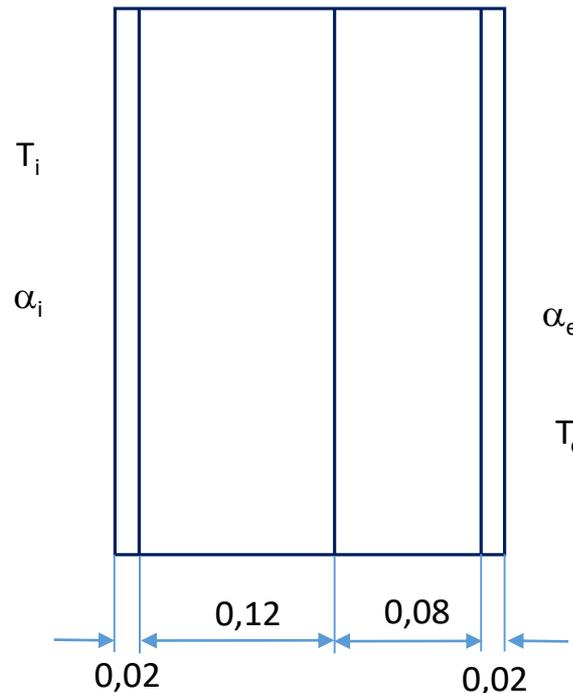


ESERCITAZIONE 1 – Trasmittanza di una parete multistrato

Calcolare la potenza termica scambiata in regime stazionario tra due ambienti rispettivamente a temperature operative $t_i=20\text{ °C}$ e $t_e=2\text{ °C}$ ipotizzando che siano separati da una parete multistrato di 15 m^2 di superficie composta da: Intonaco interno di spessore 2 cm e conducibilità $0,8\text{ W/mK}$, laterizio pieno di spessore 12 cm e conducibilità $1,2\text{ W/mK}$, isolante di spessore 8 cm e conducibilità termica $0,04\text{ W/mK}$ e intonaco esterno dello spessore di 2 cm e conducibilità termica $0,9\text{ W/mK}$. Infine si ipotizzi che l'adduttanza interna valga $8\text{ W/m}^2\text{K}$ e quella esterna $23\text{ W/m}^2\text{K}$

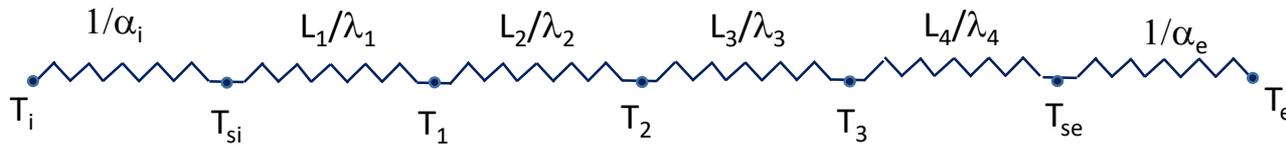


ESERCITAZIONE 1 – Trasmittanza di una parete multistrato

Calcolare la potenza termica scambiata in regime stazionario tra due ambienti rispettivamente a temperature operative $t_i=20\text{ °C}$ e $t_e=2\text{ °C}$ ipotizzando che siano separati da una parete multistrato di 15 m^2 di superficie composta da:

Intonaco interno di spessore 2 cm e conducibilità $0,8\text{ W/mK}$, laterizio pieno di spessore 12 cm e conducibilità $1,2\text{ W/mK}$, isolante di spessore 8 cm e conducibilità termica $0,04\text{ W/mK}$ e intonaco esterno dello spessore di 2 cm e conducibilità termica $0,9\text{ W/mK}$.

Infine si ipotizzi che l'adduttanza interna valga $8\text{ W/m}^2\text{K}$ e quella esterna $23\text{ W/m}^2\text{K}$



$$R_{u,tot} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \frac{L_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,8} + \frac{0,12}{1,2} + \frac{0,08}{0,04} + \frac{0,02}{0,9} + \frac{1}{23} = 2,3 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

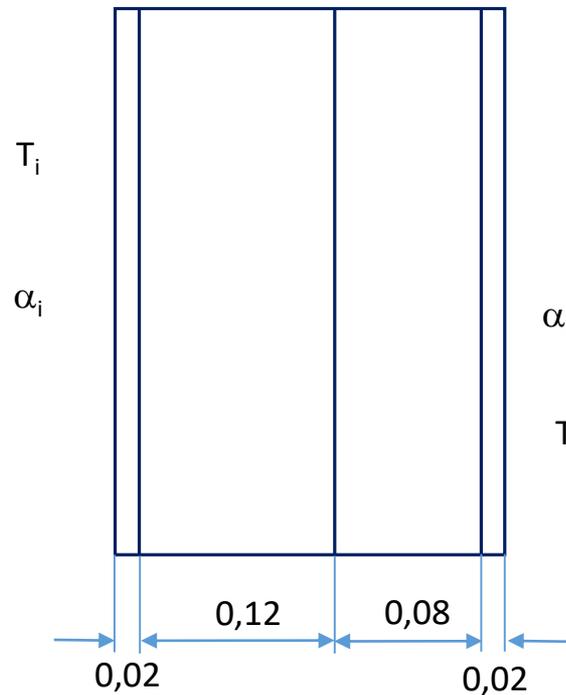
$$K = \frac{1}{R_{u,tot}} = \frac{1}{2,3} = 0,43 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\phi = K \cdot (T_i - T_e) = 0,43 \cdot 18 = 7,74 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\dot{Q} = \phi \cdot 15 = 7,74 \cdot 15 = 116,1 \text{ W}$$

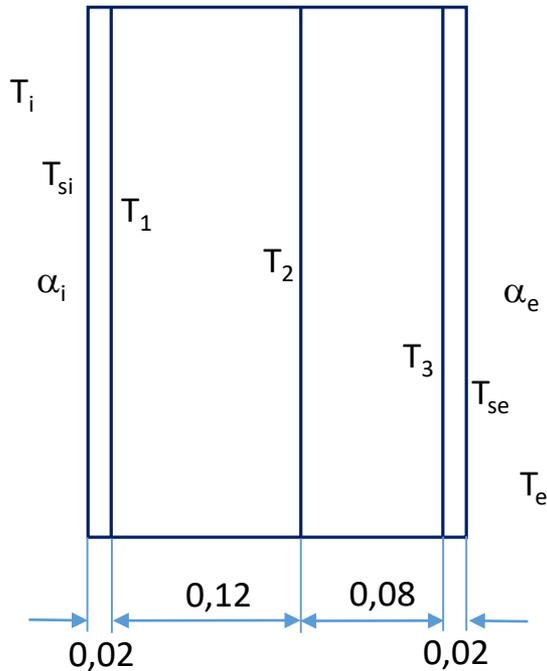
ESERCITAZIONE 2 – Andamento delle temperature in una parete multistrato

Con riferimento all'esercizio precedente calcolare l'andamento delle temperature all'interno della parete e tracciarlo su un grafico T-x



ESERCITAZIONE 2 – Andamento delle temperature in una parete multistrato

Con riferimento all'esercizio precedente calcolare l'andamento delle temperature all'interno della parete e tracciarlo su un grafico T-x



$$T_{si} = T_i - \phi \cdot \frac{1}{\alpha_i} = 20 - 7,74 \cdot \frac{1}{8} = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = T_i - \phi \cdot \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} \right) = 20 - 7,74 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,8} \right) = 18,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

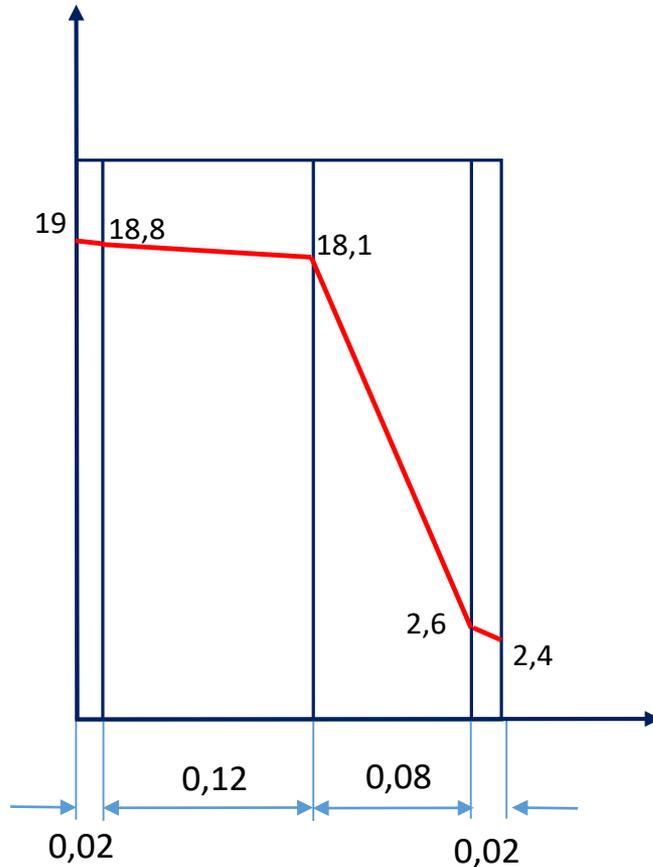
$$T_2 = T_i - \phi \cdot \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} \right) = 20 - 7,74 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,8} + \frac{0,12}{1,2} \right) = 18,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_3 = T_i - \phi \cdot \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} \right) = 20 - 7,74 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,8} + \frac{0,12}{1,2} + \frac{0,08}{0,04} \right) = 2,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{se} = T_i - \phi \cdot \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \frac{L_4}{\lambda_4} \right) = 20 - 7,74 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,8} + \frac{0,12}{1,2} + \frac{0,08}{0,04} + \frac{0,02}{0,9} \right) = 2,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ESERCITAZIONE 2 – Andamento delle temperature in una parete multistrato

Con riferimento all'esercizio precedente calcolare l'andamento delle temperature all'interno della parete e tracciarlo su un grafico T-x



$$T_{si} = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 18,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 18,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

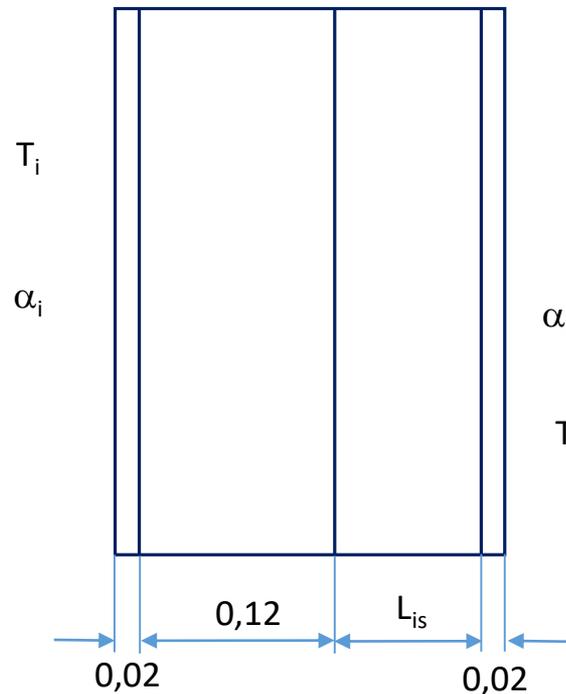
$$T_3 = 2,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{se} = 2,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Salto termico all'interno dell'isolante: **15,5 °C**, pari all'**86,1 %** dell'intero salto termico

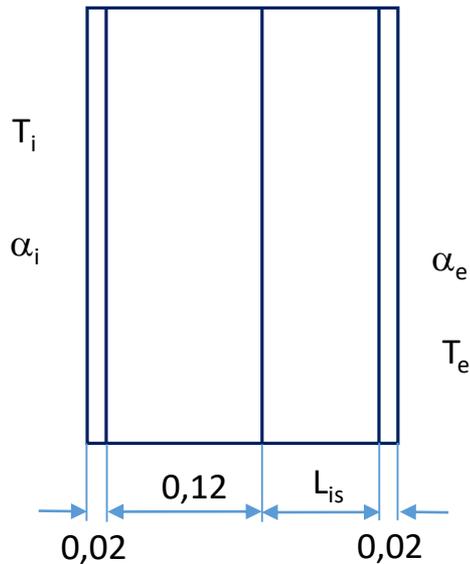
ESERCITAZIONE 3 – Trasmittanza di una parete multistrato

Con riferimento all'esercizio precedente ipotizzare di dover rispettare il limite alla trasmittanza imposto dalla normativa vigente pari a $0,29 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (zona climatica D). Calcolare lo spessore di materiale isolante necessario ed il nuovo andamento delle temperature all'interno della parete.



ESERCITAZIONE 3 – Trasmittanza di una parete multistrato

Con riferimento all'esercizio precedente ipotizzare di dover rispettare il limite alla trasmittanza imposto dalla normativa vigente pari a $0,29 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (zona climatica D). Calcolare lo spessore di materiale isolante necessario ed il nuovo andamento delle temperature all'interno della parete.



$$K_{lim} = 0,29 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$R_{u,tot} = \frac{1}{K_{lim}} = \frac{1}{0,29} = 3,45 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

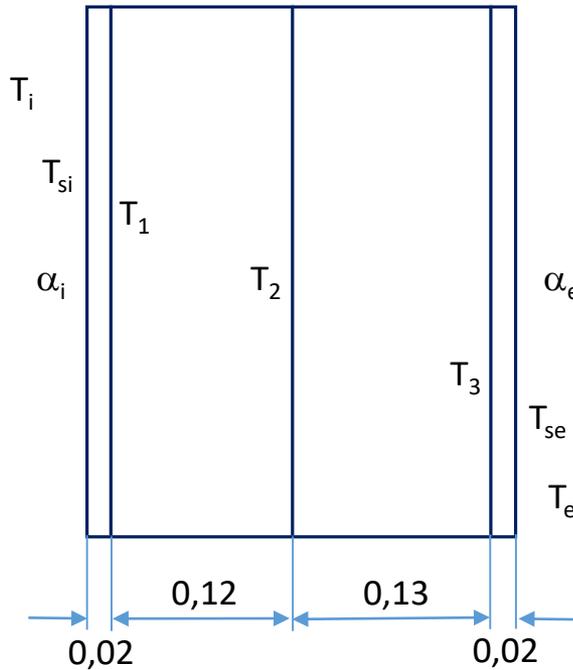
$$R_{u,tot} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \frac{L_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,8} + \frac{0,12}{1,2} + \frac{L_{is}}{0,04} + \frac{0,02}{0,9} + \frac{1}{23} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{L_{is}}{0,04} = 3,45 - \left(\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,8} + \frac{0,12}{1,2} + \frac{0,02}{0,9} + \frac{1}{23} \right) = 3,45 - 0,31 = 3,14 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$\Rightarrow L_{is} = 0,04 \cdot 3,14 = 0,13 \text{ m} = 13 \text{ cm}$$

ESERCITAZIONE 3 – Trasmittanza di una parete multistrato

Con riferimento all'esercizio precedente ipotizzare di dover rispettare il limite alla trasmittanza imposto dalla normativa vigente pari a $0,29 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (zona climatica D). Calcolare lo spessore di materiale isolante necessario ed il nuovo andamento delle temperature all'interno della parete.



$$R_{u,tot} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \frac{L_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_e} =$$

$$\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,8} + \frac{0,12}{1,2} + \frac{0,13}{0,04} + \frac{0,02}{0,9} + \frac{1}{23} = 3,57 \quad \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

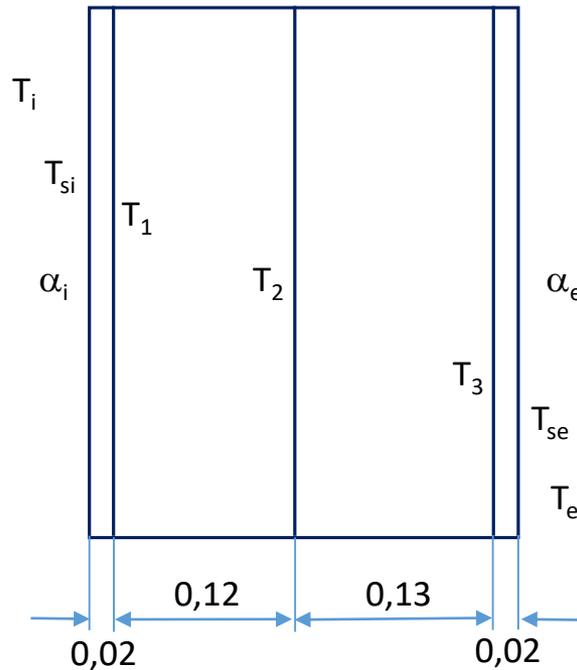
$$K = \frac{1}{R_{u,tot}} = \frac{1}{3,57} = 0,28 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\phi = K \cdot (T_i - T_e) = 0,28 \cdot 18 = 5 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\dot{Q} = \phi \cdot 15 = 5 \cdot 15 = 75 \text{ W}$$

ESERCITAZIONE 3 – Trasmittanza di una parete multistrato

Con riferimento all'esercizio precedente ipotizzare di dover rispettare il limite alla trasmittanza imposto dalla normativa vigente pari a $0,29 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (zona climatica D). Calcolare lo spessore di materiale isolante necessario ed il nuovo andamento delle temperature all'interno della parete.



$$T_{si} = T_i - \phi \cdot \frac{1}{\alpha_i} = 20 - 5 \cdot \frac{1}{8} = 19,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

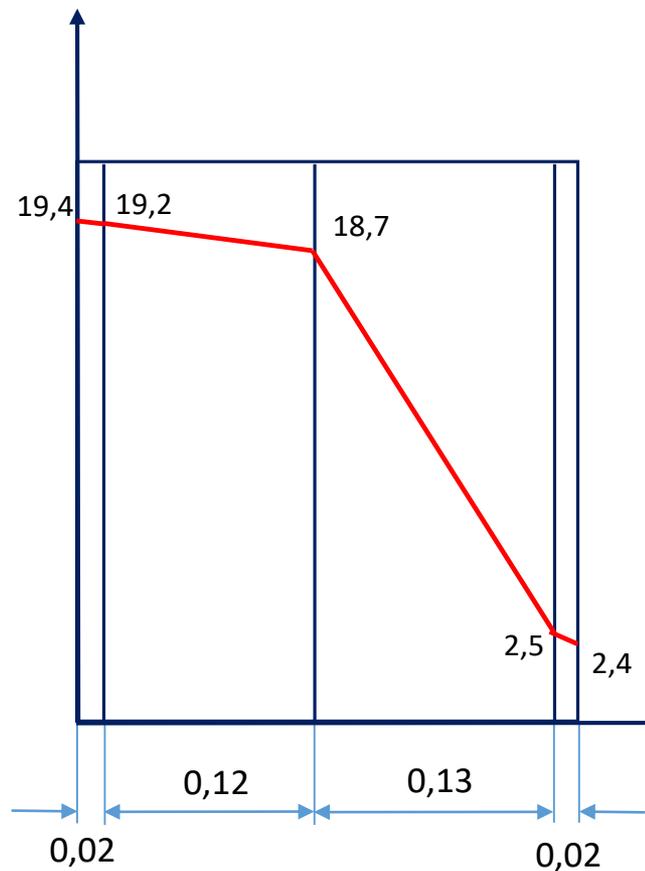
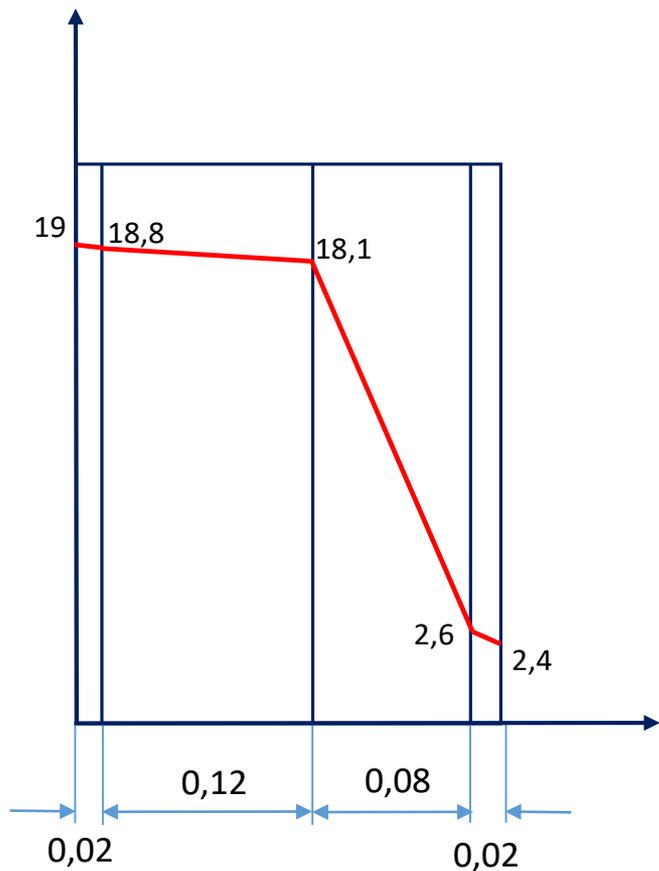
$$T_1 = T_i - \phi \cdot \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} \right) = 20 - 5 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,8} \right) = 19,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = T_i - \phi \cdot \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} \right) = 20 - 5 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,8} + \frac{0,12}{1,2} \right) = 18,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

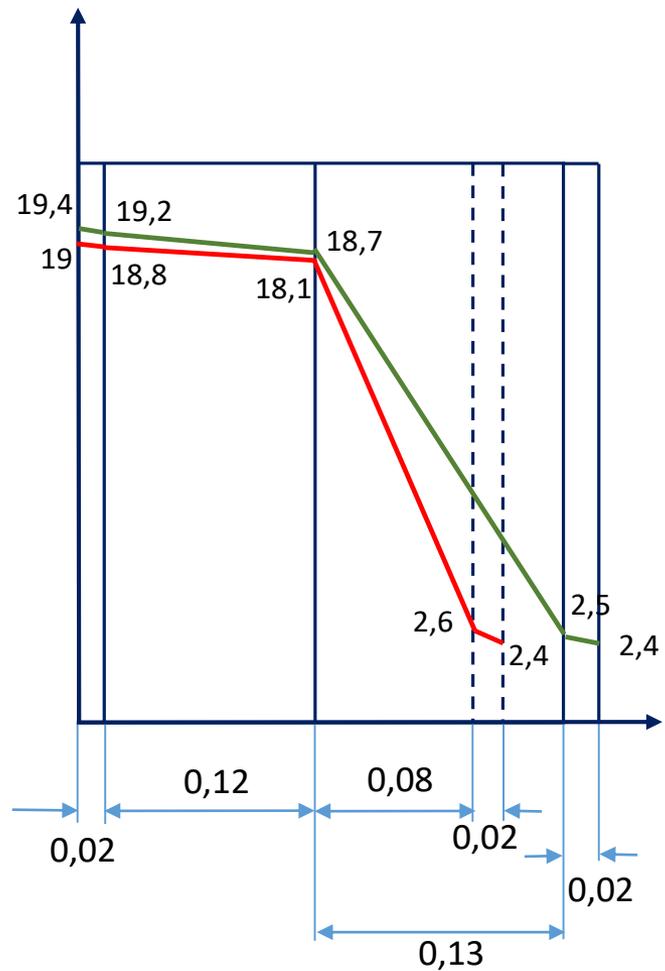
$$T_3 = T_i - \phi \cdot \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} \right) = 20 - 5 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,8} + \frac{0,12}{1,2} + \frac{0,13}{0,04} \right) = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{se} = T_i - \phi \cdot \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \frac{L_4}{\lambda_4} \right) = 20 - 5 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,8} + \frac{0,12}{1,2} + \frac{0,13}{0,04} + \frac{0,02}{0,9} \right) = 2,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ESERCITAZIONE 3 Confronto tra gli andamenti di temperature nella parete con 8 cm di isolante ed in quella co 13 cm di isolante

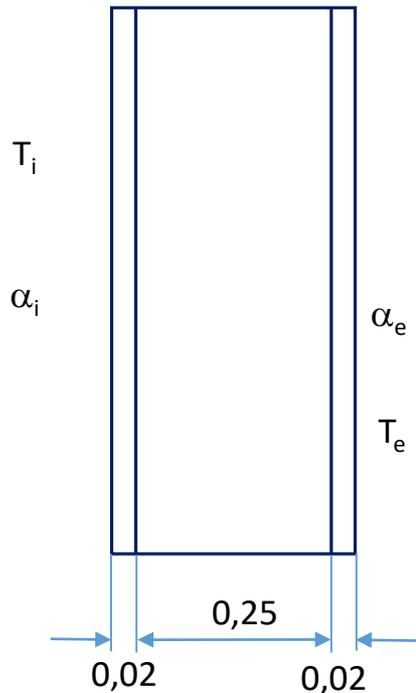


ESERCITAZIONE 3 Confronto tra gli andamenti di temperature nella parete con 8 cm di isolante ed in quella co 13 cm di isolante



ESERCITAZIONE 4 – Trasmittanza di una parete multistrato e verifica di condensa superficiale

Calcolare la potenza termica scambiata in regime stazionario tra due ambienti rispettivamente a temperature operative $t_i=20\text{ °C}$ e $t_e=2\text{ °C}$ ipotizzando che siano separati da una parete multistrato di 13 m^2 di superficie composta da:
Intonaco interno di spessore 2 cm e conducibilità $0,9\text{ W/mK}$, laterizio forato tipo poroton di spessore 25 cm e conducibilità $0,15\text{ W/mK}$, intonaco esterno dello spessore di 2 cm e conducibilità termica 1 W/mK . Si ipotizzi inoltre che l'umidità relativa interna sia del 60% e che l'adduttanza interna valga $8\text{ W/m}^2\text{K}$ e quella esterna $23\text{ W/m}^2\text{K}$. Infine verificare l'ipotesi di condensa sulla superficie interna della parete.



$$R_{u,tot} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,9} + \frac{0,25}{0,15} + \frac{0,02}{1} + \frac{1}{23} = 1,9 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

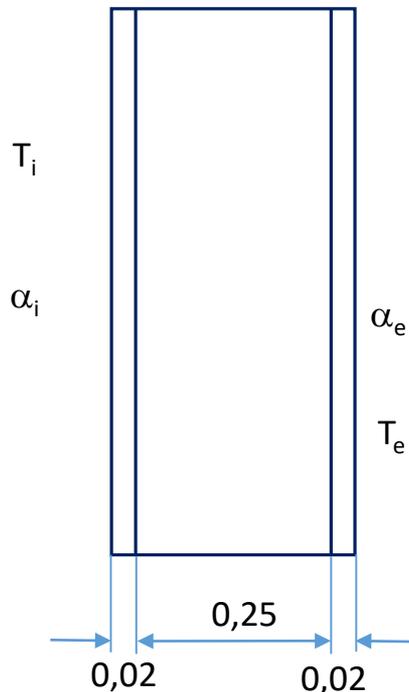
$$K = \frac{1}{R_{u,tot}} = \frac{1}{1,9} = 0,53 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\phi = K \cdot (T_i - T_e) = 0,53 \cdot 18 = 9,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\dot{Q} = \phi \cdot A = 9,9 \cdot 13 = 123,5 \text{ W}$$

ESERCITAZIONE 4 – Trasmittanza di una parete multistrato e verifica di condensa superficiale

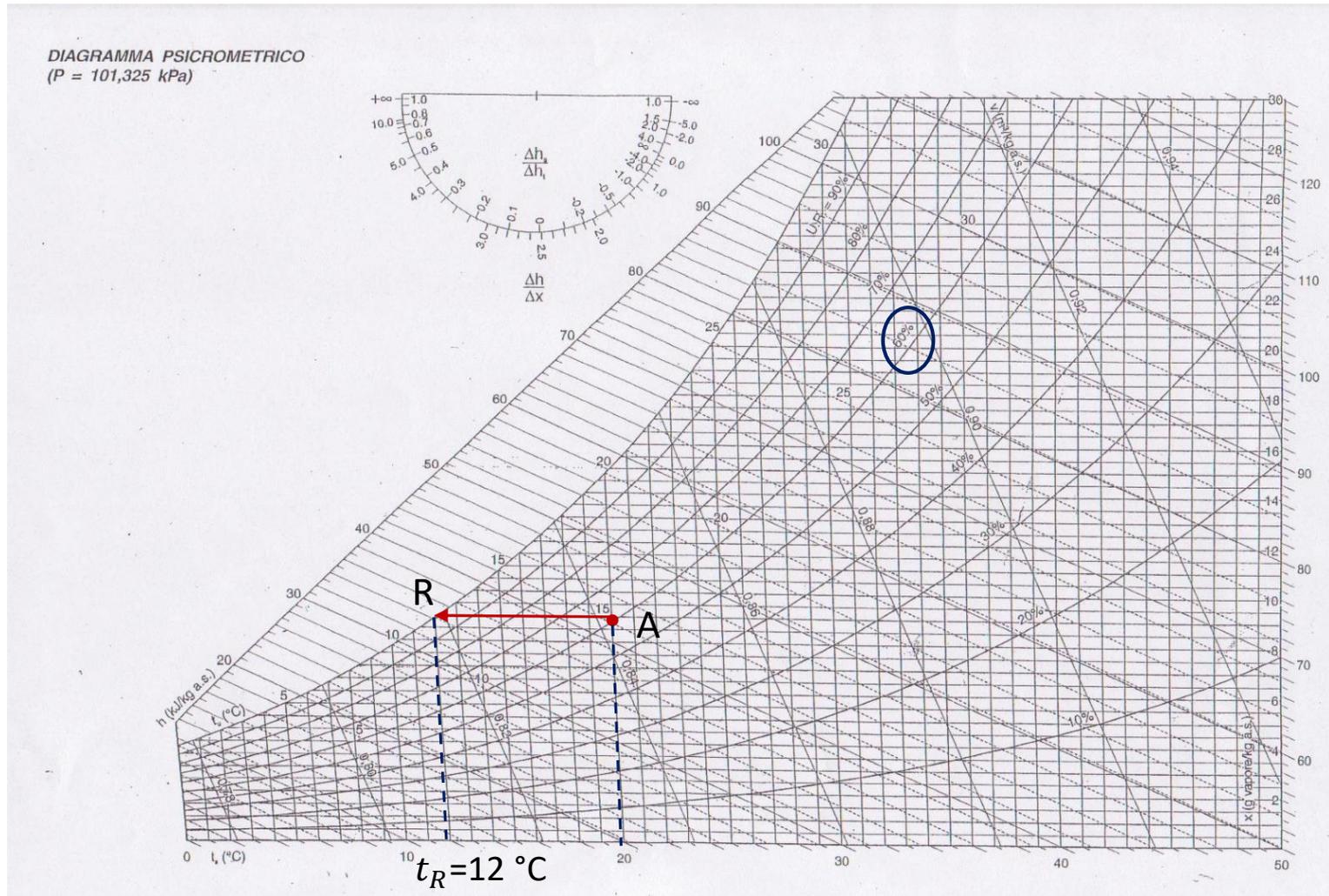
Calcolare la potenza termica scambiata in regime stazionario tra due ambienti rispettivamente a temperature operative $t_i=20\text{ °C}$ e $t_e=2\text{ °C}$ ipotizzando che siano separati da una parete multistrato di 13 m^2 di superficie composta da: Intonaco interno di spessore 2 cm e conducibilità $0,9\text{ W/mK}$, laterizio forato tipo poroton di spessore 25 cm e conducibilità $0,15\text{ W/mK}$, intonaco esterno dello spessore di 2 cm e conducibilità termica 1 W/mK . Si ipotizzi che l'adduttanza interna valga $8\text{ W/m}^2\text{K}$ e quella esterna $23\text{ W/m}^2\text{K}$. Infine verificare l'ipotesi di condensa sulla superficie interna della parete.



$$\phi = 9,5 \frac{W}{m^2}$$

$$T_{si} = T_i - \phi \cdot \frac{1}{\alpha_i} = 20 - 9,5 \cdot \frac{1}{8} = 18,8\text{ °C}$$

ESERCITAZIONE 4 - Determinazione grafica della temperatura di rugiada

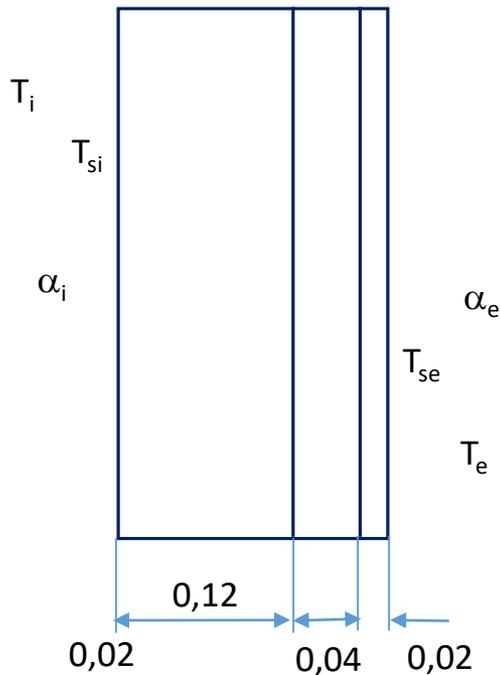


$$T_{si} > T_R$$

Non si verifica condensa superficiale

ESERCITAZIONE 5 – Verifica di condensa superficiale

Una parete costituita da 12 cm di laterizio pieno con conducibilità termica 1,2 W/mK isolato con 4 cm di lana di vetro ($\lambda = 0,045$ W/mK) e intonacato sul lato esterno con 2 cm di intonaco ($\lambda = 0,9$ W/mK) separa un ambiente interno con temperatura 20 °C e umidità relativa 50 % dall'esterno ($t_e = 0$ °C e $\phi = 65$ %). Verificare se sulla superficie interna della parete si crea condensa. Si suppongano le adduttanze interna ed esterna pari a 8 W/m² K e 23 W/m² K rispettivamente.



$$R_{u,tot} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_e} =$$

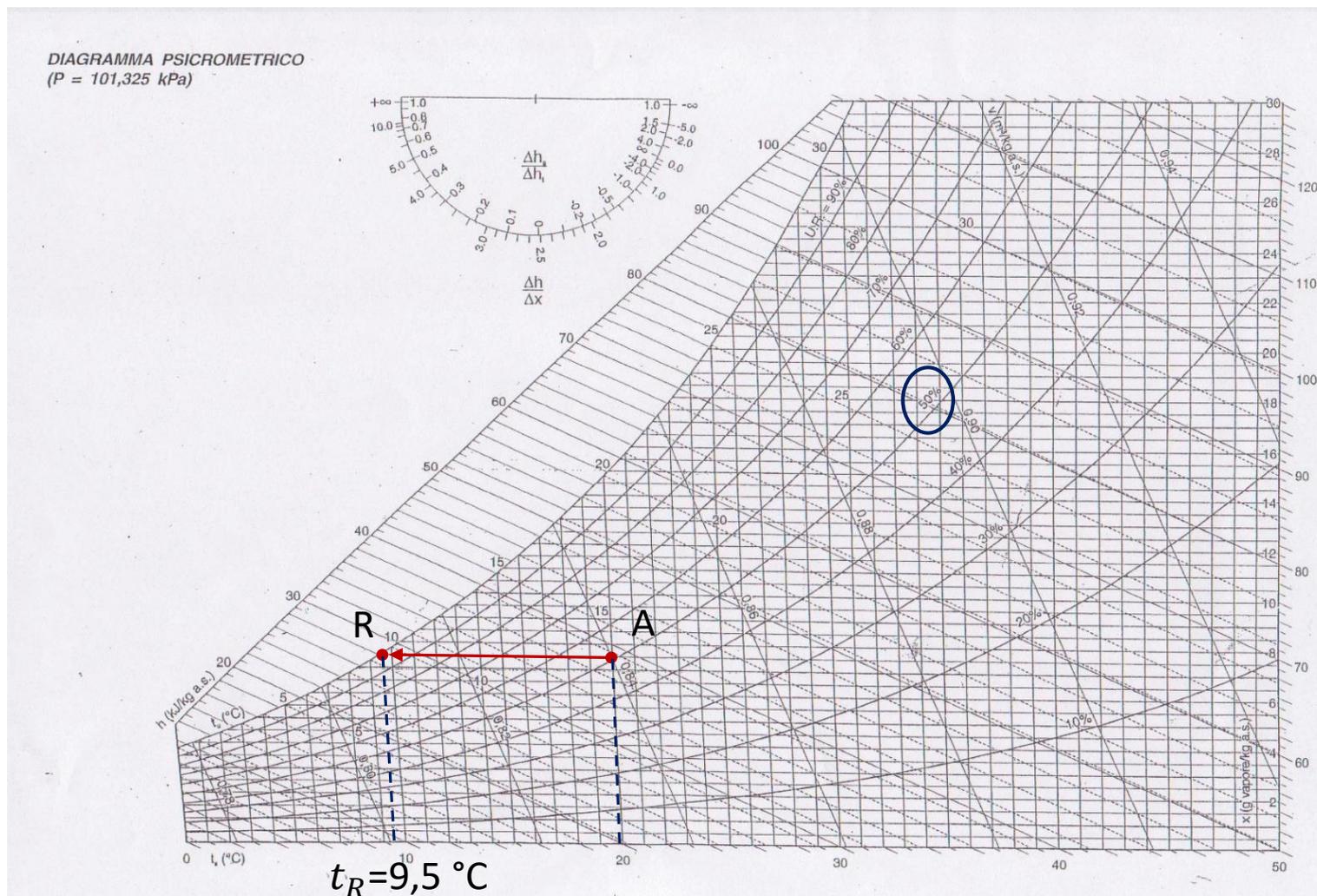
$$= \frac{1}{8} + \frac{0,12}{1,2} + \frac{0,04}{0,045} + \frac{0,02}{0,9} + \frac{1}{23} = 1,18 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$K = \frac{1}{R_{u,tot}} = \frac{1}{1,18} = 0,85 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\phi = K \cdot (T_i - T_e) = 0,85 \cdot 20 = 17 \frac{W}{m^2}$$

$$T_{si} = T_i - \phi \cdot \frac{1}{\alpha_i} = 20 - 17 \cdot \frac{1}{8} = 17,9 \text{ °C}$$

ESERCITAZIONE 5. Determinazione grafica della temperatura di rugiada

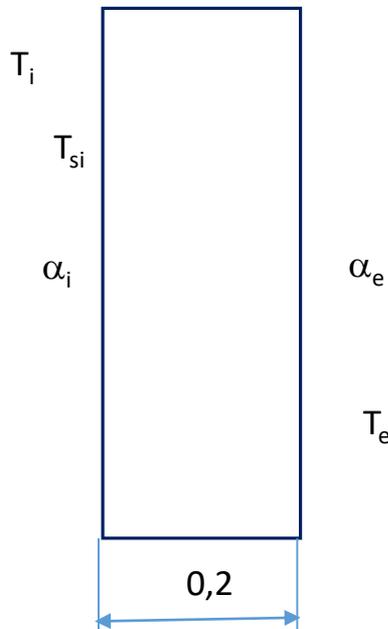


$$T_{si} > T_R$$

Non si verifica condensa superficiale

ESERCITAZIONE 6 – Verifica di condensa superficiale

Una parete non isolata costituita da 20 cm di cemento armato con conducibilità termica 2,3 W/mK separa un ambiente interno con temperatura 20 °C e umidità relativa 60 % dall'esterno ($t_e = -5$ °C e $\phi = 80$ %). Verificare se sulla superficie interna della parete si crea condensa e, in questa ipotesi, calcolare lo spessore minimo di lana di roccia ($\lambda = 0,04$ W/mK) necessario ad evitare il fenomeno. Si suppongano le adduttanze interna ed esterna pari a 8 W/m² K e 23 W/m² K rispettivamente.



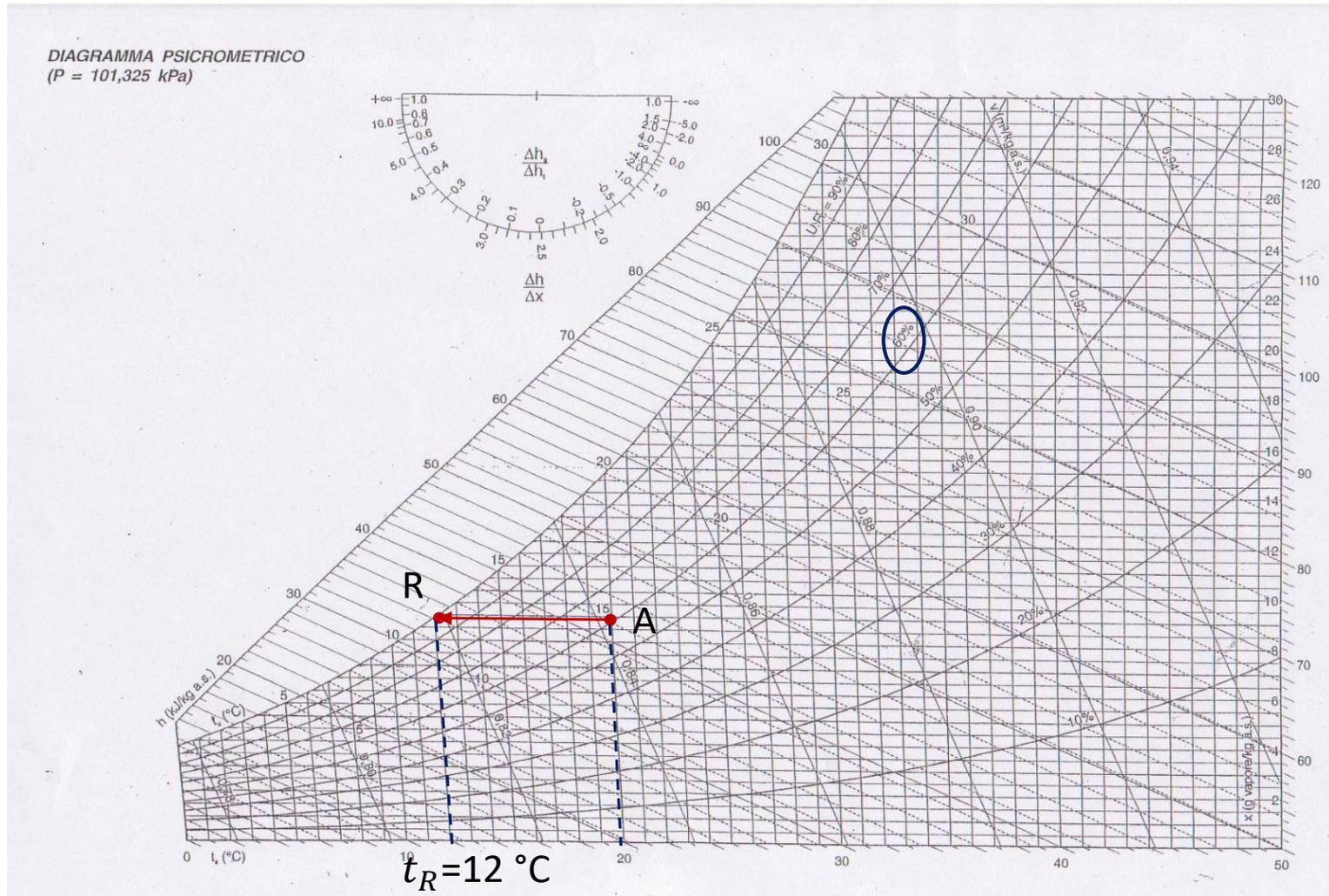
$$R_{u,tot} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{8} + \frac{0,2}{2,3} + \frac{1}{23} = 0,25 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$K = \frac{1}{R_{u,tot}} = \frac{1}{0,25} = 4 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\phi = K \cdot (T_i - T_e) = 4 \cdot 25 = 100 \frac{W}{m^2}$$

$$T_{si} = T_i - \phi \cdot \frac{1}{\alpha_i} = 20 - 100 \cdot \frac{1}{8} = 7,5 \text{ °C}$$

ESERCITAZIONE 6 - Determinazione grafica della temperatura di rugiada



$$T_{si} < T_R$$

Si verifica condensa superficiale

ESERCITAZIONE 6. Calcolo dello spessore aggiuntivo minimo dell'isolante

$$T_{si} = T_R \Rightarrow T_R = T_i - \phi \cdot \frac{1}{\alpha_i} \Rightarrow T_R = T_i - K_{lim} \cdot (T_i - T_e) \cdot \frac{1}{\alpha_i} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow K_{lim} = \frac{(T_i - T_R)}{(T_i - T_e)} \cdot \alpha_i = \frac{20 - 12}{20 + 5} \cdot 8 = \frac{64}{25} = 2,56 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$R_{lim} = \frac{1}{2,56} = 0,39 \quad \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Determinazione dello **spessore minimo dell'isolante** da aggiungere alla parete:

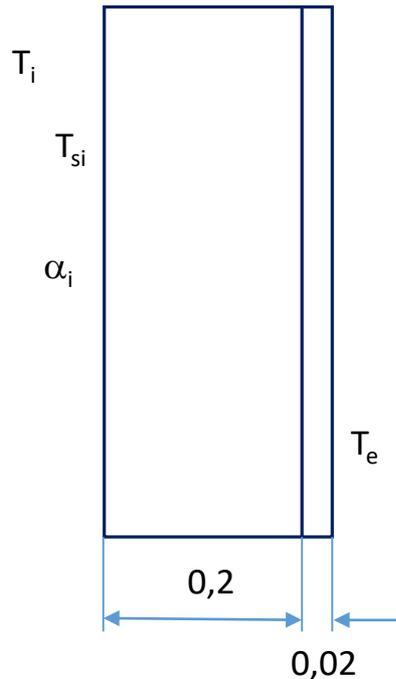
Resistenza aggiuntiva: $R_{agg} = 0,39 - 0,25 = 0,14 \quad \frac{m^2 \cdot K}{W}$

$$R_{agg} = \frac{L_{isol}}{\lambda_{isol}} \Rightarrow L_{isol} = R_{agg} \cdot \lambda_{isol} = 0,14 \cdot 0,04 = 0,006 \quad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \cdot \frac{W}{m \cdot K} = m \right]$$

Bastano 6 mm di isolante per rendere la temperatura superficiale uguale a quella di rugiada

ESERCITAZIONE 6. Calcolo dello spessore aggiuntivo minimo dell'isolante

Adottiamo uno spessore aggiuntivo di isolante di 2 cm



$$R_{u,tot} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_e} =$$

$$\frac{1}{8} + \frac{0,2}{2,3} + \frac{0,02}{0,04} + \frac{1}{23} = 0,75 \quad \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$K = \frac{1}{R_{u,tot}} = \frac{1}{0,75} = 1,33 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\phi = K \cdot (T_i - T_e) = 1,33 \cdot 25 = 33,2 \quad \frac{W}{m^2}$$

$$T_{si} = T_i - \phi \cdot \frac{1}{\alpha_i} = 20 - 33,2 \cdot \frac{1}{8} = 15,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Due centimetri di isolante fanno innalzare la temperatura superficiale interna di 8,3 °C, ben al di sopra della temperatura di rugiada