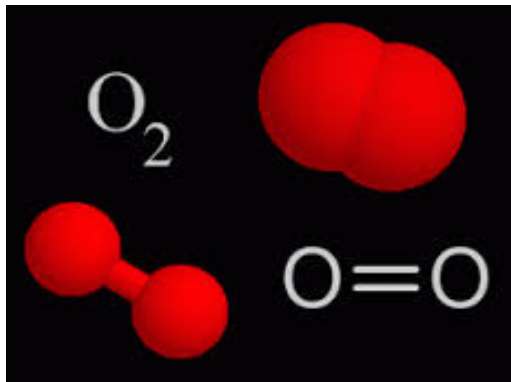


**Ordine** degli  
**Ingegneri**  
della Provincia di  
**Mantova**

in collaborazione con



Consulta Regionale Ordini Ingegneri Lombardia



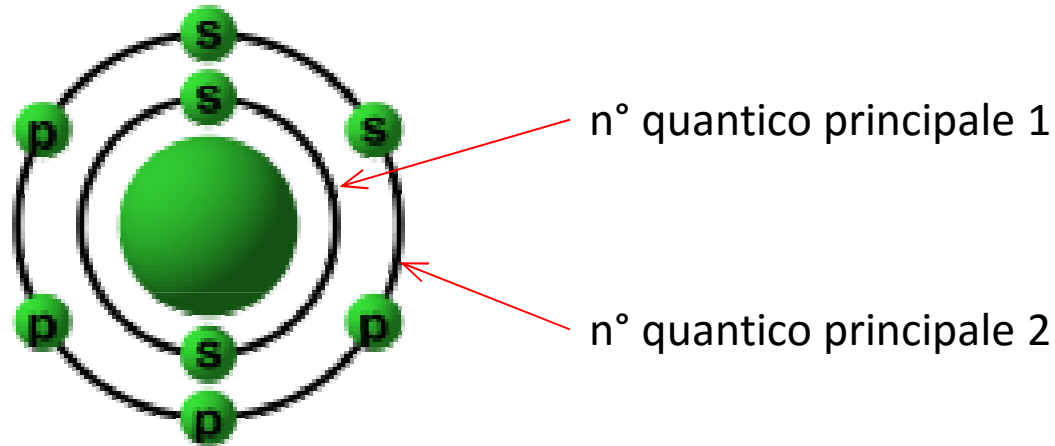
# L'OSSIGENO, L'INCENDIO, GLI EFFETTI SULL'UOMO.

Bortolo Balduzzi

Mantova, 26 maggio 2017

## L'OSSIGENO

- ❑ molecola biatomica  $O_2$ ;
- ❑ numero atomico 8  $\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^4$



- ❑ massa atomica  $15,9994 \text{ g mol}^{-1}$
- ❑ massa molecolare  $32 \text{ g mol}^{-1}$
- ❑ percentuale in volume nell'aria ambiente 20,9 %;

## CONSIDERAZIONI SUL VOLUME DEI GAS COINVOLTI NELL'INCENDIO



- ❑ nell'incendio, contrariamente a quanto avviene per altre considerazioni sui processi di combustione, non si tiene mai conto dell'eccesso d'aria;
- ❑ tale considerazione deriva dal fatto che si presuppone che il materiale bruci fino al suo totale esaurimento e che il quantitativo d'aria necessario sia, nell'ipotesi più cautelativa, quello stechiometrico;

## CONSIDERAZIONI SUL VOLUME DEI GAS COINVOLTI NELL'INCENDIO

□ In realtà la massa combustibile interessata da incendio difficilmente partecipa nella sua totalità al processo di combustione per:

- materiale combustibile entro contenitori incombustibili;
- distribuzione spaziale sfavorevole;
- ammassamento sfavorevole;
- abbassamento della % di  $O_2$  nel compart.
- umidità della massa combustibile.

## CONSIDERAZIONI SUL VOLUME DEI GAS COINVOLTI NELL'INCENDIO

□ di questa circostanza si tiene conto, “*per i materiali principalmente cellullosici*”, con il fattore di partecipazione alla combustione  $m_i = 0,80$  e con il fattore di limitazione alla combustione  $\psi_i = 0,85$  per contenitori non combustibili.

(UNI EN 1991-1-2, D.M. 09.03.07, D.M. 03.08.15 cap. S.2-Co.p.i. ).

## CONSIDERAZIONI SUL VOLUME DEI GAS COINVOLTI NELL'INCENDIO

- Il rapporto tra la massa  $m_{O_2}$  di  $O_2$ , necessaria per ossidare una massa  $m_c$  di combustibile è denominata **“oxigen-fuel mass ratio”** ed è frequently indicata in letteratura con  $r_o$

$$r_o = \frac{m_{O_2}}{m_c}$$

## CONSIDERAZIONI SUL VOLUME DEI GAS COINVOLTI NELL'INCENDIO

- Il rapporto tra la massa  $m_{aria}$  di aria, necessaria per ossidare una massa  $m_c$  di combustibile è indicata in letteratura con  $r_{aria}$

$$r_{aria} = \frac{m_{aria}}{m_c}$$

## CONSIDERAZIONI SUL VOLUME DEI GAS COINVOLTI NELL'INCENDIO

- Considerando che una mole di aria ha massa molare pari a 28,8 g, che una di  $O_2$  ha massa molare di 32 g e che la percentuale, in volume, di  $O_2$  in aria è del 21% si ottiene:

$$\frac{r_{aria}}{r_O} = \frac{m_{aria} m_c}{m_c m_{O_2}} = \frac{1}{0,21} \frac{28,8}{32} = 4,29$$

e quindi:

$$r_{aria} = 4,29 r_O$$



**tab. 1 –  $r_o$  e  $r_{aria}$  PER ALCUNI COMBUSTIBILI**

COMBUSTIBILE	$r_o$ ( $g_{O_2}/g_{combust.}$ )	$r_{aria}$ ( $g_{aria}/g_{combust.}$ )	COMBUSTIBILE	$r_o$ ( $g_{O_2}/g_{combust.}$ )	$r_{aria}$ ( $g_{aria}/g_{combust.}$ )
ACETILENE	3,10	13,30	FORMALDEIDE	1,07	4,59
ACETONE	2,20	9,40	IDROGENO	8,00	34,30
BENZENE	3,10	13,30	ACIDO CIANIDRICO	1,48	6,53
CARBONE	2,70	11,60	CARBON MONOXIDE	0,57	2,44
ETANOLO	2,10	9,00	POLICLORURO DI VINILE	1,40	6,00
METANO	4,00	17,20	POLISTIRENE	3,10	13,20
LEGNO	1,30	5,70	POLIURETANO	1,70	7,30
PROPANO	3,60	15,60	NYLON	2,30	9,90
POLIETILENE	3,40	14,60	CELLULOSA	1,20	5,10
POLIPROPILEN E	3,80	16,30	POLICARBONATO	2,30	9,80
STIRENE	3,07	13,30	TOLUENE	3,10	13,30

Con i valori di **tab. 1** è rapido ed immediato eseguire i calcoli del fabbisogno di  $O_2$ .

- **esercizio**: per bruciare 664,48 g di **CH<sub>4</sub>** (1 m<sup>3</sup> a 20°C ed a p atmosferica) servono, con il dato di tab. 1, per il metano:

$$664,48 \ r_{aria \ CH_4} = 664,48 \times 17,20 = 11.429,05 \ g \ di \ aria$$

che, a 20 °C, corrispondono ad un volume:

$$V = n \frac{R T}{p} = \frac{11.429,05}{28,8} \frac{8,314 \cdot 293,15}{101,226E3} = 9,51 \ m^3$$

Per bruciare 1m<sup>3</sup> di metano, a pressione atmosferica, servono, notoriamente, ~ 10 m<sup>3</sup> di aria.

# ENERGIA RILASCIATA DA UN COMBUSTIBILE PER UNITA' DI MASSA DI COMBURENTE **ARIA** (MJ/kg<sub>aria</sub>)

Se si divide il valore del p.c.i. (*MJ*) di un qualsiasi combustibile per la massa di comburente *aria* necessaria per la combustione completa si ottiene che tale rapporto vale:

$$P_{c \text{ aria}} = 3,00 \frac{MJ}{kg_{\text{aria}}}$$

## ENERGIA RILASCIATA DA UN COMBUSTIBILE PER UNITA' DI MASSA DI COMBURENTE $O_2$ (MJ/kg $_{O_2}$ )

Se si divide il valore del p.c.i. (MJ) di un qualsiasi combustibile per la massa di comburente  $O_2$ , necessaria per la combustione completa si ottiene che tale rapporto vale:

$$P_{cO_2} = 13,10 \frac{MJ}{kg_{O_2}}$$

**esempio** :il legno standard ha p.c.i. pari a  $4.200 \times 427 \times 9,8 \text{ E-6} = 17,57 \text{ MJ/kg}$  e necessita di 5,7 kg di aria (o di 1,3 kg di  $\text{O}_2$ ) (tab. 1). Si ottiene pertanto:

$$P_{c \text{ aria, legno}} = \frac{17,57}{5,7} = 3,08 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}_{\text{aria}}}$$

$$P_{c \text{ O}_2, \text{ legno}} = \frac{17,57}{1,3} = 13,51 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}_{\text{O}_2}}$$

Tali rapporti sono fondamentali perché rappresentano **l'energia** rilasciata dall'incendio **per unità di massa comburente** entrante nel compartimento.

E ciò indipendentemente dal combustibile ivi contenuto.

**tab. 2 - ENERGIA RILASCIATA DA UN COMBUSTIBILE PER UNITA' DI MASSA DI COMBURENTE ( $MJ/kg_{O_2, aria}$ )**

COMBUSTIBILE	$MJ/kg_{O_2}$	$MJ/kg_{aria}$
METANO	12,54	2,91
PROPANO	12,80	2,97
ETANOLO	12,88	2,99
ACETONE	14,00	3,25
CELLULOSA	13,59	3,15
LEGNO	13,85	<b>3,23</b>
POLIETILENE	12,65	2,93
POLIPROPILENE	12,66	2,94
CLORURO DI VINILE	12,84	2,98
POLISTIRENE	12,97	3,01
NYLON	12,67	2,94
POLIURETANO	15,27	3,56
POLICARBONATO	13,12	3,04

Tali rapporti permettono facilmente, tra l'altro, di:

- ❑ determinare la massima energia rilasciabile dall'incendio nota la quantità di comburente in ingresso o presente nel compartimento;
- ❑ determinare la massa di combustibile che può bruciare a fronte di una determinata quantità di comburente disponibile nel compartimento.



- ❑ determinare il volume di aria totale necessaria per la combustione.

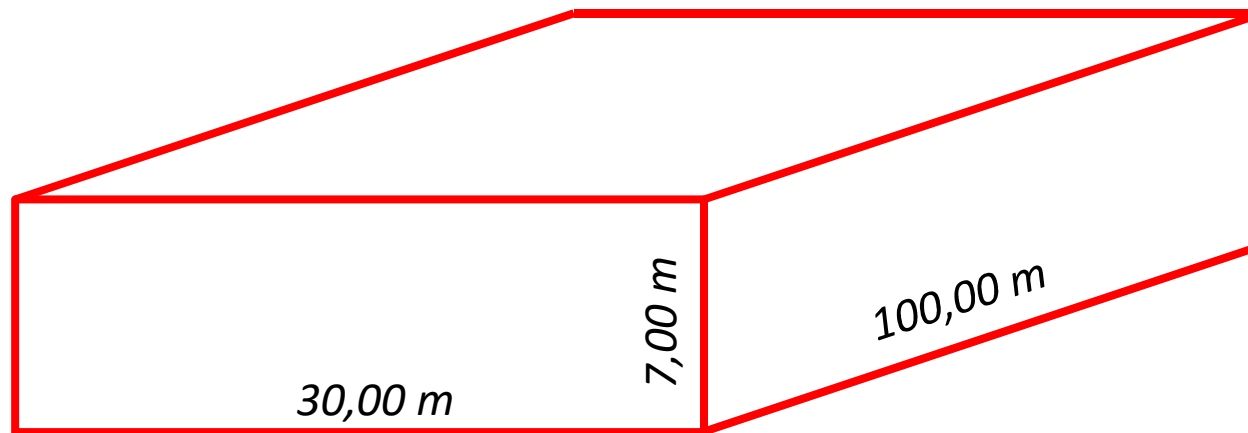
Si noti che:

- ❑ è possibile limitare lo sviluppo di energia da combustione limitando l'apporto di aria (di  $O_2$ ) al compartimento;

## ENERGIA RILASCIATA DA UN COMBUSTIBILE PER UNITA' DI MASSA DI COMBURENTE

• **esempio:** dato un compartimento avente dimensioni di  $30,00 \times 100,00 \times 7,00 \text{ m}$ , determinare la massima energia rilasciabile nel compartimento senza apporto di aria esterna;

-volume di aria del compartimento:  
 $30,00 \times 100,00 \times 7,00 = 21.000 \text{ m}^3$



# ENERGIA RILASCIATA DA UN COMBUSTIBILE PER UNITA' DI MASSA DI COMBURENTE

- corrispondente ad un numero di moli di  $O_2$

$$n = \frac{p V}{R T} = \frac{101.225,56 (0,21 \cdot 21.000)}{8,314 \cdot 293,15} = 183.158,23 \text{ moli di } O_2$$

-massa di  $O_2$  presente nel compartimento:

$$\frac{183.158,23 \cdot 32}{E3} = 5.861,06 \text{ kg di } O_2$$

# ENERGIA RILASCIATA DA UN COMBUSTIBILE PER UNITA' DI MASSA DI COMBURENTE

- energia massima rilasciabile nel compartimento

$$5.861,06 \quad P_{cO_2} = 1.172,21 \quad 13,1 = 76.779,93 \text{ MJ}$$

corrispondente ad un carico specifico d'incendio:

$$q_f = \frac{76.779,93}{30 \cdot 100} = 25,60 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} = \frac{25,60}{17,5} = 1,46 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \text{ di l.s.}$$

ENERGIA RILASCIATA DA UN COMBUSTIBILE PER UNITA' DI MASSA DI COMBURENTE

- nel compartimento quindi il carico di incendio di riferimento non può essere superiore a tale valore.

-dividendo l'energia massima rilasciabile, 15.356 MJ, per il p.c.i. del materiale combustibile si ottiene la massa bruciabile.

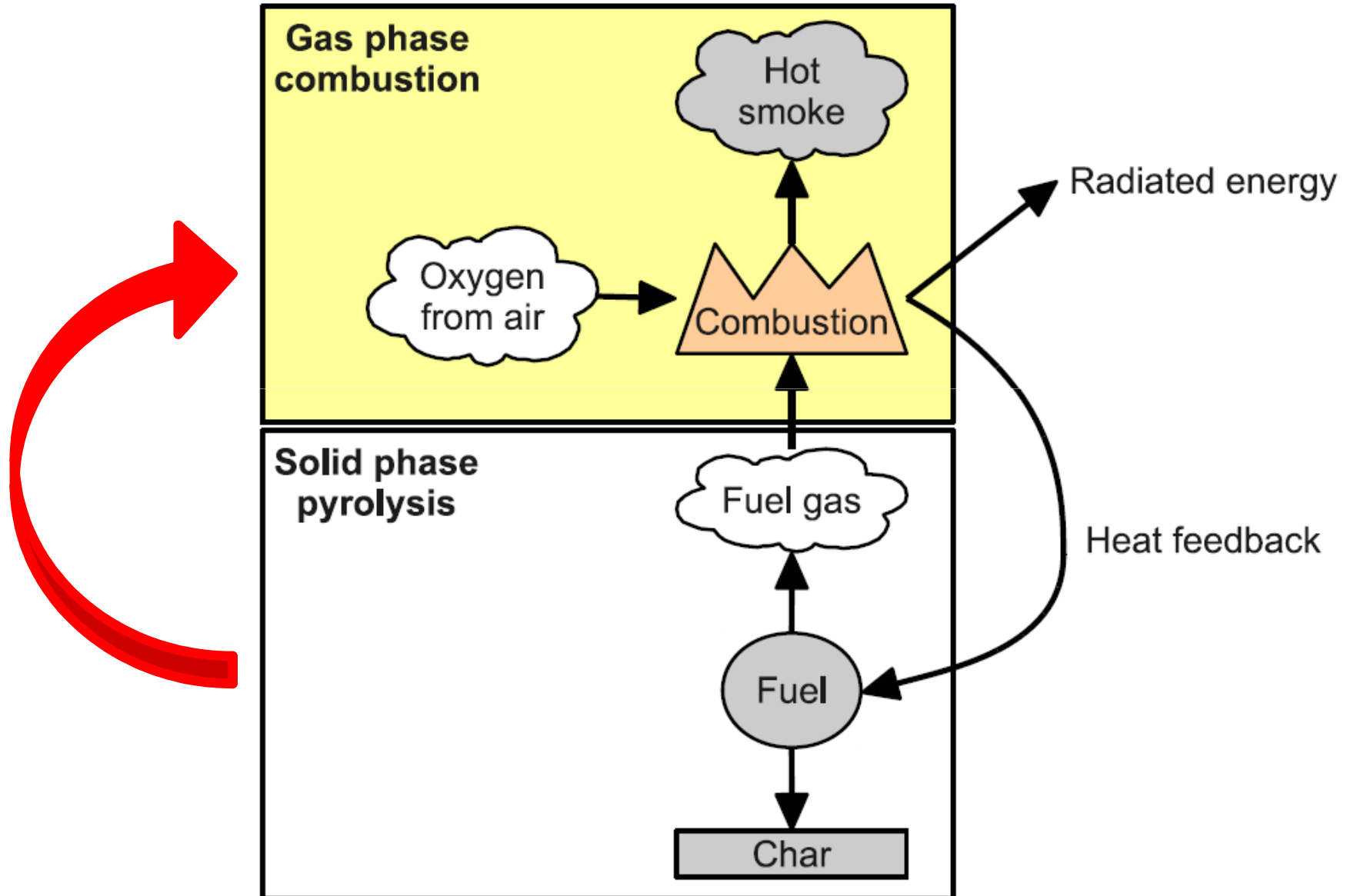
Nel caso di legno con p.c.i. = 18,41 MJ/kg

$$m_c = \frac{15.356}{18,41} = 834,11 \text{ kg}$$

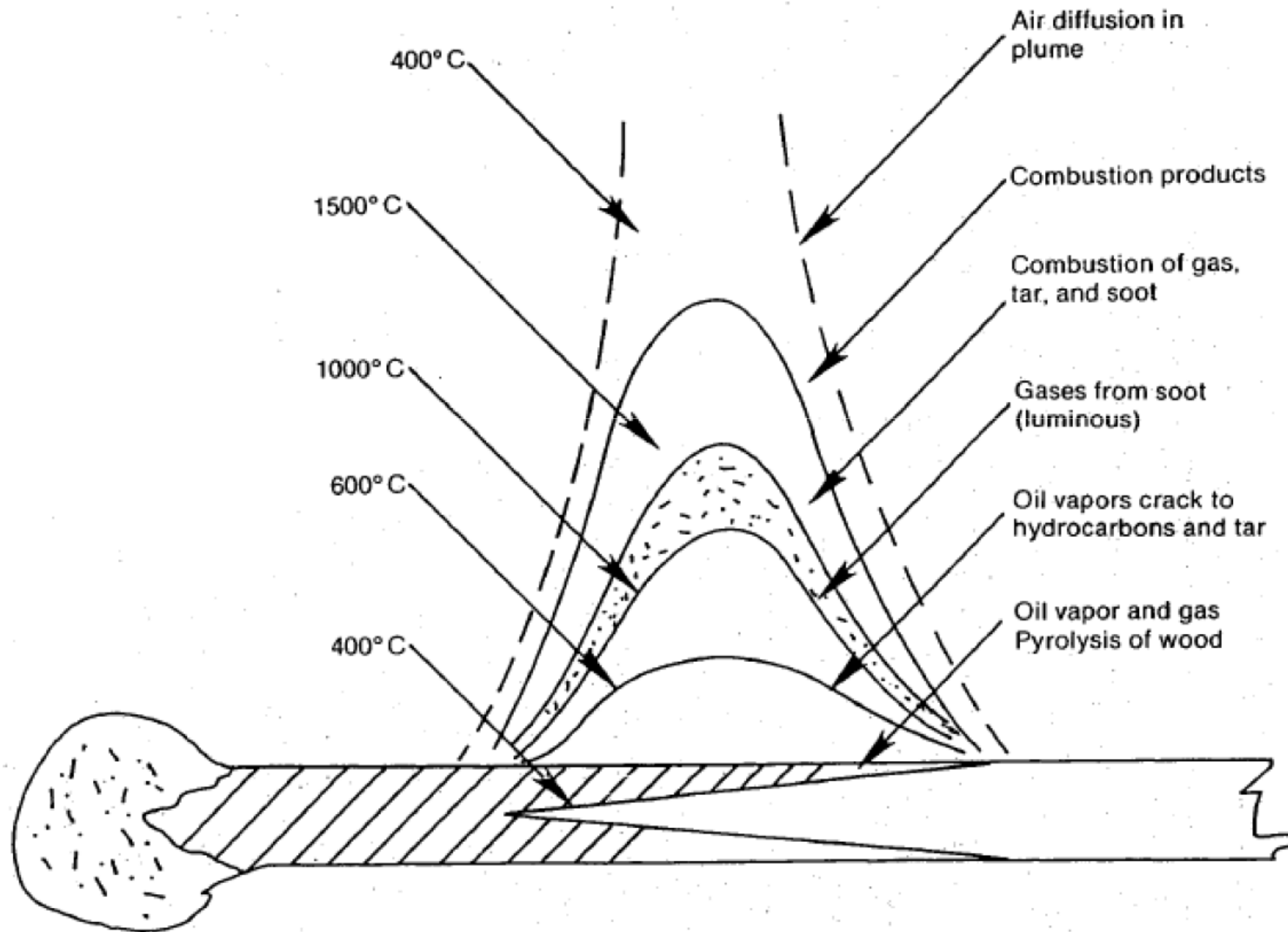
## ENERGIA RILASCIATA DA UN COMBUSTIBILE PER UNITA' DI MASSA DI COMBURENTE

**N.B.** In realtà tale quantità di combustibile non potrà bruciare completamente; risultati sperimentali indicano infatti che quando la % di  $O_2$  in ambiente scende al di sotto del 12 ÷ 14 % ( $\sim \frac{1}{2}$  della concentrazione atmosferica) il processo di combustione non è più in grado di autosostenersi.

# La piròlisi



# La piròlisi





# La piròlisi del legno

n	FASE	t (°C)
1	<b>ESSICCAZIONE</b> Evaporazione H <sub>2</sub> O	100 < t < 150
2	<b>GASSIFICAZIONE</b> Scomposizione termica – piròlisi, liberazione gas combustibili (CO, C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> ) e carbone solido (C)	150 < t < 600
3	<b>OSSIDAZIONE</b> Combustione dei gas di piròlisi e del carbone (C)	400 < t < 1.300



❑ La piròlisi è più veloce in masse con bassa inerzia termica

$$b = \sqrt{\rho c_p \lambda} \quad (kJ / m^2 s^{0,5} K)$$

con:

$\rho$  densità del materiale ( $kg/m^3$ );

$c_p$  calore specifico del materiale ( $kJ/kg K$ );

$\lambda$  conduttività termica del materiale ( $kW/m K$ );

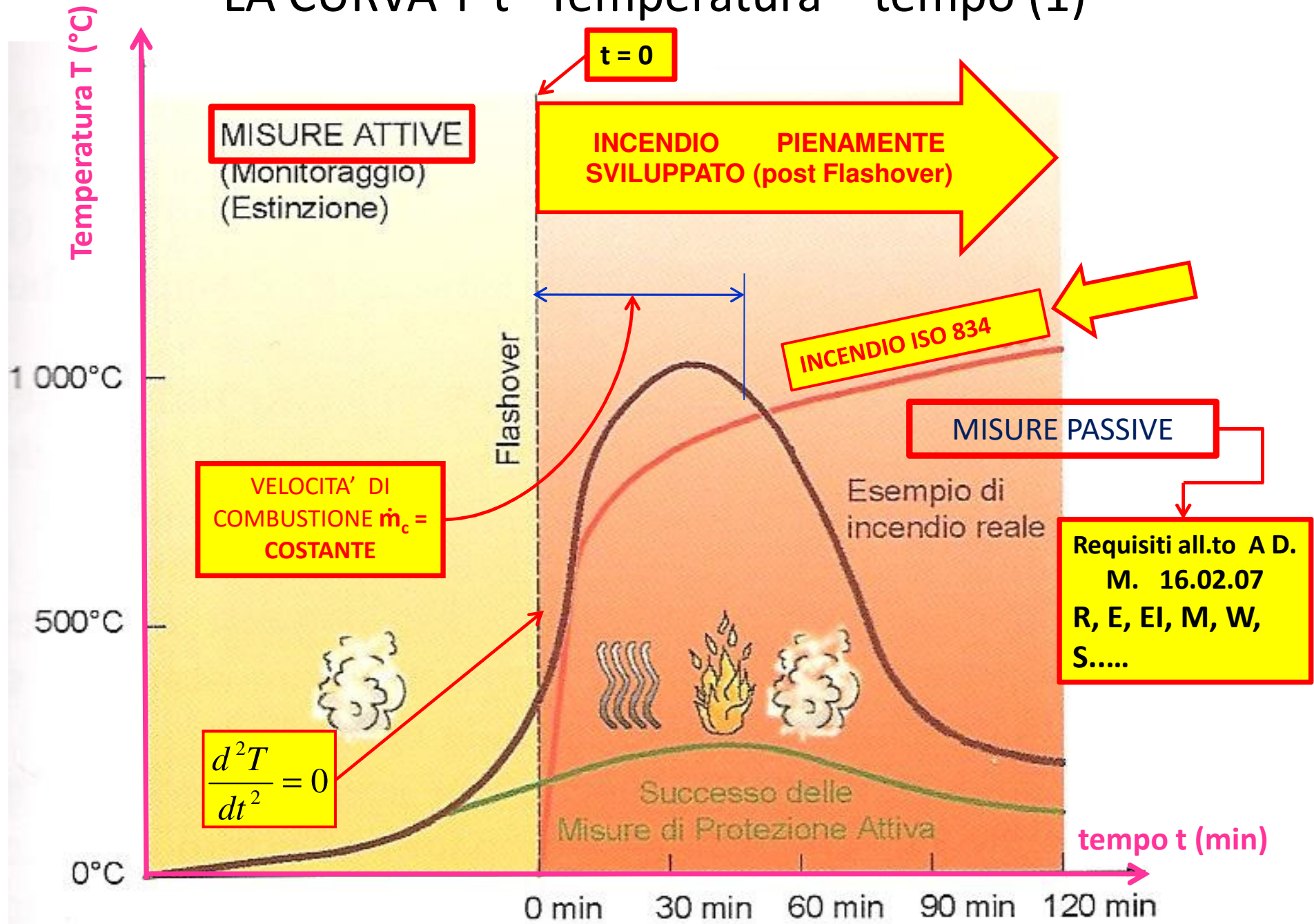
❑ Esempio:

- Poliuretano, inerzia termica  $b = 41 kJ/m^2 s^{0,5} K$

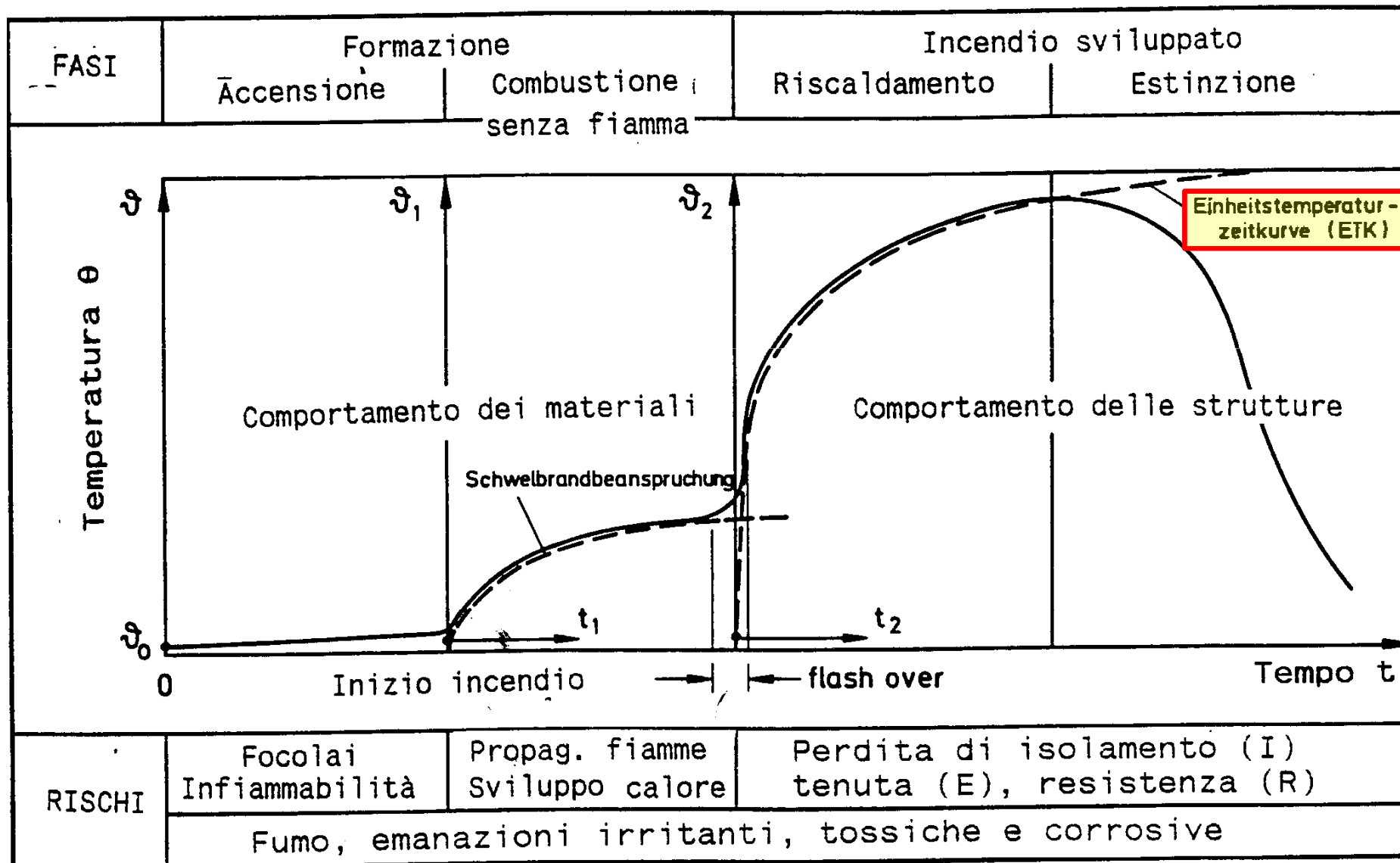
- Legno di pino, inerzia termica  $b = 500 kJ/m^2 s^{0,5} K$

**IL POLIURETANO “BRUCIA PIU’ FACILMENTE” DEL LEGNO DI PINO**

# LA CURVA T-t Temperatura – tempo (1)



# LA CURVA T-t Temperatura – tempo (2)



## LA CURVA T-t Temperatura-tempo (3)

- ❑ la curva Temperatura - tempo non fornisce tutte le indicazioni utili per essere considerata un modello esaustivo dell'incendio.
- ❑ fino al punto di flashover ha valore puramente convenzionale e non descrive fisicamente alcun fenomeno;
- ❑ il flashover è sempre possibile e non è noto il tempo a cui si verifica; parimenti non si hanno informazioni sulla durata dell'incendio.

## LA CURVA T-t Temperatura-tempo (3)

- ❑ non si hanno indicazioni sull'energia messa in gioco (potenza liberata nel compartimento) nell'evoluzione temporale dell'incendio;
- ❑ non vengono forniti valori di concentrazione dei gas di combustione nel compartimento;
- ❑ gli effetti delle eventuali azioni di spegnimento sono di difficile valutazione;
- ❑ .....

VELOCITA' MASSIMA DI COMBUSTIONE - INCENDIO PIENAMENTE SVILUPPATO E CONTROLLATO DALLA VENTILAZIONE (post FLASHOVER) (*Kawagoe & Sekine*)

$$\dot{m}_{c, max} = 0,092 A_v \sqrt{h}$$

$\dot{m}_{c, max}$	Velocità massima di combustione (kg/s)
$A_v$	Area superfici ventilanti (m <sup>2</sup> )
$h$	Dato dall'espressione: $h = \frac{\sum_i A_i h_i}{\sum_i A_i}$ (m)
$A_i$	Area di ventilazione i-esima (m <sup>2</sup> )
$h_i$	Altezza della i-esima superficie ventilante $A_i$ (m)

## OPENING FACTOR $O$

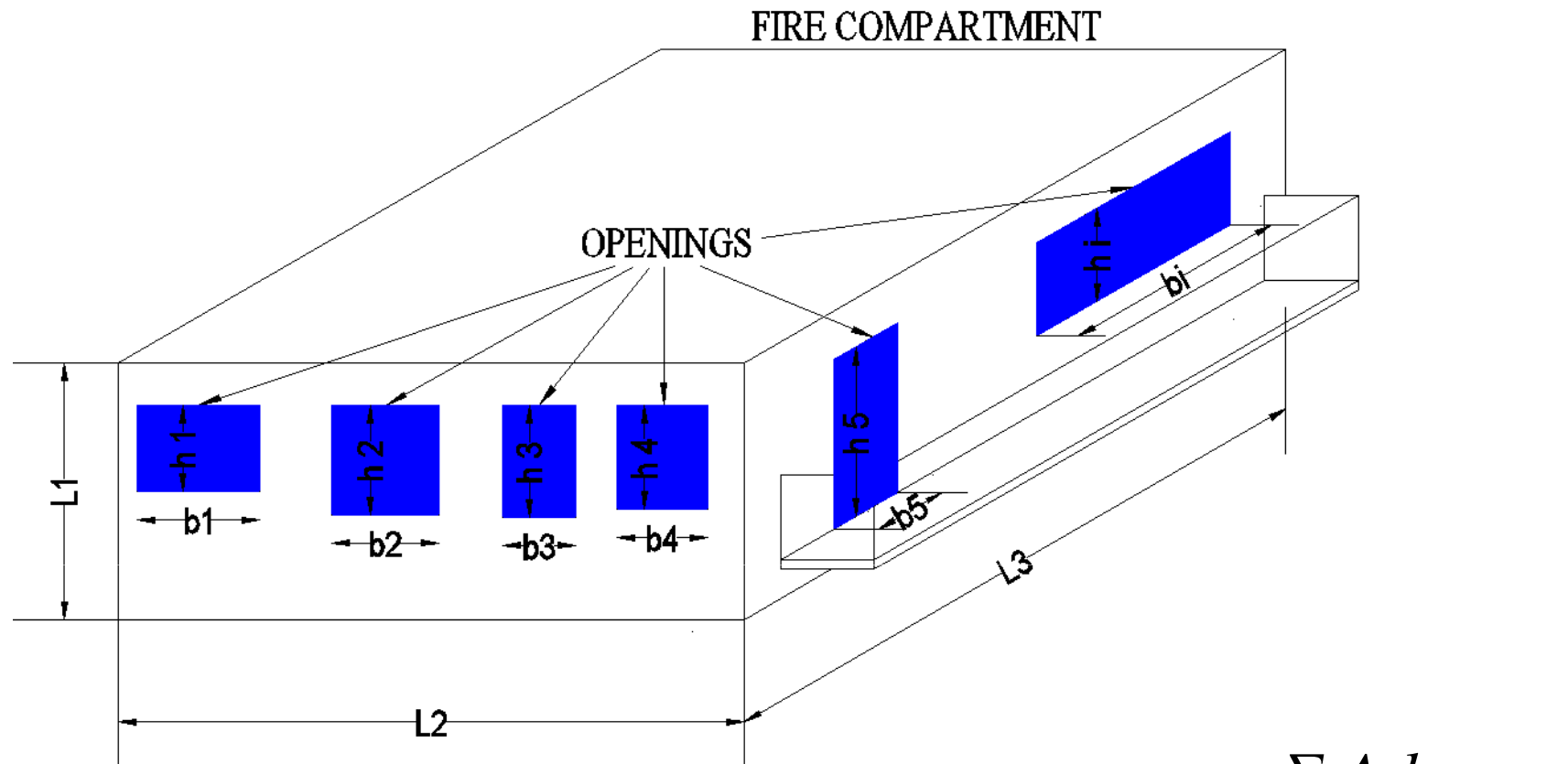
(rappresenta la normalizzazione di  $A_v \sqrt{h_{eq}}$  rispetto ad  $A_t$ )

$$O = \frac{A_v \sqrt{h_{eq}}}{A_t}$$

$O$	<i>Opening factor</i> (m <sup>0,5</sup> ) – rappresenta la normalizzazione del compartimento, rispetto ad $A_t$ , sotto il profilo dell'apporto di aria comburente.
$h_{eq}$	Dato dall'espressione: $h_{eq} = \frac{\sum_i A_{vi} h_i}{\sum_i A_{vi}}$ (m)
$A_t$	Area superficie <b>totale</b> del compartimento (pareti, soffitto, pavimento) (m <sup>2</sup> )
$A_v$	Area superfici ventilanti $A_v = \sum_i b_i h_i$ (m <sup>2</sup> )



# OPENING FACTOR $O$



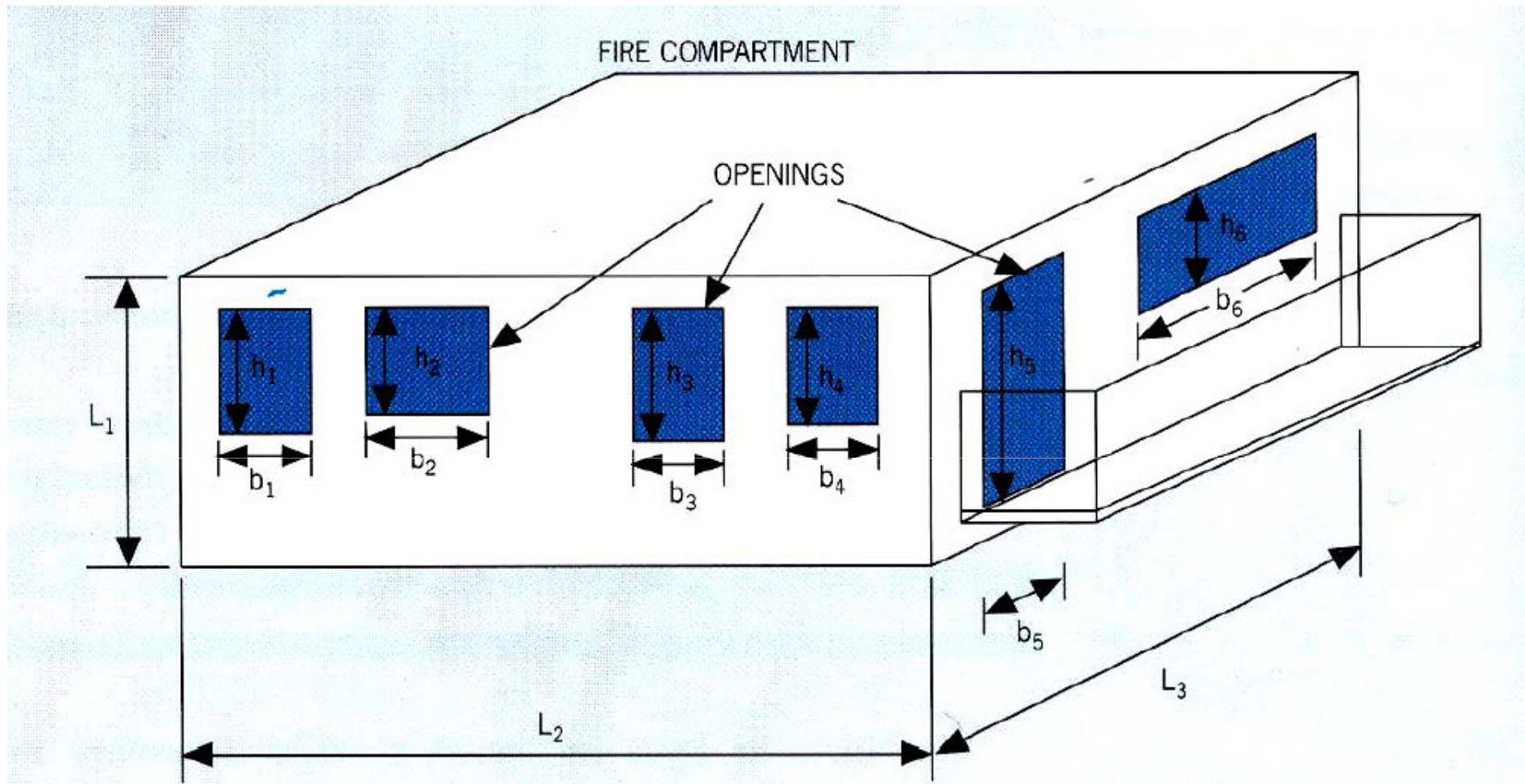
$$A_v = \sum_i b_i h_i \text{ (m}^2\text{)}$$

$$A_t = 2 \begin{vmatrix} L_1 & 0 & 0 \\ 0 & L_2 & 0 \\ 0 & 0 & L_3 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} L_2 \\ L_3 \\ L_1 \end{vmatrix} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$h_{eq} = \frac{\sum_i A_{vi} h_i}{A_v} \text{ (m)}$$

$$O = \frac{A_v \sqrt{h_{eq}}}{A_t} \text{ (m}^{0,5}\text{)}$$

# VENTILATION FACTOR $O$ (dal manuale CFAST)



$$A_w = b_1 h_1 + b_2 h_2 + \dots + b_6 h_6 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$A_t = 2 \left[ L_1 L_2 + L_1 L_3 + L_2 L_3 \right] \text{ (m}^2\text{)}$$

$$h = \frac{1}{A_w} \left[ A_1 h_1 + A_2 h_2 + \dots + A_6 h_6 \right] \text{ (m)}$$

$$\text{Ventilation factor} = \frac{A_w \sqrt{h}}{A_t} \text{ (m}^{1/2}\text{)}$$

**Es.4:** determinare il fattore di ventilazione  $O$  di un compartimento avente dimensioni larghezza 19,00 m, lunghezza 23 m, altezza 4,00 m; sulle pareti laterali sono presenti:

- n° 2 porte 2,00 x 2,20 m
- n° 4 finestre 2,00 x 1,50 m
- n° 5 finestre 2,50 x 1,50 m

1.0-DIMENSIONI DEL COMPARTIMENTO (m)

L1	L2	L3
4,00	19,00	23,00

2.0-DIMENSIONE APERTURE  
DI VENTILAZIONE (m)

<i>progr.</i>	n°	<b>b</b>	<b>h</b>	n° b h	n° b h <sup>2</sup>
1	2	2,00	2,20	8,80	19,36
2	4	2,00	1,50	12,00	18,00
3	5	2,50	1,50	18,75	28,13
4	0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0	0,00	0,00	0,00	0,00

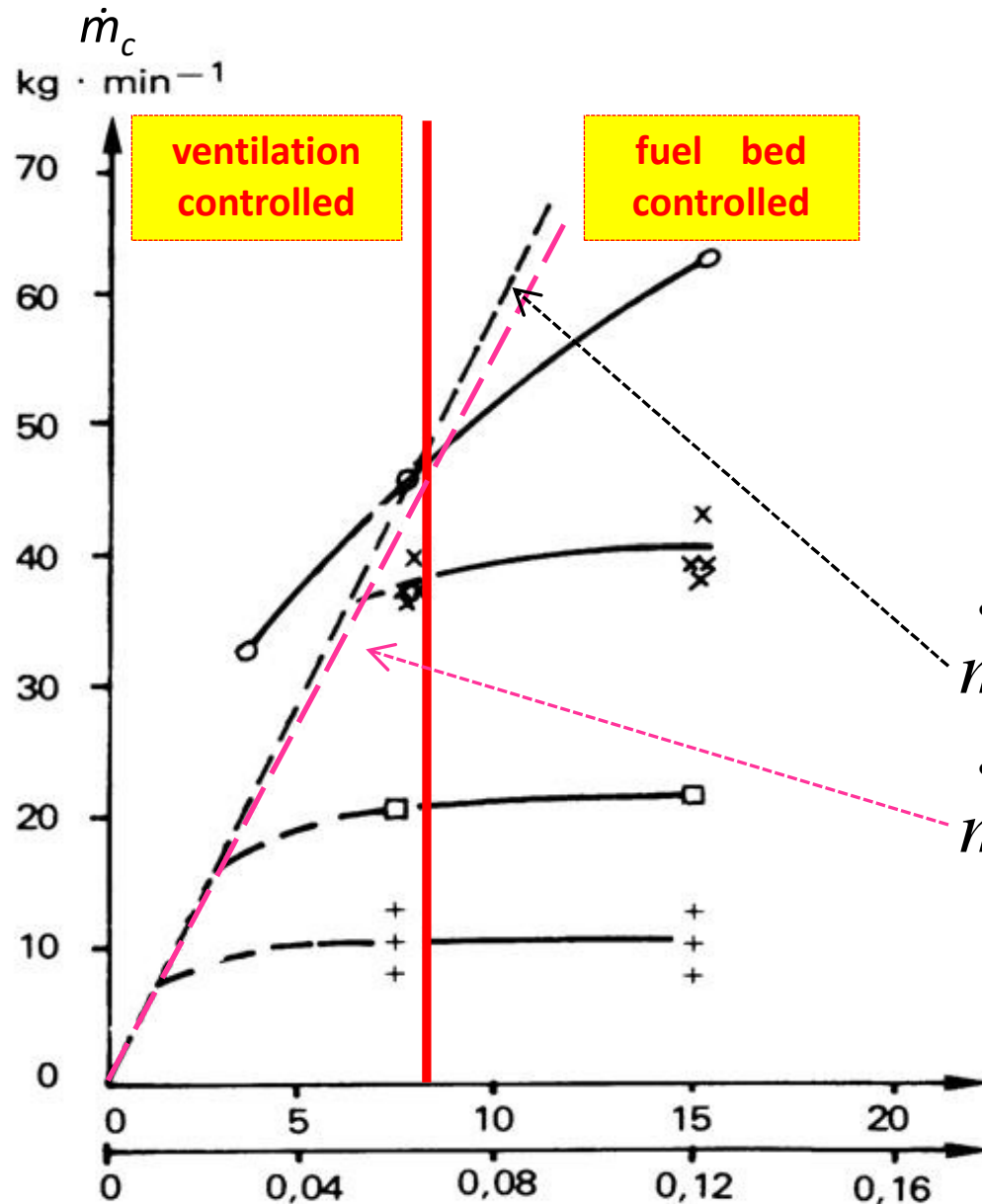
3.0-  $A_t = 1.210,00 \text{ m}^2$

4.0-  $A_v = 39,55 \text{ m}^2$

5.0 -  $h_{eq} = 1,66 \text{ m}$

6.0 -  $O = 0,042 \text{ m}^{0,5}$

# Burning rate $\dot{m}_c$ in funzione di $q_f$ e di $O$ – INCENDIO PIENAMENTE SVILUPPATO (curve sperimentali di Thomas-Heselden) - 1967



key	$q_f$ (MJ/m $^2$ )
+	150
□	300
x	600
o	1.200

$\dot{m}_{c, \max} = 6 A_v \sqrt{h}$  (Heselden)

$\dot{m}_{c, \max} = 5,5 A_v \sqrt{h}$  (Kawagoe)

$A_v \sqrt{h}$

$\frac{A_v \sqrt{h_{eq}}}{A_t}$



## INCENDIO CONTROLLATO DALLA VENTILAZIONE E INCENDIO CONTROLLATO DAL COMBUSTIBILE (1)

□ **Incendio controllato dalla ventilazione:** la velocità di combustione  $\dot{m}_c$  dipende solo dall'apporto di comburente valutato tramite il fattore di ventilazione  $O$ , (*Kawagoe & Sekine, Heselden, Law.....*);

□ **Incendio controllato dal combustibile:** la velocità di combustione è fortemente influenzata da quantità ( $q_f$ ), forma, porosità, pezzatura, orientamento del combustibile e non dall'apporto di comburente; ad es. le bobine di carta bruciano molto più facilmente se immagazzinate con l'asse verticale anziché orizzontale.....;

## INCENDIO CONTROLLATO DALLA VENTILAZIONE E INCENDIO CONTROLLATO DAL COMBUSTIBILE (2)

La velocità di combustione  $\dot{m}_c$  è all'incirca proporzionale al valore di  $q_f$ ;

□ Il valore di  $\mathbf{0}$  che separa i due regimi è all'incirca di  $0,06 \div 0,07 \text{ m}^{0,5}$  (in letteratura viene spesso indicato anche il valore  $0,08 \text{ m}^{0,5}$ ).

□ Generalmente l'incendio, nelle prime fasi, ignizione e crescita, è controllato dal combustibile e, successivamente, in particolare dopo il flashover, diventa controllato dalla ventilazione;

VELOCITA' MASSIMA DI COMBUSTIONE - INCENDIO PIENAMENTE SVILUPPATO E CONTROLLATO DALLA VENTILAZIONE (post FLASHOVER) - INFLUENZA DI  $W$  e  $D$  (Law-1983)

$$\dot{m}_{c, max} = 0,18 A_v \sqrt{\frac{h_{eq} W}{D}} \left(1 - e^{-0,036 \Omega}\right)$$

$\dot{m}_{c, max}$	Velocità massima di combustione (kg/s)
$A_v$	Area superfici ventilanti (m <sup>2</sup> )
$h_{eq}$	Dato dall'espressione: $h_{eq} = \frac{\sum_i A_{vi} h_i}{\sum_i A_{vi}} \quad (\text{m})$
$A_i$	Area di ventilazione i-esima (m <sup>2</sup> )
$h_i$	Altezza della i-esima superficie ventilante $A_i$ (m)

VELOCITA' MASSIMA DI COMBUSTIONE - INCENDIO PIENAMENTE SVILUPPATO E CONTROLLATO DALLA VENTILAZIONE (post FLASHOVER) - INFLUENZA DI  $W$  e  $D$  (Law-1983)

$W$	Larghezza del compartimento (m)
$D$	Lunghezza del compartimento (m)
$\Omega$	Dato dall'espressione: $\Omega = \frac{A_t - A_v}{A_v \sqrt{h_{eq}}} \quad (\text{m}^{-0,5})$

Quando  $W=D$  (compartimento a pianta quadrata) ed  $O = \frac{A_v \sqrt{h_{eq}}}{A_t} = 0,05$

$\text{m}^{0,5}$  ( $\Omega = 20$ ) la formula di Law e quella di Kawagoe & Sekine forniscono gli stessi risultati.

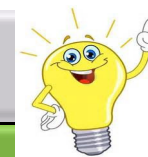


# Composizione dell'aria atmosferica secca

COMPONENTE	FORMULA	PROPORZIONE O FRAZIONE MOLARE
<b>AZOTO</b>	<b>N<sub>2</sub></b>	78,08% (in volume)
<b>OSSIGENO</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	20,95% (in volume)
<b>ARGON</b>	<b>Ar</b>	0,934% (in volume)
<b>ANIDRIDE CARBONICA</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	404,16 ppm
<b>NEON</b>	<b>Ne</b>	18,18 ppm
<b>ELIO</b>	<b>He</b>	5,24 ppm
<b>MONOSSIDO DI AZOTO</b>	<b>NO</b>	5 ppm
<b>KRIPTON</b>	<b>Kr</b>	1,14 ppm
<b>METANO</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	1 - 2 ppm
<b>HIDROGENO</b>	<b>H<sub>2</sub></b>	0,5 ppm
<b>OSSIDO DI AZOTO</b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	0,5 ppm
<b>XENO</b>	<b>Xe</b>	0,087 ppm
<b>DIOSSIDO DI AZOTO</b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	0,02 ppm
<b>OZONO</b>	<b>O<sub>3</sub></b>	da 0 a 0,01 ppm
<b>RADON</b>	<b>Rn</b>	$6 \times 10^{-14}$ ppm

# Standard atmosphere 1976

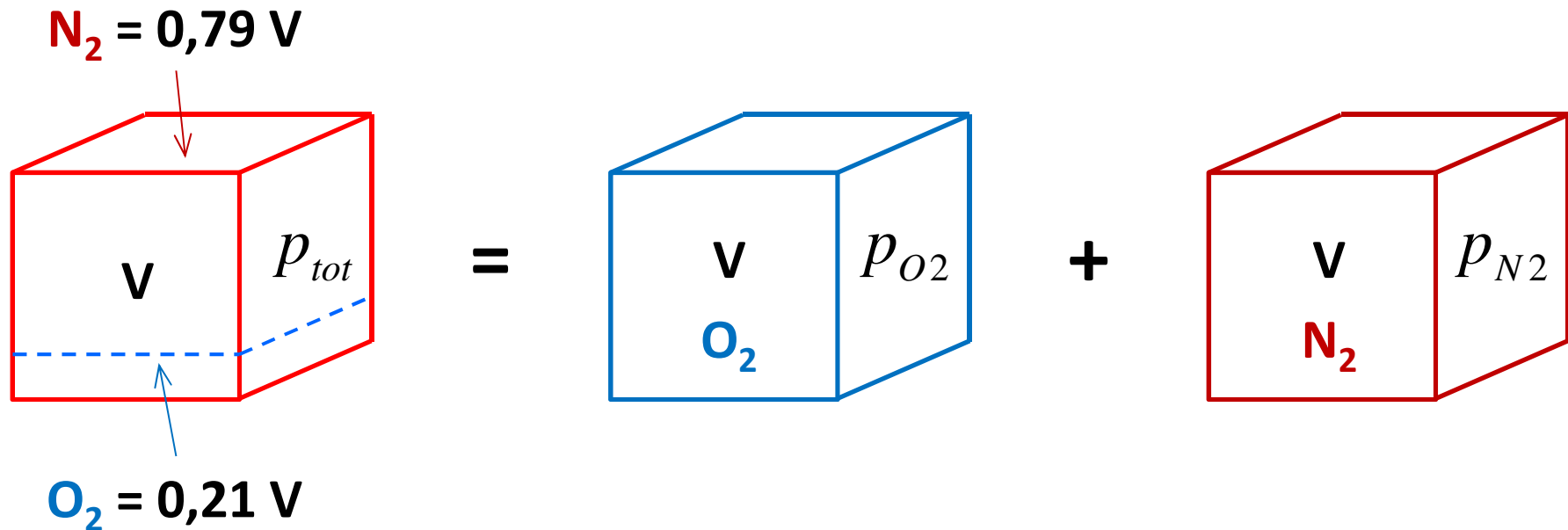
ALTITUDINE (geometrica, <i>m</i> )	TEMPERATURA ASSOLUTA ( <i>K</i> )	PRESSIONE ( <i>hPa</i> )	DENSITÀ ( <i>kg/m<sup>3</sup></i> )	VISCOSITÀ DINAMICA ( <i>Pa·s</i> )	VELOCITÀ DEL SUONO ( <i>m/s</i> )
0	288.15	1013.25	1.2250	$1.79 \times 10^{-5}$	340.29
1.000	281.65	898.76	1.1117	$1.76 \times 10^{-5}$	336.44
5.000	255.68	540.48	0.7364	$1.63 \times 10^{-5}$	320.55
10.000	223.25	265.00	0.4135	$1.46 \times 10^{-5}$	299.53
15.000	216.65	121.11	0.1947	$1.42 \times 10^{-5}$	295.07
20.000	216.65	54.69	0.088	$1.42 \times 10^{-5}$	295.07
25.000	221.55	25.49	0.039	$1.45 \times 10^{-5}$	298.39



<b>O<sub>2</sub> (%le in vol.)</b>	<b>effetti e sintomi</b>
<b>22,50</b>	Massima concentrazione di sicurezza.
<b>21</b>	Concentrazione media in aria.
<b>18 - 21</b>	Non ci sono sintomi riconoscibili da parte della persona esposta. Si deve effettuare valutazione del rischio per appurare la sicurezza *)
<b>11 - 18</b>	Riduzione delle prestazioni fisiche e intellettuali senza che la persona esposta ne sia cosciente. *)
<b>8 - 11</b>	Possibilità di svenimento entro pochi minuti, senza preavviso. Rischio di morte per %le di O <sub>2</sub> < 11% *)
<b>6 - 8</b>	Esposizione di 6 minuti: 50% di probabilità di morte; Esposizione di 8 minuti: 100% di probabilità di morte;
<b>0 - 6</b>	Svenimento immediato, coma in 40 secondi, convulsioni, blocco respirazione, morte, danni cerebrali anche se la vittima è soccorsa. *)

## Legge di DALTON o delle proporzioni multiple

In una miscuglio di gas, volume  $V$  e temperatura  $T$ , la pressione totale è pari alla somma della pressione che ciascun gas ha nel medesimo volume alla stessa temperatura.



$$p_{tot} = p_{O_2} + p_{N_2}$$

## Legge di DALTON o delle proporzioni multiple

$$p_{tot} V = (n_{O_2} + n_{N_2}) R T \quad (1) \quad \text{applicata a tutto il volume } V$$

$$p_{O_2} V = n_{O_2} R T \quad (2) \quad \text{applicata a tutto il volume } V \text{ al solo } O_2$$

$$p_{tot} 0,21 V = n_{O_2} R T \quad (3) \quad \text{applicata a } 0,21 V \text{ al solo } O_2$$

dividendo membro a m. la (2) con la (1) e tenendo conto della (3):

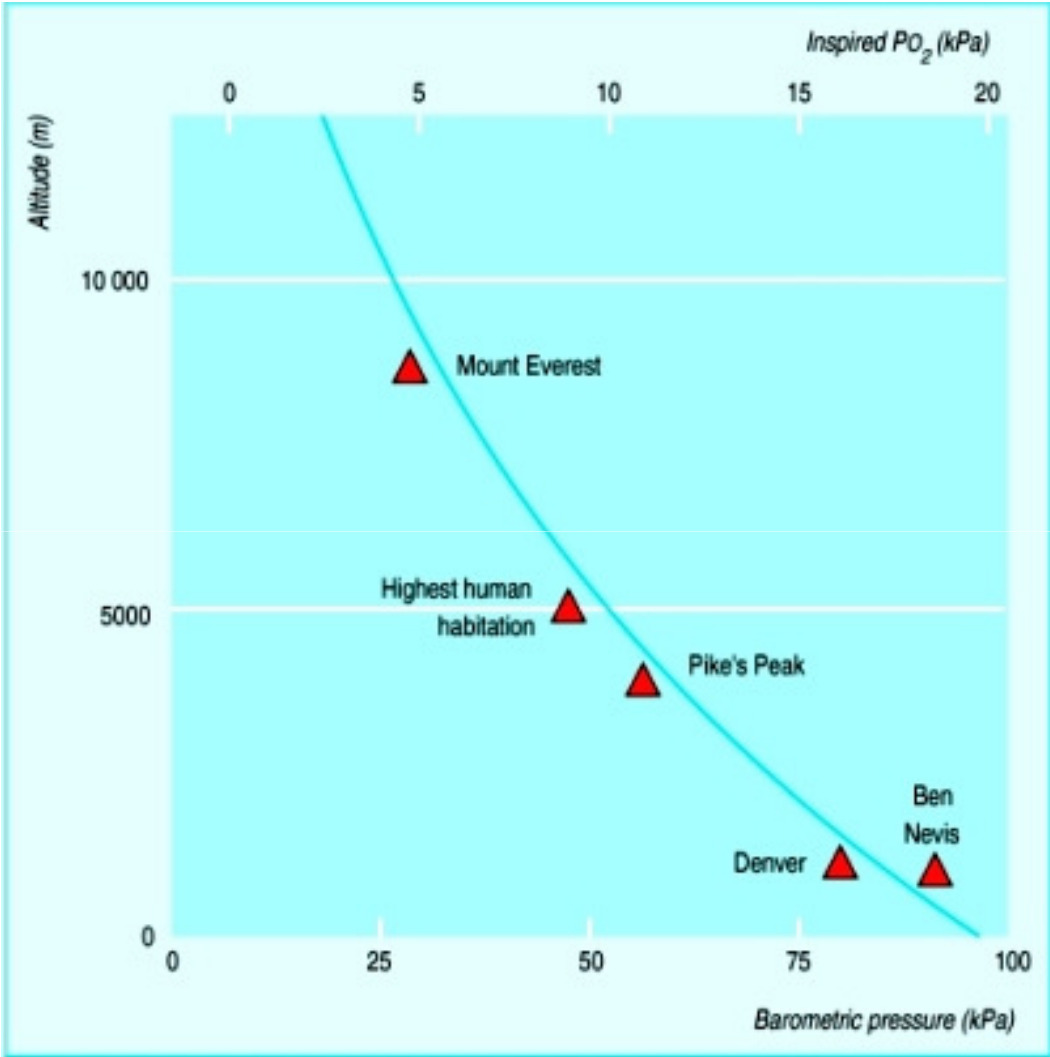
$$\frac{p_{O_2}}{p_{tot}} = \frac{n_{O_2}}{n_{O_2} + n_{tot}} = \frac{\frac{p_{tot} 0,21 V}{R T}}{\frac{p_{tot} V}{R T}} = 0,21$$

Alla pressione di 760 *mm Hg* la tensione parziale di ossigeno vale:

$$p_{O_2} = 0,21 \cdot 760 = \mathbf{159,60} \text{ mm Hg} \quad (0,21 \cdot 101,225 \text{ E3} = \mathbf{21,258} \text{ kPa})$$

pressione parziale  $O_2$  *kPa*

quota *m. s.l.m.*



pressione atmosferica *kPa*

## La saturazione dell'emoglobina

Gli **eritrociti** (*globuli rossi*) sono cellule anucleate presenti nel sangue, responsabili, tra l'altro, del suo colore rosso. La loro funzione di trasporto dell'ossigeno dai polmoni ai tessuti è resa possibile da una proteina in essi presente, l'emoglobina, capace di legarsi stabilmente alla molecola di **O<sub>2</sub>**.

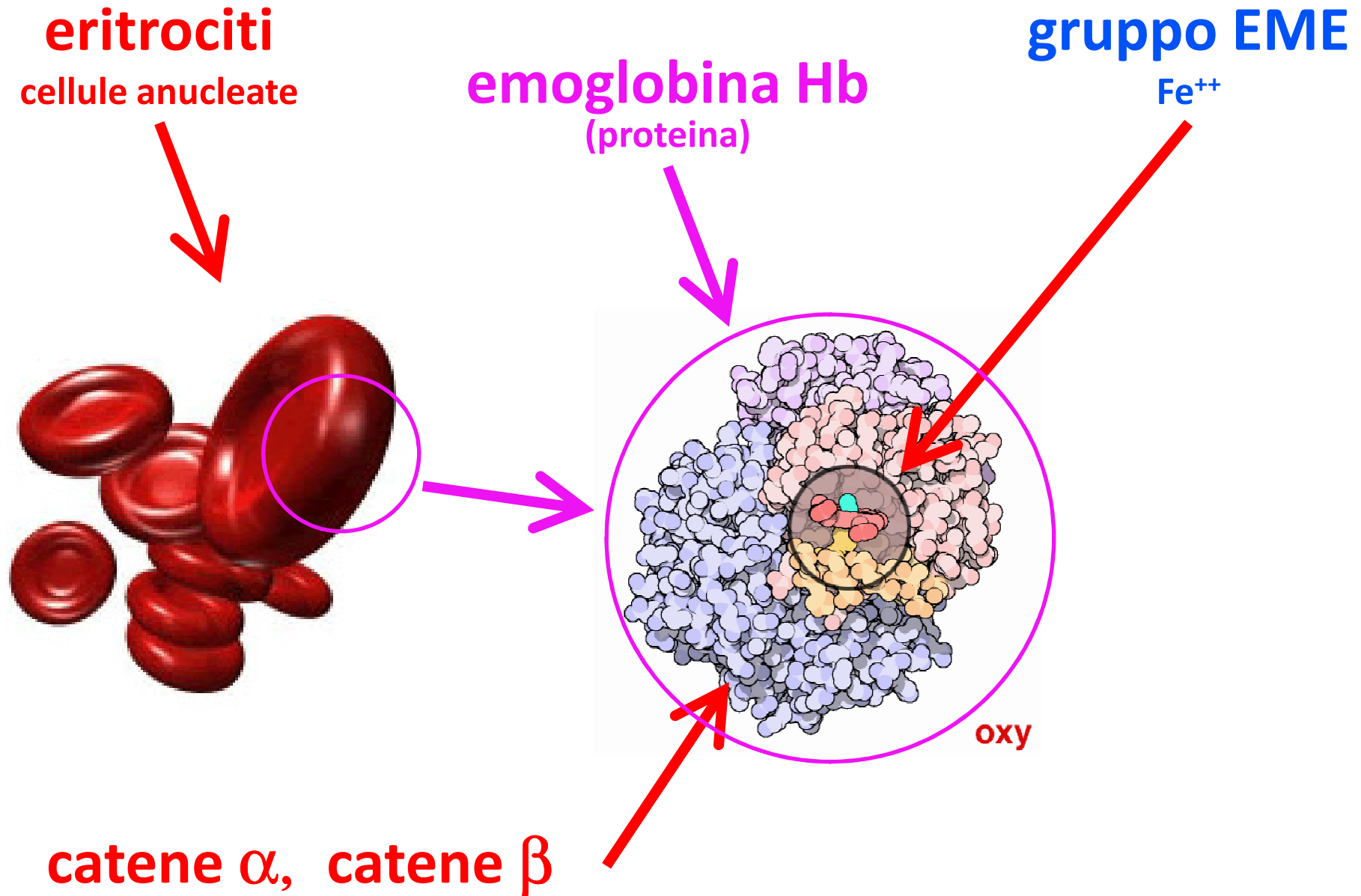
## La saturazione dell'emoglobina

La loro forma biconcava si deve interpretare come un adattamento biologico che ne rende massima la superficie di scambio rapportata al volume ( $S/V \rightarrow \max$ ).

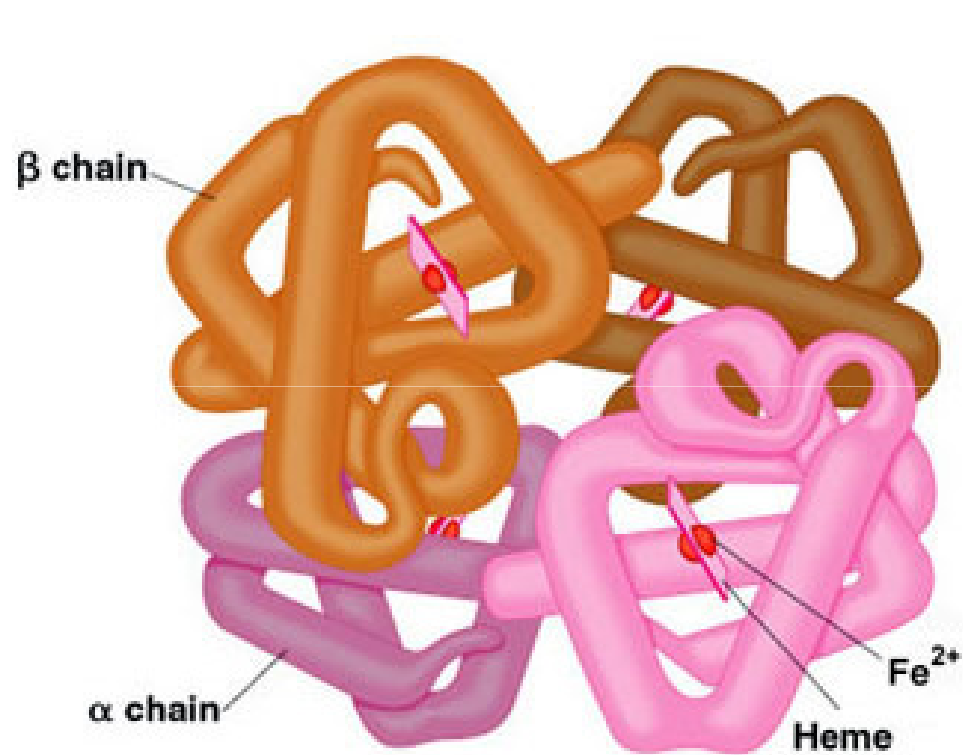




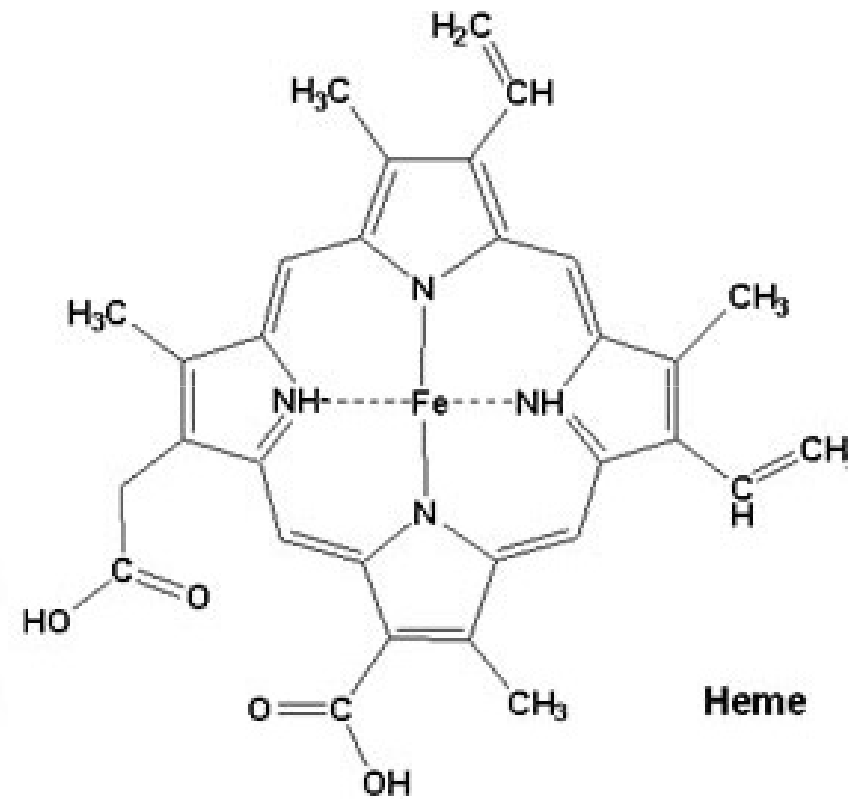
# La saturazione dell'emoglobina



# La saturazione dell'emoglobina



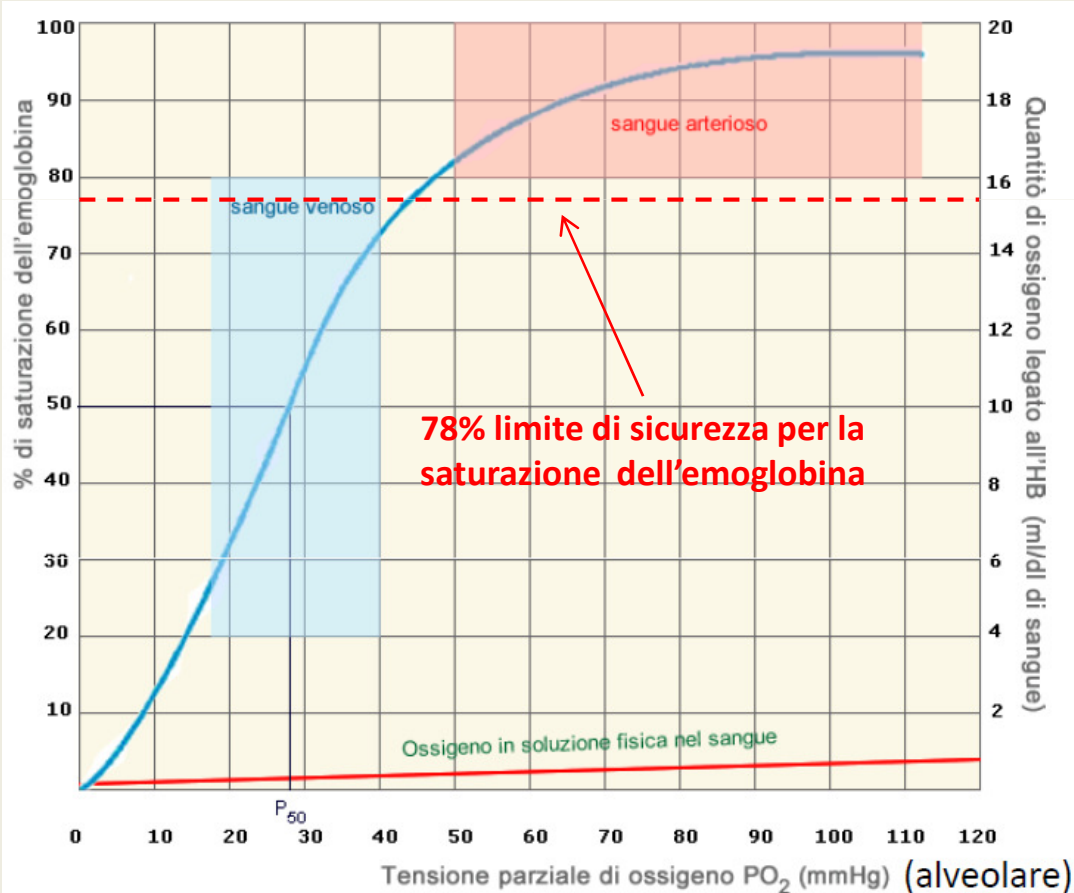
Struttura molecolare emoglobina



Gruppo EME

# La saturazione dell'emoglobina

quota s.l.m.	pressione parziale O <sub>2</sub> in aria (mm Hg)	saturazione di O <sub>2</sub> (%le di emoglobina saturata)
0,00	159	98%
3.000	110	90%
5.000 - 6.000	80	
8.800	50	25%



Saturazione dell'emoglobina in funzione della pressione parziale di O<sub>2</sub> in aria.