



Parametri Dinamici

UNI EN ISO 13786

prof. Marco Manzan

maggio 2023

Impianti Termotecnici e Riqualficazione Energetica

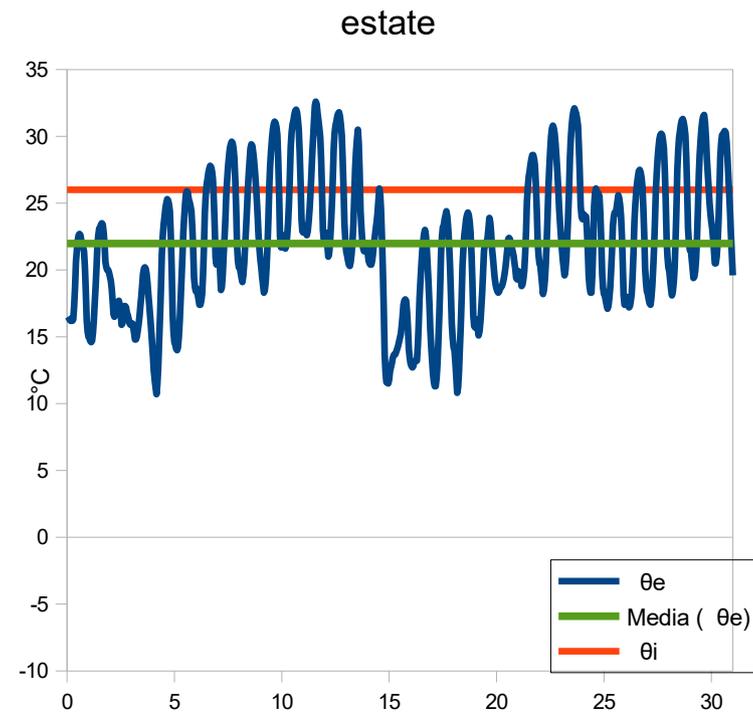
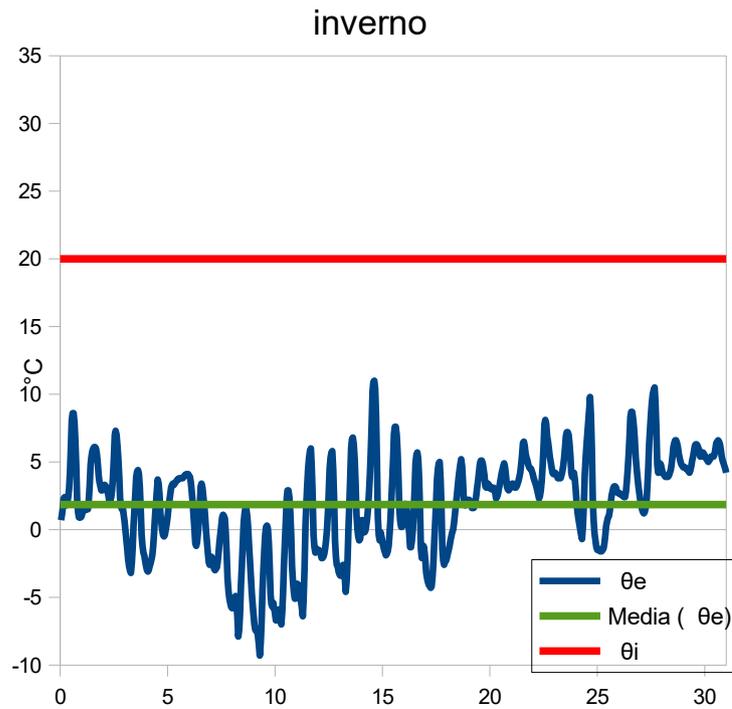


Necessità del calcolo

- I parametri dinamici vengono richiamati in diverse parti della normativa attuale
- La UNI/TS 11300-1 utilizza la capacità termica per il calcolo del fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti, sia invernale che estivo
- Le linee guida per il calcolo dell'Attestato di Prestazione Energetica APE richiedono il calcolo di:
 - Fattore di attenuazione
 - Ritardo
- Dovrebbe essere anche indicata l'ammettenza, valore più importante per evidenziare i rischi di temperature elevate dovute ai carichi interni.



Andamento temperature



Condizioni stazionarie

- In condizioni stazionarie lo scambio termico attraverso una parete è legato solo alla trasmittanza

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

$$R_{tot} = R_t + R'_t + R_i + R_e$$

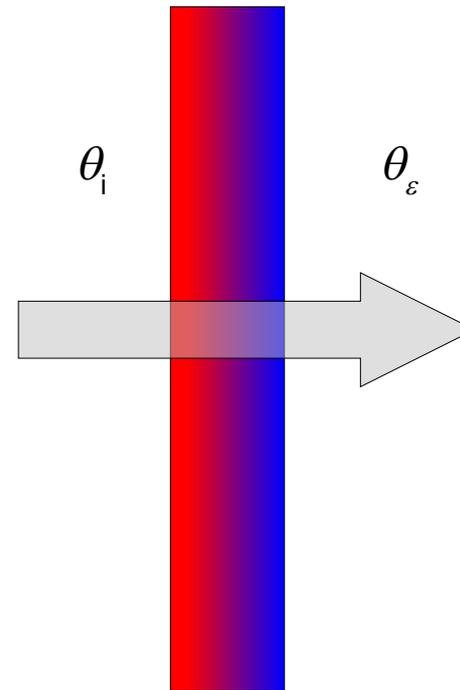
$$R_t = \frac{s}{\lambda}$$

R_t resistenza dello strato

R'_t resistenza di uno strato non omogeneo

R_i resistenza superficiale interna

R_e resistenza superficiale esterna





UNI EN ISO 13786

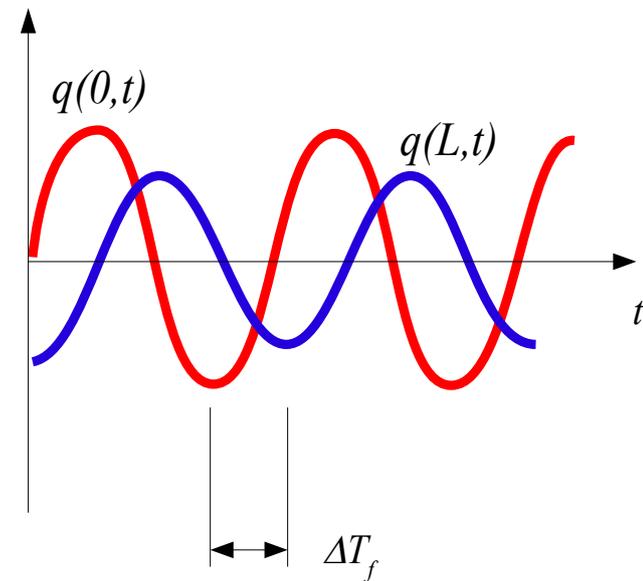
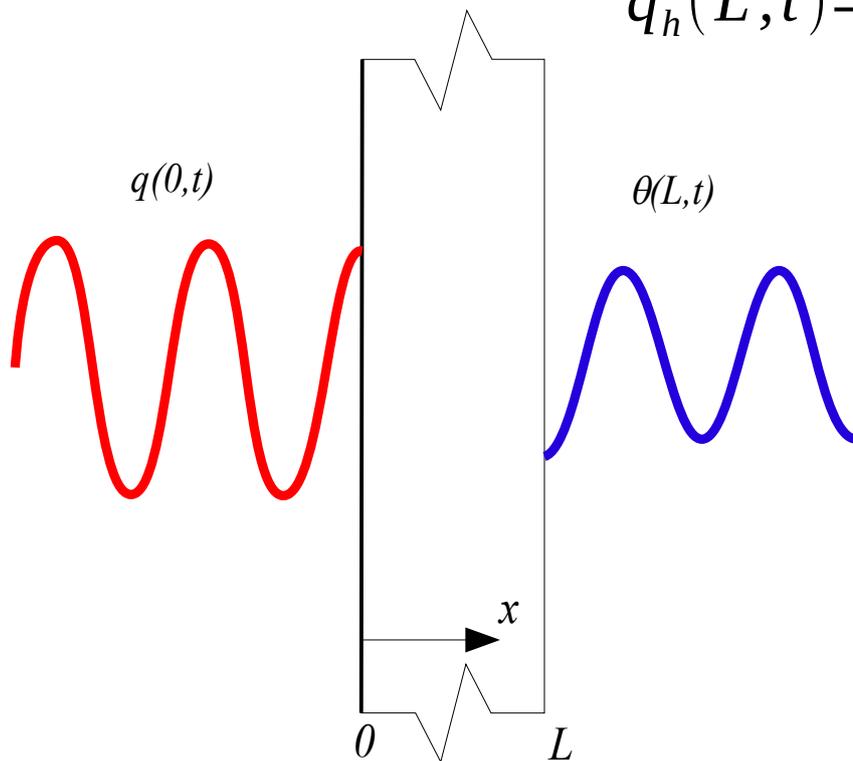
- Le proprietà dinamiche delle strutture sono descritte nella norma UNI EN ISO 13786
- Tale norma si applica a condizioni di carico sinusoidali
- Attraverso la serie di fourier le sollecitazioni periodiche possono essere rappresentate come somma di sinusoidi
- Posso giungere alla definizione di una conduttanza termica periodica che lega una variazione di temperatura ad un flusso termico

Parete semplice

$$\theta_h(0, t) = 0$$

$$\theta_h(L, t) = Z_{12} \cdot q_h(0, t)$$

$$q_h(L, t) = Z_{22} \cdot q_h(0, t)$$



UNI EN ISO 13786

- Viene definita una matrice di trasferimento termico Z complessa
- Si definisce la profondità di penetrazione periodica

$$\delta = \sqrt{\frac{\lambda \cdot T}{\pi \cdot \rho \cdot c}} \quad \xi = \frac{L}{\delta}$$

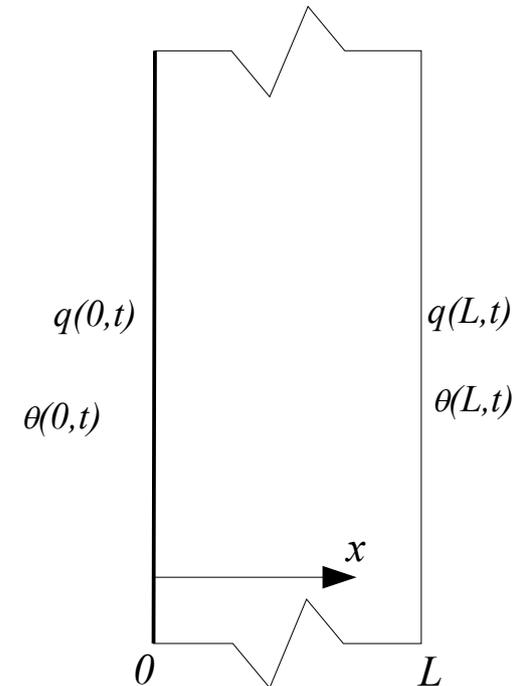
- Per uno strato omogeneo

$$\begin{bmatrix} \theta_h(L, t) \\ q_h(L, t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta_h(0, t) \\ q_h(0, t) \end{bmatrix}$$

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cos(\xi) + j \sinh(\xi) \sin(\xi)$$

$$Z_{12} = -\frac{\delta}{2\lambda} \{ \sinh(\xi) \cos(\xi) + \cosh(\xi) \sin(\xi) + j [\cosh(\xi) \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cos(\xi)] \}$$

$$Z_{21} = -\frac{\lambda}{\delta} \{ \sinh(\xi) \cos(\xi) - \cosh(\xi) \sin(\xi) + j [\sinh(\xi) \cos(\xi) + \cosh(\xi) \sin(\xi)] \}$$





Pareti multistrato

- In questo caso la matrice di trasferimento è il prodotto della matrice per ogni singolo strato

$$[Z] = [Z]_N \cdot [Z]_{N-1} \cdot \dots \cdot [Z]_2 \cdot [Z]_1$$

- Lo strato 1 è lo strato più interno
- Caso particolare, strato i caratterizzato da una pura resistenza (strato convettivo o intercapedine)

$$[Z]_i = \begin{bmatrix} 1 & -R_i \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Interpretazione fisica

- I termini della matrice di trasferimento sono numeri complessi, li rappresento nella forma polare come modulo ed argomento

$$Z = |Z| \cdot e^{j\Phi}$$

$|Z_{11}|$ Fattore di smorzamento della temperatura, ampiezza delle variazioni di temperatura esterna per una variazione di 1 K di quella interna

Φ_{11} Fase tra la temperatura interna ed esterna

$|Z_{21}|$ Ampiezza delle oscillazioni di flusso termico esterno per un'oscillazione di 1K di temperatura interna

Φ_{21} Differenza di fase

$|Z_{12}|$ Ampiezza di temperatura esterna per oscillazione di flusso interno di 1 W/m²

Φ_{12} Differenza di fase

$|Z_{22}|$ Fattore di smorzamento del flusso termico

Φ_{22} Differenza di fase

Matrice delle ammettenze

- Il legame tra variazione di temperatura e flusso può essere riscritto introducendo la matrice delle ammettenze termiche \mathbf{Y}

$$\begin{bmatrix} \theta_2 \\ q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{22} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta_1 \\ q_1 \end{bmatrix} \quad \longrightarrow \quad \begin{bmatrix} -q_1 \\ q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{Y}] = \frac{1}{Z_{12}} \begin{bmatrix} -Z_{11} & 1 \\ 1 & -Z_{22} \end{bmatrix}$$

- Il primo termine della matrice Y_{11} è l'ammettenza, coefficiente di scambio in condizioni cicliche, per pareti

$$Y_{11} = -\frac{Z_{11}}{Z_{12}} = \left(\frac{q_1}{\theta_1} \right)_{\theta_2=0} \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right]$$

Matrice delle ammettenze

- Y_{11} e Y_{22} sono le **ammettenze** interna ed esterna, rapporto tra il flusso termico periodico su un lato e l'oscillazione della temperatura sullo stesso lato

$$Y_{11} = -\frac{Z_{11}}{Z_{12}} = \left(\frac{q_1}{\theta_1} \right)_{\theta_2=0} ; \quad Y_{22} = -\frac{Z_{22}}{Z_{12}} = \left(\frac{-q_2}{\theta_2} \right)_{\theta_1=0} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right]$$

- $Y_{12} = Y_{21}$ è la trasmittanza termica periodica, flusso termico periodico che attraversa l'unità di superficie su un lato e l'oscillazione di temperatura sull'altro

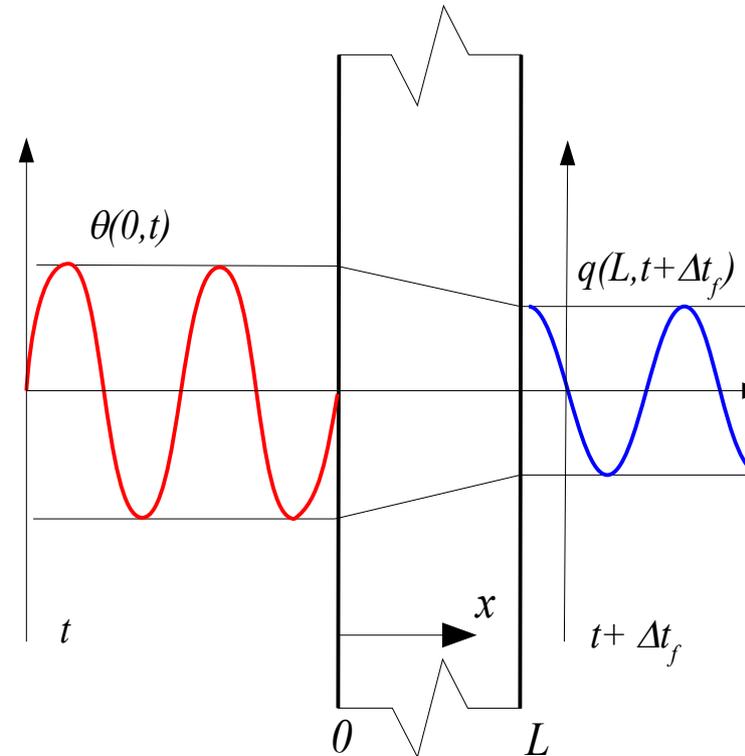
$$Y_{12} = -\frac{1}{Z_{12}} = \left(\frac{-q_1}{\theta_2} \right)_{\theta_1=0}$$

$$Y_{21} = -\frac{1}{Z_{21}} = \left(\frac{q_2}{\theta_1} \right)_{\theta_2=0}$$

Fattori di attenuazione sfasamento

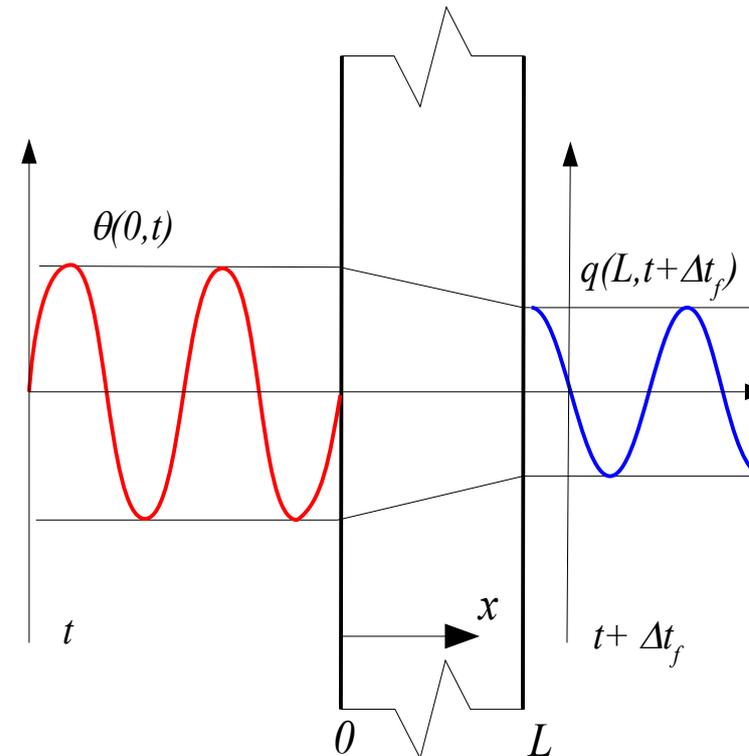
- Consideriamo la trasmittanza periodica e dividiamola per la trasmittanza, U otteniamo un numero complesso
- Il numero complesso scritto in forma polare, o modulo e argomento dà rispettivamente il fattore di decremento f e il fattore di sfasamento Δt_f

$$f = \frac{|Y_{12}|}{U} \quad \Delta t_f = \frac{T}{2\pi} \arg(Y_{12})$$



Fattori di attenuazione sfasamento

- Il fattore di smorzamento indica il rapporto tra il flusso termico entrante nell'ambiente attraverso la struttura su quello che entrerebbe se il fenomeno fosse stazionario
- Lo sfasamento Δt_f indica invece con quale ritardo si percepisce all'interno il massimo di sollecitazione termica esterna
- Un elevato ritardo consente di “smaltire” il calore con una ventilazione naturale sfruttando eventuali minori temperature esterne



Decreti 26 giugno 2015

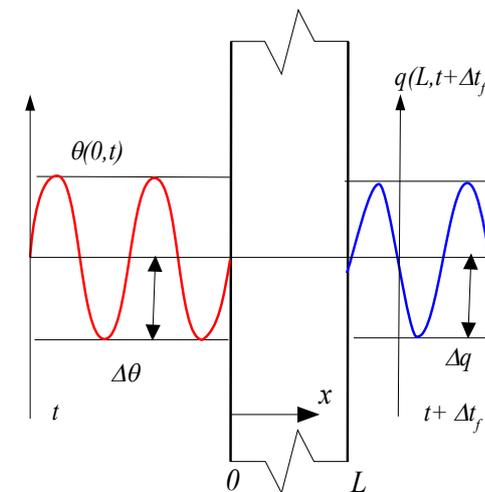
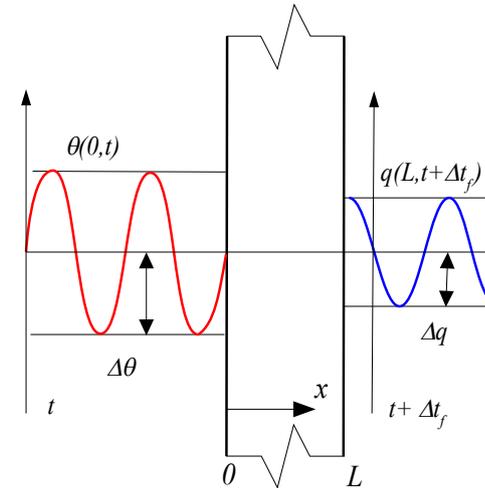
- esegue, a eccezione degli edifici classificati nelle categorie E.6 ed E.8, in tutte le zone climatiche a esclusione della F, per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva, $I_{m,s}$, sia maggiore o uguale a 290 W/m^2 :
 - i. almeno una delle seguenti verifiche, relativamente a tutte le pareti verticali opache con l'eccezione di quelle comprese nel quadrante nord-ovest / nord / nord-est:
 - che il valore della massa superficiale M_s , di cui al comma 29 dell'allegato A, del decreto legislativo, sia superiore a 230 kg/m^2 ;
 - che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica YIE , di cui alla lettera d), del comma 2, dell'articolo 2, del presente decreto, sia inferiore a $0,10 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$;
 - ii. la verifica, relativamente a tutte le pareti opache orizzontali e inclinate, che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica YIE , di cui alla lettera d), del comma 2, dell'articolo 2, del presente decreto, sia inferiore a $0,18 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$;

Trasmittanza termica periodica

$$\theta_e = \theta_0 + \Delta \theta \cdot \sin(\omega t)$$

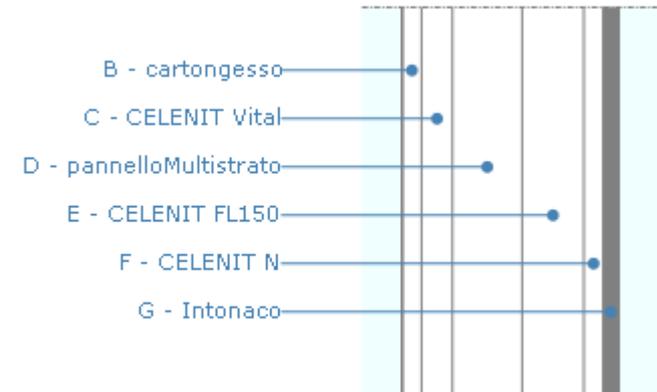
$$q_i = q_0 + \Delta q \cdot \sin[\omega(t + \Delta t)]$$

$$|Y_{ie}| = \frac{\Delta q}{\Delta \theta}$$



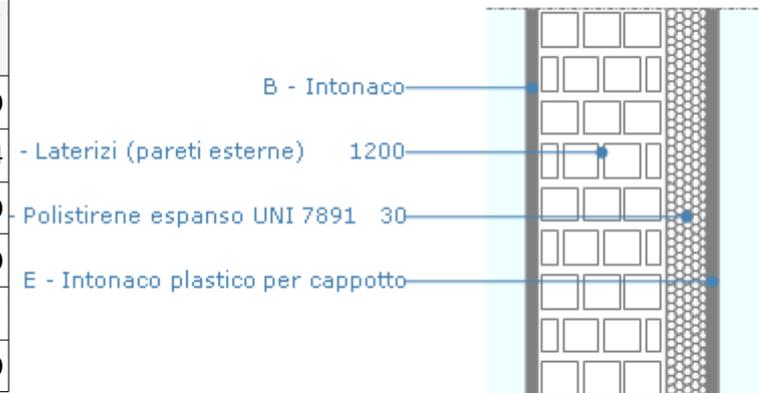
Parete esterna a pannello

	Descrizione strato	s	l	C	r	R
	dall'interno verso l'esterno	[mm]	[W/mK]	[W/m ² K]	[kg/m ³]	[m ² K/W]
A	Adduttanza interna (flusso verticale)	0.0	7.700	-	-	0.130
B	cartongesso	25.0	0.210	8.400	1,000.000	0.119
C	CELENIT Vital	40.0	0.037	0.925	30.000	1.081
D	pannelloMultistrato	90.0	0.120	1.333	450.000	0.750
E	CELENIT FL150	80.0	0.040	0.500	160.000	2.000
F	CELENIT N	25.0	0.070	2.800	460.000	0.357
G	Intonaco	20.0	0.580	29.000	1,200.000	0.034
H	Adduttanza esterna (flusso verticale)	0.0	25.000	-	-	0.040



Parete a cappotto

	Descrizione strato	s	l	C	r	$\frac{du}{r}$ ($\times 10^{-12}$)	R
	dall'interno verso l'esterno	[mm]	[W/mK J]	[W/m ² K J]	[kg/m ³]	[kg/msPa J]	[m ² K/W J]
A	Adduttanza interna (flusso verticale)	0.0	7.700	-	-	-	0.130
B	Intonaco	20.0	0.580	29.000	1,200.000	62.000	0.034
C	Laterizi (pareti esterne) 1200	250.0	0.544	2.176	1,200.000	31.250	0.460
D	Polistirene espanso UNI 7891 30	80.0	0.040	0.500	30.000	3.000	2.000
E	Intonaco plastico per cappotto	20.0	0.330	16.500	1,300.000	6.250	0.061
F	Adduttanza esterna (flusso verticale)	0.0	25.000	-	-	-	0.040



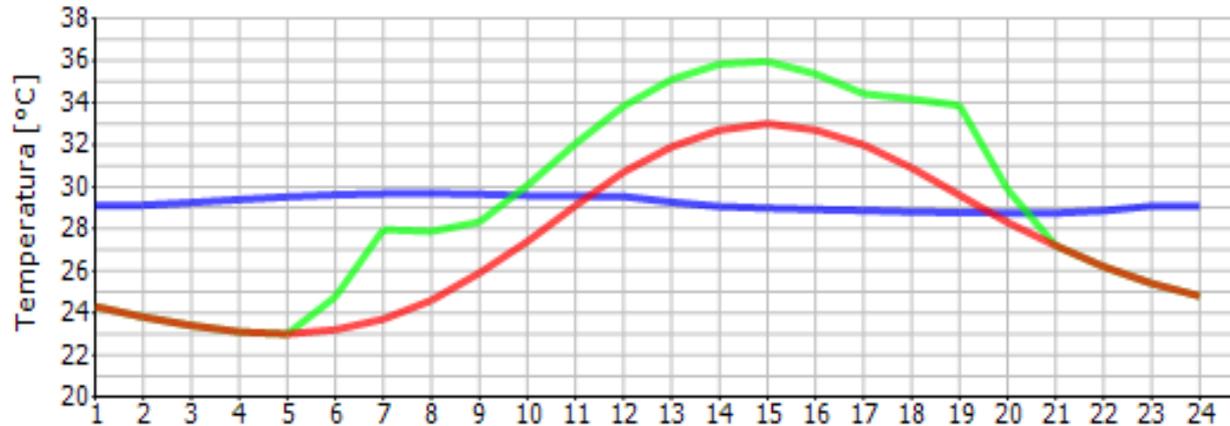


Caratteristiche dinamiche

<i>parete</i>	<i>trasmissione</i>	<i>Ammetenza interna</i>	<i>Ammetenza esterna</i>	<i>attenuazione</i>	<i>sfasamento</i>
Pannello	0.2216	3,029	3,208	0,0874	8 32' 1"
Cappotto	0.367	3,949	1,9412	0,1245	12 47' 10"

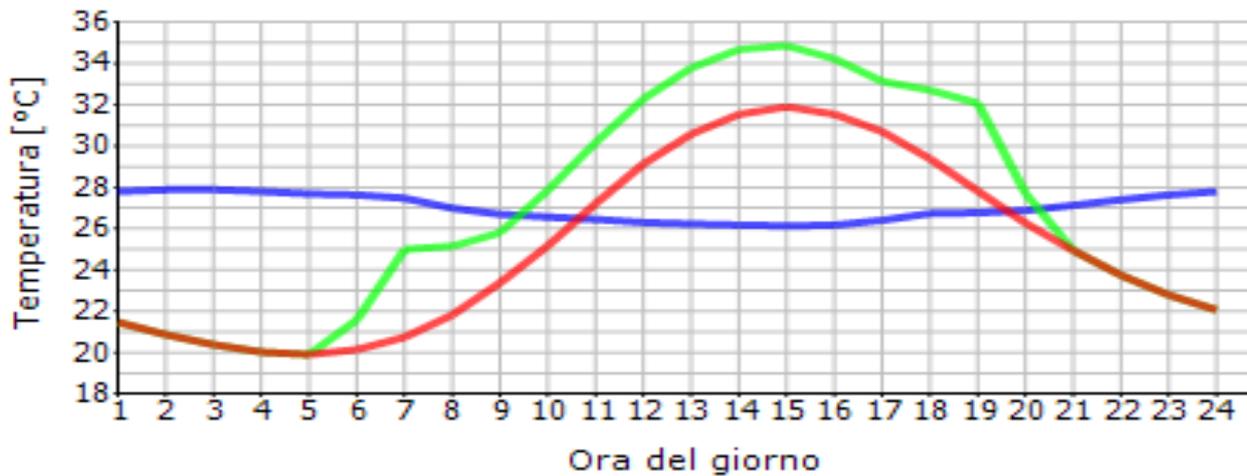
Parete esterna pannello

Sfasamento onda termica [h]



Pannello

Sfasamento onda termica [h]



Cappotto



Conclusioni

- Le pareti utilizzate per le costruzioni in legno soddisfano facilmente i vincoli sulla trasmittanza termica richiesti dalla normativa
- I valori di trasmittanza sono raggiunti con strutture leggere e di spessore contenuto
- Rimane il problema del vincolo sulla massa frontale delle pareti
- Il comportamento dinamico delle pareti, per quanto riguarda i fattori di attenuazione e sfasamento dell'onda termica sono paragonabili a quelli delle strutture pesanti
- La struttura leggera all'intradosso delle superfici può essere un problema per evitare problemi di surriscaldamento
- La struttura leggera deve essere accompagnata da schermature esterne che limitino carichi termici eccessivi.