettori centrali

Regioni specializzate sulla superficie ventrale del bulbo contengono recettori chimici per la CO_2 e gli ioni H^+ collegati ai centri respiratori sui quali esercitano un'azione di stimolo della ventilazione

Faccia ventrale del troncoencefalo



Schema del controllo chimico del respiro

