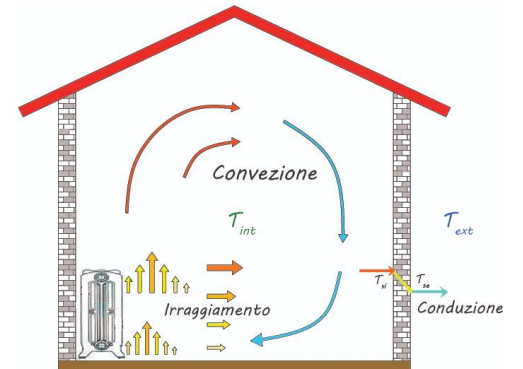


BILANCIO ENERGETICO DELL'EDIFICIO



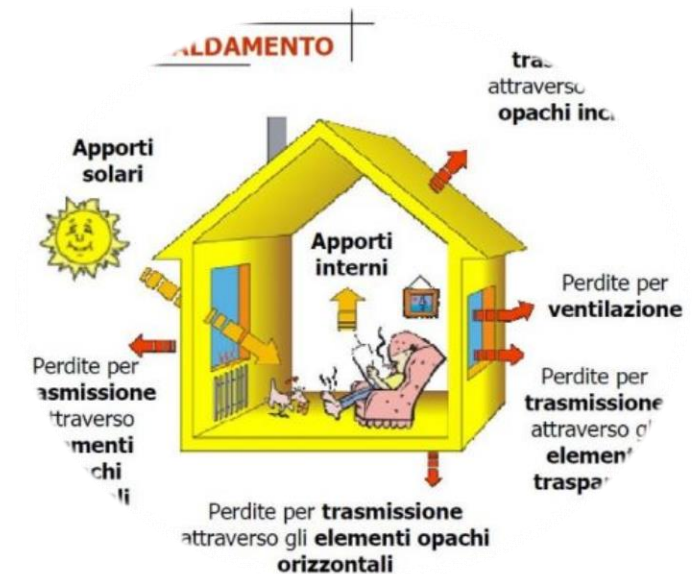
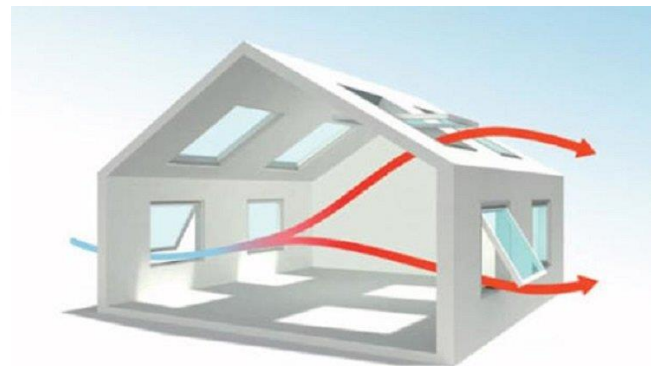
BILANCIO TERMOIGROMETRICO DI UN AMBIENTE

Nelle ipotesi che l'aria si trovi ad una temperatura uniforme e che si possa trascurare la sua capacità termica è possibile esprimere la seguente equazione di bilancio termico per l'aria:

$$\Phi_c + \Phi_v + \Phi_g + \Phi_p = 0$$



Dispersioni termiche percentuali di una casa



BILANCIO TERMOIGROMETRICO DI UN AMBIENTE

Nelle ipotesi che l'aria si trovi ad una temperatura uniforme e che si possa trascurare la sua capacità termica è possibile esprimere la seguente equazione di bilancio termico per l'aria:

$$\Phi_c + \Phi_v + \Phi_g + \Phi_p = 0$$

Dove:

- Φ_c scambio convettivo tra l'aria e le superfici interne dell'ambiente
- Φ_v flusso termico sensibile per ventilazione dell'ambiente con gli ambienti circostanti
- Φ_g flussi termici sensibili gratuiti dovuti alle sorgenti interne
- Φ_p flusso termico sensibile erogato complessivamente dai terminali dell'impianto (potenza massima che deve fornire l'impianto)



BILANCIO TERMOIGROMETRICO DI UN AMBIENTE

$$\Phi_c + \Phi_v + \Phi_g + \Phi_p = 0$$
$$[hA\Delta\theta_{p-i}] + [c(\rho nV)\Delta\theta_{e-i}] + [\Phi_{pers} + \Phi_{ill} + \Phi_{elett}] + \Phi_p = 0$$

Dove:

- h coefficiente di scambio convettivo
- A superficie della parete
- $\Delta\theta$ differenza di temperatura tra la parete e l'interno (p-i) e tra esterno ed interno (e-i)
- c calore specifico dell'aria
- ρnV portata in massa dell'aria entrante o uscente, funzione della densità della stessa ρ , del numero di ricambi d'aria n e del volume dell'ambiente V
- Φ flusso termico dovuto alle persone, all'illuminazione e agli elettrodomestici

BILANCIO TERMOIGROMETRICO DI UN AMBIENTE

$$\Phi_c + \Phi_v + \Phi_g + \Phi_p = 0$$
$$[hA\Delta\theta_{p-i}] + [c(\rho nV)\Delta\theta_{e-i}] + [\Phi_{pers} + \Phi_{ill} + \Phi_{elett}] + \Phi_p = 0$$

Dove:

- h coefficiente di scambio convettivo
- A superficie della parete
- $\Delta\theta$ differenza di temperatura tra la parete e l'interno (p-i) e tra esterno ed interno (e-i)
- c calore specifico dell'aria
- ρnV portata in massa dell'aria entrante o uscente, funzione della densità della stessa ρ , del numero di ricambi d'aria n e del volume dell'ambiente V
- Φ flusso termico dovuto alle persone, all'illuminazione e agli elettrodomestici

BILANCIO TERMOIGROMETRICO DI UN AMBIENTE



L'equazione di bilancio termico sensibile consente di valutare il flusso termico sensibile generato dall'impianto.

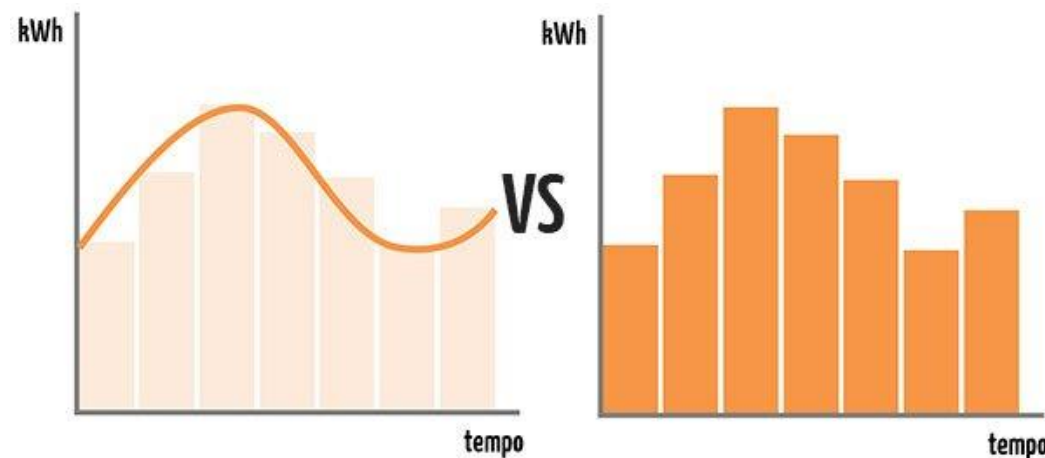
Ma...

- In essa non sono generalmente note le temperature superficiali interne delle pareti per cui non sono quantificabili gli scambi termici convettivi con le pareti stesse
- La temperatura sull'interfaccia interna di ogni parete dipende comunque dalle caratteristiche termofisiche dei materiali che la costituiscono, dagli spessori dei vari strati e dalle condizioni climatiche esterne

BILANCIO TERMOIGROMETRICO DI UN AMBIENTE

È necessario prendere in considerazione le singole pareti e l'interazione che esse hanno con l'aria interna risolvendo il loro bilancio termico simultaneamente a quello dell'aria.

Il metodo di calcolo che ne risulta è però notevolmente complesso → si ricorre spesso a metodi semplificati che consentono di determinare la potenza termica sensibile fornita dall'impianto nell'ipotesi che la temperatura interna si mantenga ad un prefissato valore.



CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE

Il calcolo del carico termico dell'edificio in regime invernale può essere condotto in *regime stazionario*, poiché il contributo variabile alla sollecitazione è trascurabile rispetto a quello costante. Per il calcolo del carico termico, e quindi per il dimensionamento dell'impianto, ci si riferisce allora alle *peggiori condizioni* che si determinano quando all'esterno si registra la minima temperatura stagionale.

Spesso nel calcolo in periodo invernale vengono trascurati gli apporti gratuiti, siano essi dovuti alla radiazione solare o a sorgenti termiche interne all'edificio.

$$\Phi_c + \Phi_v + \Phi_p = 0 \quad \longrightarrow \quad \Phi_T + \Phi_v + \Phi_p = 0$$

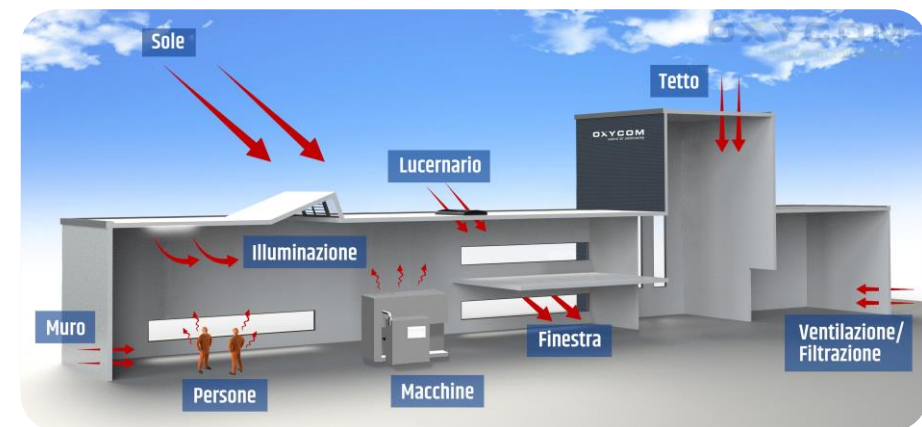


CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE

$$\Phi_c + \Phi_v + \Phi_p = 0 \quad \longrightarrow \quad \Phi_T + \Phi_v + \Phi_p = 0$$

Nell'equazione è tuttavia incognito il valore della *temperatura superficiale* di ogni singola superficie rivolta verso l'ambiente interno. Poiché ci troviamo in regime stazionario è possibile però esprimere il termine convettivo tra la superficie interna della parete e l'aria, per mezzo della trasmittanza della parete.

Si andrà pertanto a sostituire allo scambio per convezione uno scambio per trasmissione attraverso l'involucro edilizio.



CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE

Scambio per trasmissione

$$\Phi_T + \Phi_V + \Phi_p = 0 \longrightarrow \Phi_x = H_x (\theta_{int,i} - \theta_e)$$

Dove:

- H_x generico coefficiente di dispersione (W/K)
- $\theta_{int,i}$ temperatura interna di progetto dello spazio riscaldato ($^{\circ}\text{C}$)
- θ_e temperatura esterna di progetto ($^{\circ}\text{C}$)



Lo scambio per trasmissione può avvenire dall'ambiente interno verso:

- l'ambiente esterno ($\Phi_{T,ie}$)
- ambienti adiacenti a temperatura diversa ($\Phi_{T,ij}$)
- ambienti a temperatura incognita ($\Phi_{T,iue}$)
- il terreno ($\Phi_{T,g}$)

$$\Phi_T = \Phi_{T,ie} + \Phi_{T,ij} + \Phi_{T,iue} + \Phi_{T,g}$$

$$\Phi_T = (H_{T,ie} + H_{T,ij} + H_{T,iue} + H_{T,g}) \times (\theta_{int,i} - \theta_e)$$

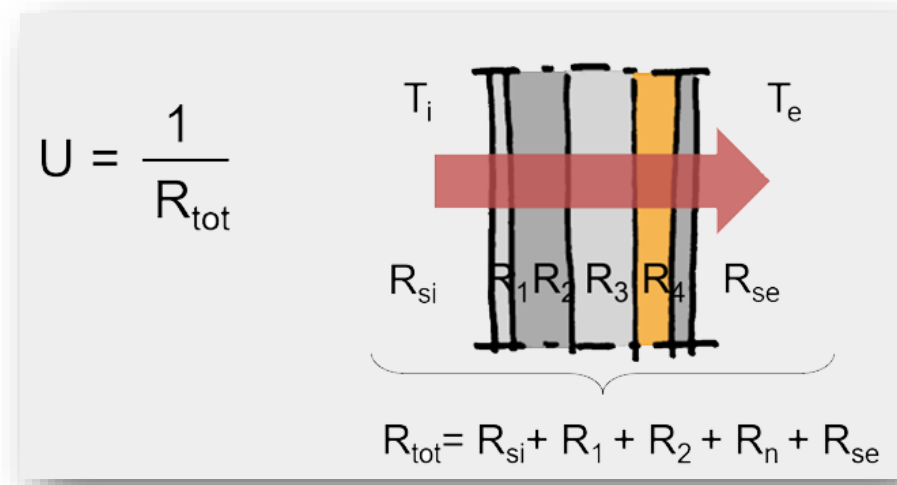
CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE

Coefficiente di dispersione attraverso uno spazio non riscaldato

$$\Phi_T = (H_{T,ie} + H_{T,ij} + H_{T,iue} + H_{T,g}) \times (\theta_{int,i} - \theta_e)$$

$$H_{T,ie} = \sum_{k=1}^N A_k U_k + \sum_{i=1}^P \Psi_i l_i$$

- U è la trasmittanza di ogni elemento di separazione tra l'ambiente interno e gli ambienti adiacenti
- A la sua superficie
- Ψ è il coefficiente lineare di ponte termico ed l la sua lunghezza



$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{a,i}} + \sum_{j=1}^N \frac{s_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_{a,e}}}$$

CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE

Coefficiente di dispersione verso spazi riscaldati a temperature diverse

$$\Phi_T = (H_{T,ie} + H_{T,ij} + H_{T,iue} + H_{T,g}) \times (\theta_{int,i} - \theta_e)$$



$$H_{T,ij} = \sum_{k=1}^N f_{ij} A_k U_k \longrightarrow f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{spazio\ adiacente}}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

f_{ij} fattore di riduzione della temperatura

Coefficiente di dispersione attraverso uno spazio non riscaldato

$$\Phi_T = (H_{T,ie} + H_{T,ij} + H_{T,iue} + H_{T,g}) \times (\theta_{int,i} - \theta_e)$$

$$H_{T,iue} = \sum_{k=1}^N A_k U_k b_u + \sum_{i=1}^P \Psi_i l_i b_u \longrightarrow b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

b_u fattore di riduzione della temperatura

θ_u temperatura dello spazio non riscaldato nelle condizioni di progetto. Se non è nota si usa la seguente espressione:

$$b_u = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE

Spazio non riscaldato	b_u
Ambiente	
con solo 1 parete esterna	0,4
con almeno 2 pareti esterne senza porte esterne	0,5
con almeno 2 pareti esterne con porte esterne (per esempio, atri, garage)	0,6
con 3 pareti esterne (per esempio, vano scala esterno)	0,8
Seminterrato	
senza finestre/porte esterne	0,5
con finestre/porte esterne	0,8
Sottotetto	
alto tasso di ventilazione del sottotetto (per esempio tetti con rivestimento di tegole o altri materiali che forniscono una copertura discontinua) senza feltri o tavole di sottostruttura	1,0
altro tipo di tetto non isolato	0,9
tetto isolato	0,7
Vani scala e disimpegni interni (senza pareti esterne, tasso di ventilazione minore di $0,5 \text{ h}^{-1}$)	0
Vani scala e disimpegni con apertura verso l'esterno (area delle aperture/volume dello spazio $>0,005 \text{ m}^2/\text{m}^3$)	1,0
Pavimento su intercapedine (pavimento sopra vespaio)	0,8

CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE

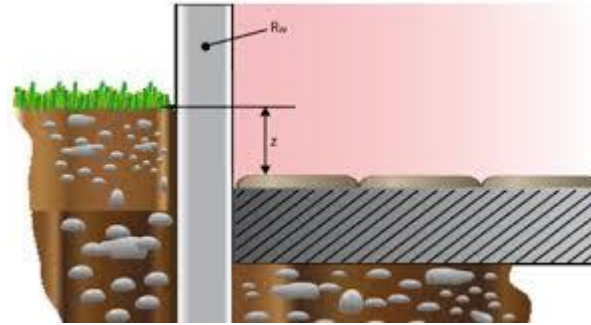
Coefficiente di dispersione attraverso il terreno

$$\Phi_T = (H_{T,ie} + H_{T,ij} + H_{T,iue} + H_{T,g}) \times (\theta_{inti} - \theta_e)$$

$$H_{T,ig} = f_{g1} f_{g2} \left(\sum_{k=1}^N A_k U_{equiv,k} \right) \times G_w$$

$$f_{g2} = \frac{\theta_{inti} - \theta_{m,e}}{\theta_{inti} - \theta_e}$$

$$B' = \frac{A_g}{0,5 \times P}$$



- f_{g1} fattore di correzione che tiene conto della variazione annuale della temperatura (in genere pari a 1.45)
- f_{g2} fattore di correzione dovuto alla differenza tra la temperatura esterna media annuale e la temperatura esterna di progetto
- A area dell'elemento a contatto col terreno
- U_{equiv} trasmittanza termica equivalente (funzione dell'area della soletta del pavimento considerata A_g e del perimetro della soletta P)
- G_w fattore di correzione dovuto all'acqua del sottosuolo (pari a 1 se la distanza tra la falda freatica e la soletta del pavimento è maggiore di 1m, 1.15 altrimenti)

CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE

Valore $U_{\text{equiv,bf}}$ del pavimento del seminterrato con soletta del pavimento a livello del suolo, in funzione della trasmittanza termica del pavimento e del valore B'

Valore B' m	$U_{\text{equiv,bf}}$ (per $z = 0$ m) $\text{W/m}^2 \times \text{K}$				
	senza isolamento	$U_{\text{floor}} = 2,0 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$	$U_{\text{floor}} = 1,0 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$	$U_{\text{floor}} = 0,5 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$	$U_{\text{floor}} = 0,25 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$
2	1,30	0,77	0,55	0,33	0,17
4	0,88	0,59	0,45	0,30	0,17
6	0,68	0,48	0,38	0,27	0,17
8	0,55	0,41	0,33	0,25	0,16
10	0,47	0,36	0,30	0,23	0,15
12	0,41	0,32	0,27	0,21	0,14
14	0,37	0,29	0,24	0,19	0,14
16	0,33	0,26	0,22	0,18	0,13
18	0,31	0,24	0,21	0,17	0,12
20	0,28	0,22	0,19	0,16	0,12

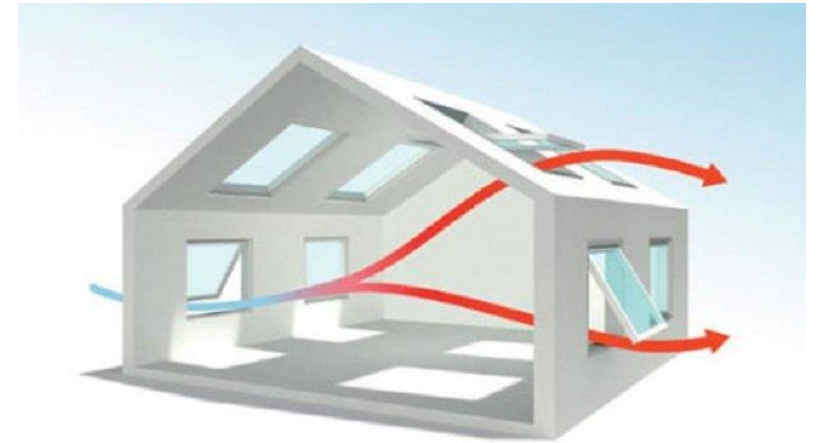
CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE

Scambio per ventilazione

$$\Phi_T + \Phi_V + \Phi_p = 0 \longrightarrow \Phi_x = H_x (\theta_{int,i} - \theta_e)$$

$$H_{v,i} = \rho c_p \dot{V}_i \longrightarrow H_{v,i} = 0,34 \times \dot{V}_i$$

- ρ densità dell'aria alla temperatura di progetto (kg/m^3)
- c_p calore specifico dell'aria alla temperatura di progetto ($\text{kJ}/\text{kg K}$)
- \dot{V}_i portata d'aria di ventilazione tra l'ambiente interno ed esterno (m^3/h)



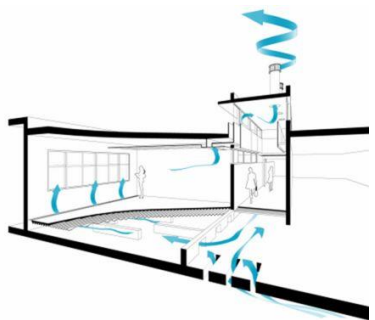
CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE

Scambio per ventilazione

In assenza di sistemi di ventilazione si suppone che l'aria di rinnovo abbia le caratteristiche dell'aria esterna. Pertanto, la dispersione termica è proporzionale alla differenza tra la temperatura interna di progetto e la temperatura dell'aria esterna.

$$\dot{V}_i = \max(\dot{V}_{inf,i}; \dot{V}_{min,i})$$

- $\dot{V}_{inf,i}$ portata d'aria d'infiltrazione, dovuta al flusso d'aria attraverso le fessure e le giunzioni nell'involucro dell'edificio
- $\dot{V}_{min,i}$ portata minima per esigenze igienico-sanitarie



$$\dot{V}_{inf,i} = 2 V_i n_{50} e_i \varepsilon_i$$

$$\dot{V}_{min,i} = n_{min} V_i$$

- n_{50} tasso orario di ventilazione per una differenza di pressione di 50 Pa tra interno ed esterno (h^{-1})
- e_i coefficiente di schermatura
- ε_i fattore di correzione dell'altezza
- V_i volume dell'ambiente (m^3)
- n_{min} tasso minimo di ventilazione esterna (h^{-1})

CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE



Scambio per ventilazione

Tasso di ventilazione per l'intero edificio, n_{50}

Costruzione	n_{50} h ⁻¹		
	Grado di tenuta all'aria dell'involucro dell'edificio (qualità della tenuta delle finestre)		
	alto (alta qualità della tenuta di porte e finestre)	medio (finestre a doppio vetro, tenuta normale)	basso (finestre a vetro singolo, senza sigillante)
abitazioni unifamiliari	<4	4 - 10	>10
altre abitazioni o edifici	<2	2 - 5	>5

Coefficiente di schermatura, e

Classe di schermatura	e		
	Spazio riscaldato senza aperture esposte	Spazio riscaldato con un'apertura esposta	Spazio riscaldato con più di un'apertura esposta
Nessuna schermatura (edifici in zone ventose, edifici alti in centri cittadini)	0	0,03	0,05
Schermatura media (edifici in campagna con alberi o altri edifici attorno, periferia)	0	0,02	0,03
Forte schermatura (edifici di media altezza in centri cittadini, edifici in zone boschive)	0	0,01	0,02

Tasso minimo di ventilazione esterna, n_{min}

Tipo di ambiente	n_{min} h ⁻¹
Ambiente abitabile (predefinito)	0,5
Cucina o bagno con finestra	1,5
Ufficio	1,0
Sala riunioni, aula scolastica	2,0

Fattore di correzione per l'altezza, ϵ

Altezza dello spazio riscaldato al di sopra del livello del suolo (altezza del centro della stanza dal livello del suolo)	ϵ
0 - 10 m	1,0
>10 - 30 m	1,2
>30 m	1,5

CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE



Potenza di ripresa – spazi riscaldati in modo intermittente

Gli ambienti riscaldati in modo intermittente richiedono una potenza supplementare, detta potenza di ripresa, per raggiungere la temperatura interna di progetto desiderata entro un tempo determinato, dopo il periodo di inattività dell'impianto.

$$\Phi_{RH,i} = A_i f_{RH}$$

in cui

- A area del pavimento dell'ambiente riscaldato
- f_{HR} un fattore di correzione dipendente dal tempo di ripresa, dalla diminuzione della temperatura interna durante il periodo di inattività dell'impianto e dalla durata di inattività dell'impianto.

La potenza di ripresa dipende dai seguenti fattori:

- capacità termica degli elementi dell'edificio
- tempo di ripresa del riscaldamento
- calo di temperatura durante il periodo di inattività

CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE

Potenza di ripresa – spazi riscaldati in modo intermittente

Fattore di ripresa del riscaldamento, f_{RH} , per edifici non residenziali, periodo di inattività notturna max. 12 h

Durata del periodo di ripresa in ore	f_{RH} W/m ²								
	Calo previsto della temperatura interna durante il periodo di inattività ^{a)}								
	2 K			3 K			4 K		
	massa dell'edificio			massa dell'edificio			massa dell'edificio		
	bassa	media	alta	bassa	media	alta	bassa	media	alta
1	18	23	25	27	30	27	36	27	31
2	9	16	22	18	20	23	22	24	25
3	6	13	18	11	16	18	18	18	18
4	4	11	16	6	13	16	11	16	16

a) Negli edifici ben isolati e a tenuta d'aria, un calo della temperatura interna maggiore di 2 K fino a 3 K durante il periodo di inattività non è molto probabile. Esso dipende dalle condizioni climatiche e dalla massa termica dell'edificio.

CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE

Potenza di ripresa – spazi riscaldati in modo intermittente

Fattore di ripresa del riscaldamento, f_{RH} , per edifici residenziali, periodo di inattività notturna max. 8 h

Durata del periodo di ripresa in ore	f_{RH} W/m ²		
	Calo previsto della temperatura interna durante il periodo di inattività ^{a)}		
	1 K	2 K	3 K
	massa dell'edificio	massa dell'edificio	massa dell'edificio
	alta	alta	alta
1	11	22	45
2	6	11	22
3	4	9	16
4	2	7	13

a) Negli edifici ben isolati e a tenuta d'aria, un calo della temperatura interna maggiore di 2 K fino a 3 K durante il periodo di inattività non è molto probabile. Esso dipende dalle condizioni climatiche e dalla massa termica dell'edificio.

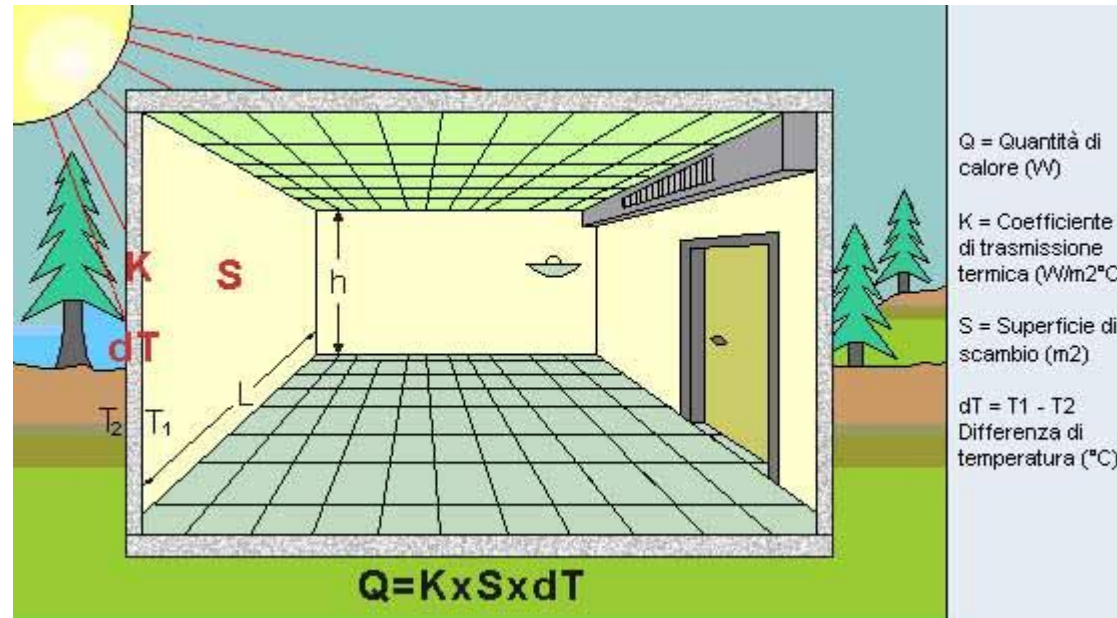
CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i}$$

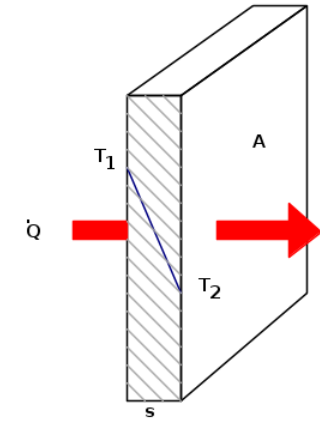
Carico termico dell'ambiente i (W)

$$\Phi_{HL} = \sum_i \Phi_{T,i} + \sum_i \Phi_{V,i} + \sum_i \Phi_{RH,i}$$

Carico termico dell'intero edificio (W)



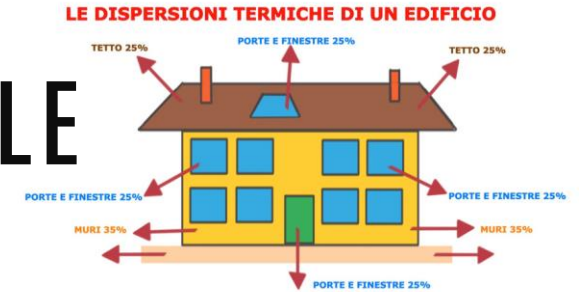
CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE



Riepiloghiamo gli step da seguire:

- a) determinare il valore della temperatura esterna di progetto e della temperatura media annuale;
- b) specificare lo stato di ogni spazio (riscaldato o non riscaldato) e i valori della temperatura interna di progetto di ogni spazio riscaldato;
- c) determinare le caratteristiche dimensionali e termiche di tutti gli elementi dell'edificio, per ogni spazio riscaldato e non riscaldato;
- d) calcolare il coefficiente di dispersione termica di progetto per trasmissione e moltiplicarlo per la differenza di temperatura di progetto, per ottenere la dispersione termica di progetto per trasmissione dello spazio riscaldato;

CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE



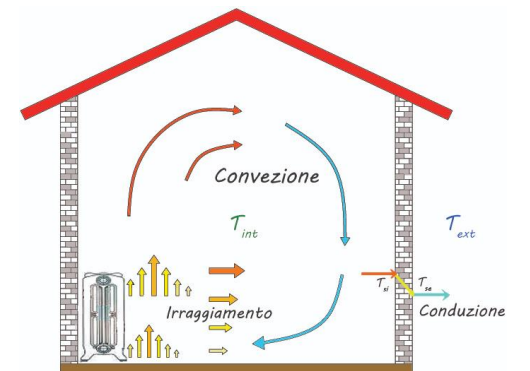
- e) calcolare il coefficiente di dispersione termica di progetto per ventilazione e moltiplicarlo per la differenza di temperatura di progetto per ottenere la dispersione termica di progetto per ventilazione dello spazio riscaldato;
- f) calcolare la dispersione termica di progetto totale dello spazio riscaldato, sommando la dispersione termica di progetto per trasmissione e la dispersione termica di progetto per ventilazione;
- g) calcolare la potenza termica di ripresa del riscaldamento dello spazio riscaldato, ovvero la potenza aggiuntiva, richiesta per compensare gli effetti del riscaldamento intermittente;
- h) calcolare il carico termico totale di progetto dello spazio riscaldato sommando la dispersione termica di progetto totale e la potenza di ripresa del riscaldamento.

CALCOLO DEL CARICO TERMICO INVERNALE



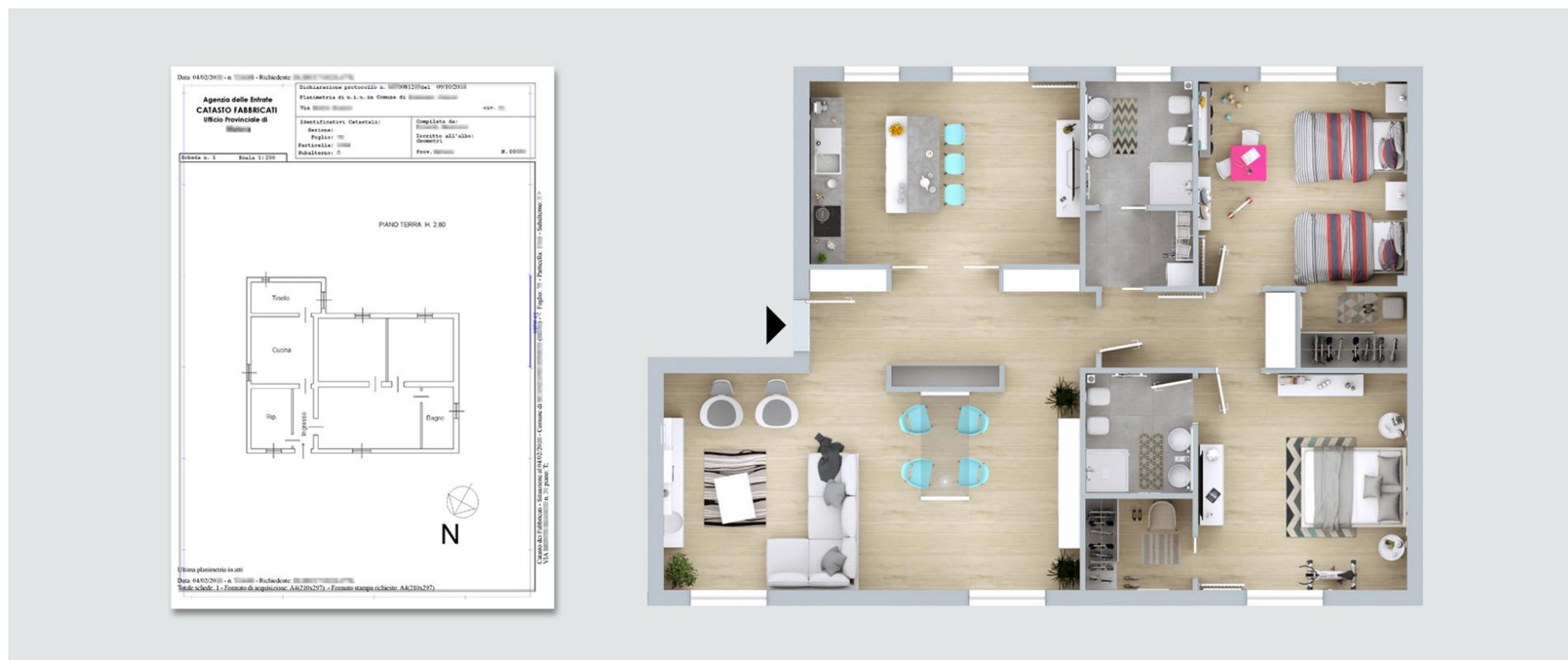
Passo a)	Determinazione dei dati di base: - temperatura esterna di progetto - temperatura esterna media annua	Dati climatici	Passo e)	Calcolo delle dispersioni termiche di progetto per ventilazione: {coefficiente di dispersione per ventilazione di progetto} x {differenza di temperatura di progetto}	
Passo b)	Definizione di ciascun spazio dell'edificio. <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">Spazio riscaldato o no?</div> <div style="margin-right: 10px;"> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">Spazio non riscaldato</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Temperatura interna di progetto</div> </div>	Stato di ciascun spazio e temperatura interna di progetto di ciascun spazio riscaldato	Passo f)	Calcolo delle dispersioni termiche totali di progetto: {dispersione termiche di progetto per trasmissione} + {dispersione termiche di progetto per ventilazione}	
Passo c)	Determinazione di: - caratteristiche dimensionali - caratteristiche termiche di tutti gli elementi dell'edificio per ciascun spazio, riscaldato e non riscaldato	Dati dell'edificio	Passo g)	Calcolo della potenza di ripresa: {Potenza aggiuntiva richiesta per compensare gli effetti del riscaldamento intermittente}	Effetti del riscaldamento intermittente
Passo d)	Calcolo delle dispersioni termiche di progetto per trasmissione: {coefficiente di dispersione termica di progetto} x {differenza di temperatura di progetto}	Per dispersioni termiche attraverso: - involucro edilizio - spazi non riscaldati - spazi adiacenti - terreno	Passo h)	Calcolo del carico termico totale di progetto: {Dispersione termica totale di progetto + potenza di ripresa}	Calcolo del carico termico di progetto

ANALISI TERMICA DEGLI EDIFICI



ANALISI TERMICA DEGLI EDIFICI

Dopo aver reperito le planimetrie del mio edificio...cosa faccio?



ANALISI TERMICA DEGLI EDIFICI

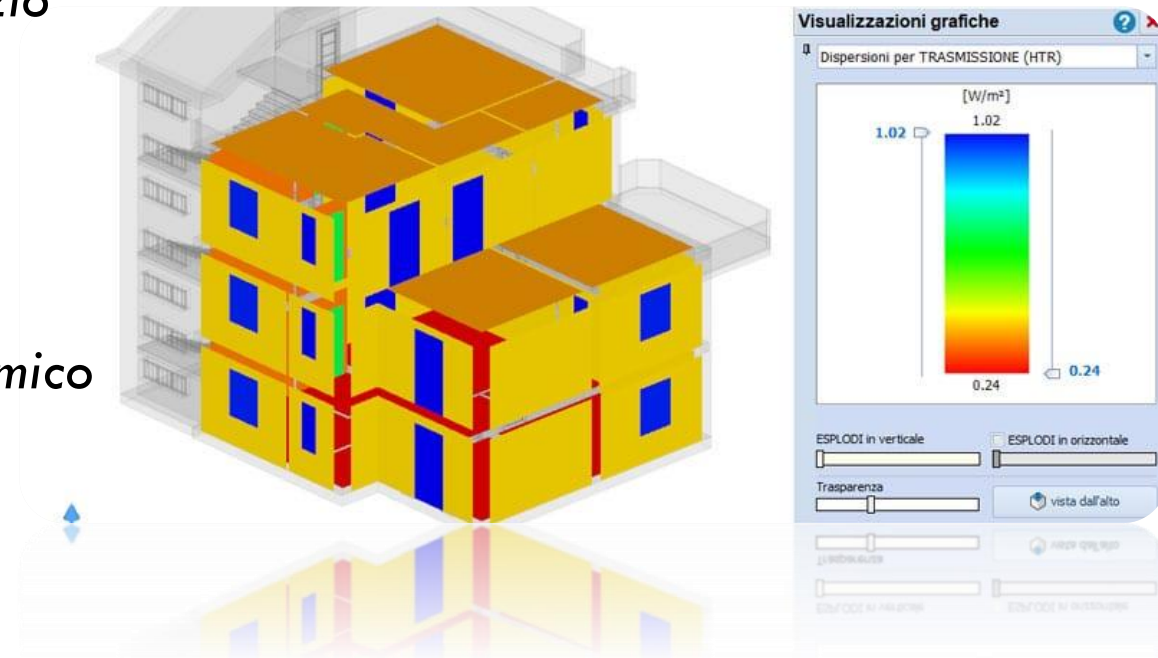
STEP DA SEGUIRE:

1. Individuazione dei componenti dell'involucro edilizio

- Pareti opache
- Solai (di base, di copertura, di interpiano)
- Componenti vetrati
- Chiusure oscuranti e/o schermature solari

2. Individuazione delle tipologie di impianto termico presenti nell'edificio

- Caldaia a condensazione
- Pompa di calore (aria/aria, aria/acqua, ecc.)
- Impianto a biomassa
- Ecc.



ANALISI TERMICA DEGLI EDIFICI

Diamo prima qualche definizione...

Superfici disperdenti: superfici che delimitano verso l'esterno (o verso ambienti non riscaldati) il volume definito dall'involucro riscaldato.

Per il calcolo della superficie disperdente di ogni elemento strutturale si deve considerare la dimensione lorda esterna, che comprende anche lo spessore degli elementi strutturali contigui. L'area delle superfici disperdenti verticali è calcolata facendo riferimento all'altezza lorda, definita come differenza di quota tra la superficie inferiore del primo solaio dell'involucro riscaldato e l'estradosso dell'ultimo solaio.



ANALISI TERMICA DEGLI EDIFICI

Superficie utile: superficie effettivamente calpestabile dei locali di abitazione, ivi compresi i sottotetti recuperati, oppure dei locali o ambienti di lavoro, comprensiva di servizi igienici, corridoi, disimpegni, ripostigli ed eventuali scale interne all'unità immobiliare, e con esclusione di murature, pilastri, tramezzi, ecc.

Superficie lorda riscaldata: Per superficie lorda riscaldata nei piani si intende la somma delle superfici riscaldate di ogni singolo piano all'interno dell'involucro riscaldato dell'edificio. La superficie lorda riscaldata nei piani viene calcolata considerando le dimensioni esterne (filo esterno muro)

Volume netto riscaldato: prodotto tra la superficie utile climatizzata e l'altezza media netta

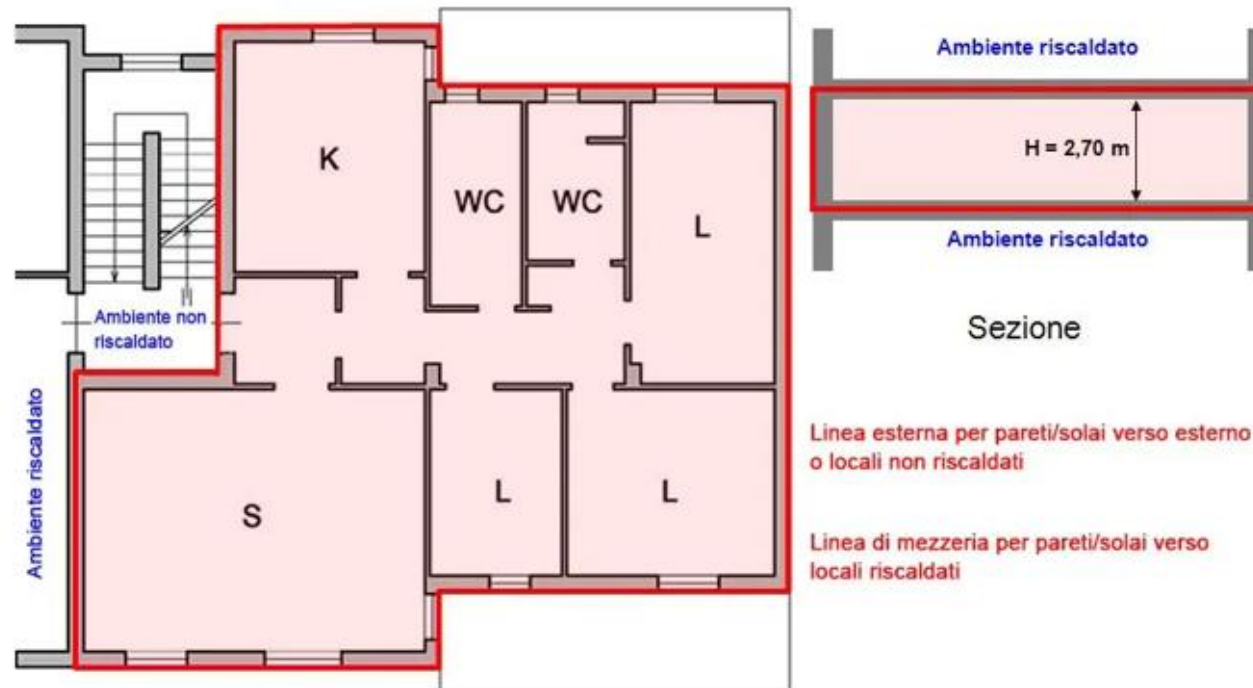
Volume lordo riscaldato: è definito dalle superfici esterne dell'involucro riscaldato

ANALISI TERMICA DEGLI EDIFICI

ANALISI TERMICA INVOLUCRO EDILIZIO

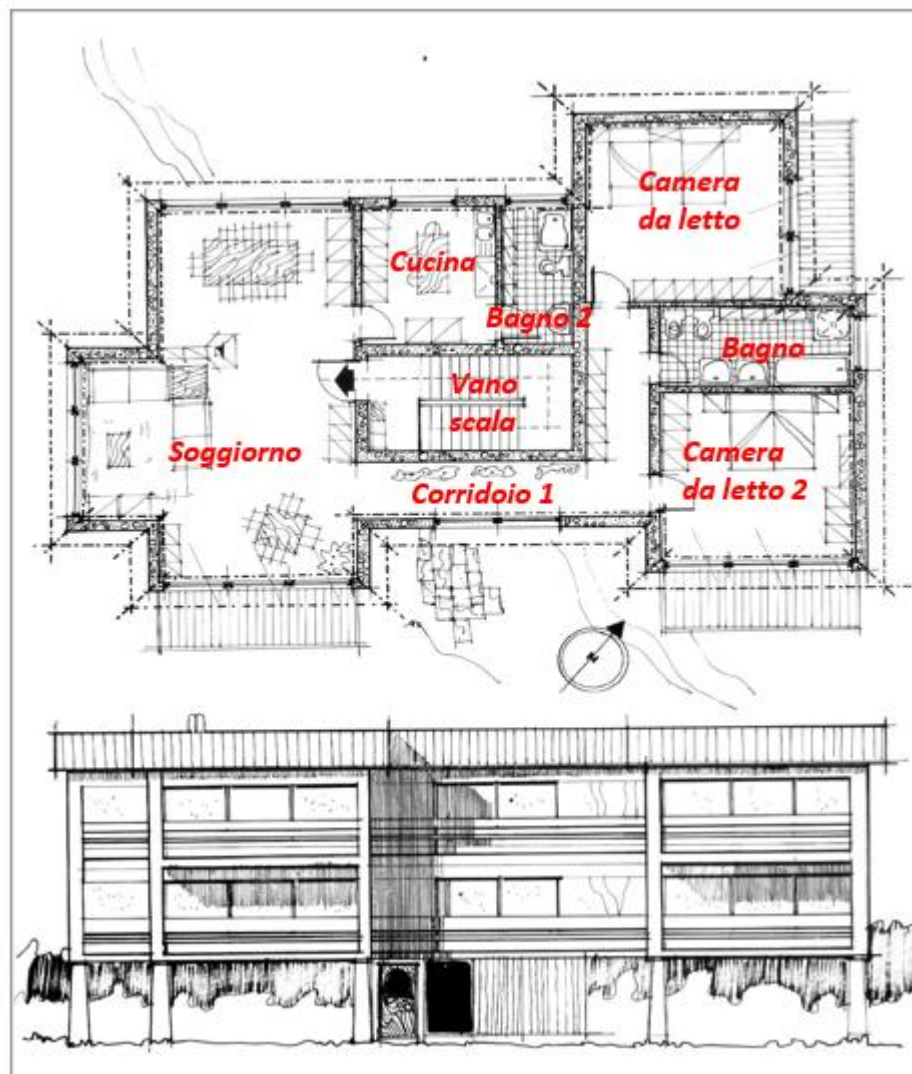
Individuiamo i componenti disperdenti:

Individuazione superficie disperdente e volume lordo riscaldato di un appartamento

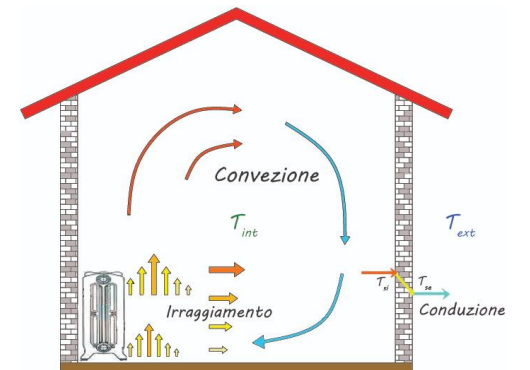


ANALISI TERMICA DEGLI EDIFICI

Vediamo un esempio!



CALCOLO DEL CARICO TERMICO ESTIVO



CALCOLO DEL CARICO TERMICO ESTIVO

Nel periodo estivo la sollecitazione termica può essere molto variabile durante le 24 ore, per cui non è facilmente individuabile l'istante in cui il carico termico è massimo, poiché l'inerzia delle strutture gioca un ruolo determinante.

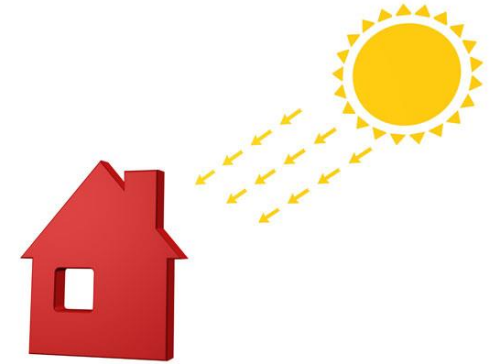


Si genera pertanto un ritardo tra la sollecitazione esterna e le condizioni interne e tale ritardo dipende dalla capacità termica delle strutture dell'edificio.

Il calcolo risulta pertanto notevolmente complesso perché richiede la soluzione di un problema di trasmissione del calore in regime variabile.

Esistono tuttavia alcuni metodi semplificati che consentono di agevolare l'approccio.

CALCOLO DEL CARICO TERMICO ESTIVO



L'ipotesi di base della metodologia presuppone che il flusso termico complessivamente scambiato con l'aria dell'ambiente venga considerato come la somma di due contributi, uno dovuto alla differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno ed uno che tenga conto della radiazione solare che attraversa le superfici vetrate.

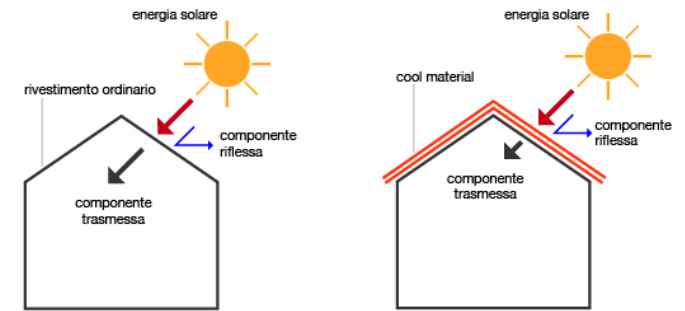
Il contributo al flusso convettivo dovuto alla differenza di temperatura tra l'aria esterna e quella interna, q_c^τ , risulta pari alla somma tra quello trasmesso attraverso le pareti opache, q_o^τ , e quello attraverso le superfici trasparenti, q_f^τ .

$$q_c^\tau = q_o^\tau + q_f^\tau$$
$$q_o^\tau = \sum_{j=1}^d U_j A_j \Delta t_{eq,j}^\tau$$
$$q_f^\tau = \sum_{j=1}^d U_j A_j (t_e^\tau - t_i^\tau)$$

Con $\Delta t_{eq,i}$ differenza di temperatura equivalente

Δt differenza effettiva nell'istante τ tra l'aria esterna e l'aria interna

CALCOLO DEL CARICO TERMICO ESTIVO



Per quanto riguarda le superfici opache, le differenze di temperatura equivalenti sono delle quantità calcolate in precedenza con metodi dettagliati, che vengono riportate in tabelle in funzione di alcune caratteristiche specifiche delle pareti stesse. In particolare le differenze di temperatura equivalenti risultano una funzione:

- della massa frontale del muro
- dell'ora del giorno
- dell'esposizione

I valori delle differenze di temperatura equivalente possono essere ricavati da apposite tabelle, in precise condizioni, e possono essere corretti in base alle condizioni reali in cui ci si ritrova.

Per quanto riguarda le superfici trasparenti si ipotizza invece che non abbiano capacità di accumulo; pertanto la differenza di temperatura equivalente da applicare è pari alla differenza di temperatura effettiva che si ha nell'istante considerato tra l'aria esterna e l'aria interna.

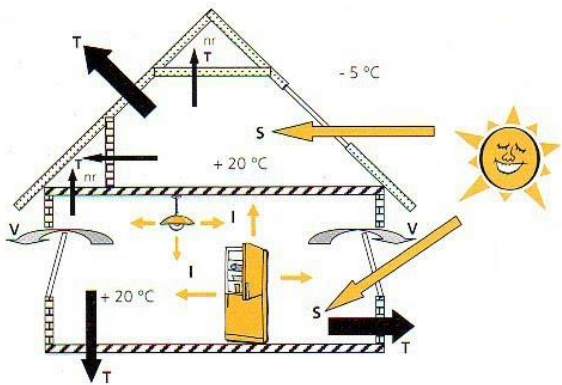
CALCOLO DEL CARICO TERMICO ESTIVO

Al contributo attraverso le superfici dell'involucro edilizio è necessario aggiungere ad ogni istante τ il contributo di accumulo dovuto alla *radiazione solare* che attraverso le superfici trasparenti riscalda l'interno degli ambienti, q_s^τ , ed alle sorgenti di radiazione presenti all'interno dell'ambiente stesso, principalmente costituite dalle *lampade per l'illuminazione*, q_l^τ :

$$q_a^\tau = q_s^\tau + q_l^\tau$$

$$q_s^\tau = \sum_{j=1}^v (q_{s,\max} f_s^\tau)_j$$

$$q_l^\tau = \sum_{j=1}^T (q_l f_l^\tau)_j$$



- $q_{s,\max}$ è la radiazione massima trasmessa dalla superficie vetrata
- f_s il "fattore di accumulo"

- q_l è la potenza radiante di ogni gruppo di lampade
- f_l^τ il relativo fattore di accumulo, valutabile in funzione del tipo di lampada, del numero di ore trascorse dall'accensione e della massa media dell'ambiente (tabellato)

CALCOLO DEL CARICO TERMICO ESTIVO

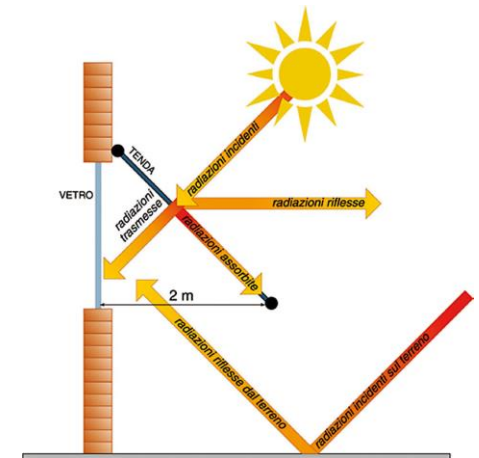
$$q_{s,\max} = I_{f,\max}^* C_c f_h f_f A_f$$

- $I_{f,\max}^*$ massima radiazione trasmessa da una finestra di riferimento, valutabile in funzione della latitudine, del mese e dell'esposizione
- C_c fattore di schermatura della finestra
- f_h frazione soleggiata media giornaliera
- f_f coefficiente in funzione del tipo di telaio
- A_f area della finestra

I fattori di accumulo sono tabellati in funzione dell'esposizione, dell'ora solare e della massa media dell'ambiente, quest'ultima pari a:

$$M_m = \frac{\sum_{j=1}^d m_j A_j + 0.5 \sum_{j=1}^{N-d} m_j A_j}{A_p}$$

- m massa superficiale
- A superficie della parete
- A_p area del pavimento
- N numero totale di pareti
- d numero di pareti disperdenti dell'ambiente



CALCOLO DEL CARICO TERMICO ESTIVO

Note le quantità calcolate con l'ausilio del metodo delle differenze di temperatura equivalente e dei fattori di accumulo, il carico termico complessivo dell'ambiente risulta:

$$q_p^r = -(q_c^r + q_a^r + q_v^r + q_g^r)$$

Il calcolo va ripetuto per ogni istante τ durante le 24 ore, assumendo come carico termico sensibile il maggiore dei valori ottenuti.



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.

CALCOLO DEL CARICO TERMICO ESTIVO

NB In attività diverse dal residenziale, è fondamentale considerare anche il contributo delle persone: esse apportano un contributo di calore che varia a seconda del tipo di attività e della temperatura in ambiente.



	$t_i = 26\text{ °C}$ (estate)		$t_i = 21\text{ °C}$ (inverno)	
	sensibile [W]	latente [W]	sensibile [W]	latente [W]
Attività moderata (uffici, alberghi, appartamenti)	64	52	81	35
Attività pesante (ballo svelto)	93	290	150	230

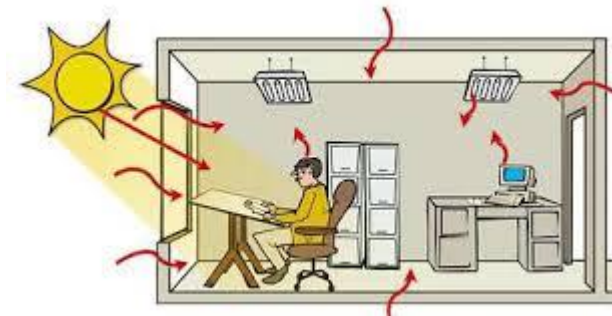
CALCOLO DEL CARICO TERMICO ESTIVO

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 che riguardano il tipo di edificio e la sua modalità di utilizzo.

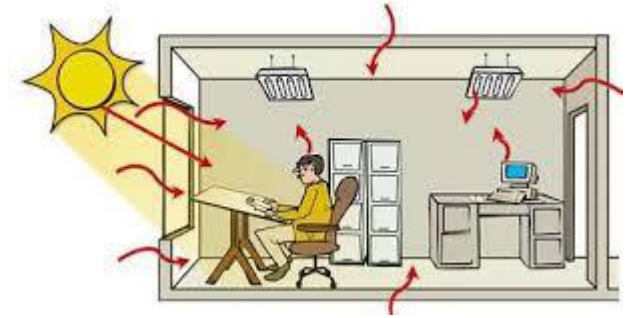
Il carico termico è solitamente suddiviso, in entrambe le stagioni invernale ed estiva, nei due differenti contributi, legati al tipo di perturbazione indotta:

- 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.

$$Q_T = Q_S + Q_L$$



CALCOLO DEL CARICO TERMICO ESTIVO



Il *carico termico sensibile* 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.

- Per il regime invernale non si considererà il carico latente in quanto 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. Conseguo 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). Conseguo che $Q_T = Q_S + Q_L$.