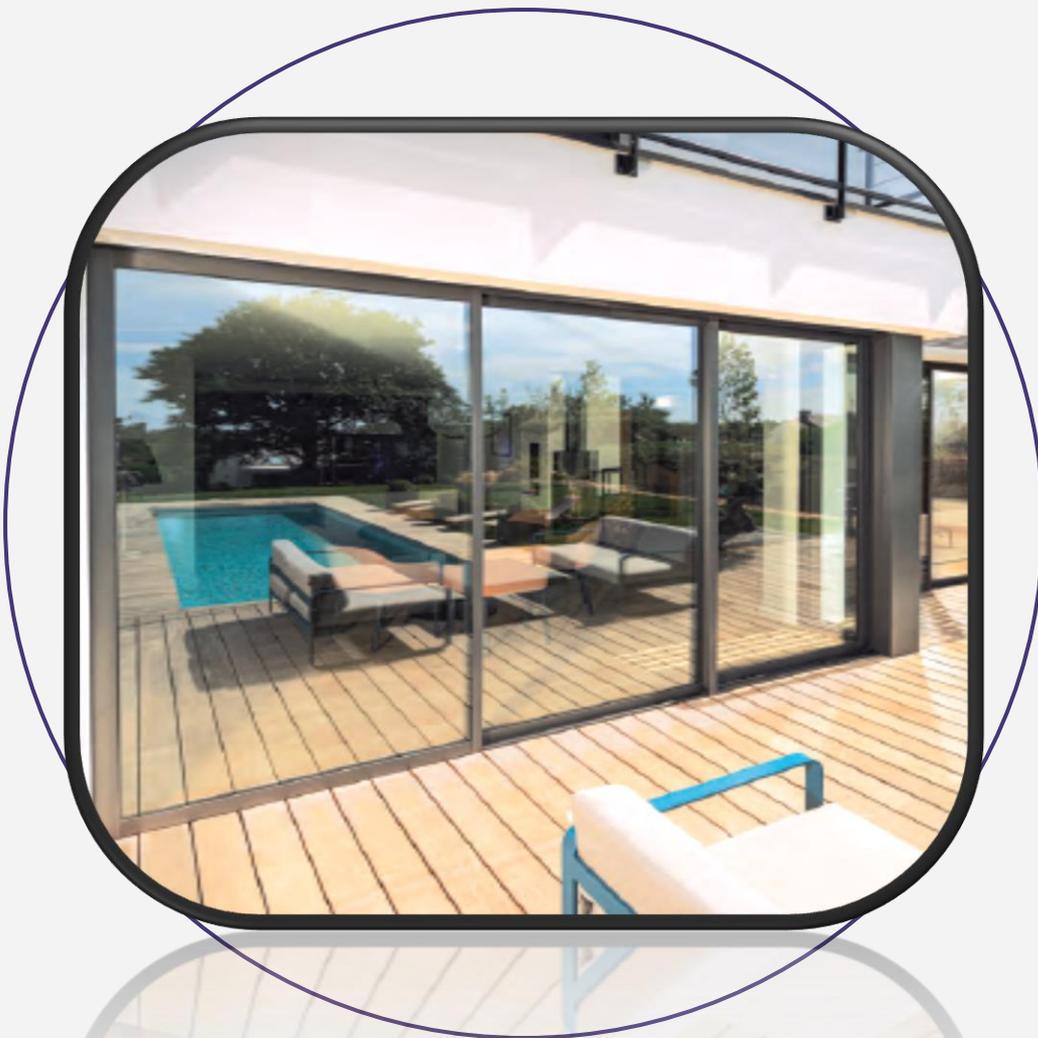




IL BILANCIO ENERGETICO DEI SERRAMENTI

Le parti vetrate e il bilancio energetico tra energia uscente ed energia solare entrante.



I MANUALI ANIT

ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico, pubblica periodicamente **guide e manuali** sulle tematiche legate all'efficienza energetica e all'isolamento acustico degli edifici.

Gli argomenti trattati riguardano la legislazione, le norme tecniche di riferimento, le tecnologie costruttive, le indicazioni di posa e molto altro.

Le **guide** sono riservate ai Soci ANIT e analizzano leggi e norme del settore, i **manuali** sono scaricabili per tutti gratuitamente e affrontano con un taglio pratico temi sviluppati in collaborazione con le Aziende associate.



STRUMENTI PER I SOCI

I soci ricevono



Costante **aggiornamento** sulle **norme in vigore** con le GUIDE



I software per calcolare **tutti i parametri** energetici, igrotermici e acustici degli edifici



Servizio di **chiarimento tecnico** da parte dello Staff ANIT

I servizi e la quota di iscrizione variano in base alla categoria di associato (Individuale, Azienda, Onorario).

Il presente manuale è realizzato in collaborazione con:



Tutti i diritti sono riservati

Questo documento è stato realizzato da Tep s.r.l.

Le informazioni riportate sono da ritenersi indicative ed è sempre necessario riferirsi a eventuali documenti ufficiali in vigore. I contenuti sono aggiornati alla data in copertina. Si raccomanda di verificare sul sito www.anit.it l'eventuale presenza di versioni più aggiornate.

Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o divulgata senza l'autorizzazione scritta di Tep s.r.l.

INDICE

PREMESSA	2
1 IL BILANCIO ENERGETICO SUL SERRAMENTO	3
1.1 <i>La trasmittanza termica U_w</i>	3
1.2 <i>Dimensioni normalizzate/campione dei serramenti</i>	4
1.3 <i>La trasmittanza solare g_{gl} della parte vetrata</i>	4
1.4 <i>Il contributo dell'ingombro del telaio g_w</i>	6
1.5 <i>Il contributo delle schermature mobili g_{gl+sh}</i>	7
1.6 <i>Il bilancio sugli elementi trasparenti</i>	9
2 DESCRIZIONE DEI CASI STUDIO	11
2.1 <i>Il territorio nazionale</i>	11
2.2 <i>Risultati di Ecobonus e Superbonus 110%</i>	12
2.3 <i>Villa unifamiliare</i>	13
3 DESCRIZIONE DEI CRITERI DI VALUTAZIONE DELLO STUDIO	14
3.1 <i>Descrizione dei calcoli di risparmio energetico invernale ed estivo</i>	14
4 RISULTATI DI SIMULAZIONE VILLA UNIFAMILIARE	15
4.1 <i>zona E – edificio scarso</i>	17
4.2 <i>zona E – edificio medio</i>	17
4.3 <i>zona E – edificio buono</i>	18
4.4 <i>zona D – edificio scarso</i>	18
4.5 <i>zona D – edificio medio</i>	19
4.6 <i>zona D – edificio buono</i>	19
4.7 <i>zona C – edificio scarso</i>	20
4.8 <i>zona C – edificio medio</i>	20
4.9 <i>zona C – edificio buono</i>	21
5 CONCLUSIONI	22
CONTATTI	25

PREMESSA

I serramenti, le parti vetrate e le schermature sono un argomento rilevante del bilancio energetico degli ambienti (delle unità immobiliari e degli edifici) sia per il servizio di riscaldamento che per il comfort estivo e l'eventuale servizio di raffrescamento. Il Legislatore ha nel corso degli anni individuato come parametri minimi la trasmittanza termica U_w e il fattore solare del vetro comprensivo di schermature mobili g_{gl+sh} . Il Manuale sintetizza la teoria e le norme relative al comportamento energetico dei serramenti e riassume i risultati dello studio realizzato da TEP srl con Liebot sull'impatto della sostituzione dei serramenti in edifici esistenti (scarsamente, mediamente o correttamente isolanti) al variare della trasmittanza termica e del fattore g_w che tiene conto non solo del fattore solare di trasmittanza del vetro g_{gl} , ma anche dell'ingombro del telaio.

Dallo studio emergono interessanti spunti sulle conseguenze energetiche della scelta dell'insieme delle informazioni che contraddistinguono un serramento: trasmittanza termica U_w , fattore solare della sola parte vetrata g_{gl} e fattore solare del serramento (comprensivo dell'ingombro del telaio) g_w . Spunti rivolti al mondo dei progettisti architettonici e termotecnici che possono sviluppare in autonomia valutazioni avanzate grazie all'impiego di metodi di calcolo dinamici con passo orario. Dallo studio emerge anche come il parametro g_w risulti maggiormente idoneo alla caratterizzazione del prodotto "serramento" nei confronti della radiazione solare.

1 IL BILANCIO ENERGETICO SUL SERRAMENTO

I serramenti sono un componente dell'involucro degli edifici molto interessante dal punto di vista energetico. Come confine di separazione tra l'ambiente interno ed esterno possono essere oggetto di dispersione o di apporto energetico a seconda delle ore e della stagione. La progettazione termotecnica degli edifici categorizza le prestazioni dei serramenti con una serie di parametri di seguito descritti:

- trasmittanza termica U_w
- trasmittanza solare della parte vetrata g_{gl}
- trasmittanza solare complessiva del vano serramento g_w
- trasmittanza solare della parte vetrata in combinazione con la schermatura solare g_{gl+sh}

In questa prima parte del manuale si riassumono brevemente i significati dei diversi parametri propedeutici alla comprensione dei capitoli successivi.

1.1 La trasmittanza termica U_w

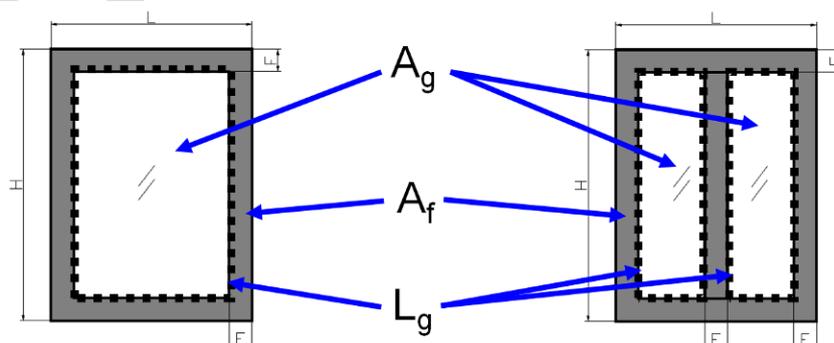
La trasmittanza termica U_w di un elemento trasparente (serramenti vetrati) si calcola come media pesata delle singole trasmittanze del telaio e della struttura vetrata considerando l'influenza del ponte termico del giunto di separazione vetro-telaio:

$$U = \frac{U_g A_g + U_f A_f + \Psi_g L_g}{A_g + A_f}$$

dove:

- U_g è la trasmittanza termica del vetro (glass) W/m^2K
- A_g è l'area dell'elemento vetrato in m^2
- U_f è la trasmittanza termica del telaio (frame) W/m^2K
- A_f è l'area del telaio in m^2
- Ψ_g è la trasmittanza termica lineare della giunzione vetro-telaio in W/mK
- L_g è il perimetro della giunzione vetro-telaio

I calcoli per la valutazione della trasmittanza dei serramenti si realizzano in accordo con la norma UNI EN 10077-1 (se le facciate sono continue con la norma UNI EN ISO 12631) o si assume il valore dichiarato dal fabbricante in accordo con la norma UNI EN 14351-1.



1.2 Dimensioni normalizzate/campione dei serramenti

Ai fini della marcatura CE dei serramenti è possibile utilizzare il metodo del “serramento campione” o “campione normalizzato”. Si determina il serramento campione per tipologia corrispondente al reale da certificare o al serramento che ha le condizioni peggiori e si procede calcolando la trasmittanza con UNI EN 10077-1. Il valore viene riportato in marcatura CE e nella documentazione tecnica.

In accordo con UNI EN 14351-1 i campioni si scelgono sulla base di diversi criteri e con le seguenti dimensioni:

	Dimensioni campione	Per superficie
FINESTRE	1,23 x 1,48	1,48 x 2,18
	per superficie < $\sigma = 2,3 \text{ m}^2$	per superficie > $2,3 \text{ m}^2$
PORTE FINESTRE	1,23 x 2,18	2,00 x 2,18
	per superficie < $\sigma = 3,6 \text{ m}^2$	per superficie > $3,6 \text{ m}^2$

Ai fini delle valutazioni termotecniche (relazione ex-L10, attestati di prestazioni energetiche e diagnosi energetiche) il progettista è tenuto a utilizzare per singolo serramento il valore di trasmittanza termica U_w .

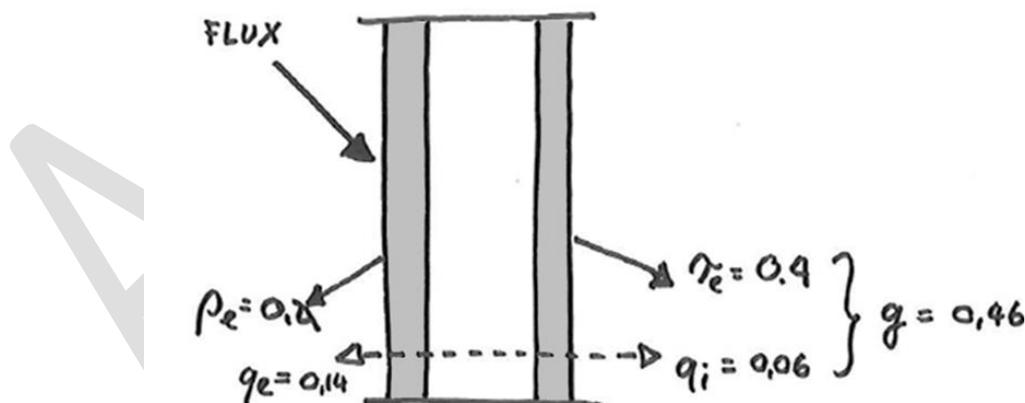
1.3 La trasmittanza solare g_{gl} della parte vetrata

Il fattore solare g è il parametro che rappresenta la quantità di energia che attraversa direttamente la parte vetrata sommata alla quantità che entra nell'ambiente interno attraverso uno scambio di convezione e irraggiamento dopo che è stata assorbita dalla struttura vetrata come semplificato nell'immagine.

$$g = \tau_e + q_i$$

dove:

- τ_e è la trasmittanza solare diretta
- q_i è il coefficiente di trasferimento di calore secondario che dipende dagli scambi termici radiativi e convettivi verso l'ambiente interno



Schema di divisione del flusso solare incidente su una superficie vetrata.
Il fattore solare g è dato dalla somma di τ_e di q_i . [Figura 3, UNI EN 410].

La valutazione del fattore solare “ g ” si realizza in accordo con la UNI EN 410 sulla base di una caratterizzazione per lunghezza d’onda dei parametri di riflessione e trasmissione delle parti vetrate.

La norma descrive in modo dettagliato come valutare il contributo q_i nei casi di vetro singolo, vetrata doppia e triplo vetro con doppia intercapedine d’aria. Infatti il valore di quantità di radiazione assorbita dipende dalle caratteristiche misurabili di trasmissione e riflessione. Una volta stabilita la quantità di energia assorbita, si

valuta in modo analitico quanta di questa energia riesce ad arrivare all'ambiente interno, sulla base di condizioni al contorno standard:

- direzione del flusso termico orizzontale;
- superficie esterna con emissività $\varepsilon = 0.837$ e velocità del vento pari a 4 m/s;
- intercapedini d'aria non ventilate;
- superficie interna soggetta a convezione naturale e con emissività eventualmente da indicare.

In relazione alle condizioni descritte i coefficienti liminari impiegati sono:

- $h_e = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $h_i = 3.6 + (4.1 \varepsilon_i)/0.837 \text{ W/m}^2\text{K}$

Il progettista ha quindi la possibilità di valutare l'efficacia di una soluzione vetrata ai fini del risparmio energetico estivo, concentrandosi su due parametri principali: la trasmittanza (o fattore) solare totale g_{gl} e il valore di trasmissione luminosa τ_v .

Si propone la seguente tabella con alcune tipologie vetrate (dati di letteratura).

Descrizione	U_g [W/m ² K]	$g_{gl,n}$ [-]	τ_v [-]
4/12/4 – doppio vetro	2.9	0.76	0.81
4/16/4 doppio vetro b.e. argon	1.3	0.63	0.76
4/15/4 doppio vetro b.e. argon	1.1	0.59	0.76
6/12/6 doppio vetro sel. aria	2.8	0.37	0.49

Dati di letteratura sulle caratteristiche termiche di vetrate di diversa composizione

I produttori di vetrate forniscono informazioni sulle caratteristiche solari e luminose (o anche a specifiche bande, ad esempio l'ultra violetto) in accordo con la UNI EN 410.

In generale il produttore di vetri suggerisce stratigrafie già composte da vetrate ben caratterizzate e restituisce risultati complessivi sulla stratigrafia.

Il progettista può costruire stratigrafie (doppie o triple) combinando le caratteristiche della singola vetrata in accordo con UNI EN 410.

La valutazione di g realizzata in accordo con la UNI EN 410 porta a stimare un valore che nella normativa relativa al fabbisogno energetico degli edifici (UNI/TS 11300-1) è denominato $g_{gl,n}$ con il pedice "n" che indica il fatto che la radiazione incidente è perpendicolare alle superficie vetrata (normale). Il valore infatti viene moltiplicato nei calcoli termotecnici per un coefficiente di riduzione che tiene conto della diversa inclinazione dei raggi solari al variare dell'esposizione (nord, sud, est, ovest, ecc....) e del mese. Da $g_{gl,n}$ passa a g_{gl} .

Il tema di fondo è che la progettazione della parte vetrata presuppone la consapevolezza sugli aspetti energetici invernali (trasmittanza termica U_w e U_g), estivi (trasmittanza termica U_g e fattore solare g_{gl} , g_w e g_{gl+sh}) e di comfort illuminotecnico (trasmissione luminosa τ_v).

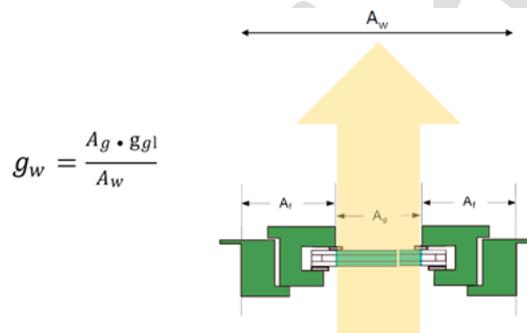
1.4 Il contributo dell'ingombro del telaio g_w

La modellazione del contributo degli apporti gratuiti prevede la valutazione anche della parte di ingombro del telaio rispetto al vano occupato dal serramento. L'energia solare infatti che riesce a raggiungere l'ambiente interno in inverno, nelle mezze stagioni e in estate, incontra diversi ostacoli.

È interessante quindi introdurre un parametro attribuibile ad un serramento reale che tiene conto non solo del " g_{gl} " della sola parte vetrata ma anche del fattore telaio F_f .

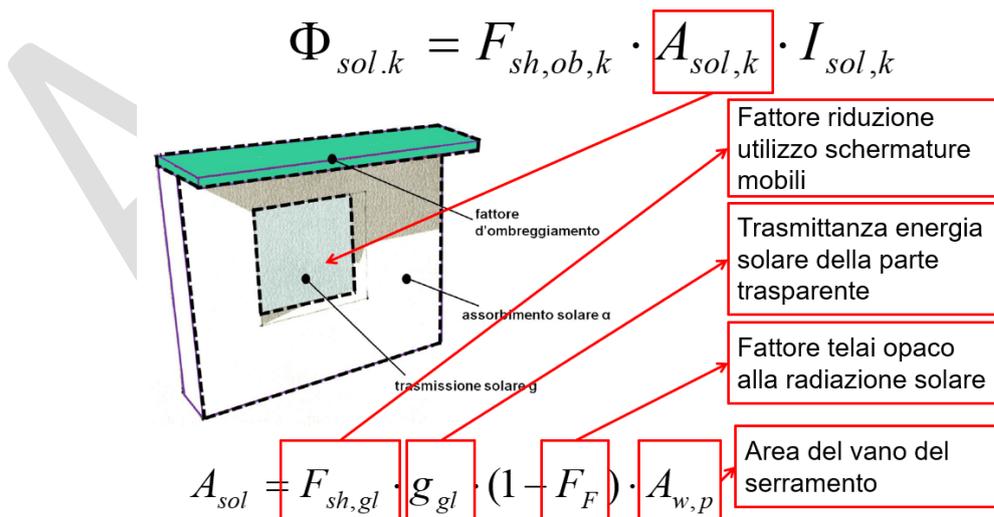
È possibile descrivere il serramento con un parametro denominabile " g_w " ovvero con il fattore solare del vetro rapportato all'effettiva superficie vetrata secondo la una formula sotto riportata. È un parametro utile poiché consente di valutare serramenti differenti tenendo conto non solo della stratigrafia della parte trasparente ma anche dell'ingombro del telaio.

Il parametro risulta ad oggi presente nel progetto di revisione della norma di prodotto per le finestre prEN 14351-1.



Schematizzazione del valore di g_w

La modellazione termotecnica dei singoli serramenti ai fini dell'analisi dell'energia entrante è caratterizzata dalla equazione presente nelle UNI TS 11300-1 descritta dall'immagine:



Calcolo dell'energia solare entrante secondo UNI TS 11300-1

Il professionista valuta per singolo serramento oltre ai fattori di ombreggiamento fissi ($F_{sh,ob,k}$) e all'influenza dell'utilizzo di quelli mobili ($F_{sh,gl}$), le caratteristiche proprie del serramento:

- area del vano $A_{w,p}$
- fattore di trasmissione solare della sola parte vetrata g_{gl}
- fattore telaio F_F (ingombro del telaio rispetto al vano $A_F/A_{w,p}$)

Poichè

$$F_F = \frac{A_F}{A_W} \quad \text{e} \quad (1 - F_F) = \frac{A_g}{A_W} \quad \text{e} \quad g_w = g_{gl} \times \frac{A_g}{A_W}$$

L'equazione che determina l'area captante può essere espressa direttamente con g_w :

$$g_{gl} \times (1 - F_F) \times A_{w,p} = g_w \times A_{w,p}$$

Il manuale quindi propone una lettura di risultati energetici su edifici parametrizzati rispetto al g_w .

1.5 Il contributo delle schermature mobili g_{gl+sh}

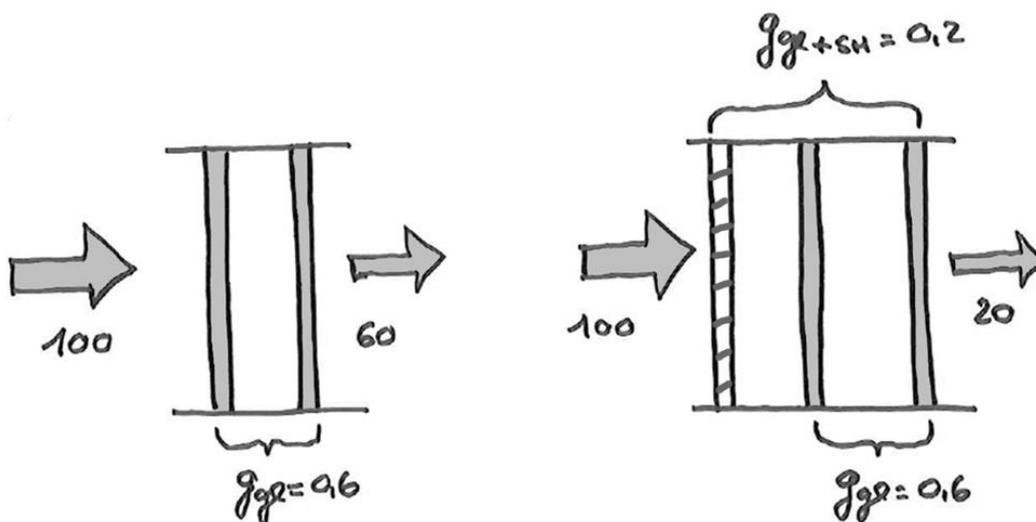
Le schermature mobili, abbinate ai sistemi vetrati, contribuiscono alla gestione dell'energia solare entrante. Il parametro di riferimento è g_{gl+sh} , dove "sh" sta per "shading", ovvero schermatura.

Se il tipo di schermatura progettata è manovrabile da parte dell'utenza può essere considerata come schermatura mobile. La caratterizzazione della schermatura mobile presuppone periodi di utilizzo e non utilizzo.

L'immagine seguente evidenzia due possibili configurazioni:

- un sistema vetrato con $g_{gl} = 0.6$: a fronte di un valore di radiazione termica unitaria pari a 100 passa il 60% di energia incidente;
- un sistema vetrato con $g_{gl} = 0.6$ abbinato a una schermatura che porta ad un valore di $g_{gl+sh} = 0.2$: la quantità di energia solare entrante è ora pari al 20% dell'energia incidente totale.

L'efficacia di una schermatura mobile deriva dalle sue caratteristiche ma anche da quelle della parte vetrata.



Vetrocamera in configurazione senza schermatura mobile (sinistra)
e con schermatura mobile in utilizzo (destra).

La norma UNI/TS 11300-1 indica che l'effetto delle schermature mobili può essere valutato con dati di progetto attendibili o con informazioni precise. In assenza di queste informazioni è possibile valutare l'effetto per mezzo delle norme UNI EN ISO 52022-1 e 2 (ex UNI EN 13363-1 e 2) oppure di una tabella semplificata proposta dalla UNI/TS 11300-1.

In letteratura è anche presente il parametro fattore di schermatura che mette in relazione $g_{gl+sh}/g_{gl,n} = F_c$ solitamente impiegato dai produttori di schermature.

Una volta stabiliti i valori associati ad un serramento di g_{gl} e g_{gl+sh} l'impiego della schermatura (per i calcoli di fabbisogno energetico invernale ed estivo secondo UNI TS 11300-1) è "standardizzato" in accordo con la tabella riportata.

Frazioni di tempo per le schermature mobili $f_{sh.with}$				
Mese	Nord	Est	Sud	Ovest
1	0.00	0.52	0.81	0.39
2	0.00	0.48	0.82	0.55
3	0.00	0.66	0.81	0.63
4	0.00	0.71	0.74	0.62
5	0.00	0.71	0.62	0.64
6	0.00	0.75	0.56	0.68
7	0.00	0.74	0.62	0.73
8	0.00	0.75	0.76	0.72
9	0.00	0.73	0.82	0.67
10	0.00	0.72	0.86	0.60
11	0.00	0.62	0.84	0.30
12	0.00	0.50	0.86	0.42

Nei calcoli realizzabili in regime dinamico orario l'utilizzo delle schermature è basato sul superamento di valori di radiazione incidente (W/m^2). La presenza di dispositivi di automazione delle schermature è valorizzabile con una maggiore rapidità di intervento (senza domotica integrata e intelligente la schermatura "entra in funzione" con un certo ritardo).

Domotica integrata e intelligente

La possibilità di dotare le parti vetrate di schermature mobili con domotica integrata e intelligente comporta un'ottimizzazione dell'impiego delle schermature. I modelli di calcolo previsionali semi stazionari e orari inoltre prevedono che l'utente sia fisicamente nell'ambiente per intervenire.



Tale ipotesi è non sempre reale, di conseguenza la presenza del sistema domotico oltre a ridurre i tempi di attivazione delle schermature comporta anche un risultato più verosimile della modellazione.

1.6 Il bilancio sugli elementi trasparenti

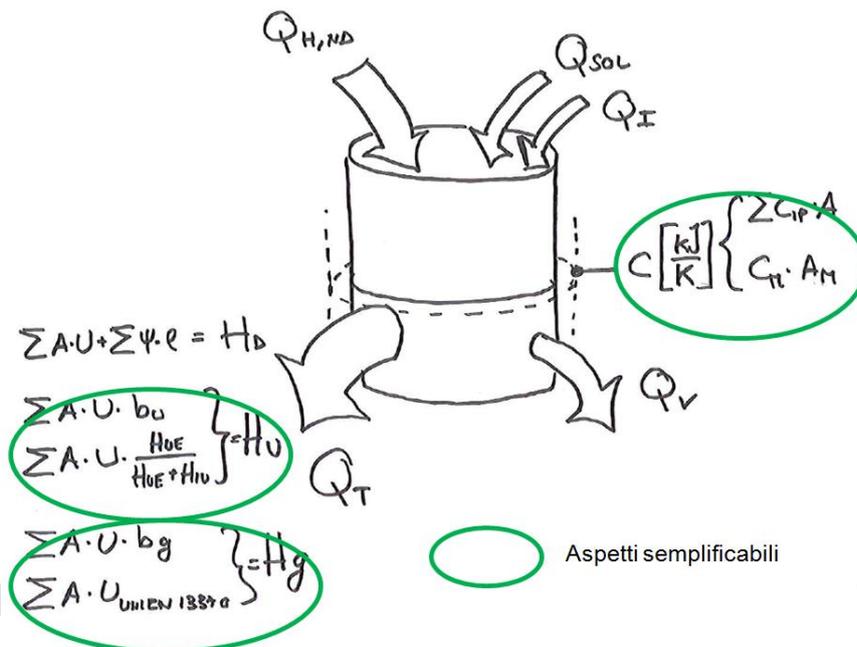
I modelli di calcolo per la valutazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva $Q_{C,nd}$ ed invernale $Q_{H,nd}$ sono descritti nelle norme UNI/TS 11300-1 che descrivono le regole e i contenuti del bilancio che relaziona dispersioni per trasmissione e per ventilazione con apporti solari e interni unitamente alla capacità termica complessiva dell'edificio. Pur essendo la modellazione per il comportamento estivo molto grossolana, ai fini della comprensione del contributo degli elementi trasparenti il modello è valido.

L'equazione del bilancio in regime semi-stazionario per il servizio di riscaldamento semplificata è caratterizzata dai seguenti contributi riassunti nell'immagine dell'analogia idraulica del serbatoio:

$$Q_{H,nd} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol,w})$$

Dove:

- $Q_{H,tr}$ è il fabbisogno energetico per trasmissione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ve}$ è il fabbisogno energetico per ventilazione nel caso di riscaldamento
- $\eta_{H,gn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica gratuita
- Q_{int} sono gli apporti termici interni
- Q_{sol} sono gli apporti termici solari incidenti su componenti vetrati

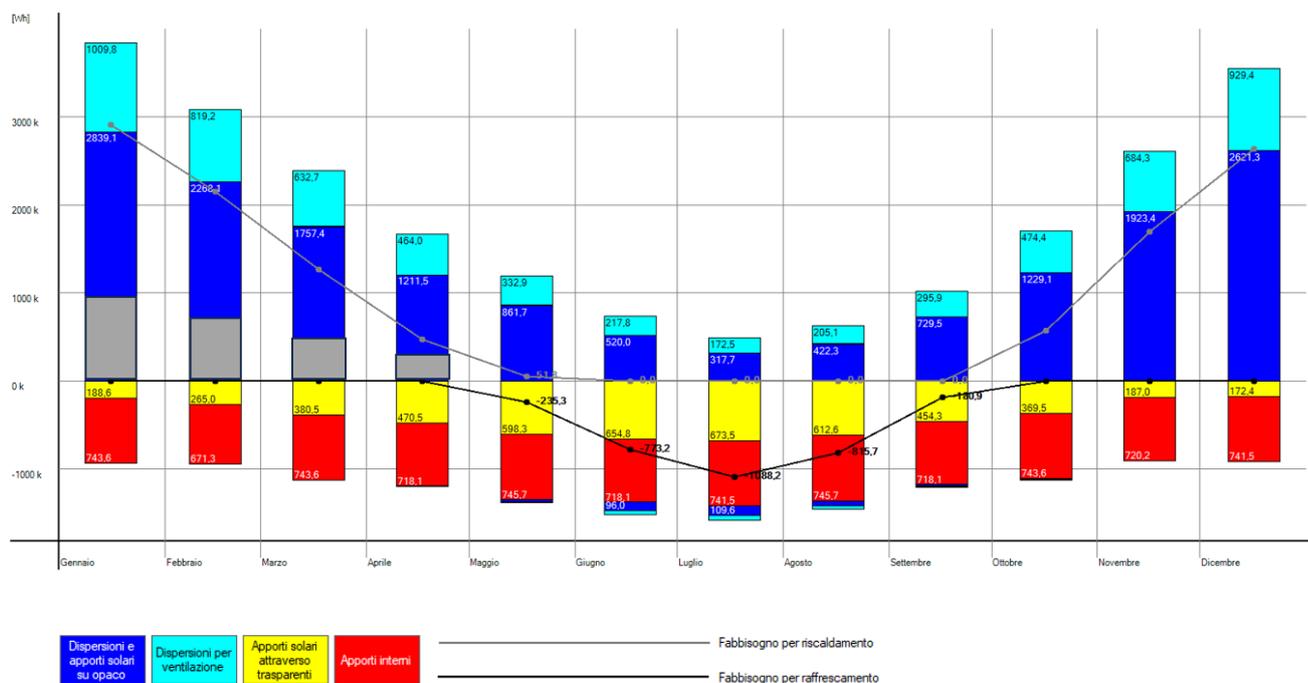


l'analogia idraulica del bilancio energetico per il servizio di riscaldamento H con indicate le possibili semplificazioni del modello di calcolo impiegabili per calcoli su edifici esistenti.

Il modello declinato sul servizio di riscaldamento è estendibile anche al raffrescamento con la differenza che il risultato di calcolo $Q_{C,nd}$ ha una direzione opposta, ovvero è necessario estrarre energia per mantenere il livello di temperatura di set point.

Nello studio di una zona termica che può essere una stanza, un'unità immobiliare o un edificio, il risultato dei diversi contributi può essere valutato mensilmente. Si riporta un esempio di risultato di una delle simulazioni della villa unifamiliare in zona E. Come si evince dal grafico i serramenti sono presenti sotto forma di due contributi:

- **in giallo** gli apporti solari che sono un aiuto durante il periodo invernale mentre sono da tenere sotto controllo durante il periodo estivo;
- **in blu** le dispersioni complessive delle strutture opache e delle strutture trasparenti. Di queste il 37% sono dei serramenti evidenziate in grigio nei primi mesi.



Esempio di bilancio energetico mensile – software di simulazione dinamica oraria ICARO

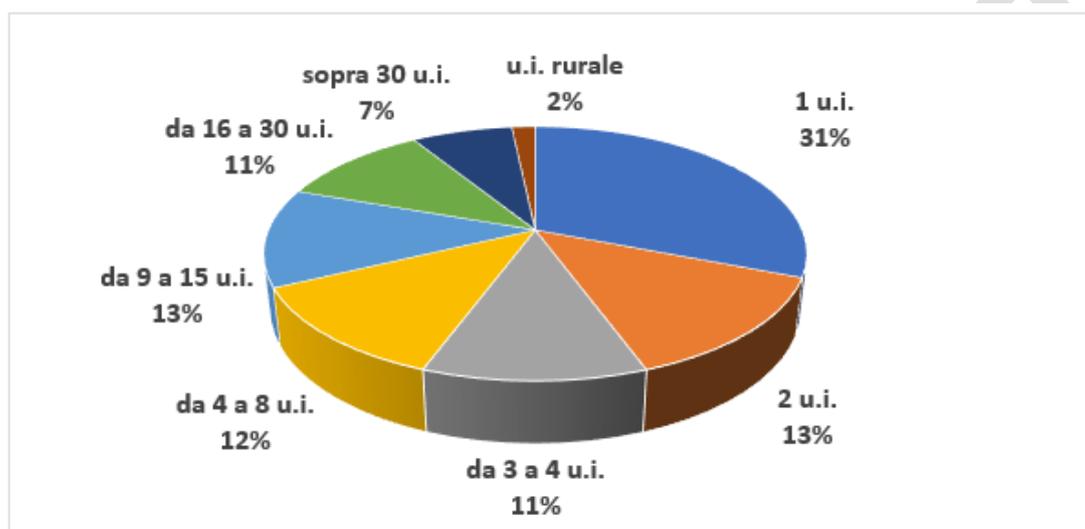
Il serramento è quindi caratterizzato nelle diverse stagioni da un bilancio energetico sul componente stesso: le sue caratteristiche di trasmittanza termica, fattore solare e fattore telaio influenzano i risultati complessivi di fabbisogno energetico e comfort che vale la pena approfondire per l'ottimizzazione della scelta tra riduzione delle dispersioni ma perdita di guadagni solari.

I casi di studio analizzati mostrano risultati teorici e pratici per seguire questo tipo di approccio.

2 DESCRIZIONE DEI CASI STUDIO

2.1 Il territorio nazionale

Il territorio nazionale è caratterizzato da un patrimonio di edifici costruito in massima parte in epoca antecedente ai primi provvedimenti legislativi (tra l'altro molto timidi) del 1976 e in buona parte da edifici costituiti da poche unità immobiliari (44% da 1 a 2 unità immobiliari e 67% di edifici costituiti al massimo da 8 unità immobiliari). Lo studio realizzato è quindi focalizzato sull'esempio di villa monofamiliare di estensione pari a una o due unità immobiliari (che può rappresentare anche il singolo appartamento in condominio).



Distribuzione % delle unità immobiliari

Epoca di costruzione

Nr. unità edificio	totale	prima del 1919	1919-1945	1946-1960	1961-1971	1972-1981	1982-1991	dopo 1991
1 u.i.	8.459.233	2.123.130	1.603.833	1.078.215	1.316.985	1.362.696	637.166	337.208
2 u.i.	3.694.936	729.357	386.189	560.726	841.128	696.907	251.005	229.624
da 3 a 4 u.i.	3.070.618	698.638	306.984	453.344	625.611	561.516	234.240	190.285
da 4 a 8 u.i.	3.336.281	477.915	250.830	571.028	717.483	659.571	403.185	256.269
da 9 a 15 u.i.	3.437.836	274.569	239.987	568.144	927.693	712.127	419.540	295.776
da 16 a 30 u.i.	2.948.294	158.282	188.233	510.863	960.760	522.087	316.723	291.346
sopra 30 u.i.	1.957.305	92.246	127.945	288.842	651.245	375.527	236.980	184.520
u.i. rurale	457.500	196.133	72.966	64.631	49.295	50.196	24.279	0
totale	27.362.003	4.750.270	3.176.967	4.095.793	6.090.200	4.940.627	2.523.118	1.785.028

Nr. unità edificio	Percentuale
1 o 2	44%
da 3 a 8	23%

Numero di unità immobiliari per epoca di costruzione sul territorio nazionale - Fonte [1]

2.2 Risultati di Ecobonus e Superbonus 110%

La sostituzione dei serramenti: opportunità

Per avere un'idea di quanti interventi di efficientamento sono stati realizzati negli ultimi anni è interessante ricordare che grazie agli incentivi "Ecobonus" sono stati realizzati dal 2007 al 2022 più di 6,5 milioni di interventi. Il numero di interventi riguardante i serramenti è particolarmente significativo: 1,6 milioni di interventi per una percentuale di copertura delle u.i. complessive del patrimonio edilizio del 6%. In buona sostanza ci sono ancora amplissimi margini di intervento di efficientamento per la sostituzione dei serramenti. L'attuale impostazione delle forme di incentivazione è basata sul comportamento invernale (trasmittanze limite $U_{w,lim}$) con un'attenzione al comportamento estivo che porti il serramento con la schermatura mobile ad un valore massimo di g_{gl+sh} pari a 0.35. Il requisito in sostanza spinge sulla riduzione delle dispersioni invernale e sul controllo estivo con schermatura mobile trascurando il fatto che sul serramento avviene un bilancio energetico come descritto in precedenza.

Intervento	2014 – 2021 [n]	2014 – 2021 [%]	2022 [n]	2022 [%]	TOTALE [n]	TOTALE [%]
Condomini	1.821	0,05%	210	0,02%	2.031	0,04%
Comma 344 - Riqualificazione globale	24.522	0,66%	2.011	0,21%	26.533	0,57%
Comma 345a - Coibentazione involucro	168.675	4,56%	12.230	1,30%	180.905	3,90%
Comma 345b - Sostituzione serramenti	1.418.223	38,33%	193.639	20,58%	1.611.862	34,74%
Comma 345c - Schermature solari	568.464	15,37%	111.650	11,87%	680.114	14,66%
Comma 346 - Pannelli solari per ACS	69.172	1,87%	10.064	1,07%	79.236	1,71%
Comma 347 - Climatizzazione invernale	1.435.709	38,81%	608.518	64,69%	2.044.227	44,05%
Building automation	13.073	0,35%	2.364	0,25%	15.437	0,33%
Totale	3.699.659	100%	940.686	100,00%	4.640.345	100,00%

Tabella 3-1 - Ecobonus: numero di interventi eseguiti per tipologia, anni 2014-2022 – Fonte [2]

E quanti interventi sono stati realizzati grazie al Superbonus 110%?

I dati disponibili degli interventi ammessi e realizzati al 31 dicembre 2022 riportano 459.000 che vanno ad aggiungersi a quelli in Ecobonus. Tanti interventi, ma ancora tantissimi edifici esistenti sui quali intervenire. Dall'analisi dei dati degli interventi asseverati emergono anche interessanti informazioni sui costi specifici al metro quadro e sul costo del risparmio energetico annuo. I valori riportati sono comprensivi di fornitura e posa e di tutte le spese accessorie annesse: cantiere, ponteggi, sicurezza, oneri professionale, iva, opere accessorie.

Intervento	Numero Interventi	Superficie [m ²]	%	R.E. [GWh/anno]	%	Totale Costi (€)	Costi specifici €/m ²	%	Costo del R.E. (€/KWh/anno)
Pareti Verticali (PV)	222.889	54.288.422	56%	2.897	52%	15.860.641.705	292	41%	5
Soffitti e tetti disperdenti (PO)	159.727	20.061.112	21%	1.107	20%	5.178.536.889	258	14%	5
Pareti orizzontali (PS) (Pavimenti)	70.356	7.110.114	7%	351	6%	1.765.875.024	248	5%	5
Sostituzione infissi	458.705	8.142.043	8%	1.139	20%	12.503.647.822	1.536	33%	11
Pareti orizzontali (Tetti non disperdenti) (POND)	28.298	4.437.494	5%			1.301.567.472	293	3%	
Schermature solari – chiusure oscuranti	98.021	1.614.431	2%	90	2%	1.084.272.548	672	3%	12

Tabella 3-32 - Superbonus: dati nazionali complessivi al 31 dicembre 2022 – Involucro- Fonte [2]

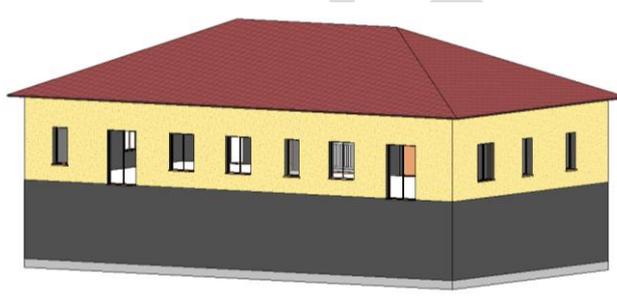
2.3 Villa unifamiliare

Il primo caso studio è rappresentato da una classica villetta unifamiliare, di pianta rettangolare, costituita da un piano fuori terra di circa 200 m² e da un piano seminterrato con una superficie utile complessiva di 220 m². È caratterizzata da una copertura a falde e da aperture trasparenti di diverse dimensioni su tutte le esposizioni, per un totale di superficie vetrata pari al 20% della superficie utile. Durante le simulazioni, solo il piano fuori terra è stato considerato riscaldato e, nei casi *medio* e *buono*, è stato previsto l'isolamento delle sole strutture disperdenti che delimitano la zona termica (pareti verso esterno, solaio verso interrato e solaio verso sottotetto).

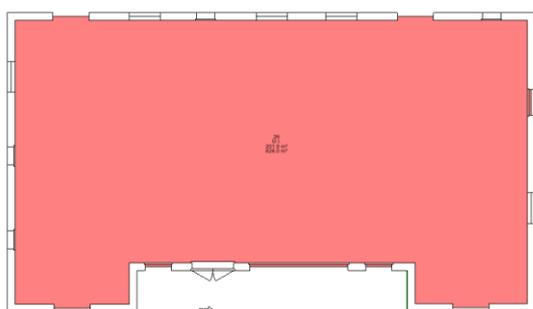
Di seguito una schematizzazione dell'edificio e i risultati principali ottenuti negli scenari di partenza per ciascuna zona climatica (rispettivamente C, D e E).



Vista fronte fabbricato



Vista retro fabbricato



Pianta piano terra



Pianta piano seminterrato

Zona E

	PH [kW]	QHnd [kWh]	PC [kW]	QCnd [kWh]
Edificio scarso (no iso + 1v)	21,0	54.519	8,6	3.708
Edificio medio (iso + 2v)	11,6	27.235	7,2	4.402
Edificio buono (isoL10 + 3v)	5,7	11.775	3,4	2.465

Zona D

	PH [kW]	QHnd [kWh]	PC [kW]	QCnd [kWh]
Edificio scarso (no iso + 1v)	17,6	33.292	12,8	10.440
Edificio medio (iso + 2v)	9,3	14.733	9,8	9.811
Edificio buono (isoL10 + 3v)	4,9	6.378	5,3	5.060

Zona C

	PH [kW]	QHnd [kWh]	PC [kW]	QCnd [kWh]
Edificio scarso (no iso + 1v)	15,2	25.240	9,9	7.735
Edificio medio (iso + 2v)	8,1	11.163	8,2	7.725
Edificio buono (isoL10 + 3v)	4,2	4.554	4,3	4.177

3 DESCRIZIONE DEI CRITERI DI VALUTAZIONE DELLO STUDIO

3.1 Descrizione dei calcoli di risparmio energetico invernale ed estivo

I calcoli sugli edifici campione sono stati realizzati per avere un risultato estivo più rappresentativo e corretto in accordo con il metodo di calcolo in regime dinamico orario della norma UNI EN ISO 52016 con appendice nazionale.

Il confronto di questo regime con quello semi stazionario mensile generalmente utilizzato per le valutazioni termotecniche tradizionali (ex-legge 10 e APE) evidenzia come il modello dinamico orario, seppur ancora in via di sviluppo, porta con sé molteplici vantaggi tra i più evidenti:

- l'analisi del fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio più vicino alla realtà;
- la verifica delle condizioni di comfort all'interno degli ambienti;
- lo studio delle potenze richieste dai diversi servizi energetici che permette di non cadere in un inutile sovradimensionamento dei sistemi impiantistici;
- la valutazione oraria degli apporti solari attraverso le superfici trasparenti
- la valutazione dell'efficacia dei sistemi di controllo solare e del comportamento inerziale dell'involucro.

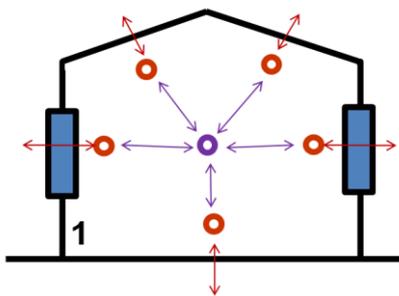
Per l'approfondimento del modello di calcolo si rimanda alla norma e alla letteratura specifica.

Zone termiche

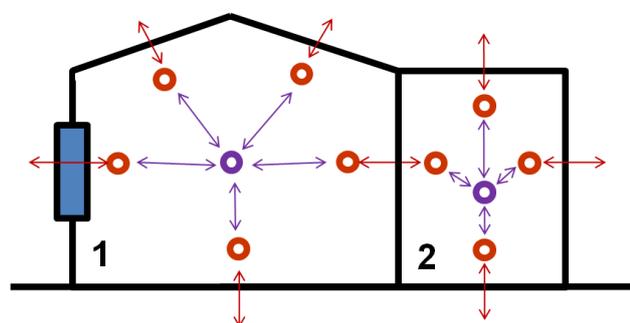
Per simulare il comportamento delle zone termiche si alimentano le informazioni geometriche e termotecniche delle strutture opache e trasparenti che caratterizzano la zona e poi si procede nel calcolo del fabbisogno energetico per mantenere gli ambienti a set point interni stabiliti (20°C in inverno, 26°C negli altri periodi dell'anno).

Il volume climatizzato/climatizzabile in esame è schematizzabile con un'unica zona termica a contatto con altre zone termiche climatizzabili o meno.

Ogni struttura è un nodo di calcolo che si rapporta con passo temporale orario agli altri nodi in termini conduttivi, convettivi e radiativi. Nei calcoli con set point interno fissato, l'energia da erogare o sottrarre, è l'incognita. Nel caso non venga inserito un set point e l'ambiente sia privo di impianto (come per esempio nei garage o nei sottotetti o in ambienti privi di raffrescamento estivo) l'incognita è la temperatura operante ed è possibile compiere valutazioni sul comfort.



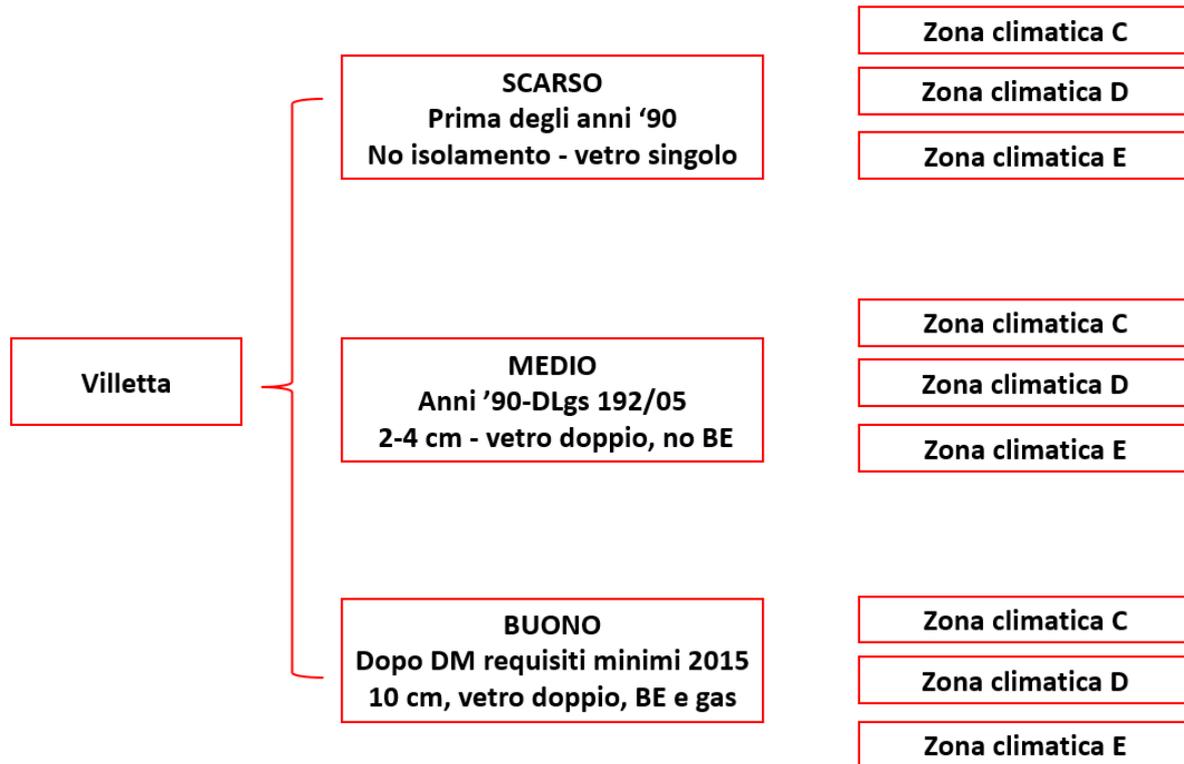
Modellazione di singola zona termica a contatto con l'esterno



Modellazione di due zone termiche: a destra unità immobiliare, a sinistra garage

4 RISULTATI DI SIMULAZIONE VILLA UNIFAMILIARE

Sulla villetta sono state realizzate le seguenti simulazioni



L'edificio descritto è stato studiato al variare di interventi di sostituzione di serramenti di diverse combinazioni di caratteristiche di U_w e g_w e in relazione a condizioni di partenza differenti a seconda dell'epoca di costruzione. Nelle pagine successive i risultati sono sintetizzati sotto forma di tabelle numeriche. Viene descritto di seguito il significato di ogni parametro riportato per una più approfondita lettura.

Parametro	u.m.	descrizione
$Q_{H,nd}$	kWh	Fabbisogno ideale di energia termica sensibile per il riscaldamento calcolato in regime dinamico orario. È il valore di fabbisogno energetico annuale per mantenere a 20 °C l'edificio durante la stagione di riscaldamento. Il valore è ideale poiché non sono comprese le inefficienze del sistema impiantistico scelto.
$\Delta Q_{H,nd}$	kWh	Differenza di fabbisogno ideale di energia termica sensibile per il riscaldamento dell'edificio con l'intervento di sostituzione dei serramenti realizzato rispetto alla condizione esistente.
$Q_{C,nd}$	kWh	Fabbisogno ideale di energia termica sensibile per il raffrescamento calcolato regime dinamico orario. È il valore di fabbisogno energetico annuale per mantenere a 26 °C l'edificio al di fuori della stagione di riscaldamento. Il valore è ideale poiché non sono comprese le inefficienze del sistema impiantistico scelto.
$\Delta Q_{C,nd}$	kWh	Differenza di fabbisogno ideale di energia termica sensibile per il raffrescamento dell'edificio con l'intervento di sostituzione dei serramenti realizzato rispetto alla condizione esistente.
PH	kW	Il valore indica la potenza termica massima di energia sensibile da fornire alla zona termica oggetto di studio. In generale la riduzione della potenza ha dei riflessi sul costo di acquisto e manutenzione del generatore. Il valore non tiene conto delle inefficienze dell'impianto.
ΔPH	kW	Differenza potenza termica massima di energia sensibile da fornire alla zona termica dell'edificio con l'intervento di sostituzione dei serramenti realizzato rispetto alla condizione esistente.
PC	kW	Il valore indica la potenza termica massima di energia sensibile da sottrarre alla zona termica oggetto di studio. In generale la riduzione della potenza ha dei riflessi sul costo di acquisto e manutenzione del generatore. Il valore non tiene conto delle inefficienze dell'impianto.
ΔPC	kW	Differenza potenza termica massima di energia sensibile da sottrarre alla zona termica dell'edificio con l'intervento di sostituzione dei serramenti realizzato rispetto alla condizione esistente.

4.1 zona E – edificio scarso

QHnd [kWh]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	47.104	48.001	48.601	49.501	
0,3	46.056	46.949	47.547	48.444	
0,4	45.131	46.021	46.617	47.510	
0,5	44.164	45.057	45.647	46.538	

Differenza con caso base Δ QHnd [kWh]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	7.416	6.519	5.918	5.019	
0,3	8.463	7.571	6.973	6.075	
0,4	9.389	8.499	7.903	7.009	
0,5	10.355	9.463	8.873	7.982	

PH [kW]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	16,8	17,2	17,4	17,8	
0,3	16,8	17,2	17,4	17,7	
0,4	16,8	17,1	17,3	17,7	
0,5	16,8	17,1	17,3	17,7	

Differenza con caso base Δ PH [kW]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	4,1	3,7	3,5	3,2	
0,3	4,1	3,8	3,6	3,3	
0,4	4,1	3,8	3,6	3,3	
0,5	4,2	3,8	3,6	3,3	

QCnd [kWh]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	1.519	1.487	1.470	1.444	
0,3	2.058	2.012	1.987	1.951	
0,4	2.649	2.589	2.556	2.509	
0,5	3.362	3.302	3.251	3.195	

Differenza con caso base Δ QCnd [kWh]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	2.189	2.220	2.238	2.264	
0,3	1.650	1.696	1.721	1.757	
0,4	1.059	1.119	1.151	1.198	
0,5	345	406	456	513	

PC [kW]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	4,8	4,7	4,7	4,8	
0,3	5,3	5,2	5,2	5,3	
0,4	5,8	5,9	6,0	6,0	
0,5	6,6	6,7	6,7	6,8	

Differenza con caso base Δ PC [kW]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	3,8	3,9	3,9	3,8	
0,3	3,3	3,4	3,4	3,3	
0,4	2,8	2,7	2,6	2,6	
0,5	2,0	1,9	1,9	1,8	

4.2 zona E – edificio medio

QHnd [kWh]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	24.831	25.717	26.307	27.194	
0,3	23.866	24.748	25.336	26.217	
0,4	23.009	23.889	24.476	25.354	
0,5	22.116	22.992	23.576	24.452	

Differenza con caso base Δ QHnd [kWh]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	29.689	28.803	28.212	27.326	
0,3	30.654	29.771	29.184	28.302	
0,4	31.511	30.630	30.044	29.165	
0,5	32.404	31.528	30.943	30.067	

PH [kW]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	9,6	9,9	10,1	10,4	
0,3	9,6	9,9	10,1	10,4	
0,4	9,5	9,9	10,1	10,4	
0,5	9,5	9,9	10,1	10,4	

Differenza con caso base Δ PH [kW]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	11,4	11,1	10,9	10,5	
0,3	11,4	11,1	10,9	10,6	
0,4	11,4	11,1	10,9	10,6	
0,5	11,4	11,1	10,9	10,6	

QCnd [kWh]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	1.654	1.596	1.560	1.508	
0,3	2.479	2.402	2.352	2.280	
0,4	3.341	3.242	3.179	3.089	
0,5	4.407	4.277	4.195	4.079	

Differenza con caso base Δ QCnd [kWh]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	2.054	2.112	2.148	2.200	
0,3	1.228	1.306	1.355	1.427	
0,4	367	466	528	618	
0,5	-699	-570	-488	-371	

PC [kW]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	3,4	3,5	3,5	3,6	
0,3	4,3	4,4	4,4	4,5	
0,4	5,3	5,3	5,3	5,4	
0,5	6,4	6,4	6,4	6,4	

Differenza con caso base Δ PC [kW]		Uw			
gw	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	5,2	5,1	5,1	5,0	
0,3	4,3	4,2	4,2	4,1	
0,4	3,3	3,3	3,3	3,2	
0,5	2,2	2,2	2,2	2,2	

4.3 zona E – edificio buono

QHnd [kWh]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		10.930	11.805	12.391	13.271
0,3		10.090	10.943	11.515	12.376
0,4		9.371	10.211	10.773	11.619
0,5		8.662	9.477	10.027	10.855

Differenza con caso base Δ QHnd [kWh]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		43.590	42.714	42.129	41.249
0,3		44.430	43.576	43.005	42.144
0,4		45.148	44.308	43.746	42.901
0,5		45.857	45.042	44.493	43.664

PH [kW]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		5,3	5,7	5,9	6,2
0,3		5,3	5,6	5,9	6,2
0,4		5,3	5,6	5,9	6,2
0,5		5,3	5,6	5,8	6,2

Differenza con caso base Δ PH [kW]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		15,6	15,3	15,1	14,8
0,3		15,7	15,3	15,1	14,8
0,4		15,7	15,3	15,1	14,8
0,5		15,7	15,4	15,1	14,8

QCnd [kWh]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		2.590	2.452	2.366	2.247
0,3		3.861	3.690	3.581	3.426
0,4		5.173	4.952	4.813	4.618
0,5		6.705	6.447	6.283	6.050

Differenza con caso base Δ QCnd [kWh]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		1.118	1.256	1.341	1.461
0,3		-153	18	127	281
0,4		-1.465	-1.244	-1.105	-911
0,5		-2.997	-2.739	-2.575	-2.342

PC [kW]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		3,4	3,4	3,5	3,5
0,3		4,4	4,4	4,4	4,5
0,4		5,4	5,4	5,4	5,4
0,5		6,5	6,5	6,5	6,5

Differenza con caso base Δ PC [kW]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		5,2	5,2	5,1	5,1
0,3		4,2	4,2	4,2	4,1
0,4		3,2	3,2	3,2	3,2
0,5		2,1	2,1	2,1	2,1

4.4 zona D – edificio scarso

QHnd [kWh]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		30.180	30.808	31.226	31.853
0,3		29.068	29.693	30.110	30.734
0,4		28.074	28.698	29.113	29.736
0,5		27.033	27.654	28.067	28.688

Differenza con caso base Δ QHnd [kWh]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		3.112	2.484	2.066	1.439
0,3		4.224	3.599	3.182	2.558
0,4		5.218	4.594	4.179	3.556
0,5		6.259	5.638	5.225	4.604

PH [kW]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		14,0	14,3	14,4	14,7
0,3		14,0	14,2	14,4	14,7
0,4		13,9	14,2	14,4	14,7
0,5		13,9	14,2	14,4	14,7

Differenza con caso base Δ PH [kW]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		3,6	3,3	3,1	2,9
0,3		3,6	3,3	3,2	2,9
0,4		3,6	3,4	3,2	2,9
0,5		3,7	3,4	3,2	2,9

QCnd [kWh]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		5.776	5.749	5.733	5.708
0,3		6.847	6.812	6.790	6.758
0,4		7.912	7.864	7.834	7.790
0,5		9.145	9.085	9.046	8.989

Differenza con caso base Δ QCnd [kWh]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		4.664	4.690	4.707	4.731
0,3		3.592	3.627	3.650	3.682
0,4		2.528	2.575	2.606	2.649
0,5		1.295	1.355	1.394	1.451

PC [kW]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		7,7	7,8	7,9	8,0
0,3		8,7	8,7	8,8	8,9
0,4		9,5	9,6	9,6	9,7
0,5		10,4	10,5	10,5	10,6

Differenza con caso base Δ PC [kW]		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		5,1	5,0	5,0	4,9
0,3		4,2	4,1	4,0	4,0
0,4		3,4	3,3	3,2	3,1
0,5		2,5	2,4	2,3	2,2

4.5 zona D – edificio medio

QHnd [kWh]					QCnd [kWh]				
gw	Uw				gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	14.424	15.036	15.445	16.057	0,2	4.890	4.839	4.808	4.765
0,3	13.364	13.969	14.373	14.980	0,3	6.313	6.234	6.183	6.112
0,4	12.448	13.044	13.442	14.041	0,4	7.752	7.651	7.586	7.492
0,5	11.525	12.107	12.498	13.086	0,5	9.390	9.271	9.194	9.081

Differenza con caso base ΔQHnd [kWh]					Differenza con caso base ΔQCnd [kWh]				
gw	Uw				gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	18.868	18.256	17.847	17.235	0,2	5.550	5.600	5.631	5.674
0,3	19.928	19.323	18.919	18.312	0,3	4.127	4.206	4.256	4.328
0,4	20.844	20.248	19.850	19.251	0,4	2.688	2.789	2.854	2.948
0,5	21.767	21.185	20.794	20.206	0,5	1.050	1.169	1.246	1.358

PH [kW]					PC [kW]				
gw	Uw				gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	7,7	8,0	8,2	8,5	0,2	5,6	5,7	5,8	5,9
0,3	7,7	8,0	8,1	8,4	0,3	6,6	6,7	6,7	6,8
0,4	7,6	7,9	8,1	8,4	0,4	7,4	7,5	7,6	7,7
0,5	7,6	7,9	8,1	8,4	0,5	8,4	8,5	8,5	8,6

Differenza con caso base ΔPH [kW]					Differenza con caso base ΔPC [kW]				
gw	Uw				gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	9,9	9,6	9,4	9,1	0,2	7,2	7,1	7,1	7,0
0,3	9,9	9,6	9,4	9,2	0,3	6,3	6,2	6,1	6,0
0,4	10,0	9,7	9,5	9,2	0,4	5,4	5,3	5,3	5,2
0,5	10,0	9,7	9,5	9,2	0,5	4,5	4,4	4,3	4,2

4.6 zona D – edificio buono

QHnd [kWh]					QCnd [kWh]				
gw	Uw				gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	5.809	6.401	6.797	7.393	0,2	5.160	5.044	4.970	4.865
0,3	4.902	5.470	5.853	6.432	0,3	6.959	6.816	6.726	6.596
0,4	4.203	4.719	5.079	5.631	0,4	8.745	8.560	8.442	8.276
0,5	3.581	4.053	4.380	4.882	0,5	10.787	10.565	10.423	10.220

Differenza con caso base ΔQHnd [kWh]					Differenza con caso base ΔQCnd [kWh]				
gw	Uw				gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	27.483	26.891	26.495	25.899	0,2	5.280	5.396	5.470	5.575
0,3	28.390	27.822	27.439	26.860	0,3	3.480	3.624	3.714	3.844
0,4	29.089	28.573	28.213	27.661	0,4	1.695	1.880	1.997	2.164
0,5	29.711	29.239	28.912	28.410	0,5	-348	-125	16	220

PH [kW]					PC [kW]				
gw	Uw				gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	4,6	4,9	5,1	5,4	0,2	5,2	5,2	5,3	5,4
0,3	4,6	4,9	5,0	5,3	0,3	6,1	6,2	6,3	6,4
0,4	4,5	4,8	5,0	5,3	0,4	7,0	7,1	7,2	7,3
0,5	4,5	4,8	5,0	5,3	0,5	8,0	8,1	8,2	8,3

Differenza con caso base ΔPH [kW]					Differenza con caso base ΔPC [kW]				
gw	Uw				gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	13,0	12,7	12,5	12,2	0,2	7,7	7,6	7,5	7,4
0,3	13,0	12,7	12,5	12,3	0,3	6,7	6,6	6,6	6,5
0,4	13,1	12,8	12,6	12,3	0,4	5,8	5,7	5,7	5,6
0,5	13,1	12,8	12,6	12,3	0,5	4,8	4,7	4,7	4,6

4.7 zona C – edificio scarso

QHnd [kWh]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		22.606	23.106	23.438	23.937
0,3		21.667	22.165	22.496	22.993
0,4		20.835	21.330	21.660	22.155
0,5		19.974	20.465	20.793	21.285

QCnd [kWh]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		4.108	4.068	4.042	4.003
0,3		5.050	5.002	4.970	4.924
0,4		5.969	5.915	5.878	5.825
0,5		7.001	6.938	6.897	6.837

Differenza con caso base

ΔQHnd [kWh]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		2.633	2.134	1.801	1.303
0,3		3.572	3.075	2.743	2.246
0,4		4.404	3.909	3.579	3.084
0,5		5.265	4.774	4.446	3.954

ΔQCnd [kWh]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		3.627	3.667	3.694	3.732
0,3		2.685	2.733	2.765	2.811
0,4		1.766	1.821	1.857	1.910
0,5		734	797	838	899

PH [kW]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		12,1	12,3	12,5	12,7
0,3		12,1	12,3	12,5	12,7
0,4		12,1	12,3	12,5	12,7
0,5		12,1	12,3	12,5	12,7

PC [kW]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		5,9	6,0	6,0	6,0
0,3		6,3	6,4	6,4	6,5
0,4		7,0	7,1	7,1	7,2
0,5		7,8	7,9	7,9	8,0

Differenza con caso base

ΔPH [kW]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		3,1	2,9	2,8	2,5
0,3		3,1	2,9	2,8	2,5
0,4		3,2	2,9	2,8	2,5
0,5		3,2	2,9	2,8	2,6

ΔPC [kW]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		4,0	4,0	4,0	3,9
0,3		3,6	3,6	3,5	3,4
0,4		2,9	2,8	2,8	2,7
0,5		2,1	2,1	2,0	2,0

4.8 zona C – edificio medio

QHnd [kWh]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		11.013	11.506	11.836	12.333
0,3		10.140	10.624	10.947	11.431
0,4		9.380	9.859	10.179	10.660
0,5		8.609	9.079	9.393	9.867

QCnd [kWh]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		3.815	3.762	3.727	3.676
0,3		4.941	4.873	4.829	4.766
0,4		6.105	6.009	5.948	5.861
0,5		7.507	7.380	7.300	7.184

Differenza con caso base

ΔQHnd [kWh]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		14.227	13.733	13.404	12.907
0,3		15.100	14.615	14.293	13.808
0,4		15.860	15.380	15.060	14.580
0,5		16.631	16.161	15.846	15.373

ΔQCnd [kWh]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		3.921	3.974	4.008	4.060
0,3		2.794	2.863	2.906	2.969
0,4		1.630	1.726	1.787	1.874
0,5		228	355	436	551

PH [kW]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		6,6	6,9	7,0	7,3
0,3		6,6	6,8	7,0	7,2
0,4		6,6	6,8	7,0	7,2
0,5		6,5	6,8	6,9	7,2

PC [kW]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		4,2	4,3	4,3	4,4
0,3		5,2	5,3	5,3	5,4
0,4		6,1	6,2	6,2	6,3
0,5		7,1	7,2	7,2	7,3

Differenza con caso base

ΔPH [kW]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		8,6	8,4	8,2	8,0
0,3		8,7	8,4	8,3	8,0
0,4		8,7	8,4	8,3	8,0
0,5		8,7	8,5	8,3	8,1

ΔPC [kW]

		Uw			
gw		1,0	1,3	1,5	1,8
0,2		5,7	5,7	5,6	5,5
0,3		4,8	4,7	4,6	4,6
0,4		3,8	3,8	3,7	3,6
0,5		2,9	2,8	2,7	2,7

4.9 zona C – edificio buono

QHnd [kWh]

gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	4.114	4.573	4.887	5.363
0,3	3.440	3.867	4.153	4.589
0,4	2.874	3.287	3.566	3.987
0,5	2.312	2.710	2.978	3.386

QCnd [kWh]

gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	4.287	4.162	4.084	3.974
0,3	5.904	5.733	5.625	5.472
0,4	7.515	7.310	7.180	6.995
0,5	9.385	9.132	8.973	8.745

Differenza con caso base

ΔQHnd [kWh]

gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	21.125	20.667	20.353	19.876
0,3	21.799	21.372	21.086	20.651
0,4	22.365	21.952	21.673	21.252
0,5	22.927	22.529	22.261	21.854

ΔQCnd [kWh]

gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	3.448	3.573	3.651	3.762
0,3	1.832	2.002	2.110	2.263
0,4	220	426	555	740
0,5	-1.650	-1.397	-1.238	-1.010

PH [kW]

gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	3,9	4,2	4,3	4,6
0,3	3,9	4,1	4,3	4,5
0,4	3,8	4,1	4,2	4,5
0,5	3,7	4,0	4,2	4,4

PC [kW]

gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	4,2	4,3	4,3	4,4
0,3	5,2	5,3	5,3	5,4
0,4	6,1	6,2	6,2	6,3
0,5	7,1	7,2	7,3	7,3

Differenza con caso base

ΔPH [kW]

gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	11,3	11,1	10,9	10,7
0,3	11,4	11,1	11,0	10,7
0,4	11,5	11,2	11,0	10,8
0,5	11,5	11,3	11,1	10,8

ΔPC [kW]

gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	5,8	5,7	5,6	5,6
0,3	4,8	4,7	4,6	4,6
0,4	3,8	3,8	3,7	3,6
0,5	2,8	2,7	2,7	2,6

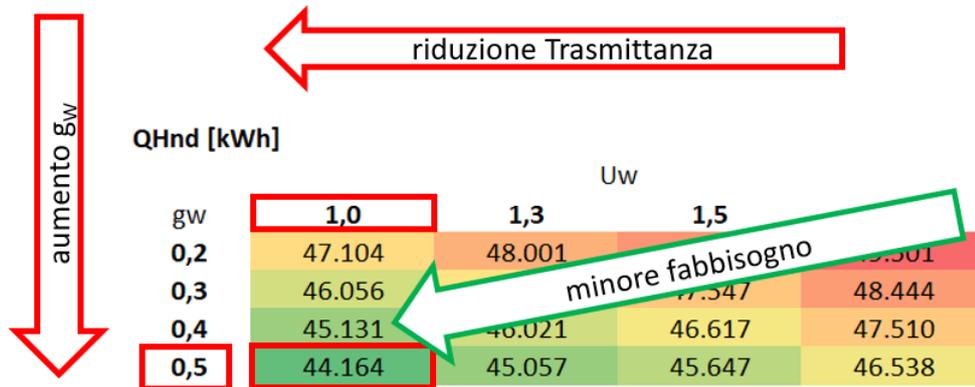
Antepi

5 CONCLUSIONI

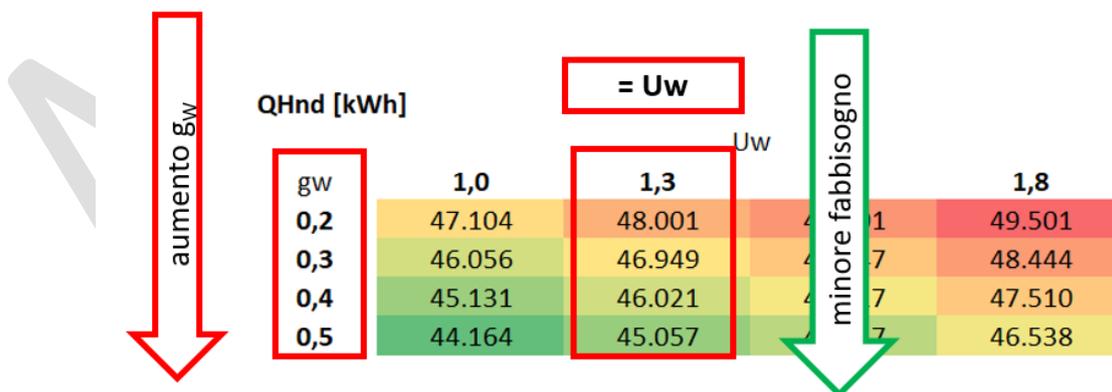
I risultati per le diverse zone termiche al variare delle condizioni iniziali dell'edificio di partenza sono caratterizzati da un andamento simile e coerente con la letteratura disponibile [Fonte 4].

Dai risultati per il servizio di riscaldamento:

- il minore fabbisogno energetico invernale si ottiene con una combinazione di ridotto valore di trasmittanza termica U_w ed elevato valore di g_w . Questo risultato è coerente con il bilancio energetico per il servizio di riscaldamento. La combinazione infatti permette di ridurre le dispersioni e massimizzare i guadagni;



- a parità di trasmittanza termica della parte vetrata U_w , la variazione di g_w derivante da variazioni di g_{gl} o da variazioni del fattore telaio F_F porta ad una diversa richiesta di energia non trascurabile; è rilevante quindi introdurre tra le informazioni del prodotto "serramento" il parametro g_w o un'esplicitazione del fattore telaio; il serramento potrebbe infatti essere caratterizzato da trasmittanza termica paragonabile ma con ingombri di telaio differenti;



- combinazioni differenti di U_w e g_w possono portare allo stesso fabbisogno energetico invernale; in caso di valutazioni termotecniche l'aspetto energetico può aiutare nel valutare anche l'aspetto economico;

fabbisogno simile

QHnd [kWh]

gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	47.104	48.001	48.601	49.501
0,3	46.056	46.949	47.547	48.444
0,4	45.131	46.021	46.617	47.510
0,5	44.164	45.057	45.647	46.538

- tra i risultati per il servizio di riscaldamento sono presenti anche le potenze. I valori relativi alla potenza di picco, non sono influenzati dai guadagni solari e quindi seguono un andamento fortemente legato alla trasmittanza termica. Tuttavia i valori ottenuti difficilmente comportano un cambio di "taglia" del generatore. Nel caso portato ad esempio, edificio energivoro di qualità scarsa (ante L10), la variazione di taglia del generatore tra un serramento da U_w di 1,8 e da U_w di 1,0 è di poco più di 1,0 kW;

← riduzione trasmittanza

PH [kW]

gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	16,8	17,2	17,4	17,8
0,3	16,8	17,2	17,4	17,7
0,4	16,8	17,1	17,3	17,7
0,5	16,8	17,1	17,3	17,7

Differenza con caso base

ΔPH [kW]

gw	Uw			
	1,0	1,3	1,5	1,8
0,2	4,1	3,7	3,5	3,2
0,3	4,1	3,8	3,6	3,3
0,4	4,1	3,8	3,6	3,3
0,5	4,2	3,8	3,6	3,3

← minore potenza

Dai risultati per il servizio di raffrescamento:

- l'energia solare entrante dalle superfici trasparente è un delle principali cause di fabbisogno energetico per il raffrescamento;
- le simulazioni condotte sono state realizzate a parità di fattori di ombreggiamento esterni fissi e di schermature mobili e quindi l'unica differenza progettuale si verifica nel fattore g_w con un evidente risultato che mostra come il minore fabbisogno energetico di raffrescamento e di potenza si verifichi con la riduzione maggiore degli apporti gratuiti;

PC [kW]		U _w			
g _w	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	4,8	4,7	4,7	4,8	
0,3	5,3	5,2	5,2	5,3	
0,4	5,8	5,9	6,0	6,0	
0,5	6,6	6,7	6,7	6,8	

ΔPC [kW]		U _w			
g _w	1,0	1,3	1,5	1,8	
0,2	3,8	3,9	3,9	3,8	
0,3	3,3	3,4	3,4	3,3	
0,4	2,8	2,7	2,6	2,6	
0,5	2,0	1,9	1,9	1,8	

- la progettazione estiva per frenare l'energia solare entrante è caratterizzata in modo rilevante dai fattori di ombreggiamento esterni fissi $F_{sh,ob}$ e della presenza delle schermature mobili g_{gl+sh} ;
- entrambi i fattori, a differenza di g_w , possono essere progettati per schermare in estate e lasciare passare energia in inverno.

Alla luce dei risultati ottenuti si evidenzia come opportuno l'approfondimento progettuale derivante dal conoscere i parametri dei serramenti:

- trasmittanza termica U_w
- trasmittanza solare della parte vetrata g_{gl}
- trasmittanza solare del vano serramento g_w con l'influenza dell'ingombro del telaio e del numero e tipologia di ante
- trasmittanza solare della parte vetrata in combinazione con la schermatura solare g_{gl+sh} e sua possibile automazione grazie alla domotica
- fattori di ombreggiamento fissi esterni

L'approfondimento progettuale estivo non può che essere realizzato con il metodo di calcolo dinamico orario che consente di superare i limiti evidenti del metodo semi-stazionario mensile.

CONTATTI

- ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico
Sito web: <https://www.anit.it>
E-mail: info@anit.it
- LIEBOT
Sito web: www.finestra-k-line.it
E-mail: info@liebot.it

BIBLIOGRAFIA

- [1] Rapporto CRESME SAIE ENERGIA 2009
- [2] Rapporto annuale detrazioni fiscali 2023 - ENEA
- [3] R. Esposti, G. Galbusera, A. Panzeri, D. Petrone, Guida alla nuova Legge 10. Volume 2, Collana: l'isolamento termico e acustico. Ed. da TEP srl, Marzo 2013
- [4] Relazione studio per una nuova valutazione CEE delle finestre, TBC Générateur d'Innovation SA, 2013
- [5] UNI EN ISO 52022-1: 2018 (ex UNI EN 13363-1), Prestazione energetica degli edifici - Proprietà termiche, solari e luminose di componenti ed elementi edilizi. Parte 1: Metodo di calcolo semplificato delle caratteristiche luminose e solari per dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate
- [6] UNI EN 410: 2011, Vetro per edilizia – determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate
- [7] UNI EN ISO 10077-1:2018, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1: Generalità
- [8] UNI EN ISO 10077-2:2018, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 2: Metodo numerico per telai
- [9] UNI/TS 11300 1, 2, 3, 4 ,5 e 6 determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale (impianti ed energia rinnovabile)
- [10] Decreto Ministeriale 26 giugno 2015, Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici. GU n. 162 del 15 luglio 2015
- [11] Peron F., Atti del 4° Congresso Nazionale ANIT, Sistemi vetrati e schermature solari, le prestazioni tecnologiche per il rispetto del DM 26/6/2015, Sessione 6 "Il controllo delle prestazioni estive", novembre 2016
- [12] D. Petrone e A. Panzeri, schermature mobili: criticità e requisiti minimi richiesti e calcolo del gtot, Neo Eubios 56, TEP srl, 2016
- [13] A. Panzeri, schermature solari, requisiti minimi ed ecobonus, Neo Eubios 72, TEP srl, 2020
- [14] R. Esposti, G. Galbusera, A. Panzeri e C. Salani, Prestazioni estive degli edifici. Volume 5, Collana: l'isolamento termico e acustico. Ed. da TEP srl, 1a ed. 2010, 2a ed. 2017
- [15] Approfondimento ANIT – Contorno dei serramenti, ed. TEP srl, 2021
- [16] Manuale ANIT – Prestazioni estive degli edifici, ed. TEP srl, 2023
- [17] Manuale ANIT – Isolamento e comfort, ed. TEP srl, 2021

ANIT



ASSOCIAZIONE
NAZIONALE
PER L'ISOLAMENTO
TERMICO E ACUSTICO

ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico, ha tra gli obiettivi generali la diffusione, la promozione e lo sviluppo dell'isolamento termico ed acustico nell'edilizia e nell'industria come mezzo per salvaguardare l'ambiente e il benessere delle persone.

ANIT

- diffonde la corretta informazione sull'isolamento termico e acustico degli edifici,
- promuove la normativa legislativa e tecnica,
- raccoglie, verifica e diffonde le informazioni scientifiche relative all'isolamento termico ed acustico,
- promuove ricerche e studi di carattere tecnico, normativo, economico e di mercato.

I soci **ANIT** si dividono nelle categorie

- **SOCI INDIVIDUALI**: Professionisti e studi di progettazione,
- **SOCI AZIENDA**: Produttori di materiali e sistemi per l'isolamento termico e acustico,
- **SOCI ONORARI**: Enti pubblici e privati, Università e Scuole Edili, Ordini e Collegi professionali.

STRUMENTI PER I SOCI

I soci ricevono



Costante
**aggiornamento sulle
norme in vigore** con le
GUIDE



I software per calcolare
tutti i parametri
energetici, igrotermici e
acustici degli edifici



Servizio di
chiarimento tecnico
da parte dello Staff

www.anit.it

info@anit.it

Tel. 0289415126