

# SCAMBI TERMICI DEGLI EDIFICI

(quando le cose non vanno come la teoria...)

- Prof. Luca Doretti (ICEA)
- Email: [luca.doretti@unipd.it](mailto:luca.doretti@unipd.it)
- Tel. 049/8276868

# Scambio termico elementi involucro edilizio

1

Formule base  
(trasmissione)

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot (t_e - t_i)$$

$$U = \left[ \frac{1}{h_1} + \sum_i \frac{s_i}{\lambda_i} + \sum_j R_i^* + \sum_k \frac{1}{C_k^*} + \frac{1}{h_2} \right]^{-1}$$

Elementi "diversi" da considerare:

- Convezione termica
- Intercapedini d'aria
- Variazioni di area
- Scambi con il terreno
- Finestrature
- Ponti termici
- Radiazione solare
- Ventilazione

## Convezione termica

### a) Superfici interne (o aree colme)

Sup. orizzontale (f. ascendente)  $h = 9,28 \text{ W/m}^2\text{K}$

Sup. orizzontale (f. discendente)  $h = 5,80$

Sup. verticale  $h = 8,12$

### b) Superfici esterne (con vento $< 4 \text{ ms}$ )

Sup. orizzontale (f. ascendente)  $h = 23,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

Sup. orizzontale (f. discendente)  $h = 16,24$

Sup. verticale  $h = 23,20$

c) Sup. esterne (con vento > 4 m/s)

$$\begin{cases} \text{sup. orizzontale (f. ascendente)} \\ \text{sup. verticale} \end{cases} \quad h = 2,32 + 10,44 \sqrt{u_v}$$

con  $u_v$  in [m/s]

$$\text{sup. orizzontale (f. discendente)} \quad h = 1,79 + 7,83 \sqrt{u_v}$$

### Radiazione

$$h_{\text{add}} = h_{\text{cv}} + h_{\text{rad}} \rightarrow R_s^* = \frac{1}{h_{\text{add}}} = \frac{1}{h_{\text{cv}} + h_{\text{rad}}}$$

$$h_{\text{rad}} = \epsilon \cdot h_{\text{ro}}$$

$\epsilon$  = emissività superficie

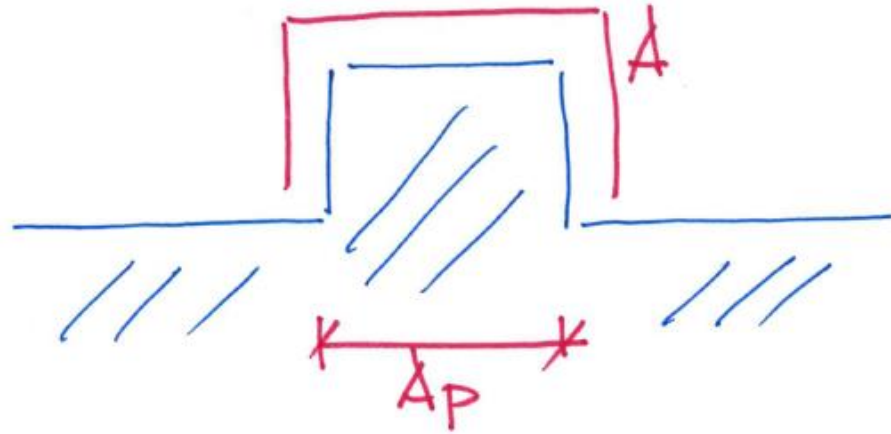
$$h_{\text{ro}} = 4 \sigma T_m^3$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

$T_m$  = temp. media superfici "intorno" [K]

## Variazioni di area (importanti)

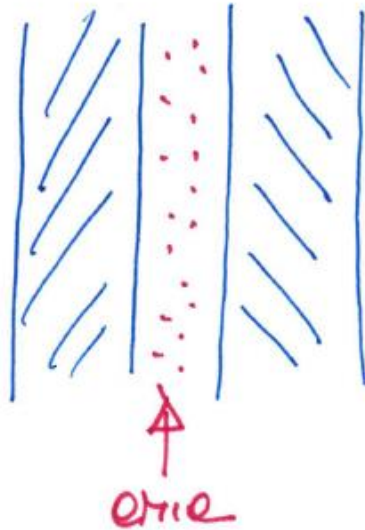
4



$$R_{sp} = R_s \cdot \frac{A_p}{A}$$

con  $R_{sp} < R_s$

## Intercedimenti di area nelle strutture

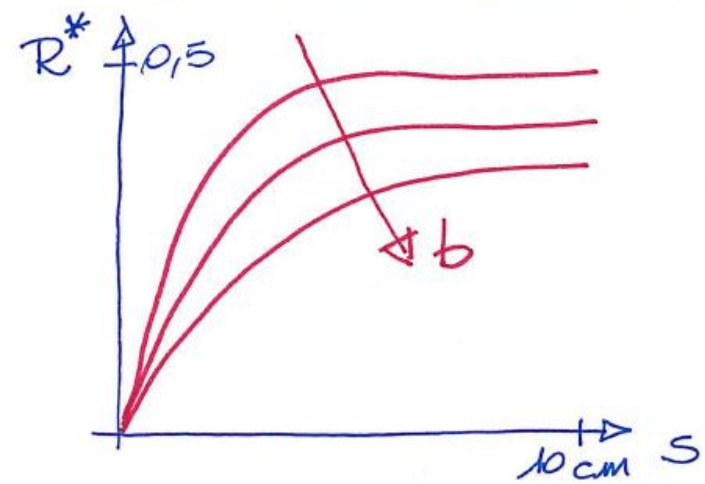


- 1) conduzione (aria quasi ferma, bassi spessori)
- 2) Convezione naturale (aria in moto naturale)
- 3) Radiazione (aria trasparente,  $\epsilon \neq 0$ )

→ scambio termico complesso



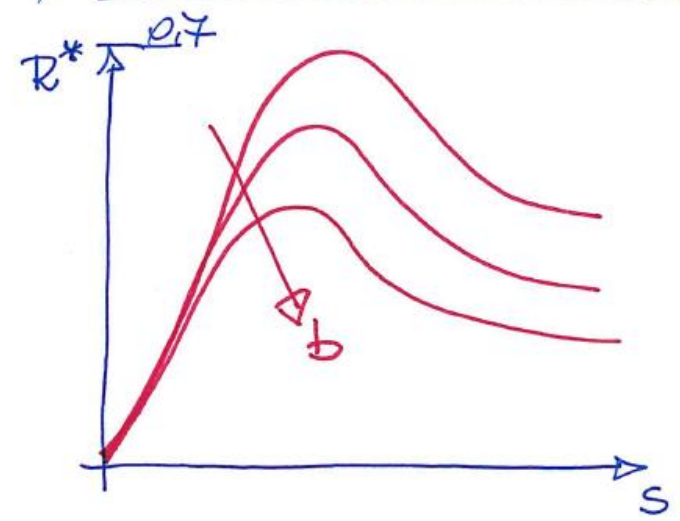
a) Intercedine orizontale f. ascendente



$$b = \left( \frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)^{-1}$$

se  $\epsilon_1 = \epsilon_2 = 0,90 \rightarrow b = 0,82$

b) Intercedine verticale



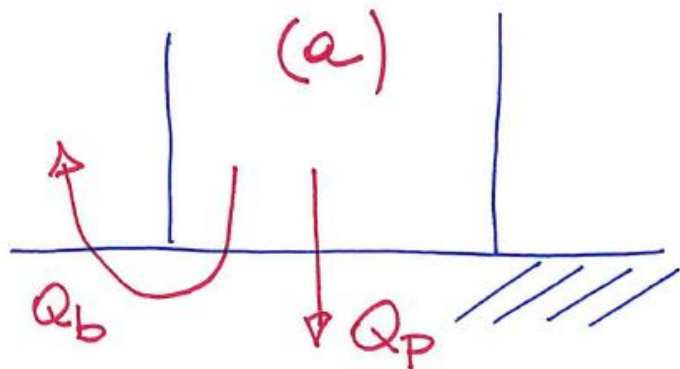
c) Intercedine orizontale f. descend.

$$R_{max}^* \approx 1,70 \text{ W/m}^2\text{K}$$

|   | $S = 1 \text{ cm}$ | $S = Z \div 10 \text{ cm}$ |
|---|--------------------|----------------------------|
| a | 7,50               | 7,00                       |
| b | 7,50               | 6,38                       |
| c | 7,50               | 5,25                       |

## Scambi con il terreno

6



|                    | $\lambda$ | $\rho c$         |
|--------------------|-----------|------------------|
| Argille            | 1,5       | $3 \cdot 10^6$   |
| (Ghiaie<br>Sabbie) | 2,0       | $2 \cdot 10^6$   |
| (Terreno<br>umido) | 3,0       | $2,5 \cdot 10^6$ |
| Rocce              | 3,5       | $2 \cdot 10^6$   |

[unità SI]

$$Q_t = Q_p + Q_b$$

$$Q_p = U_p \cdot A (\epsilon_i - \epsilon_g)$$

$$U_p = \left[ \frac{1}{U} + \frac{1}{c} \right]^{-1}$$

$\epsilon_i$  = temp. interne

$\epsilon_g$  = temp. acqua falda

$A$  = area pavimento

$U_p$  = trasm. equivalente

$U$  = trasm. pavimento normale

$c$  = conduttanza terreno

$$= 1,799 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_b = U_b (P \cdot z) (t_i - t_e)$$

$$U_b = \left( \frac{1}{U} + \frac{z}{\lambda_e} \right)^{-1}$$

con  $t_i$  = temp. interna

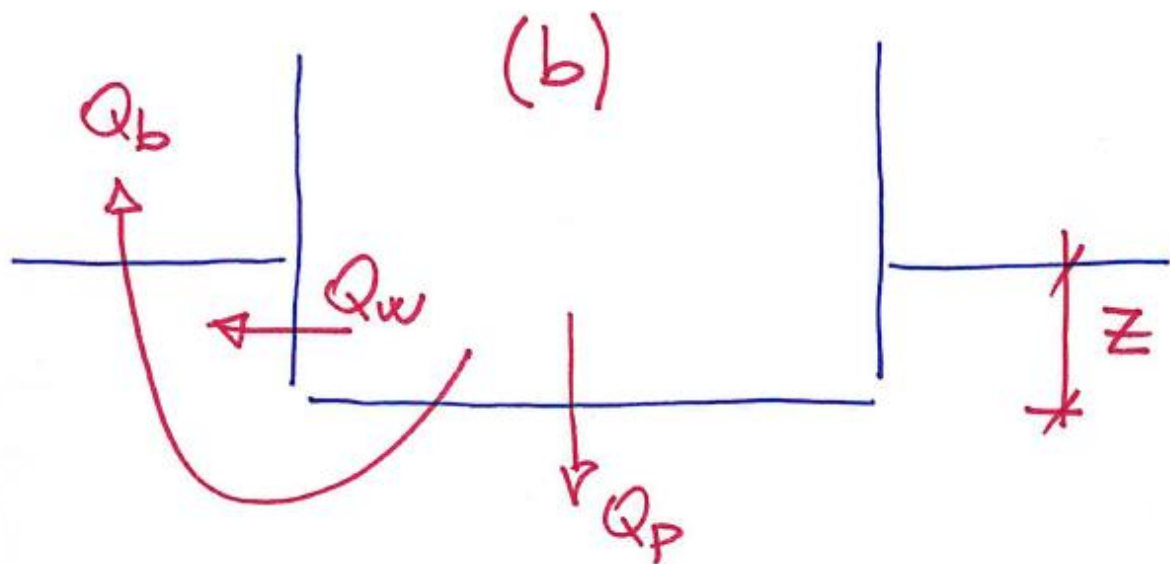
$t_e$  = temp. esterna aria

$P$  = perimetro pavimento  
(x 2 m di larghezza)

$U_b$  = trasmitt. equivalente

$\lambda_e$  = conduc. terreno (medio)





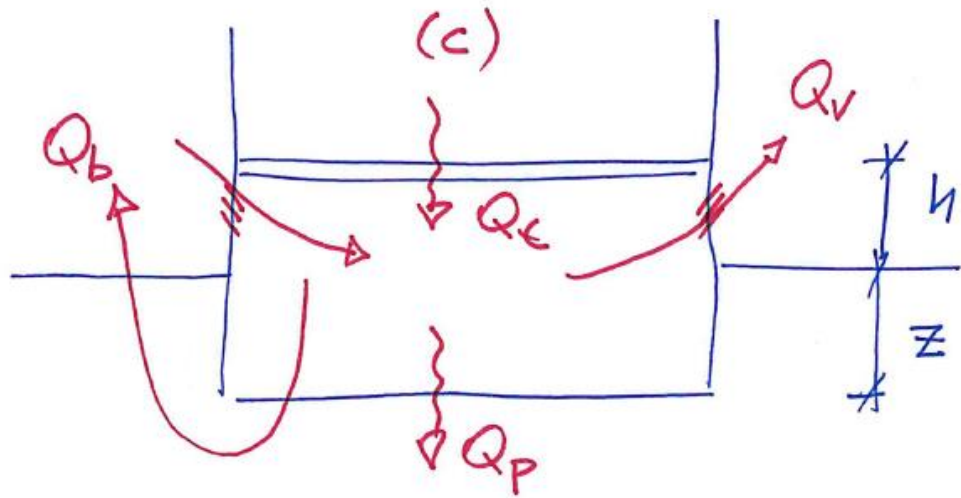
$$Q_t = Q_p + Q_b + Q_w \quad (\text{terreno} + \text{arve} + \text{muro})$$

1)  $Q_p$  come cas precedente

$$2) Q_b = U_b [P(2-z)] (t_i - t_e)$$

$z = \text{quote interramento}$

$$3) Q_w = U_w (P \cdot z) (t_i - t_e)$$



perimento se spazio aerato

$$Q_e = Q_p + Q_b + Q_v \quad (\text{terreno} + \text{muro} + \text{ventilaz.})$$

$$= U \cdot A \cdot (t_i - t_d) \quad \text{con} \quad U = \left( \frac{1}{U_p} + \frac{1}{U_w} \right)^{-1}$$

1)  $U_p$  = trasmitt. pavimento sopra spazio aerato

$$2) U_w = U_g + 2z \frac{U_w}{B} + 1950 \cdot \epsilon \cdot \nu \frac{\delta \nu}{B}$$

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B + d_e} \cdot \ln \left( \frac{\pi}{d_e} \cdot B + 1 \right)$$

= trasm. pavimento su terreno

e  $U_w$  = trasm. pareti verticali del locale interposto

i vari parametri:

$$B = \text{dimensione caratt. pavimento} \\ \downarrow \\ = A / (p/z)$$

$Z$  = quota interramento

$E$  = area di ventilazione

$v$  = velocità del vento

$f$  = fattore protezione del vento

$\lambda$  = conducibilità termica

$$d_e = \text{spessore equivalente} \\ \downarrow \\ = W + \lambda (R_{si} + R_p + R_{se})$$

$W$  = spessore pareti laterali

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{si} = \text{resistenza interna} \\ R_p = \text{resistenza pavimento} \\ R_{se} = \text{resistenza esterna} \end{array} \right.$$

Finestre, vetri ecc

[UNI 10077/1]

11

Trasmittanza termica finestre singole (w = window)

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_p U_p + A_f U_f + l_g \psi_g + l_p \psi_p}{A_g + A_p + A_f}$$

con  $A$  = area

$U$  = trasmittanza

$\psi$  = trasmittanza LINEICA

$g$  = glass / vetro

$p$  = panel / pannello

$f$  = frame / telaio



Transmittance termica vetro

$$U_g = \left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_g} \right)^{-1}$$

$$h_e = \text{conduttanza t. sp. totale vetro} = \left[ \sum_{i=1}^M \frac{1}{h_{si}} + \sum_{j=1}^M \frac{s_j}{\lambda_j} \right]^{-1}$$

$$h_s = \text{condutt. t. intercapedini} = h_{rz} + h_g$$

$$h_{rz} = \text{condutt. radiativa} = 4 \sigma_m \left( \frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)^{-1} \cdot T_m^3 ; T_m \text{ in } [K]$$

$$h_g = \text{condutt. gas}$$

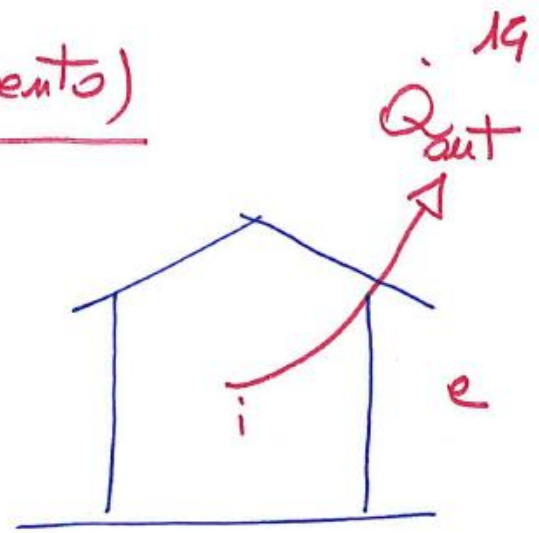
$$s = \text{spessore strato di vetro (o altro)}$$

$$\lambda = \text{conducibilità strato di vetro (o altro)}$$



## CARICO TERMICO INVERNALE (Riscaldamento)

- 1) dispersioni termiche attraverso l'involucro
- 2) dispersioni  $\epsilon$ . delle strutture verso locali non risc.
- 3) dispersioni attraverso ponti termici
- 4) dispersioni per ventilazione



$$\dot{Q}_{out} = \dot{Q}_{trasverso} + \dot{Q}_{ponti} + \dot{Q}_{ventilazione}$$

$$= \sum_i U_i S_i \Delta t_i + \sum_j \psi_j l_j \Delta t_j + \sum_k M_k V_k c_{pe} (t_{i,k} - t_e) \rho_e$$

$$\rightarrow \begin{cases} \psi = \text{trasmissione termica lineare del ponte termico} \\ = [W/mK] \end{cases}$$

# PONTI TERMICI

[UNI 11300]

15

Calcolo dei ponti termici

- 1) abaco o atlante conforme 11300
- 2) calcolo elementi finiti con metodo 11300

$$\dot{Q}_{pt} = \psi \cdot l (t_i - t_e)$$

$$\begin{array}{lcl} \dot{Q}_{\text{trasmissione}} & = & \dot{Q}_t = U S (t_i - t_e) + \dot{Q}_{pt} \\ \downarrow & & \downarrow \\ & & U S (t_i - t_e) + \psi \cdot l (t_i - t_e) \end{array}$$

$$\rightarrow \psi = \frac{Q_t - U S (t_i - t_e)}{l (t_i - t_e)}$$

trasmissione t. limite  
del ponte termico

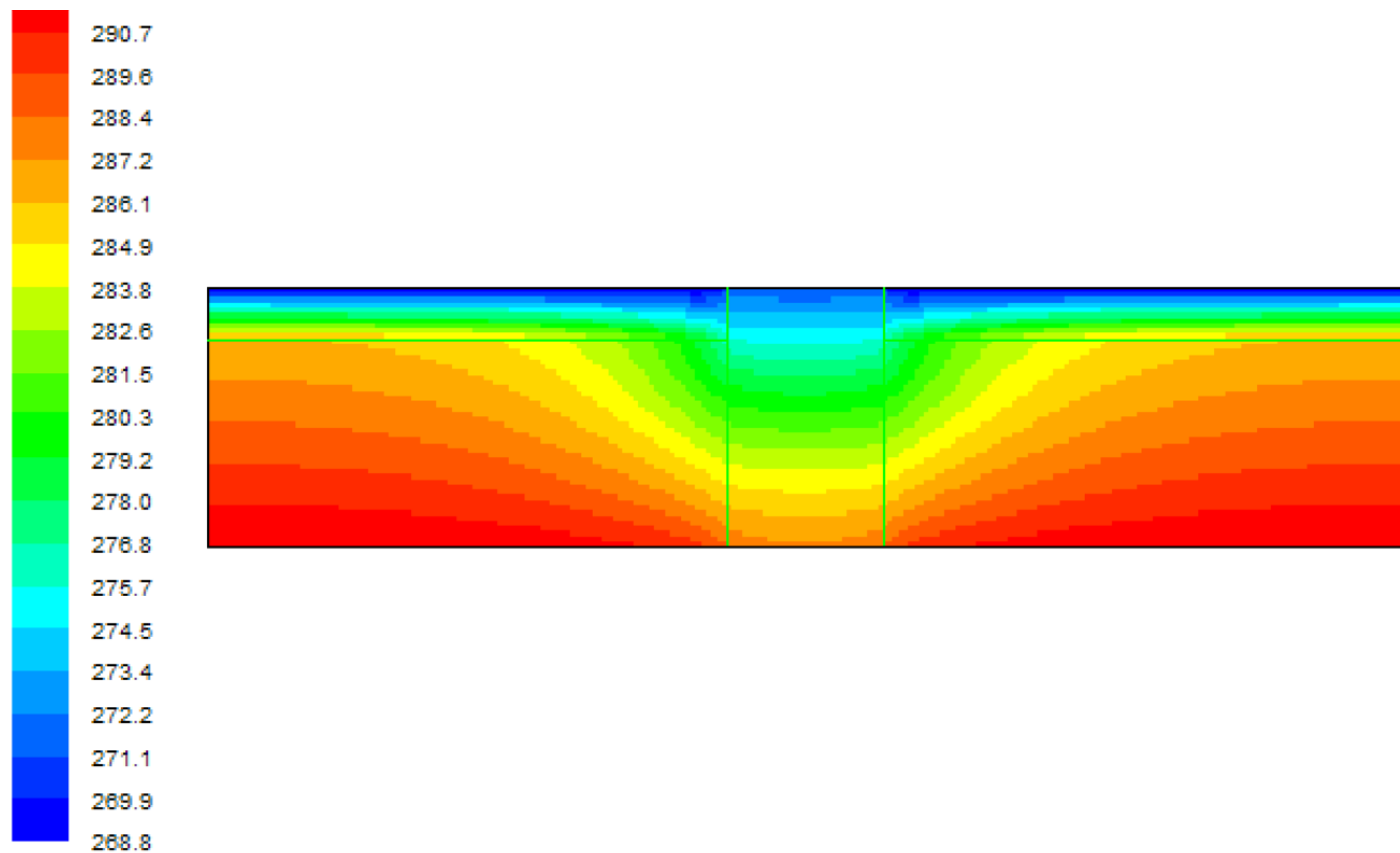


Figura 2.6 – Profilo di temperature PT-Parete Pilastro,  $U_m$ ,  $l = 1\text{m}$ .

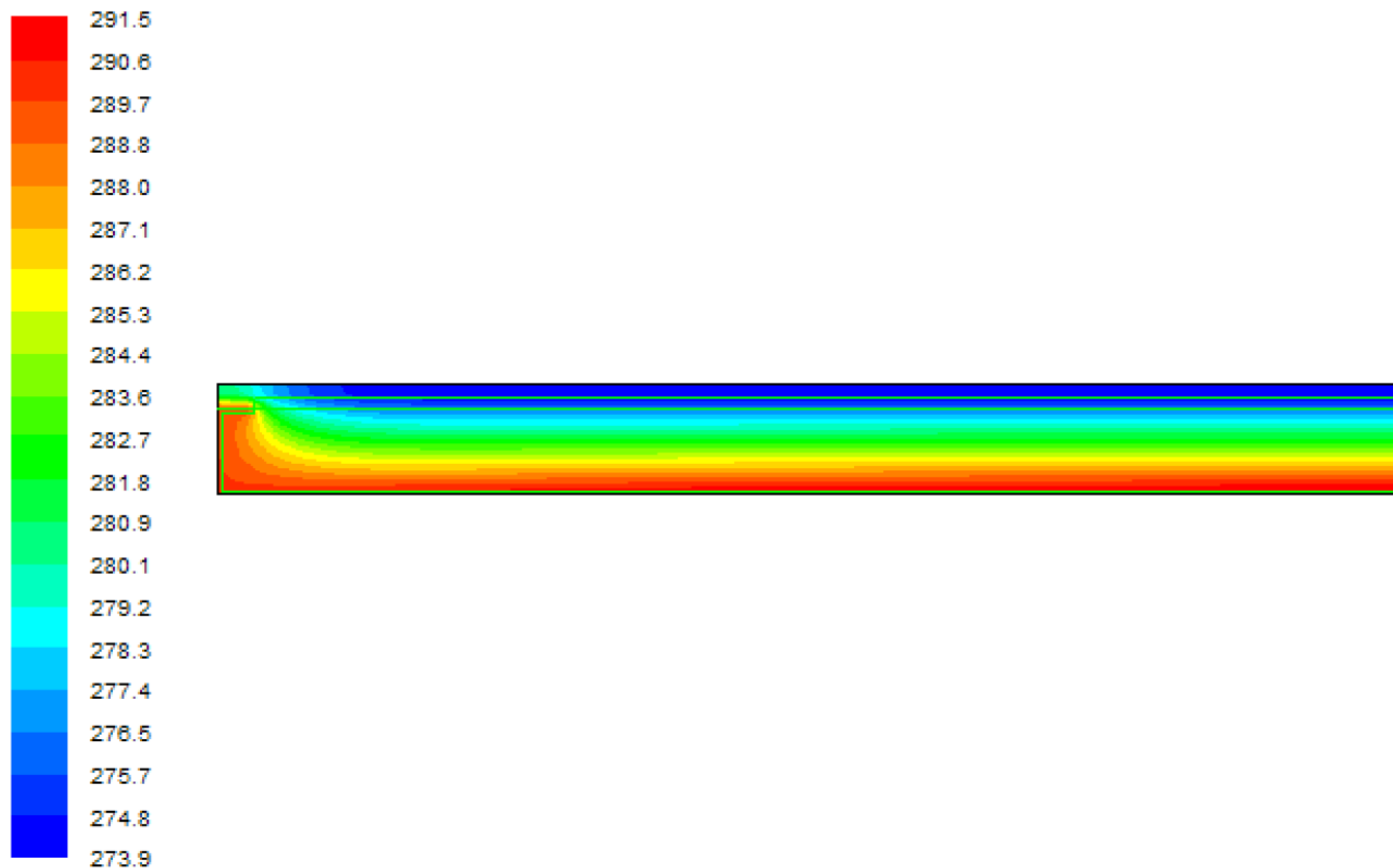
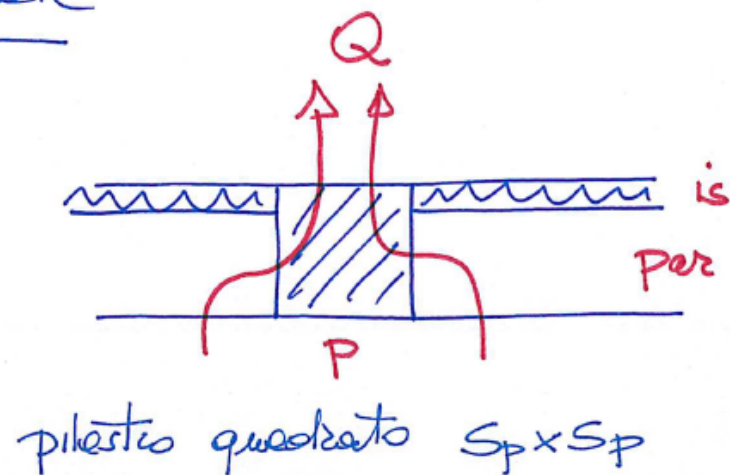


Figura 2.4 – Profilo di temperatura ricavato dal calcolo

# 1) Pilastro, calcolo manuale mododimensionale

16

$$\left\{ \begin{array}{ll} S_p = 0,5 \text{ m} & \lambda_p = 1,90 \text{ W/mK} \\ S_{par} = 0,5 \text{ m} & \lambda_{par} = 0,30 \text{ " } \\ S_{is} = 8 \text{ cm} & \lambda_{is} = 0,04 \text{ " } \\ R_i = 0,13 & \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} \\ R_e = 0,004 & \text{"} \end{array} \right. \quad \angle \text{ altezze parete}$$



$$R_{parete} = R_i + R_e + (S_{par} - S_{is}) / \lambda_{par} + S_{is} / \lambda_{is} = 3,57 \text{ m}^2 \text{K/W} \rightarrow U_{par} = 0,280 \text{ W/m}^2 \text{K}$$

$$R_{pilastro} = R_i + R_e + S_p / \lambda_p = 0,43 \text{ " } \rightarrow U_p = 2,309 \text{ "}$$

$$\psi = \frac{U_p \cdot S_p (\cancel{\epsilon_i - \epsilon_e}) \cancel{\text{K}} - U_{par} \cdot S_p (\cancel{\epsilon_i - \epsilon_e}) \cancel{\text{K}}}{(\cancel{\epsilon_i - \epsilon_e}) \cancel{\text{K}}} \quad (\text{semplificato})$$

$$= S_p (U_p - U_{par}) = \boxed{1,014 \text{ W/mK}}$$

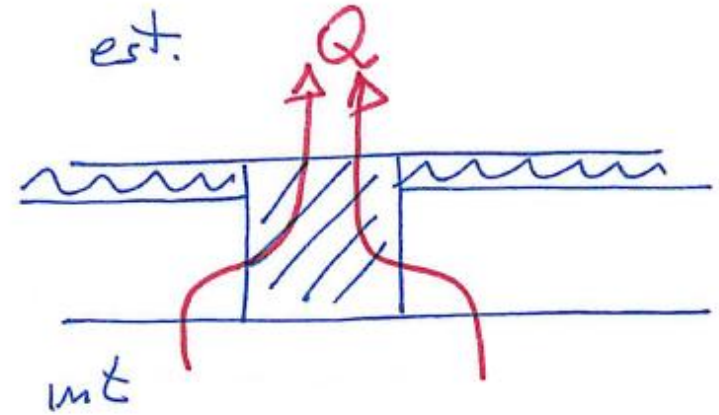


2) Abaco (parete com volume externo)  
cfr Moodle

$$\psi = 0,595 - 0,0635 \frac{U_p}{U_{par}} + 2,231 S_p$$

|

$$= \boxed{1,287 \quad \text{W/mK}}$$

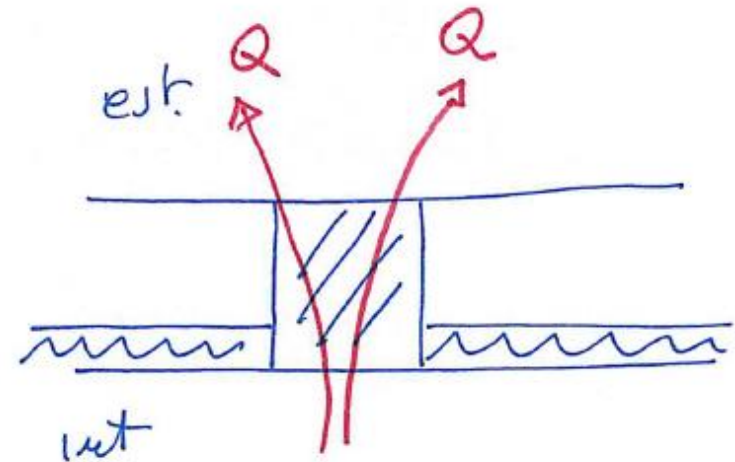


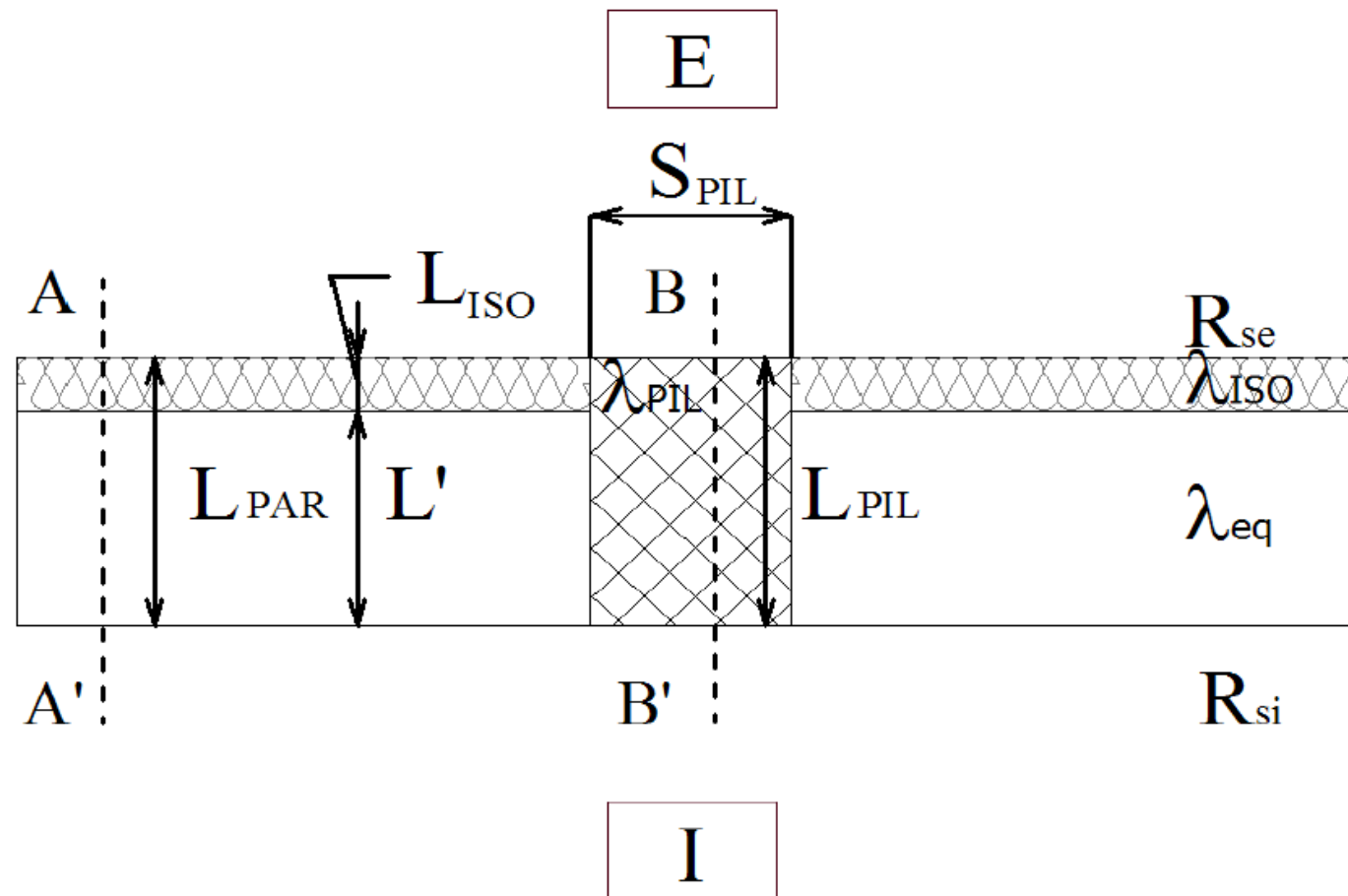
3) Abaco (parete com volume interno)

$$\psi = 0,455 - 0,047 \frac{U_p}{U_{par}} + 2,179 S_p$$

|

$$= \boxed{1,157 \quad \text{W/mK}}$$





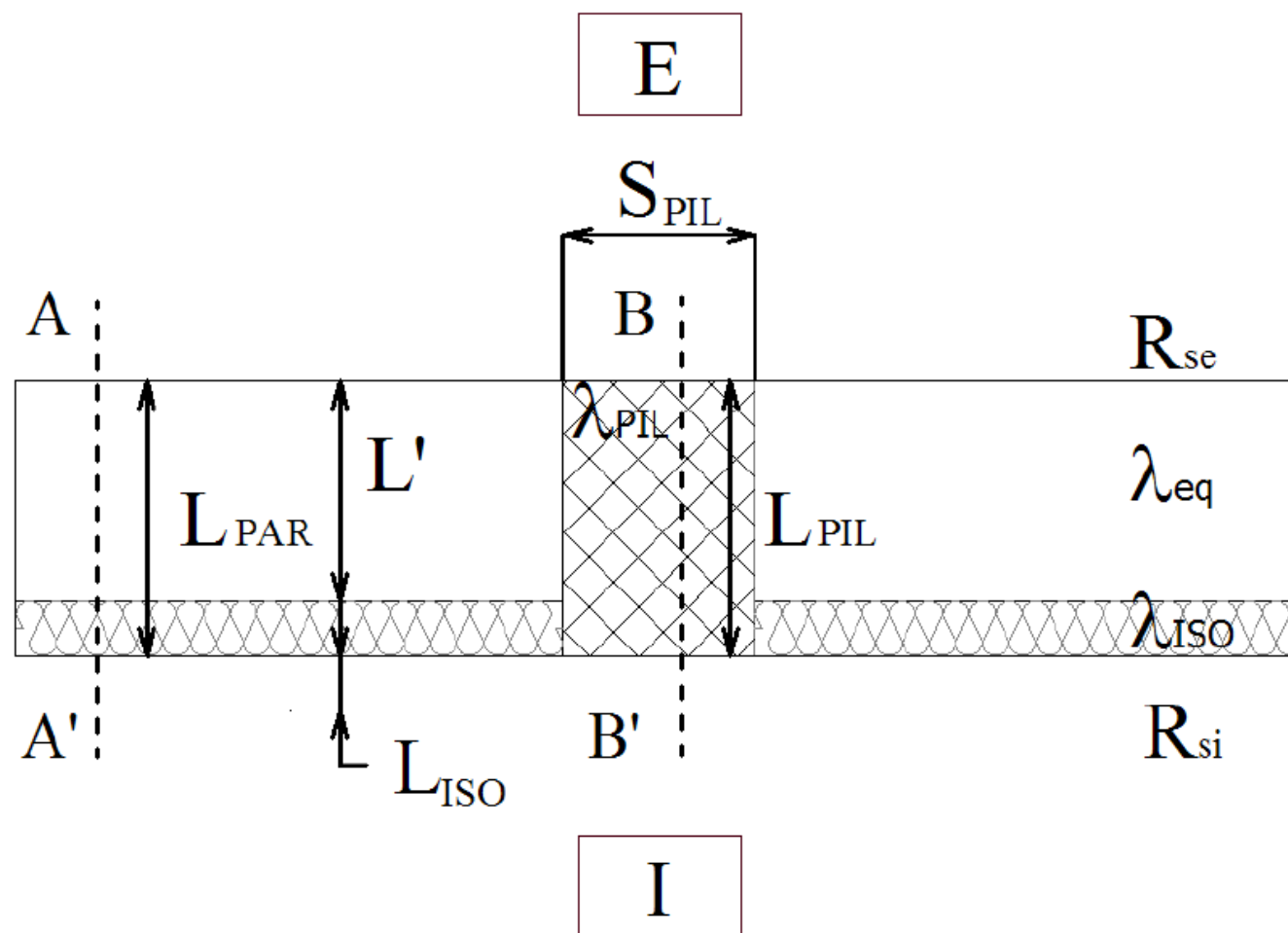
### TRASMITTANZA TERMICA LINEARE

Riferita alle dimensioni esterne

$$\psi_E = 0.695 - 0.0635 \cdot U^* + 2.231 \cdot S_{PIL} \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$$

Riferita alle dimensioni interne

$$\psi_I = 0.695 - 0.0635 \cdot U^* + 2.231 \cdot S_{PIL} \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$$



### TRASMITTANZA TERMICA LINEARE

Riferita alle dimensioni esterne

$$\psi_E = 0.455 - 0.047 \cdot U^* + 2.179 \cdot S_{PIL} \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$$

Riferita alle dimensioni interne

$$\psi_I = 0.455 - 0.047 \cdot U^* + 2.179 \cdot S_{PIL} \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$$

La tabella seguente mostra la codifica assegnata agli archetipi individuati.

| <b>Archetipo</b>                       | <b>Codifica</b> | <b>Numero</b> |
|----------------------------------------|-----------------|---------------|
| Parete con pilastro                    | PIL             | 001-008       |
| Angolo sporgente con e senza pilastro  | ASP             | 001-011       |
| Angolo rientrante con e senza pilastro | ARI             | 001-011       |
| Parete verticale con solaio            | SOL             | 001-007       |
| Parete esterna con parete interna      | PIN             | 001-004       |
| Parete verticale con balcone           | BAL             | 001-007       |
| Parete verticale con copertura piana   | COP             | 001-018       |
| Parete esterna con serramento          | SER             | 001-018       |
| Compluvi di copertura                  | COM             | 001-003       |
| Displuvi di copertura                  | DIS             | 001-003       |

**Tabella 2.2: Codifica degli archetipi di ponte termico sviluppati nell’abaco**

E



**TRASMITTANZA TERMICA LINEARE**

Riferita alle dimensioni esterne ( W )

$$\psi_E = -0.090 - 0.157 \cdot U_{PAR} + 0.032 \cdot \lambda_{eq} \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$$

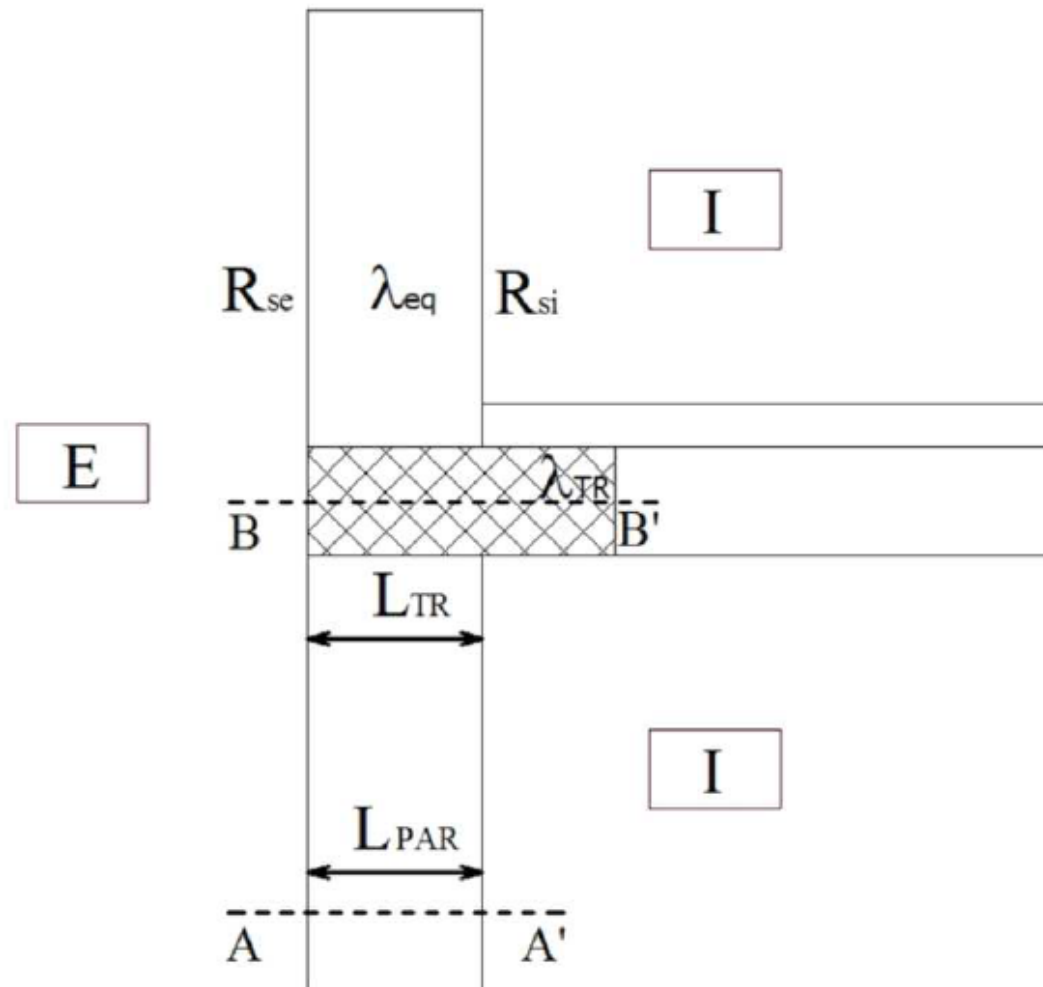
Riferita alle dimensioni interne  $(\text{mm} \cdot \text{K})$

$$\psi_I = 0.047 + 0.092 \cdot U_{PAR} + 0.127 \cdot \lambda_{eq} \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$$



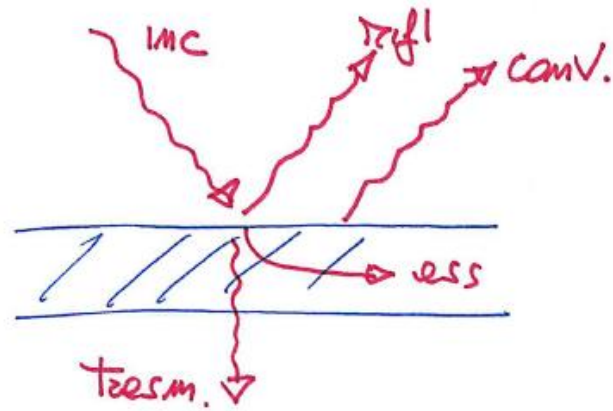
**SOL.004****PARETE NON ISOLATA CON SOLAIO E TRAVE NON ISOLATA**

Ponte termico formato dalla giunzione di una parete esterna non isolata con un solaio, la cui trave non è isolata.

**SEZIONE VERTICALE**

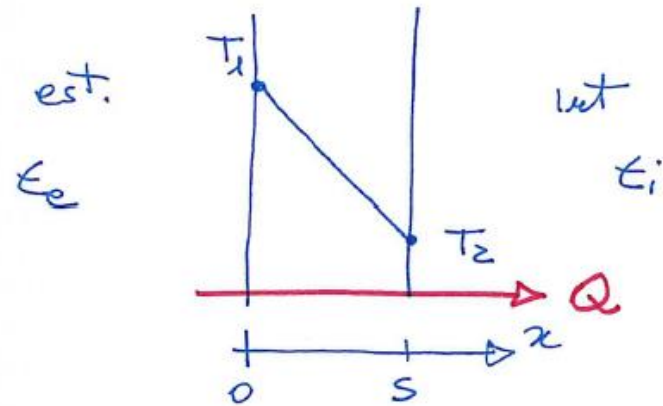
# RADIAZIONE SOLARE COMP. OPACHI

1



$$\dot{Q}_{inc}^* = \text{irradiazione} = \dot{Q}_{sde}^* \quad [W/m^2]$$

$$\dot{Q}_{ess}^* = \dot{Q}_{sole}^* \cdot F_{ombre} \cdot \alpha_s$$



$$T(x) = A \cdot x + B \quad \begin{matrix} \nearrow T_1 = B \\ \searrow T_2 = As + B = A \cdot s + T_1 \end{matrix} \quad R_c = s/\lambda$$

- 1)  $A < 0 \quad T_1 > T_2$  estate  $\dot{Q} > 0$  (entrante)
- 2)  $B > 0 \quad T_1 < T_2$  invernata  $\dot{Q} < 0$  (uscite)

sup. esterna  $x=0 \rightarrow \begin{cases} Q_0 = -\lambda \cdot A = \alpha F_{ombre} \cdot Q_{sole} - (T_1 - T_e)/R_{se} \end{cases}$

sup. interna  $x=s \rightarrow \begin{cases} Q_s = -\lambda A = (T_2 - T_i)/R_{si} \end{cases}$

risolvendo :  $A = \frac{R_c}{R_e} \cdot \frac{T_i - T_e}{s} - \frac{R_c}{R_e} \cdot \frac{\alpha F_{ombre} \cdot Q_{sole} \cdot R_{se}}{s}$

$$\text{risolvendo: } B = T_e + \frac{R_{se}}{R_t} (T_i - T_e) + \alpha F_{0\text{sole}} \cdot Q_{\text{sole}} \cdot R_{se} \cdot \frac{R_c + R_{si}}{R_t}$$

2



$$R_t = R_{se} + R_c + R_{si}$$

$$U = 1/R_t$$

$$\rightarrow \dot{Q} = -\dot{\Lambda} = \alpha F_0 \cdot Q_{\text{sole}} \cdot \frac{R_{se}}{R_t} - \frac{T_i - T_e}{R_t} \quad *$$

$$= \left| \alpha \cdot F_0 \cdot Q_{\text{sole}} \cdot R_{se} \cdot U - U(T_i - T_e) \right|$$

apporto solare  
(sempre entrante +)

scambio termico senza irradiazione  
(entrante/uscente ±)

$$T_1 = B = T_e + \frac{R_{se}}{R_t} (T_i - T_e) + \alpha F_0 \cdot Q_s \cdot R_{se} \cdot \frac{R_c + R_{si}}{R_t}$$

$$T_2 = A_s + B = \frac{R_c}{R_t} (T_i - T_e) - \frac{R_c}{R_t} \alpha F_0 Q_s \cdot R_{se} + T_e + \frac{R_{se}}{R_t} (T_i - T_e) + \alpha F_0 Q_s R_{se} \cdot \frac{R_c + R_{si}}{R_t}$$

$$= T_e + \frac{R_c + R_{se}}{R_t} (T_i - T_e) + \alpha F_0 Q_s \frac{R_{se} \cdot R_{si}}{R_t}$$

$$\rightarrow T_2 = T_i - \frac{R_{si}}{R_e} (T_i - T_e) + \alpha F_0 Q_s \frac{R_{se} \cdot R_{si}}{R_e} = T_i - R_{si} \cdot Q$$

1) se  $Q = 0 \rightarrow T_2 = T_i = T_1$  comp. adiabatico, gradiente nullo

\* 2) se  $Q_s > \frac{T_i - T_e}{\alpha F_0 R_{se}} \rightarrow Q > 0$  e  $T_2 > T_i$  (calore entrante)

$$3) \text{ apparato solare } = S \cdot (\alpha \cdot F_0 Q_s R_{se} \cdot U) = (S \cdot \alpha R_{se} \cdot U) \cdot (F_0 Q_s)$$

$$\rightarrow \text{"area solare"} = S \cdot \alpha \cdot R_{se} \cdot U \ll S$$

$$4) \text{ } E_{\text{solare, 1 giorno}} = [S \alpha R_{se} \cdot U \cdot F_0 Q_s] \cdot \Delta \tau \quad \text{con } \Delta \tau = 24 \text{ h}$$

$$= (\text{Area solare}) \cdot F_0 (Q_s \cdot \Delta \tau)$$

$$Q_s \cdot \Delta \tau = \text{energia solare incidente giornaliera} \left[ \text{MJ/m}^2 \text{ giorno} \right]$$

$\rightarrow$  Tabelle delle norme UNI 10349



La Norma UNI 10349 fornisce l'irradiazione solare giornaliera (media mensile)  $q_{\text{sole}} \Delta t$  per tutti i capoluoghi italiani, per parete orizzontale e per diverse esposizioni di pareti verticali.

|             | Gen | Feb  | Mar  | Apr  | Mag  | Giu  | Lug  | Ago  | Sett | Ott  | Nov | Dic |
|-------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| Sud         | 7.1 | 10.4 | 12.8 | 12.0 | 10.5 | 10.4 | 11.4 | 12.5 | 14.6 | 12.7 | 8.3 | 6.3 |
| SE-SO       | 5.6 | 8.7  | 12.1 | 13.5 | 13.1 | 13.8 | 15.2 | 14.9 | 14.8 | 11.0 | 6.7 | 5.0 |
| E-O         | 3.4 | 5.9  | 9.6  | 12.7 | 14.2 | 16.1 | 17.4 | 15.0 | 12.4 | 7.7  | 4.1 | 2.9 |
| NE-NO       | 1.8 | 3.2  | 5.7  | 8.9  | 11.3 | 13.5 | 13.9 | 10.8 | 7.5  | 4.1  | 2.1 | 1.5 |
| Nord        | 1.6 | 2.6  | 3.8  | 5.6  | 8.0  | 10.0 | 9.6  | 6.6  | 4.3  | 3.0  | 1.9 | 1.4 |
| Orizzontale | 4.3 | 7.7  | 13.0 | 18.3 | 21.5 | 24.8 | 26.3 | 21.8 | 16.9 | 10.0 | 5.2 | 3.7 |

Tabella 5.1. Irradiazione solare giornaliera media ( $q_{\text{sole}} \Delta t$ ) su superfici esterne con diverse esposizioni, a Parma, espressa in MJ/m<sup>2</sup>giorno, per ogni mese dell'anno.



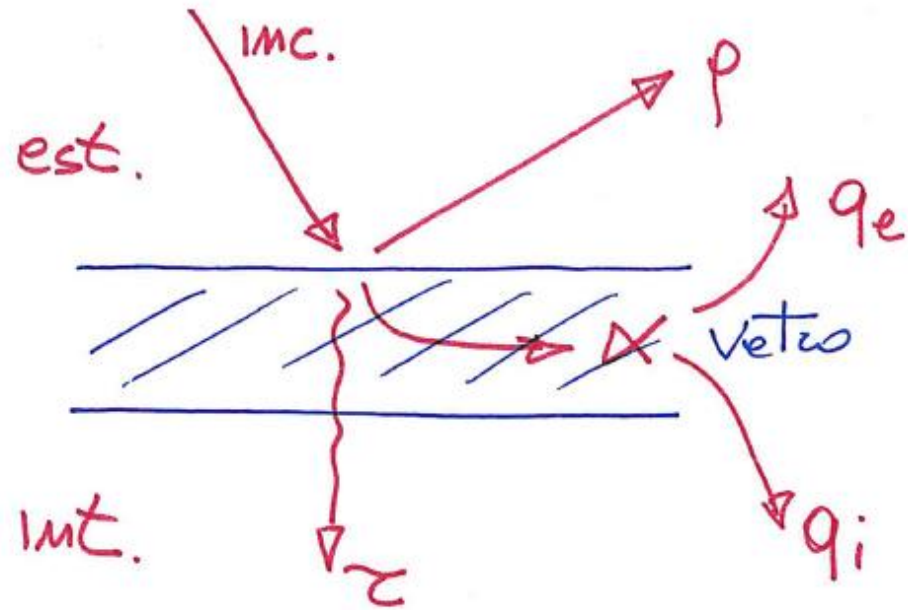
## RADIAZIONE SOLARE COMP. TRASPARENTI

4

$$E_{\text{solare, 1 giorno}} = F_0 (S g F) \cdot (Q_s \cdot \Delta \tau)$$

$S g F$  = area solare del comp. trasparente

$$\begin{cases} S & \text{superficie} \\ g & \text{fattore solare (fornito dal produttore oppure UNI 11300-1)} \\ F & \text{fattore di riduzione per tende o schermi} \end{cases}$$



$\tau$  trasmessa  
 $p$  riflessa  
 $X$  assorbita

$$\begin{cases} \tau + p + X = IMC. \\ X = q_i + q_e \end{cases}$$

Fattore solare  $g = \tau + q_i$

$\tau$  = energia solare diretta trasmessa

$q_i$  = fattore di scambio termico secondario verso l'interno del locale

Potenza termica per ventilazione di un locale

$$Q_v = n V \rho_{\text{aria}} c_{p,\text{aria}} (t_i - t_e)$$

$n$  = numero di ricambi orari

l'uso di codici di calcolo opportuni semplifica enormemente la vita anche in considerazione del numero di calcoli da fare.

| DESTINAZIONE D'USO<br>DEI LOCALI | Ricambi d'aria n<br>(vol. amb./ora) | Portate minime<br>(l/s persona) |
|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Edifici residenziali             | 0,5                                 | 7,5                             |
| Uffici                           | 1,5÷2,5                             | 10                              |
| Edifici commerciali              | 1÷2                                 | 8                               |
| Bar                              | 2÷3                                 | 15                              |
| Ristoranti                       | 1÷2                                 | 10                              |
| Alberghi                         | 0,5÷1                               | 8                               |
| Asili nido e scuole materne      | 2,5                                 | 8                               |
| Scuole elementari                | 2,5                                 | 8                               |
| Scuole medie inferiori           | 3,5                                 | 8                               |
| Scuole medie superiori           | 5                                   | 8                               |
| Università                       | 5                                   | 8                               |
| Ospedali - degenze in genere     | 2                                   | 13                              |
| Ospedali - degenze bambini       | 3                                   | 13                              |
| Ospedali - reparti diagnostica   | 6                                   | 8                               |
| Ospedali - sale operatorie       | 15÷20                               | 15                              |
| Teatri e cinematografi           | -                                   | 8÷10                            |

*Tabella 3: Numero di ricambi orari consigliato*



| Categorie di edifici                                   | Portata di aria esterna o di estrazione                |                                                            | Note |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------|
|                                                        | $Q_{op}$<br>( $10^{-3}$ m <sup>3</sup> /s per persona) | $Q_{es}$<br>( $10^{-3}$ m <sup>3</sup> /s m <sup>2</sup> ) |      |
| EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ SPORTIVA                   |                                                        |                                                            |      |
| PISCINE, SAUNE E ASSIMILABILI                          |                                                        |                                                            |      |
| - piscine (sala vasca)                                 | -                                                      | 2,5                                                        | C    |
| • spogliatoi/servizi                                   |                                                        | estrazioni                                                 | A    |
| - saune                                                | -                                                      | 2,5                                                        | C    |
| PALESTRE E ASSIMILABILI                                |                                                        |                                                            |      |
| - palazzetti sportivi                                  | 6,5*                                                   | -                                                          | -    |
| - bowling                                              | 10                                                     | -                                                          | -    |
| - palestre                                             |                                                        |                                                            |      |
| • campi gioco                                          | 16,5*                                                  | -                                                          | -    |
| • zone spettatori                                      | 6,5*                                                   | -                                                          | -    |
| - altri locali                                         |                                                        |                                                            |      |
| • spogliatoi/servizi atleti                            |                                                        | estrazioni                                                 | A    |
| • servizi pubblico                                     |                                                        | estrazioni                                                 | A    |
| EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ SCOLASTICHE E ASSIMILABILI |                                                        |                                                            |      |
| - asili nido e scuole materne                          | 4                                                      | -                                                          | -    |
| - aule scuole elementari                               | 5                                                      | -                                                          | -    |
| - aule scuole medie inferiori                          | 6                                                      | -                                                          | -    |
| - aule scuole medie superiori                          | 7                                                      | -                                                          | -    |
| - aule universitarie                                   | 7                                                      | -                                                          | -    |
| • transiti, corridoi                                   | -                                                      | -                                                          | -    |
| • servizi                                              |                                                        | estrazioni                                                 | A    |
| - altri locali:                                        |                                                        |                                                            |      |
| • biblioteche, sale lettura                            | 6                                                      | -                                                          | -    |
| • aule musica e lingue                                 | 7                                                      | -                                                          | -    |
| • laboratori                                           | 7                                                      | -                                                          | -    |
| • sale insegnanti                                      | 6                                                      | -                                                          | -    |

\* Salvo le indicazioni di cui in 9.1.1.1.

\*\* Per gli ambienti di questa categoria non è ammesso utilizzare aria di ricircolo.

Note: A - Ricambio richiesto nei servizi igienici;

- edifici adibiti a residenza e assimilabili 0,0011 vol/s (4 vol/h);



rinnovo  $\dot{m}_R$ , kg/s.

| <i>Tipo di ambiente</i>         | <i>Persone/100 m<sup>2</sup></i> | <i>m<sup>3</sup>/h persona</i> | <i>L/s persona</i>  |
|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| <i>Sale conferenza</i>          | 50                               | 36                             | 10                  |
| <i>Bar, cocktail lounges</i>    | 100                              | 54 <sup>(1)</sup>              | 15 <sup>(1)</sup>   |
| <i>Ristoranti</i>               | 70                               | 36 <sup>(1)</sup>              | 10 <sup>(1)</sup>   |
| <i>Camere d'albergo</i>         |                                  | 54 <sup>(2)</sup>              | 15 <sup>(2)</sup>   |
| <i>Uffici</i>                   | 7                                | 36                             | 10                  |
| <i>Caffetterie, fast food</i>   | 100                              | 36                             | 10                  |
| <i>Aule scolastiche</i>         | 50                               | 29                             | 8                   |
| <i>Librerie</i>                 | 20                               | 29                             | 8                   |
| <i>Sale da fumo</i>             | 70                               | 108 <sup>(3)</sup>             | 30 <sup>(3)</sup>   |
| <i>Sale d'aspetto</i>           | 100                              | 29 <sup>(3)</sup>              | 8 <sup>(3)</sup>    |
| <i>Residenze</i>                |                                  | <sup>(4)</sup>                 | <sup>(4)</sup>      |
| <i>Grandi magazzini</i>         |                                  |                                |                     |
| <i>piano terra e cantina</i>    | 30                               | 5,4 <sup>(5)</sup>             | 1,5 <sup>(5)</sup>  |
| <i>piani superiori</i>          | 20                               | 3,6 <sup>(5)</sup>             | 1,0 <sup>(5)</sup>  |
| <i>salottini prova abiti</i>    | -                                | 3,6 <sup>(5)</sup>             | 1,0 <sup>(5)</sup>  |
| <i>magazzini</i>                | 5                                | 2,7 <sup>(5)</sup>             | 0,75 <sup>(5)</sup> |
| <i>Studi fotografici</i>        | 10                               | 29                             | 8                   |
| <i>Teatri - biglietterie</i>    | 60                               | 36                             | 10                  |
| <i>Teatri - atri</i>            | 150                              | 36                             | 10                  |
| <i>Teatri e sale spettacoli</i> | 150                              | 29                             | 8                   |
| <i>Parrucchieri uomo</i>        | 25                               | 29                             | 8                   |
| <i>Parrucchieri donna</i>       | 25                               | 47                             | 13                  |

- 1) Raccomandabile l'impiego di filtri ad alta efficienza
- 2) Valori riferiti alla camera e non agli occupanti
- 3) Raccomandabili estrazioni localizzate
- 4) 0,35 volumi ambiente/ora, ma non meno di 8 L/s (29 m<sup>3</sup>/h) per persona
- 5) Valori riferiti al metro quadro di superficie ambiente

Tabella 32 Portate raccomandate di aria esterna

## Carichi termici complessivi dell'edificio

$$\dot{Q}_{scambiato} = \dot{Q}_{trasmesso} + \dot{Q}_{ponti\ termici} + \dot{Q}_{solare} + \dot{Q}_{ventilazione}$$