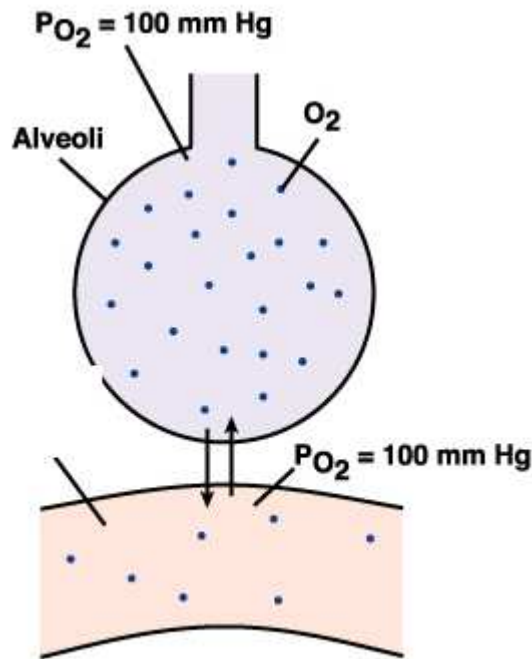


# Trasporto dei gas

Pressioni  $\longrightarrow$  Volumi

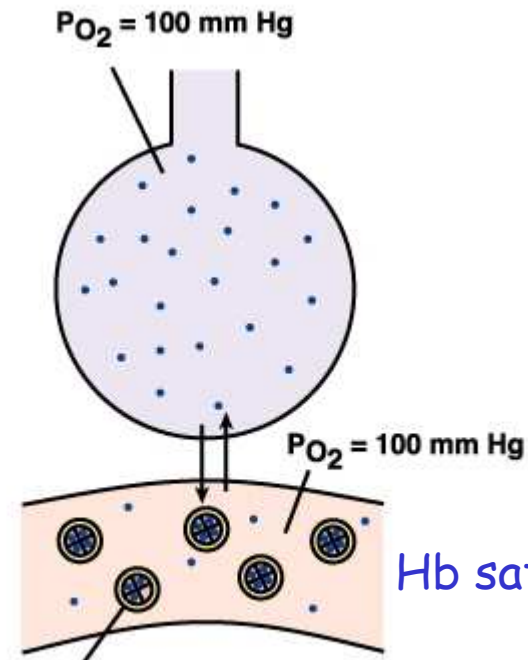
Il 97% dell'  $O_2$  trasportato nel plasma si trova chimicamente legato all'Hb nei globuli rossi, solo lo 3% è fisicamente disciolto

Trasporto  $O_2$  nel plasma



0.3  
ml/100ml

Trasporto  $O_2$  legato ad Hb



Hb saturata al 97%

19.4 ml/100ml

Contenuto totale di  $O_2$   
0.3 solubilità + 19.4 legame  
Hb = 19.7 ml/100ml

## Quantità ossigeno trasportata/min

= coefficiente di legame ( o potere ossiforico)

\* Saturazione \* Hb mg/ ml \* Flusso

=  $1,34 * 0,97 * 15 \text{ mg/ml}$

=  $19,7/\text{ml} + 0,3/\text{ml}$

=  $20 \text{ ml}/100 \text{ ml}$

Arteria: 20 ml

Vena: 14 (15) ml

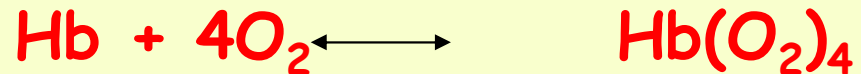
A-V : 6 (5) ml

## Emoglobina (cromoproteina PM = 64.500)

- 4 catene polipeptidiche: 2 $\alpha$  e 2 non  $\alpha$  ( $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ )
- 4 gruppi eme (protoporfirine, 4 anelli pirrolici + Fe bivalente centrale)

Adulto: 95% HbA  $\alpha_2 \beta_2$ , 2-3% HbA<sub>2</sub>  $\alpha_2 \delta_2$

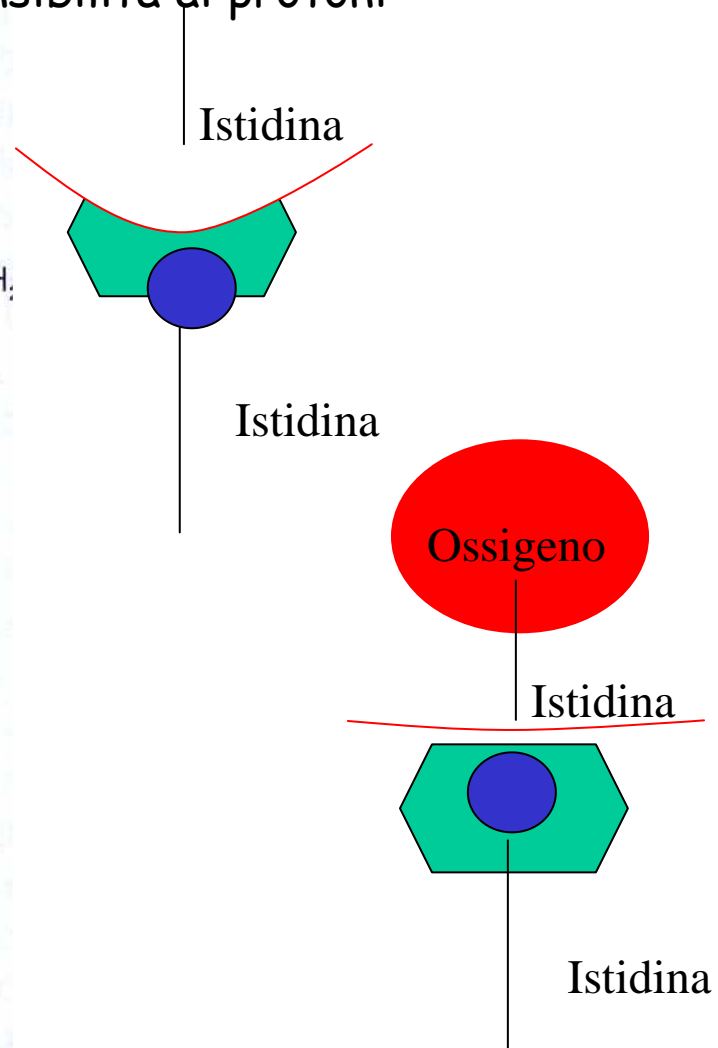
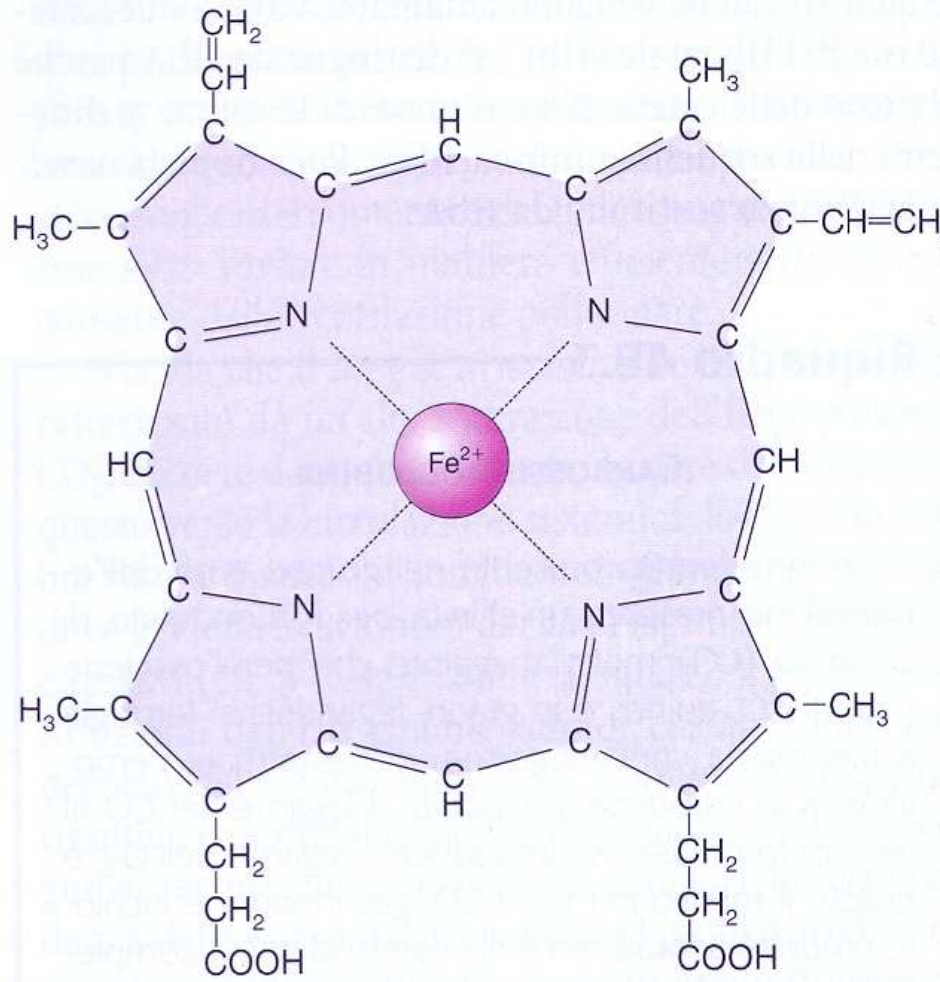
Feto: HbF  $\alpha_2 \gamma_2$



$\text{O}_2$  si lega all'eme per ossigenazione (senza cambiamenti della valenza ionica): si forma **Ossiemoglobina** ( $\text{HbO}_2$ )

La liberazione dell' $\text{O}_2$  avviene per desossigenazione: si forma **Desossiemoglobina**

I gruppi eme sono all'interno di crepacci della struttura sferica dell'Hb  
La piegatura della catena polipeptidica è necessaria per il trasporto ossigeno  
Le caratteristiche allosteriche e la sensibilità ai protoni



Concentrazione Hb = 15 gr / 100ml sangue

## Potere ossiforico

1 gr Hb lega 1.39 ml di O<sub>2</sub> (condizioni ottimali)

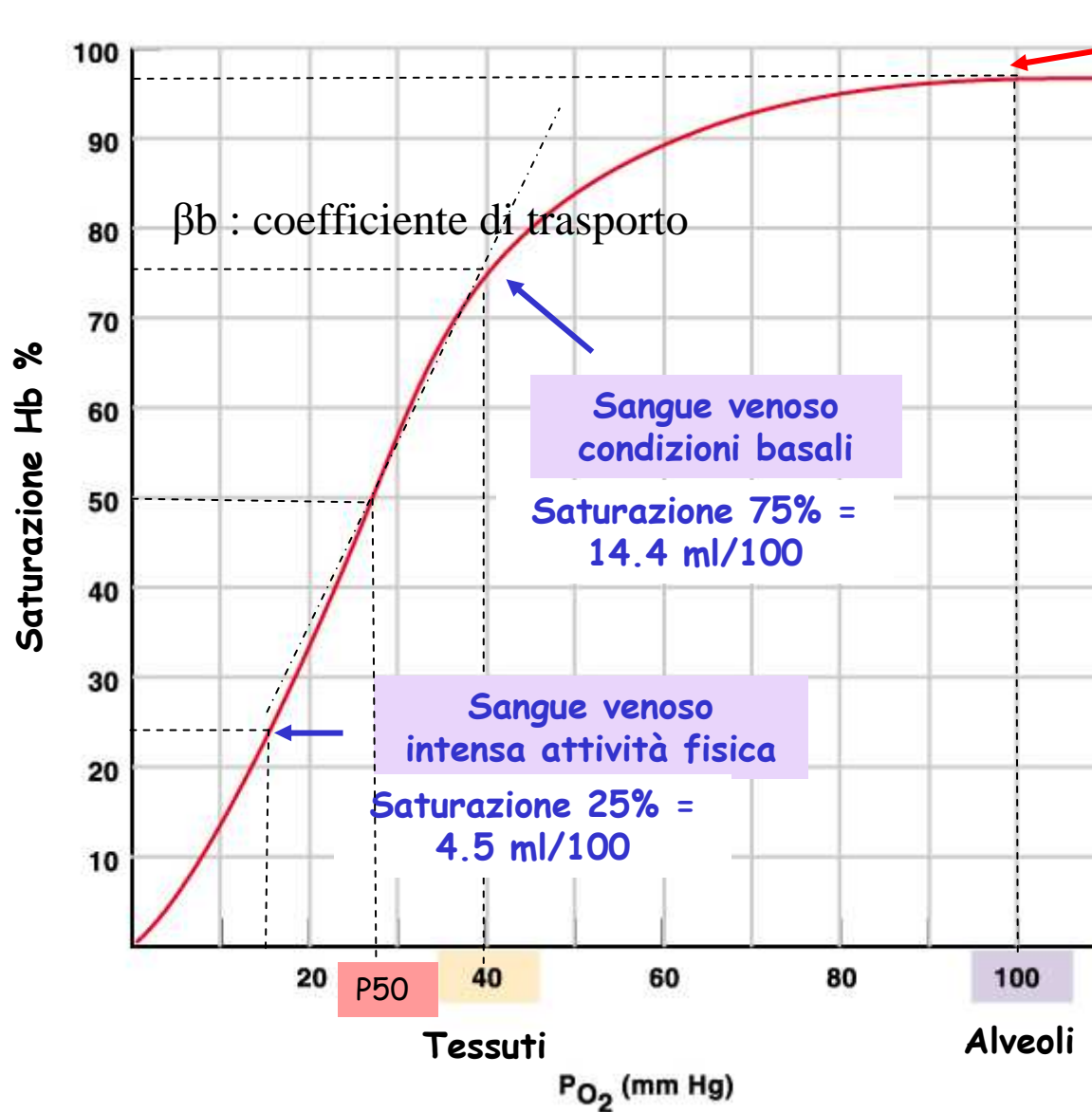
1 gr Hb lega 1.34 ml di O<sub>2</sub> (in condizioni reali, leggera presenza MetHb):

Nel sangue arterioso la capacità massima di trasporto di O<sub>2</sub> è 20.4ml/ 100ml di sangue

La quantità di O<sub>2</sub> legata all'Hb cresce in rapporto alla pO<sub>2</sub>, seguendo una curva ad andamento sigmoide:

**Saturazione in O<sub>2</sub> = [HbO<sub>2</sub>] / Hb totale**

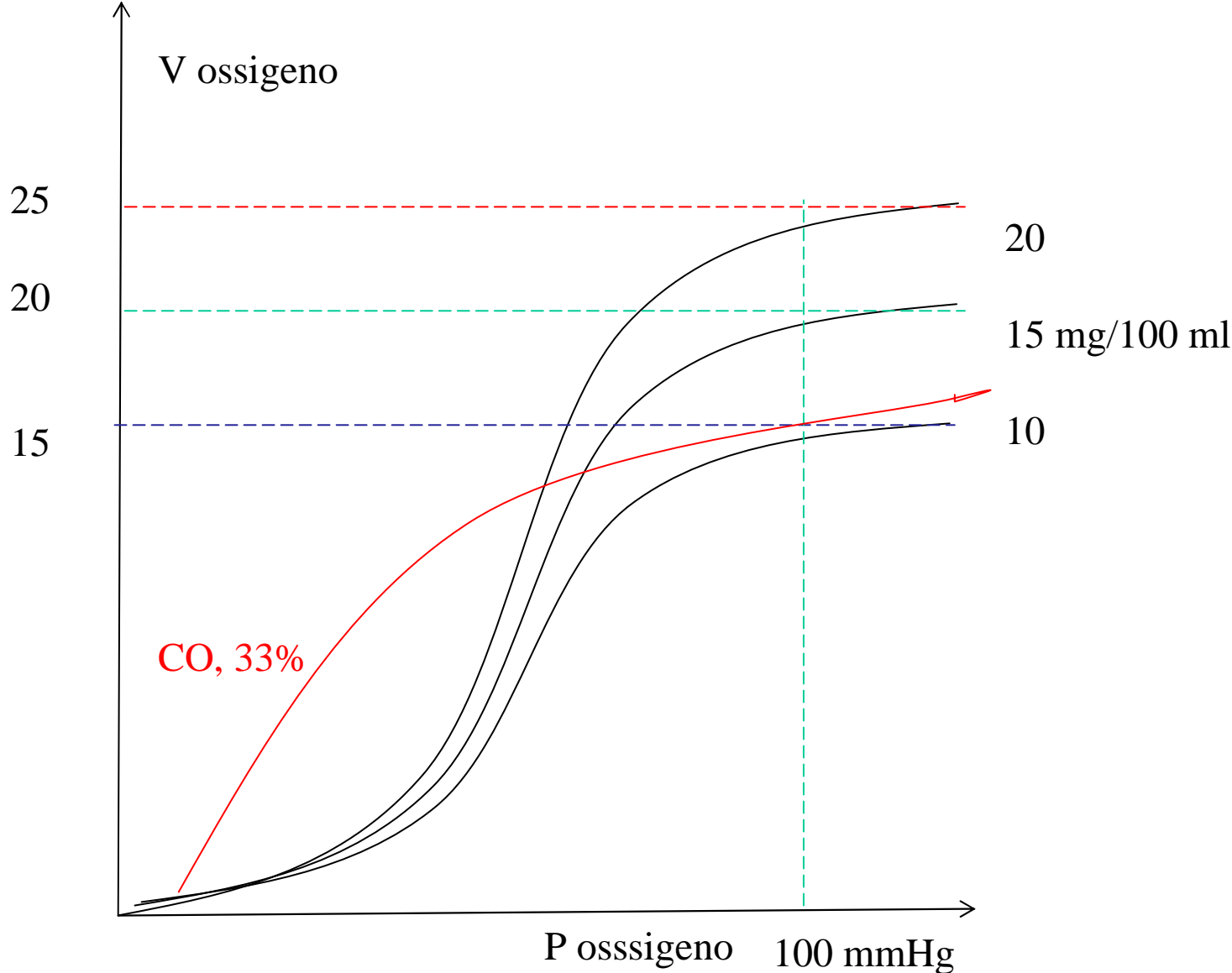
# Curva di dissociazione dell'ossiemoglobina



## Vantaggi relazione Hb + O<sub>2</sub>

- Garantisce saturazione Hb >90% per riduzioni della pO<sub>2</sub> alveolare fino a 60mmHg
- Permette una maggiore cessione di O<sub>2</sub> ai tessuti con piccole variazioni di pO<sub>2</sub>

# Concentrazione di ossigeno/pressione, re valori di Hb





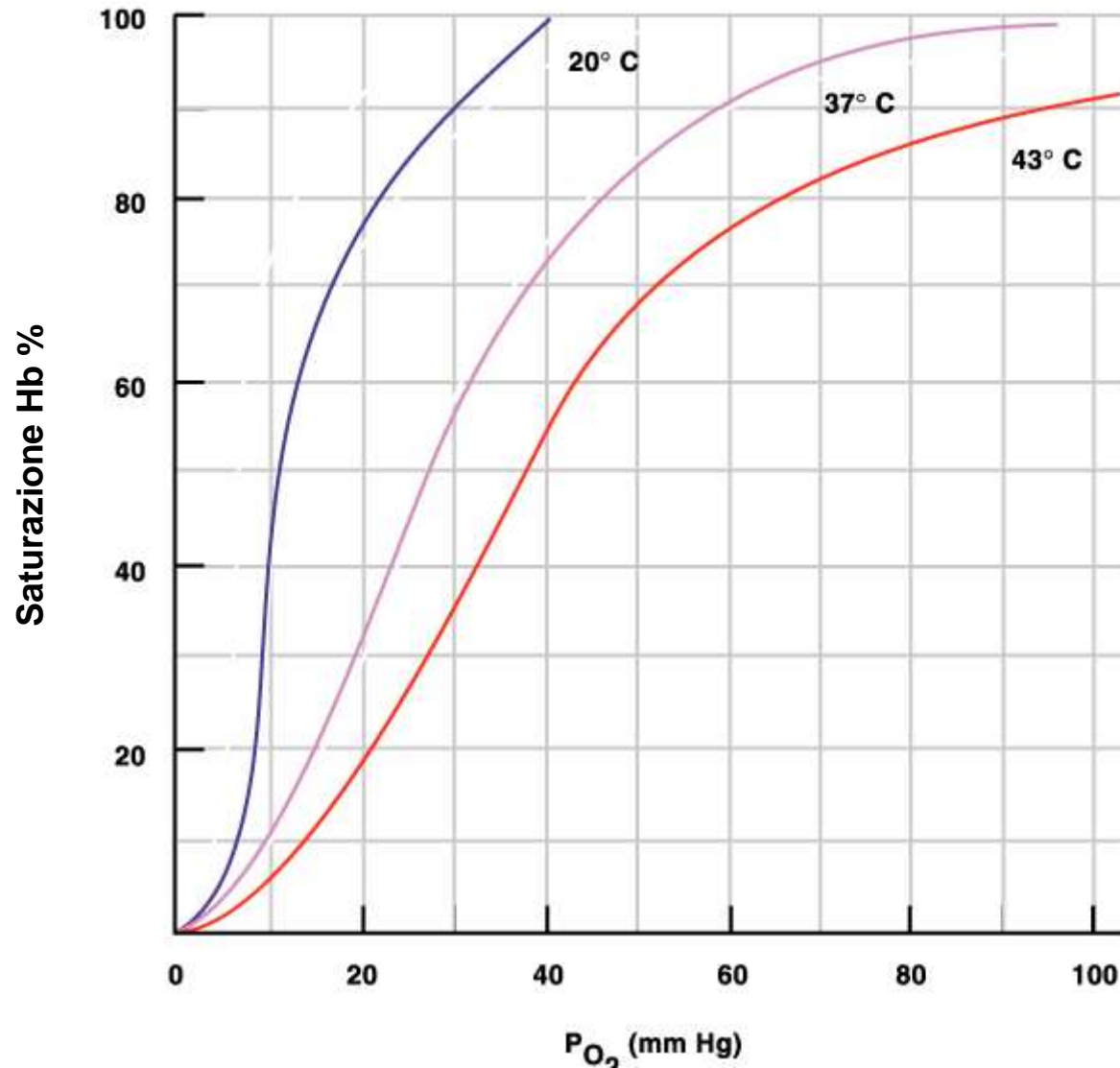
Emoglobina    alfa beta  
                  alfa delta (3%)  
                  alfa gamma (fetale)

Patologiche, mutazioni: anemia falciforme ( alfa-beta,s)  
                                  emolisi    (alfa-beta, c)  
                                  talassemia (beta4)

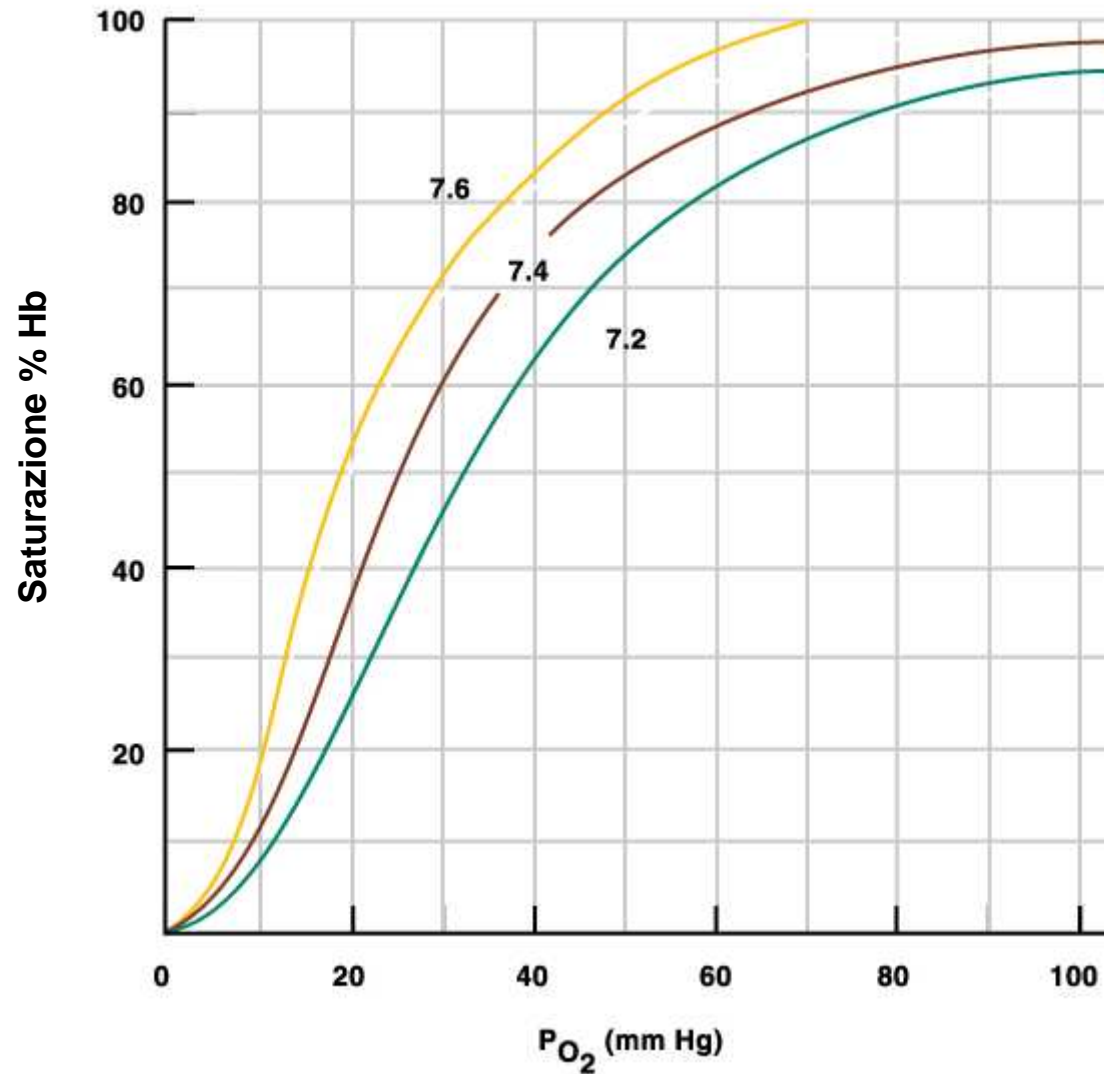
L'affinità dell'Hb per l'O<sub>2</sub> viene influenzata da:

- Temperatura
- pH
- pCO<sub>2</sub>
- 2,3-DPG

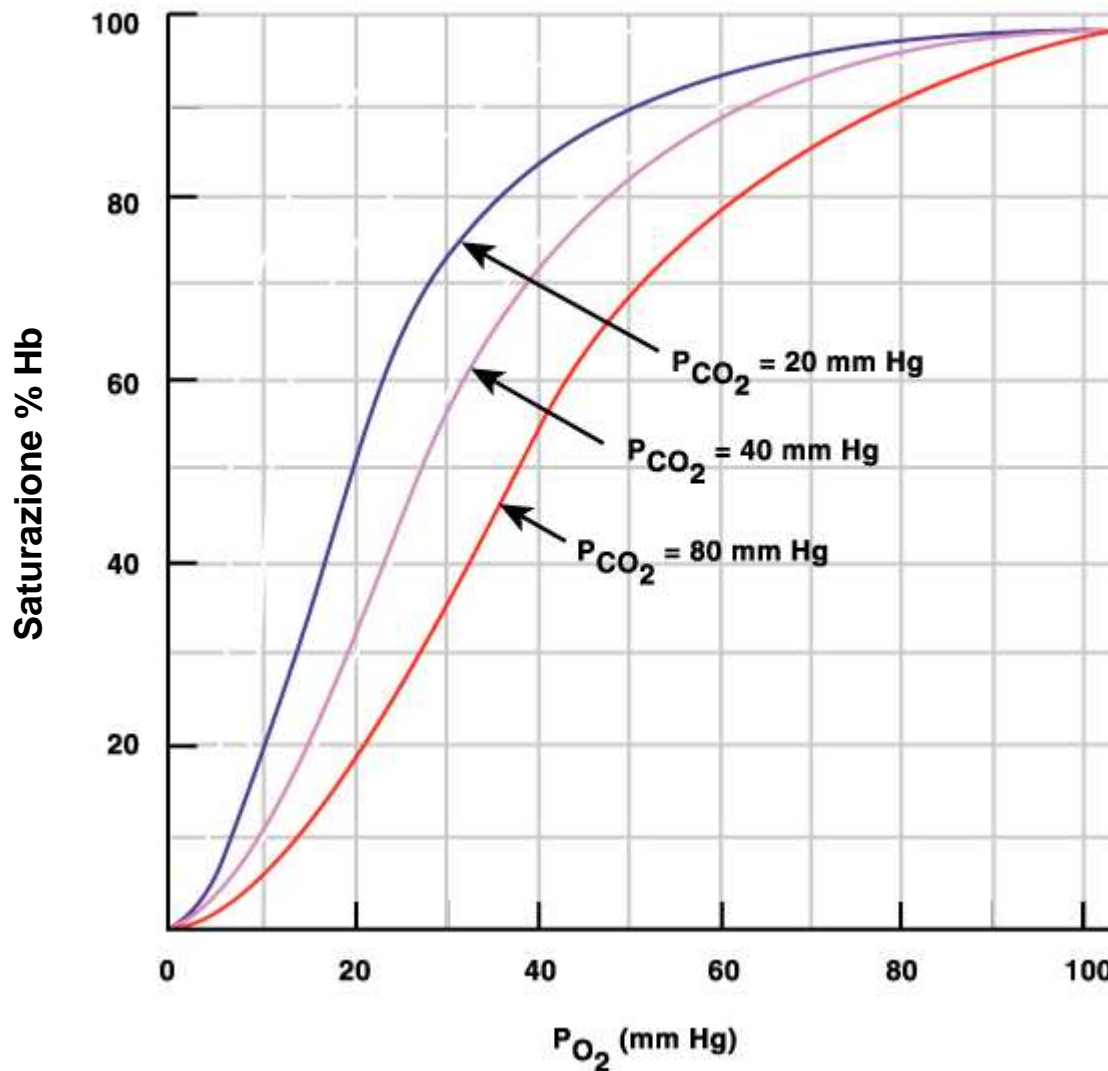
- L'aumento di T sposta la curva verso Ds (minore affinità dell'Hb per  $O_2$ )
- La riduzione di T sposta la curva verso Sn (maggiore affinità di Hb per  $O_2$ )



- La riduzione di pH sposta la curva verso Ds (minore affinità dell'Hb per  $O_2$ )
- L'aumento di pH sposta la curva verso Sn (maggiore affinità di Hb per  $O_2$ )



- L'aumento di  $p\text{CO}_2$  sposta la curva verso Ds (minore affinità dell'Hb per  $\text{O}_2$ )
- La riduzione di  $p\text{CO}_2$  sposta la curva verso Sn (maggiore affinità di Hb per  $\text{O}_2$ )



## Effetto Bohr

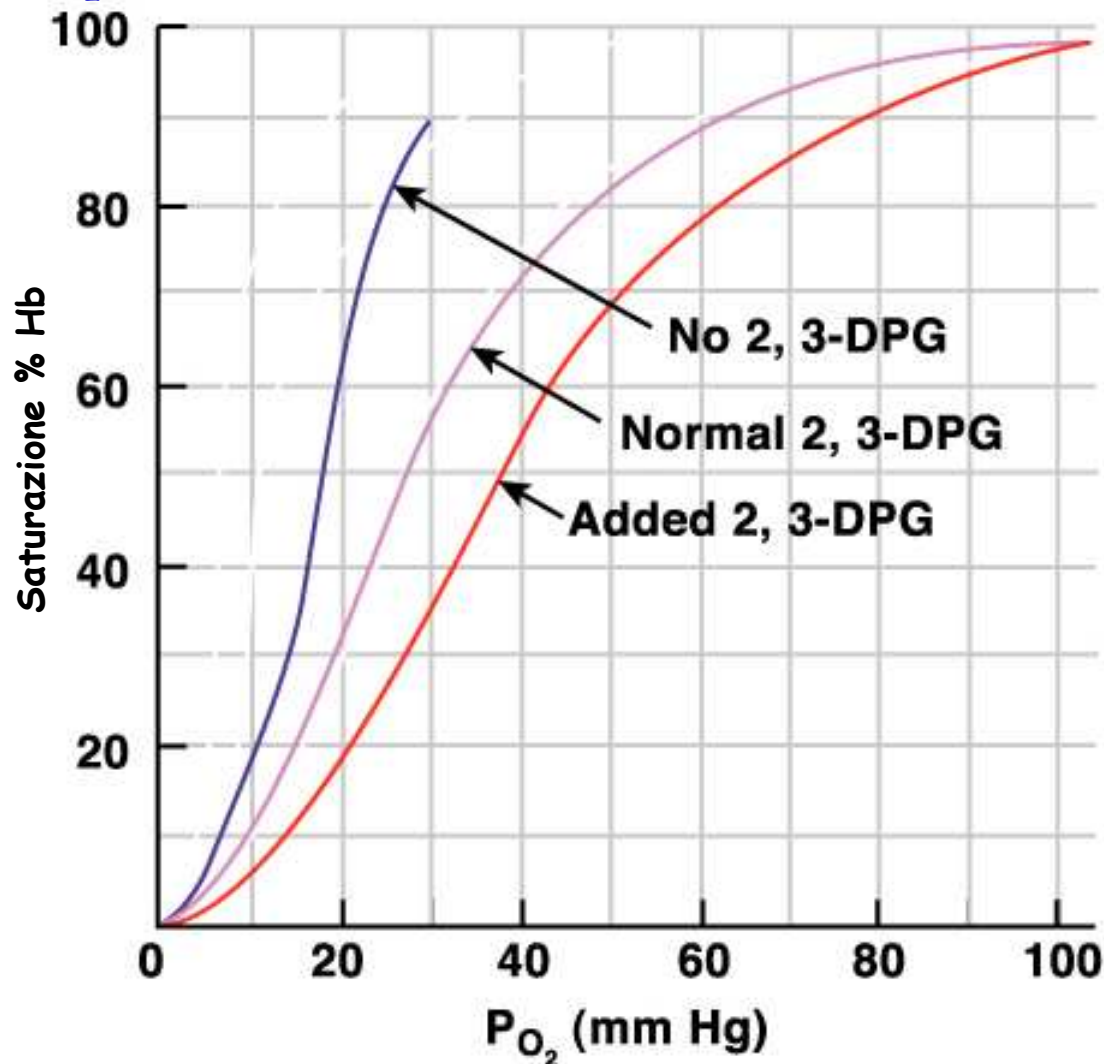
Le variazioni di affinità dell'Hb per  $O_2$  determinate da variazioni di  $pCO_2$  e di pH, sono alla base dell' **Effetto Bohr**

L'effetto Bohr ha conseguenze sia sull'assunzione di  $O_2$  a livello polmonare che sulla sua cessione a livello tissutale.

- A livello polmonare l'assunzione di  $O_2$  è favorita dalla contemporanea eliminazione di  $CO_2$
- A livello tissutale la cessione di  $O_2$  è favorita dalla contemporanea assunzione di  $CO_2$

• **Vantaggio: cessione in più di 1,2 ml/100 ml (circa il 20% del trasporto)**

- L'aumento di 2,3-DPG sposta la curva verso Ds (minore affinità dell'Hb per O<sub>2</sub>)
- La riduzione di 2,3-DPG sposta la curva verso Sn (maggiore affinità di Hb per O<sub>2</sub>)

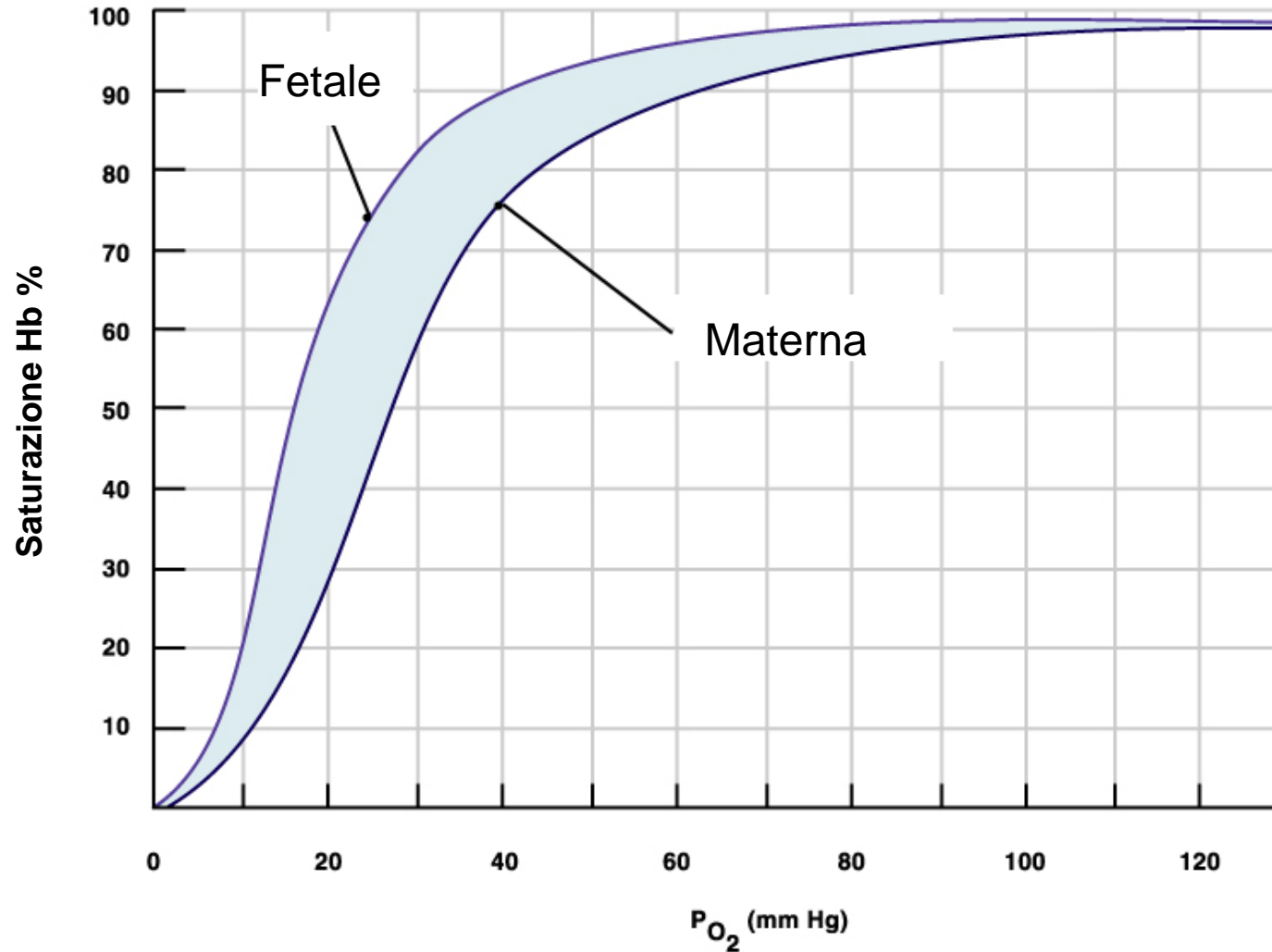


**2,3-DPG** sintetizzato nei globuli rossi (glicolisi anaerobica).

Si lega alla catena β dell'Hb e varia la sua affinità per O<sub>2</sub>.

Il suo effetto è legato anche ad un abbassamento del pH (anione indiffusibile con 5 gruppi acidi).

La sua formazione è stimolata dall'**alcalosi** e dall'**ipossia cronica**. **Inibita nella vita fetale**



La mancanza di affinità dell'Hb fetale per 2,3-DPG è probabilmente la causa dello spostamento verso Sn della curva di dissociazione dell'HbF

Funzionalmente efficiente perché  $pO_2$  del sangue placentare bassa



## Respirazione fetale

Hb fetale

2-3DFG

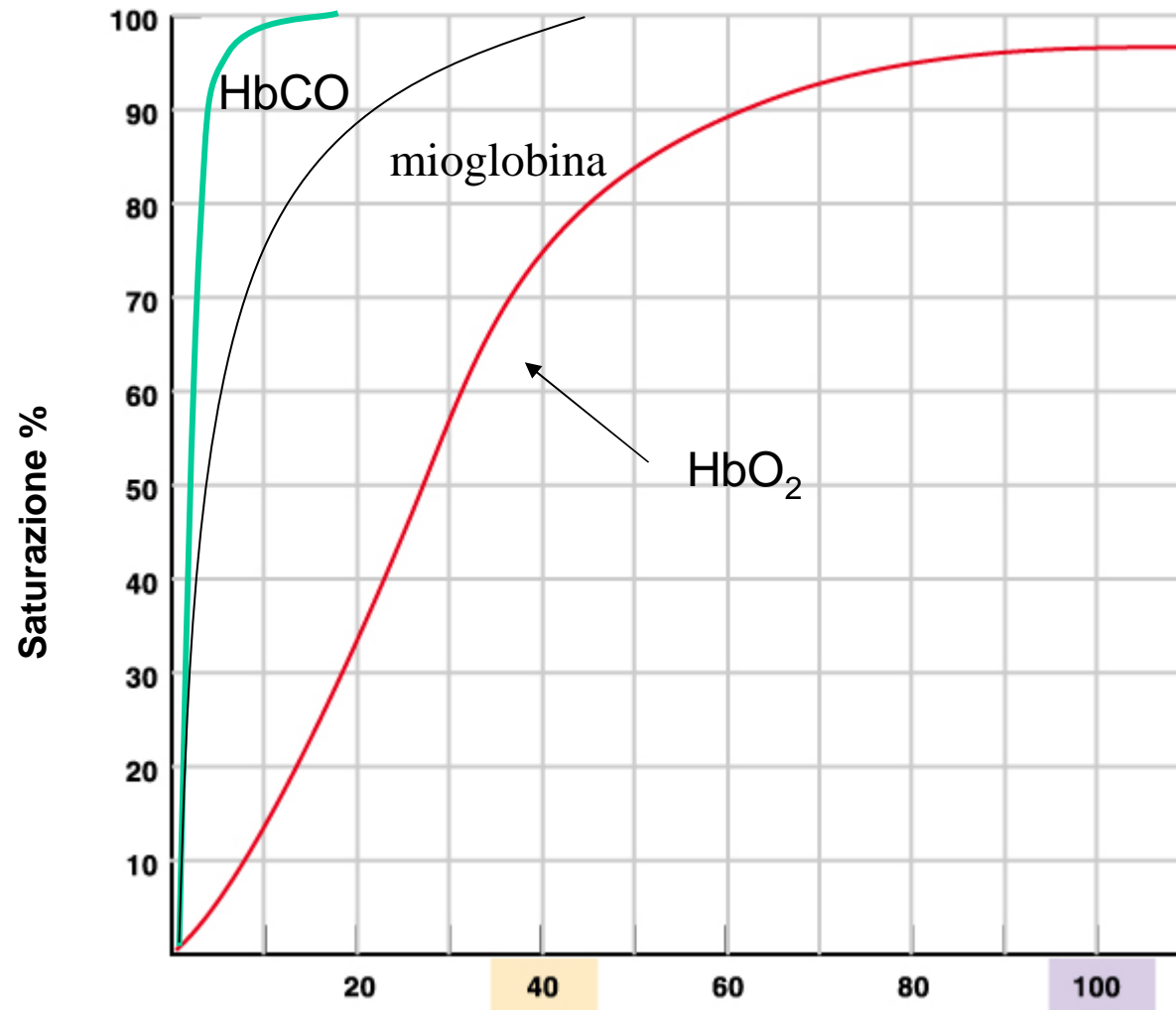
Alta concentrazione HB

Parte ripida della curva di dissociazione

Effetto Bohr: il feto cede  $H^+$ ,  $CO_2$  al sangue materno che cede ossigeno

Il sangue fetale refluo è più freddo

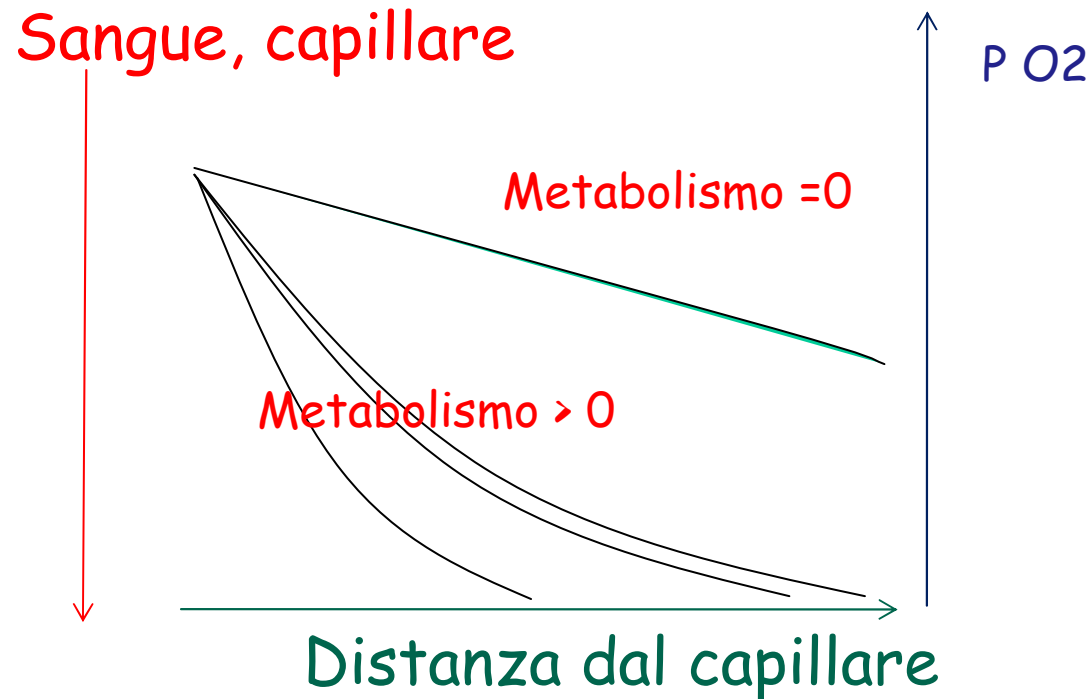
Resistenze del circolo polmonare: vasocostrizione



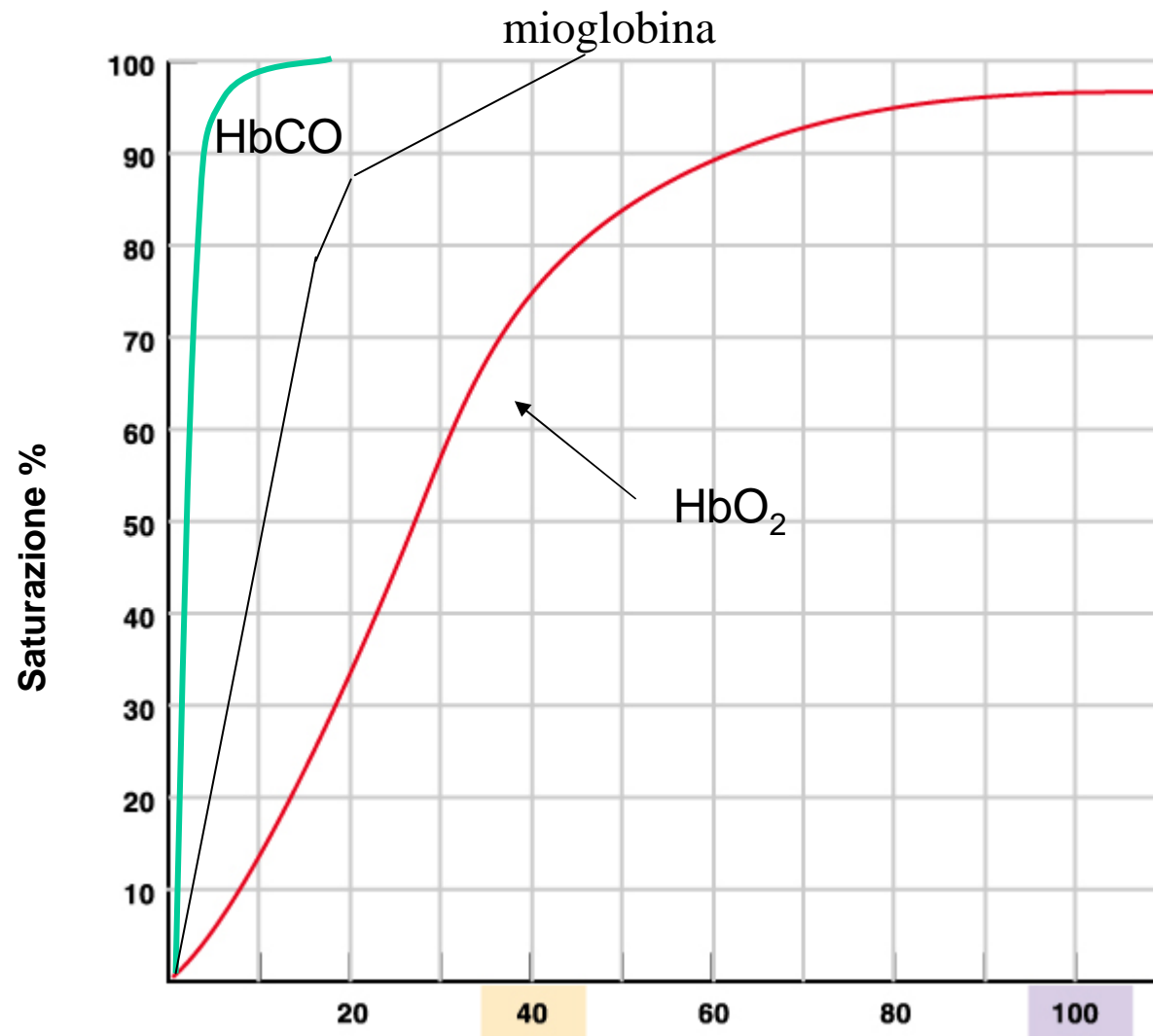
Il monossido di carbonio (CO) si lega all'Hb sullo stesso sito per O<sub>2</sub> con un legame 250 volte più stabile

# Mioglobina

Ossigenazione tessuti. dipende da conduttività, salto pressorio e consumo

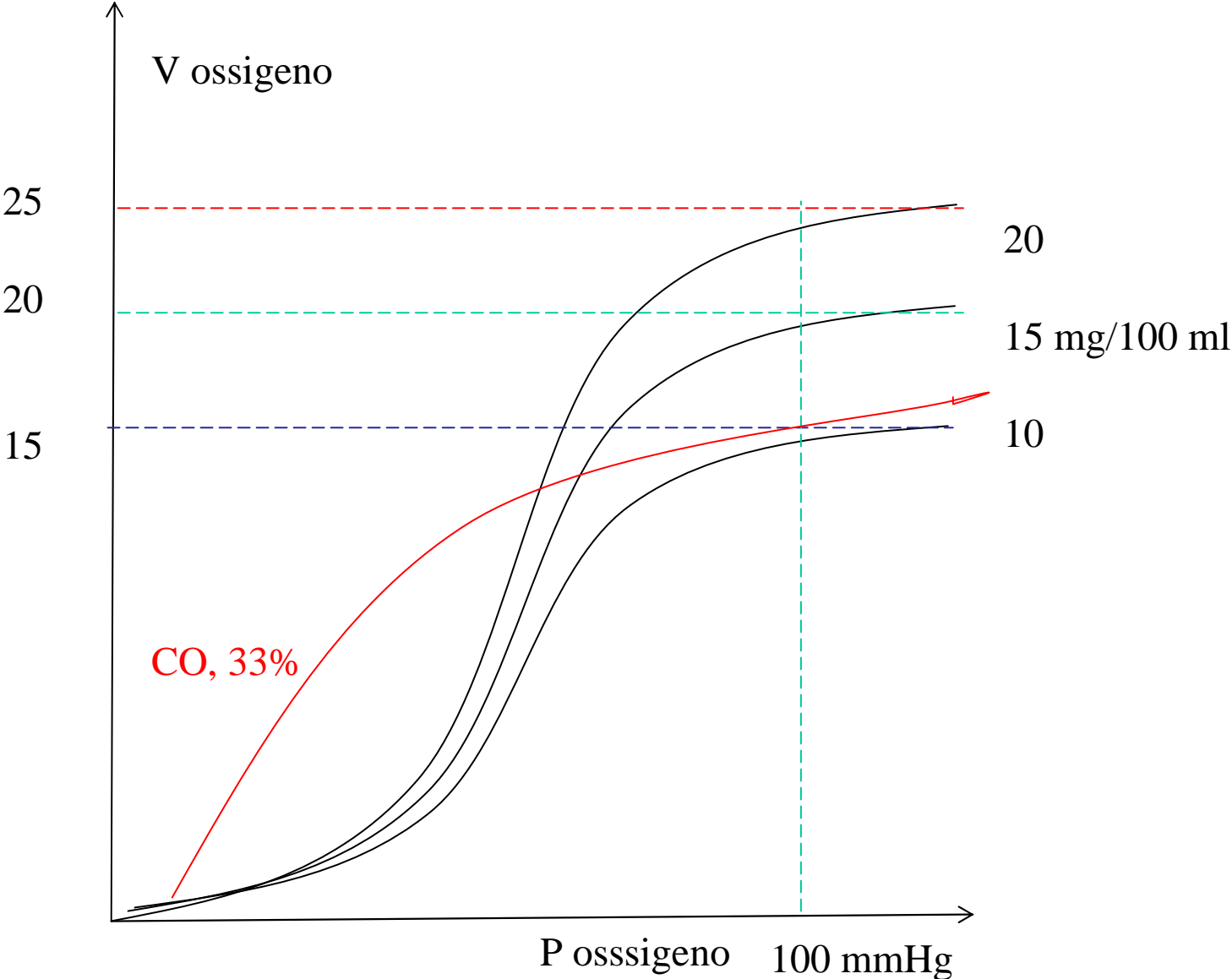


Andamento simile alla curva di dissociazione dell'emoglobina  
Ruolo della mioglobina e dell'effetto Bohr nel mantenere distalmente, lato venoso, una sufficiente pressione di ossigeno



Il monossido di carbonio (CO) si lega all'Hb sullo stesso sito per O<sub>2</sub> con un legame 250 volte più stabile

# Concentrazione di ossigeno/pressione, re valori di Hb



# CO

Affinità 200 volte superiore  
Condizione peggiore rispetto all'anemico  
perché viene meno la funzione allosterica  
dell' Hb.

Città: 1-2% CO

Fumatori (forti): 10%

# Contenuto arterioso O<sub>2</sub>

O<sub>2</sub> disciolto

O<sub>2</sub> legato Hb

Influenzato da:

% Saturazione Hb

Numero totale legami

Influenzata da:

Hb/GR

n° GR

pH

CO<sub>2</sub>

T

2,3-DPG

Composizione aria inspirata

Ventilazione alveolare

Diffusione

Perfusione e alveolare

Fr e Vc

R vie aeree

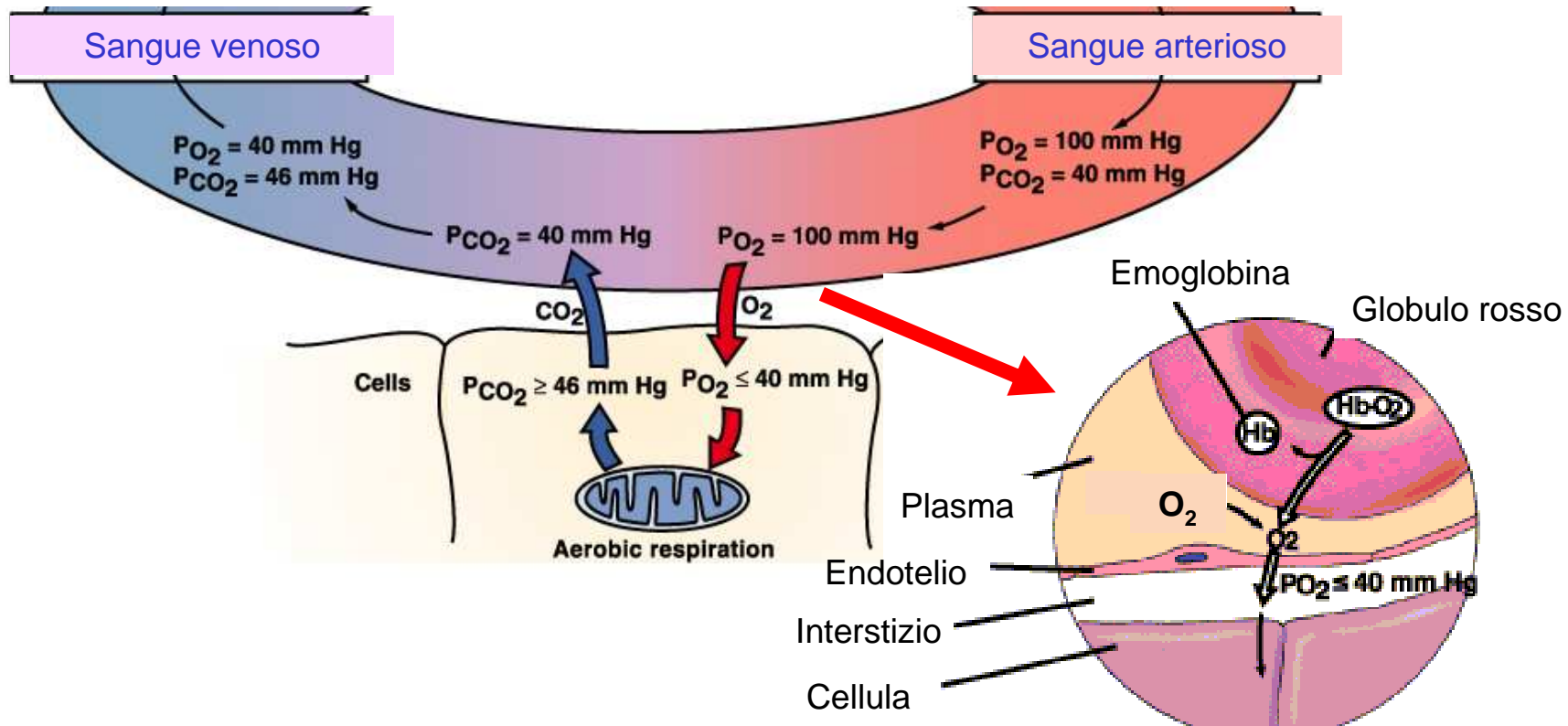
Compliance

A

d

Scambio a livello tessutale





Anche a livello dei tessuti lo scambio dei gas avviene per diffusione:

$$VO_2 = \frac{D \cdot A \cdot (pO_2 \text{ capillari} - pO_2 \text{ tessuto})}{d}$$

$A$  = superficie di scambio,  $d$  = distanza tra capillare e tessuto

Il numero dei capillari perfusi incide su  $A$  e  $d$   
 $d$  max varia da organo ad organo: miocardio 13  $\mu\text{m}$ , cervello 18  $\mu\text{m}$ , muscolo 40  $\mu\text{m}$

La disponibilità di  $O_2$  per un tessuto dipende da:

- contenuto di  $O_2$  nel sangue arterioso
- flusso ematico nel tessuto (perfusione)

La  $pO_2$  del tessuto dipende dall'equilibrio tra:

- disponibilità di  $O_2$
- quantità di  $O_2$  utilizzata dai tessuti

**Coefficiente di utilizzazione** ( normale 25%, può divenire fino 85%)

$$\frac{CaO_2 - CvO_2}{CaO_2}$$

$pO_2$  intracellulare media = 23 mmHg

Poiché per un normale metabolismo ossidativo è sufficiente una  $pO_2$  di 3 mmHg, quando  $pO_2 > 3$  mmHg, il fattore limitante per il metabolismo cellulare non è l'  $O_2$  ma la concentrazione di ADP

- L'apporto di  $O_2$  ad un organo viene adattato al fabbisogno di  $O_2$  principalmente tramite variazioni della perfusione
- Il contenuto di  $O_2$  nel sangue arterioso non può essere aumentato di molto con l'iperventilazione poiché in condizioni normali la saturazione dell'Hb è già 97%

Gli squilibri fra le necessità e la disponibilità di  $O_2$  vengono definiti **ipossie**

- Ipossia arteriosa (riduzione della  $pO_2$  nel sangue arterioso):

Riduzione  $pO_2$  aria alveolare:

- alta quota
- diminuzione ventilazione

Riduzione diffusione alveolare  $O_2$  :

- riduzione superficie di scambio
- aumentato spessore membrana respiratoria

Aumento sangue di shunt:

- alterazioni rapporto V/Q

- Ipossia anemica (riduzione contenuto  $O_2$  nel sangue):

Riduzione contenuto Hb

Formazione metaemoglobina

Avvelenamento da CO

- Ipossia ischemica (riduzione flusso ematico)

Diminuzione pressione arteriosa

Aumento pressione venosa

- Ipossia istotossica (inattivazione sistemi ossidativi cellulari)

Avvelenamento da cianuro