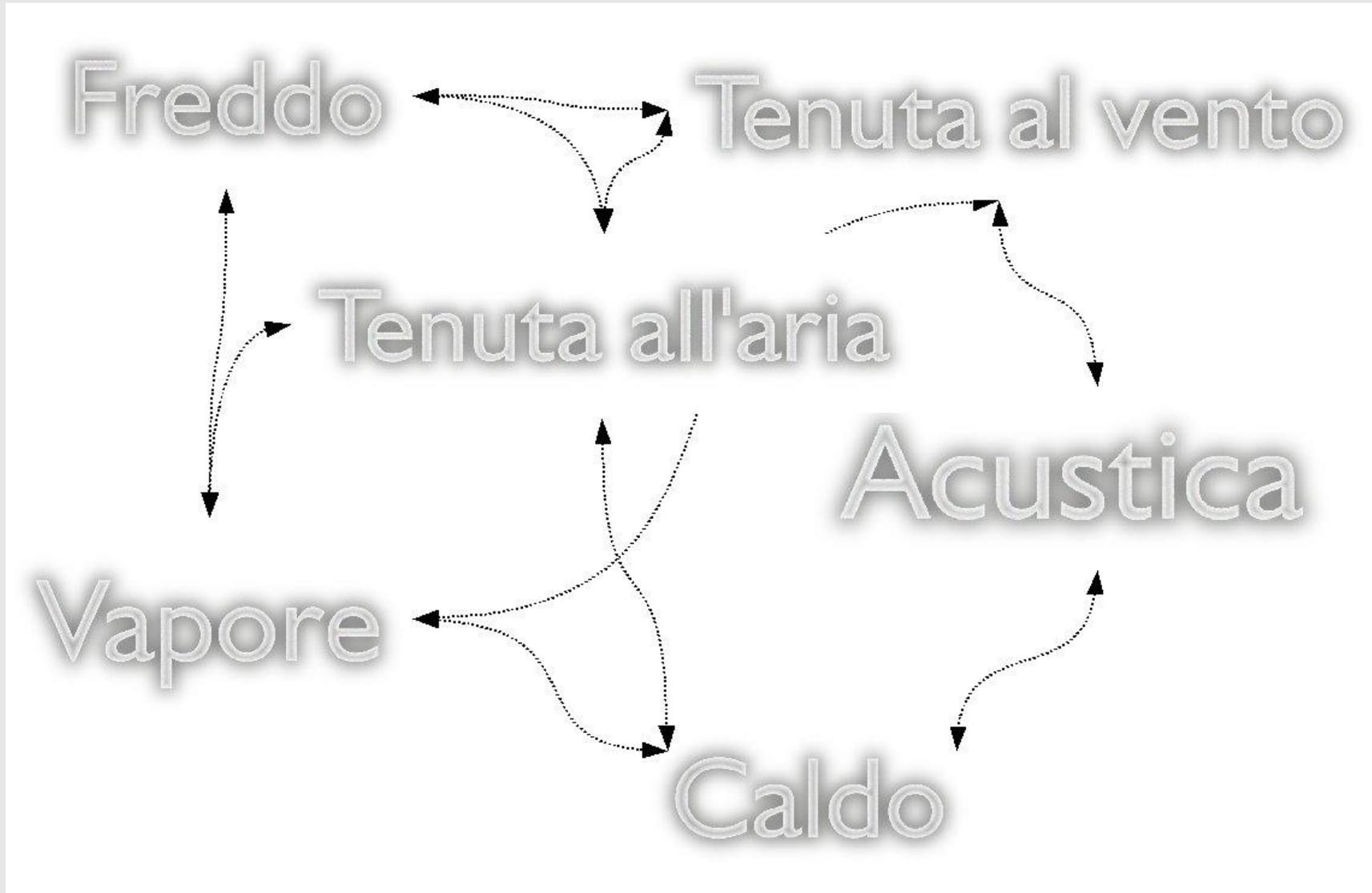


Modulo VI: FISICA TECNICA

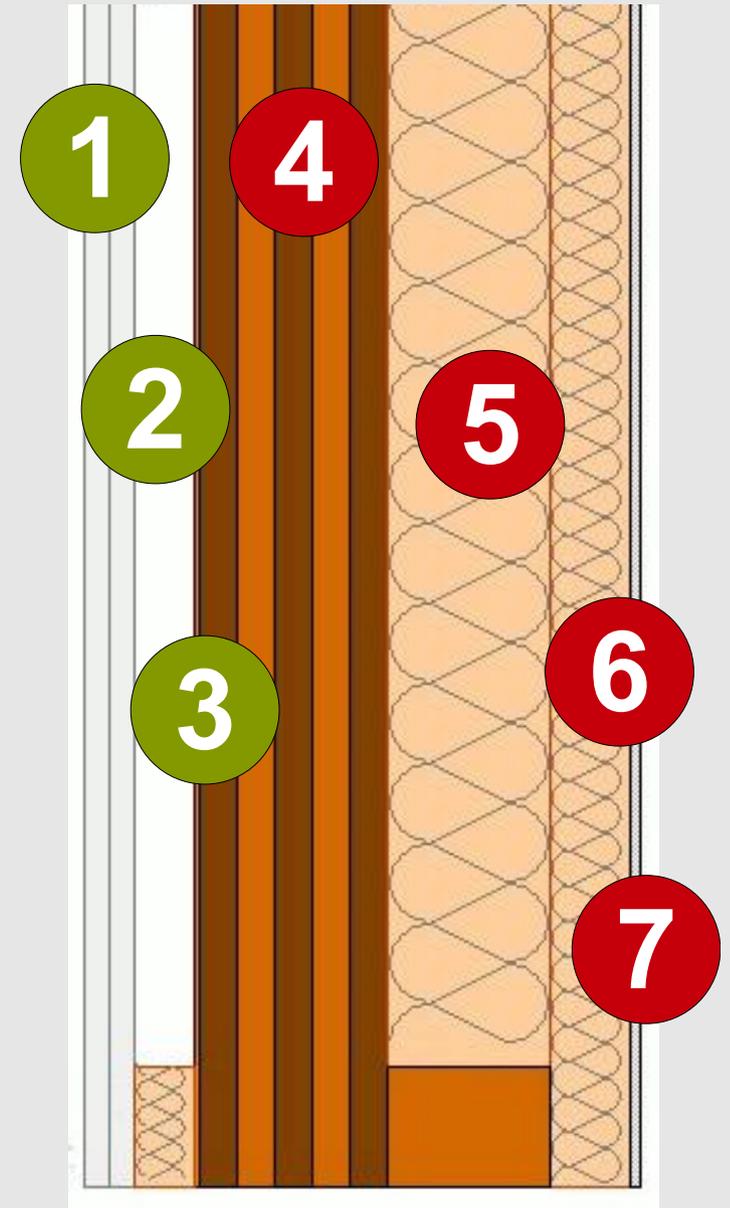
**Soluzioni, approfondimenti e dettagli.
Isolamento termico, acustica, tenuta
all'aria.**

Günther Gantioler | Milano 29 novembre 2018



Stratigrafia standard parete X-Lam

1. Rivestimento interno
2. Intercapedine di installazione
3. Strato tenuta all'aria / freno al vapore
4. X-Lam strutturale
5. Coibentazione termica
6. Tenuta al vento traspirante
7. Rivestimento esterno



1 Prestazione invernale:

trasmissione U [W/m²K]

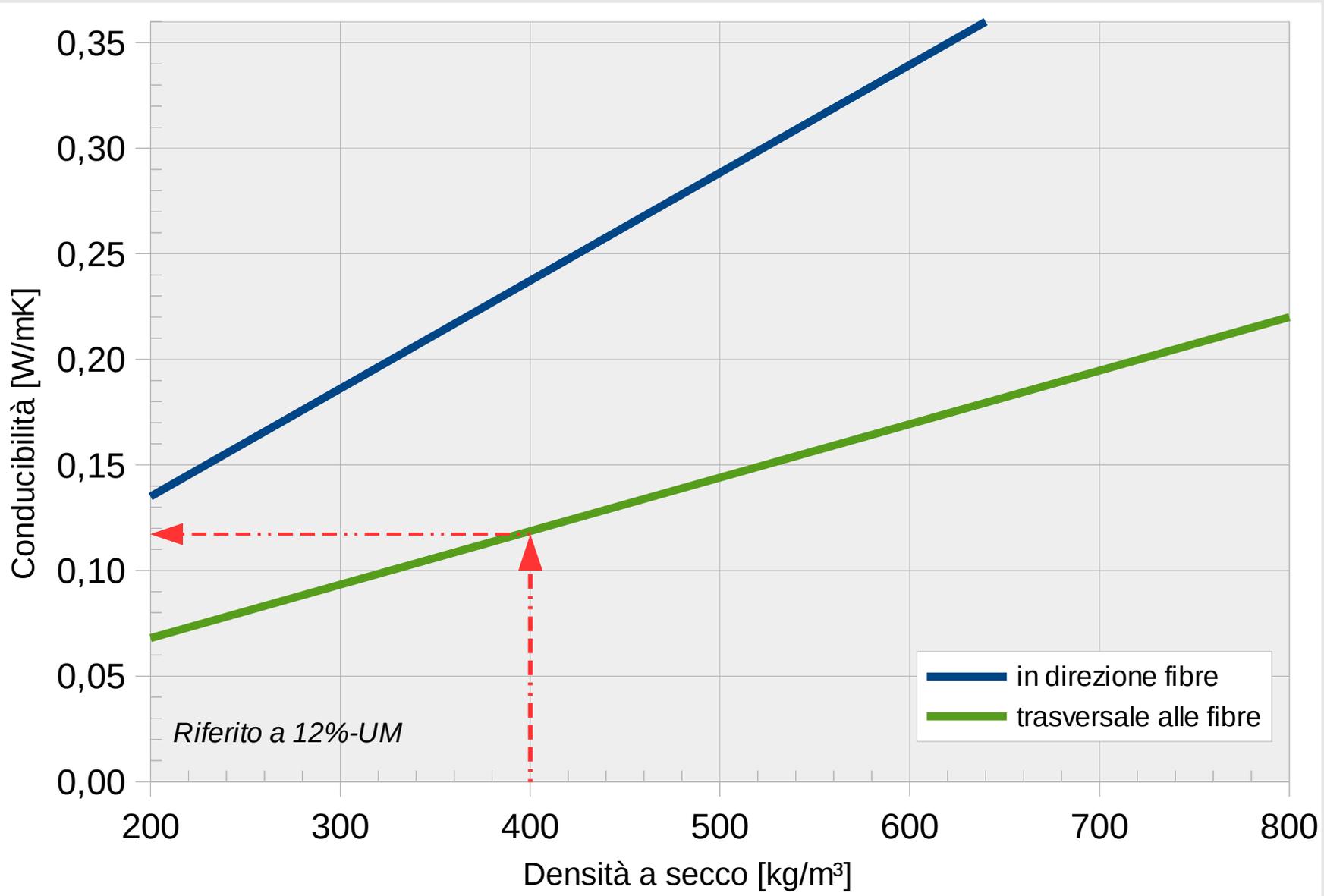
UNI EN ISO 10456

- densità a secco 450 kg/m³: $\lambda = 0,12$ W/mK
- densità a secco 500 kg/m³: $\lambda = 0,13$ W/mK
- densità a secco 700 kg/m³: $\lambda = 0,18$ W/mK

I valori di norma si riferiscono ad un umidità relativa UR nell'aria del 65%,

che corrisponde ad un umidità di massa UM dai 10-15% chiamato "d'equilibrio"

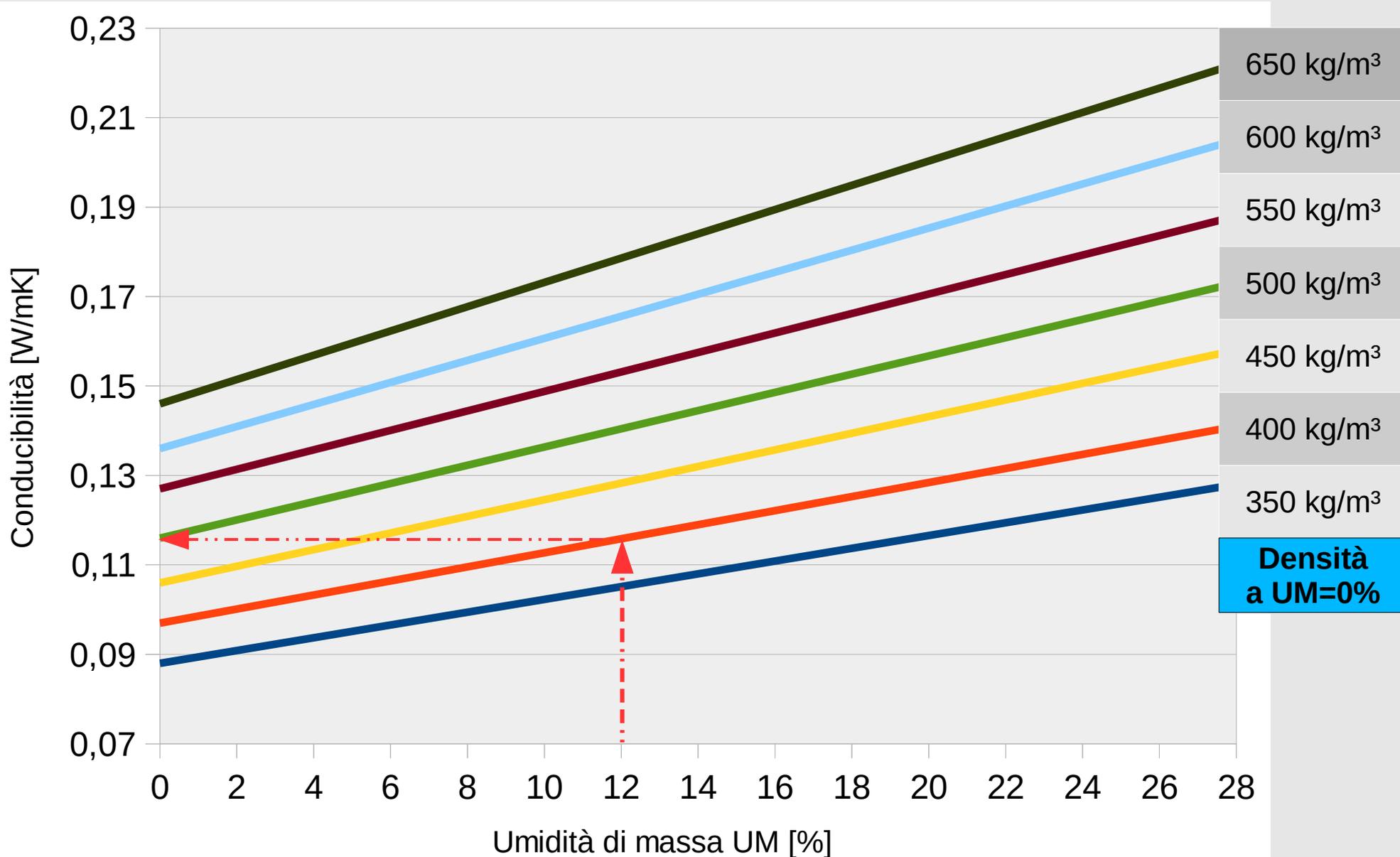
Conducibilità λ di legno



Fonte: Daniel Kehl 2016

Conducibilità λ di legno

promo_legno



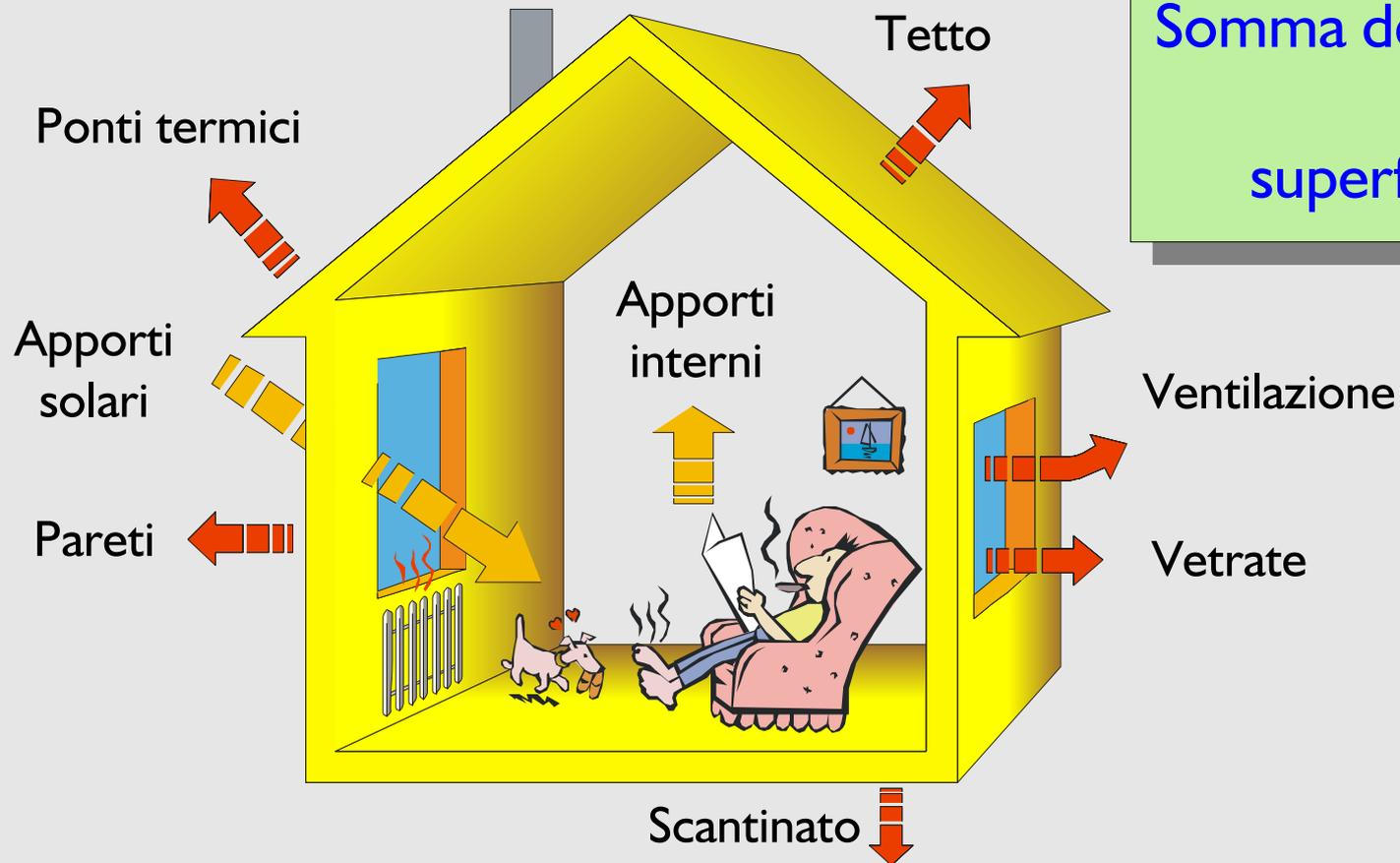
Fonte: Daniel Kehl 2016

Livelli di prestazione termica di involucri

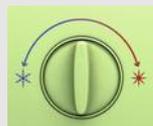


IE _{Calore}	>160	160	120	90	70	50	30	15
	Classe G	Classe F	Classe E	Classe D	Classe C	Classe B	Classe A	Casa passiva

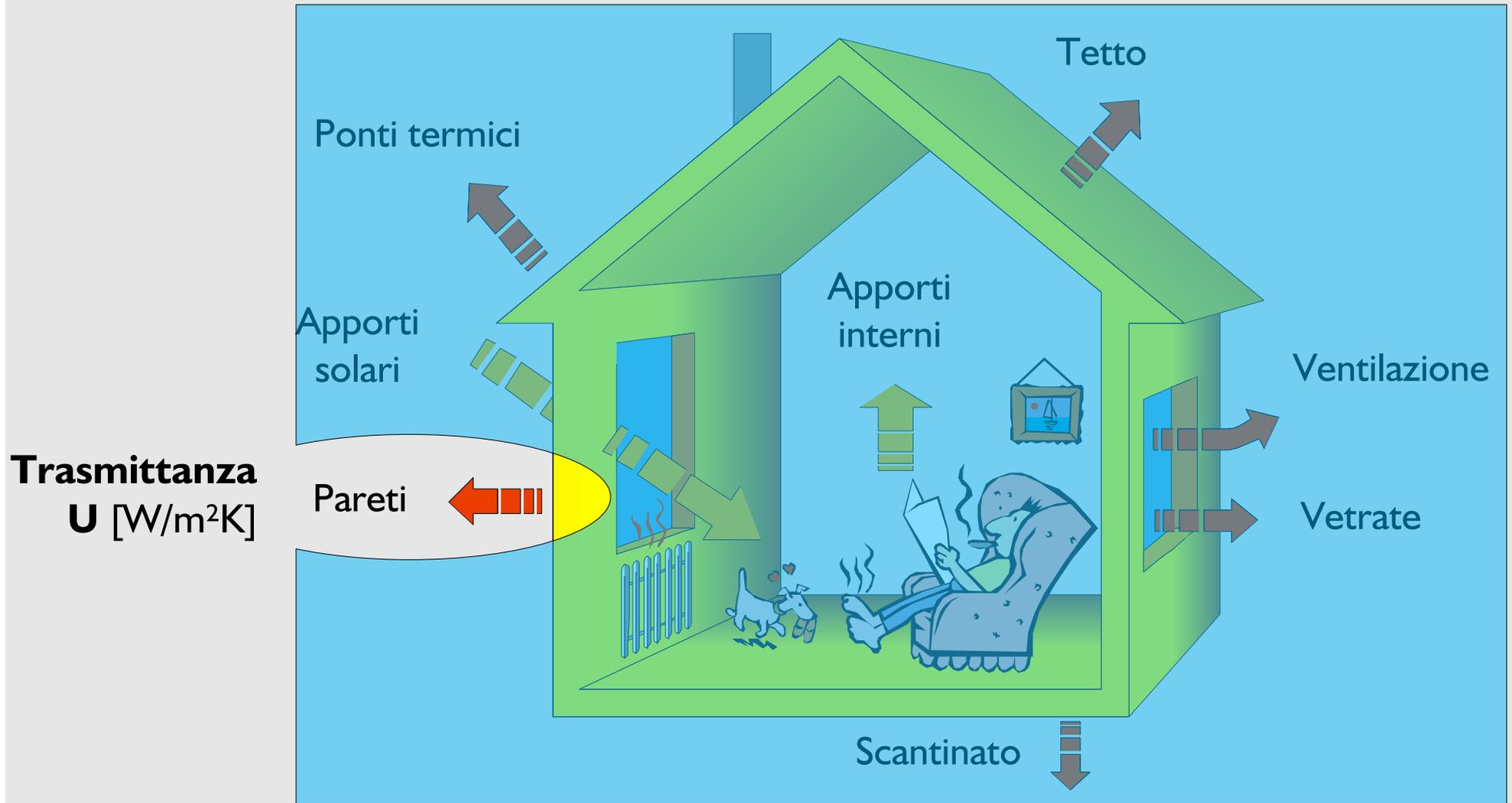
Energia persa dell'involucro (invernale + estivo) senza perdita degli impianti e fabbisogno energetico per acqua calda sanitaria



IE involucro:
Somma dei flussi energetici
diviso
superficie o volume



INVERNO: somma negativa = perdita
ESTATE: somma positiva = apporto



- Per edifici di nuova costruzione
- Le prestazioni energetiche del proprio edificio, devono essere migliori a quelle dell'edificio di riferimento, con trasmittanze di riferimento e impianto di riferimento definiti dalla legge
- Esempio parete verticale: trasmittanza comprensiva ponti termici

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	0,45	0,43
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Elementi verticali 2015

Zona climatica	Pareti	Coperture	Pavimenti	Serramenti
A,B < 900 gg	0,45 W/m ² K	0,38 W/m ² K	0,46 W/m ² K	3,20 W/m ² K
C > 900 gg	0,38 W/m ² K	0,36 W/m ² K	0,40 W/m ² K	2,40 W/m ² K
D > 1.400 gg	0,34 W/m ² K	0,30 W/m ² K	0,32 W/m ² K	2,00 W/m ² K
E > 2.100 gg	0,30 W/m ² K	0,25 W/m ² K	0,30 W/m ² K	1,80 W/m ² K
F > 3.000 gg	0,28 W/m ² K	0,23 W/m ² K	0,28 W/m ² K	1,50 W/m ² K

Elementi verticali 2019/2021

Zona climatica	Pareti	Coperture	Pavimenti	Serramenti
A,B < 900 gg	0,43 W/m ² K	0,35 W/m ² K	0,44 W/m ² K	3,00 W/m ² K
C > 900 gg	0,34 W/m ² K	0,33 W/m ² K	0,38 W/m ² K	2,20 W/m ² K
D > 1.400 gg	0,29 W/m ² K	0,26 W/m ² K	0,29 W/m ² K	1,80 W/m ² K
E > 2.100 gg	0,26 W/m ² K	0,22 W/m ² K	0,26 W/m ² K	1,40 W/m ² K
F > 3.000 gg	0,24 W/m ² K	0,20 W/m ² K	0,24 W/m ² K	1,10 W/m ² K

Parete X-Lam 2: trasmittanza

Calcolo del valore U: UNI 6946

Parete 1

Resistenza superficiale interna Rsi **0,13**
Orizzontale

Resistenza superficiale esterna Rse **0,04**
Aria in quiete

nr	Stratigrafia 1 dall'interno verso l'esterno	λ [W/mK]	Stratigrafia 2	λ [W/mK]	s [cm]	D [m ² K/W]
1	Cartongesso, doppio	0,250			2,5	0,100
2	Canapa, materassino	0,050			3,0	0,600
3	Freno al vapore					
4	X-Lam	0,130			12,0	0,923
5	Fibra di legno normale	0,040	Listello di legno	0,130	8,0	2,000
6	Fibra di legno intonacabile	0,050			4,0	0,800
7	Intonaco al silicato	0,700			0,5	0,007
8						
9						
			Percentuale superficie stratigrafia 2	9,1%	30,0	0,170

Somma

Trasmittanza U [W/m²K]: **0,230**

Resistenza termica R [m²K/W]: **4,344**

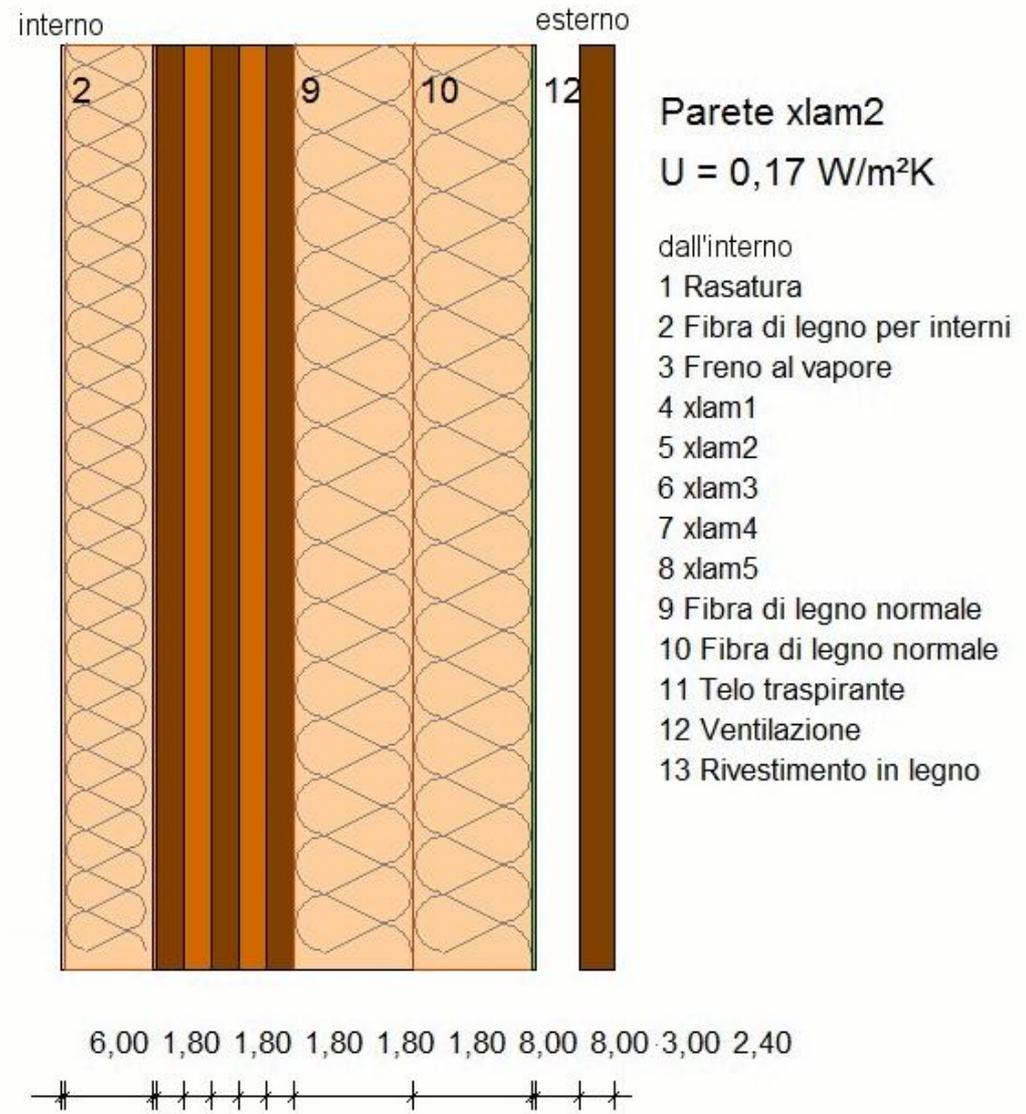
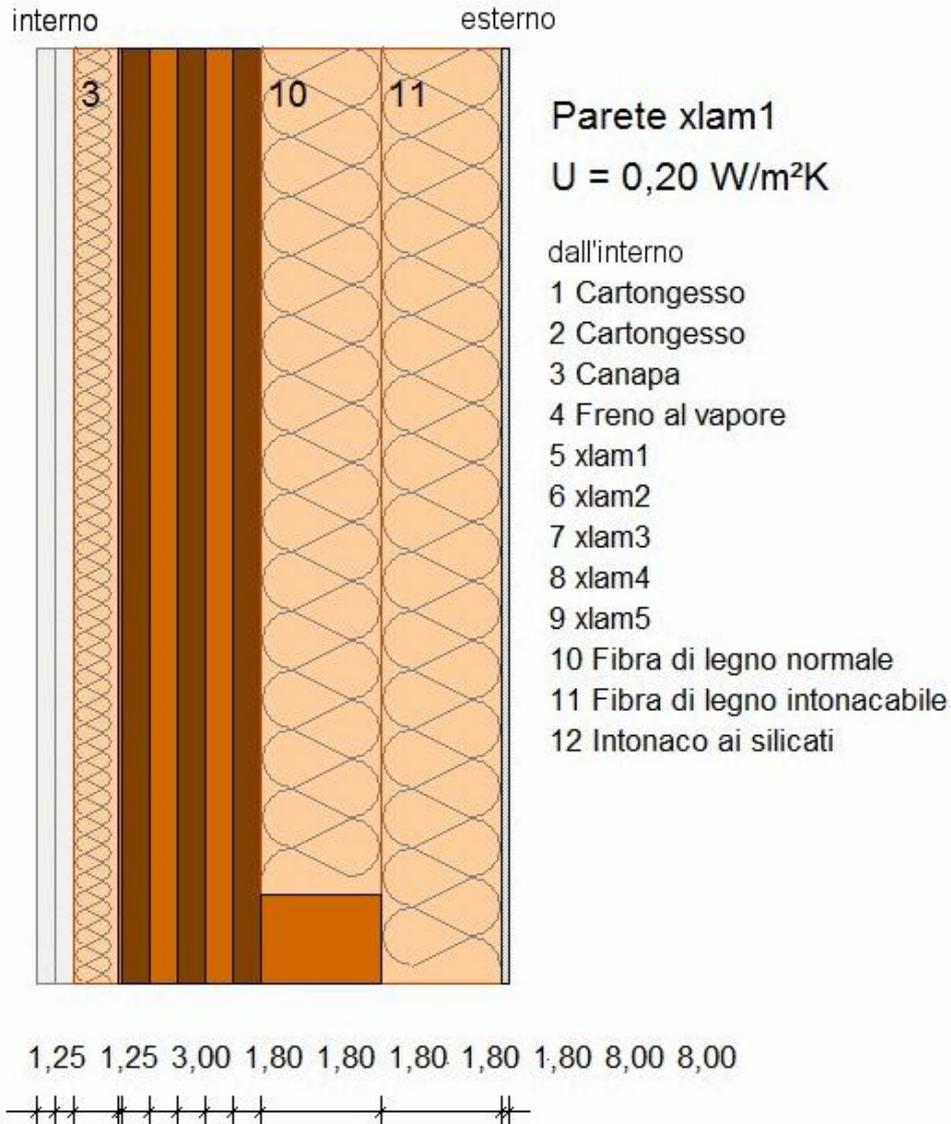
Errore **2%**

Limiti validi per: **Modena (MO)**

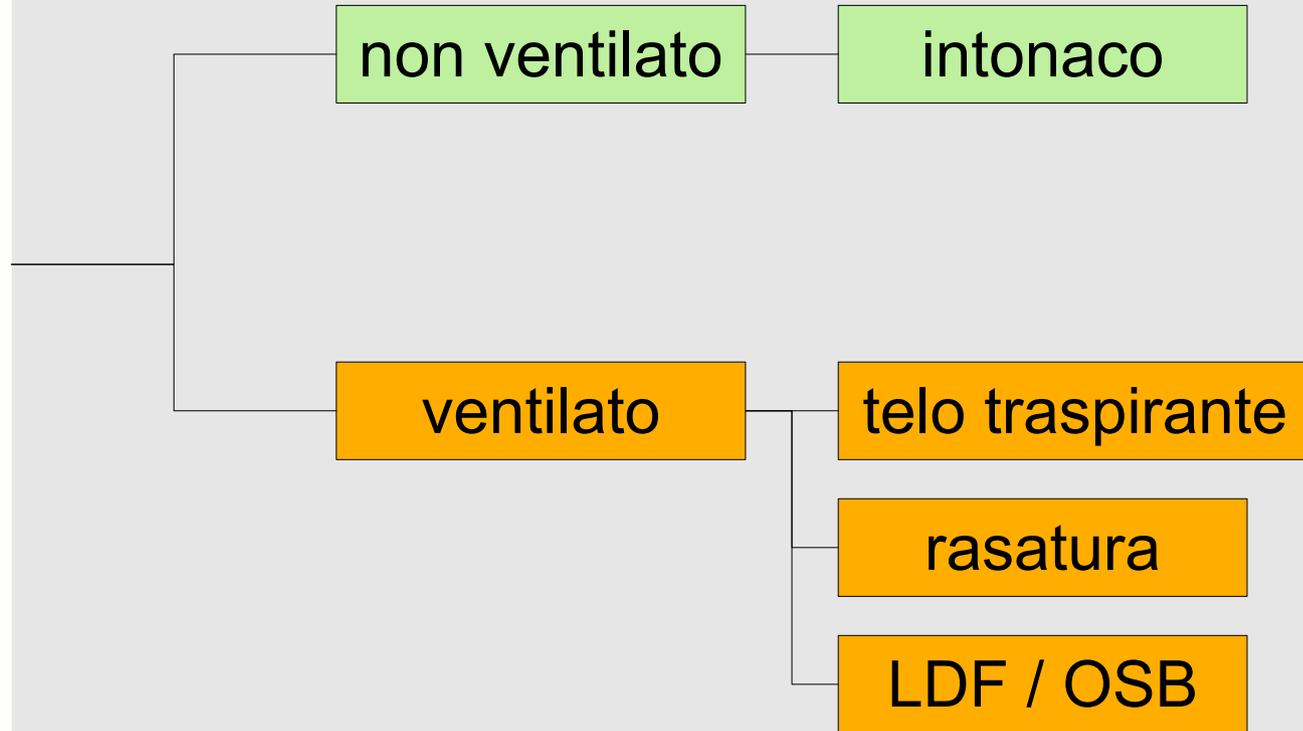
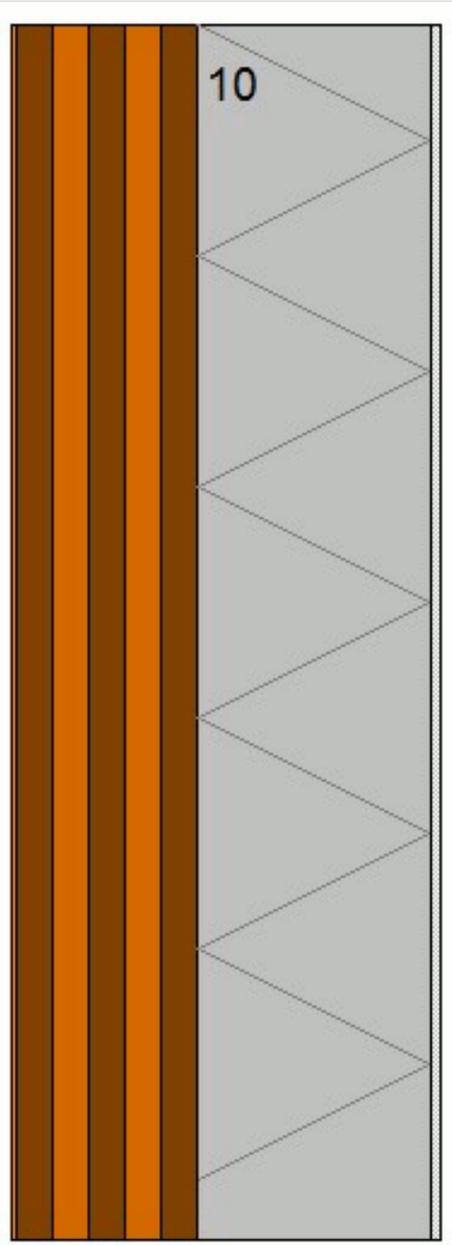
Limite U finanziaria 2010 [W/m²K]: **0,28**

Limite 311/06 dal 01.01.10 **U** **0,34** **FEP** **0,44** W/m²K

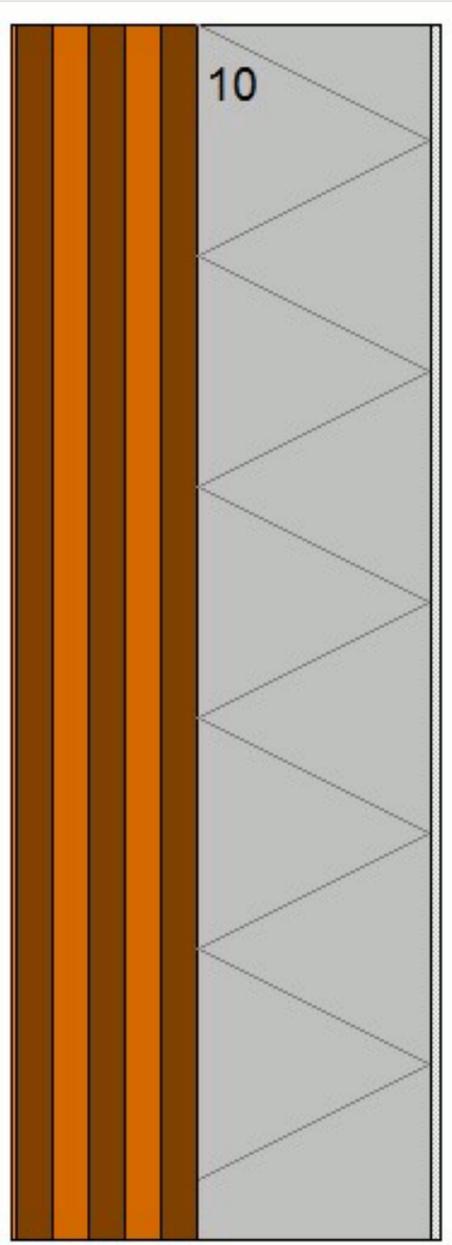
Pareti X-Lam



Tenuta al vento del cappotto su X-LAM



Materiali da cappotto su X-LAM



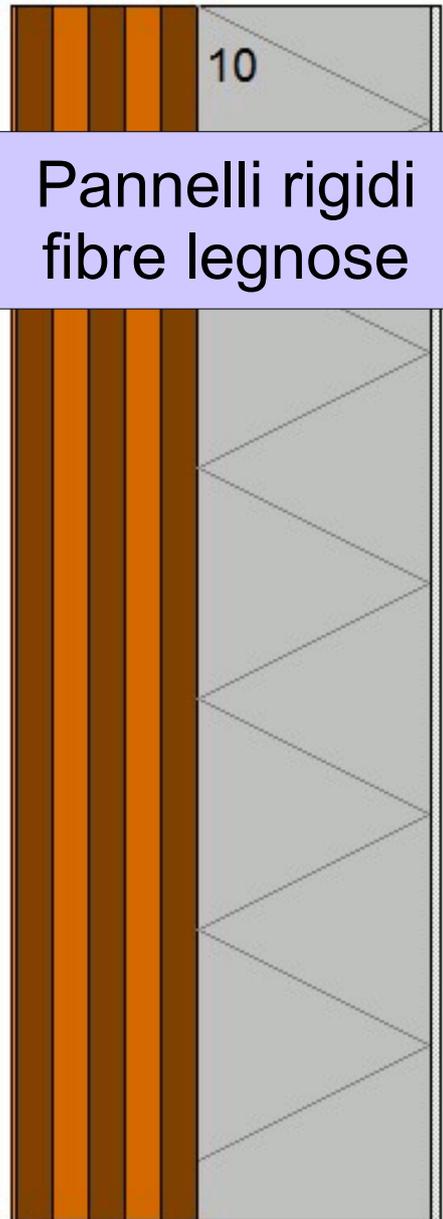
~~Pannelli rigidi
schiuma minerale~~

Pannelli rigidi
fibre legnose

anche sughero

Materassini
fibre minerali
e organiche

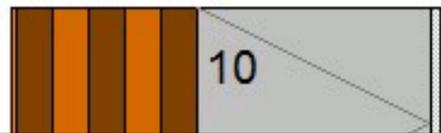
Pannelli rigidi
sintetici



Pannelli rigidi
fibre legnose

Se intonacato:
con pannello finale intonacabile (ETA!)

Se ventilato:
con telo traspirante finale (scuro)
o
LDF / OSB nastrati



Pannelli rigidi
fibre legnose
spessori grossi

Fino a 22 cm: listello incrociato:
listello verticale e Fdl 1: 8 cm
listello orizzontale e Fdl 2: 8 cm
pannello finale continuo alta densità: 6 cm

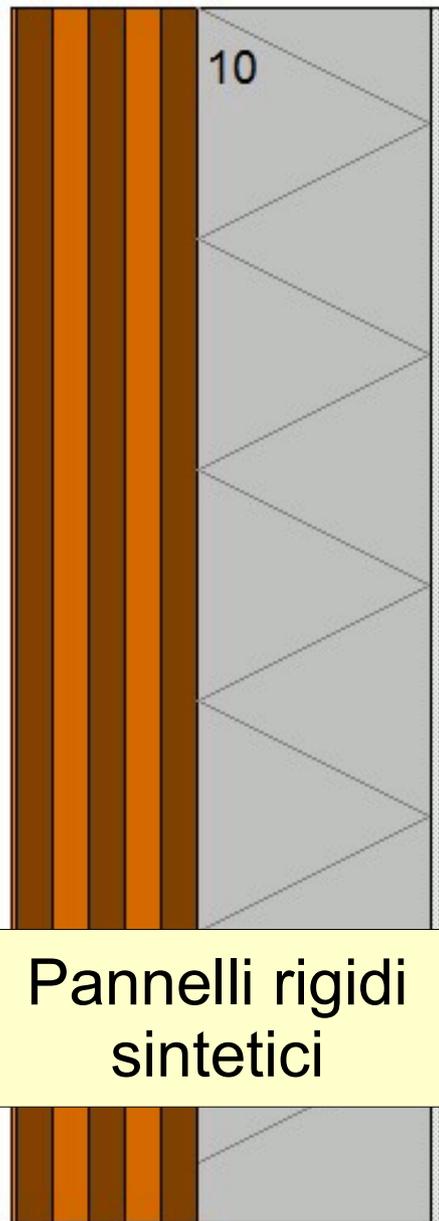
Oltre 22 cm: cassero con Joist:
travetto sottile a doppia-T
con coibente insoffiato o matterassini





**Fino a 20 cm: pannello unico
da rasare**

Oltre 20 cm: cassero con Joist:
travetto sottile a doppia-T
con coibente insoffiato o materassini
con LDF / OSB esterni nastrati

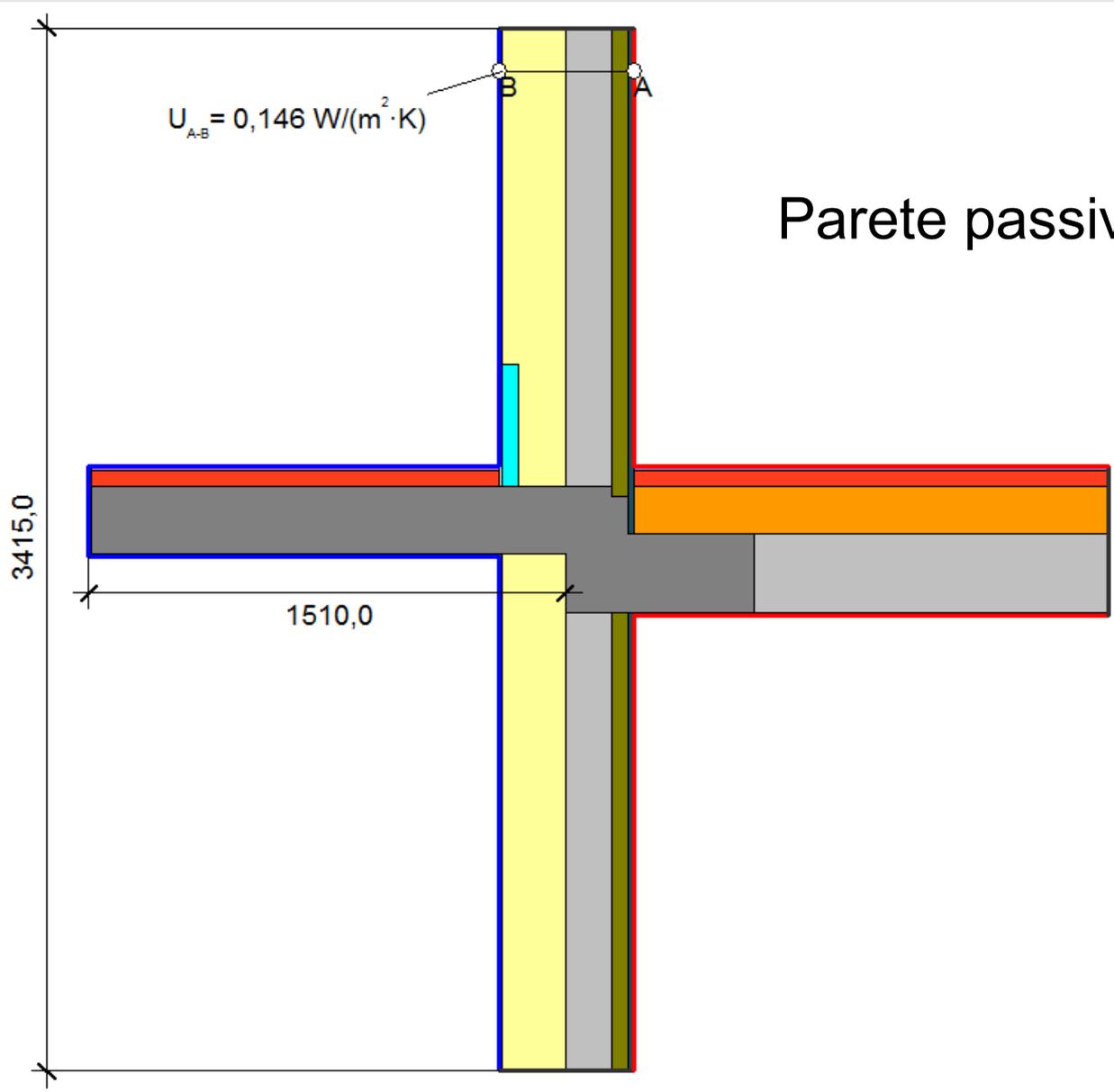


Pannelli rigidi sintetici

Fino a 30 cm: pannello unico da rasare



Parete tradizionale compreso ponti termici

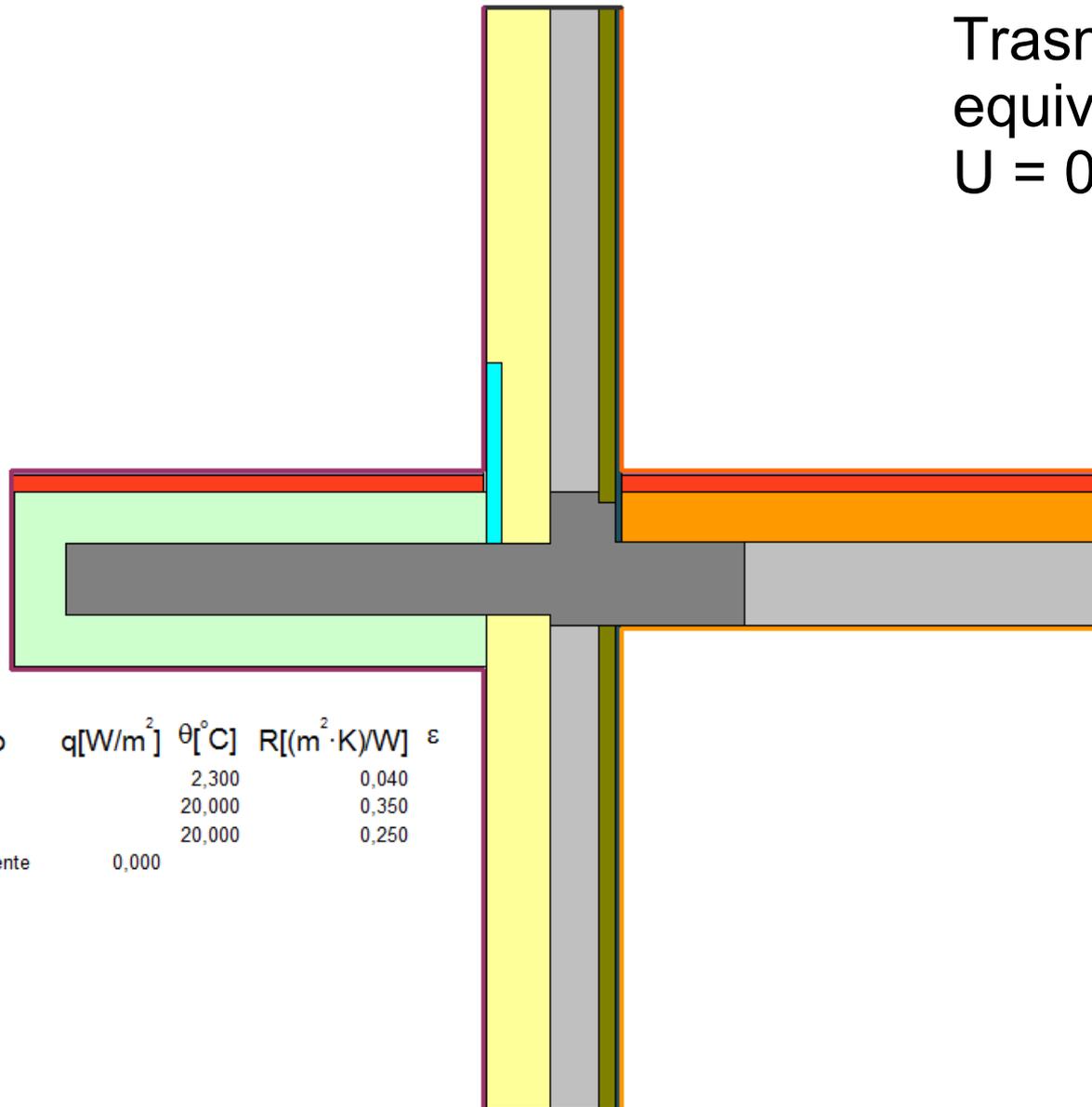


Parete passiva con $U = 0,146 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

Balcone impacchettato

promo legno

Trasmittanza totale
equivalente:
 $U = 0,298 \text{ W/m}^2\text{K}$



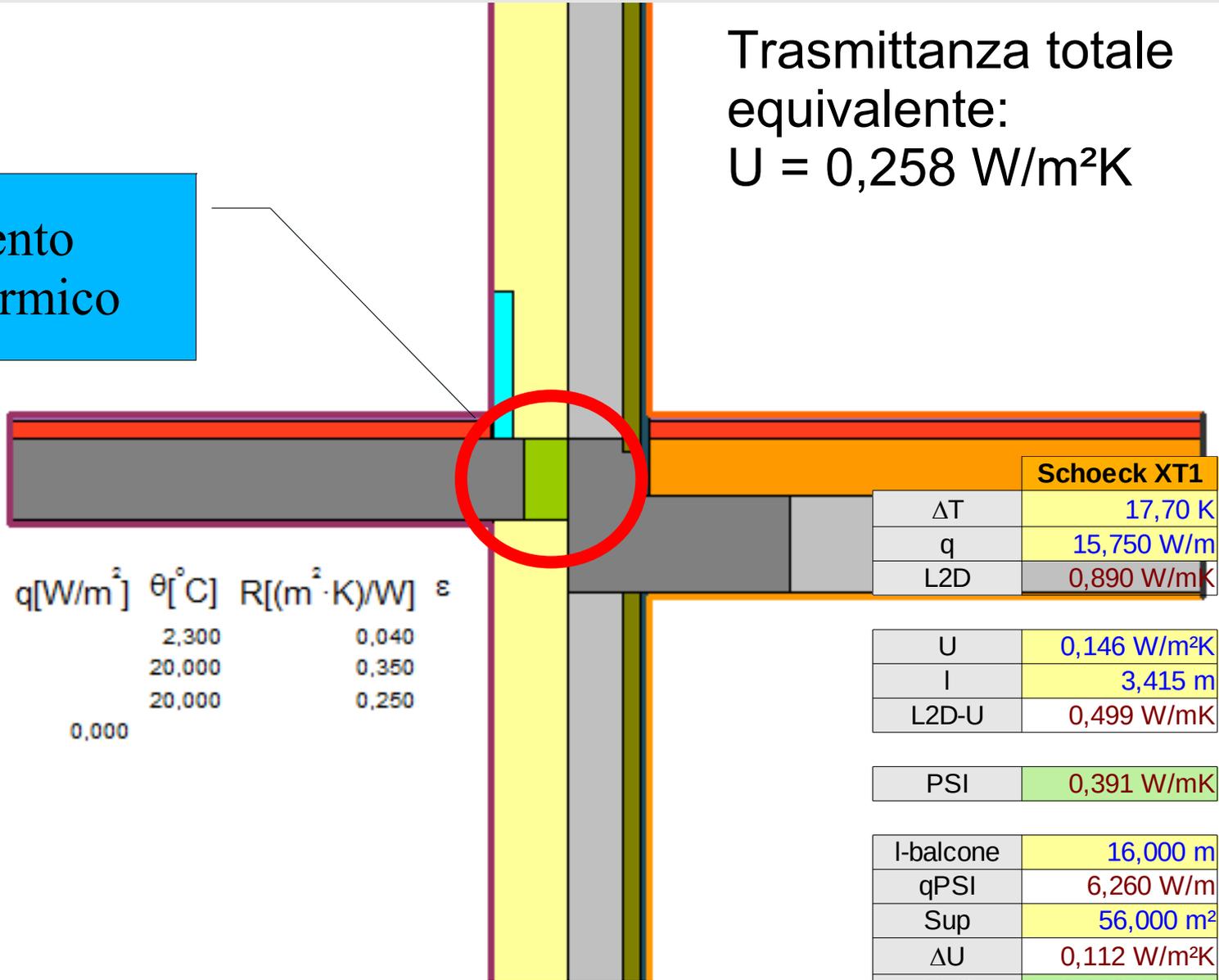
Condizione al bordo	$q[\text{W/m}^2]$	$\theta[^\circ\text{C}]$	$R[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$	ε
Arco Santorum		2,300	0,040	
Interno metà inf		20,000	0,350	
Interno metà sup		20,000	0,250	
Simmetria/Sezione componente	0,000			

Impacchettato	
ΔT	17,70 K
q	18,251 W/m
L2D	1,031 W/mK
U	0,146 W/m ² K
I	3,415 m
L2D-U	0,499 W/mK
PSI	0,533 W/mK
I-balcone	16,000 m
qPSI	8,521 W/m
Sup	56,000 m ²
ΔU	0,152 W/m ² K
U_{eff}	0,298 W/m ² K

Balcone a taglio termico

Elemento taglio termico

Trasmittanza totale equivalente:
 $U = 0,258 \text{ W/m}^2\text{K}$

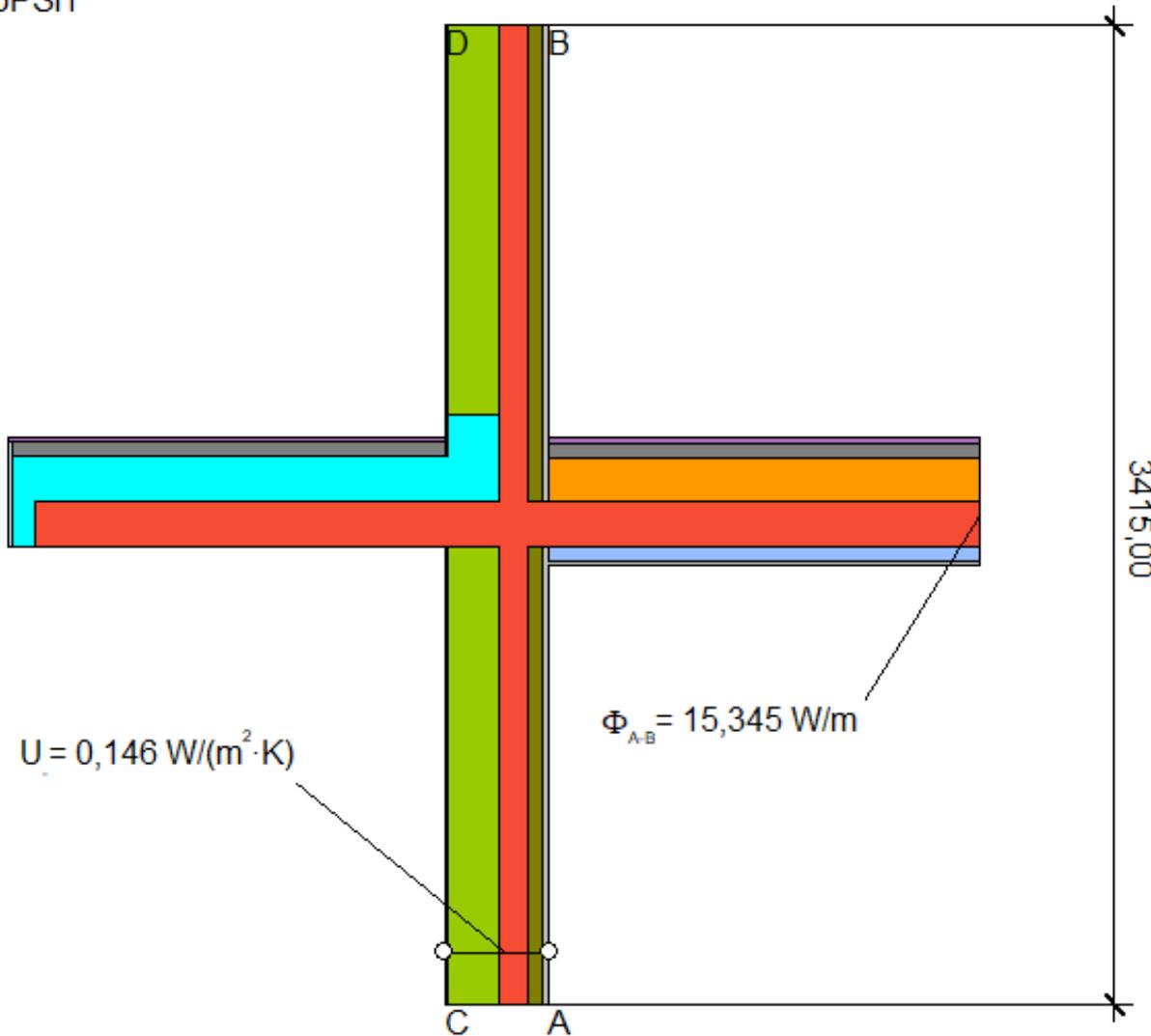


Condizione al bordo	$q[\text{W/m}^2]$	$\theta[^\circ\text{C}]$	$R[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$	ε
Arco Santorum		2,300	0,040	
Interno metà inf		20,000	0,350	
Interno metà sup		20,000	0,250	
Simmetria/Sezione componente	0,000			

Schoeck XT1	
ΔT	17,70 K
q	15,750 W/m
L2D	0,890 W/mK
U	0,146 W/m ² K
I	3,415 m
L2D-U	0,499 W/mK
PSI	0,391 W/mK
I-balcone	16,000 m
qPSI	6,260 W/m
Sup	56,000 m ²
ΔU	0,112 W/m ² K
Ueff	0,258 W/m ² K

Balcone Xlam

ModelloPSI1



Trasmittanza totale
equivalente:
 $U = 0,150 \text{ W/m}^2\text{K}$

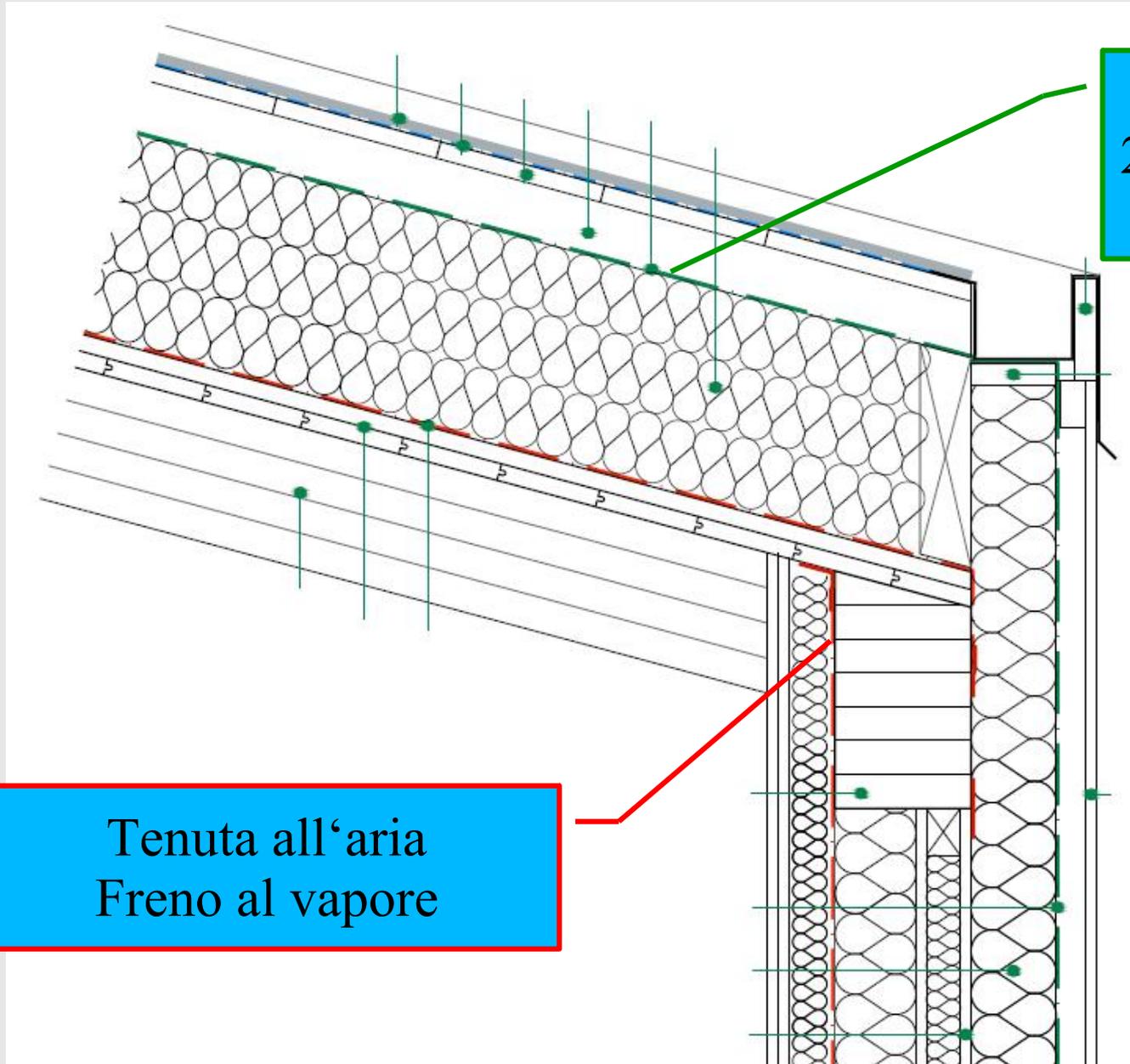
xlam
30,00 K
15,345 W/m
0,512 W/mK
0,146 W/m ² K
3,415 m
0,499 W/mK
0,013 W/mK
16,000 m
0,207 W/m
56,000 m ²
0,004 W/m ² K
0,150 W/m ² K

$$\psi_{A-C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 = \frac{15,345}{30,000} - 0,146 \cdot 3,415 = 0,014 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

Sporgenza tetto

promolegno





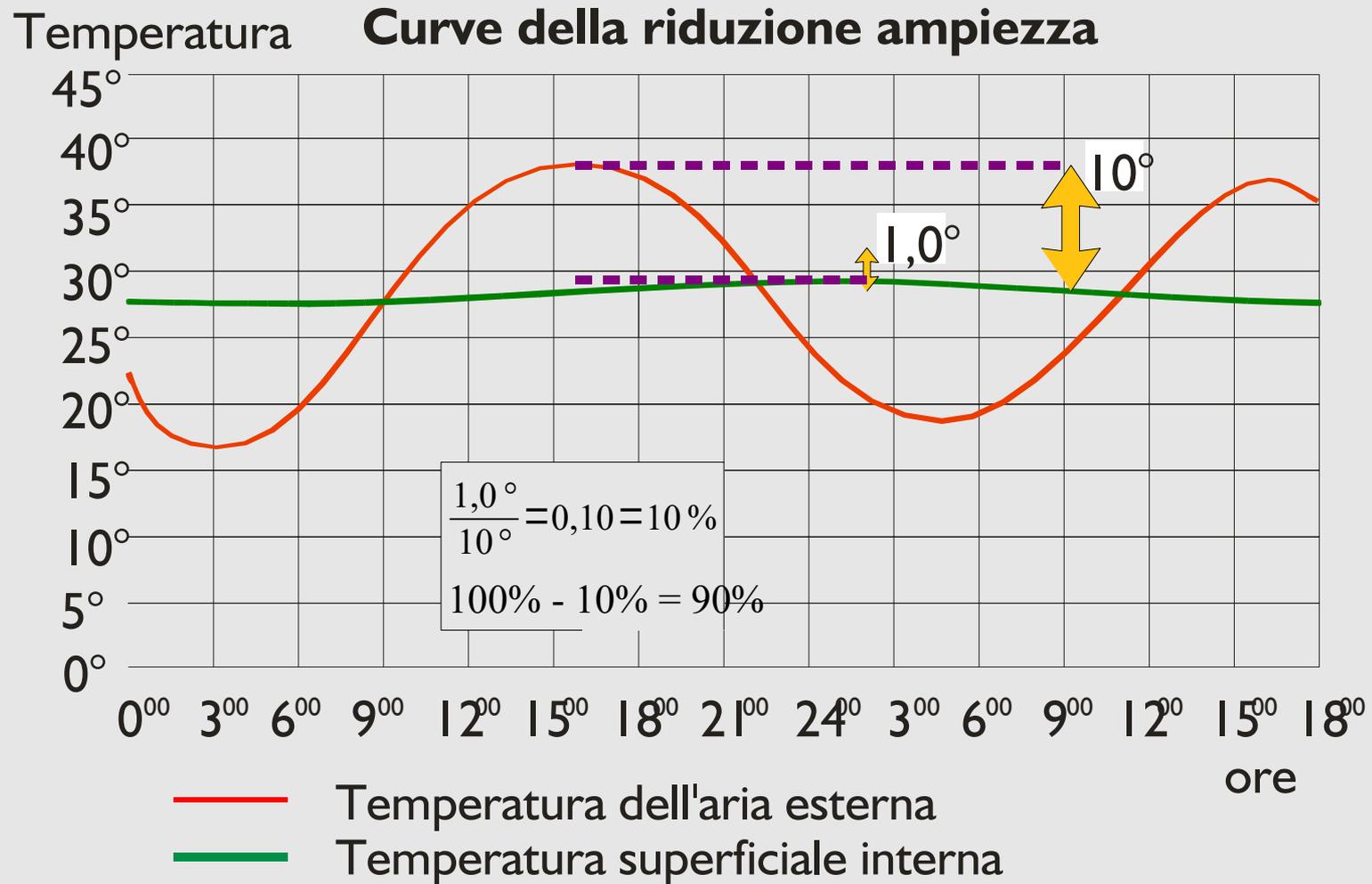
Tenuta al vento
2a impermeabilizzazione
traspirante

Tenuta all'aria
Freno al vapore

2 Prestazione estiva

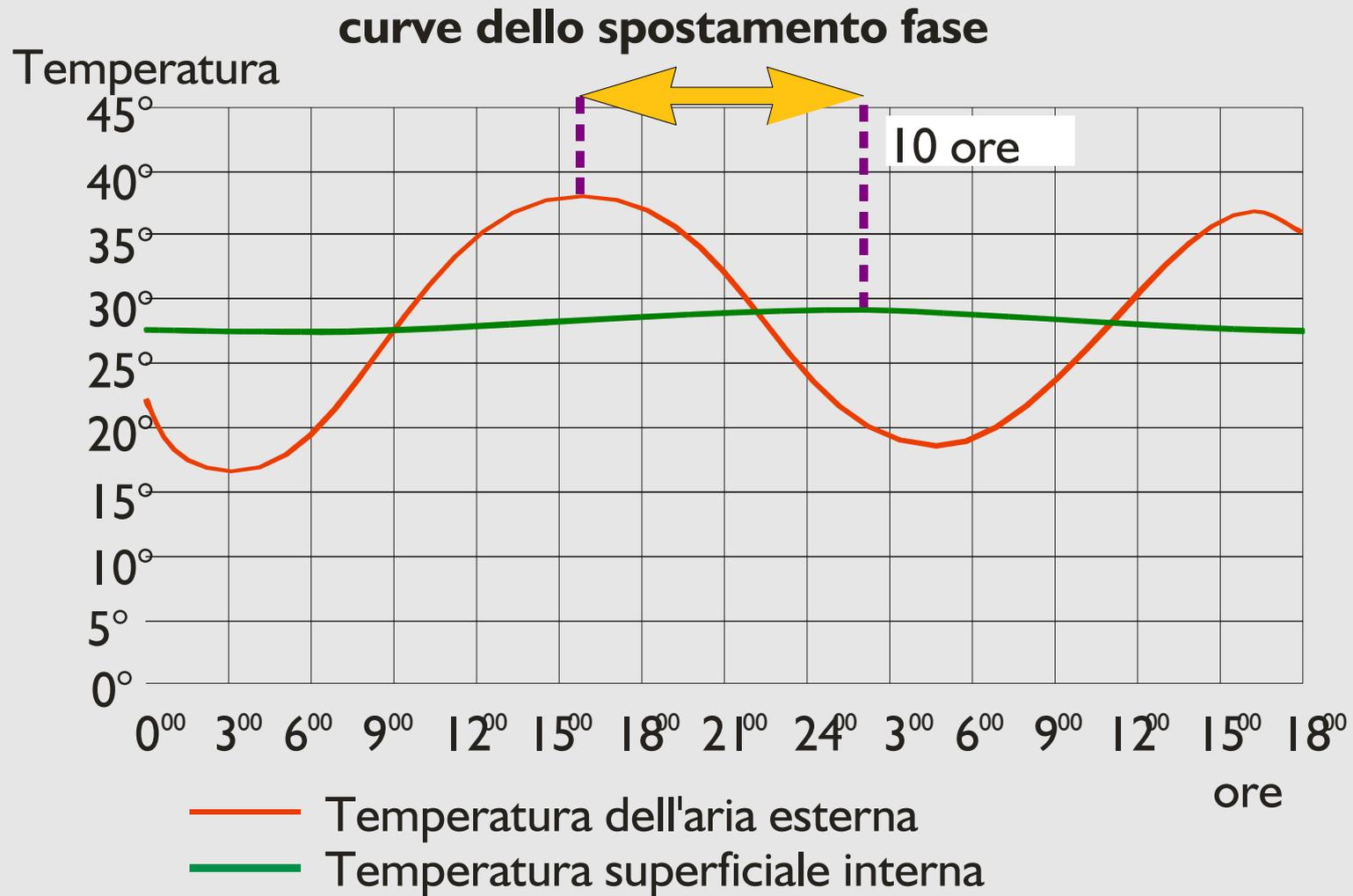
Metodo „Heindl“: riduzione ampiezza = riduzione picchi

promo_legno



Metodo „Heindl“: sfasamento = passaggio dell'onda

promo_legno



Elementi trasparenti: area solare equivalente estiva

$$A_{\text{sol,est}} / A_{\text{sup,util}} < (A_{\text{sol,est}} / A_{\text{sup,util}})_{\text{limite}}$$

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

Elementi opachi: se $I_{\text{max}} > 290 \text{ W/m}^2$:

- Massa superficiale $> 230 \text{ kg/m}^2$

o

- Trasmittanza periodica $U_{\text{din}} = Y_{\text{ie}} < Y_{\text{ie,limite}}$

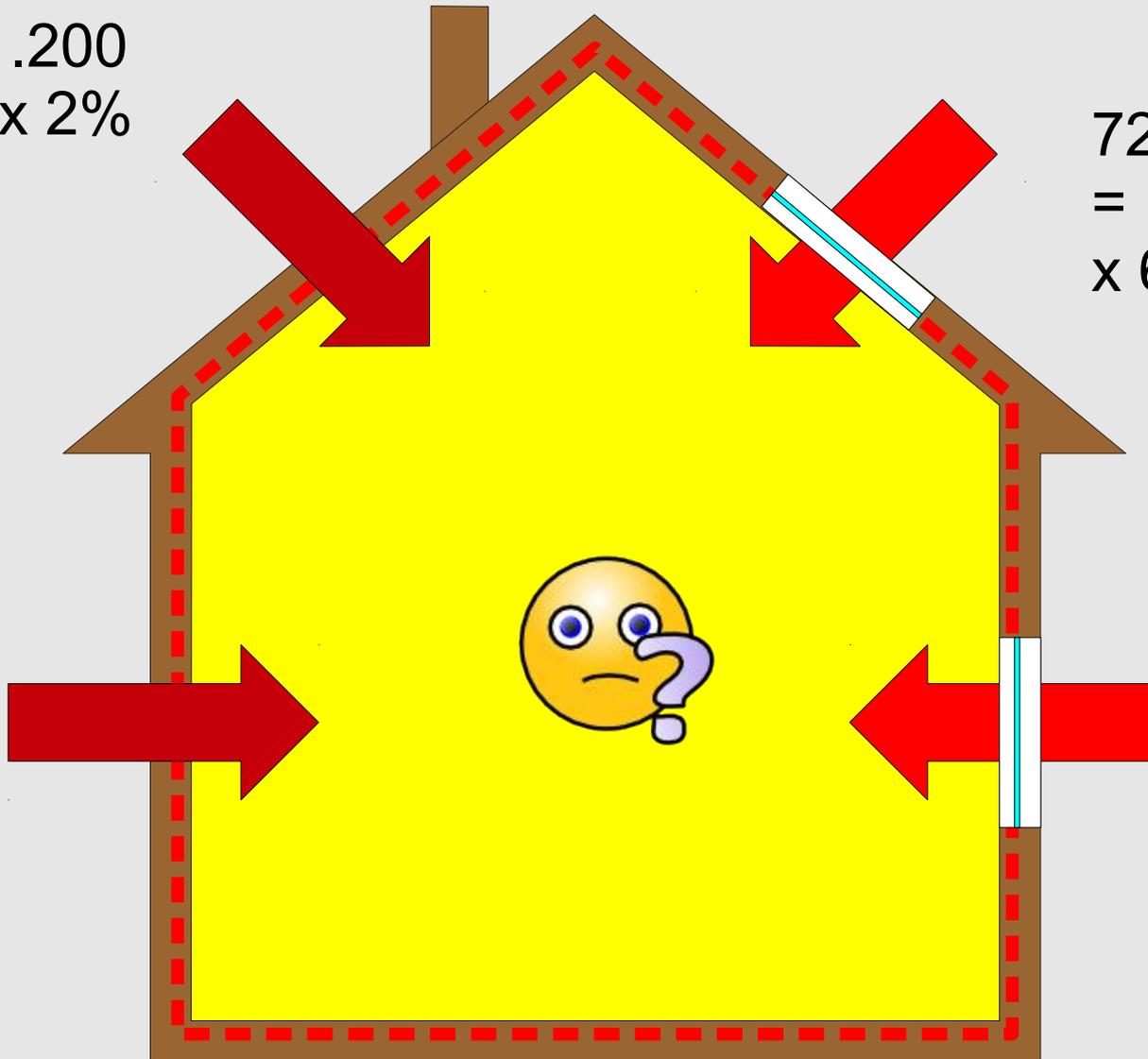
$$Y_{\text{ie,limite}} \text{ parete} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Y_{\text{ie,limite}} \text{ tetto} = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- *[Sistema vecchio Heindl]*

DPR 59/09 decreto attuativo 192/05: limite agli elementi singoli ipromolegno

$$24 \text{ W/m}^2 \\ = 1.200 \\ \text{W} \times 2\%$$



$$720 \text{ W/m}^2 \\ = 1.200 \text{ W} \\ \times 60\%$$

Parete X-Lam: riduzione ampiezza/sfasamento e Yie

promo_legno

Calcolo della prestazione estiva

Parete 1

Valore medio mensile di irradianza nel mese di massima insolazione:

Controllo necessario se $> 290 \text{ W/m}^2$

I m,s

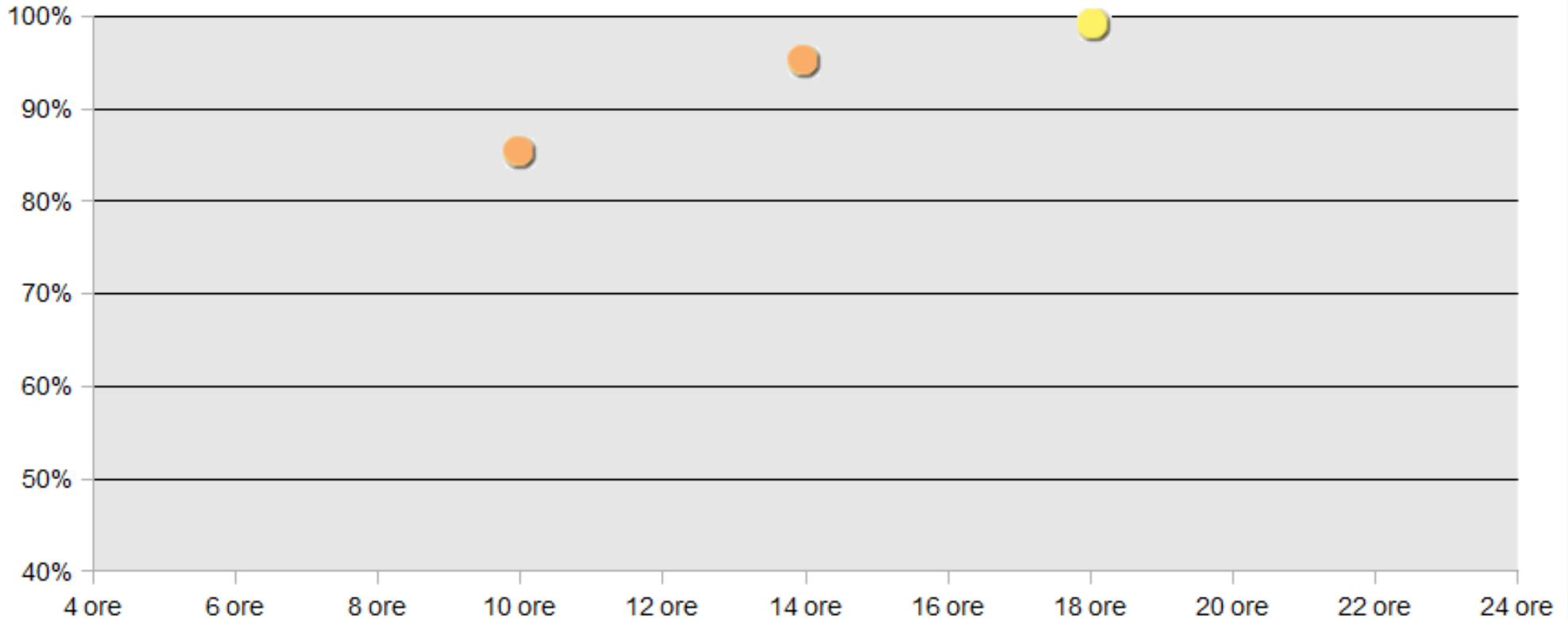
289 W/m^2

nr	Stratigrafia 1 dall'interno verso l'esterno	nr TAV	s [cm]	ρ [kg/m ³]	Ms [kg]	λ [W/mK]	c [Wh/kgK]
1	Cartongesso, doppio	6	2,5	900	23	0,250	0,278
2	Canapa, materassino	5	3,0	22	1	0,050	0,360
3	Freno al vapore						
4	X-Lam	4	12,0	500	60	0,130	0,444
5	Fibra di legno normale	3	8,0	160	13	0,040	0,580
6	Fibra di legno intonacabile	2	4,0	220	9	0,050	0,580
7	Intonaco al silicato	1	0,5	1.800	9	0,700	0,280
8							
9							
					Ms OK se $> 230 \text{ kg/m}^2$	114	NO

Parete X-Lam: riduzione ampiezza/sfasamento e Yie

promo_legno

	Minimo	Buono	Oggetto
<input type="checkbox"/> Elemento macro-ventilato			
<input type="checkbox"/> Strato esterno rifletten			
Spostamento fase	10,0 ore	14,0 ore	18,1 ore
Riduzione ampiezza	85%	95%	99%



Trasmittanza U dinamica estiva Yie:

0,019 W/m²K

Limite Yie 59/09:

0,120 W/m²K

0,10 W/m²K

Capacità termica areica dinamica:

8,33 Wh/m²K

Interna ci	Esterna ce
8,33 Wh/m²K	6,68 Wh/m²K

Differenza delle oscillazioni (sfasamento):

8,8 ore

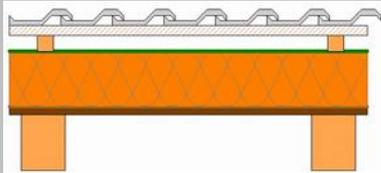
Fattore di attenuazione fa = Yie/Ustat:

0,084

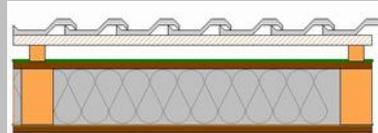
Tetto X-Lam a confronto ($U_{din} < 0,20$)

promo_legno

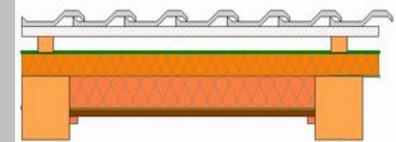
A: $U_{din} = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$



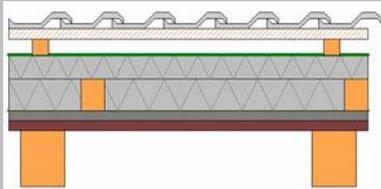
B: $U_{din} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$



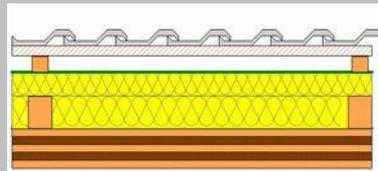
C: $U_{din} = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$



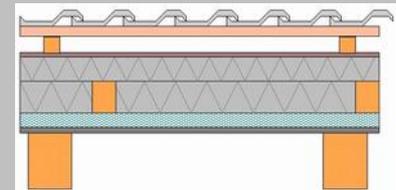
D: $U_{din} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$



E: $U_{din} = 0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$



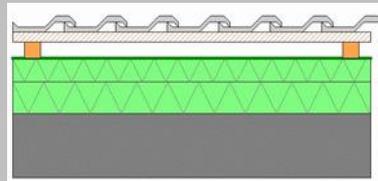
F: $U_{din} = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$



G: $U_{din} = 0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$



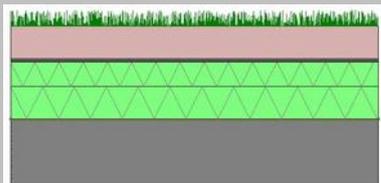
H: $U_{din} = 0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$



I: $U_{din} = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$



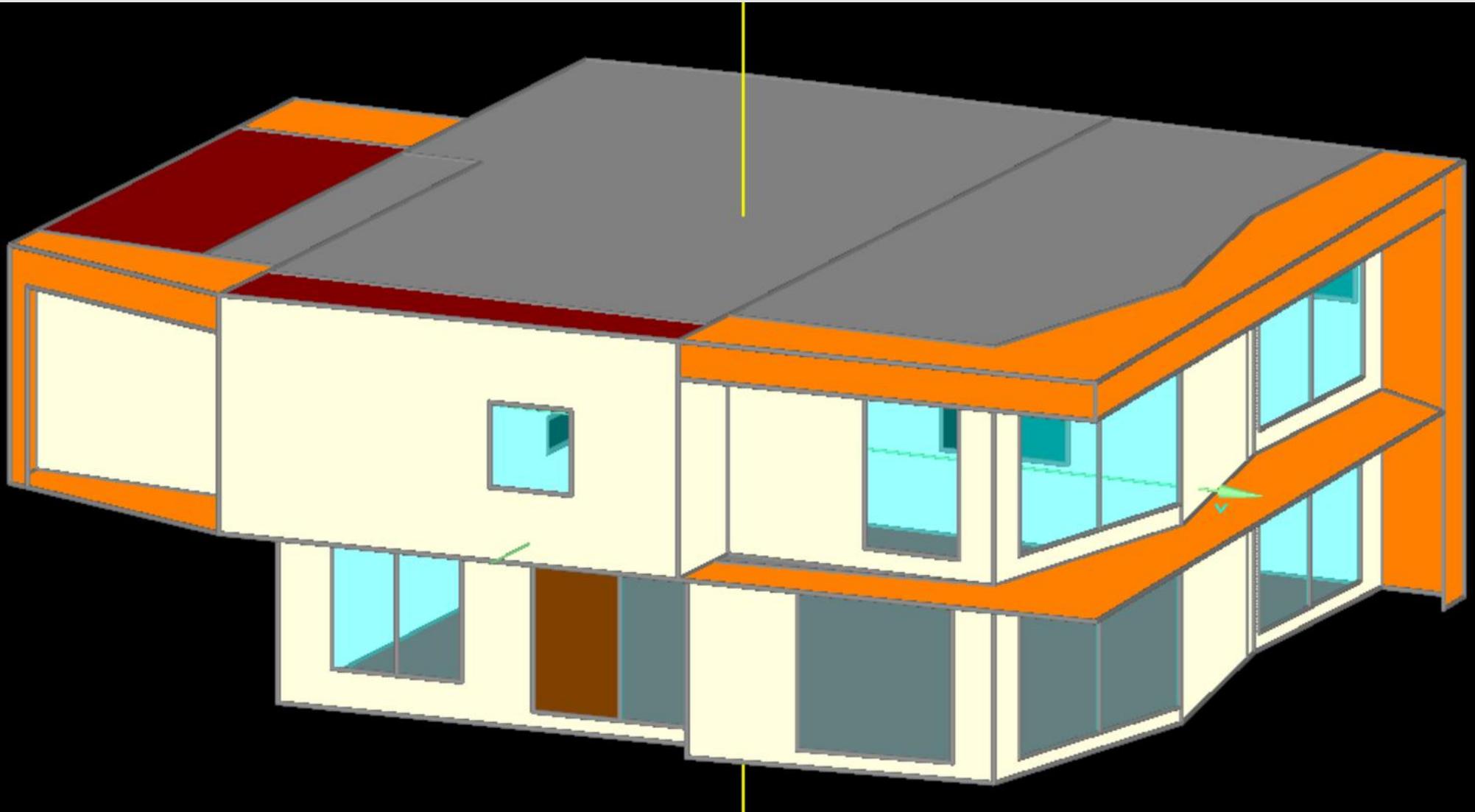
J: $U_{din} = 0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$



K



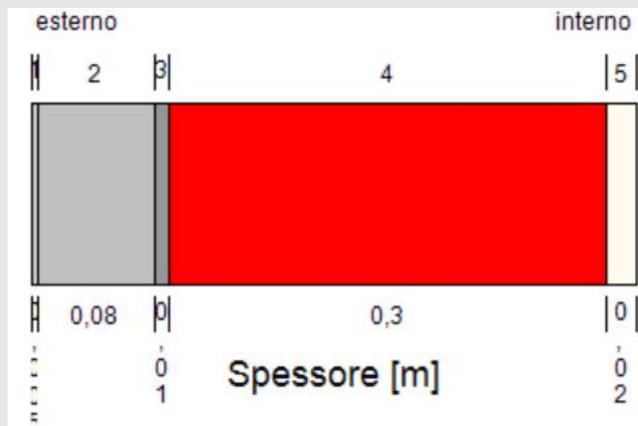
L



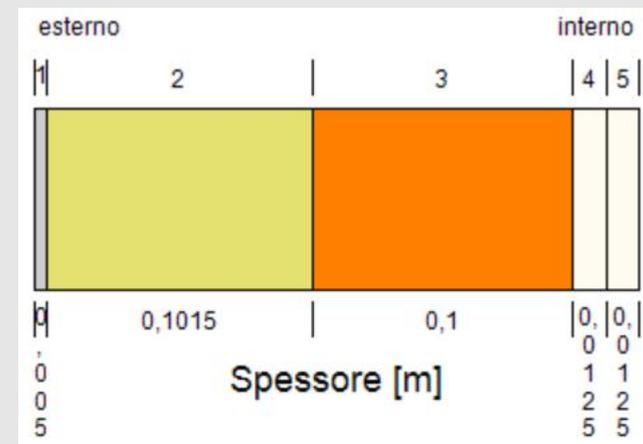
Cantiere Lecce - Simulazione dinamica termo-igrometrica WUFIplus

Confronto X-Lam laterizio

Sistema	Laterizio	xlam	%
Fabb. Riscaldamento	4.850 kWh/a	5.053 kWh/a	4%
Fabb. Raffrescamento	3.242 kWh/a	3.286 kWh/a	1%
Carico internvale	0,6 kW	0,6 kW	
Carico estivo	0,4 kW	0,4 kW	



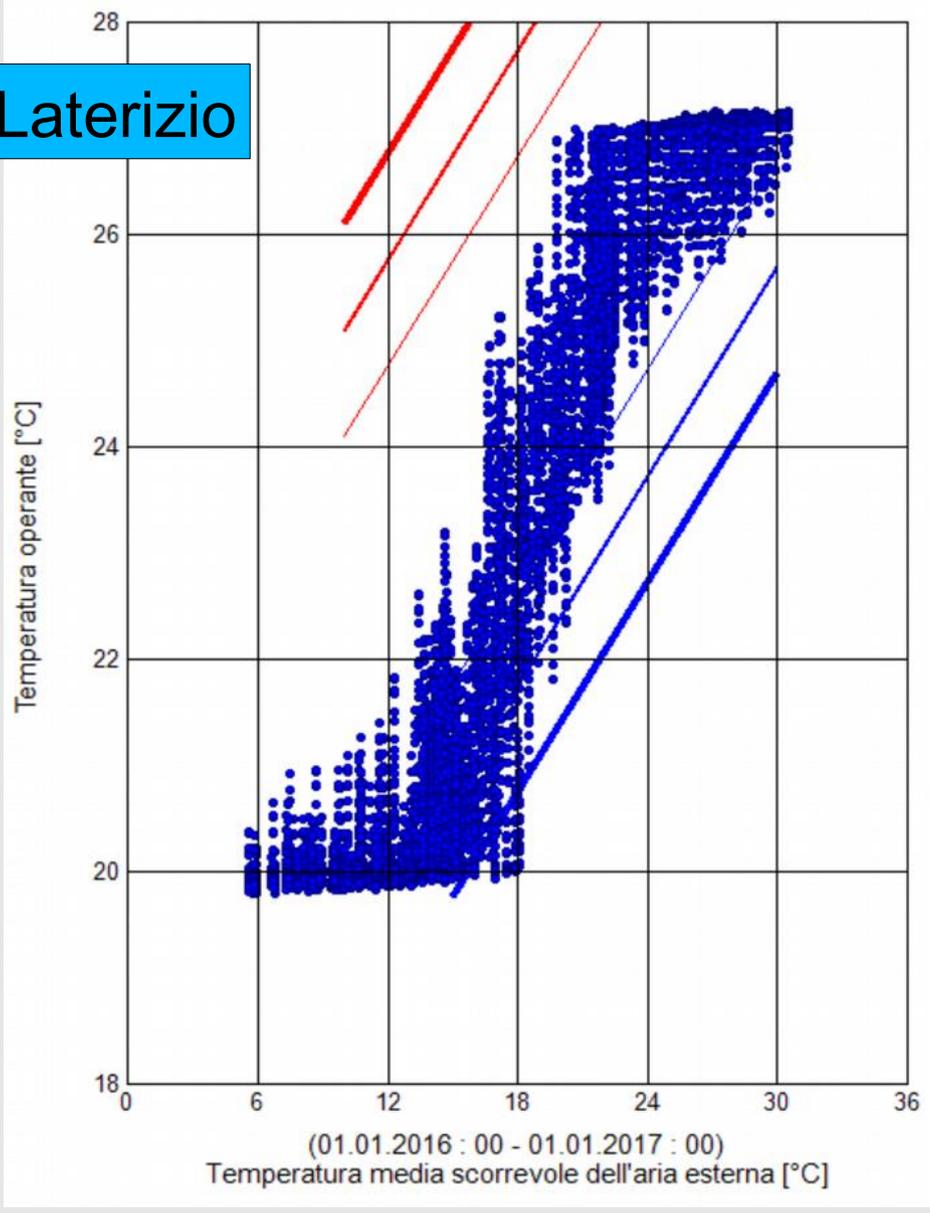
30 cm laterizio
8 cm EPS-G



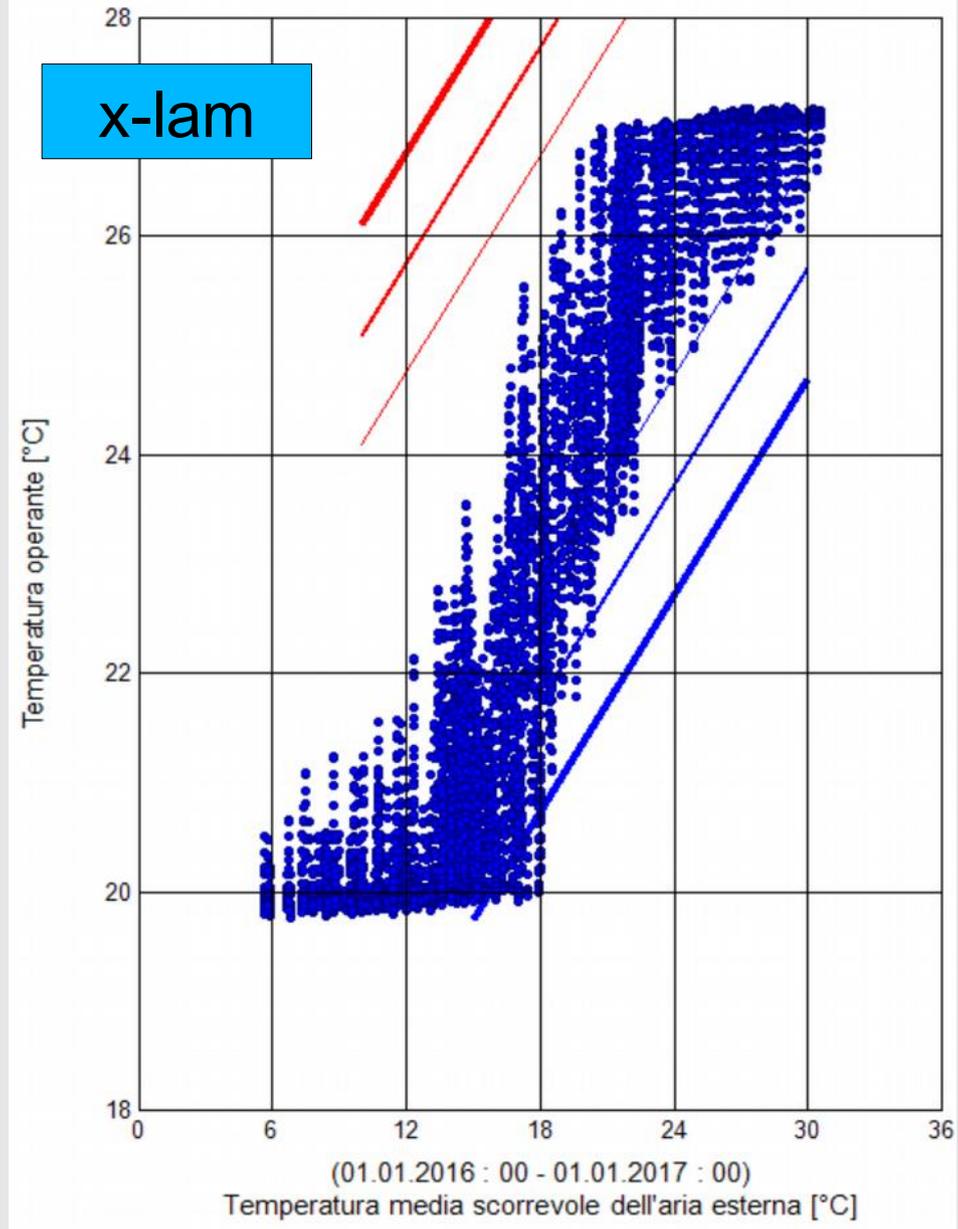
10 cm xlam
10 cm FdL

Confronto X-Lam laterizio

Laterizio



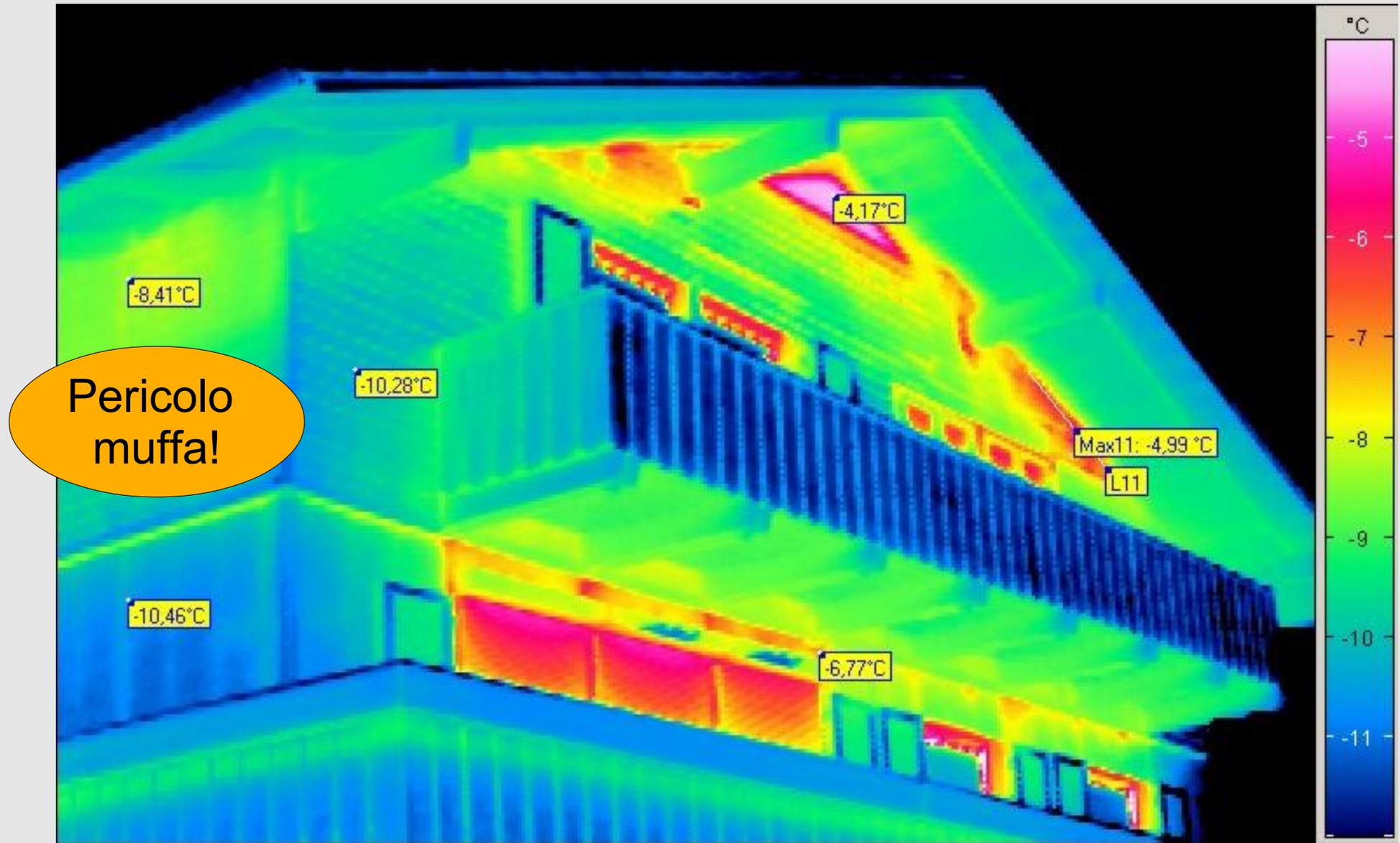
x-lam



3 Condense interstiziali & pericolo muffa

Perdite di calore per permeabilità all'aria e ponti termici

promo_legno



Il Test BlowerDoor



Si misura il valore

n50

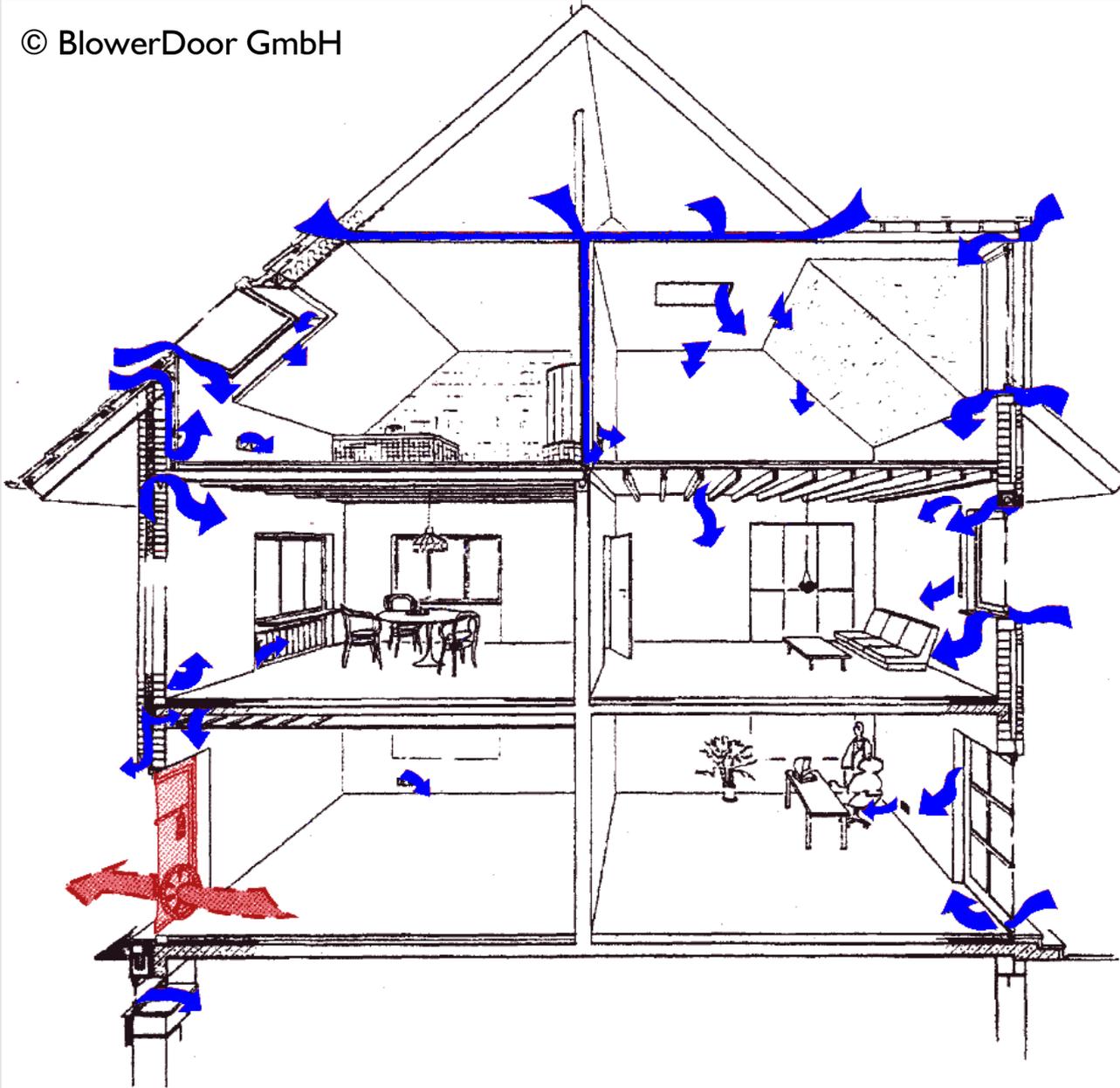
per definire la tenuta
all'aria di un'edificio.

UNI EN 13829: 2003

Il Test BlowerDoor

promolegno

© BlowerDoor GmbH



$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V_{\text{aria interna}}}$$

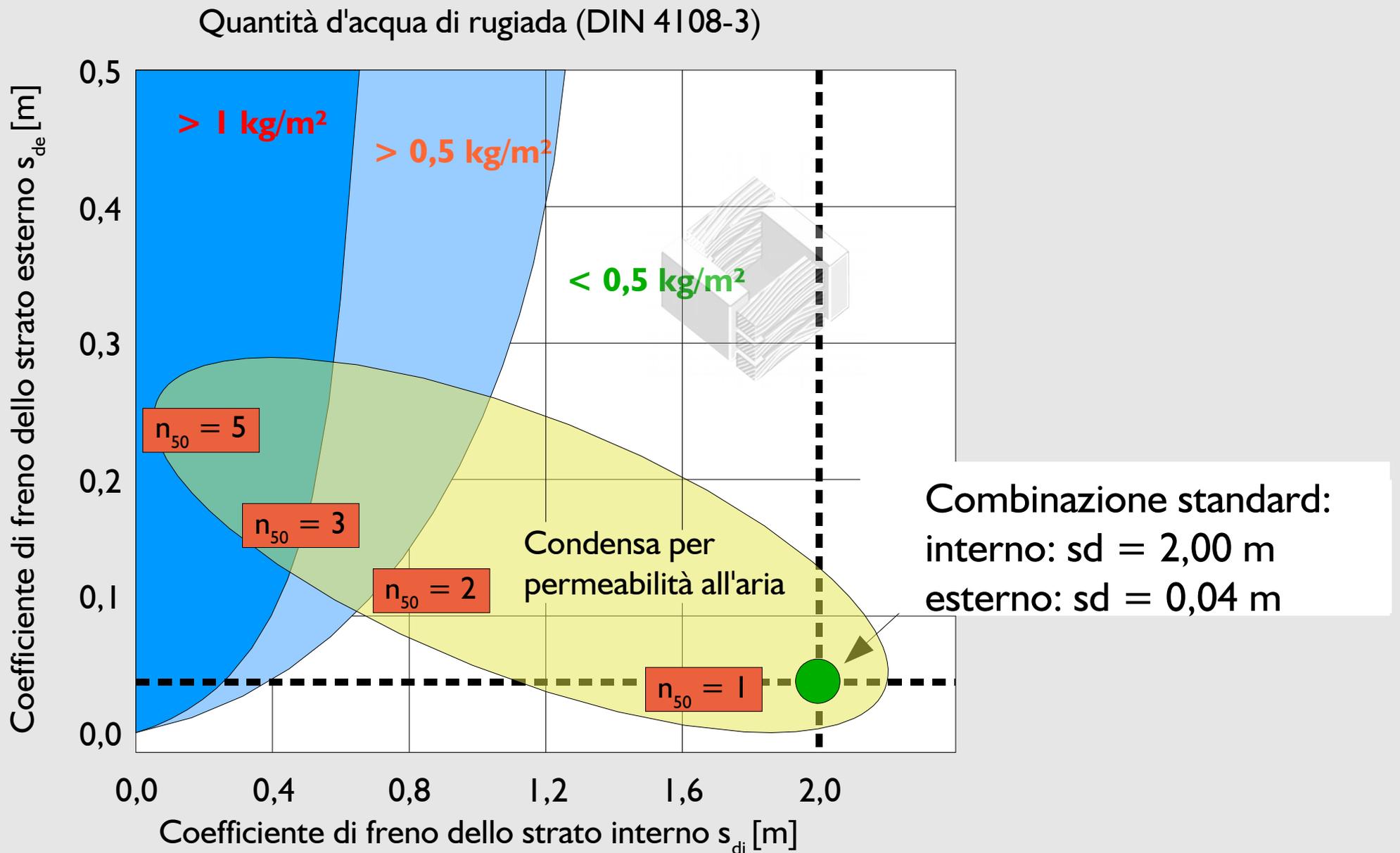
n_{50} = rapporto tra
l'aria persa (a 50 Pa di
differenza di pressione)
e il volume d'aria totale
all'interno dell'involucro
misurato.

Perdite di calore per permeabilità all'aria

promo legno



Perdite di calore per permeabilità all'aria

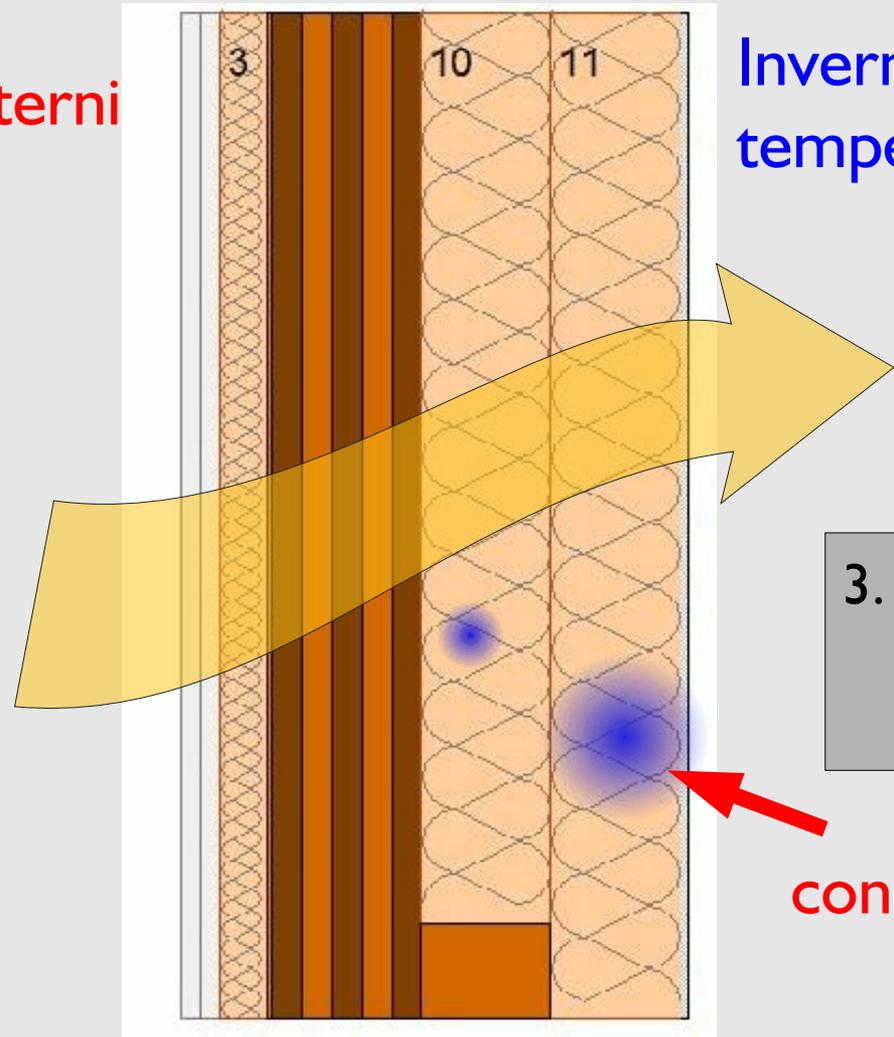


Le condense interstiziali

20°C interni

Inverno:
temperatura esterna -5°C

1. aria umida
calda con 20°C



3. al punto di
rugiada si forma
la condensa

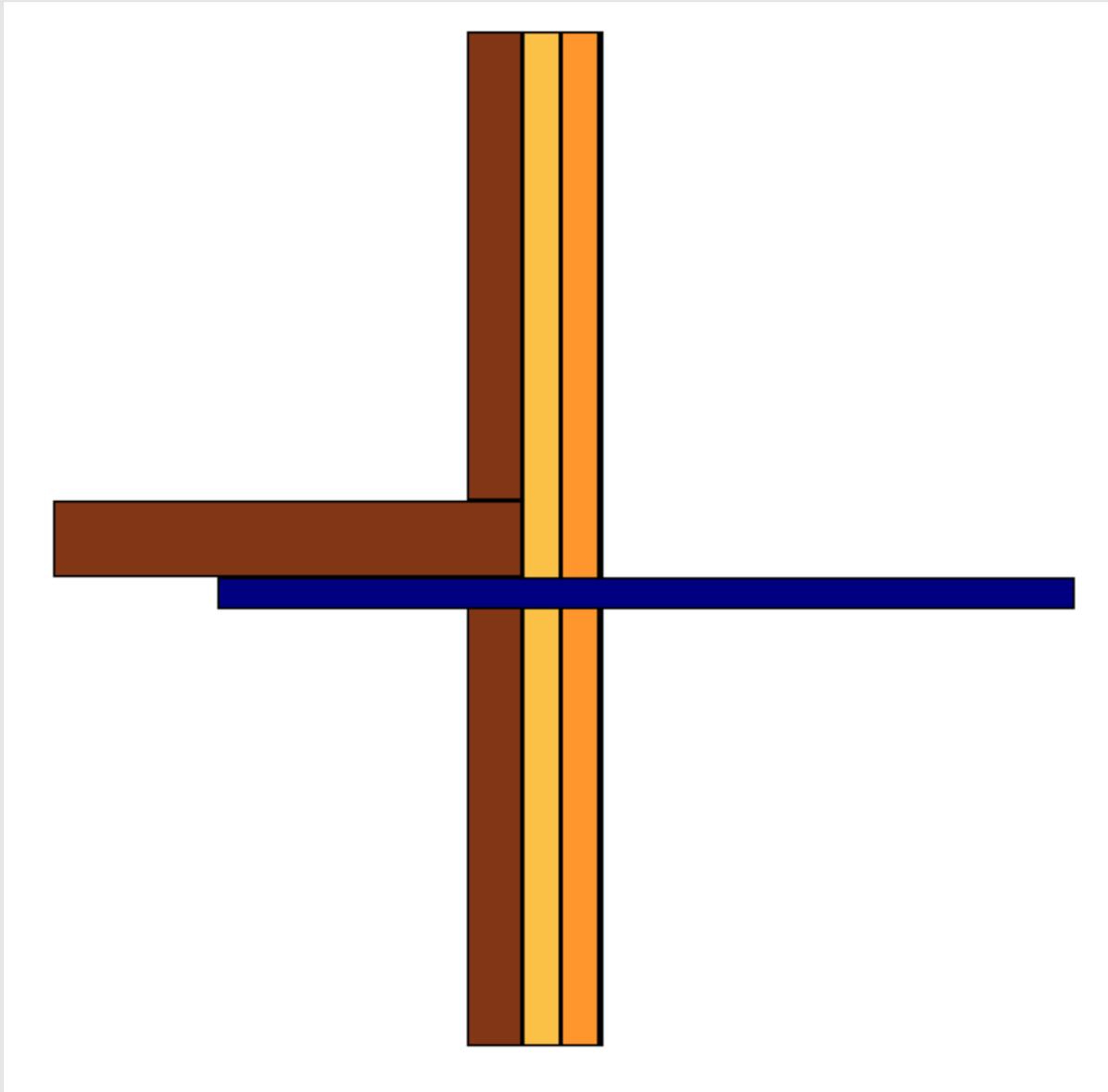
condensa

2. nel passaggio si raffredda
e comincia a salire
l'umidità relativa

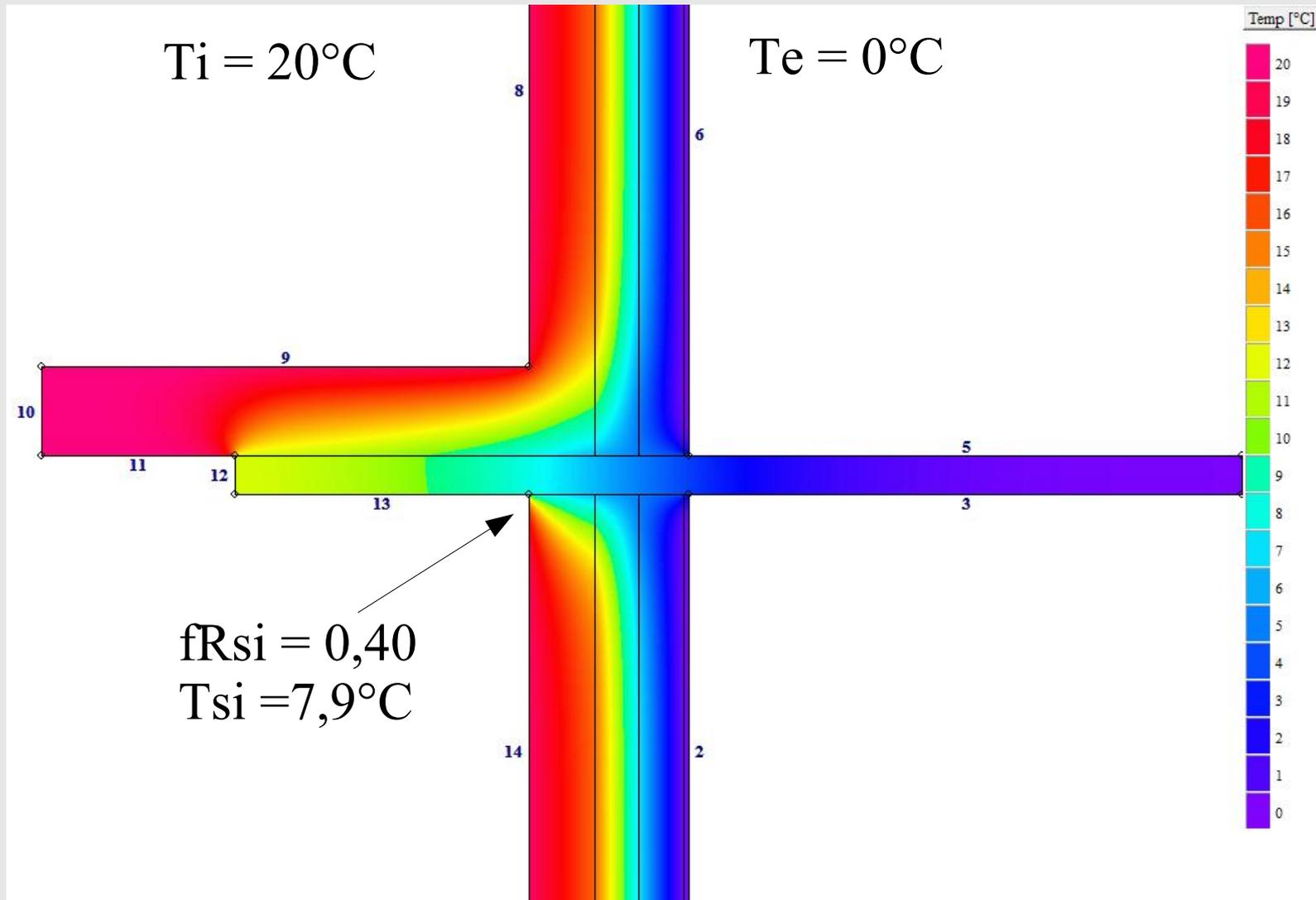
Nel caso di intervento che riguardi le strutture opache delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno, si procede in conformità alla normativa tecnica vigente (UNI EN ISO 13788),

alla verifica dell'**assenza**:

- di **rischio di formazione di muffe**, con **particolare attenzione ai ponti termici** negli edifici di nuova costruzione;
- di **condensazioni interstiziali**.

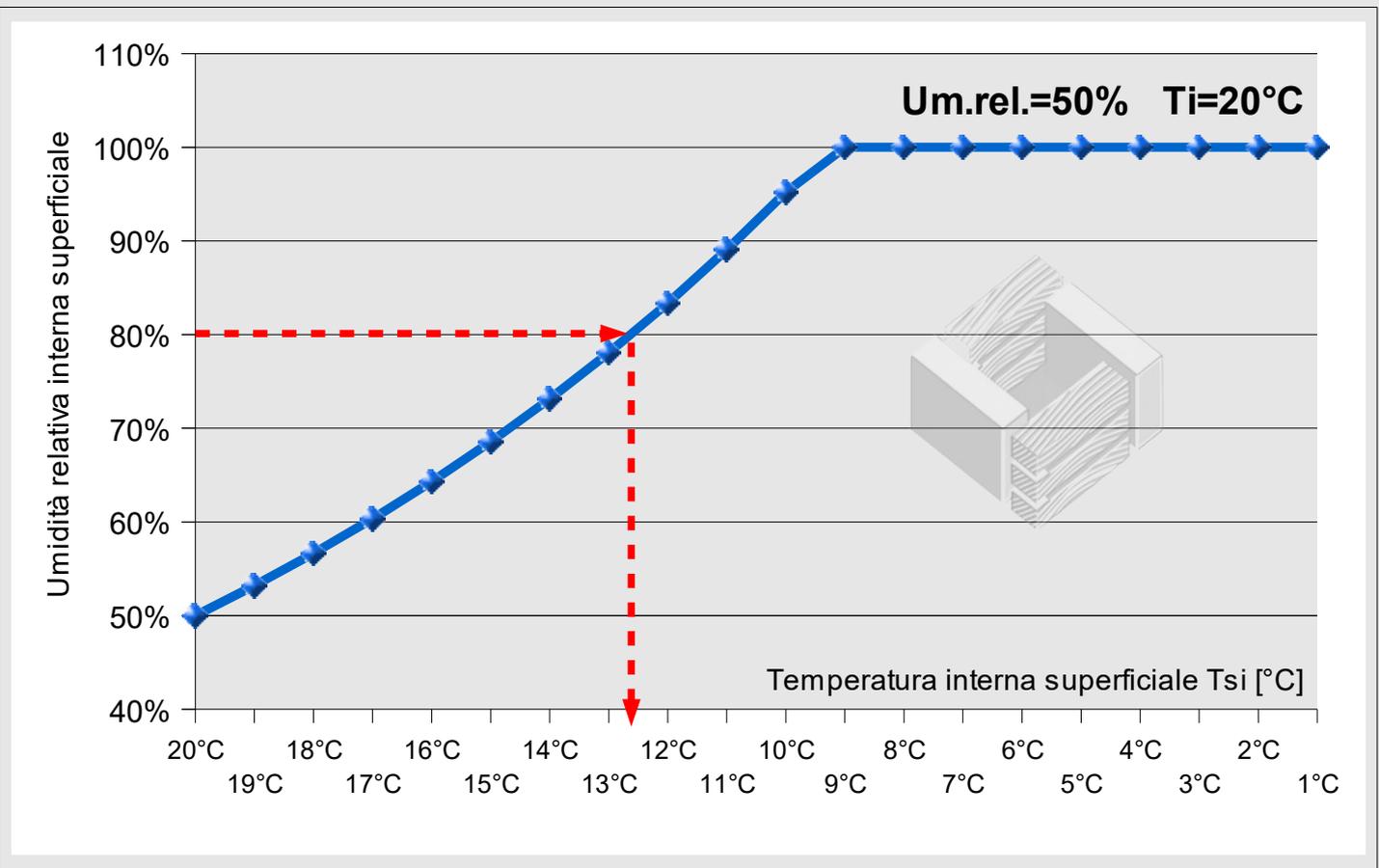


Pericolo muffa



Umidità relativa critica per crescita muffa

Ti	Um.rel.
20°C	50%
19°C	53%
18°C	57%
17°C	60%
16°C	64%
15°C	69%
14°C	73%
13°C	78%
12°C	83%
11°C	89%
10°C	95%
9°C	100%
8°C	100%
7°C	100%
6°C	100%
5°C	100%
4°C	100%
3°C	100%
2°C	100%
1°C	100%



Pericolo muffa

Urel e Timin (UNI 13788 B.1)

Classe 3

T_e	UR_e	$p_{sat,e}$	p_e
1,7°C	86%	690 Pa	594 Pa

Δp	Δp_{cl3}	p_i	$p_{sat}(T_{si})$
810 Pa	815 Pa	1.409 Pa	1.761 Pa

$T_{si,min}$	T_i	$f_{Rsi min}$	$p_{sat}(T_i)$
15,5°C	20,0°C	0,75	2.337 Pa
UR_i			
60%			

Classe	Tipo	Δp
Classe 5	Lavanderie, piscine, ...	1.080 Pa
Classe 4	Alto affollamento, cucine, ...	1.080 Pa
Classe 3	Residenziale	810 Pa
Classe 2	Uffici, negozi	540 Pa
Classe 1	Magazzini	270 Pa

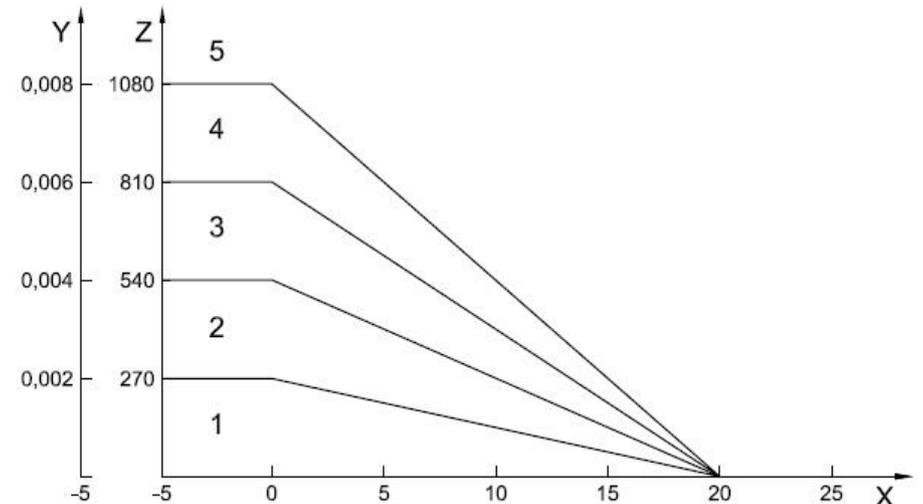
figura A.1 Variazione delle classi di umidità interna in funzione della temperatura esterna

Legenda

X Temperatura media mensile dell'aria esterna, θ_e in °C

Y Δv in kg/m³

Z Δp in Pa



Città	T_e	UR_e	$T_{si,min}$	UR_i	$f_{Rsi min}$
Bari	8,6°C	68%	13,9°C	54%	0,46
Bolzano	1,2°C	55%	13,1°C	52%	0,63
Milano	1,7°C	86%	15,5°C	60%	0,75
Roma	7,6°C	82%	15,5°C	60%	0,64
Verona	2,4°C	82%	15,2°C	59%	0,73

4 Prestazione acustica

Cat	Destinazione	R'_w [dB]	$D_{2m,nT,w}$ [dB]	L'_{nw} [dB]
A	Residenziale	≥ 50	≥ 40	≤ 63
B	Uffici	≥ 50	≥ 42	≤ 55
C	Alberghi	≥ 50	≥ 40	≤ 63
D	Ospedali	≥ 55	≥ 45	≤ 58
E	Scuole	≥ 50	≥ 48	≤ 58
F	Attività ricreative o di culto	≥ 50	≥ 42	≤ 55
G	Attività commerciali	≥ 50	≥ 42	≤ 55

<i>Divisorie</i>	<i>Facciate</i>	<i>Calpestio</i>
------------------	-----------------	------------------

La classificazione acustica (*volontarie*)

promo_legno

Classe acustica	Indici di valutazione					Alberghi	
	$D_{2m,nT,w}$ [dB]	R'_w [dB]	L'_{nw} [dB]	L_{ic} [dBA]	L_{id} [dBA]	$D_{2m,nT,w}$ [dB]	L'_{nw} [dB]
I molto buona	≥ 43	≥ 56	≤ 53	≤ 25	≤ 30	≥ 56	≤ 53
II buona	≥ 40	≥ 53	≤ 58	≤ 28	≤ 33	≥ 53	≤ 58
III di base	≥ 37	≥ 50	≤ 63	≤ 32	≤ 37	≥ 50	≤ 63
IV modesta	≥ 32	≥ 45	≤ 68	≤ 37	≤ 42	≥ 45	≤ 68

<i>Facciate</i>	<i>Divisorie</i>	<i>Calpestio</i>	<i>Impianti continui</i>	<i>Impianti discontinui</i>	<i>Facciate</i>	<i>Calpestio</i>
-----------------	------------------	------------------	--------------------------	-----------------------------	-----------------	------------------

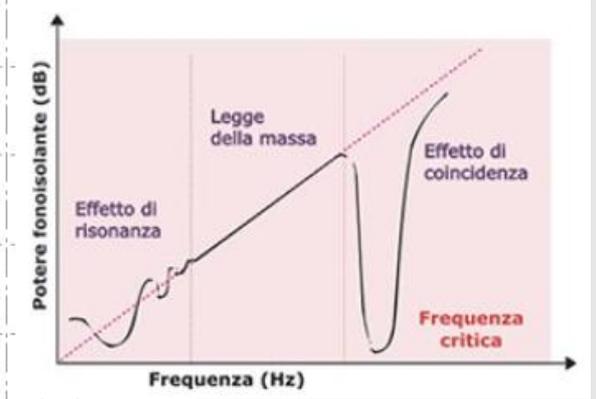
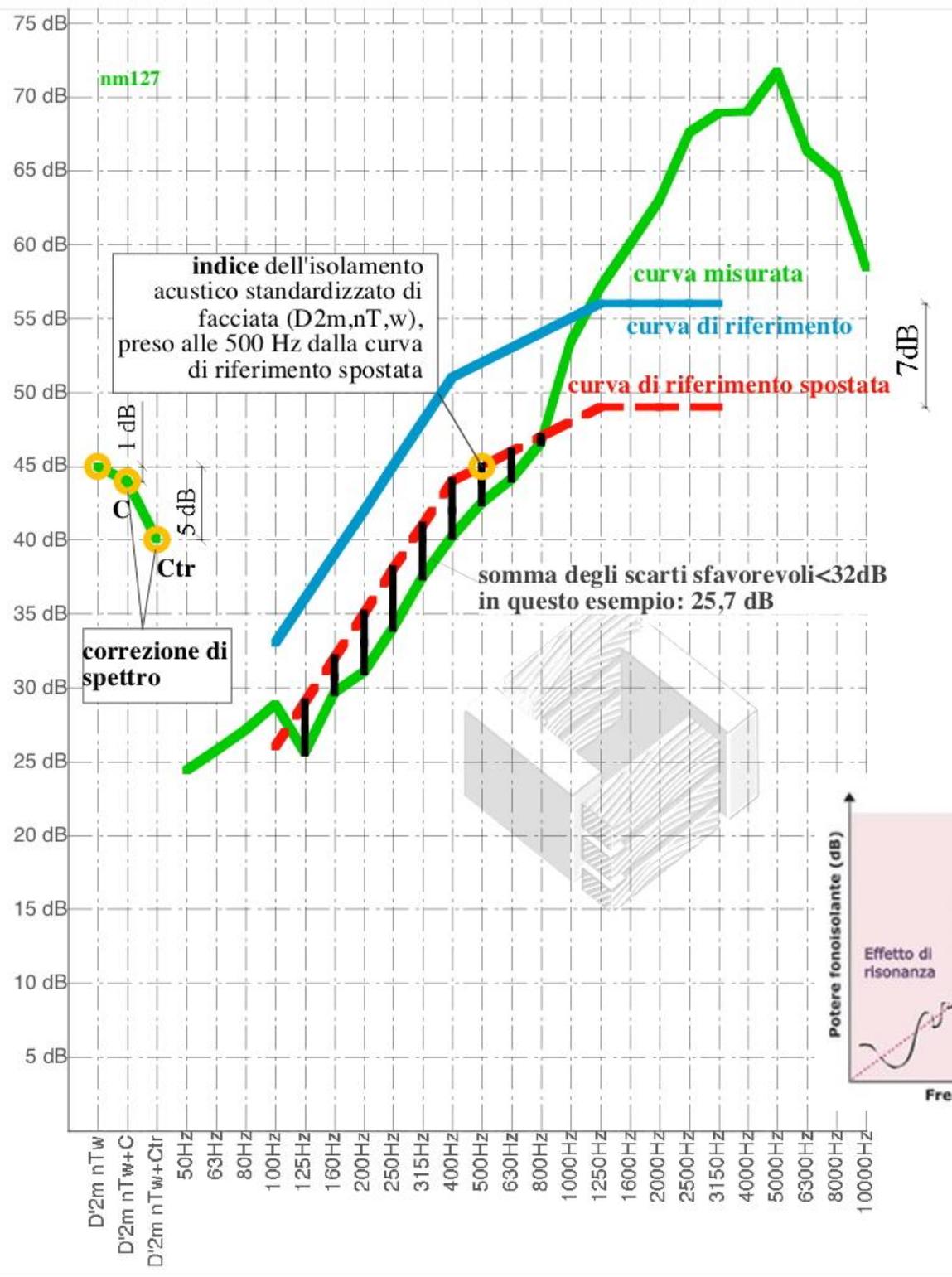
Nota: esclusi scuole e ospedali

Efficacia dell'isolamento acustico di facciata

Rumore esterno	Classe di isolamento acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$)			
	IV	III	II	I
Molto silenzioso	Di base	Buona	Molto buona	Molto buona
Abbastanza silenzioso	Modesta	Di base	Buona	Molto buona
Mediamente rumoroso	Modesta	Modesta	Di base	Buona
Molto rumoroso	Modesta	Modesta	Modesta	Di base

TEST

promo_legno







I punti seguenti riassumono in modo generale elementi da considerare per elementi in X-Lam

- Il principio massa-molla-massa funziona anche con i pannelli X-Lam sia in parete che tetto che solaio.
- Masse aggiuntive sono importanti per ridurre il passaggio di rumore a frequenze basse (p.e. traffico, aerei, ...) e al calpestio.
- Coibentazioni leggeri-rigidi (polistirene espanso, polistirene estruso, ...) hanno bisogno di masse aggiuntive.
- Le aperture, come crepe o imperfezioni di lavoro che aprono fughe aperte verso l'esterno (mancanza di tenuta all'aria) indeboliscono l'isolamento acustico, specie se l'aria passa attraverso superfici acusticamente non assorbenti. Per esempio, i materiali fibrosi, in questo caso sono più adatti dei materiali rigidi, perché assorbono il rumore.

- Anche tutte le altre aperture come le finestre e tubi influiscono molto sul risultato complessivo. L'elemento più debole influisce di più. Economicamente conviene minimizzare le differenze di isolamento acustico nella facciata.
- Elementi che passano dall'interno all'esterno (travetti, travi, ...) conducono molto rumore all'interno. Termicamente e acusticamente è meglio una soluzione con elementi esterni attaccati.

Attenzione: In cantiere spesso succedono situazioni non previste, per cui è importantissimo non prevedere di rimanere a ridosso del limite di legge. Si consiglia di lasciarsi un margine sicurezza di almeno 5 dB.

dataholz.com
Servizio di Holzforschung Austria

Contatti | Condizioni d'uso

Costruire con il legno Progetti e Tecnologie | materialelegno Rivista | Convegni e Corsi Formazione | Calcolo Coperture Tool Online | promo_legno rispor Consulenza tecnica

Home / Parete esterna

Parete esterna

Componenti da costruzione - Parete esterna

Identificazione in base al tipo di costruzione

Costruzione vano tecnico
costruzione massiccia di legno con vano tecnico

Retroventilazione
retroventilato

Facciata
intonacata

Identificazione in base alle proprietà fisico-costruttive

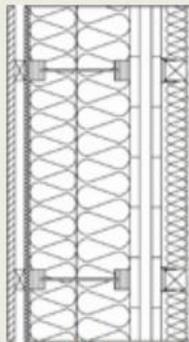
Protezione dal fuoco
-

Protezione dal rumore
 $R_w(C, C_{tr})$ 47-58
 $L_{n,w}(C_l)$

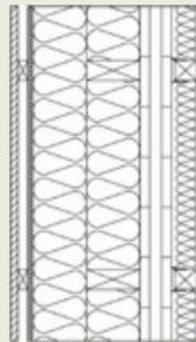
Protezione termica
 U $\leq 0,20$

Azzera Visualizza

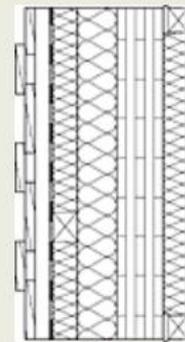
Risultato



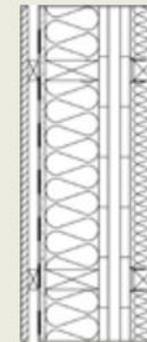
awmhh01a
Quantità di varianti: 3



awmhh02a
Quantità di varianti: 3



awmoh01a
Quantità di varianti: 5

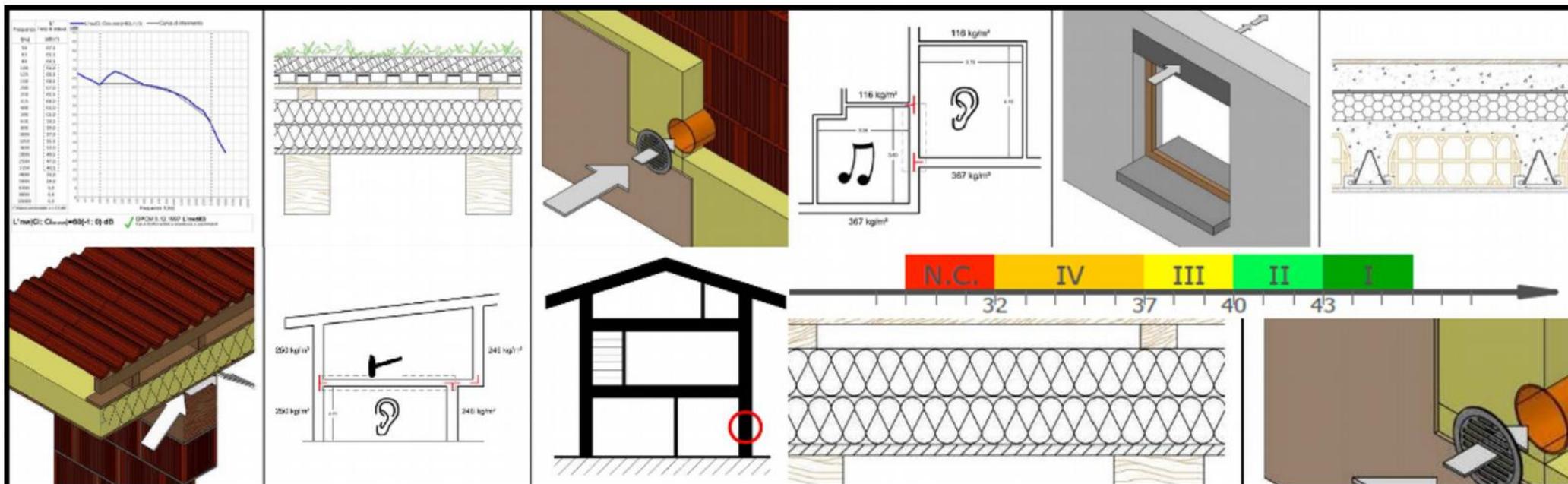


awmoh02a
Quantità di varianti: 4

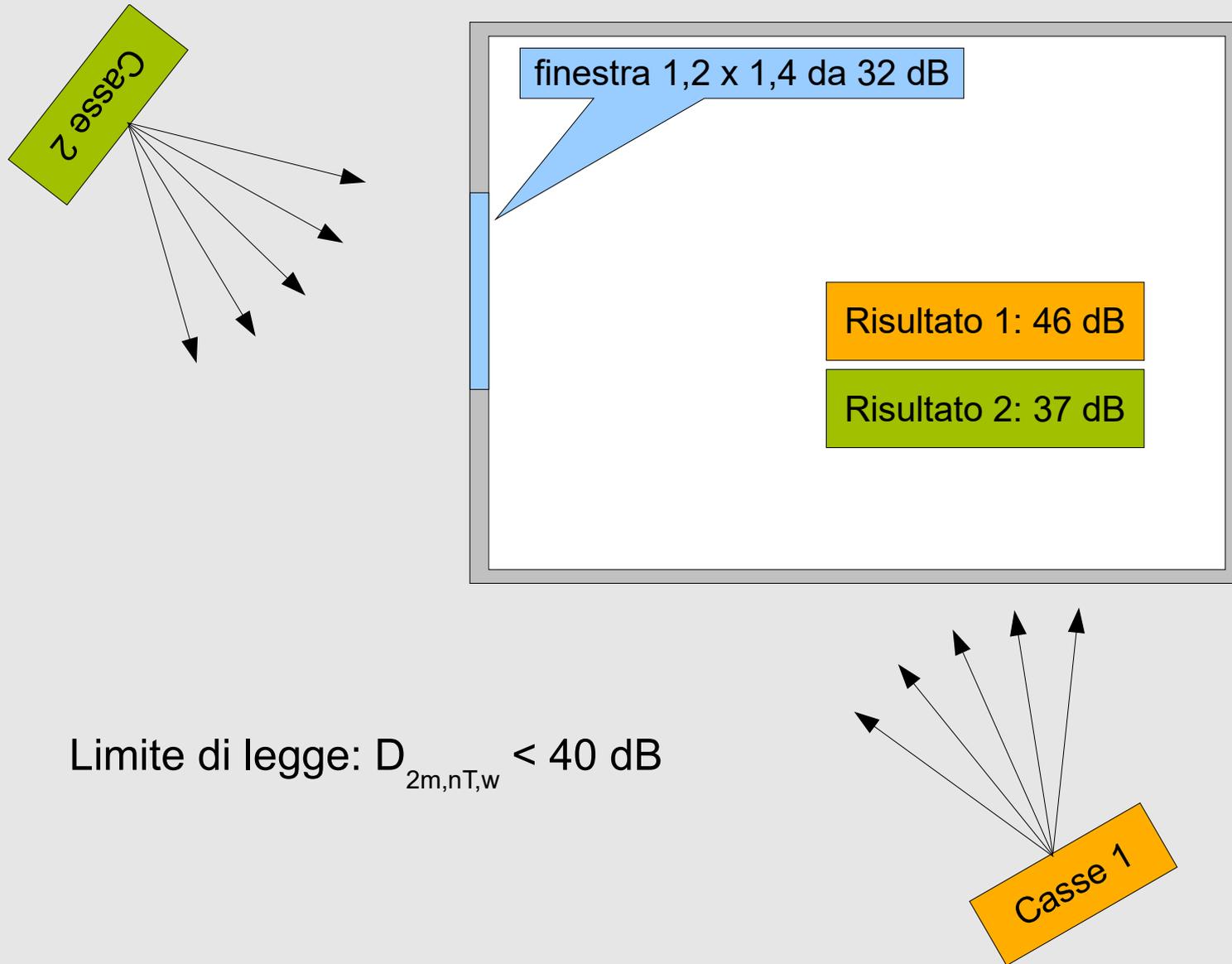


Catalogo degli elementi costruttivi per l'acustica in edilizia

Uno strumento per costruire o ristrutturare case e appartamenti con un buon isolamento acustico, per proteggere la nostra abitazione dal rumore interno, dei vicini per esempio, o dal rumore esterno provocato da strade, treni, cantieri etc.



Esempio reale





Günther Gantioler

TBZ - Centro di Fisica Edile

Via Oberdorf 11, I-39040 Barbiano

Web: www.tbz.bz Email: info@tbz.bz



FISICA TECNICA CERTIFICAZIONI MISURE CORSI