

Construction method in wood-cement

**TECHNICAL MANUAL FOR ENERGY
EFFICIENCY IN BUILDINGS**

Thermal insulation in accordance with the Ministerial Decree of June 26, 2015



Realized by ANIT
«Technology and Project»

Version January 2016

In collaboration with National Association for Thermal and Acoustic Insulation



Metodo costruttivo in legno-cemento

MANUALE TECNICO PER L'EFFICIENZA ENERGETICA IN EDILIZIA

Isolamento termico nel rispetto del Decreto Ministeriale 26 giugno 2015



**Realizzato da T.E.P. s.r.l.
“Tecnologia e Progetto”**

Versione gennaio 2016

In collaborazione con ANIT Associazione Nazionale per l'isolamento termico e acustico

Metodo costruttivo in legno-cemento.....	1
Isolamento termico	2
A. Principi generali e quadro normativo	2
Principi generali.....	2
➤ Grandezze e unità di misura.....	2
➤ Teoria della trasmissione del calore.....	3
➤ Efficienza energetica.....	3
• Prestazioni energetiche	5
• Edificio ad energia quasi zero	10
Normativa tecnica di riferimento	11
B. Analisi delle prestazioni invernali	13
Determinazione della resistenza termica.....	13
C. Verifiche termoigrometriche.....	29
Verifica della condensa superficiale	30
Verifica della condensa interstiziale	31
D. Analisi delle prestazioni estive	32
➤ L'inerzia termica e le prestazioni estive	32
➤ Prescrizioni	32
➤ Parametri dinamici	33

NOTA: La presente relazione e le proposte di soluzioni contenute hanno carattere informativo e sono redatte sulla base dei soli dati trasmessi dal cliente. Non possono pertanto sostituire progetti, analisi architettonico- strutturali e relazioni tecniche delle strutture e delle opere descritte. TEP S.r.l. non assume alcuna responsabilità sulle scelte di progettazione e sull'attuazione di opere eseguite in riferimento a quanto descritto nella presente relazione. In particolare TEP S.r.l. non garantisce i risultati delle soluzioni consigliate non avendo svolto alcun esame diretto e dettagliato dello stato dei luoghi e dei fabbricati, né potendo esercitare alcun controllo sull'eventuale realizzazione delle soluzioni stesse.

Isolamento termico

A. Principi generali e quadro normativo

Principi generali

➤ Grandezze e unità di misura

- <i>Conduttività termica</i>	λ [W/mK] = 0,86 [kcal/mh°C]
Flusso di calore che in condizioni di regime stazionario attraversa la superficie di 1 mq di un cubo di materiale omogeneo avente lo spessore di 1 m, e con differenza di temperatura tra le due facce opposte parallele di 1°C	
- <i>Massa volumica</i>	ρ [kg/m³]
Peso per unità di volume di un materiale	
- <i>Trasmittanza</i>	U [W/mqK] = 0,86 [kcal/hmqK]
Flusso di calore che in condizioni di regime stazionario passa da un fluido ad un altro attraverso una parete di separazione di definito spessore, per unità di superficie e per grado di differenza di temperatura tra i due fluidi	
- <i>Resistenza termica</i>	R [mq K /W] = 1,163 [W/ mq K]
Capacità del mezzo di opporsi al flusso di calore, risulta pari all'inverso della trasmittanza	
- <i>Resistenza termica liminare o resistenza superficiale</i>	R_s [mq K /W]
Resistenza termica dello strato d'aria in prossimità della struttura,	
- <i>Pressione di saturazione</i>	P_s [Pa]
Pressione esercitata dal vapore presente nell'aria ad una definita temperatura in condizioni di umidità di saturazione o umidità relativa del 100%	
- <i>Pressione parziale del vapore</i>	P_v [Pa]
Pressione esercitata dal vapore presente nell'aria ad una definita temperatura quando l'umidità relativa è inferiore al 100%	
- <i>Temperatura di rugiada</i>	T [°C] [K]
Temperatura minima alla quale può essere raffreddata un'aria avente una determinata umidità relativa e temperatura senza che si verifichi la formazione di condensa	
- <i>Umidità assoluta</i>	X [gr/kg aria secca]
Rappresenta la quantità in peso di vapore acqueo presente in un kg di aria secca	
- <i>Umidità di saturazione</i>	X_s [gr/kg aria secca]
Per un'aria ad una definita temperatura è la quantità massima di acqua sotto forma di vapore contenibile, oltre la quale la parte in eccedenza precipita in fase liquida	
- <i>Umidità relativa</i>	UR [%]
Per un'aria ad una definita temperatura rappresenta il rapporto fra il valore di umidità assoluta [X] contenuto ed un valore di umidità di saturazione $UR = X/X_s$	
- <i>Calore specifico</i>	c [J/g K]
Il calore specifico è la quantità di energia assorbita (o ceduta) da 1 kg di materiale che provoca un aumento (o una diminuzione) di temperatura di 1 K	
- <i>Attenuazione</i>	f_a
Attenuazione del flusso termico sulla superficie interna di parete dovuta alle sollecitazioni termiche sulla superficie esterna di parete	
- <i>Sfasamento</i>	ϕ [h]
Ritardo del picco della temperatura del lato interno della parete rispetto alla temperatura del lato esterno	

- <i>Trasmittanza termica periodica</i>	Y_{ie} [W/m ² k]
E' il parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore	

➤ Teoria della trasmissione del calore

Il calore si trasferisce spontaneamente dagli ambienti a temperatura più alta verso gli ambienti a temperatura più bassa; il fenomeno cessa quando i due ambienti hanno raggiunto la medesima temperatura. L'interposizione di materiali con caratteristiche termiche specifiche condiziona fortemente il trasferimento del calore: si può affermare che il flusso di calore è proporzionale alla differenza di temperatura tra due ambienti e inversamente proporzionale alla resistenza termica della struttura.

Nell'analisi delle dispersioni di calore e quindi dell'isolamento termico in genere la caratteristica sicuramente più importante per i materiali isolanti è la conduttività termica che rappresenta il flusso di calore che in condizioni di regime stazionario attraversa la superficie di 1 mq di un cubo di materiale omogeneo avente lo spessore di 1 m, e con differenza di temperatura tra le due facce opposte parallele di 1°C.

L'unità di misura della conduttività è W/mK pari a 0,86 kcal/hmK.

Il valore di conduttività termica dei materiali da utilizzare nei calcoli è desunto dalla attestazione rilasciata dal produttore per il prodotto in esame, corretta per tener conto delle effettive condizioni di progetto, quali ad esempio la effettiva temperatura di esercizio, le disomogeneità della posa in opera, il comportamento nel tempo, etc. In mancanza di informazioni più dettagliate è possibile riferirsi alle tabelle della UNI EN 10456 e della UNI 10351, che riportano i valori utili di calcolo per la maggior parte dei materiali edilizi.

➤ Efficienza energetica

Legislazione di riferimento

	In vigore da
<u>Legge 9 gennaio 1991 N. 10</u> “ <i>Note per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia</i> ”	17 gen 1991
<u>DPR 26 agosto 1993 N. 412</u> “ <i>Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991 N. 10</i> ”	
<u>DPR 21 dicembre 1999 N. 55</u> “ <i>Regolamento recante modifiche al DPR 412 in materia di progettazione,...,</i> ”	
<u>DLgs 19 agosto 2005 N.192</u> “ <i>Attuazione della Direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico in edilizia</i> ”	8 ott 2005
<u>DLgs 29 dicembre 2006 N.311</u> “ <i>Disposizioni correttive e integrative del DLgs 192</i> ”	2 feb 2007

<u>DPR, 2 aprile 2009, n. 59</u> “Regolamento di attuazione dell’articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192”	25 giu 2009
<u>D.M. 26 giugno 2009</u> “Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici”	25 lug 2009
<u>DLGS 28 3 marzo 2011</u> “Energia da fonti rinnovabili”	29 mar 2011
<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”	6 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”	28 giu 2013
<u>DPR 75/2013</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”	12 lug 2013
<u>Legge 90/2013</u> “Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63”	4 ago 2013
<u>Decreto 26 giugno 2015</u> “Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici” + “Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009- Linee Guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici”	1 ott 2015

QUADRO TEMPORALE LEGISLATIVO									
Da:	17 gen 1991	17 ago 2005	8 ott 2005	2 feb 2007	25 giu 2009	29 mar 2011	7 giu 2013	4 ago 2013	1 ott 2015
A:	16 ago 2005	7 ott 2005	1 feb 2007	24 giu 2009	28 mar 2011	6 giu 2013	3 ago 2015	30 sett 2015	-
Vig ,	LEGGE 10/91 e decreti attuativi	LEGGE 10/91 + DM 178/05	DLgs 192/05	DLgs (192+311)	DLgs (192+311) + DPR 59/09	DLgs (192+311) + DPR 59/09 + DLgs 28/11	DLgs (192+311) + DL 63/13 + DPR 59/09 + DLgs 28/11	DLgs (192+311) + DL 63/13 + Legge 90 + DPR 59/09 + DLgs 28/11	DLgs (192+311) + DL 63/13 + Legge 90 + DLgs 28/11 + Decreti 26 giugno 2015

Per individuare i requisiti e le regole da rispettare si deve far riferimento al testo di legge in vigore alla data di **richiesta** del permesso di costruire o della denuncia di inizio attività per l’intervento considerato,

- **Prestazioni energetiche**

In materia di efficienza energetica la Comunità Europea ha indicato ai Paesi membri la strada da percorrere con la direttiva 2002/91/CE “Rendimento energetico nell’edilizia” detta anche EPBD, ovvero Energy Performance Buildings Directive.

L’Italia ha risposto a questa chiamata a più riprese, pubblicando diversi decreti legislativi.

Il DLgs 192/2005 recepisce la Direttiva a livello nazionale ed entra in vigore l’8 ottobre 2005, il suo contenuto viene modificato e integrato dal DLgs 311/06 che entra in vigore il 2 Febbraio 2007.

Il DPR 59/09, pubblicato in G.U. il 10 Giugno 2009, è il primo dei decreti in attuazione del DLgs 192.

L’obbligo di utilizzo di fonti rinnovabili è normato dal DLgs n. 28 del 3 marzo 2011, entrato in vigore dal 29 marzo 2011.

Sul tema della certificazione energetica la risposta sono le Linee Guida Nazionali uscite con il DM 26/06/2009.

Ma le cose cambiano a luglio 2010 quando entra in vigore la nuova Direttiva 2010/31/UE sul rendimento energetico nell’edilizia che ha mandato in pensione la Direttiva 2002/91/CE.

L’introduzione della Direttiva 2010/31/UE ha segnato l’avvio di un nuovo iter legislativo che porterà alla pubblicazione di regolamenti nazionali e regionali sostitutivi o integrativi di quelli esistenti.

La risposta italiana a tale Direttiva arriva a giugno 2013 con il DL 4 giugno 2013, n. 63.

Il Decreto Legge n. 63 del 4 giugno 2013 pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 5 giugno 2013 “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” entra in vigore il 6 giugno 2013 .

Tale documento è stato convertito in Legge con la Legge n. 90 del 3 agosto 2013 che ha apportato poi ulteriori modifiche in funzione delle osservazioni portate al decreto legge di recepimento.

Le indicazioni fondamentali che attuano completamente l’iter legislativo vengono riportate nel Decreto 26 giugno 2015 uscito in Gazzetta Ufficiale il 15 luglio 2015 e in vigore dal 1 ottobre 2015.

Il Decreto chiarisce le nuove definizioni introdotte già nel DL63/13 di ristrutturazione importante e riqualificazione energetica che saranno i nuovi ambiti di intervento.

Nella definizione di “nuovo edificio” vengono inclusi anche gli interventi di demolizione e ricostruzione, ampliamento e sopraelevazione, quest’ultimo nel caso in cui l’ampliamento sia superiore del 15% rispetto al volume originale o sia superiore a 500 m³.

Un edificio esistente è sottoposto a ristrutturazione importante quando i lavori in qualunque modo denominati (a titolo indicativo e non esaustivo: manutenzione ordinaria o straordinaria, ristrutturazione e risanamento conservativo) insistono su oltre il 25 per cento della superficie disperdente lorda complessiva dell’edificio.

La ristrutturazione importante si divide poi in due tipologie di primo e di secondo livello.

Ristrutturazione importante di primo livello si intende quando i lavori insistono su oltre il 50% di superficie disperdente lorda e riguardano anche la ristrutturazione dell’impianto termico.

Ristrutturazione importante di secondo livello si intende quando i lavori insistono su oltre il 25% di superficie disperdente lorda e può interessare interventi sull’impianto termico o insistono su oltre il 50% ma non interessano l’impianto termico.

Si parla di riqualificazione energetica quando i lavori insistono su una superficie d’involucro inferiore del 25% della superficie disperdente lorda complessiva dell’edificio e/o consistono

nell'installazione o ristrutturazione di un impianto termico.

Risultano esclusi dall'applicazione dei requisiti minimi i seguenti interventi:

- a. Interventi di ripristino dell'involucro edilizio che coinvolgono unicamente strati di finitura ininfluenti dal punto di vista termico
- b. Rifacimento di porzioni di intonaco, quando la superficie di intervento è minore del 10% della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio
- c. Interventi di manutenzione ordinaria degli impianti termici esistenti

In funzione dell'ambito di intervento devono essere rispettate determinate prescrizioni.

Gli ambiti di intervento si possono dividere in tre gruppi,

1. Nuova costruzione- Demolizione e ricostruzione- Ampliamento e sopraelevazione- Ristrutturazione importante di primo livello
2. Ristrutturazione importante di secondo livello
3. Riqualificazione energetica

Nella trattazione di seguito sui requisiti e sulle prescrizioni approfondiremo in dettaglio tutto quello che riguarda l'involucro senza soffermarci sulle prescrizioni impiantistiche in quanto non pertinenti allo scopo del presente manuale.

1. Nuova costruzione- Demolizione e ricostruzione- Ampliamento e sopraelevazione- Ristrutturazione importante di primo livello

I requisiti di prestazione energetica si applicano all'intero edificio e riguardano:

- a) Indici di prestazione energetica con il metodo dell'edificio di riferimento
- b) $H't$: coefficiente medio globale di scambio termico
- c) $Asol,est/Asup$ utile: area solare equivalente estiva
- d) Verifica delle prestazioni estive dell'involucro
- e) U limite per divisori $< 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (solo per C,D,E,F)
- f) $\eta_H \eta_w \eta_c$: rendimenti limite
- g) Integrazione FR in base al DLgs28/2011
- h) Altri requisiti impiantistici

Di seguito approfondiremo solo alcuni aspetti legati all'involucro.

- a) Indici di prestazione energetica con il metodo dell'edificio di riferimento

La verifica del fabbisogno limite non avviene più confrontando i valori di progetto con dei valore limite tabellari ma propone il nuovo approccio dell'edificio di riferimento.

Già nelle definizioni viene definito l'“edificio di riferimento o target per un edificio sottoposto a verifica progettuale, diagnosi, o altra valutazione energetica” come un edificio identico in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno, e avente caratteristiche termiche e parametri energetici predeterminati.

Il tecnico dovrà quindi realizzare due calcoli per l'EPi del proprio edificio: una prima valutazione tenendo conto delle caratteristiche tecniche dell'involucro e degli impianti da lui scelti e una seconda valutazione imponendo al proprio edificio i parametri tecnici di riferimento (trasmittanze , rendimenti..) indicati dai decreti attuativi per definire il limite di fabbisogno per quell'edificio. Gli indici da verificare con il metodo dell'edificio di riferimento sono tre: prestazione termica utile per il riscaldamento $EP_{H,nd}$, prestazione termica utile per il raffrescamento $EP_{C,nd}$, prestazione energetica globale dell'edificio $EP_{gl,tot}$.

Le tabelle di seguito riportano i valori delle trasmittanze di riferimento delle strutture (comprehensive di incidenza del ponte termico) da utilizzare nel calcolo degli indici di prestazione energetica limite per quello specifico edificio divise per data di entrata in vigore in due: il primo insieme di valori entra in vigore dal 1 ottobre 2015 mentre il secondo dal 1 gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1 gennaio 2021 per tutti gli altri edifici.

Tabella 1- Trasmittanza termica U di riferimento delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non riscaldati o contro terra

TABELLA 1	Strutture opache verticali (U rif in W/m²K)	
Zona climatica	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 - Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non riscaldati

TABELLA 2	Strutture opache orizzontali o inclinate di copertura (U rif in W/m²K)	
Zona climatica	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

Tabella 3 Trasmittanza termica U delle opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non riscaldati o contro terra

TABELLA 3	Strutture opache orizzontali di pavimento (U rif in W/m²K)	
Zona climatica	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 - Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non riscaldati

TABELLA 4	Chiusure tecniche trasparenti e opache e cassonetti (U rif in W/m²K)	
Zona climatica	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

Per quanto riguarda i parametri di riferimento dell'impianto si rimanda al testo del DM 26 giugno 2015 o alla Guida ANIT completa.

b) Coefficiente medio globale di scambio termico

Un secondo requisito che riguarda prettamente l'involucro dell'edificio è rappresentato dal coefficiente medio globale di scambio termico H'_T

$$H'_T = H_{tr,adj} / \sum_k A_k \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Dove $H_{tr,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione calcolato con la UNI TS 11300-1.

Tale valore rappresenta la prestazione media dell'involucro (opaco + trasparente) che dovrà essere inferiore al limite riportato in tabella in funzione del rapporto di forma dell'edificio.

RAPPORTO DI FORMA (S/V)	Zona climatica				
	A e B	C	D	E	F
$S/V \geq 0,7$	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48
$0,7 > S/V \geq 0,4$	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53
$0,4 > S/V$	0,80	0,80	0,80	0,75	0,70

c) Area solare equivalente estiva

Tale valore si calcola come somma delle aree equivalenti estive di ogni componente vetrato k, Occorre verificare che:

- $A_{sol,est}/A_{sup\ utile} < 0,03$ per gli edifici di categoria E1
- $A_{sol,est}/A_{sup\ utile} < 0,04$ per le altre categorie di edificio

Dove con $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$ si intende l' area solare equivalente estiva per unità di superficie utile

$$A_{sol,est} = \sum_k F_{sh,ob} * g_{gl+sh} * (1-F_F) * A_{w,p} * F_{sol,est} [m^2]$$

Dove:

$F_{sh,ob}$ fattore di riduzione da ombreggiatura relative ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie vetrata, riferito al mese di luglio

g_{gl+sh} trasmittanza di energia solare totale ella finestra calcolata nel mese di luglio

F_F frazione di area relative al telaio

$A_{w,p}$ area del vano finestra

$F_{sol,est}$ fattore di correzione per l'irraggiamento incidente, ricavato come rapporto tra l'irradianza media annuale della località e sull'esposizione considerata, e l'irradianza media annuale di Roma, sul piano orizzontale

d) Prestazioni estive dell'involucro opaco (approfondimenti al capitolo specifico sull'estivo)

Ad eccezione degli edifici di categoria E5,E6, E7 e E8, in zona climatica A,B,C,D,E in località con Im,s del mese più soleggiato $\geq 290 \text{ W/m}^2$ bisogna verificare che per le pareti opache verticali con l'eccezione di quelle esposte a Nord Ovest, Nord, Nord Est:

- la massa superficiale delle pareti opache deve essere $> 230 \text{ kg/m}^2$ o in alternativa il valore della trasmittanza termica periodica Y_{ie} sia inferiore a $0,10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

- per le strutture orizzontali o inclinate Y_{ie} deve essere inferiore a $0,18 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

2. Riqualificazione energetica e ristrutturazione importante di secondo livello

I requisiti si applicano alla superficie oggetto di intervento e riguardano:

- a) Verifica del rispetto delle trasmittanze limite
- b) Verifica di $H't$ solo per le ristrutturazioni importanti di secondo livello
- c) Fattore di trasmissione solare $g_{gl+sh} < 0,35$
- d) Requisiti minimi sugli impianti termici

a) Trasmittanze limite

I valori riportati nelle tabelle di seguito sono da rispettare per le strutture verticali opache, per le strutture orizzontali opache se si tratta di coperture delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno con riferimento a tutte le categorie di edifici, Per le strutture orizzontali opache se si tratta di pavimenti sono esclusi gli edifici di categoria E8.

Per le chiusure tecniche trasparenti o opache delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno e

verso ambienti non dotati di impianto di condizionamento.

I valori riportati nelle tabella sono da rispettare per tutte le categorie di edificio ad eccezione della categoria E8.

Tabella 1- Trasmittanza termica U massima delle strutture opache verticali, verso l'esterno soggette a riqualificazione

TABELLA 1	Strutture opache verticali (U limite in W/m²K)	
Zona climatica	Dal 1 ottobre 2015	Dal 1 gennaio 2021
A-B	0,45	0,40
C	0,40	0,36
D	0,36	0,32
E	0,30	0,28
F	0,28	0,26

Tabella 2 - Trasmittanza termica U massima delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno soggette a riqualificazione

TABELLA 2	Strutture opache di copertura (U limite in W/m²K)	
Zona climatica	Dal 1 ottobre 2015	Dal 1 gennaio 2021
A-B	0,34	0,32
C	0,34	0,32
D	0,28	0,26
E	0,26	0,24
F	0,24	0,22

Tabella 3 - Trasmittanza termica U massima delle strutture opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno soggette a riqualificazione

TABELLA 3	Strutture opache orizzontali di pavimento (U limite in W/m²K)	
Zona climatica	Dal 1 ottobre 2015	Dal 1 gennaio 2021
A-B	0,48	0,42
C	0,42	0,38
D	0,36	0,32
E	0,31	0,29
F	0,30	0,28

Tabella 4 - Trasmittanza termica U massima delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non riscaldati soggette a riqualificazione

TABELLA 4	Chiusure tecniche trasparenti e opache (U limite in W/m²K)	
Zona climatica	Dal 1 ottobre 2015	Dal 1 gennaio 2021
A-B	3,20	3,00
C	2,40	2,00
D	2,10	1,80
E	1,90	1,40
F	1,70	1,00

Le trasmittanze limite possono essere incrementate del 30% nel caso di isolamento dall'interno o in intercapedine.

b) Coefficiente medio globale di scambio termico H'_T

Il Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione denominato per l'intera parte comprensiva di tutti i componenti su cui si è intervenuti deve risultare inferiore al valore riportato in tabella per tutte le categorie di edifici.

RAPPORTO DI FORMA (S/V)	Zona climatica				
	A e B	C	D	E	F
Ampliamenti e Ristrutturazioni importanti di secondo livello per tutte le tipologie edilizie	0,73	0,70	0,68	0,65	0,62

Prescrizioni riguardanti l'involucro comuni a tutti gli ambiti di applicazione

- Verifiche termoigrometriche
- Verifiche estive sulle coperture
- Deroghe dalle altezze minime

a) Verifiche termo igrometriche

Per le strutture delimitanti il volume riscaldato si procede, in conformità alla norma UNI EN ISO 13788, alla verifica:

- Dell'assenza di formazione di muffe con particolare attenzione ai ponti termici degli edifici di nuova costruzione
- Dell'assenza totale di condensa interstiziale

Sono utilizzate per la verifica le condizioni interne previste dalla norma tecnica secondo il metodo delle classi di concentrazione.

b) Verifiche estive sulle coperture

Al fine di limitare i fabbisogni energetici estivi e il surriscaldamento degli ambienti interni per le strutture di copertura è obbligatoria la verifica dell'efficacia dell'utilizzo di:

1. Materiali ad elevata riflettanza solare assumendo come valore:
 - a. 0,65 nel caso di coperture piane
 - b. 0,30 nel caso di coperture a falde
2. Tecnologie di climatizzazione passiva (coperture ventilate o a verde..)

c) Deroghe dalle altezze minime

Negli edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni o a riqualificazione energetica nel caso di installazione di pannelli radianti o di isolamento dall'interno le altezze minime dei locali in base al DM 5 luglio 1975 possono essere derogate di 10 cm.

• **Edificio ad energia quasi zero**

A partire dal 1 gennaio 2019 gli edifici di nuova costruzione occupati da Pubbliche Amministrazioni e di proprietà di queste ultime, ivi compresi gli edifici scolastici, devono essere progettati e realizzati quali edifici a energia quasi zero. Dal 1 gennaio 2021 la predetta disposizione è estesa a tutti gli edifici di nuova costruzione.

Si dicono quindi “edifici a energia quasi zero” tutti gli edifici, siano essi di nuova costruzione o esistenti, per cui sono contemporaneamente rispettati:

- a) tutti i requisiti previsti per i seguenti parametri:
 - a. $H't$ inferiore ai valori limite tabellati
 - b. $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$, inferiore ai valori limite tabellari
 - c. $EP_{H,nd} - EP_{C,nd} - EP_{gl\ tot}$ inferiori ai limiti calcolati con l'edificio di riferimento determinato con i valori vigenti dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici;
 - d. η_H , η_W e η_C , risultino superiori ai valori indicati per l'edificio di riferimento ($\eta_{H,limite}$, $\eta_{W,limite}$, e $\eta_{C,limite}$)
- b) gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28,

Normativa tecnica di riferimento

Fabbisogno Energetico Primario

UNI EN ISO 6946	Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo
UNI TS 11300-1	Prestazione energetica degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
UNI TS 11300-2	Prestazione energetica degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria
UNI TS 11300-3	Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva
UNI/TS 11300 -4	Prestazioni energetiche degli edifici - Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria
UNI EN ISO 13790 :2008	Prestazione termica degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento
UNI EN ISO 13789:2008	Prestazione termica degli edifici - Coefficiente di perdita di calore per trasmissione - Metodo di calcolo
UNI EN ISO 10077-1	Prestazione termica di finestre, porte e chiusure – Calcolo della trasmittanza termica – Metodo semplificato
UNI EN ISO 10077-2	Prestazione termica di finestre, porte e chiusure – Calcolo della trasmittanza termica – Metodo numerico per i telai
UNI EN ISO 13370	Prestazione termica degli edifici – Trasferimento di calore attraverso il terreno – Metodi di calcolo
UNI EN 15316-1:2008	Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto - Generalità
UNI EN 15316-2:2008 (parte 2-1 e 2-3)	Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto - Parte 2-1: Sistemi di emissione del calore negli ambienti - Parte 2-3: Sistemi di distribuzione del calore negli ambienti
UNI 10339	Impianti aeraulici al fini di benessere, Generalità, classificazione e requisiti, Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura,
UNI EN 13779	Ventilazione degli edifici non residenziali - Requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di climatizzazione
UNI EN 13779	Ventilazione degli edifici non residenziali – Requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di condizionamento

Banche Dati	
UNI EN ISO 10456	Materiali da costruzione- proprietà igrotermiche- Valori tabulati di progetto e metodologie per determinare i valori dichiarati e di progetto
UNI 10355	Murature e solai, Valori della resistenza termica e metodo di calcolo,
UNI 10351	Materiali da costruzione, Conduttività termica e permeabilità al vapore,
UNI 10349	Riscaldamento e raffrescamento degli edifici, Dati climatici,
UNI EN 12524	Materiali e prodotti per edilizia – Proprietà igrometriche – Valori tabulati di progetto

Valutazioni per il periodo estivo	
UNI 10375	Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti
UNI EN ISO 13791	Prestazione termica degli edifici – Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione – Criteri generali e procedure di validazione
UNI EN ISO 13792	Prestazione termica degli edifici – Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione – Metodi semplificati
UNI EN ISO 13786	Prestazione termica dei componenti per edilizia – Caratteristiche termiche dinamiche – Metodi di calcolo

Ponti Termici	
UNI EN ISO 14683	Ponti termici in edilizia – Coefficiente di trasmissione termica lineica – Metodi semplificati e valori di riferimento
UNI EN ISO 10211	Ponti termici in edilizia – Flussi termici e temperature superficiali – Metodi generali di calcolo,

Verifiche condensa	
UNI EN ISO 13788	Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia – Temperatura superficiale interna per evitare l’umidità superficiale critica e condensazione interstiziale – Metodo di calcolo

B. Analisi delle prestazioni invernali

Determinazione della resistenza termica

1) Descrizione del problema termico

La particolare configurazione geometrica del blocco, che presenta spessore non uniforme, provoca come conseguenza una perturbazione del flusso termico che lo attraversa.

Come conseguenza di questo fatto si ha che le formule semplificate solitamente utilizzate per il calcolo della resistenza termica di un prodotto risultano inapplicabili. Per una corretta indagine del regime di temperatura e di flusso termico all'interno di un elemento eterogeneo diventa necessario applicare ad esso l'equazione di Laplace.

La soluzione di questa equazione differenziale del secondo ordine alle derivate parziali risulta alquanto complessa e onerosa per via analitica ed è per questo motivo usuale una sua soluzione con metodi numerici via via più raffinati.

2) Descrizione del metodo di risoluzione

Per l'analisi termica è stato impiegato un programma di calcolo agli elementi finiti che permette di discretizzare e risolvere numericamente il problema continuo enunciato nell'equazione di Laplace.

Il metodo di analisi ad elementi finiti è lo stesso utilizzato dalla norma tecnica UNI 10355 per il calcolo della resistenza termica degli elementi eterogenei come i blocchi e i solai.

Il programma utilizzato è stato preventivamente validato, per verificarne l'affidabilità dei risultati, con gli esempi di riferimento riportati nella norma europea di riferimento per il calcolo e la valutazione dei ponti termici: UNI EN 10211.

Il modello utilizzato comporta una suddivisione del blocco in elementi finiti (mesh), più fitti in corrispondenza di punti dove il gradiente termico è più elevato.

Impostazione dei modelli di calcolo: pareti opache verticali

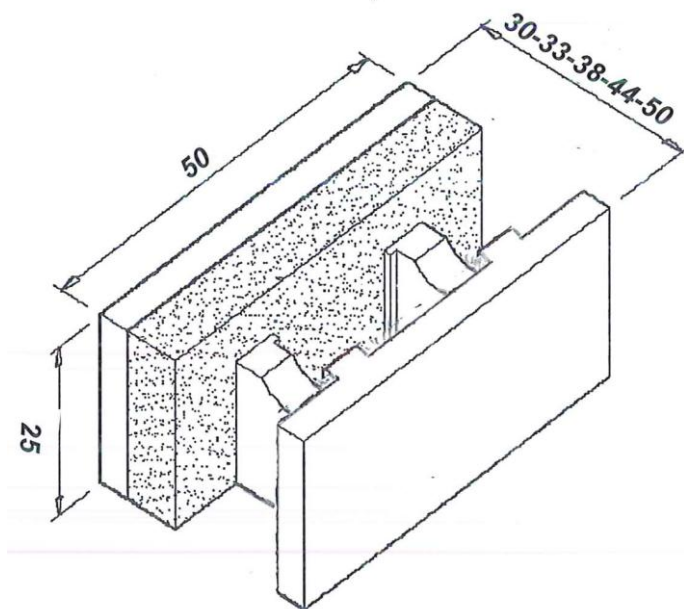
L'analisi è stata condotta utilizzando un modello tridimensionale che definisce un modulo geometrico ripetibile delle dimensioni di seguito riportate.

MODELLO	profondità	larghezza	altezza
HB 25/16	0,25	0,125	0,25
HB 30/19	0,30	0,125	0,25
HB 44/15-2	0,44	0,25	0,25
DIII 38/12	0,38	0,25	0,25
HDIII 30/7	0,30	0,125	0,25
HDIII 30/10	0,30	0,125	0,25
HDIII 33/10	0,33	0,125	0,25
HDIII 38/14	0,38	0,125	0,25
HDIII 44/14	0,44	0,125	0,25
HDIII 44/16	0,44	0,125	0,25
HDIII 44/18	0,44	0,125	0,25
HDIII 44-20	0,44	0,125	0,25
HDIII 50/25	0,50	0,125	0,25

La divisione in elementi del modello è stata condotta con metodo iterativo controllando di volta in volta la precisione del calcolo ed “infittendo” il numero degli elementi nelle zone critiche individuate con dei calcoli preliminari,

- Caratteristiche dei materiali costituenti i blocchi,
 - Conduttività del polistirene con grafite secondo certificato:
 $\lambda = 0,031 \text{ W/mk}$
 - Conduttività del sughero secondo certificato:
 $\lambda = 0,037 \text{ W/mk}$
 - Conduttività del calcestruzzo ad alta densità (UNI 10351):
 $\lambda = 1,91 \text{ W/mk}$
 - Conduttività del legno cemento secondo il Rapporto di prova del CSI N, 0009/DC/TTS/07:
 $\lambda = 0,103 \text{ W/mk}$
 - Conduttività del legno cemento secondo il Rapporto di prova n,271003 dell'Istituto Giordano del 30/6/2010:
 $\lambda = 0,104 \text{ W/mk}$
 - Condizioni al contorno
- Superfici verticali- Blocchi
- Esterno $T_e = 0^\circ\text{C}$ $h_e = 25 \text{ W/mqk}$
 - Interno $T_i = 20^\circ\text{C}$ $h_i = 7,7 \text{ W/mqk}$

Modello HDIII



Risultati del calcolo: pareti opache verticali

➤ Pareti perimetrali

L'analisi agli elementi finiti ha permesso di ottenere le informazioni fondamentali utili alla determinazione della resistenza termica effettiva del pannello.

Tali informazioni sono rispettivamente:

- andamento del campo di temperatura;
- distribuzione geometrica dell'errore e sua valutazione;
- quantità di calore che attraversa una superficie prestabilita.

La conoscenza di tali grandezze permette di ricavare la resistenza termica del pannello semplicemente dividendo il prodotto del gradiente di temperatura e dell'area geometrica, sulla quale è stato computato il flusso di calore, per la quantità di calore che attraversa la superficie inferiore che delimita il pannello; con questo algoritmo si ottiene la resistenza termica globale comprensiva delle resistenze "liminari". Sottraendo quindi il valore noto delle resistenze liminari si ottiene il valore effettivo della resistenza termica del pannello.

Da cui:

flusso = Q (W)

Resistenza comprensiva di liminari

$$R' = DT \cdot S / Q$$

Resistenza effettiva

$$R = R' - R_{\text{laminari}}$$

Resistenze termiche e Conduttanze

	S (mq)	DT (°C)	flusso Q (W)	R'	Rlim	R (mqK/W)	U (W/mqK)
DIII 38- 12 (sughero)°	0,0616	20	0,356	3,46	0,17	3,29	0,30
HDIII 30-7 (pse+grafite)°	0,03125	20	0,2196	2.846	0,17	2.68	0,37
HDIII 30-10 (pse+grafite)°	0,03125	20	0,1758	3,555	0,17	3,38	0,29
HDIII 33-10 (pse+grafite)°	0,03125	20	0,1746	3.580	0,17	3.41	0,29
HDIII 38-14 (pse+grafite)°	0,03125	20	0,1347	4,640	0,17	4,47	0,22
HDIII 44-14 (pse+grafite)^	0.03125	20	0,13552	4,61	0,17	4,44	0,22
HDIII 44-16 (pse+grafite)^	0.03125	20	0,12285	5,09	0,17	4,92	0,20
HDIII 44- 18 (pse+grafite) ^	0.03125	20	0.110	5.677	0.17	5,51	0,18
HDIII 44-20 (pse+grafite)°	0,03125	20	0,10267	6,087	0,17	5,92	0,17
HDIII 50-25 (pse+grafite)°	0,03125	20	0,0846	7,388	0,17	7,22	0,14

Tabella riassuntiva e confronto con trasmittanze di riferimento del DM 26 giugno 2015

La trasmittanza del prodotto è inferiore ai valori di riferimento per calcolare i limiti di fabbisogno nelle zone climatiche indicate- <u>NON E' UN LIMITE DI LEGGE</u>				Nuove costruzioni e ristrutturazioni importanti di 1 liv.	Nuove costruzioni e ristrutturazioni importanti di 1 liv.
	U	U'	U''	U riferimento2015*	U riferimento2019/2021*
DIII 38- 12 (sughero) [°]	0,30	0,28	0,28	A B C D E F	A B C D
HDIII 30-7 (pse+grafite) [°]	0,37	0,35	0,34	A B C D	A B C
HDIII 30-10 (pse+grafite) [°]	0,29	0,28	0,28	A B C D E F	A B C D
HDIII 33-10 (pse+grafite) [°]	0,29	0,28	0,27	A B C D E F	A B C D
HDIII 38-14 (pse+grafite) [°]	0,22	0,22	0,21	A B C D E F	A B C D E F
HDIII 44-14 (pse +grafite) [^]	0,22	0,22	0,21	A B C D E F	A B C D E F
HDIII 44-16 (pse+grafite) [^]	0,20	0,20	0,19	A B C D E F	A B C D E F
HDIII 44- 18 (pse + grafite) [^]	0,18	0,18	0,17	A B C D E F	A B C D E F
HDIII 44-20 (pse+grafite) [°]	0,18	0,16	0,16	A B C D E F	A B C D E F
HDIII 50-25 (pse+grafite) [°]	0,14	0,135	0,13	A B C D E F	A B C D E F

[^] Questo blocco è stato analizzato considerando la conducibilità del legno cemento pari a 0,103 W/mK come da rapporto di prova del CSI n, N, 0009/DC/TTS/07.

[°] Questo blocco è stato analizzato considerando la conducibilità del legno cemento pari a 0,104 W/mK come da rapporto di prova dell'Istituto Giordano n, 271003 del 30/6/2010.

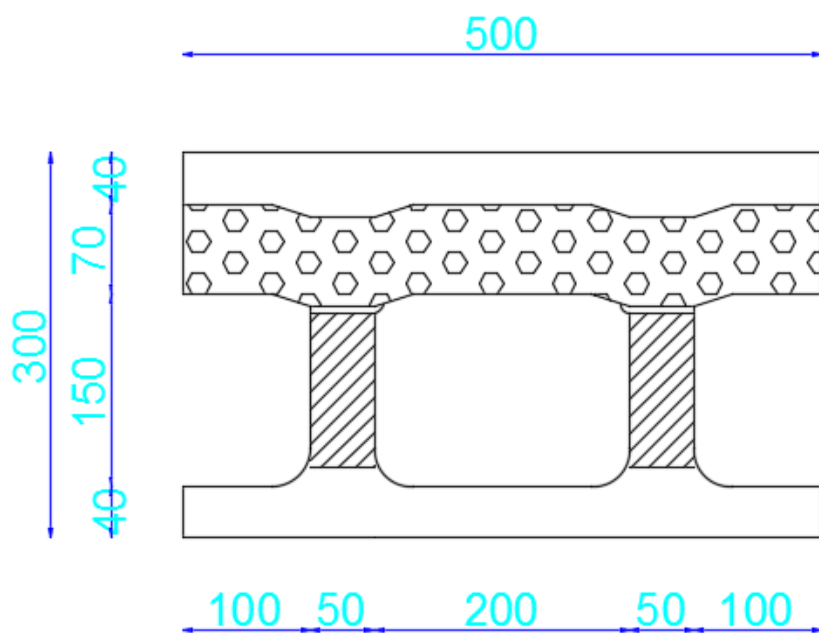
Nella tabella riassuntiva dei risultati è possibile trovare:

- U = conduttanza
- U' = trasmittanza parete (quindi comprensiva dei liminari interno ed esterno
 $R_{\text{liminari}} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$)
- U'' = trasmittanza parete (quindi comprensiva dei liminari) + 2 cm di intonaco

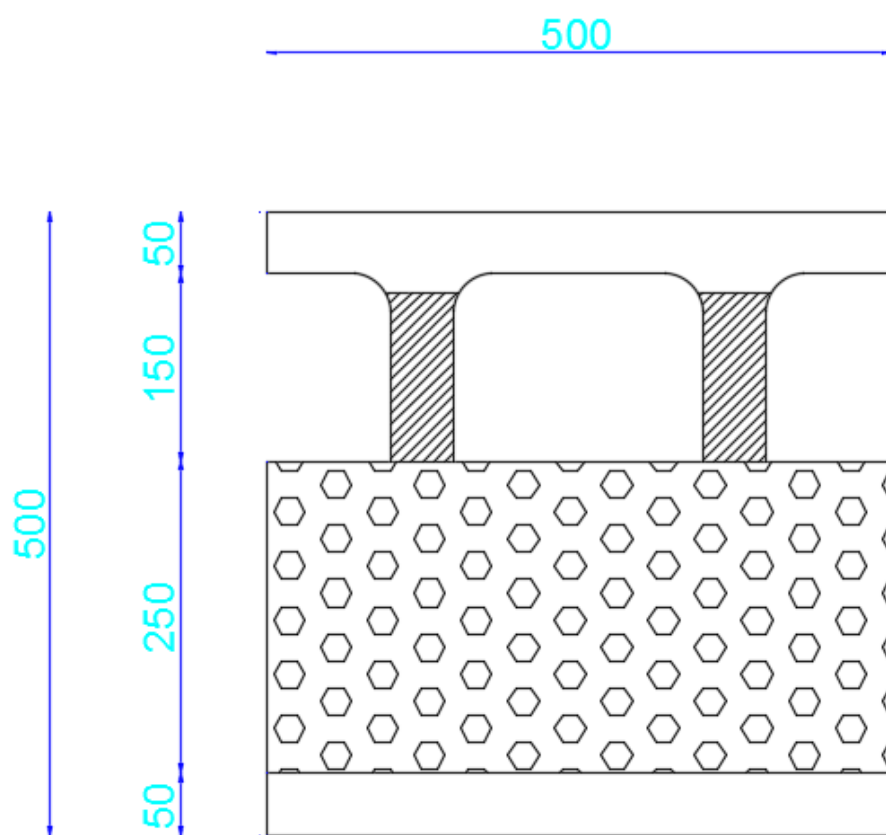
* Il confronto con le trasmittanze presenti nelle tabelle del DM 26 giugno 2015, si riferisce ai valori delle trasmittanze di riferimento in vigore dal 1 ottobre 2015 e 1° gennaio 2019/2021 (che comprendono i ponti termici) e deve essere eseguita considerando la trasmittanza della parete finita comprensiva di intonaci e liminari. Non sono valori limite ma dati da inserire nel calcolo per trovare i limiti di fabbisogno energetico dell'edificio.

Geometria dei blocchi e modelli utilizzati per il calcolo:

HDIII 30/7 GRAFITE



HDIII 50/25 GRAFITE



BLOCCO ISOTEX HDIII 30/7 GRAFITE

Figura 1: identificazione materiali e geometria

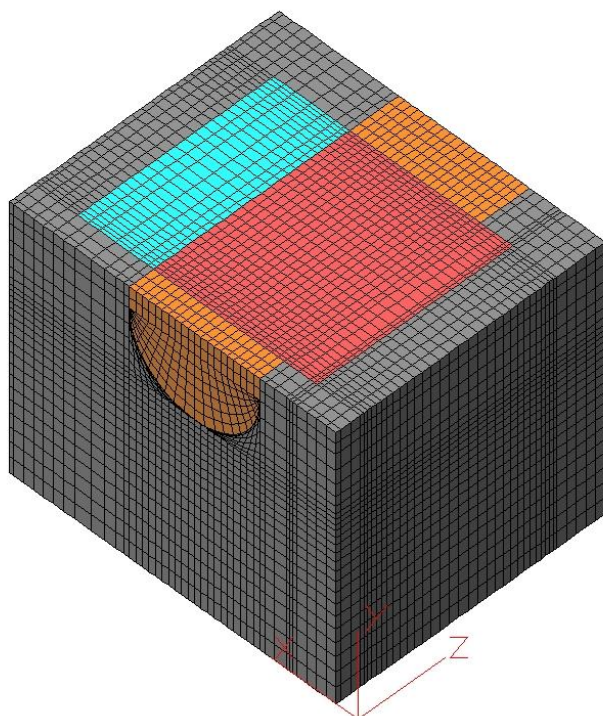
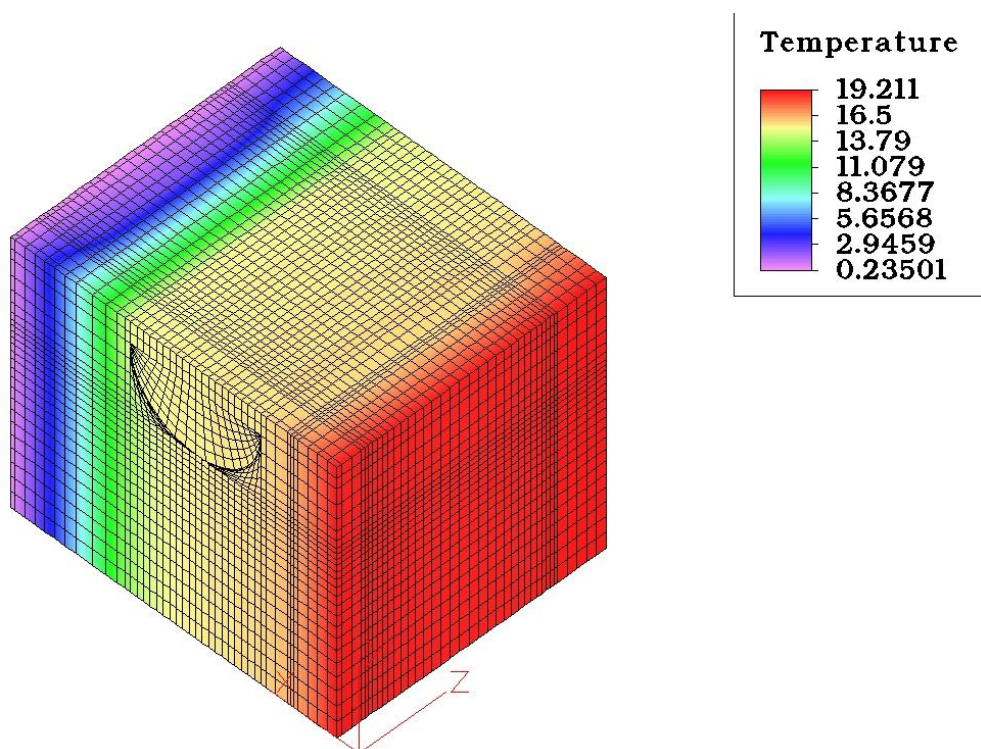


Figura 2: andamento della temperatura



BLOCCO ISOTEX HDIII 50/25 GRAFITE

Figura 1: identificazione materiali e geometria

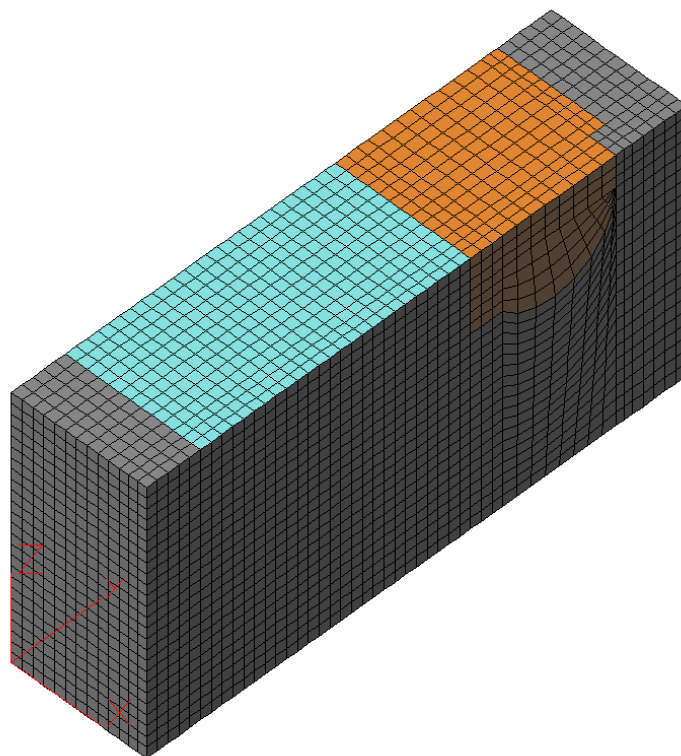
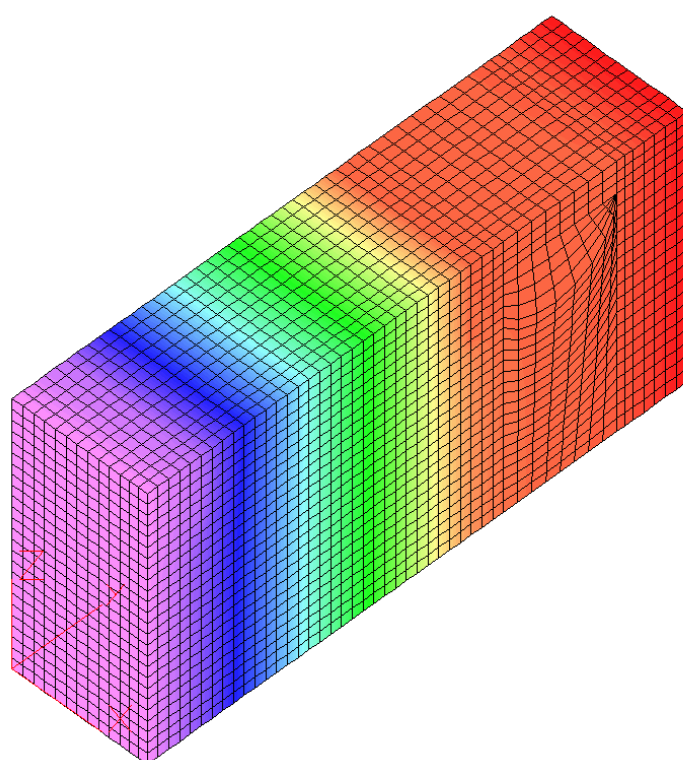
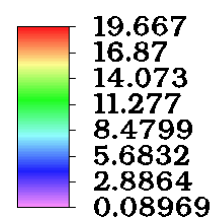


Figura 2: andamento della temperatura



Temperature



➤ *Divisori interni*

Per tutte le categorie di edifici ad eccezione della categoria E8, in zona climatica C,D,E,F il valore della trasmittanza delle strutture tra edifici o unità immobiliari confinanti e tra ambienti non riscaldati ed esterno deve essere inferiore o uguale a $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

I blocchi Isotex HB 25-16, HB 30- 19 e HB 44/15-2 soddisfano le prestazioni richieste.

L'analisi ad elementi finiti dei blocchi per tramezze interne ha fornito infatti i seguenti risultati:

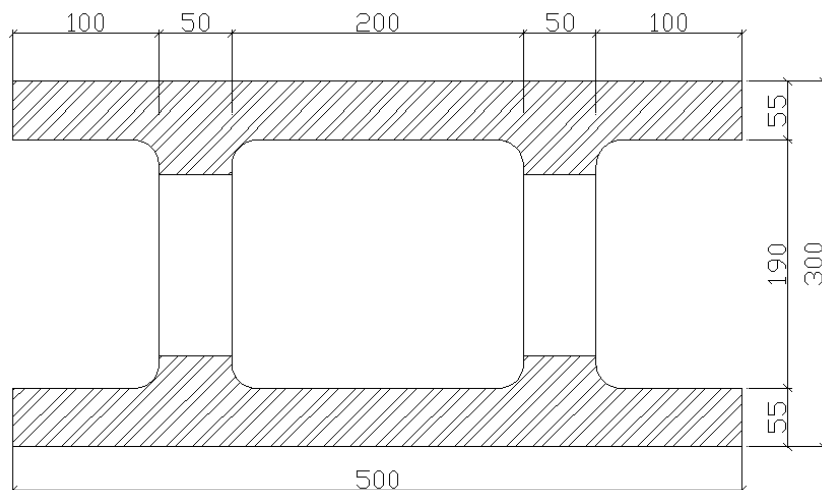
Tabella riassuntiva e confronto con il DM 26 giugno 2015 All. 1 art. 3.3 comma 5

	U	U'	U''	U limite
HB 25-16	1,06	0,83	0,79	0,8
HB 30- 19	0,86	0,70	0,68	0,8
HB 44 15-2	0,641	0,578	0,56	0,8

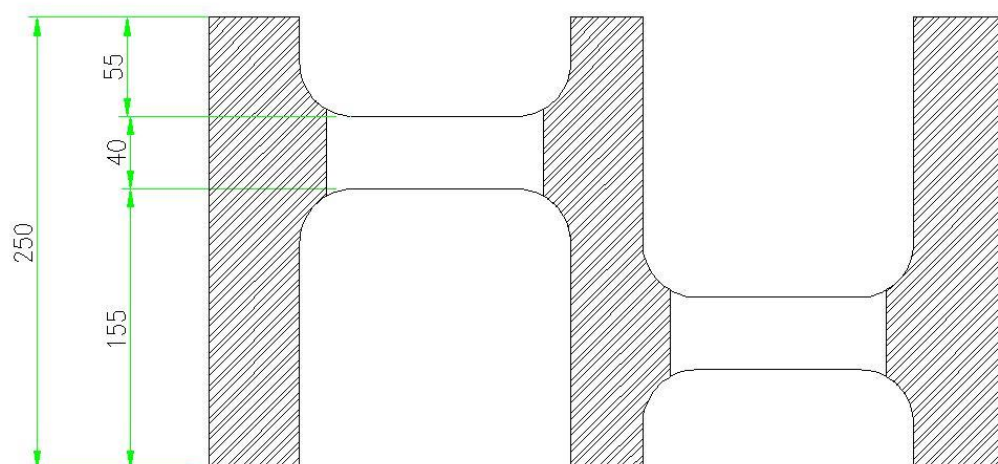
- U = conduttanza
- U' = trasmittanza parete (quindi comprensiva dei liminari interno ed esterno $R_{\text{liminari}} = 0,26$)
- U'' = trasmittanza parete (quindi comprensiva dei liminari) + 2 cm di intonaco tipo da interno,

Geometria dei blocchi e modelli utilizzati per il calcolo:

HB 30-19

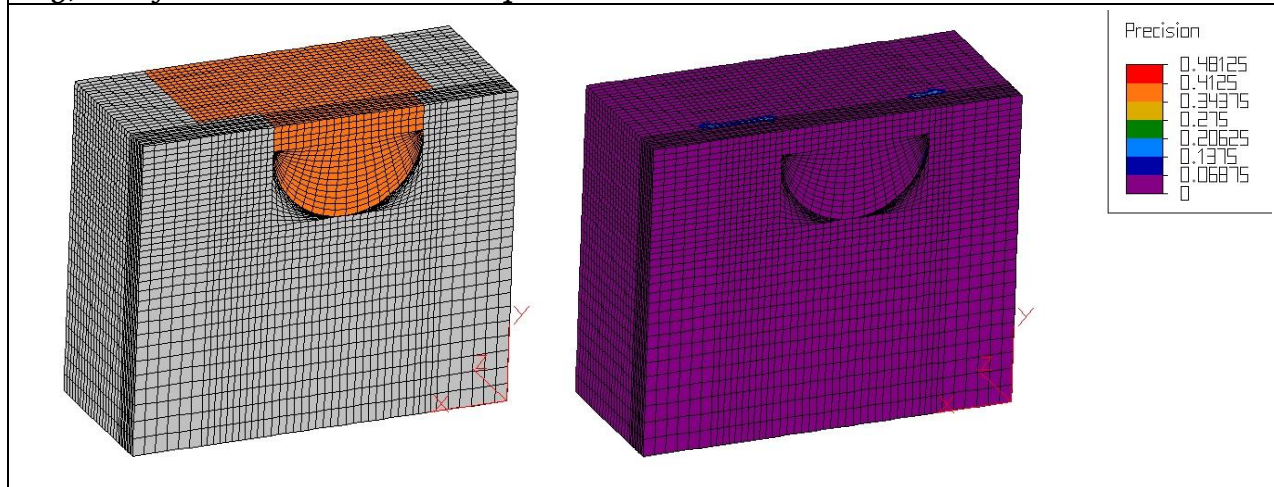


HB 44 15-2

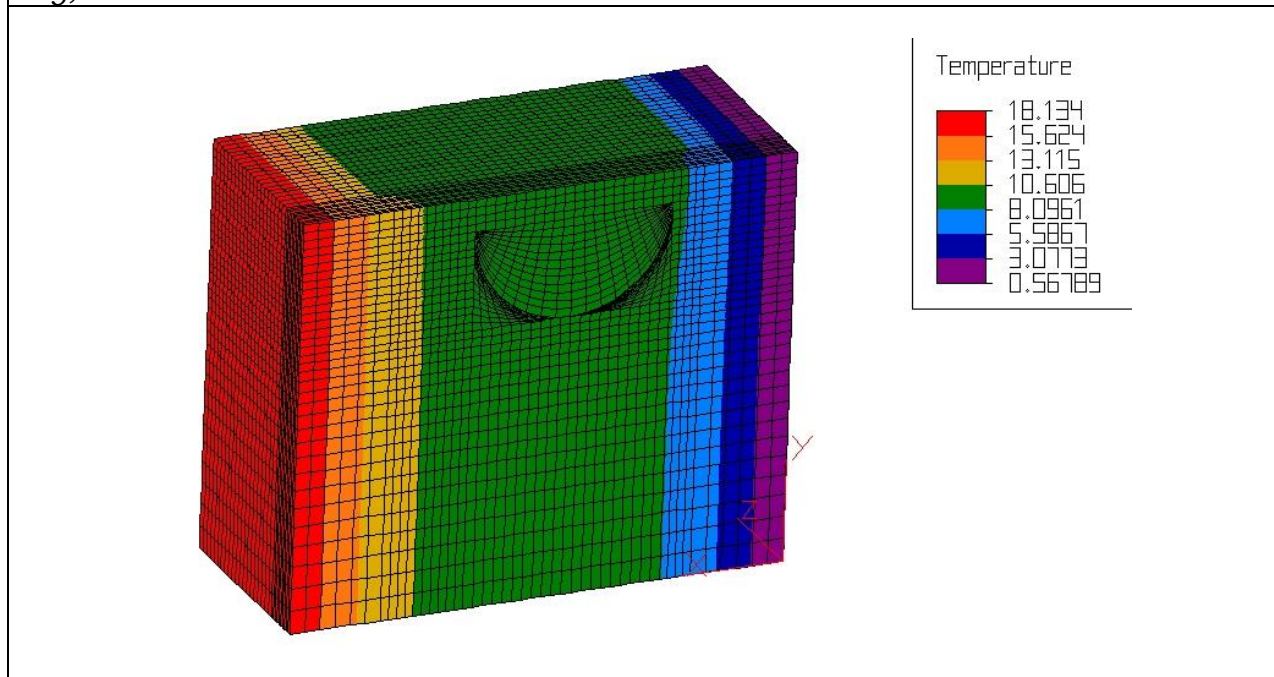


BLOCCO ISOTEX HB 30-19

Fig, 1 definizione del modello e precisione del calcolo



Fig, 2 andamento delle isoterme



Impostazione dei modelli per il calcolo: solai

L'analisi è stata condotta utilizzando un modello bidimensionale che definisce un modulo geometrico ripetibile. Il modello è comprensivo di intonaco interno (1,5 cm) e caldana superiore (5 cm).

Dimensione del modello:

MODELLO	profondità	larghezza	altezza totale
S 20	100	100	26,5
S 25	100	100	31,5
S 39	100	100	45,5

La divisione in elementi del modello è stata condotta con metodo iterativo controllando di volta in volta la precisione del calcolo ed “infittendo” il numero degli elementi nelle zone critiche individuate con dei calcoli preliminari.

- Caratteristiche dei materiali costituenti i solai:

- Conduttività del polistirene espanso sinterizzato secondo certificato:

$$\lambda = 0,039 \text{ W/mk}$$

- Conduttività del polistirene con grafite secondo certificato:

$$\lambda = 0,031 \text{ W/mk}$$

- Conduttività del calcestruzzo ad alta densità:

$$\lambda = 1,91 \text{ W/mk}$$

- Conduttività del legno cemento secondo il Rapporto di prova del CSI N, 0009/DC/TTS/07:

$$\lambda = 0,103 \text{ W/mk}$$

- Conduttività del legno cemento secondo il Rapporto di prova n, 271003 del 30,06,2010
Istituto Giordano:

$$\lambda = 0,104 \text{ W/mk}$$

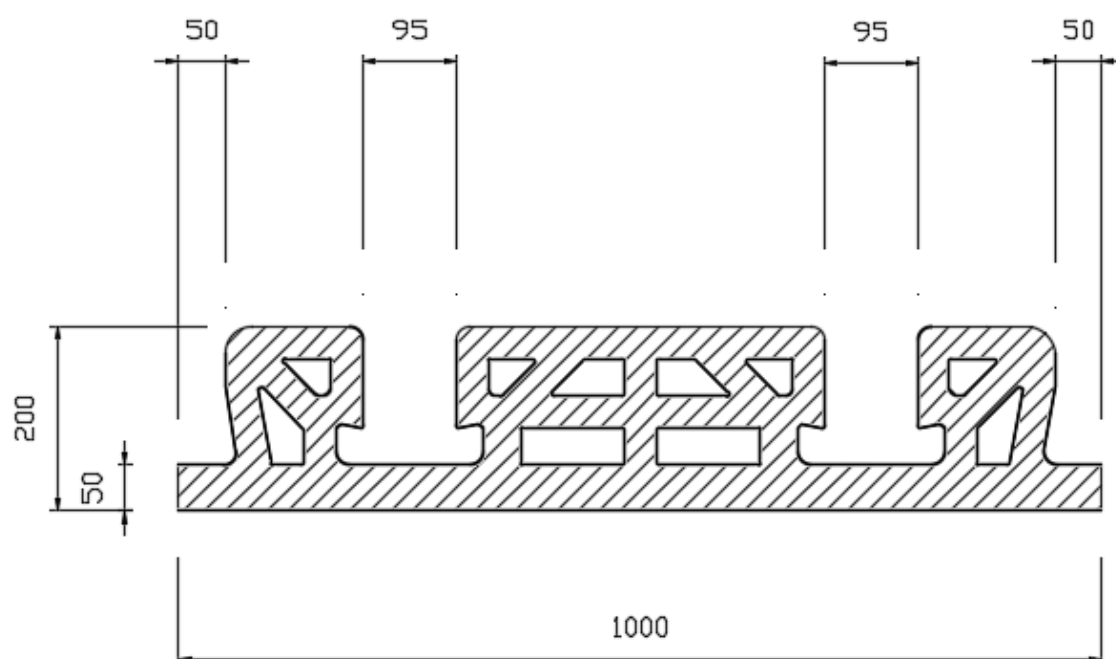
- Condizioni al contorno

Superfici orizzontali- solai

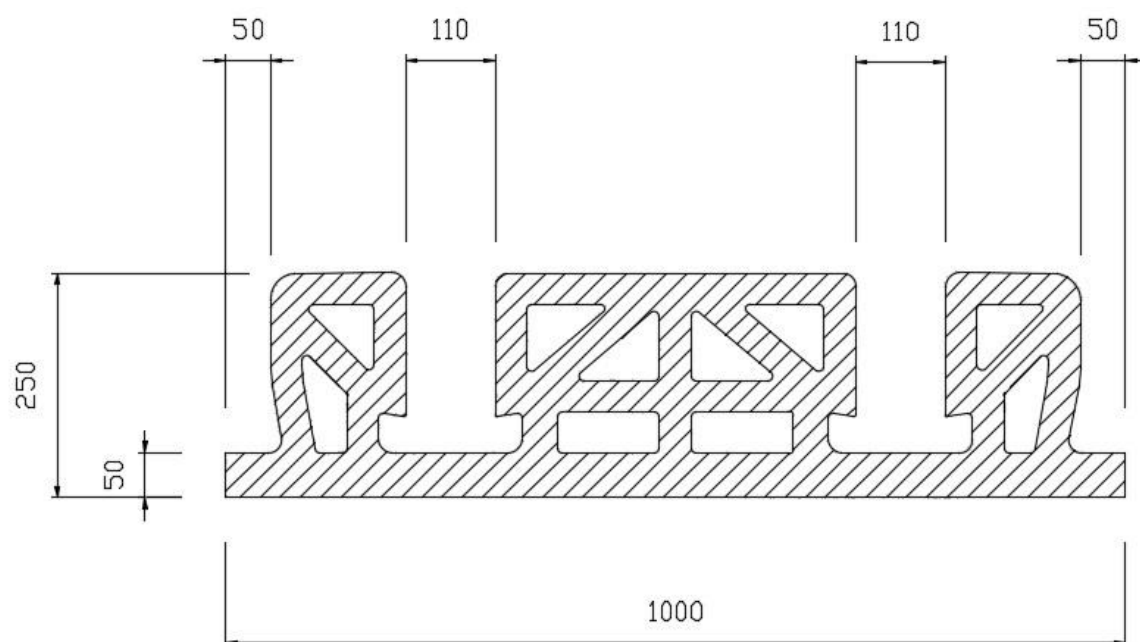
- Esterno $T_e = 0^\circ\text{C}$ $h_e = 25 \text{ W/mqk}$

- Interno $T_i = 20^\circ\text{C}$ $h_i = 10 \text{ W/mqk}$

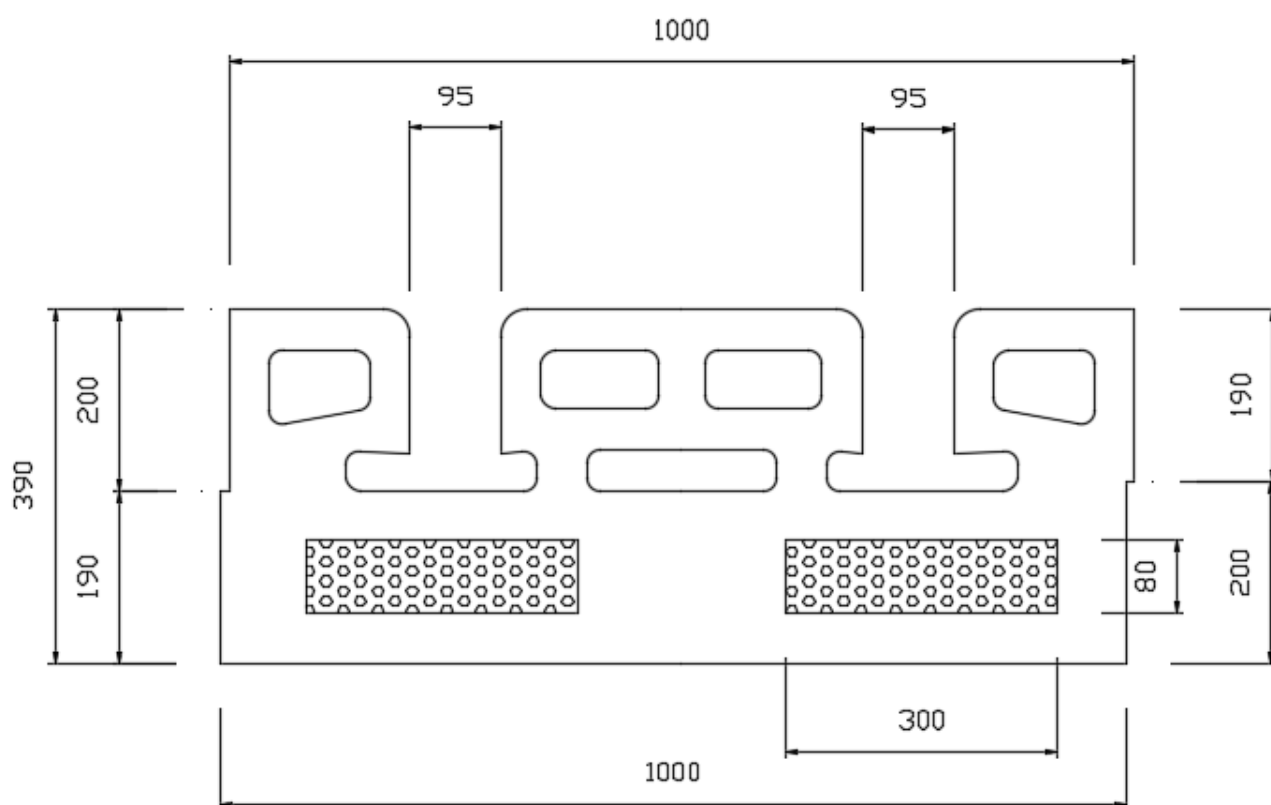
Modello S20



Modello S25



Modello isolato: S 39



Risultati del calcolo: solai

Grazie all'analisi ad elementi finiti si calcola il flusso Q, da cui:

flusso = Q (W)

Resistenza comprensiva di liminari

$R' = DT \cdot S / Q$

Resistenza effettiva

$R = R' - R_{\text{laminari}}$

Resistenze termiche e Conduttanze

	S (mq)	DT (°C)	flusso Q (W)	R'	Rlim	R (mqK/W)	U (W/mqK)	U'
S 20	1	20	20,281	1,046	0,2	0,846	1,18	0,956
S 25	1	20	18,852	1,121	0,2	0,921	1,08	0,892
S 39	1	20	5,751	3,547	0,14	3,407	0,293	0,282

Nella tabella riassuntiva dei risultati è possibile trovare:

- U = conduttanza
- U' = trasmittanza solaio (quindi comprensiva dei liminari interno ed esterno-
Rliminari= 0,14 per il solaio S39 e interno interno per isolai S20 e S25 Rliminari =0,2)

* Il confronto con le trasmittanze di riferimento per gli edifici nuovi e quelle limite degli edifici esistenti, deve essere eseguita considerando il solaio finito comprensivo di liminari ed eventualmente pavimentazione e finiture. Nelle tabelle seguenti si riportano i valori di trasmittanza della struttura con finitura costituita da sottofondo in cls alleggerito, desolarizzante, massetto in cls e pavimento in ceramica, da cui una resistenza aggiuntiva di 0,542 (m²K/W).

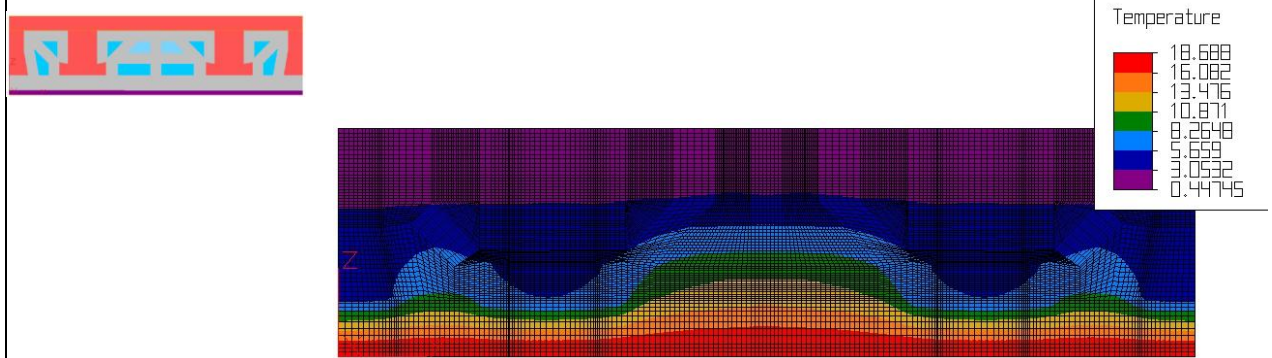
	R	Rlim	R finitura (mqK/W)	R'	U' (W/mqK)
S 20	0,846	0,2	0,542	1,588	0,63
S 25	0,921	0,2	0,542	1,663	0,60
S 39	3,407	0,14	0,542	4,089	0,24

I solai S 20 e S 25 sono adeguati per le partizioni tra appartamenti o tra ambienti non riscaldati ed esterno che richiedono un limite pari a 0,8 W/m²K.

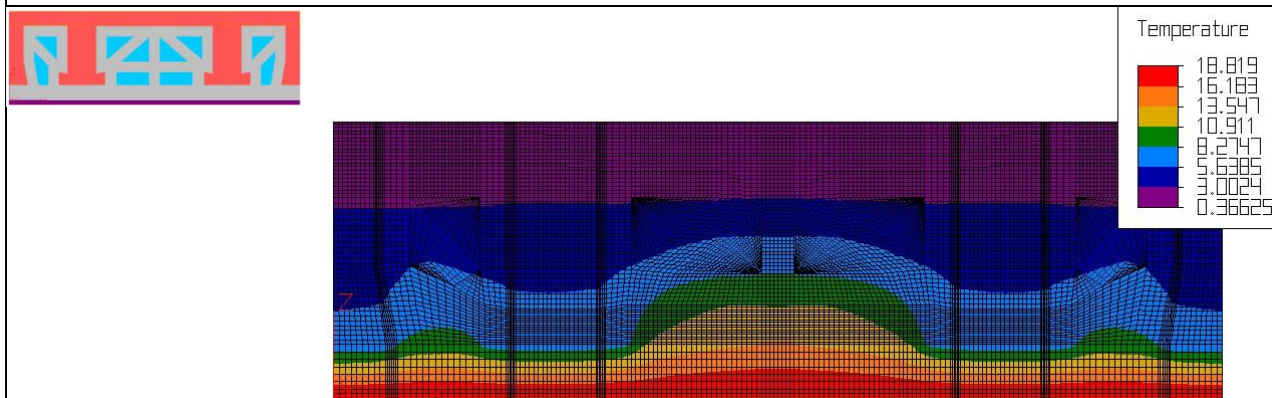
La trasmittanza del prodotto è inferiore ai valori di riferimento per calcolare i limiti di fabbisogno nelle zone climatiche indicate- NON E' UN LIMITE DI LEGGE			Nuove costruzioni e ristrutturazioni importanti di 1 liv.		Nuove costruzioni e ristrutturazioni importanti di 1 liv.	
	R'	U' (W/mqK)	U riferimento 2015*		U riferimento 2019/2021*	
			coperture	pavimenti	coperture	pavimenti
S 39	4,089	0,24	A B C D E	A B C D E F	A B C D	A B C D E F

Si segnala che nel caso di pavimento le resistenze liminari sarebbero maggiori quindi considerare il calcolo del solaio come fosse posizionato in copertura è la più restrittiva.

S 20- Andamento delle isoterme

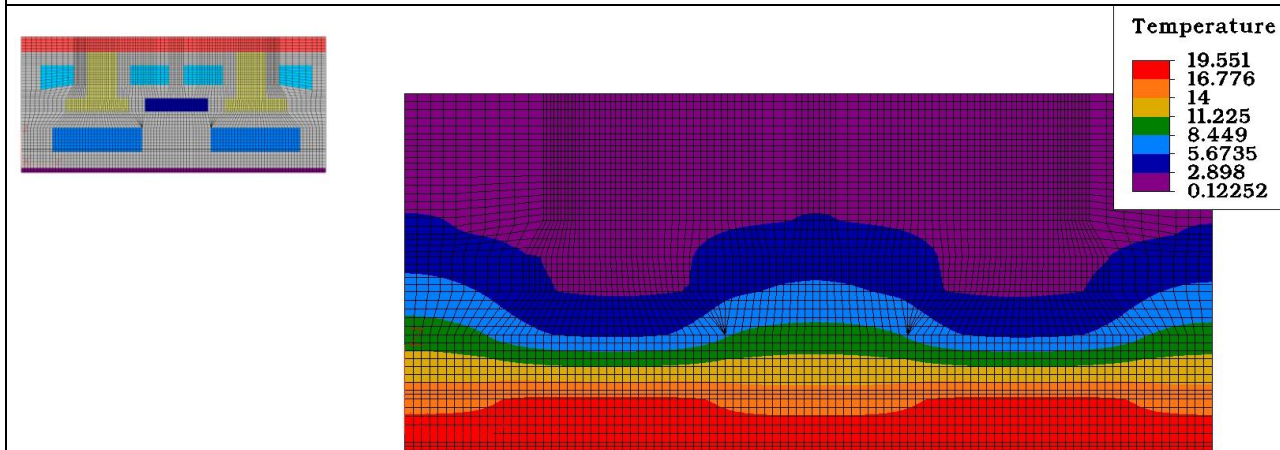


S 25- Andamento delle isoterme



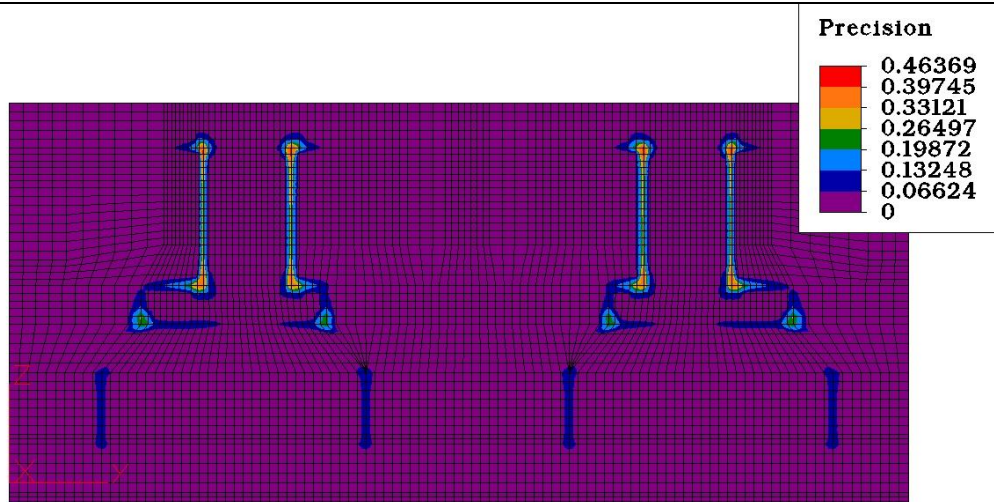
Temperatura superficiale interna minima
 $T_{S20} = 17,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{S25} = 17,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$

S 39- Andamento delle isoterme



Temperatura superficiale interna minima
 $T_{S34} = 19,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$

S 39- Precisione del calcolo



C. Verifiche termoigrometriche (UNI EN ISO 13788 e DM 26/06/2015)

Nel presente fascicolo viene riportata la verifica in base al DM 26 giugno 2015 per il blocco DIII 38-14 in località Aosta.

La verifica del rischio di muffa viene effettuata in base al confronto tra la resistenza termica minima calcolata per escludere il rischio di formazione di muffe in una determinata località e la resistenza termica dell'elemento. Quindi dovrà avere:

$$R_{\text{totale dell'elemento}} > R_{\text{minima accettabile}}$$

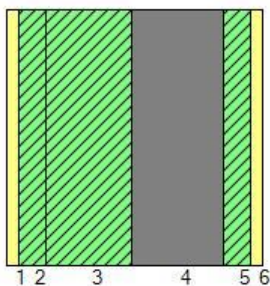
Per resistenza termica totale dell'elemento si intende la resistenza termica della parete in opera, quindi comprensiva di liminari e intonaci.

La verifica di condensa interstiziale invece viene effettuata con il metodo di Glaser come previsto dalla normativa vigente. Il metodo di Glaser non prevede la possibilità di effettuare analisi tridimensionali, ma si basa sul confronto delle pressioni di vapore e di saturazione nelle varie sezioni della struttura.

In base al DM 26 giugno 2015 è necessario verificare l'assenza della condensa interstiziale, nelle condizioni termoigrometriche interne determinate in base alle classi di concentrazione (UNI EN ISO 13788). La UNI 13788 prevede 5 classi di concentrazione del vapore in base alla differente destinazione d'uso dell'edificio. In questa trattazione abbiamo considerato la classe di concentrazione media che rappresenta le condizioni del residenziale standard.

La verifica è stata eseguita con il software PAN.

➤ HDIII 38-14 per classe di concentrazione media Località AOSTA – ZONA E



INT	Malta di calce o di calce e cemento
ISO	Legnocemento ISOTEX
ISO	PSE + GRAFITE ISOTEX
CLS	CLS con aggregato naturale per pareti interne o esterne protette
ISO	Legnocemento ISOTEX
INT	Intonaco di calce e gesso

	s [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	μ [-]	M _s [kg/m²]	R [m²K/W]	S _D [m]	α [m²/Ms]
1	0,020	1800,0	0,900	836,8	20,0	36,0	0,02	0,40	0,598
2	0,045	500,0	0,104	2092,0	5,0	22,5	0,43	0,23	0,099
3	0,140	25,0	0,031	1464,4	30,0	3,5	4,52	4,20	0,847
4	0,150	2400,0	1,909	878,6	150,0	360,0	0,08	22,50	0,905
5	0,045	500,0	0,104	2092,0	5,0	22,5	0,43	0,23	0,099
6	0,020	1400,0	0,700	836,8	10,0	28,0	0,03	0,20	0,598

Elenco simboli

s	Spessore	c	Calore specifico	R	Resistenza termica
ρ	Densità	μ	Fattore di resistenza al vapore	S _D	Spessore equivalente d'aria
λ	Conducibilità	M _s	Massa superficiale	α	Diffusività

Parametri stazionari		
Spessore totale	0,420	m
Massa superficiale	472,5	kg/m ²
Massa superficiale esclusi intonaci	408,5	kg/m ²
Resistenza	5,68	m ² K/W
Trasmittanza	0,176	W/m ² K

Parametri dinamici	Valori invernali		Valori estivi	
Trasmittanza periodica	0,009	W/m ² K	0,008	W/m ² K
Fattore di attenuazione	0,051		0,048	
Sfasamento	13h 39'		14h 6'	
Capacità interna	37,2	kJ/m ² K	37,6	kJ/m ² K
Capacità esterna	61,0	kJ/m ² K	56,4	kJ/m ² K
Ammetenza interna	2,698	W/m ² K	2,728	W/m ² K
Ammetenza esterna	4,434	W/m ² K	4,100	W/m ² K

Verifica della condensa superficiale

Condizioni esterne e interne

Mese	Temperatura esterna [°C]	Pressione esterna [Pa]	Temperatura interna [°C]	Pressione interna [Pa]
ottobre	10,3	1018	20,0	1519
novembre	4,9	749	20,0	1519
dicembre	0,8	550	20,0	1519
gennaio	-0,3	497	20,0	1519
febbraio	2,6	584	20,0	1519
marzo	6,7	714	20,0	1519
aprile	11,0	931	20,0	1519
maggio	14,7	1226	18,0	1519
giugno	18,7	1520	18,7	1519
luglio	20,5	1663	20,5	1519
agosto	19,4	1657	19,4	1519
settembre	15,9	1360	18,0	1519

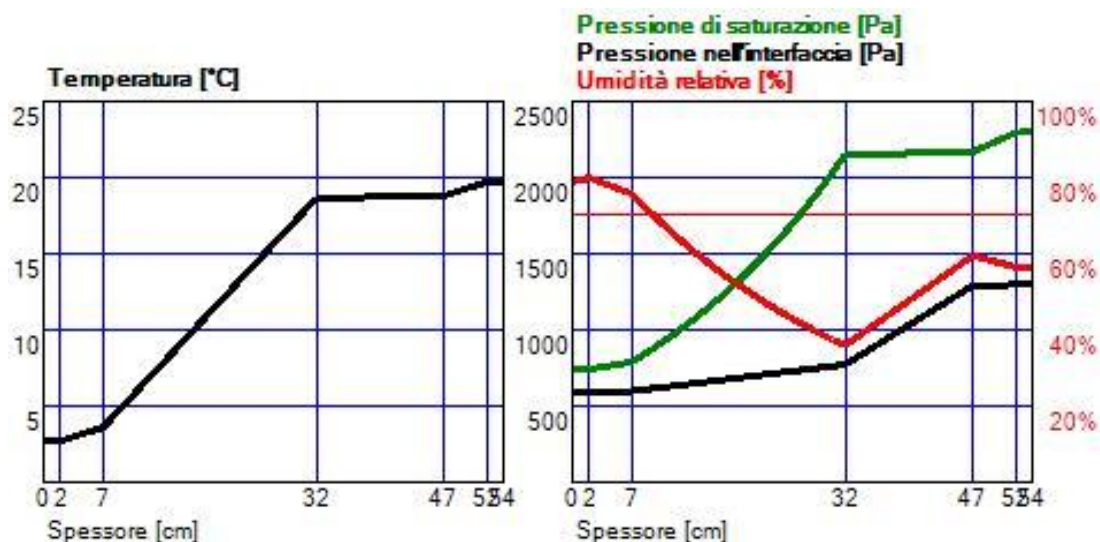
Fattore di temperatura

Mese	Rischio condensa		Rischio formazione muffe	
	Temperatura minima superficiale [°C]	Fattore di temperatura	Temperatura minima superficiale [°C]	Fattore di temperatura
ottobre	13,2	0,301	16,7	0,659
novembre	13,2	0,551	16,7	0,781
dicembre	13,2	0,647	16,7	0,828
gennaio	13,2	0,666	16,7	0,837
febbraio	13,2	0,611	16,7	0,810
marzo	13,2	0,491	16,7	0,751
aprile	13,2	0,247	16,7	0,632

	Rischio condensa	Rischio formazione muffe
Mese critico	gennaio	gennaio
Fattore di temperatura	0,666	0,837
Resistenza minima accettabile	0,75 m ² K/W	1,53 m ² K/W
Resistenza dell'elemento	5,68 m ² K/W	
	Regolamentare	Regolamentare

Verifica della condensa interstiziale

GRAFICO MESE FEBBRAIO

**Condensa non presente**

D. Analisi delle prestazioni estive (UNI EN ISO 13786 e UNI EN ISO 13791 e DM 26 giugno 2015)

➤ L'inerzia termica e le prestazioni estive

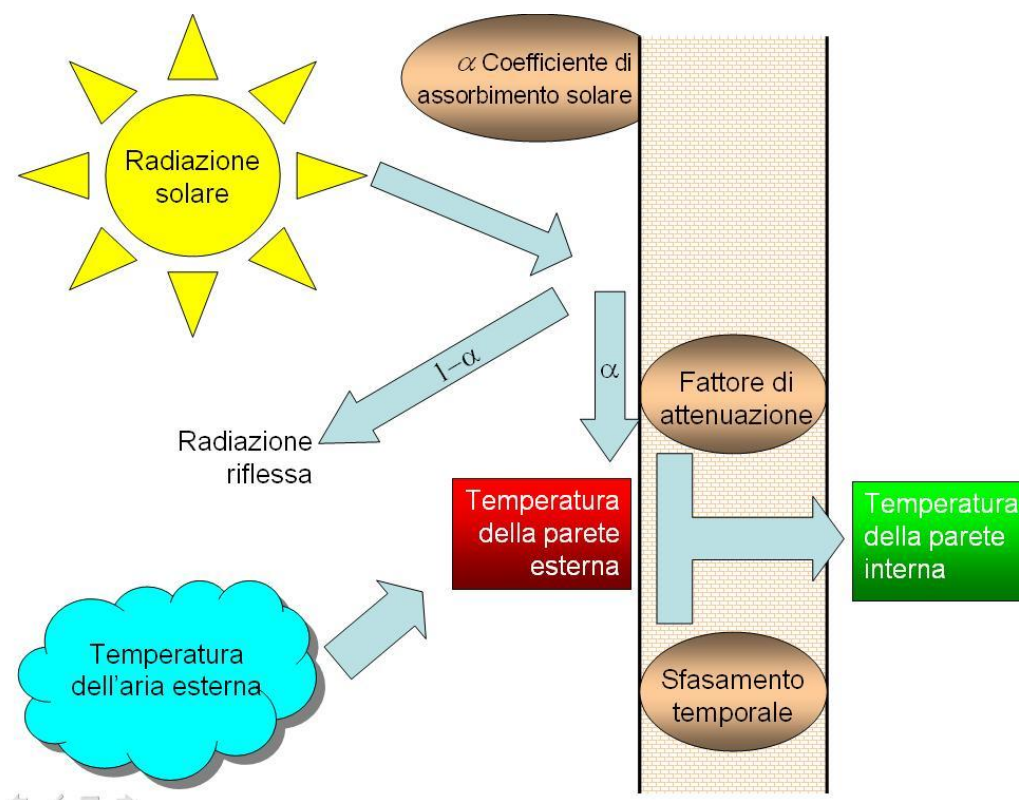
L'inerzia termica è la capacità di una struttura di mantenere costante la temperatura sulla propria faccia interna a fronte di variazioni anche rilevanti della temperatura superficiale esterna. Questa caratteristica è molto importante nel periodo estivo, quando nell'arco di una giornata l'effetto combinato di temperatura dell'aria e radiazione solare fa sì che ci sia una forte variazione della temperatura superficiale esterna delle strutture.

➤ Prescrizioni

Il DM 26 giugno 2015 precisa che:

In zona climatica A,B,C,D,E in località con $I_{m,s}$ del mese più soleggiato $>290 \text{ W/mq}$ bisogna verificare che per le pareti opache verticali con l'eccezione di quelle esposte a Nord Ovest, Nord, Nord Est:

- la massa superficiale delle pareti opache deve essere $>230 \text{ kg/mq}$ o in alternativa il valore della trasmittanza termica periodica Y_{ie} sia inferiore a $0,10 \text{ W/mq K}$
- per le strutture orizzontali o inclinate Y_{ie} deve essere inferiore a $0,18 \text{ W/mq K}$.



La trasmittanza termica periodica è una grandezza risultante dalle più conosciute caratteristiche dell'onda termica: attenuazione e sfasamento. L'attenuazione rappresenta la variazione di temperatura interna e lo sfasamento il tempo che intercorre tra il picco di temperatura esterna e il picco di temperatura interna.

Le norme utilizzate per i calcoli sono la UNI EN ISO 13786 per la valutazione della trasmittanza termica periodica e la UNI EN ISO 13791-13792 per il calcolo della temperatura interna estiva.

La struttura e le località di riferimento su cui sono state effettuate le analisi sono quelle utilizzate per le verifiche termo igrometriche.

➤ Parametri dinamici

Attenuazione, sfasamento e trasmittanza termica periodica non dipendono dalla località ma solo dalla struttura.

I parametri dinamici possono essere calcolati solo su una sezione bidimensionale, di conseguenza riportiamo in tabella i valori per la sezione corrente.

Si riportano nella tabella di seguito le trasmittanze termiche periodiche di alcune strutture costruite con blocchi ISOTEX.

Parete intonacata costituita da blocco	Massa sup, esclusi gli intonaci (kg/m ²)*	Y _{IE} (W/m ² K) Valori estivi
HDIII 30 -7 eps + gra	401,8	0,019
HDIII 33-10 eps+ gra	402,5	0,014
HDIII 38-14 eps + gra	408,5	0,008
HDIII 44-18 eps + gra	419,5	0,004
HDIII 50-25 eps + gra	406,3	0,004

*Le variazioni tra la massa superficiale riportata in tabella e quella riportata sul catalogo generale Isotex, dipendono dalla tipologia di calcolo, nel fascicolo l'analisi è analitica mentre sul catalogo i dati sono sperimentali.

Parete intonacata costituita da blocco	Attenuazione Valori estivi	Sfasamento (h) Valori estivi
HDIII 30-7 eps + gra	0,064	12h 19'
HDIII 33-10 eps+ gra	0,060	12h 43'
HDIII 38-14 eps + gra	0,048	14h 06'
HDIII 44- 18 eps + gra	0,032	16h 22'
HDIII 50-25 eps + gra	0,037	16H 17'

Si osserva che i blocchi ISOTEX rispettano i limiti sia per la massa superficiale elevata che con riferimento ai parametri dinamici.

Lo stesso vale per il solaio S39 che rientra ampiamente nei limiti previsti per le strutture orizzontali.

SOLAIO S39	
Trasmittanza periodica [W/m²K]	0,003
Attenuazione	0,012
Sfasamento	25h28'

Il fattore di attenuazione particolarmente basso significa la quasi totale assenza di variazione della temperatura superficiale interna.

I contenuti e i dati riportati in questo manuale sono di esclusiva proprietà di ISOTEX Srl.

Le analisi specifiche di ogni singolo blocco e i certificati di prova possono essere forniti su richiesta direttamente da ISOTEX Srl.