



Parametri termoigrometrici in regime invernale ed estivo
dell'involucro edilizio

Prestazioni termiche, meccaniche, acustiche dei
materiali isolanti

Adempimenti normativi ed esempi applicativi

15 febbraio 2011

Ing. Cristiano Signori



Isolparma S.r.l. dal 2002 si è sviluppata avendo come obiettivo primario la ricerca di soluzioni per l'involucro edilizio (coperture e pareti)

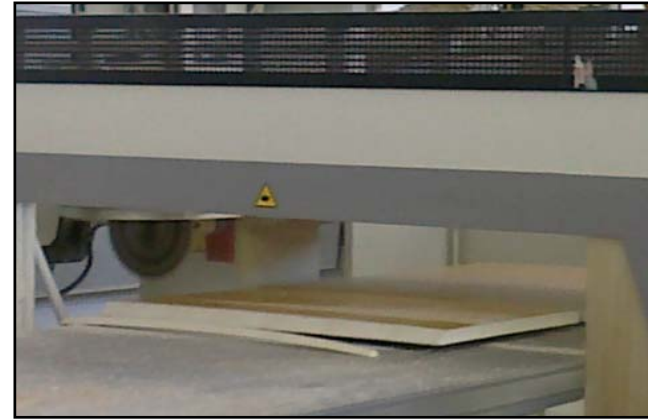
Produzione di sistemi isolanti e impermeabilizzanti su misura per ogni tipologia strutturale dell'involucro edilizio



Esempi di lavorazioni



Battentatura, incastro M/F e taglio



Lavorazione su misura



Preassemblaggio strato isolante-
strato impermeabile



Assemblaggio mediante incollaggio

Principali norme sul risparmio energetico in edilizia

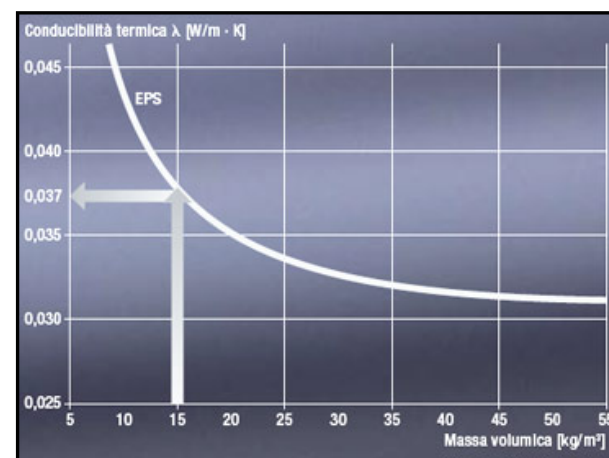
Anno	Estremi norma	Contenuto norma
1976	L. 373	Contenimento del consumo energetico negli edifici
1991	L. 10	Uso razionale dell'energia, risparmio energetico sviluppo delle fonti rinnovabili di energia
2002	Direttiva CE n. 91	Rendimento energetico in edilizia
2005	D.Lgs. 192	Attuazione direttiva 91/2002
2006	D.Lgs. 311	Disposizioni correttive ed integrative al D.Lgs. 192
2008	D.M. 11 marzo	Valori limite Epi e trasmittanza termica per detrazione fiscale del 55%
2009	D.P.R. 59	Attuazione art. 4 D.Lgs 192
2010	D.M. 26 gennaio	Nuovi valori trasmittanza termica per detrazione fiscale del 55%



Definizioni grandezze principali (λ) - (R) - (U)

Conducibilità termica (λ): quantità di calore che, in un'ora, attraversa una superficie pari a 1 m², spessore pari a 1 m, per una differenza di temperature tra le due facce di 1 grado Kelvin. Si esprime in W/mK e si misura alla temperatura di 10 °C.

Si può definire la “carta d'identità termica” di un materiale, e il valore viene determinato mediante misure in laboratorio, in determinate condizioni di prova descritte dalle normative di settore vigenti.



Andamento λ in funzione della densità del materiale

Definizioni grandezze principali (λ), (R), (U)

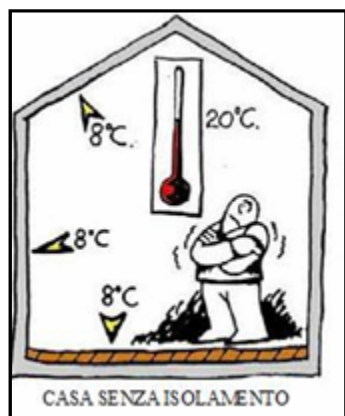
Resistenza termica (R): è il rapporto fra lo spessore del materiale considerato e il valore della conduttività termica (UNI EN ISO 6946)

$R = s/\lambda$ [$\text{m}^2\text{K/W}$] (per un singolo strato)

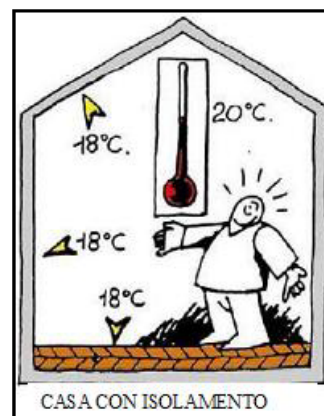
$R_{\text{tot}} = \sum s/\lambda$ [$\text{m}^2\text{K/W}$] (per stratigrafie composite)



Più elevato è il valore migliore è la prestazione termica dell'involucro



Scarso valore di resistenza termica
Scarso benessere e comfort termico



Buon valore di resistenza termica
Miglior benessere e comfort termico



Definizioni grandezze principali (λ), (R), (U)

Trasmittanza termica (U): è la quantità di calore che attraversa un materiale avente conducibilità λ e spessore s , per mq, per ora con una differenza di temperatura pari a 1 grado. E' l'inverso della trasmittanza termica. La definizione è relativa a condizioni di regime stazionario e monodimensionalità del flusso. (UNI EN ISO 6946)

$$U = \lambda / s \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (\text{per un singolo strato})$$

$$U_{\text{TOT}} = 1 / \sum s / \lambda \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (\text{per stratigrafie composite})$$



Più “piccolo” è il valore migliore è la prestazione termica dell'involucro



Necessità di limitare al massimo la trasmittanza termica sia delle componenti opache (circa 70% dell'involucro) che trasparenti

Definizioni grandezze principali (λ), (R),(U)

Le **resistenze superficiali** (liminari) tengono conto degli scambi di calore per convezione e per irraggiamento che avvengono tra la superficie e l'aria interna (R_{si}) e la superficie e l'aria esterna (R_{se}). Dipendono essenzialmente dal grado di esposizione e dalla qualità delle superfici. a seconda della direzione del flusso di calore (UNI EN ISO 6946)

Resistenze termiche superficiali

Direzione del flusso termico	Ascendente	Orizzontale	Discendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Esempio di calcolo R, U stratigrafia di copertura

Tipo di componente		Chiusura superiore							
Stratigrafia		s	ρ	μ	c	λ	R	opz	
(int-est)		[cm]	[kg/m ³]	[-]	[J/kg°C]	[W/m°C]	[m ² °C/W]	$\lambda \rightarrow R$	
Strato liminare interno								0,10	
I	CLS	8,0	2500	20	900	2,000		☐	
II	barr vapore	0,2	1300	700000	1000	0,500		☐	
III	Membrane	0,8	1300	100000	1000	0,500		☐	
IV								☐	
V								☐	
VI								☐	
VII								☐	
VIII								☐	
IX								☐	
X								☐	
Strato liminare esterno								0,04	

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_i)	6,159 W/(m ² K)	1,05 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	8,260 W/(m ² K)	1,96 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	4,351 W/(m²K)	-2,31 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	65,6 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	102,6 kJ/(m ² K)	
Resistenza termica (R)	0,200 (m ² K)/W	
Trasmittanza termica (U)	5,000 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,870	
Spessore (s)	9,0 cm	
Massa superficiale (m)	213 kg/m²	
Sfasamento (φ)	2,31 h	

**Situazione SENZA
isolamento termico**



Esempio di calcolo R, U stratigrafia di copertura

Tipo di componente		Chiusura superiore						
Stratigrafia		s	ρ	μ	c	λ	R	opz.
(int-est)		[cm]	[kg/m ³]	[-]	[J/kg°C]	[W/m°C]	[m ² °C/W]	$\lambda \rightarrow R$
Strato liminare interno							0,10	
I	CLS	8,0	2500	20	900	2,000		
II	barr vapore	0,2	1300	700000	1000	0,500		
III	RF3	8,0	36	148	1456	0,024		
IV	Membrane	0,8	1300	100000	1000	0,500		
V								
VI								
VII								
VIII								
IX								
X								
Strato liminare esterno							0,04	

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	7,258 W/(m ² K)	2,21 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	0,901 W/(m ² K)	4,56 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0,158 W/(m²K)	-4,85 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	100,4 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	14,1 kJ/(m ² K)	
Resistenza termica (R)	3,533 (m ² K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,283 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,558	
Spessore (s)	17,0 cm	
Massa superficiale (m)	216 kg/m²	
Sfasamento (φ)	4,85 h	

**Situazione CON
isolamento termico**



Valori limite trasmittanza termica componenti opachi involucro edilizio

(D.Lgs. 311/06)-Valori in vigore dal 1/1/2010

ZONA CLIMA TICA	Strutture opache verticali	Strutture opache orizzontali o inclinate	Pavimenti verso locali non riscaldati e verso l'esterno
A	0,62	0,38	0,65
B	0,48	0,38	0,49
C	0,40	0,38	0,42
D	0,36	0,32	0,36
E	0,34	0,30	0,33
F	0,33	0,29	0,32

Valori limite trasmittanza termica componenti opachi involucro edilizio

(D.M. 26/01/2010)-Valori richiesta detrazione fiscale 55%

Zona climatica	strutture opache verticali	strutture opache orizzontali o inclinate	
		Coperture	Pavimenti (*)
A	0,54	0,32	0,60
B	0,41	0,32	0,46
C	0,34	0,32	0,40
D	0,29	0,26	0,34
E	0,27	0,24	0,30
F	0,26	0,23	0,28

Altre definizioni parametri termici

- Gradi giorno (GG): somma, riferita a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere fra la temperatura dell'ambiente (fissata per convenzione pari a 20 °C) e la temperatura media esterna giornaliera



Gli edifici siti nelle località con numero di gradi giorno maggiore necessitano di prestazioni maggiori sia a livello di involucro che di rendimento degli impianti.

Es:	Venezia	2345 gg
	Padova	2383 gg
	Cortina	4433 gg
	Lampedusa	568 gg

Zone climatiche – suddivisione territorio (A-B-C-D-E-F)



Trasmittanza termica periodica ($Y_{i,e}$)

- ▶ grandezza introdotta nell'art. 2 del D.P.R. 59/2009 per la verifica in fase estiva
- ▶ valuta la capacità di una struttura opaca (verticale od orizzontale) di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa in 24 ore (UNI EN ISO 13786)
- ▶ considera l'aspetto dinamico e di propagazione dell'onda termica “ampliando” la definizione di U che invece fornisce una valutazione statica della stratigrafia
- ▶ Oltre al tipo e allo spessore del materiale vengono considerate altre grandezze descrittive della capacità di accumulo e dissipazione del calore, ovvero la densità (ρ) e il calore specifico (C_p)

$$Y_{i,e} = f \times U \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

dove:

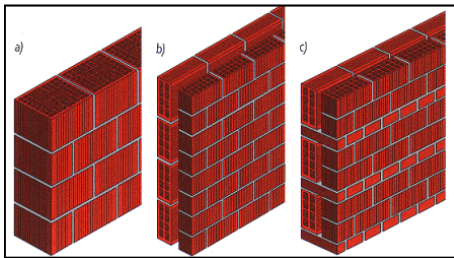
- ▶ f fattore di attenuazione
- ▶ U trasmittanza termica in regime stazionario

Fattore di attenuazione (f)

E' definito come il rapporto fra il flusso termico in condizioni reali e il flusso termico in condizioni di assenza di accumulo di calore

$$f = q_{\max} / q'_{\max}$$

- ▶ q_{max} flusso termico in condizioni reali (introduce l'aspetto periodico-dinamico, si ottiene dalla soluzione dell'equazione generale della conduzione del calore in regime variabile)
- ▶ q'_{max} flusso termico in condizioni di assenza di accumulo di calore (q'_{max}=UxΔT)
- ▶ I valori di f sono compresi fra 0 e 1 in cui il valore minimo indica il totale accumulo di calore mentre il valore massimo indica l'assenza di accumulo



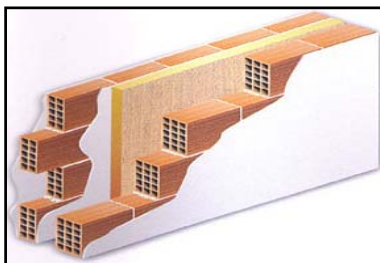
Alta capacità di accumulo (ρ e Cp elevati)



Bassa capacità di accumulo (ρ e Cp ridotti)

Fattore di attenuazione (f)

► I valori sono compresi fra 0 e 1 in cui il valore minimo indica il totale accumulo di calore e il valore massimo indica l'assenza di accumulo e pertanto una minor capacità dissipativa



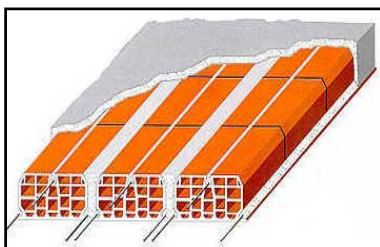
murature in laterizio con isolamento intercapedine



$$0,1 < f < 0,2$$



Ottimo valore per la fase estiva



solai in laterocemento



$$0,1 < f < 0,2$$



Ottimo valore per la fase estiva



solai di copertura in legno



$$0,8 < f < 0,9$$



Scarso valore per la fase estiva

Verifica trasmittanza termica periodica Valori limite (art. 4 D.P.R. 59/2009)



Zone interessate alla verifica $Y_{i,e}$



Zone non interessate alla verifica $Y_{i,e}$

Edifici ricadenti nelle località del territorio nazionale con valore di Irradianza (I) > 290 W/m² esclusa zona climatica F:



Massa sup. elemento opaco $\geq 230 \text{ kg/m}^2$

O alternativamente

$Y_{i,e} \leq 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le pareti verticali

$Y_{i,e} \leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le pareti orizzontali

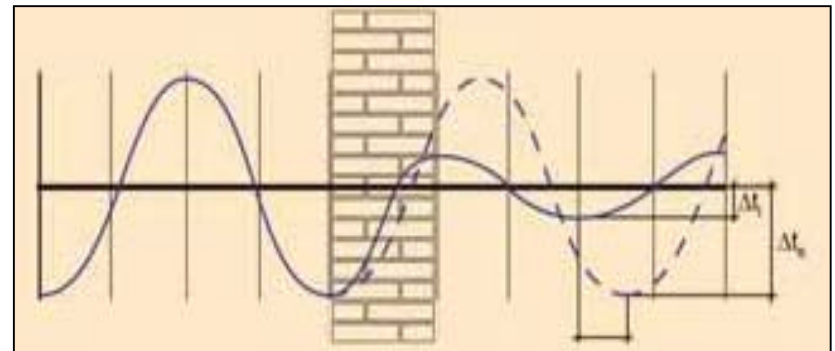


Cenni sul concetto di sfasamento

- ➡ E' il tempo (ore) che serve all'onda termica per fluire dall'esterno all'interno attraverso una stratigrafia (orizzontale o verticale)
- ➡ Maggiore è lo sfasamento, più lungo sarà il tempo di passaggio del calore all'interno dell'edificio e dunque maggiore "schermatura" nella stagione estiva
- ➡ E' la differenza di tempo che intercorre tra l'ora in cui si ha la massima temperatura all'esterno e l'ora in cui si ha la massima temperatura all'interno

Sfasamento "consigliato" pari a 8-12 ore
Per un buon comfort termico

Parametro che privilegia caratteristiche massive dei materiali con maggiori capacità di accumulo termico



Considerazioni sui parametri di verifica e campo di applicazione

- ▶ Massa superficiale privilegia strutture massive (murature in laterizio, strutture in c.a., solai in laterocemento etc.)
- ▶ Trasmittanza termica periodica privilegia strutture “leggere” (acciaio, legno etc.)
- ▶ Verifica obbligatoria per tutte le tipologie di edifici escluse (D.P.R. n. 412 del 26/08/1993):

E.5 Attività commerciali e assimilabili (negozi, magazzini di vendita al minuto o all'ingrosso, supermercati o esposizioni)

E.6 Attività sportive (piscine, saune, palestre, servizi di supporto)

E.7 Attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili

E.8 Attività industriali e artigianali a tutti i livelli e assimilabili

Cenni sulla verifica condensa interstiziale

Verifica obbligatoria della presenza di condensa interstiziale con il metodo di Glaser (esclusa la categoria E.8 – edifici adibiti ad attività industriale ed artigianale)

In assenza di sistemi di controllo di umidità relativa dei locali si assumono le seguenti ipotesi di calcolo:

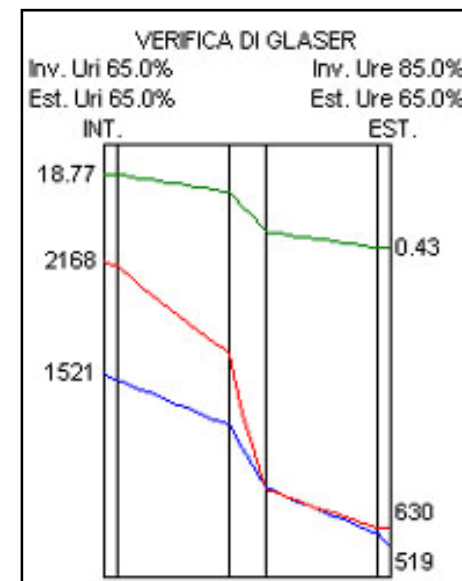
Umidità relativa (Ur) ► 65 %

Temperatura interna ► 20 °C

Le curve di pressione di saturazione (Ps) e pressione di vapore (Pv) non devono intersecarsi!!!



Formazione condensa interstiziale



Ambito di applicazione verifiche (art. 6 D.P.R. 59/2009)

Clausola di cedevolezza

- ▶ Si applica in tutte le Regioni e Province Autonome che non hanno ancora legiferato in merito all'applicazione della direttiva CE 2002/91 o fino a quando questi Enti non provvedano al riguardo. (es. Veneto)
- ▶ Regioni e Province autonome già dotate di una propria normativa in materia devono allinearsi, entro una tempistica non definita, ai contenuti del decreto; tuttavia è possibile introdurre limiti più severi o metodi di calcolo alternativi.

Regione Lombardia ▶ Delibera n. VIII/008745 del 22/12/2008

Anticipa i contenuti del D.P.R. 59 diventando la “linea guida” principale; definiti i parametri di trasmittanza periodica e le procedure riprese nel decreto medesimo

Regione Emilia Romagna ▶ DGR 1362/2010

Non si valuta più lo sfasamento orario legato per la verifica in fase estiva (era l'unica Regione ad aver scelto questo criterio) ma si adottano i criteri generali del DPR 59. (E_{pe} e $Y_{i,e}$)

Principali caratteristiche dei materiali isolanti

- 1) **Densità (ρ)** [kg/m³] → capacità termica – resistenza a compressione
- 2) **Conduttività termica (λ)** [W/mK] → resistenza termica
- 3) **Resistenza a compressione (C_s)** [kPa] → risposta alle sollecitazioni per carichi uniformemente distribuiti
- 4) **Euroclasse** → resistenza al fuoco (dalla A alla F)
- 5) **Fattore di resistenza al vapore (μ)** → studio igrometrico delle stratigrafie
- 6) **Temperatura di esercizio (T)** [°C] → stabilità del prodotto dopo l'applicazione

...a proposito delle temperature di esercizio...



Polistirene espanso estruso
 $T_{\max} 75\text{ }^{\circ}\text{C}$



Polistirene espanso sinterizzato
con grafite
 $T_{\max} 70\text{ }^{\circ}\text{C}$

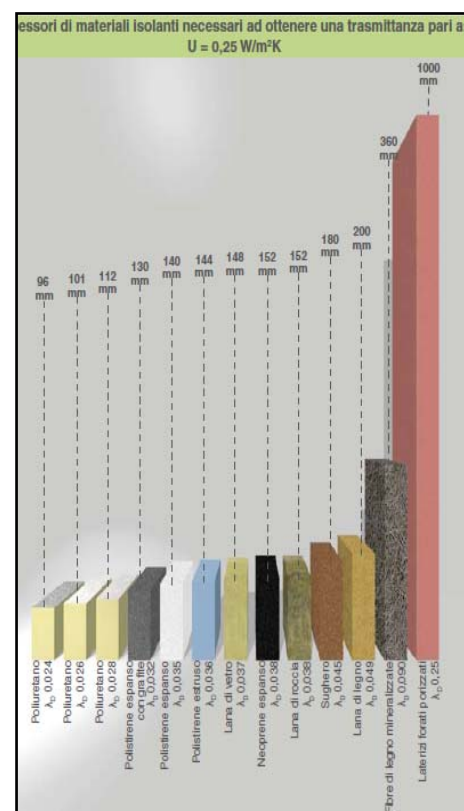


Confronto caratteristiche materiali isolanti (densità-conduttività termica)

TIPOLOGIA MATERIALE	MASSA VOLUMICA (p) kg/m ³	CONDUTTIVITA' TERMICA (λ) W/mK
POLIURETANO ESPANSO RIGIDO	35 - 40	0,024 - 0,028
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO (EPS)	20 - 30	0,033 - 0,035
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO con GRAFITE (EPS)	20 - 30	0,031 - 0,032
POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO (XPS)	30 - 40	0,033 - 0,038
LANA di VETRO	> 85	0,035 - 0,040 (se protetto dall'umidità)
LANA di ROCCIA	> 100	0,035 - 0,040 (se protetto dall'umidità)
FIBRA di LEGNO	> 150	0,04
SUGHERO	110-120	0,036-0,038



Materiali con λ inferiore forniscono una migliore resistenza termica a parità di spessore



Confronto caratteristiche materiali isolanti (resistenza a compressione-comportamento al fuoco)

TIPOLOGIA MATERIALE	RESISTENZA A COMPRESSIONE (σ) kPa	RESISTENZA al FUOCO (Euroclasse)
POLIURETANO ESPANSO RIGIDO	130 - 200	F - D (alluminio)
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO (EPS)	80 - 200 (a seconda della classe)	E
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO con GRAFITE (EPS)	80 - 200 (a seconda della classe)	E
POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO (XPS)	300 - 500	E
LANA di VETRO	50	A
LANA di ROCCIA	> 70	A
FIBRA di LEGNO	20	E - F
SUGHERO	125-160 (anche 200 per cappotti)	E

**Classificazione resistenza al fuoco secondo
EN 13501-1**



Reazione al fuoco Euroclassi e metodi di prova (per i prodotti da costruzione esclusi i pavimenti)			
	EUROCLASSE	Metodo di prova	Metodi di prova alternativi o classificazioni aggiuntive
inorganici	A1	UNI EN ISO 1182 UNI EN ISO 1716	
	A2	UNI EN ISO 1182	UNI EN ISO 1716 UNI EN ISO 13823 (SBI)
organici	B	UNI EN ISO 13823 (SBI) UNI EN ISO 11925 (esposizione 30")	produzione di fumo (s) gocce/particelle ardenti (d)
	C	UNI EN ISO 13823 (SBI) UNI EN ISO 11925 (esposizione 30")	produzione di fumo (s) gocce/particelle ardenti (d)
	D	UNI EN ISO 13823 (SBI) UNI EN ISO 11925 (esposizione 30")	produzione di fumo (s) gocce/particelle ardenti (d)
	E	UNI EN ISO 13823 (SBI) UNI EN ISO 11925 (esposizione 15")	gocce/particelle ardenti (d)
	F	Reazione non determinata	

Confronto caratteristiche materiali isolanti (resistenza al vapore-temperature di esercizio)

TIPOLOGIA MATERIALE	RESISTENZA DIFFUSIONE VAPORE (μ)	TEMPERATURE di ESERCIZIO ($^{\circ}\text{C}$)
POLIURETANO ESPANSO RIGIDO	100 - ∞ (alluminio)	da -40 a + 110
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO (EPS)	30 - 70	80
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO con GRAFITE (EPS)	30 - 70	75
POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO (XPS)	120 - 150	75
LANA di VETRO	1,1 - 2 (non rivestiti) 20000 (rivestiti)	80
LANA di ROCCIA	1	350
FIBRA di LEGNO	5	Dato non disponibile
SUGHERO	5-30	Dato non disponibile

Confronto caratteristiche materiali isolanti (considerazioni ambientali e applicative)

TIPOLOGIA MATERIALE	ALTRE CARATTERISTICHE	CONSIDERAZIONI AMBIENTALI
POLIURETANO ESPANSO RIGIDO	versatilità rivestimenti a seconda delle applicazioni	il ciclo vita da' un buon rapporto materie prime-efficienza, difficilmente riciclabile
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO (EPS)	costo contenuto, durata nel tempo sufficiente, attenzione nell'applicazione in copertura	riciclabile in eps rigenerato, riutilizzo anche nella prefabbricazione
POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO con GRAFITE (EPS)	costo contenuto, da verificare valori λ nel tempo	riciclabile in eps rigenerato, riutilizzo anche nella prefabbricazione
POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO (XPS)	valore di λ aumenta all'aumentare di p	
LANA di VETRO	non usare per pareti a contatto col terreno e in tetti rovesci - lavorazione in opera più difficile - buon assorbimento acustico in parete verticale	possibile recupero solo se integri e non compromessi dall'umidità
LANA di ROCCIA	non usare per pareti a contatto col terreno e in tetti rovesci - lavorazione in opera più difficile - buon assorbimento acustico in parete verticale	possibile recupero solo se integri e non compromessi dall'umidità
FIBRA di LEGNO	buon assorbimento acustico, da proteggere dall'acqua causa perdita prestazioni	consumo energia produzione alto, possibilità di riutilizzo scarti
SUGHERO	si fregiano del titolo "bio" anche se son presenti resine, buon valore della massa, costo elevato	prodotto naturale, ma dopo l'uso non recuperabile per deperimento

Alcune certificazioni di prodotto



Marcatura CE



LCA



EPD



Certificazione
LEED

Esempi applicativi

1 - Struttura di copertura in legno non ventilata

DESCRIZIONE STRATIGRAFIA (interno-esterno)

Tavolato in legno sp. 2,5 cm

Isoplan PUR RF5 (pannello RF5+membrana bituminosa) sp. 10 cm

Manto in coppi sp. 2 cm

PARAMETRI TERMO-IGROMETRICI

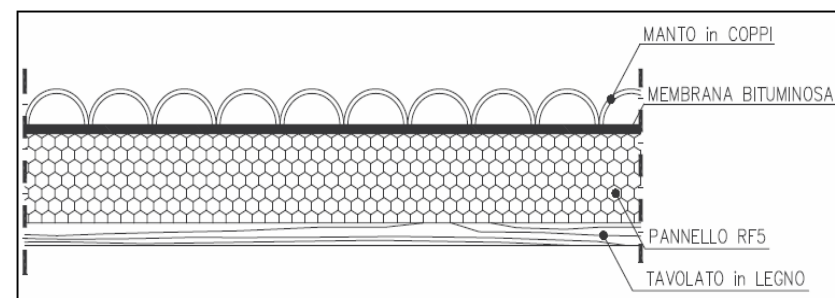
$U = 0,22 \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

$Y_{i,e} = 0,20 \leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fattore di attenuazione $f = 0,906$

Sfasamento orario = 3,09 h

Assenza di condensa interstiziale e superficiale



Caratteristiche RF5

$\rho = 40 \text{ kg/m}^3$

$\lambda_d = 0,024 \text{ W/mK}$

$C_s = 150 \text{ kPa}$

EUROCLASSE D

$\mu = \infty$

$T_{\max} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$

Esempi applicativi

2 - Struttura di copertura in legno ventilata

DESCRIZIONE STRATIGRAFIA (interno-esterno)

Tavolato in legno sp. 2,5 cm

ALISEO (pannello RF5) sp. 10 cm

Profili in aluzink per microventilazione

Manto in coppi sp. 2 cm

PARAMETRI TERMO-IGROMETRICI

$U = 0,22 \leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

$Y_{i,e} = 0,20 \leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fattore di attenuazione $f = 0,896$

Sfasamento orario = 3,08 h

Assenza di condensa interstiziale e superficiale



Caratteristiche ALISEO

$\rho = 40 \text{ kg/m}^3$

$\lambda_d = 0,024 \text{ W/mK}$

$C_s = 150 \text{ kPa}$

EUROCLASSE D

$\mu = \infty$

$T_{\max} = 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Esempi applicativi

3 - Struttura di copertura in laterocemento non ventilata

DESCRIZIONE STRATIGRAFIA (interno-esterno)

Solaio in laterocemento sp. 25 cm

Barriera al vapore

Isoplan PUR RF3 (pannello RF3+membrana bituminosa) sp. 7 cm

Manto in coppi sp. 2 cm

PARAMETRI TERMO-IGROMETRICI

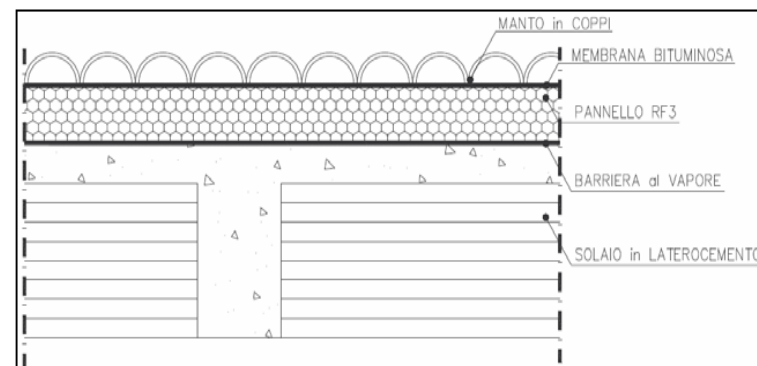
$U = 0,29 \leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

$Y_{i,e} = 0,05 \leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fattore di attenuazione $f = 0,161$

Sfasamento orario = 9,83 h

Assenza di condensa interstiziale e superficiale



Caratteristiche RF3

$\rho = 36 \text{ kg/m}^3$

$\lambda_d = 0,024 \text{ W/mK}$

$C_s = 150 \text{ kPa}$

EUROCLASSE F

$\mu = 148 \pm 24$

$T_{\max} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$

Esempi applicativi

4 - Struttura di copertura in laterocemento ventilata

DESCRIZIONE STRATIGRAFIA (interno-esterno)

Solaio in laterocemento sp. 25 cm

Barriera al vapore

MISTRAL PUR RF3 (pannello RF3+OSB/3) sp. 7 cm

Membrana bituminosa

Manto in coppi sp. 2 cm

PARAMETRI TERMO-IGROMETRICI

$U = 0,29 \leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

$Y_{i,e} = 0,05 \leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fattore di attenuazione $f = 0,160$

Sfasamento orario = 10,13 h

Assenza di condensa interstiziale e superficiale



Caratteristiche RF3

$\rho = 36 \text{ kg/m}^3$

$\lambda_d = 0,024 \text{ W/mK}$

$C_s = 150 \text{ kPa}$

EUROCLASSE F

$\mu = 148 \pm 24$

$T_{max} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$

Esempi applicativi

5 - Struttura di copertura in c.a.p. – elemento tegolo

DESCRIZIONE STRATIGRAFIA (interno-esterno)

Tegolo in c.a.p. sp. 6 cm

Barriera al vapore

ISOPLAN PUR RF3 “PRECISO” sp. 8 cm

Membrana bituminosa ardesiata

PARAMETRI TERMO-IGROMETRICI

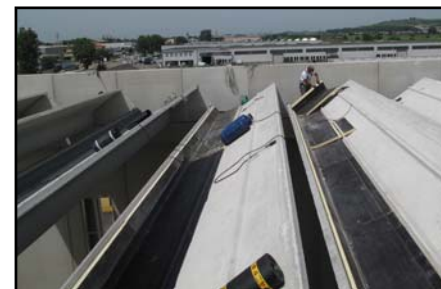
$U = 0,28 \leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

$Y_{i,e} = 0,19 \leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fattore di attenuazione $f = 0,662$

Sfasamento orario = 4,08 h

Assenza di condensa interstiziale e superficiale



Caratteristiche RF3

$\rho = 36 \text{ kg/m}^3$

$\lambda = 0,024 \text{ W/mK}$

$C_s = 150 \text{ kPa}$

EUROCLASSE F

$\mu = 148 \pm 24$

$T_{max} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$

Esempi applicativi

6 – Muratura in laterizio con rifodera interna

DESCRIZIONE STRATIGRAFIA (interno-esterno)

Intonaco interno sp. 1,5 cm

Muratura in laterizio sp. 8 cm

Pannello RF3 sp. 5 cm

Muratura in laterizio sp. 25 cm

Intonaco esterno sp. 1,5 cm

PARAMETRI TERMO-IGROMETRICI

$U = 0,31 \leq 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$

$Y_{i,e} = 0,04 \leq 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fattore di attenuazione $f = 0,160$

Sfasamento orario = 10,13 h

Assenza di condensa interstiziale e superficiale



Caratteristiche RF3

$\rho = 36 \text{ kg/m}^3$

$\lambda = 0,024 \text{ W/mK}$

$C_s = 150 \text{ kPa}$

EUROCLASSE F

$\mu = 148 \pm 24$

$T_{\text{max}} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$

Esempi applicativi

7 – Muratura in laterizio con rifodera esterna

DESCRIZIONE STRATIGRAFIA (interno-esterno)

Intonaco interno sp. 1,5 cm

Muratura in laterizio sp. 25 cm

Pannello RF3 sp. 5 cm

Muratura in laterizio sp. 12 cm

Intonaco esterno sp. 1,5 cm

PARAMETRI TERMO-IGROMETRICI

$U = 0,30 \leq 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$

$Y_{i,e} = 0,03 \leq 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fattore di attenuazione $f = 0,086$

Sfasamento orario = 15,19 h

Assenza di condensa interstiziale e superficiale



Caratteristiche RF3

$\rho = 36 \text{ kg/m}^3$

$\lambda = 0,024 \text{ W/mK}$

$C_s = 150 \text{ kPa}$

EUROCLASSE F

$\mu = 148 \text{ +/- } 24$

$T_{\text{max}} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$

Test acustici su coperture con struttura lignea

- Prove effettuate presso l'Istituto Giordano in camera acustica per strutture orizzontali
- Test svolti su 13 stratigrafie di copertura con struttura portante in legno, formate da diversi materiali isolanti e impermeabilizzanti aventi valori diversi di assorbimento e resistenza acustica sia su tetti ventilati che non ventilati.



Test acustici su coperture con struttura lignea

Una relazione del CNR (convegno A.I.A. 2009) evidenzia un fatto molto rilevante relativamente alle stratigrafie tradizionali ovvero:

“In coperture inclinate, subentra una componente dovuta alla forza peso che contribuisce negativamente all’isolamento acustico con perdita alle frequenze medio basse. La copertura in tegole o coppi determina un ulteriore peggioramento. Indipendentemente dalla densità superficiale del tetto, ovvero che si tratti di un pacchetto massivo o leggero, il manto in laterizio determina un peggioramento dell’isolamento acustico della falda, maggiore quanto più il laterizio è pesante.

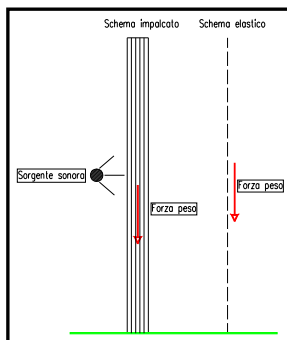
➡ *Il peso delle coperture in laterizio è inversamente proporzionale all’isolamento: i coppi che hanno mediamente una densità doppia rispetto alle tegole peggiorano ancor di più la situazione”.*

Schematizzazione incidenza fattore forza peso impalcato

Impalcato schematizzato come un elastico per studiare la propagazione delle vibrazioni sonore dovute all'incidenza della forza peso.

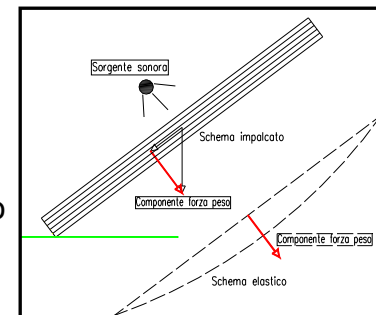
1) Test in verticale

- Incidenza peso nulla
- Risultati discutibili causa test non svolti secondo un modello reale (copertura trattata come parete)



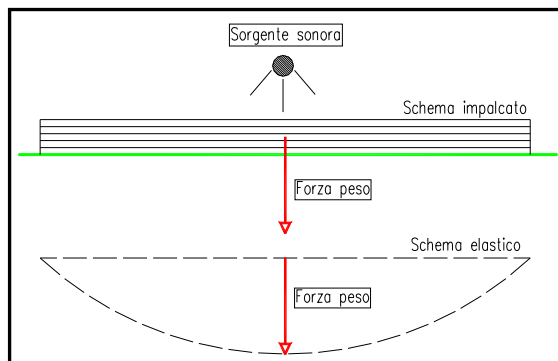
2) Test su piano inclinato

- Incidenza peso parziale in direzione definita
- Effetto vibrazioni dovuto al peso
- Schema riconducibile a caso reale

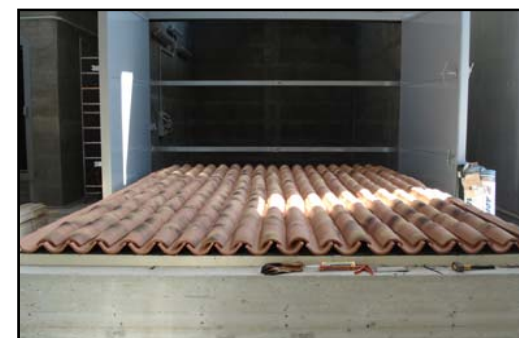
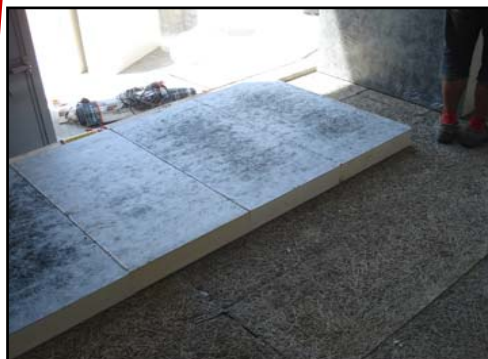


3) Test su piano orizzontale

- Incidenza peso totale
- Condizione più gravosa
- Risultati tengono conto al 100% dell'effetto peso



Soluzione “tetto caldo”- descrizione e parametri termici



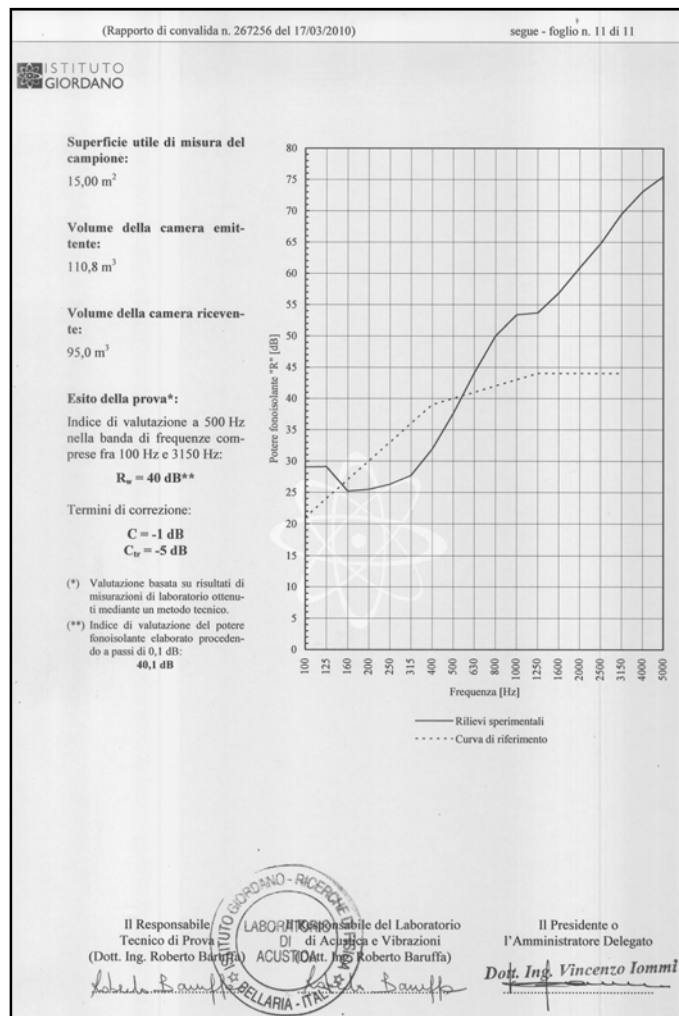
Descrizione stratigrafia

Tipo di componente		Chiusura superiore						
Stratigrafia		s	ρ	μ	c	λ	R	opz.
(int-est)		[cm]	[kg/m ³]	[-]	[J/kg°C]	[W/m°C]	[m ² °C/W]	$\lambda \rightarrow R$
Strato limitare interno							0,10	
I	Tavolato in legno	2,5	450	12	1200	0,120		
II	Barriera vapore	0,3	700	7000000	1000	0,500		
III	Legno-cemento	5,0	390	4	1464	0,064		
IV	RF8	12,0	44	33	1458	0,026		
V	Membr ardesiata	0,4	1400	100000	1000	0,500		
VI	Tegole	2,0	1200	10	1000	0,360		
VII								
VIII								
IX								
X								
Strato limitare esterno							0,04	

Parametri termici di verifica

Parametro	Modulo
Ammettenza termica interna (γ_i)	1,912 W/(m ² K)
Ammettenza termica esterna (γ_{ee})	2,292 W/(m ² K)
Trasmittanza termica periodica (γ_{tp})	0,097 W/(m ² K)
Capacità termica areica interna (κ_i)	27,5 kJ/(m ² K)
Capacità termica areica esterna (κ_e)	32,9 kJ/(m ² K)
Resistenza termica (R)	5,815 (m ² K)/W
Trasmittanza termica (U)	0,172 W/(m ² K)
Fattore di attenuazione (f)	0,565
Spessore (s)	22,2 cm
Massa superficiale (m)	68 kg/m ²
Sfasamento (ϕ)	7,19 h

Soluzione “tetto caldo”- Risultato test acustico



$R_w = 40$ dB

DPCM 5/12/97

Prestazione minima per coperture = 40 dB

Soluzione “tetto ventilato”- descrizione e parametri termici



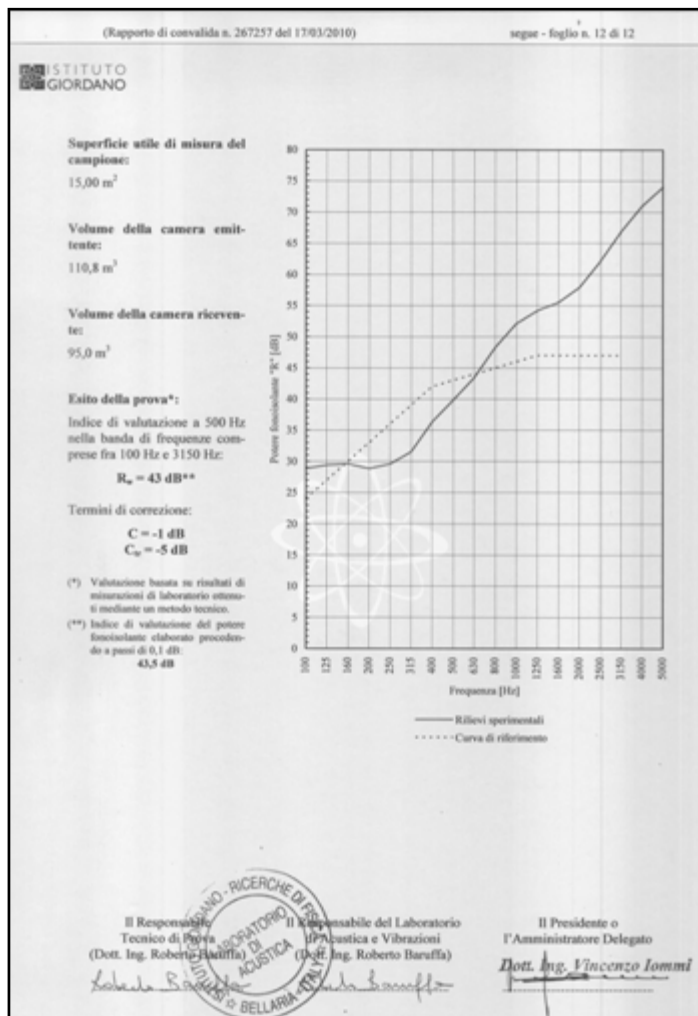
Descrizione stratigrafia

Tipo di componente		Chiusura superiore					
Stratigrafia	s	ρ	μ	G	λ	R	opz.
(int-est)	[cm]	[kg/m³]	[-]	[J/kg°C]	[W/m°C]	[m²°C/W]	λ→R
Strato liminare interno						0,10	
I Tavolato in legno	2,5	450	12	1200	0,120		
II Barriera vapore	0,3	700	7000000	1000	0,500		
III Legno-cemento	5,0	390	4	1464	0,064		
IV RF3	12,0	36	148	1453	0,024		
V Microventilazione						0,15	✓
VI OSB/3	1,2	660	12	1000	0,220		
VII Membr ardesiata	0,4	1400	100000	1000	0,500		
VIII Tegole	2,0	1200	10	1000	0,360		
IX							
X							
Strato liminare esterno						0,04	

Parametri termici di verifica

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_i)	1,920 W/(m ² K)	3,05 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	2,779 W/(m ² K)	4,96 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{pe})	0,091 W/(m²K)	-7,28 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	27,5 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	39,5 kJ/(m ² K)	
Resistenza termica (R)	6,254 (m ² K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,160 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,568	
Spessore (s)	23,4 cm	
Massa superficiale (m)	75 kg/m²	
Sfasamento (φ)	7,28 h	

Soluzione “tetto ventilato”- Risultato test acustico



$R_w = 43 \text{ dB}$

DPCM 5/12/97

Prestazione minima per coperture = 40 dB



Grazie per l'attenzione

Ing. Cristiano Signori