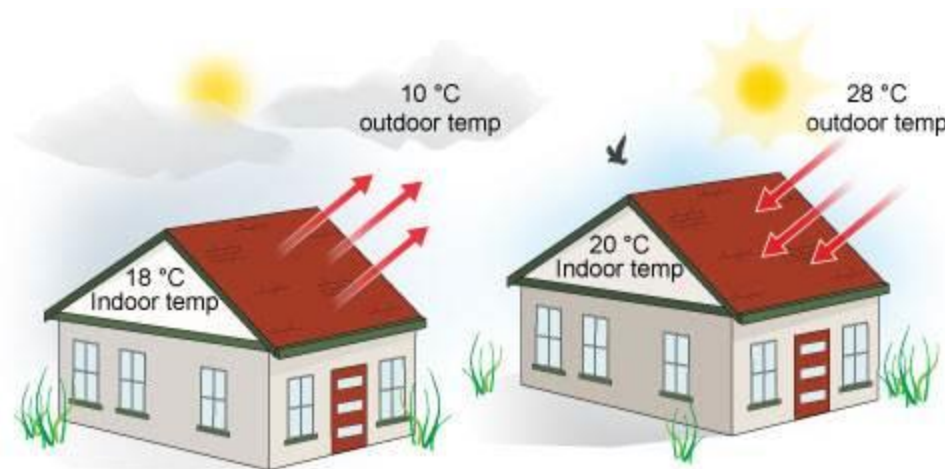


Il calcolo del carico termico, estivo ed invernale, degli edifici



CARICHI TERMICI INVERNALI ED ESTIVI:
CENNI INTRODUTTIVI

Il calcolo dei **carichi termici**, in entrambe le stagioni, è operazione necessaria per un corretto **dimensionamento degli impianti**, così come per comprendere le maggiori **criticità** (ad esempio, poco isolamento termico, elevate trasparenze) che riguardano il **tipo di edificio e sua modalità di utilizzo**.

Il carico termico è solitamente suddiviso, in entrambe le stagioni invernale ed estiva, nei due **differenti contributi**, legati al tipo di perturbazione indotta:

- **Carico termico sensibile (Q_S)**: è associato ad una differenza di temperatura tra ambiente esterno ed interno.
 - **Carico termico latente (Q_L)**: è associato ad una differenza di umidità tra ambiente esterno ed interno.
-

*Il carico termico totale (Q_T), in ciascuna stagione, è dato dalla **somma algebrica** del carico termico sensibile (Q_S) e latente (Q_L).*

CARICHI TERMICI INVERNALI ED ESTIVI:
CENNI INTRODUTTIVI

Il carico termico **sensibile**, come detto, è associato a differenze di temperatura. Pertanto, esso è indotto dalle interazioni energetiche con l'ambiente esterno, dovute alla trasmissione del calore **attraverso l'involucro** e **all'infiltrazione di aria**, così come anche alla **radiazione solare**, alla **presenza di persone**, alla presenza di **fonti di calore endogene**.

Il carico termico **latente**, invece, è solitamente indotto dalla **presenza di persone** e dalla **umidità associata ad aria** che si infiltra attraverso l'involucro edilizio e/o in ingresso/uscita dagli ambienti a causa della apertura saltuaria di porte e finestre.

Nel seguito:

- *Per il regime invernale, **non** si considererà il carico latente. Questo, infatti, a differenza di quello sensibile (uscente), è “**entrante**” in ambiente. Pertanto, Q_L aiuta l'impianto di climatizzazione nell'operazione di umidificazione. In via precauzionale, volendo mantenere le desiderate condizioni di umidità anche in assenza di fonti endogene, è pertanto trascurato. **Consegue che $Q_T = Q_S$.***
- *In estate, dovendo gli impianti (se predisposti per tale funzione) “deumidificare”, sarà necessario considerare invece Q_L . Con riferimento al regime estivo, Q_S e Q_L sono entrambi positivi (entranti). **Consegue che $Q_T = Q_S + Q_L$.***

Carico termico invernale

Nella stagione invernale, il carico termico è valutato sia per individuare particolari **criticità** dell'involucro edilizio sia e soprattutto **per dimensionare gli impianti di riscaldamento e climatizzazione**.

Il carico termico è valutato in **condizioni di progetto**, lasciando poi al **sistema di regolazione** il compito di adeguare la fornitura energetica alla variabilità della richiesta (dispersioni).

Il carico termico è l'espressione **quantitativa** dei fenomeni che tendono a far variare la condizioni ambientali volute. Storicamente, si valuta, per il regime invernale, mediante la Norma **UNI 7357/1974** – “**Calcolo del fabbisogno di potenza termica dell' edificio per riscaldamento invernale**”.

Quindi bisogna prima di tutto valutare il problema e **cioè determinare i carichi di picco**, poi dimensionare l'impianto e infine valutare i consumi energetici connessi al funzionamento dell'impianto stesso.

Come detto, **per il regime invernale**, si calcolerà solo Q_s , a scopo precauzionale.

IL CARICO TERMICO INVERNALE

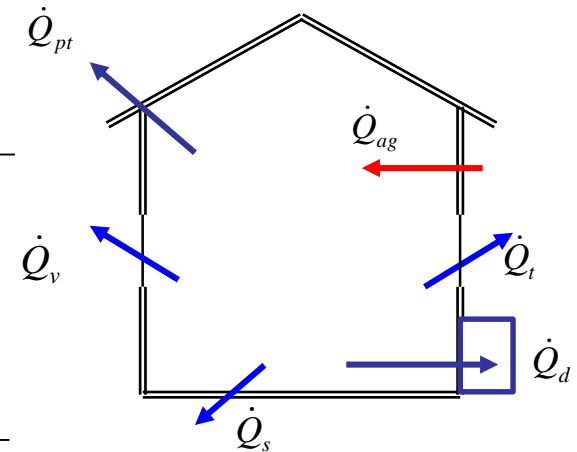
Sebbene il carico termico invernale debba necessariamente essere calcolato al fine di dimensionare l'impianto termico, generalmente la taglia dell'impianto dovrà essere comunque adeguata a bilanciare, **oltre al carico termico dell'edificio, anche tutte le altre dispersioni e inefficienze connesse ai vari sottosistemi impiantistici. Pertanto, la potenza della caldaia sarà comunque più alta del valore del carico termico invernale totale.**

Il carico termico invernale **sensibile** di un edificio viene determinato valutando la somma delle seguenti potenze termiche:

$$\dot{Q}_{Tot} = \dot{Q}_t + \dot{Q}_{pt} + \dot{Q}_v + \dot{Q}_d + \dot{Q}_s \quad [W]$$

\dot{Q}_{ag}

Talora, è presente un termine **che si può sottrarre, connesso agli apporti gratuiti** che in inverno sono dati dalle dissipazioni termiche interne all'edificio (**persone, apparecchiature elettriche, energia radiativa esterna, ...**).



Gli apporti gratuiti, solari ed endogeni, sono importanti nella stima della richiesta energetica stagionale di un edificio, mentre, in fase di dimensionamento degli impianti di condizionamento/riscaldamento e quindi di calcolo del carico termico, è opportuno trascurarli in un'ottica precauzionale.

IL CARICO TERMICO INVERNALE

Il carico termico invernale, in condizioni cautelative, si calcola considerando assenza di contributi favorevoli (tra cui la radiazione solare), ipotizzando una temperatura dell'aria esterna “**convenzionale**”, stabilita dalla legge, e diversificata in funzione della singola città/comune, come illustrato **D.P.R. 1052/1977**.

Torino	-8 °C	Foggia	0 °C
Milano	-5 °C	Genova	0 °C
Venezia	-5 °C	Matera	-2 °C
Bologna	-5 °C	Novara	-5 °C
Firenze	0 °C	Perugia	-2 °C
Roma	0 °C	Potenza	-3 °C
Napoli	+2 °C	Sondrio	-10 °C
Bari	0 °C	Salerno	+2 °C
Reggio Calabria	+3 °C	Catania	+5 °C

Nota che tali temperature non sono le più “**fredde**” in assoluto, ma considerate statisticamente idonee ad evitare eccessivi sovradimensionamenti (**D.P.R. 1052/1977**).

Per quanto riguarda la Temperatura interna, salvo indicazioni diversa questa si pone uguale a 20 °C (D.P.R. 412/1993).



IL CARICO TERMICO INVERNALE

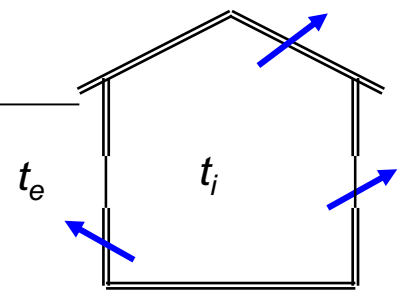
Con riferimento ai singoli contributi in precedenza mostrati, segue loro dettaglio.

\dot{Q}_t è la potenza termica in uscita attraverso le superfici dell'involucro (**opache e trasparenti**)

$$\dot{Q}_t = \sum_{i=1}^n \dot{Q}_i$$
$$\dot{Q}_i = \gamma_i \cdot U_i \cdot A_i \cdot (t_i - t_e) = \gamma_i \cdot \frac{A_i (t_i - t_e)}{R_i}$$

Per ogni superficie i , la potenza termica in uscita può essere calcolata, in condizioni di regime stazionario, attraverso la relazione:

- I vari parametri rappresentano:
- $A_i [m^2]$ area della superficie di scambio
 - $\gamma_i [-]$ maggiorazione per esposizione
 - $U_i [W/m^2K]$ coefficiente globale di scambio o **trasmittanza**
 - $t_i, t_e [^{\circ}C]$ temperatura dell'aria interna ed esterna



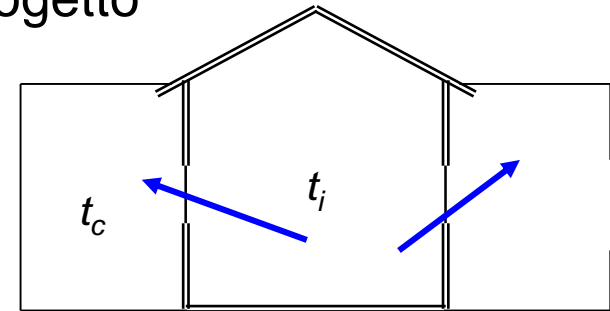
Valori di gamma da UNI 7357

S	SO	O	NO	N	NE	E	SE
1	1.02÷1.05	1.05÷1.10	1.10÷1.15	1.15÷1.20	1.15÷1.20	1.10÷1.15	1.05÷1.10

IL CARICO TERMICO INVERNALE

\dot{Q}_d potenza termica dispersa verso locali non condizionati o a temperatura fissa diversa da quella di progetto

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



dove:

A [m^2] area di una generica superficie di scambio

U [W/m^2K] coefficiente globale di scambio o *trasmissione*

t_i, t_c [$^{\circ}C$] temperatura interna e dell'ambiente non condizionato

La temperatura della zona non riscaldata è ricavabile dal **par.5.2.1.2** della UNI 7357. Valori tipici di t_c sono riportati nella tabella alla slide successiva.



IL CARICO TERMICO INVERNALE

Tabella C: valori della temperatura di locali non riscaldati (UNI 7357)

Destinazione d'uso dell'ambiente esaminato	Temp. °C	Correzioni da apportare	
		Se ti è diversa da 20 °C	Se te è diversa da -5 °C
Cantine con serramenti aperti	-2	(ti - 20)x 0.1	(te + 5)x 0.9
Cantine con serramenti chiusi	5	(ti - 20)x 0.4	(te + 5)x 0.6
Sottotetti non plafonati con tegole non sigillate	Temp. Est.		
Sottotetti non plafonati con tegole ben sigillate	-2	(ti - 20)x 0.1	(te + 5)x 0.9
Locali con tre pareti esterne di cui una con finestra o con due pareti esterne entrambe con finestre	5	(ti - 20)x 0.4	(te + 5)x 0.6
Locali con tre pareti esterne senza finestre	7	(ti - 20)x 0.5	(te + 5)x 0.5
Locali con due pareti esterne senza finestre	10	(ti - 20)x 0.6	(te + 5)x 0.4
Locali con una parete esterna provvista di finestre	10	(ti - 20)x 0.6	(te + 5)x 0.4
Appartamenti vicini non riscaldati:			
•Sottotetto	2	(ti - 20)x 0.3	(ti + 5)x 0.7
•Ai piani intermedi	7	(ti - 20)x 0.5	(ti + 5)x 0.5
•Al piano più basso	5	(ti - 20)x 0.4	(ti + 5)x 0.6
Gabbie scala con parete esterna e finestre ad ogni piano-porta di ingresso al piano terra chiusa:	2	(ti - 20)x 0.3	(ti + 5)x 0.7
•Al piano terra	7	(ti - 20)x 0.5	(ti + 5)x 0.5
•Ai piani sovrastanti			
Gabbie scala con parete esterna e finestre ad ogni piano-porta di ingresso al piano terra aperta:	-2	(ti - 20)x 0.5	(ti + 5)x 0.9
•Al piano terra	2	(ti - 20)x 0.3	(ti + 5)x 0.7
•Ai piani sovrastanti			

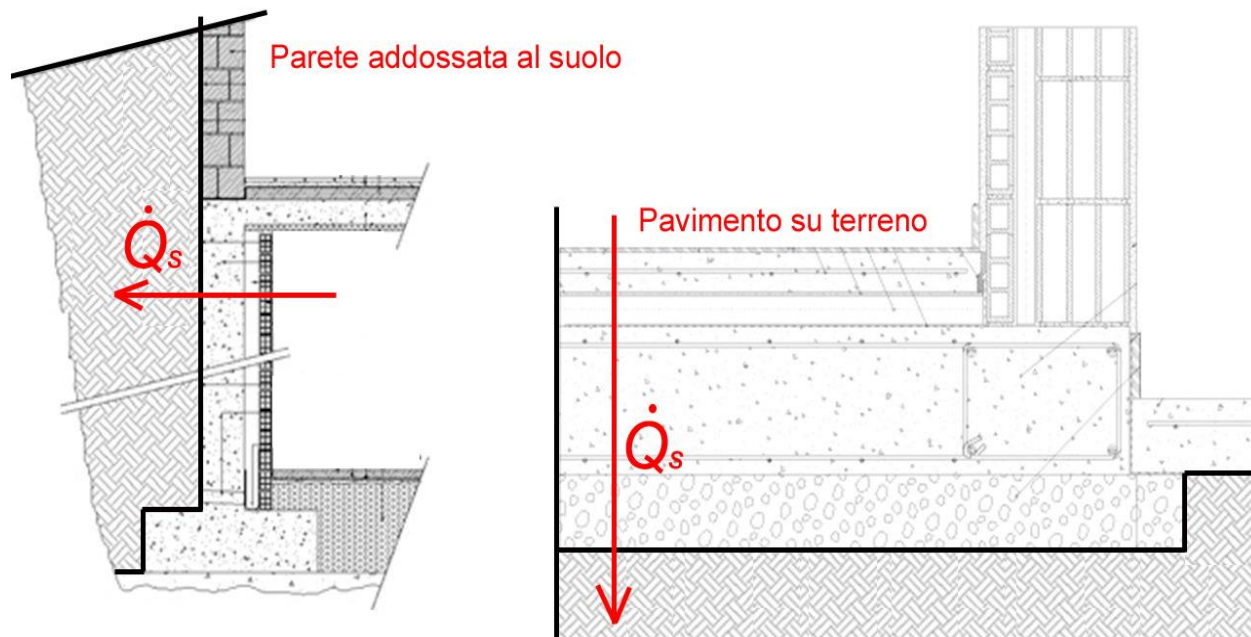
Esempio: valutazione della temperatura di una cantina con serramenti chiusi a Napoli (t_e = 2 °C), nel caso in cui i locali riscaldati abbiano temperatura di 21 °C.

Risoluzione: $T_u = 5 + (21 - 20) \times 0.4 + (2 + 5) \times 0.6 = 5 + 0.4 + 4.2 = 9.6 \text{ °C}.$

IL CARICO TERMICO INVERNALE

\dot{Q}_s potenza termica in uscita attraverso solai a terra e/o attraverso pareti addossate al terreno.

Secondo la **UNI 7357** (oggi, a rigore, sarebbe da applicarsi la **UNI 12831**), la potenza dispersa verso il terreno è calcolata **in modo differente**, a seconda che si tratti di pareti addossate al suolo o pavimenti poggiati su terreno.



*Tale potenza termica trasferita è **uscente** sia in inverno che in estate, essendo il **terreno sempre più fresco dell'interno delle abitazioni.***

*Pertanto, si tratta di un **contributo sfavorevole in inverno, favorevole in estate!!!***

IL CARICO TERMICO INVERNALE

Pareti addossate al terreno

La potenza termica dispersa per trasmissione attraverso ciascuna parete è proporzionale alla differenza tra le temperature di progetto interna ed esterna, secondo la relazione

$$\dot{Q}_s = U_1 \cdot A \cdot (t_i - t_e)$$

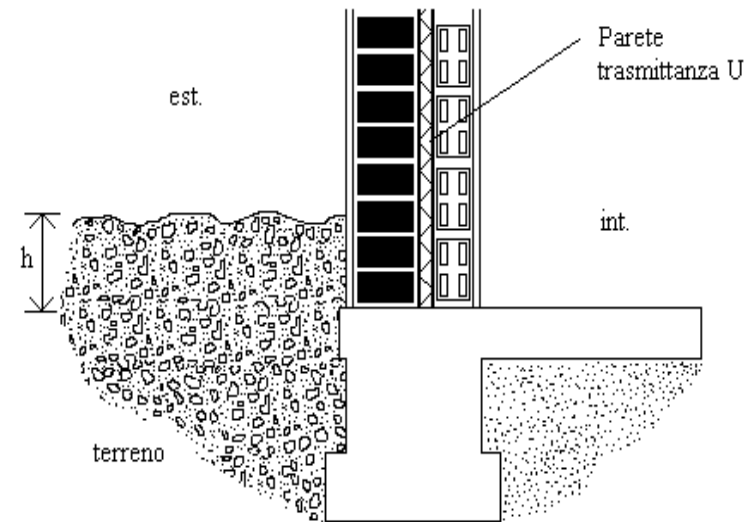
dove:

A è l'area della parte interrata e U_1 è una trasmittanza fittizia, calcolata

come
$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{U} + \frac{h}{\lambda'}}$$

In cui:

- U è la trasmittanza termica unitaria della parete [$\text{W/m}^2\text{K}$]
- h è la profondità della parte interrata [m]
- λ' è la conduttività del terreno umido, posta pari a circa 2.9 [W/mK]



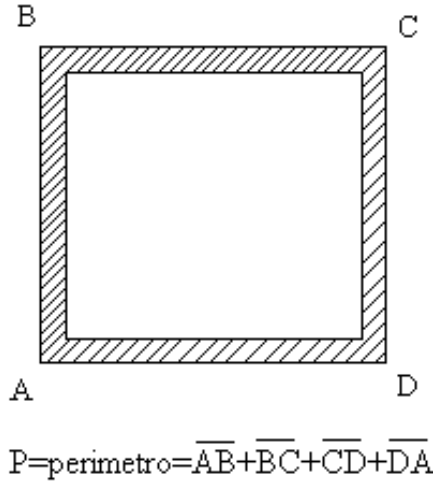
IL CARICO TERMICO INVERNALE

Pavimenti posati sul terreno

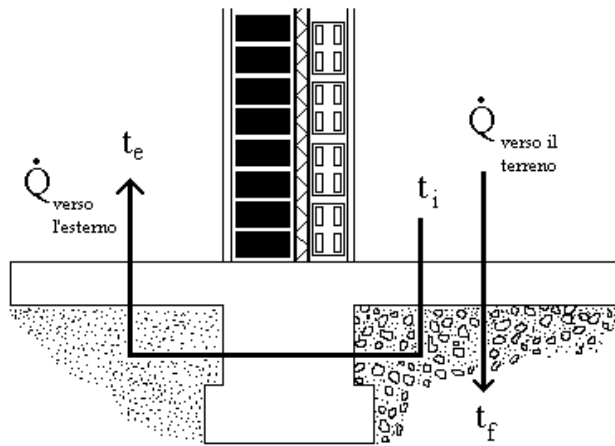
La potenza termica dispersa per trasmissione attraverso pavimenti posati sul terreno è **somma di due aliquote**:

- una verso l'ambiente esterno (\dot{Q}_{s-1}),
- l'altra verso il sottosuolo (\dot{Q}_{s-2})

$$\dot{Q}_s = \dot{Q}_{s-1} + \dot{Q}_{s-2}$$



Perimetro dei muri verticali esterni di un locale



Dispersione termica, 2 aliquote


IL CARICO TERMICO INVERNALE

La **potenza termica dispersa verso l'ambiente esterno** (Q_{s-1}) è proporzionale alla differenza di temperatura ($t_i - t_e$) ed **interessa una striscia di pavimento adiacente ai muri esterni** (se il pavimento è alla quota del terreno circostante), o ai muri interrati (se si tratta del pavimento di un locale parzialmente o totalmente interrato).

Detta “P” la lunghezza in metri dei suddetti muri, misurata all'interno del locale, la potenza termica dispersa verso l'ambiente esterno vale:

$$\dot{Q}_{s-1} = P \cdot (2 - h) \cdot U_1 \cdot (t_i - t_e)$$

in cui “h” è la profondità del pavimento rispetto al terreno circostante [m] e U_1 è la trasmittanza termica unitaria **fittizia** valutata come:


$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{U} + \frac{2}{\lambda'}}$$

Nell'ultima equazione chiamata:

- U è la trasmittanza termica unitaria del pavimento [W/m²K]
- λ' è la conduttività del terreno umido, posta pari a circa [2.9 W/mK]

IL CARICO TERMICO INVERNALE

La seconda aliquota, e quindi la potenza termica dispersa dal pavimento verso il sottosuolo (Q_{s-2}) è proporzionale alla differenza tra temperatura t_i **della zona riscaldata e la temperatura dell'acqua delle falde superficiali ($10\div 15\text{ }^{\circ}\text{C}$)**.

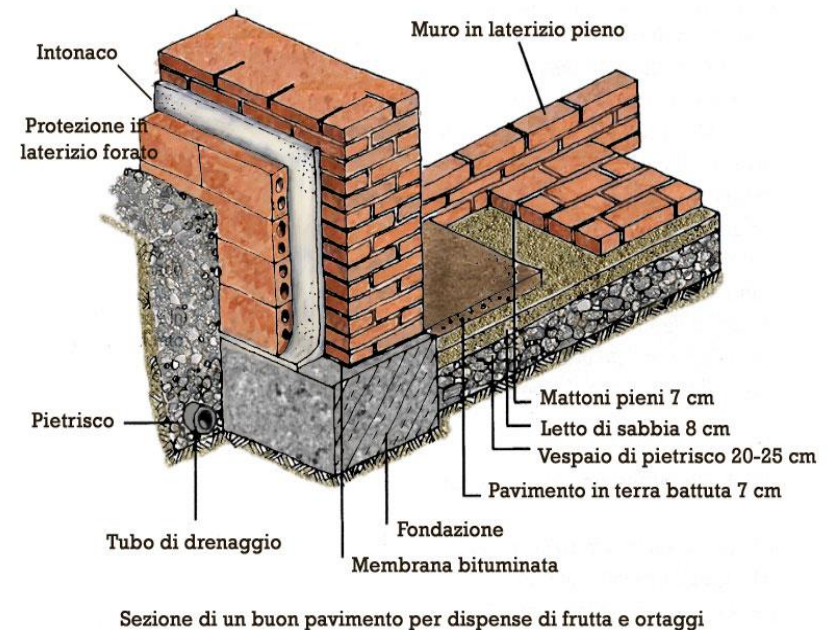
La superficie interessata è in questo caso l'intera superficie del pavimento, quale che sia la sua quota rispetto al terreno circostante.

$$\dot{Q}_{s-2} = U_1 \cdot A_{pav} \cdot (t_i - t_{terreno})$$

Detta U la trasmittanza termica unitaria del pavimento e **C la conduttanza termica unitaria del terreno**, si usa la seguente **trasmittanza termica unitaria fittizia U_1** :

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{U} + \frac{1}{C}}$$

In condizioni di regime stazionario un valore usuale di C è compreso tra 1.2 e 2.3 $\text{W/m}^2\text{K}$.



IL CARICO TERMICO INVERNALE

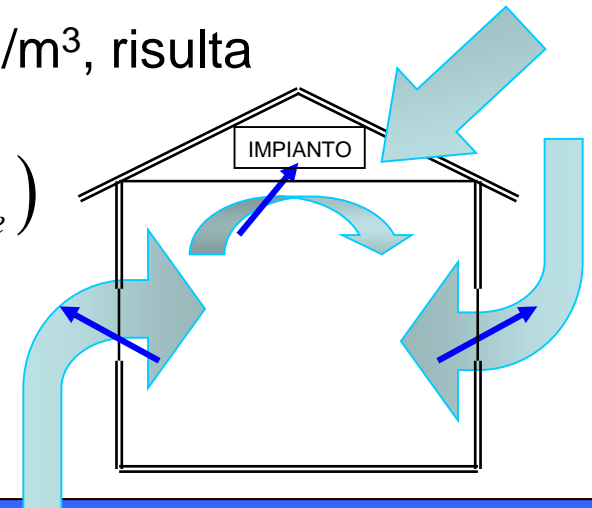
\dot{Q}_v potenza termica dispersa per infiltrazioni d'aria esterna o ricambi d'aria gestiti dall'impianto.

Ipotizzando un comportamento di gas ideale per l'aria e trascurando il carico latente associato all'infiltrazione, risulta

$$\dot{Q}_v = \dot{m}_a \cdot c_p \cdot (t_i - t_e)$$

Ancora, considerando l'approssimazione secondo cui la densità dell'aria sia costante, e quindi $\rho_i = \rho_u = \rho$ = circa 1.225 kg/m³, risulta

$$\dot{Q}_v = \dot{V}_a \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_i - t_e) = V_a \cdot n \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_i - t_e)$$



IL CARICO TERMICO INVERNALE

ρ_a	$[kg/m^3]$	densità standard dell'aria esterna
\dot{m}_a	$[kg/s]$	portata massica di aria esterna
c_p	$[J/kgK]$	calore specifico dell'aria
\dot{V}_a	$[m^3/s]$	portata volumetrica di aria esterna
V_a	$[m^3]$	volume di aria esterna
n	$[h^{-1}]$	numero di ricambi di aria esterna riferiti al volume ambiente e all'unità di tempo

I numeri di ricambi aria dipendono:

- a) In maniera indesiderata e non controllata: dalla tenuta degli infissi e dalla permeabilità all'aria dei componenti di involucro.
- b) Quando voluti e/o necessari: dalla destinazione d'uso dell'immobile.

Per infissi a tenuta normale si hanno:

- a) per un ambiente domestico \rightarrow circa $0,5 \text{ Vol/h}$;
- b) per ambienti commerciali \rightarrow valori intorno a $1 \div 1,5 \text{ Vol/h}$

IL CARICO TERMICO INVERNALE

\dot{Q}_{pt} potenza termica dispersa attraverso i ponti termici

$$\dot{Q}_{pt} = \left[\left(\sum_{i=1}^n \Psi_{l,i} \cdot l \right) + \sum_{i=1}^m \chi_{pun,i} \right] \cdot (t_i - t_e)$$

dove:

PT LINEARE

PT PUNTUALE

$\Psi_{l,i}$ [W/mK]

trasmittanza termica lineica

l [m]

lunghezza del ponte termico lineico

χ [W/K]

trasmittanza puntuale del generico ponte termico

t_i, t_e [°C]

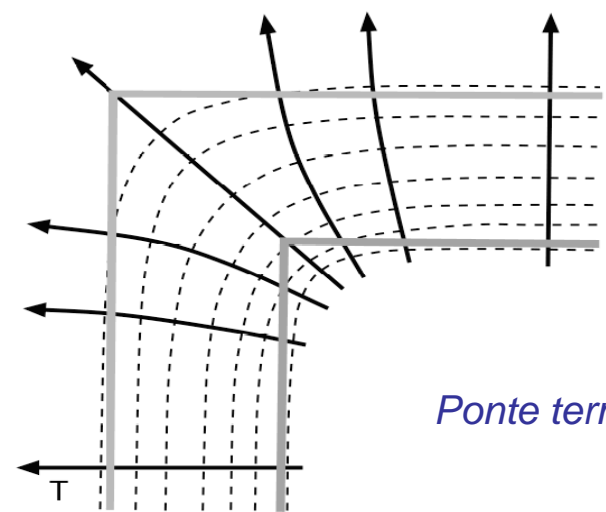
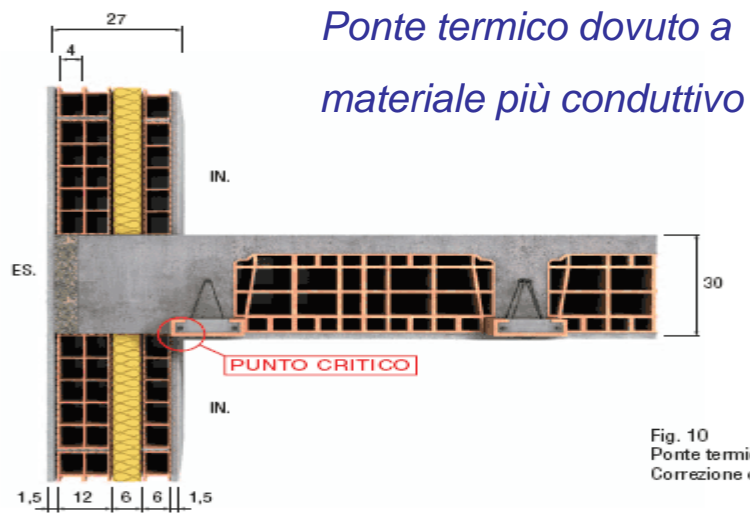
temperatura interna ed esterna allo strato

I valori della trasmittanza lineica e puntuale sono tabellati.

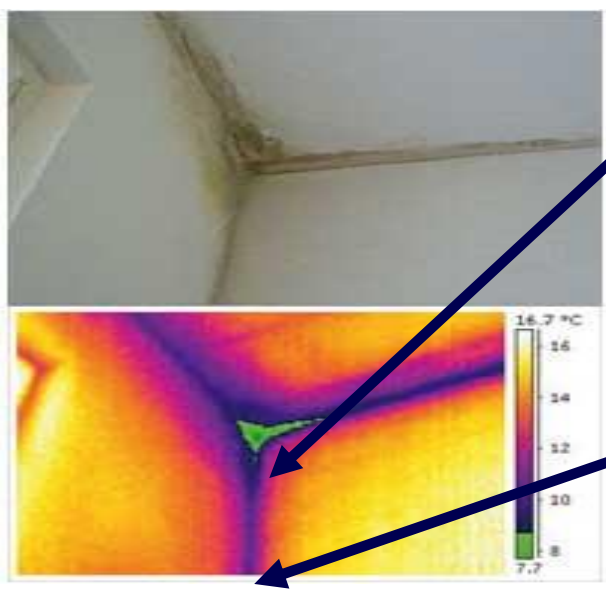
E' importante precisare che i ponti termici **in genere pesano sul globale delle dispersioni tra il 5 e il 15%**, rispettivamente in funzione delle minori o maggiori caratteristiche di isolamento dell'edificio.



IL CARICO TERMICO INVERNALE

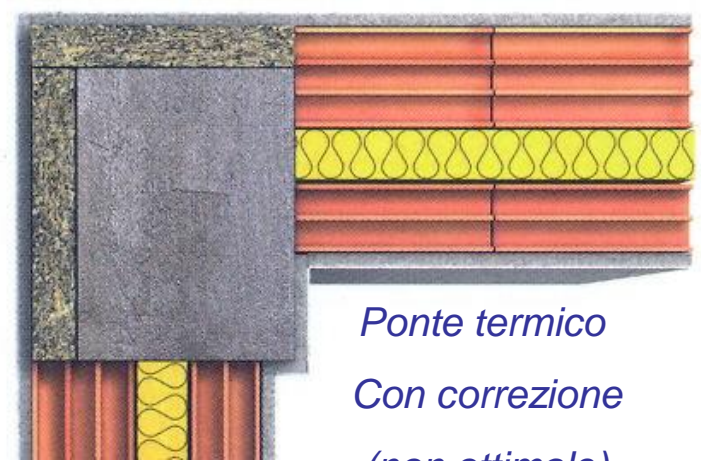


Ponte termico di forma



Ponte termico puntuale

Ponte termico lineare



*Ponte termico
Con correzione
(non ottimale)*

IL CARICO TERMICO INVERNALE

Nella scelta del fattore maggiorativo da applicare, in mancanza di dati maggiormente affidabili (calcolo dei singoli ponti termici), è di aiuto la **Raccomandazione CTI R03/2003**.

Nell'Appendice A, questa specifica che si possono applicare delle maggiorazioni percentuali ai valori di trasmittanza termica come riportate nel seguente prospetto (prospetto A.9) della Raccomandazione.

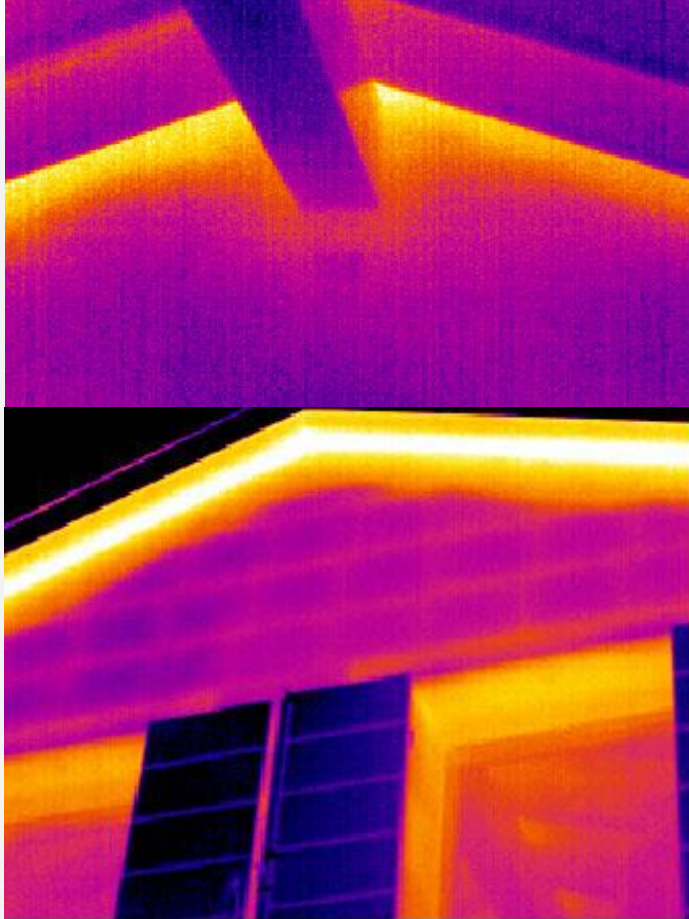
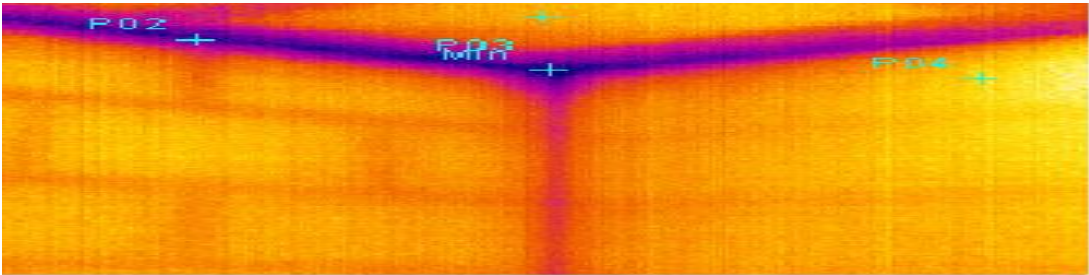
Descrizione della struttura	Maggiorazione ⁹
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto senza aggetti/balconi)	0
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto con aggetti/balconi)	5
Parete omogenea in mattoni pieni o in pietra	5
Parete a cassa vuota con mattoni forati	10
Struttura isolata	20
Pannello prefabbricato in cls	30

Invero, ciascun ponte termico andrebbe singolarmente analizzato, secondo quanto previsto dalla norme EN ISO 10211/2008 ed EN ISO 14683.

Tab. 7 - Espressioni del coefficiente lineico k [W/(m K)] per la valutazione della trasmissione termica in alcuni ponti termici degli edifici.

Tipo di ponte termico	k
<u>Spigoli</u> ⁽⁴⁾	
Pareti uguali non isolate esternamente ⁽¹⁾	$0,2 K s$
Pareti diverse non isolate esternamente ⁽²⁾	$0,1 (s_1 + s_2) / (0,2 + (R'_2 s_1 / s_2))$
Pareti diverse con spigolo in c.a. ⁽³⁾	$0,22 (s_1 + s_2)$
Pareti uguali isolate esternamente ⁽¹⁾	$0,6 K s$
Pareti diverse isolate esternamente ⁽²⁾	$0,3 K_2 (s_1 + s_2)$
<u>Giunti parete-serramento</u> ⁽⁵⁾	
Parete a isolamento distribuito, telaio interno ⁽⁶⁾	$0,9 s / (1,25 + R'_m)$
Parete a isolamento distribuito, telaio esterno ⁽⁶⁾	$1,4 s / (1,25 + R'_m)$
Parete a isolamento esterno non risvoltato, telaio interno ⁽⁷⁾	$0,6 s / (0,06 + R'_m)$
Parete a isolamento esterno risvoltato, telaio interno ⁽⁸⁾	$0,6 K$
Parete a isolamento esterno, telaio esterno	≈ 0
Parete a isolamento interno non risvoltato, telaio esterno ⁽⁷⁾	$0,6 s / (0,06 + R'_m)$
Parete a isolamento interno risvoltato, telaio esterno ⁽⁸⁾	$0,6 K$
Parete a isolamento interno, telaio interno	≈ 0

Fonte:
Foglio Aggiuntivo 3 alla Norma UNI 7357-74, "Calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento degli edifici".

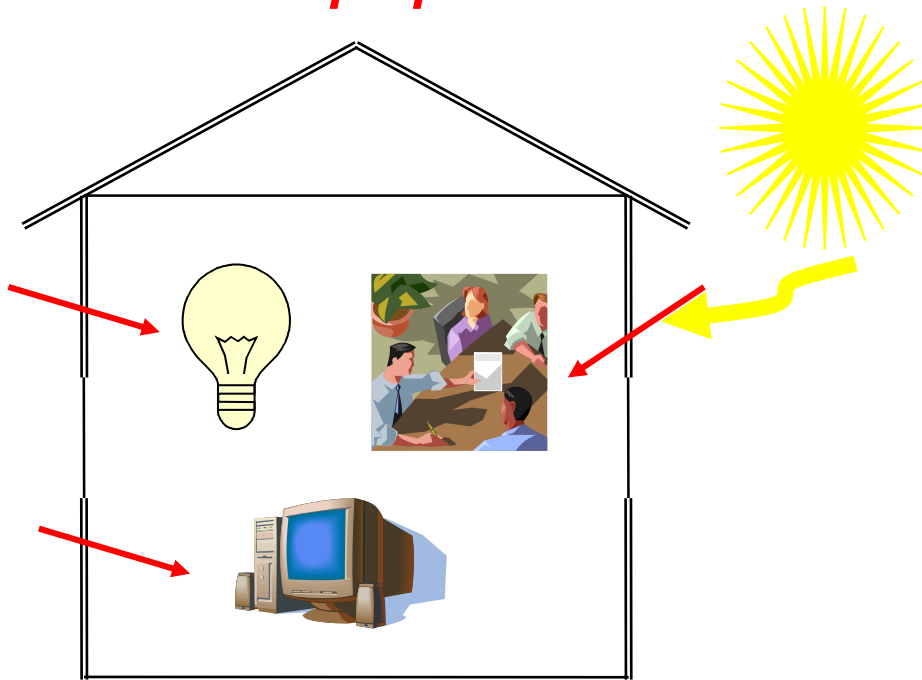


- Note:
- (1) K è la trasmittanza delle pareti ed s il loro spessore.
 - (2) R' è la resistenza specifica ed s lo spessore delle pareti; il pedice 2 si riferisce alla parete che forma lo spigolo.
 - (3) s è lo spessore di ciascuna parete.
 - (4) Il flusso termico relativo al ponte termico va conteggiato su ciascuna parete, prendendo come lunghezza caratteristica quella dello spigolo.
 - (5) La lunghezza caratteristica è quella del giunto.
 - (6) s è lo spessore della parete e R'_m la sua resistenza specifica, escluse le resistenze limitari.
 - (7) s è lo spessore della parete e R'_m la sua resistenza specifica, isolante e resistenze limitari esclusi.
 - (8) K è la trasmittanza della parete.

IL CARICO TERMICO INVERNALE

\dot{Q}_{ag} potenza termica, ENTRANTE, dovuta agli apporti gratuiti

*Questa aliquota di potenza nel condizionamento invernale è un apporto positivo quindi non sempre viene presa in considerazione. Si tiene conto di tale aliquota solo in presenza di apporti gratuiti **costanti e preponderanti**.*



Carico termico estivo

Partiamo dal calcolo del carico termico sensibile, Q_s . Quello latente sarà descritto contestualmente alla presentazione dei contributi da cui deriva.

Nella stagione estiva, il fabbisogno di energia per il raffreddamento è influenzato dalla radiazione solare che, variando nel tempo e a seconda delle esposizioni, determina condizioni di carico **anche molto diverse**.

E' necessario, pertanto, calcolare il fabbisogno termico in più ore del giorno ed individuare sia le condizioni di picco per ogni singolo ambiente sia il massimo contemporaneo a tutti gli ambienti.

Questi due valori servono per determinare rispettivamente il fabbisogno massimo dei **singoli ambienti** e la **potenzialità del gruppo frigorifero**. Si intuisce bene che solo in casi particolari (*cioè quando tutti gli ambienti hanno la stessa esposizione e omogeneità nella variazione del carico termico*) la potenzialità **del gruppo frigorifero** coincide con la somma dei massimi richiesti nei singoli ambienti.

IL CARICO TERMICO ESTIVO

Prima di esaminare i carichi termici in regime estivo è importante evidenziarne tre aspetti:

1. in genere, la **radiazione solare** incide sul carico termico estivo più della differenza tra la temperatura esterna e quella interna. Infatti, invece del livello termico dell'aria esterna si è soliti **considerare la temperatura sole-aria**;
2. per locali **senza una massiccia presenza di persone** e con buona percentuale di superfici trasparenti, il carico è quasi totalmente imputabile alla **radiazione solare**;
3. per locali con limitata superficie trasparente ma con una significativa presenza di persone e potenze installate (lampade, macchinari), il carico termico è imputabile quasi totalmente alle **fonti endogene**.

*Il fabbisogno termico di un ambiente o edificio, e quindi la potenza termica dell'impianto di condizionamento, viene valutato considerando la **somma di diverse potenze termiche in nell'ambiente climatizzato**.*

IL CARICO TERMICO ESTIVO

In particolare, il carico termico può essere così rappresentato:

$$\dot{Q}_S = \dot{Q}_{st} + \dot{Q}_{so} + \dot{Q}_d + \dot{Q}_{el} + \dot{Q}_{me} + \dot{Q}_p + \dot{Q}_v + \dot{Q}_s$$

dove

- \dot{Q}_{st} potenza termica in ingresso attraverso le superfici trasparenti
- \dot{Q}_{so} potenza termica in ingresso attraverso le superfici opache
- \dot{Q}_d potenza termica entrante attraverso le superfici confinanti con locali non condizionati
- \dot{Q}_{el} potenza termica entrante dovuta a dispositivi di illuminazione
- \dot{Q}_{me} potenza termica entrante dovuta a dispositivi elettrici
- \dot{Q}_p potenza termica rilasciata dalle persone (**influenzerà anche il carico latente**)
- \dot{Q}_v potenza termica dovuta all'infiltrazione di aria esterna (**influenzerà anche il carico latente**)
- \dot{Q}_s potenza termica "in uscita" (i.e., dispersione favorevole) verso il suolo



IL CARICO TERMICO ESTIVO

Esaminiamo in dettaglio i vari termini:

\dot{Q}_{st} **potenza termica in ingresso attraverso le superfici trasparenti**

Attraverso le superfici vetrate di solito **entra la parte più significativa di potenza termica**, dato il notevole flusso energetico connesso alla **radiazione solare**.

La potenza termica entrante è somma di due contributi: **radiativo** e **conduttivo-convettivo** legato alla differenza di temperatura fra esterno e interno. **Quindi, in prima approssimazione, la relazione può essere scritta come:**

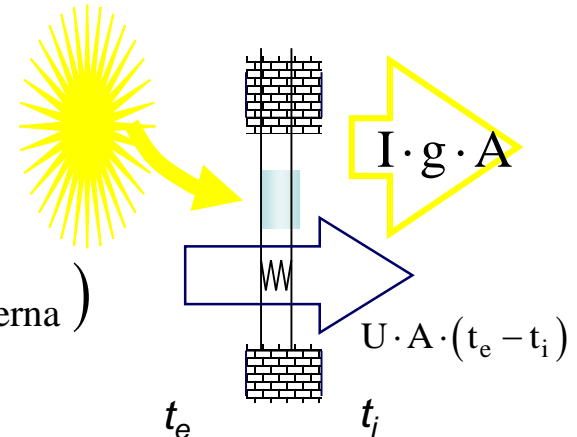
$$\dot{Q}_{st} = \dot{Q}_{trasm-trasp} + \dot{Q}_{sol}$$

Termine conduttivo

$$\dot{Q}_{trasm-trasparenti} = U \cdot A \cdot (T_{esterna} - T_{interna})$$

Termine radiativo

$$\dot{Q}_{st} = I_{esposizione} \cdot g_{vetro} \cdot A_{vetro}$$



IL CARICO TERMICO ESTIVO

$I_{\text{esposizione}}$ [W/m^2]	Irradianza solare a una data ora, per una data esposizione e per una data giacitura della superficie irradiata, nota la posizione geografica e la stagione.
g_{vetro} [0÷1]	fattore solare del vetro (anche detta trasmissione solare),
A_{vetro} [m^2]	area di una generica superficie trasparente.
U_{vetro} [W/m^2K]	trasmissione termica della superficie trasparente.
t_i, t_e [$^{\circ}C$]	temperature dell'aria interna ($26^{\circ}C$) ed esterna di progetto (da UNI 10339).

Nel calcolo di Q_{sol} , talora è presente un **ulteriore coefficiente moltiplicativo**, minore di 1, per tenere in conto dell'effetto **schermante di aggetti, sistemi di ombreggiatura e tendaggi**.

Questo metodo calcola l'**energia radiativa istantanea**; altri metodi tengono conto dell'**accumulo dell'energia radiativa** nelle strutture interne all'involucro.

*Tali metodi, però, comportano una complicazione nei calcoli. Pertanto, in taluni casi, si tiene conto del fenomeno di accumulo utilizzando il metodo senza accumulo e **riducendo il termine radiativo di un 10-30%**.*

IL CARICO TERMICO ESTIVO

Fattore di energia solare trasmessa “g” (o fattore solare).

E' il rapporto tra il flusso totale di energia che attraversa un componente trasparente e il flusso incidente sullo stesso; è una grandezza adimensionale.

Per la trasmittanza solare, gli abachi di riferimento sono contenuti nella specifica tecnica UNI TS 11300-1

Trasmittanza di energia solare totale $g_{gl,n}$ di alcuni tipi di vetro

Tipo di vetro	$g_{gl,n}$
Vetro singolo	0,85
Doppio vetro normale	0,75
Doppio vetro con rivestimento basso-emissivo	0,67
Triplo vetro normale	0,70
Triplo vetro con doppio rivestimento basso-emissivo	0,50
Doppia finestra	0,75

Fonte UNI TS 11300-1 e Raccomandazione CTI R03/2003



IL CARICO TERMICO ESTIVO

Ordine di grandezza della trasmittanza termica U delle finestre.

U_f = trasmittanza vetro

U_g = trasmittanza telaio

U_w = Trasmittanza di finestre comprensive di infisso (area di telaio =30%).

Tipo di vetrata	U_g W/(m ² ·K)	U_f W/(m ² ·K) Area di telaio 30%								
		1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Singola	5,7	4,3	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,0	5,1	6,1
Doppia	3,3	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	3,5	3,6	4,4
	3,1	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,5	4,3
	2,9	2,4	2,5	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2	3,3	4,1
	2,7	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	3,1	3,2	4,0
	2,5	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	3,0	3,1	3,9
	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	2,9	3,8
	2,1	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	3,6
	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,7	3,5
	1,7	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	3,3
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	3,2
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	3,1
	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,9
Tripla	2,3	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	3,7
	2,1	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	3,6
	1,9	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	3,4
	1,7	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	3,3
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	3,2
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	3,1
	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,9
	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,8
	0,7	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	2,6
	0,5	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	2,5

Nota

I calcoli sono stati eseguiti utilizzando valori di Ψ in conformità con l'appendice E. Per finestre con area del telaio non uguale al 30% del totale i valori devono essere calcolati utilizzando le equazioni riportate nel corpo principale della presente norma.

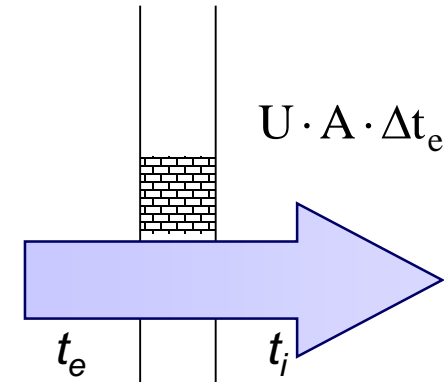
Per abachi e prospetti il riferimento è la Norma UNI EN ISO 10077-1

IL CARICO TERMICO ESTIVO

\dot{Q}_{so} potenza termica in ingresso attraverso le superfici opache

Le pareti esterne opache sono sottoposte ad un **regime di carico complesso** dovuto a:

- Radiazione **solare variabile** nel tempo;
- **Temperatura esterna variabile** nel tempo;
- **Accumulo** di energia radiante nella struttura;
- **Scambio convettivo/radiativo**.



Per tener conto del complesso fenomeno, in genere viene adottata una **differenza di temperatura fittizia** tra interno ed esterno. Questa è indicata con Δt_e ed è definita come **differenza di temperatura equivalente**. I suoi valori sono tabellati in funzione delle caratteristiche di **esposizione, pareti e coperture, ora del giorno, colore delle superfici,**

La differenza di temperatura equivalente, essendo tabellata, risulta di facile utilizzo, ragione per cui il metodo si adopera nel calcolo manuale dei carichi termici.

IL CARICO TERMICO ESTIVO

$$\dot{Q}_{so} = U \cdot A \cdot \Delta t_e$$

$U [W/m^2K]$	trasmittanza termica della parete
$A [m^2]$	area della parete verticale o piana
$\Delta t_e [^\circ C]$	differenza di temperatura equivalente o CLTD (C ooling L oad T emperature D ifference)

Altro metodo consiste nel considerare il flusso termico come forzato non dalla differenza di temperatura tra aria interna ed aria esterna, ma dalla differenza di temperatura tra interno dell'edificio e **temperatura sole aria**.
L'accumulo in parete deve essere però poi tenuto in debito conto.

$$T_{sol-air} = T_{esterna} + \frac{\alpha \cdot R}{h_e}$$

dove: ←

$R [W/m^2]$	radiazione solare sulla orientamento di interesse
$\alpha [-]$	coefficiente di assorbimento della sup.esterna della parete
$h_e [W/m^2K]$	coefficiente di scambio termico liminare esterno

Il metodo di calcolo che si avvale della $T_{sol-air}$ è usualmente quello implementato nei codici di calcolo per la valutazione dei carichi termici



IL CARICO TERMICO ESTIVO

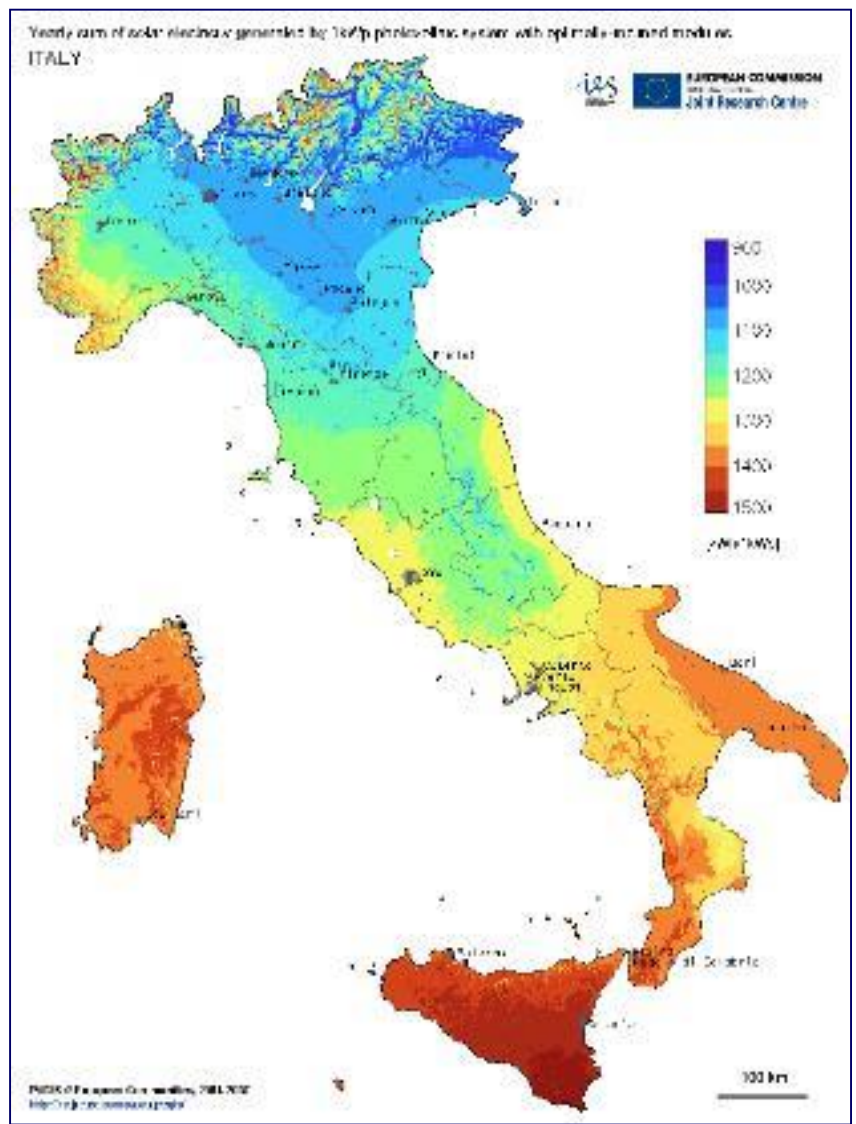
Tab. 18 - Differenze di temperatura equivalenti⁽¹⁾ Δt_{eq} [°C] per pareti opache verticali, in funzione dell'esposizione, della massa frontale m_f [kg/m²] e dell'ora del giorno⁽²⁾.

	m_f	Ora solare													
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
		18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5		
NE	100	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	3,0	1,9	0,8	-0,3	-1,4	-1,9	-2,5	-1,4		
	300	-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	3,0	1,9	0,8	0,2	-0,3	-0,8		
	500	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	3,6	3,	3,0	2,5	2,5		
	700	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	5,3	7,4	8,5	7,4	6,4		
		5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	4,7	4,7	4,2	3,6	3,6		
E	100	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	3,0	1,9	0,8	-0,3	-0,8	-1,4	-1,9	-1,9		
	300	-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	1,9	1,3	0,2	0,2	-0,3		
	500	2,5	2,5	3,0	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	4,7	4,2	3,6	3,6	3,0		
	700	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	6,9	6,9	6,4	6,4	6,4		

Note:
(1) Il carico termico q ad un'ora generica, dovuto alla trasmissione del calore per conduzione attraverso i componenti esterni di involucro si determina come segue:

$$q = \sum_{j=1,n} (K S \Delta t_{eq})_j$$

dove K è la trasmittanza dell'elemento, S la sua superficie e Δt_{eq} la differenza di temperatura equivalente della parete relativa all'esposizione ed all'ora considerate.
(2) Valori validi per pareti di colore scuro, temperatura esterna massima di 34 °C, escursione di 11 °C, temperatura interna costante di 26 °C, mese di luglio, 40° Nord. Se la struttura ha colore medio o chiaro si utilizzano, ad ogni ora del giorno, i seguenti valori:





IL CARICO TERMICO ESTIVO

Table with 13 columns (6-17) and 12 rows (SE, S, SO). Header: CARICHI TERMICI, AICARR 1998. Sub-header: Ora solare. Data: Thermal load values for different orientations and times of day.

Table with 13 columns (6-17) and 12 rows (O, NO, N). Header: CARICHI TERMICI, AICARR 1998. Sub-header: Ora solare. Data: Thermal load values for different orientations and times of day.

Equations for (Delta t_eq)_medio and (Delta t_eq)_chiaro.
ove (Delta t_eq)_ombra è relativa alla struttura in ombra (esposizione Nord) mentre (Delta t_eq)_sole si
ferisce all'effettiva esposizione.

Fonte:
- Carrier Co., "Handbook of Air Conditioning System Design", Mc Graw Hill, New
York (NY), 1965.
(3) Comprende anche il caso di parete completamente ombreggiata rispetto alla radiazione
diretta.



IL CARICO TERMICO ESTIVO

Table with 2 columns: 1 - 28, CARICHI TERMICI

Table with 2 columns: CARICHI TERMICI, 1H - 29

Tab. 19 - Differenze di temperatura equivalenti(1) Δt_eq [°C] per coperture opache, in funzione dell'esposizione, della massa frontale m_f [kg/m²] e dell'ora del giorno(2).

Table with 13 columns (m_f, Ora solare 6-17) and multiple rows for sole and ombra conditions.

Fonte:
- Carrier Co., "Handbook of Air Conditioning System Design", Mc Graw Hill, New York (NY), 1965.

Note:
(1) Il carico termico q ad un'ora generica, dovuto alla trasmissione del calore per conduzione attraverso i componenti esterni di involucro si determina come segue:

q = Σ_{j=1..n} (K S Δt_eq)_j

dove K è la trasmittanza dell'elemento, S la sua superficie e Δt_eq la differenza di temperatura equivalente della parete relativa all'esposizione ed all'ora considerate.
(2) Valori validi per pareti di colore scuro, temperatura esterna massima di 34 °C, escursione di 11 °C, temperatura interna costante di 26 °C, mese di luglio, 40° Nord. Se la struttura ha colore medio o chiaro si veda la nota (2) di Tab. 18.

Tab. 20 - Correzioni da apportare alle differenze di temperatura equivalente, al variare dell'escursione termica giornaliera Δt_e [°C] e della differenza Δt_a [°C] tra la temperatura esterna massima e la temperatura interna.

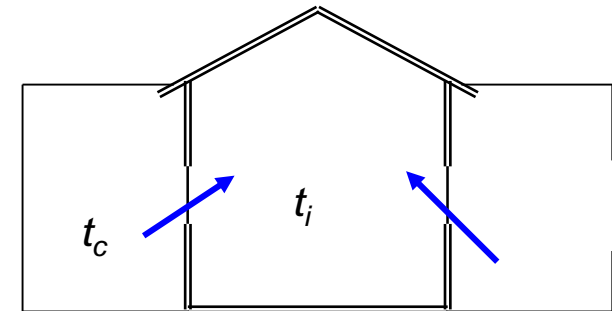
Table with 17 columns (Δt_a, Δt_e) and 12 rows of correction values.

Fonte:
- Carrier Co., "Handbook of Air Conditioning System Design", Mc Graw Hill, New York (NY), 1965.

IL CARICO TERMICO ESTIVO

\dot{Q}_d potenza termica entrante attraverso le superfici confinanti con locali non condizionati

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

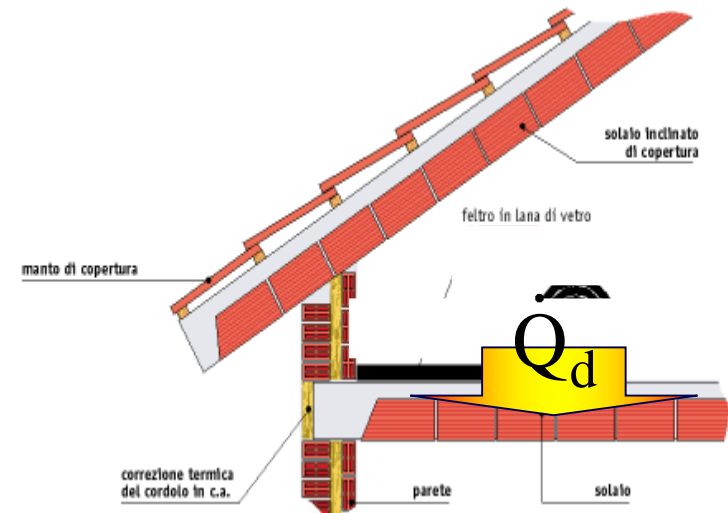


dove:

$U [W/m^2K]$ trasmittanza termica della parete di confine tra gli ambienti.

$A [m^2]$ area della parete.

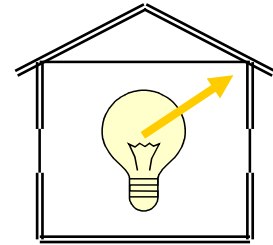
$t_c, t_i [^{\circ}C]$ temperature del locale non climatizzato e temperatura interna.



IL CARICO TERMICO ESTIVO

\dot{Q}_{el} potenza termica entrante dovuta a dispositivi di illuminazione

L'energia elettrica assorbita da una lampada si ritrova, dopo un certo periodo, dissipata come calore nell'ambiente; in particolare si può considerare per l'energia elettrica assorbita:



Lampade incandescenti – circa il 15% è trasformata in luce, mentre circa l'85% è trasformata in energia termica.



Lampade fluorescenti – Il 25% è convertito in radiazione luminosa, il 25% è dissipato come radiazione termica nell'ambiente e il 50% è dissipata nell'ambiente per conduzione e convezione.



IL CARICO TERMICO ESTIVO

\dot{Q}_p potenza termica dovuta alle persone

In alcuni casi, può succedere che il carico termico dovuto alle persone sia **il contributo più rilevante**.

Le persone apportano un contributo di calore sia **sensibile** sia **latente**. Gli apporti variano a seconda del **grado di attività** e della **temperatura in ambiente**.

A titolo di esempio, per una persona con attività moderata o pesante possono stimarsi i seguenti contributi:



Attività moderata (uffici, alberghi, appartamenti)



Attività pesante (ballo svelto)

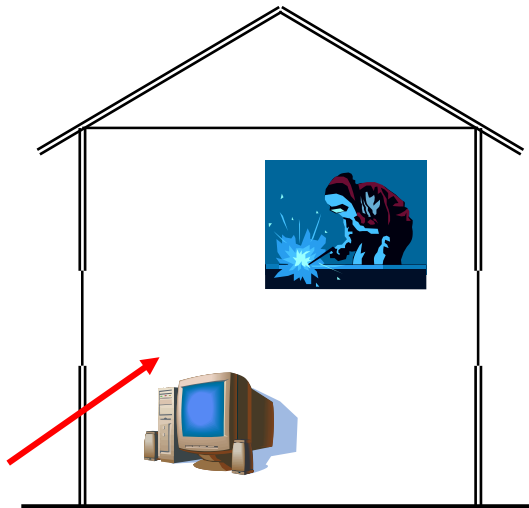
$t_i = 26\text{ °C}$ (estate)		$t_i = 21\text{ °C}$ (inverno)	
sensibile [W]	latente [W]	sensibile [W]	latente [W]
64	52	81	35
93	290	150	230

IL CARICO TERMICO ESTIVO

\dot{Q}_{me} potenza termica entrante dovuta a dispositivi elettrici

Anche le **macchine** dissipano negli ambienti energia termica, che deve quindi essere conteggiata come carico in ingresso. **Per determinarne il valore è necessario conoscere:**

- **potenza assorbita;**
- **grado di utilizzazione;**
- **eventuali sistemi di raffreddamento o dissipazione in altri ambienti.**



*Ad esempio una
stazione lavoro
Personal
Computer dissipa
all'incirca 700 W.*

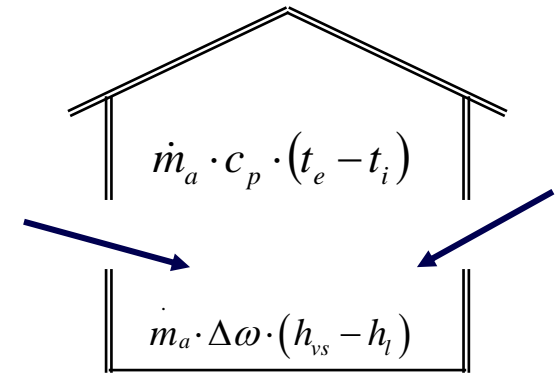


IL CARICO TERMICO ESTIVO

\dot{Q}_v potenza termica dovuta **all'aria esterna di infiltrazione**

Carico sensibile: $\dot{Q}_s = \dot{m}_a \cdot c_p \cdot (t_e - t_i)$

Carico latente: $\dot{Q}_l = \dot{m}_a \cdot \Delta\omega \cdot (h_{vs} - h_l)$



dove:

\dot{m}_a [kg/s] portata massica di aria esterna (come mostrato per l'esempio invernale, si calcola conoscendo la portata volumetrica di infiltrazione e quindi volume e tasso di rinnovo).

c_p [J/kgK] calore specifico dell'aria a pressione costante

$\Delta\omega$ [g/g] differenza di umidità specifica

$h_{vs} - h_l$ [J/kg] calore latente di evaporazione dell'acqua (2500 kJ/kg)

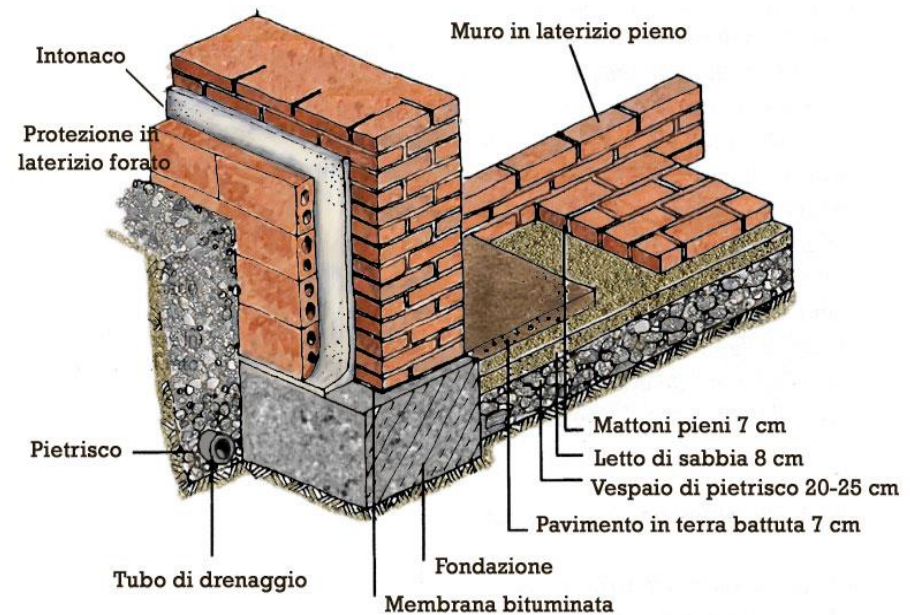
IL CARICO TERMICO ESTIVO

Infine, relativamente allo scambio termico con il terreno, in edifici poggiati a terra, **questo deve essere considerato essendo non saltuario bensì costante**, anche se è un contributo favorevole (vi è una dispersione, e quindi un'uscita di energia termica, essendo il terreno a temperatura più bassa dell'aria interna).

In prima approssimazione si può calcolare come

$$\dot{Q}_s = U_{pav} \cdot A_{pav} \cdot (t_i - t_{terreno})$$

detta U_{pav} la trasmittanza termica unitaria del pavimento, calcolata senza però contemplare il coefficiente di scambio termico lineico esterno.



Sezione di un buon pavimento per dispense di frutta e ortaggi

CARICHI TERMICI INVERNALI ED ESTIVI: CENNI FINALI

In definitiva, come vedremo nell'esempio applicativo, risulta:

REGIME INVERNALE. Si valuta solo Q_S . Risulta, solitamente, un carico termico negativo, uscente. Pertanto, cautelativamente, $Q_S = Q_T$

- Q_S è dato dalla somma di carico disperso attraverso l'involucro, attraverso il terreno, attraverso i ponti termici, attraverso l'apertura saltuaria di porte e finestre.*

REGIME ESTIVO. Calcolo sia di Q_S che di Q_L . Entrambi sono "entranti", quindi positivi. Pertanto, $Q_T = Q_S + Q_L$

- Q_S è dato dalla somma di carico in ingresso attraverso l'involucro, attraverso i ponti termici, attraverso l'apertura saltuaria di porte e finestre, in ingresso a causa di presenze endogene di energia, quali persone, luci, macchinari. **A questo, eventualmente, si sottrae la potenza dispersa verso il terreno.***
- Q_L è dato dalla somma di carico latente immesso dagli occupanti ed associato all'umidità trasportata in ambiente a causa dell'apertura saltuaria di porte e finestre.*

Si noti che i carichi termici vanno calcolati sia per la singola stanza (dimensionamento terminali), che per l'edificio nel suo complesso (dimensionamento sistemi di generazione)