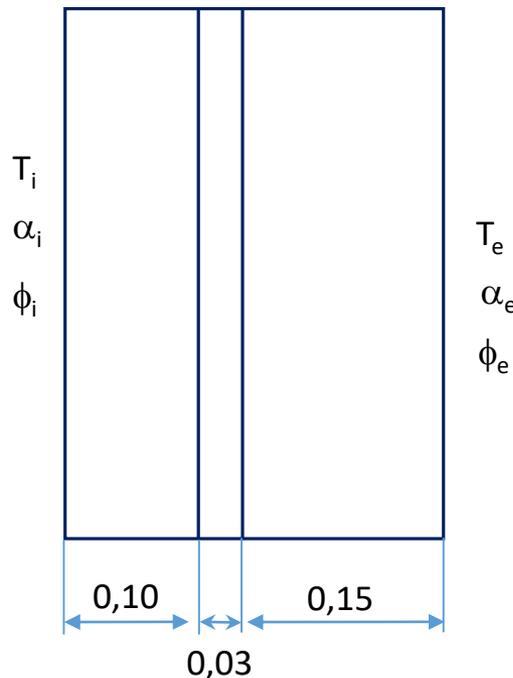


## ESERCITAZIONE – Verifica dei fenomeni di condensa superficiale ed interstiziale

Si effettui una verifica della presenza di condensa superficiale ed interstiziale nella parete rappresentata in figura costituita da uno strato di 10 cm di cls con conducibilità 0,7 W/mK e permeabilità al vapore  $1,3 \times 10^{-12}$  kg/s m Pa, 3 cm di isolante con conducibilità 0,04 W/mK e permeabilità  $1,8 \times 10^{-12}$  kg/s m Pa, ed altri 15 cm di cls con conducibilità 0,7 W/mK e permeabilità  $1,3 \times 10^{-12}$  Kg/m s Pa.

La parete separi un ambiente interno a temperatura 18 °C ed umidità relativa 70 % da uno esterno a temperatura – 5 °C ed umidità relativa 80 %.

Nel caso si verifichi condensa interstiziale si determini lo spessore minimo di una barriera al vapore di permeabilità al vapore pari a  $6,75 \cdot 10^{-15} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}}$

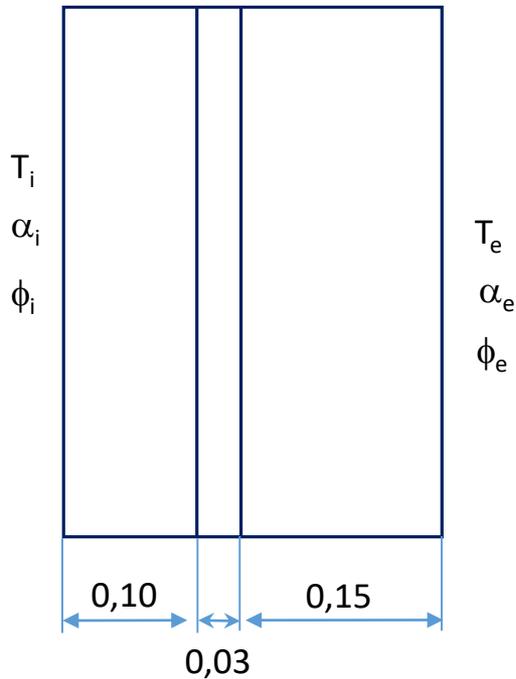


$$\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$\alpha_e = 23 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

# ESERCITAZIONE – Verifica dei fenomeni di condensa superficiale ed interstiziale

## Calcolo del flusso termico



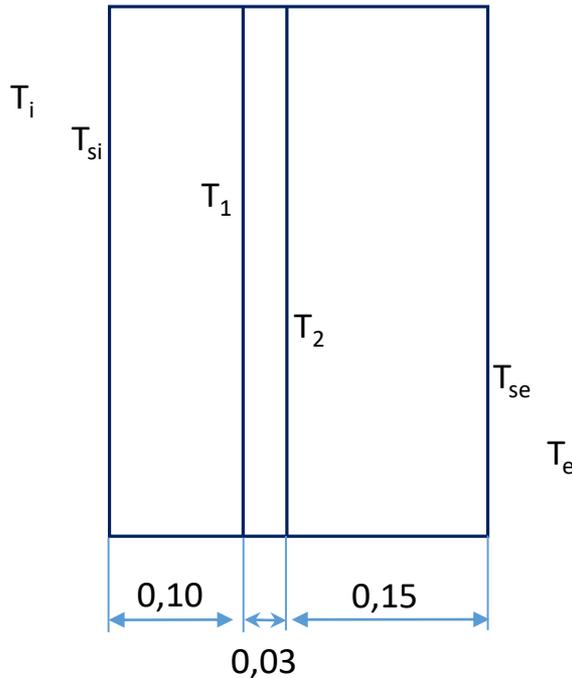
$$R_{u,tot} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_e} =$$
$$= \frac{1}{8} + \frac{0,10}{0,7} + \frac{0,03}{0,04} + \frac{0,15}{0,7} + \frac{1}{23} = 1,28 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$K = \frac{1}{R_{u,tot}} = \frac{1}{1,28} = 0,78 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\phi = K \cdot (T_i - T_e) = 0,78 \cdot 23 = 18 \frac{W}{m^2}$$

# ESERCITAZIONE – Verifica dei fenomeni di condensa superficiale ed interstiziale

## Andamento delle temperature dentro la parete



$$T_{si} = T_i - \phi \cdot \frac{1}{\alpha_i} = 18 - 18 \cdot \frac{1}{8} = 15,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

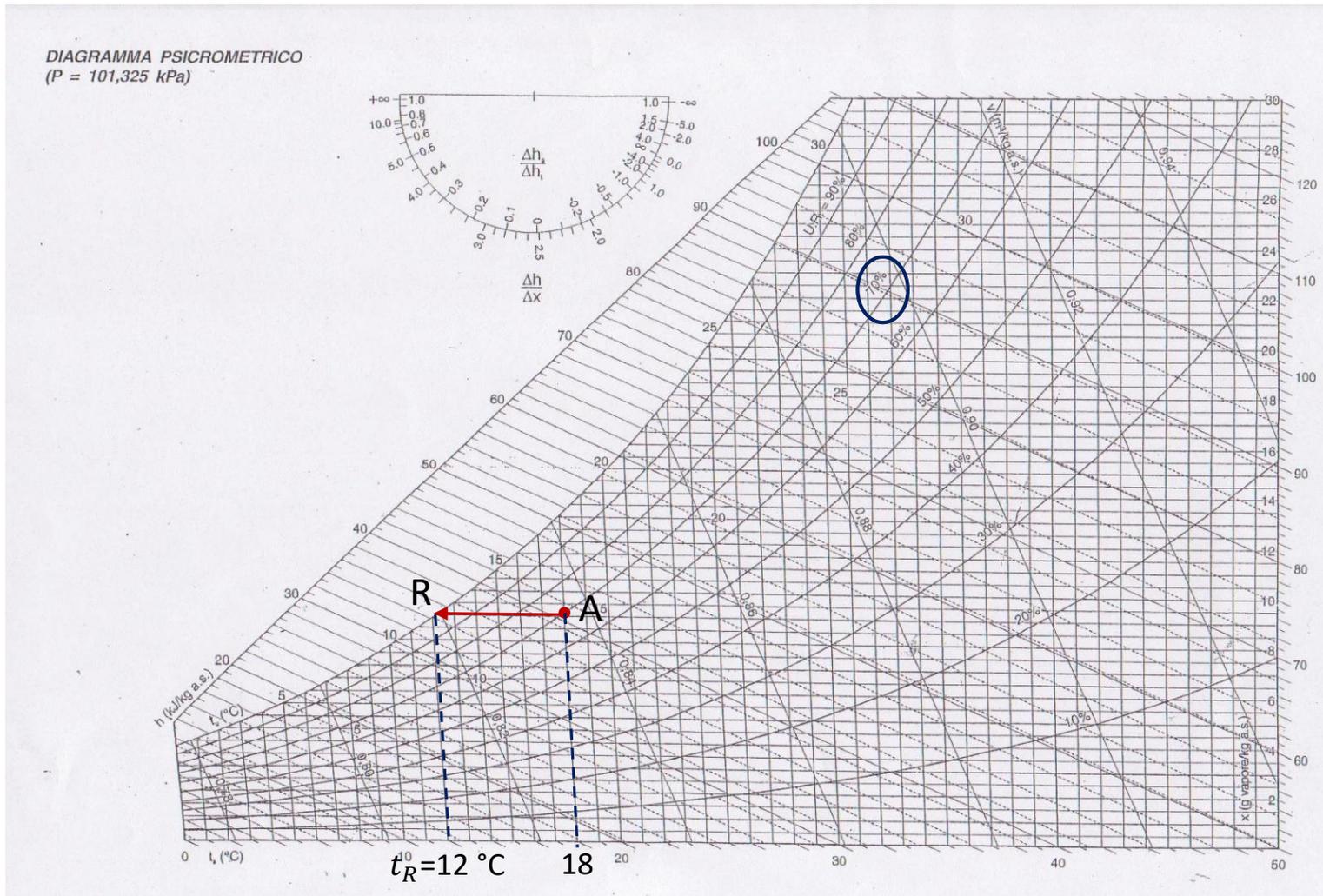
$$T_1 = T_i - \phi \cdot \left( \frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} \right) = 18 - 18 \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{0,1}{0,7} \right) = 13,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = T_i - \phi \cdot \left( \frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} \right) = 18 - 18 \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{0,1}{0,7} + \frac{0,03}{0,04} \right) = -0,32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{se} = T_i - \phi \cdot \left( \frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} \right) = 18 - 18 \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{0,1}{0,7} + \frac{0,03}{0,04} + \frac{0,15}{0,7} \right) = -4,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

# ESERCITAZIONE – Verifica dei fenomeni di condensa superficiale ed interstiziale

## Determinazione della temperatura di rugiada



$$T_{si} > T_R$$

Non si verifica condensa superficiale

## ESERCITAZIONE – Verifica dei fenomeni di condensa superficiale ed interstiziale

### Andamento delle pressioni di saturazione in funzione delle temperature

$$P_s(T) = e^{\left(65,81 - \frac{7066,27}{T} - 5,976 \cdot \ln T\right)} \quad (\text{Temperature espresse in K})$$

$$P_s(T_i) = P_s(18 + 273,15) = 2065 \text{ Pa}$$

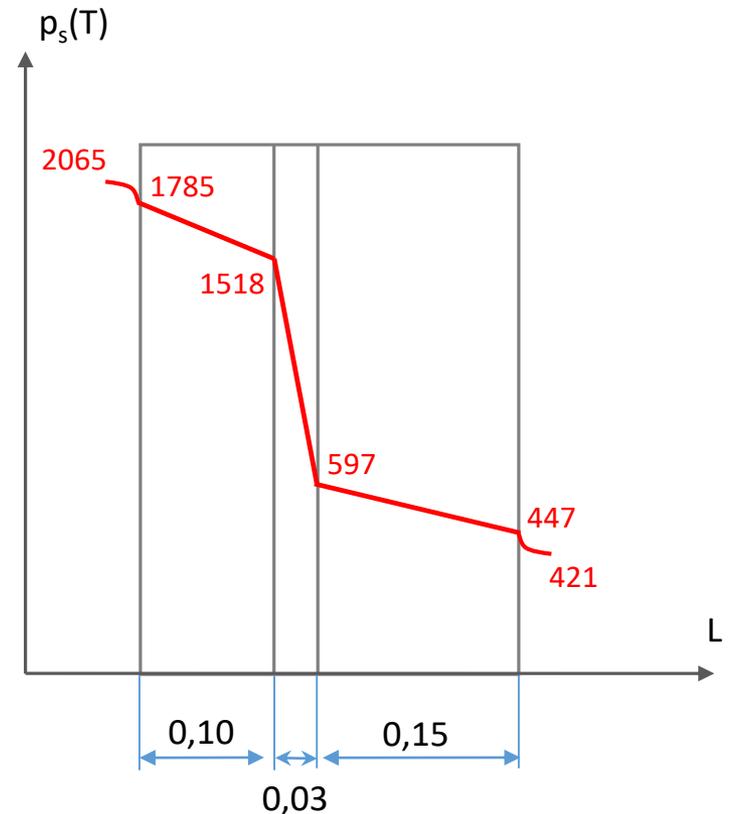
$$P_s(T_{si}) = P_s(15,7 + 273,15) = 1785 \text{ Pa}$$

$$P_s(T_1) = P_s(13,2 + 273,15) = 1518 \text{ Pa}$$

$$P_s(T_2) = P_s(-0,32 + 273,15) = 597 \text{ Pa}$$

$$P_s(T_{se}) = P_s(-4,2 + 273,15) = 447 \text{ Pa}$$

$$P_s(T_e) = P_s(-5 + 273,15) = 421 \text{ Pa}$$



## ESERCITAZIONE – Verifica dei fenomeni di condensa superficiale ed interstiziale

**Pressione parziale del vapore interna** e sulla superficie interna della parete:

$$p_{vi} = p_{vsi} = \phi_i \cdot p_s(T_i) = 0,7 \cdot 2065 = 1445 \text{ Pa}$$

**Pressione parziale del vapore esterna** e sulla superficie esterna della parete:

$$p_{ve} = p_{vse} = \phi_e \cdot p_s(T_e) = 0,8 \cdot 402 = 337 \text{ Pa}$$

**Resistenza al vapore** dei tre strati di materiale:

$$\frac{L_1}{\pi_1} = \frac{0,10}{1,3 \cdot 10^{-12}} = 7,69 \cdot 10^{10} \frac{m^2 \cdot s \cdot Pa}{kg}$$

$$\frac{L_2}{\pi_2} = \frac{0,03}{1,8 \cdot 10^{-12}} = 1,67 \cdot 10^{10} \frac{m^2 \cdot s \cdot Pa}{kg}$$

$$\frac{L_3}{\pi_3} = \frac{0,15}{1,3 \cdot 10^{-12}} = 11,5 \cdot 10^{10} \frac{m^2 \cdot s \cdot Pa}{kg}$$

**Resistenza totale al vapore** dell'intera parete:

$$R_v = \frac{L_1}{\pi_1} + \frac{L_2}{\pi_2} + \frac{L_3}{\pi_3} = (7,69 + 1,67 + 11,5) \cdot 10^{10} = 2,09 \cdot 10^{11} \frac{m^2 \cdot s \cdot Pa}{kg}$$

## Andamento delle pressioni parziali del vapore

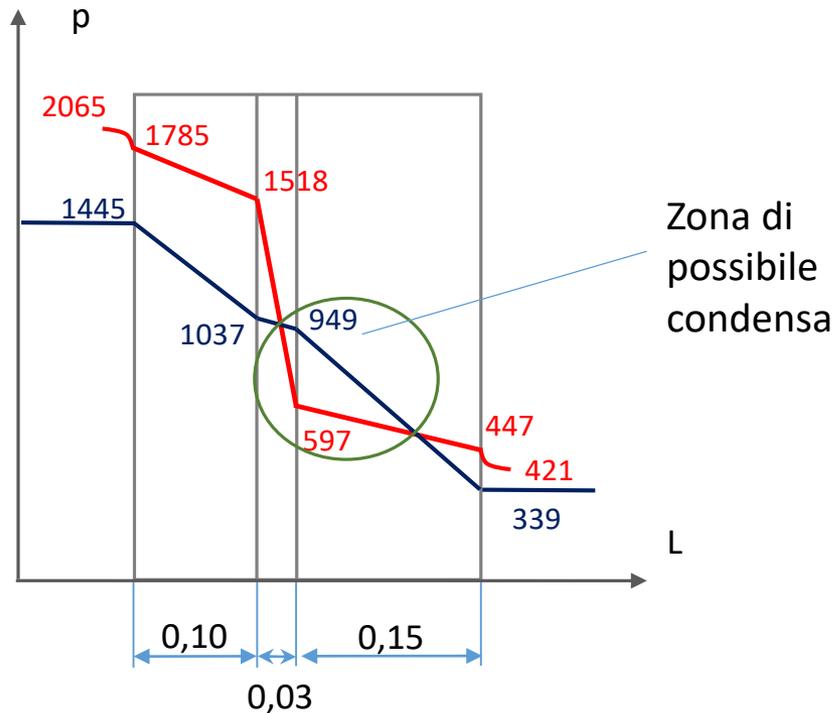
$$\Pi = \frac{1}{R_v} = \frac{1}{2,09 \cdot 10^{11}} = 4,79 \cdot 10^{-12} \quad \frac{kg}{s \cdot m^2 \cdot Pa}$$

$$\Phi_v = \Pi \cdot (p_{vi} - p_{ve}) = 4,79 \cdot 10^{-12} \cdot (1445 - 337) = 5,3 \cdot 10^{-9} \frac{kg}{s \cdot m^2}$$

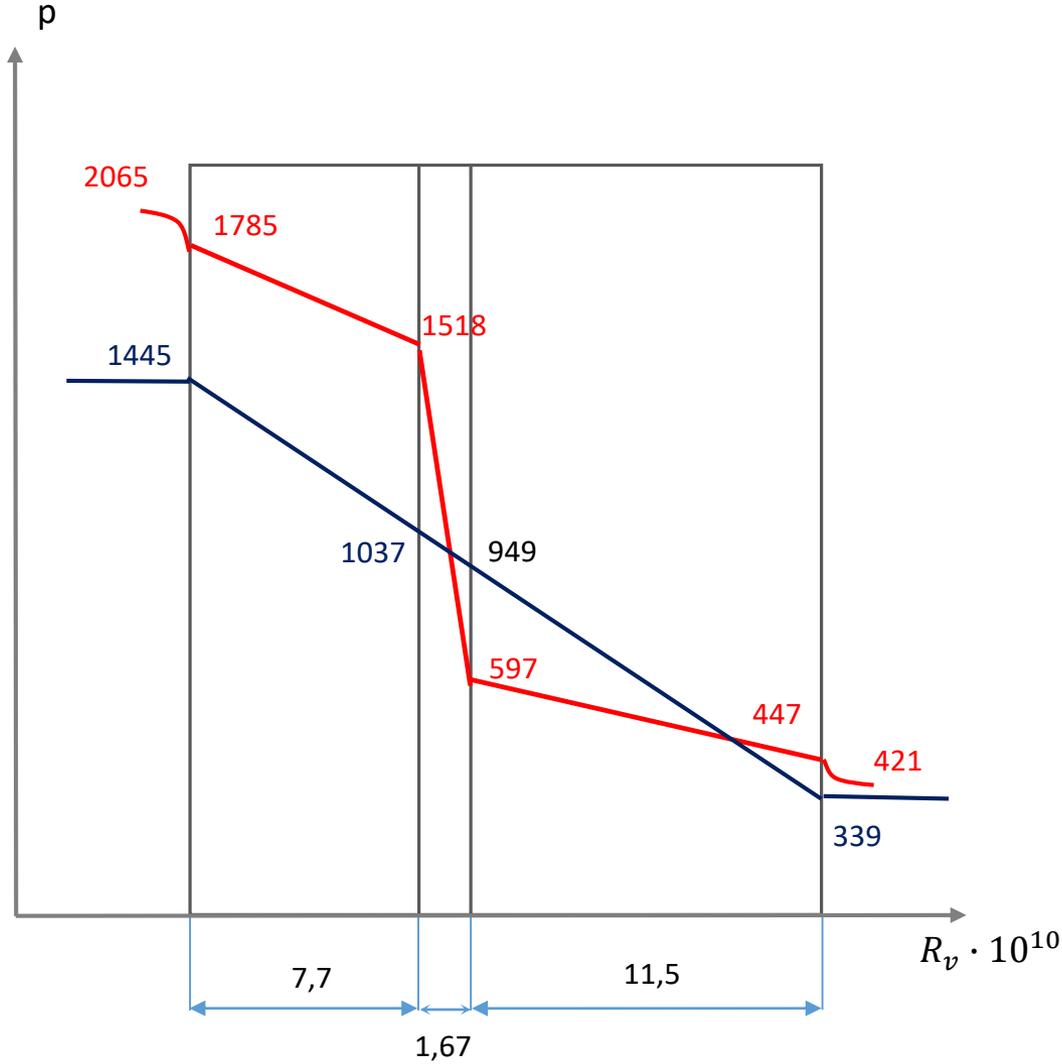
$$p_{v,1} = p_{v,i} - \Pi \cdot (p_{v,i} - p_{v,e}) \cdot \left(\frac{L_1}{\pi_1}\right) = 1445 - 5,3 \cdot 10^{-9} \cdot 7,69 \cdot 10^{10} = 1037 \text{ Pa}$$

$$p_{v,2} = p_{v,i} - \Pi \cdot (p_{v,i} - p_{v,e}) \cdot \left(\frac{L_1}{\pi_1} + \frac{L_2}{\pi_2}\right) = 1445 - 5,3 \cdot 10^{-9} \cdot (7,69 + 1,67) \cdot 10^{10} = 949 \text{ Pa}$$

$$p_{v,3} = p_{v,i} - \Pi \cdot (p_{v,i} - p_{v,e}) \cdot \left(\frac{L_1}{\pi_1} + \frac{L_2}{\pi_2} + \frac{L_3}{\pi_3}\right) = 1445 - 5,3 \cdot 10^{-9} \cdot (7,69 + 1,67 + 11,5) \cdot 10^{10} = 339 \text{ Pa}$$

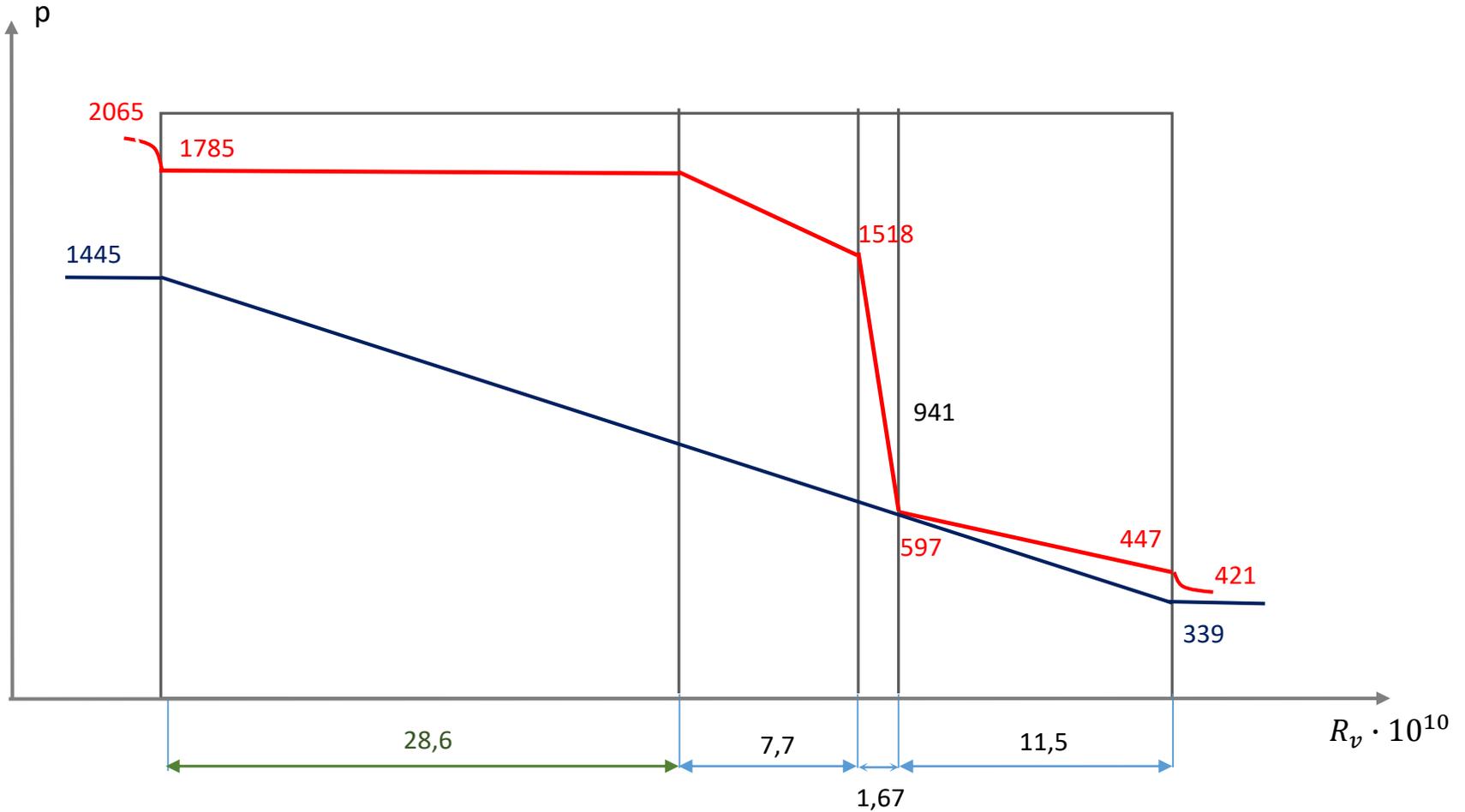


# Andamento delle pressioni parziali su un diagramma pressione – resistenza al vapore



# Determinazione grafica della resistenza al vapore della barriera al vapore

Mantenendo gli **stessi valori delle pressioni parziali interna ed esterna** si traccia una **retta** che tocca la spezzata delle **pressioni di saturazione** nel **punto di massimo rischio di condensa**.



## Determinazione analitica della resistenza al vapore della barriera al vapore

L'aggiunta della barriera al vapore fa **umentare la resistenza al vapore** dell'intera parete

$R_{bv}$ : resistenza al vapore della barriera al vapore

**Resistenza totale al vapore** dell'intera parete:

$$R_v = \frac{L_1}{\pi_1} + \frac{L_2}{\pi_2} + \frac{L_3}{\pi_3} + R_{bv} = (7,69 + 1,67 + 11,5) \cdot 10^{10} + R_{bv} = 2,09 \cdot 10^{11} + R_{bv} \quad \left[ \frac{m^2 \cdot s \cdot Pa}{kg} \right]$$

**Permeanza al vapore e flusso di vapore** per unità di superficie:

$$\Pi = \frac{1}{R_v} = \frac{1}{2,09 \cdot 10^{11} + R_{bv}} \quad \left[ \frac{kg}{s \cdot m^2 \cdot Pa} \right]$$

$$\Phi_v = \Pi \cdot (p_{vi} - p_{ve}) = \frac{1}{2,09 \cdot 10^{11} + R_{bv}} \cdot (1445 - 339) \left[ \frac{kg}{s \cdot m^2} \right]$$

Si impone che  $p_{v,2}$  assuma lo **stesso valore della pressione di saturazione** in corrispondenza del **punto di massimo rischio di condensa**

$$p_{v,2} = 597 \quad Pa$$

$$p_{v,2} = p_{v,i} - \Pi \cdot (p_{v,i} - p_{v,e}) \cdot \left( \frac{L_1}{\pi_1} + \frac{L_2}{\pi_2} + R_{bv} \right) =$$

$$= 1445 - \frac{(1445 - 339)}{2,09 \cdot 10^{11} + R_{bv}} \cdot [(7,69 + 1,67) \cdot 10^{10} + R_{bv}] =$$

$$= 1445 - \frac{1106}{2,09 \cdot 10^{11} + R_{bv}} \cdot (9,36 \cdot 10^{10} + R_{bv})$$

$$p_{v,2} = \mathbf{597} \Rightarrow 1445 - \frac{1106}{2,09 \cdot 10^{11} + R_{bv}} \cdot (9,36 \cdot 10^{10} + R_{bv}) = 597 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 848 = \frac{1106}{2,09 \cdot 10^{11} + R_{bv}} \cdot (9,36 \cdot 10^{10} + R_{bv}) \Rightarrow 848 \cdot (2,09 \cdot 10^{11} + R_{bv}) = 1106 \cdot (9,36 \cdot 10^{10} + R_{bv})$$

$$\Rightarrow 258 \cdot R_{bv} = (17723,2 - 10352,1) \cdot 10^{10} \Rightarrow 258 \cdot R_{bv} = 7371,1 \cdot 10^{10} \Rightarrow R_{bv} = \frac{7371,1 \cdot 10^{10}}{258}$$

$$\Rightarrow \mathbf{R_{bv} = 28,6 \cdot 10^{10} \quad Pa}$$

$$R_{bv} = 28,6 \cdot 10^{10} \Rightarrow L_{bv} = R_{bv} \cdot \pi_{bv} = 28,6 \cdot 10^{10} \cdot 6,75 \cdot 10^{-15} \Rightarrow$$

$$\mathbf{L_{bv} = 1,9 \cdot 10^{-3} \quad m = 1,9 \text{ mm}}$$