



La progettazione dell'involucro edilizio per edifici in classe A

Metodi costruttivi e soluzioni tecniche

Gabriele Masera – Dipartimento BEST



Come incidono le scelte progettuali e tecnologiche sul bilancio energetico (EPH)?

Quali conseguenze tecnologiche hanno le scelte per l'ottimizzazione energetica?

Ci sono esempi di classe A che integrano organicamente gli aspetti architettonici e tecnologici?



➤ 1. Concetti generali

- 1.1. Elementi del bilancio termico
- 1.2. Rapporto S/V

➤ 2. Dispersioni

- 2.1. Energia scambiata per trasmissione
- 2.2. Implicazioni costruttive
- 2.3. Ponti termici
- 2.4. Energia scambiata per ventilazione

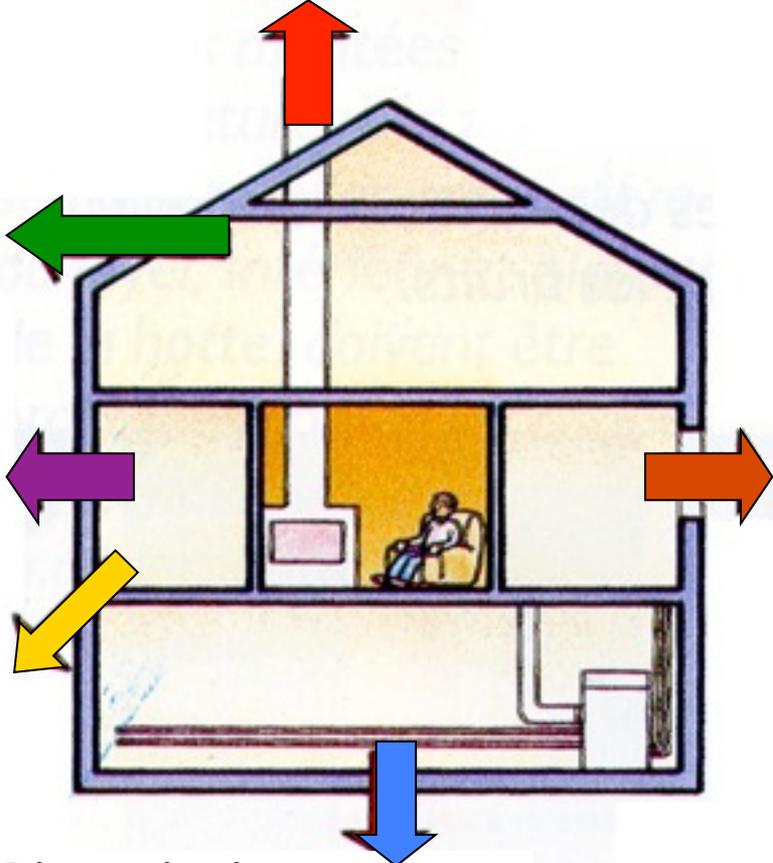
➤ 3. Guadagni

- 3.1. Dimensione e qualità delle parti trasparenti
- 3.2. Spazi soleggiati (serre e logge)
- 3.3. Apporti solari dovuti a pareti opache esterne

➤ 4. Considerazioni finali

- 4.1. Comportamento estivo di spazi non climatizzati
- 4.2. Esempi in Lombardia
- 4.3. Una possibile procedura di ottimizzazione

1.1. Elementi del bilancio termico



Dispersioni di calore*

- Porte e finestre – 13%
- Muri – 16%
- Tetto – 30%
- Suolo – 16%
- Ricambio d'aria – 20%
- Ponti termici – 5%

* Casa poco isolata

Obiettivo comfort: $T_{operante}$

media fra la temperatura dell'aria e quella media radiante

Dispersioni di calore:

- per trasmissione
- per ventilazione

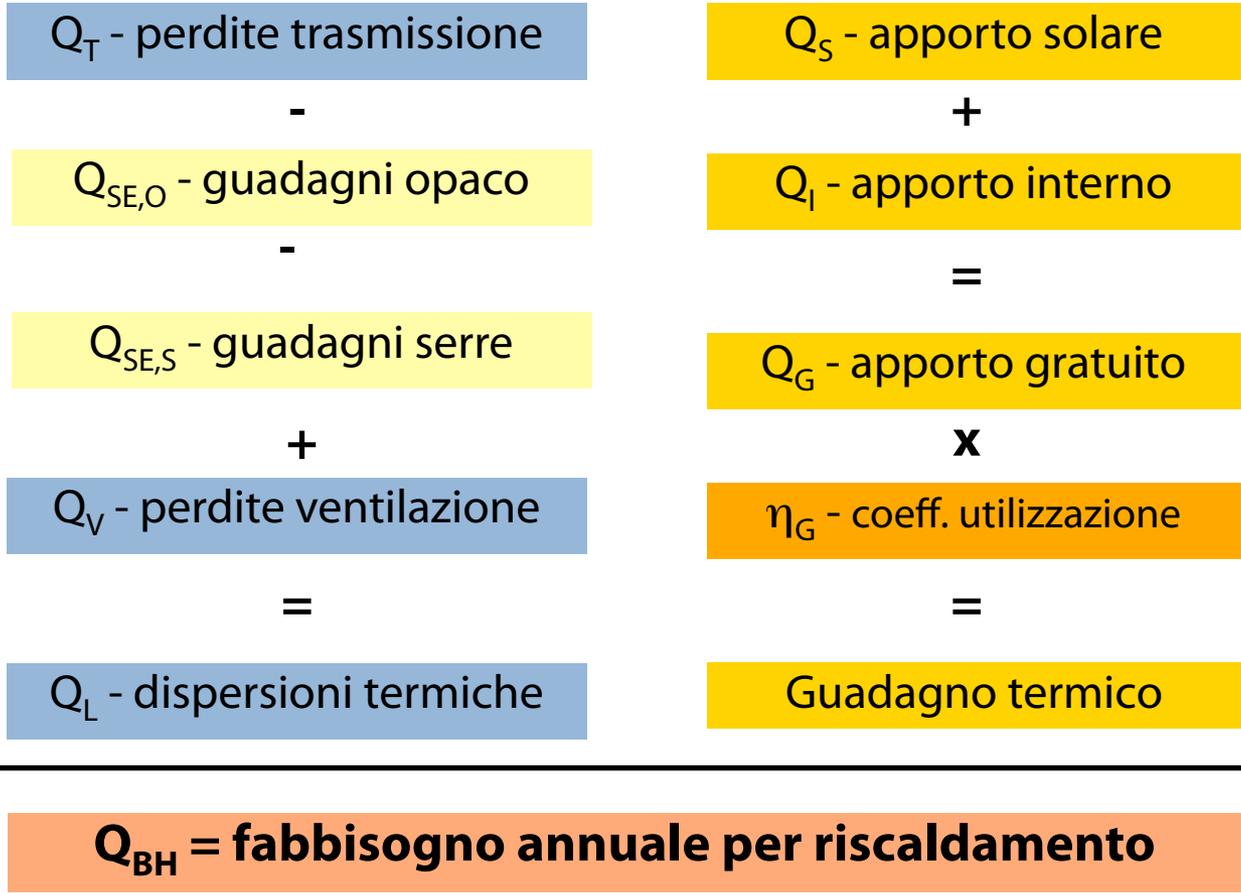
Guadagni gratuiti:

- carichi interni
- energia solare

Quello che manca a mantenere la T interna costante lo mette l'impianto.



Il bilancio termico è calcolato secondo la procedura in D.G.R. 5796 del 11 giugno 2009, aggiornamento della precedente procedura di calcolo per la certificazione energetica:



Determinazione del fabbisogno di involucro specifico [kWh/m² anno]:

$$E_H = \frac{Q_{BH,yr}}{A}$$



Modalità di calcolo del valore limite di EP_H
 secondo D.G.R. VIII/8745 del 22 dicembre 2008: *dipende da
 gradi giorno (GG) e rapporto superficie disperdente / volume riscaldato (S/V).*

Rapporto di forma dell'edificio	ZONA CLIMATICA				
	D		E		F
S/V [m ⁻¹]	da 1401 [GG]	a 2100 [GG]	a 2101 [GG]	a 3000 [GG]	oltre 3001 [GG]
≤ 0,2	21,3	34	34	46,8	46,8
≥ 0,9	68	88	88	116	116

Tabella A.1.1 – Valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale o il riscaldamento, nel corso di un anno, espresso in chilowattora per metro quadrato di superficie utile dell'ambiente a temperatura controllata o climatizzata [kWh/m²anno], per gli edifici della categoria E.1, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme.

Rapporto di forma dell'edificio	ZONA CLIMATICA				
	D		E		F
S/V [m ⁻¹]	da 1401 [GG]	a 2100 [GG]	a 2101 [GG]	a 3000 [GG]	oltre 3001 [GG]
≤ 0,2	6	9,6	9,6	12,7	12,7
≥ 0,9	17,3	22,5	22,5	31	31

Tabella A.1.2. – Valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale o il riscaldamento, nel corso di un anno, espresso in chilowattora per metro cubo di volume lordo a temperatura controllata o climatizzato [kWh/m³anno], per tutti gli edifici con l'esclusione di quelli appartenenti alla categoria E.1.



Classe	<i>Edifici di classe E.1 esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme</i>		
	<i>Zona E</i>	<i>Zona F1</i>	<i>Zona F2</i>
A+	$EP_{H1} < 14$	$EP_{H1} < 20$	$EP_{H1} < 25$
A	$14 \leq EP_{H1} < 29$	$20 \leq EP_{H1} < 39$	$25 \leq EP_{H1} < 49$
B	$29 \leq EP_{H1} < 58$	$39 \leq EP_{H1} < 78$	$49 \leq EP_{H1} < 98$
C	$58 \leq EP_{H1} < 87$	$78 \leq EP_{H1} < 118$	$98 \leq EP_{H1} < 148$
D	$87 \leq EP_{H1} < 116$	$118 \leq EP_{H1} < 157$	$148 \leq EP_{H1} < 198$
E	$116 \leq EP_{H1} < 145$	$157 \leq EP_{H1} < 197$	$198 \leq EP_{H1} < 248$
F	$145 \leq EP_{H1} < 175$	$197 \leq EP_{H1} < 236$	$248 \leq EP_{H1} < 298$
G	$EP_{H1} \geq 175$	$EP_{H1} \geq 236$	$EP_{H1} \geq 298$

Tabella A.4.1 – Valori limite delle classi energetiche per la climatizzazione invernale o il riscaldamento, espressi in chilowattora per metro quadrato di superficie utile dell'ambiente a temperatura controllata o climatizzato dell'edificio [kWh/m²anno], per gli edifici della classe E.1, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme.

Classe	<i>Altri edifici</i>		
	<i>Zona E</i>	<i>Zona F1</i>	<i>Zona F2</i>
A+	$EP_{H1} < 3$	$EP_{H1} < 4$	$EP_{H1} < 5$
A	$3 \leq EP_{H1} < 6$	$4 \leq EP_{H1} < 7$	$5 \leq EP_{H1} < 9$
B	$6 \leq EP_{H1} < 11$	$7 \leq EP_{H1} < 15$	$9 \leq EP_{H1} < 19$
C	$11 \leq EP_{H1} < 27$	$15 \leq EP_{H1} < 37$	$19 \leq EP_{H1} < 46$
D	$27 \leq EP_{H1} < 43$	$37 \leq EP_{H1} < 58$	$46 \leq EP_{H1} < 74$
E	$43 \leq EP_{H1} < 54$	$58 \leq EP_{H1} < 73$	$74 \leq EP_{H1} < 92$
F	$54 \leq EP_{H1} < 65$	$73 \leq EP_{H1} < 87$	$92 \leq EP_{H1} < 110$
G	$EP_{H1} \geq 65$	$EP_{H1} \geq 87$	$EP_{H1} \geq 110$

Tabella A.4.2 – Valori limite delle classi energetiche per la climatizzazione invernale o il riscaldamento, espressi in chilowattora per metro cubo di volume lordo, delle parti di edificio a temperatura controllata o climatizzato [kWh/m³ anno], per tutti gli edifici, esclusi quelli di cui alla tabella A.4.1.



Classe	<i>Edifici di classe E.1 esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme</i>		
	<i>Zona E</i>	<i>Zona F1</i>	<i>Zona F2</i>
A+	$ET_c < 5$	$ET_c < 5$	$ET_c < 5$
A	$5 \leq ET_c < 10$	$5 \leq ET_c < 10$	$5 \leq ET_c < 10$
B	$10 \leq ET_c < 20$	$10 \leq ET_c < 20$	$10 \leq ET_c < 20$
C	$20 \leq ET_c < 30$	$20 \leq ET_c < 30$	$20 \leq ET_c < 30$
D	$30 \leq ET_c < 40$	$30 \leq ET_c < 40$	$30 \leq ET_c < 40$
E	$40 \leq ET_c < 50$	$40 \leq ET_c < 50$	$40 \leq ET_c < 50$
F	$50 \leq ET_c < 60$	$50 \leq ET_c < 60$	$50 \leq ET_c < 60$
G	$ET_c \geq 60$	$ET_c \geq 60$	$ET_c \geq 60$

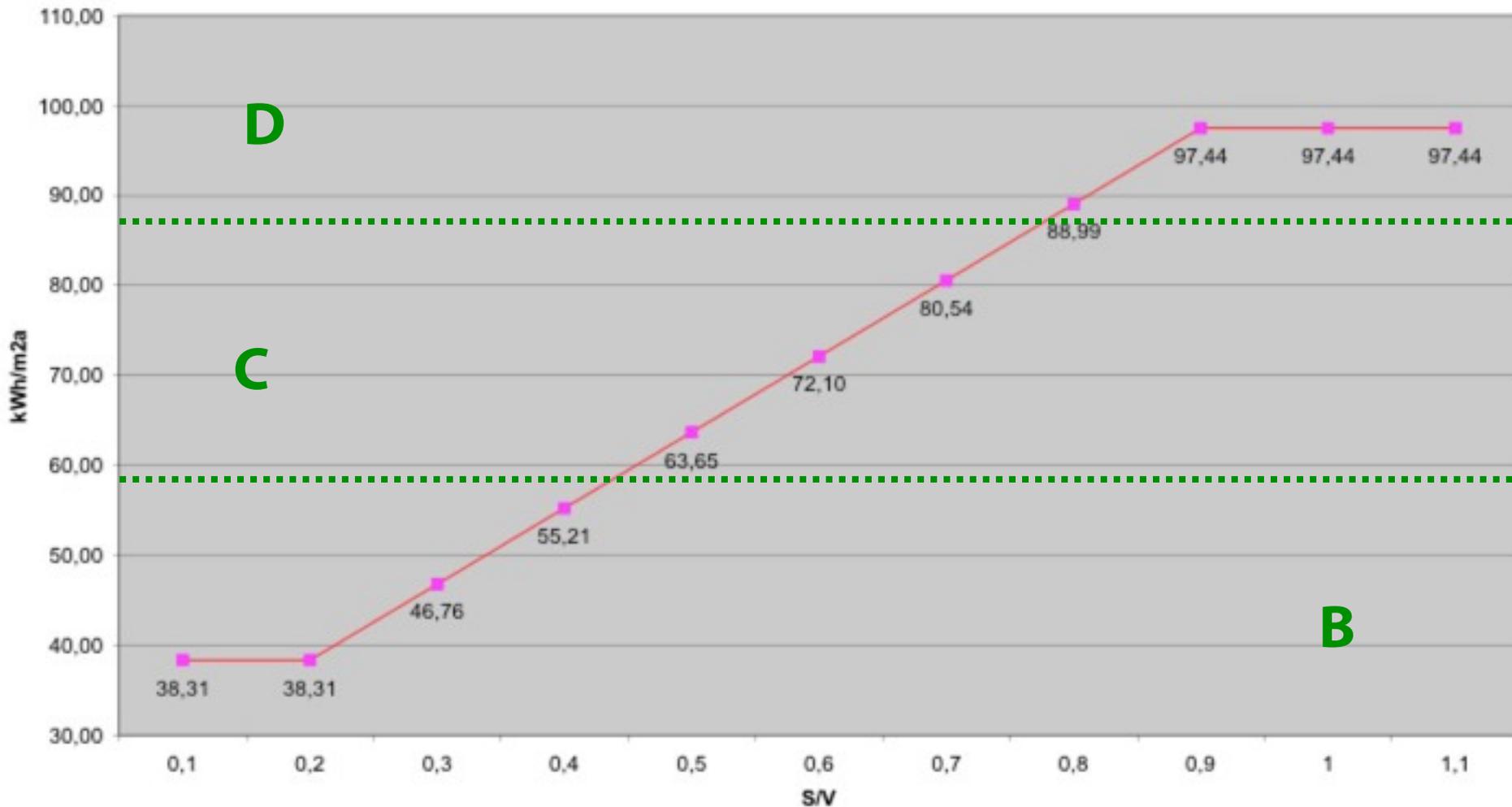
Tabella A.4.3 – Valori limite delle classi energetiche per la climatizzazione estiva o il raffrescamento, espressi in chilowattora per metro quadro di superficie utile dell'ambiente a temperatura controllata o climatizzato dell'edificio [kWh/m²anno], per gli edifici della classe E.1, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme.

Classe	<i>Altri edifici</i>		
	<i>Zona E</i>	<i>Zona F1</i>	<i>Zona F2</i>
A+	$ET_c < 2$	$ET_c < 2$	$ET_c < 2$
A	$2 \leq ET_c < 4$	$2 \leq ET_c < 4$	$2 \leq ET_c < 4$
B	$4 \leq ET_c < 8$	$4 \leq ET_c < 8$	$4 \leq ET_c < 8$
C	$8 \leq ET_c < 12$	$8 \leq ET_c < 12$	$8 \leq ET_c < 12$
D	$12 \leq ET_c < 16$	$12 \leq ET_c < 16$	$12 \leq ET_c < 16$
E	$16 \leq ET_c < 20$	$16 \leq ET_c < 20$	$16 \leq ET_c < 20$
F	$20 \leq ET_c < 24$	$20 \leq ET_c < 24$	$20 \leq ET_c < 24$
G	$ET_c \geq 24$	$ET_c \geq 24$	$ET_c \geq 24$

Tabella A.4.4 – Valori limite delle classi energetiche per la climatizzazione estiva o il raffrescamento, espressi in chilowattora per metro cubo di volume lordo a temperatura controllata o climatizzate [kWh/m³ anno], per tutti gli edifici, esclusi quelli di cui alla tabella A.4.3.



EP_H limite per edifici residenziali

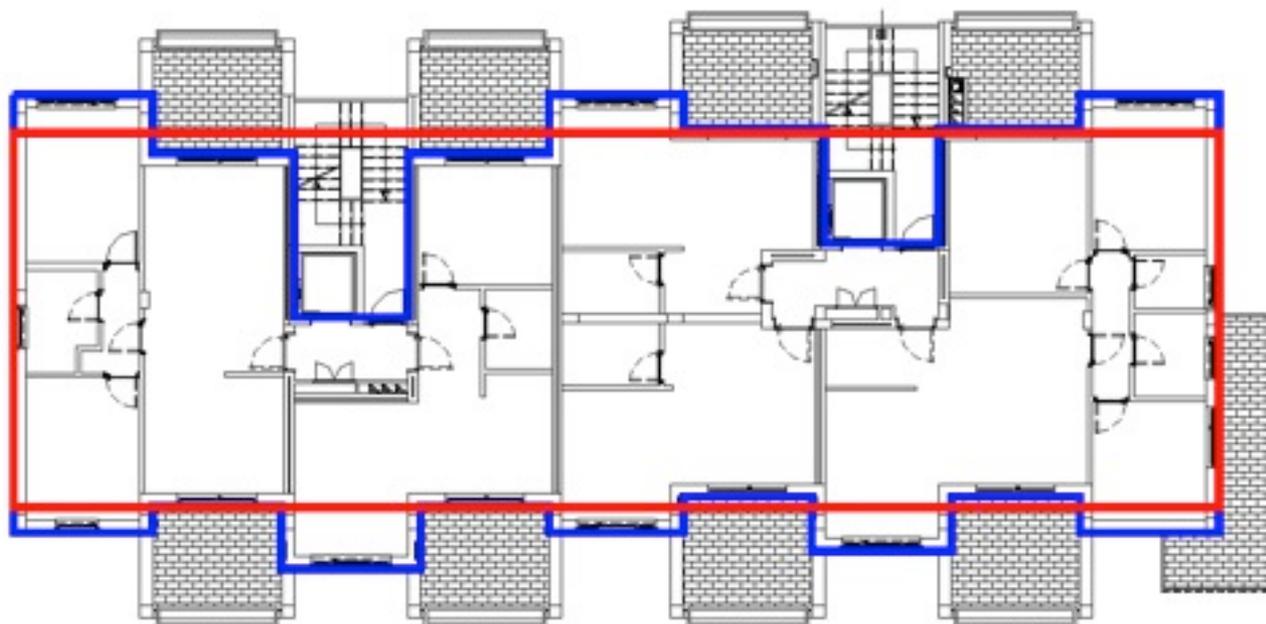


Andamento del fabbisogno consentito di energia primaria per riscaldamento (Milano).



1.2. Il fattore di forma S/V

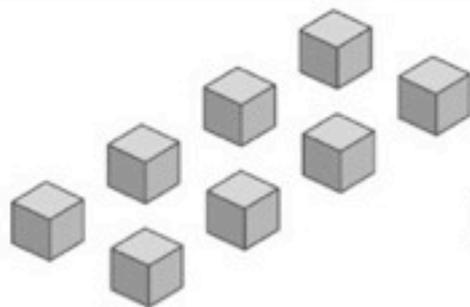
10



Volume riscaldato = 1020 m^3
Superficie laterale = 360 m^2
 $S/V = 0,35$
Consumo specifico = $66,22 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

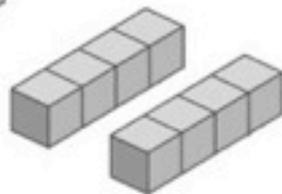
Volume riscaldato = 1020 m^3
Superficie laterale = 260 m^2
 $S/V = 0,25$
Consumo specifico = $55,26 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

[Fonte: Michele Carlini, Studio Tecnico Carlini, BZ.]



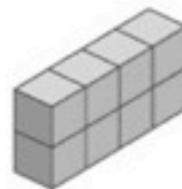
8 volumi
48 facce

$$S/V = 6 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$



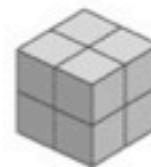
8 volumi
36 facce

$$S/V = 4,5 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$



8 volumi
28 facce

$$S/V = 3,5 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$



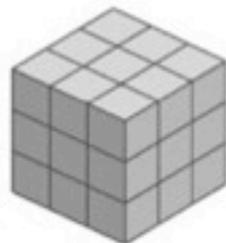
8 volumi
24 facce

$$S/V = 3 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$



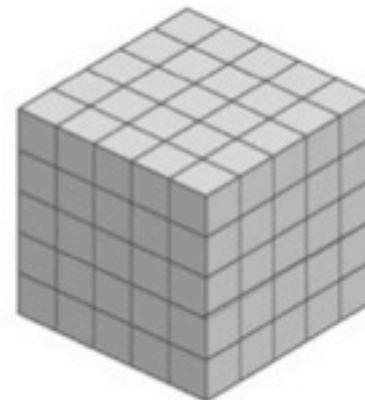
8 volumi
24 facce

$$S/V = 3 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$



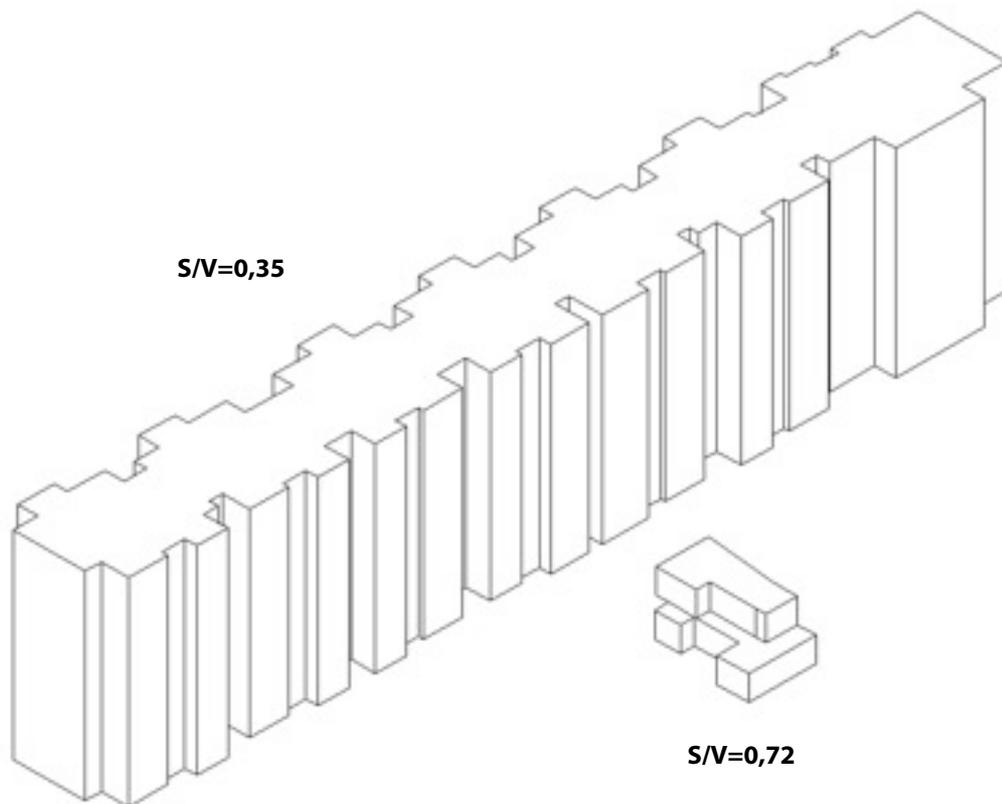
27 volumi
54 facce

$$S/V = 2 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$



125 volumi
150 facce

$$S/V = 1,2 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$



EDIFICIO PLURIFAMILIARE

$$S/V = 0,35$$

$$U_{\text{medio pesato}} = 0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$$

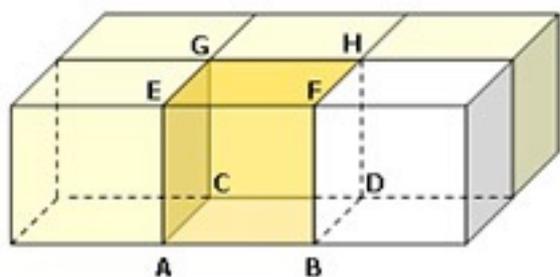
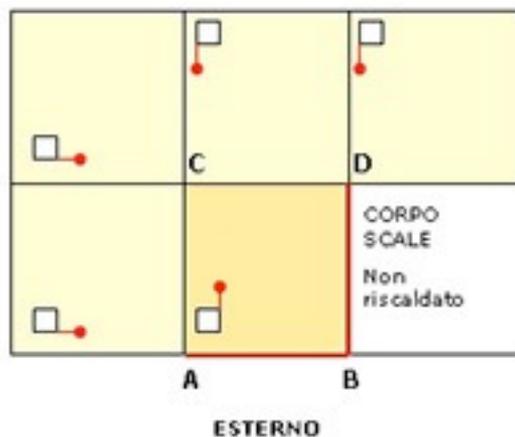
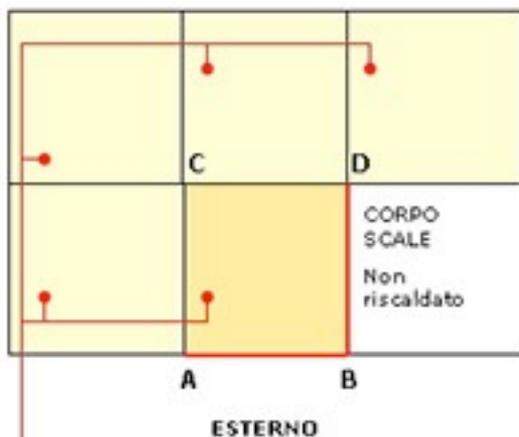
Classe B

EDIFICIO MONOFAMILIARE

$$S/V = 0,72$$

$$U_{\text{medio pesato}} = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$$

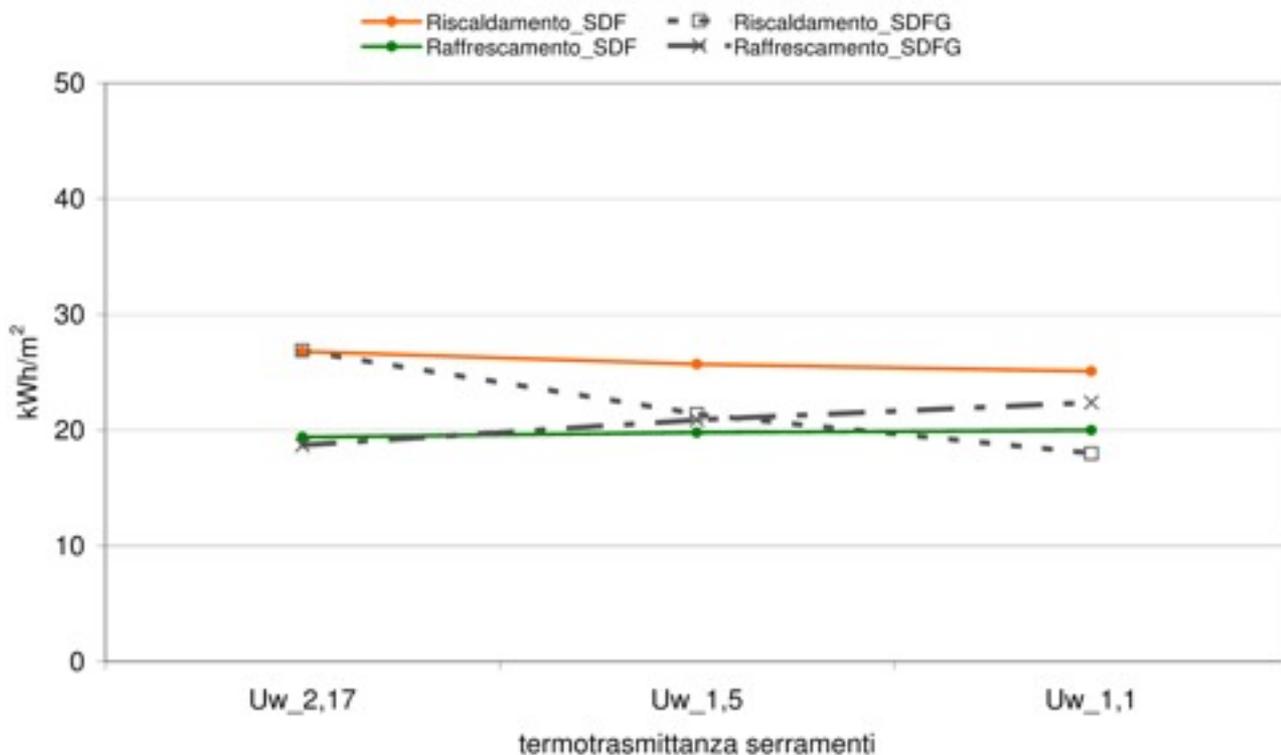
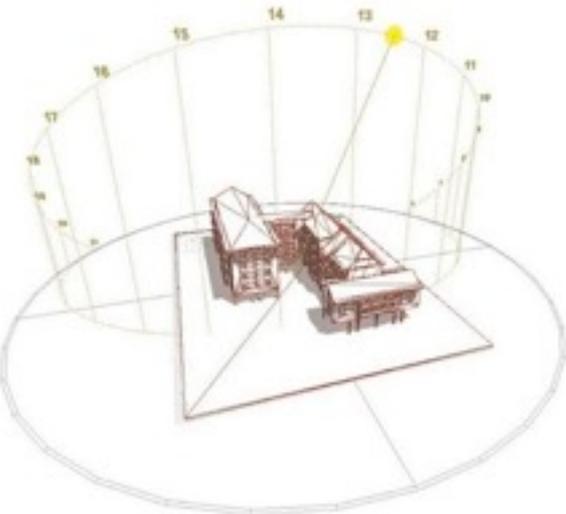
Classe D



$$S = \underset{\substack{\downarrow \\ \text{Basamento}}}{ABDC} + \underset{\substack{\downarrow \\ \text{Faccia rivolta} \\ \text{verso il corpo} \\ \text{scale}}}{BDHF} + \underset{\substack{\downarrow \\ \text{Faccia verso} \\ \text{l'esterno}}}{ABEF} + \underset{\substack{\downarrow \\ \text{Copertura}}}{EFHG}$$

Ai fini del calcolo della superficie disperdente per il calcolo del rapporto S/V, si considerano le facce rivolte verso ambienti non riscaldati, la faccia rivolta verso l'esterno, la soletta controterra e la copertura. A tal fine si considerano riscaldati gli ambienti climatizzati tramite impianti termici centralizzati o tramite impianti termici autonomi.

Le superfici disperdenti per l'unità immobiliare "ABCDEFGH" indicata in giallo scuro sono la facciata confinante con l'esterno (faccia "ABFE"), il solaio contro terra (faccia "ABCD"), il muro confinante con il corpo scale non riscaldato (faccia "BDHF") la copertura (faccia "EFHG").

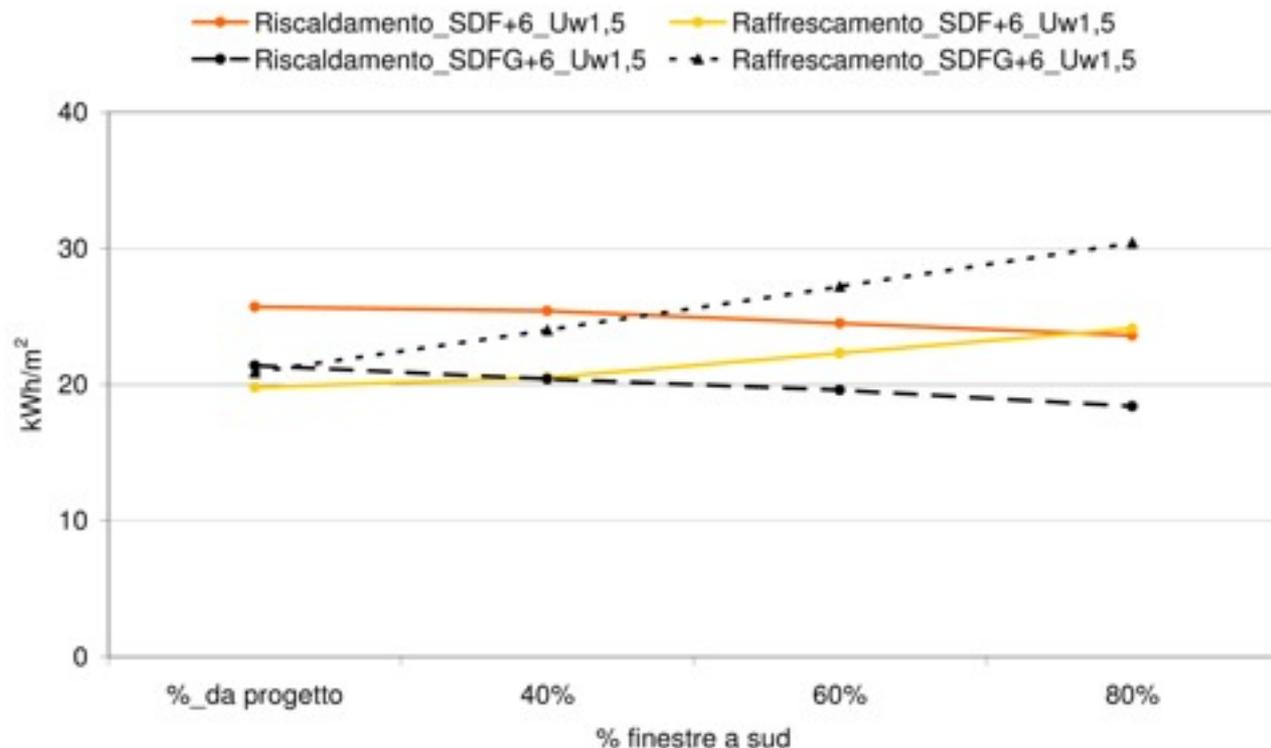
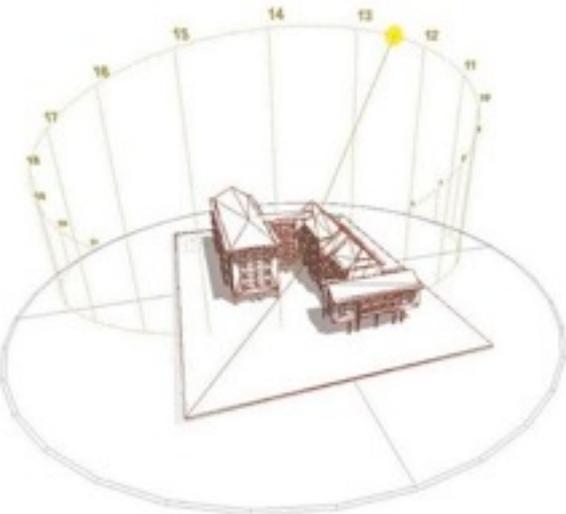


Calcolo su intero condominio

Rapporto S/V = 0,49; U_{media} involucro = 0,44 W/m²K.

Analisi su due configurazioni: SDF con il 24% trasparente del fronte sud;
SDFG con il 24% trasparente sul fronte ovest.

Se migliorano le prestazioni delle parti vetrate, il fabbisogno invernale di un edificio con prevalente orientamento E-O (SDFG) diminuiscono rispetto a un analogo edificio con orientamento N-S (SDF); tuttavia, il periodo estivo può rivelarsi critico.



Calcolo su intero condominio

Rapporto $S/V = 0,49$; U_{media} involucro = $0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Analisi su due configurazioni: SDF con il 24% trasparente del fronte sud;
SDFG con il 24% trasparente sul fronte ovest.

L'aumento della superficie vetrata rivolta a sud per un edificio con prevalente sviluppo E-O (SDFG) rende critico il surriscaldamento estivo rispetto a un analogo edificio con prevalente sviluppo N-S (SDF).



$$Q_T = H_T \cdot \Delta\theta \cdot \Delta t + Q_{T,S}$$

Q_T è la quantità totale di energia trasferita per trasmissione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [kWh];

H_T è il coefficiente di scambio termico per trasmissione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [W/K];

$\Delta\theta$ è la differenza tra la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, θ_i , e il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna, θ_e , [°C];

Δt è la durata del mese considerato (si veda la (17)), [kh];

$Q_{T,S}$ è la quantità totale di energia trasferita per trasmissione attraverso uno spazio soleggiato adiacente alla zona climatizzata o a temperatura controllata considerato (si veda la (55)), [kWh];

con:

$$\Delta\theta = \theta_i - \theta_e \quad (16)$$

θ_i è la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, (si veda § E.3), [°C];

θ_e è il valore medio della temperatura media giornaliera esterna (si veda § E.6.3.7.1), [°C];

e con:

$$\Delta t = \frac{24 \cdot N}{1000} \quad (17)$$

N è il numero dei giorni del mese considerato.

(NB: ai fini della classificazione energetica, si considera l'impianto funzionante 24 h.)



$$H_T = \sum_k A_{L,k} \cdot U_{C,k} \cdot F_{T,k}$$

- H_T è il coefficiente di scambio termico per trasmissione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [W/K];
- $A_{L,k}$ è l'area lorda della struttura k-esima, che separa la zona climatizzata o a temperatura controllata dall'ambiente circostante, [m²];
- $U_{C,k}$ è la trasmittanza termica media, eventualmente corretta, della struttura k-esima, che separa la zona climatizzata o a temperatura controllata dall'ambiente circostante, [W/m²K];
- $F_{T,k}$ è il fattore correttivo da applicare a ciascuna struttura k-esima così da tener conto delle diverse condizioni di temperatura degli ambienti con cui essi sono a contatto (Prospetto III);
- k è il numero delle strutture disperdenti.

EDIFICI ESISTENTI

Ambiente circostante	$F_{T,k}$
Ambienti con temperatura pari alla temperatura esterna	1,00
Ambiente non climatizzato	
- con una parete esterna	0,40
- senza serramenti esterni e con almeno due pareti esterne	0,50
- con serramenti esterni e con almeno due pareti esterne (per esempio autorimesse)	0,60
- con tre pareti esterne (per esempio vani scala esterni)	0,80
Piano interrato o seminterrato	
- senza finestra o serramenti esterni	0,50
- con finestre o serramenti esterni	0,80
Sottotetto	
- aerato	1,00
- tetto isolato	0,70
Terreno	0,45
Vespaio aerato	0,80

Prospetto III– Fattori correttivi da applicare a ciascun componente, k, così da tener conto delle diverse condizioni di temperatura degli ambienti adiacenti alla zona termica considerata



NUOVI EDIFICI

$$H_T = \sum_k A_{L,k} \cdot U_k \cdot \frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_i - \theta_e}$$

- H_T è il coefficiente di scambio termico per trasmissione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [W/K];
- $A_{L,k}$ è l'area lorda della struttura k-esima, che separa la zona climatizzata o a temperatura controllata dall'ambiente circostante, [m²];
- U_k è la trasmittanza termica media della struttura opaca k-esima, che separa la zona termica considerata dall'ambiente circostante, [W/m²K];
- θ_a è la temperatura media mensile dell'ambiente circostante, calcolata secondo la metodologia descritta all' Appendice A, [°C];
- θ_i è la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, (si veda § E.3), [°C];
- θ_e è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna (si veda § E.6.3.7.1), [°C].

(NB: la temperatura del terreno è considerata pari alla media delle temperature medie mensili dell'aria esterna.)



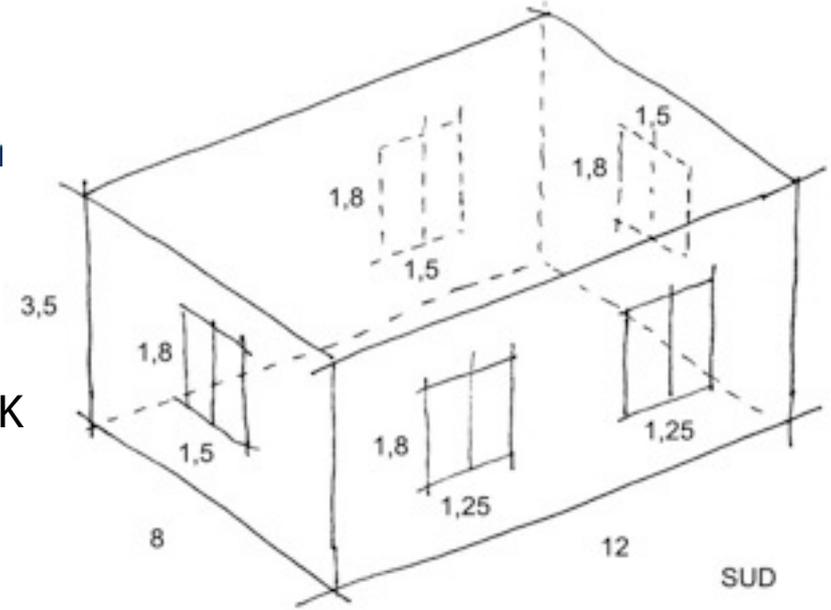
Esempio 1

Copertura: $A_L = 96 \text{ m}^2$; $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Parete perimetrale sud: $A_L = 42 \text{ m}^2$; $U = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$

Finestre sud: $A_L = 4,5 \text{ m}^2$; $U = 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

Solaio a terra: $A_L = 96 \text{ m}^2$; $U = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$



$$H_T \text{ copertura} = 28,8 \text{ W/K} \quad (20)$$

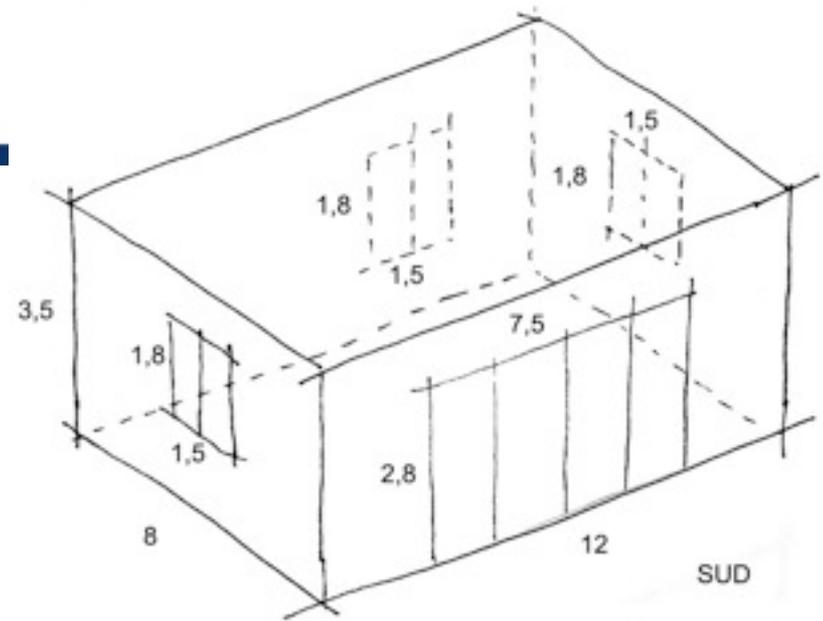
$$U_k \text{ parete perimetrale sud} = \frac{(42-4,5) \cdot 0,34 + 4,5 \cdot 2,2}{42} = 0,54 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (22)$$

$$H_T \text{ parete perimetrale sud} = 22,7 \text{ W/K}$$

Per il terreno, $\theta_e = \text{media } \theta \text{ medie mensili ambiente} = 13,7^\circ\text{C}$

$$H_T \text{ solaio a terra} = 96 \cdot 0,33 \cdot \frac{20 - 13,7}{20 - 7,9} = 16,5 \text{ W/K (novembre)}$$

Nota: in questo calcolo non sono considerati i ponti termici.



Esempio 2

Finestre più grandi a sud.

$$U_k \text{ parete perimetrale sud} = \frac{(42 - 21) \cdot 0,34 + 21 \cdot 2,2}{42} = 1,27 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$H_T \text{ parete perimetrale sud} = 53,3 \text{ W/K}$$

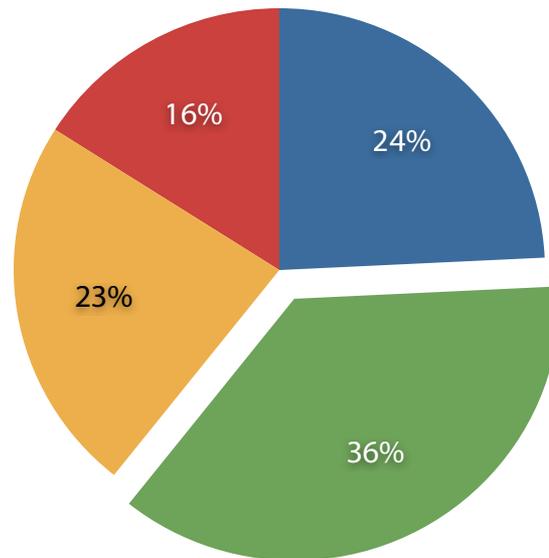
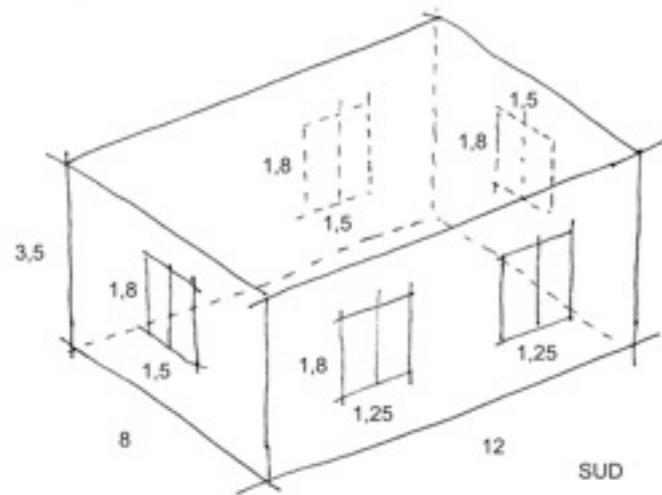
Nota: in questo calcolo non sono considerati i ponti termici.

Esempio 3

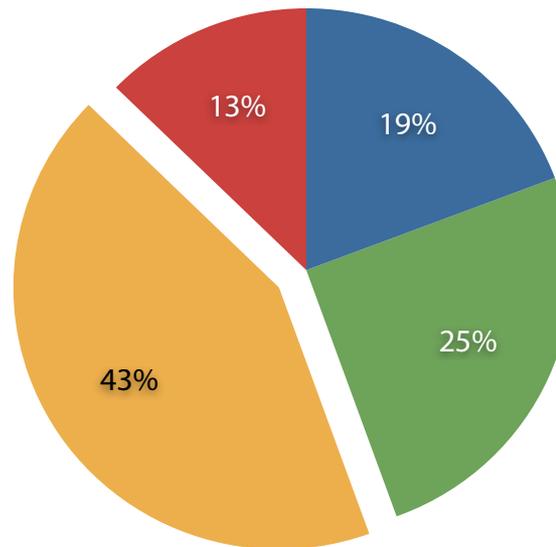
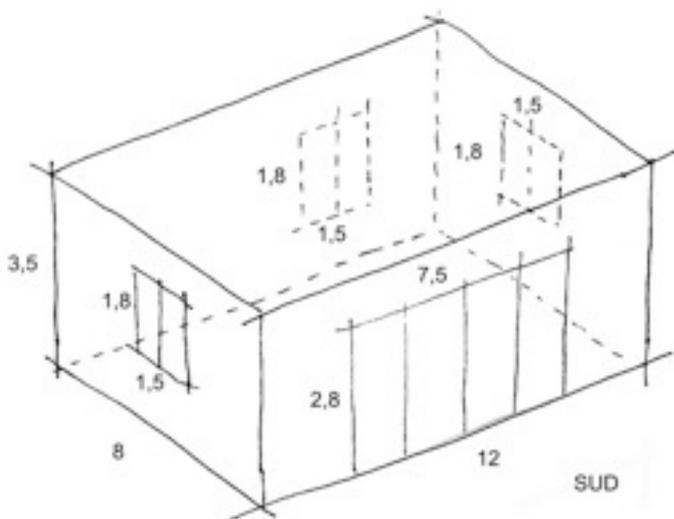
Finestre più grandi a sud, con valore U migliore.

$$U_k \text{ parete perimetrale sud} = \frac{(42 - 21) \cdot 0,34 + 21 \cdot 1,5}{42} = 0,92 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$H_T \text{ parete perimetrale sud} = 38,6 \text{ W/K}$$



- copertura
- pareti opache
- finestre
- solaio a terra





Zona climatica	Strutture rivolte verso l'esterno ovvero verso ambienti a temperatura non controllata			
	Opache verticali	Opache orizzontali o inclinate		Chiusure trasparenti comprensive di infissi
		Coperture	Pavimenti	
D	0,36	0,32	0,36	2,4
E	0,34	0,30	0,33	2,2
F	0,33	0,29	0,32	2,0

Tabella A.2.1 – Valori limite della trasmittanza termica espressa in W/m^2K .

Prescrizioni Regione Lombardia (D.G.R. VIII/8745 del 22 dicembre 2008): valori di trasmittanza limite per i singoli componenti opachi e vetrati che delimitano l'involucro dell'edificio verso l'esterno o verso ambienti a temperatura non controllata.

Il rispetto di questi valori di U non è richiesto nei casi in cui sia necessario valutare l'efficienza del sistema edificio-impianti.



	Verifica EP _H	Verifica U	Verifica rendimento impianto	Condensazione superficiale	Condensazione interstiziale	Efficacia schermature solari	Proprietà inerziali chiusure	RE per produzione 50% ACS
A Nuova costruzione, demolizione + ristrutturazione, ecc.	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
B Ristrutturazioni importanti involucro senza nuovo impianto	(✓) in altern.	(✓) in altern.	✗	✓	✓	✓	✓	✗
C Ristrutturazioni minori, piccoli ampliamenti, manutenzioni straord.	✗	✓ +30%	(✓) in caso ristruttur. impianto	✓	✓	✓	✓	(✓) in caso ristruttur. impianto



*Per ottenere una casa passiva
(Passivhaus) - in Germania:*

(+ ventilazione meccanica)

Elementi opachi di involucro

$$U = 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Finestre

$$U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

*Per ottenere una casa CasaClima B -
in Alto Adige:*

Elementi opachi di involucro

$$U = 0,15 \div 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Finestre

$$U = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

*Per ottenere una casa CasaClima A -
in Alto Adige:*

(+ ventilazione meccanica)

Elementi opachi di involucro

$$U = 0,1 \div 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

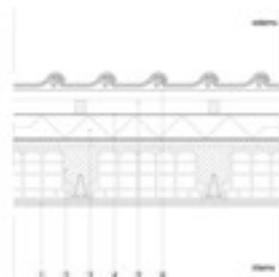
Finestre

$$U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tecnologia costruttiva in laterocemento

COPERTURA

Tetto inclinato



Strato n°	Descrizione strato	Spessore	λ (W/mK)
—	Coefficiente di adduzione interno α_i		8
1	Intonaco interno	2 cm	0,7
2	Solaio in laterocemento	25 cm	0,8
3	Strato di isolante termico	8 cm	0,03
4	Strato divisorio	0,1 cm	0,23
5	Intercapedine d'aria	8 cm	0,23
6	Tegola piana tipo marsigliese	2 cm	0,43

— Coefficiente di adduzione esterno α_e 25

Coefficiente U (W/m²K) necessario per rispettare i limiti imposti dal DGR VIII/5018; allegato A, tabella A.3:

0,30 W/m²K

Incremento prestazionale

Per rientrare nel limite della direttiva regionale sono necessari 9 cm di isolante

Coefficiente U: 0,30 W/m²K

C

Per per rientrare in CLASSE B (fabbisogno < 58 kWh/m²anno) è necessario uno spessore di isolante di 13 cm.

(+ 4 cm rispetto al minimo di legge)

Coefficiente U: 0,22 W/m²K

B

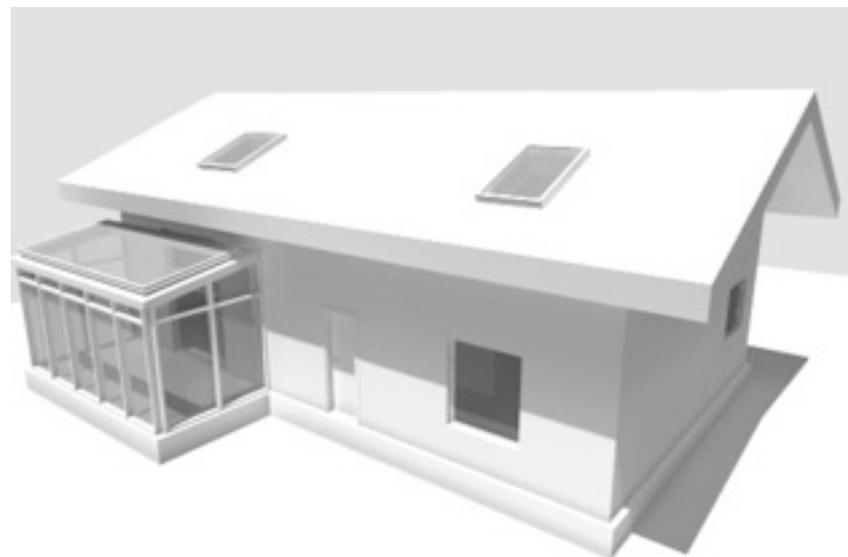
Per per rientrare in CLASSE A (fabbisogno < 29 kWh/m²anno) è necessario uno spessore di isolante di 18 cm.

(+ 9 cm rispetto al minimo di legge)

Coefficiente U: 0,165 W/m²K

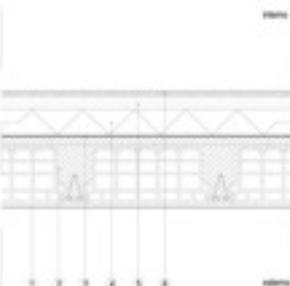
A

Prestazioni richieste per l'ottenimento delle classi energetiche: copertura.



(Caso di villa unifamiliare isolata.)

Tecnologia costruttiva in laterocemento **CHIUSURA ORIZZONTALE**
Solaio verso locale non riscaldato (cantina)



Strato n°	Descrizione strato	Spessore	λ (W/mK)
—	Coefficiente di adduzione interno α_i		7,7
1	Piastrelle in cotto	1 cm	1,3
2	Massetto di livellazione	8 cm	1,4
3	Strato di isolante termico	8 cm	0,03
4	Solaio in laterocemento	24 cm	0,8
5	Intonaco	2 cm	0,7
—	Coefficiente di adduzione esterno α_e		25

Coefficiente U (W/m ² K) necessario per rispettare i limiti imposti dal DGR VIII/5018; allegato A, tabella A.3:	0,33 W/m ² K
--	-------------------------

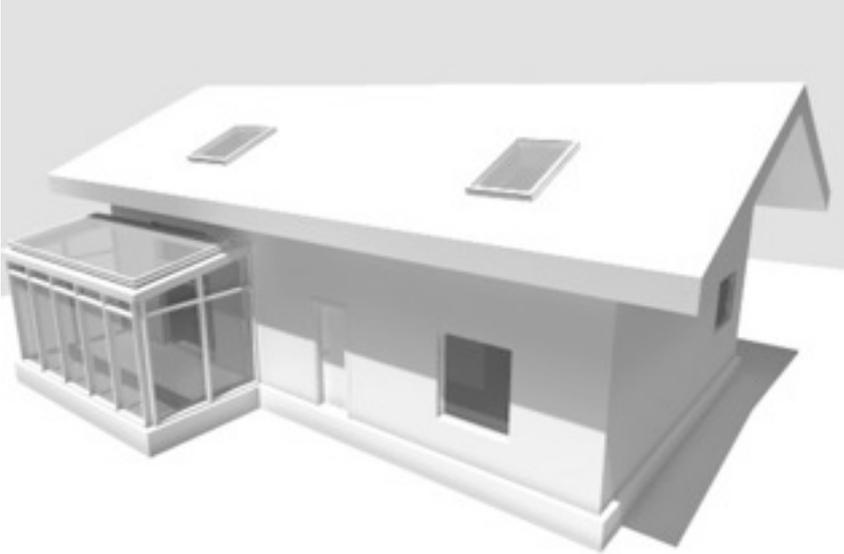
Incremento prestazionale

Per rientrare nel limite della direttiva regionale sono necessari 8 cm di isolante
 Coefficiente U: 0,33 W/m²K **C**

Per per rientrare in CLASSE B (fabbisogno < 58 kWh/m²anno) è necessario uno spessore di isolante di 12,5 cm.
 (+ 9,5 cm rispetto al minimo di legge)
 Coefficiente U: 0,22 W/m²K **B**

Per per rientrare in CLASSE A (fabbisogno < 29 kWh/m²anno) è necessario uno spessore di isolante di 18 cm.
 (+ 9 cm rispetto al minimo di legge)
 Coefficiente U: 0,16 W/m²K **A**

Prestazioni richieste per l'ottenimento delle classi energetiche: solaio su box.

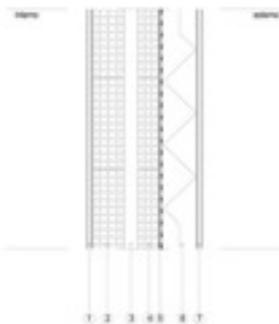


(Caso di villa unifamiliare isolata.)

Tecnologia costruttiva in laterocemento

CHIUSURA VERTICALE

Parete tipo



Strato n°	Descrizione strato	Spessore	λ (W/mK)
—	Coefficiente di adduzione interno α_i		7,7
1	Intonaco interno	2 cm	0,7
2	mattoni	12 cm	0,44
3	Strato d'aria in quiete	4 cm	0,29
4	mattoni	8 cm	0,44
5	Strato di isolamento termico	3 cm	0,03
6	Intonaco esterno	2 cm	0,67
—	Coefficiente di adduzione esterno α_e		25

Coefficiente U (W/m²K) necessario per rispettare i limiti imposti dal DGR VIII/5018; allegato A, tabella A.3:

0,34 Wm²K

Incremento prestazionale

Per rientrare nel limite della direttiva regionale sono necessari 3 cm di isolante

Coefficiente U 0,33 W/m²K

C

Per per rientrare in CLASSE B (fabbisogno < 58 kWh/m²anno) è necessario uno spessore di isolante di 8 cm.

(+ 5 cm rispetto al minimo di legge)

Coefficiente U 0,22 W/m²K

B

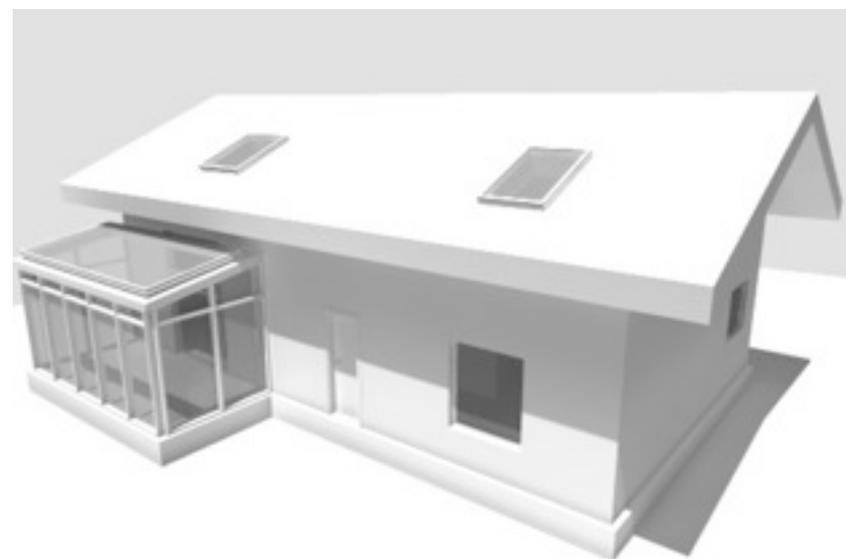
Per per rientrare in CLASSE A (fabbisogno < 29 kWh/m²anno) è necessario uno spessore di isolante di 15 cm.

(+ 12 cm rispetto al minimo di legge)

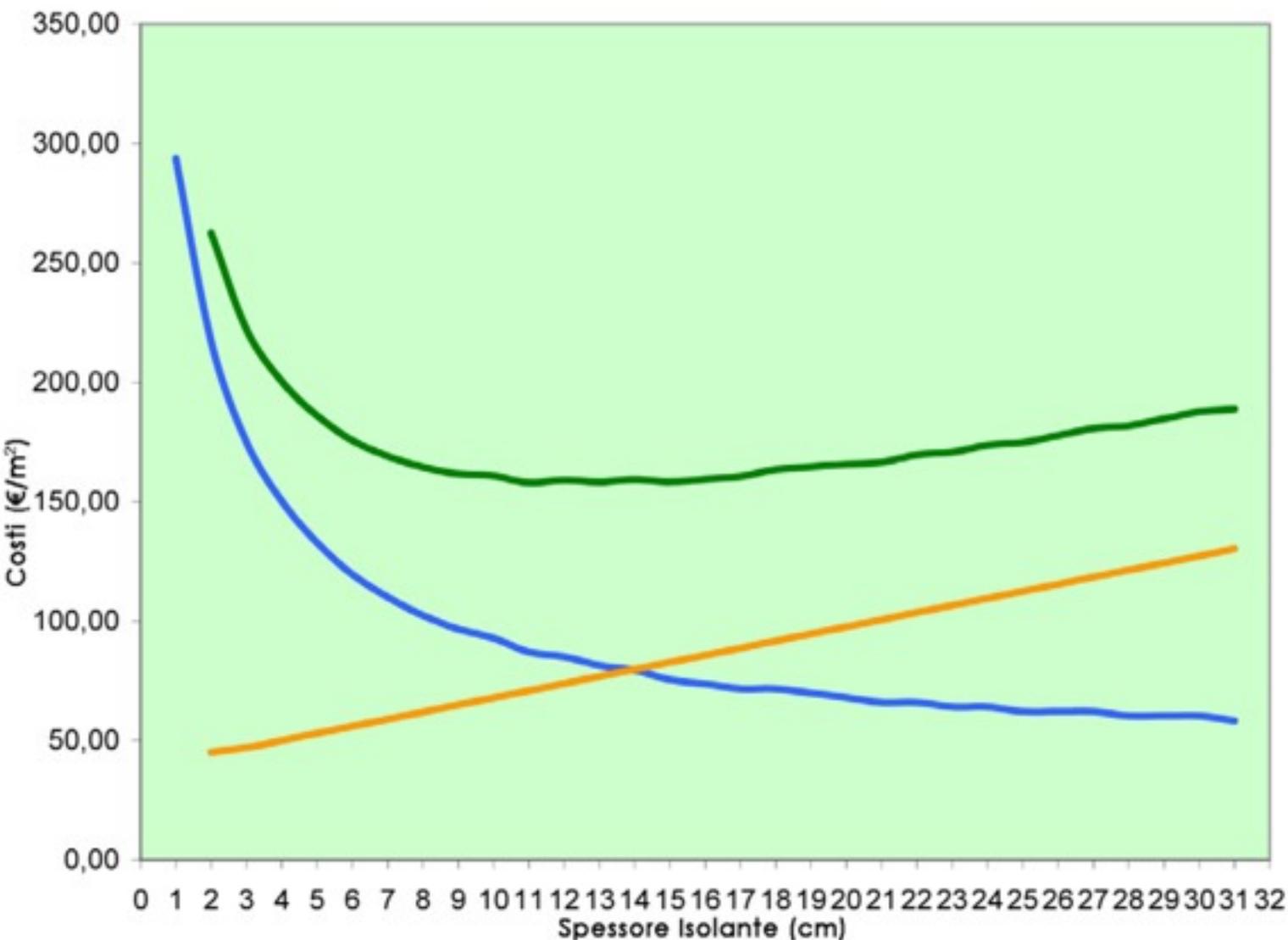
Coefficiente U 0,15 W/m²K

A

Prestazioni richieste per l'ottenimento delle classi energetiche: muro perimetrale.



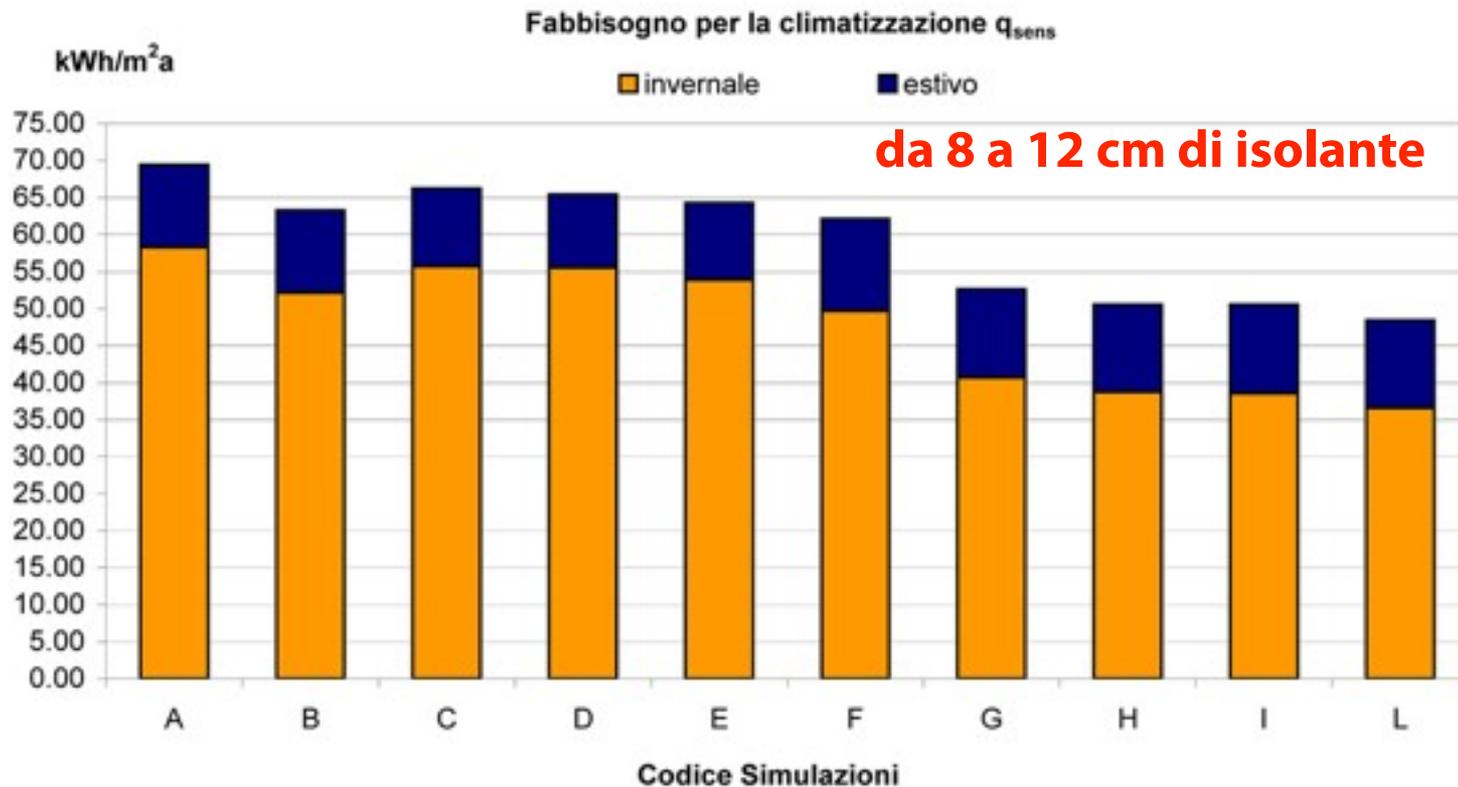
(Caso di villa unifamiliare isolata.)



Un punto di bilanciamento dello spessore di isolante (senza lavorare sugli impianti) si può ottenere paragonando il risparmio sul combustibile in n anni con la maggiore spesa iniziale.



Valutazione dell'effetto combinato di misure di miglioramento energetico (software CENED).



Calcolo su singolo appartamento

Rapporto S/V = 0,37

$U_{media,opaco} = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$

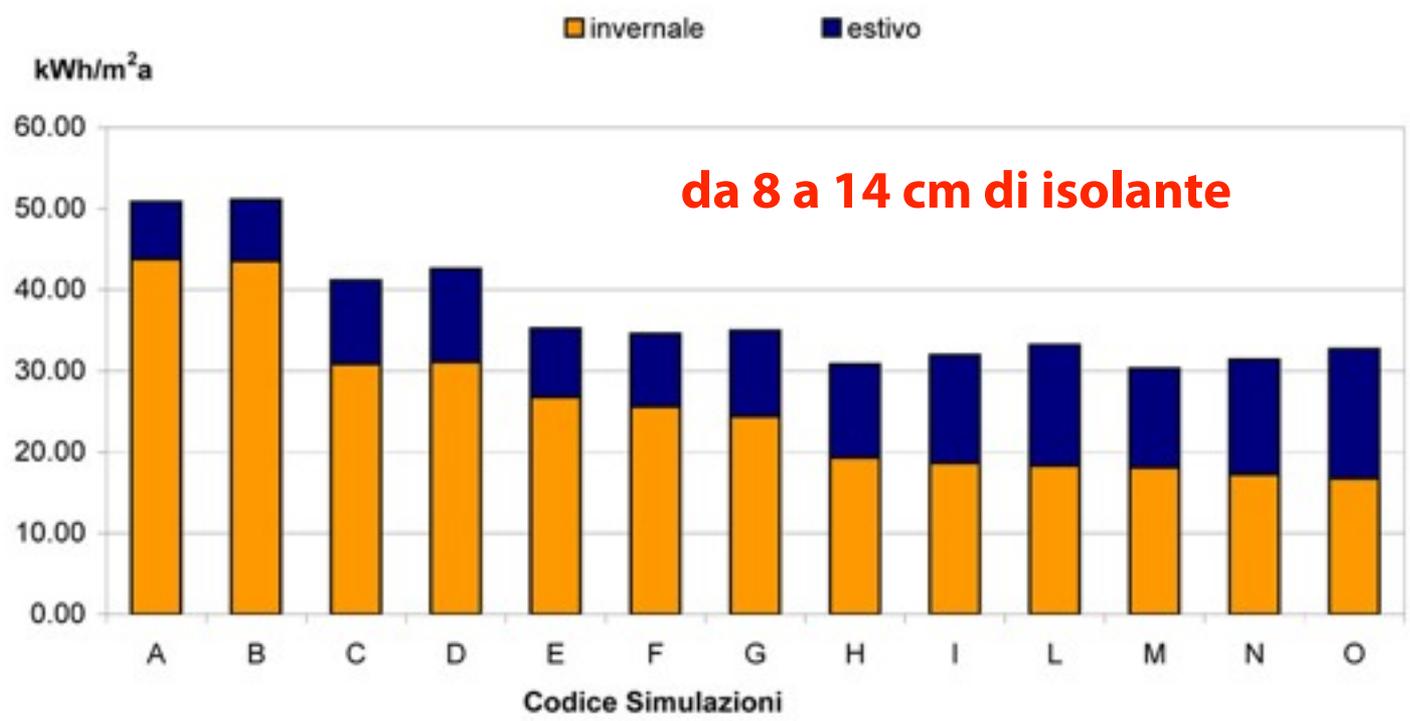
$U_{media,trasp} = 1,86 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fronte sud con 26% trasparente e 74% opaco.

Cod.	DESCRIZIONE
A	Analisi sullo stato di fatto - Valmadrera - Stabile A - Appartamento 11
B	Ottimizzazione delle prestazioni dell'involucro - aumento dello spessore dell'isolamento di 4 cm rispetto allo SdF
C	Ottimizzazione della termotrasmissione dei serramenti (vetro + telaio) - Caso con $U_w = 1.54 \text{ W / m}^2\text{K} - g = 0.65$
D	Ottimizzazione della termotrasmissione dei serramenti (vetro + telaio) - Caso con $U_w = 1.4 \text{ W / m}^2\text{K} - g = 0.6$
E	Ottimizzazione della termotrasmissione dei serramenti (vetro + telaio) - Caso con $U_w = 1.2 \text{ W / m}^2\text{K} - g = 0.6$
F	Ottimizzazione impiantistica: introduzione di un recuperatore di calore
G	Combinazione: incremento isolamento +4 cm / $1.54 \text{ W / m}^2\text{K} - g = 0.65$ + Recuperatore di calore
H	Combinazione: incremento isolamento +4 cm / $1.2 \text{ W / m}^2\text{K} - g = 0.6$ + Recuperatore di calore
I	Combinazione: incremento isolamento +6 cm / $1.54 \text{ W / m}^2\text{K} - g = 0.65$ + Recuperatore di calore
L	Combinazione: incremento isolamento +6 cm / $1.2 \text{ W / m}^2\text{K} - g = 0.6$ + Recuperatore di calore



Fabbisogno per la climatizzazione q_{sens}



Valutazione dell'effetto combinato di misure di miglioramento energetico (software CENED).

Calcolo su intero condominio

Rapporto S/V = 0,49
 $U_{media,opaco} = 0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $U_{media,trasp} = 2,16 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Fronte sud con 26% trasparente e 74% opaco.

Cod.	DESCRIZIONE
A	Analisi sullo stato di fatto dell'edificio
B	Ottimizzazione della percentuale finestrata a Sud - Caso con sup. finestrata pari al 20% del fronte SUD
C	Ottimizzazione della percentuale finestrata a Sud - Caso con sup. finestrata pari al 40% del fronte SUD
D	Ottimizzazione della percentuale finestrata a Sud - Caso con sup. finestrata pari al 60% del fronte SUD
E	Ottimizzazione della termotrasmittanza dei serramenti (vetro + telaio) - Caso con $U_w = 1.5 \text{ W / m}^2\text{K}$
F	Ottimizzazione della termotrasmittanza dei serramenti (vetro + telaio) - Caso con $U_w = 1.1 \text{ W / m}^2\text{K}$
G	Ottimizzazione delle prestazioni dell'involucro - aumento dello spessore dell'isolamento di 6 cm rispetto allo SdF (secondo l'analisi dei costi-benefici)
H	Combinazioni ottimizzazioni: %20 Sup. finestrata a Sud - $U_w = 1.5 \text{ W / m}^2\text{K}$ - incremento isolamento = + 6 cm
I	Combinazioni ottimizzazioni: %40 Sup. finestrata a Sud - $U_w = 1.5 \text{ W / m}^2\text{K}$ - incremento isolamento = + 6 cm
L	Combinazioni ottimizzazioni: %60 Sup. finestrata a Sud - $U_w = 1.5 \text{ W / m}^2\text{K}$ - incremento isolamento = + 6 cm
M	Combinazioni ottimizzazioni: %20 Sup. finestrata a Sud - $U_w = 1.1 \text{ W / m}^2\text{K}$ - incremento isolamento = + 6 cm
N	Combinazioni ottimizzazioni: %40 Sup. finestrata a Sud - $U_w = 1.1 \text{ W / m}^2\text{K}$ - incremento isolamento = + 6 cm
O	Combinazioni ottimizzazioni: %60 Sup. finestrata a Sud - $U_w = 1.1 \text{ W / m}^2\text{K}$ - incremento isolamento = + 6 cm



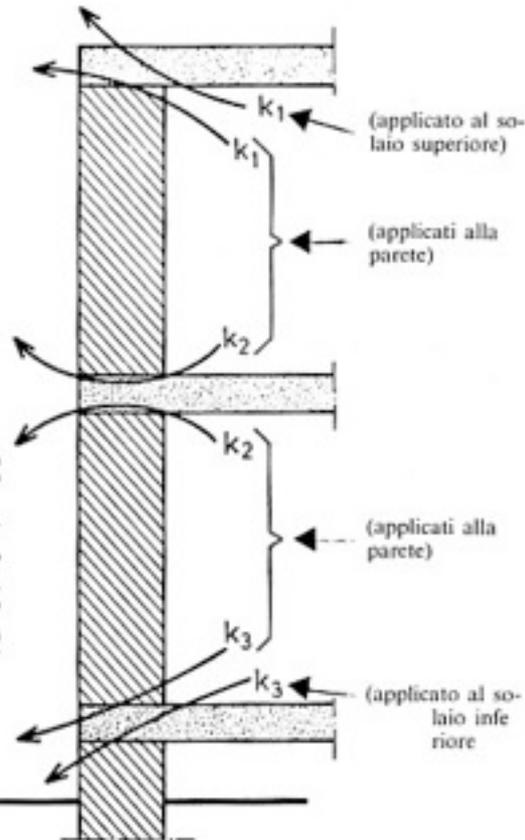
Tecniche costruttive
e paradigma S/R



Approfondimento:
sistemi in legno

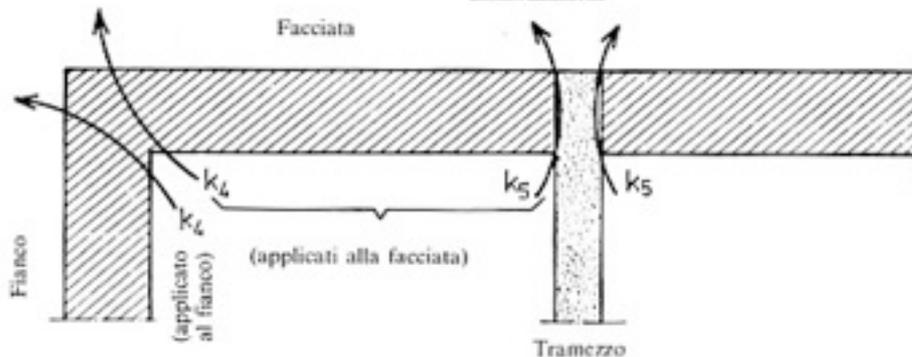


Approfondimento:
costruzione massiccia



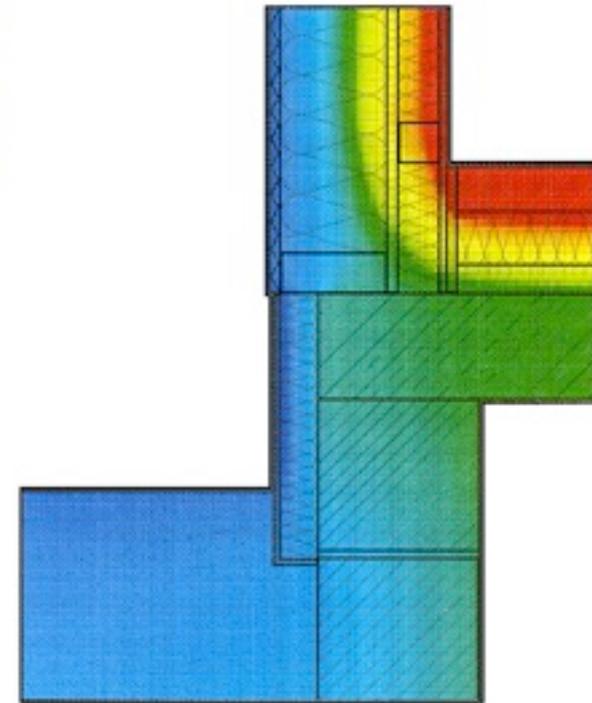
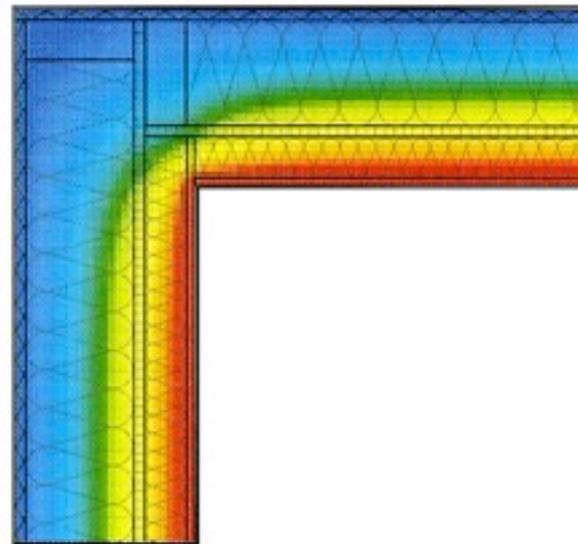
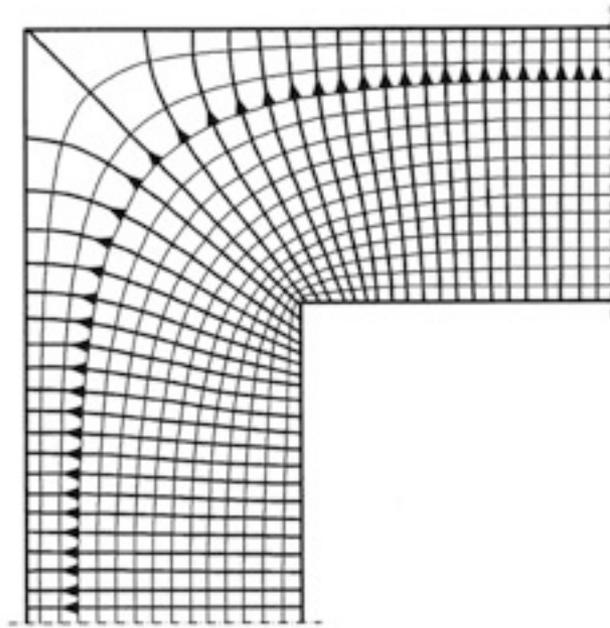
Note generali

- 1) per "isolante" si intende un materiale con $\lambda \leq 0,065 \text{ W/m K}$ e spessore tale da fornire una resistenza $R \geq 0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$;
- 2) per tramezzi con spessore $e < 9 \text{ cm}$ è $k = 0$;
- 3) per tramezzi che sporgono all'esterno valgono i valori di k di quelli che attraversano il muro;
- 4) gli acroneri a contorno dei tetti piani con isolamento esterno non modificano il valore di k ;
- 5) i valori di k per solai inferiori con isolamento esterno sono gli stessi, sia che il solaio sia su locale non riscaldato, che su vespaio o spazio aperto;
- 6) i valori di k si riferiscono ad una singola parete; essi devono quindi essere computati due volte, come mostra la figura a lato.

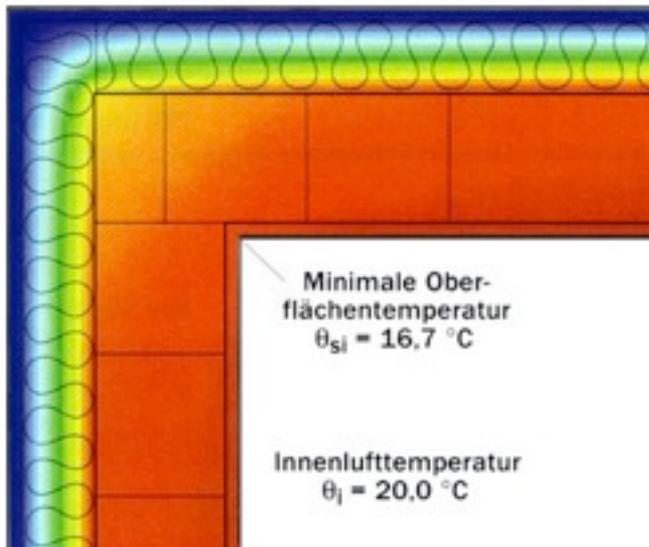


I **ponti termici** sono luoghi (puntuali o lineari) in cui la prestazione di isolamento termico decade a causa di interruzioni del materiale isolante o di cambiamenti della resistenza termica dell'involucro.

I ponti termici si riscontrano soprattutto in corrispondenza delle **intersezioni** di elementi tecnici diversi.



Außenlufttemperatur
 $\theta_e = -5,0 \text{ }^\circ\text{C}$



^ Andamento delle curve di temperatura in corrispondenza degli angoli di una costruzione in legno ben isolata.

< Lo stesso andamento in un muro massiccio isolato: si nota il diverso accumulo di calore nelle pareti.



EDIFICI ESISTENTI

$$U_{C,k} = U_k \cdot (1 + F_{PT})$$

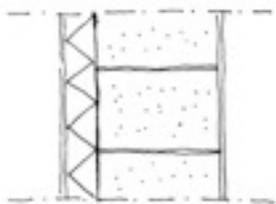
Trasmittanza termica media corretta

- $U_{C,k}$ è la trasmittanza termica media, eventualmente corretta, della struttura k-esima, che separa la zona climatizzata o a temperatura controllata dall'ambiente circostante, [W/m²K];
- U_k è la trasmittanza termica media della struttura opaca k-esima, che separa la zona termica considerata dall'ambiente circostante, [W/m²K];
- F_{PT} è il fattore correttivo da applicare al valore di trasmittanza termica della struttura opaca così da tener conto delle maggiorazioni dovute ai ponti termici (Prospetto IV).

Descrizione della parete	F_{PT}
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) senza aggetti/balconi e con ponti termici corretti	0,05
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) con aggetti/balconi	0,15
Parete omogenea in mattoni pieni o in pietra (senza isolante)	0,05
Parete a cassa vuota con mattoni forati (senza isolante)	0,10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico corretto)	0,10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico non corretto)	0,20
Pannello prefabbricato in calcestruzzo con pannello isolante all'interno	0,30

Prospetto IV- Maggiorazioni percentuali relative alla presenza di ponti termici in edifici esistenti

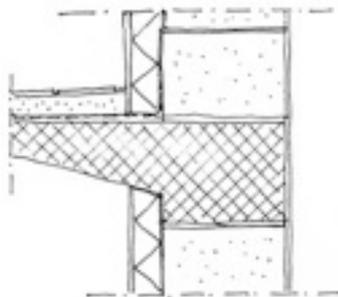
(Fonte: UNI TS 11300-1:2008)



Isolamento dall'esterno senza balconi o aggetti

Parete in laterizio porizzato + cappotto esterno

→ per avere $U = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ serve isolante da 5,5 cm



Isolamento dall'esterno con balconi o aggetti

Parete in laterizio porizzato + cappotto esterno

→ per avere $U = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ serve isolante da 6 cm

$$(F_{PT} = 5\%, U_C = 0,36 \text{ W/m}^2\text{K})$$



Isolamento in intercapedine senza correzione ponte t.

Parete in laterizi semipieni + isolamento in intercapedine

→ per avere $U = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ serve isolante da 8 cm

$$(F_{PT} = 20\%, U_C = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K})$$



NUOVI EDIFICI

$$U_k = \frac{\sum_j A_{L,j} \cdot U_j + \sum_i \Psi_{e,i} \cdot L_{e,i}}{\sum_j A_{L,j}}$$

U_k è la trasmittanza termica media della struttura opaca k-esima, che separa la zona termica considerata dall'ambiente circostante, [W/m²K];

$A_{L,j}$ è l'area lorda di ciascun componente, j, della struttura k-esima che separa la zona termica considerata dall'ambiente circostante, [m²];

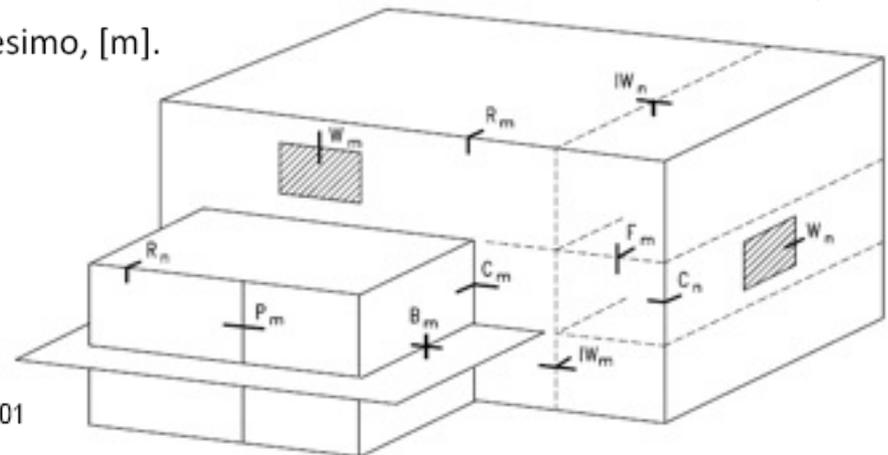
U_j è la trasmittanza termica di ciascun componente, j, uniforme della struttura k-esima che separa la zona termica considerata dall'ambiente circostante, [W/m²K];

$\Psi_{e,i}$ è la trasmittanza termica lineica dell' i-esimo ponte termico lineare attribuito alla struttura k-esima, basata sulle dimensioni esterne, [W/mK];

$L_{e,i}$ è la lunghezza caratteristica del ponte termico i-esimo, [m].

Ψ_i basato sulle dimensioni interne;
 Ψ_{oi} basato sulle dimensioni totali interne;
 Ψ_e basato sulle dimensioni esterne.

UNI EN ISO 14683:2001





Metodi di calcolo della trasmittanza termica lineica

Metodi	Incertezza prevista di Ψ'
Calcolo numerico	$\pm 5\%$
Atlante dei ponti termici	$\pm 20\%$
Calcoli manuali	$\pm 20\%$
Valori di progetto	da 0% a + 50%

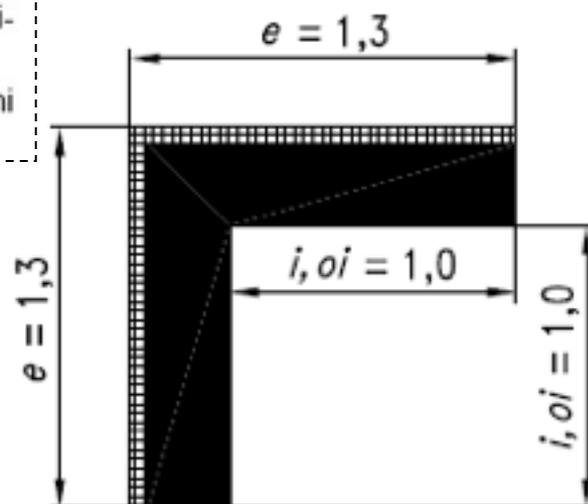
Con modifiche migliorative al progetto si possono evitare in genere i ponti termici con valori

$$\Psi_i > 0,2 \text{ W/mK e } \Psi_e > 0,1 \text{ W/mK.}$$

- dimensioni interne, misurate tra le superfici interne finite di ogni ambiente in un edificio (escluso quindi lo spessore delle partizioni interne);
- dimensioni interne totali, misurate tra le superfici interne finite degli elementi dell'edificio (incluso quindi lo spessore delle partizioni interne);
- dimensioni esterne, misurate tra le superfici esterne finite degli elementi esterni dell'edificio.



Ψ_i basato sulle dimensioni interne;
 Ψ_{oi} basato sulle dimensioni totali interne;
 Ψ_e basato sulle dimensioni esterne.



C1

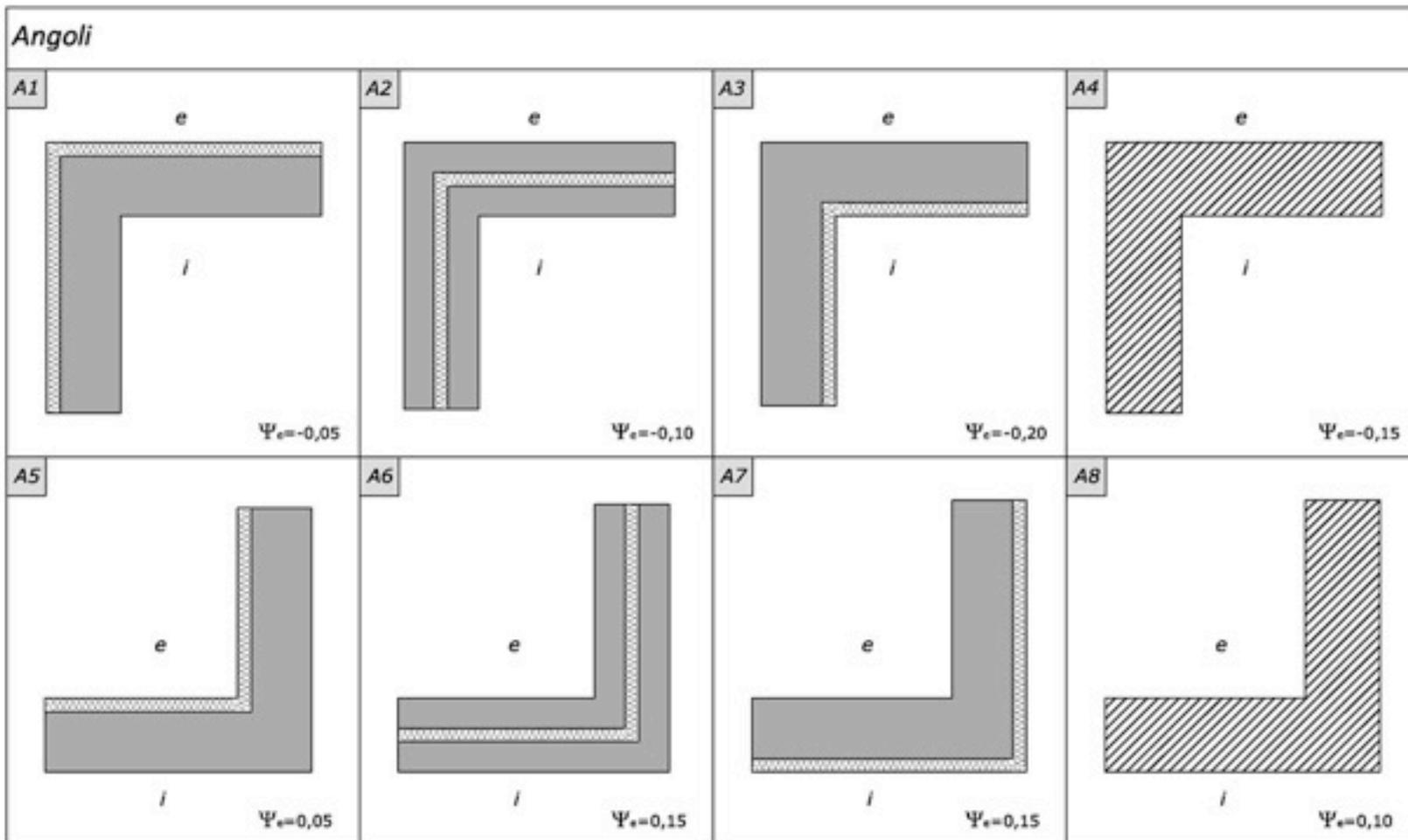
$L^{2D} = 0,84$

$\Psi_e = -0,05$

$\Psi_{oi} = 0,15$

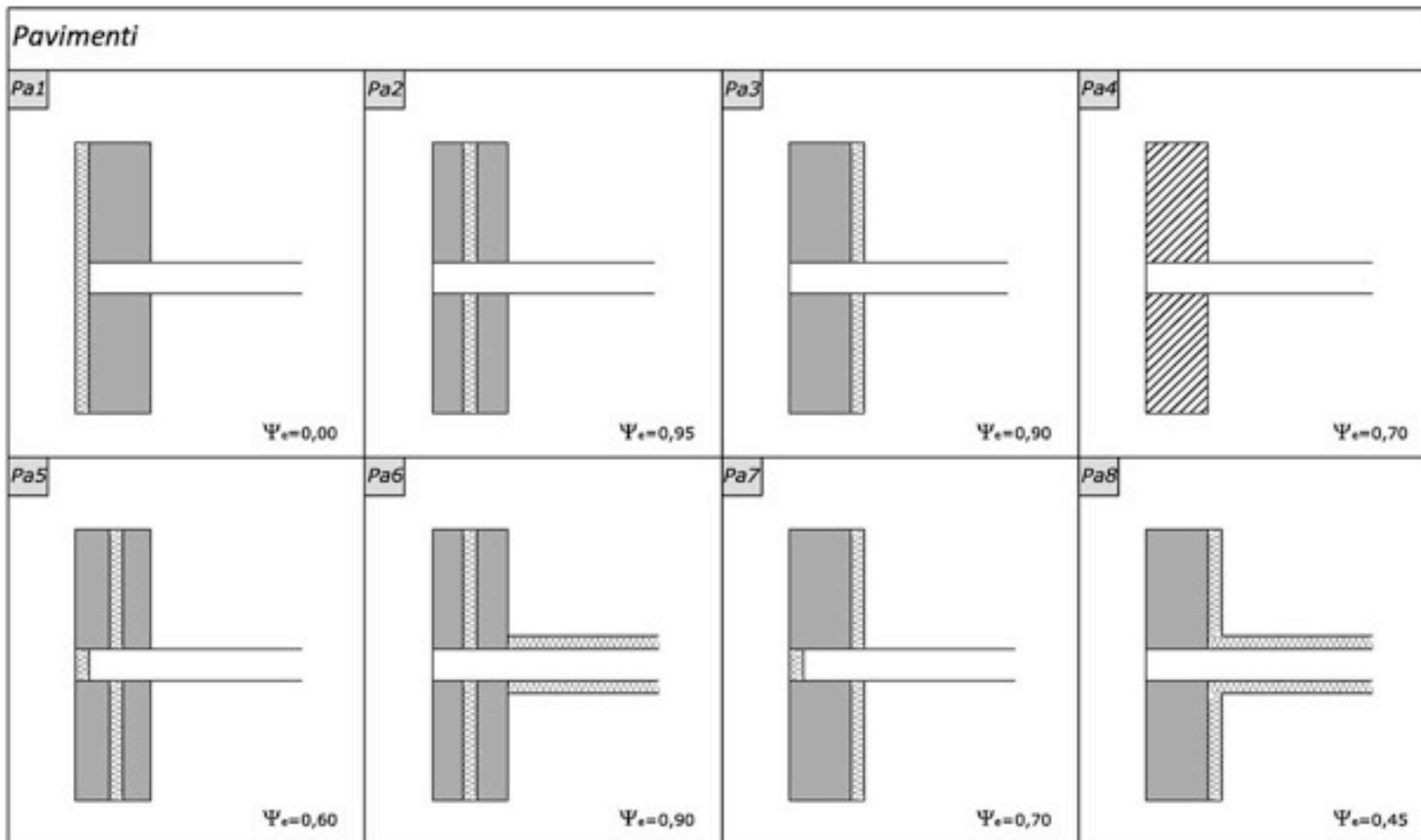
$\Psi_i = 0,15$

UNI EN ISO 14683:2001 Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica – Metodi semplificati e valori di riferimento



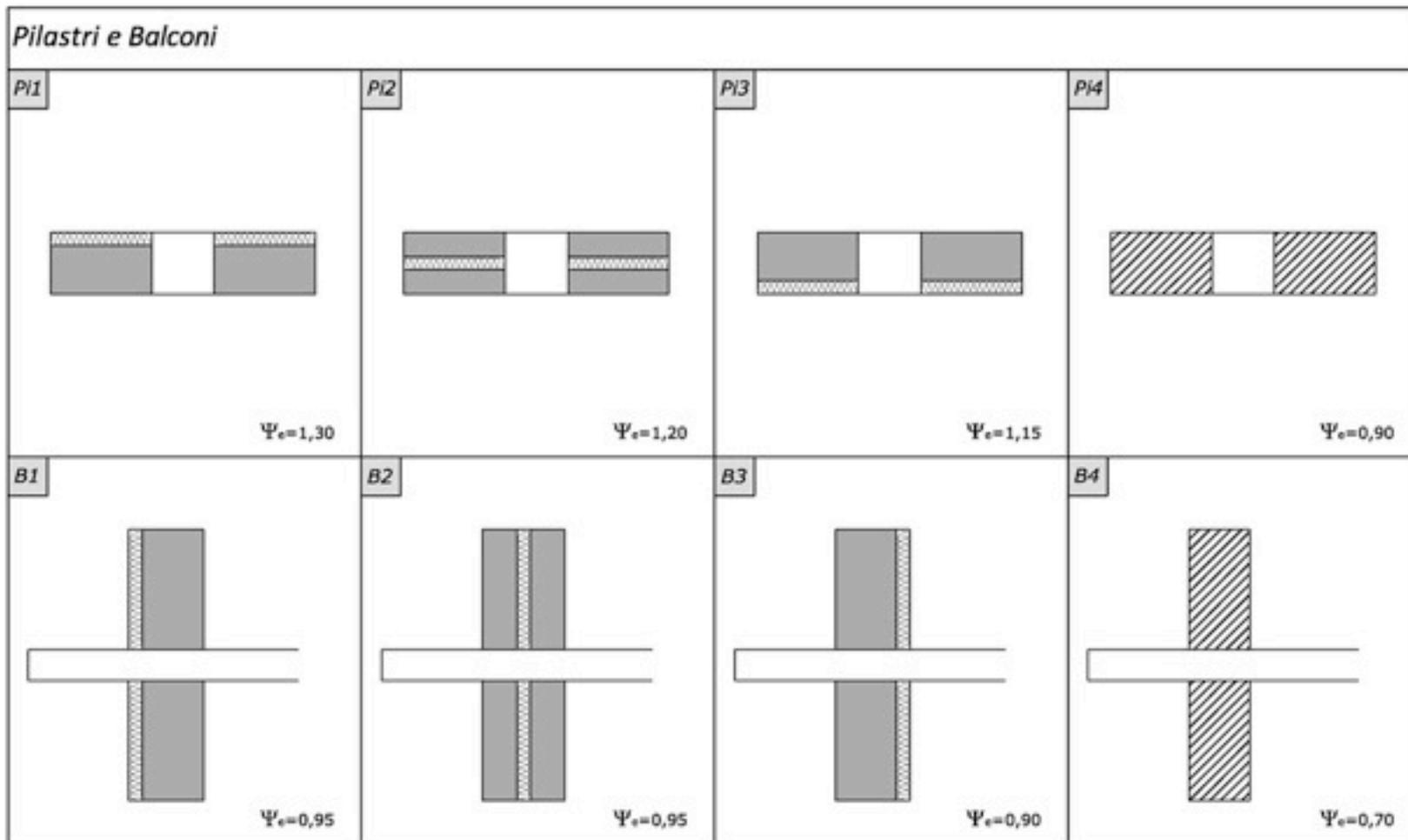
Legenda

Parete	Parete leggera (comprese muratura leggera e parete intelaiata in legno)	Strato isolante	Soletta/Pilastro/Telaio
--------	---	-----------------	-------------------------



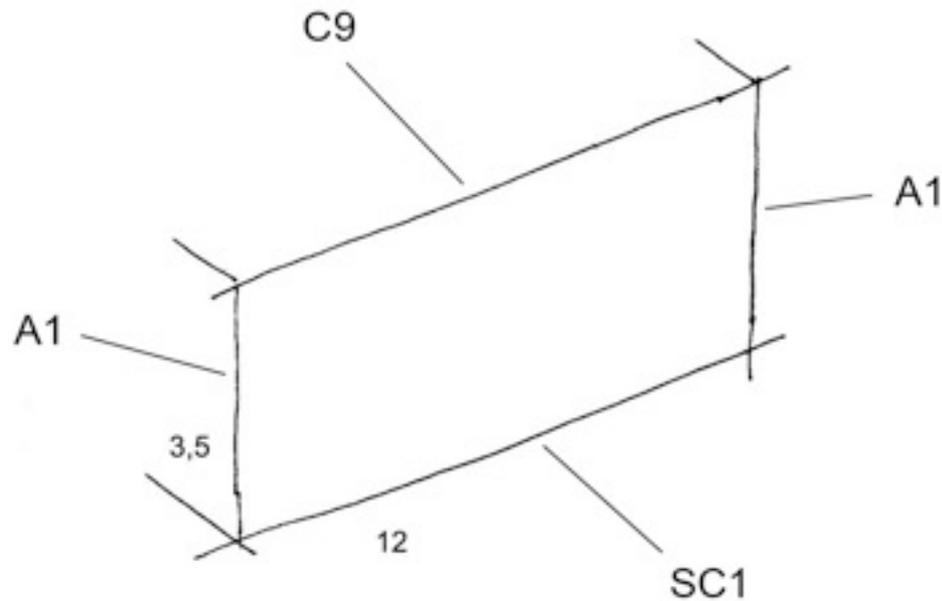
Legenda

Parete	Parete leggera (comprese muratura leggera e parete intelata in legno)	Strato isolante	Soletta/Pilastra/Telaio
--------	---	-----------------	-------------------------



Legenda

Parete	Parete leggera (comprese muratura leggera e parete intelaiata in legno)	Strato isolante	Soletta/Pilastra/Telaio
--------	---	-----------------	-------------------------



Esempio 4

Consideriamo la parete perimetrale sud dell'esempio precedente (12 x 3,5 m), con ponti termici perimetrali (copertura, spigoli verticali, attacco a terra).

$$U_k \text{ parete perimetrale sud} = \frac{\overset{C9/2}{42} \cdot 0,34 + \overset{A1/2}{12} \cdot (-0,025) + \overset{SC1/2}{3,5} \cdot 2 \cdot (-0,025) + 12 \cdot 0,325}{42} = 0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$$

+ 24% rispetto a calcolo senza ponti termici



Esempio 5

Se la parete è più ampia (24 x 7 m), gli stessi ponti termici influiscono meno sulla prestazione complessiva.

$$U_k \text{ parete perimetrale sud} = \frac{168 \cdot 0,34 + 24 \cdot (-0,025) + 7 \cdot 2 \cdot (-0,025) + 24 \cdot 0,325}{168} = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$$

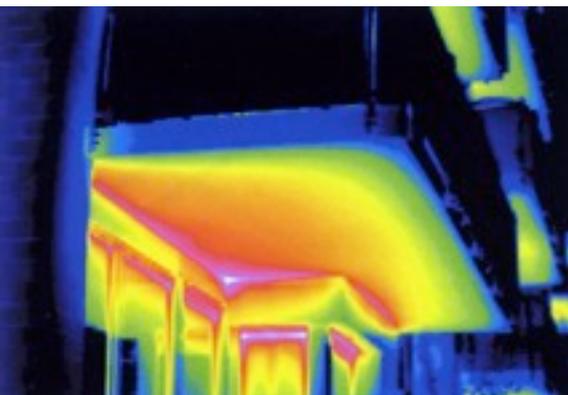
**+ 12% rispetto a calcolo
senza ponti termici**

Esempio 6

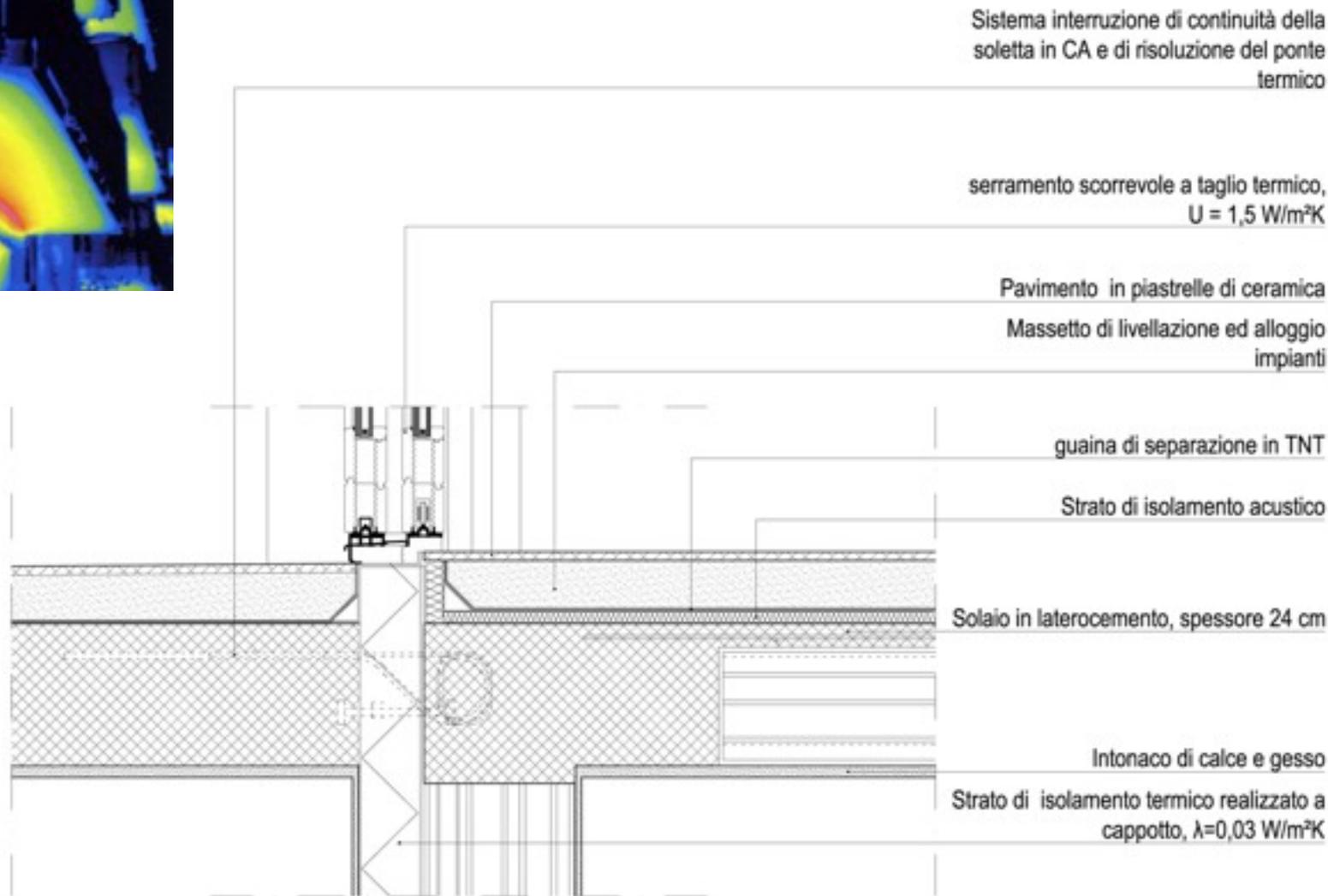
Aggiungiamo un balcone lungo 3 m, privo di taglio termico, alla parete dell'esempio 4.

$$U_k \text{ parete perimetrale sud} = \frac{17,6 + 3 \cdot 0,95}{42} = 0,49 \text{ W/m}^2\text{K}$$

**+ 17% rispetto alla U
dell'esempio 4**

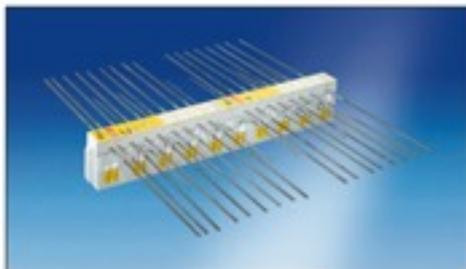


Risoluzione del ponte termico sui balconi tramite interruzione del getto di cls.

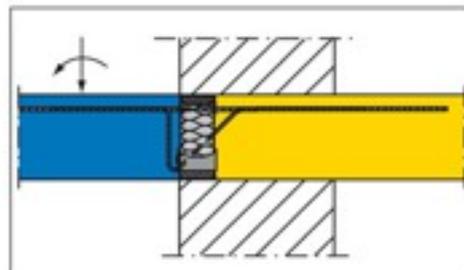




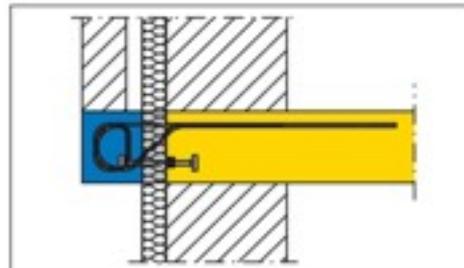
Elementi che garantiscono continuità delle barre di armatura e interruzione del getto in cls.



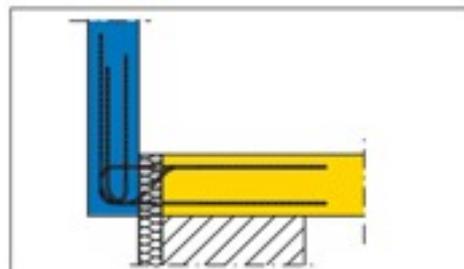
Schöck Isokorb® tipo A-K e A-Q
Collegamenti solai e balconi in C.A. a sbalzo, in loggia ed appoggiati su pilastri.



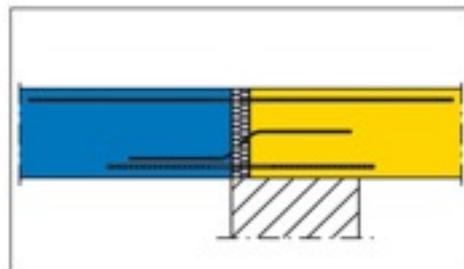
Schöck Isokorb® tipo A-O
Mensola di supporto del rivestimento esterno di facciata (mattoni a vista).



Schöck Isokorb® tipo A-F e A-A
Parapetti e cordoli di contenimento.



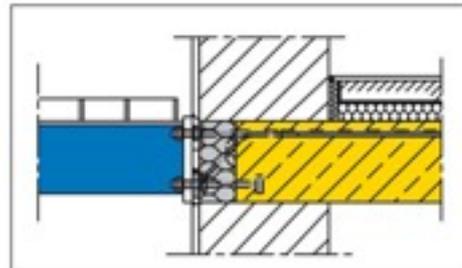
Schöck Isokorb® tipo A-S e A-W
Travi a sbalzo e setti verticali.



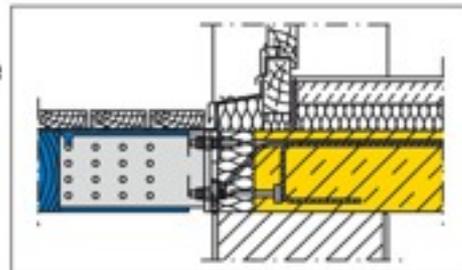
[Fonte: Schöck]



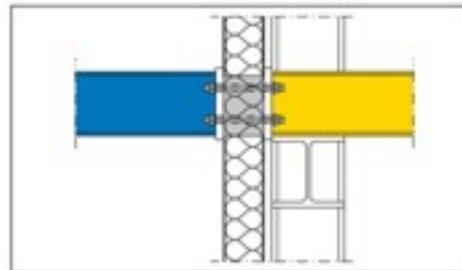
Schöck Isokorb® tipo KS
Collegamenti solai in C.A. e
strutture in acciaio



Schöck Isokorb® tipo KSH
Collegamenti solai in C.A. e strutture
in legno



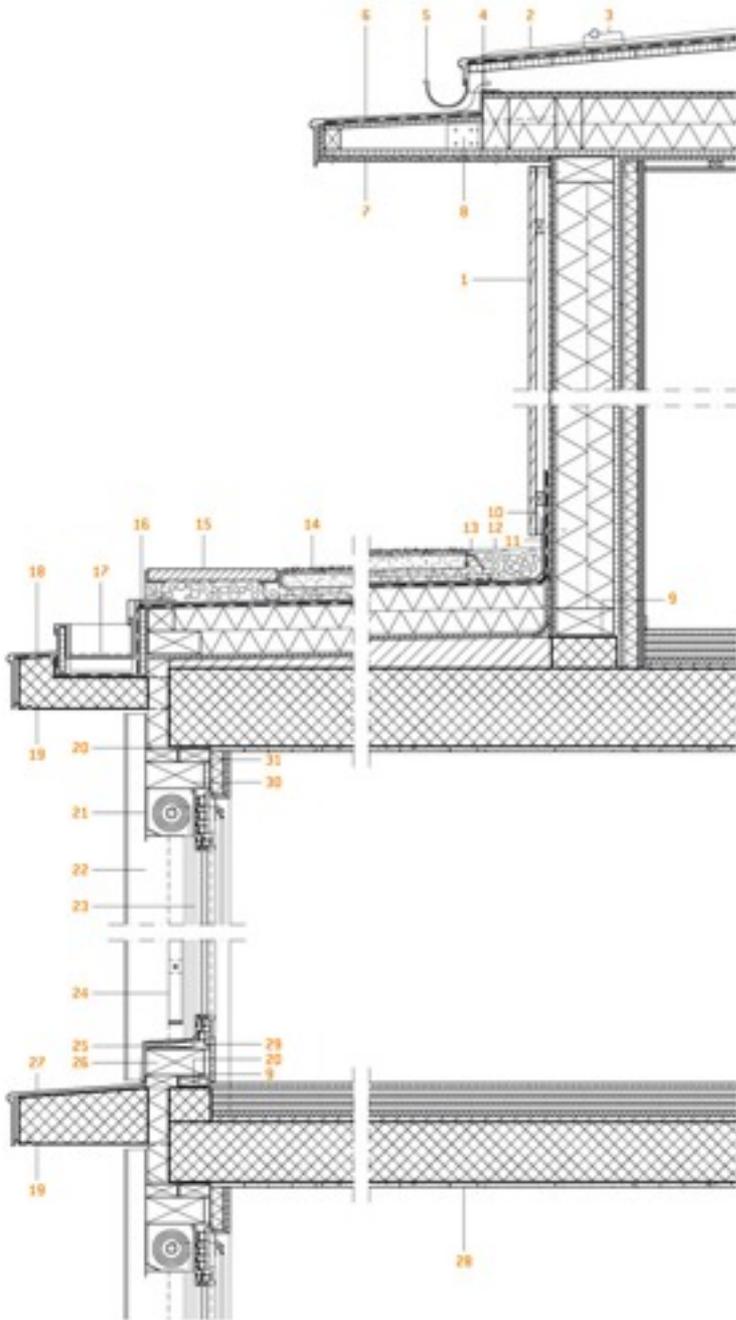
Schöck Isokorb® tipo KST
Collegamenti acciaio – acciaio



Elementi per la rottura del ponte termico in condizioni strutturali miste o acciaio-acciaio.

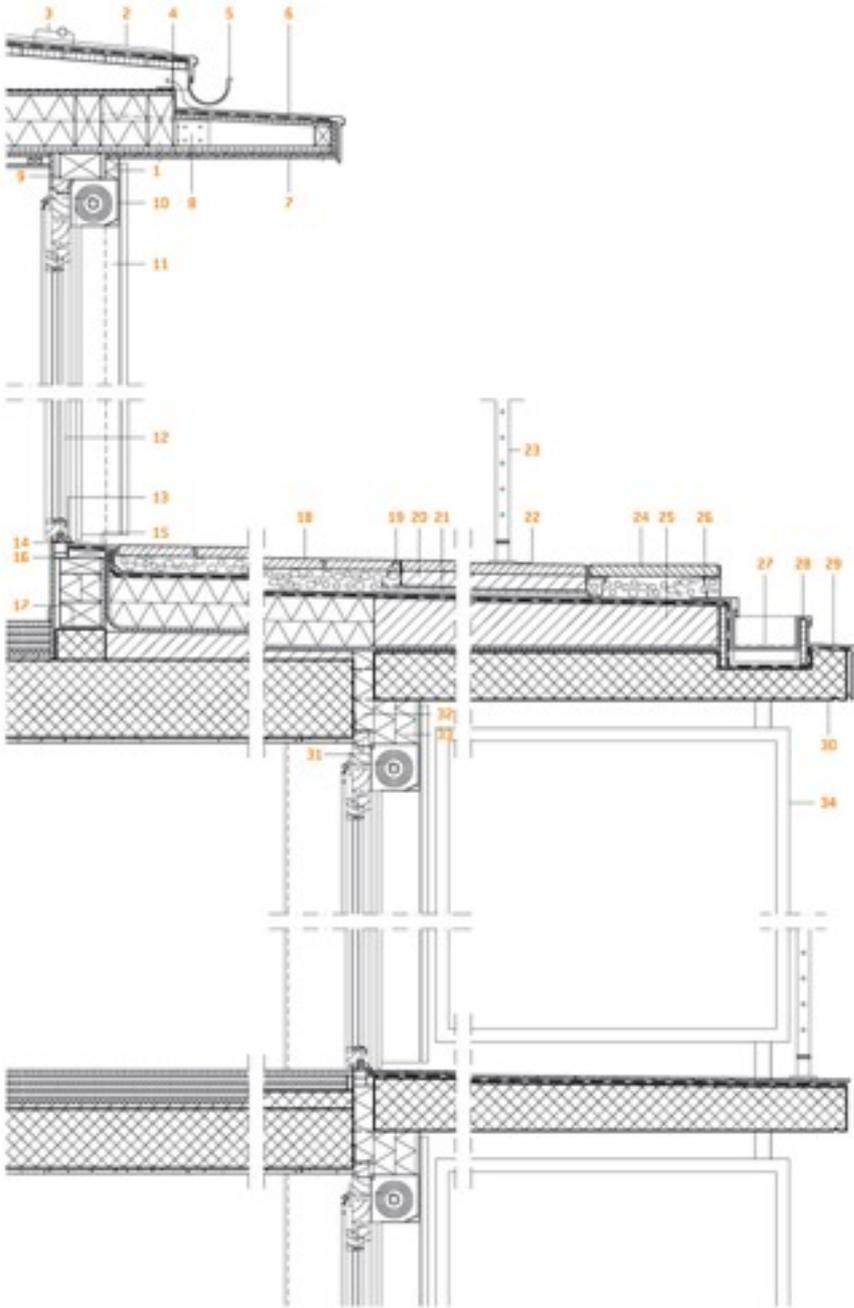


Condominio Rosenbach, Bolzano, Menz & Gritsch Architekturbüro, 2003.



Il sistema costruttivo in legno ha permesso rapidità (18 mesi per la costruzione) ed efficienza energetica (classe A CasaClima).

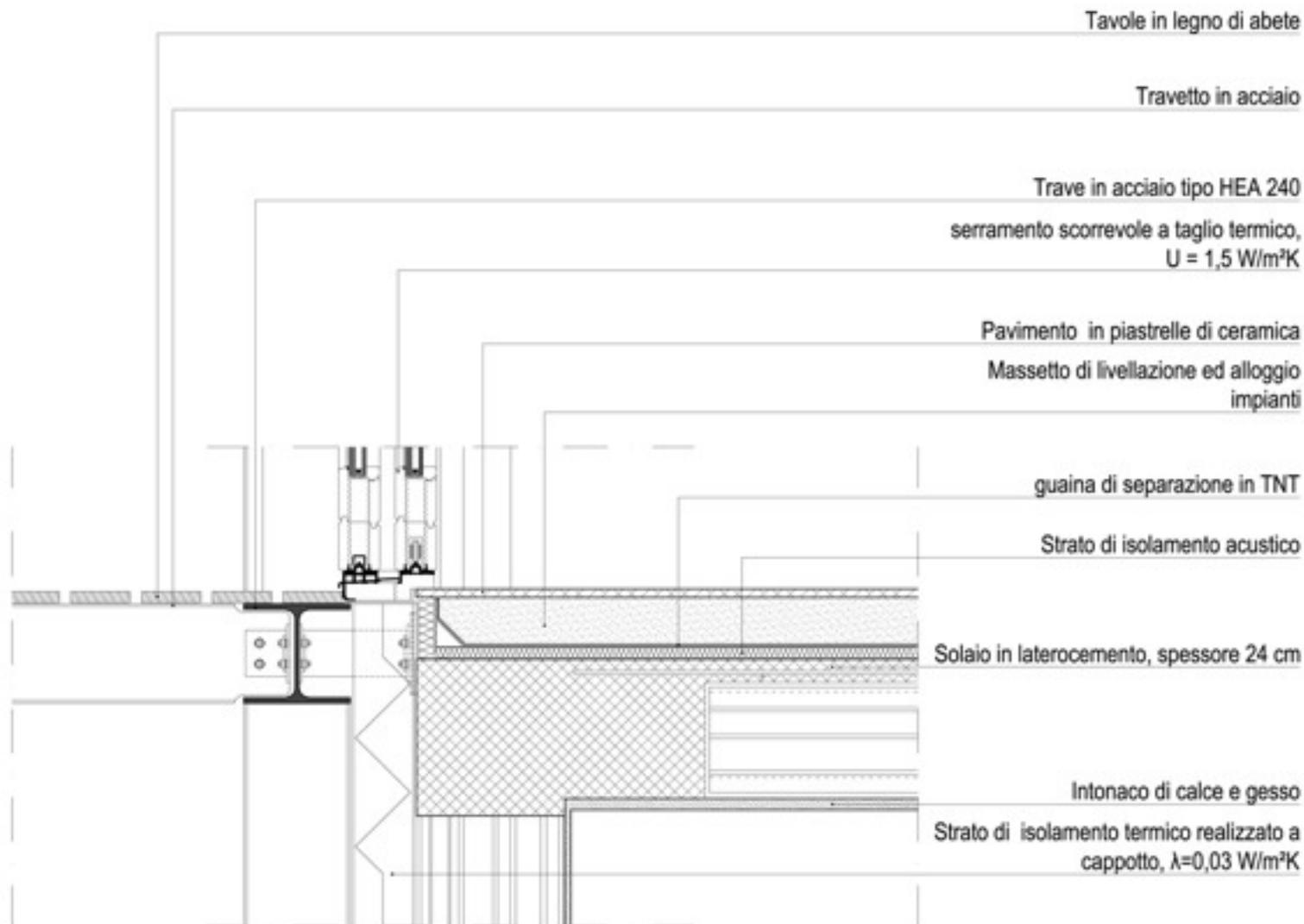




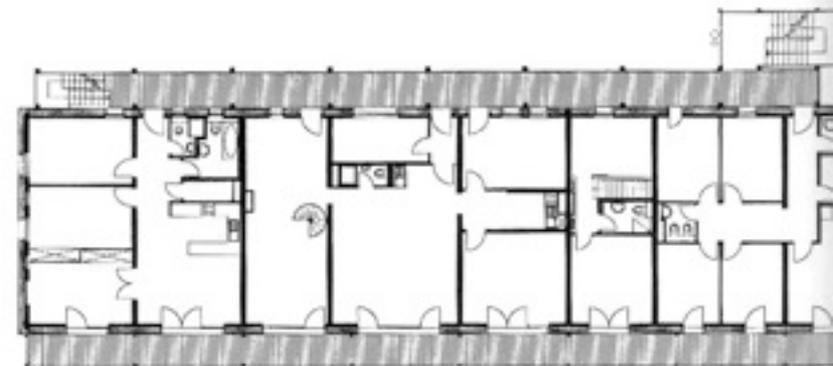
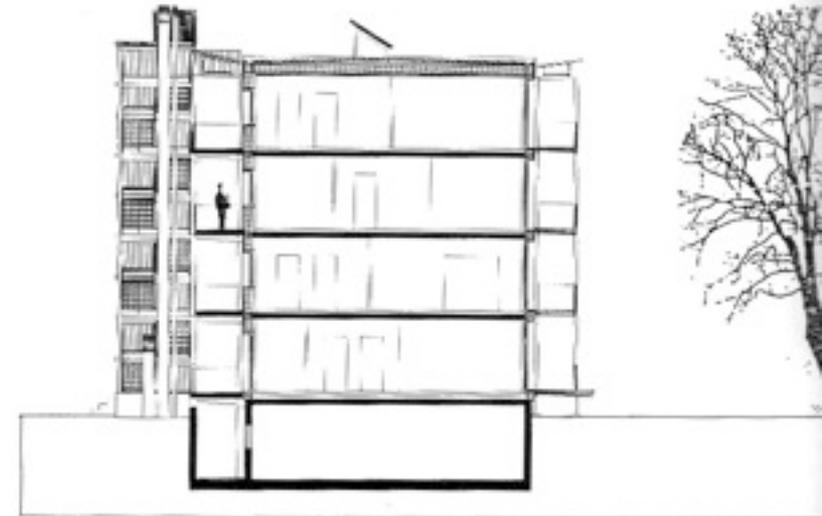
Le logge rivolte a sud sono protette dal sole estivo tramite balconi sporgenti.



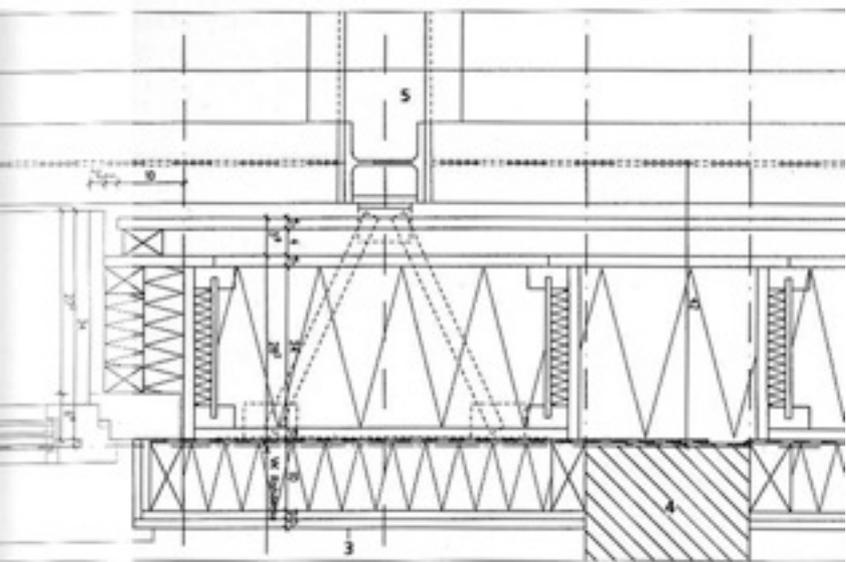
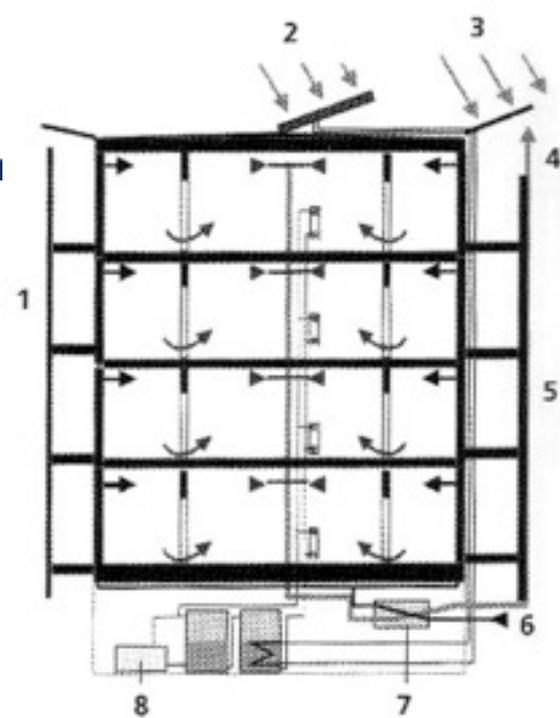
Risoluzione del ponte termico sui balconi mediante l'uso di una struttura esterna indipendente.



Condominio Wohnen&Arbeiten, Common & Gies.



Rispetta lo standard PH
(13,2 kWh/m²anno)
usando ballatoi e alberi
come schermatura
solare.



- Struttura principale in cls armato (inerzia interna) con involucro in struttura di legno iperisolata ($U=0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- fotovoltaico e solare termico in copertura;
- ventilazione a recupero di calore;
- cogenerazione a gas e produzione di gas per cottura da biomassa dell'edificio.

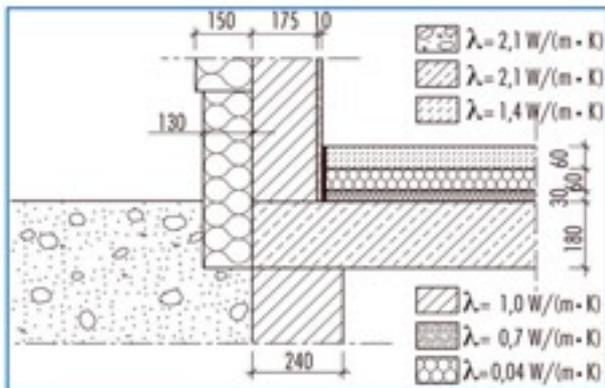


fig. 1a: progettazione base edificio senza isolamento

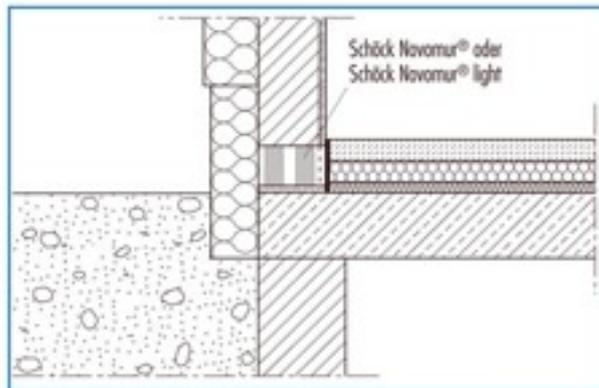


fig. 3a: progettazione con isolam. con Schöck Novomur® o Schöck Novomur® light

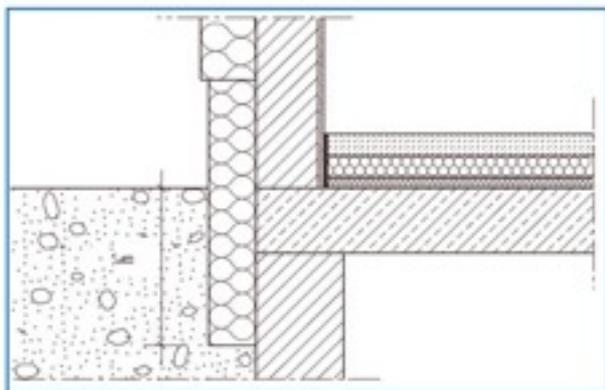


fig. 2a: progettazione provvedim. isolamento costruzione

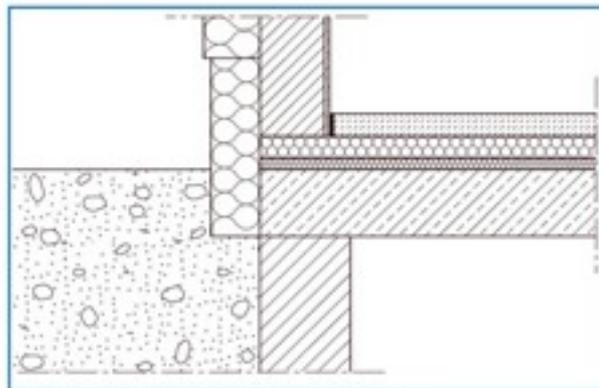
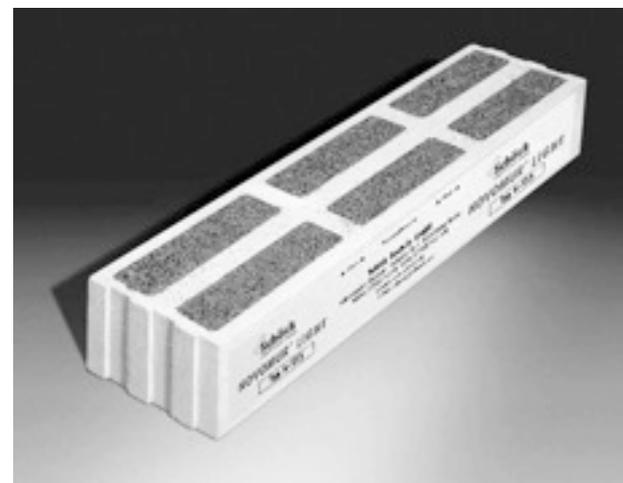
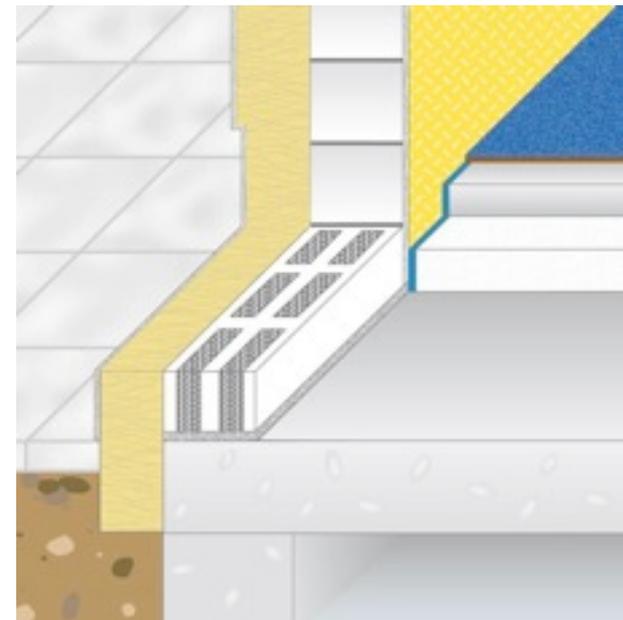
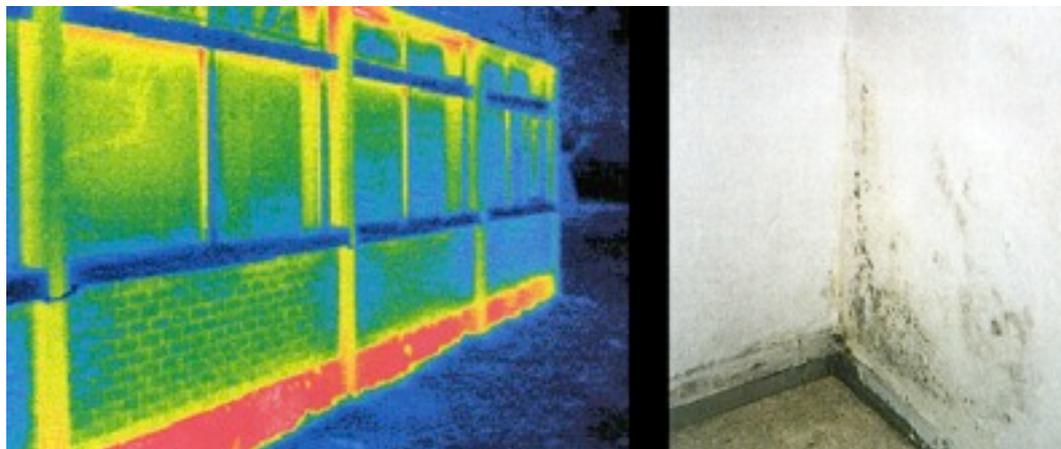


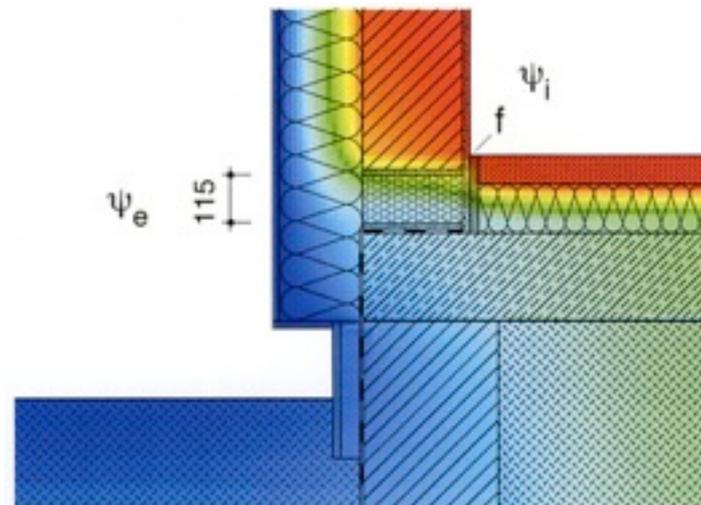
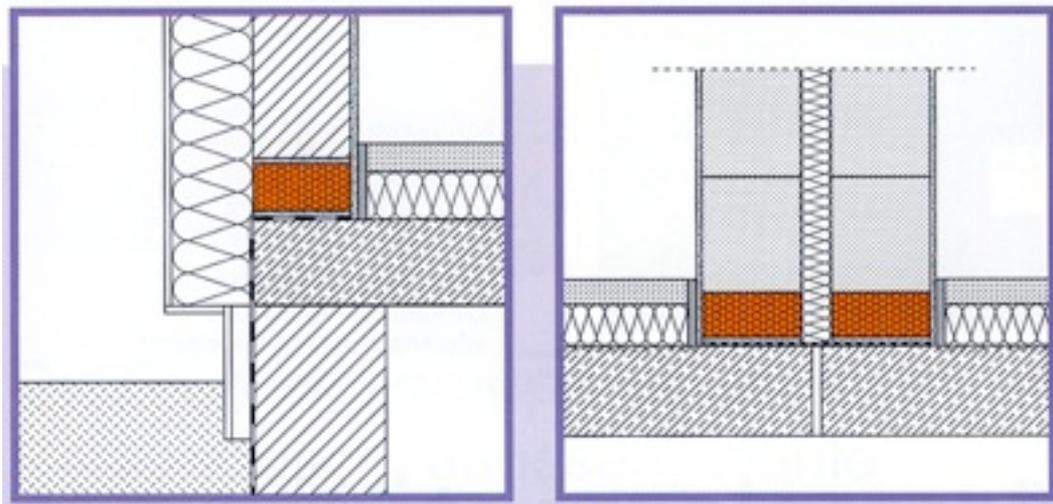
fig. 4a: progettazione con base con isolam. teor. ideale



Esistono soluzioni specifiche per l'isolamento della base dei muri.



Soluzione tecnica in blocchi isolanti (vetro cellulare) con elevata resistenza alla compressione per l'isolamento al piede di pareti pesanti.



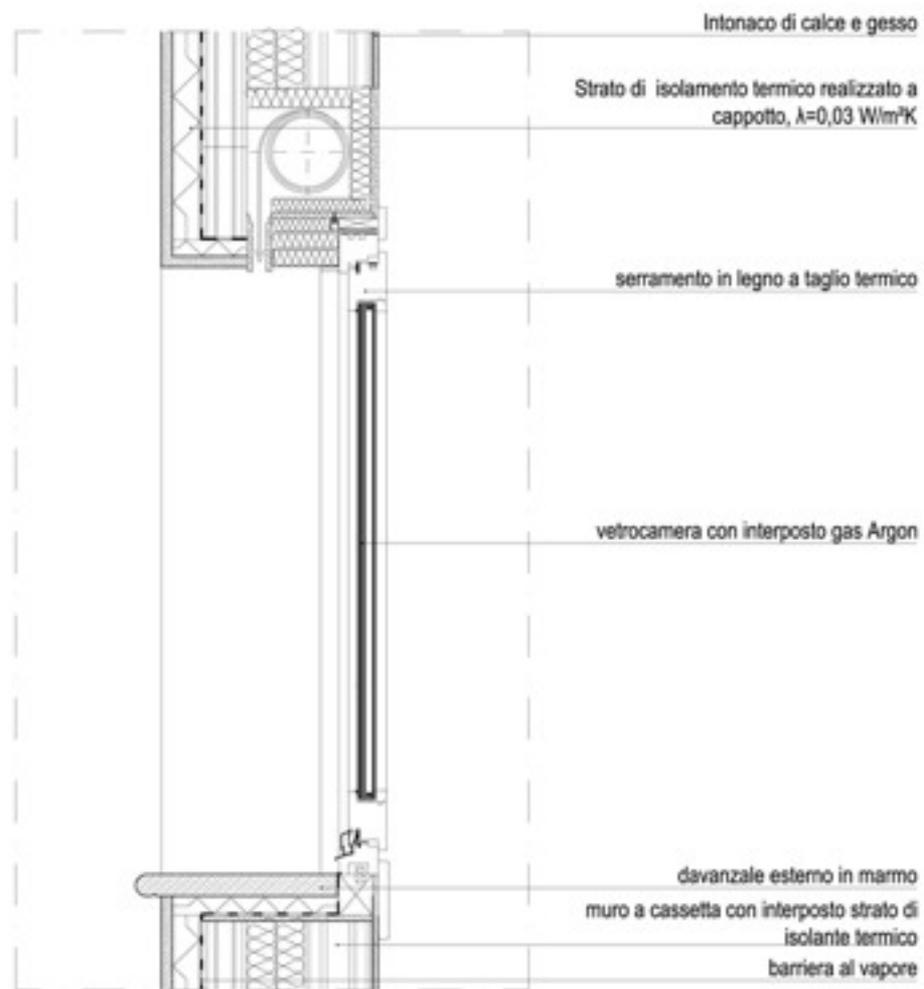
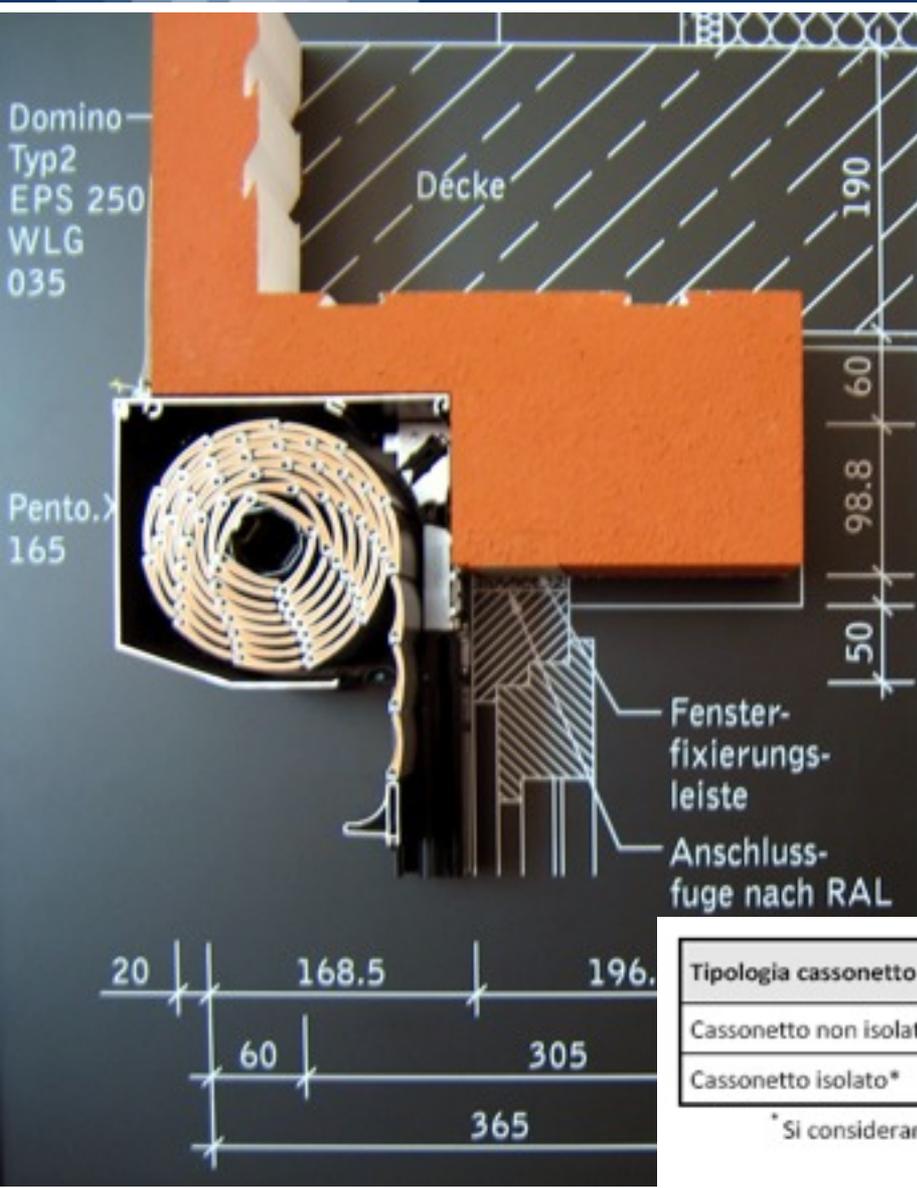
[Fonte: Foamglas]



Modalità di messa in opera del blocco isolante perimetrale.



Ponti termici: cassonetti

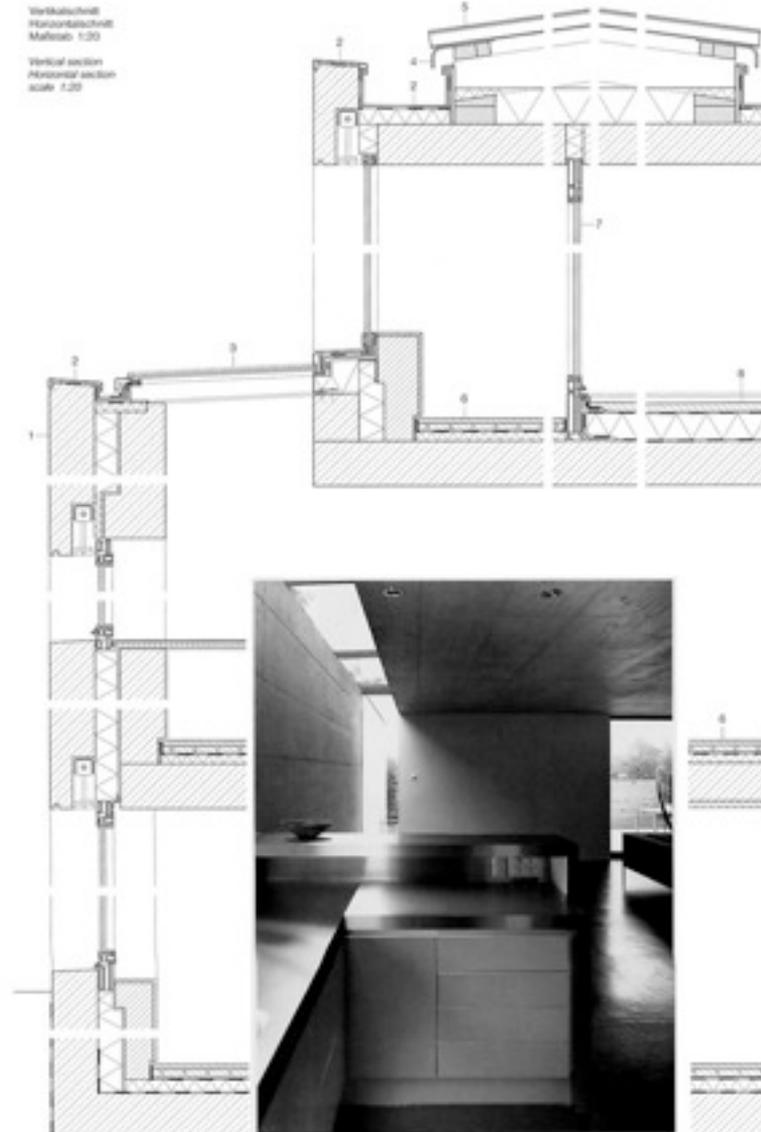


Tipologia cassonetto	Trasmittanza termica [W/m ² K]
Cassonetto non isolato	6
Cassonetto isolato*	1

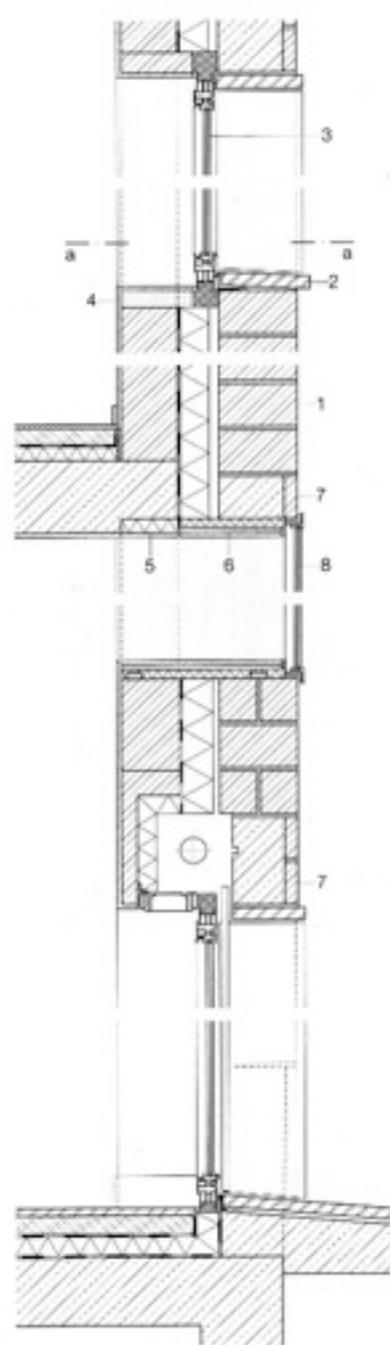
* Si considerano isolate quelle strutture che hanno un isolamento termico non inferiore ai 2 cm.

Prospetto VI – Trasmittanza termica dei cassonetti [W/m²K]

(Fonte: UNI TS 11300-1:2008)



Edificio
residenziale a
Meiringen (CH),
Ruben
Anderegg /
Ernst E.
Anderegg:
il cls usato
come un
"doppio guscio".



Schnebli & Ammann und
Partner, residenza
unifamiliare a Zurigo (CH).



L'energia termica di riferimento scambiata convenzionalmente per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione, Q_v , è data da:

$$Q_v = H_v \cdot \Delta\theta \cdot \Delta t$$

- Q_v è la quantità totale di energia di riferimento trasferita per ventilazione naturale, aerazione e/o infiltrazione, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [kWh];
- H_v è il coefficiente di scambio termico di riferimento per ventilazione naturale, aerazione e/o infiltrazione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [W/K];
- $\Delta\theta$ è la differenza tra la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, θ_i , e la temperatura media giornaliera esterna, θ_e , si veda § E.6.3.7, [°C];
- Δt è la durata del mese considerato (si veda la (17)), [kh].



In presenza di ventilazione meccanica, cioè di un sistema impiantistico che impone i ricambi d'aria, in particolare con pre-riscaldamento o pre-raffrescamento e/o con recupero termico o entalpico, per considerare l'effetto della ventilazione meccanica sull'efficienza complessiva del sistema, occorre calcolare anche l'energia termica corretta scambiata per ventilazione meccanica, $Q_{V,adj}$:

$$Q_{V,adj} = H_{V,adj} \cdot \Delta\theta \cdot \Delta t \quad (26)$$

$Q_{V,adj}$ è la quantità totale di energia corretta trasferita per ventilazione, considerando anche la ventilazione meccanica, in particolare con pre-riscaldamento o pre-raffrescamento e/o recupero termico o entalpico, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante [kWh];

$H_{V,adj}$ è il coefficiente di scambio termico corretto per ventilazione meccanica, in particolare con pre-riscaldamento o pre-raffrescamento e/o recupero termico o entalpico tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [W/K];

$\Delta\theta$ è la differenza tra la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, θ_i , e la temperatura media giornaliera esterna, θ_e , si veda § E.6.3.7, [°C];

Δt è la durata del mese considerato (si veda la (17)), [kh].



Il coefficiente di scambio termico di riferimento per ventilazione, H_V , si determina mediante la seguente relazione:

$$H_V = \rho_a \cdot c_a \cdot \sum_k \dot{V}_{a,k} \quad (27)$$

dove:

H_V è il coefficiente di scambio termico di riferimento per ventilazione naturale, aerazione e/o infiltrazione, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [W/K];

$\rho_a \cdot c_a$ è la capacità termica volumica dell'aria, pari a 0,34 Wh/(m³K);

$\dot{V}_{a,k}$ è la portata d'aria media giornaliera k-esima dovuta a ventilazione naturale o aerazione e/o infiltrazione della zona, [m³/h];

k è il singolo e specifico ricambio d'aria dovuto o a ventilazione o ad aerazione o a infiltrazione.



Il coefficiente di scambio termico corretto per ventilazione, $H_{V,adj}$, si determina mediante la seguente relazione:

$$H_{V,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot \left(\sum_k \dot{V}_{a,k,adj} \cdot b_{v,k} \right) \quad (28)$$

dove:

$\rho_a \cdot c_a$ è la capacità termica volumica dell'aria, pari a $0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$;

$H_{V,adj}$ è il coefficiente di scambio termico corretto per ventilazione, aerazione e/o infiltrazione, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, $[\text{W}/\text{K}]$;

$\dot{V}_{a,k,adj}$ è la portata d'aria media giornaliera k-esima dovuta a ventilazione naturale o aerazione e/o infiltrazione della zona o ventilazione meccanica, $[\text{m}^3/\text{h}]$;

$b_{v,k}$ è il fattore di correzione definito al § E.6.3.8.3;

k è il singolo e specifico ricambio d'aria dovuto o a ventilazione o ad aerazione o a infiltrazione o a ventilazione meccanica.



Le portate d'aria medie giornaliere di ventilazione della zona vengono calcolate in modo semplificato e convenzionale come segue:

a) sola aerazione o ventilazione naturale, comprese le infiltrazioni

$$\sum_k \dot{V}_{a,k} = V \cdot n \quad (29)$$

dove:

V è il volume netto della zona a temperatura controllata o climatizzata considerata, [m³];

n è il numero di ricambi d'aria medio giornaliero, determinato in funzione della destinazione d'uso e comprensivo delle infiltrazioni, [h⁻¹], che, per il calcolo ai fini del presente dispositivo, vale:

- per gli edifici o parti di edificio residenziali esistenti, $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$;
- per gli edifici o parti di edificio residenziali nuovi, $n = 0,3 \text{ h}^{-1}$;



- per tutti gli altri edifici o parti di edificio si assume:

$$n = \frac{(\dot{v}_{\min} \cdot i_s \cdot A)}{V} \quad (30)$$

dove:

n è il numero di ricambi d'aria medio giornaliero, determinato in funzione della destinazione d'uso e comprensivo delle infiltrazioni, [h^{-1}];

\dot{v}_{\min} è la portata specifica d'aria esterna minima richiesta nel periodo di occupazione dei locali, (Prospetto XI), [m^3/h per persona];

i_s è l'indice di affollamento (Prospetto XI), [persone/ m^2];

A è la superficie utile di pavimento, [m^2];

V è il volume netto della zona climatizzata o a temperatura controllata considerato, [m^3].

Categoria di edificio	Destinazione d'uso	i_s	\dot{v}_{\min}
E.1 (1); E.1 (2)	Edifici residenziali	0,04	39,6
E.1 (3)	Edifici adibiti ad albergo, pensioni ed attività similari	0,05	39,6
E.2	Edifici adibiti ad uffici ed assimilabili	0,12	39,6
E.3	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche o case di cura ed assimilabili	0,08	39,6
E.4	Edifici adibiti ad attività ricreative, associative e di culto	1,00	28,8
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali ed assimilabili	0,25	36,0
E.6	Edifici adibiti ad attività sportive	0,70	36,0
E.7	Edifici adibiti ad attività scolastiche di tutti i livelli e assimilabili	0,50	21,6
E.8	Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali ed assimilabili	0,25	36,0

Prospetto XI - Valori di i_s , \dot{v}_{\min} , in funzione della categoria di edificio

(Fonte: UNI 10339:1995)



b) ventilazione meccanica comprensiva delle eventuali infiltrazioni, sia per sistemi a semplice flusso che a doppio flusso,:

$$\dot{V}_{a,k,adj} = \dot{V}_{des} \quad (31)$$

con:

$$\dot{V}_{des} \geq (\dot{v}_{min} \cdot i_s \cdot A) \quad (32)$$

dove:

\dot{V}_{des} è la portata d'aria di progetto, che non può essere inferiore rispetto ai valori calcolati secondo la (32) in funzione dei valori minimi riportati nel Prospetto XI , [m³/h].



Il fattore di correzione per la differenza di temperatura effettivamente presente nel k-esimo flusso d'aria, $b_{v,k}$, viene calcolato nel seguente modo:

- a) ventilazione naturale, aerazione e infiltrazioni

$$b_{v,k} = 1$$

- b) ventilazione meccanica a semplice flusso

$b_{v,k} = 1$ per ventilatore in estrazione o ventilatore premente senza pre-riscaldamento o pre-raffreddamento;

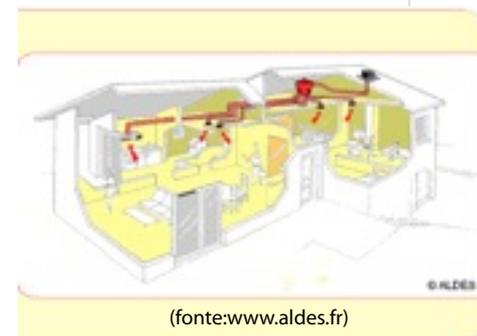
$b_{v,k} = \frac{\theta_i - \theta_{im}}{\theta_i - \theta_e}$ per ventilatore premente con pre-riscaldamento o pre-raffreddamento;

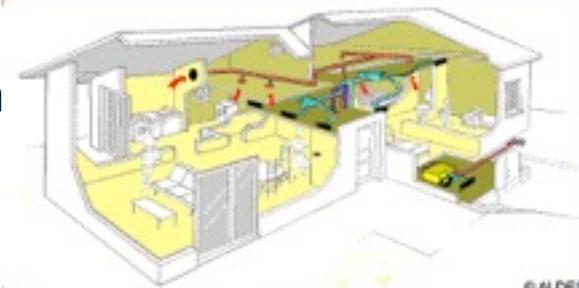
dove:

θ_{im} è il valore di progetto della temperatura di immissione dell'aria nella zona dopo il pre-riscaldamento o pre-raffreddamento, [°C];

θ_i è la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, (si veda § E.3), [°C];

θ_e è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna (si veda § E.6.3.7.1), [°C].





(fonte:www.aldes.fr)

c) ventilazione meccanica a doppio flusso

$b_{v,k} = 1$ per sistemi senza pre-riscaldamento o pre-raffreddamento e senza recupero termico o entalpico;

$b_{v,m} = \frac{\theta_i - \theta_{im}}{\theta_i - \theta_e}$ per sistemi con pre-riscaldamento o pre-raffreddamento e senza recupero termico o entalpico;

$b_{v,m} = 1 - f_R \cdot \eta_{R,eff}$ per sistemi con recupero termico o entalpico e senza pre-riscaldamento o pre-raffreddamento;

dove:

$\eta_{R,eff}$ è l'efficienza effettiva del recuperatore di calore calcolata secondo quanto descritto al § E.9.5.3;

f_R è la percentuale di portata d'aria esterna che passa attraverso il recuperatore di calore.

L'eventuale presenza di pre-riscaldamento o pre-raffreddamento con a monte un recuperatore viene equiparata, per lo scopo del presente paragrafo, al caso senza recuperatore, rinviando la determinazione del risparmio indotto dal suo impiego al sottosistema di ventilazione.



Esempio 7

Solo ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione per il volume dell'esempio 1.

$$V_{\text{netto}} = 84 \cdot 2,7 = 227 \text{ m}^3$$

$$\dot{V} = V \cdot n = 68 \text{ m}^3/\text{h} \quad (29)$$

$$H_V = 0,34 \cdot 68 = 23,1 \text{ W/K} \quad (27)$$

Esempio 8

Lo stesso edificio dell'esempio 7, con ventilazione meccanica (*adj*).

$$\dot{V}_{\text{des}} \geq \dot{v}_{\text{min}} \cdot i_s \cdot A_{\text{utile}} = 39,6 \cdot 0,04 \cdot 84 = 133 \text{ m}^3/\text{h} \quad (32 \text{ e prospetto XI})$$

$$H_V = 0,34 \cdot 133 \cdot b_{v,k} \quad (28) \quad \text{con } b_{v,k} = 1 \text{ (no trattamento),}$$

$$H_V = 45,2 \text{ W/K} \quad \text{con } b_{v,k} = 0,20,$$

$$H_V = 9,0 \text{ W/K} \quad \text{doppio flusso, recupero termico 80\% e trattamento 100\% volume}$$

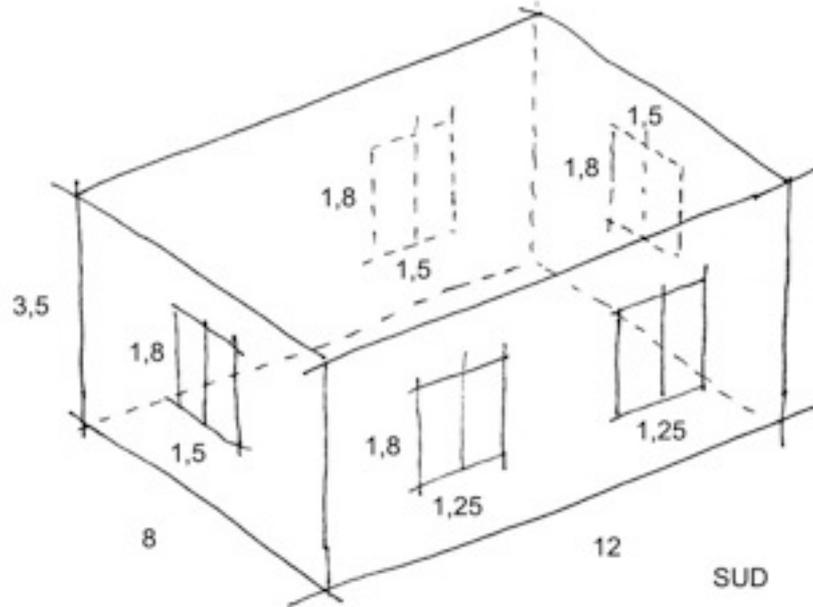


Esempio

Alcuni dati di massima sul parallelepipedo dell'esempio 1:

$$H_T \cong 150 \text{ W/K}$$

$$H_V = 23 \text{ W/K}$$



Migliorando l'involucro

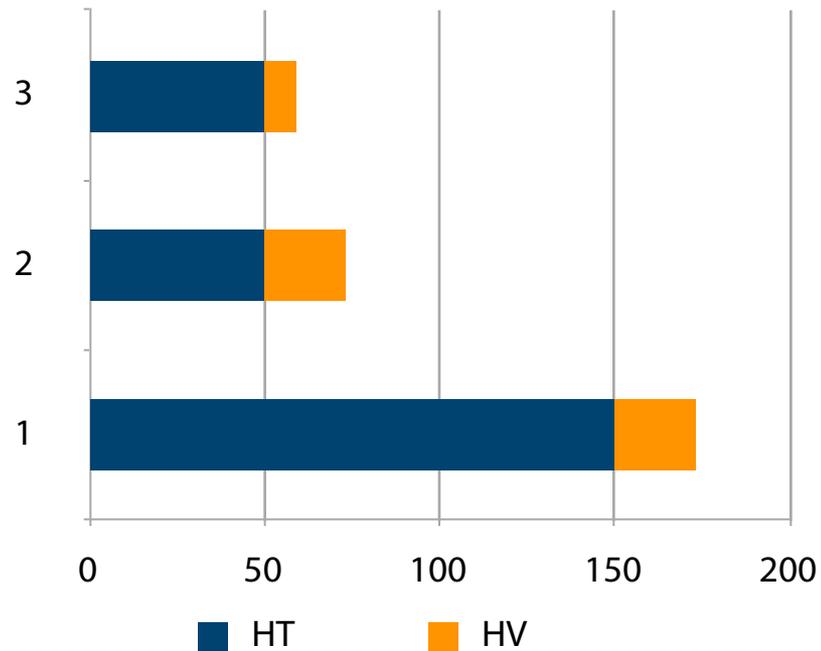
($U_{\text{opaco}} = 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_{\text{finestre}} = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$):

$$H_T \cong 50 \text{ W/K}$$

$$H_V = 23 \text{ W/K}$$

con recupero di calore

$$H_V = 9 \text{ W/K}$$





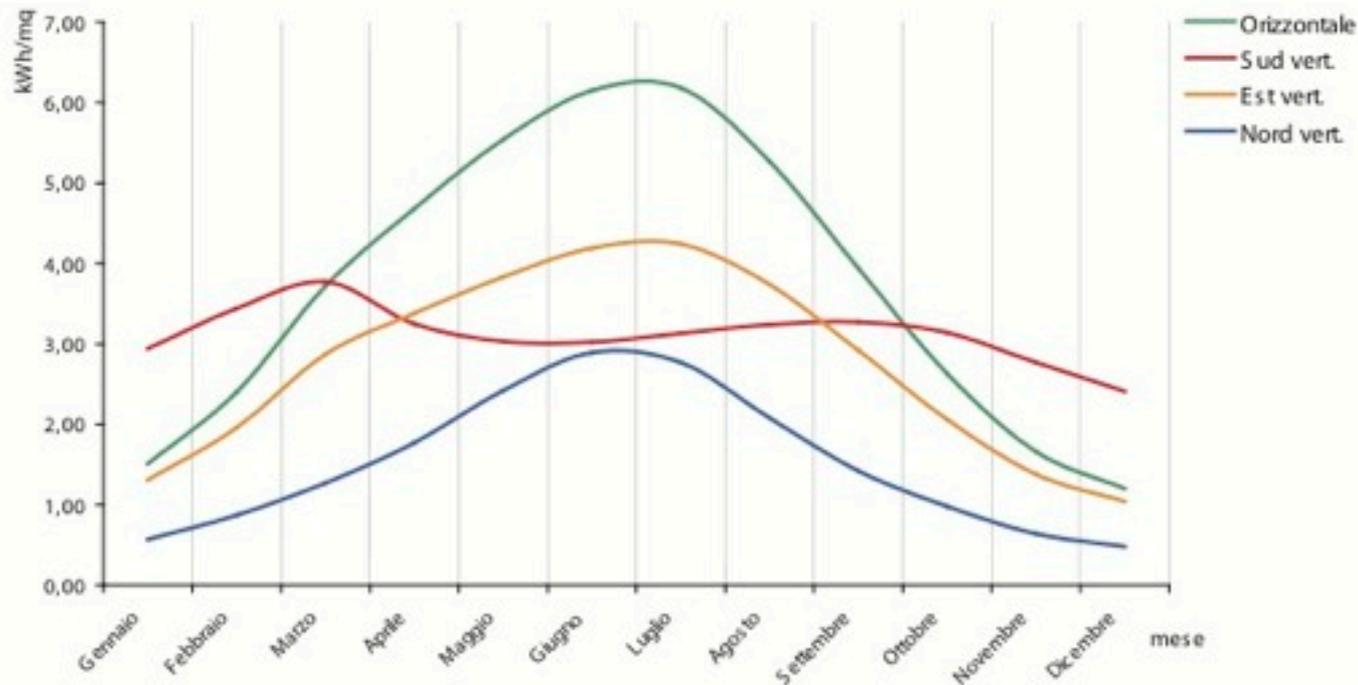
Lo standard
Passivhaus



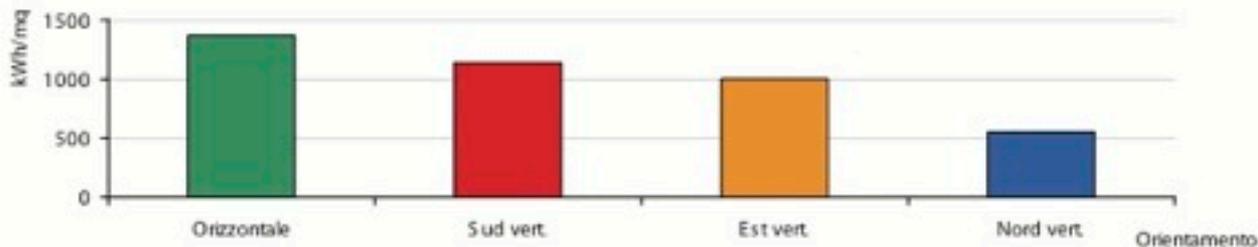


3.1. Dimensione e qualità delle parti trasparenti

Radiazione solare globale giornaliera media mensile



Radiazione globale annua

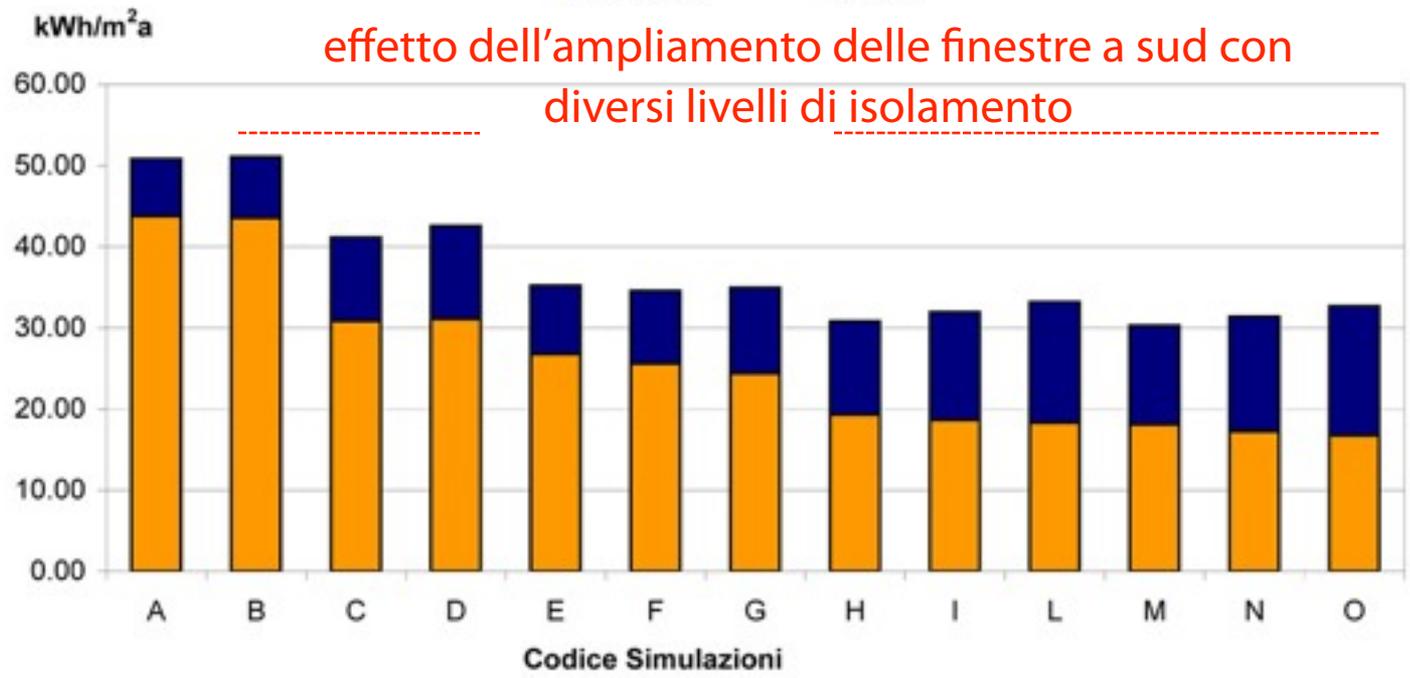


Valori di radiazione solare per la città di Lecco (kWh/m²).



Fabbisogno per la climatizzazione q_{sens}

■ invernale ■ estivo



effetto dell'ampliamento delle finestre a sud con diversi livelli di isolamento

Valutazione dell'effetto combinato di misure di miglioramento energetico (software CENED).

Calcolo su intero condominio

Rapporto S/V = 0,49

U_w H,I,L = 1,5 W/m²K

U_w M,N,O = 1,1 W/m²K

Fronte sud con 26% trasparente e 74% opaco.

Cod.	DESCRIZIONE
A	Analisi sullo stato di fatto dell'edificio
B	Ottimizzazione della percentuale finestrata a Sud - Caso con sup. finestrata pari al 20% del fronte SUD
C	Ottimizzazione della percentuale finestrata a Sud - Caso con sup. finestrata pari al 40% del fronte SUD
D	Ottimizzazione della percentuale finestrata a Sud - Caso con sup. finestrata pari al 60% del fronte SUD
E	Ottimizzazione della termotrasmittanza dei serramenti (vetro + telaio) - Caso con $U_w = 1.5 \text{ W / m}^2\text{K}$
F	Ottimizzazione della termotrasmittanza dei serramenti (vetro + telaio) - Caso con $U_w = 1.1 \text{ W / m}^2\text{K}$
G	Ottimizzazione delle prestazioni dell'involucro - aumento dello spessore dell'isolamento di 6 cm rispetto allo SdF (secondo l'analisi dei costi-benefici)
H	Combinazioni ottimizzazioni: %20 Sup. finestrata a Sud - $U_w = 1.5 \text{ W / m}^2\text{K}$ - incremento isolamento = + 6 cm
I	Combinazioni ottimizzazioni: %40 Sup. finestrata a Sud - $U_w = 1.5 \text{ W / m}^2\text{K}$ - incremento isolamento = + 6 cm
L	Combinazioni ottimizzazioni: %60 Sup. finestrata a Sud - $U_w = 1.5 \text{ W / m}^2\text{K}$ - incremento isolamento = + 6 cm
M	Combinazioni ottimizzazioni: %20 Sup. finestrata a Sud - $U_w = 1.1 \text{ W / m}^2\text{K}$ - incremento isolamento = + 6 cm
N	Combinazioni ottimizzazioni: %40 Sup. finestrata a Sud - $U_w = 1.1 \text{ W / m}^2\text{K}$ - incremento isolamento = + 6 cm
O	Combinazioni ottimizzazioni: %60 Sup. finestrata a Sud - $U_w = 1.1 \text{ W / m}^2\text{K}$ - incremento isolamento = + 6 cm



Calcolo su intero condominio

Rapporto S/V = 0,49; U_{media} involucro = 0,44 W/m²K.

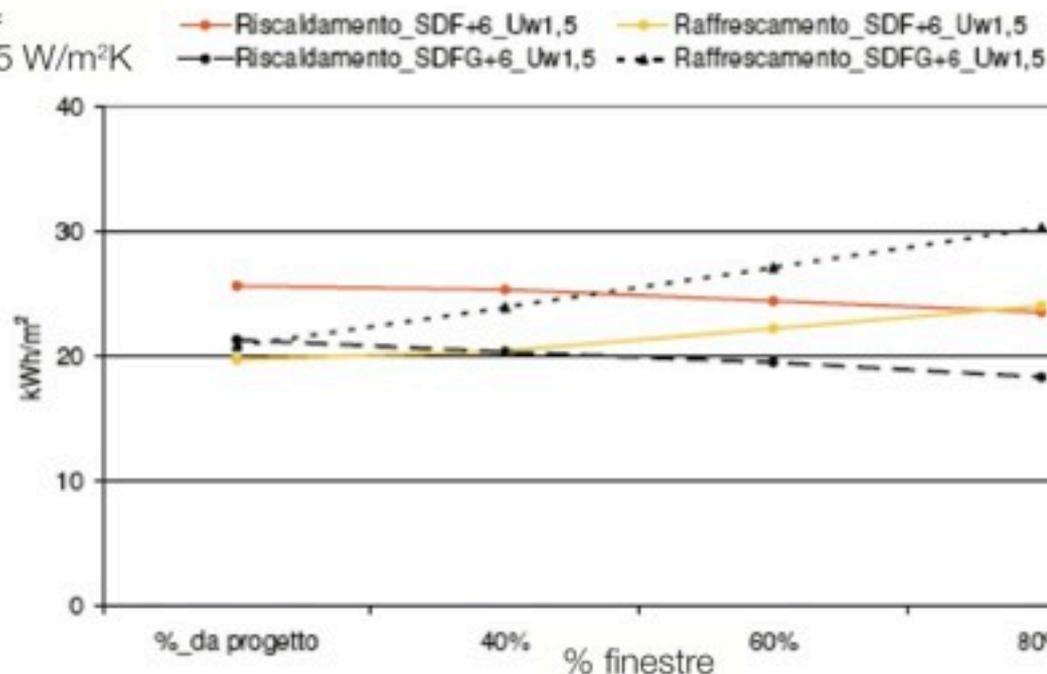
Analisi su due configurazioni:

- SDF con il 24% trasparente del fronte sud;
- SDFG con il 24% trasparente sul fronte ovest.

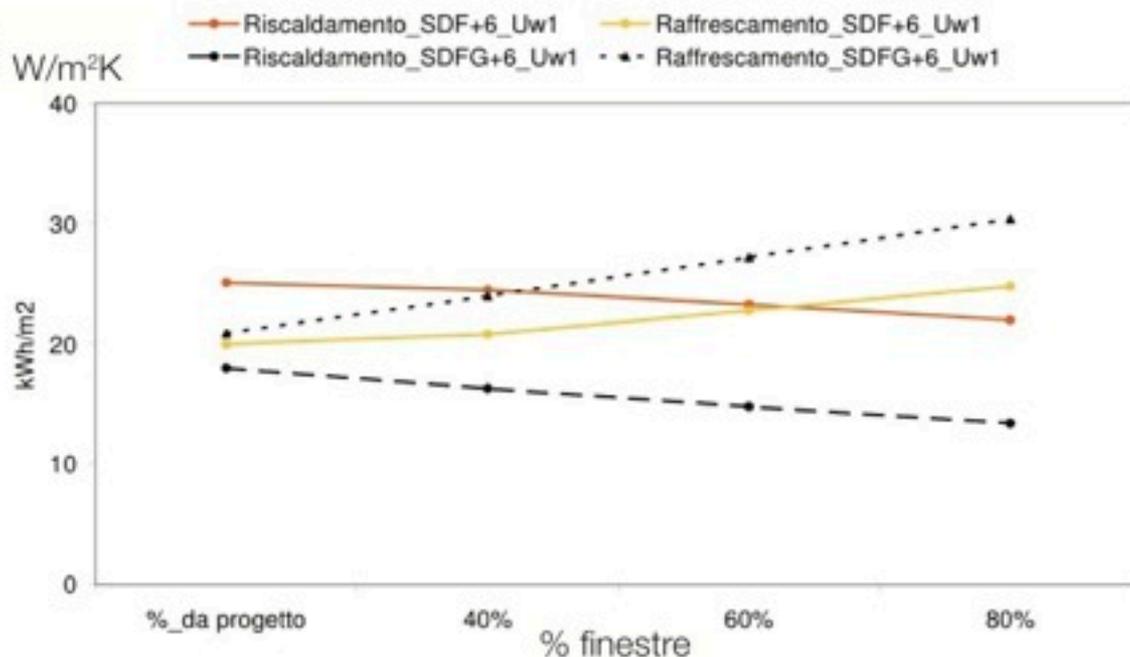
Andamento del fabbisogno di climatizzazione per $U_w = 1,5$ W/m²K e $U_w = 1,1$ W/m²K.

L'aumento della superficie vetrata rivolta a sud per un edificio con prevalente sviluppo E-O (SDFG) rende preponderante il problema del raffrescamento estivo.

$$U_w = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

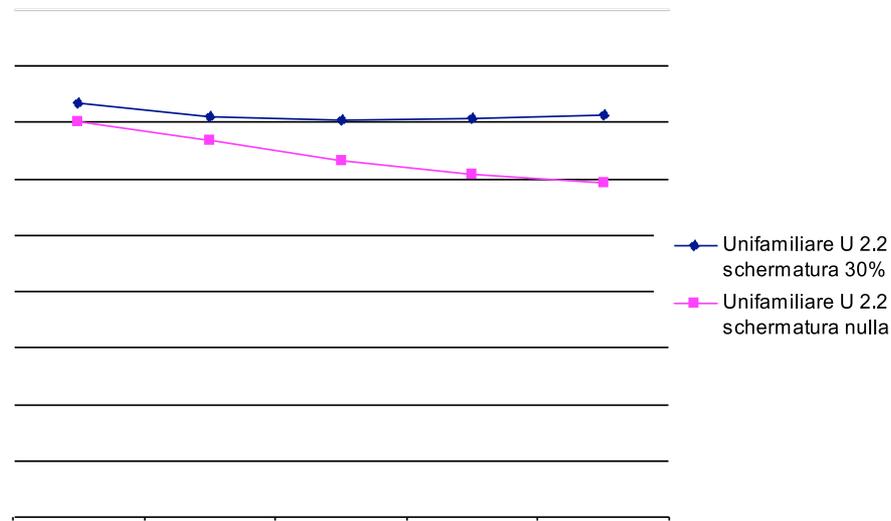


$$U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

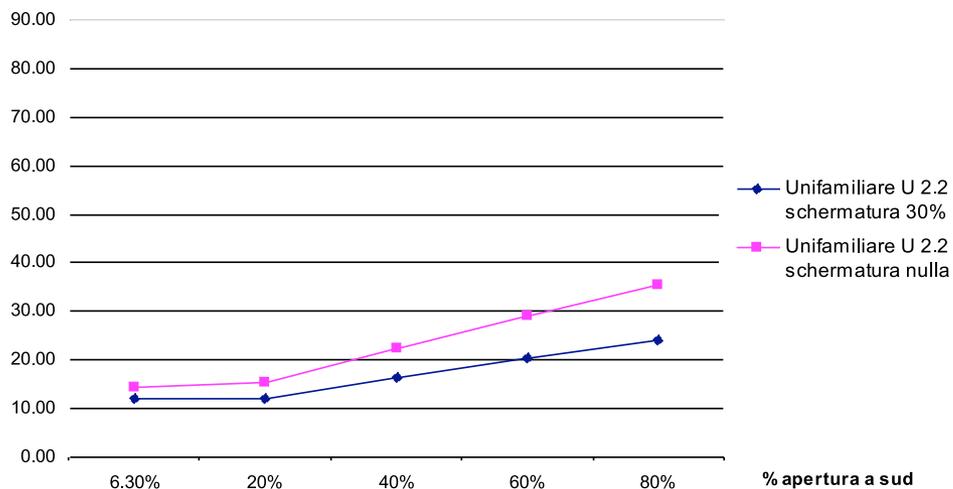




Fabbisogno invernale [kWh/m²anno]

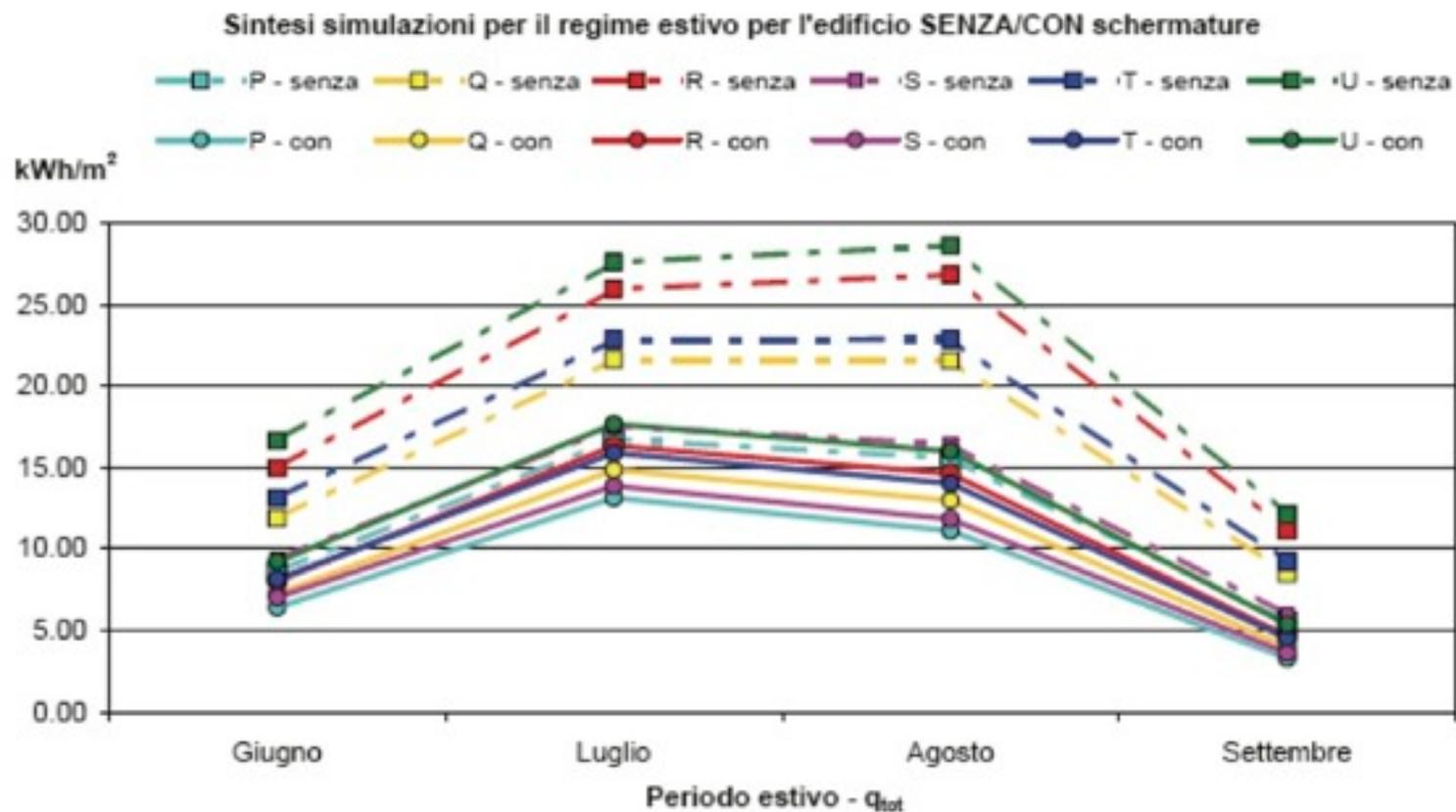


Fabbisogno estivo [kWh/m²anno]



Influenza della dimensione delle finestre (fronte sud) sul fabbisogno energetico annuale (studio condotto per una casa unifamiliare in Valle di Scalve - BG).

Programma: CENED.

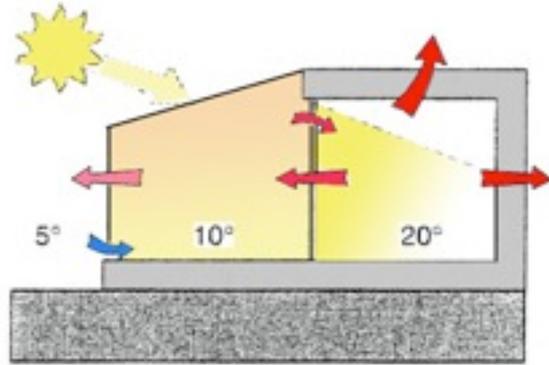


Calcolo su intero condominio

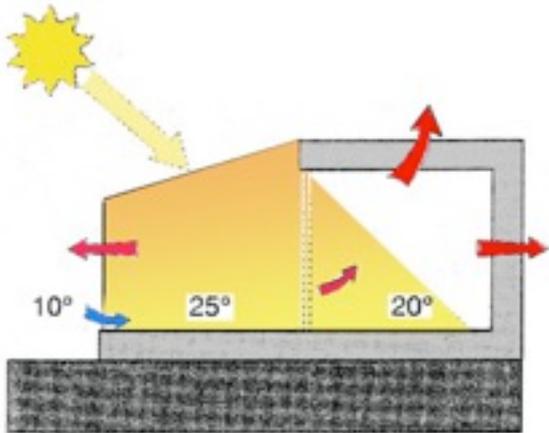
Rapporto S/V = 0,49; fronte sud trasparente per il 24%.

U_w pari a 1,5 W/m²K (configurazioni P, Q, R); U_w pari a 1,1 W/m²K (configurazioni S, T, U).

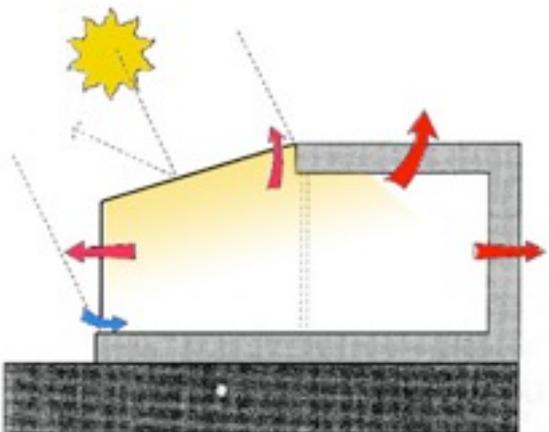
Le schermature (linee continue) rendono più omogeneo il comportamento, indipendentemente dalla dimensione delle finestre.



Mid-winter



Spring and autumn



Summer

Le serre sono elementi vetrati non riscaldati, rivolti a sud e annessi, in generale, ai locali in cui si svolgono le attività diurne dell'abitazione.

Lo scopo di una serra è di realizzare un ambiente buffer ad una temperatura intermedia fra interno ed esterno.

Nelle giornate invernali soleggiate, la serra funziona da captatore solare e può riscaldare gli ambienti retrostanti, con guadagno diretto o differito nel tempo.



Vantaggi:

- buffer termico fra interno ed esterno;
- guadagno solare invernale;
- spazio abitabile aggiuntivo nelle stagioni intermedie.

Criticità:

- controllo dell'irraggiamento e ventilazione in estate;
- previsione di una massa termica per contenere le oscillazioni di temperatura;
- non riscaldare in inverno!



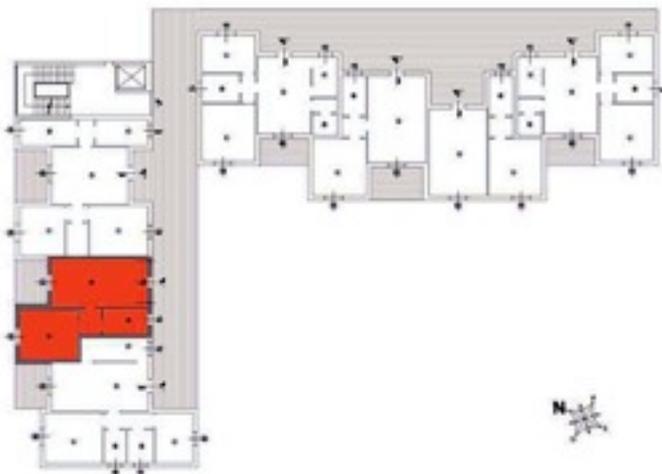
Influenza serra sulla base dei calcoli della procedura:

- riduzione della dispersione (trasmissione e ventilazione) verso l'esterno;
- effetto di "tampone termico";
- guadagni solari diretti leggermente ridotti.

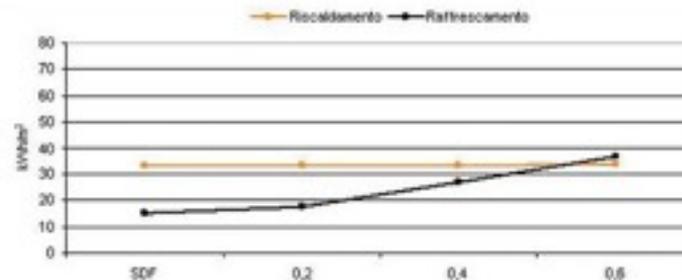
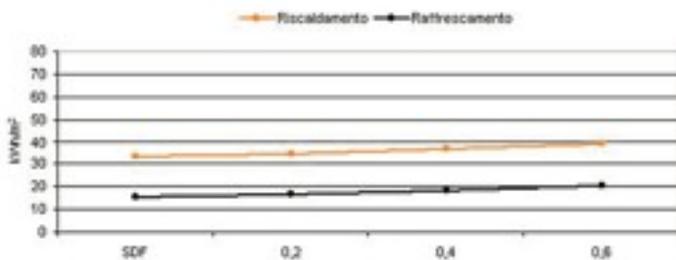




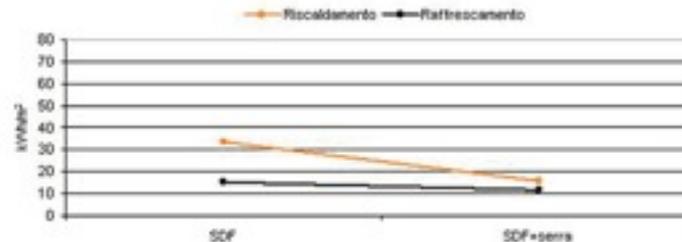
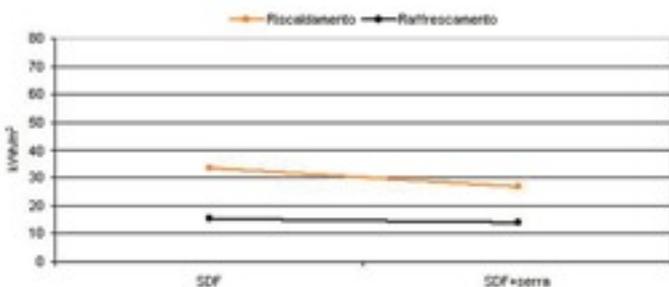
Valutazioni eseguite con CENED (stato stazionario)



Allargamento finestre a S-E o S-W



Aggiunta di serra solare





Valutazione dell'effetto combinato di misure di miglioramento energetico (software CENED).

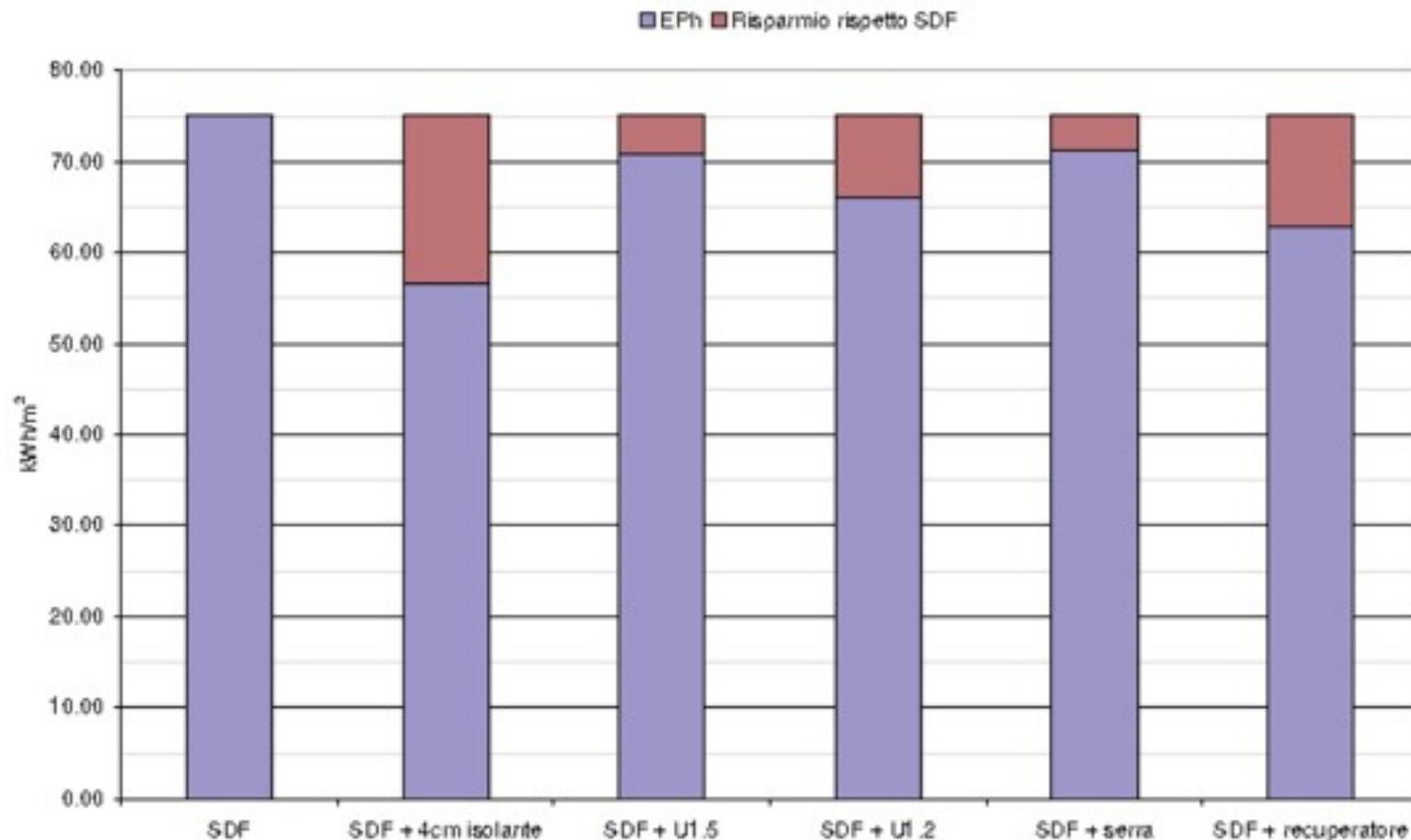
Calcolo su singolo appartamento

Rapporto S/V = 0,37

$U_{\text{media,opaco}} = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U_{\text{media,trasp}} = 1,86 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fronte sud con 26% trasparente e 74% opaco.





- È economico usare il sole quando la stagione di riscaldamento è limitata ai giorni più corti e freddi dell'anno?
- In che misura i guadagni solari riducono effettivamente il fabbisogno e quanto, invece, creano surriscaldamento?
- Quali mutue interazioni (e/o ostacoli) si creano fra conservazione dell'energia e guadagno solare?



In un edificio a bassissimo consumo, le strategie di sfruttamento del sole devono avere queste caratteristiche:

- **economicità**: il risparmio ottenuto sulla taglia dell'impianto di riscaldamento non deve essere annullato dalla complessità del sistema di captazione;
- **robustezza**: il sistema deve essere in grado di funzionare anche con scarso apporto energetico, per limitare il più possibile il lavoro dell'impianto di riscaldamento;
- **reattività**: per le caratteristiche fisiche di un edificio tipo Passivhaus, il calore guadagnato deve essere immediatamente disponibile.

Per le situazioni di basso fabbisogno, le aperture a sud restano il sistema più efficace.

Per le serre, valgono anche considerazioni di tipo estetico.



$$Q_{SE,O} = N \cdot \sum_j \bar{H}_{s,j} \cdot \left(\sum_i \alpha_i \cdot A_{L,i} \cdot F_s \cdot F_{er,j} \cdot \frac{U_i}{h_e} \right)_j$$

$Q_{SE,O}$ è la quantità di energia solare assorbita dalle pareti opache esterne e trasferita all'ambiente a temperatura controllata o climatizzato, [kWh];

N è il numero di giorni del mese considerato;

$\bar{H}_{s,j}$ è l'irradiazione globale giornaliera media mensile incidente sulla superficie con esposizione, j (Prospetto XIV), [kWh/m²];

α_i è il fattore di assorbimento solare medio della superficie assorbente della parete opaca, i , rivolta verso l'esterno (Prospetto XXIII);

$A_{L,i}$ è la superficie lorda della parete opaca, i , rivolta verso l'esterno, [m²];

F_s è il fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura, così come definito dall'equazione (36).

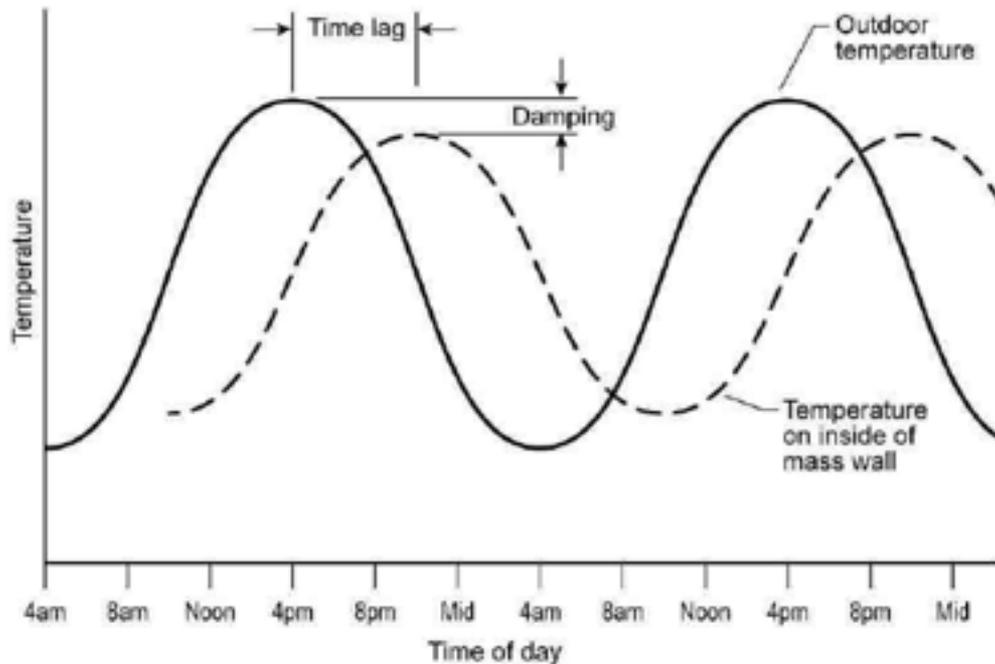
$F_{er,j}$ è il coefficiente di riduzione che tiene conto dell'incidenza del flusso radiativo emesso dalla superficie, i , verso la volta celeste (Prospetto XXIII);

U_i è la trasmittanza termica della parete opaca, i , rivolta verso l'esterno, [W/m²K];

h_e è il coefficiente di scambio termico superficiale esterno, pari a 25 W/m²K.

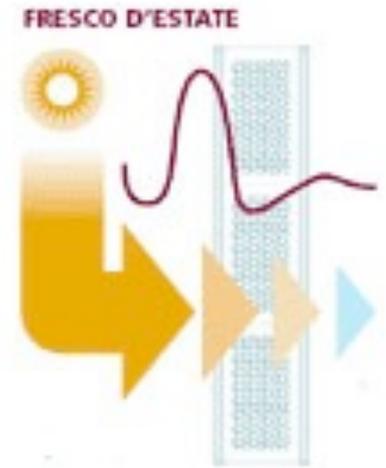
Tipo di colorazione della parete	α	Tipo di parete	F_{er}
Chiaro	0,3	Orizzontale	0,8
Medio	0,6	Inclinata	0,9
Scuro	0,9	Verticale	1,0

Prospetto XXIII – Valori del fattore di assorbimento solare medio della superficie assorbente della parete opaca rivolta verso l'esterno, α , e coefficiente di riduzione che tiene conto dell'incidenza del flusso radiativo emesso dalla superficie verso la volta celeste, F_{er}



Sfasamento φ [h]

Attenuazione f_d [-]



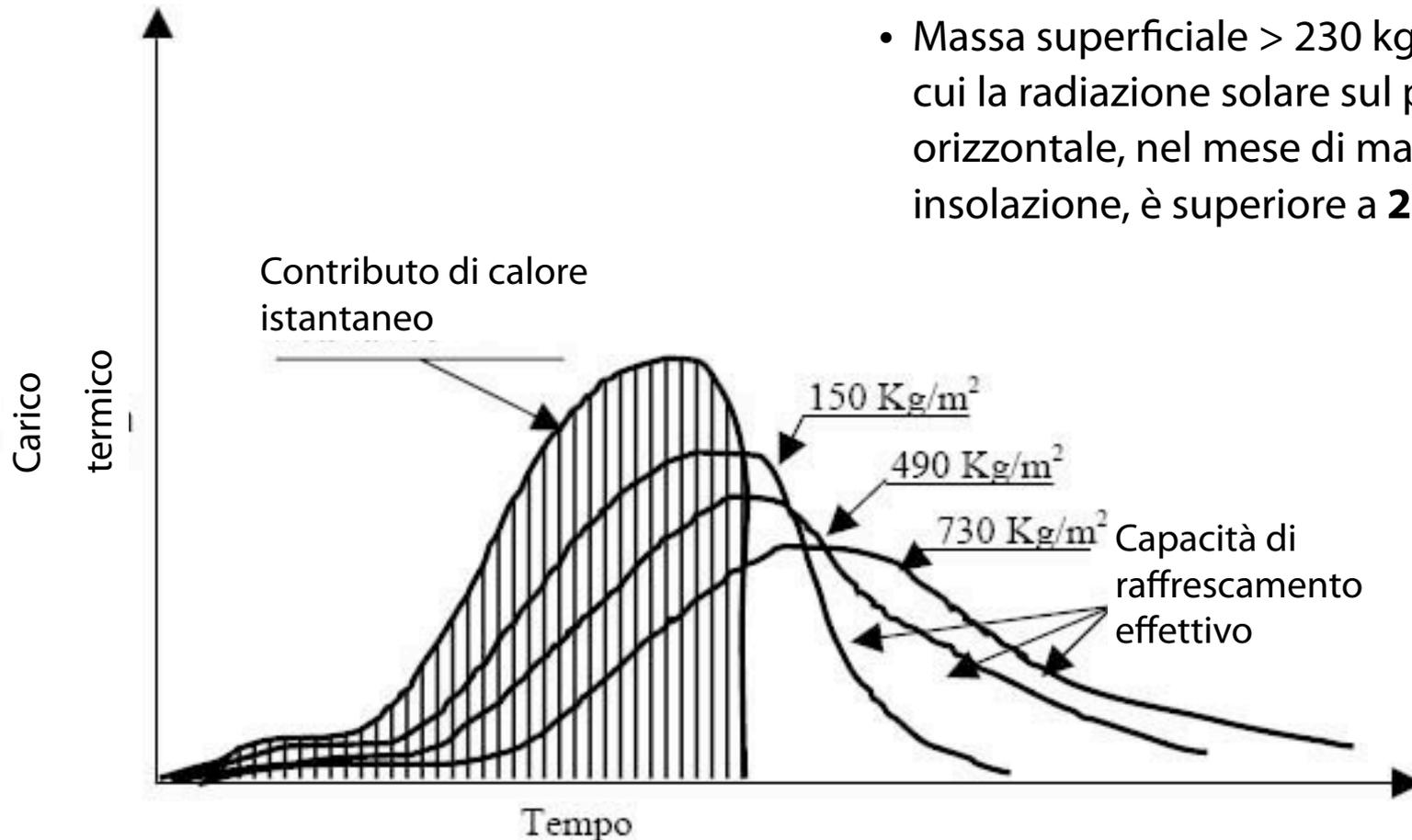
UNI EN ISO 13786

a) *fattore di attenuazione o fattore di decremento* è il rapporto tra il modulo della trasmittanza termica dinamica e la trasmittanza termica in condizioni stazionarie;

b) *sfasamento* è il ritardo temporale tra il massimo del flusso termico entrante nell'ambiente interno ed il massimo della temperatura dell'ambiente esterno.

D.Lgs. 311/06: prescrizioni sul *comportamento estivo* degli elementi di involucro.

- Massa superficiale $> 230 \text{ kg/m}^2$ per zone in cui la radiazione solare sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione, è superiore a **290 W/m^2** .

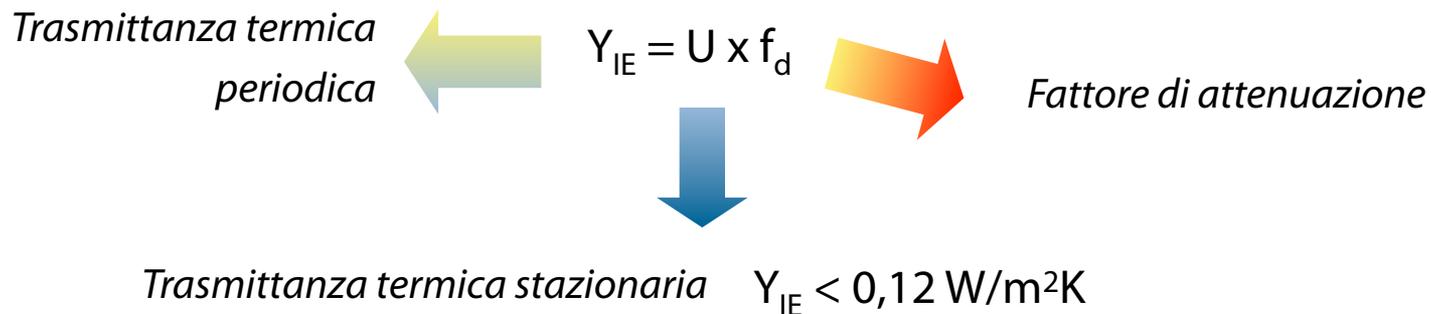




D.P.R. 59/09

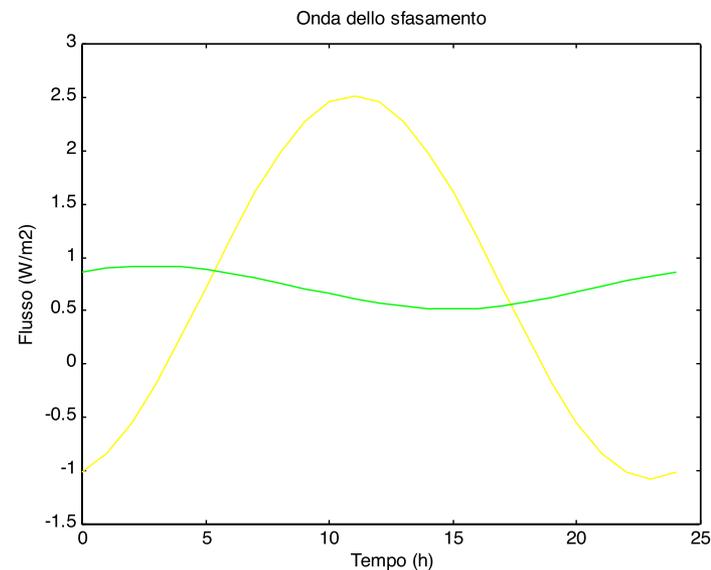
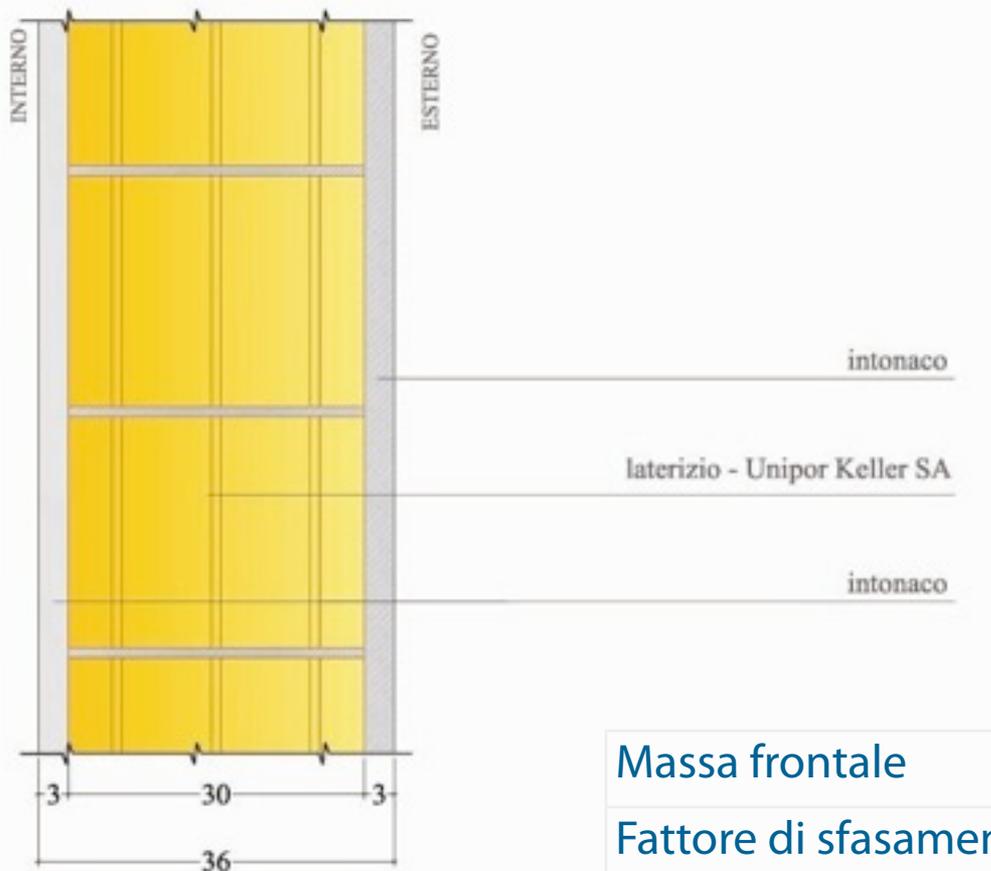
- 1) Massa superficiale: $M_s > 230 \text{ kg/m}^2$ per zone in cui la radiazione solare sul piano orizzontale è superiore a 290 W/m^2 (esclusa zona F) (verticali)
- 2) Modulo della trasmittanza termica periodica $Y_{IE} < 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ (verticali)
- 3) Modulo della trasmittanza termica periodica $Y_{IE} < 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (orizzontali e inclinate)

Trasmittanza termica periodica Y_{IE} ($\text{W/m}^2\text{K}$) è il parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore, definita e determinata secondo la norma UNI EN ISO 13786:2008 e successivi aggiornamenti.





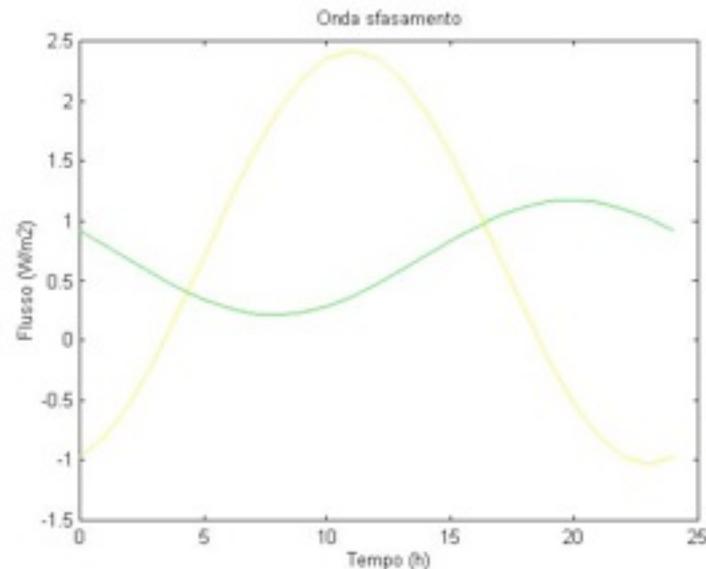
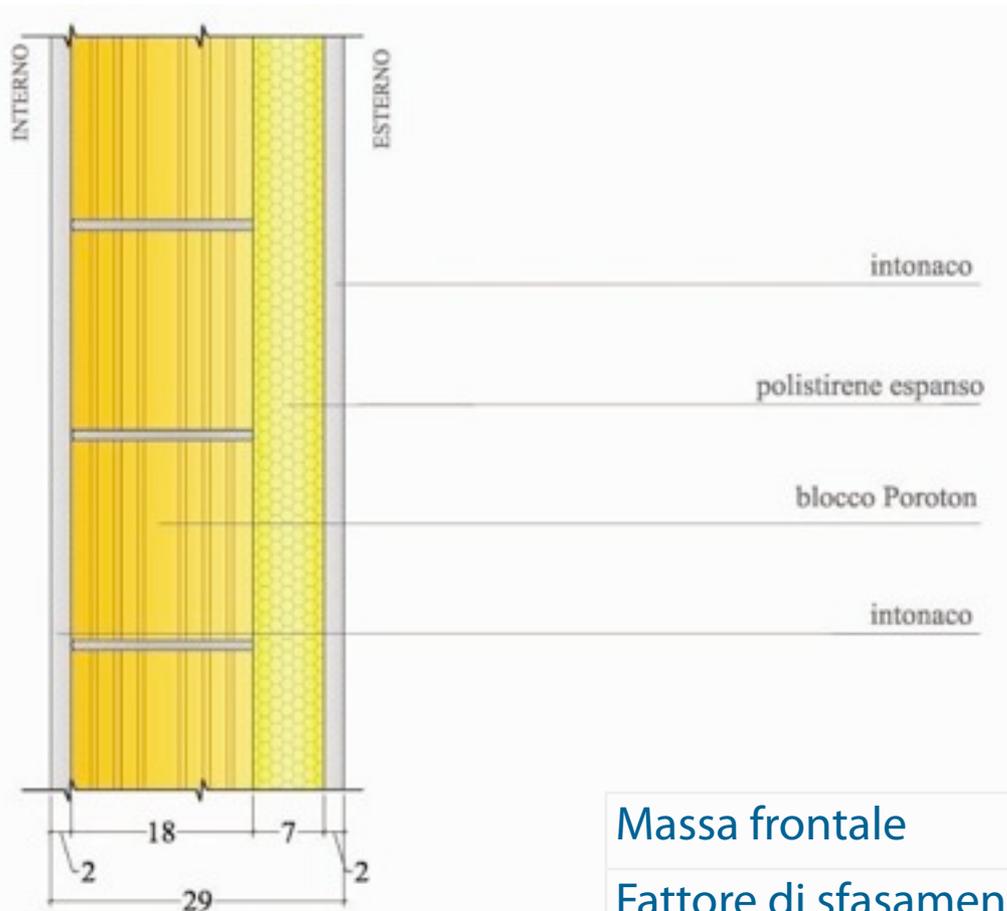
Pacchetto massivo, $U = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$



Massa frontale	m_f	282	kg/m ²
Fattore di sfasamento	φ	16,8	h
Fattore di attenuazione	f_d	0,098	-



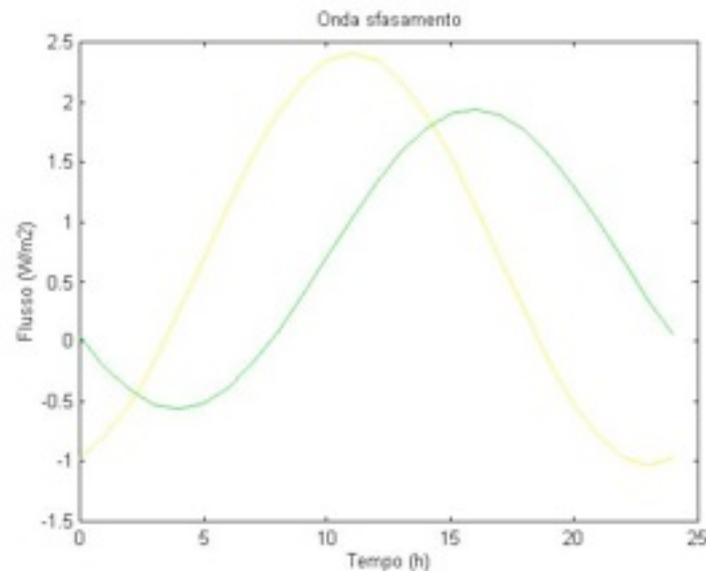
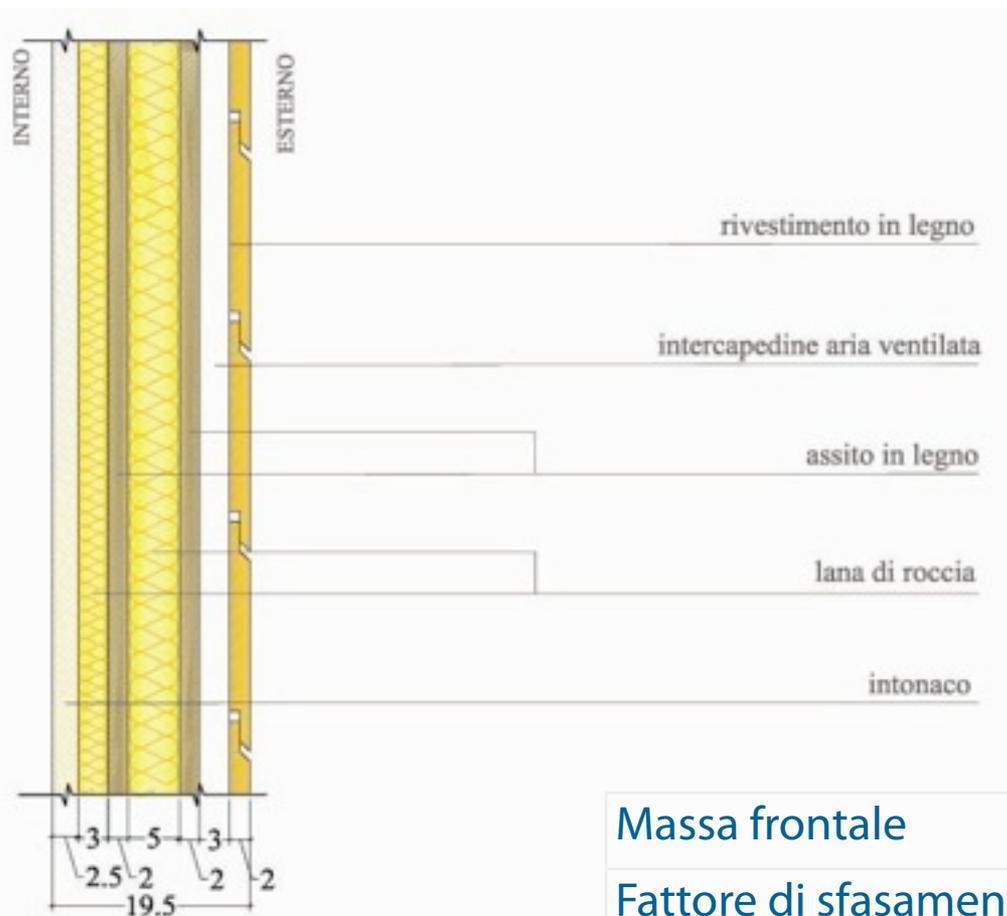
Pacchetto con cappotto, $U = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$



Massa frontale	m_f	201	kg/m^2
Fattore di sfasamento	φ	8,9	h
Fattore di attenuazione	f_d	0,27	-



Pacchetto leggero, $U = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$



Massa frontale	m_f	53	kg/m^2
Fattore di sfasamento	φ	5,2	h
Fattore di attenuazione	f_d	0,70	-



A parità di U

Comparazione di tre tecnologie costruttive differenti per pareti perimetrali:

- soluzione 1: parete leggera intelaiata in legno con isolante in intercapedine;
- soluzione 2: laterizio alveolare + cappotto;
- soluzione 3: blocchi in cls cellulare + cappotto.

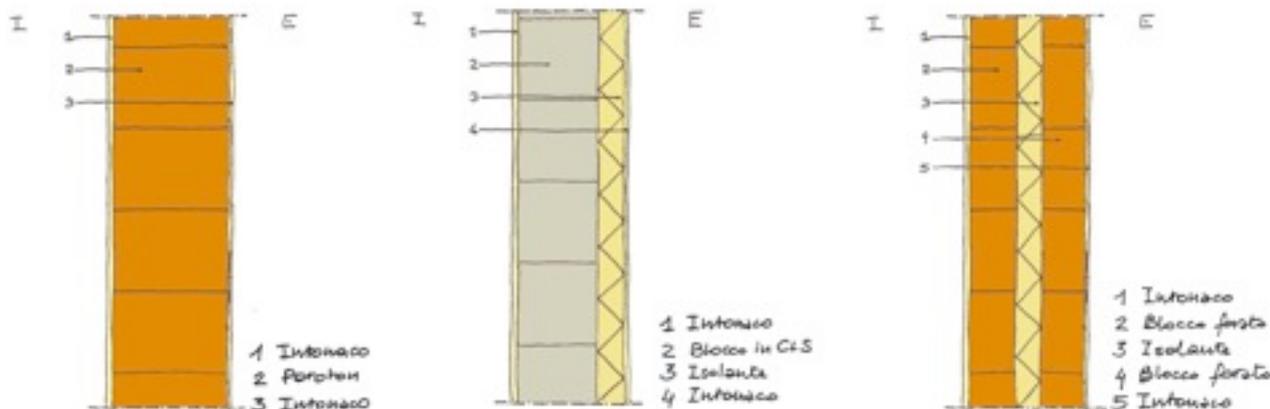
	SOLUZIONE 1	SOLUZIONE 2	SOLUZIONE 3	
U	0,2	0,2	0,2	[W/m ² K]
f	0,34	0,023	0,12	[-]
φ	9	19	13	[h]
Y_{IE}	0,07	0,0048	0,026	[W/m ² K]
C_I	41,45	53,13	42,61	[kJ/ m ² K]
sp.	25,30	45,1	34,1	[cm]

A parità di Y_{IE}

	SOLUZIONE 1	SOLUZIONE 2	SOLUZIONE 3	
U	0,18	0,4	0,31	[W/m ² K]
f	0,32	0,14	0,18	[-]
φ	9	13	13	[h]
Y_{IE}	0,06	0,06	0,06	[W/m ² K]
C_I	41,43	53,7	42,96	[kJ/ m ² K]
sp.	27,30	29,10	32,1	[cm]



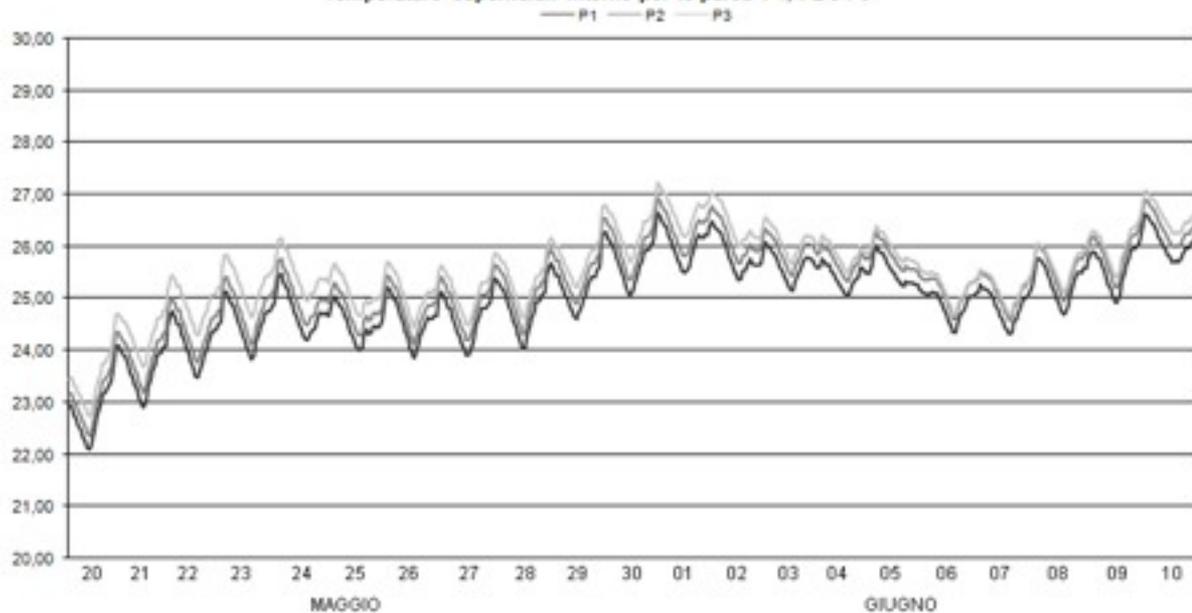
	P1	P2	P3
sp.	44,5 cm	36,1 cm	35,2 cm
f	0,04	0,19	0,35
φ	20,2 ore	10,2 ore	9,5 ore
Y_{FE}	0,01 W/m ² K	0,06 W/m ² K	0,10 W/m ² K
U	0,34 W/m ² K	0,34 W/m ² K	0,30 W/m ² K
M_s	420,7 Kg/m ²	257,7 Kg/m ²	284,9 Kg/m ²
C_i	51,5 kJ/m ² K	70,5 kJ/m ² K	107,1 kJ/m ² K



Analisi di tre pareti con tecnologia costruttiva tradizionale e valore U paragonabile (attorno a 0,34 W/m²K).

Le tre pareti hanno YIE differenti, con una influenza relativamente limitata sulla temperatura superficiale interna.

Temperature superficiali interne per le pareti P1, P2 e P3

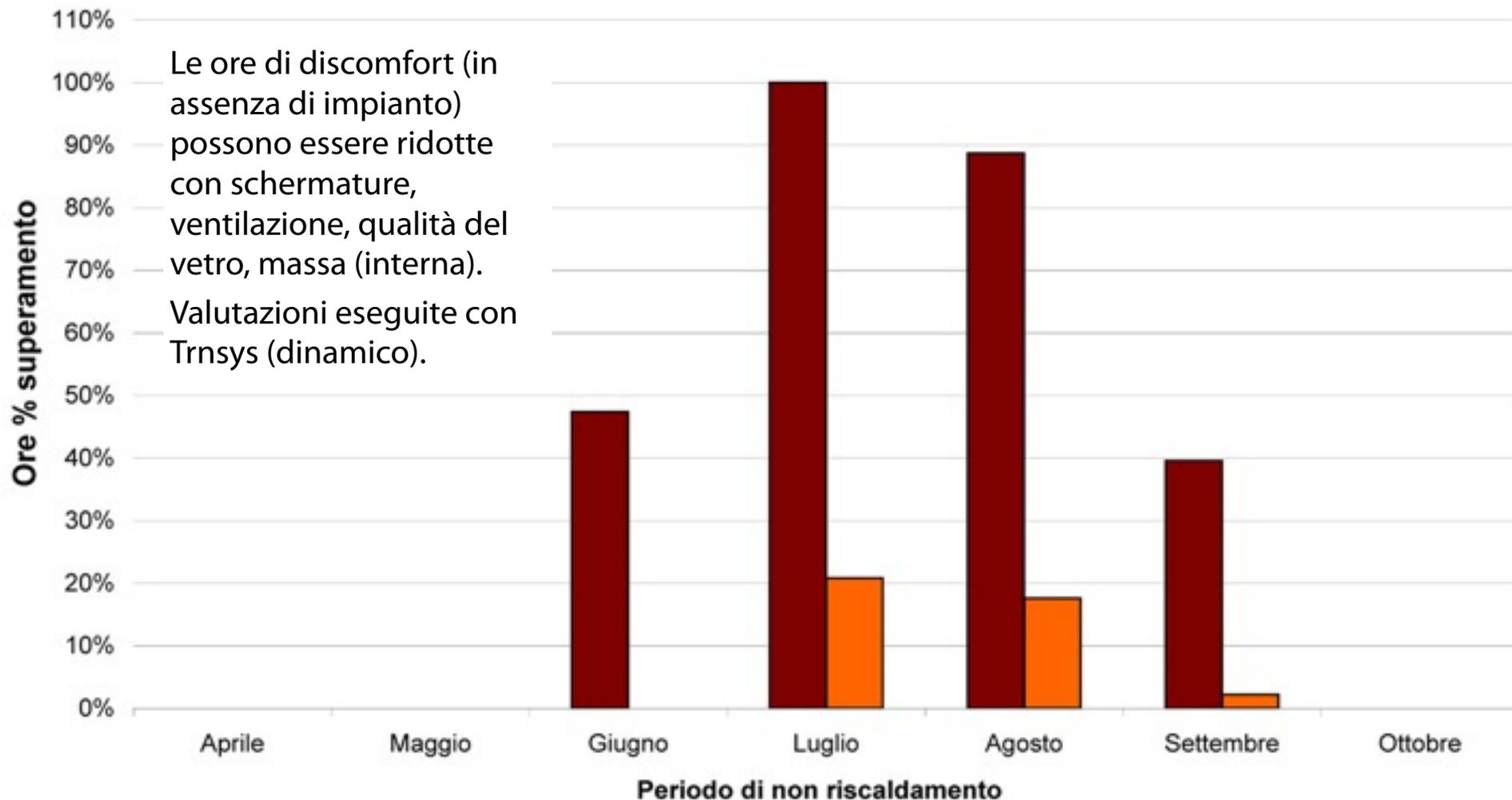


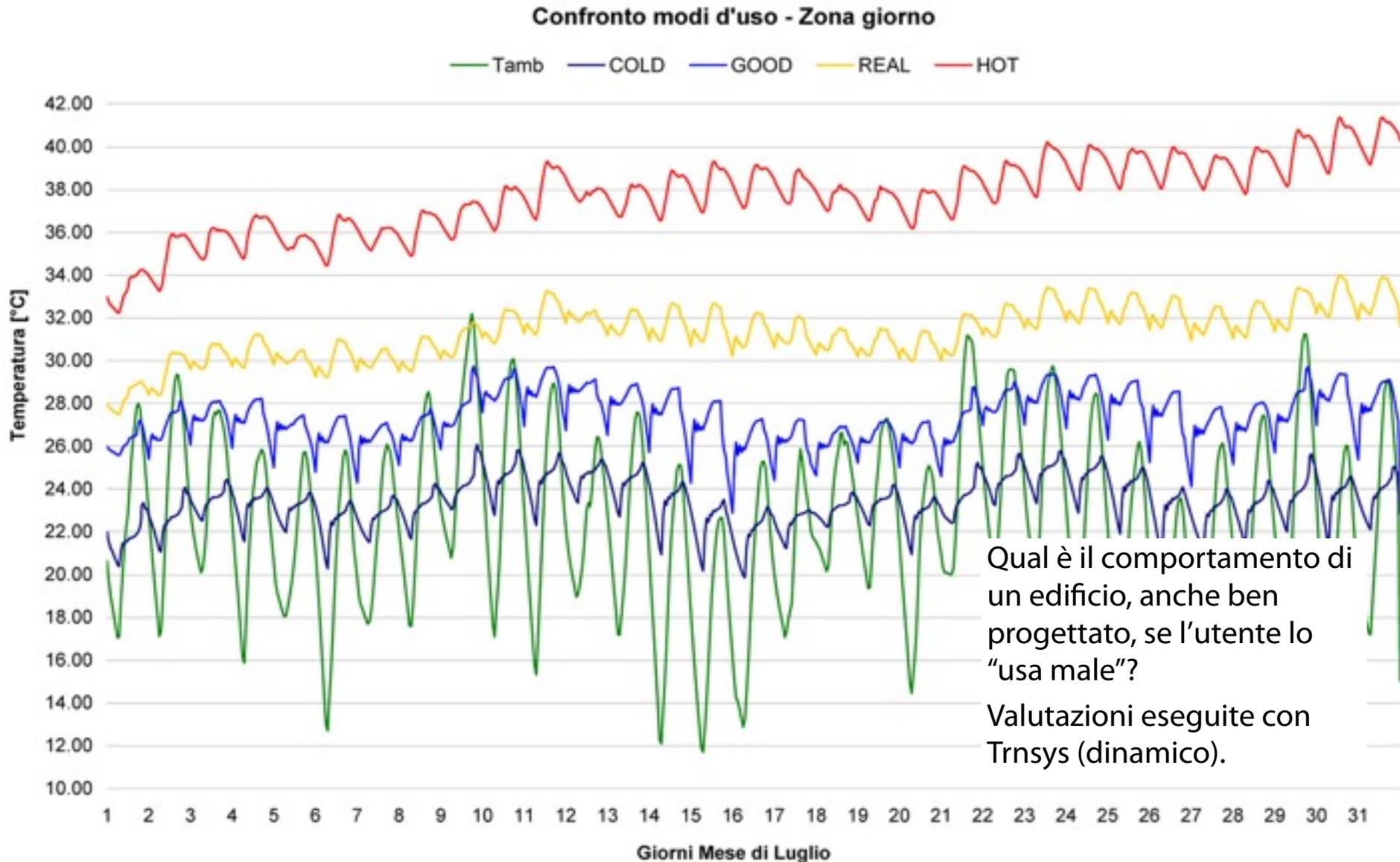


4.1. Comportamento estivo di spazi non climatizzati

Superamento della soglia di comfort 26°C - Zona Giorno

■ Progetto originale ■ Progetto ottimizzato







Case classe A
a Selvino



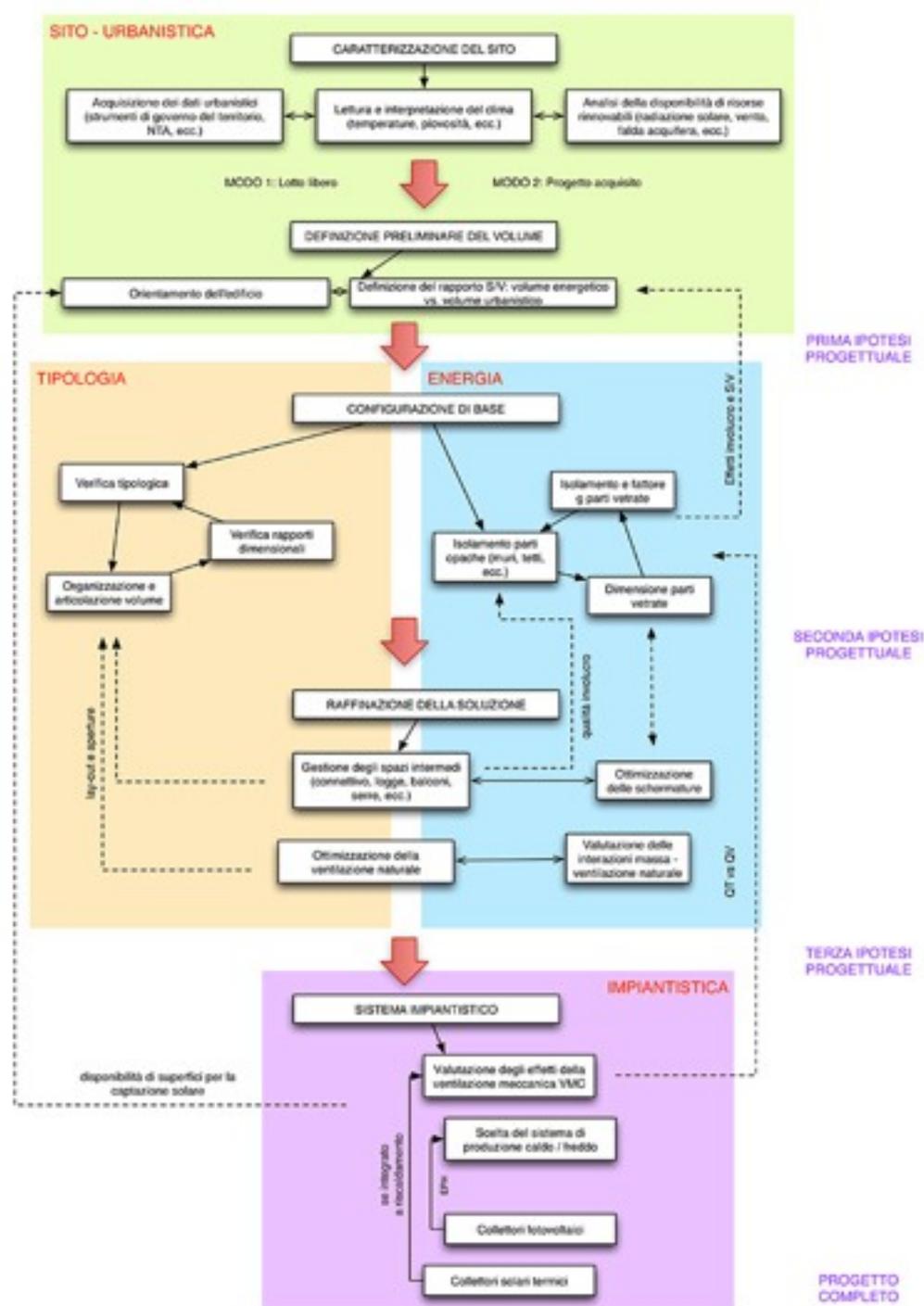
Residenze BIRD
a Brescia



4.3. Una possibile procedura di ottimizzazione

Processo progettuale ottimizzato: valutazione dell'influenza di diversi parametri progettuali e tecnologici (anche combinati) sulla prestazione dell'edificio.

Fonte: ricerca per FILCA cooperative, 2008-09 (responsabili: G. Maserà, M. Tadi).





Grazie per l'attenzione.