



Parametri termoigrometrici in regime invernale ed estivo dell'involucro edilizio

Adempimenti normativi ed esempi applicativi

Chioggia, 4 maggio 2013

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)

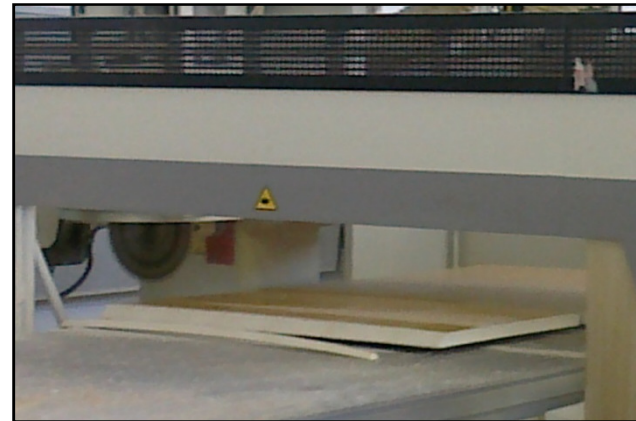
Produzione di sistemi isolanti e impermeabilizzanti su misura per ogni tipologia strutturale dell'involucro edilizio



Esempi di lavorazioni



Battentatura, incastro M/F e taglio



Lavorazione su misura



Preassemblaggio strato isolante-
strato impermeabile

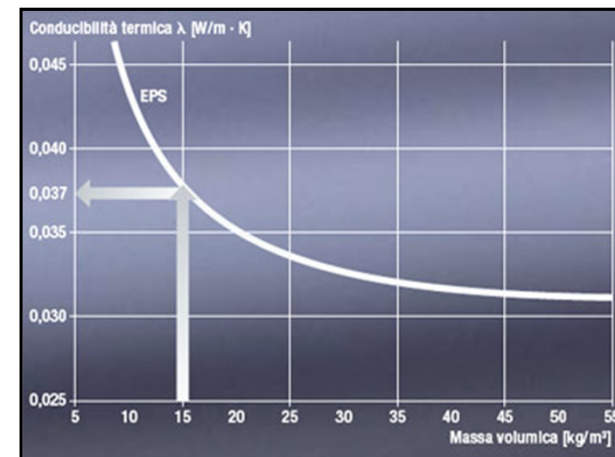


Assemblaggio mediante incollaggio

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.



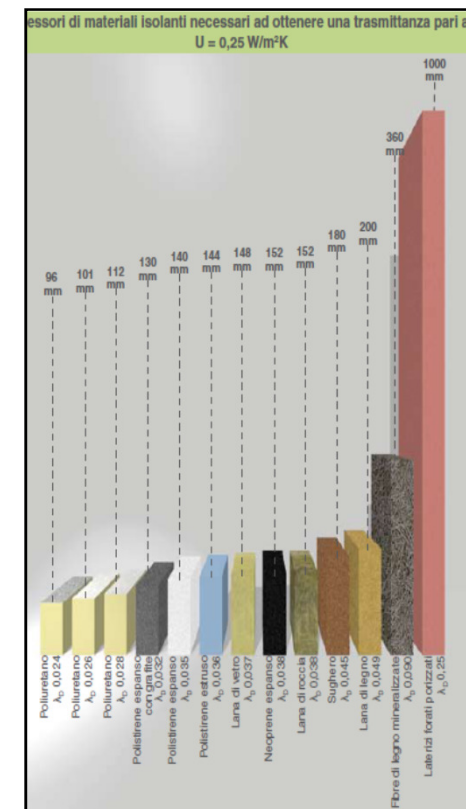
Andamento λ in funzione della densità del materiale

Confronto caratteristiche materiali isolanti (densità-conduttività termica)

TIPOLOGIA MATERIALE	MASSA VOLUMICA (ρ) 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



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

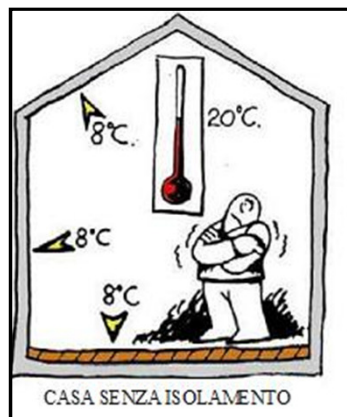
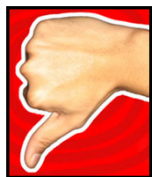
Resistenza termica (R): è il rapporto fra lo spessore del materiale considerato e il valore della conduttività termica (UNI EN ISO 6946)

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

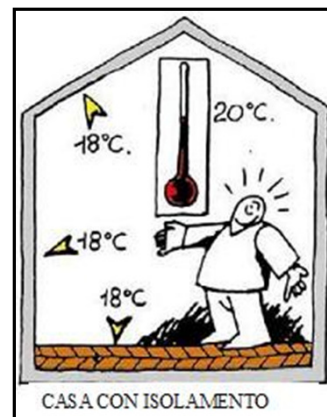
$R_{tot} = \sum s/\lambda$ [m^2K/W] (per stratigrafie composite)



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

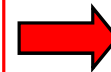


Definizioni grandezze principali (λ), (R),(U)

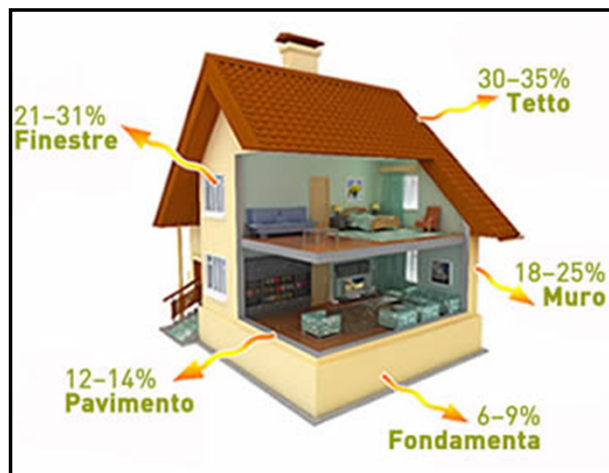
Trasmittanza termica (U): è la quantità di calore che attraversa un materiale avente conducibilità λ e spessore s , per mq, per ora con una differenza di temperatura pari a 1 grado. E' l'inverso della resistenza termica. La definizione è relativa a condizioni di regime stazionario e monodimensionalità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

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

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



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

Valori limite trasmittanza termica componenti opachi involucro edilizio

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

ZONA CLIMATI CA	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:

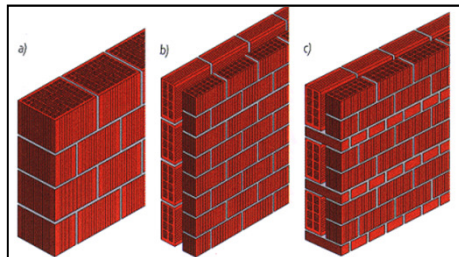
- ▶ f fattore di attenuazione
- ▶ U trasmittanza termica in regime stazionario

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 ($q'_{\max} = U \times \Delta T$)
- ▶ 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



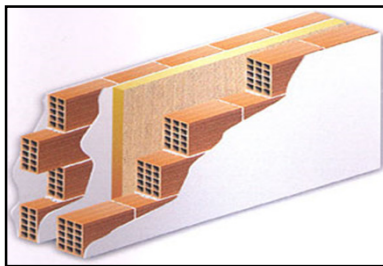
Alta capacità di accumulo (ρ e C_p elevati)



Bassa capacità di accumulo (ρ e C_p 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



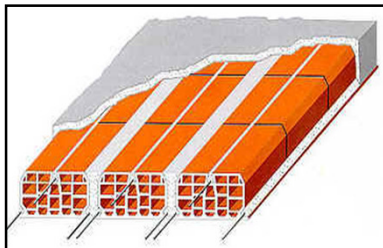
murature in laterizio con isolamento intercapedine



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



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 ≥ 230 kg/m²

O alternativamente

$Y_{i,e} \leq 0,12$ W/m²K per le pareti verticali

$Y_{i,e} \leq 0,20$ W/m²K per le pareti orizzontali

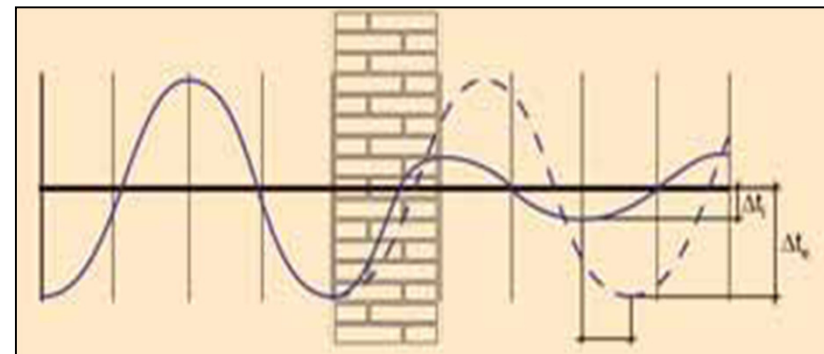


Cenni sul concetto di sfasamento

- ➔ 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

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 $Y_{i,e}$)

Verifica condensa interstiziale e superficiale

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:

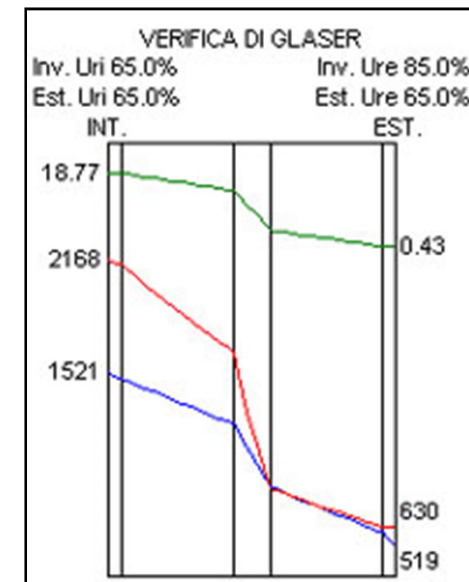
Umidità relativa (Ur) ▶ 65 %

Temperatura interna ▶ 20 °C

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

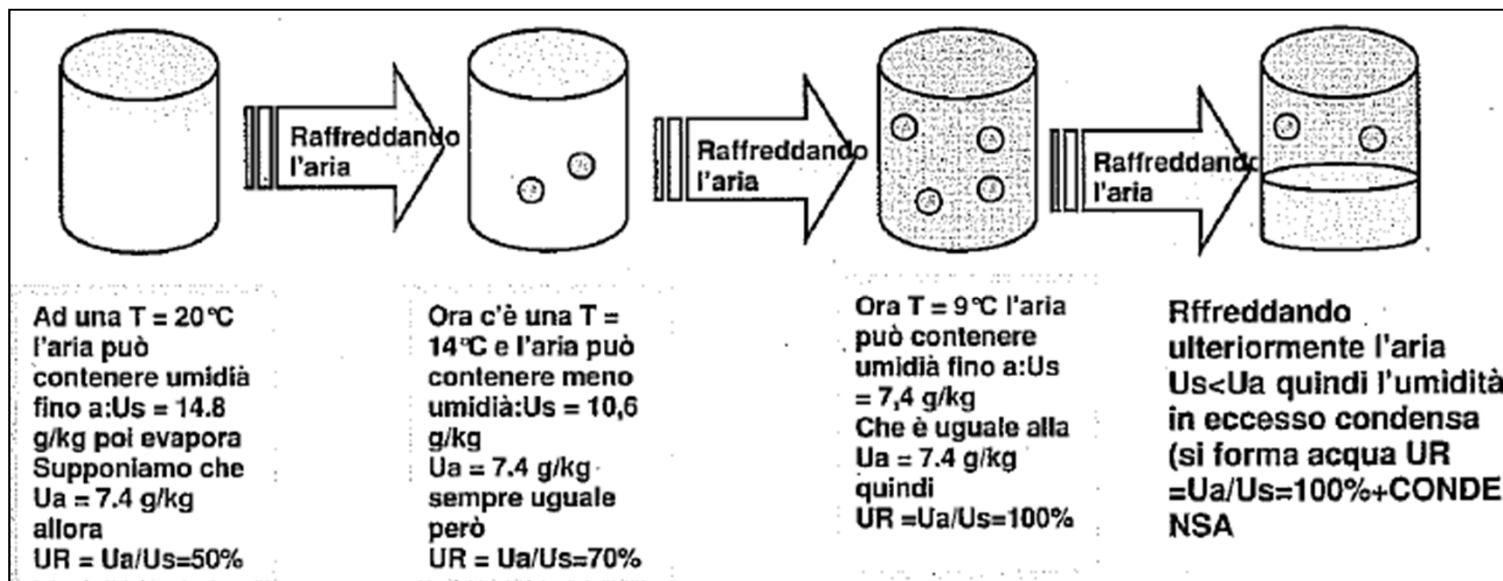


Formazione condensa interstiziale



Verifica condensa interstiziale e superficiale

Umidità relativa: quantità d'acqua contenuta in una massa d'aria espressa come percentuale rispetto al massimo contenuto d'acqua contenibile dalla stessa massa in condizione isotermiche (condizioni di saturazione)




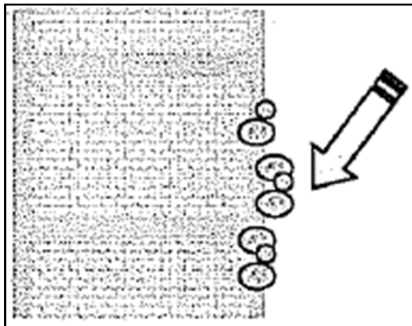
Temperatura di rugiada (o punto di rugiada): temperatura corrispondente alla condensa del vapore acqueo

Verifica condensa interstiziale e superficiale

Condensa superficiale

Cause:

- Bassa temperatura esterna  **PRESENZA PONTI TERMICI!**
- Scarso isolamento involucro



Temperatura sup. interna \ll punto di rugiada
Aria interna a contatto con la superficie
condensa!

$$T_{\text{rugiada}} = (\varnothing/100)^{0,1247} \times (109,8 + T_i) - 109,8$$

\varnothing = % umidità relativa interna

T_i = temperatura interna

NB: formazione di muffa quando U_r superficiale > 80 % per un tempo prolungato

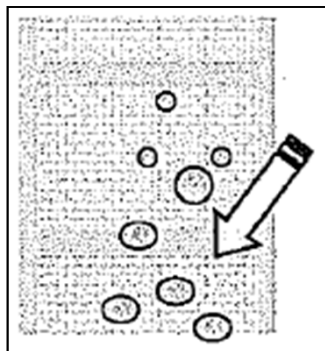
Verifica condensa interstiziale e superficiale

Condensa interstiziale

Movimento di molecole d'acqua
all'interno della stratigrafia



ERRATA DISPOSIZIONE STRATI!



Diffusione vapore acqueo dal lato caldo al lato
freddo in direzione del gradiente parziale della
pressione di vapore

La verifica si svolge col metodo di Glaser (UNI EN ISO 13788)

Metodo di Glaser: fasi applicative

Ipotesi iniziali

- 1) Struttura piana e direzione flusso termico ortogonale ad essa
- 2) Flusso monodimensionale e in condizioni termoigrometriche stazionarie
- 3) Superficie asciutta e materiali non igroscopici
- 4) Diffusione vapore secondo legge di Fick
- 5) Valori permeabilità costanti per ogni singolo strato componente
- 6) Effetti di inerzia termoigrometrico e del calore latente trascurati
- 7) Analisi svolta solamente sino alla comparsa della condensazione

Metodo di Glaser: fasi applicative

Cronologia fasi metodo

- 1) Calcolo andamento temperature dall'esterno all'interno
- 2) Calcolo andamento pressione di saturazione (Ps), dipende dalle temperature degli strati
- 3) Calcolo andamento pressione di vapore (Pv), dipende dalla permeabilità al vapore dei materiali
- 4) Confronto fra le curve: se si intersecano possibile formazione di condensa interstiziale poiché $P_v > P_s$!

Cenni sui ponti termici

Cause principali di formazione dei ponti termici

- Presenza di materiali diversi nella sezione dell'edificio
- Discontinuità geometrica

Accorgimenti progettuali:

- Riduzione U ponte termico
- Aumentare T_i
- Impiego isolanti con ottimi valori di U e durevoli nel tempo
- Aumento ventilazione
- Verifica fattore di temperatura

Per una buona correzione dei ponti termici è sufficiente che venga soddisfatta la relazione
fattore di temperatura:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \geq 0.7$$

se ho questo valore allora non ho la formazione di condensa.

θ_{si} = temperatura superficiale della parete interna

θ_e = temperatura esterna

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

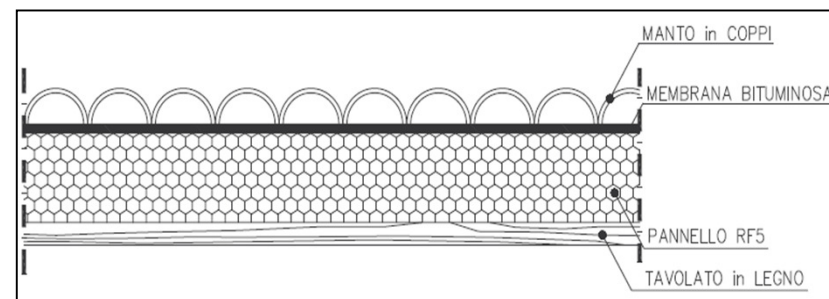
$U = 0,22 \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

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

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

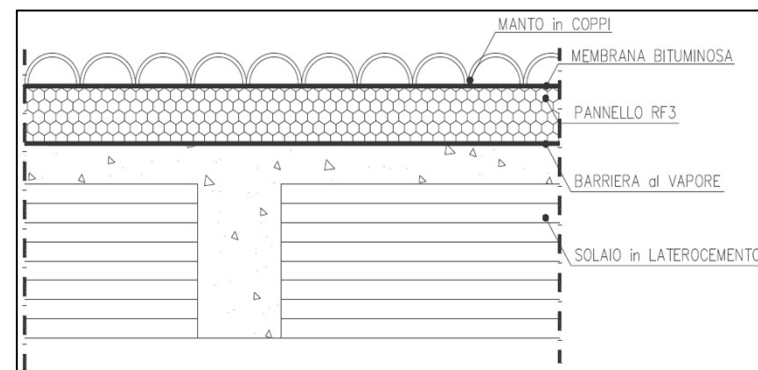
$U = 0,29 \leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

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

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

$\mu = 148 \pm 24$

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

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

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

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

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

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

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

Esempio di riqualificazione energetica

Copertura a volta di edificio industriale

Situazione ante-intervento

Anno di realizzazione 1970 circa

Piano di posa in laterizio

Isolamento in lana di roccia sp. 4 cm

Copertura in lastre di fibrocemento

$U = 0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$

 **Intervento richiesto per l'ottenimento della detrazione fiscale del 55 %**

Zona climatica «D»

$U \leq 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$



Intervento

Costituzione nuova sotto struttura per lastre di copertura

Isolamento in poliuretano espanso RF7 sp. 90 mm sagomato curvo dim.

1200 x 3000 mm

Posa nuove lastre di copertura in alluminio

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	4,952 W/(m ² K)	1,67 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	0,779 W/(m ² K)	4,43 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0,075 W/(m ² K)	-7,90 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	68,9 kJ/(m ² K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	11,7 kJ/(m ² K)	
Resistenza termica (R)	3,879 (m ² K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,258 W/(m ² K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,290	
Spessore (s)	20,0 cm	
Massa superficiale (m)	160 kg/m ²	
Sfasamento (φ)	7,90 h	

Fasi di posa e realizzazione: i vantaggi

Grandi dimensioni velocizzano la posa
Perfetta adattabilità al supporto curvo
grazie ai tagli a passo costante



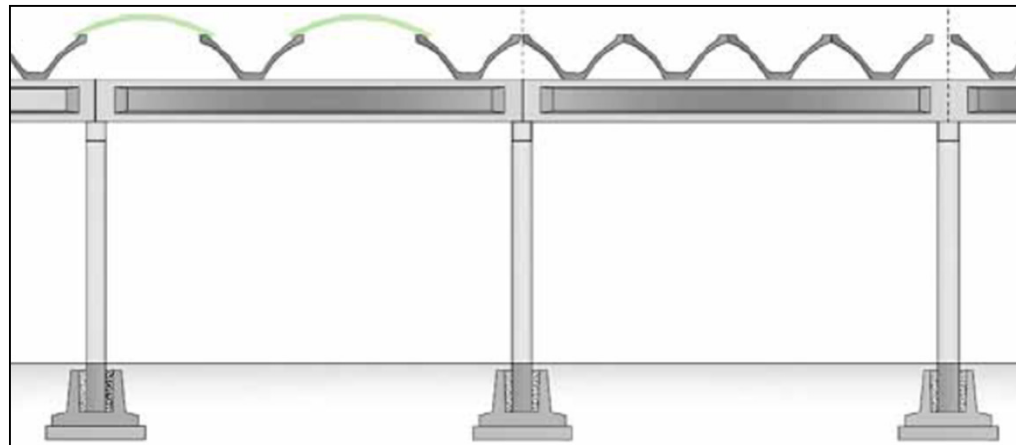
Spessore ridotto comporta un
risparmio anche per altri elementi della
copertura

Coperture industriali

Isolamento termico Sistema Preciso per elementi in c.a.p.

Assobeton – 2012 - Linee Guida per il calcolo della trasmittanza termica delle coperture in calcestruzzo di edifici prefabbricati

 Norme di rif.: UNI EN ISO 6946 e UNI EN ISO 10211

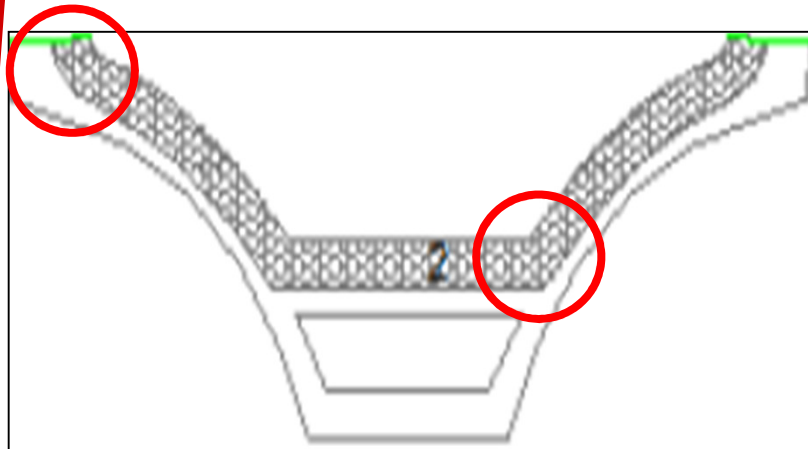


Fondamentale l'isolamento di ogni componente (tegolo, coppelle)

Fondamentale la progettazione dei particolari per eliminare i ponti termici!

Coperture industriali

Isolamento termico Sistema Preciso per elementi in c.a.p.

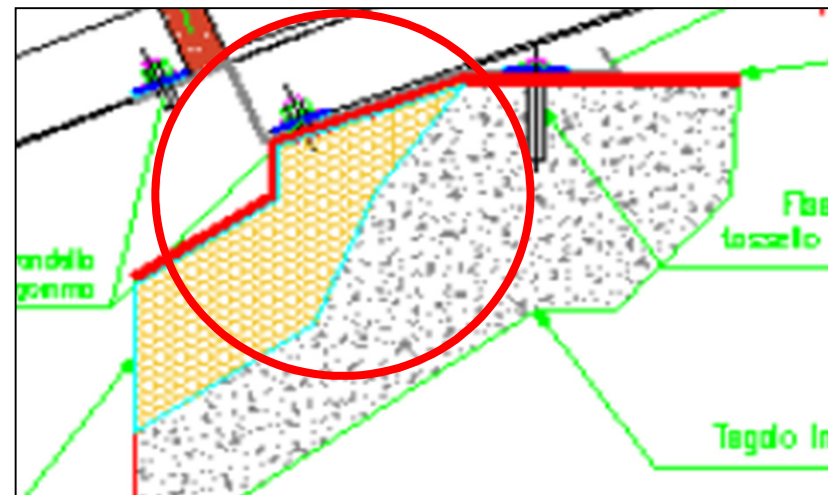


Le necessità...

Continuità isolamento termico

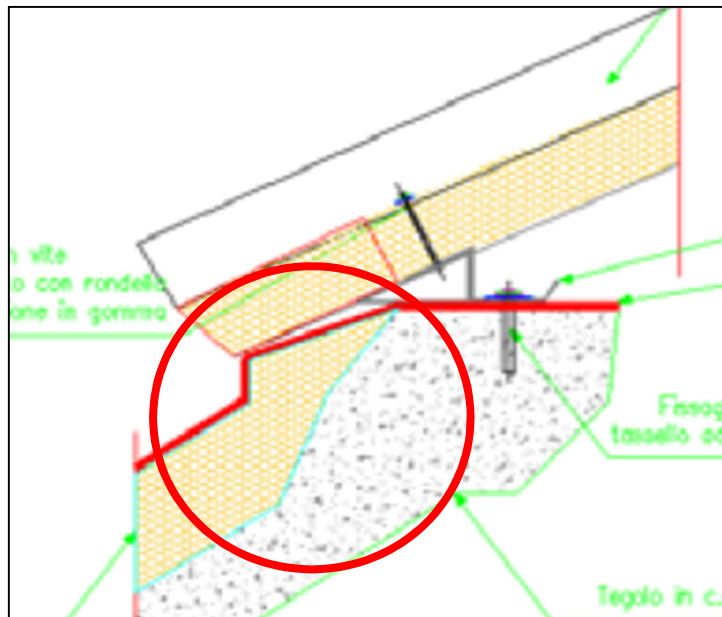
Le necessità...

Nodo tegolo – lastra di copertura



Coperture industriali

Isolamento termico Sistema Preciso per elementi in c.a.p.

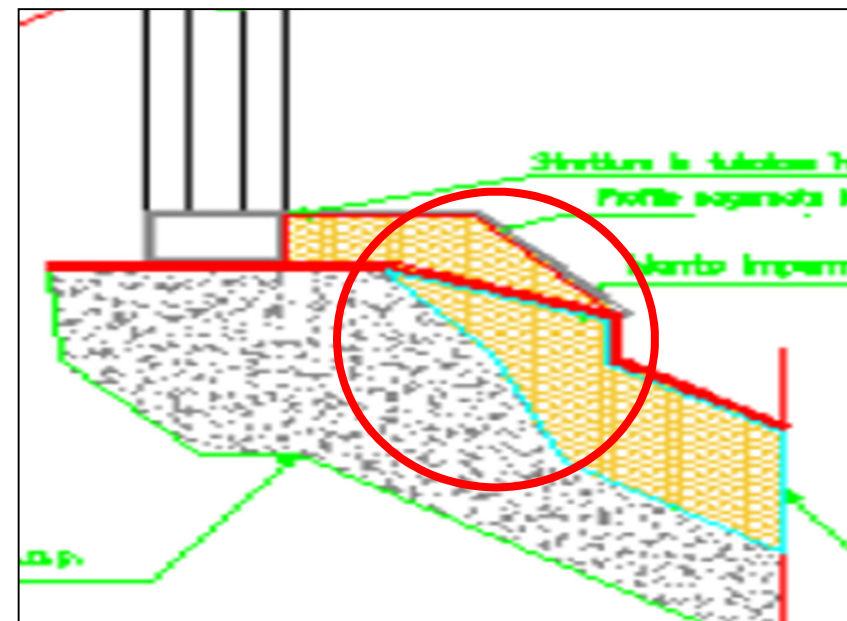


Altre necessità...

Nodo tegolo-serramento

Altre necessità...

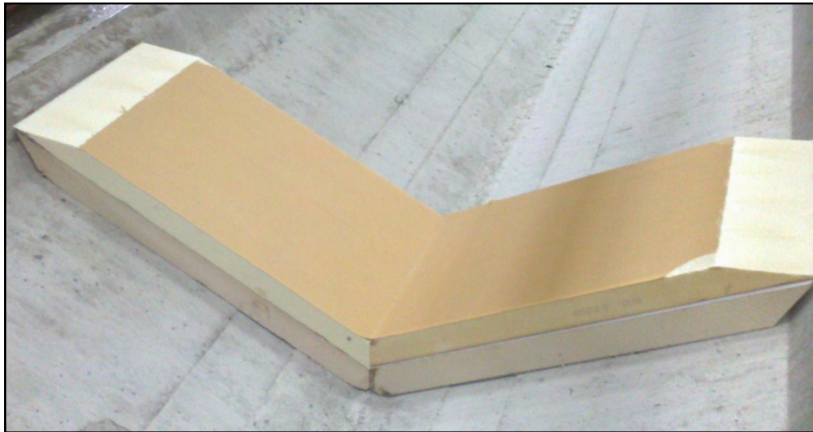
Nodo tegolo-coppella



Coperture industriali



Isolamento termico Sistema Preciso per elementi in c.a.p.



Le soluzioni «generali»!

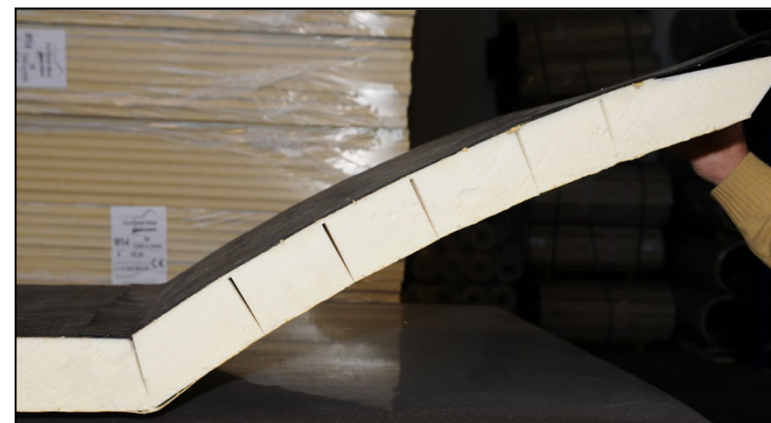


Coperture industriali

Isolamento termico Sistema Preciso per elementi in c.a.p.



Le soluzioni particolari!



Coperture industriali

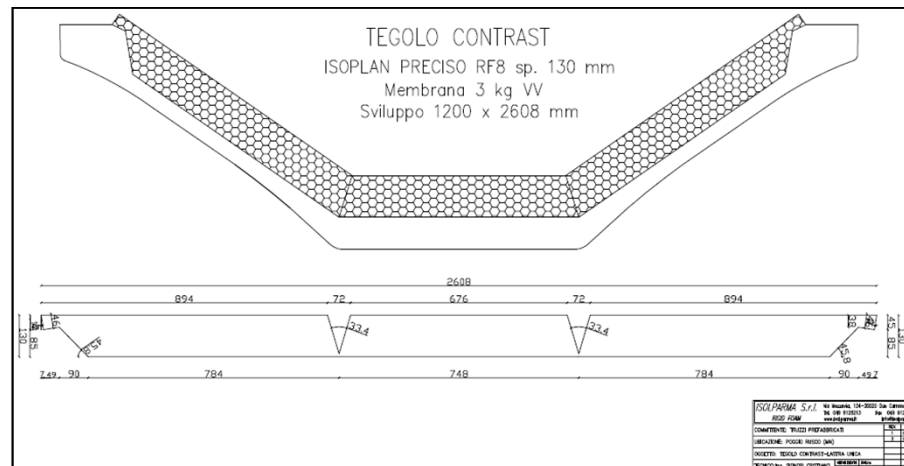
Isolamento termico Sistema Preciso per elementi in c.a.p.



Altre soluzioni particolari!



Isolamento termico Sistema Preciso – tegolo in c.a.p.



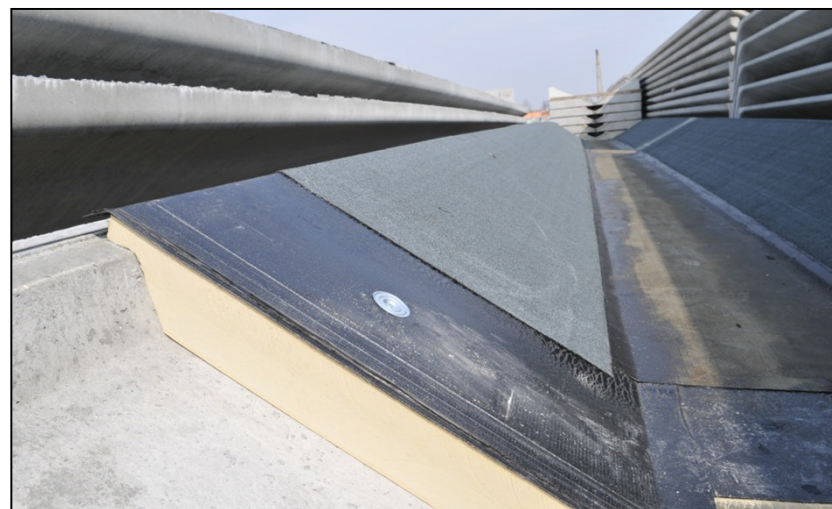
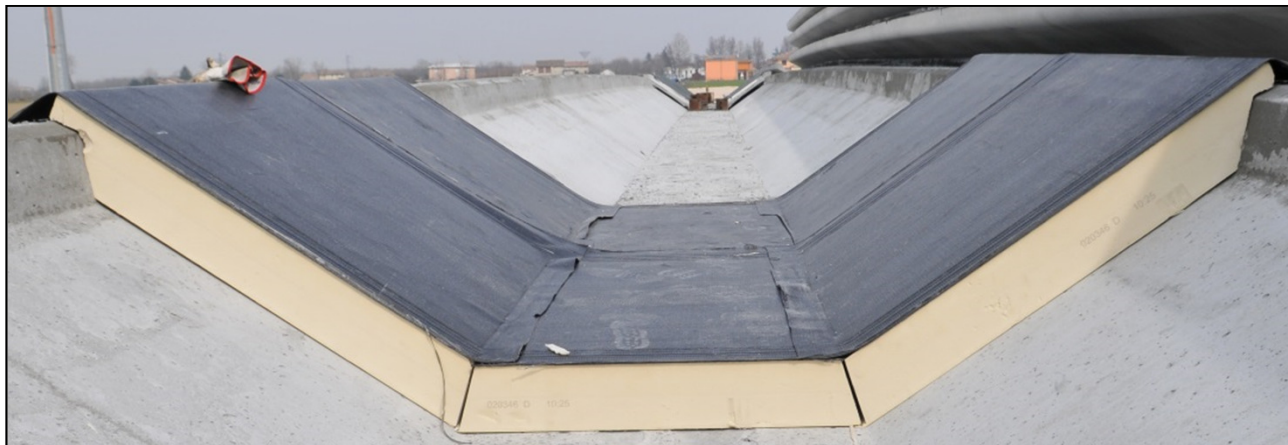
Richiesta

- Pannello in poliuretano espanso rigido preaccoppiato a prima membrana bituminosa per verifica $U < 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Sagomatura estremità per isolamento ponte termico del serramento

Soluzione

- Isoplan PUR Preciso RF8 sp. 130 mm preaccoppiato a membrana VV 3 kg/m²
- Lavorazione «su misura» per correzione ponte termico

Isolamento termico Sistema Preciso - tegolo in c.a.p.



Isolamento termico e deflusso delle acque: Pendenzato PUR

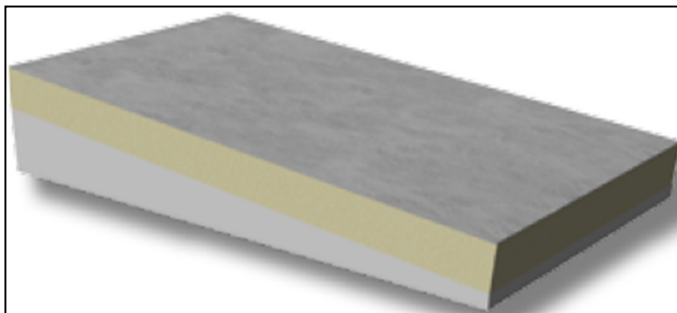
Ambito applicativo

- Risanamento e rifacimento copertura mediante sistema isolante leggero
- Necessità di creare linee di deflusso per le acque meteoriche
- Interventi di ristrutturazione sia in ambito residenziale che industriale

Conformazione del prodotto – Linee generali

- Base per formazione linea di pendenza (1-1,5%)
- Superficie estradosso in poliuretano espanso (con o senza membrana preaccoppiata)

Isolamento termico e deflusso delle acque: Pendenzato PUR

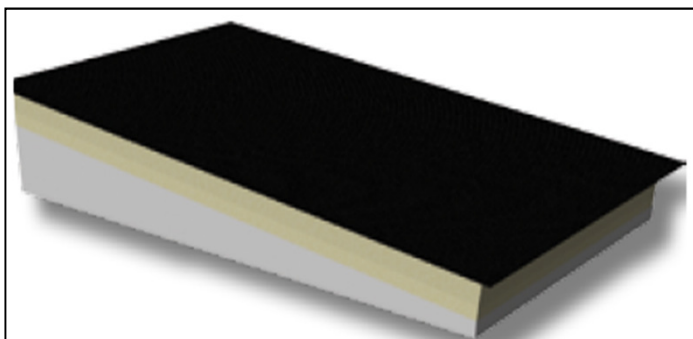


Versione con pannello RF7 o RF8 all'estradosso

Impermeabilizzazione in opera

Maggiore resistenza alle temperature d'esercizio

Pendenzato PUR



Versione con pannello preaccoppiato

Risparmio sulla posa

Migliore resistenza termica con $\lambda_d = 0,023 \text{ W/mK}$

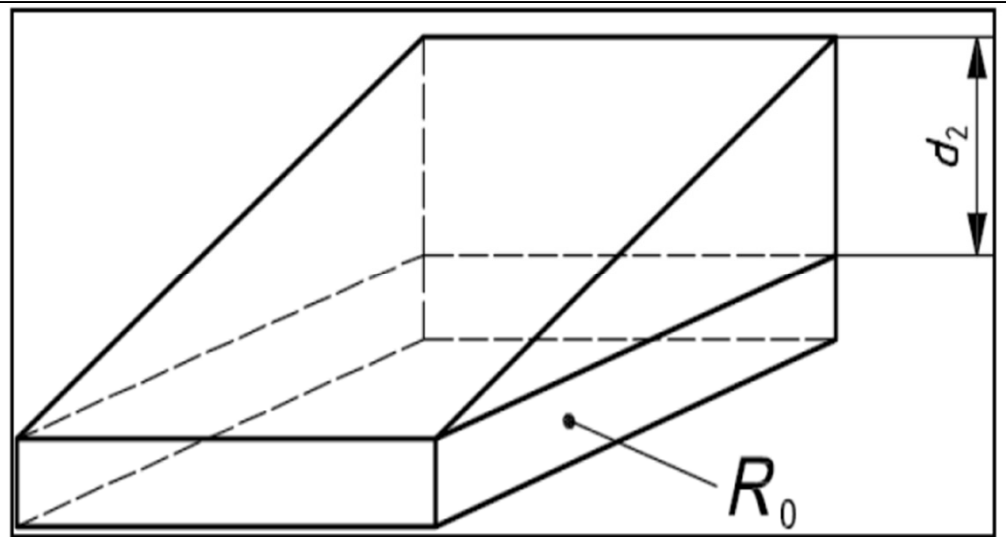
Pendenzato Isoplan PUR

Pendenzato PUR: dal progetto alla posa

Calcolo resistenza termica e contestualizzazione geometrica

Passo 1) **Norma ISO 6946/2007** per la parte in pendenza (es. rif. per protocollo Klimahouse) più restrittiva rispetto ad una semplice media fra lo spessore max e min peraltro scorretta!

$$U_{\text{eps}} = (\lambda_{\text{eps}} / d_2) * \ln (1 + d_2/d_0)$$



Pendenzato PUR: dal progetto alla posa

Passo 2) Somma dei valori di resistenza degli altri strati e calcolo della resistenza termica totale

R_{tot} (m²K/W)



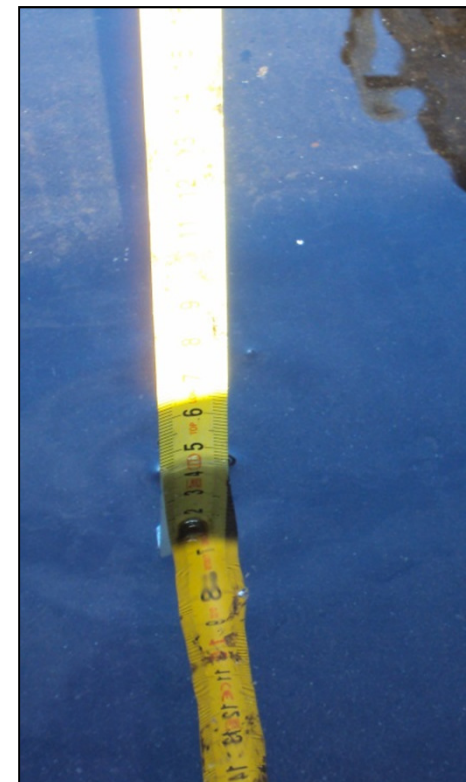
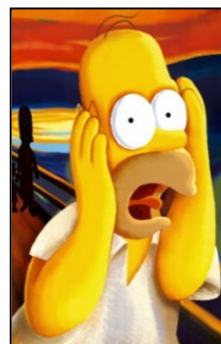
Tipo di componente		Chiusura superiore						
Stratigrafia (int-est)	s [cm]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m ² °C/W]	opz. $\lambda \rightarrow R$	
Strato liminare interno						0,10		
I	Laterocemento	25,0	1.800	200	1.100	0,800	<input type="checkbox"/>	
II	EPS					0,93	<input checked="" type="checkbox"/>	
III	RF3	24,0	36	148	1.458	0,023	<input type="checkbox"/>	
IV							<input type="checkbox"/>	
V							<input type="checkbox"/>	
VI							<input type="checkbox"/>	
VII							<input type="checkbox"/>	
VIII							<input type="checkbox"/>	
IX							<input type="checkbox"/>	
X							<input type="checkbox"/>	
Strato liminare esterno						0,04		



Segue il calcolo degli spessori in base alle verifiche e alle pendenze richieste

Pendenzato PUR: caso applicativo – dal progetto alla posa

Situazione ante-intervento



Ristagni d'acqua generalizzati e infiltrazioni all'interno del fabbricato

Dispersioni termiche e conto energetico elevato

Pendenzato PUR: dal progetto alla posa

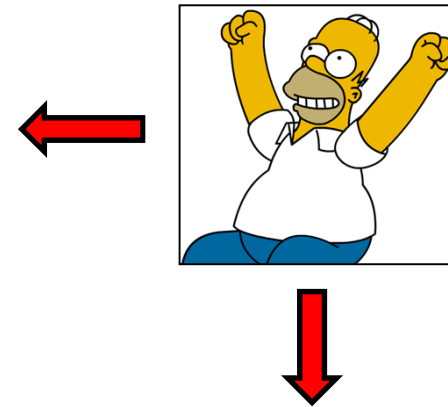
Realizzazione e posa - intervento



<http://www.youtube.com/watch?v=l66pAOdzMns>

Pendenzato PUR: dal progetto alla posa

Realizzazione e posa – Situazione post-intervento



Eliminazione ristagni e ripristino deflusso
Costo energetico molto ridotto e migliore
benessere termico

Pendenzato PUR: altri esempi



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.

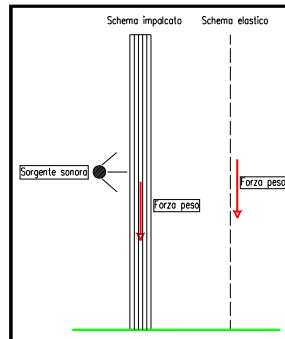
 *Il peso delle coperture in laterizio è inversamente proporzionale all’isolamento: i coppi che hanno mediamente una densità doppia rispetto alle tegole peggiorano ancor di più la situazione”.*

Schematizzazione incidenza fattore forza peso impalcato

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

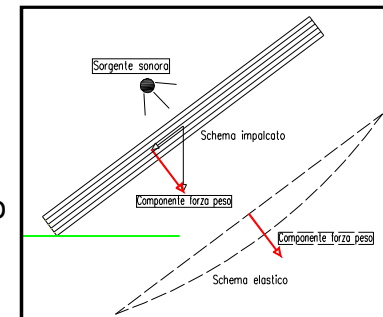
1) Test in verticale

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



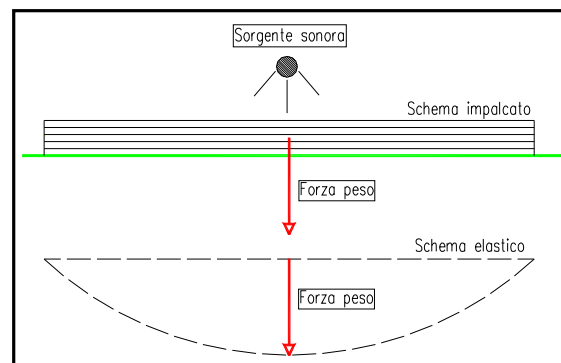
2) Test su piano inclinato

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

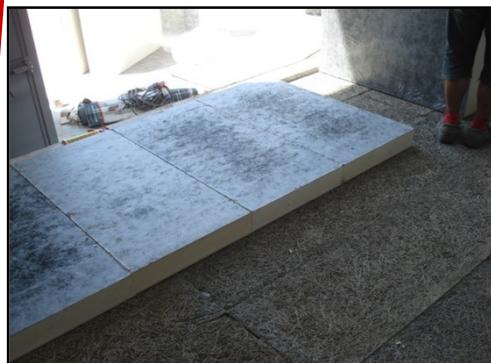


3) Test su piano orizzontale

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



Soluzione “tetto caldo”- descrizione e parametri termici



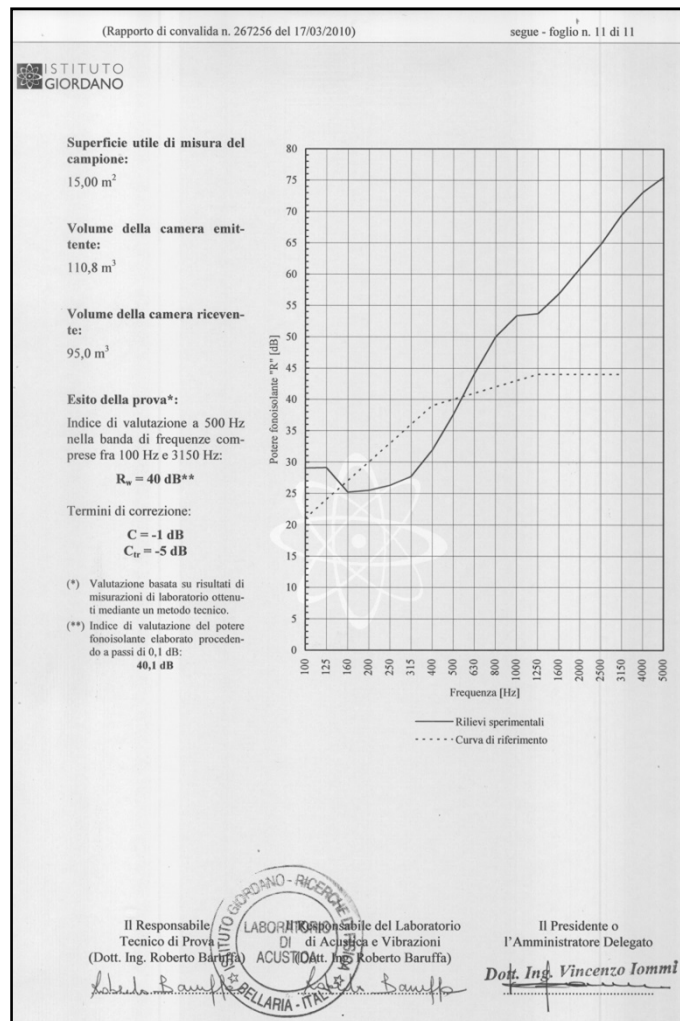
Descrizione stratigrafia

Tipo di componente		Chiusura superiore						
Stratigrafia (int-est)	s [cm]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m ² C/W]	opz. $\lambda \rightarrow R$	
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 RFB	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 liminare esterno							0,04	

Parametri termici di verifica

Parametro	Modulo
Ammetenza termica interna (Y_i)	1,912 W/(m ² K)
Ammetenza termica esterna (Y_{ee})	2,292 W/(m ² K)
Trasmittanza termica periodica (Y_{p})	0,097 W/(m²K)
Capacità termica areica interna (κ_i)	27,5 kJ/(m²K)
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/(m²K)
Fattore di attenuazione (f)	0,565
Spessore (s)	22,2 cm
Massa superficiale (m)	68 kg/m²
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



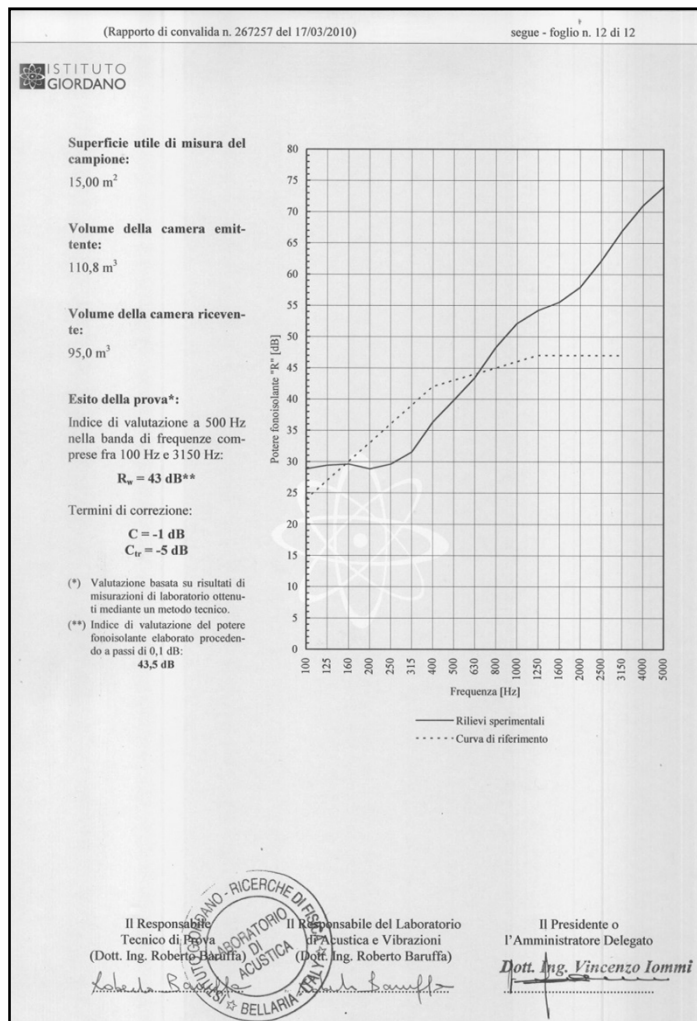
Descrizione stratigrafia

Tipo di componente		Chiusura superiore						
Stratigrafia	s	ρ	μ	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 Tavolato in legno	2,5	450	12	1200	0,120		<input type="checkbox"/>	
II Barriera vapore	0,3	700	7000000	1000	0,500		<input type="checkbox"/>	
III Legno-cemento	5,0	390	4	1464	0,064		<input type="checkbox"/>	
IV RF3	12,0	36	148	1453	0,024		<input type="checkbox"/>	
V Microventilazione						0,15	<input checked="" type="checkbox"/>	
VI OSB/3	1,2	660	12	1000	0,220		<input type="checkbox"/>	
VII Membr ardesiata	0,4	1400	100000	1000	0,500		<input type="checkbox"/>	
VIII Tegole	2,0	1200	10	1000	0,360		<input type="checkbox"/>	
IX							<input type="checkbox"/>	
X							<input type="checkbox"/>	
Strato liminare esterno						0,04		

Parametri termici di verifica

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammetenza termica interna (Y_i)	1.920 W/(m ² K)	3.05 h
Ammetenza 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	
<hr/>		
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 dB

DPCM 5/12/97

Prestazione minima per coperture = 40 dB



Grazie per l'attenzione

Ing. Cristiano Signori