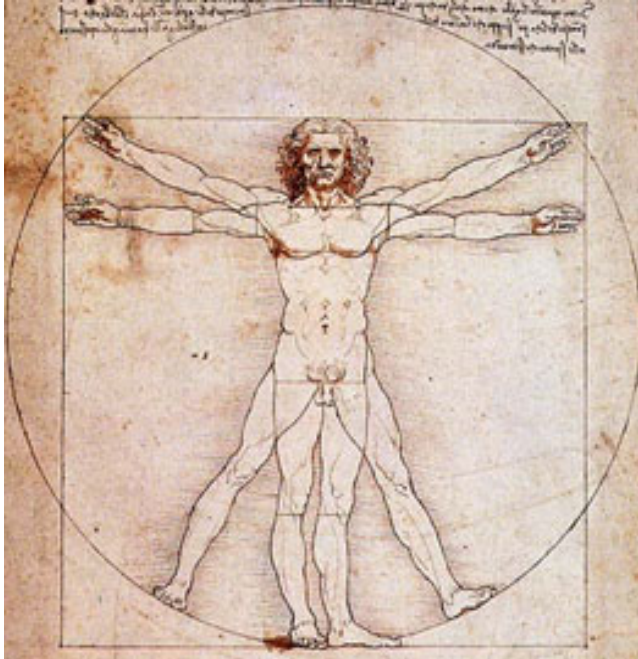


STRUMENTI DI CONTROLLO ENERGETICO



Acqua



Alimenti



Energia elettrica



Energia termica

IL SISTEMA EDIFICIO - IMPIANTO

ENERGIA NETTA



INVOLUCRO

$Q_{H,nd}$

FABBISOGNO ENERGETICO



ENERGIA FORNITA



IMPIANTI Q_{TOT}



INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE

$E_{p_{gl}}$

IL SISTEMA EDIFICIO - IMPIANTO

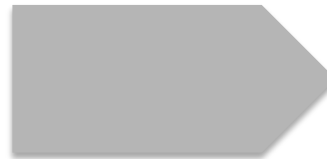
ENERGIA NETTA



INVOLUCRO

$Q_{H,nd}$

FABBISOGNO ENERGETICO



ENERGIA FORNITA



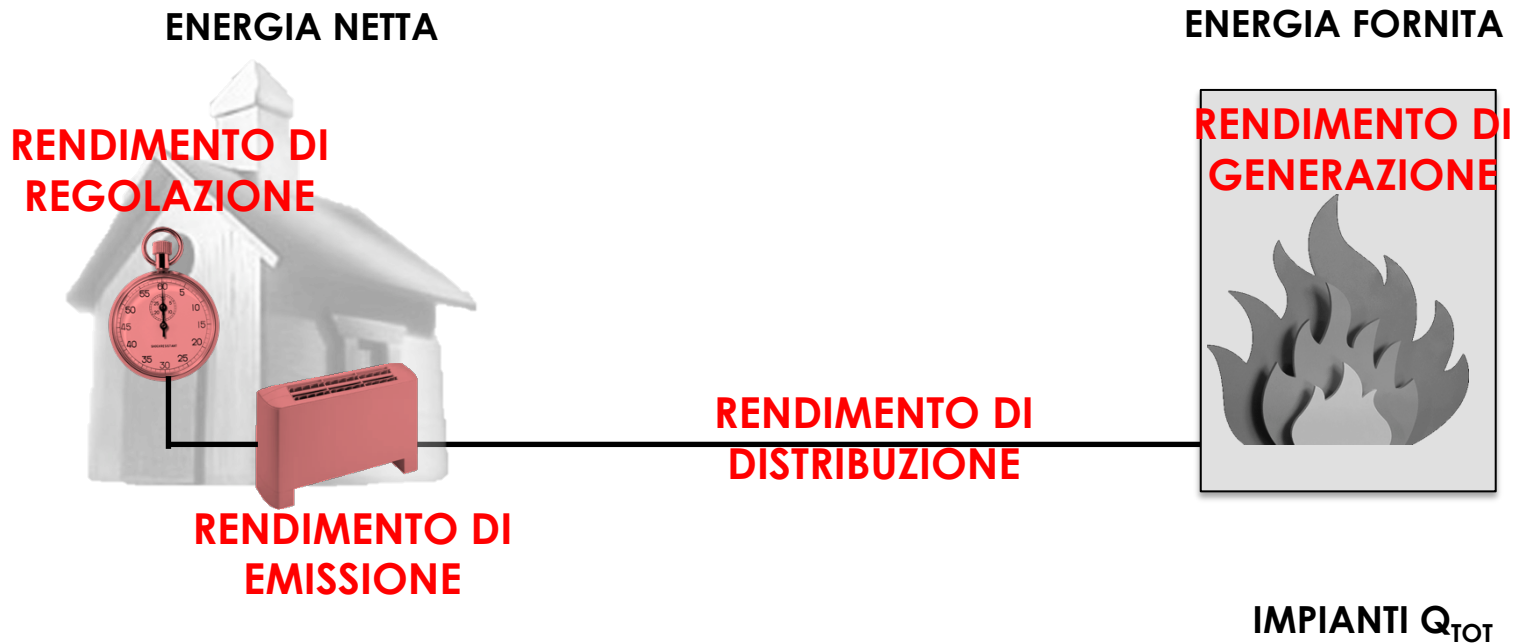
IMPIANTI Q_{TOT}



INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE

$E_{p_{gl}}$

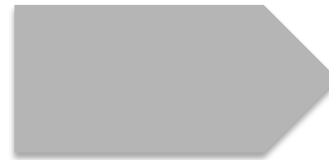
IL SISTEMA EDIFICIO - IMPIANTO



IL SISTEMA EDIFICIO - IMPIANTO



FABBISOGNO ENERGETICO



ENERGIA FORNITA



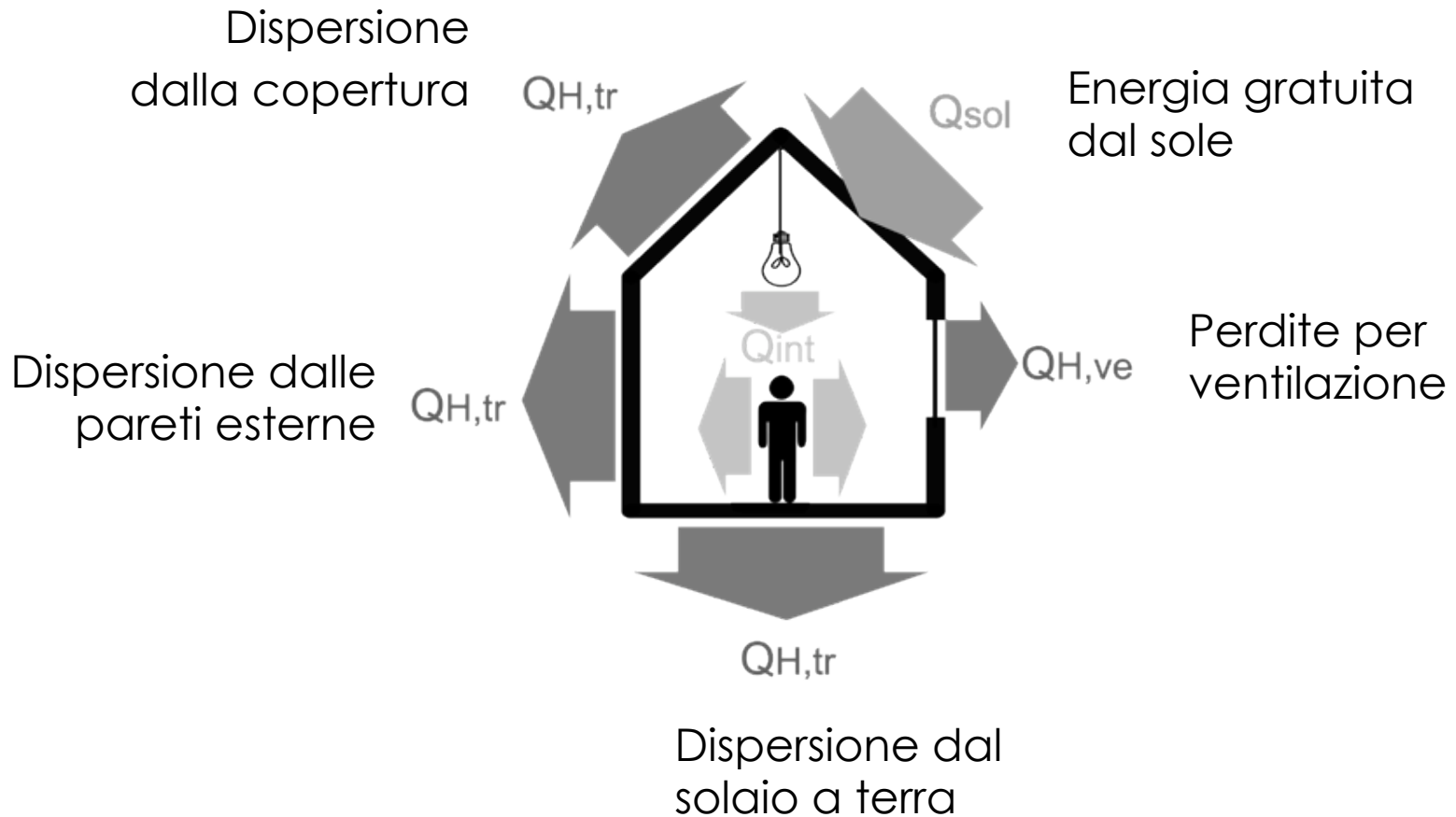
IMPIANTI Q_{TOT}



INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE

$E_{p_{gl}}$

COMPORTAMENTO ENERGETICO DELL'INVOLUCRO



METODOLOGIA DI CALCOLO

- **Norma tecnica UNI TS 11300**
- **Parte 1: Calcolo del fabbisogno di energia netta/utile**

Fabbisogno di energia netta:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve} - n_{H,nd} * (Q_{sol} + Q_{int}) \quad [kWh/m^2]$$

$Q_{H,nd}$: fabbisogno di energia netta dell'edificio (invernale o estivo);

$Q_{H,tr}$: perdite di energia termica per trasmissione;

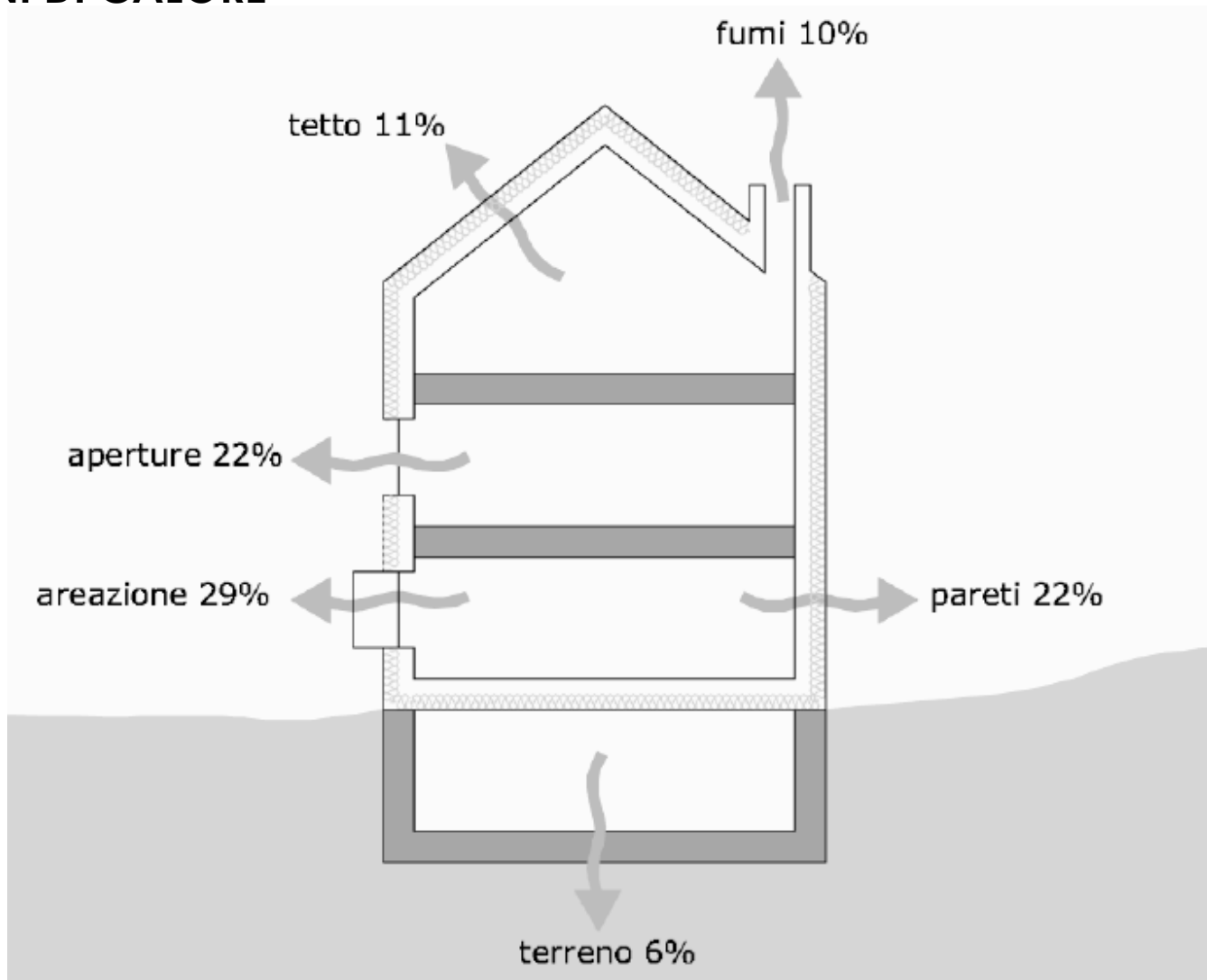
$Q_{H,ve}$: perdite di energia termica per ventilazione;

$n_{H,nd}$: fattore di utilizzazione degli apporti termici

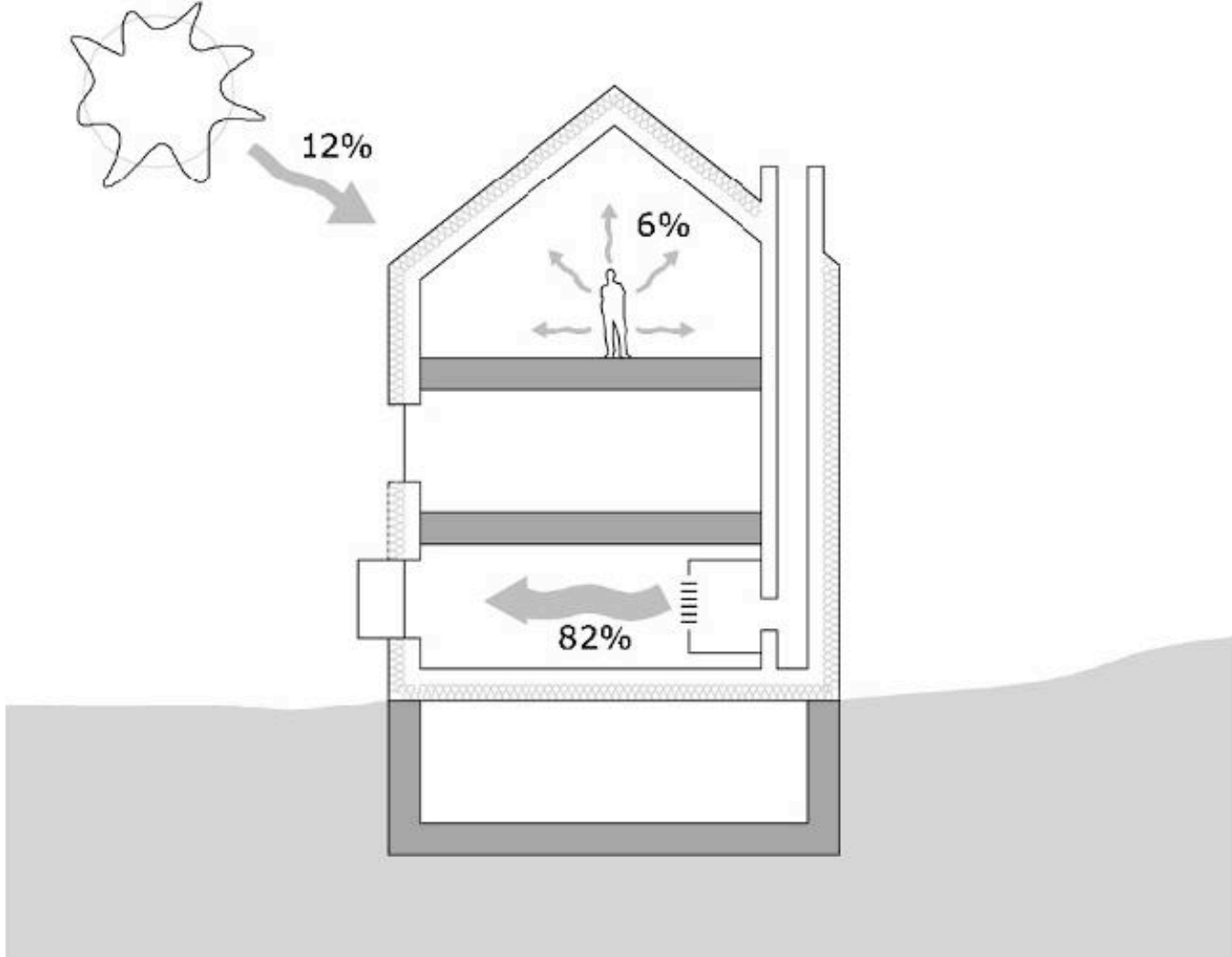
Q_{sol} : guadagni termici solari gratuiti;

Q_{int} : guadagni termici interni gratuiti;

DISPERSIONI DI CALORE



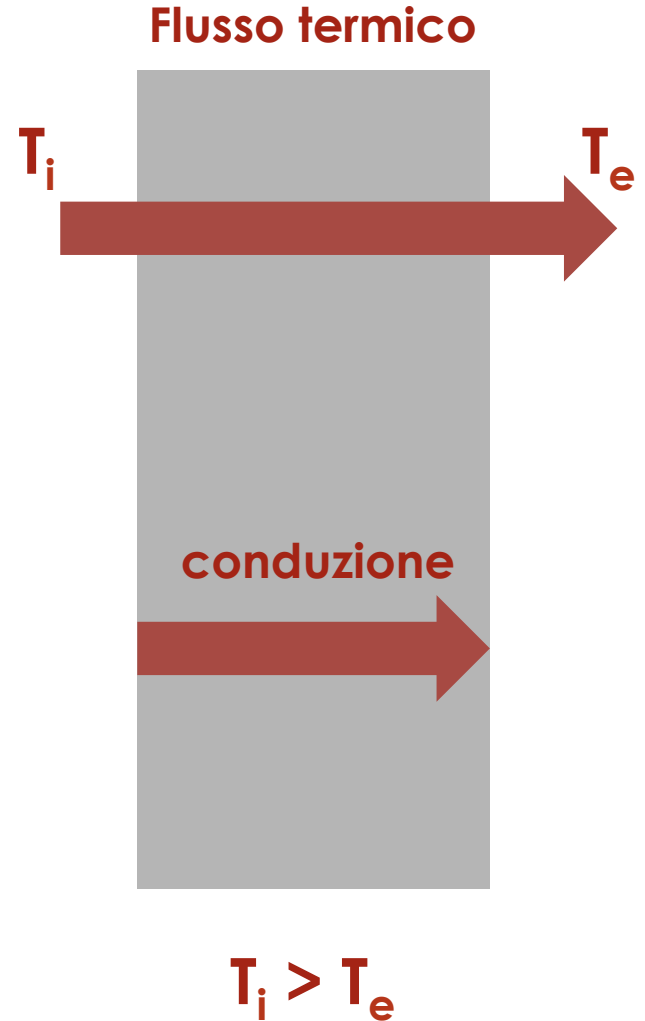
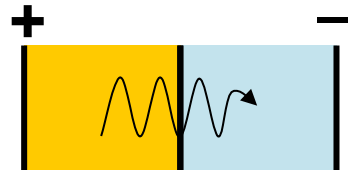
GUADAGNI TERMICI



TRASMISSIONE DI CALORE

Conduzione

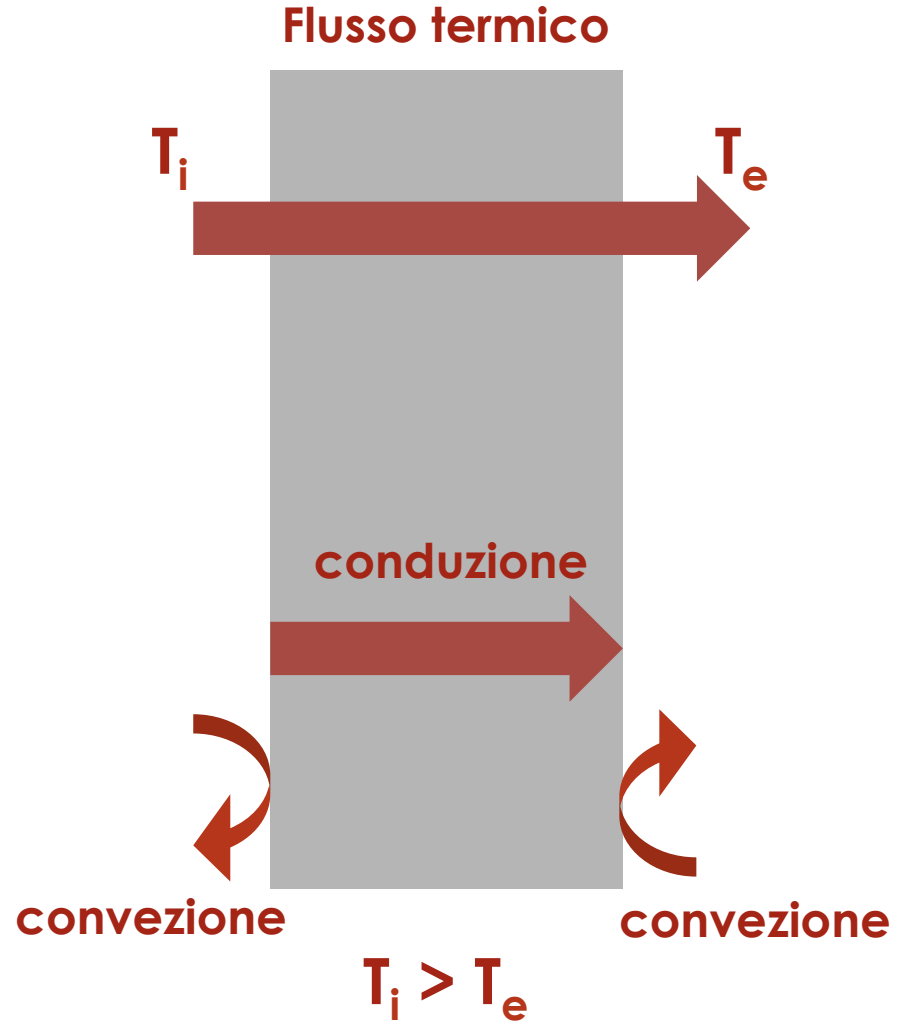
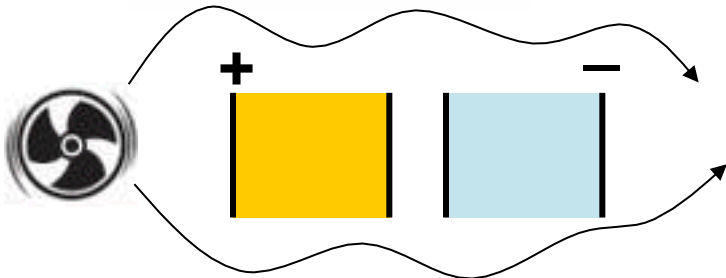
trasferimento di energia che avviene attraverso un mezzo materiale senza che in esso vi sia movimento macroscopico di materia



TRASMISSIONE DI CALORE

Convezione

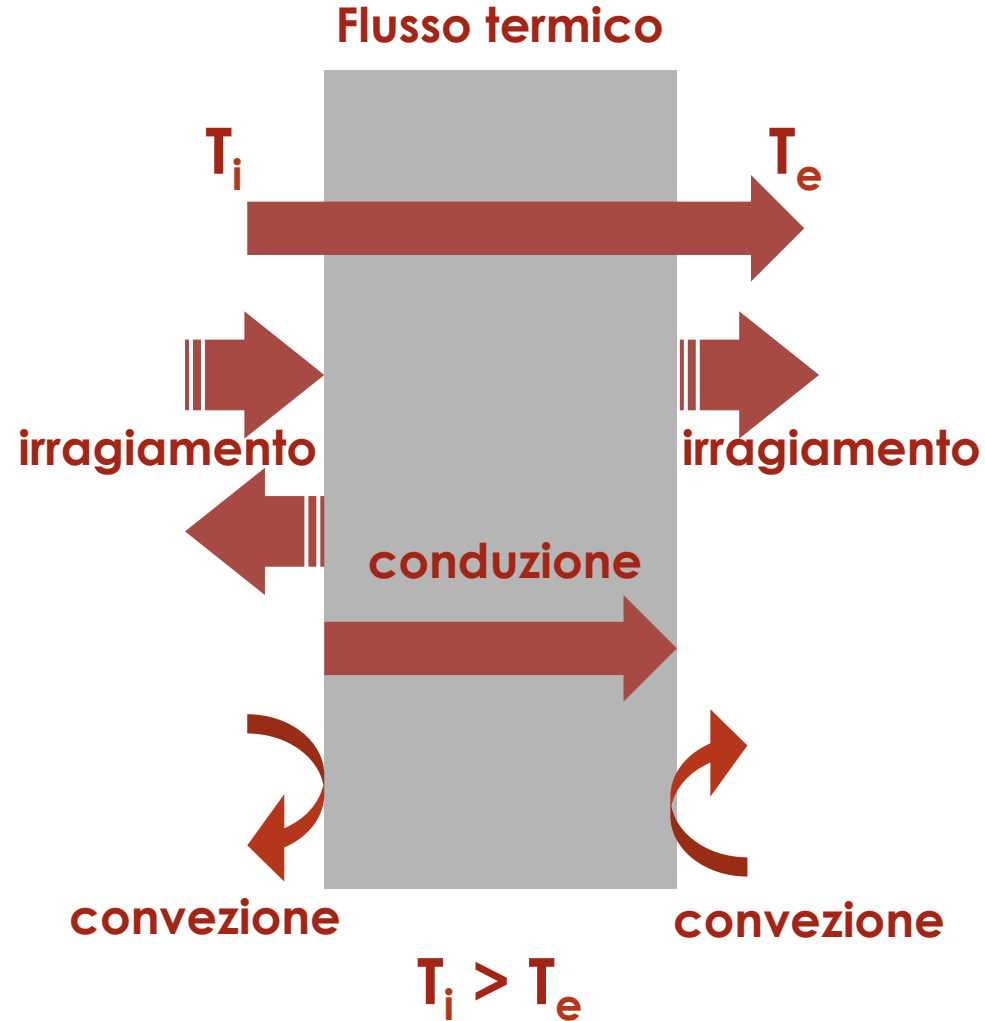
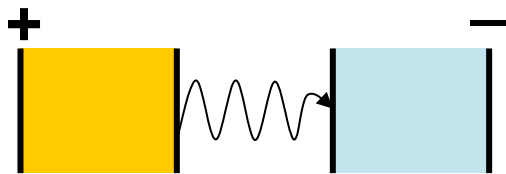
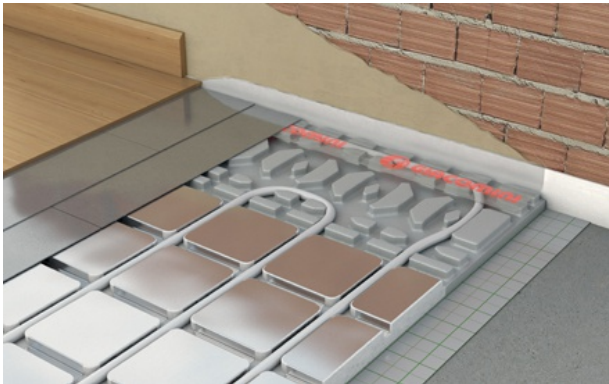
trasferimento di energia che avviene per mezzo di movimenti microscopici di materia



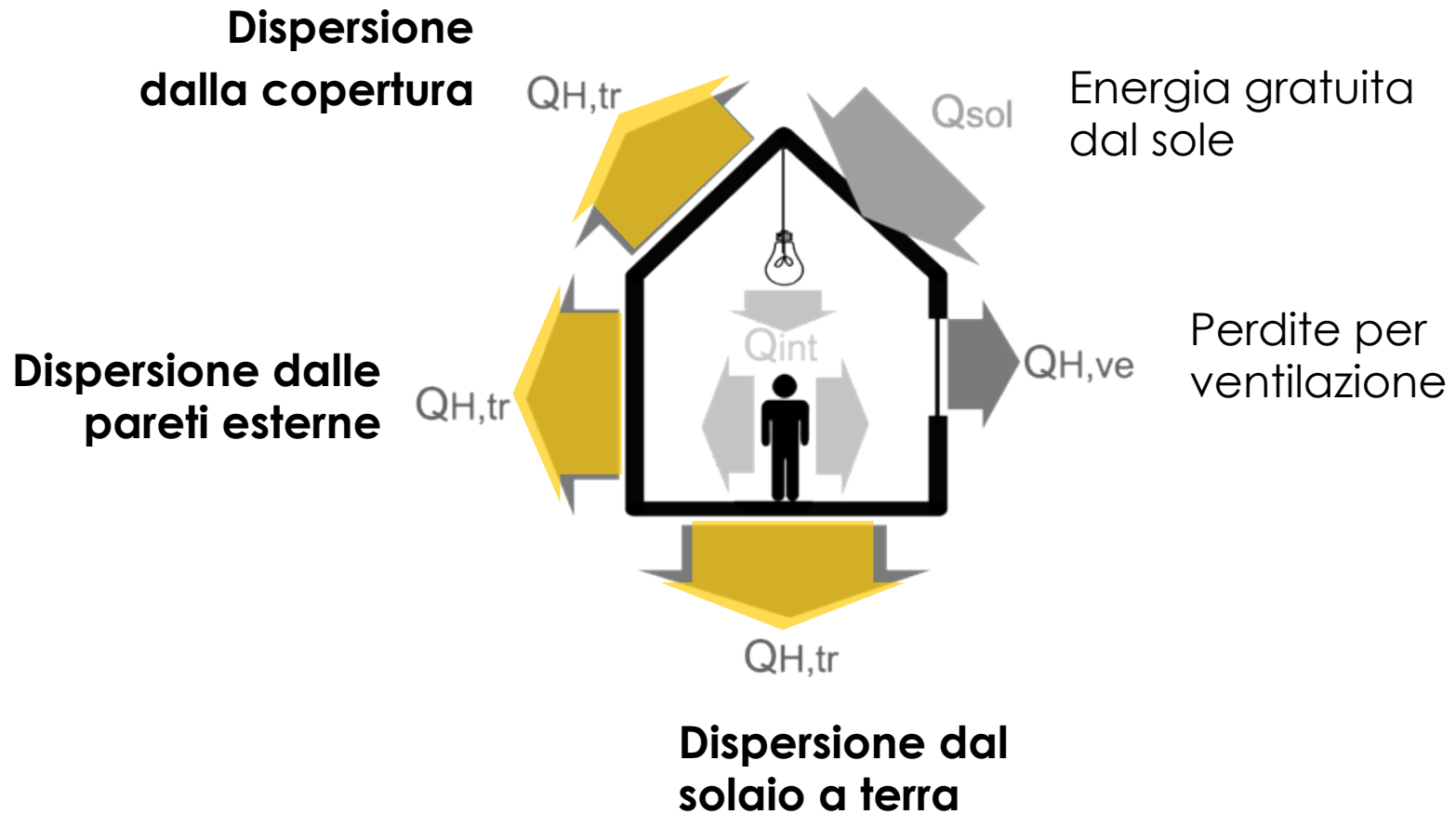
TRASMISSIONE DI CALORE

Irraggiamento

trasferimento di energia per mezzo di radiazioni elettromagnetiche; quindi può avvenire anche in assenza di materia (nel vuoto)



COMPORTAMENTO ENERGETICO DELL'INVOLUCRO



conducibilità termica

La conducibilità o conduttività termica (normalmente indicata con la lettera greca λ) è il

flusso di calore Q (misurato in J/s ovvero W) che attraversa una superficie unitaria A di spessore unitario d sottoposta ad un gradiente termico ΔT di un grado Kelvin (o Celsius).

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{A \cdot \Delta T} \quad [\text{W/m}^\circ\text{K}]$$

Trasmittanza termica

La **trasmittanza termica U** (vedi norma UNI EN ISO 6946) **si definisce come il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad un grado Kelvin (o Celsius)** ed è legata alle caratteristiche del materiale che costituisce la struttura e alle condizioni di scambio termico liminare.

Essa si assume pari all'inverso della sommatoria delle resistenze termiche degli strati che compongono la superficie considerata, ovvero:

$$U = \frac{1}{\sum R_i} \text{ [W/°K]}$$

La **resistenza termica R** è definita come il rapporto tra lo spessore d dello strato considerato e la sua conducibilità termica λ :

$$R = \frac{d}{\lambda} \text{ [°K/W]}$$

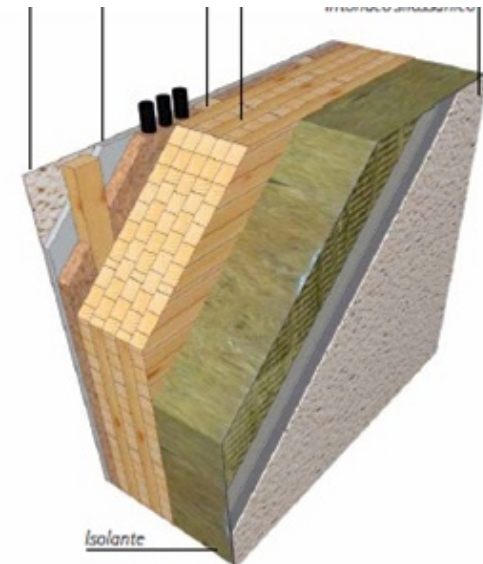
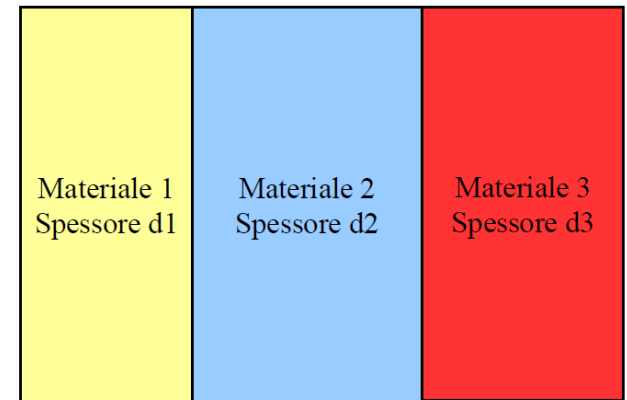
Trasmittanza termica

La resistenza termica di una parete composta da più strati sarà la somma delle resistenze termiche di ciascun strato.

La trasmittanza termica della parete è l'inverso della sua resistenza:

$$U = \frac{1}{\sum R_i} \text{ [W/°K]}$$

$$U = \frac{1}{R_{se} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{si}}$$



NORMA ITALIANA	Materiali e prodotti per edilizia Proprietà igrometriche Valori tabulati di progetto	UNI EN 12524 SETTEMBRE 2001
	Building materials and products Hygrothermal properties Tabulated design values	
CLASSIFICAZIONE ICS	91.100.01; 91.120.10	
SOMMARIO	La norma fornisce valori di progetto sotto forma di tabelle per i calcoli di scambio termico e di vapore, per materiali e prodotti termicamente omogenei comunemente utilizzati nelle costruzioni edilizie. Essa fornisce inoltre valori che permettono il calcolo e la conversione di valori termici di progetto per diverse condizioni ambientali.	
RELAZIONI NAZIONALI		
RELAZIONI INTERNAZIONALI	= EN 12524:2000 La presente norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 12524 (edizione aprile 2000).	
ORGANO COMPETENTE	CTI - Comitato Termotecnico Italiano	
RATIFICA	Presidente dell'UNI, delibera del 16 luglio 2001	

NORMA EUROPEA

Gruppo di un materiale o applicazione	Massa volumica ρ kg/m ³	Conduktività termica di progetto λ W/(m · K)	Capacità termica specifica C_p J/(kg · K)	Fattore di resistenza al vapore d'acqua μ	
				campo secco	campo umido
Intonaci e rivestimenti					
Intonaco isolante di gesso	600	0,18	1 000	10	6
Intonaco di gesso	1 000	0,40	1 000	10	6
"	1 300	0,57	1 000	10	6
Gesso e sabbia	1 600	0,80	1 000	10	6
Calce e sabbia	1 600	0,80	1 000	10	6
Cemento e sabbia	1 800	1,00	1 000	10	6
Terra					
Creta o argilla	1 200 - 1 800	1,5	1 670 - 2 500	50	50
Sabbia e ghiaia	1 700 - 2 200	2,0	910 - 1 180	50	50

UNI 12524:2001

Gruppo di un materiale o applicazione	Massa volumica ρ kg/m ³	Conduktività termica di progetto λ W/(m · K)	Capacità termica specifica C_p J/(kg · K)	Fattore di resistenza al vapore d'acqua μ	
				campo secco	campo umido
Materie plastiche compatte					
Acrilico	1 050	0,20	1 500	10 000	10 000
Policarbonato	1 200	0,20	1 200	5 000	5 000
Politetrafluoroetilene (PTFE)	2 200	0,25	1 000	10 000	10 000
Policloruro di vinile (PVC)	1 390	0,17	900	50 000	50 000
Polimetilmetacrilato (PMMA)	1 180	0,18	1 500	50 000	50 000
Poliacetato	1 410	0,30	1 400	100 000	100 000
Poliammide (nylon)	1 150	0,25	1 600	50 000	50 000
Poliammide 6.6 con 25% di fibra di vetro	1 450	0,30	1 600	50 000	50 000
Polietilene/politene, alta massa volumica	980	0,50	1 800	100 000	100 000
Polietilene/politene, bassa massa volumica	920	0,33	2 200	100 000	100 000
Polistirene	1 050	0,16	1 300	100 000	100 000
Polipropilene	910	0,22	1 800	10 000	10 000
Polipropilene con 25% di fibra di vetro	1 200	0,25	1 800	10 000	10 000
Poliuretano (PU)	1 200	0,25	1 800	6 000	6 000
Resine epossidiche	1 200	0,20	1 400	10 000	10 000
Resine fenoliche	1 300	0,30	1 700	100 000	100 000
Resine poliestere	1 400	0,19	1 200	10 000	10 000

Gruppo di un materiale o applicazione	Massa volumica ρ kg/m ³	Conduktività termica di progetto λ W/(m · K)	Capacità termica specifica C_p J/(kg · K)	Fattore di resistenza al vapore d'acqua μ	
				campo secco	campo umido
Piastrelle (Altro)					
Ceramica/porcellana	2 300	1,3	840		∞
Plastica	1 000	0,20	1 000	10 000	10 000
Legname ^{c)}					
	500	0,13	1 600	50	20
	700	0,18	1 600	200	50
Pannelli a base di legno ^{c)}					
Compensato ^{d)}	300	0,09	1 600	150	50
"	500	0,13	1 600	200	70
"	700	0,17	1 600	220	90
"	1 000	0,24	1 600	250	110
Pannello truciolare con leganti in cemento	1 200	0,23	1 500	50	30
Pannello truciolare	300	0,10	1 700	50	10
"	600	0,14	1 700	50	15
"	900	0,18	1 700	50	20
Tavole a fibre orientate (OSB)	650	0,13	1 700	50	30
Pannelli di fibre, incluso MDF ^{e)}	250	0,07	1 700	5	2
"	400	0,10	1 700	10	5
"	600	0,14	1 700	20	12
"	800	0,18	1 700	30	20

Pannelli da costruzione	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m³)
Cartongesso	0,21	900
P.lli in fibre di legno porosi	0,06	200
semiduri	0,10	650
duri	0,15	1000
P.lli in trucioli in legno con collante	0,16	700
mineralizzati	0,26	1250
P.lli in legno compensato	0,44	600
P.lli in fibrocemento	0,6	2000
P.lli in lana di legno mineralizzato	0,093	400
P.lli in terra cruda	0,14	500
P.lli in canna	0,055	190
P.lli in paglia	0,09	340
P.lli in polistirene con cemento	0,07	140

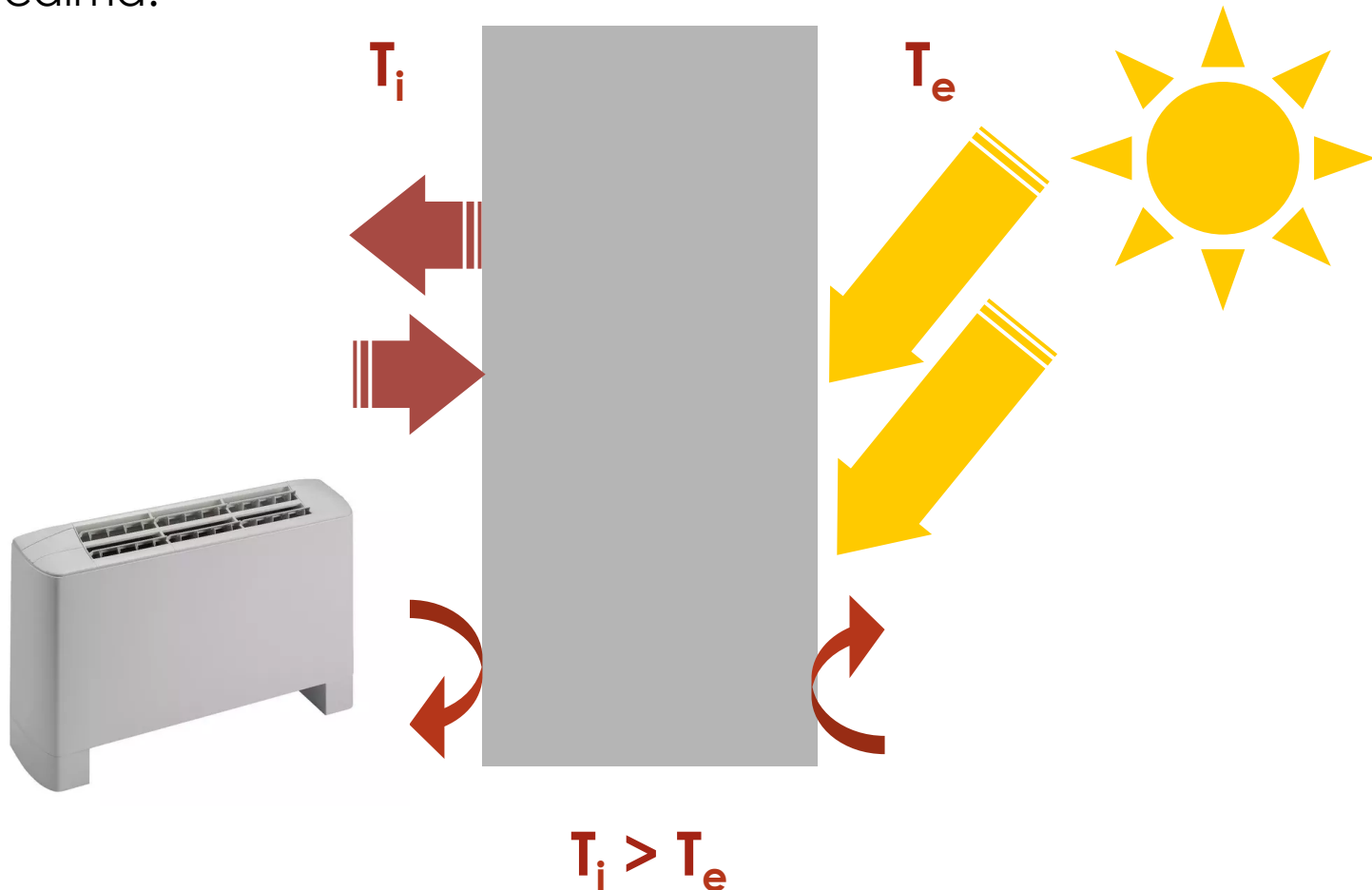
Fonte: Agenzia CasaClima

Materiali isolanti	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m³)
Cotone	0,04	20 - 40
Vermiculite espansa	0,07	90
Argilla espansa	0,09	350
Polietilene espanso in lastre	0,04	30
Polistirene espanso in lastre	0,04	20
Polistirene estruso in lastre	0,035	35
Materassino in lino	0,04	30
Lana di vetro	0,04	20
Canapa	0,045	25
Trucioli di legno	0,05	100
P.Ili extraporosi in fibra di legno (130)	0,04	130
P.Ili porosi in fibra di legno (190)	0,045	190
P.Ili porosi in fibra di legno con bitume oppure lattice	0,06	270
P.Ili in lana di legno mineralizzati	0,093	400
P.Ili di calcio silicato	0,06	250

Fonte: Agenzia CasaClima

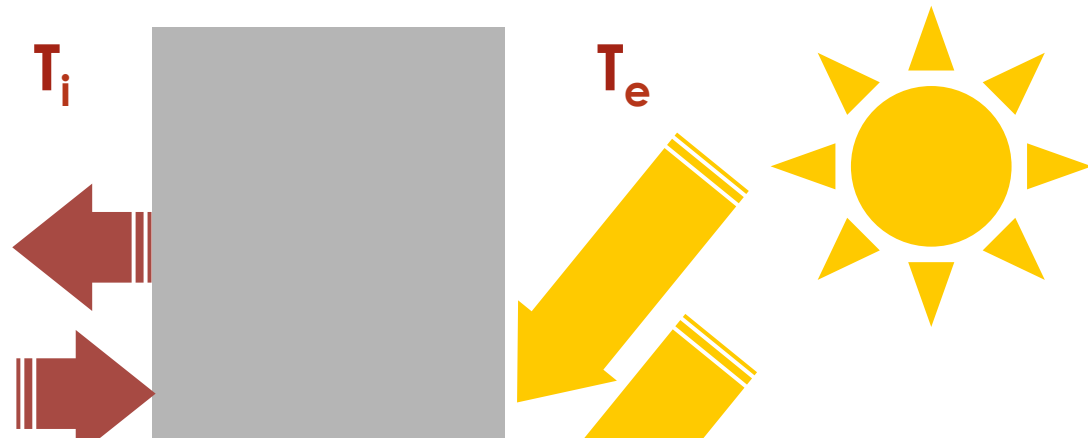
Resistenza termica superficiale ($R_{si} - R_{se}$) [m^2K/W]

Indica l'interazione tra la chiusura e gli scambi superficiali in relazione all'irraggiamento e alla convezione causata da movimenti di aria. La resistenza superficiale è maggiore quando la superficie irradia poco e l'aria è calma.



Resistenza termica superficiale ($R_{si} - R_{se}$) [m^2K/W]

Indica l'interazione tra la chiusura e gli scambi superficiali in relazione all'irraggiamento e alla convezione causata da movimenti di aria. La resistenza superficiale è maggiore quando la superficie irradia poco e l'aria è calma.



La resistenza dipende da diversi fattori:

ambientali, perché è differente se l'ambiente è confinato o no;

morfologiche, perché è differente se la superficie di contatto con l'elemento è piana o no;

tecniche, perché varia in funzione dell'emissività della superficie

Resistenza termica superficiale ($R_{si} - R_{se}$) [m^2K/W]

	Parete a contatto con l'esterno			Parete a contatto con locale chiuso		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente	Ascendente	Orizzontale	Discendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04	0,10	0,13	0,17

I valori riportati sotto "orizzontale" si applicano a flussi termici inclinati fino a $\pm 30^\circ$ sul piano orizzontale.

Pubblicato	In vigore	Documento
4 gen 2002	4 gen 2002	<u>Direttiva 2002/91/CE</u> del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia. La direttiva detta la linea sulle nuove disposizioni in materia di efficienza energetica del sistema edificio-impianto che ogni Stato membro della Comunità Europea deve introdurre a livello nazionale entro il 4 gennaio 2006.
7 ott 2005	8 ott 2005	<u>DLgs 192/2005</u> "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico in edilizia". Con questo documento la Repubblica Italiana introduce le nuove disposizioni europee all'interno dei regolamenti nazionali. Molti aspetti vengono però demandati a futuri decreti attuativi.
1 feb 2007	2 feb 2007	<u>DLgs 311/06</u> "Disposizioni correttive ed integrative al DLgs 192/05, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia". Il decreto modifica e integra il testo del DLgs 192/05.
3 lug 2008	4 lug 2008	<u>DLgs 115/2008</u> "Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE". Il decreto introduce in Allegato III la definizione del "soggetto certificatore" valida a livello nazionale e l'obbligo di validazione dei software commerciali.
10 giu 2009	25 giu 2009	<u>DPR 59/09</u> "Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del DLgs 192/05 concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia".



Dir.europea

Recepimento
Dir.europea

		Il documento è il primo dei decreti attuativi del DLgs 192/05 che introduce un nuovo quadro di disposizioni obbligatorie in sostituzione alle indicazioni "transitorie" dell'Allegato I del DLgs 192/05.
10 lug 2009	11 lug 2009	<u>DM 26/6/09</u> "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici". Il decreto attuativo del DLgs 192/05 definisce le metodologie per la predisposizione dell'Attestato di certificazione energetica.
18 giu 2010	9 lug 2010	<u>Direttiva 2010/31/UE</u> del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (refusione). La direttiva aggiorna e integra i contenuti della Direttiva 2002/91/CE (che viene abrogata con effetto dal 1 febbraio 2012) obbligando gli Stati membri ad aggiornare i propri recepimenti nazionali.
28 mar 2011	29 mar 2011	<u>DLgs 28/2011</u> "Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE". Il documento modifica le regole sugli obblighi previsti per la copertura energetica da fonti rinnovabili (Art.11 e All.3) e per la certificazione energetica in sede di compravendita e locazione (Art. 13).
13 dic 2012	28 dic 2012	<u>DM 22/11/12</u> "Modifica del decreto 26 giugno 2009, recante: «Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici»". Il decreto modifica le Linee Guida Nazionali e in particolare annulla la possibilità di autodichiarare l'edificio in classe G.
25 gen 2013	26 gen 2013	<u>DM 22/11/12</u> "Modifica dell'Allegato A del DLgs 192/05 recante attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia". Il decreto modifica l'Allegato A del DLgs 192/2005 "Ulteriori definizioni".



Dir.europea

5 giu 2013	6 giu 2013	<u>DL 63/2013</u> "Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale". Con il Decreto viene recepita la Direttiva Europea 31/2010/UE. Il documento contiene le modifiche all DLgs 192/05 e la proroga degli incentivi fiscali.
27 giu 2013	28 giu 2013	<u>DPR 74/13</u> "Regolamento recante definizione dei criteri generali in materia di esercizio, conduzione, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, a norma dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e c), del DLgs 192/05"
27 giu 2013	12 lug 2013	<u>DPR 75/13</u> "Regolamento recante disciplina dei criteri di accreditamento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti e degli organismi a cui affidare la certificazione energetica degli edifici, a norma dell'articolo 4, comma 1, lettera c), del DLgs 192/05"
3 ago 2013	4 ago 2013	<u>Legge 90/13</u> "Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63"
15 lug 2015	1 ott 2015	<u>DM 26/6/15</u> " Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici"

Recepimento
Dir.europea

UNIONE EUROPEA  **Direttiva 2002/91/CE**
"Rendimento energetico nell'edilizia"
detta anche EPBD
Energy Performance Buildings Directive

 **ITALIA**  **DLgs 192/05**

UNIONE EUROPEA  **Direttiva 2010/31/UE**
EPBD2, in vigore dal 9 luglio 2010

 **ITALIA**  **D.L. 63/13**
convertito in legge il
3 agosto 2013 dalla
Legge 90/13



L'ultimo atto dell'evoluzione legislativa nazionale riguarda la pubblicazione a luglio 2015 del decreto attuativo della Legge 90/13

Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015.

Valori secondo normativa vigente

(DM 26/6/15 “ Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”) per strutture opache verticali e orizzontali o inclinate

TABELLA 1 (Appendice A)

Trasmittanza termica U di riferimento delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non riscaldati o contro terra

Zona climatica	U_{ref} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,45	0,43
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

TABELLA 2 (Appendice A)

Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non riscaldati

Zona climatica	U_{ref} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,38	0,35
C	0,36	0,33
D	0,30	0,26
E	0,25	0,22
F	0,23	0,20

Valori secondo normativa vigente

(DM 26/6/15 “ Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”)
per strutture opache verticali e orizzontali o inclinate

TABELLA 3 (Appendice A)

Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non riscaldati o contro terra

Zona climatica	U_{inf} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,46	0,44
C	0,40	0,38
D	0,32	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

TABELLA 4 (Appendice A)

Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e ambienti non riscaldati

Zona climatica	U_{inf} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	3,20	3,00
C	2,40	2,20
D	2,00	1,80
E	1,80	1,40
F	1,50	1,10

TABELLA 5 (Appendice A)

Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti

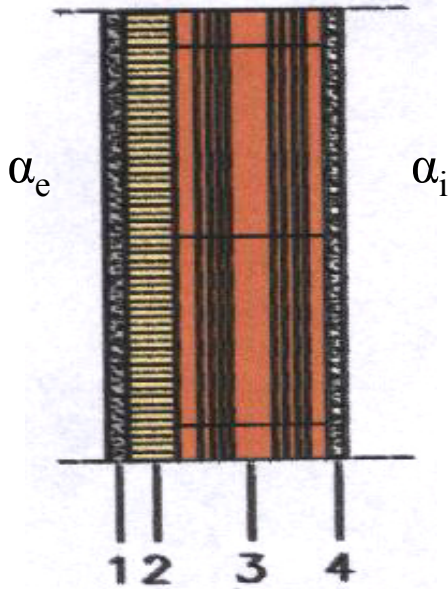
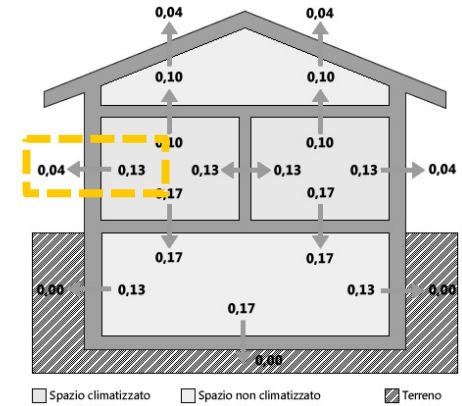
Zona climatica	U_{inf} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
Tutte	0,8	0,8

TABELLA 6 (Appendice A)

Valore del fattore di trasmissione solare totale g_{g+sh} per componenti finestrati con orientamento da Est a Ovest passando per Sud

Zona climatica	g_{g+sh} [-]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
Tutte	0,35	0,35

ESEMPIO: POROTON + CAPPOTTO ISOLANTE



Stratigrafia partizione verticale

$$R_e = 0,04$$

1 Intonaco esterno spessore 0,015 m $\lambda = 0,9 \text{ W/mK}$

2 Isolamento con cappotto esterno spessore 0,10 $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$

3 Laterizio porizzato spessore 0,30 m $\lambda = 0,257 \text{ W/mK}$

4 Intonaco interno spessore 0,015 m $\lambda = 0,9 \text{ W/mK}$

$$R_i = 0,13$$

1

$$U = \frac{1}{0,04 + 0,01(0,015/0,9) + 2,5(0,10/0,04) + 1,16(0,30/0,257) + 0,01(0,015/0,9) + 0,13} =$$

$$U = \frac{1}{3,85} = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

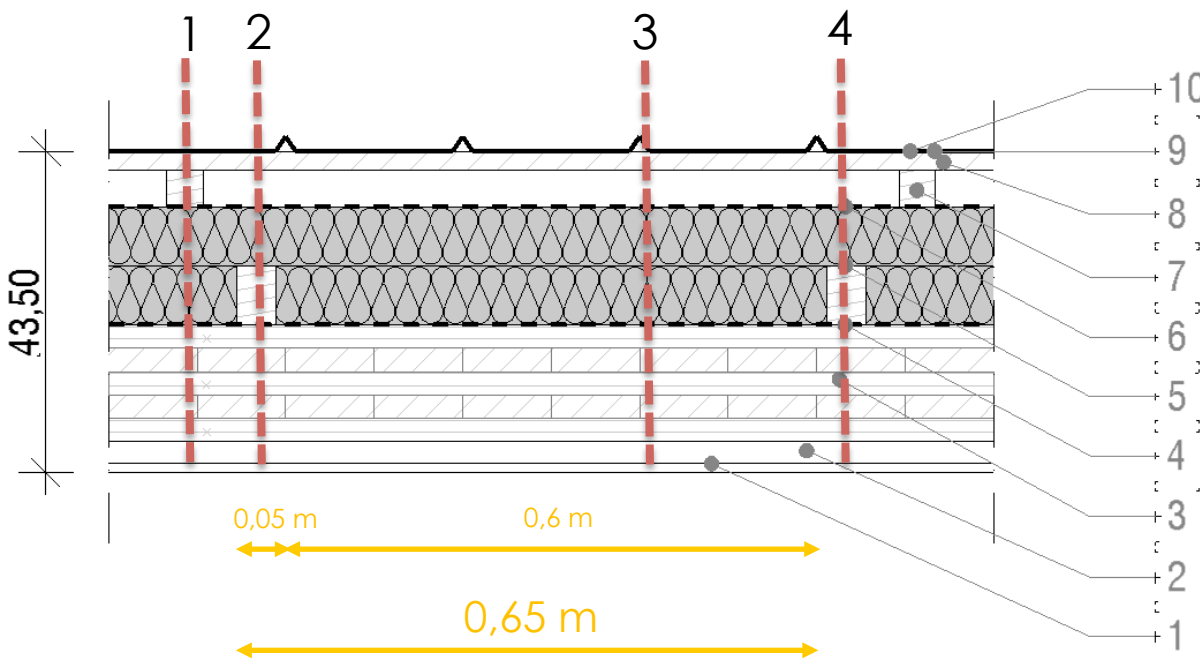
Valore ammissibile in quanto inferiore al massimo consentito in zona climatica E

Calcolo della trasmittanza termica

1. Tutti gli **strati sottili** (freni/barriere al vapore, telo antivento, guaine impermeabilizzanti, ecc.) hanno spessori talmente irrisori da non modificare sostanzialmente la trasmittanza termica e, pertanto, non vanno considerati
2. Ogni volta che è presente un'**intercapedine ventilata**, il conteggio degli strati si ferma allo strato precedente all'intercapedine
3. Se nell'intercapedine c'è **aria ferma**, lo strato va conteggiato nel totale, con la relativa conducibilità termica
4. Le **coperture a falda** vanno considerate nella sezione perpendicolare alla pendenza e non in proiezione orizzontale
5. Ogni volta che ci sono delle **listellature** di compartimentazione dell'isolante, la trasmittanza finale della chiusura è pari alla media ponderata delle trasmittanze di tutte le sezioni con differente resistenza

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

1) Chiusura inclinata superiore con isolamento sopra l'orditura principale

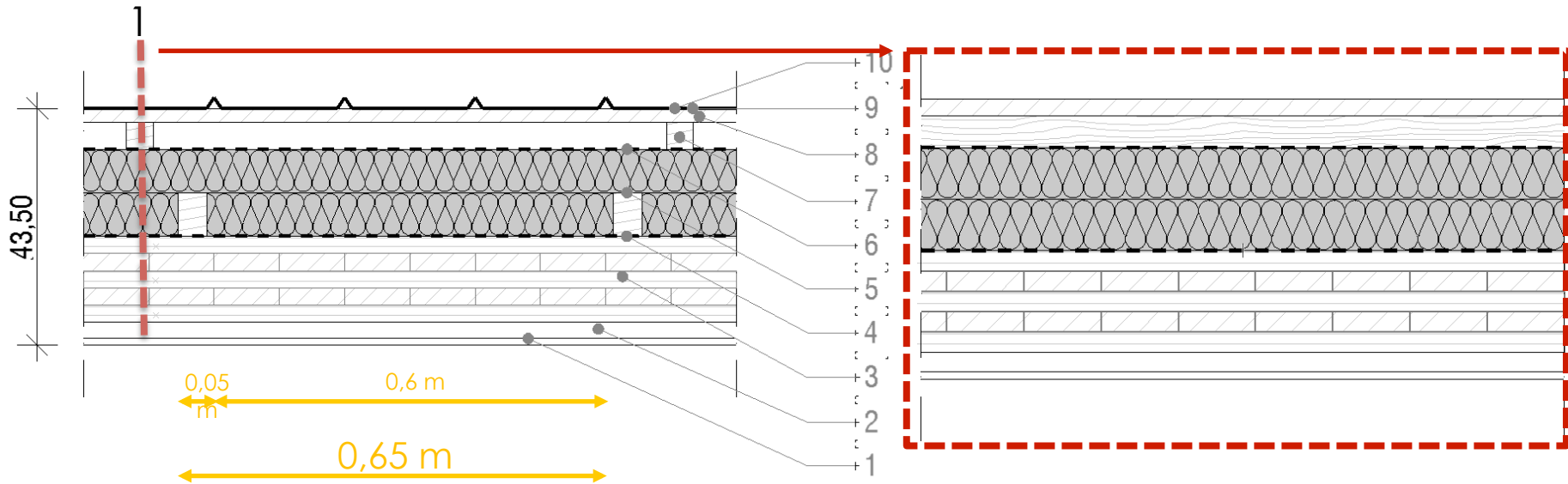


1. Pannello in cartongesso, 1,5 cm
2. Intercapedine impiantistica su supporto di montanti in alluminio, 3 cm
3. Pannello in legno lamellare multistrato (tipo x-lam), 14 cm
4. Barriera al vapore
5. Isolante termico, 8+8 cm con listelli 5x8
6. telo antivento
7. Intercapedine ventilata con listellatura per pendenza, 5 x 5 cm variabili
8. Pannello OSB, 2,5 cm
9. Guaina impermeabilizzante
10. Manto di copertura in lamiera metallica

Reperire di ogni materiale/stratigrafia i valori di λ e relativo spessore in metri.

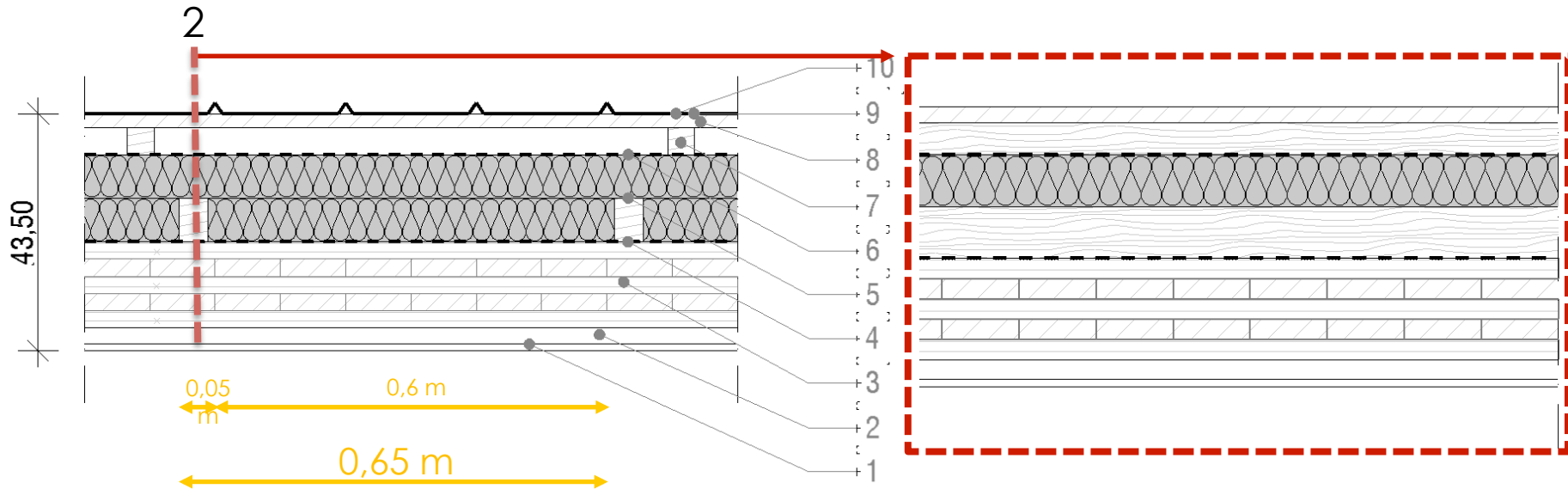
Calcolare quindi la resistenza termica R di ogni strato: $R = s / \lambda$

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure



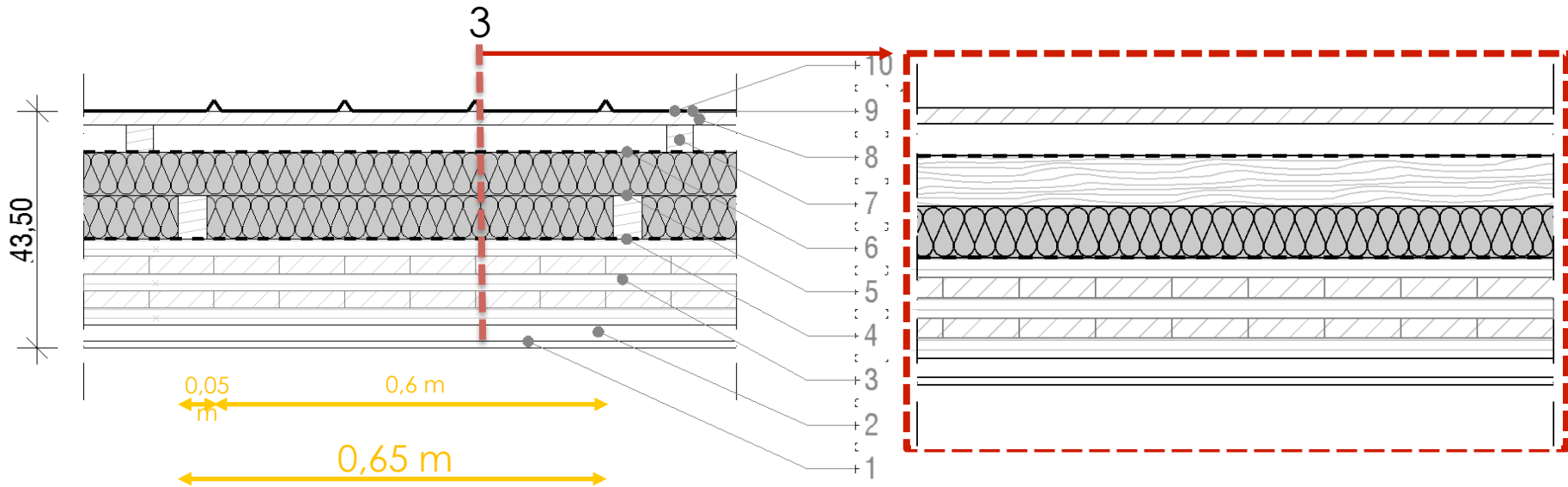
$$R_1 = 0,13 + \frac{0,015}{0,21} + \frac{0,14}{0,12} + \frac{0,08}{0,04} + \frac{0,08}{0,04} + 0,04 = 5,40 \text{ m}^2\text{K/W} > U_1 = 1/R_1 = \mathbf{0,18 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure



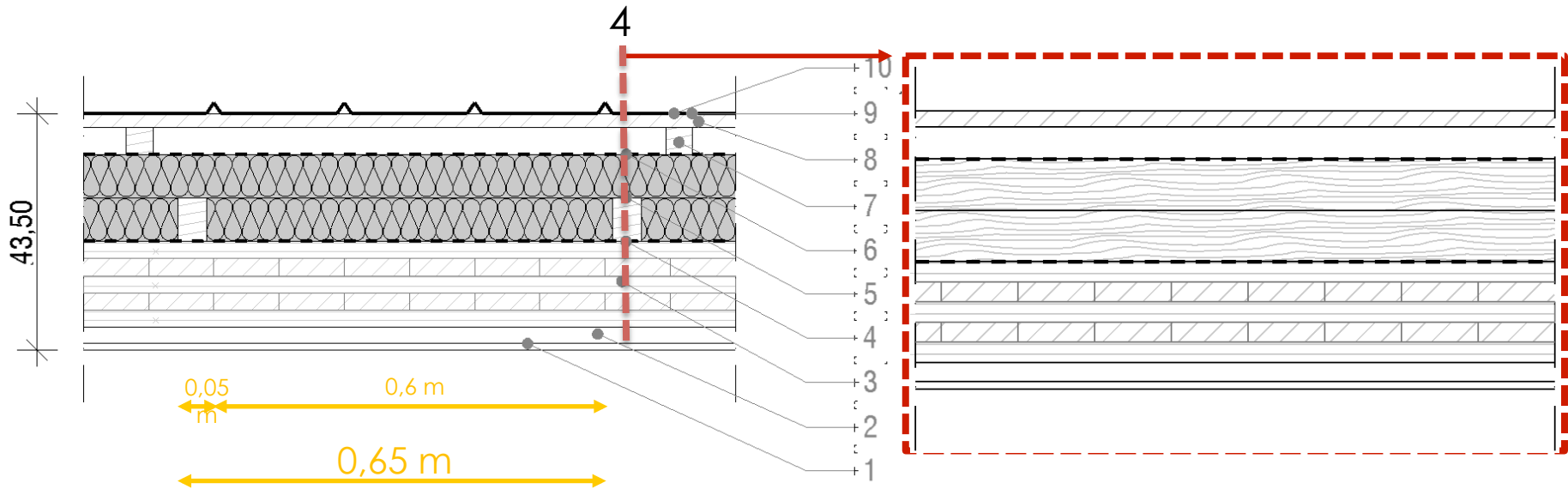
$$R_2 = 0,13 + \frac{0,015}{0,21} + \frac{0,14}{0,12} + \frac{0,08}{0,04} + \frac{0,08}{0,13} + 0,04 = 4,01 \text{ m}^2\text{K/W} > U_2 = 1/R_1 = \mathbf{0,24 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure



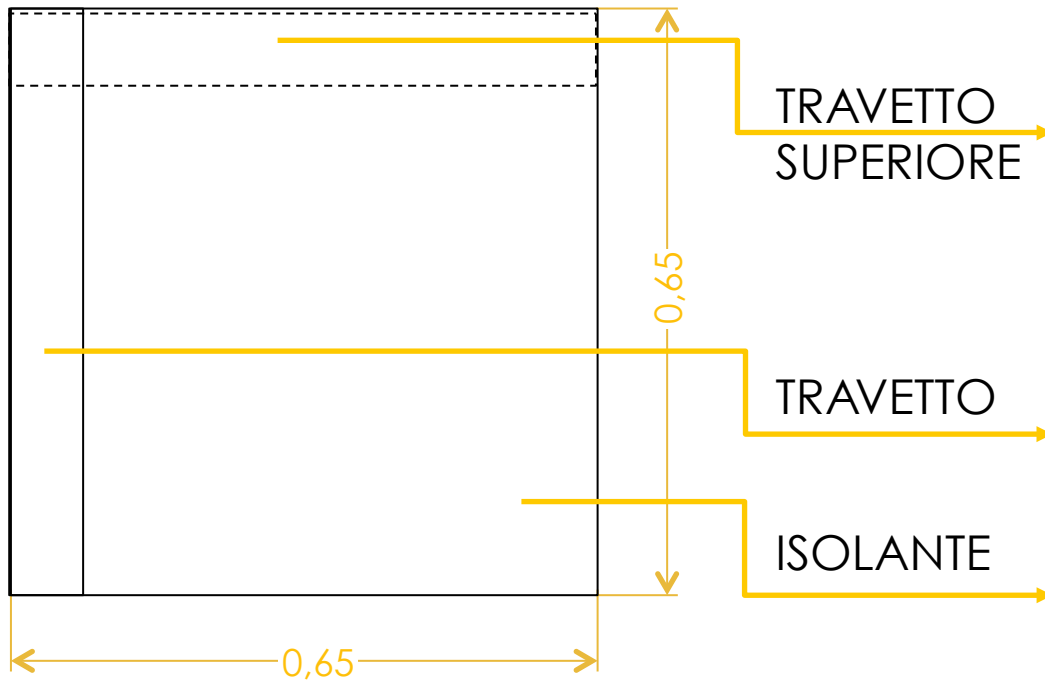
$$R_3 = 0,13 + \frac{0,015}{0,21} + \frac{0,14}{0,12} + \frac{0,08}{0,13} + \frac{0,08}{0,04} + 0,04 = 4,01 \text{ m}^2\text{K/W} > U_3 = 1/R_1 = \mathbf{0,24 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure



$$R_4 = 0,13 + \frac{0,015}{0,21} + \frac{0,14}{0,12} + \frac{0,08}{0,13} + \frac{0,08}{0,13} + 0,04 = 2,49 \text{ m}^2\text{K/W} > U_4 = 1/R_1 = \mathbf{0,40 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure



Sezione totale interessata:
 $0,65 \times 0,65 = 0,42 \text{ m}^2$

Sezione 1: $0,60 \times 0,60 = 0,36 \text{ m}^2 > 85,71\%$ ($0,36 : 0,42 = x : 100 > 36/0,42 = 85,71$)

Sezione 2: $0,05 \times 0,60 = 0,03 \text{ m}^2 > 7,14\%$ ($0,03 : 0,42 = x : 100 > 3/0,42 = 7,14$)

Sezione 3: $0,05 \times 0,60 = 0,03 \text{ m}^2 > 7,14\%$ ($0,03 : 0,42 = x : 100 > 3/0,42 = 7,14$)

Sezione 4: $0,05 \times 0,05 = 0,0025 \text{ m}^2 > 0,59\%$ ($0,0025 : 0,42 = x : 100 > 0,25/0,42 = 0,59$)

$(85,71 + 7,14 + 7,14 + 0,59 = 100!!)$

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

PERCORSO A

Pondero la trasmittanza

$$U_1 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_2 = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_3 = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_4 = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Sezione 1: 85,71%

Sezione 2: 7,14%

Sezione 3: 7,14%

Sezione 4: 0,59%

CALCOLO DELLA TRASMITTANZA DEL PACCHETTO PONDERATA

$$U_p = \frac{(0,18 \times 85,71) + (0,24 \times 7,14) + (0,24 \times 7,14) + (0,40 \times 0,59)}{100} = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

PERCORSO B (alternativa)

Pondero le Resistenze

$$R_1 = 5,40 \text{ W/m}^2\text{K} > \frac{5,40 \times 85,71}{100} = 4,62 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_2 = 4,01 \text{ W/m}^2\text{K} > \frac{4,01 \times 7,14}{100} = 0,286 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_3 = 4,01 \text{ W/m}^2\text{K} > \frac{4,01 \times 7,14}{100} = 0,286 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_4 = 2,49 \text{ W/m}^2\text{K} > \frac{2,49 \times 0,59}{100} = 0,0146 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Sezione 1: 85,71%

Sezione 2: 7,14%

Sezione 3: 7,14%

Sezione 4: 0,59%

CALCOLO DELLA TRASMITTANZA DEL PACCHETTO PONDERATA

$$U_P = \frac{1}{4,62 + 0,286 + 0,286 + 0,0171} = 1/5,20 \text{ W/m}^2\text{K} = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Capacità termica [kg/m²]

La **capacità termica** di un materiale descrive la sua attitudine ad accumulare calore che successivamente viene riceduto all'ambiente.

Tanto più la capacità termica è elevata tanto meno cambiano le temperature dell'ambiente interno al variare delle temperature esterne.

La capacità termica di un corpo di massa m rappresenta il calore necessario per fare variare di un grado la temperatura dello stesso. A parità di calore specifico, maggiore è la massa di un corpo e maggiore sarà la sua capacità termica.

$$C = m \times c$$

c = calore specifico unitario [J/kgK]

m = massa unitaria [kg]

Capacità termica [kg/m²]

È la massa per unità di superficie delle pareti opache

Rappresenta il parametro principale che **caratterizza il comportamento dinamico della parete in relazione allo sfasamento dell'onda termica** dovuta agli apporti termici solari e all'irraggiamento termico.

Gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto di **adeguati valori di massa superficiale** delle pareti opache possono essere raggiunti, in alternativa, con l'utilizzo di tecniche e materiali, anche innovativi, che permettono di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare.

Capacità termica [kg/m²]



PHASE CHANGE MATERIALS (PCM)



I PCM («Phase changing material»), **materiali a cambiamento di fase**) sono accumulatori di calore intelligenti che sfruttano il fenomeno fisico della transazione di fase per assorbire i flussi energetici termici latenti e immagazzinare un'elevata quantità di energia, mantenendo costante la propria temperatura e restituendo il calore all'esterno durante un abbassamento successivo di temperatura.

Atelier 2

E3 Edificio, Colognola (BG)



Atelier 2
E3 Edificio, Colognola (BG)



GLASSX – GLASSX INDUSTRIES



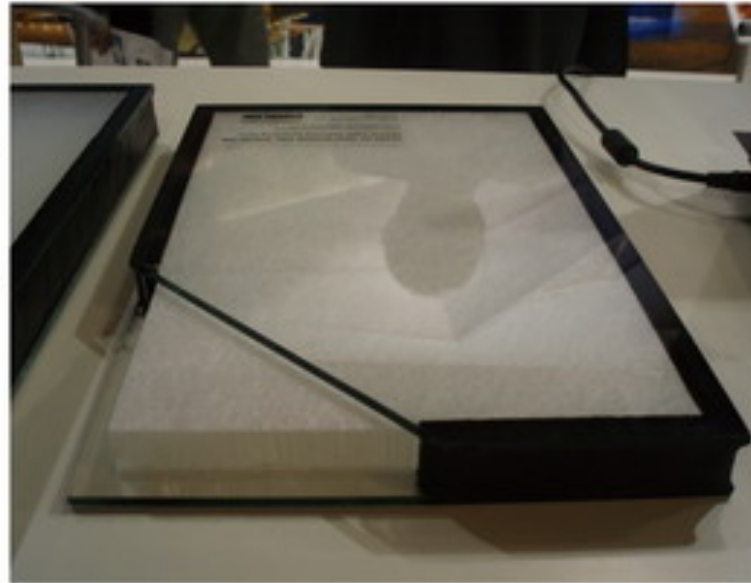
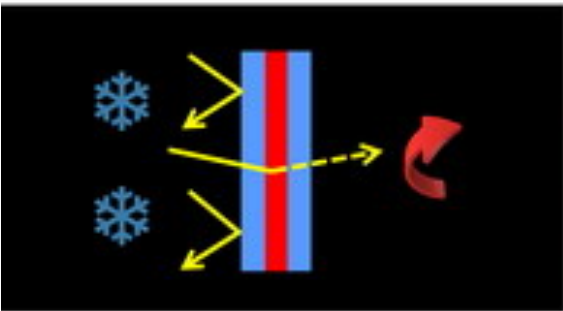
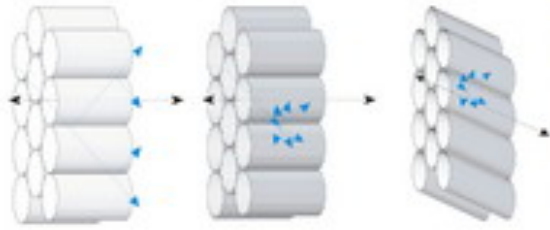
GLASSX – GLASSX INDUSTRIES



Sistema di facciata pluristrato in vetro contenente pannelli Pcm (sali idrati), GlassX è prodotto dall'omonima azienda svizzera

è composto da vetro di sicurezza esterno da 6 mm, camera d'aria con pannelli frangisole e gas nobile 20 mm, vetro di sicurezza bassoemissivo da 6 mm, intercapedine con gas nobile 20 mm, vetro di sicurezza bassoemissivo 6 mm, intercapedine con pannelli a cambiamento di fase 24 mm, vetro di sicurezza che può essere serigrafato con materiale ceramico in base alle esigenze.

GLASSX – GLASSX INDUSTRIES



Dietrich Schwarz

Residenza per anziani, Domat/Ems, Svizzera



Dietrich Schwarz

Residenza per anziani, Domat/Ems, Svizzera



Dietrich Schwarz

Residenza per anziani, Domat/Ems, Svizzera



Dietrich Schwarz

Residenza per anziani, Domat/Ems, Svizzera



Inerzia termica

L'inerzia termica definisce il comportamento di un edificio in regime di scambi di calore variabili.

Questa condizione è determinata da fluttuazioni:

- Della temperatura esterna (nel corso della giornata, ad esempio);
- Dalla temperatura interna (apertura o chiusura degli infissi durante la giornata);
- Della temperatura di regime interna;
- Degli apporti interni (cottura, elettrodomestici)
- Dall'irraggiamento (variazione giorno/notte, posizione del sole, nuvolosità passeggera)

Inerzia termica

L'inerzia termica descrive la reazione alle oscillazioni dello scambio di calore

- **Se l'inerzia termica è alta, l'ambiente interno rimane prossimo alla condizione di stato stazionario;**
- **Se l'inerzia termica è bassa, l'interno varia con la variazione degli scambi.**

L'inerzia termica dipende:

- **Dai materiali che costituiscono l'involucro e dalla loro successione stratigrafica**
- **Dal peso dei solai e delle partizioni interne a contatto con l'aria interna**

Inerzia termica

Nelle condizioni naturali, la temperatura dell'ambiente esterno varia durante la giornata e questa variazione è spesso più sensibile nella stagione estiva che in quella invernale. Di conseguenza **è errato, o quanto meno insufficiente, basare i ragionamenti in materia di isolamento esclusivamente sulla trasmittanza U.**

Il termine inerzia termica è utilizzato dunque per descrivere la capacità di un materiale o di una struttura edilizia di immagazzinare energia termica e di ritardare la trasmissione del calore. Essa è dunque funzione **del calore specifico (c)**, della **massa superficiale (m_s)** e della **conducibilità termica (λ)** di un materiale.

I **benefici** dell'inerzia termica sono:

- Ridurre il surriscaldamento in estate ed evitare o diminuire il bisogno di raffrescamento attraverso dispositivi meccanici
- Beneficiare degli apporti solari in inverno, soprattutto nel caso di uso continuativo dei locali.

Inerzia termica

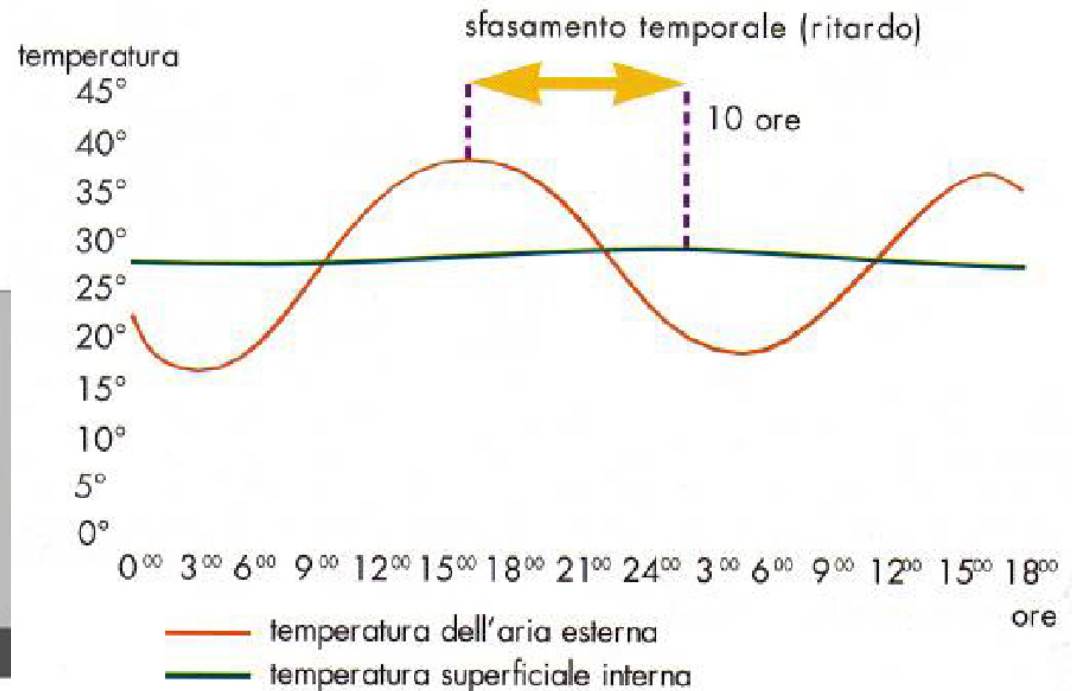
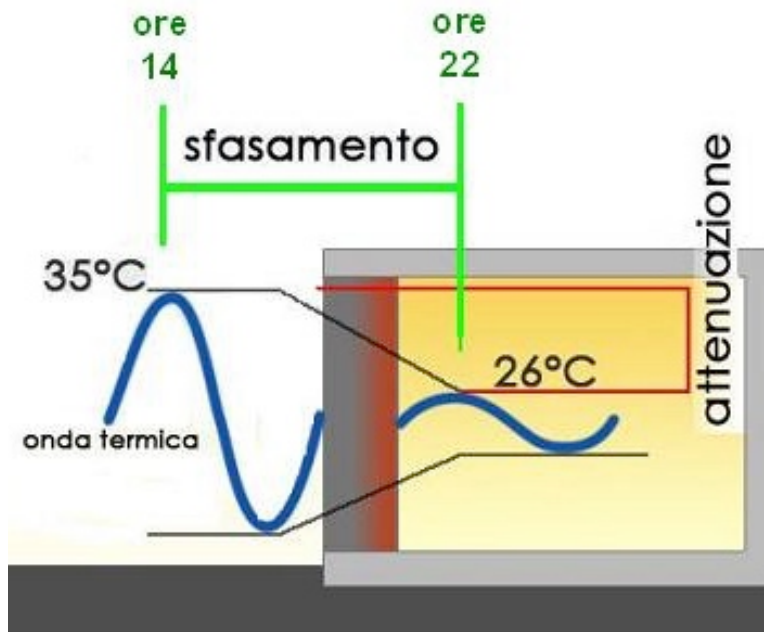
L'inerzia termica di una parete è misurabile attraverso due grandezze che descrivono l'onda termica:

- Lo **SFASAMENTO** (S o Δt), che rappresenta il ritardo temporale dell'onda termica nel passaggio attraverso la struttura in esame e legato alla capacità termica della stessa **[ore]**
- L'**ATTENUAZIONE** o **fattore di decremento** o, **più comunemente, smorzamento** (f_a), che qualifica la riduzione di ampiezza dell'onda termica nel passaggio attraverso la struttura in esame e legato alla conducibilità della stessa **[numero adimensionale inferiore a 1 dato dal rapporto tra il massimo flusso della parete in esame e il massimo flusso di una parete a massa termica nulla]**; minore è il valore del fattore di attenuazione e maggiore è la riduzione del flusso termico entrante.

Sfasamento dell'onda termica (ϕ o Δt) [ore o secondi]

Rappresenta il ritardo con cui si rilevano i massimi e i minimi dell'oscillazione termica sulla superficie interna degli elementi costruttivi rispetto a quelli che si verificano sulla superficie esterna.

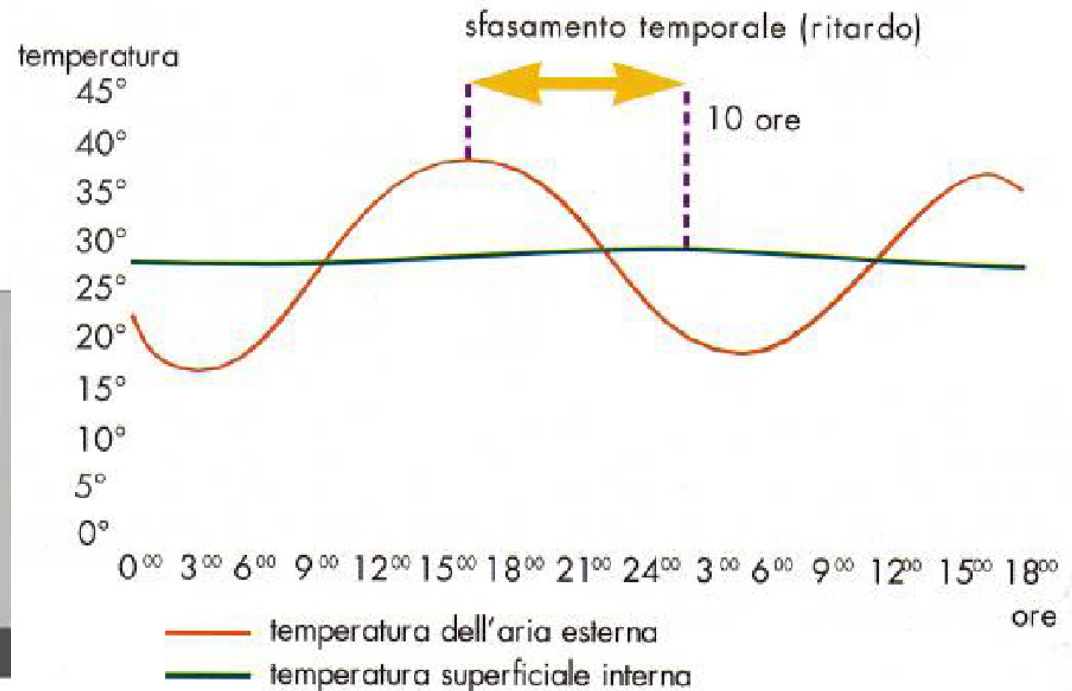
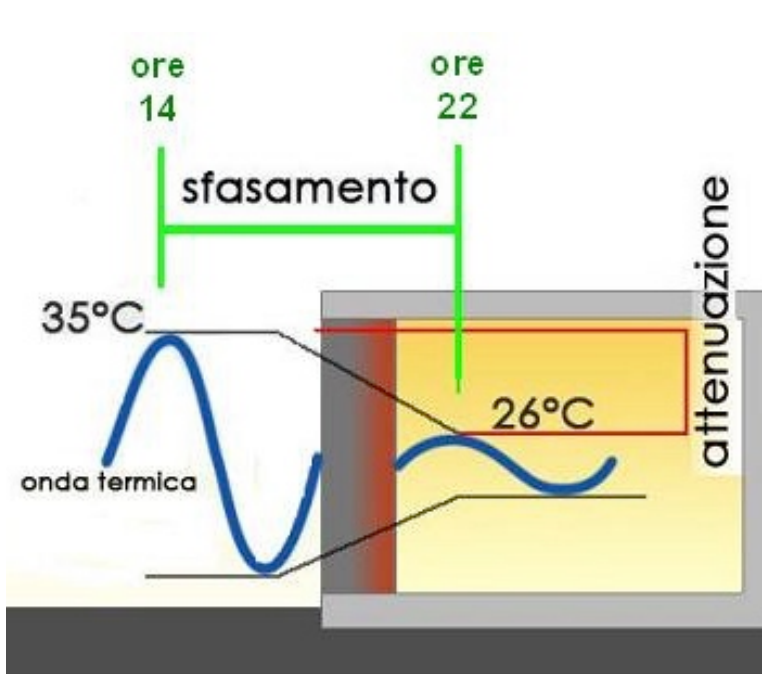
Tanto maggiore è il valore e tanto maggiore è il tempo necessario al flusso di calore per giungere dall'esterno all'interno del fabbricato. Quindi, maggiore è lo sfasamento e maggiore è la protezione termica estiva del fabbricato.



Attenuazione dell'onda termica (fa) [adimensionale]

Rappresenta il rapporto tra la massima ampiezza di oscillazione della temperatura che si rileva sulla superficie interna degli elementi che delimitano gli ambienti e la massima ampiezza di oscillazione della temperatura che si rileva sulla superficie esterna.

Tanto più piccolo è il rapporto, tanto più è consistente la capacità degli elementi di attutire gli sbalzi della temperatura esterna e di mantenere all'interno temperature il più possibile costanti.



Valori secondo normativa vigente

(DM 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici)

Il parametro che valuta la capacità di una parete di sfasare e attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore è chiamato **trasmissione termica periodica (YIE)** [W/m²K]

Sfasamento (h)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità prestazionale
$S > 12$	$F_a < 0,15$	Ottime	I
$12 \geq S > 10$	$0,15 \leq F_a < 0,30$	Buone	II
$10 \geq S > 8$	$0,30 \leq F_a < 0,40$	Medie	III
$8 \geq S > 6$	$0,40 \leq F_a < 0,60$	Sufficienti	IV
$S \geq 6$	$F_a \leq 0,60$	Mediocri	V

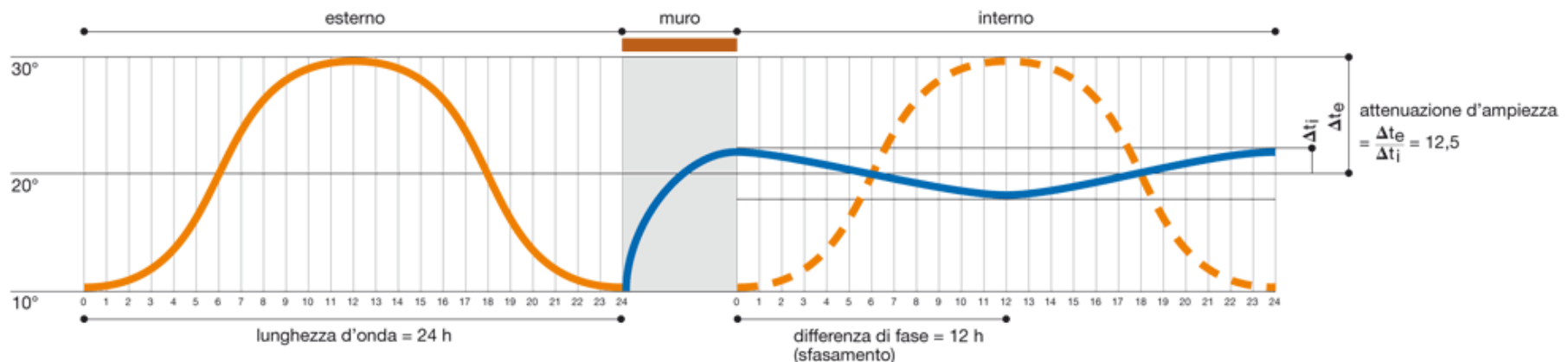
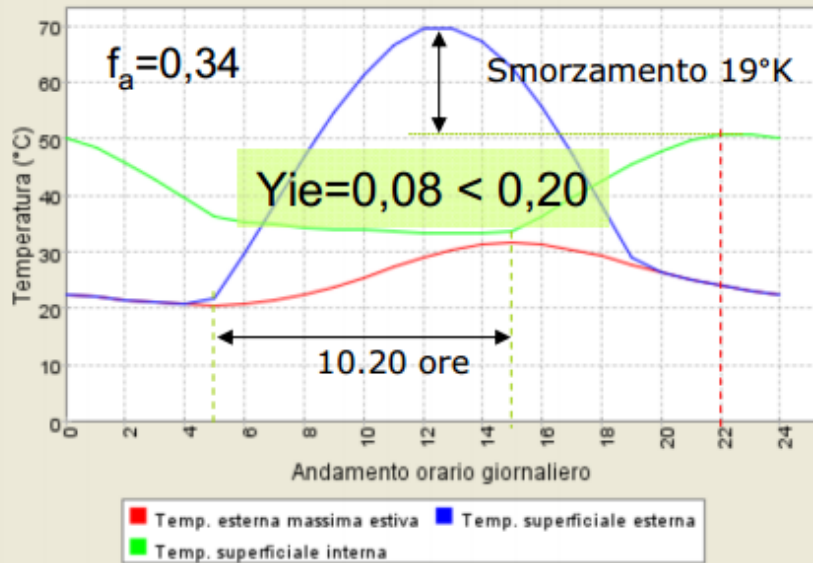


Grafico andamento temperatura

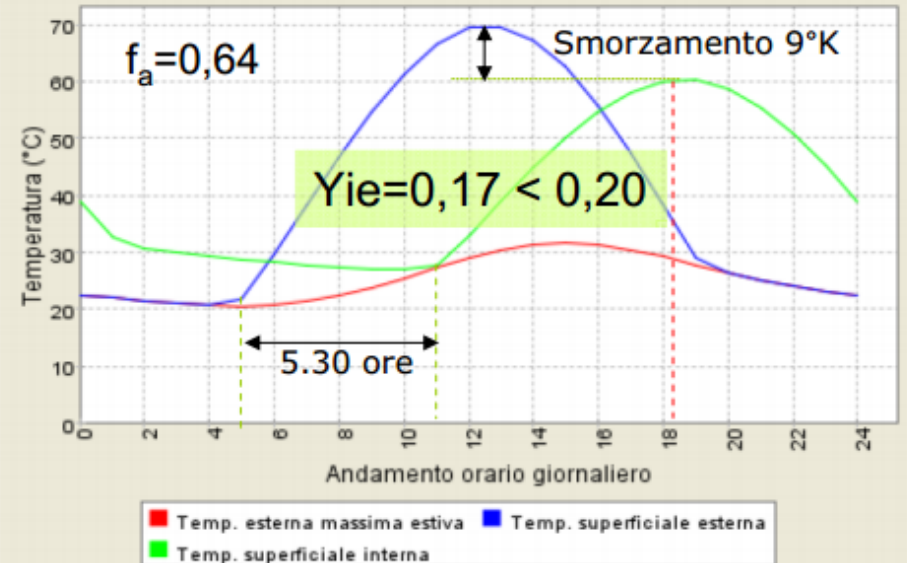
Andamento della temperatura



Sfasamento termico di una copertura lignea isolata con 14 cm di **fibra di legno**:
sfasamento 10.20 ore - $U= 0,26W/°K$

Grafico andamento temperatura

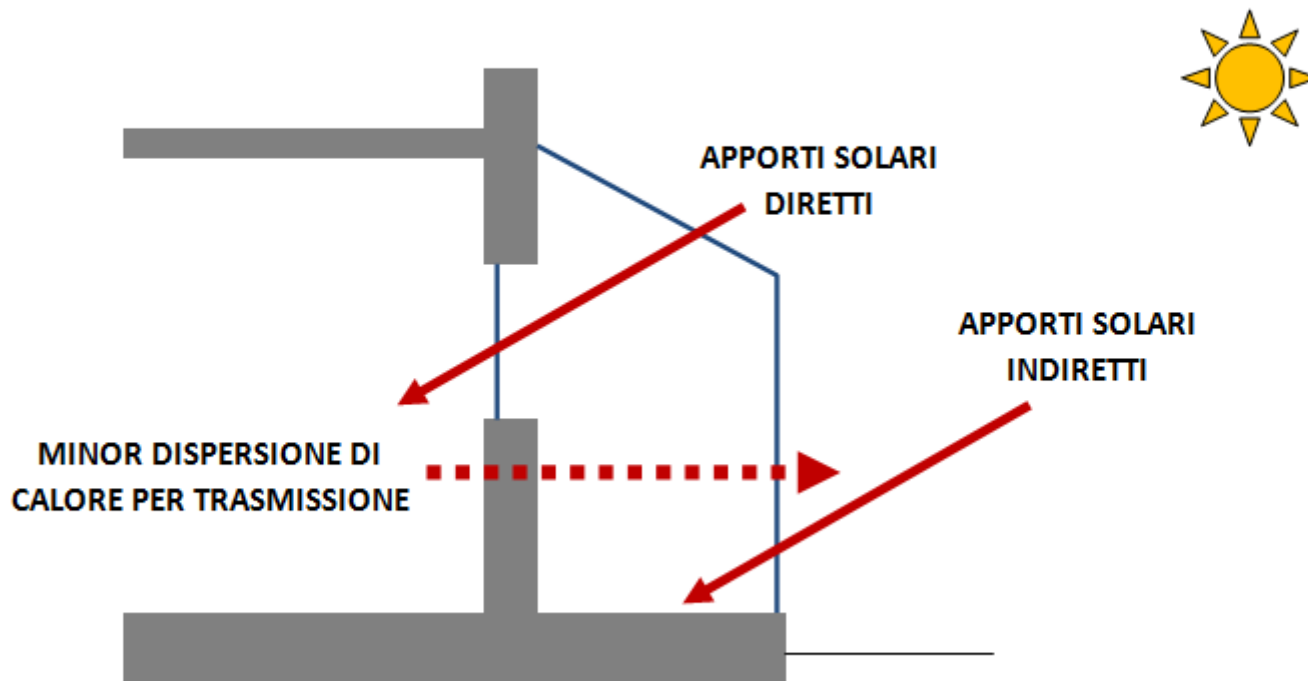
Andamento della temperatura



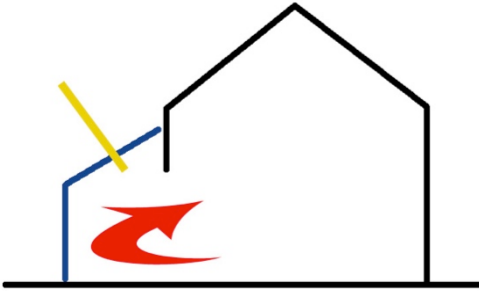
Sfasamento termico di una copertura lignea isolata con 14 cm di **lana di vetro**:
sfasamento 5.30 ore - $U= 0,26W/°K$

SERRA SOLARE

- Una serra solare è un elemento addossato all'edificio costituito da una serra vera e propria che coadiuva il riscaldamento degli edifici attraverso la radiazione solare.

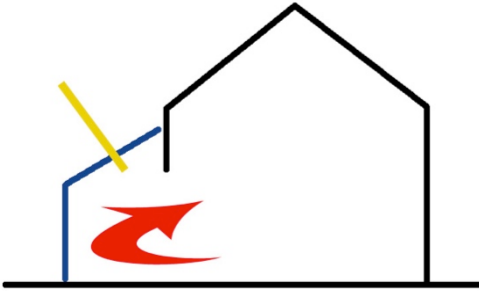


SERRA SOLARE

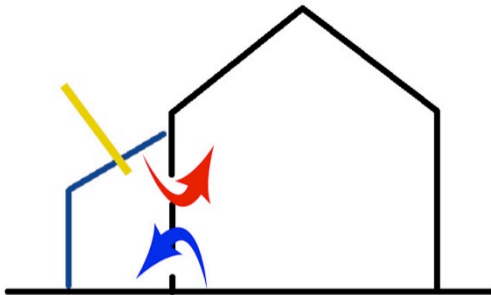


SERRA A GUADAGNO DIRETTO

SERRA SOLARE

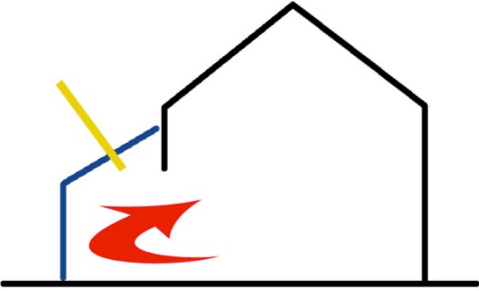


SERRA A GUADAGNO DIRETTO

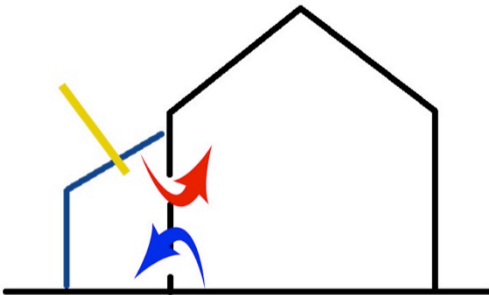


SERRA A GUADAGNO CONVETTIVO

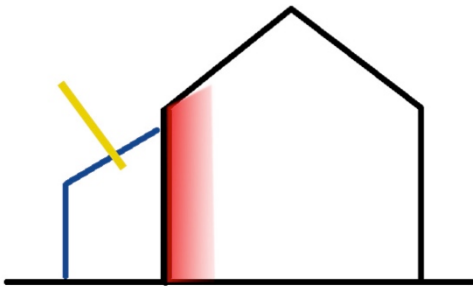
SERRA SOLARE



SERRA A GUADAGNO DIRETTO

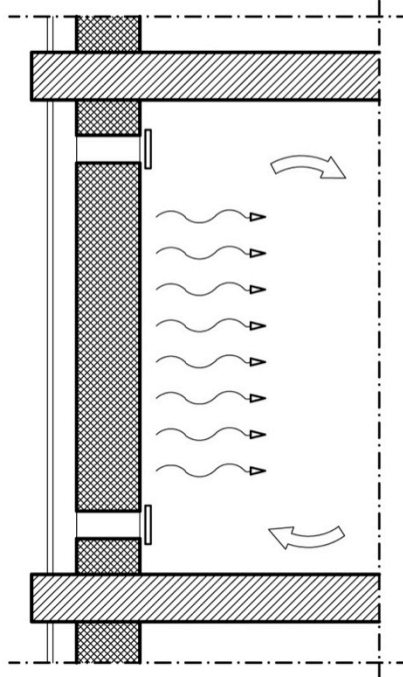
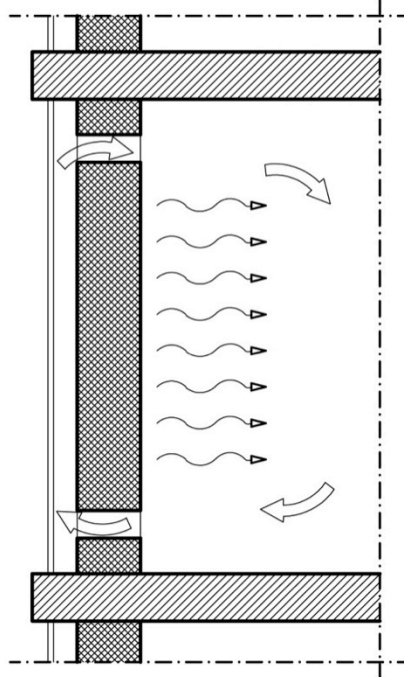
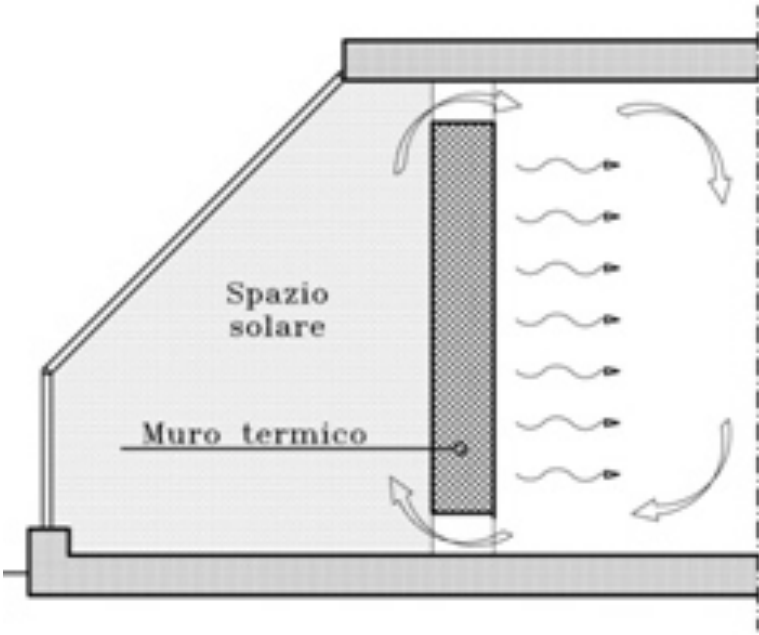


SERRA A GUADAGNO CONVETTIVO

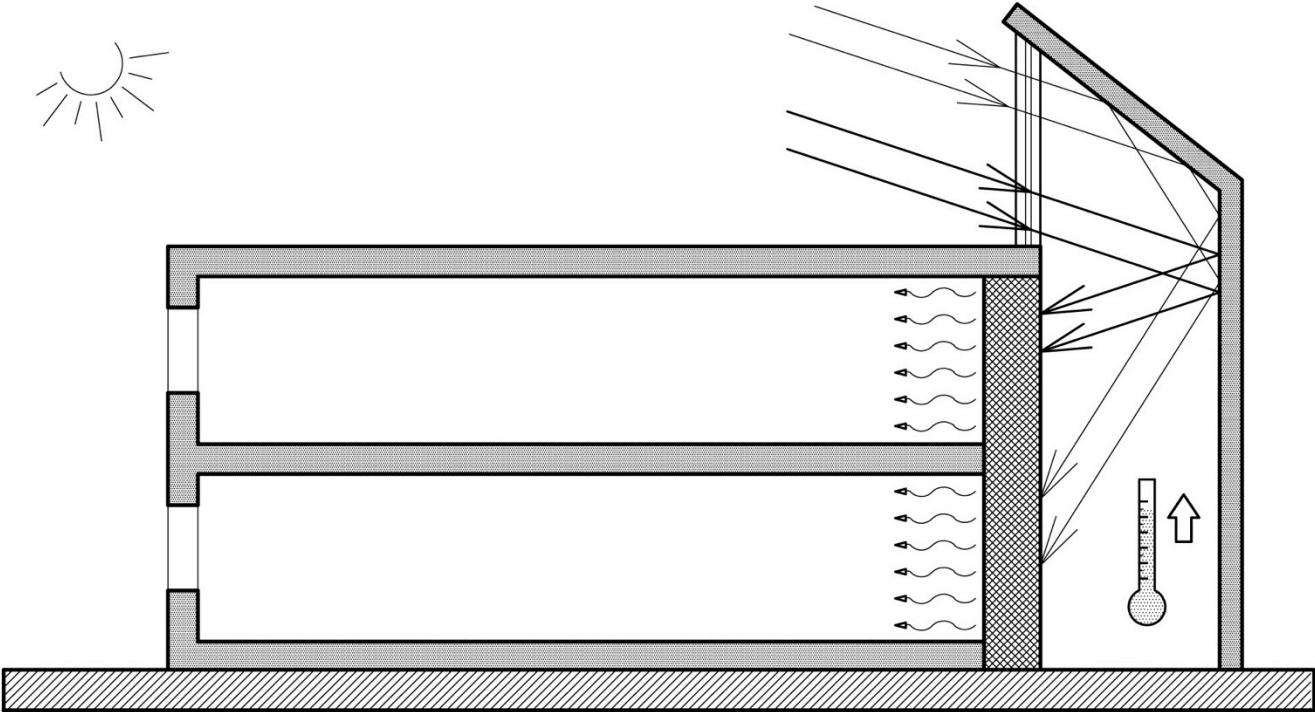


SERRA A GUADAGNO RADIANTE

SERRA SOLARE – muro di trombe



SERRA SOLARE – pozzo solare

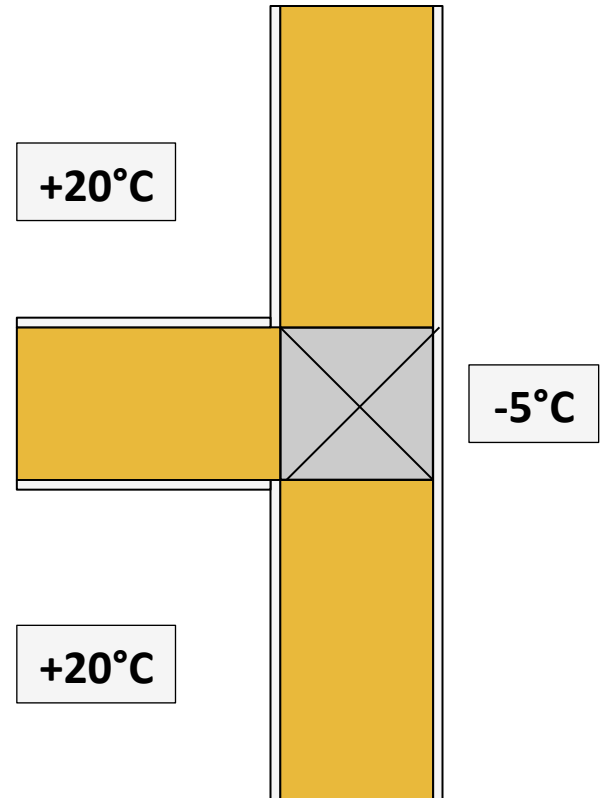


Ponti termici

Il ponte termico è una **discontinuità del comportamento dell'involucro edilizio rispetto al flusso di calore** in ingresso o in uscita.

Lo sviluppo geometrico dei ponti termici può essere:

- **puntiforme;**
- **lineare;**
- **bidimensionale.**



Cause dei ponti termici

Disomogeneità termica dei materiali che compongono l'involucro edilizio

La **differente trasmittanza termica degli strati che compongono il medesimo elemento tecnico** comporta un comportamento differenziale rispetto al flusso di calore e, quindi, un ponte termico.

Tra gli esempi più comunemente diffusi si elencano:

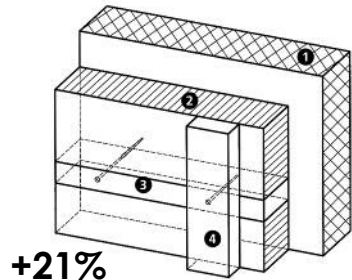
- telai in c.a. con tamponamenti in laterizio;
- architravi e cordoli non isolati;
- raccordo tra infisso e chiusura opaca;
- davanzali;
- balconi realizzati mediante solette in c.a. a sbalzo;
- elementi metallici di ancoraggio.

I ponti termici per disomogeneità di materiale possono essere **lineari o puntiformi**.

Cause dei ponti termici

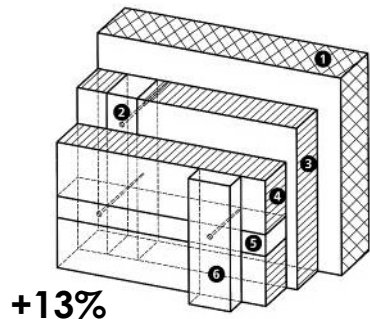
Disomogeneità termica dei materiali che compongono l'involucro edilizio

Variazione di U in funzione del fissaggio



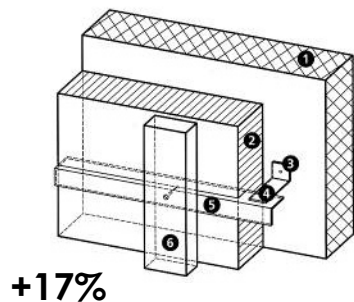
Cappotto termico monostrato con struttura di supporto in travetti di legno

- parete portante
- isolamento
- travetto in legno
- listello di supporto rivestimento di facciata



Cappotto termico in doppio strato con struttura di supporto in listelli di legno

- parete portante
- travetto in legno
- 1° strato di isolamento
- 2° strato di isolamento
- travetto in legno
- listello di supporto per rivestimento di facciata



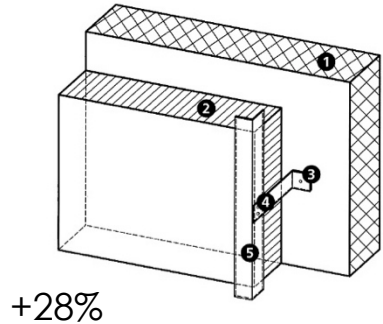
Cappotto termico monostrato con struttura di supporto in mensole e angolari d'acciaio

- parete portante
- isolamento
- termostop
- mensola in acciaio
- angolare in acciaio
- listello di supporto per rivestimento di facciata

Cause dei ponti termici

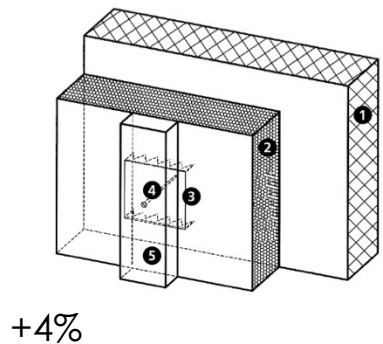
Disomogeneità termica dei materiali che compongono l'involucro edilizio

Variazione di U in funzione del fissaggio



Cappotto termico mono strato con struttura di supporto in alluminio

- parete portante
- isolamento
- termostop
- mensola in alluminio
- profilo di supporto per rivestimento di facciata

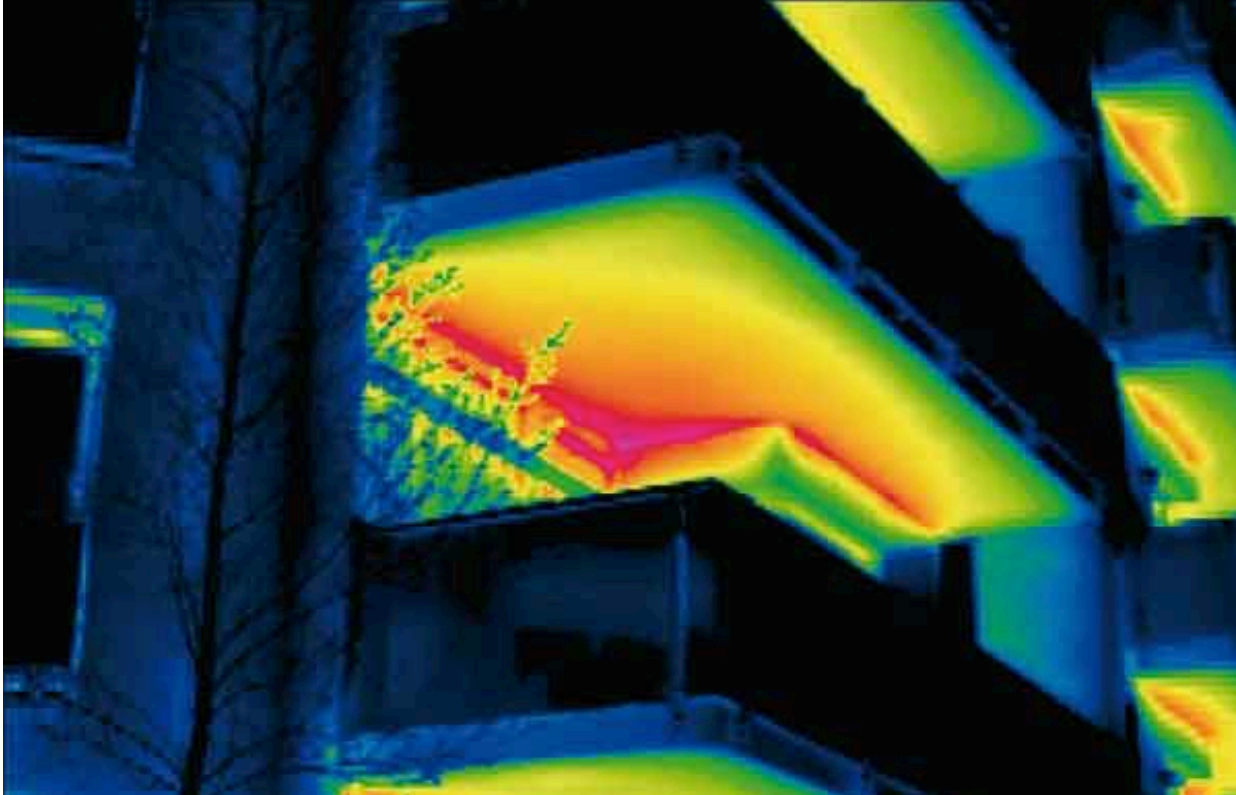
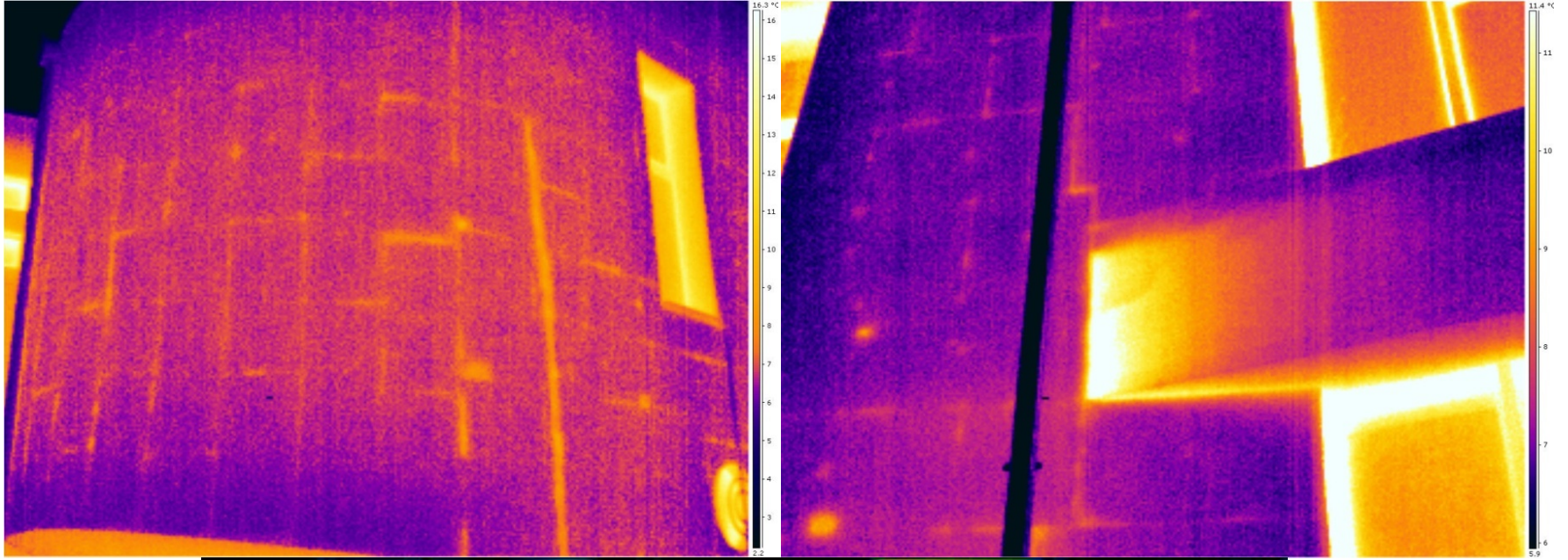


Cappotto termico mono strato con struttura di supporto in tasselli distanziatore e piastre di ancoraggio

- parete portante
- isolamento
- piastra di ancoraggio
- tassello distanziatore
- listello di supporto per rivestimento di facciata

Conseguenze dei ponti termici





Protezione dei ponti termici

1 Separazione con giunti a taglio termico

adottando, ad esempio, balconi esterni separati dall'involucro edilizio, piuttosto che solette a sbalzo

2 Sovrapposizione degli elementi

finalizzata all'incremento delle prestazioni di quelli termicamente più deboli (ad esempio, sovrapporre il materiale isolante al telaio fisso dell'infisso, nei casi di isolamento a cappotto)

3 Sovrapposizione degli strati isolanti

per evitare soluzioni di continuità, quali fessure (ad esempio, nodo tra chiusura opaca e copertura, nodo tra chiusura opaca e solaio a terra, ecc.), privilegiando pannelli con battente e a strati sovrapposti e incrociati

Protezione dei ponti termici

4 Ricorso a guarnizioni, nastri e materassini elastici

per evitare fessure in corrispondenza delle congiunzioni degli elementi costruttivi

5 Allineamento degli assi mediani di elementi tecnici o di strati isolanti con funzione coibente

che presentano differenti spessori (ad esempio, montaggio dell'infisso al centro dell'isolante della chiusura verticale)

6 Utilizzo di materiali a bassa conduttività termica

per gli elementi che perforano gli strati di isolante (ad esempio, utilizzo di tasselli termici per il fissaggio dell'isolamento)

Protezione dei ponti termici

7 **Provvedere il massimo prolungamento della sovrapposizione di materiale coibente**

in corrispondenza del punto di interruzione, al fine di prolungare il percorso di fuoriuscita del calore, Qualora non fosse possibile mantenere continuità dell'isolante in tutto l'involucro esterno e sia necessario interromperlo per proseguire con l'isolamento dall'interno

8 **Evitare, se possibile, soluzioni morfologiche che prevedono l'impiego di angoli acuti**

tra le chiusure verticali poiché essi sono particolarmente disperdenti