

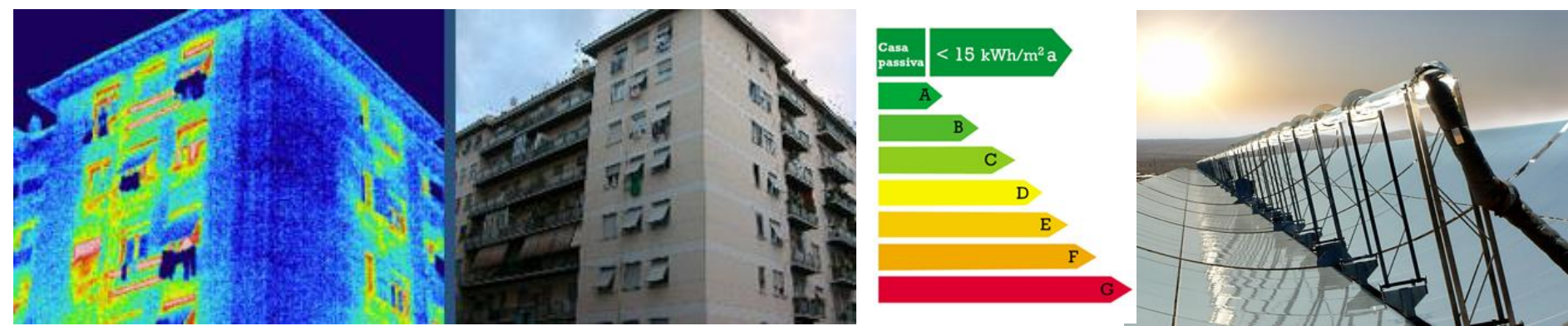
Termofisica dell'involucro edilizio e Cenni alla Normativa di Riferimento

Lezione 1: Sommario

1. La Termofisica dell'involucro edilizio.

- **Caratteristiche termo-fisiche** dei materiali da costruzione. Trasmittanza termica, metodi di calcolo, norme tecniche di riferimento
- **Involucro edilizio opaco**. Murature, coperture, basamenti: esempi di calcolo. Altri metodi per la valutazione della trasmittanza (termografia, endoscopia, termoflussimetri). Abachi di riferimento.
- **Regime estivo** (capacità termica, inerzia, fattore di attenuazione, sfasamento).
- **Involucro edilizio trasparente**. Telai per finestre (legno, pvc, alluminio-legno, legno-alluminio). Vetrare per finestre (tradizionali, float, selettivi, controllo solare, basso-emissivi). Metodi di calcolo della trasmittanza ed esempi. Abachi di riferimento.

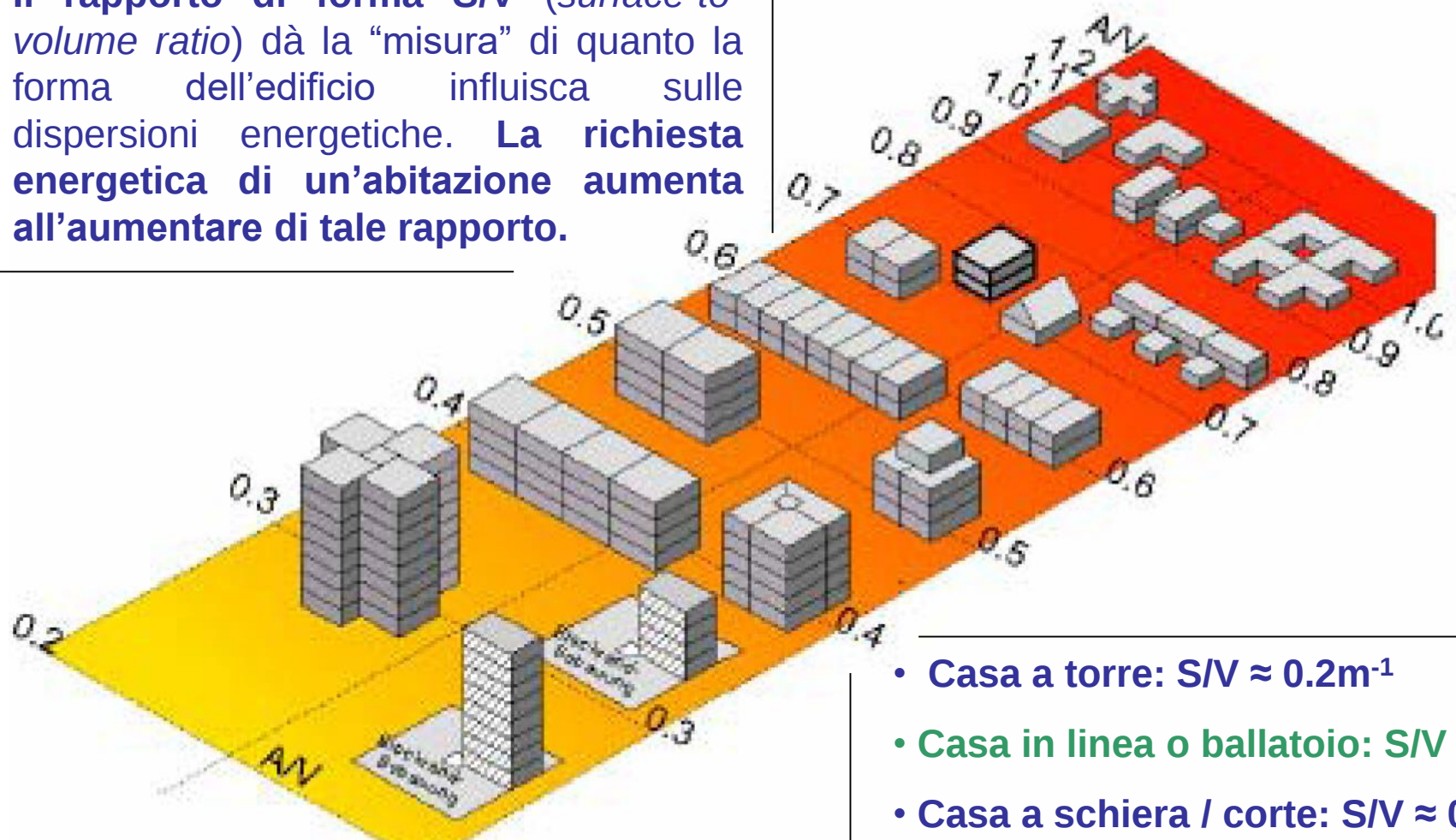
2. Cenni iniziali alla normativa di riferimento, con esclusivo riferimento alle trasmittanze termiche limite (D.Lgs. 192/2005 e 311/2006 e D.P.R. 59/2009, L. 90/2013, DM 26/06/2015).



La termofisica dell'involucro edilizio: aspetti tecnici e normativi



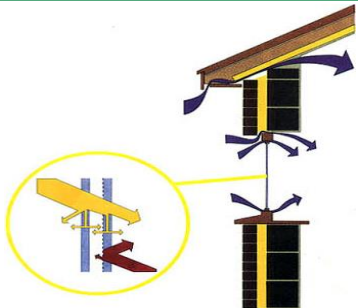
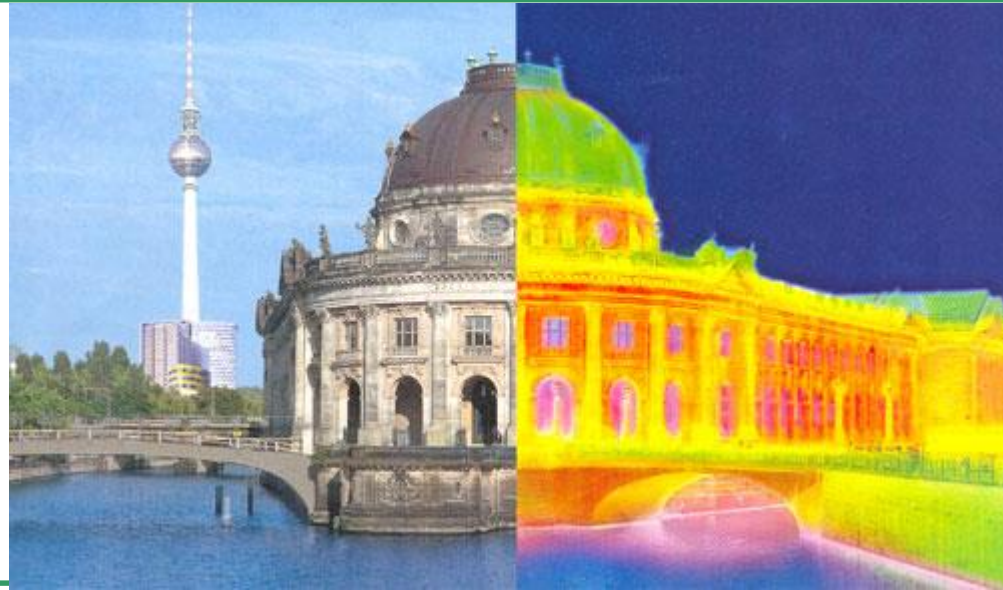
Il rapporto di forma **S/V** (*surface-to-volume ratio*) dà la “misura” di quanto la forma dell’edificio influisca sulle dispersioni energetiche. **La richiesta energetica di un’abitazione aumenta all’aumentare di tale rapporto.**



- Casa a torre: $S/V \approx 0.2 \text{ m}^{-1}$
- Casa in linea o ballatoio: $S/V \approx 0.5 \text{ m}^{-1}$
- Casa a schiera / corte: $S/V \approx 0.7 \text{ m}^{-1}$
- Casa isolata: $S/V \approx 1 \text{ m}^{-1}$

La TERMOFISICA è la disciplina che studia gli **scambi di energia termica** in relazione alle proprietà fisiche dei materiali.

Quando l'applicazione particolare concerne gli scambi di energia in forma calore tra un edificio e l'ambiente circostante, si è soliti parlare di **TERMOFISICA DELL'INVOLUCRO EDILIZIO**.



L'involucro edilizio diviene **la superficie di controllo** che delimita il sistema termodinamico “edificio” e influisce sull'entità e la qualità dei flussi di energia.



CARATTERISTICHE TERMOFISICHE
DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

λ = **conducibilità** o **conduttività termica** (indicata anche con k) è la quantità di energia termica trasferita in direzione perpendicolare ad una superficie di area unitaria, spessore unitario, a causa di un gradiente di temperatura unitario, nell'unità di tempo e in condizioni stazionarie. Il trasferimento è dovuto esclusivamente al gradiente di temperatura. L'unità di misura è W/mK .

In una definizione più immediata, la λ è misura dell'attitudine di una sostanza a trasmettere energia in forma calore.

<i>Materiali</i>	ρ (kg/m^3)	λ (W/mK)	γ (kJ/kgK)
Calcestruzzo			
- calcestruzzo di inerti naturali	2000 2200 2400	1.01 1.29 1.66	0.880
- calcestruzzo di argille espanse	1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700	0.25 0.29 0.33 0.37 0.42 0.47 0.54 0.63	
Intonaci e malte			
- malte di gesso per intonaci o in pannelli con inerti di vario tipo	600 750 900 1000 1200	0.29 0.35 0.41 0.47 0.58	
- intonaco di gesso puro	1200	0.35	0.840
- intonaco di calce e gesso	1400	0.70	0.880
- malta di calce o di calce e cemento	1800	0.90	
- malta di cemento	2000	1.40	
Laterizi ⁽¹⁾			
- mattoni pieni, forati, leggeri, mattoni ad alta resistenza meccanica	600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000	0.13 0.18 0.24 0.32 0.40 0.50 0.63 0.80	0.840

⁽¹⁾ per i mattoni forati si intende per λ la conduttività termica equivalente.



CARATTERISTICHE TERMOFISICHE
DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

La massa e il volume sono grandezze che descrivono alcune proprietà dei corpi. Ci sono poi grandezze che invece descrivono proprietà delle sostanze di cui sono fatti i corpi. Una di queste grandezze è la densità o massa volumica.

ρ = il rapporto massa/volume; la densità è, pertanto, una grandezza derivata.

L'unità di misura SI per la densità è il kg/m^3 . La densità non è sempre costante, anche se nei materiali solidi da costruzione è ritenuta tale.

Materiale	ρ (kg/m^3)	λ (W/mK)	C
			γ (kJ/kgK)
Calcestruzzo			
- calcestruzzo di inerti naturali	2000 2200 2400	1.01 1.29 1.66	0.880
- calcestruzzo di argille espanse	1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700	0.25 0.29 0.33 0.37 0.42 0.47 0.54 0.63	
Intonaci e malte			
- malta di gesso per intonaci o in pannelli con inerti di vario tipo	600 750 900 1000 1200	0.29 0.35 0.41 0.47 0.58	
- intonaco di gesso puro	1200	0.35	0.840
- intonaco di calce e gesso	1400	0.70	
- malta di calce o di calce e cemento	1800	0.90	
- malta di cemento	2000	1.40	0.880
Laterizi ⁽¹⁾			
- mattoni pieni, forati, leggeri, mattoni ad alta resistenza meccanica	600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000	0.13 0.18 0.24 0.32 0.40 0.50 0.63 0.80	0.840

⁽¹⁾ per i mattoni forati si intende per λ la conduttività termica equivalente.



CARATTERISTICHE TERMOFISICHE
DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

c = **calore specifico** di una sostanza, definito come la quantità di calore necessaria per aumentare di 1 kelvin la temperatura di un'unità di massa (generalmente un grammo o un chilogrammo) del materiale.

L'unità di misura SI per il calore specifico è il kJ / kg K.

Il calore specifico influisce fortemente sulla capacità termica delle strutture, intesa come attitudine ad accumulare energia termica.

Materiale	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	γ (kJ/kgK)
Calcestruzzo			
- calcestruzzo di inerti naturali	2000	1.01	0.880
	2200	1.29	
	2400	1.66	
- calcestruzzo di argille espanse	1000	0.25	
	1100	0.29	
	1200	0.33	
	1300	0.37	
	1400	0.42	
	1500	0.47	
	1600	0.51	
	1700	0.63	
Intonaci e malte			
- malte di gesso per intonaci o in pannelli con inerti di vario tipo	600	0.29	
	750	0.35	
	900	0.41	
	1000	0.47	
	1200	0.58	
- intonaco di gesso puro	1200	0.35	0.840
- intonaco di calce e gesso	1400	0.70	0.880
- malta di calce o di calce e cemento	1800	0.90	
- malta di cemento	2000	1.40	
Laterizi ⁽¹⁾			
- mattoni pieni, forati, leggeri, mattoni ad alta resistenza meccanica	600	0.13	0.840
	800	0.18	
	1000	0.24	
	1200	0.32	
	1400	0.40	
	1600	0.50	
	1800	0.63	
	2000	0.80	

⁽¹⁾ per i mattoni forati si intende per λ la conduttività termica equivalente.

La **trasmittanza termica** U ($\text{W/m}^2\text{K}$) definisce la capacità isolante o, viceversa, la tendenza a trasmettere energia in forma calore da parte di un componente edilizio.

*Dato un fenomeno di trasmissione di calore in condizioni di regime stazionario (in cui cioè il flusso di calore e le temperature non variano nel tempo) la **trasmittanza** misura la quantità di energia termica che nell'unità di tempo attraversa un elemento strutturale della superficie di 1 m^2 in presenza di una differenza di temperatura di 1 kelvin tra l'interno e l'esterno.*

Più il valore della TRASMITTANZA è basso, migliore è l'isolamento della struttura in esame. Il reciproco della trasmittanza è la **resistenza termica** ovvero la capacità di un materiale di opporsi al passaggio del calore.

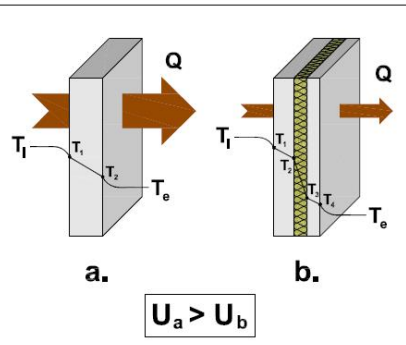
$$U = \frac{1}{R}$$

La trasmittanza aumenta al DIMINUIRE dello spessore ed all'AUMENTARE della **conducibilità termica** dei materiali. Strutture con bassissima trasmittanza termica si caratterizzano per fornire un elevato isolamento termico.

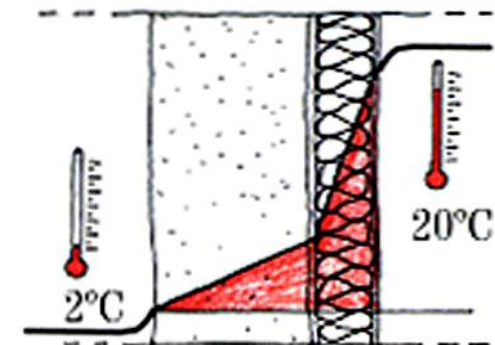
TRASMITTANZA – Pareti opache

Trasmittanza. La sua unità di misura è $[W/m^2K]$

Nel caso delle **superfici opache** (muri, tetti, pareti, solai, porte e vetri):



$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{s}{\lambda} + \sum R + \frac{1}{h_e}}$$



$1/\alpha_{i,e}$ $[m^2K/W]$ resistenza termica unitaria dello *strato liminare* dell'aria rispettivamente sulla superficie interna (*i*) e su quella esterna (*e*) della parete
 λ $[W/mK]$ conducibilità termica dell' *i-esimo* strato di materiale omogeneo
 s $[m]$ spessore dell' *i-esimo* strato di materiale omogeneo
 s/λ $[m^2K/W]$ resistenza termica unitaria dell' *i-esimo* strato piano omogeneo
 R $[m^2K/W]$ resistenza termica dell' *j-esimo* strato di parete non omogeneo (*intercapedini d'aria, strutture eterogenee* come i solai, etc.)



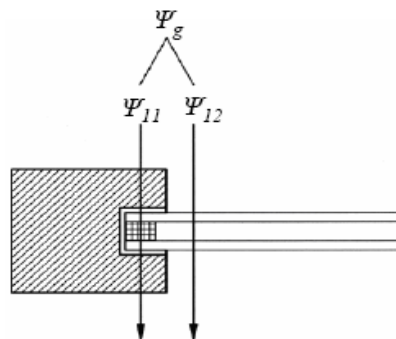
TRASMITTANZE PER LE FINESTRE (all. C)

La trasmittanza globale della finestra va calcolata come *trasmittanza media ponderata* rispetto alle aree effettive del vetro A_g [m²] e del telaio A_f [m²]. Per i serramenti con vetro singolo si ha:

$$U_W = \frac{A_g U_g + A_f U_f}{A_g + A_f}$$



Per i serramenti con doppio vetro bisogna tener conto della trasmissione del calore dovuta ai distanziatori posti tra i due vetri in corrispondenza del telaio



$$U_W = \frac{A_g U_g + A_f U_f + l_g Y_g}{A_g + A_f}$$

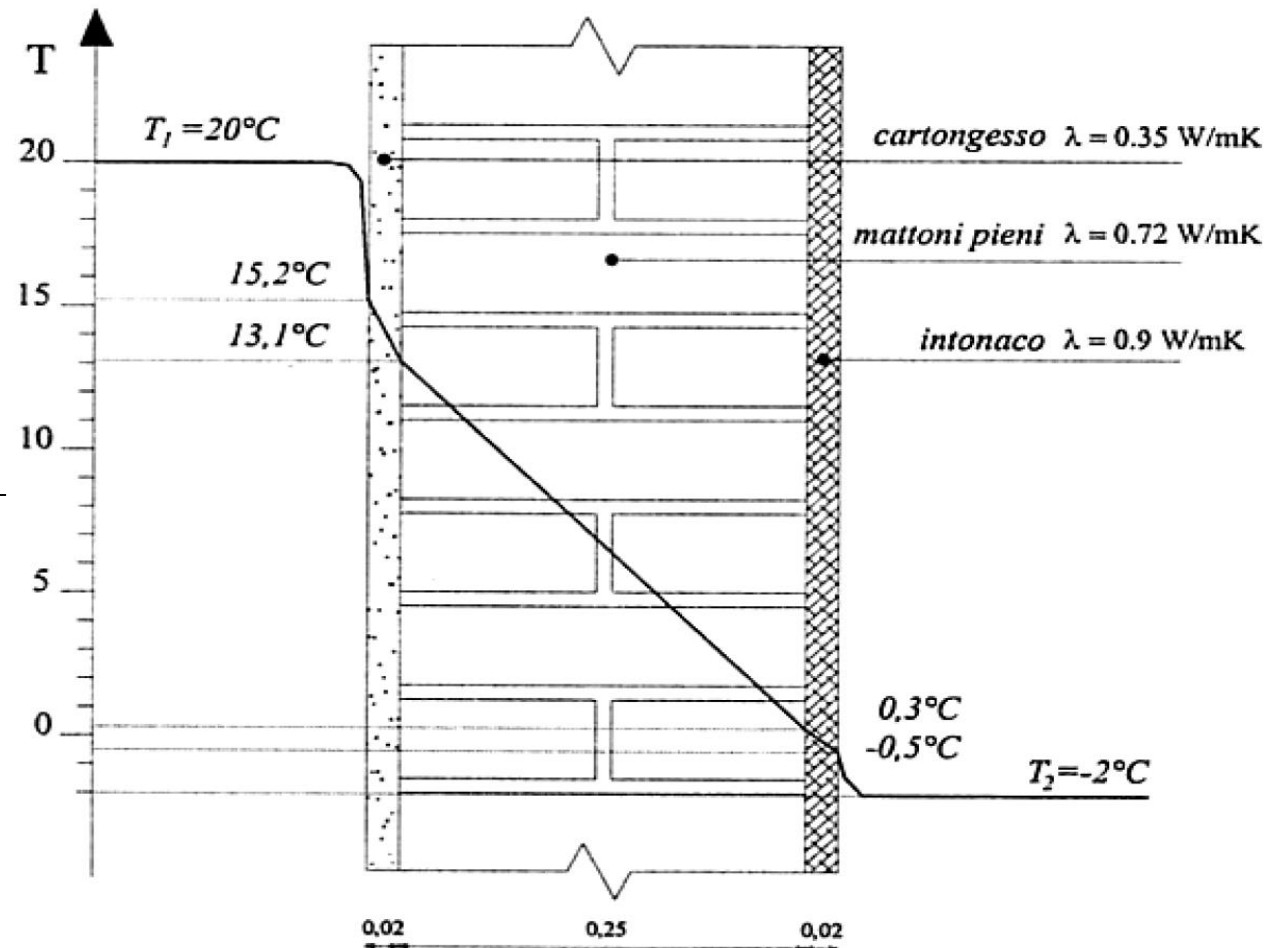
INVOLUCRO EDILIZIO OPACO

TRASMITTANZA – Pareti opache

Stagione invernale

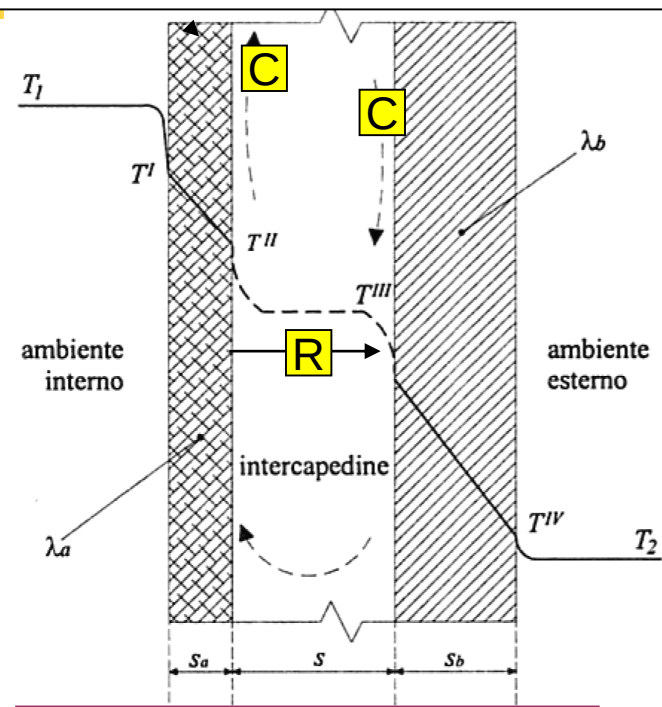
Andamento quantitativo della temperatura attraverso una parete perimetrale in mattoni pieni con rivestimento in cartongesso.

La pendenza delle cadute di temperature è pressoché costante, essendo i materiali caratterizzati da simile valore della conduttività termica.





Nelle intercapedini, oltre alla trasmissione per conduzione si verifica scambio termico per **irraggiamento R** e **convezione C**.



Andamento qualitativo della temperatura in una parete verticale con intercapedine
 T_1, T_2 =temperature del fluido
 T^I, T^{IV} =temperatura delle facce esterne della parete
 T^{II}, T^{III} = temperature facce interne dell'intercapedine

Trasmittanza dell'intercapedine

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{s_a}{\lambda_a} + \frac{1}{h_{ii}} + \frac{1}{h_{iii}} + \frac{s_b}{\lambda_b} + \frac{1}{h_e}}$$

Il terzo e quarto termine al denominatore sono riferiti all'intercapedine
E' possibile quindi definire resistenza dell'intercapedine:

$$R_{intercapedine} = \frac{1}{h_{ii}} + \frac{1}{h_{iii}}$$



Trasmittanze di componenti edilizi OPACHI – alcuni esempi

PARETI VERTICALI - 1. muratura in mattoni pieni (1, 2 o 3 teste)

Sezione struttura

Rif.	Materiali	Massa vol. [kg/m³]	Conduttiv. [W/(m·K)]
1	Intonaco interno (calce e gesso)	1400	0,70
2	Muro in mattoni pieni	1800	0,72
3	Intonaco esterno	1800	0,90
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Spessore tipico parete: 20 – 100 cm

$$U_{op} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \sum_{j=1}^m R_j + \frac{1}{\alpha_e}}$$

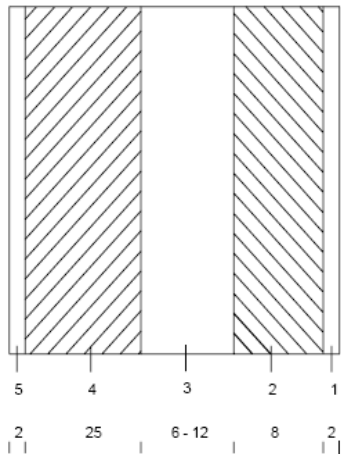
$$\alpha_i = 7.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$
$$\alpha_e = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

...all'aumentare dello spessore, aumenta la resistenza termica dello strato e quindi si riduce la trasmittanza della parete !!!!!

Trasmittanze di componenti edilizi OPACHI – alcuni esempi

PARETI VERTICALI - 2. parete a cassetta con laterizi ed intercapedine

Sezione struttura



Rif.	Materiali	Massa vol. (kg/m³)	Conduct. λ (W/(m·K))
1	Intonaco interno (calce e gesso)	1400	0,70
2	Mattoni forati	800	0,30
3	Intercapedine d'aria	-	
4	Mattoni forati	800	0,30
5	Intonaco esterno	1800	0,90
6			
7			
8			
9			
10			

$$U_{op} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \sum_{j=1}^m R_j + \frac{1}{\alpha_e}}$$



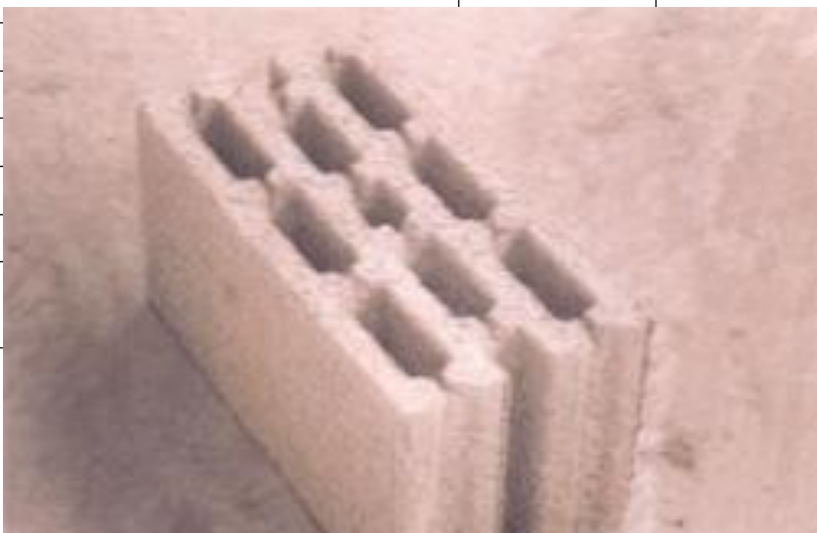


Trasmittanze di componenti edilizi OPACHI – alcuni esempi

PARETI VERTICALI - 3. parete in blocchi in cls o lapilcimento



Rif.	Materiali	Massa vol. [kg/m³]	Conduttiv. [W/(m·K)]
1	Intonaco interno (calce e gesso)	1400	0,7
2	Blocchi in calcestruzzo	1400	0,5
3	Intonaco esterno	1800	0,9
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			



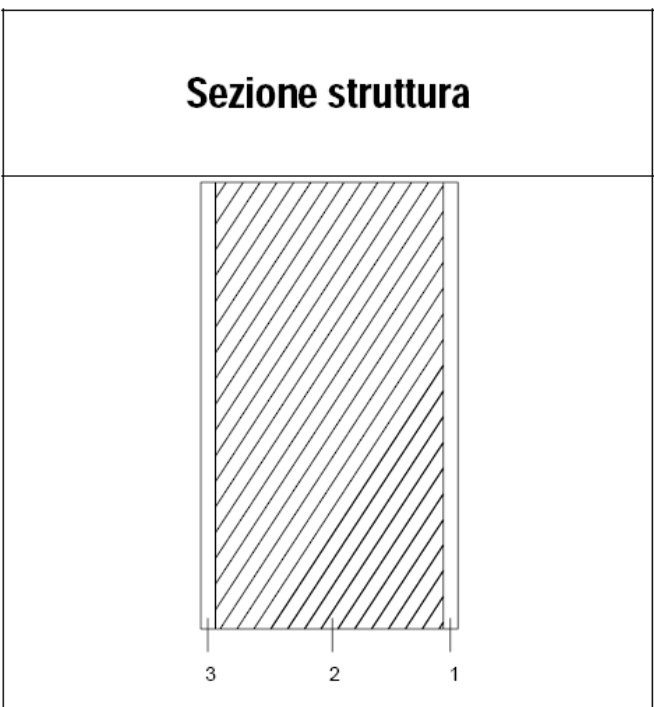
Spessore tipico parete: 30 – 50 cm

$$U_{op} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \sum_{j=1}^m R_j + \frac{1}{\alpha_e}}$$



Trasmittanze di componenti edilizi OPACHI – alcuni esempi

PARETI VERTICALI – 4. tompagno con blocchi squadrati in tufo



Rif.	Materiali	Massa vol. [kg/m³]	Conduttiv. [W/(m·K)]
1	Intonaco interno (calce e gesso)	1400	0,7
2	Blocchi in tufo	1600	0,7
3	Intonaco esterno	1800	0,9
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

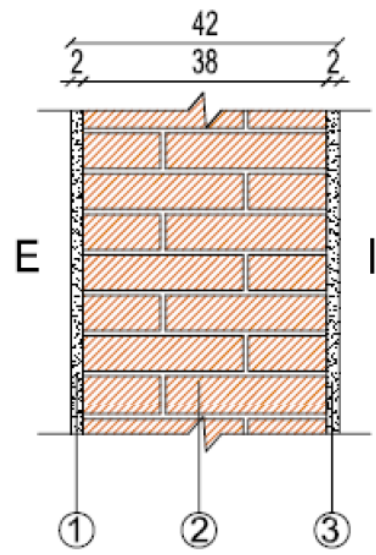


Spessore tipico parete: 30 – 70 cm

$$U_{op} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \sum_{j=1}^m R_j + \frac{1}{\alpha_e}}$$



Esempi di calcolo della trasmittanza termica



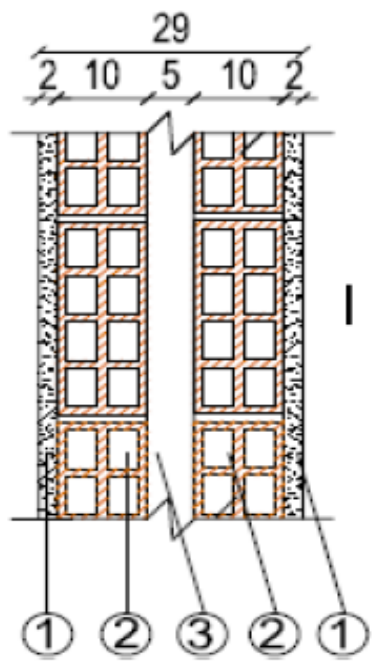
- ① Intonaco esterno in malta di calce e cemento
- ② Mattoni pieni in laterizio
- ③ Intonaco interno in malta di calce e gesso

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{s}{\lambda} + \sum R + \frac{1}{h_e}}$$

		s	ρ	λ	R
n.	Strati (dall'esterno all'interno)	[m]	[kg/m³]	[W/m K]	[m² K/W]
	Resistenza termica superficiale esterna	/	/	/	0,04
1	Intonaco esterno in malta di calce e cemento	0,02	1800	0,90	0,02
2	Mattoni pieni in laterizio	0,38	1800	0,72	0,53
3	Intonaco interno in malta di calce e gesso	0,02	1400	0,70	0,03
	Resistenza termica superficiale interna	/	/	/	0,13
SPESSORE TOTALE		0,42	m		
TRASMITTANZA TERMICA		1,34	W/m² K		



Esempi di calcolo della trasmittanza termica



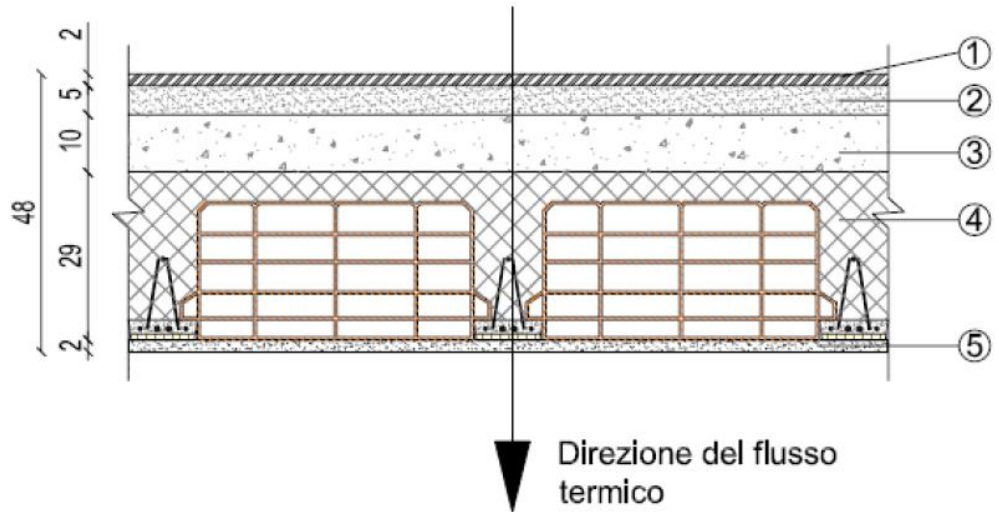
- ① Intonaco interno in malta di calce e gesso
- ② Blocchi forati in laterizio
- ③ Intercapedine d'aria non ventilata

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{s}{\lambda} + \sum R + \frac{1}{h_e}}$$

PIV1		s	ρ	λ	R
n.	Strati	[m]	[kg/m³]	[W/m K]	[m² K/W]
	Resistenza termica superficiale interna	/	/	/	0,13
1	Intonaco interno in malta di calce e gesso	0,02	1400	0,70	0,03
2	Muratura in blocchi forati	0,10	1800	/	0,27
3	Intercapedine d'aria non ventilata	0,05	/	/	0,18
2	Muratura in blocchi forati	0,10	1800	/	0,27
1	Intonaco interno in malta di calce e gesso	0,02	1400	0,70	0,03
	Resistenza termica superficiale interna	/	/	/	0,13
SPESSORE TOTALE		0,29	m		
TRASMITTANZA TERMICA		0,96	W/m² K		



Esempi di calcolo della trasmittanza termica



$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{s}{\lambda} + \sum R + \frac{1}{h_e}}$$

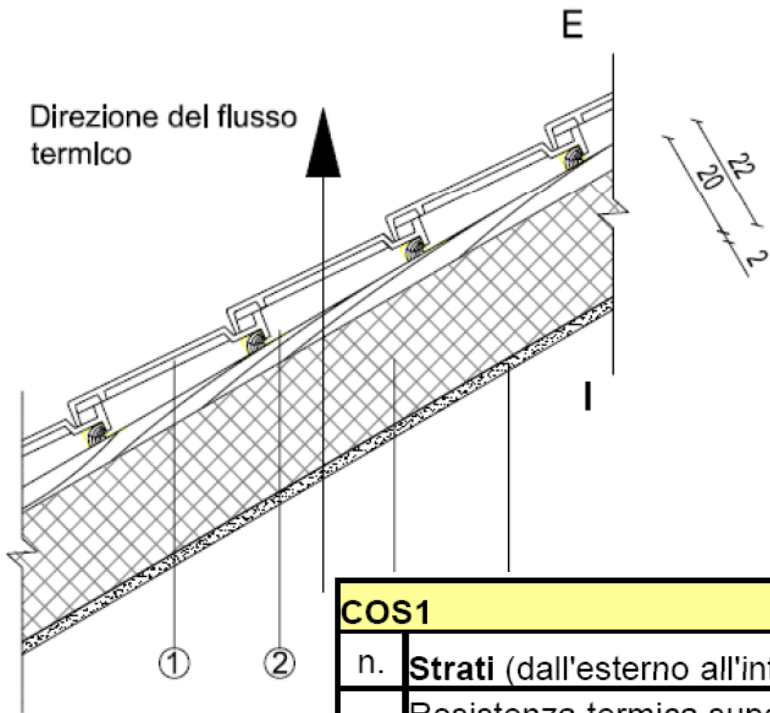
- ① Pavimento in marmo
- ② Sottofondo in malta di cemento
- ③ Sottofondo in calcestruzzo alleggerito
- ④ Solaio laterocementizio
- ⑤ Intonaco in malta di calce e cemento

PIO1		s	ρ	λ	R
n.	Strati	[m]	[kg/m³]	[W/m K]	[m² K/W]
	Resistenza termica superficiale interna	/	/	/	0,17
1	Pavimento in marmo	0,02	2700	3,00	0,01
2	Sottofondo in malta di cemento	0,05	2000	1,4	0,04
3	Sottofondo in calcestruzzo alleggerito	0,10	1500	0,57	0,18
4	Solaio laterocementizio	0,29	/	/	0,35
5	Intonaco in malta di calce e gesso	0,02	1400	0,70	0,03
	Resistenza termica superficiale interna	/	/	/	0,17
SPESSORE TOTALE		0,48	m		
TRASMITTANZA TERMICA		1,07	W/m² K		

ATTENZIONE.
QUI FORNITA
DIRETTAMENTE
CONDUTTANZA O
RESISTENZA



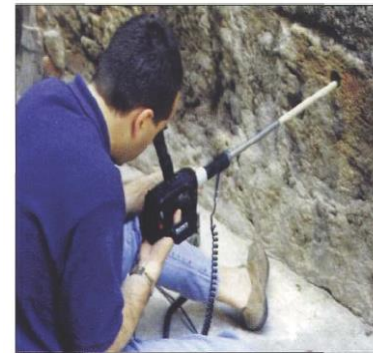
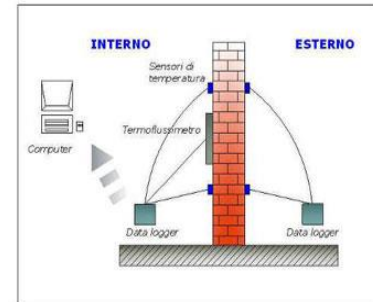
Esempi di calcolo della trasmittanza termica



COS1		s	ρ	λ	R
n.	Strati (dall'esterno all'interno)	[m]	[kg/m³]	[W/m K]	[m² K/W]
	Resistenza termica superficiale esterna	/	/	/	0,04
5	Soletta in c.a.	0,20	2400	1,91	0,10
6	Intonaco in malta di calce e gesso	0,02	1400	0,70	0,03
	Resistenza termica superficiale interna	/	/	/	0,10
SPESSORE TOTALE		0,22	m		
TRASMITTANZA TERMICA		3,66	W/m² K		

ALTRI METODI PER LA VALUTAZIONE DELLA TRASMITTANZA TERMICA. Qualora non si disponesse delle informazioni necessarie, ad esempio nei casi in cui **non si conosce la composizione in strati** di una muratura esistente, vi sono diversi altri modi per determinare, con approssimazione variabile, la trasmittanza termica della parete:

1. **Utilizzo di termoflussimetri** – misura della trasmittanza in opera; la misura non è invasiva, essendo realizzata applicando sulle pareti alcune sonde di temperatura ed una piastra di misura per il flusso termico.
2. **Ricorso a carotaggi** – conoscenza della struttura e ricorso a norme tecniche; la misurazione è invasiva.
3. **Adozione di metodi semplificati**, basati sulla attribuzione di valori di trasmittanza tipici per le strutture edilizie diffuse in Italia. **QUEST'ULTIMO METODO SI AVVALE DEGLI ABACHI DI SEGUITO RIPORTATI**



N.B. LA TERMOGRAFIA AD INFRAROSSI NON E' UTILE NELLA DETERMINAZIONE DELLE U, risultando idonea all'identificazione di difetti costruttivi (ponti termici, interruzione dell'isolamento, perdite, infiltrazioni).



DETERMINAZIONE DELLA TRASMITTANZA TERMICA DI
STRUTTURE ESISTENTI TRAMITE ABACHI

Trasmittanza termica delle chiusure verticali opache^{a) b)} [W/(m²K)]

Spessore [m]	Muratura di pietrame intonacata	Muratura di mattoni pieni intonacati sulle due facce	Muratura di mattoni semipieni o tufo	Pannello prefabbricato in calcestruzzo non isolato	Parete a cassa vuota con mattoni forati ^{c)}
0,15	-	2,59	2,19	3,59	-
0,20	-	2,28	1,96	3,28	-
0,25	-	2,01	1,76	3,02	1,20
0,30	2,99	1,77	1,57	2,80	1,15
0,35	2,76	1,56	1,41	2,61	1,10
0,40	2,57	1,39	1,26	2,44	1,10
0,45	2,40	1,25	1,14	-	1,10
0,50	2,25	1,14	1,04	-	1,10
0,55	2,11	1,07	0,96	-	-
0,60	2,00	1,04	0,90	-	-

- a) I sottofinestra devono essere computati come strutture a parte.
b) In presenza di strutture isolate dall'esterno, la trasmittanza della parete può essere calcolata sommando alla resistenza termica della struttura non isolata, scelta dal prospetto A.1, la resistenza termica dello strato isolante aggiunto.
c) I valori della trasmittanza sono calcolati considerando la camera d'aria a tenuta.



Valori tipici di trasmittanza termiche per soluzioni tecnologiche comuni

Trasmittanza termica delle chiusure verticali opache verso ambienti interni [W/(m²K)]

Spessore [m]	Muratura di mattoni pieni intonacata sulle due facce	Muratura di mattoni forati intonacata sulle due facce	Parete in calcestruzzo intonacata	Parete a cassa vuota con mattoni forati
0,15	2,10	1,65	2,61	-
0,20	1,89	1,35	2,42	-
0,25	1,70	1,15	2,26	1,11
0,30	1,53	1,00	2,11	0,99
0,35	1,37	0,88	1,99	0,98

Trasmittanza termica delle coperture piane e a falde [W/(m²K)]

Spessore [m]	Soletta piana in laterocemento	Tetto a falda in laterizio	Tetto in legno
0,20	1,85	2,20	1,8
0,25	1,70	2,10	
0,30	1,50	1,80	
0,35	1,35	1,60	

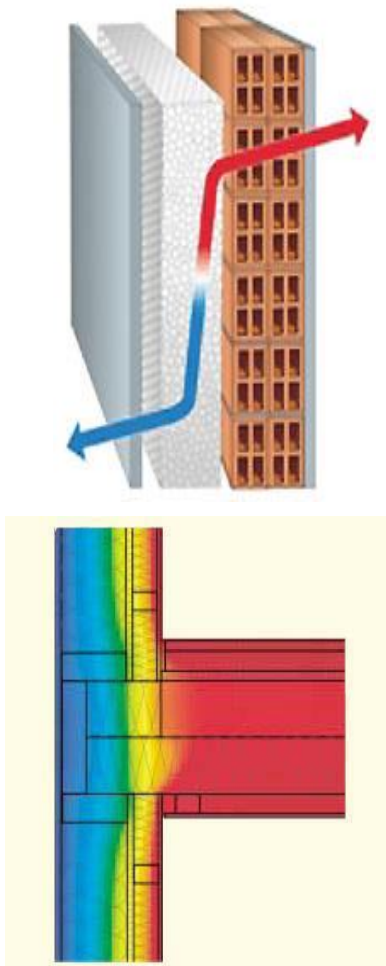


Trasmittanza termica dei solai sotto ambienti non climatizzati [W/(m²K)]

Spessore [m]	Soletta in laterocemento	Solaio prefabbricato in calcestruzzo tipo Predalles
0,20	1,70	2,15
0,25	1,60	2,00
0,30	1,40	1,85
0,35	1,30	1,75

Trasmittanza termica dei solai a terra, su spazi aperti o su ambienti non climatizzati [W/(m²K)]

Spessore [m]	Soletta in laterocemento su cantina	Soletta in laterocemento su vespaio o pilotis	Basamento in calcestruzzo su terreno
0,20	1,45	1,75	2,00
0,25	1,35	1,65	1,80
0,30	1,25	1,50	1,65
0,35	1,15	1,30	1,50



Trasmittanza termica delle strutture coibentate [W/(m²K)]

Spessore [m]	Zona climatica			
	C o D		E o F	
	Anno di costruzione			
	1976-1985	1986-1991	1976-1985	1986-1991
Chiusure verticali opache				
0,25	1,20	0,81	0,81	0,61
0,30	1,15	0,79	0,79	0,60
0,35	1,10	0,76	0,76	0,59
0,40	1,10	0,76	0,76	0,59
Chiusure verticali opache verso ambienti interni				
0,25	1,11	0,77	0,77	0,59
0,30	0,99	0,71	0,71	0,55
0,35	0,98	0,70	0,70	0,55
Coperture piane				
0,20	1,85	1,06	1,06	0,75
0,25	1,70	1,01	1,01	0,72
0,30	1,50	0,93	0,93	0,68
0,35	1,35	0,88	0,88	0,65



Spessore [m]	Zona climatica			
	C o D		E o F	
	Anno di costruzione			
	1976-1985	1986-1991	1976-1985	1986-1991
Coperture a falde				
0,20	2,20	1,17	1,17	0,80
0,25	2,10	1,14	1,14	0,78
0,30	1,80	1,05	1,05	0,74
0,35	1,60	0,97	0,97	0,70
Solai sotto ambienti non climatizzati				
0,20	1,70	1,01	1,01	0,72
0,25	1,60	0,97	0,97	0,70
0,30	1,40	0,90	0,90	0,66
0,35	1,30	0,86	0,86	0,64
Basamenti su vespaio o cantina				
0,20	1,45	1,06	1,06	0,84
0,25	1,35	1,00	1,00	0,81
0,30	1,25	0,95	0,95	0,77
0,35	1,15	0,90	0,90	0,73
Basamenti su terreno				
0,20	2,00	1,33	1,33	1,00
0,25	1,80	1,24	1,24	0,95
0,30	1,65	1,17	1,17	0,90
0,35	1,50	1,10	1,10	0,86

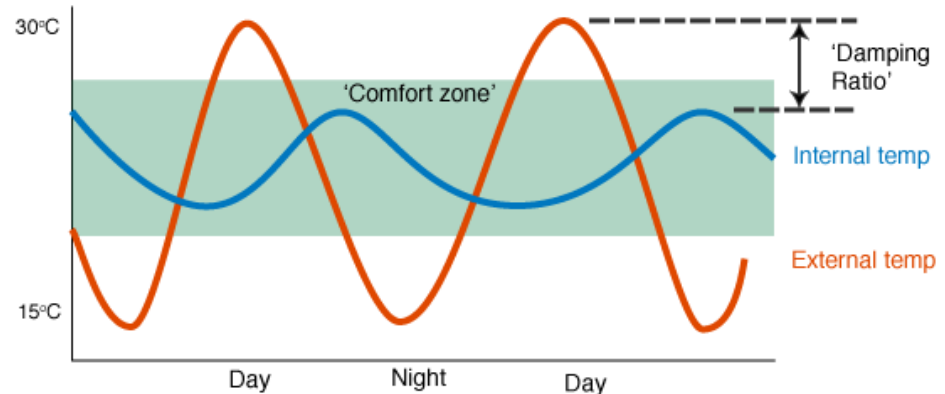
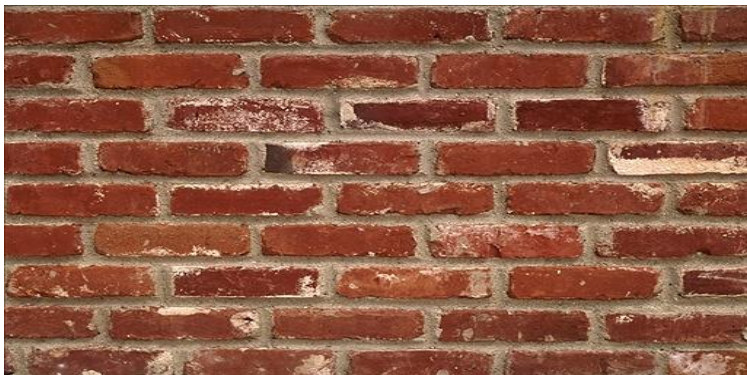
REGIME ESTIVO

Quando i fenomeni che governano la trasmissione del calore sono funzione anche del tempo, non è più sufficiente un approccio al problema secondo l'ipotesi di **regime stazionario**, divenendo necessario definire altre grandezze:

- capacità termica, e inerzia termica,
- trasmittanza periodica, sfasamento ed attenuazione dell'onda termica,
- diffusività e costante di tempo,

Tali parametri governano i trasferimenti di energia durante i transitori termici.

La massa termica ha un effetto considerevole sulle fluttuazioni della temperatura interna dell'ambiente.



CAPACITA' TERMICA. L'attitudine del materiale ad accumulare calore è descritta dalla capacità termica, espressa in [kJ/K], definita come prodotto di **calore specifico** e **massa superficiale del componente**.

$$C = c * m$$

Ricordando che il **calore specifico** di una sostanza è definito come la quantità di calore che è necessario somministrarle per aumentare di 1°C la sua temperatura, se ne deduce che la **capacità termica, grandezza estensiva, può essere vista anche come rapporto tra calore somministrato al sistema ed aumento di temperatura che ne è consegua.**

*Ipotizzando, **in regime invernale**, di spegnere l'impianto di riscaldamento, un ambiente racchiuso da un involucro leggero (ridotta massa), tenderà, a parità di trasmittanza, a raffreddarsi più velocemente rispetto ad un locale racchiuso da strutture dall'elevata capacità termica; **ciò accade perché le pareti leggere immediatamente disperderanno calore verso l'esterno**, mentre nel secondo caso, al diminuire della temperatura interna, il muro tenderà a rilasciare il calore accumulato.*

Analogamente alla capacità, anche l'inerzia termica è una grandezza, descritta mediante costruzione di legami funzionali tra calore specifico, densità e conduttività termica dei vari strati che costituiscono un componente opaco interessato da flussi di calore.

Tale grandezza descrive l'attitudine ad accumulare calore da parte di un elemento edilizio, sfasandone il rilascio nel tempo.

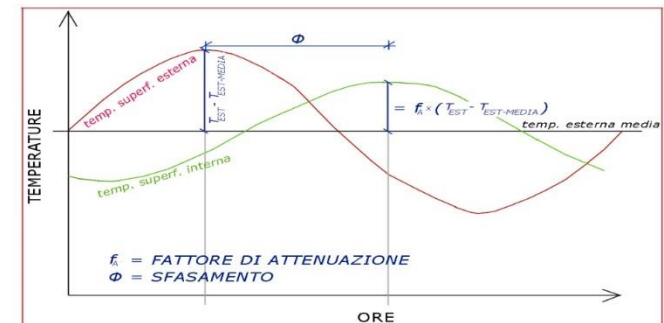
L'inerzia termica agisce smorzando il calore che si trasmette all'interno e ritardandone la trasmissione. Per una parete costituita da un unico strato, l'inerzia termica è definita dall'equazione:

$$I = \sqrt{(\lambda * \rho * c)}$$

L'unità di misura dell'inerzia termica è il TIU (*Thermal Inertia Unit*).

i principali effetti di un'elevata inerzia termica:

1. lo sfasamento temporale nella trasmissione del calore
2. l'attenuazione dell'onda termica



INVOLUCRO TRASPARENTE

La produzione architettonica contemporanea, soprattutto nel settore terziario (**uffici, commercio**), fa largo uso di trasparenze e strutture leggere.



COMPONENTI TRASPARENTI DELL'INVOLUCRO

Finestre e Vetrate sono elementi multifunzione:

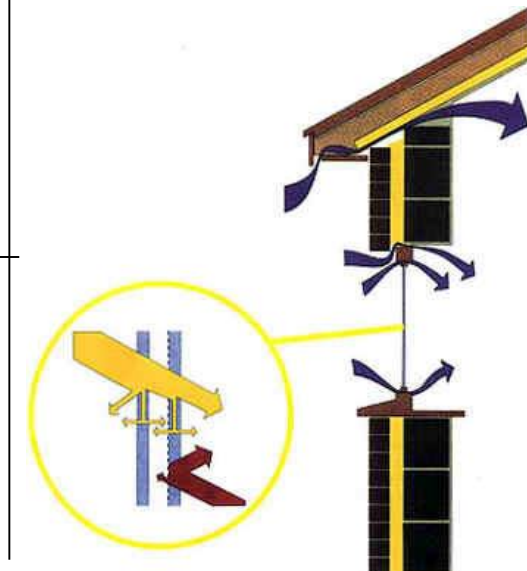
- Illuminazione ambienti
- Vista sull'esterno
- Ricambio d'aria volontario
- Valore estetico

Tali elementi dell'involucro edilizio presentano un comportamento "particolare" negli scambi termici con l'esterno:

1. Isolano da scambio termico per conduzione e convezione **mediamente meno** di una struttura opaca;
2. Consentono la trasmissione di energia termica per **irraggiamento** molto più di una struttura opaca.

LE FINESTRE SONO COSTITUITE DA MOLTEPLICI COMPONENTI STRUTTURALI.

per snellezza ne saranno trattati solo 2: VETRO ed INFISSO



L'involucro **edilizio trasparente** è elemento spesso critico della progettazione architettonica, poiché:

1. il vetro presenta una elevata conducibilità ($\lambda \approx 1 \text{ W/mK} \rightarrow U \approx 5 \text{ W/m}^2\text{K}$);
2. la radiazione solare incidente è in larga parte ($\approx 85\%$) direttamente trasmessa all'interno dell'edificio.

$$Q_{\text{PERSO}} = U \cdot A \cdot (T_{\text{INT}} - T_{\text{EXT}}) \cdot \text{tempo}$$

$$Q_{\text{GUADAGNATO}} = I \cdot A \cdot g_{\text{solare}} \cdot \text{tempo}$$

*Ad esempio,
in
INVERNO*



U = trasmittanza termica vetrata ($\text{W/m}^2\text{K}$)

A = area vetrata (W/m^2)

T_{INT} e T_{EXT} sono le temperature dell'aria, interne ed esterne

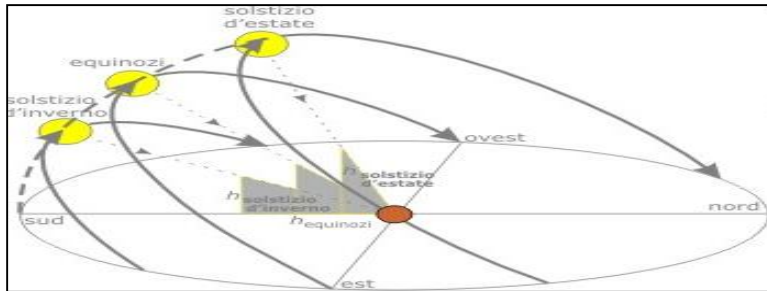
I = irradianza solare ($\text{W/m}^2\text{K}$)

g = coefficiente di trasmissione delle vetrata

Un uso sapiente delle superfici trasparenti, oltre a soddisfare le esigenze legate al linguaggio architettonico, **deve garantire miglioramento della qualità ambientale dell'edificio.**

Infatti, oltre ad aspetti connessi alla efficienza energetica, e quindi ad un limitato uso degli impianti di riscaldamento e climatizzazione, vi sono imprescindibili aspetti di **comfort ambientale** (termo-igrometrico, sì, ma anche visivo ed acustico), rispetto ai quali le vetrate incidono in modo critico.

Infatti, le chiusure trasparenti incidono sul controllo e sull'utilizzo della radiazione solare, sia per **l'illuminazione naturale** degli ambienti interni sia dal punto di vista del **carico termico complessivo dell'edificio**, poiché permettono l'ingresso della radiazione proveniente direttamente dal Sole, ovvero riflessa dal cielo, dal terreno e dagli edifici circostanti.



In inverno, è evidente che si verificano, attraverso una vetrata, **fenomeni contrastanti**, ed, in particolare:

1. **Perdita** di energia termica per trasmissione, essendo il vetro caratterizzato da un'elevata trasmittanza termica (**circa 5 volte superiore a quella di un componente opaco**).
2. **Guadagno solare diretto**, grazie all'elevata trasparenza del vetro, per cui circa l' 85% della radiazione solare incidente è trasmessa nell'ambiente interno.

Ottimale risulta essere l'esposizione SUD.

In regime estivo, analoghe criticità investono il comportamento delle vetrate, allorquando, il moto apparente del sole rispetto alla terra, rende fortemente critico l'irraggiamento solare sulle superfici trasparenti esposte ad **EST** ed **OVEST**, tali da risultare molto problematiche relativamente alla gestione della radiazione.

SVANTAGGI POSSIBILI. Le criticità delle superfici vetrate, allorquando non adeguatamente selezionate, rispetto al contesto territoriale (**clima, sito urbanizzato, esposizione**) possono essere riassunte nelle seguenti:

1. **elevata trasmittanza** e quindi significative perdite di energia per trasmissione,
2. **ridotto potere fono-isolante** rispetto alle superfici opache,
3. possibili fenomeni di **abbagliamento**,
4. **ingenti rientrate termiche solari** in regime estivo.

VANTAGGI POSSIBILI. Al contrario, **l'involucro trasparente può anche indurre effetti estremamente benefici anche dal punto di vista energetico**, quando ben progettato, garantendo:

1. **guadagno gratuito** in regime invernale,
2. **illuminamento naturale** degli ambienti interni,
3. **isolamento acustico**,
4. nessun surriscaldamento **se opportunamente schermato** o trattato per il controllo solare mediante processi chimici e/o fisici.

Grandezze da bilancio energetico

- **Trasmittanza**: fornisce misura, per m^2 di superficie vetrata, dell'energia dispersa per meccanismi combinati a fronte di una differenza unitaria di temperatura.
- **Fattore solare**: rapporto tra l'energia termica proveniente dal sole ed entrante nell'ambiente, e l'energia che arriva sulla superficie esterna della lastra. E' funzione dei coefficienti di trasmissione, assorbimento e riflessione.

U (W/m^2K)

Nel seguito, saranno approfonditi valori e ruolo di tali parametri !!!

g (adimensionale)

Grandezze fisiche/ottiche:

- **Trasmissione luminosa**: è la permeabilità alla luce ed esprime la percentuale della radiazione visibile lasciata passare direttamente nel campo compreso da 380 e 780 nm;
- **Fattore di Riflessione Luminosa**: esprime la percentuale di radiazione, appartenente allo spettro del visibile, riflessa dalla lastra vetrata.

Ricordando che:

- *la dispersione termica per trasmissione (negativa in inverno) è proporzionale alla trasmittanza U , e che*
- *il guadagno solare, favorevole in inverno (penalizzante, però, in estate), cresce con il fattore solare “ g ”,*

possiamo riassumere la prestazione di vetrate tipiche

Tipologia	Trasmittanza termica “ U ” (W/m ² K)	Fattore di trasmissione solare “ g ” (adimens.)
Vetro chiaro mono-lastra	5.7	0.85
Vetrocamera semplice 3/6/3	3.5	0.75
Vetrocamera basso-emissivo	2.5	0.67
Triplo vetrocamera	2.0	0.70
Triplo vetrocamera basso-emissivo	1.4	0.50
Doppia finestra	1.2	0.75

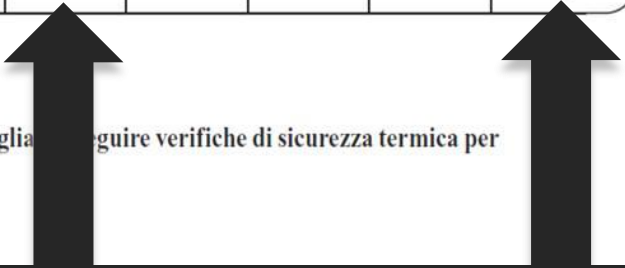


Esempio di catalogo tecnico, con evidenziazione dei parametri prestazionali

Composizione vetrocamera (6 mm lastra esterna – 16 mm argon – 4 mm Pilkington Optifloat™ Clear)	Parametri luminosi (%)		Parametri energetici (%)				Coefficiente di Shading (%)			Valore U _g (W/m²K)
	Trasmissione	Riflessione	Trasmissione diretta	Riflessione	Assorbimento	Fattore Solare	Onde corte	Onde lunghe	Totale	Argon
Pilkington Eclipse Advantage™ Clear	61	29	50	22	28	55	57	6	63	1,6
Pilkington Eclipse Advantage™ Arctic Blue	36	13	22	9	69	28	25	7	32	1,6
Pilkington Eclipse Advantage™ Blue-Green	52	21	32	13	55	38	37	7	44	1,6
Pilkington Eclipse Advantage™ Bronze	35	13	29	11	60	36	33	8	41	1,6
Pilkington Eclipse Advantage™ EverGreen	44	17	22	10	68	28	25	7	32	1,6
Pilkington Eclipse Advantage™ Grey	29	10	25	9	66	31	29	7	36	1,6

I dati tecnici sopraindicati sono calcolati secondo le norme EN 410 ed EN 673. Coating a controllo solare in faccia 2.
Il valore U_g per vetrate isolanti riempite di gas Argon fa riferimento ad una percentuale di riempimento del 90%.

Nota: poiché il vetro a controllo solare sottoposto a ricottura può essere soggetto a sollecitazione termica, si consiglia eseguire verifiche di sicurezza termica per qualsiasi applicazione.



Ad esempio, questi sistemi, caratterizzati da trasmittanza pienamente rispettosa dei limiti di legge ($U < 2.1 \text{ W/m}^2\text{K}$), consentirebbero (tranne il primo) anche la NON adozione di schermi solari ($g < 0.5$)

Tipologie di vetri. **Vetro chiaro float**

Un vetro convenzionale chiaro (float), caratterizzato mediamente da una trasmittanza termica superiore a 5 W/m²K, **riflette circa l'8%** della radiazione solare incidente, ne assorbe circa il **9%** e ne trasmette il rimanente **83%** nell'ambiente interno.

La radiazione solare si trasmette, pertanto, in massima parte nell'ambiente interno, investendo le superfici presenti ed aumentandone la temperatura.

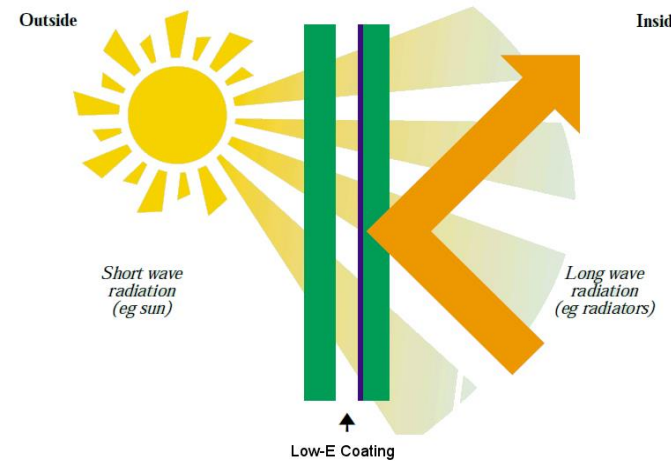
Dall'esterno verso l'interno, si è soliti numerare le facce dei vetri. Ad esempio, con riferimento ad un vetro semplice, la faccia 1 è quella che guarda l'ambiente esterno, la faccia 2 è quella rivolta verso l'interno.

FACCIA 1**FACCIA 2**

Tipologie di vetri. **Vetro basso emissivo (low-e)**

I **vetri basso emissivi (low-e)** sono trasparenti alla radiazione solare, che filtra, pertanto, all'interno dell'edificio.

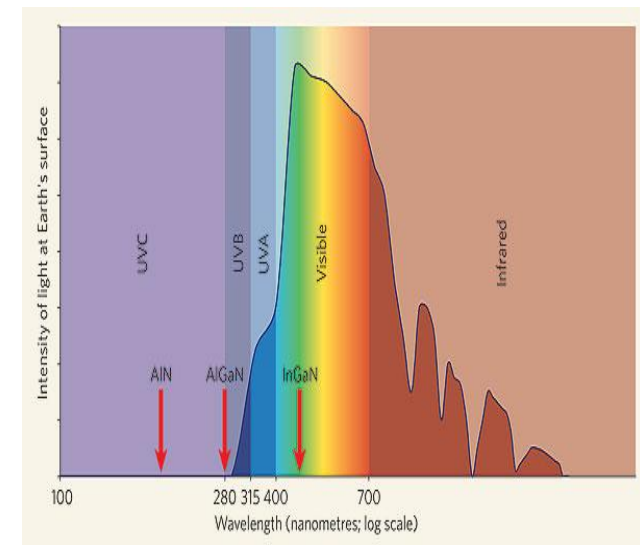
Allo stesso tempo, però, impediscono la fuoriuscita della radiazione termica emessa dai corpi riscaldati. Tali sistemi permettono un notevole risparmio dei costi energetici di riscaldamento. **Fenomeno principale è l'effetto serra che inducono.**



Questi vetri sono rivestiti di ossidi metallici. Il rivestimento può essere realizzato con due procedimenti differenti:

- **CVD (Chemical Vapor Deposition)**
- **MSVD (Magnetron Sputtering Vacuum Deposition)**

Il principale LIMITE dei vetri low-e è l'effetto serra indotto che, in inverno, consente conservazione dell'energia, la qual cosa, in estate (a determinate latitudini e per grandi superfici vetrate) può essere un problema.



Tipologie di vetri. Vetri a controllo solare

I vetri a CONTROLLO SOLARE rappresentano una soluzione a ottimale in regime estivo. Tali sistemi hanno un **fattore solare** (ossia la percentuale di energia che attraversa il vetro in rapporto all'energia solare incidente) variabile. In genere, comportano un aumento dei costi di riscaldamento in inverno. Ne esistono di statici e dinamici:

- **VETRI FOTOCROMICI** variano le proprie caratteristiche ottiche in funzione della loro esposizione ai raggi ultravioletti solari: **maggiore è tale radiazione e più diventano scuri.**
- **VETRI TERMOCROMICI** che si opacizzano all'aumentare della temperatura.
- **VETRI A CRISTALLI LIQUIDI.** I vetri a cristalli liquidi vedono cambiare l'orientamento dei cristalli tra gli elettrodi del sistema, in funzione della differenza di potenziale applicata.
- **VETRI ELETTROCROMICI.** Quando viene applicata una tensione elettrica, avviene una reazione elettrochimica che causa la migrazione di ioni all'elettrodo e dall'elettrodo cromo genico, provocando una variazione del colore del componente.



Pilkington K Glass™



energy-efficient glass

Gli infissi: la struttura del serramento. Nella breve descrizione delle diverse tipologie di infissi saranno presentate e descritte **alcune tipologie in ordine “crescente” di prestazioni ottenibili**. **Tralasciando modelli e tipologie che tendono ad andare in disuso in seguito alle nuove restrittive leggi italiane**, sono descritte le soluzioni maggiormente efficienti dal punto di vista tecnologico e più funzionali nelle prestazioni “energetiche” ottenibili.

Gli infissi in PVC hanno avuto grande diffusione negli ultimi grazie alle **elevate prestazioni termiche** del materiale plastico di cui sono composti.

La **facilità di lavorazione** rende l'infisso facilmente componibile, con ottime prestazioni sia per quanto concerne l'isolamento termico del componente trasparente, sia per quanto concerne la tenuta al vento ed alle infiltrazioni.

Il PVC **non è molto costoso** e, tutto sommato, non richiede significativa manutenzione.



Gli infissi in legno sono sicuramente validi sia per quanto concerne le prestazioni termiche, sia per quanto riguarda la funzionalità estetica.

Il legno spesso è però conservato non in modo ottimale, e ciò costituisce elemento di riduzione delle prestazioni energetiche ottenibili.

Un infisso è buono se, oltre che caratterizzato da una bassa trasmittanza, **non consente spifferi ed infiltrazioni.**

Molto spesso gli infissi in legno **mal conservati**, pur avendo qualità del materiale sicuramente elevate, comunque non consentono buone prestazioni perché **non garantiscono la tenuta all'aria.**

Oltre allo stato conservativo, **bisogna valutare anche la qualità del legno**, esistendone diverse tipologie e molteplici trattamenti, che possono migliorarne prestazioni e durata.



Gli infissi in **alluminio-legno** e, ancora di più, quelli in **legno-alluminio**, rappresentano oggi una soluzione molto efficace.

Entrambe le tipologie presentano la parte interna del serramento, quella visibile dall'interno dell'abitazione, in legno, mentre l'esterno è realizzato in materiale metallico.

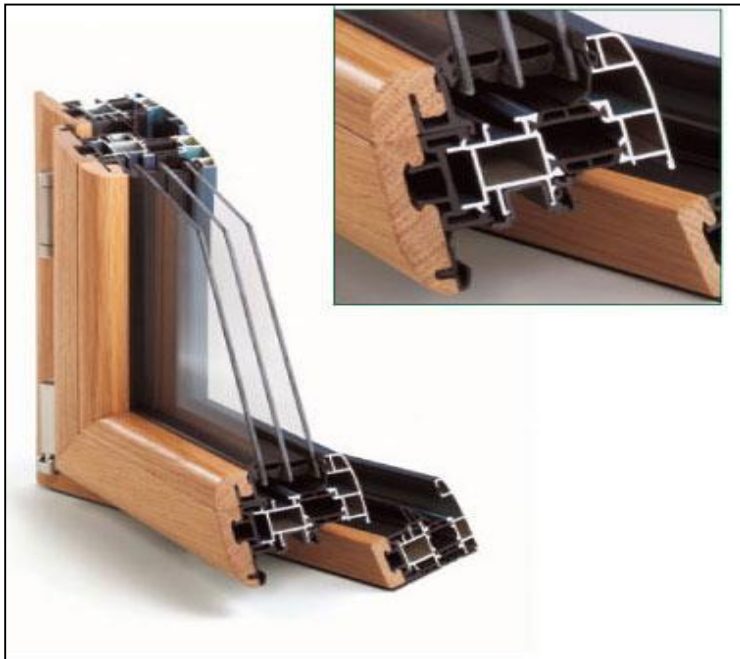
Se dal punto di vista prettamente estetico la **differenza non è sostanziale**, risultando spesso anche difficilmente distinguibili le due differenti tipologie quando già installate, **in realtà i meccanismi tecnologici di contenimento delle dispersioni del calore sono profondamente diversi, pur garantendo ottime prestazioni entrambe le soluzioni.**

La differenza sostanziale tra un infisso alluminio/legno ed un infisso legno/alluminio è **nella funzione** che i due materiali abbinati rivestono nella prestazione del serramento.

Entrambe le soluzioni garantiscono ottime prestazioni dal punto di vista termico, essendo mediamente caratterizzate da valori di trasmittanza **molto al di sotto dei valori massimi** indicati dalla legge nazionale.

Una finestra in alluminio-legno è composta in modo tale che sia il **materiale metallico** il cuore della finestra.

La struttura del serramento, il meccanismo di chiusura, la collocazione del componente vetrato sono elementi integrati nell'elemento metallico, mentre alla parte in legno, posta all'interno dell'ambiente, è deputata essenzialmente la valenza estetica, con il comfort ambientale che determina.



Gli infissi in **alluminio/legno** naturalmente hanno un “cuore metallico” a taglio termico, mediante inserti di materiali isolanti.

In altre parole, pur essendo l'alluminio un materiale naturalmente meno isolante rispetto al legno, i profili sono realizzati e lavorati (in particolare sui giunti) in modo da garantire coibenza, durata ed ottime prestazioni dell'infisso.

Infine, **l'infisso in legno/alluminio** presenta un serramento interno in legno, che garantisce un elevato valore di isolamento termico, mentre il rivestimento esterno in alluminio è funzionale a **proteggere il legno interno** e rendere la finestra duratura nel tempo.

Il sistema vetrato è pienamente fissato nel telaio ligneo, ancora più efficace e duraturo se lamellare.

I legni utilizzati possono essere di varia natura, al fine di variare l'aspetto la piacevolezza estetica del componete.

Allo stesso modo variabile è anche la finitura metallica esterna.

Le qualità naturali del legno, dotato di elevata resistenza termica, determinano prestazioni ottimali in termini energetici da parte di questa soluzione tecnologica.





TELAI PER FINESTRA

Telai in legno – hanno buone caratteristiche energetiche essendo il legno un discreto isolante

Telaio	U_f [W/m ² K]
con taglio termico	3,0 ÷ 3,7
senza taglio termico	7

Larghezza del telaio [mm]	U_f [W/m ² K]
30	2,2
50	1,9
100	1,4

Telai in alluminio – è un metallo e dunque un ottimo conduttore termico. Per mitigare ciò è spesso necessario un taglio termico di materiale sintetico

TIPICHE
TRASMITTANZE
DELLE
FINESTRE

Vetro	Spessore intercapedine con aria [mm]	Telaio	U_w [W/m ² K]
monolitico	-	legno	5,0
		metallo	5,8
vetrocamera con doppio vetro	4,5 ÷ 7,0	legno	3,3
		metallo	4,7
	7,0 ÷ 10	legno	3,0
		metallo	3,9
	10 ÷ 14	legno	2,4 ÷ 2,6
		alluminio senza taglio termico	3,8 ÷ 4,6
		alluminio con taglio termico	2,9 ÷ 3,2
		alluminio-legno	2,5

La trasmittanza dei Telai (f = frame)



Trasmittanza termica U_g di vetrate doppie e triple riempite con differenti gas

Vetrata				Tipo di gas nell'intercapedine (concentrazione del gas $\geq 90\%$)			
Tipo	Vetro	Emissività normale	Dimensioni in mm	Aria	Argon	Krypton	SF6
Doppie vetrate	Vetri senza trattamento superficiale (vetro normale)	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0
			4-9-4	3,0	2,8	2,6	3,1
			4-12-4	2,9	2,7	2,6	3,1
			4-15-4	2,7	2,6	2,6	3,1
			4-20-4	2,7	2,6	2,6	3,1
	Una lastra con trattamento superficiale	$\leq 0,4$	4-6-4	2,9	2,6	2,2	2,6
			4-9-4	2,6	2,3	2,0	2,7
			4-12-4	2,4	2,1	2,0	2,7
			4-15-4	2,2	2,0	2,0	2,7
			4-20-4	2,2	2,0	2,0	2,7
	Una lastra con trattamento superficiale	$\leq 0,2$	4-6-4	2,7	2,3	1,9	2,3
			4-9-4	2,3	2,0	1,6	2,4
			4-12-4	1,9	1,7	1,5	2,4
			4-15-4	1,8	1,6	1,6	2,5
			4-20-4	1,8	1,7	1,6	2,5
	Una lastra con trattamento superficiale	$\leq 0,1$	4-6-4	2,6	2,2	1,7	2,1
			4-9-4	2,1	1,7	1,3	2,2
			4-12-4	1,8	1,5	1,3	2,3
			4-15-4	1,6	1,4	1,3	2,3
			4-20-4	1,6	1,4	1,3	2,3
	Una lastra con trattamento superficiale	$\leq 0,05$	4-6-4	2,5	2,1	1,5	2,0
			4-9-4	2,0	1,6	1,3	2,1
			4-12-4	1,7	1,3	1,1	2,2
			4-15-4	1,5	1,2	1,1	2,2
			4-20-4	1,5	1,2	1,2	2,2

Vetrata				Tipo di gas nell'intercapedine (concentrazione del gas ≥90%)			
Tipo	Vetro	Emissività normale	Dimensioni in mm	Aria	Argon	Krypton	SF6
Triple vetrate	Vetri senza trattamento superficiale (vetro normale)	0,89	4-6-4-6-4	2,3	2,1	1,8	2,0
			4-9-4-9-4	2,0	1,9	1,7	2,0
			4-12-4-12-4	1,9	1,8	1,6	2,0
	Due lastre con trattamento superficiale	≤0,4	4-6-4-6-4	2,0	1,7	1,4	1,6
			4-9-4-9-4	1,7	1,5	1,2	1,6
			4-12-4-12-4	1,5	1,3	1,1	1,6
	Due lastre con trattamento superficiale	≤0,2	4-6-4-6-4	1,8	1,5	1,1	1,3
			4-9-4-9-4	1,4	1,2	0,9	1,3
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,8	1,4
	Due lastre con trattamento superficiale	≤0,1	4-6-4-6-4	1,7	1,3	1,0	1,2
			4-9-4-9-4	1,3	1,0	0,8	1,2
			4-12-4-12-4	1,1	0,9	0,6	1,2
	Due lastre con trattamento superficiale	≤0,05	4-6-4-6-4	1,6	1,3	0,9	1,1
			4-9-4-9-4	1,2	0,9	0,7	1,1
			4-12-4-12-4	1,0	0,8	0,5	1,1
Nota	I valori di trasmittanza termica del prospetto sono calcolati utilizzando la EN 673. Si riferiscono ai valori di emissività e alle concentrazioni di gas date. Per vetrate singole i valori di emissività e/o le concentrazioni di gas possono cambiare con il tempo. Procedure per valutare l'effetto dell'invecchiamento sulle proprietà termiche delle vetrate singole sono contenute nel prEN 1279-1 e nel prEN 1279-3.						

Trasmittanza di vetrocamera per
finestre, con intercapedine
riempita in diversi GAS

La trasmittanza dei vetri ($g = \text{glass}$)



Dopo una determinata “soglia di spessore” i moti convettivi all’interno delle intercapedini del vetrocamera causano un decadimento delle prestazioni in termini di maggiore isolamento termico. Tale soglia è intorno ai 15 mm.

Resistenza termica R_s di intercapedini d'aria non ventilate, in $m^2 \cdot K/W$, per finestre doppie e accoppiate

Spessore dell'intercapedine d'aria mm	Una sola superficie trattata con emissività normale di				Entrambe le superfici non trattate
	0,1	0,2	0,4	0,8	
6	0,211	0,190	0,163	0,132	0,127
9	0,298	0,259	0,211	0,162	0,154
12	0,376	0,316	0,247	0,182	0,173
15	0,446	0,363	0,276	0,197	0,186
50	0,406	0,335	0,260	0,189	0,179
100	0,376	0,315	0,247	0,182	0,173
300	0,333	0,284	0,228	0,171	0,163



Trasmittanza di finestre
comprehensive di infisso
(area di telaio =30%).

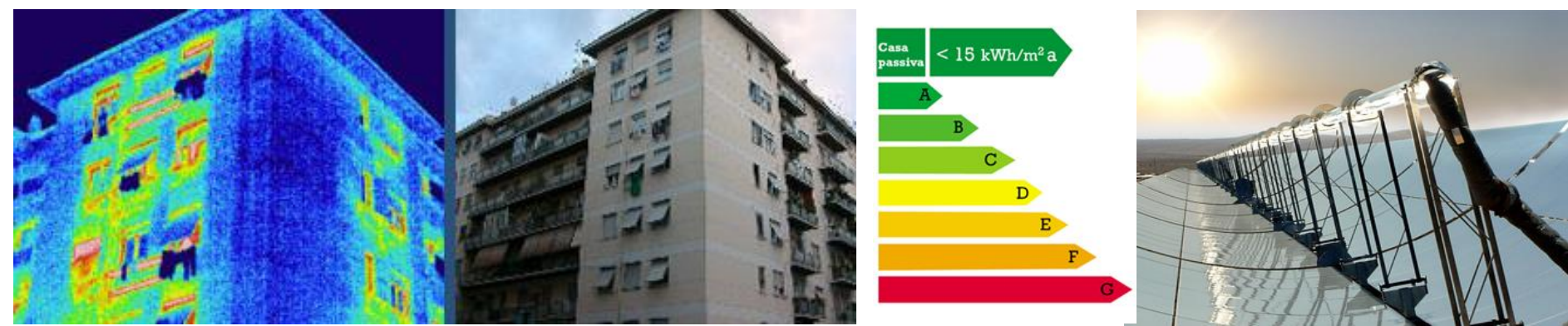
U_f = trasmittanza telaio

U_g = trasmittanza vetro

Tipo di vetrata	U_g W/(m ² ·K)	U_f W/(m ² ·K) Area di telaio 30%								
		1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Singola	5,7	4,3	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,0	5,1	6,1
	3,3	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	3,5	3,6	4,4
Doppia	3,1	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,5	4,3
	2,9	2,4	2,5	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2	3,3	4,1
	2,7	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	3,1	3,2	4,0
	2,5	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	3,0	3,1	3,9
	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	2,9	3,8
	2,1	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	3,6
	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,7	3,5
	1,7	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	3,3
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	3,2
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	3,1
	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,9
	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,8
Tripla	2,3	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	3,7
	2,1	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	3,6
	1,9	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	3,4
	1,7	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	3,3
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	3,2
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	3,1
	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,9
	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,8
	0,7	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	2,6
	0,5	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	2,5

Nota I calcoli sono stati eseguiti utilizzando valori di Ψ in conformità con l'appendice E. Per finestre con area del telaio non uguale al 30% del totale i devono essere calcolati utilizzando le equazioni riportate nel corpo principale della presente norma.

La trasmittanza dei vetri (w = windows)



Cenni iniziali alla normativa di riferimento

Richiami legislativi

Il Decreto Legge **04/06/2013** n. **63** ha recepito la Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'Unione, relativa alla prestazione energetica nell'edilizia.

Il citato D.L., divenuto legge con l'emanazione della L. 90/2013 (3 Agosto 2013), sopprime l'**Attestato di Certificazione Energetica (ACE)**, introducendo l'Attestato di Prestazione Energetica (**APE**), conforme alla nuova direttiva.

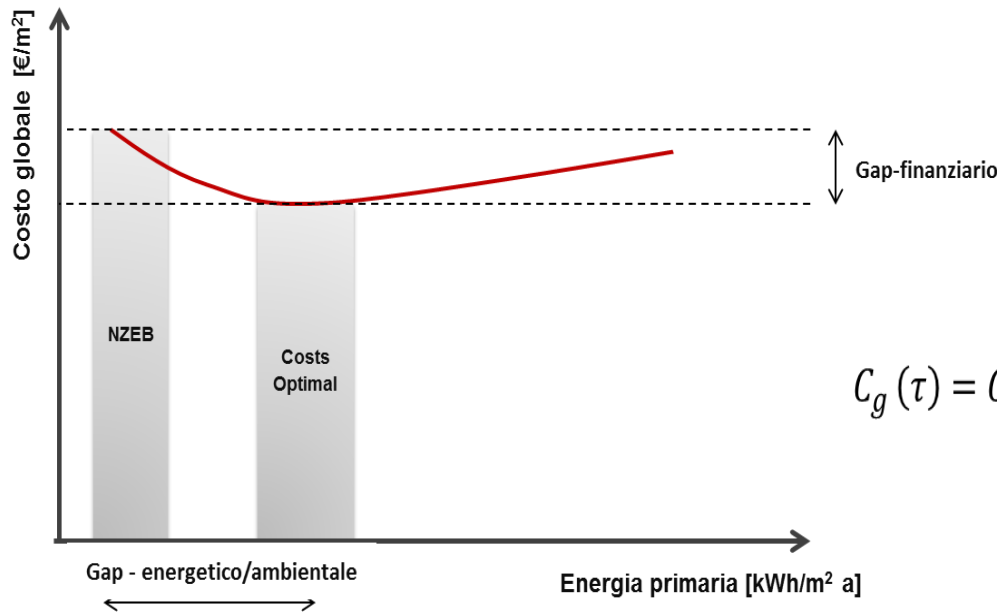
La nuova metodologia di calcolo dei parametri energetici è stata definita dai **Decreti del Ministero dello Sviluppo economico** noti come **DM 26-06-2015 «Requisiti Minimi»**

Le prescrizioni energetiche da osservare sono diverse, a seconda che si tratti di:

- Nuovi edifici, ampliamenti, ristrutturazioni importanti di primo livello (>50% involucro e impianti).
- Ristrutturazioni importanti di primo livello (> 25% involucro).
- Riqualficazioni energetiche (interventi inferiori alle soglie di cui sopra).



La situazione italiana



La attuale legge (90/2013) ha introdotto l'importantissimo concetto di livello ottimale di efficienza energetica in funzione dei costi.

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \times R_d(i) + C_{c,i}(j)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

Dal 2019 (edifici pubblici e uso pubblico) o dal 2021 (tutti gli edifici nuovi) devono rispettare lo standard «edificio ad energia quasi zero»

Nearly Zero Energy Building (nZEB). Un edificio che presenta una richiesta **energetica estremamente bassa**, coperta in gran parte dall'uso di fonti energetiche rinnovabili disponibili in loco o nelle vicinanze.

Nel Giugno 2015, sono stati pubblicati i nuovi decreti di attuazione previsti dalla legge 90/2013.

I 3 decreti interministeriali del 26 giugno 2015 completano il quadro normativo in materia di efficienza energetica negli edifici e riguardano:

1. [decreto requisiti minimi](#), applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici
2. [linee guida nuovo APE 2015](#), adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 – linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici
3. [decreto relazione tecnica di progetto](#), schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici



Prescrizioni per i nuovi edifici, ampliamenti e ristrutturazioni importanti di primo livello.

Le prescrizioni relative all'efficienza energetica riguardano, a titolo di esempio:

- le trasmittanze delle strutture opache e trasparenti,
- il coefficiente globale di scambio termico H'_t ,
- i rendimenti degli impianti termici,
- l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale EP_i ,
- l'indice di prestazione energetica per il contenimento del surriscaldamento estivo $EP_{e,inv}$,
- l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile $EP_{gl,nren}$,
- il fattore di trasmissione solare delle vetrate (g),
- l'area solare equivalente estiva ($A_{sol,est} / A_{sup\ utile}$).

Tabella 3 - Efficienze, parametri e indici di prestazione energetica

H'_t [W/ m ² K]	coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente
$A_{sol,est} / A_{sup\ utile}$ [-]	area solare equivalente estiva per unità di superficie utile;
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]	indice di prestazione termica utile per riscaldamento;
η_H [-]	efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale;
EP_H [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot") ;
$EP_{W,nd}$ [kWh/m ²]	indice di prestazione termica utile per la produzione di acqua calda sanitaria;
η_w [-]	efficienza media stagionale dell'impianto di produzione dell'acqua calda sanitaria;
EP_W [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
EP_V [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica per la ventilazione. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]	indice di prestazione termica utile per il raffrescamento;
η_c [-]	efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità);
EP_C [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità). Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
EP_L [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale. Questo indice non si calcola per la categoria E.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3). Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
EP_T [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica del servizio per il trasporto di persone e cose (impianti ascensori, marciapiedi e scale mobili). Questo indice non si calcola per la categoria E.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3);
$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L + EP_T$ [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica globale dell'edificio. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot").



Fonte: Appendice A - Decreto Requisiti Minimi 26/06/2015

1.1 Parametri relativi al fabbricato

1. Nel presente paragrafo si riportano i valori dei parametri caratteristici del fabbricato dell’edificio di riferimento.

Tabella 1- Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, verso l’esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra

Zona climatica	U (W/m²K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e 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 - Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l’esterno e gli ambienti non climatizzati

Zona climatica	U (W/m²K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e 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



NAPOLI

Zona Climatica C, significa:

- | | |
|--|--|
| 1. necessario utilizzo di 8 – 10 cm di ISOLANTE TERMICO nelle pareti opache; | |
| 2. necessario utilizzo di 9 – 10 cm ISOLANTE TERMICO nei solai di copertura; | |
| 3. necessario utilizzo di 7 – 10 cm ISOLANTE TERMICO nel primo solaio; | |
| 4. adozione di componenti trasparenti quantomeno con vetrocamera doppio. | |

