

# IL CALCOLO DEI CARICHI TERMICI ESTIVI CON METODO CARRIER-PIZZETTI

di

\* Paolo Savoia

*Riportiamo un secondo contributo sul calcolo dei carichi termici degli impianti iniziato con l'articolo «Il calcolo di carichi termici invernali secondo UNI EN 12831 negli edifici ad elevate prestazioni» pubblicato sul numero 75*

Nel calcolo dei carichi estivi, in particolare negli edifici ad elevate prestazioni energetiche, soprattutto se ottimizzati per lo sfruttamento della radiazione solare nel periodo invernale, occorre prestare attenzione alla componente di carico dovuto all'irraggiamento solare attraverso le superfici finestrate.

I carichi interni per ventilazione risultano attenuati dalla presenza del recuperatore di calore dell'impianto di ventilazione meccanica e, grazie all'elevata tenuta all'aria, anche le infiltrazioni d'aria esterna non comportano significativi apporti sensibili e latenti.

L'elevata inerzia termica del fabbricato, rappresentata dalla ridotta trasmittanza termica periodica di pareti e solai di copertura, aiuta a ridurre il picco di calore entrante da questi componenti opachi e a non risentire delle rapide variazioni di temperatura dell'aria esterna. Il pavimento controterra o su uno spazio interrato aiuta invece a smaltire il calore accumulato, in quanto il terreno o lo spazio interrato si trovano ad una temperatura inferiore a quella interna di progetto<sup>1</sup>.

L'irraggiamento solare se non intercettato dai sistemi di schermatura fissi o mobili esterni, aumenta la temperatura superficiale dei pavimenti irradiati ed instaura una duplice trasmissione di calore.

Dapprima l'energia accumulata nel pavimento viene trasmessa per conduzione alle strutture adiacenti, mentre quella emessa per convezione diretta diventa un carico termico istantaneo.

Diversamente dal calcolo delle dispersioni invernali, nei calcoli dei carichi termici estivi va valutato anche il carico latente, ovvero il contributo che l'impianto di condizionamento deve erogare per limitare il tasso di umidità al valore di progetto.

Il carico latente da smaltire è prodotto da fenomeni fisiologici degli occupanti, dalle attività quotidiane o lavorative con produzione di vapore, dall'apporto di aria esterna per ventilazione e dalle infiltrazioni d'aria.

Nel regime estivo si contraddistingue non solo la variabilità giornaliera delle condizioni meteorologiche esterne, principalmente escursione termica ed irraggiamento, ma anche la variabilità di carichi interni, dovuti sia agli apporti interni (persone, elettrodomestici, illuminazione, ecc.) ma soprattutto dei carichi per irraggiamento che, entrando nel fabbricato, vengono accumulati e rilasciati con modi e tempi diversi

---

<sup>1</sup> Progettualmente potrebbe essere strategico non isolare eccessivamente il solaio controterra o verso vano interrato, in quanto, avendo minore salto termico tra interno ed esterno, permette, a parità di condizioni di comfort invernale, di smaltire parte del carico termico estivo.

in funzione della tipologia costruttiva, con particolare riferimento alla capacità termica areica periodica interna<sup>2</sup>.

Questa variabilità dalle condizioni di contorno rende di fatto non idonei modelli di calcolo che utilizzano grandezze fisico-edili stazionarie, come ad esempio la trasmittanza termica  $U$  come definita dalla UNI EN ISO 6946. Si potrebbe quindi pensare che un corretto calcolo dei carichi estivi dovrebbe svolgersi esclusivamente utilizzando metodi dinamici. Diversamente da quella stazionaria o semi-stazionaria, l'analisi dinamica correla la variabilità dei carichi esterni ed interni con le capacità inerziali della zona termica, tenendo in considerazione il risultato di calcolo del periodo di tempo (o dei periodi di tempo) precedenti. Tuttavia, fin dagli anni sessanta, sono stati sviluppati metodi di calcolo per il calcolo dei carichi termici estivi di progetto.

Esamineremo nel seguito, anche se in maniera semplificata, il metodo Carrier. Tale modello di calcolo estrapola un andamento orario dei carichi estivi a partire da alcuni dei parametri termotecnici utilizzati in regime stazionario attraverso una metodologia tabellare semplificata ed utilizzando alcune elaborazioni, quali la **differenza di temperatura equivalente ed i fattori di accumulo**, che permettono di considerare le variabilità dei carichi esterni presenti.

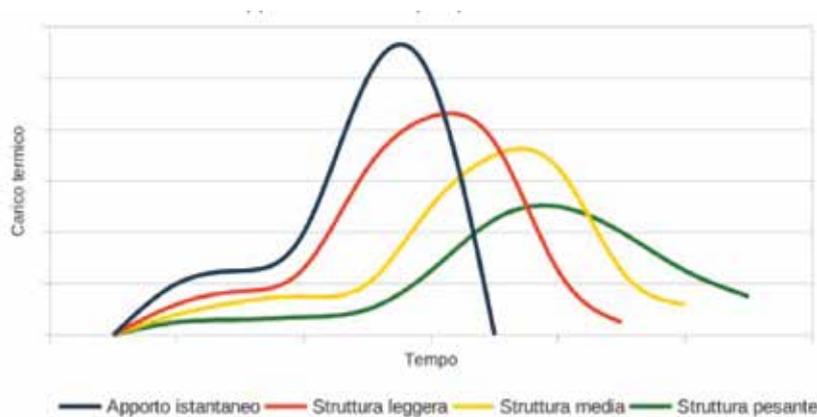
## I carichi estivi secondo il metodo Carrier-Pizzetti

Il metodo Carrier, aggiornato a fine anni '80 dall'italiano Carlo Pizzetti, consente di valutare i carichi termici per trasmissione ed irraggiamento attraverso i componenti opachi e finestrati ed i carichi termici per ventilazione.

I carichi termici per irraggiamento attraverso le superfici finestrate, corretti in funzione del tipo di ombreggiamento fisso e mobile presente, tengono conto dell'energia entrante nel fabbricato, accumulata e rilasciata successivamente dalle superfici irraggiate<sup>3</sup>, attraverso l'utilizzo dei "fattori di accumulo"  $f_{ai}$ .

Nel grafico 1 con linea blu è mostrato l'andamento dell'apporto istantaneo di una finestra esposta ad ovest, ovvero la quantità di calore che entra nella zona termica per irraggiamento in un determinato lasso temporale.

Con le linee rossa, gialla e verde, si mostra invece il carico di raffreddamento effettivo, che deve essere rimosso dall'ambiente interno per consentire il mantenimento della temperatura ambiente costante. Questo carico risulta attenuato (diminuzione in picco) e sfalsato (distanza temporale dal picco) in funzione della massa areica di accumulo del pavimento. Masse areiche di circa  $150 \text{ kg/m}^2$  sono considerate leggere, mentre masse di  $500 \text{ kg/m}^2$  sono considerate medie e di  $750 \text{ kg/m}^2$  pesanti.



**Grafico 1:** Apporto di calore istantaneo per radiazione su parete ad ovest

- 2 La capacità termica areica interna periodica delle pareti può ridurre la potenza di picco in raffrescamento dell'impianto per elevati carichi interni. Appare altrettanto importante valutare la capacità termica areica interna periodica dei pavimenti per ridurre e ritardare la cessione del calore dovuto all'irraggiamento non schermato verso l'ambiente interno. Pavimentazioni ceramiche, in marmo o pietra aumentano sensibilmente tale parametro, diversamente dalle pavimentazioni in legno o parquet (questa caratteristica è stata descritta nel capitolo 2 del libro da cui è tratto il presente articolo e si rimanda ad esso per maggiori approfondimenti).
- 3 L'aria ha un basso valore di assorbimento della radiazione solare, per cui la radiazione solare che penetra all'interno dell'ambiente non determina un aumento diretto ed immediato della temperatura dell'aria. Tale aumento avviene per rilascio da parte delle strutture irraggiate dell'energia accumulata mediante convezione.

**Il fattore di accumulo** è un dato complesso e particolarmente rilevante che cerca di calcolare il corretto sfasamento e smorzamento tra l'assorbimento della radiazione solare e la sua immissione nell'ambiente interno. I fattori di accumulo, riportati in maniera tabellare nel metodo di calcolo, sono in funzione dell'ora del giorno, del numero di ore di funzionamento dell'impianto, delle schermature esterne, dell'orientamento e della massa areica di accumulo del pavimento.

Il carico termico entrante dovuto all'irraggiamento solare attraverso i componenti vetrati deve prima essere assorbito dagli elementi interni (pavimenti, pareti, mobilio ecc) per poi venire riemesso in ambiente, per convezione ed irraggiamento, una volta che gli elementi interni abbiano superato la temperatura interna dell'aria.

Il metodo considera in aggiunta una **differenza di temperatura equivalente** ( $\Delta T_{equiv}$ ) ai fini del calcolo dei carichi per trasmissione dei componenti opachi<sup>4</sup>. La  $\Delta T_{equiv}$  tiene in considerazione non solo l'escursione della temperatura esterna dell'aria, ma anche dell'irraggiamento solare sulla parete o copertura, dell'assorbimento solare, dell'inerzia e dell'orientamento di questi ultimi, della latitudine del luogo e dell'ora della giornata.

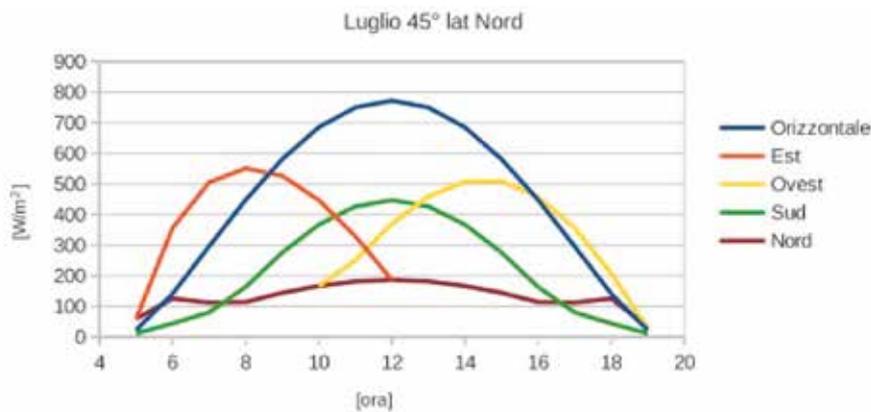
Il concetto di  $\Delta T_{equiv}$  è quindi alla base della sempli-

ficazione applicata da questo modello di calcolo e permette l'utilizzo della trasmittanza termica, calcolata in regime stazionario, ai fini della determinazione degli scambi per trasmissione nel periodo estivo dei componenti opachi.

La radiazione solare assorbita da pareti e coperture produce un aumento della temperatura da considerare ai fini di un corretto calcolo termico.

I valori della differenza di temperatura equivalente si possono determinare analiticamente con il metodo Carrier anche se risulta particolarmente oneroso. Per minimizzare gli oneri di calcolo sono state realizzate delle tabelle di  $\Delta T_{equiv}$  calcolate con cadenza oraria nel periodo dalle 8 alle 18, per le varie esposizioni, colorazioni e per differente peso delle strutture.

Il flusso di calore per trasmissione tra l'esterno e l'interno è legato alla trasmittanza del componente ed al salto termico "equivalente" tra l'aria esterna e quella interna. Con una costante di tempo del componente<sup>5</sup> infinita, la temperatura esterna dell'aria<sup>6</sup> può essere considerata pari a quella media giornaliera, mentre nel caso di costante di tempo nulla la temperatura esterna non subisce alterazioni. Con l'utilizzo della differenza di temperatura equivalente  $\Delta T_{equiv}$ , che tiene conto delle capacità inerziali delle strutture, il metodo di calcolo considera lo sfasamento e l'attenuazione dell'onda termica esterna in maniera semplificata.



**Grafico 2:** Radiazione solare complessiva (diretta + diffusa) sulle superfici aventi diversa esposizione. La superficie orizzontale risulta quella più irraggiata, mentre la superficie verticale a sud presenta minor irraggiamento rispetto alle superfici esposte ad est e ovest

- 4 La ridotta inerzia dei serramenti non permette l'utilizzo della differenza di temperatura equivalente per il calcolo dello scambio di calore per trasmissione.
- 5 La costante di tempo di una struttura è data dal prodotto della sua resistenza termica [ $m^2W/K$ ] per la sua capacità termica areica [ $Wh/m^2K$ ].
- 6 Si fa riferimento alla temperatura aria sole  $t_{as} = t_e + I \times (a/ha)$  dove  $t_{as}$  è la temperatura aria sole, ovvero la temperatura che si avrebbe se il componente scambiasse per sola convezione la stessa quantità di calore che scambia effettivamente sia per convezione che per irraggiamento,  $t_e$  la temperatura esterna,  $I$  l'irraggiamento,  $a$  l'assorbimento solare e  $h_e$  il coefficiente di conduzione superficiale esterno.

In linea generale si troveranno valori di  $\Delta T_{equiv}$  elevati ad est verso le ore 12:00, a sud verso le ore 15:00, ad ovest verso le ore 18:00 e tali valori diminuiranno all'aumentare della massa del componente verticale considerato e al diminuire del fattore di assorbimento in funzione della colorazione.

Per i tetti invece, la differenza di temperatura equivalente  $\Delta T_{equiv}$  risulta sempre massima alle ore 18:00, per l'accumularsi della radiazione solare.

In questo caso, la riduzione di  $\Delta T_{equiv}$  è funzione della sua massa specifica, della presenza di ombra sul tetto e della presenza di acqua.

I carichi dovuti alla ventilazione e agli apporti interni (persone, elettrodomestici ecc) sono considerati convenzionalmente. Si possono estrapolare i carichi per ventilazione e correggerli in funzione dell'efficienza di scambio dell'impianto di ventilazione meccanica, sia per la parte sensibile che latente.

Il metodo di calcolo, come concepito, non tiene conto del recupero di calore sensibile e latente dei sistemi di ventilazione meccanica controllata, ma risulta abbastanza semplice implementare questo aspetto, modificando i carichi di ventilazione sensibili e latenti rispettivamente per un fattore pari a  $(1 - \eta_{sens})$  e  $(1 - \eta_{lat})$ , dove  $\eta_{sens}$  è il recupero di calore sensibile in estate e  $\eta_{lat}$  è il recupero di calore latente in estate.

Nel proseguo della trattazione, con riferimento ai due edifici analizzati nell'articolo pubblicato sul numero 75 della rivista, analizzeremo i risultati dei calcoli derivanti dall'applicazione del metodo Carrier-Pizzetti e corretti per l'introduzione dello scambiatore di calore passivo per i carichi sensibili di ventilazione.

È stata considerata una temperatura dell'aria di 33°C, con umidità relativa del 45% (temperatura a bulbo umido 23,3°C) ed una escursione termica

giornaliera di 12°C. Internamente sono stati considerati 25°C e 50% di umidità relativa, un tasso di ricambio d'aria pari a 0,4 h<sup>-1</sup> e la presenza di 4 persone. È inoltre stato considerato una corretta schermatura solare, tale da consentire l'ombreggiamento del 50% della superficie vetrata. Questo valore può sembrare molto limitante per l'illuminazione e per la relazione tra interno ed esterno, ma i sistemi ombreggianti a frangisole o raffstore, permettono di raggiungere facilmente queste percentuali di ombreggiamento senza precludere una corretta illuminazione interna e visuale esterna.

Nella Tabella 1 sono indicati i carichi termici per irraggiamento, ventilazione, trasmissione ed i carichi interni e dovuti alle persone per l'edificio progettato per sfruttare al massimo gli apporti solari durante la stagione invernale.

I carichi estivi sono molto ridotti e pari a circa 20 W/m<sup>2</sup>. I maggiori contributi sono costituiti dai carichi per irraggiamento e per ventilazione, che assieme al carico per trasmissione costituiscono il 70% del carico totale.

Per quanto riguarda il fabbricato non ottimizzato per lo sfruttamento degli apporti solari durante la stagione invernale, dalla tabella 2 notiamo che i carichi termici sono sostanzialmente simili tra i due fabbricati ma la distribuzione rispetto al caso precedente risulta diversa.

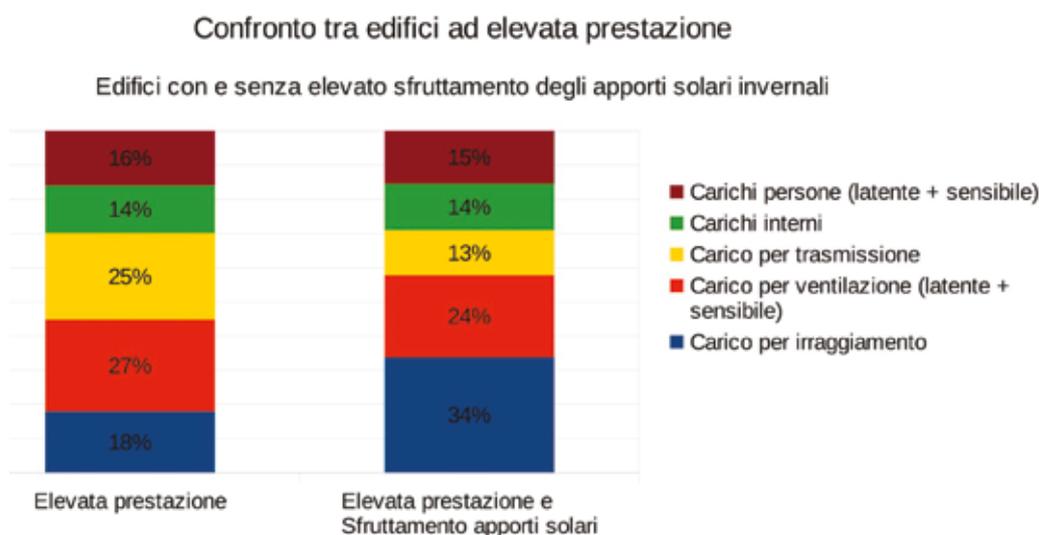
Sebbene fosse stata indicata precedentemente la similitudine tra i due fabbricati, in merito a trasmittanze termiche e superfici finestrate, nel progetto del fabbricato ottimizzato per l'ottimizzazione degli apporti solari i serramenti presentano una trasmittanza termica migliore, mediamente pari a  $U_w = 0,7$  W/m<sup>2</sup>K, contro  $U_w = 1,0$  W/m<sup>2</sup>K dell'abitazione con architettura rurale.

Parametri	Carrier-Pizzetti		
	[W]	[W/m <sup>2</sup> ]	[%]
Carico per irraggiamento	948	6,7	34%
Carico per ventilazione (latente + sensibile)	682	4,8	24%
Carico per trasmissione	343	2,4	12%
Carichi interni	387	2,7	14%
Carichi persone (latente + sensibile)	440	3,1	16%
<b>Totale</b>	<b>2800</b>	<b>19,9</b>	<b>100%</b>

**Tabella 1:** Carichi estivi di fabbricato ad elevate prestazioni progettato per lo sfruttamento degli apporti solari invernali

Parametri	Carrier-Pizzetti		
	[W]	[W/m <sup>2</sup> ]	[%]
Carico per irraggiamento	494	3,0	18%
Carico per ventilazione (latente + sensibile)	744	4,6	27%
Carico per trasmissione	700	4,3	25%
Carichi interni	387	2,4	14%
Carichi persone (latente + sensibile)	440	2,7	16%
<b>Totale</b>	<b>2765</b>	<b>17,0</b>	<b>100%</b>

**Tabella 2:** Carichi estivi del fabbricato ad elevate prestazioni, non progettato per sfruttare gli apporti solari invernali



**Grafico 3:** Confronto tra i carichi termici dei due fabbricati analizzati

Nel grafico 3 di confronto tra le due abitazioni analizzate, si può ben cogliere come il carico termico sia distribuito in maniera diversa, pur essendo similare nella sua entità.

È quindi importantissimo, qualora si voglia sfruttare appieno il riscaldamento gratuito tramite gli apporti solari, equilibrare in maniera corretta i parametri energetici degli infissi, per non penalizzare la prestazione estiva dell'involucro, attraverso un bilanciamento del fattore solare ed una riduzione della trasmittanza termica dell'infisso.

Nel prossimo numero di neo Eubios chiuderemo la trattazione di questi temi con un terzo contributo dedicato al calcolo delle dispersioni invernali e dei carichi estivi utilizzando il metodo dinamico orario di cui alle UNI EN 52016 

*\* Paolo Savoia, ingegnere libero professionista.*

*I contenuti di questo articolo sono tratti dal capitolo 4 del libro "Impianti termici negli edifici residenziali ad elevate prestazioni energetiche - Capire l'involucro per progettare gli impianti" di Paolo Savoia, Editore Maggioli*

