

(IV) I serramenti finestra

I serramenti finestra devono svolgere molteplici funzioni: devono fare entrare la luce negli ambienti, impedire al calore interno di migrare all'esterno, proteggere l'ambiente interno dagli agenti atmosferici e possedere elevate caratteristiche fonoisolanti.

Le normali finestre utilizzate in un edificio convenzionale causano perdite energetiche pari a circa il 20% del totale. In un edificio passivo si devono pertanto utilizzare finestre con elevate prestazioni termiche, tipicamente a triplo vetro con doppia intercapedine termoisolante.

Le perdite di energia di una finestra sono determinate dagli elementi che la compongono: telaio e vetri. Il telaio è l'elemento più debole. Negli edifici passivi si utilizzano telai speciali termoisolanti multicamera.

Se da una parte l'alta trasmittanza termica (paragonata alla trasmittanza termica dell'involucro opaco) fa delle finestre nelle ore notturne i componenti più disperdenti dell'involucro, dall'altra le finestre permettono il passaggio della luce solare nelle ore diurne e quindi consentono un grande guadagno termico gratuito. In sintesi si può dire che una buona finestra deve bilanciare i guadagni solari durante le ore diurne con le perdite termiche durante le ore notturne.

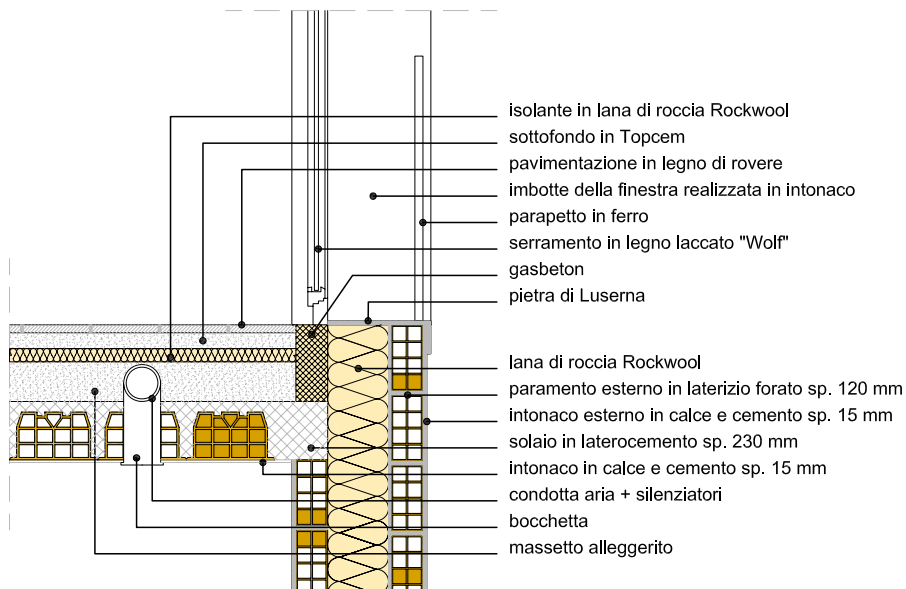
Caratteristiche termocinetiche delle finestre dell'edificio di Cherasco

| Finestra | Vetro (W/m^2K) | Vetro + telaio (W/m^2K) | Valore g (%) |
|----------|--------------------|-----------------------------|--------------|
| | 0.74 | 1.2 | 52 |

- Non sono stati utilizzati falsi telai
- Prima della posa è stato incollato un nastro isolante sul serramento e posato direttamente sull'intonaco.
- Dopo la posa è stata collocata una schiuma espansiva isolante e sopra questa il silicone.
- Successivamente è stato eseguito l'intonaco con un angolo di circa 45° dal muro interno verso il serramento.
- Sono stati utilizzati vetri tripli basso emissivi con doppia camera e gas argon all'interno.

Le alte prestazioni termiche delle finestre speciali potrebbero essere compromesse da un montaggio inadeguato. Finestre e porte esterne devono essere inserite nell'involucro usando speciali accorgimenti costruttivi; il montaggio ideale consisterebbe nel posizionare l'infisso direttamente nel piano dell'isolamento.

A Cherasco il problema è stato risolto appoggiando il serramento direttamente su gasbeton.



Casa di Cherasco: dettaglio serramenti e vetri



Dettaglio serramento e sistema di ombreggiamento esterno a veneziana.



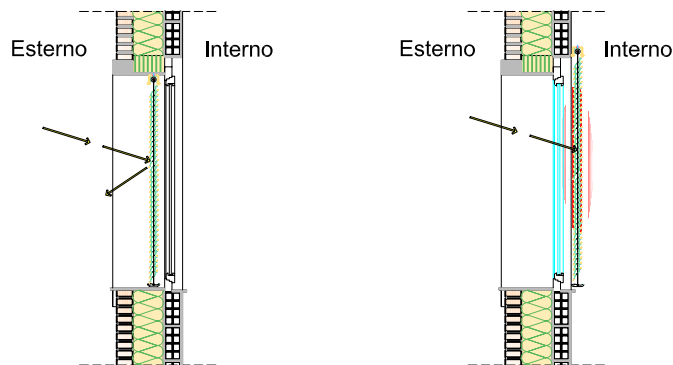
Dettaglio triplo vetro basso emissivo con doppia camera e gas argon.

(V) Gli ombreggiamenti

Gli elementi ombreggianti devono svolgere una funzione molto delicata: devono essere in grado di fare passare l'irraggiamento solare durante il periodo invernale e rifletterlo durante il periodo estivo per evitare il surriscaldamento interno degli ambienti; inoltre, per tutto l'anno devono permettere una adeguata illuminazione naturale.

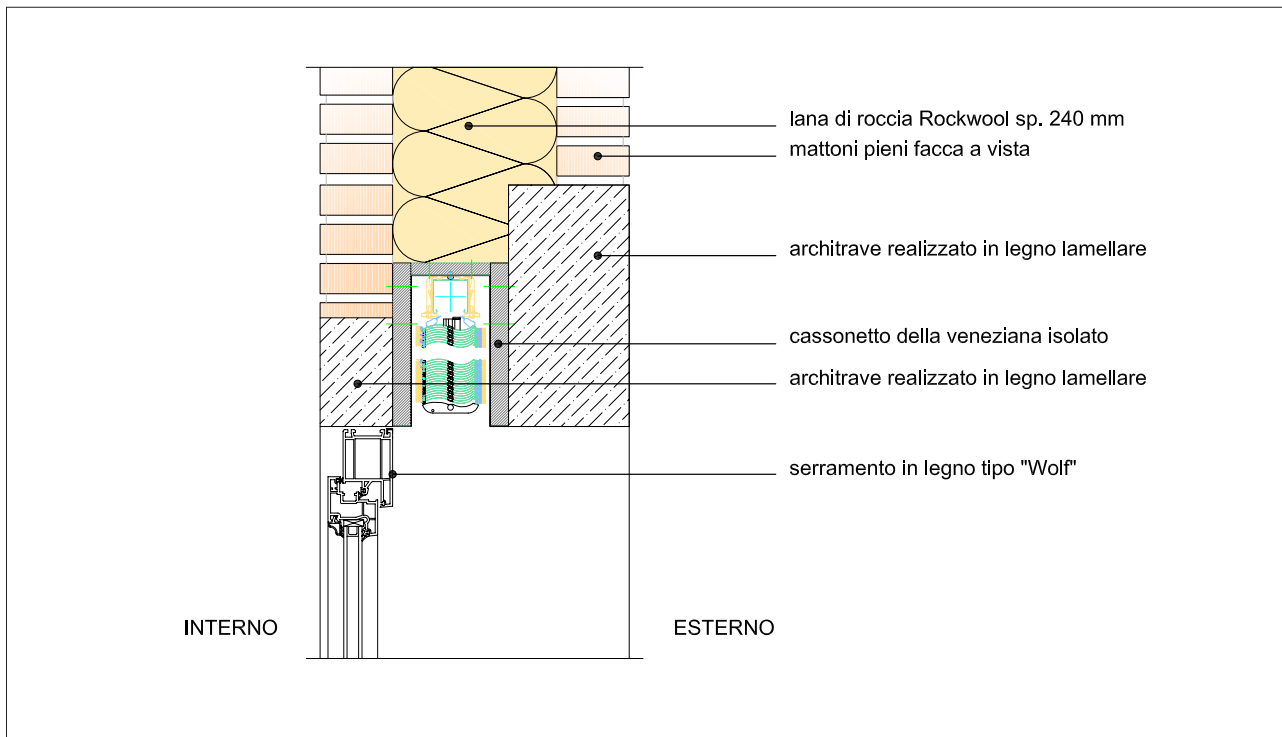
Alcune caratteristiche ideali di un elemento ombreggiante:

- collocazione esterna: è la posizione migliore, consente di raggiungere la massima efficienza. Se fosse posizionato all'interno l'effetto schermante sarebbe nullo, perchè la luce che lo investe, a valle del vetro, si è già trasformata in calore;
- adattabilità dell'elemento all'angolo di incidenza solare;
- durabilità nel tempo e resistenza alle intemperie.



Casa di Cherasco: dettaglio serramenti e vetri

Per l'impermeabilità all'aria dell'involucro rivestono particolare importanza gli eventuali cassonetti d'alloggiamento delle tapparelle che dovranno essere ben isolati ed ermetici.



Casa di Cherasco: dettaglio serramenti e vetri



Dettaglio della veneziana: posizione alette semichiusate



Dettaglio della veneziana: posizione alette chiuse

Tipi di vetrate – geometria e caratteristiche termiche

| VETRATA | | | | TIPI DI GAS NELL'INTERCAPEDINE (CONCENTRAZIONE DEL GAS $\geq 90\%$) U-value [W/m ² K] | | |
|---|---|--------------------|-----------------|--|-------|---------|
| TIPO | VETRO | EMISSIVITÀ NORMALE | DIMENSIONI [mm] | ARIA | ARGON | KRYPTON |
| Doppie vetrate | Vetri senza trattamento superficiale | 0.89 | 4-06-2004 | 3.3 | 3.0 | 2.8 |
| | | | 4-09-2004 | 3.0 | 2.8 | 2.6 |
| | | | 4-12-2004 | 2.9 | 2.7 | 2.6 |
| | | | 4-15-4 | 2.7 | 2.6 | 2.6 |
| | | | 4-20-4 | 2.7 | 2.6 | 2.6 |
| | Una lastra con trattamento superficiale | ≤ 0.4 | 4-06-2004 | 2.9 | 2.6 | 2.2 |
| | | | 4-09-2004 | 2.6 | 2.3 | 2.0 |
| | | | 4-12-2004 | 2.4 | 2.1 | 2.0 |
| | | | 4-15-4 | 2.2 | 2.0 | 2.0 |
| | | | 4-20-4 | 2.2 | 2.0 | 2.0 |
| | Una lastra con trattamento superficiale | ≤ 0.2 | 4-06-2004 | 2.7 | 2.3 | 1.9 |
| | | | 4-09-2004 | 2.3 | 2.0 | 1.6 |
| | | | 4-12-2004 | 1.9 | 1.7 | 1.5 |
| | | | 4-15-4 | 1.8 | 1.6 | 1.6 |
| | | | 4-20-4 | 1.8 | 1.7 | 1.6 |
| | Una lastra con trattamento superficiale | ≤ 0.1 | 4-06-2004 | 2.6 | 2.2 | 1.7 |
| | | | 4-09-2004 | 2.1 | 1.7 | 1.3 |
| | | | 4-12-2004 | 1.8 | 1.5 | 1.3 |
| | | | 4-15-4 | 1.6 | 1.4 | 1.3 |
| | | | 4-20-4 | 1.6 | 1.4 | 1.3 |
| Una lastra con trattamento superficiale | ≤ 0.05 | 4-06-2004 | 2.5 | 2.1 | 1.5 | |
| | | 4-09-2004 | 2.0 | 1.6 | 1.3 | |
| | | 4-12-2004 | 1.7 | 1.3 | 1.1 | |
| | | 4-15-4 | 1.5 | 1.2 | 1.1 | |
| | | 4-20-4 | 1.5 | 1.2 | 1.2 | |

| VETRATA | | | TIPI DI GAS NELL'INTERCAPEDINE (CONCENTRAZIONE DEL GAS ≥ 90%) U-value [W/m²K] | | | |
|---|---|--------------------|--|------|-------|---------|
| TIPO | VETRO | EMISSIVITÀ NORMALE | DIMENSIONI [mm] | ARIA | ARGON | KRYPTON |
| Triple vetrate | Vetri senza trattamento superficiale | 0.89 | 4-6-4-6-4 | 2.3 | 2.1 | 1.8 |
| | | | 4-9-4-9-4 | 2.0 | 1.9 | 1.7 |
| | | | 4-12-4-12-4 | 1.9 | 1.8 | 1.6 |
| | Due lastre con trattamento superficiale | ≤ 0.4 | 4-6-4-6-4 | 2.0 | 1.7 | 1.4 |
| | | | 4-9-4-9-4 | 1.7 | 1.5 | 1.2 |
| | | | 4-12-4-12-4 | 1.5 | 1.3 | 1.1 |
| | Due lastre con trattamento superficiale | ≤ 0.2 | 4-6-4-6-4 | 1.8 | 1.5 | 1.1 |
| | | | 4-9-4-9-4 | 1.4 | 1.2 | 0.9 |
| | | | 4-12-4-12-4 | 1.2 | 1.0 | 0.8 |
| | Due lastre con trattamento superficiale | ≤ 0.1 | 4-6-4-6-4 | 1.7 | 1.3 | 1.0 |
| | | | 4-9-4-9-4 | 1.3 | 1.0 | 0.8 |
| | | | 4-12-4-12-4 | 1.1 | 0.9 | 0.6 |
| Due lastre con trattamento superficiale | ≤ 0.05 | 4-6-4-6-4 | 1.6 | 1.3 | 0.9 | |
| | | 4-9-4-9-4 | 1.2 | 0.9 | 0.7 | |
| | | 4-12-4-12-4 | 1.0 | 0.8 | 0.5 | |

(VI) L'impermeabilità all'aria dell'involucro

Una componente fondamentale per la riuscita di un edificio passivo è l'assenza di infiltrazioni d'aria nell'involucro: basta qualche infiltrazione o giunti non correttamente eseguiti o piccole lacerazione alla barriera vapore per causare perdite che possono raggiungere anche i 1000 kWh/anno. L'impermeabilizzazione dell'involucro può essere ottenuta attraverso l'utilizzo di teli in polietilene posizionati sul lato interno dell'involucro con particolare attenzione alla loro sovrapposizione. Controlli accurati devono essere posti nei collegamenti tra muratura perimetrale e serramenti, e in generale in tutti quegli elementi che attraversano l'involucro (eventuali tubazioni, scafole di derivazione ecc.).



Il “Blower door test” consente di valutare l'impermeabilità dell'involucro di un edificio. Il test viene eseguito utilizzando un ventilatore che espelle all'esterno l'aria interna dell'edificio sino ad arrivare ad una pressione differenziale di 50 Pa tra interno ed esterno dell'edificio. Successivamente con apposite apparecchiature si misura il volume d'aria che affluisce all'interno dell'edificio attraverso l'involucro. Il numero di ricambi orari in tali condizioni di gradiente pressorio è appunto indicato con il simbolo n_{50} ; per lo standard di casa passiva è richiesto $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$.

Casa di Cherasco: prova di tenuta serramenti e certificazione



Monitoraggio tenuta serramenti durante il Blower door test.



La casa di Cherasco ha ottenuto la certificazione secondo il Passivhaus standard

Misurazione della tenuta all'aria di edifici (Minneapolis Blower Door)

Principio di misurazione

Come accennato per la misurazione della permeabilità all'aria di un'abitazione o di un edificio, viene installato ermeticamente un ventilatore nell'apertura di una porta esterna o di una finestra. Con il ventilatore in funzione, porte esterne e finestre chiuse, viene prodotta una differenza di pressione (depressione e sovra-pressione) rispetto all'atmosfera esterna.

Il valore della differenza di pressione (da 10 a 60 Pascal circa) può essere impostato mediante il numero di giri del ventilatore. Il flusso d'aria generato dalla differenza di pressione impostata viene definito come portata volumetrica della permeabilità all'aria. La portata volumetrica valutata in presenza di una differenza tra la sovra-pressione e la depressione pari a 50 Pascal fornisce il valore caratteristico della permeabilità all'aria.

A cosa corrispondono 50 Pascal?

Il Pascal è un'unità di pressione. Viene ottenuto 1 Pascal quando su una superficie di 1 m² agisce una forza di 1 N. Quindi 50 Pascal corrispondono a 50 N. 50 Pascal misura la pressione dinamica al centro di una parete soggetta all'azione perpendicolare del vento ad una velocità di 9 m/s.

Permeabilità all'aria n_{50} in base al volume

Dividendo la portata volumetrica della permeabilità all'aria V_{50} per il volume interno V_L dell'edificio in esame (abitazione), si ottiene la permeabilità all'aria n_{50} in base al volume. La permeabilità all'aria in base al volume permette la determinazione della tenuta di un edificio o di un'abitazione.

Istruzioni per la determinazione della permeabilità all'aria n_{50} in base al volume

- $n_{50} < 0,6$ l/h **Ottima permeabilità all'aria dell'involucro dell'edificio:**
L'edificio o l'abitazione soddisfa i requisiti di permeabilità all'aria imposti dalla normativa sulle case passive.
- $n_{50} < 1,0$ l/h **Permeabilità all'aria molto elevata dell'involucro dell'edificio:**
L'edificio o l'abitazione rispetta le prescrizioni della Direttiva DIN V 4108-7 per l'impiego di impianti di aerazioni meccanici. Questo valore di permeabilità deve essere ottenuto, con ventilazione attraverso la finestra, anche per gli edifici a basso consumo energetico e gli edifici esposti al vento. In caso di ventilazione attraverso la finestra, è necessario assicurare una sufficiente aerazione dell'ambiente.
- $1,0$ l/h $< n_{50} < 2,0$ l/h **Permeabilità all'aria medio - alta dell'involucro dell'edificio**
L'edificio o l'abitazione rispetta le prescrizioni della Direttiva DIN V 4108-7 per l'aerazione naturale, ad esempio attraverso le finestre. In caso di impiego di impianti di aerazione meccanici, secondo questa direttiva non deve essere superata una permeabilità all'aria n_{50} in base al volume di 1,0 all'ora.
- $2,0$ l/h $< n_{50} < 4,0$ l/h **Permeabilità all'aria medio - bassa dell'involucro dell'edificio**
Le perdite di entità medio - elevate citate nel verbale di collaudo devono essere sigillate. Secondo la Direttiva DIN V 4108-7 per l'aerazione naturale, ad esempio attraverso le finestre, non deve essere superata una permeabilità all'aria n_{50} in base al volume di 3,0 all'ora.
- $4,0$ l/h $< n_{50}$ **Permeabilità all'aria insufficiente dell'involucro dell'edificio:**
Si consiglia un'urgente risigillatura completa dell'edificio.

Protocollo di misurazione Blower Door, Base di calcolo ISO 9972, Minneapolis Blower Door Modello 3.

3 La risposta estiva della casa di Cherasco: analisi degli sfasamenti dell'onda termica.

Riprendiamo concetti introdotti al paragrafo 3.2 del capitolo 1, per applicarli ora alla casa di Cherasco. Ci proponiamo di valutare il comportamento estivo dell'edificio in regime non stazionario^(*).

Obiettivo della progettazione estiva è la determinazione della tipologia dell'involucro dell'edificio che consenta di mantenere all'interno, in assenza di impianto di climatizzazione, certe volute condizioni di temperatura. Il problema è risolto dallo standard nazionale UNI 10375 del 1993^(**).

Sono stati calcolati i coefficienti di attenuazione e sfasamento della pareti perimetrali della casa di Cherasco. Gli algoritmi utilizzati sono quelli forniti in appendice A della norma UNI 10375. Le pareti presentano un coefficiente di attenuazione di 0.2232 e uno sfasamento di 12h 35'.

Consideriamo per esempio la risposta della parete Nord (pagina successiva): il picco dell'onda termica pomeridiana si verifica alle ore 15 con 29 °C e quindi inizia ad interessare l'interno dell'edificio alle ore 3 e 30 del mattino (da tabella e grafico si nota che la massima temperatura superficiale sul lato interno della parete si verifica tra le ore 3 e le ore 4).

Un metodo semplificato consente di valutare anche il rischio di surriscaldamento estivo. La procedura si basa sul confronto del parametro A_{eq}/V dell'ambiente (rapporto tra l'area soleggiata equivalente e il volume interno) con un valore massimo ammissibile $A_{eq,max}/V$. Se tale verifica risulta positiva significa che le caratteristiche costruttive sono tali da rispettare certi vincoli, definiti dal parametro A_{eq}/V , e che quindi la temperatura interna dei locali si mantiene entro limiti accettabili per il comfort estivo.

Sfasamento e attenuazione sono due parametri fondamentali della dinamica estiva e che possono essere sfruttati nel raffrescamento. Dal punto di vista costruttivo estrema importanza rivestono le superfici finestrate, la loro dimensione ed esposizione, la collocazione dei dispositivi di ombreggiamento, la ventilazione ecc...

^(*) Si veda l'approfondimento al capitolo 1

^(**) La norma UNI 10375 definisce temperatura di riferimento per il calcolo del benessere ambientale la media tra la temperatura dell'aria interna e la temperatura media superficiale interna.

È quindi possibile intervenire sulla stratigrafia della parete per “programmare” l’entrata all’interno dell’edificio dell’onda termica più calda all’ora desiderata.

Nella tabella vengono riportati i coefficienti di attenuazione e sfasamento per pareti verticali, fonte: UNI 10375.

| U [W/m ² K] | m [kg/m ²] | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------------|---|----------------|---|----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|
| | 150 | | 200 | | 250 | | 300 | | 350 | | 400 | |
| | f _a | φ | f _a | φ | f _a | φ | f _a | φ | f _a | φ | f _a | φ |
| < 0.4 | 0.45 | 6 | 0.35 | 8 | 0.25 | 10 | 0.15 | 12 | 0.10 | 14 | 0.07 | 16 |
| 0.4 – 0.6 | 0.48 | 6 | 0.40 | 8 | 0.30 | 9 | 0.20 | 10 | 0.15 | 12 | 0.12 | 14 |
| 0.6 – 0.8 | 0.54 | 6 | 0.46 | 8 | 0.35 | 9 | 0.27 | 10 | 0.20 | 12 | 0.14 | 14 |
| > 0.8 | 0.60 | 6 | 0.50 | 8 | 0.43 | 8 | 0.27 | 10 | 0.20 | 12 | 0.14 | 14 |

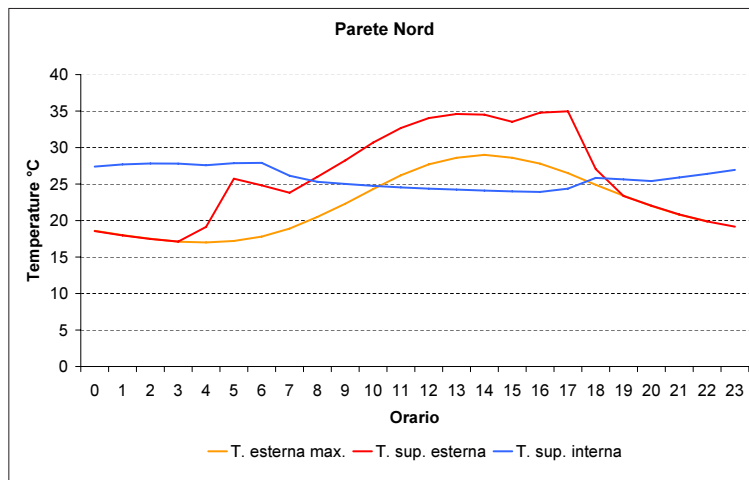
U è la trasmittanza termica della parete; m è la massa fisica areica della parete.

Altri standard per lo studio della dinamica estiva sono:

| | |
|------------------|---|
| UNI EN ISO 13791 | Prestazione termica degli edifici – Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di climatizzazione – Criteri generali e procedure di validazione |
| UNI EN ISO 13792 | Prestazione termica degli edifici – Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di climatizzazione – Metodi semplificati |

Parete Nord

| Orario | T. esterna max | Irraggiamento | T. sup. esterna | T. sup. interna |
|--------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 0 | 18,6 | 0 | 18,56 | 27,39 |
| 1 | 18 | 0 | 17,96 | 27,69 |
| 2 | 17,5 | 0 | 17,48 | 27,82 |
| 3 | 17,1 | 0 | 17,12 | 27,8 |
| 4 | 17 | 0 | 19,13 | 27,58 |
| 5 | 17,2 | 48 | 25,73 | 27,86 |
| 6 | 17,8 | 191 | 24,82 | 27,9 |
| 7 | 18,9 | 157 | 23,81 | 26,14 |
| 8 | 20,5 | 110 | 25,99 | 25,31 |
| 9 | 22,3 | 124 | 28,24 | 25,02 |
| 10 | 24,3 | 134 | 30,68 | 24,75 |
| 11 | 26,2 | 143 | 32,68 | 24,54 |
| 12 | 27,7 | 145 | 34,04 | 24,37 |
| 13 | 28,6 | 143 | 34,6 | 24,24 |
| 14 | 29 | 134 | 34,51 | 24,11 |
| 15 | 28,6 | 124 | 33,53 | 24 |
| 16 | 27,8 | 110 | 34,78 | 23,92 |
| 17 | 26,5 | 157 | 34,97 | 24,37 |
| 18 | 24,9 | 191 | 27,05 | 25,84 |
| 19 | 23,4 | 48 | 23,36 | 25,64 |
| 20 | 22 | 0 | 22,04 | 25,41 |
| 21 | 20,8 | 0 | 20,84 | 25,9 |
| 22 | 19,9 | 0 | 19,88 | 26,4 |
| 23 | 19,2 | 0 | 19,16 | 26,94 |

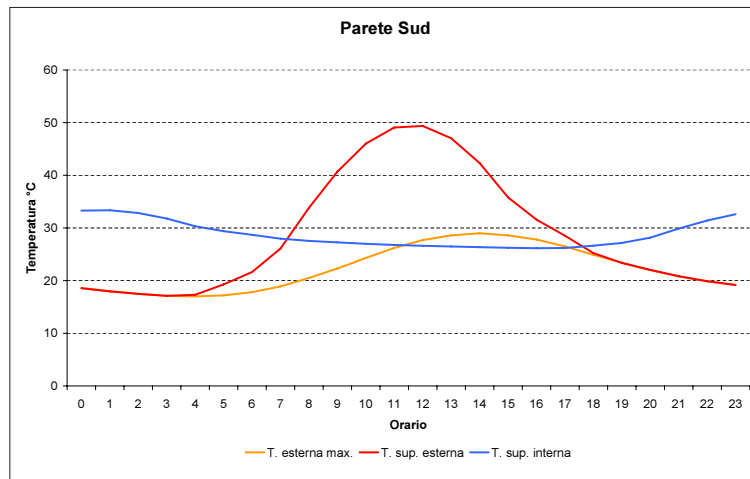


Massa frontale 253,6 kg/m²
 coeff. Attenuazione 0,2232
 Sfasamento 12h 35'
 Colore sup. esterna Medio

Nelle pagine successive sono stati calcolati i coefficienti di sfasamento e attenuazione per le pareti esposte sui lati sud, est ed ovest.

Parete Sud

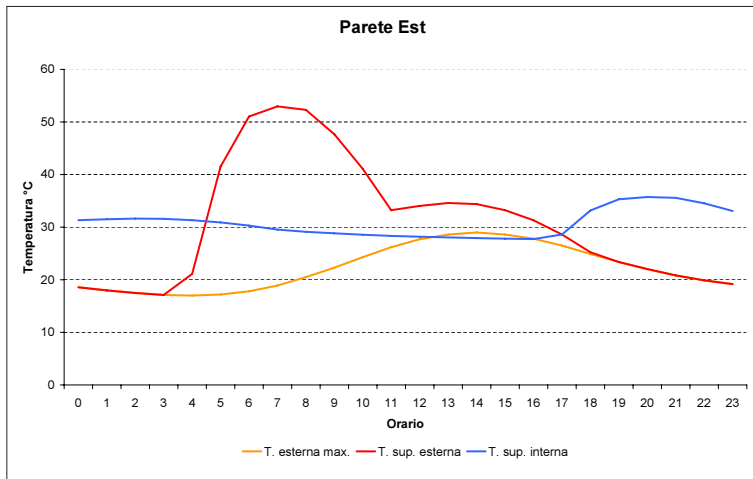
| Orario | T. esterna max | Irraggiamento | T. sup. esterna | T. sup. interna |
|--------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 0 | 18,6 | 0 | 18,56 | 33,29 |
| 1 | 18 | 0 | 17,96 | 33,36 |
| 2 | 17,5 | 0 | 17,48 | 32,84 |
| 3 | 17,1 | 0 | 17,12 | 31,79 |
| 4 | 17 | 0 | 17,31 | 30,33 |
| 5 | 17,2 | 7 | 19,28 | 29,39 |
| 6 | 17,8 | 46 | 21,62 | 28,7 |
| 7 | 18,9 | 85 | 26,08 | 27,97 |
| 8 | 20,5 | 161 | 33,81 | 27,55 |
| 9 | 22,3 | 300 | 40,68 | 27,26 |
| 10 | 24,3 | 414 | 46,01 | 26,99 |
| 11 | 26,2 | 488 | 49,08 | 26,78 |
| 12 | 27,7 | 514 | 49,37 | 26,61 |
| 13 | 28,6 | 488 | 47,04 | 26,48 |
| 14 | 29 | 414 | 42,33 | 26,35 |
| 15 | 28,6 | 300 | 35,8 | 26,24 |
| 16 | 27,8 | 161 | 31,58 | 26,16 |
| 17 | 26,5 | 85 | 28,52 | 26,2 |
| 18 | 24,9 | 46 | 25,23 | 26,64 |
| 19 | 23,4 | 7 | 23,36 | 27,16 |
| 20 | 22 | 0 | 22,04 | 28,16 |
| 21 | 20,8 | 0 | 20,84 | 29,88 |
| 22 | 19,9 | 0 | 19,88 | 31,42 |
| 23 | 19,2 | 0 | 19,16 | 32,61 |



Massa frontale $253,6 \text{ kg/m}^2$
 coeff. Attenuazione $0,2232$
 Sfasamento $12\text{h } 35'$
 Colore sup. esterna Medio

Parete Est

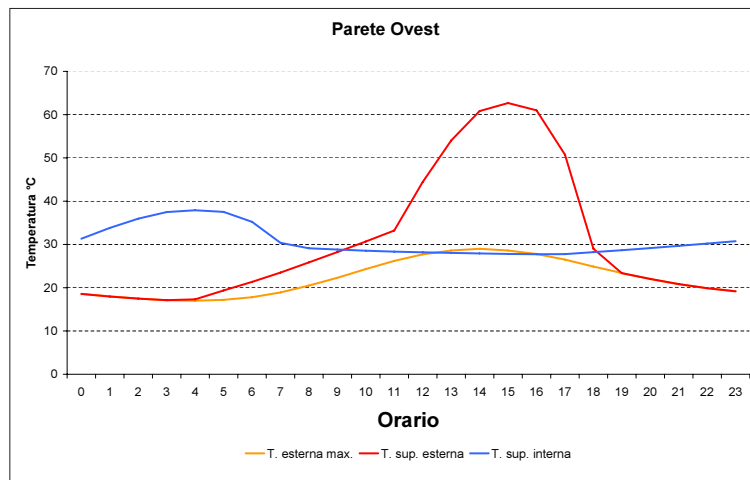
| Orario | T. esterna max | Irraggiamento | T. sup. esterna | T. sup. interna |
|--------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 0 | 18,6 | 0 | 18,56 | 31,32 |
| 1 | 18 | 0 | 17,96 | 31,5 |
| 2 | 17,5 | 0 | 17,48 | 31,63 |
| 3 | 17,1 | 0 | 17,12 | 31,58 |
| 4 | 17 | 0 | 21,09 | 31,32 |
| 5 | 17,2 | 92 | 41,51 | 30,9 |
| 6 | 17,8 | 546 | 51,04 | 30,29 |
| 7 | 18,9 | 747 | 52,96 | 29,54 |
| 8 | 20,5 | 766 | 52,3 | 29,12 |
| 9 | 22,3 | 716 | 47,66 | 28,83 |
| 10 | 24,3 | 571 | 41,08 | 28,56 |
| 11 | 26,2 | 377 | 33,22 | 28,34 |
| 12 | 27,7 | 157 | 34,04 | 28,18 |
| 13 | 28,6 | 143 | 34,6 | 28,05 |
| 14 | 29 | 134 | 34,38 | 27,92 |
| 15 | 28,6 | 121 | 33,22 | 27,81 |
| 16 | 27,8 | 103 | 31,31 | 27,73 |
| 17 | 26,5 | 79 | 28,61 | 28,61 |
| 18 | 24,9 | 48 | 25,23 | 33,17 |
| 19 | 23,4 | 7 | 23,36 | 35,3 |
| 20 | 22 | 0 | 22,04 | 35,73 |
| 21 | 20,8 | 0 | 20,84 | 35,58 |
| 22 | 19,9 | 0 | 19,88 | 34,54 |
| 23 | 19,2 | 0 | 19,16 | 33,07 |



Massa frontale **253,6 kg/m²**
 coeff. Attenuazione **0,2232**
 Sfasamento **12h 35'**
 Colore sup. esterna **Medio**

Parete Ovest

| Orario | T. esterna max | Irraggiamento | T. sup. esterna | T. sup. interna |
|--------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 0 | 18,6 | 0 | 18,56 | 31,32 |
| 1 | 18 | 0 | 17,96 | 33,82 |
| 2 | 17,5 | 0 | 17,48 | 35,96 |
| 3 | 17,1 | 0 | 17,12 | 37,48 |
| 4 | 17 | 0 | 17,31 | 37,9 |
| 5 | 17,2 | 7 | 19,37 | 37,52 |
| 6 | 17,8 | 48 | 21,35 | 35,23 |
| 7 | 18,9 | 79 | 23,5 | 30,38 |
| 8 | 20,5 | 103 | 25,86 | 29,12 |
| 9 | 22,3 | 121 | 28,24 | 28,83 |
| 10 | 24,3 | 134 | 30,68 | 28,56 |
| 11 | 26,2 | 143 | 33,22 | 28,34 |
| 12 | 27,7 | 157 | 44,44 | 28,18 |
| 13 | 28,6 | 377 | 54,02 | 28,05 |
| 14 | 29 | 571 | 60,82 | 27,92 |
| 15 | 28,6 | 716 | 62,68 | 27,81 |
| 16 | 27,8 | 766 | 61 | 27,73 |
| 17 | 26,5 | 747 | 50,75 | 27,77 |
| 18 | 24,9 | 546 | 29,01 | 28,23 |
| 19 | 23,4 | 92 | 23,36 | 28,67 |
| 20 | 22 | 0 | 22,04 | 29,15 |
| 21 | 20,8 | 0 | 20,84 | 29,68 |
| 22 | 19,9 | 0 | 19,88 | 30,21 |
| 23 | 19,2 | 0 | 19,16 | 30,75 |



Massa frontale **253,6 kg/m²**
 coeff. Attenuazione **0,2232**
 Sfasamento **12h 35'**
 Colore sup. esterna **Medio**

Il software TRNSYS

TRNSYS è un programma modulare di simulazione per sistemi in regime variabile, da cui il nome, acronimo di “TRaNsient SYstem Sy-mulation”.

Sviluppato fin dal 1975 dal Solar Energy Laboratory dell'Università del Wisconsin – Madison, si compone di sette programmi di utility e di un certo numero di componenti (subroutine), denominate TYPE, ciascuna delle quali consente la simulazione di un determinato apparecchio o macchina presente nell'edificio-impianto:

la modellizzazione dell'edificio è basata sul concetto di funzione di trasferimento, che lega una sollecitazione $H(\tau)$, applicata ad un sistema $O(\tau)$, secondo la relazione:

$$O(\tau) = D * H(\tau)$$

essendo “*” una particolare convoluzione.

Il programma viene fornito con una libreria standard di componenti (TYPE), comprendente gli apparecchi di più comune utilizzo nel settore impiantistico, naturalmente è possibile creare nuove componenti scrivendone il relativo codice in linguaggio FORTRAN, oppure inserire le componenti aggiuntive eventualmente disponibili.