

Relazione del 30 aprile 2008

Analisi teorica delle prestazioni energetiche del pannello riflettente per termosifoni "Thermoradiant"

Committente:

SAME s.r.l.

Via Ferriera n. 68 – 06089 Torgiano – Perugia

Supervisione e coordinamento:

Prof. Ing. Francesco Asdrubali

Elaborazione:

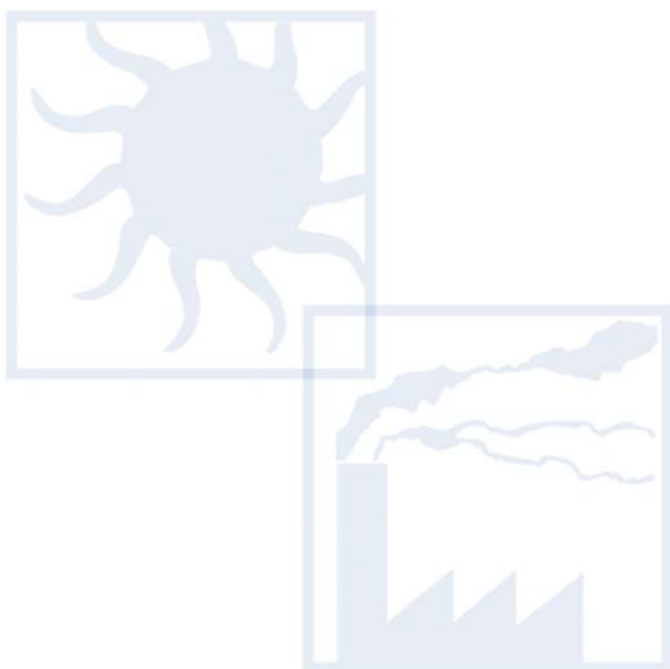
Dott. Ing. Giorgio Baldinelli

INDICE

| | |
|---|---------|
| INTRODUZIONE..... | pag. 3 |
| 1. METODOLOGIA DI CALCOLO..... | pag. 4 |
| 2. DEFINIZIONE DEI DATI IN INGRESSO..... | pag. 8 |
| 3. RISULTATI DEI CALCOLI..... | pag. 10 |
| 4. RISPARMIO ENERGETICO SU UN APPARTAMENTO TIPO | pag. 12 |
| 5. CONCLUSIONI | pag. 13 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | pag. 14 |

Allegato 1 – Scheda tecnica radiatore

Allegato 2 – Proprietà ottiche del pannello "Thermoradiant"



Introduzione

I radiatori (o termosifoni) sono i corpi scaldanti più diffusi nel patrimonio edilizio residenziale del nostro paese, specialmente nelle realizzazioni meno recenti. L'installazione all'interno degli ambienti è spesso realizzata sotto finestra, quindi direttamente adiacente a tamponature esterne; tale soluzione è dettata dalla necessità di favorire per quanto possibile i moti convettivi all'interno degli ambienti (fig. 1).

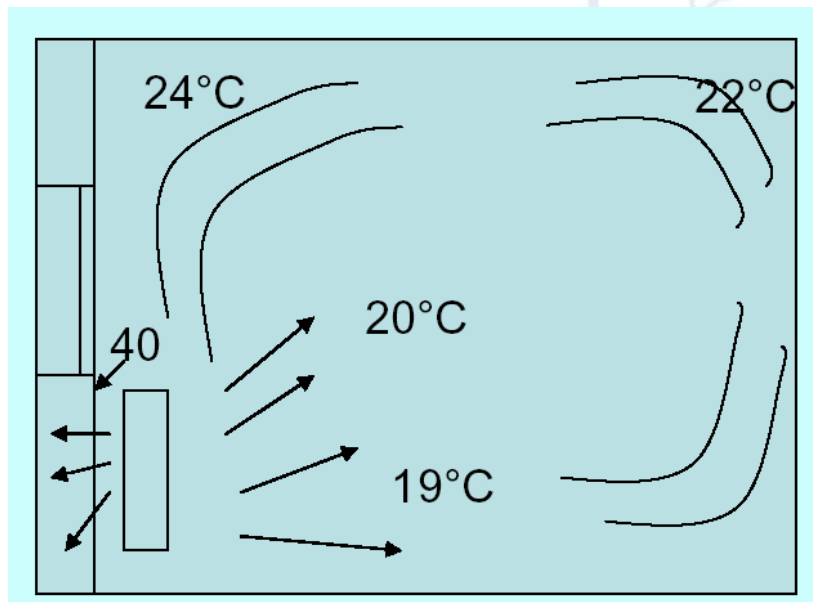


Fig. 1 – Moti convettivi susseguenti all'installazione sottofinestra del radiatore.

La vicinanza del corpo scaldante alla parete perimetrale favorisce d'altro canto una dispersione diretta del calore verso l'esterno, a causa degli elevati scambi termici per irraggiamento e convezione che si instaurano fra radiatore e faccia interna del muro. Si riscontra pertanto un innalzamento della temperatura della parete che si trasmette anche alla faccia esterna, incrementando così il flusso termico verso l'ambiente esterno.

Il presente studio consiste nella valutazione analitica dei vantaggi energetici che si possono ottenere attraverso l'inserimento di uno strato di materiale riflettente tra la parete ed il radiatore, allo scopo di minimizzare le dispersioni verso l'esterno e rendere pertanto disponibile per l'ambiente da riscaldare la massima quota di potenza erogata dal termosifone.

1) Metodologia di calcolo

L'installazione di un pannello riflettente fra un termosifone e la tamponatura esterna a cui è addossato ha il duplice effetto di diminuire le perdite per irraggiamento fra superficie del radiatore e parete e l'inserimento di una ulteriore resistenza termica conduttiva alla stratigrafia della parete esterna, diminuendone in tal modo la trasmittanza complessiva.

Il contributo legato alla riduzione dello scambio termico per conduzione viene trascurato, in favore di sicurezza, in quanto lo spessore del pannello in esame è ridotto e l'area complessiva che può essere interessata da questo intervento è limitata rispetto alla totalità della superficie disperdente di un fabbricato.

Il calcolo sarà dunque focalizzato sulla modalità di trasmissione di calore per irraggiamento, facendo riferimento alla teoria di piani paralleli affacciati e degli schermi di radiazione [1]. In fig. 2 è riportato lo schema di riferimento per il calcolo dello scambio termico fra radiatore (1) e parete esterna (2) in assenza di pannello riflettente.

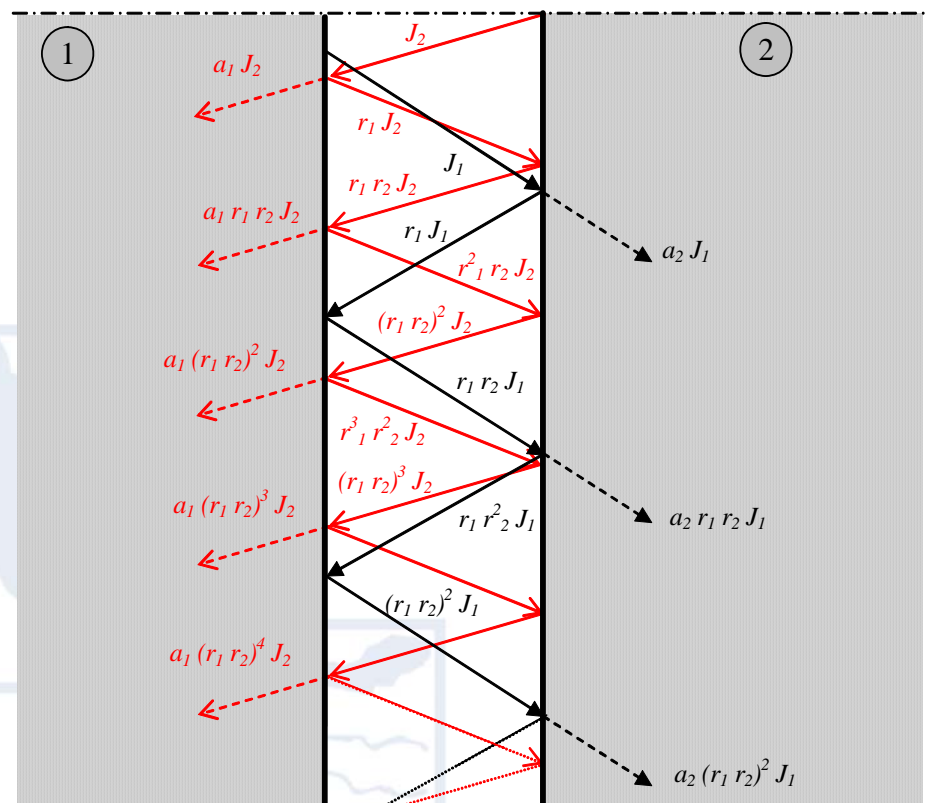


Fig. 2 – Scambio termico per irraggiamento fra piani paralleli affacciati. J_1 = irraggiamento integrale piano 1 (radiatore); J_2 = irraggiamento integrale piano 2 (parete esterna); a_1, a_2 = coefficienti di assorbimento piani 1 e 2; r_1, r_2 = coefficienti di riflessione piani 1 e 2.

Con l'ipotesi che le due facce si comportino come superfici grigie, la potenza che transita dal radiatore (a temperatura T_1) alla parete (a temperatura T_2) è pari, in regime stazionario, a:

$$q_{12} = \frac{Q}{\tau} = A\sigma_0 \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} - 1} (T_1^4 - T_2^4) \quad (1)$$

dove:

A = superficie complessiva di scambio, pari all'area del radiatore che si affaccia sulla parete esterna.

Σ_0 = costante di Stefan-Boltzmann ($5,6696 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

Attraverso l'interposizione del pannello riflettente, si introduce uno schermo di radiazione (fig. 3).

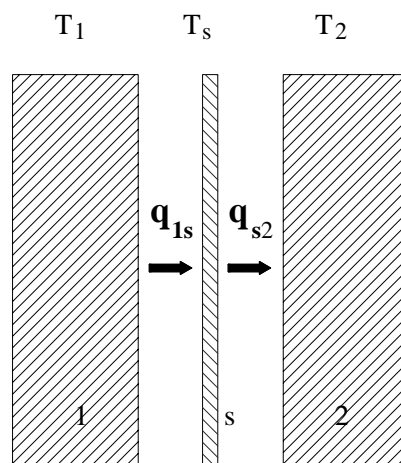


Fig. 3 – Scambio termico per irraggiamento fra piani paralleli affacciati piani paralleli affacciati con schermo di radiazione s ; q_{1s} = potenza radiante ceduta da 1 a s ; q_{s2} = potenza radiante ceduta da s a 2; T_1 = temperatura superficie 1; T_2 = temperatura superficie 2; T_s = temperatura schermo S .

Considerando anche in questo caso che tutte le pareti si comportino come superfici grigie, le potenze scambiate fra i diversi piani risulta essere pari, in regime stazionario, a:

$$q_{1s} = A \frac{\sigma_0 (T_1^4 - T_s^4)}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_s} - 1} \quad (2)$$

$$q_{s2} = \sigma_0 A \frac{(T_s^4 - T_2^4)}{\frac{1}{a_s} + \frac{1}{a_2} - 1} \quad (3)$$

dove:

A = superficie complessiva di scambio, pari all'area del radiatore che si affaccia sulla parete esterna.

A_s = coefficiente di assorbimento del pannello riflettente ad elevata lunghezza d'onda.

Nelle relazioni che intervengono nella valutazione degli scambi termici per ambienti interni, le temperature coinvolte sono sempre al di sotto dei 400 K, pertanto i coefficienti di assorbimento dei materiali saranno valutati ad elevate lunghezze d'onda, ovvero per valori superiori a 4 μm .

L'ipotesi di stazionarietà del regime permette di eguagliare il flusso termico dal radiatore alla parete esterna q_{12} a q_{1s} e q_{s2} .

Le relazioni fin qui descritte ci permettono di valutare la potenza che il radiatore cede per irraggiamento alla faccia interna della tamponatura perimetrale ($q_{12} = W_r$). Per valutare la quota parte di tale potenza che effettivamente viene espulsa all'esterno, si fa riferimento al modello della parete opaca esposta ad irraggiamento (fig. 4).

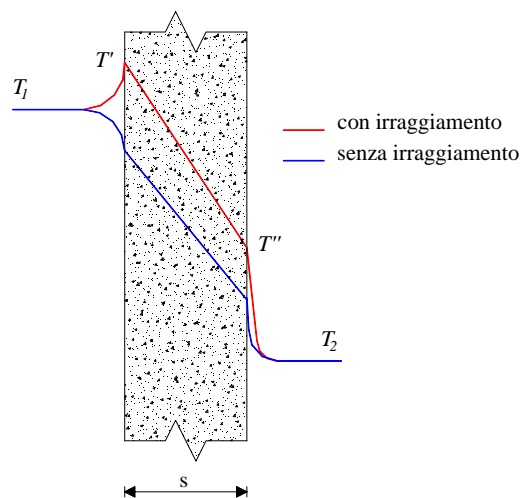
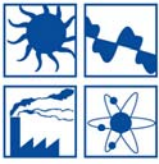


Fig. 4 – Andamento della campo termico in una parete opaca esposta ad irraggiamento; T_1 , T_2 = temperature della aria interna ed esterna, T' , T'' = temperatura delle facce estreme; s = spessore della parete.



La potenza radiante W_r , trasformata in calore all'atto dell'assorbimento, è ceduta in parte all'esterno e in parte alla parete e poi all'interno; indicando con q_{int} e q_{est} questi due contributi, si può scrivere:

$$q_{int} = h_{int} (T' - T_1) \tag{4}$$

$$q_{est} = \frac{T' - T_2}{\frac{s}{\lambda} + \frac{1}{h_{est}}} \tag{5}$$



ovvero

$$W_r = h_{int} (T' - T_1) + \frac{T' - T_2}{\frac{s}{\lambda} + \frac{1}{h_{est}}} \tag{6}$$

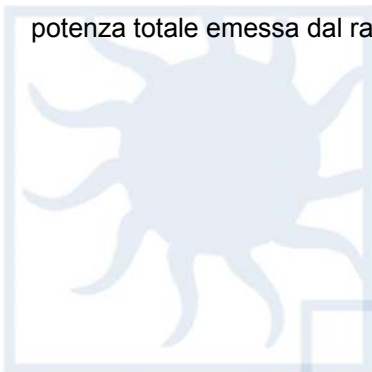
dove:

h_{int} = coefficiente di adduzione interno

λ = conducibilità termica equivalente della parete

h_{est} = coefficiente di adduzione esterno

Sarà proprio la differenza fra il calore disperso q_{est} in assenza e in presenza del pannello riflettente a determinare il risparmio energetico ottenibile dal pannello stesso. Il risultato sarà fornito in percentuale della potenza totale emessa dal radiatore, così da definire direttamente la performance energetica.



2) Definizione dei dati in ingresso

In questa sezione sono definiti i dati di ingresso per le relazioni descritte nel paragrafo precedente.

La parete esterna sulla quale si affaccia il radiatore è stata studiata con 3 diverse configurazioni [2]:

Pannello prefabbricato: trasmittanza $H = 3,64 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ (assenza completa di isolamento)

Parete a cassa vuota con mattoni forati: $H = 1,15 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ (isolamento rudimentale)

Parete aderente al D.Lgs. 311/06 [3] in Zona F al 1 gennaio 2010: $H = 0,33 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ (isolamento spinto).

Per ciascuna parete è stata considerato un intonaco bianco, con coefficiente di assorbimento $a_2 = 0,91$ [4].

Il termosifone esaminato per il calcolo è realizzato in ghisa ed è stato scelto fra uno dei modelli esistenti in commercio; in particolare è stato scelto un radiatore BIASI, modello PRG 2/690 la cui scheda tecnica è riportata in allegato. I dati di maggiore interesse per i calcoli dello scambio termico sono riassunti di seguito:

Altezza: 0,690 m

Larghezza: 0,623 m

Profondità: 0,060 m

Spessore ghisa: 0,002m

Conducibilità termica ghisa: $50 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Temperatura acqua in ingresso: 75°C

Temperatura acqua in uscita: 65°C

Potenza termica emessa W_{rad} : 665 W

Coefficiente di assorbimento della superficie del radiatore a_1 : 0,91 [4]

Nello scambio termico acqua-ghisa interno al radiatore, si è ipotizzato il transito del fluido scaldante all'interno di una tubazione di diametro $D = 0,012 \text{ m}$, facendo pertanto riferimento all'equazione semplificata per flusso turbolento di Mc Adams [5]:

$$h_{\text{acqua}} = \frac{1057(1,352 + 0,0198T)V^{0,8}}{D^{0,2}} \quad (7)$$

dove:

h_{acqua} = coefficiente di adduzione interno acqua-ghisa

T = temperatura media dell'acqua all'interno del radiatore (70°C)

V = velocità del fluido ($0,14 \text{ m s}^{-1}$ ricavata dalla potenza scambiata dal radiatore e dal diametro della tubazione)

Il pannello riflettente è caratterizzato dal solo coefficiente di assorbimento della superficie che, secondo quanto riportato dalle prove forniteci dalla SAME s.r.l. (allegato 2), è pari a: $a_s = 0,10$.

I coefficienti di adduzioni esterno ed interno per la parete perimetrale sono stati mutuati dalla UNI EN ISO 6946 [6]:

$$h_{\text{est}} = 25.00 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

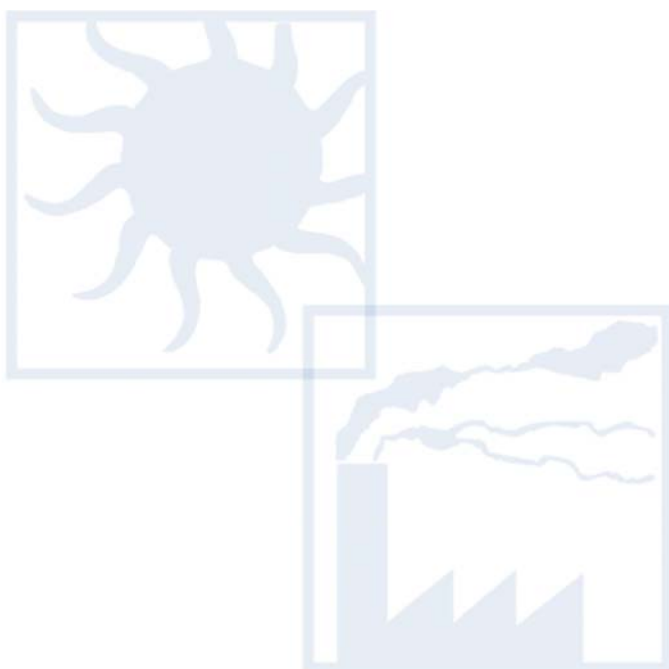
$$h_{\text{int}} = 7.69 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

Le tre località di riferimento scelte per la simulazione sono: Torino per il Nord Italia, Perugia per il Centro Italia e Palermo per il Sud Italia. Le rispettive temperature medie esterne per la stagione invernale sono riportate di seguito [7]:

Torino = 5,5 °C

Perugia = 7,5 °C

Palermo = 12,1 °C



3) Risultati dei calcoli

La temperatura della parete interna del radiatore si può ottenere dalla temperatura dell'acqua che circola all'interno del termosifone (che viene posta pari alla media fra ingresso e uscita) e dall'aria complessiva di scambio termico (posta pari alla superficie esterna del radiatore):

$$T_{int\ rad} = T_{acq\ med} - \frac{W_{rad}}{A_{tot} h_{acqua}} = 69,34^{\circ}C \quad (8)$$

La temperatura della faccia esterna si ottiene attraverso l'equazione della conduzione attraverso lo strato di ghisa:

$$T_{est\ rad} = T_{int\ rad} - \frac{W_{rad}}{\frac{s_{ghisa}}{\lambda_{ghisa}}} = 69,32^{\circ}C \quad (9)$$

Lo scambio termico per radiazione tra termosifone e superficie interna della tamponatura esterna è noto se si conosce la temperatura di quest'ultima. Nel caso di assenza di pannello riflettente, è necessario procedere iterativamente, ipotizzando un valore di primo tentativo per poi calcolare la potenza scambiata con l'irraggiamento tramite la (1) e ricavare il nuovo valore di temperatura da confrontare con il precedente attraverso la sostituzione nella (6). Si è ripetuto il processo iterativo fino a raggiungere un errore relativo inferiore allo 0,01%.

Quando fra radiatore e parete perimetrale viene interposto il pannello riflettente, si procede allo stesso modo, con la sola differenza che l'equazione per ricavare la potenza scambiata tra termosifone e tamponatura è la (2) anziché la (1).

Nelle tabelle 1, 2 e 3 sono riportati i risultati dei calcoli eseguiti per le tre località in esame e per le tre tipologie costruttive precedentemente descritte, in termini di diminuzione della potenza erogata dal radiatore ottenuta con l'inserimento del pannello riflettente.

Tab. 1 – Risparmio percentuale di potenza erogata dal radiatore per la città di Torino.

| Tipologia parete | Potenza risparmiata (%) |
|---|-------------------------|
| Pannello prefabbricato | 3,60 % |
| Parete a cassa vuota con mattoni forati | 0,97 % |
| Parete isolata | 0,26 % |

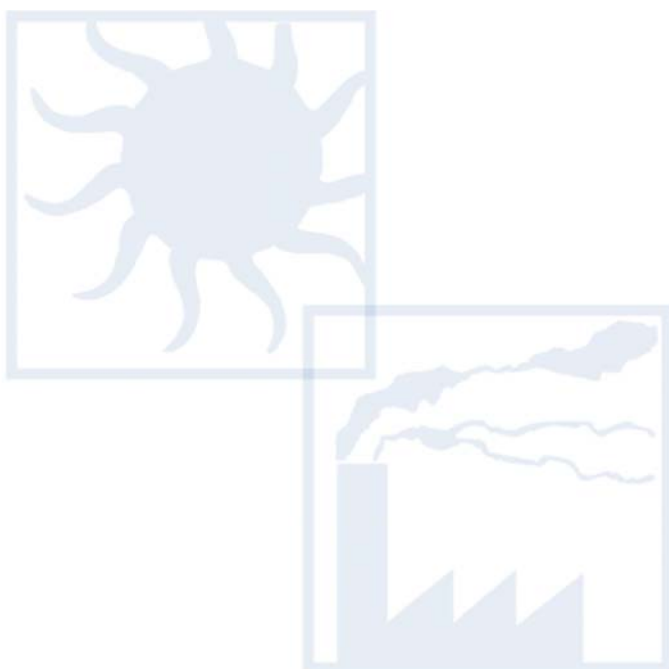
Tab. 2 – Risparmio percentuale di potenza erogata dal radiatore per la città di Perugia.

| Tipologia parete | Potenza risparmiata |
|---|---------------------|
| Pannello prefabbricato | 3,54 % |
| Parete a cassa vuota con mattoni forati | 0,97 % |
| Parete isolata | 0,26 % |

Tab. 3 – Risparmio percentuale di potenza erogata dal radiatore per la città di Palermo.

| Tipologia parete | Potenza risparmiata (%) |
|---|-------------------------|
| Pannello prefabbricato | 3,43 % |
| Parete a cassa vuota con mattoni forati | 0,95 % |
| Parete isolata | 0,26 % |

Risulta evidente come i risultati siano scarsamente influenzati dalla località di riferimento mentre è significativa la variazione del risparmio ottenibile al variare del grado di isolamento della parete sulla quale si affaccia il radiatore.



4) Risparmio energetico su un appartamento tipo

I risultati dei calcoli evidenziano come le migliori prestazioni del pannello riflettente si ottengono quando l'installazione avviene in corrispondenza di tamponature senza coibentazione; Tale circostanza si verifica nella quasi totalità dei fabbricati antecedenti all'entrata in vigore della prima legge sul risparmio energetico (L. 373/76) e per i quali si stima un fabbisogno di energia primaria pari a $200 \text{ kWh m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$ [8].

Considerando un appartamento da 100 m^2 ubicato nella città di Perugia e costruito senza criteri di isolamento termico (muro esterno di trasmittanza pari a $3,64 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$); sono necessari per il suo riscaldamento almeno 20 W m^{-3} ovvero 5400 W . Sono necessari pertanto circa 8 radiatori della tipologia analizzata nei paragrafi precedenti.

Nel caso in cui tutti i radiatori si affaccino sulle pareti esterne, l'inserimento del pannello riflettente su ognuno di essi porterebbe ad un risparmio energetico complessivo pari alla percentuale già ottenuta per il singolo termosifone (3,54%).

Dal dato del consumo energetico annuo si può dunque facilmente ottenere il risparmio energetico:

$$200 \times 100 \times 0,0354 = 708 \text{ kWh anno}^{-1}$$

Ipotizzando un prezzo del gas metano per il riscaldamento pari a $0,10 \text{ €/kWh}$ [9] si ottiene un risparmio annuo pari a:

$$70,8 \text{ €}$$

La superficie di pannelli da installare nell'appartamento sugli 8 radiatori è pari a:

$$0,690 \times 0,623 \times 8 = 3,44 \text{ m}^2$$

Il costo di ognuno dei pannelli è pari a 8 € [10], per una spesa complessiva di 64 € , già ammortizzata dopo la prima stagione invernale.

5) Conclusioni

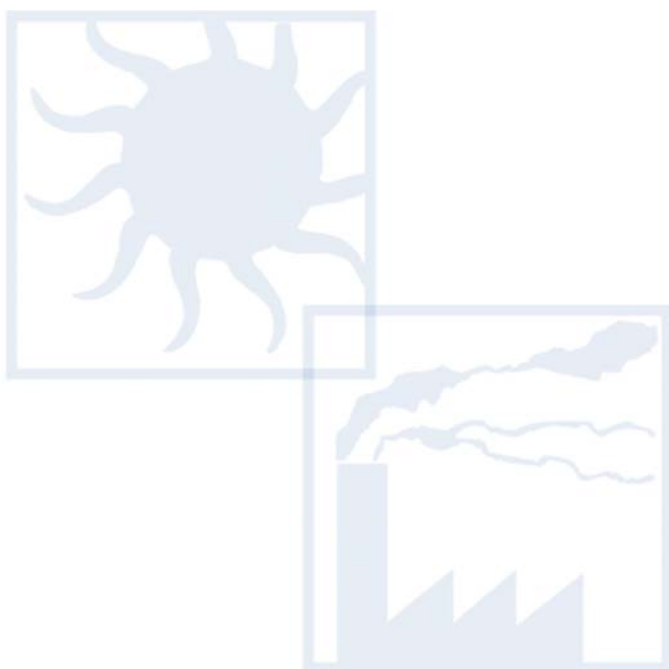
E' stato effettuato lo studio dell'influenza che si ottiene sulle modalità di scambio termico tra termosifoni e pareti esterne tramite l'inserimento di pannelli riflettenti tra lo spazio che esiste tra radiatori e tamponature.

L'analisi si è basata principalmente sulle equazioni che regolano lo scambio termico per irraggiamento tra la superficie del radiatore, della parte interna della parete esterna e del pannello riflettente; i calcoli sono stati ripetuti per tre diverse stratigrafie della tamponatura e per tre diverse località del territorio italiano, rappresentative del Nord, Centro e Sud del nostro paese.

I risultati mostrano come l'efficacia dell'installazione del pannello riflettente sia fortemente dipendente dal grado di isolamento della parete esterna su cui si affaccia il radiatore, aumentando al diminuire della coibentazione e dello spessore della parete stessa, fino a portare ad un risparmio su base stagionale superiore al 3,50 % nella condizione più favorevole.

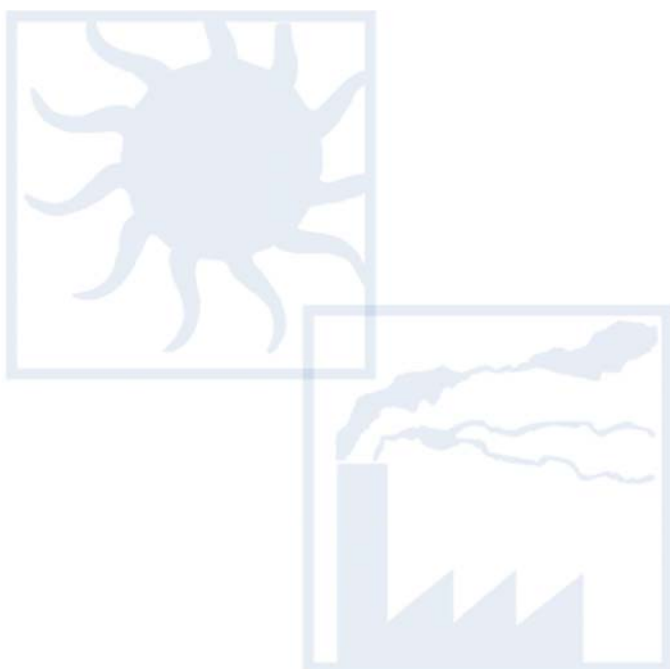
La variabilità con la zona climatica risulta estremamente limitata, riportando valori simili su tutto il territorio nazionale.

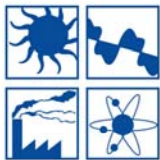
L'analisi economica realizzata su un appartamento tipo realizzato senza criteri di isolamento mostra come sia possibile ottenere un risparmio annuo significativo, attraverso l'installazione del pannello riflettente su tutti i radiatori che si affacciano su una parete esterna, con un investimento economico che risulta ammortizzato completamente dopo il primo anno di esercizio.



6) Bibliografia

- [1] M. Felli, Lezioni di fisica tecnica, Morlacchi editore, 2004, Perugia.
- [2] www.anit.it .
- [3] Decreto Legislativo del 29 dicembre 2006 n.311 "Disposizioni correttive e integrative del decreto legislativo del 19 agosto 2005 n. 192, recante l'attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico in edilizia".
- [4] G. Guglielmini, C. Pisoni, Elementi di trasmissione del calore, Veschi editore, 1990, Milano.
- [5] ASHARAE, Handbook of Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, 2001.
- [6] UNI EN ISO 6946, Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo, Maggio 2007.
- [7] UNI 10349, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici, Aprile 1994.
- [8] http://www.sbsenergia.it/download/Cons_energ_sett_civile.pdf
- [9] <http://www.enelgas.it>
- [10] <http://www.same-foil.com/index.html>





CIRIAF

Centro Interuniversitario
di Ricerca sull'Inquinamento
da Agenti Fisici - "Mauro Felli"



ALLEGATO 1

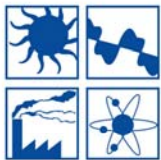
Scheda tecnica radiatore



CIRIAF Direzione e Amministrazione
c/o Facoltà di Ingegneria
Via G. Duranti, 67
06125 Perugia

Tel: +39 075 585 3717-3844
Fax: +39 075 585 3697
E.mail: ciriaf@unipg.it

Web Site: www.ciriaf.it



CIRIAF

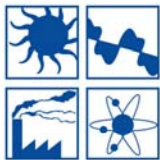
Centro Interuniversitario
di Ricerca sull'Inquinamento
da Agenti Fisici - "Mauro Felli"



CIRIAF Direzione e Amministrazione
c/o Facoltà di Ingegneria
Via G. Duranti, 67
06125 Perugia

Tel: +39 075 585 3717-3844
Fax: +39 075 585 3697
E.mail: ciriaf@unipg.it

Web Site: www.ciriaf.it



CIRIAF

Centro Interuniversitario
di Ricerca sull'Inquinamento
da Agenti Fisici - "Mauro Felli"



ALLEGATO 2

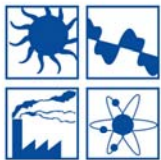
Proprietà ottiche del pannello "Thermoradiant"



CIRIAF Direzione e Amministrazione
c/o Facoltà di Ingegneria
Via G. Duranti, 67
06125 Perugia

Tel: +39 075 585 3717-3844
Fax: +39 075 585 3697
E.mail: ciriaf@unipg.it

Web Site: www.ciriaf.it



CIRIAF

Centro Interuniversitario
di Ricerca sull'Inquinamento
da Agenti Fisici - "Mauro Felli"



CIRIAF Direzione e Amministrazione
c/o Facoltà di Ingegneria
Via G. Duranti, 67
06125 Perugia

Tel: +39 075 585 3717-3844
Fax: +39 075 585 3697
E.mail: ciriaf@unipg.it

Web Site: www.ciriaf.it