

CARICHI TERMICI

Francesco Mancini

Università La Sapienza di Roma

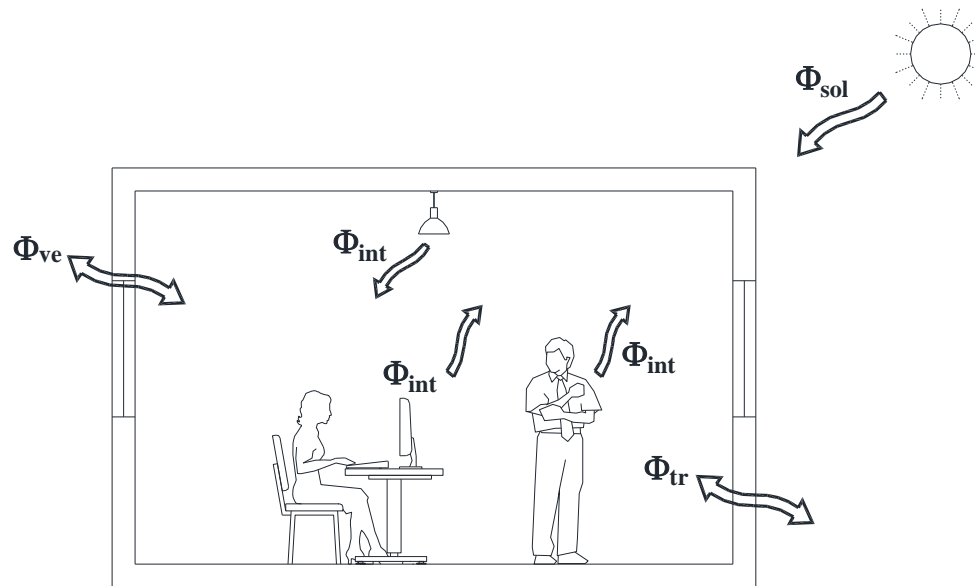
francesco.mancini@uniroma1.it

www.ingegneria.it

Introduzione

Il comfort termoigrometrico dipende da numerosi fattori, tra cui la temperatura e l'umidità relativa dell'ambiente interno:

- nella stagione invernale, il valore della temperatura interna di progetto è fissato e vale 20°C , mentre l'umidità relativa deve mantenersi intorno al valore del 50%;
- nella stagione estiva, il valore della temperatura interna di progetto è fissato e vale 26°C , mentre l'umidità relativa deve mantenersi intorno al valore del 50%.

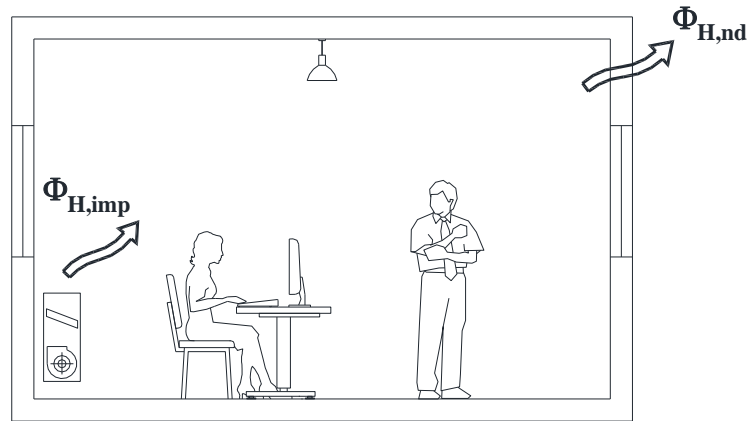
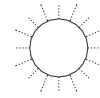


È facile immaginare che, in presenza delle condizioni climatiche tipiche invernali o estive ed in assenza di un impianto di riscaldamento o raffrescamento, ben difficilmente si possano raggiungere e mantenere le condizioni di comfort indicate.

Calcolo del carico termico invernale

Carico termico invernale: potenza termica sensibile che l'edificio, in precise condizioni, solitamente indicate come condizioni di progetto, disperde verso l'ambiente esterno.

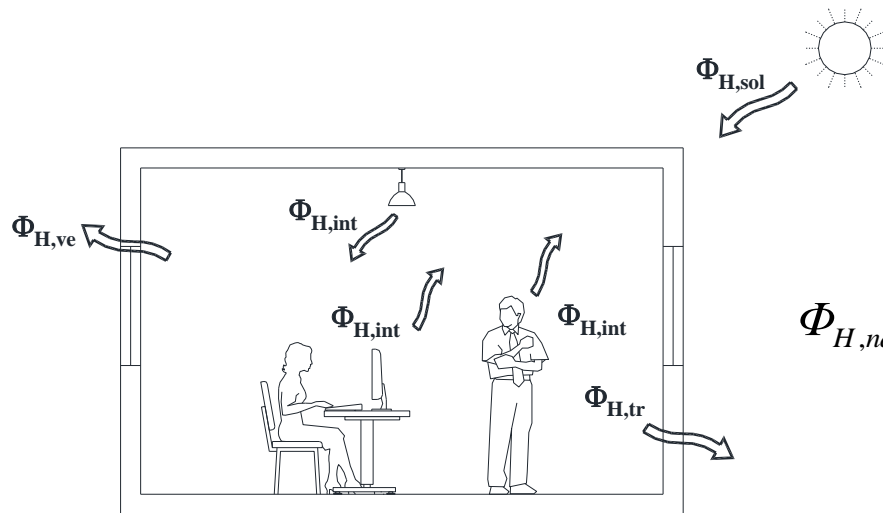
La conoscenza di questa grandezza consente di dimensionare un impianto di riscaldamento, grazie al quale sarà raggiunta e mantenuta la giusta temperatura.



$$\Phi_{H,imp}(\tau) = \Phi_{H,nd}(\tau)$$

Il carico termico è variabile nel tempo: ai fini dell'equilibrio tra i due termini, anche la potenza erogata dall'impianto dovrà essere variabile.

Calcolo del carico termico invernale

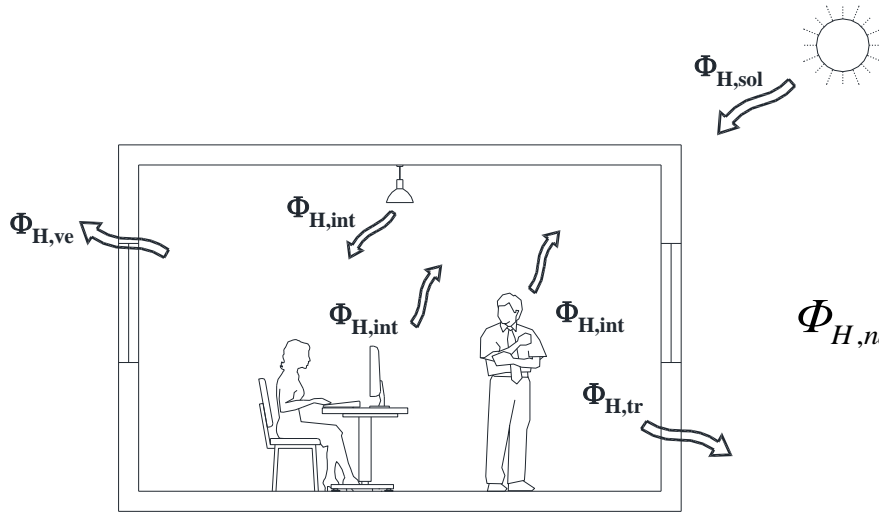


$$\Phi_{H,nd}(\tau) = \Phi_{H,tr}(\tau) + \Phi_{H,ve}(\tau) + \Phi_{H,int}(\tau) + \Phi_{H,sol}(\tau)$$

- flusso scambiato con l'ambiente esterno per trasmissione attraverso l'involucro edilizio $\Phi_{H,tr}(\tau)$
- flusso scambiato con l'ambiente esterno per ventilazione attraverso l'involucro edilizio $\Phi_{H,ve}(\tau)$
- flussi termici dovuti a sorgenti interne all'edificio, quali persone, lampade e apparecchiature $\Phi_{H,int}(\tau)$
- apporti termici solari $\Phi_{H,sol}(\tau)$

Tutti i flussi energetici sono variabili nel tempo, in funzione di condizioni climatiche variabili e di modalità di occupazione parimenti variabili.

Calcolo del carico termico invernale



$$\Phi_{H,nd}(\tau) = \Phi_{H,tr}(\tau) + \Phi_{H,ve}(\tau) + \Phi_{H,int}(\tau) + \Phi_{H,sol}(\tau)$$

- Il calcolo del carico termico invernale è finalizzato al dimensionamento di un impianto di riscaldamento
- Si è soliti utilizzare una convenzione dei segni per cui hanno segno positivo i termini che producono una diminuzione di temperatura dell'ambiente interno
- I primi due termini dell'equazione precedente hanno pertanto un segno positivo, mentre gli ultimi due hanno un segno negativo

Carico termico invernale per trasmissione

$$\Phi_{H,tr} = \sum_j U_j \cdot A_j \cdot \Delta T_j + \sum_k \psi_k \cdot L_k \cdot \Delta T_k$$

1. pareti che confinano con l'ambiente esterno, per le quali $\Delta T = T_i - T_e$
2. pareti che confinano con locali non riscaldati, per le quali $\Delta T = T_i - T_{nr}$
3. pareti che confinano con il terreno, per le quali valgono le considerazioni esposte a proposito del calcolo della trasmittanza
4. pareti che confinano con ambienti a temperatura prefissata, per le quali $\Delta T = T_i - T_f$
5. pareti che confinano con ambienti interni, ugualmente riscaldati, per cui $\Delta T = 0$

Descrizione della struttura	Maggiorazione per ponti termici
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) senza aggetti/balconi e ponti termici corretti	5
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) con aggetti/balconi	15
Parete omogenea in mattoni pieni o in pietra (senza isolante)	5
Parete a cassa vuota con mattoni forati (senza isolante)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico corretto)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico non corretto)	20
Pannello prefabbricato in calcestruzzo con pannello isolante all'interno	30

Carico termico invernale per ventilazione

$$\Phi_{H,ve} = G_{inf} \cdot c_p \cdot (T_i - T_e)$$

$$G_{inf} = \frac{n \cdot V}{3600} \cdot \rho$$

- G_{inf} è la portata in massa di aria che entra negli ambienti riscaldati per infiltrazione [kg/s];
- c_p è il calore specifico a pressione costante dell'aria [J/kgK]

La portata in massa di aria esterna può essere valutata ipotizzando:

- un numero di ricambi orari per infiltrazione pari a $0,3 \text{ h}^{-1}$ per edifici con infissi nuovi
- oppure pari a $0,5 \text{ h}^{-1}$ per edifici con infissi vecchi

Il numero n di ricambi orari rappresenta il rapporto tra il volume d'aria rinnovato in un'ora e il volume dell'ambiente considerato

Nel caso di **ambienti pressurizzati** (portata di mandata superiore alla portata di ripresa dell'ambiente, ottenuta grazie ad un impianto di ventilazione meccanica) **si può porre**

$G_{inf} = 0$, semplificando ulteriormente il calcolo

Considerazioni sulla ventilazione naturale

- La qualità dell'aria rappresenta un requisito essenziale per il comfort ed è ottenuta ventilando con aria esterna
- Le sole infiltrazioni possono essere sufficienti; in alcuni casi si tende a progettare opportunamente le aperture dell'edificio al fine agevolare il ricambio
- **La ventilazione ottenuta è naturale perché generata da cause naturali, ma non è affatto gratuita:** alla portata d'aria che entra naturalmente è associato un carico termico, talvolta anche molto importante
- Nel valutare la convenienza di sistemi di ventilazione naturale degli edifici è bene tenere presente che l'alternativa rappresentata da sistemi di ventilazione meccanica con recupero di calore è spesso più conveniente dal punto di vista energetico ed è sicuramente più efficace ai fini del comfort.
- Dal punto di vista energetico:
 - nel pieno della stagione invernale meglio la ventilazione meccanica
 - con temperature più miti meglio la ventilazione naturale
- Dal punto di vista dell'efficacia considerare:
 - velocità dell'aria eccessiva e correnti d'aria
 - collocazione della presa d'aria esterna
 - filtrazione

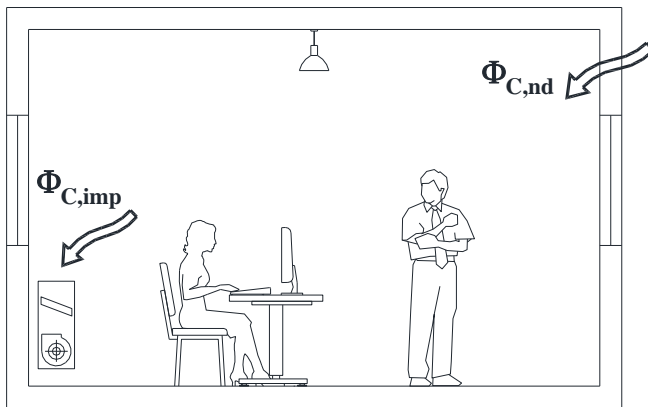
Considerazioni sui carichi termici gratuiti nella ⁹ stagione invernale

- Ai fini del dimensionamento, è corretto trascurare, in fase di calcolo, gli apporti della radiazione solare e delle sorgenti termiche interne, agendo in questo modo a vantaggio della sicurezza dei calcoli.
- Nel corso della stagione invernale, l'effetto di questi apporti può anche essere molto importante (aula scolastica piena, ambiente molto vetrato in una giornata di sole, centro di calcolo).
- **In questi casi i carichi termici possono da soli anche pareggiare gli effetti della trasmissione di calore attraverso l'involucro e della ventilazione, rendendo il contributo dell'impianto di riscaldamento non necessario se non addirittura dannoso.**
- L'impianto acceso può portare ad un innalzamento indesiderato della temperatura, oltre la condizione di comfort, con consumi energetici del tutto inutili.
- Inserimento di **dispositivi di regolazione**, in grado di spegnere o attenuare l'impianto di riscaldamento.

Calcolo del carico termico estivo

Carico termico estivo: potenza termica che l'edificio, in precisate condizioni, solitamente indicate come condizioni di progetto, riceve dall'ambiente esterno (carico esogeno) e dalle sorgenti di calore interne (carichi endogeni).

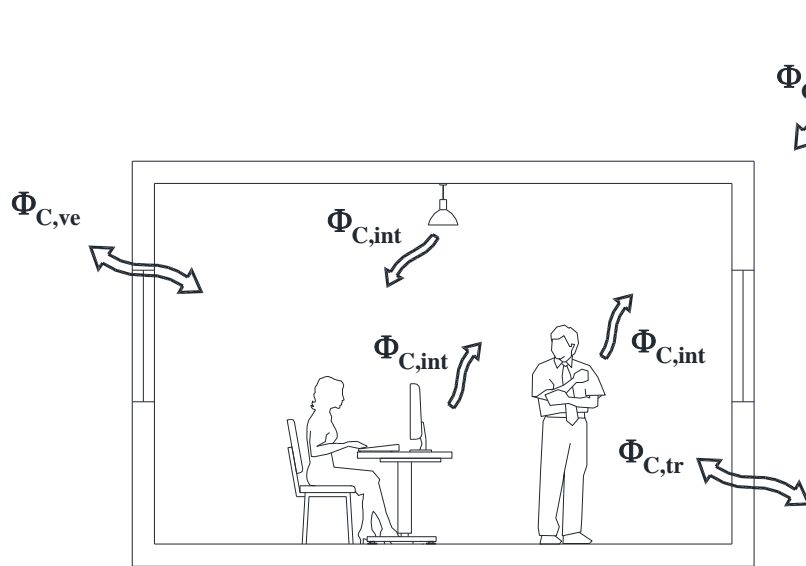
La conoscenza di questa grandezza consente di dimensionare un impianto di raffrescamento, per raggiungere e mantenere la giusta temperatura.



$$\Phi_{C,imp}(\tau) = \Phi_{C,nd}(\tau)$$

Il carico termico è variabile nel tempo: ai fini dell'equilibrio tra i due termini, anche la potenza erogata dall'impianto dovrà essere variabile.

Calcolo del carico termico estivo di progetto

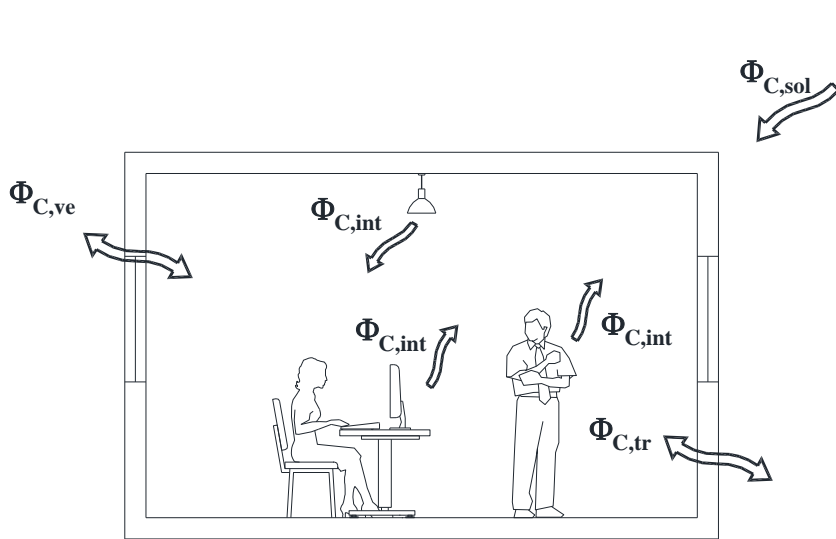


$$\Phi_{C,nd}(\tau) = \Phi_{C,int}(\tau) + \Phi_{C,sol}(\tau) + \Phi_{C,tr}(\tau) + \Phi_{C,ve}(\tau)$$

- flussi termici dovuti a sorgenti interne all'edificio, quali persone, lampade e apparecchiature ($\Phi_{C,int}$)
- apporti termici solari ($\Phi_{C,sol}$)
- flusso scambiato con l'ambiente esterno per trasmissione attraverso l'involucro edilizio ($\Phi_{C,tr}$)
- flusso scambiato con l'ambiente esterno per ventilazione attraverso l'involucro edilizio ($\Phi_{C,ve}$)

Tutti i flussi energetici sono variabili nel tempo, in funzione di condizioni climatiche variabili e di modalità di occupazione parimenti variabili.

Calcolo del carico termico estivo di progetto

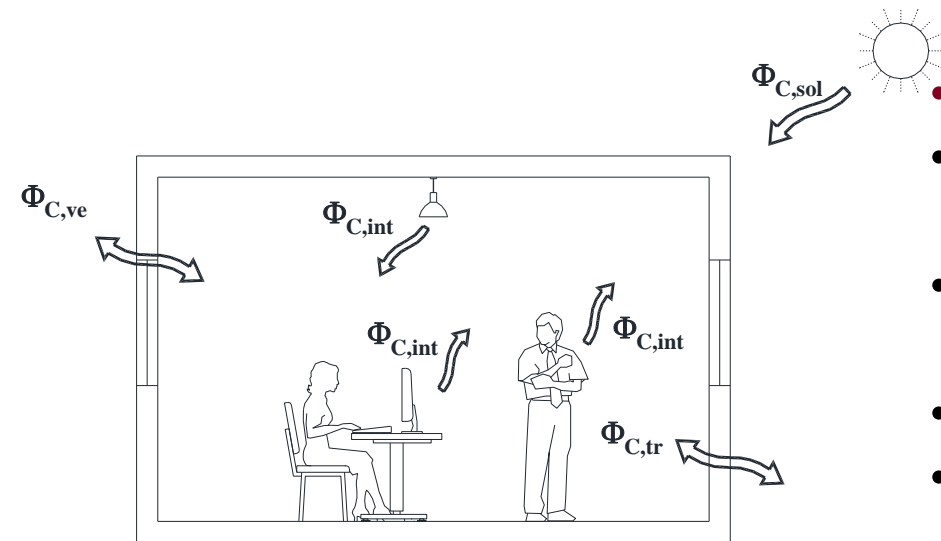


$$\Phi_{C,nd}(\tau) = \Phi_{C,int}(\tau) + \Phi_{C,sol}(\tau) + \Phi_{C,tr}(\tau) + \Phi_{C,ve}(\tau)$$

- Il calcolo del carico termico estivo è finalizzato al dimensionamento di un impianto di raffrescamento
- Si è soliti utilizzare una convenzione dei segni per cui hanno segno positivo i termini che producono un incremento della temperatura dell'ambiente interno
- I primi due termini dell'equazione precedente hanno pertanto un segno positivo, mentre gli ultimi due possono avere un segno positivo o negativo a seconda delle condizioni climatiche
- Nessuna semplificazione:
 - tutti i termini devono essere considerati
 - di tutti i termini è necessario valutare l'andamento in funzione del tempo

Calcolo del carico termico estivo di progetto

Metodo dei fattori di accumulo



- **Metodo dei fattori di accumulo**

- Metodo semplificato, con applicazione manuale attraverso grafici e tabelle
- Calcolo del carico termico sensibile $\Phi_{C,nd}$ in regime continuo
- Valore costante della temperatura interna
- Sovrapposizione degli effetti

$$\Phi_{C,nd}(\tau) = \Phi_{C,int}(\tau) + \Phi_{C,sol}(\tau) + \Phi_{C,tr}(\tau) + \Phi_{C,ve}(\tau)$$

$$\Phi_{C,nd}(\tau) = \Phi_{C,tr}(\tau) + \Phi_{C,ve}(\tau) + \Phi_{C,sol}(\tau) + \Phi_{C,ill}(\tau) + \Phi_{C,p}(\tau) + \Phi_{C,app}(\tau)$$

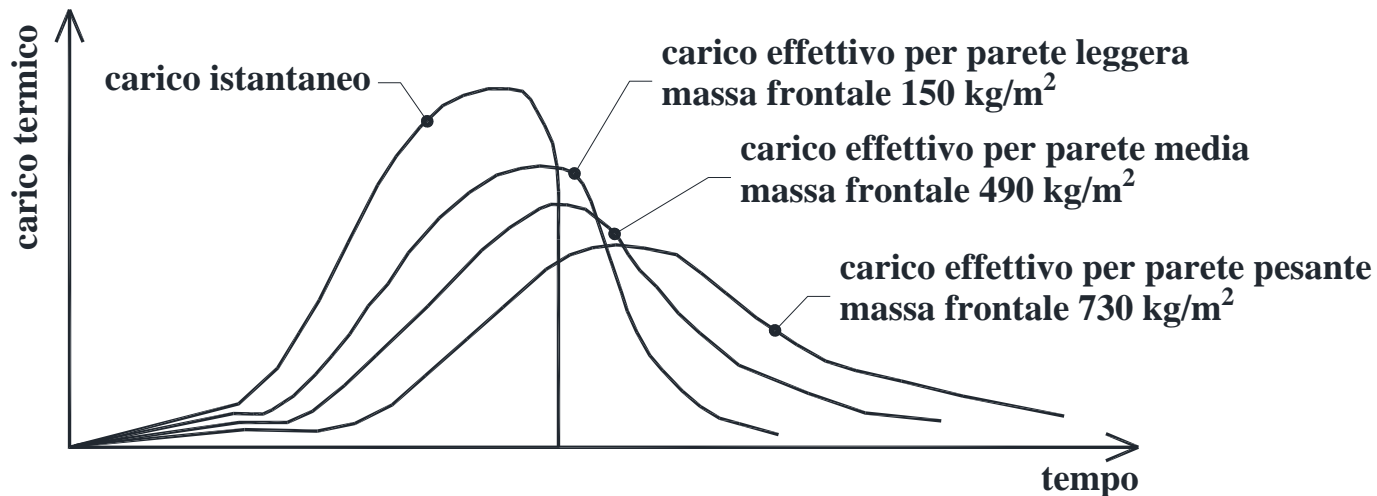
$$\Phi_{C,nd}(h) = \Phi_{C,tr}(h) + \Phi_{C,ve}(h) + \Phi_{C,sol}(h) + \Phi_{C,ill}(h) + \Phi_{C,p}(h) + \Phi_{C,app}(h)$$

- Illuminazione
- Persone
- Apparecchiature

- Intervalli orari di calcolo
- τ diventa h

Accumulo e trasmissione di calore - Parete opaca reale ¹⁴

- Parete con tanta inerzia: sensibile solo al valore medio dell'oscillazione
- Parete senza inerzia: segue l'andamento della temperatura esterna
- Pareti reali (comunemente impiegate in edilizia): comportamento intermedio
- Lo scambio di calore (interno/esterno) è funzione di un valore intermedio delle differenze di temperature fra i due casi limite esaminati



Il valore intermedio della differenza di temperatura (fra la temperatura fittizia al sole e quella ambiente) è la ***differenza di temperatura equivalente*** necessaria al calcolo del flusso termico attraverso la parete.

Dipende dall'inerzia termica della parete, dalle condizioni climatiche esterne, dall'irraggiamento solare, dalle proprietà radiative della parete e dal coefficiente di adduzione esterna.

Carico termico per trasmissione attraverso la porzione opaca dell'involucro edilizio

Per trattare la trasmissione del calore attraverso la porzione opaca dell'involucro edilizio, viene utilizzato il concetto delle *differenze di temperatura equivalenti* ΔT_{eq} , al fine di utilizzare le stesse semplici espressioni del regime stazionario

$$\Phi_{C,tr,o}(h) = \sum_{j=1}^d U_j \cdot A_j \cdot \Delta T_{eq,j}(h)$$

I valori delle differenze di temperature equivalenti sono tabellati:

- per pareti e coperture
- in funzione della massa frontale delle pareti, dell'ora del giorno e dell'esposizione della parete.

Si definisce *massa frontale* la grandezza:

$$m_f = \sum_{j=1}^n \rho_j \cdot s_j$$

Carico termico per trasmissione attraverso la porzione opaca dell'involucro edilizio

Esp.	$\frac{m_f}{\text{kg/m}^2}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	NE	100	-0,3	-1,4	-1,9	-2,5	-1,4	2,5	8,1	11,9	12,5	13,1	10,2	7,4	6,9	6,4	6,9	7,4	7,4	7,4	6,4	5,3	4,2	3	1,9
300		1,9	0,8	0,2	-0,3	-0,8	-0,8	-1,4	-1,4	2,5	13,1	11,9	10,8	8,1	5,3	5,8	6,4	6,9	7,4	6,9	6,4	5,8	5,3	4,2	3
500		3,6	3	3	2,5	2,5	1,9	1,3	1,9	1,9	1,9	5,3	8,5	8,1	7,4	6,4	5,3	5,8	6,4	6,4	6,4	5,8	5,3	4,7	4,2
700		4,7	4,7	4,2	3,6	3,6	2,5	2,5	3	3	3	3	3	5,3	7,4	8,5	7,4	6,4	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
E	100	-0,3	-0,8	-1,4	-1,9	-1,9	0,2	9,2	16,4	18,1	19,7	19,2	17,4	10,8	6,4	6,9	7,4	7,4	7,4	6,4	5,3	4,2	3	1,9	0,8
	300	1,9	1,3	0,2	0,2	-0,3	-0,8	-0,8	-0,3	11,3	16,4	16,9	16,9	10,2	7,4	6,9	6,4	6,9	7,4	6,9	6,4	5,8	5,3	4,2	2,5
	500	4,7	4,2	3,6	3,6	3	2,5	2,5	3	4,2	7,4	10,8	13,1	13,6	13,1	10,8	9,7	8,5	7,4	7,4	7,4	6,9	6,4	5,8	5,3
	700	6,9	6,9	6,4	6,4	6,4	5,8	5,3	5,3	4,7	4,2	4,7	5,3	8,1	9,7	10,2	9,7	9,2	8,5	7,4	6,4	6,9	7,4	7,4	7,4
SE	100	-0,3	-0,8	-0,8	-1,4	-1,4	5,3	3	6,9	10,2	14,1	14,7	15,2	14,1	13,1	10,2	8,5	8,1	7,4	6,4	5,3	4,2	3	1,9	0,8
	300	2,5	1,9	1,3	1,3	0,8	0,2	0,2	-0,3	6,9	10,8	13,1	15,2	14,1	13,6	11,3	9,7	8,1	7,4	6,9	6,4	5,8	5,3	4,2	3
	500	4,7	4,7	4,2	4,2	3,6	3,6	3,6	3	3	3	5,8	8,5	9,2	9,7	10,2	9,7	8,5	7,4	6,9	6,4	5,8	5,3	5,3	5,3
	700	5,8	5,8	5,3	5,3	4,7	4,7	4,2	4,2	4,2	4,2	3,6	3	5,8	7,4	8,1	8,5	9,7	8,5	8,1	7,4	6,9	6,4	6,4	6,4
S	100	0,2	0,2	-0,3	-0,3	-0,8	-0,8	-1,4	-2,5	0,2	1,9	7,4	11,9	14,7	16,4	15,2	14,1	10,8	8,5	6,4	5,3	3,6	3	1,3	0,8
	300	0,8	0,2	0,2	-0,3	-0,8	-0,8	-1,9	-2,5	-1,9	-1,4	3,6	6,4	10,8	13,1	13,6	14,1	12,5	10,8	8,1	6,4	5,3	4,2	3	1,9
	500	4,2	3,6	3	3	2,5	1,9	1,9	0,8	0,8	0,8	1,3	1,9	4,1	6,4	8,1	8,5	9,7	9,7	8,1	7,4	5,8	5,3	4,7	4,2
	700	5,3	4,7	4,7	4,2	3,6	3,6	3	3	2,5	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	3,6	5,3	6,9	7,4	8,1	8,5	8,5	7,4	6,4	5,3
SW	100	0,2	0,2	-0,3	-0,8	-0,8	-1,4	-2,5	-2,5	-1,4	-0,3	1,9	3	10,2	14,1	18,6	21,9	22,5	23,1	16,4	13,1	6,4	3	1,9	0,8
	300	2,5	1,9	1,9	1,3	1,3	0,8	0,2	-0,3	-0,3	-0,3	0,2	0,8	4,2	6,4	13,1	17,5	19,2	19,7	19,2	18,6	10,8	5,3	3,6	3
	500	5,3	4,7	4,7	4,2	3,6	3,6	2,5	3	2,5	1,9	2,5	3	3,6	4,2	6,4	7,4	10,2	11,9	12,5	13,1	12,5	11,9	8,1	5,3
	700	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	3,6	3	3	3	3,6	4,2	4,7	5,3	8,1	9,7	10,2	10,8	6,9	4,2
W	100	0,2	-0,3	-0,3	-0,8	-0,8	-1,4	-1,9	-2,5	-1,4	-0,3	1,3	3	7,4	10,8	17,5	21,9	24,7	26,3	18,6	11,9	7,4	4,2	2,5	0,8
	300	2,5	1,9	1,3	1,3	0,8	0,8	0,2	-0,3	-0,3	-0,3	0,8	1,9	3,6	5,3	10,2	14,1	18,6	21,9	22,5	19,7	15,2	8,5	5,3	3
	500	6,4	5,8	5,3	4,7	4,2	3,6	3,6	3	3	3	3	3	3,6	4,2	5,3	6,4	9,2	10,8	13,6	15,2	14,7	14,1	10,2	7,4
	700	10,8	9,7	8,5	8,1	6,9	6,4	5,8	5,3	4,7	4,2	4,2	4,2	4,7	5,3	5,3	5,3	5,8	6,4	7,4	8,5	11,3	11,9	12,5	11,9
NW	100	-0,3	-0,8	-0,8	-1,4	-1,4	-1,9	-2,5	-2,5	-1,4	-0,3	1,3	3	5,3	6,4	10,2	13,1	18,1	21,9	20,3	18,6	9,7	3	1,9	0,8
	300	1,9	1,3	0,2	-0,3	-0,8	-1,4	-1,9	-2,5	-1,9	-1,4	-0,3	0,8	3	4,2	5,3	6,4	11,3	16,4	16,9	17,5	11,3	6,4	4,2	3
	500	3,6	3,6	3	3	2,5	2,5	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,5	3	4,7	6,4	9,1	10,8	11,3	11,9	7,4	4,2
	700	8,5	6,9	5,8	5,3	4,7	4,2	3,6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,6	4,2	4,7	5,3	7,4	9,7	10,2	10,8
N oppure in ombra	100	-0,3	-0,8	-0,8	-1,4	-1,4	-1,9	-1,9	-2,5	-1,9	-1,4	0,2	1,9	4,2	5,3	6,4	7,4	6,9	6,4	5,3	4,2	3	1,9	0,8	-0,3
	300	0,8	0,2	-0,3	-0,8	-1,4	-1,9	-1,9	-2,5	-1,9	-1,4	-0,8	-0,3	1,3	3	4,2	5,3	5,8	6,4	6,4	6,4	5,3	4,2	3	1,9
	500	1,3	1,3	0,8	0,8	0,2	0,2	0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	0,2	0,8	1,3	1,9	2,5	2,5	2,5	4,2	3,6	3	2,5	1,9
	700	1,9	1,3	0,8	0,8	0,2	0,2	0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	0,2	0,8	1,3	1,9	2,5	3	3,6	4,2	3,6	3

Carico termico per trasmissione attraverso la porzione trasparente dell'involucro edilizio

- **Porzione trasparente:** venendo meno gli effetti di inerzia ed essendo decisamente più rilevante il contributo della radiazione solare, si preferisce considerare separatamente il carico termico per trasmissione (qui di seguito) ed il carico termico dovuto alla radiazione solare (altro termine separato)
- **Massa frontale bassa e effetti di inerzia termica estremamente limitati**
- Le pareti vetrate hanno un comportamento molto simile a quello delle pareti senza inerzia: seguono fedelmente la sollecitazione esterna ed il flusso termico dipende dalla differenza istantanea fra la temperatura esterna e interna (ΔT_{eff} , detta anche differenza di temperatura effettiva).

$$\Phi_{C, \text{tr}, v}(h) = \sum_{j=1}^n U_j \cdot A_j \cdot [T_e(h) - T_i] = \sum_{j=1}^n U_j \cdot A_j \cdot \Delta T_{\text{eff}}(h)$$

$$T_e(h) = T_{\text{max}} - F(h) \cdot \Delta T_{\text{max}}$$

- T_{max} è la temperatura massima giornaliera dell'aria esterna;
- ΔT_{max} è l'escursione giornaliera massima della temperatura dell'aria esterna;
- $F(h)$ è il fattore di distribuzione della temperatura
- UNI 10349 riporta i dati climatici

Carico termico estivo dovuto alle infiltrazioni o alla ventilazione ¹⁸

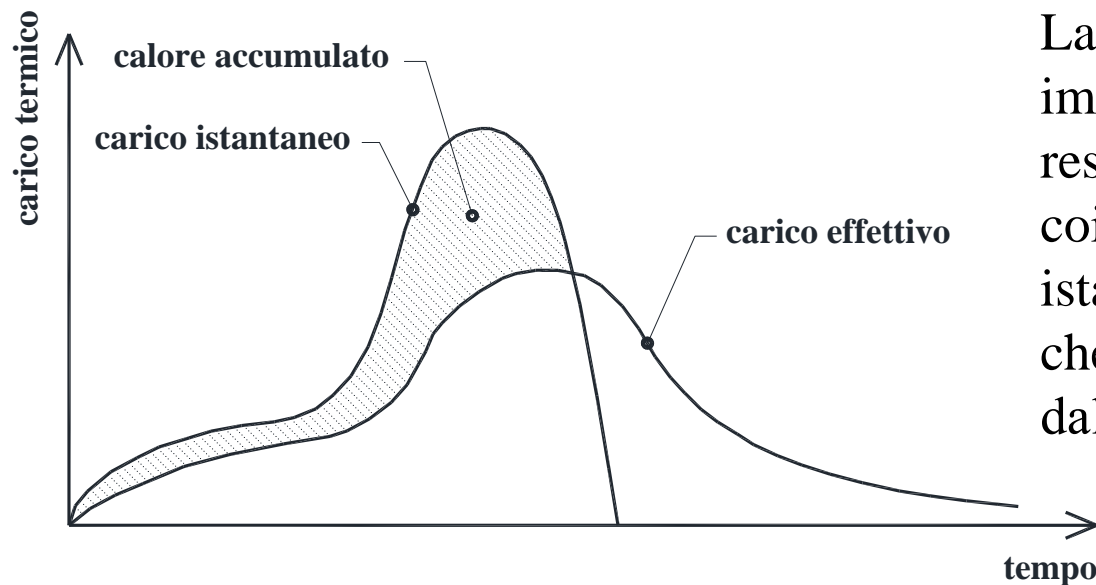
- Formulazione analoga a quella vista per la stagione invernale, adattata alla stagione estiva, che prevede un calcolo orario

$$\Phi_{C,ve}(h) = G_{inf} \cdot c_a \cdot [T_e(h) - T_i] = G_{inf} \cdot c_a \cdot \Delta T_{eff}(h)$$

- Rispetto all'inverno, merita un approfondimento il confronto tra sistemi di ventilazione (naturale o meccanica), limitatamente agli aspetti energetici, rimanendo valide le considerazioni sviluppate in merito all'efficacia
 1. In estate la differenza tra la temperatura dell'aria esterna e quella dell'aria interna è più contenuta; diminuisce, quindi, il periodo di convenienza della ventilazione meccanica con recupero rispetto alla ventilazione naturale
 2. Di notte la temperatura esterna è minore della temperatura interna: momento ottimale per la ventilazione naturale o meccanica degli ambienti, con una doppia utilità, sia per la diluizione degli inquinanti sia per il raffrescamento dell'edificio (***free cooling notturno***). Questa opportunità, in genere, non viene colta, coincidendo con il periodo di non occupazione di molti edifici: ciò costituisce spesso un grossolano errore nella gestione energetica dell'edificio.

Carico termico per radiazione solare attraverso la porzione trasparente dell'involucro edilizio ¹⁹

- Contributo molto importante
- In molti casi il maggiore dei contributi al carico termico estivo
- La radiazione entra attraverso le superfici trasparenti, viene assorbita dalle pareti dell'ambiente, con incremento della temperatura delle pareti stesse
- Quando la temperatura delle pareti supera quella dell'aria ambiente, una parte del calore assorbito viene trasferito all'aria ambiente



La capacità dell'ambiente di immagazzinare il calore è responsabile della mancata coincidenza tra l'apporto di calore istantaneo e il carico termico reale che deve essere compensato dall'impianto di raffrescamento.

Carico termico per radiazione solare attraverso la porzione trasparente dell'involucro edilizio ²⁰

Effetti di inerzia (dell'ambiente e non della parete) considerati attraverso un fattore di accumulo f'_b , funzione dell'esposizione della superficie trasparente, della presenza di schermi, della massa media dell'ambiente e del regime di funzionamento dell'impianto

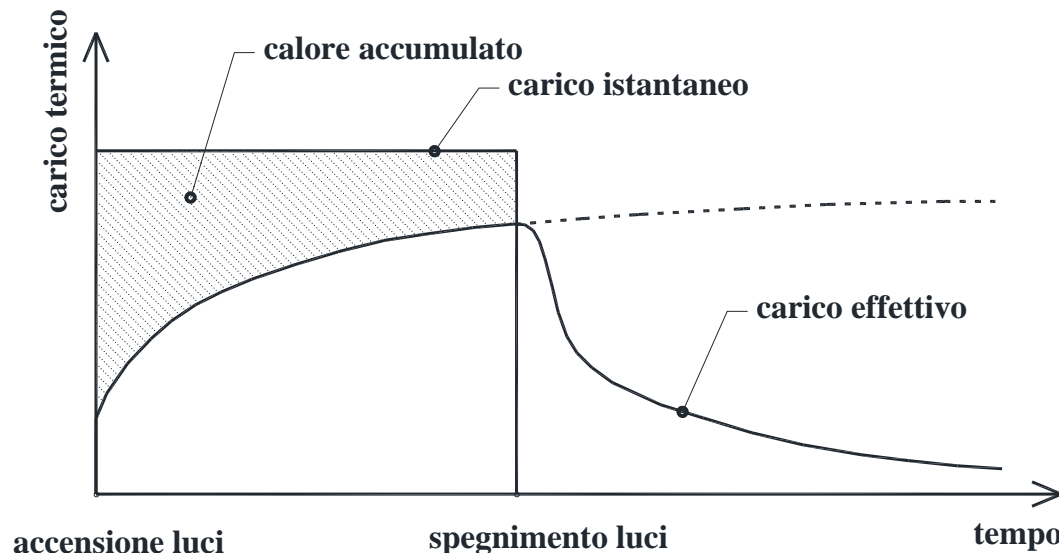
$$\Phi_{C,sol}(h) = \sum_{j=1}^f [\Phi_{C,sol,max} \cdot f'_b(h)]_j$$

$$\Phi_{C,sol,max} = I_{sol,max} \cdot A_V \cdot C_S \cdot f_h \cdot f_V$$

- $I_{sol,max}$ è la radiazione specifica massima trasmessa dal vetro semplice di riferimento, in funzione dell'esposizione, della latitudine e del mese;
- A_V è la superficie della finestra considerata;
- C_S è il *coefficiente di shading* del vetro considerato;
- f_h è un coefficiente che tiene conto del tipo di telaio;
- f_V è la frazione di finestra che risulta soleggiata.

Carico termico estivo per illuminazione artificiale

- Le considerazioni effettuate a proposito del carico termico per radiazione solare rimangono valide anche per la valutazione del carico termico connesso all'illuminazione artificiale degli ambienti.
- Il meccanismo di scambio termico è il medesimo e sono gli stessi parametri ad influenzare lo sfasamento tra il carico istantaneo prodotto dalle lampade ed il carico termico, **con qualche piccola differenza.**



Carico termico estivo per illuminazione artificiale

Il fattore di accumulo dipende dalla massa media delle strutture, dal tipo di corpi illuminanti e dall'orario di accensione

Lampade	m_m [kg/m ²]	Numero di ore dal momento dell'accensione											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Fluorescenti esposte	730	0,63	0,9	0,91	0,93	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,37
	490	0,57	0,89	0,91	0,92	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,36
	150	0,42	0,86	0,91	0,93	0,95	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,26
Fluorescenti incassate, Incandescenti esposte	730	0,69	0,86	0,89	0,9	0,91	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,50
	490	0,58	0,85	0,88	0,88	0,9	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,95	0,48
	150	0,4	0,81	0,88	0,91	0,93	0,96	0,97	0,97	0,98	0,99	0,99	0,35
Incandescenti o fluorescenti con estrazione	730	0,75	0,79	0,83	0,84	0,86	0,88	0,89	0,91	0,91	0,93	0,93	0,75
	490	0,68	0,77	0,81	0,84	0,86	0,88	0,89	0,89	0,92	0,93	0,93	0,72
	150	0,34	0,72	0,82	0,87	0,89	0,92	0,95	0,95	0,97	0,98	0,98	0,52

$$\Phi_{C,ill}(h) = \sum_{j=1}^L [\Phi_{C,ill,max} \cdot f''_b(h)]_j$$

Destinazione del locale o attività svolta	Livello di illuminamento [lux]	Potenza elettrica installata [W/m ²]	
		Lampade a incandescenza	Lampade fluorescenti
Depositi, corridoi, zone di sosta temporanea	100	20÷25	4÷8
Lavorazioni grossolane a mano	300	60÷75	10÷20
Lavorazioni su macchine utensili, laboratori	500	100÷200	12÷24
Uffici, sale disegno, supermercati, lavori di precisione	750	-	15÷30
Lavori di precisione, esame dei colori, meccanica fine	1000	-	20÷40
Lavori di estreme precisione	1500	-	30÷60
Attività particolari (interventi operatori, ecc.)	2000	-	40÷80

Legame doppio degli impianti di illuminazione con i consumi energetici dell'edificio: una lampada accesa genera consumi **direttamente** per il suo funzionamento e **indirettamente** per il raffrescamento degli ambienti.

Carichi termici estivi per sorgenti interne diverse²⁴ dall'illuminazione artificiale

- Sorgenti interne diverse dall'illuminazione: tutte quelle sorgenti interne all'edificio che trasmettono calore all'ambiente **prevalentemente per convezione**.
- Apparecchiature e delle persone
- Calcolo estremamente semplice: sommatoria delle potenze delle diverse sorgenti.

$$\Phi_{C,app}(h) = \sum_{k=1}^{app} \Phi_{C,app,k}(h)$$

$$\Phi_{C,p}(h) = \sum_{j=1}^p \Phi_{C,p,j}(h)$$

Legame doppio delle apparecchiature con i consumi energetici dell'edificio: un'apparecchiatura accesa genera consumi **direttamente** per il suo funzionamento e **indirettamente** per il raffrescamento degli ambienti.

Carichi termici estivi per sorgenti interne diverse ²⁵ dall'illuminazione artificiale

	totale	sensibile	latente
Macchine del caffè da ufficio (grande)	1500	1000	500
Macchine del caffè da ufficio (piccola)	750	500	250
Lavastoviglie (per 100 piatti all'ora)	400	350	50
Riscaldatore a immersione (per litro)	50	40	10
Riscaldatore (per chilogrammo all'ora di cibo)	200	190	10
Carrello servizio cibi caldi (per litro)	50	45	5
Friggitrice (per chilogrammo olio)	1500	1400	100
Banco surgelati aperto, ad un piano (per metro di banco)			-40
Banco surgelati aperto, a due piani (per metro di banco)			-150
Banco gelati aperto (per metro di banco)			-70
Banco carni aperto, ad un piano (per metro di banco)			-70
Banco latticini aperto, a più piani (per metro di banco)			-200

Tipo di attività	Potenza totale	T=20°C		T=24°C		T=26°C		T=28°C	
		sens.	lat.	sens.	lat.	sens.	lat.	sens.	lat.
Seduti a riposo	105	75	30	70	35	65	40	55	50
Lavoro leggero (uffici)	130	80	50	70	60	65	65	55	75
Persone in piedi (centro commerciale)	145	85	60	75	70	65	80	55	90
Lavoro leggero (industrie)	220	105	115	85	135	70	150	60	160
Camminare (5 km/h)	290	135	155	110	180	105	185	80	210
Ballare moderatamente	250	115	135	100	150	80	170	65	185
Lavoro pesante (industrie)	430	180	250	150	280	145	285	135	295

Per persone di sesso maschile moltiplicare per 1,07 - Per persone di sesso femminile dividere per 1,07

Carichi latenti

- *Carico latente: potenza termica (sotto forma di vapore) che l'edificio, in precisate condizioni, solitamente indicate come condizioni di progetto, riceve dall'ambiente esterno (carico latente esogeno) e dalle sorgenti di calore interne (carichi latenti endogeni).*
- Serve a dimensionare un sistema impiantistico (di trattamento aria, di umidificazione o di deumidificazione), per controllare l'umidità relativa
- Meno importanti dei carichi sensibili, sia con riferimento al comfort sia con riferimento alle problematiche impiantistiche.

$$\Phi_L(h) = \Phi_{L,ve}(h) + \Phi_{L,p}(h) + \Phi_{L,app}(h)$$

- infiltrazioni d'aria o ventilazione ($\Phi_{L,ve}$)
- persone ($\Phi_{L,p}$)
- particolari apparecchiature ($\Phi_{L,app}$).

- Calcolo da eseguire sia per la stagione invernale, sia per la stagione estiva, con dati congruenti.
- Convenzione dei segni identica per la stagione invernale e per la stagione estiva: sono positivi i carichi latenti quando si ha un apporto positivo di vapore per l'ambiente interno.

Carichi latenti

$$\Phi_{L,ve}(h) = G_{inf} \cdot r \cdot [x_e(h) - x_i]$$

- Non esistono valori normati con dettaglio orario per l'umidità specifica; si hanno unicamente i valori medi mensili (UNI 10349) e il valore di progetto estivo (UNI 10339).
- Il calcolo può essere effettuato con riferimento al valore medio mensile per la stagione invernale e alla condizione più gravosa per la stagione estiva.
- Per ambienti pressurizzati il carico è nullo.

$$\Phi_{L,p}(h) = \sum_{j=1}^p \Phi_{L,p,j}(h)$$

- Persone: tabelle o grafici con la potenza in funzione dell'attività

$$\Phi_{L,p,app}(h) = \sum_{k=1}^{app} \Phi_{L,app,k}(h)$$

- Apparecchiature: tabelle con la potenza