

# ELEMENTI CRITICI PER LA CORRETTA PROGETTAZIONE CLIMATICA DI UN QUADRO ELETTRICO

## Calcolo dei coefficienti adduttivi interno ed esterno

Nel WHITE PAPER “Bilancio termico dell’armadio elettrico” si è parlato delle trasmittanze termiche e della formula utilizzata per calcolarle. Le componenti della formula che meritano maggiore riguardo sono i coefficienti di scambio termico adduttivo interno  $\alpha_{in}$  ed esterno  $\alpha_{out}$ . I valori numerici di questi ultimi possono essere letti dalla tabella riportata nel WHITE PAPER precedente, oppure calcolati seguendo la normativa **UNI EN ISO 6946** come spiegato di seguito.

I **coefficienti adduttivi  $\alpha$**  comprendono scambi termici che avvengono sia per convezione che per irraggiamento e si determinano attraverso la formula:

$$\alpha = \alpha_{conv} + \alpha_{irr}$$

### 1 - Coefficiente radiativo

$$h_r = \epsilon * h_{r0} \quad (\text{coefficiente radiativo reale})$$

$$h_{r0} = 4\sigma T_m^3 \quad (\text{coefficiente radiativo del corpo nero})$$

Dove:

- $\epsilon$  è l'emissività superficiale e dipende dalla tipologia di superficie considerata;
- $\sigma$  è la costante di Stefan-Boltzmann e vale  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  ;
- $T_m$  è detta “temperatura termodinamica”, definita, come la funzione derivata dell’energia interna **U** rispetto all’entropia **S** a volume **V** costante.

$$U = U(S, V, M) ; S = S(U, V, M).$$

Considerando la massa **M** costante, le variazioni di **U** ed **S** sono indipendenti da questo parametro.

Possiamo ora definire la formula per il calcolo della **temperatura termodinamica**:

$$T_m = \left( \frac{\partial U}{\partial S} \right)_{(V=\text{cost})}$$

-  $h_{r0}$ , **coefficiente radiativo del corpo nero**, ha dei valori tabulari, dipendenti dalla temperatura e riportati nella seguente tabella:

T[°C]	$h_{r0}$ [w/m <sup>2</sup> K]
-10	4,1
0	4,6
10	5,1
20	5,7
30	6,3

1 - Coefficienti radiativi del corpo nero  $h_{r0}$  in funzione delle temperature

Per calcolare  $h_r$  è necessario conoscere l'**emissività superficiale**  $\epsilon$  riferita alle pareti dell'armadio elettrico. Nel caso in oggetto si considerano i materiali strutturali degli armadi elettrici per determinare i valori di  $\epsilon$ :

- A. Acciaio dolce(lamiera):  $\epsilon_A = 0,07$ ;
- B. Plastica:  $\epsilon_B = 0,84$ ;
- C. Acciaio inox:  $\epsilon_C = 0,07$ ;
- D. Alluminio:  $\epsilon_D = 0,89$ ;
- E. PE(polietilene):  $\epsilon_E = 0,84$ ;
- F. Vernice su acciaio:  $\epsilon_F = 0.265$  (interno ed esterno armadio).

Dopo aver calcolato  $h_{r0}$ , si ricavano  $h_{ri}$  e  $h_{re}$  applicando la formula  $h_r = \epsilon * h_{r0}$ .

## 2 - Coefficienti convettivi

La tipologia di climatizzazione effettuata (riscaldamento o raffrescamento) necessita di diversi coefficienti convettivi, perché dipendono dalla velocità dell'aria sulle superfici. Per la loro definizione di questi coefficienti distinguiamo due casi:

- progetti di riscaldamento, per i quali l'aria è quasi ferma nell'armadio elettrico e pertanto da ipotizzare valori bassi dei coefficienti convettivi;
- progetti di raffrescamento, per i quali l'aria è movimentata nell'armadio elettrico e quindi è opportuno ipotizzare valori superiori per i coefficienti convettivi.

Le due soluzioni riguardano scambi termici, che tuttavia dipendono da moti dell'aria governati da leggi diverse. In riscaldamento il calore emesso domina i flussi convettivi interni all'armadio, poiché le soluzioni adottate sono "meccanicamente immobili" o quasi. Al contrario, quasi nella totalità dei sistemi di raffrescamento, sono integrate delle ventole, che rendono la convezione dipendente dai flussi d'aria.

- a) Progetti di riscaldamento per i quali la convezione è dovuta a sola potenza termica.  
In tal caso si è fatto riferimento ai valori della tabella seguente:

DIREZIONE FLUSSO DI CALORE	COEFF. CONV. INTERNO $h_{ci}$ [W/m <sup>2</sup> K]
ASCENDENTE	5
DISCENDENTE	0,7
ORIZZONTALE	2,5

2 - Coefficienti convettivi interni  $h_{ci}$  riferiti alla direzione del flusso di calore

Il flusso di calore è dominato dal gradiente termico di temperatura ed è diretto dalle zone più calde a quelle più fredde.

- b) Zone in cui la velocità del vento è rilevante (esterno o interno di armadi elettrici con flussi di ventilazione elevati).

Per il calcolo del coefficiente convettivo si può applicare la formula:

$$h_c = 4 + 4v$$

\*v=velocità del vento in [m/s]

Per l'interno dell'armadio elettrico, in caso di utilizzo di un gruppo filtro o di una TCU in funzione, poiché entrambi presentano una ventola, si può ipotizzare  $v$  di circa **0.5m/s**.

Per l'esterno dell'armadio elettrico sono stati identificati tre casi di riferimento:

- 1) Outdoor senza vento o indoor: velocità basse, ma non nulle, attestabili intorno a **1.1m/s**;
- 2) Outdoor con vento debole: velocità attorno ai **4m/s**;
- 3) Outdoor con vento forte: velocità di circa **8.6m/s**.

Utilizzando questi input in un software Excel di bilancio termico, i coefficienti sono stati verificati con prove di laboratorio.

**Dai valori ricavati dei coefficienti radiativi  $h_r$  e convettivi  $h_c$ , si calcolano i coefficienti adduttivi:**

$$\alpha_i = h_{ci} + h_{ri} \quad \text{*Riferito all'interno dell'armadio elettrico}$$

$$\alpha_e = h_{ce} + h_{re} \quad \text{*Riferito all'esterno dell'armadio elettrico}$$

In alcuni casi presi in esame in particolare sono stati assegnati dei valori fissi a questi coefficienti, nello specifico:

- $\alpha_i = 8.3 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Progetti di riscaldamento);
- $\alpha_i = 10.5 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Progetti di raffrescamento);
- $\alpha_e = 13 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Outdoor senza vento o indoor);
- $\alpha_e = 24.8 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Outdoor con vento debole);
- $\alpha_e = 43 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Outdoor con vento forte).

Dopo aver ricavato i valori di  $\alpha_i$ ,  $R_{tot}$ ,  $\alpha_e$ , è possibile calcolare la trasmittanza  $U$  delle pareti dell'armadio, con la seguente formula:

$$U = 1 / (1/in + s1/\lambda1 + s2/\lambda2 + \dots + sn/\lambda.n + 1/\alpha_{out}) \quad [\text{W/m}^2\text{K}].$$

*Davide Rocca  
Alberto Tonietti*