

Indice

Legno – caratteristiche del materiale	pag.2
Comportamento invernale	pag.12
Comportamento estivo	pag.25
Acustica	pag.34
Tenuta all'aria	pag.48
particolari costruttivi	pag.61

Legno – caratteristiche del materiale

dilatazione termica $\alpha = \frac{1}{L} \frac{dL}{dT}$

La dilatazione termica (longitudinale) del legno $\alpha_{tl} \sim 3 \times 10^{-6} \div 6 \times 10^{-6} [K^{-1}]$ è **inferiore rispetto ad altri materiali da costruzione**. (esempio cemento armato $\alpha_t \sim 12 \times 10^{-6} [K^{-1}]$).
Perciò la dilatazione termica è generalmente trascurabile nelle costruzioni.

„densità”/massa volumica ρ [kg/m³] dipende dall'umidità

XLAM: $\rho \sim 500$ [kg/m³]

laterizio: $\rho \sim 800$ [kg/m³]

cemento armato $\rho \sim 2400$ [kg/m³]

lana di roccia ~ 180 [kg/m³]

fibra di legno ~ 200 [kg/m³]

Siccome la massa volumica è **inferiore** rispetto a molti altri materiali da costruzione è il materiale **ideale anche per sopraelevazioni di edifici esistenti**.

umidità

rapporto (percentuale) tra il **peso dell'acqua contenuta** nel legno e suo **peso anidro**

$$u = \frac{(p - p_o)}{p_o} \cdot 100 \quad [\%] \quad p = \text{peso umido}; p_o = \text{peso anidro}$$

$u > 100\%$ è possibile se legno fresco umido

$u \sim 30\%$ punto **saturazione** fibre/pareti cellulari, sopra questo punto si accumulo “acqua in forma liquida”

$u \sim 12\%$ (**umidità di equilibrio**) ($< 16\%$) ($t_a \sim 20^\circ C$; $u_r \sim 65\%$) **legno essiccato all'aria**

($u \sim 500\%$ legno archeologico immerso totalmente deidratato)

Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
 Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

Esempio:
$$u = \frac{(p - p_0)}{p_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

1m³ di legno pesa per esempio 675kg con un'umidità u=25%

Il peso anidro di questo legno p₀ = 675/1,25 = 540 kg

Quindi l'acqua contenuta è di ca. 675-540 = ca. 135 kg

Il legno è in grado di accumulare tanta acqua ! Un'esempio semplice, che risulta come tante altre informazioni su www.promolegno.com lo descrive perfettamente:

massa volumica abete rosso alla saturazione (u~30%) delle fibre legnose sia 700 kg/m³.

1m³ di legno = 700/1,3 = 538 kg di legno + (700-538) = 162 kg di acqua adsorbita

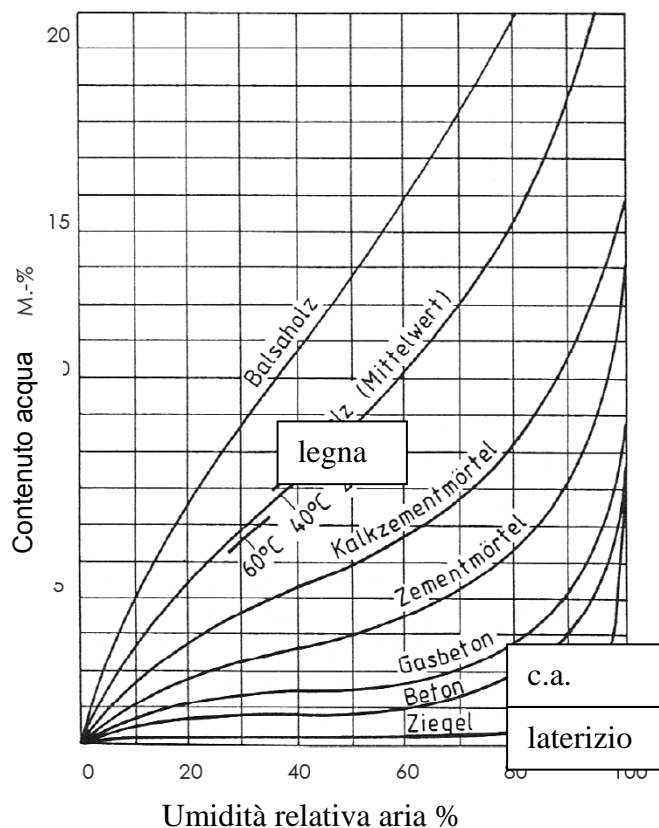
massa volumica della sola parete cellulare ~ 1500 kg/m³,

per cui 538 kg di legno, (senza pori) occupano 0,538 / 1,5 = 0,358 m³.

Quindi il volume delle cavità disponibile ~ 1m³ - 0,358m³ - 0,162m³ = 0,48m³

Quindi una volta occupate tutte le cavità disponibili, la massa contenuta nel cubo unitario

~ 538 (legno) + 162 (acqua adsorbita) + 480 (acqua libera) = 1180 kg.



Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
 Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

$$w = \frac{u}{100+u} \times 100$$

$$u = \frac{w}{100-w} \times 100$$

*massa di acqua contenuta nel legno * 100*
Massa totale del legno umido

Tabella umidità di equilibrio secondo "situazione climatica"

umidità relativa aria [%]:	umidità di equilibrio (% massa):						
	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
90%	21,1	21	21	20,8	20	19,8	19,3
85%	18,1	18	18	17,9	17,5	17,1	16,9
80%	16,2	16	16	15,8	15,5	15,1	14,9
75%	14,7	14,5	14,3	14	13,9	13,5	13,2
70%	13,2	13,1	13	12,8	12,4	12,1	11,8
65%	12	12	11,8	11,5	11,2	11	10,7
60%	11	10,9	10,8	10,5	10,3	10	9,7
55%	10,1	10	9,9	9,7	9,4	9,1	8,8
50%	9,4	9,2	9	8,9	8,6	8,4	8
45%	8,6	8,4	8,3	8,1	7,9	7,5	7,1
40%	7,8	7,7	7,5	7,3	7	6,6	6,3
35%	7	6,9	6,7	6,4	6,2	5,8	5,5
30%	6,2	6,1	5,9	5,6	5,3	5	4,7
25%	5,4	5,3	5	4,8	4,5	4,2	3,8
Temp. [°C]:	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°

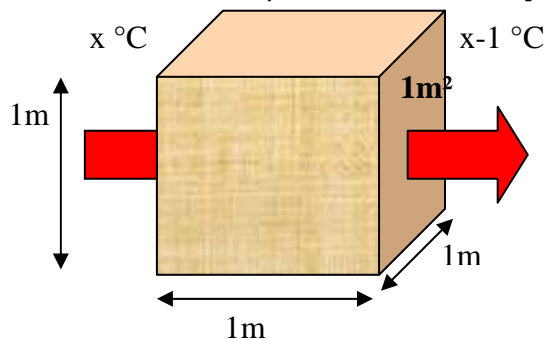
fonte: Keylwert e U.S. Forest Products Laboratory, Madison 1951

Superfici interne con capacità di assorbire l'umidità dall'aria e di restituirla sfasato all'aria ambiente aiutano ad evitare picchi di umidità.

Anche lastre di gesso assorbono molta più umidità rispetto ad un intonaco cementizio.

conducibilità termica λ

Per conduttività termica s'intende la quantità di calore che viene trasmessa attraverso 1m^2 di un materiale con uno spessore di 1 metro se la differenza di temperatura è di un 1°C (1 Kelvin). L'unità si misura in Watt per metro e Kelvin [$\text{W}/(\text{mK})$].



Quanto peggio un materiale conduce il calore, tanto meglio è indicato per isolare.

Il grado d'umidità influisce sulla conduttività termica di un materiale.

Le percentuali **d'aria racchiusi** in un elemento di costruzione e il modo in cui sono racchiusi **possono migliorare radicalmente la conduttività termica.**

$\lambda \sim 0,1 \div 0,2$ [W/mK] flusso di calore trasversale alla fibra (ca. il doppio λ per flusso di calore lungo la fibra)

legno/**XLAM** $\lambda \sim 0,13$ [W/mK]

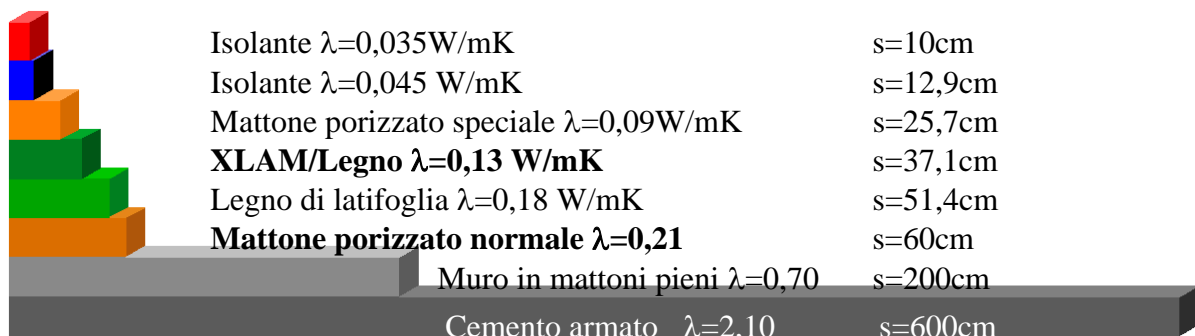
cemento armato $\lambda \sim 2,3$ [W/mK]

laterizio forato $\lambda \sim 0,3$ [W/mK]

aria $\lambda \sim 0,026$ [W/mK]

acqua $\lambda \sim 0,58$ [W/mK]

La conducibilità termica del legno è molto inferiore rispetto ad altri materiali di costruzione.



Rapporto di dipendenza tra lo spessore del materiale e la trasmittanza termica.

resistenza termica R

La resistenza termica R si calcola come segue:

$$R = s / \lambda \text{ [m}^2\text{K/W]}$$

s = spessore di un strato [m]; λ = conduttività termica in [W/(mK)]

Quando si hanno elementi strutturali a più strati (p.es. rivestimento interno, muro, cappotto esterno, intonaco esterno) il calcolo viene fatto per ogni strato singolarmente, sommando alla fine i singoli risultati.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Resistenza termica totale $R_{T=RT} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$ [m²K/W]

R_{si} : Resistenza termica superficiale interna (surface interior) [m²K/W]

R_1, R_2, \dots, R_n : Resistenza termica di ogni strato: $R=s/\lambda$ [m²K/W]

R_{se} : Resistenza termica superficiale esterna (surface exterior) [m²K/W]

Come mostra la formula sopra nominata, la resistenza termica totale di un elemento costruttivo comprende anche la resistenza termica superficiale interna ed esterna dell'elemento. La resistenza termica totale tiene conto di tutte le resistenze di un elemento costruttivo ed è quindi la base per il calcolo della trasmittanza termica (valore U).

trasmittanza termica (valore U) [W/m²K]

Il valore U è l'attuale termine che esprime la trasmittanza termica. È stato introdotto con il processo dell'armonizzazione europea e sostituisce la vecchia denominazione con la lettera "k". Il valore U rappresenta la quantità di calore ceduta attraverso un elemento costruttivo (parete, tetto, soffitto ecc.) con un determinato spessore (s) per m² di superficie e per grado di temperatura Kelvin. La sua unità di misura è W/(m²K). **Più basso il valore U, meno calore (e quindi energia) va perso**; ciò vuol dire che **l'elemento costruttivo "isola" meglio**.

coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore μ

Indica quanto maggiore è la resistenza alla diffusione del vapore acqueo di un materiale rispetto ad uno strato d'aria di spessore equivalente. Un valore basso indica che il materiale è aperto alla diffusione del vapore acqueo.

$$\mu = 1 \mu_{\text{aria}} = 1 \text{ [-]}$$

XLAM / legna secca $\mu \sim 50$ [-]

Laterizio forato $\mu \sim 8$ [-]

Cemento armato $\mu \sim 80$ [-]

EPS espanso $\mu \sim 60$ [-]

XPS estruso $\mu \sim 150$ [-]

Fibra minerale $\mu \sim 1$ [-]

Punto di rugiada: (formazione di condensa superficiale)

In caso di bassa temperatura esterna e scarso isolamento dell'involucro dell'edificio, la superficie interna può diventare così fredda da risultare al di sotto del punto di rugiada. L'aria interna che si trova vicina a questa superficie fredda, si raffredda al punto da risultare minore della temperatura di rugiada cosicché sulla superficie si forma della condensa. La condensa superficiale sul lato caldo degli elementi costruttivi **si può impedire solo con un buon isolamento termico ed evitando ponti termici.**

La temperatura di rugiada si calcola con la seguente formula:

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

T_{rugiada} = temperatura di rugiada [°C]

φ = umidità relativa interna [%]

T_i = temperatura interna [°C]

Esempio: **temperatura interna di 20°C e umidità relativa 60%.**

Calcolo della temperatura di rugiada: $T_{\text{rugiada}} = (\varphi/100)^{0,1247} \cdot (109,8 + T_i) - 109,8$

$$T_{\text{rugiada}} = (60/100)^{0,1247} \cdot (109,8 + 20) - 109,8 = 12^\circ\text{C}$$

Se una parte dell'involucro dell'edificio ha una temperatura della superficie interna inferiore di 12°C, l'aria interna si raffredderà **a tal punto da rilasciare condensa.**

Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
 Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

Naturalmente il punto di rugiada è rilevante solo se vi arriva l'aria interna. Come si vede la condensa si forma solo su superfici che sono più fredde di +12°C. **Ne segue che se la temperatura all'interno di un elemento costruttivo è al di sotto di +12°C, non si forma condensa interstiziale perché non vi arriva aria interna.** È quindi presupposto realizzare un involucro a tenuta d'aria per impedire all'aria di attraversare l'elemento costruttivo (per convezione) (nessuna presunta "parete che respira").

temp. aria [°C]	Temperatura di rugiada per diverse umidità relative interna variabile															
	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
2	-16,7	-14,3	-12,3	-10,6	-9,1	-7,7	-6,5	-5,4	-4,4	-3,4	-2,6	-1,7	-1,0	-0,2	0,5	1,3
4	-15,1	-12,7	-10,7	-9,0	-7,4	-6,1	-4,8	-3,7	-2,7	-1,7	-0,9	0,0	0,9	1,7	2,5	3,3
6	-13,6	-11,2	-9,1	-7,4	-5,8	-4,4	-3,2	-2,1	-1,0	-0,1	1,0	1,9	2,8	3,7	4,5	5,3
8	-12,1	-9,6	-7,6	-5,8	-4,2	-2,8	-1,6	-0,4	0,7	1,8	2,9	3,8	4,8	5,6	6,5	7,2
10	-10,6	-8,1	-6,0	-4,2	-2,6	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2
12	-9,1	-6,6	-4,4	-2,6	-1,0	0,5	1,9	3,3	4,5	5,6	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2
14	-7,6	-5,1	-2,9	-1,1	0,6	2,3	3,8	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2
15	-6,9	-4,3	-2,1	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,0	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	14,2
16	-6,1	-3,5	-1,4	0,6	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2
17	-5,4	-2,8	-0,6	1,4	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,5	15,3	16,2
18	-4,7	-2,0	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2
19	-3,9	-1,3	1,1	3,2	5,1	6,8	8,4	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2
20	-3,2	-0,5	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2
21	-2,5	0,2	2,8	5,0	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2
22	-1,7	1,1	3,6	5,8	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2
23	-1,0	1,9	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2
24	-0,3	2,8	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1
25	0,5	3,6	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1
26	1,3	4,5	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1
28	3,0	6,2	8,8	11,1	13,1	15,0	16,6	18,1	19,5	20,8	22,0	23,1	24,2	25,2	26,2	27,1
30	4,6	7,8	10,5	12,9	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2	29,1
32	6,2	9,5	12,3	14,6	16,7	18,6	20,3	21,8	23,3	24,6	25,8	27,0	28,1	29,2	30,1	31,1
35	8,7	12,0	14,8	17,2	19,4	21,3	23,0	24,6	26,1	27,4	28,7	29,9	31,0	32,1	33,1	34,1
40	12,8	16,2	19,1	21,6	23,8	25,8	27,6	29,2	30,7	32,1	33,5	34,7	35,9	37,0	38,0	39,0

La protezione termica minima e l'individuazione della temperatura minima superficiale sono regolate in Italia dalla **UNI EN ISO 13788**. I dati climatici risultano della UNI 10349. Poiché la muffa si può già formare qualora l'umidità relativa superficiale superi l'80% per un tempo prolungato, nella norma UNI EN ISO 13788 la temperatura superficiale minima e il fattore minimo di temperatura f_{Rsi} si calcolano con il fattore 0,8. **Il D.Lgs. 192** del 19 agosto 2005, aggiornato a novembre 2006 e approvato dal Consiglio dei Ministri, rappresenta l'attuazione della normativa europea 2002/91/CE in Italia. Il nominato decreto

prevede al supplemento 1: comma 11 tra l'altro **che non si possa formare condensa superficiale sull'elemento costruttivo ad una temperatura interna di 20°C ed ad un'umidità relativa interna del 65%**, qualora non esista un sistema di controllo dell'umidità relativa interna. La **temperatura di rugiada sarà allora di +13,2°C**. Ogni superficie interna che assume una temperatura superficiale inferiore di +13,2°C con una temperatura d'ambiente interno a 20°C, non è dunque ammessa secondo questo decreto.

Diffusione del vapore acqueo: Formazione di condensa interstiziale in un elemento costruttivo

Solo qualora ci si sia assicurati che non viene trasportata umidità tramite convezione all'interno di un elemento costruttivo (involucro dell'edificio a tenuta d'aria), ha senso considerare la diffusione del vapore acqueo. Nella diffusione le molecole di vapore acqueo passano attraverso un elemento costruttivo in direzione del gradiente della pressione parziale del vapore acqueo. Se la stratificazione di un elemento costruttivo è sfavorevole, si può formarsi condensa interstiziale. Il calcolo della diffusione di vapore acqueo in Italia è regolato dalla UNI EN ISO 13788 che sostituisce la UNI 10350. Base del calcolo è il diagramma di Glaser. A differenza di questo la UNI 13788 prevede un procedimento di bilancio mensile, mentre il vecchio diagramma Glaser è un procedimento a due blocchi. Per il calcolo servono i dati climatici della UNI 10349.

Per il calcolo della diffusione serve il fattore di resistenza igroscopica μ .

Lo **spessore equivalente d'aria per la diffusione del vapore s_d** è il prodotto dello spessore dello strato in metri e il fattore di resistenza igroscopica μ .

$$s_d = s \times \mu \text{ [m]}$$

La UNI EN ISO 13788 prescrive che la **formazione di condensa in un elemento è consentita solo se la condensa evapora completamente almeno una volta all'anno e se la formazione massima di condensa non superi i valori soglia della seguente tabella** per garantire che la quantità di condensa venga assorbita dall'elemento senza rischio di degrado del materiale edilizio.

NA.1.5. UNI EN ISO 13788:2003	Densità [kg/m ³]	W [g/(m ²)]
Laterizi	600-2000	≤500
Calcestruzzo	400-2400	≤500
Legnami e derivati	500-800	≤30 ρ d
Intonaci e malte	600-2000	≤30 ρ d
Fibre di natura organica:		
con collanti resistenti all'acqua	300-700	≤20 ρ d
con collanti non resistenti all'acqua	300-700	≤ 5 ρ d
Fibre minerali	10-150	≤5000 ρ d [λ/(1-1,7λ)]
Materie plastiche cellulari	10-80	≤5000 ρ d [λ/(1-1,7λ)]

Quantità di condensa massima consentita rispetto al materiale di costruzione: dall'appendice nazionale NA.1.5 della norma UNI EN ISO 13788 (osservazione: d=spessore strato in m, λ =conduttività termica in W/mK, ρ=densità in kg/m³).

Situazione tranquilla se s_d diminuisce dall'interno verso l'esterno, se $s_{dinterno} \sim 12 \times s_{desterno}$ praticamente nessun pericolo di condensa.

Capacità termica ... "capacità del materiale di immagazzinare calore"

XLAM capacità termica specifica: 1,600 kJ/kgK

Cemento armato : 0,880 kJ/kgK

Fibra minerale : 0,840 kJ/kgK

fibra di legno 2,1 J/kgK

La capacità termica specifica di un materiale è la **quantità d'energia necessaria per riscaldare 1 kg di sostanza di 1°C (1°K)**. L'unità di misura corrente è J/(kg*K). **La capacità termica specifica è particolarmente importante per la protezione contro il surriscaldamento estivo** ed è la base per il calcolo dello sfasamento ed attenuazioni d'ampiezza.

Profondità di penetrazione termica b

Indica con quanta velocità un materiale di costruzione assorbe o cede calore.

La profondità di penetrazione termica b si calcola così: $b = \sqrt{\lambda * c * \rho}$ [kJ/(m²h^{1/2}K)] o [W s^{1/2}/m²K]. **Toccando un materiale con un alto valore b questo cede velocemente il calore e il materiale viene percepito come freddo.**

Calcestruzzo ~ 2000 [Ws^{1/2}/m²K]

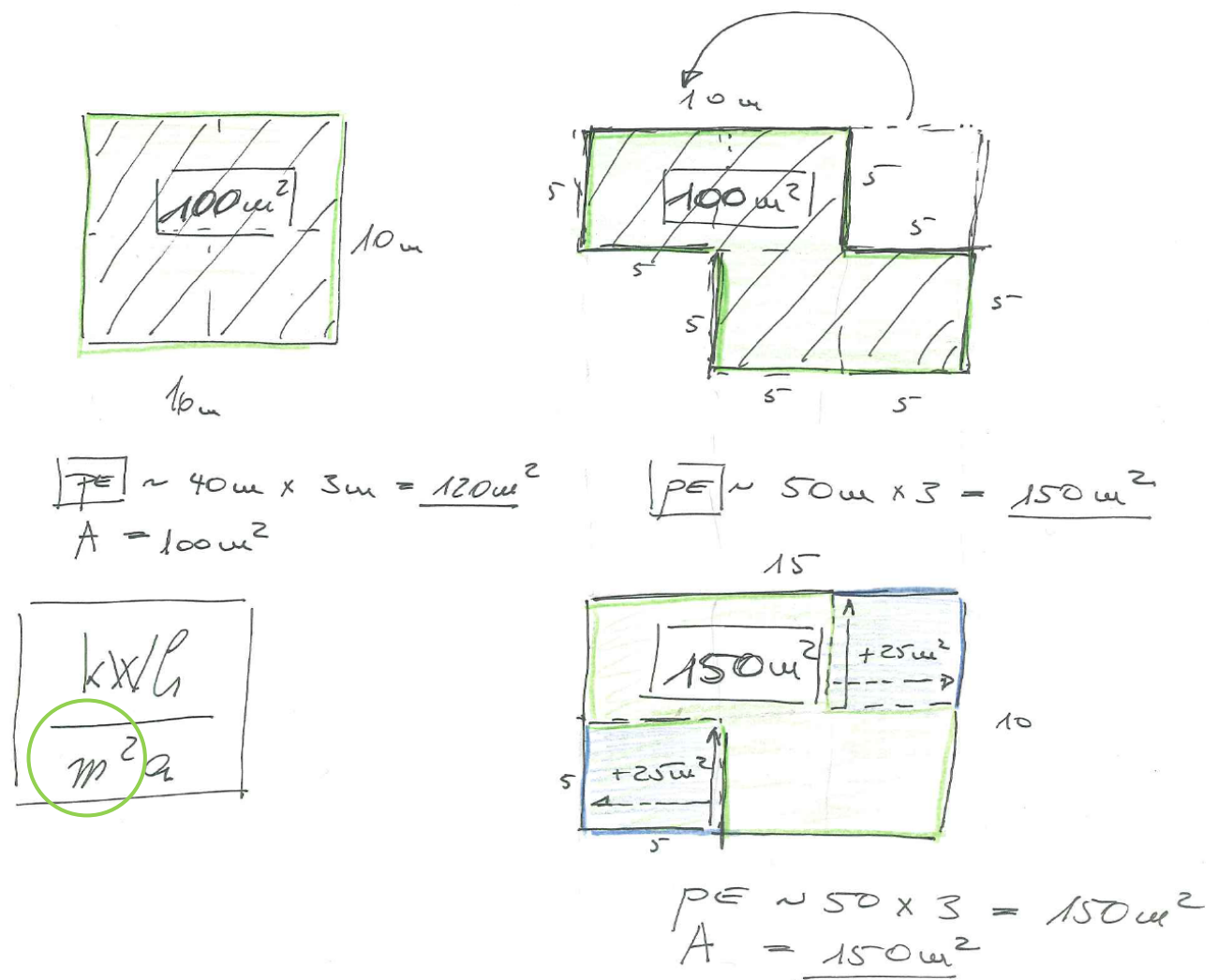
Laterizio ~ 1200 [Ws^{1/2}/m²K]

Legno ~500 [Ws^{1/2}/m²K]

Sughero ~200 [Ws^{1/2}/m²K]

Comportamento invernale

La cosa più importante per un fabbisogno di riscaldamento basso relativo, non è sempre solo l'esecuzione delle singole strutture ma spesso molto importante è il **rapporto „superficie/volume“** dell'edificio e **l'orientamento delle superfici trasparenti**.

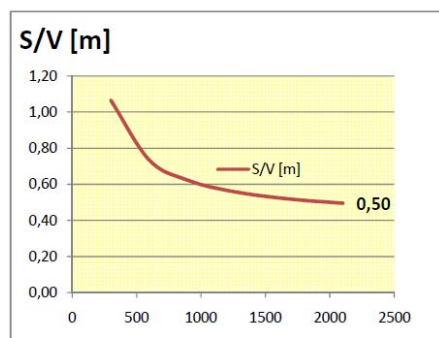


Come vediamo nello schizzo per l'appartamento di 100m² **cambiando solamente la forma aumenta la superficie disperdente da 120m² a 150m² = + 30m² (+25%).**

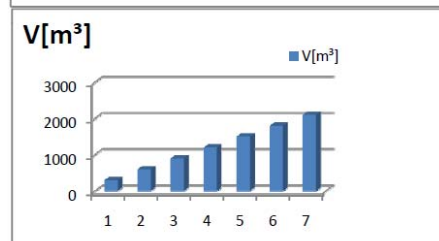
Se in caso di risanamento energetico posso chiudere questi angoli la **superficie disperdente sulla facciata rimane invariata**, ma la **superficie dell'appartamento aumenta da 100m² a 150m² = +50m² (+50%).**

Quanto funziona in pianta vale naturalmente anche per la sezione.

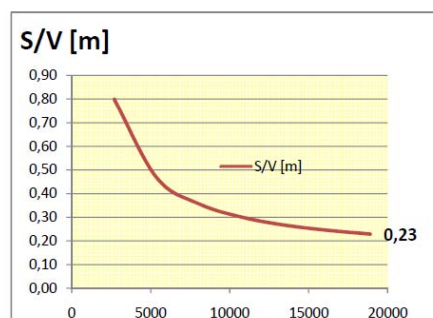
edificio piani	l [m]	b [m]	h [m]	S[m ²]	V[m ³]	S/V [m]
1	10	10	3	320	300	1,07
2	10	10	6	440	600	0,73
3	10	10	9	560	900	0,62
4	10	10	12	680	1200	0,57
5	10	10	15	800	1500	0,53
6	10	10	18	920	1800	0,51
7	10	10	21	1040	2100	0,50



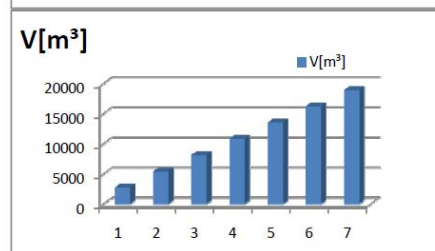
Esempio casa **10m x 10m x n-piani**



edificio piani	l [m]	b [m]	h [m]	S[m ²]	V[m ³]	S/V [m]
1	30	30	3	2160	2700	0,80
2	30	30	6	2520	5400	0,47
3	30	30	9	2880	8100	0,36
4	30	30	12	3240	10800	0,30
5	30	30	15	3600	13500	0,27
6	30	30	18	3960	16200	0,24
7	30	30	21	4320	18900	0,23



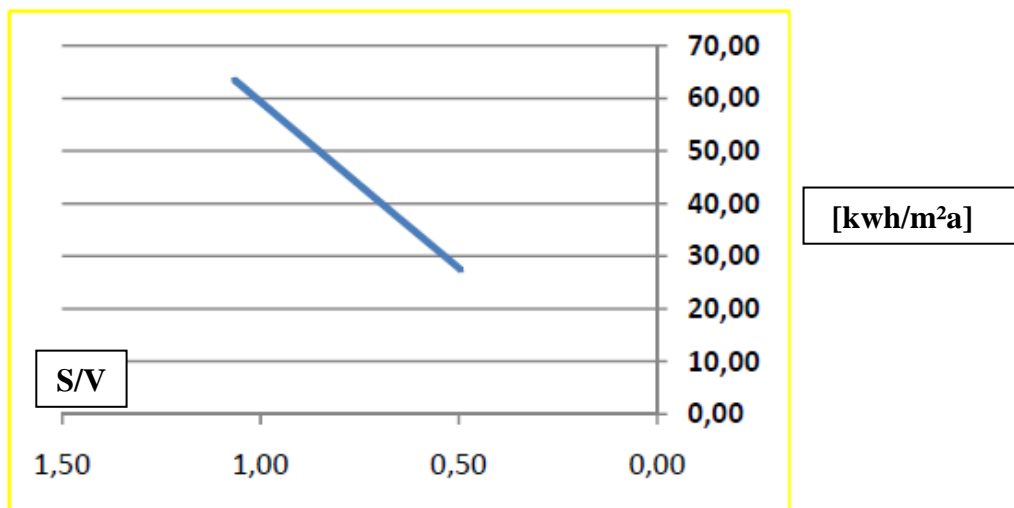
Esempio casa **30m x 30m x n-piani**



Questo discorso **incide naturalmente molto sul discorso della certificazione energetica [kwh/m²a].**

Perciò edifici di una certa dimensione avranno normalmente risultati migliori rispetto a piccola case unifamiliari, senza migliorare stratigrafie di strutture.

GG [Kd/a]	2195 milano			
Um [W/m ² K]	0,4 [W/m ² K]			
Qt[kWh/a] ~ UxSxGGx0,024				
	Qv[kWh/a] ~ 0,33x0,5xVxGGx0,024			
		~ -nQi-nQs (stima 30W/m ²)		[kWh/m²a]
		Qh ~		
6.743,04	2.607,66	-3.000,00	6.350,70	63,51
9.271,68	5.215,32	-6.000,00	8.487,00	42,44
11.800,32	7.822,98	-9.000,00	10.623,30	35,41
14.328,96	10.430,64	-12.000,00	12.759,60	31,90
16.857,60	13.038,30	-15.000,00	14.895,90	29,79
19.386,24	15.645,96	-18.000,00	17.032,20	28,39
21.914,88	18.253,62	-21.000,00	19.168,50	27,38



Esempio molto semplificato!:
 casa 10m x 10m x n-piani – „andamento“ riduzione [kwh/m²a] tramite miglioramento S/V

Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
 Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

Valori U [W/m²K] limite Dlgs311/2006 allegato C (pan)

Direttiva europea 2002/91/CE – 31/2010/UE -> Regolamenti nazionali DPR 59/2009;
 Dlgs28/2011Dlgs 311/2006 (Dlgs192/2005)(ex lg 10/1991) (-> e direttive locali) ecc.

Trasmittanza termica

strutture opache verticali	
Zona climatica	Dall'1 gennaio 2010 U (W/m ² K)
A	0,62
B	0,48
C	0,4
D	0,36
E	0,34
F	0,33

Pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno	
Zona climatica	Dall'1 gennaio 2010 U (W/m ² K)
A	0,65
B	0,49
C	0,42
D	0,36
E	0,33
F	0,32

strutture opache orizzontali o inclinate	
Zona climatica	Dall'1 gennaio 2010 U (W/m ² K)
A	0,38
B	0,38
C	0,38
D	0,32
E	0,3
F	0,29

chiusure trasparenti comprensive degli infissi	
Zona climatica	Dall'1 gennaio 2010 U (W/m ² K)
A	4,6
B	3
C	2,6
D	2,4
E	2,2
F	2

VETRI	
Zona climatica	Dall'1 gennaio 2010 U (W/m ² K)
A	3,7
B	2,7
C	2,1
D	1,9
E	1,7
F	1,3

Parete esterna XLAM

$$U = 1 / (R_{si} + R_{tot} + R_{sa}) \quad [W/m^2K]$$

$$R = s / \lambda \quad [m^2K/W]$$

strato	s[m]	λ [W/mK]	Rx
lastra di gesso	0,02	0,40	0,05
XLAM	0,14	0,13	1,08
isolamento	0,12	0,04	3,00
intonaco	0,05	1,00	0,05
R _{si} +R _{sa} =			0,17
s(tot) [m]	0,33		

U = 0,23 [W/m²K]

Parete esterna laterizio

$$U = 1 / (R_{si} + R_{tot} + R_{sa}) \quad [W/m^2K]$$

$$R = s / \lambda \quad [m^2K/W]$$

strato	s[m]	λ [W/mK]	Rx
intonaco	0,01	1,00	0,01
laterizio	0,25	0,21	1,19
isolamento	0,12	0,04	3,00
intonaco	0,05	1,00	0,05
R _{si} +R _{sa} =			0,17
s(tot) [m]	0,43		

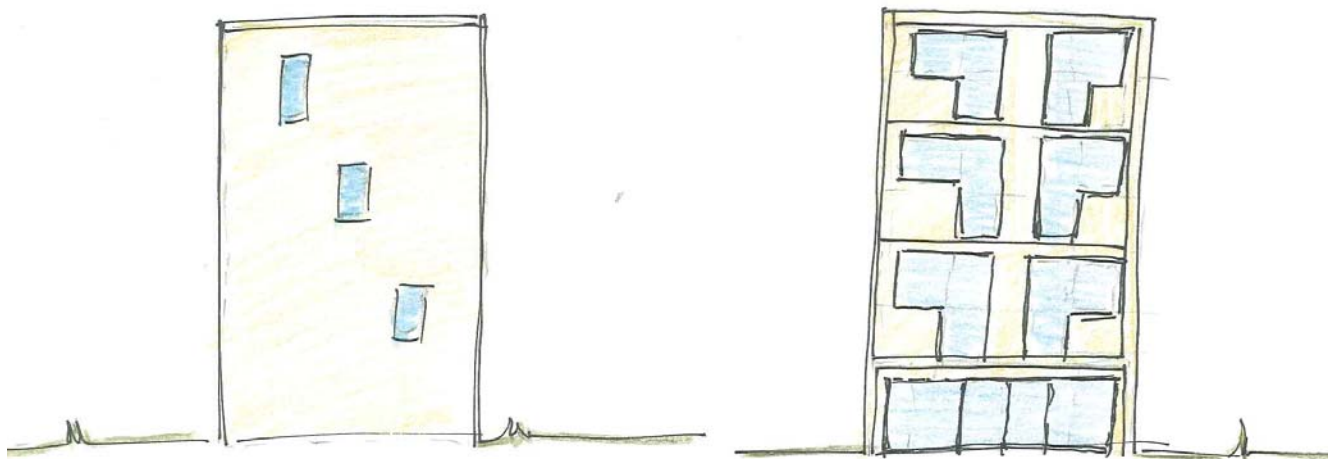
U = 0,23 [W/m²K]

s₁-s₂=10cm

Utilizzando Xlam è possibile **guadagnare spazio** siccome il valore U di una parete in XLAM s=14cm corrisponde ad una parete in laterizio di ca. 25cm.

Per quanto riguarda la tipologia dei materiali isolanti **si consiglia di utilizzare materiali flessibili come fibra di legno o lana minerale ecc.** siccome si adeguano più facilmente a strutture leggere meno rigide.

Naturalmente l'incidenza dell'isolamento termico dell'involucro sul risparmio/consumo totale dell'edificio dipende dalla percentuale della superficie effettivamente coibentata. Come ci mostra questo schizzo è indispensabile valutare caso per caso l'incidenza di singole strutture sul comportamento complessivo.



Superficie vetrata <10%

superficie vetrata >60%

Ponti termici - Definizione. (Dlgs29 dicembre 2006, n.311) - Allegato A

“**ponte termico**” è la **discontinuità di isolamento termico** che si può verificare in corrispondenza agli innesti di elementi strutturali (solai e pareti verticali ecc.)

„ponte termico **corretto**“ è quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete in corrispondenza del ponte termico) **non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.**

Come ponte termico s'intende praticamente una zona delimitata con una concentrazione della **densità del flusso termico superiore a quello della superficie restante.**

Attraverso questa zona nel periodo invernale passa più calore che nella zona circostante.

Ponti termici (dovuti soprattutto dalla mancanza di una **pianificazione dettagliata**) rappresentano un problema particolare. Diminuisce la sensazione di benessere e aumenta il fabbisogno energetico dell'edificio. **L'abbassamento della temperatura superficiale attorno ad un ponte termico può provocare la formazione di condensa e persino di muffa.**

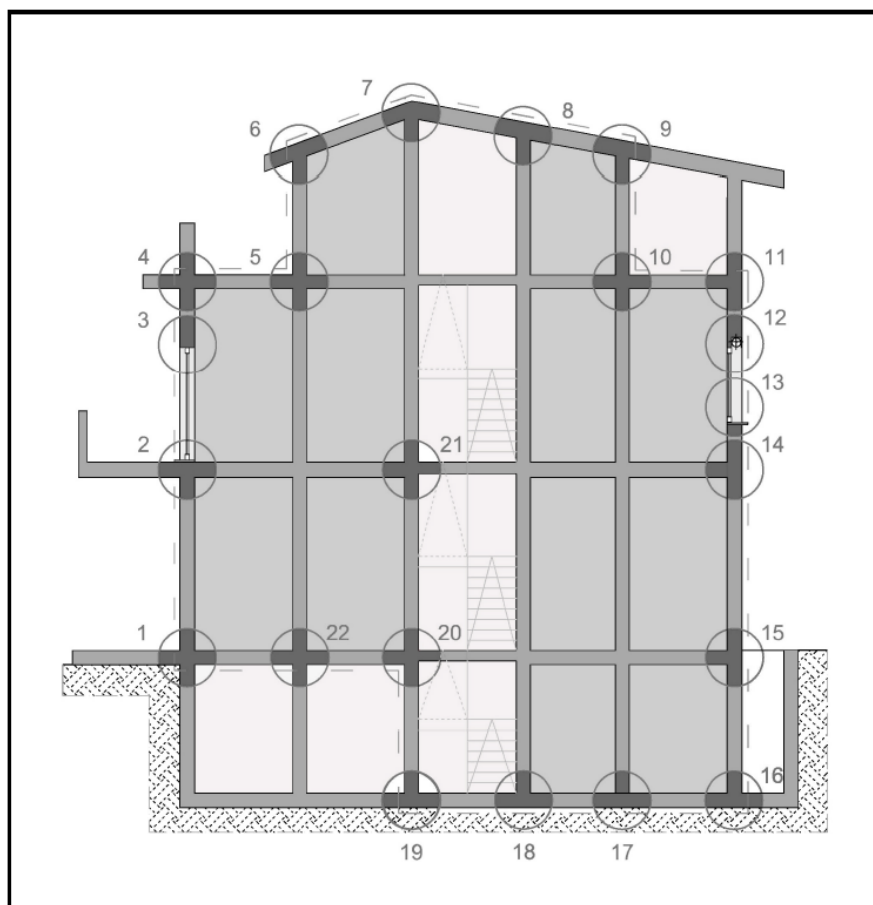
Fondamentalmente si dividono due tipologie di ponti termici:

Ponti termici a causa di materiali diversi: per esempio: pilastro in cemento armato non isolato in una parete ben isolata

Ponti termici a causa di un cambiamento della geometria: per esempio un angolo
 Naturalmente si possono verificare anche ponti termici combinati.

Ponti termici standard sono:

- Collegamento tra il pavimento aderente al suolo e parete perimetrale
- Collegamento finestra – parete - cassonetto
- Solaio del balcone
- Cordolo
- Puntone o montante tra isolamento termico
- Collegamento muro – tetto



Posizione dei ponti termici:

1. nodo parete – zoccolo contro terra
2. balcone e nodo soglia – portafinestra
3. attacco infisso/cassonetto (portafinestra)
4. nodo parete – solaio terrazzo
5. nodo solaio – terrazzo parete
6. nodo tetto – parete
7. nodo tetto – parete/vano scale
8. nodo tetto – parete/vano scale
9. nodo tetto – parete verso sottotetto freddo
10. nodo parete – solaio verso sottotetto freddo
11. nodo solaio – parete
12. attacco infisso/cassonetto
13. attacco infisso/soglia (finestra),
14. nodo parete – solaio intermedio
15. nodo parete – zoccolo contro terra su scannafosso
16. nodo parete – zoccolo contro terra
17. nodo muro – fondazione
18. nodo muro vano scala – fondazione
19. nodo muro vano scala – fondazione (se richiesto)
20. nodo muro vano scala – solaio verso cantina/garage
21. nodo muro vano scala – solaio pianerottolo del vano scala
22. nodo muro/pilastro passante verso cantina/garage

Fig. A1 posizione dei ponti termici lineari in sezione verticale tipo

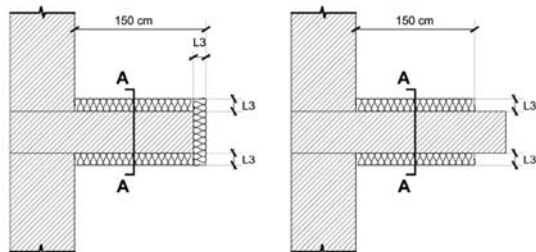
Tutti questi **dettagli richiedono una particolare progettazione ed esecuzione** per non provocare svantaggi al livello termico o perfino danni alla costruzione finale.

Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno



Meglio progettare bene prima che dover nascondere i problemi (muffa) dopo.

Nelle costruzioni esistenti i **balconi** rappresentano spesso un ponte termico classico. Nella nuova costruzione, esistono diverse soluzioni. Per esempio di eseguire una costruzione **staticamente separata** dalla struttura portante **oppure interamente termicamente isolata** o anche di realizzare una soluzione **termicamente separata**.



Sez. verticale 1

Sez. orizzontale 2



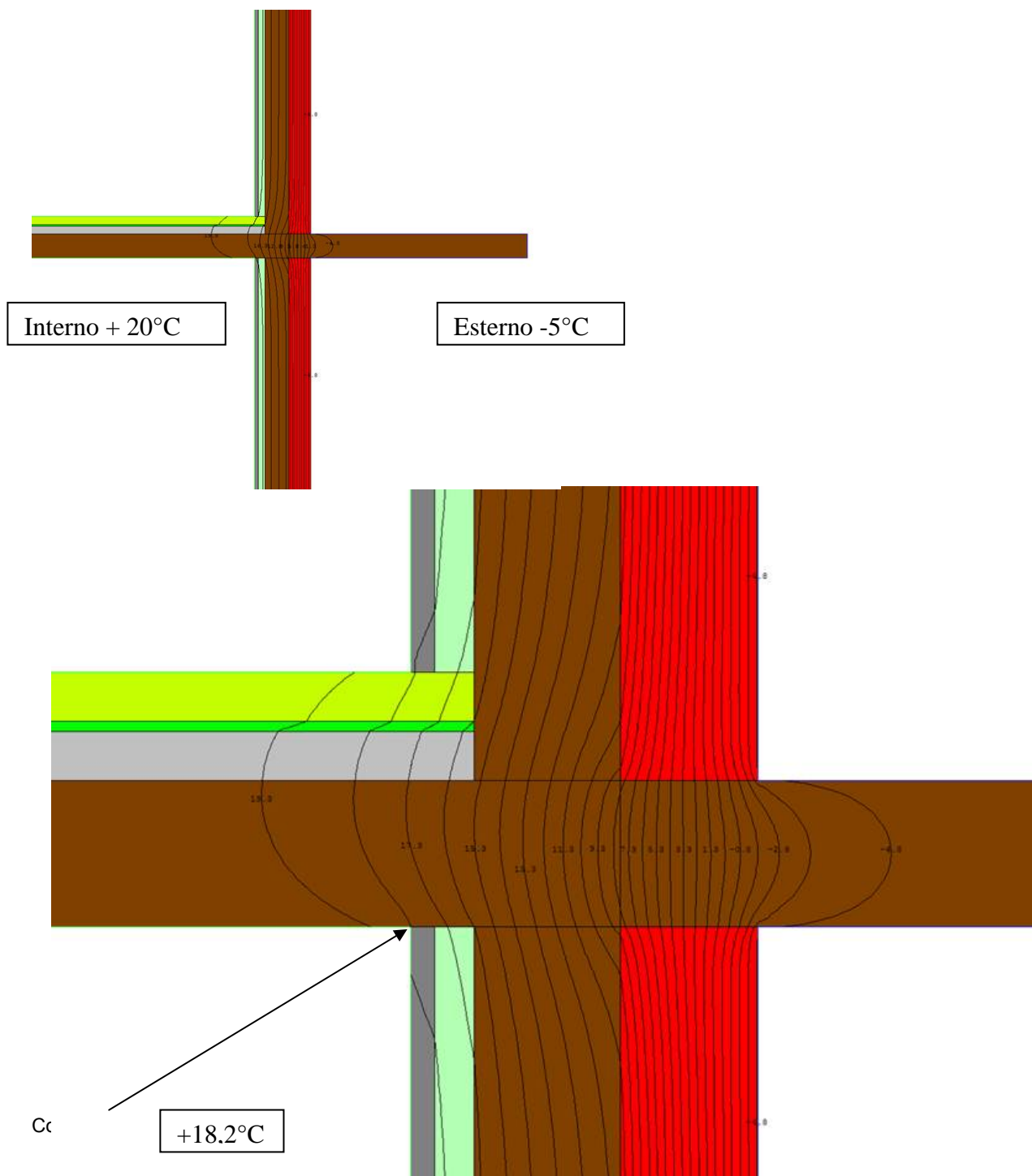
Sez. frontale A-A

Domanda: **balcone in XLAM - problemi di condensa ?**

Risposta: dipende, ma normalmente (a Milano) **non è un problema anche senza taglio termico o coibentazione. Nonostante questo nella nuova costruzione consiglio di eseguire lo stesso un isolamento minimo di ca. 5cm.**

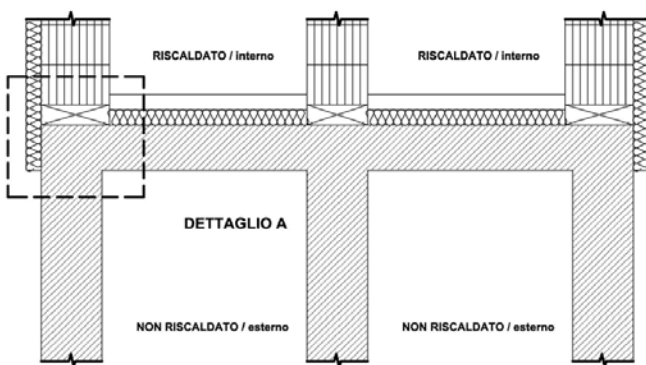
Esempio: $t_a = -5^\circ\text{C}$; $t_i = 20^\circ\text{C}$; ($R_{si} = 0,25$)

Lastre di gesso + intercapedine installazioni + 15cm XLAM + 14cm isolamento termico + intonaco esterno

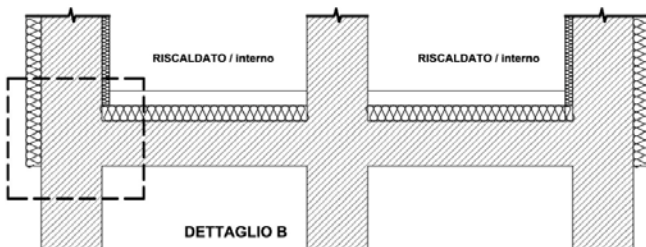


Nel caso in cui si avvolge l'involucro dell'edificio con un cappotto, è necessario che l'isolamento esterno non termina con lo spigolo inferiore del solaio della cantina non riscaldata ma prosegue anche lungo le pareti della cantina. (a meno che la struttura sottostante non sia termicamente divisa).

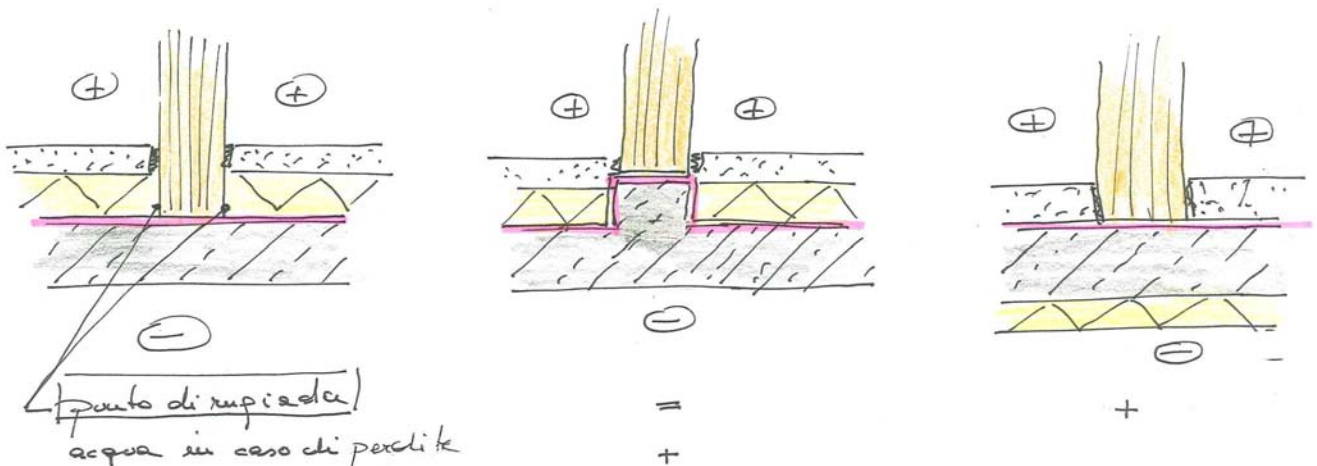
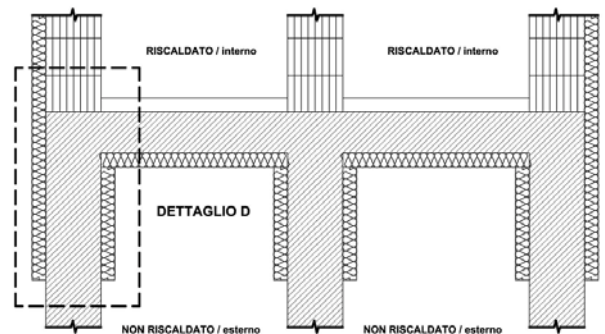
Sez. verticale parete



Sez. verticale pilastri



Sez. verticale parete

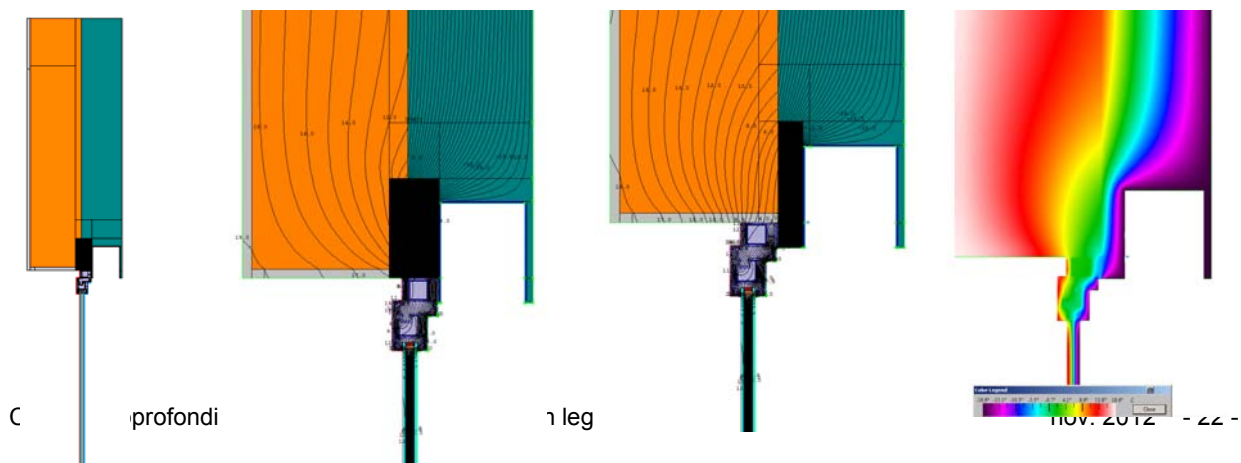
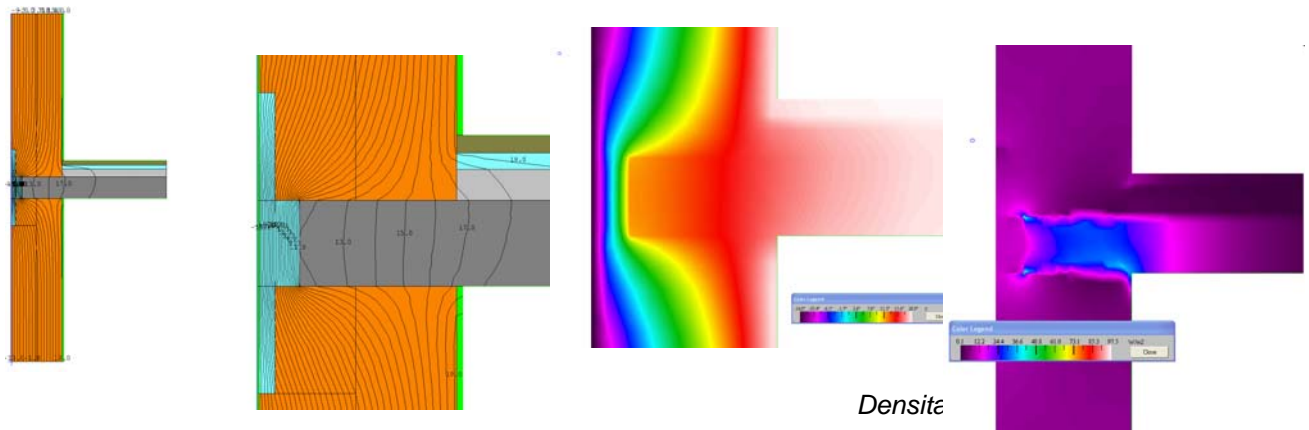
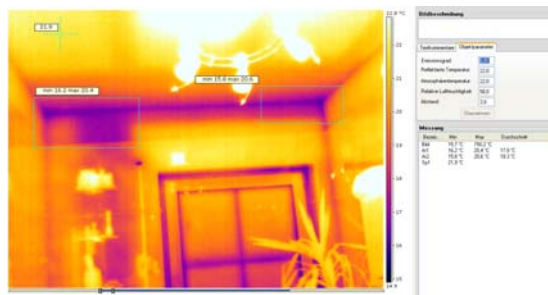
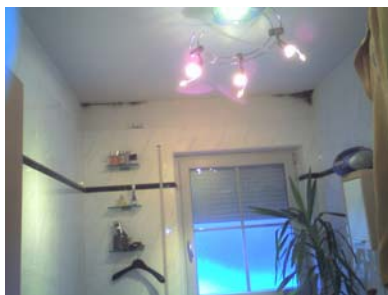


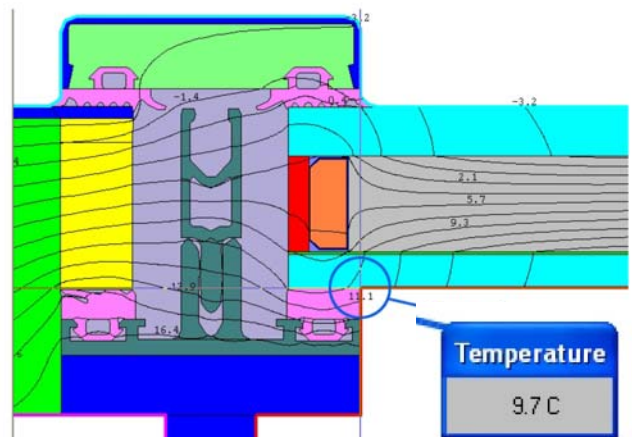
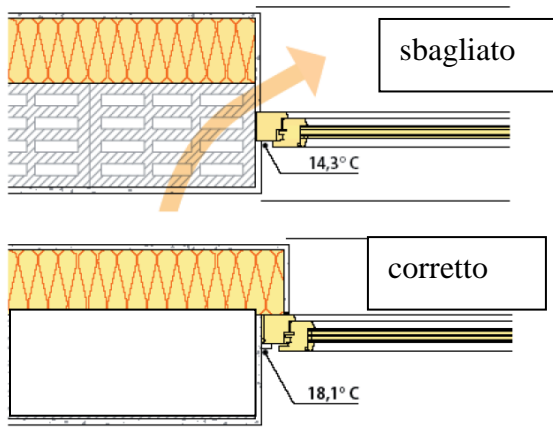
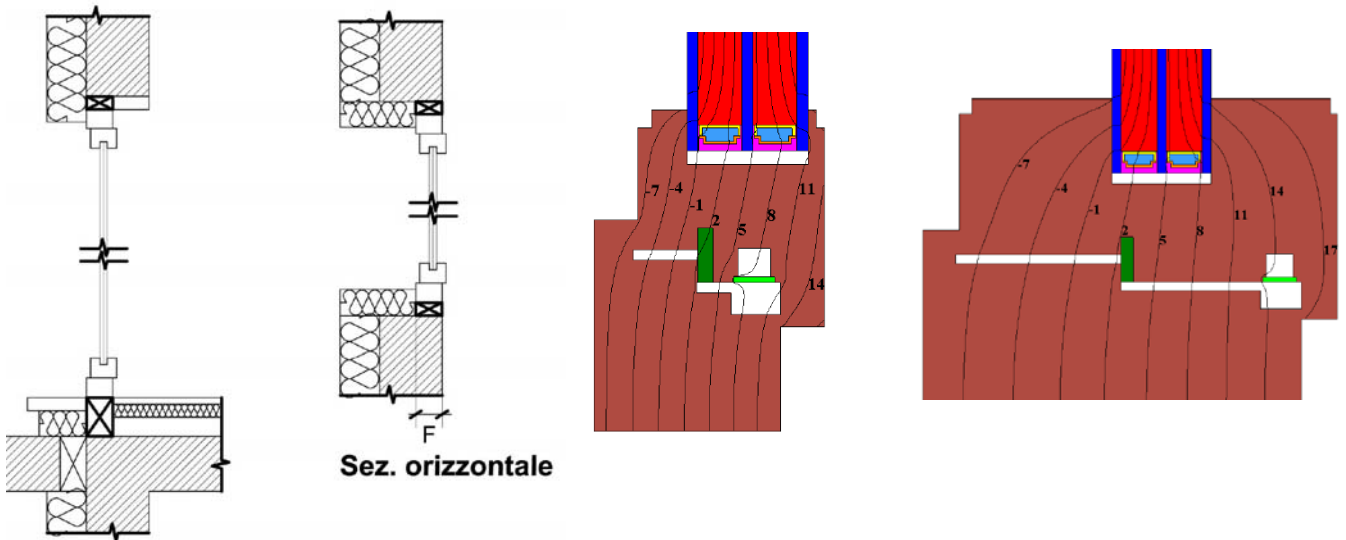
Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

Anche il cordolo presenta una zona di rischio per quanto riguarda la formazione di condensa e muffa, che deve essere eliminata con una corretta progettazione e realizzazione.

Con l'utilizzo di un cappotto esterno (valore indicativo dello spessore superiore a 10cm) viene automaticamente isolato anche il cordolo il quale non rappresenta più un ponte termico critico.

Un altro punto critico rappresenta la giunzione del solaio aderente al suolo con la parete esterna: in caso di un volume riscaldato si dovrebbe **collegare al meglio l'isolamento della parete con quello del solaio**. In questo caso devono essere utilizzati naturalmente isolanti adatti per strutture sotterranee. Inoltre deve essere garantito in alcune strutture particolari che l'isolamento utilizzato abbia la necessaria resistenza alla compressione.





Uno dei più grossi vantaggi della costruzione in legno è la particolare attenzione ai particolari costruttivi di tutti i soggetti coinvolti già in fase di progettazione.

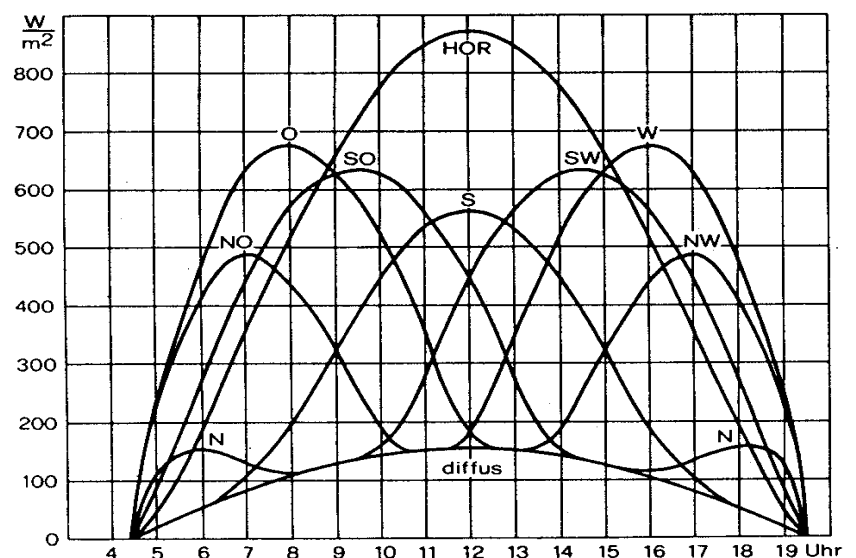
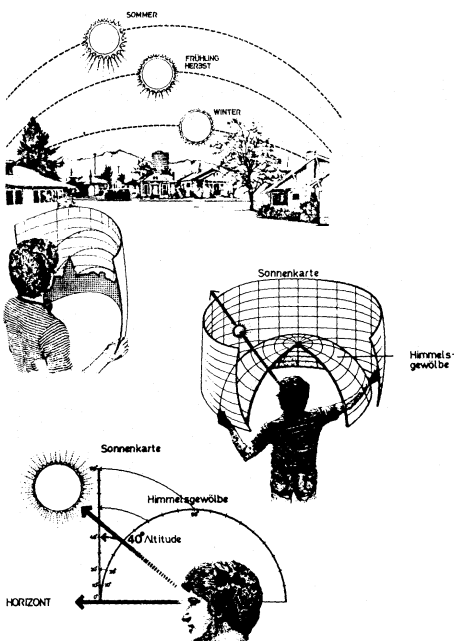
La precisione è indispensabile dalla produzione degli elementi prefabbricati fino alla posa finale. Così è garantito un' sviluppo dell'esecuzione in cantiere senza interruzioni e problemi.

comportamento estivo:

Per poter garantire un clima piacevole all'interno di un edificio, quando d'estate all'esterno sono presenti temperature alte è **importante intervenire già in fase di progettazione** dell'edificio. Altrimenti spesso non resta altro che installare tanti impianti / sistemi di raffreddamento che comportano sia **costi d'esercizio** che di **manutenzione**.

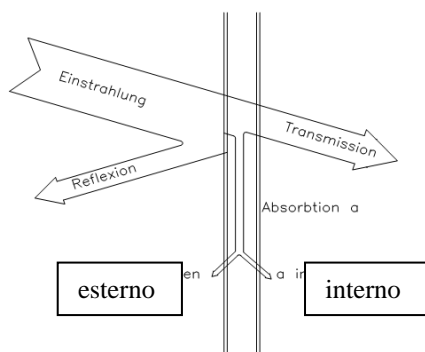
Così come in inverno un isolamento termico può ridurre notevolmente il fabbisogno energetico, la protezione contro il surriscaldamento estivo riduce i costi della corrente elettrica per gli impianti di climatizzazione o permette perfino il non utilizzo degli stessi in certi casi.

Durante le giornate estive più belle provengono dal sole da 600[W/m²] fino a più di 800[W/m²] sulla superficie terrestre.



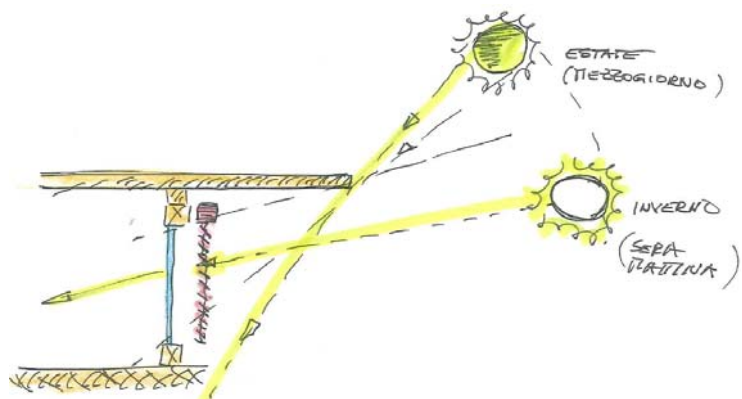
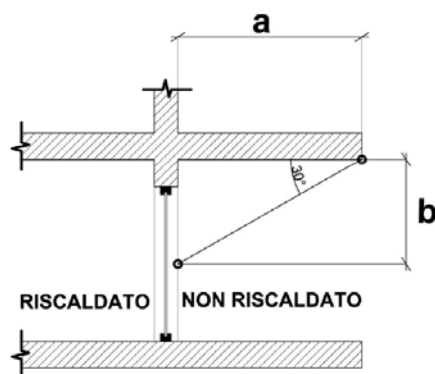
Irradiatione totale il 01-07 (francoforte)

I **raggi solari penetrano le superfici vetrate** e si **trasformano** in raggi di “**calore**”.
Questi raggi ad onde lunghe non possono più uscire facilmente attraverso il vetro e **rimangono perciò all'interno in forma di calore**.



Possiamo fare quindi una prima conclusione: **grandi vetrate garantiscono apporti solari utili durante l'inverno, possono però provocare un surriscaldamento durante l'estate.**

Si può aggiungere che **soprattutto vetrate orientate a sud garantiscono grandi apporti solari durante l'inverno** e sono nello stesso tempo **facile d'ombreggiare** durante l'estate per esempio anche **tramite una sporgenza fissa** sufficiente di balcone o tetto sopra le finestre.



Grandi vetrate al lato **est ed ovest** danno **apporti solari inferiori durante l'inverno** dovuto al **ciclo solare** in questa stagione.

Siccome gli **apporti solari durante primavera/estate/autunno** per vetrate orientate **ad est e ovest** sono però anche **molto alti**, è necessario prevedere un **ombreggiamento**

efficiente anche e soprattutto su questi lati. Questo richiede particolare attenzione in fase di progettazione, siccome **la posizione del sole al cielo durante l'estate è bassa per i lati est ed ovest, nonostante l'elevata intensità dei raggi solari.** Perciò spesso saranno necessari **sistemi d'ombreggiamento flessibili.**

Bisogna quindi valutare i vantaggi e svantaggi delle vetrate: tra i vantaggi ci sono per esempio apporti d'aria fresca, panorama visibile, luce diurna ed apporti solari passivi in inverno. **Tra gli svantaggi ci sono per esempio le maggiori perdite di calore durante l'inverno e la possibilità di surriscaldamento durante l'estate.**

Metodi idonei per una buona ombreggiatura di finestre sono:

Strutture costruttive: questo è l'ombreggiamento migliore; l'andamento diverso del sole durante l'inverno e dell'estate permette di ombreggiare in modo naturale con elementi strutturali come per esempio tettoie, balconi, loggia, lamelle fisse ecc.

In alternativa saranno da prevedere **elementi d'ombreggiamento esterni flessibili:** come per esempio tapparelle esterne, balconi, marquise, ecc.

Elementi d'ombreggiamento interni: come per esempio tapparelle interne, tende ecc. **sono molto meno efficienti.**

Anche se la cosa più importante è il corretto dimensionamento delle superfici vetrate e il loro ombreggiamento, anche la struttura dell'involucro esterno (tetto, solaio esterno, muro) deve essere idonea alla protezione sopra citata.

La giusta progettazione del surriscaldamento estivo deve garantire, **che un edificio non si surriscaldi dal proprio involucro.** In questo contesto ci sono **due fattori fondamentali: lo sfasamento e lo smorzamento dell'ampiezza.**

Lo **sfasamento** indica il **tempo necessario** per un'onda termica **per attraversare un elemento strutturale** (tempo tra il picco di temperatura superficiale esterna e il picco della temperatura superficiale interna). Siccome la temperatura superficiale esterna massima viene raggiunta normalmente a metà della giornata (~ tra le ore 12 e 13), lo **sfasamento** dovrebbe avere una durata di **almeno 9 ore** per trasferire questa temperatura massima all'interno dell'edificio possibilmente **verso sera/notte, quando può essere rinfrescato meglio il suo volume attraverso l'aerazione** (manuale o meccanica).

Lo **smorzamento dell'ampiezza** indica il grado **d'attenuazione dell'ampiezza dell'onda termica esterna dopo aver attraversato un elemento strutturale**; più alto è, meglio è.

Mentre in inverno è essenziale il valore U e la **stratificazione** non è da primaria importanza, quest'ultima **diventa essenziale per la protezione del surriscaldamento estivo**.

I fattori indicativi sono:

- **Peso specifico** (più grande meglio è...sfasamento)
- **Conduktività termica** (valore lambda) (più bassa meglio è...attenuare il picco interno)
- **Spessore degli strati** (più grande meglio è)
- **Calore specifico** (più grande meglio è)

La norma di riferimento è la UNI EN ISO 13786.

Per garantire un clima piacevole è vantaggioso applicare un **isolamento termico all'esterno** di un elemento strutturale e posizionare la **massa al lato interno** dello stesso elemento.

La **massa accumula** in estate il **fresco della notte** e lo riporta durante il giorno.

L'estate il surriscaldamento durante il giorno viene tenuto quindi ad un livello minimo anche dovuto alla massa della costruzione.

Il **tetto** rappresenta il confine dell'edificio verso l'alto. Siccome il tetto con puntoni e tavolato consiste di poca massa, serve un **isolante termico che aiuta tanto ad aumentare sia massa e isolamento termico**; un materiale che soddisfa queste esigenze è la **fibra di legno la quale è pesante, ha un valore lambda basso e un calore specifico alto**.

Fino un certo limite la massa aiuta, ma non si può dire che "più massa meglio è"
Come stima approssimativa **si può dire che i primi 5cm (al massimo 10cm) di massa dall'interno verso l'esterno sono interessanti**. Riferendosi ad un elemento strutturale ben isolato dunque non migliora il clima interno se si aumenta la massa all'infinito.

Tra una parete a telaio e una parete in legno lamellare, sempre con cappotto esterno e la stessa trasmittanza termica U, il comportamento estivo della parete con legno lamellare è migliore a causa della maggior massa.

Se invece viene applicato uno strato di impiantistica a filo interno della parete lamellare in legno, si “blocca” l'aiuto che la massa della parete lamellare. Il comportamento diventa di nuovo simile al comportamento di una parete a telaio.

In questo secondo caso è molto interessante lo strato finale che si mette all'interno: per esempio c'è una grave differenza tra una lastra di cartongesso e una **doppia lastra di gesso** oppure un intonaco con più spessore, siccome **questo strato rappresenta la massa** prima dello strato d'isolamento termico della controparete.

Il solo dato dello **sfasamento o smorzamento** però non è sufficiente per definire l'**idoneità della struttura durante l'estate.**

Una **casa con ottimo sfasamento** soffrirà di **surriscaldamento estivo** se le **finestre** non sono progettate bene e si ha dunque **troppi apporti solari** durante l'estate.

Invece una casa con **sfasamento mediocre**, ma con un **buon ombreggiamento** delle vetrate **può funzionare perfettamente**, se la **trasmittanza degli elementi strutturali è ottima ($U < 0,10$).**

Quindi anche il valore U degli elementi opachi è importante per il comportamento estivo.

Un dato che esprime questo collegamento è la **trasmittanza termica periodica Y_{IE}**

Il decreto n. 59 del 2 Aprile 2009 all'articolo 2 definisce:

Trasmittanza termica periodica Y_{IE} [W/m^2K], è il parametro che valuta la capacità di una parete opaca di **sfasare ed attenuare il flusso termico** che la attraversa nell'arco delle 24 ore, definita e determinata secondo la norma UNI EN ISO 13786:2008 e successivi aggiornamenti.

Si deve verificare che, (escluso zona F), per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva $I_{ms} \geq 290 W/m^2$, per tutte le pareti opache orizzontali ed inclinate il valore Y_{IE} sia $< 0,20 W/m^2K$; le **pareti verticali** (escluso pareti nord-ovest / nord / nord-est), rispettano almeno una delle seguenti prescrizioni:

Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

il valore della **massa superficiale** M_s sia **>230 kg/m²** (calcolata secondo la definizione dell'allegato A del DLGS 192/05, esclusi gli intonaci,) ...difficile da realizzare con costruzioni in legno.

oppure in alternativa che Y_{IE} sia **< 0,12 W/m²K**;

Esempio di calcolo della trasmittanza termica periodica (Y_{IE}) = prodotto tra la trasmittanza termica U e l'attenuazione estiva:

$$U=0,157\text{W/m}^2\text{K};$$

Attenuazione estiva (secondo UNI EN ISO 13786) = 0,038 [Varia tra 0 (attenuazione massima, "inerzia infinita") e 1 (attenuazione minima, "inerzia nulla")]

$$\Rightarrow Y_{IE}=0,0059\text{W/m}^2\text{K}$$

Il valore limite di norma di 0,12 è dunque relativamente facile da raggiungere.

Solo il valore Y_{IE} però senza ombreggiatura adeguata delle finestre NON garantisce un comfort elevato interno d'estate.

esempio "qualitativo" per **pareti Xlam con diversi materiali isolanti sulla facciata:**

risultato: con 14cm di isolamento termico lo sfasamento sarà >9ore e la trasmittanza termica periodica $Y_{IE} \ll 0,12$.

Parete in legno lamellare con cappotto esterno:						
spessore cappotto in cm	sfasamento	sfasamento	sfasamento	Y_{IE}	Y_{IE}	Y_{IE}
	con EPS	con lana di roccia	con fibra di legno	con EPS	con lana di roccia	con fibra di legno
6	8h54min	9h10min	10h3min	0,081	0,078	0,075
8	9h5mim	9h30min	10h56min	0,063	0,061	0,056
10	9h15min	9h51min	11h56min	0,052	0,049	0,042
12	9h25min	10h16min	12h59min	0,044	0,041	0,032
14	9h37min	10h43min	14h6min	0,038	0,035	0,024
16	9h49min	11h12min	15h13min	0,033	0,03	0,018
20	10h2min	12h17min	17h27min	0,029	0,022	0,062
24	10h32min	13h28min	19h40min	0,024	0,016	0,006
30	11h24min	15h18min	22h59min	0,018	0,01	0,002

Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

Esempi:

**Stratigrafia a) cartongesso+intercapedine installazioni+15cmXLAM +
+isolamento termico 14cm EPS 0,04 + intonaco**

Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m ³]	Resistenza termica aria [m ² K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	$\xi = s/d$ [-]	Resistenza termica [m ² k/w]
Rsi	Aria		1	2	3	4	5			
1	<input type="checkbox"/>	Strato laminare interno								0,130
1	<input type="checkbox"/>	lastra gesso	0,012	0,350	950	1150		0,094	0,128	0,034
2	<input type="checkbox"/>	lastra gesso	0,012	0,350	950	1150		0,094	0,128	0,034
3	<input checked="" type="checkbox"/>	intercapedine aria	0,030				0,170	-	-	0,170
4	<input type="checkbox"/>	xlam	0,150	0,130	1700	520		0,064	2,359	1,154
5	<input type="checkbox"/>	EPS	0,140	0,040	1500	20		0,191	0,731	3,500
6	<input type="checkbox"/>	intonaco	0,005	0,900	837	1800		0,128	0,039	0,006

Regime periodico stabilizzato				T = 24 ore		Regime stazionario			
Fattore di decremento (attenuazione)	fd	[-]		0,122		Massa superficiale	Ms	[kg/m ²]	117
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)	φ	[h]		12,07		Resistenza termica totale	Rt	[m ² K/W]	5,068
Trasmittanza termica periodica	Y _{ie}	[W/m ² K]		0,024		Trasmittanza	U	[W/m ² K]	0,197
Ammetenza termica lato interno	Y _{ii}	[W/m ² K], [h]		2,42	2,62	Conduttanza	C	[W/m ² K]	0,204
Ammetenza termica lato esterno	Y _{ee}	[W/m ² K], [h]		0,72	4,38	Capacità termica areica	C _{ta}	[kJ/m ² K]	171
Capacità termica periodica lato interno	k ₁	[kJ/m ² K]		33,5	42,9	Costante di tempo	τ	[h]	240
Capacità termica periodica lato esterno	k ₂	[kJ/m ² K]		10,0	10,3				
Fattore di smorzamento superficiale interno									
	Parete disperdente	fsd	[-]	0,685	0,907				
	Parete interna	fsi	[-]	0,683	0,905				

Risultati:

U=0,2 (W/m²K),

Trasmittanza termica periodica Y_{IE} (W/m²K), =0,024 (<0,12) = OK

sfasamento

12 h ~ OK

fattore di decremento fd[-]

0,12 (<0,3; 0~"inerzia infinita"; e 1~"inerzia 0")

massa

117 kg/m² (<230 kg/m²)

Stratigrafia b) cartongesso+intercapedine installazioni+15cmXLAM +

+isolamento termico 14cm fibra di legno 0,04 + intonaco

Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m ³]	Resistenza termica aria [m ² K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	$\xi = s/d$ [-]	Resistenza termica [m ² k/w]
Rsi	Aria		1	2	3	4	5			
1	<input type="checkbox"/>	Strato laminare interno								0,130
1	<input type="checkbox"/>	lastra gesso	0,012	0,350	950	1150		0,094	0,128	0,034
2	<input type="checkbox"/>	lastra gesso	0,012	0,350	950	1150		0,094	0,128	0,034
3	<input checked="" type="checkbox"/>	intercapedine aria	0,030				0,170	-	-	0,170
4	<input type="checkbox"/>	xlam	0,150	0,130	1700	520		0,064	2,359	1,154
5	<input type="checkbox"/>	fibra di legno	0,140	0,040	1600	180		0,062	2,265	3,500
6	<input type="checkbox"/>	intonaco	0,005	0,900	837	1800		0,128	0,039	0,006

Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
 Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

Regime periodico stabilizzato			T = 24 ore	Regime stazionario		
Fattore di decremento (attenuazione)	fd	[-]	0,067	Massa superficiale	Ms	[kg/m ²] 140
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)	φ	[h]	17,27	Resistenza termica totale	Rt	[m ² K/W] 5,068
Trasmittanza termica periodica	Yie	[W/m ² K]	0,013	Trasmittanza	U	[W/m ² K] 0,197
Ammetenza termica lato interno	Yii	[W/m ² K], [h]	2,42	Conduttanza	C	[W/m ² K] 0,204
Ammetenza termica lato esterno	Yee	[W/m ² K], [h]	1,32	Capacità termica areica	Cta	[kJ/m ² K] 207
Capacità termica periodica lato interno	k1	[kJ/m ² K]	33,2	Costante di tempo	τ	[h] 291
Capacità termica periodica lato esterno	k2	[kJ/m ² K]	18,0			
Fattore di smorzamento superficiale interno						
	Parete disperdente	fsd	[-]			
			0,685			0,828
	Parete interna	fsi	[-]			0,686
			0,686			0,830

Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità Prestazionale
S > 12	Fd < 0,15	ottime	I
12 >= S > 10	0,15 <= fd < 0,30	buone	II
10 >= S > 8	0,30 <= fd < 0,40	medie	III
8 >= S > 6	0,40 <= fd < 0,60	sufficienti	IV
6 >= S	0,60 <= fd	mediocri	V

Attenuazione	Controllo attenuazione	Controllo Sfasamento	Sfasamento (h)
fa < 0,15	1	1	S > 12
0,15 ≤ fa < 0,30	0	0	12 ≥ S > 10
0,30 ≤ fa < 0,40	0	0	10 ≥ S > 8
0,40 ≤ fa < 0,60	0	0	8 ≥ S > 6
0,60 ≤ fa	0	0	6 ≥ S

Prestazioni	Ottimo
Qualità prestazionale	I

Risultati:

U=0,2 [W/m²K]

Trasmittanza termica periodica Y_{IE} (W/m²K), =0,013 (<0,12) (metà rispetto a EPS)

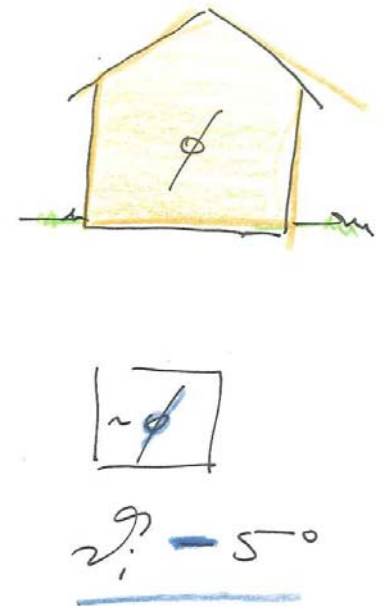
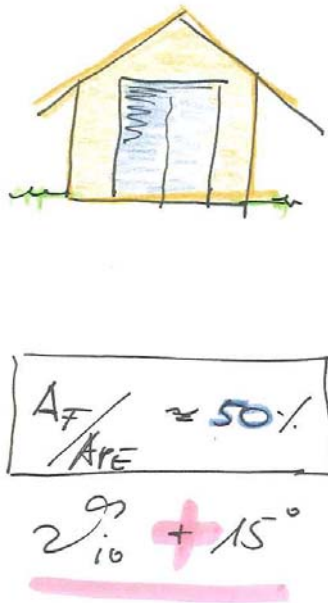
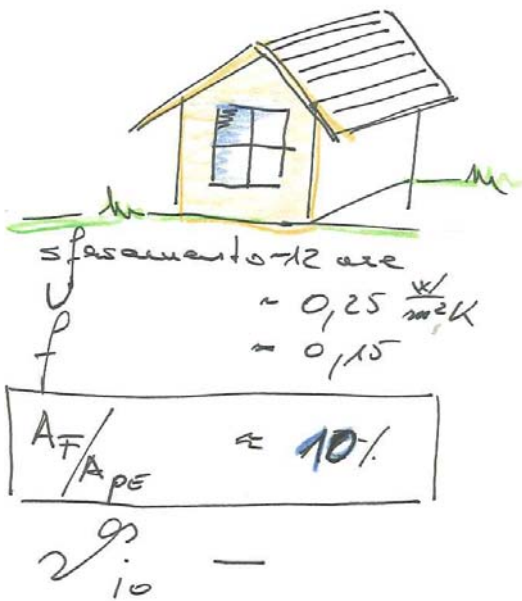
sfasamento 17 h (+5h rispetto a EPS)

fattore di decremento fd[-] 0,07

massa 140 kg/m² (<230 kg/m²)

Importante per il comportamento estivo di elementi strutturali sono anche il **colore della superficie esterna** dell'elemento e **l'emissività della superficie**. Anche ma meno importante è la **ventilazione degli elementi strutturali** (tetto ventilato o parete ventilata). Infine incide naturalmente il **comportamento dell'utente**: i **carchi interni dell'edificio**, la presenza di una ventilazione meccanica con recupero di calore ecc.

Tutto sommato il fattore più importante è la superficie vetrata/ombreggiata. Esempio qualitativo per far veder l'incidenza della variazione della superficie vetrata più o meno ombreggiata sull'andamento della temperatura interna.



Acustica

L'isolamento acustico, oggi più che mai, è una delle principali necessità nell'edilizia.

Problemi d'isolamento acustico sono spesso da ricondurre ad **inesattezze di progettazione e d'attuazione**. I problemi d'isolamento acustico sono difficilmente risolvibili o rimediabili a posteriori.

Sostanzialmente si possono distinguere tre tipi di rumori:

- Rumore aereo: Rumore che si propaga nell'aria
- Rumore d'impatto: Rumore che si diffonde attraverso i corpi solidi
- Rumore da calpestio: Rumore originato dal camminare o dallo spostare di mobili ecc., che si diffonde come rumore corporeo e si ripercuote in parte come rumore aereo in locali adiacenti.

L'unità di misura della misurazione del rumore è dB (decibel). **0 dB** corrispondono ad una pressione sonora di 2×10^{-5} Pa ed è denominata **soglia d'udibilità**. La **soglia di dolore** dell'orecchio umano è pari a **140 dB** (20 Pa di pressione sonora). Poiché la sensibilità di **percezione dell'orecchio umano dipende anche dalla frequenza**, i **valori misurati vengono quasi sempre corretti per corrispondere meglio al volume percepito** dall'orecchio umano. Perciò si parla spesso di **dB(A)**, valore misurato corretto (ponderato) secondo la curva di riferimento A (dalla norma).

Poiché la scala dB è logaritmica, non si possono sommare semplicemente diverse fonti di rumore. Con la seguente formula si possono sommare diverse fonti di rumore:

$$L_{\text{sum}} = 10 \log (10^{(0.1 * L1)} + 10^{(0.1 * L2)} + \dots)$$

Ad esempio, la somma di due fonti di rumore della stessa intensità di 70dB ciascuna, si ottiene con la formula sopra riportata $L_{\text{sum}} = 73\text{dB}$. **La somma di due fonti di rumore della stessa intensità dà quindi sempre un aumento di 3dB**. (20dB+20dB=23dB, 80dB+80dB=83dB ecc.) Quest'aumento **corrisponde al raddoppiamento della pressione sonora ma non al raddoppiamento del volume percepito**. Un **raddoppiamento del volume si ottiene con un aumento di 10 dB**. Per ottenerlo sono però necessarie **10 fonti di rumore della stessa intensità**.

Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
 Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

L'indice del potere fonoisolante apparente R'_w contiene oltre alla trasmissione di rumore attraverso l'elemento costruttivo anche la trasmissione per fiancheggiamento. Il valore singolo R'_w viene determinato partendo da 16 valori di misurazione dipendenti dalla frequenza utilizzando una curva di riferimento secondo la norma per il rumore aereo. Il campo di misurazione comprende frequenze comprese tra 100 Hz a 3150 Hz.

Il valore singolo dell'indice del livello di rumore di calpestio $L'_{n,w}$ si rileva anch'esso da 16 valori di misurazione dipendenti dalla frequenza con l'utilizzo di una curva di riferimento per il rumore di calpestio.

Prescrizioni d'isolamento acustico in Italia

I requisiti acustici passivi degli edifici in Italia sono regolati dal D.P.C.M.05/12/97. Gli edifici, in base alla categoria alla quale appartengono, devono garantire determinati requisiti relativi all'isolamento acustico da un'unità abitativa all'altra.

categoria	A	edifici adibiti a residenza o assimilabili
categoria	B	edifici adibiti ad uffici e assimilabili
categoria	C	edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili
categoria	D	edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
categoria	E	edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
categoria	F	edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili
categoria	G	edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili

Tabella : Classificazione degli ambienti abitativi secondo il D.P.C.M.05/12/97

Categoria di cui alla tab. A	Parametri				
	R'_w	$D_{2m,nT,w}$	$L'_{n,w}$	L_{ASmax}	L_{Aeq}
1. D	55	45	58	35	25
2. A,C	50	40	63	35	35
3. E	50	48	58	35	25
4. B,F,G	50	42	55	35	35

Tabella : Requisiti acustici passivi degli edifici secondo D.P.C.M.05/12/97

Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
 Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

Per edifici d'abitazione, pensioni, alberghi ecc. valgono i requisiti della categoria A e C evidenziate nella seguente figura.

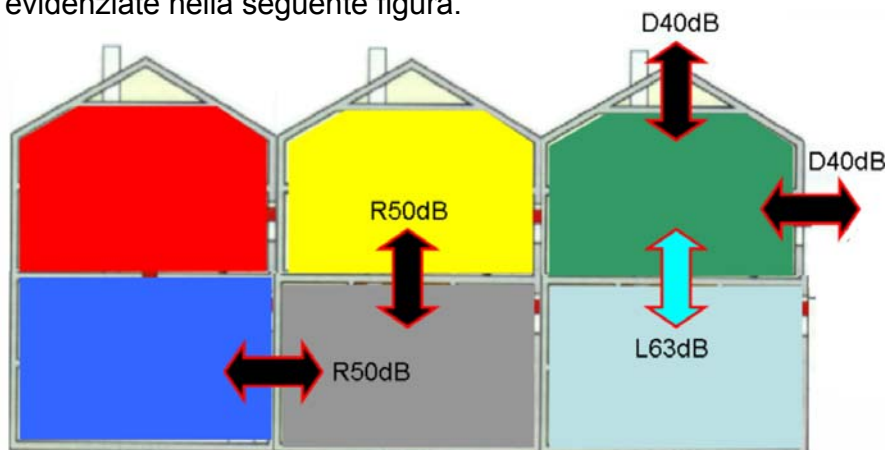


Figura: Requisiti acustici passivi degli edifici per le categorie A e C

Gli **elementi divisori tra diverse unità abitative devono avere come minimo $R'_w=50\text{dB}$** . Ciò significa una riduzione del rumore aereo di almeno 50dB (tanto **maggiore** il valore, tanto **migliore** l'isolamento acustico del rumore aereo). Il singolo valore R'_w si ottiene spostando una curva di riferimento in proporzione ai valori misurati tra 100 Hz e 3150 Hz.

Per **elementi strutturali dell'involucro, la prescrizione minima è $D_{2m,nT,w}=40\text{dB}$** (vale il principio: tanto **maggiore** il valore, tanto **migliore** l'isolamento acustico del rumore aereo).

Livello di rumore di calpestio tra unità abitative deve raggiungere come **massimo $L'_{n,w}=63\text{dB}$** . (Qui vale però: tanto **minore** il valore, tanto **migliore** l'isolamento acustico del rumore da calpestio). I requisiti per l'isolamento acustico anticalpestio in Italia è molto meno rigoroso che ad esempio in Austria o in Germania. Si consiglia di prevedere un isolamento anticalpestio migliore rispetto ai valori del D.P.C.M. **Non si può ottenere un isolamento del rumore da calpestio sufficiente senza molla** (isolamento anticalpestio). **Il semplice innalzamento della massa non basta**. Soprattutto per l'isolamento acustico anticalpestio molto dipende dall'esecuzione dei lavori. **Per raggiungere i valori calcolati si deve garantire che il pavimento galleggiante non tocchi in alcun punto le pareti o solai circostanti**, altrimenti prevalgono ben presto le trasmissioni per fiancheggiamento.

Sistema "massa" e "massa-molla-massa"



I requisiti acustici passivi di protezione dai rumori esterni $D_{2m,nT,w}$

si riferiscono al involucro esterno, che non comprende solo la parete esterna ma anche le aperture vetrate. Per la valutazione bisogna quindi spesso calcolare la sommatoria di una superficie composta, perché le finestre garantiscono in media un isolamento minore del muro.

L'isolamento acustico di una superficie composta si ottiene con la seguente formula:

$$R_{\text{sum}} = -10 * \text{LOG} \left(\frac{1}{\sum A} * (A_1 * 10^{\frac{R_1}{10}} + A_2 * 10^{\frac{R_2}{10}} + \dots) \right)$$

A: indica ogni singola superficie in m², R: è l'indice di valutazione del potere fonoisolante del singolo elemento, e $\sum A$ è la somma di tutte le superfici parziali.

Esempio:

In una parete con H=3m B=5m si trova una finestra con 1m². Il valore R della parete è di 49dB, la finestra possiede 32dB.

$$R_{\text{sum}} = -10 * \text{LOG} \left(\frac{1}{15} * (1 * 10^{\frac{32}{10}} + 14 * 10^{\frac{49}{10}}) \right) = 42,7 \text{ dB}$$

Un metro quadrato della finestra con 32 dB riduce il potere fonoisolante già a 42,7dB anche se la restante parete possiede 49dB.

Per la riuscita di un buon isolamento acustico dell'involucro esterno, la finestra riveste dunque un ruolo importante. In base agli odierni standard le finestre possiedono però valori di soli 32 dB.

Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
 Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

La seguente figura mostra quanto è importante l'isolamento acustico delle finestre per il potere fonoisolante risultante.

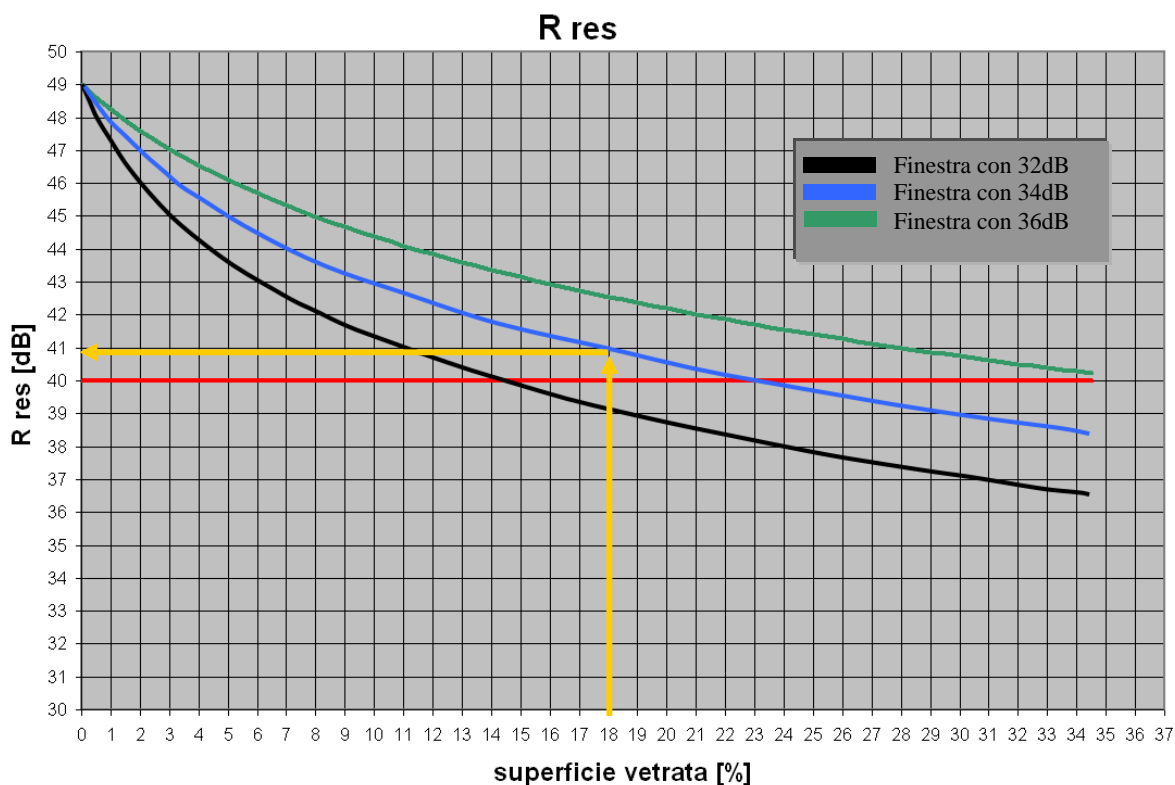


Figura : Potere fonoisolante risultante di una superficie composta.

Dalla figura soprastante si può rilevare il **potere fonoisolante risultante in proporzione della percentuale di superficie delle finestre** rispetto all'isolamento acustico delle finestre (32dB-36dB) **per una parete esterna con 49dB**. È inoltre evidenziata in rosso la prescrizione minima per edifici adibiti a residenza, pensioni, alberghi ecc (categoria A e C) di 40 dB.

La tabella riporta un esempio: Un muro con 49dB contiene 18% di superficie composto da finestre con 34dB. Il potere fonoisolante risultante ammonta a soli 41dB.

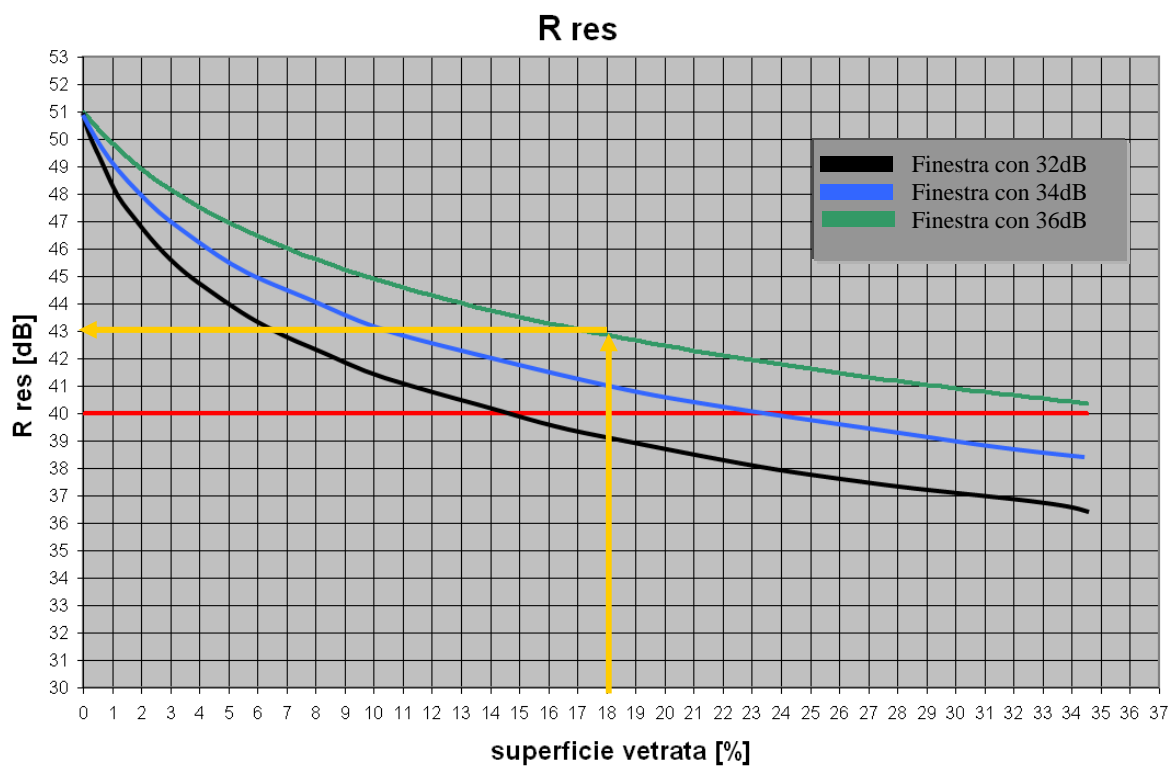
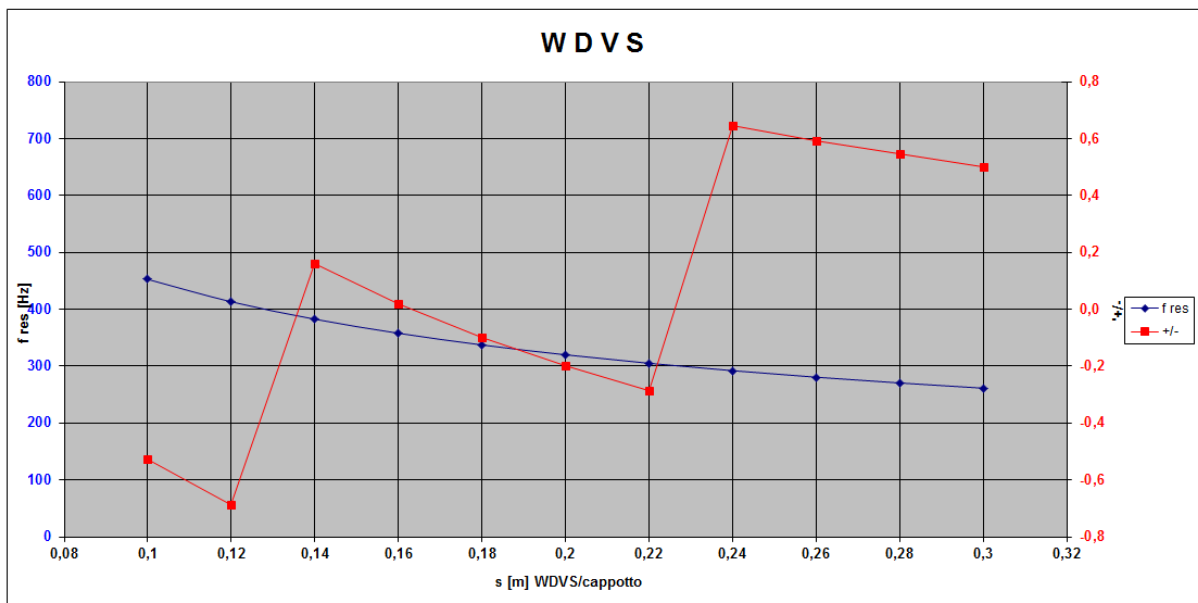


Figura : Potere fonoisolante risultante di una superficie composta

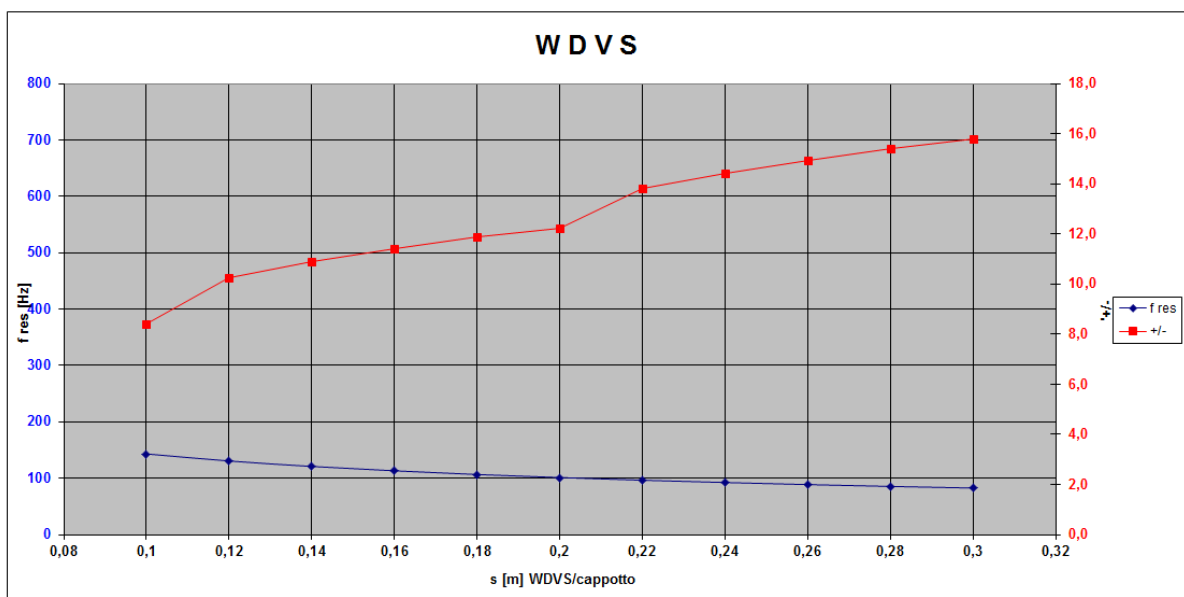
Nella figura soprastante si può rilevare il potere fonoisolante risultante in proporzione della percentuale di superficie delle finestre rispetto all'isolamento acustico delle finestre (32dB-36dB) **per un muro esterno con 51dB.**

Come incide il materiale utilizzato per la coibentazione esterna al risultato del potere fono isolante

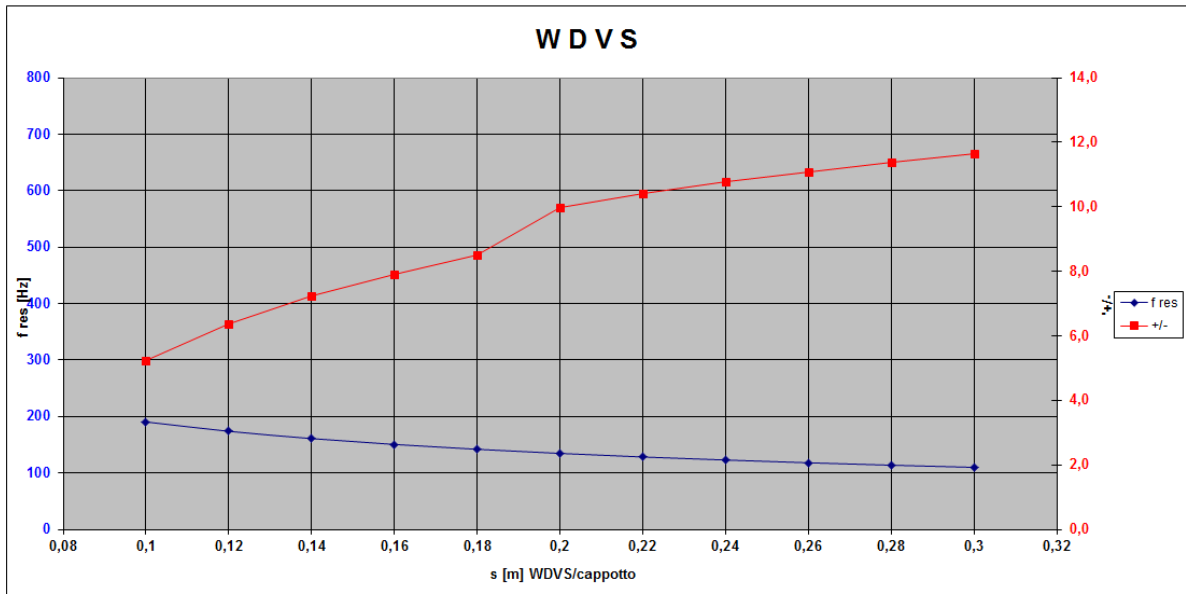
Per la sola parete in XLAM $s=10\text{cm}$ risulta $R_w \sim 34\text{dB}$



EPS ..non migliora (ma peggiora) la situazione



Lana di roccia..migliora la situazione di ca. 10 (÷12)dB



Fibra di legno ..migliora la situazione di ca. 6 (÷8)dB

+/- cambiamento valore R'w rispetto a parete non coibentata

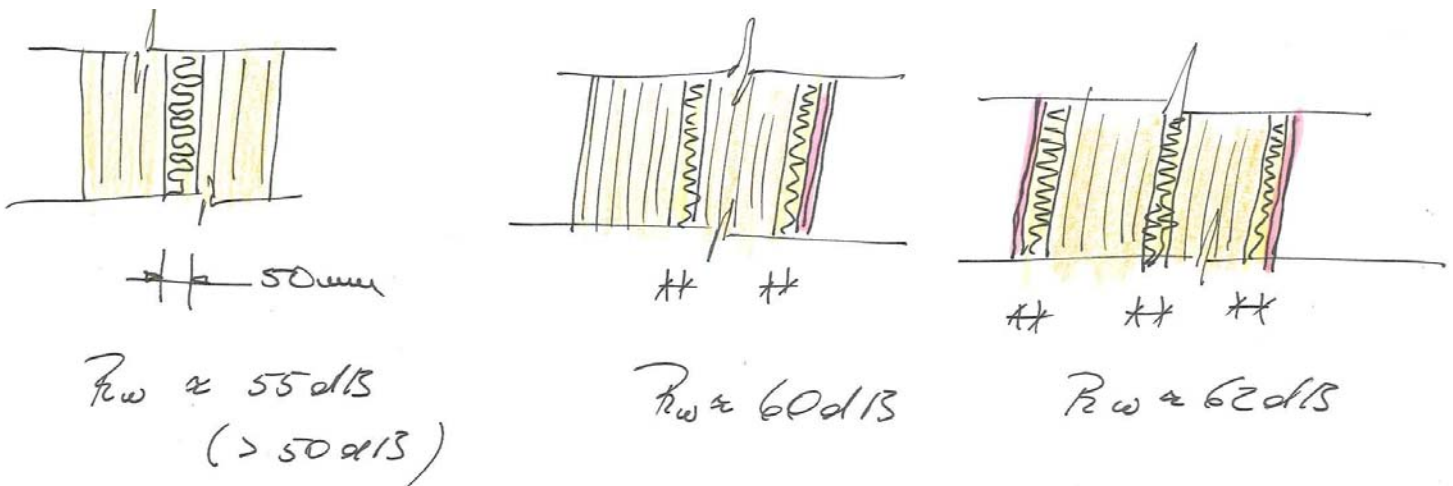
Linea "blu" idealmente < 100 Hz

➔ **Materiale ideale per l'isolamento esterno = fibra di legno oppure lana di roccia.**

esempio parete interna divisoria:

strato XLAM 10cm + strato intermedio con fibra minerale 5cm + strato XLAM 10cm

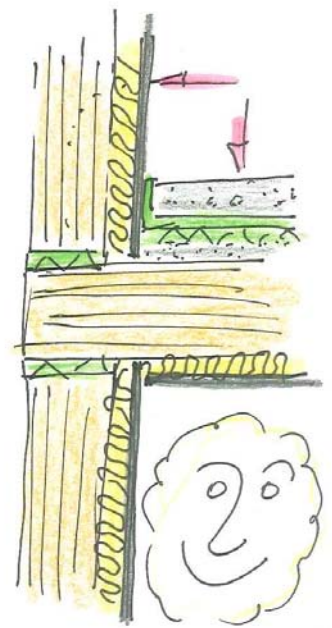
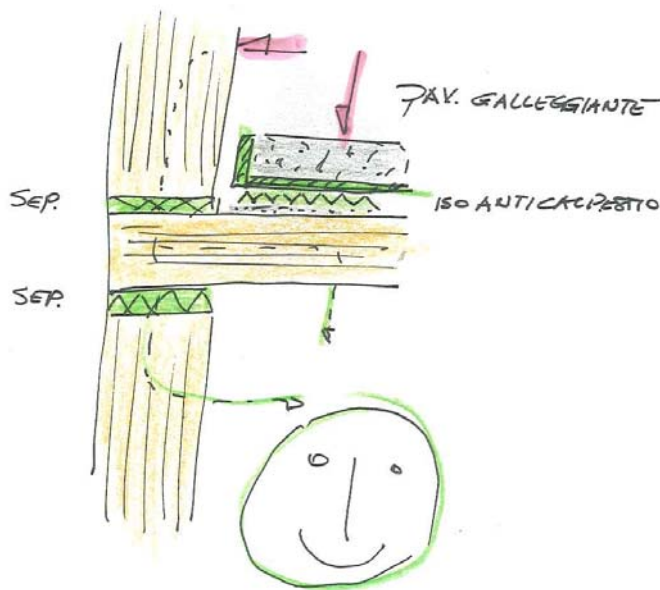
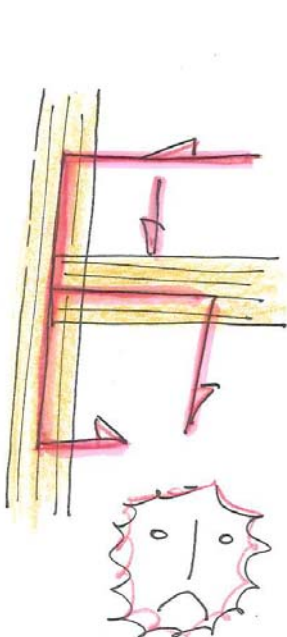
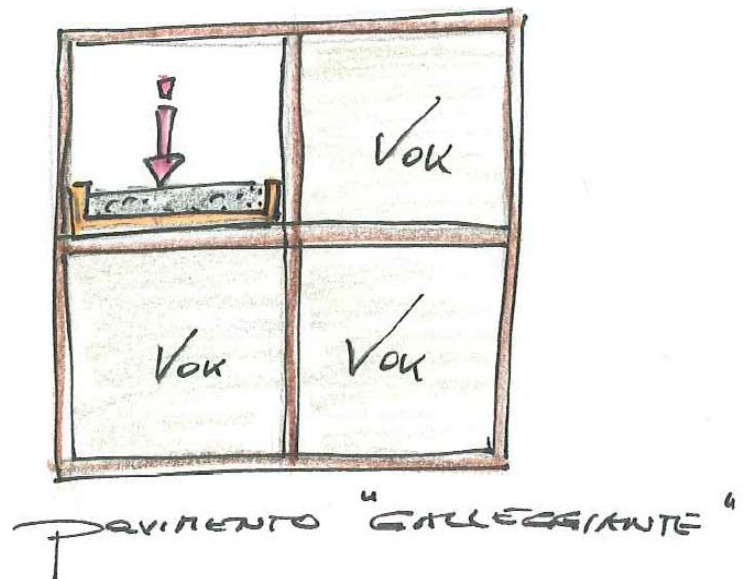
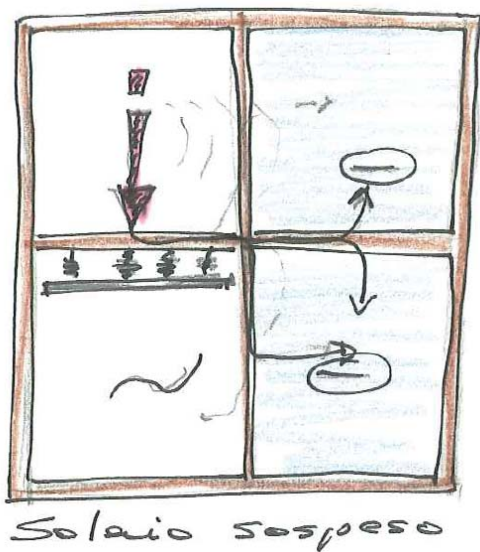
+ controparete su uno e/o due lati



Come diminuire il livello di rumore di calpestio:

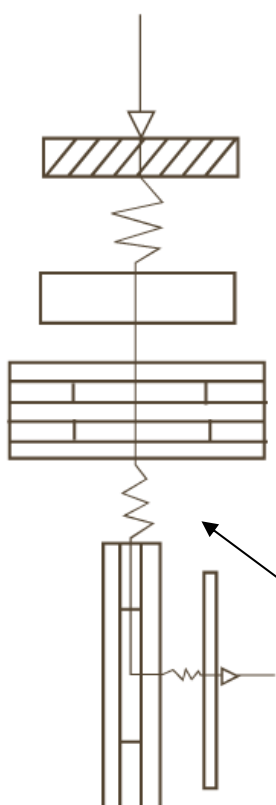
importantissimo = "distaccare pavimenti dalle strutture"

Il pavimento galleggiante combatte il rumore di calpestio alla fonte, un solaio sospeso migliora la situazione naturalmente solo per il locale nel quale è montato.



Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

Il concetto standard per evitare problemi di rumore nelle costruzioni in legno è il **“sistema massa – molla – massa”** : pavimento, strato isolante acustico (pavimento galleggiante), sottofondo, solaio XLAM, separazione, parete XLAM). L'aumento di massa aiuta a ridurre i rumori a frequenze basse (traffico) e rumori di calpestio.

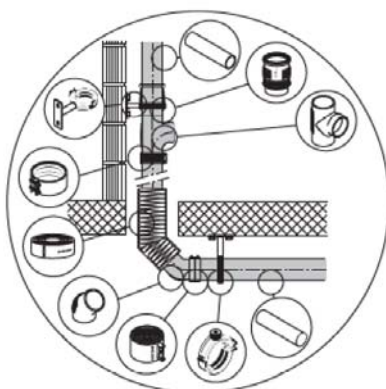
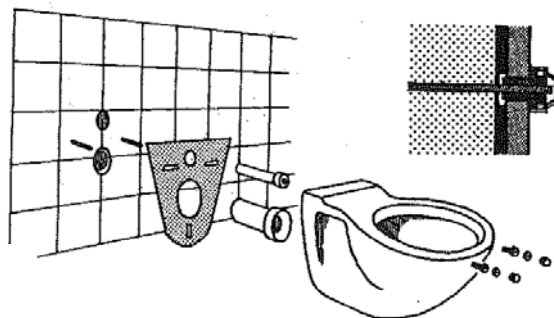
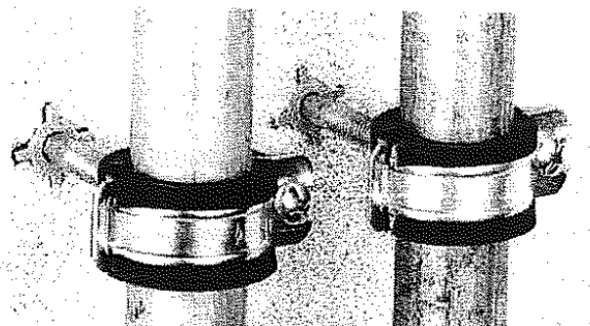
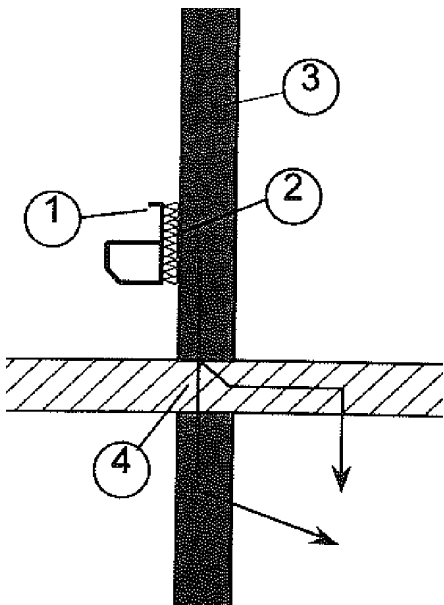


Rumore prodotto dagli impianti tecnologici:

La rumorosità prodotta dagli impianti tecnologici non deve superare i seguenti limiti:

- a) 35 dB(A) $L_{A,max}$ con costante di tempo "slow" per i servizi a funzionamento discontinuo;
- b) 25 dB(A) $L_{A,eq}$ per i servizi a funzionamento continuo.

Le misure di livello sonoro devono essere eseguite nell'ambiente nel quale il livello di rumore è più elevato. Tale ambiente deve essere diverso da quello in cui il rumore si origina.



Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno



Installationsschallpegel	Standardanforderungen DIN 4109/A1	Erhöhte Anforderungen DIN 4109/Beiblatt 2
$L_{IN} = 29 \text{ dB(A)}$	✓	-

Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno



Installationsschallpegel	Standardanforderungen DIN 4109/A1	Erhöhte Anforderungen DIN 4109/Beiblatt 2
$L_{IN} = 19 \text{ dB(A)}$	✓	✓

riassunto semplificato:

Rumore "aereo" -> tenuta all'aria: Fughe aperte (mancata tenuta all'aria) abbassano il potere di isolamento acustico. Isolanti "soffici" come fibra minerale migliorano la situazione, materiali rigidi (EPS) la peggiorano.

Rumore corporeo -> strato di divisione elastico

Nella costruzione massiccia (laterizio, cemento) si combatte il rumore soprattutto tramite "massa e rigidità"

Nelle costruzioni leggere (legno) soprattutto con più strati, collegamenti flessibili e intercapedini con materiali "soffici".

Tenuta all'aria

CONCETTO DI UNA TENUTA D'ARIA

La tenuta all'aria di un involucro si ottiene con uno **strato a tenuta all'aria**. Questo strato impedisce la corrente d'aria dall'interno verso l'esterno e viceversa.

Lo strato per la tenuta all'aria è **situato normalmente al lato caldo dell'involucro** (interno) e può eventualmente anche assumere la funzione del freno a vapore.

I punti critici, cioè più soggetti alle infiltrazioni d'aria sono quelli in cui vi sono **giunzioni tra materiali diversi (raccordi)** o dove ci sono spifferi aperti nell'involucro edilizio, ad es. quelle per porte e finestre o i **fori per il passaggio di cavi elettrici e condutture per acqua e gas**.

E' importante ricordare che **già in fase progettuale andrebbe sviluppato un progetto di ermeticità e di linee di giunzione**, in modo da poter ottenere un livello ermetico continuo.

Tutte le giunzioni e brecce a questo livello dovrebbero essere **ermetiche anche nel tempo** anche mediante l'utilizzo di **intonaco**, gesso o colla. La maggior parte dei punti critici possono essere evitati se gli artigiani ed i progettisti vi prestano la dovuta attenzione.

Come materiale di tenuta d'aria può essere scelto ogni tipo di materiale che non permette il passaggio d'aria. Spesso queste barriere all'aria vengono confuse con le **barriere al vapore**. Una barriera al vapore ha un valore sd alto (spessore equivalente di aria ferma per la diffusione) e non lascia passare il vapore acqueo. Invece un **telo aperto alla diffusione, spesso chiamato telo "traspirante"**, ha un valore sd molto basso e **lascia passare il vapore acqueo ma non l'aria**. Questo significa che i materiali utilizzati per la tenuta all'aria **possono naturalmente anche essere "traspiranti" ovvero far passare il vapore acqueo ma non l'aria**.

Materiali comuni:

Nelle costruzioni di **muratura l'intonaco interno rappresenta il livello ermetico**. Ovunque dove l'intonaco interno è interrotto da condutture, finestre e porte, dovrebbe comunque essere garantita l'ermeticità all'aria.

Nelle costruzione in legno vengono spesso utilizzati teli o guaine a tenuta d'aria i quali sono composti p.es. di bitume, materiali sintetici, carta ecc. Anche in questo caso un telo a tenuta d'aria può naturalmente essere nello stesso momento anche "traspirante" al

Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

vapore acqueo. **Questi teli non devono essere perforati e i passaggi di cavi e tubazioni devono essere sigillati bene.**

Molto comune sono anche **pannelli in cartongesso, legnomagnesite e cemento legno, lamiera, pannelli in legno (masonite, OSB) i quali sono a tenuta d'aria. In questo caso deve essere scelto uno spessore adeguato per garantire la tenuta d'aria. Inoltre i pannelli sono da sigillare tra di loro.**



La tenuta d'aria deve essere continua e gli elementi strutturali (pareti, solaio, finestre ecc.) devono essere sigillati tra di loro. Perforazioni dovute a passaggi di cavi e tubazioni devono essere sigillate in maniera tale che siano a tenuta d'aria.



Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

I controtelai per le finestre ed il cordolo in legno viene nastrato bene per evitare passaggio di aria. Poi viene applicato il cappotto esterno. **Eventualmente può essere nastrato, come nella foto sopra visibile anche all'esterno della struttura in legno, se lo spessore di cappotto esterno è sufficientemente grande. (lato caldo)**

Bisogna prestare particolare attenzione alle installazioni elettriche o sanitarie. Nella struttura leggera spesso volentieri viene costruito uno strato di impiantistica dal muro perimetrale verso l'interno per poter passare con l'impianto elettrico e sanitario senza danneggiare lo strato di tenuta all'aria della parete. Inoltre le condutture che vanno dall'interno all'esterno debbono essere realizzate con passatubi ermetici. **I passatubi che corrono attraverso l'involucro dell'edificio non dovrebbero essere legati in fasci. Infatti è possibile realizzare un isolamento duraturo tra muro e tubo, solamente se il tubo è singolo; nel caso di tubi raggruppati è pressoché impossibile.**

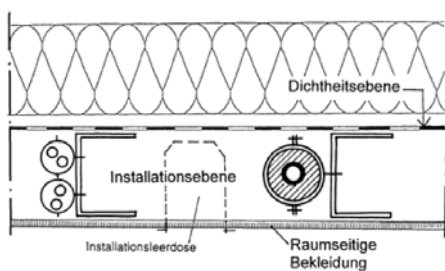
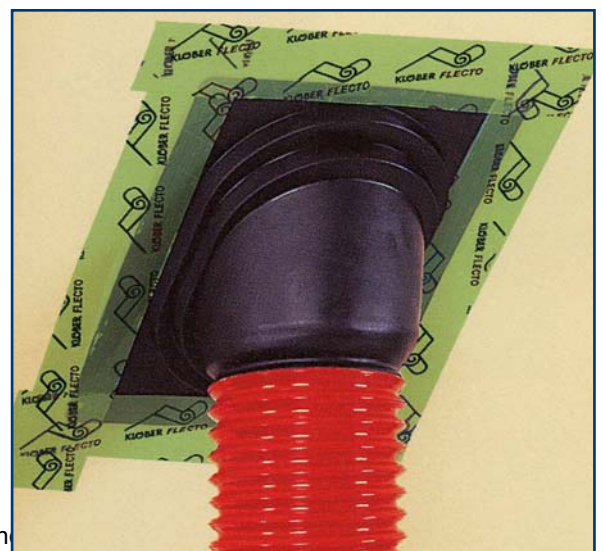


Abb. 16: Installationsebene als Schutzbereich gegenüber der Luftdichtheitsebene



Sul mercato esistono tutta una serie di materiali per questo tipo di soluzioni (ad es. prese ermetiche, flange, nastri adesivi, nastri compressori ecc.).

Esempio di una corretta esecuzione del passaggio di una tubazione attraverso lo strato di tenuta d'aria.



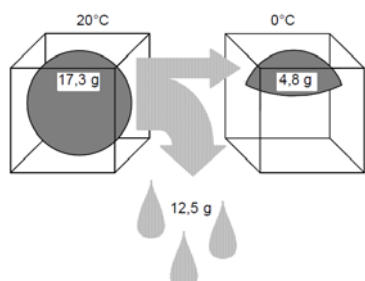
gran

Nel caso di giunto tra tetto e parete, un ev. intonaco oppure il pannello di tenuta all'aria del muro leggero deve essere nastrato con lo strato di tenuta d'aria del tetto.

L'ultima connessione orizzontale nei parapetti di finestre, coronamento del muro, parapetti o parte del muro tra solaio e tetto deve essere realizzata con uno strato di malta se di struttura massiccia, altrimenti deve essere sigillato lo strato di tenuta all'aria del muro con il tetto.



La tematica di tenuta all'aria è strettamente collegata alla tematica dell'umidità e ai problemi legati alla condensa:



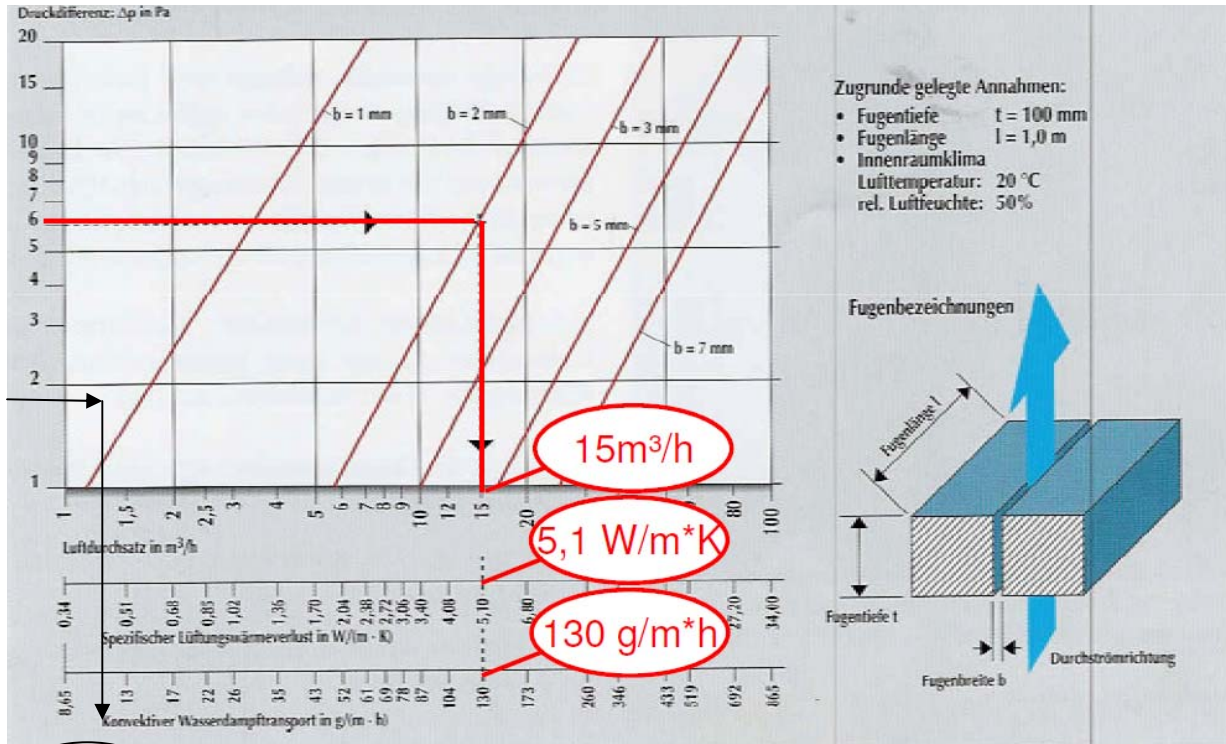
1m³ d'aria a 20°C contiene al massimo ($u_r=100\%$) 17,3g di acqua, se poi si raffredda a 0°C deve "perdere" 12,5g/m³.

Il vapore acqueo è trasportato in sostanza in due diversi modi: **Convezione e Diffusione**

Convezione indica il **trasporto** di vapore acqueo **mediante il flusso d'aria**. In tal modo **grandi quantità** di vapore acqueo possono essere trasportate **in breve tempo**. Perciò un involucro dell'edificio a **tenuta d'aria** è il presupposto fondamentale per impedire flussi d'aria dall'interno all'esterno attraverso l'elemento costruttivo, perché in tal modo grandi quantità di vapore acqueo possono essere trasportati all'interno di un elemento costruttivo. Questo è il principio tecnico fondamentale riguardo all'umidità. **Solo qualora ci si sia assicurati che l'umidità dell'aria non possa essere trasportata all'interno dell'elemento costruttivo tramite convezione, ha senso considerare la diffusione del vapore acqueo.**

Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
 Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

esempio esemplare per il trasporto di umidità attraverso uno spiffero di larghezza 2mm:



15x24=
360g/d

Sul mercato esistono tanti prodotti adeguati per risolvere la situazione



Diffusione è il **movimento delle molecole di vapore acqueo attraverso un mezzo statico** (p.es. materiale di costruzione). Il movimento avviene in direzione del gradiente della pressione parziale del vapore acqueo. Normalmente ciò corrisponde ad un movimento dal lato caldo al lato freddo dell'elemento costruttivo.

L'umidità (vapore acqueo) prodotta negli edifici d'abitazione **può essere eliminata solo arieggiando** (ventilazione manuale oppure tramite ventilazione meccanica). **Un presunto "involucro capace di respirare" dell'edificio non può mai bastare per questo scopo.** Il concetto di "respirare" è qui erroneo: una parete non può e non deve respirare, per impedire che l'aria umida interna penetri negli elementi di costruzione e lì condensi. **Tuttavia è importante che la diffusione dell'elemento costruttivo sia sufficiente ad impedire che vi si formi condensa interstiziale per diffusione**

Breve sintesi:

Un involucro edilizio possibilmente ermetico permette di:

- evitare acqua di condensa nell'elemento strutturale a seguito della convenzione
- Evitare la penetrazione di radon
- Diminuire le perdite di calore per ventilazione
- Evitare che sostanze nocive dell'aria penetrino nell'aria indoor (perdita di comfort)
- Garantire la funzione ottimale degli impianti di aerazione
- Garantire la funzione isolante dell'involucro edilizio
- è il presupposto per un buon isolamento acustico

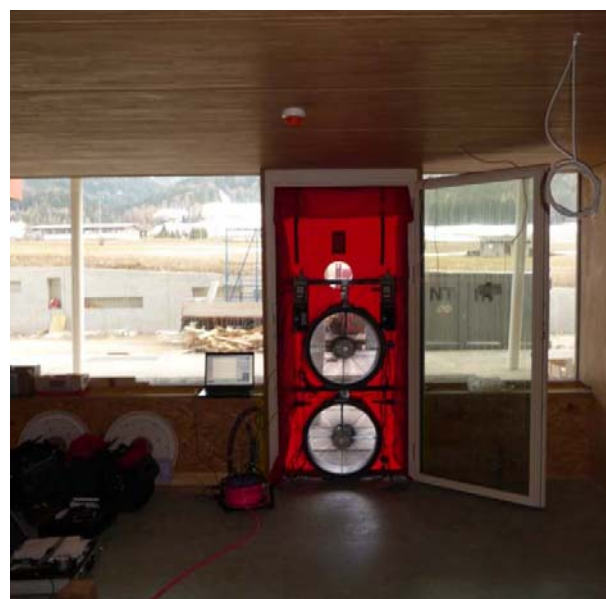
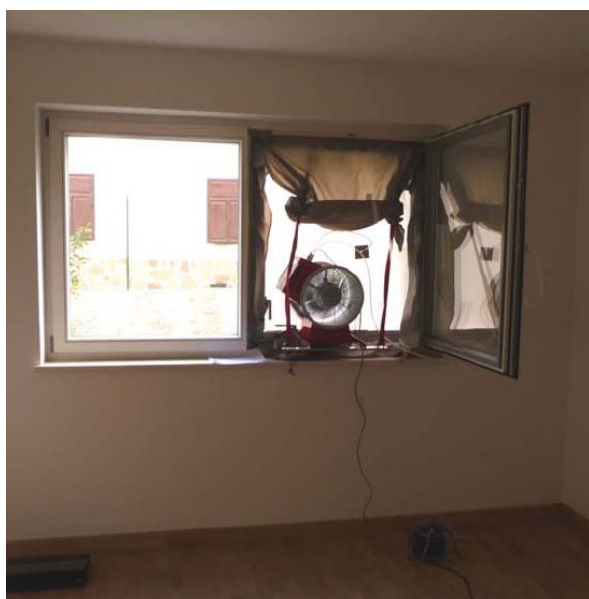
La prova di tenuta "Blower door test"

La prova della tenuta all'aria di un edificio, spesso chiamato Blower Door Test, determina la **quantità d'aria che si perde con una differenza di pressione predefinita.**

La norma per la prova Blower Door è la UNI EN 13829 del 2002 che si riferisce ad un metodo basato alla differenza di pressione.

Per questo motivo si monta un'apparecchiatura di movimentazione d'aria che è in grado di indurre uno specifico intervallo di valori di differenze di pressione positive e negative

attraverso l'involucro edilizio o parte di esso. Il sistema fornisce una portata di aria costante in corrispondenza ad ogni differenza di pressione per il periodo necessario ad ottenere letture di portata di aria.



Inoltre viene misurato la temperatura dell'aria esterna, la temperatura dell'aria interna, la velocità del vento e la pressione a flusso nullo.

Viene distinto tra una prova secondo metodo A e metodo B. **Metodo A significa prova di un edificio in uso**: Lo stato dell'involucro edilizio dovrebbe rappresentare le sue condizioni nella stagione in cui è utilizzato l'impianto di riscaldamento o l'impianto di raffrescamento.

Invece il **metodo B, prova dell'involucro edilizio prima del suo completamento**, definisce una prova prima del completamento di tutti i lavori per un controllo dei lavori.

La prova di tenuta d'aria per una certificazione energetica come per esempio CasaClima o Casa Passiva, **viene sempre eseguita secondo metodo A. Questo significa che sono da chiudere tutte le aperture esterne esistenti dell'edificio (finestre, porte, tagliafuoco) e di aprire le porte interne della unità misurata**. Per gli scopi del metodo A (edificio in uso) non occorre prendere ulteriore misure per migliorare la tenuta all'aria; questo significa che non possono essere sigillate o tappate temporaneamente camini, bocchette d'aria, cappe ecc per le quali aperture non è previsto una propria chiusura.

La differenza di pressione tra interno ed esterno viene misurata solitamente al piano più basso dell'involucro edilizio considerato. La sequenza di differenza di pressione varia normalmente da 10Pa a 60Pa. **La prova si esegue sia in depressione, sia in sovrappressione.**

I valori massimi di tenuta all'aria dell'edificio svolti con il Blower Door Test secondo la norma UNI EN 13829 metodo A per CasaClima sono:

Classe Energetica Involucro		
C	valore limite	$n_{50,lim} = 2,0 \text{ h}^{(-1)} \pm 0,1$
B	valore limite	$n_{50,lim} = 1,5 \text{ h}^{(-1)} \pm 0,1$
A	valore obiettivo	$n_{50,lim} = 1,0 \text{ h}^{(-1)} \pm 0,1$
Gold	valore obiettivo	$n_{50,lim} < 0,6 \text{ h}^{(-1)} \pm 0,1$

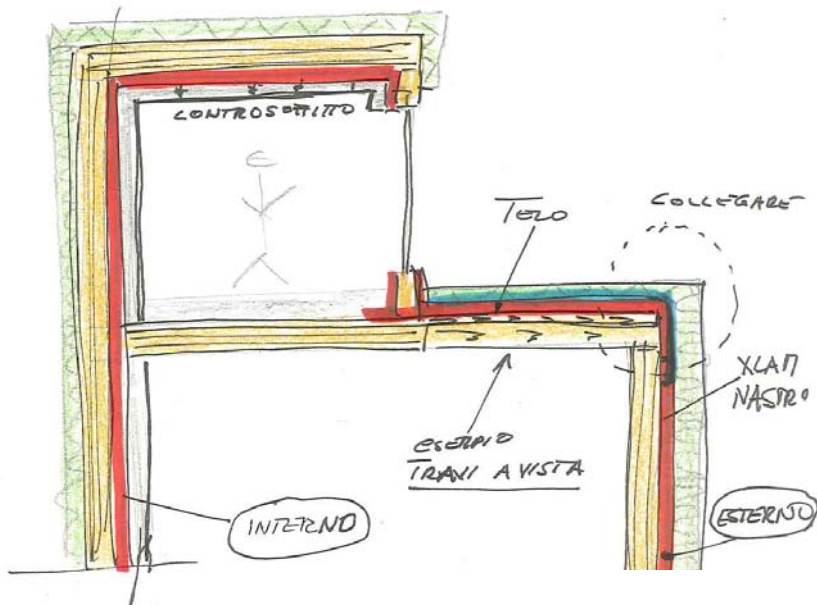
La prova Blower Door è obbligatoria per ogni "casa passiva/Passivhaus". Per queste il valore n_{50} misurato secondo UNI EN 13829 metodo A deve essere inferiore a 0,60/h. Questo rappresenta un limite molto severo.


Dopo la preparazione iniziale dell'edificio secondo la UNI EN ISO 13829 viene di solito fatto un controllo della plausibilità per la stima della tenuta d'aria con una misurazione puntuale a 50Pa di depressione.

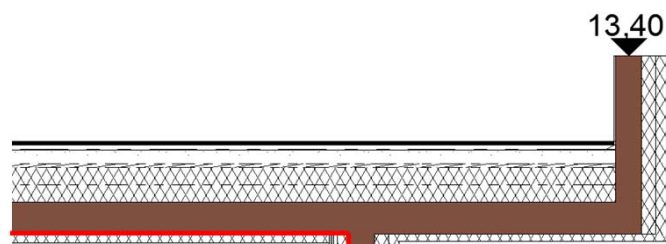
Successivamente viene eseguita una determinazione delle fessure d'aria. Per questo motivo si inserisce un strumento di Blower Door per ottenere una depressione interna di -50Pa rispetto alla pressione esterna. La determinazione delle fessure dello strato di tenuta d'aria viene effettuata di solito con un termo-anemometro, **una termocamera e fumo freddo.**

Infine viene eseguito un test in depressione e sovrappressione secondo la UNI EN ISO 13829 Metodo A per ottenere il valore n_{50} .

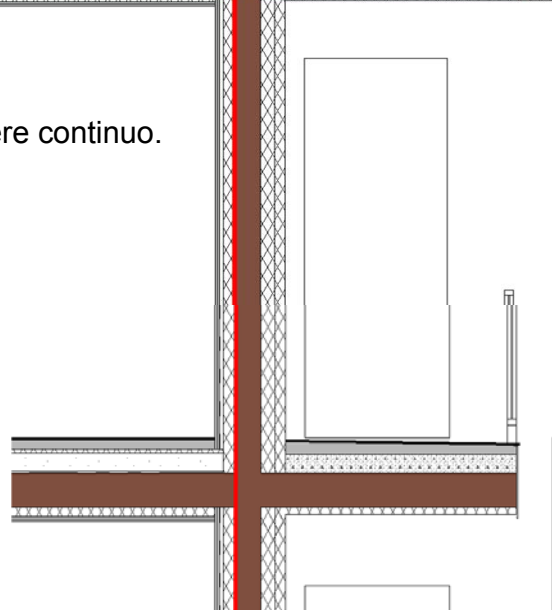
Esempi: schizzi/progetto tenuta all'aria:



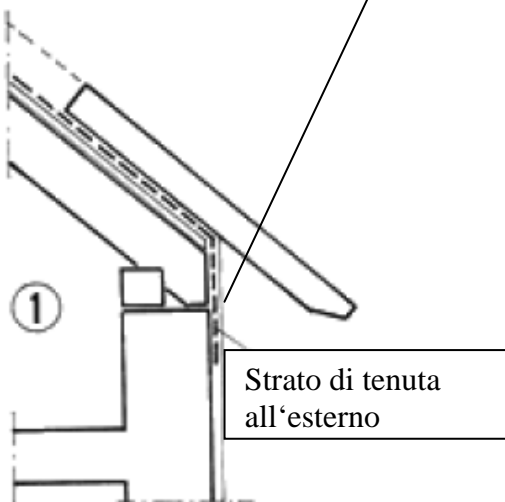
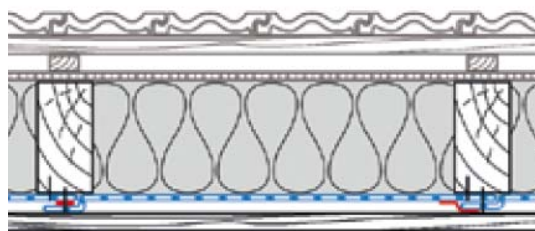
 TENUTA ALL'ARIA
LATO CALDO!



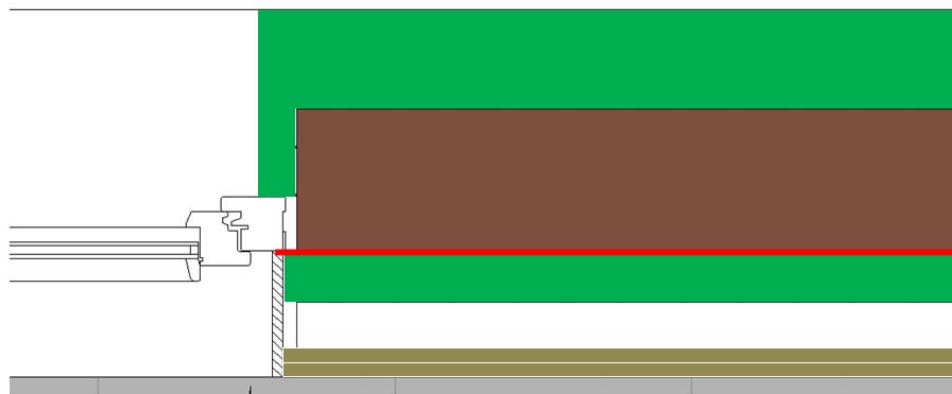
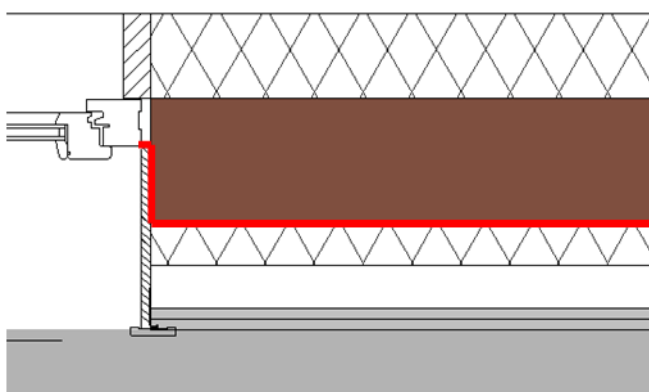
tetto - parete: lo strato di tenuta d'aria deve essere continuo.



Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno



Dettaglio tra **finestra e parete**. Il controtelaio viene nastrato sulla struttura in legno come sopra visibile (linea in rosso). Inoltre il cappotto esterno copre anche il falso telaio esterno, il quale ha una forma particolare in L, per evitare un ponte termico dovuto alla posa della finestra.



È possibile anche un inserimento a filo interno della struttura in legno. In questo caso il cappotto esterno viene portato fino al telaio filo esterno. Inoltre viene nastrato la finestra a filo interno alla struttura in legno (linea in rosso).

Esempi di ERRORI:



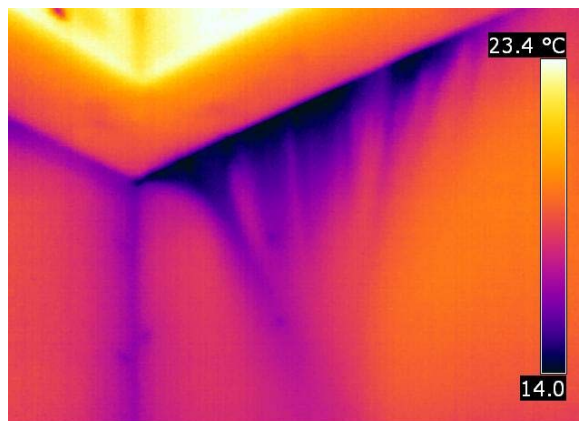
Scatola elettrica non a tenuta all'aria.

La struttura leggera non aveva concetto di tenuta all'aria: l'impianto elettrico veniva montato nello strato di isolamento termico tra montanti.

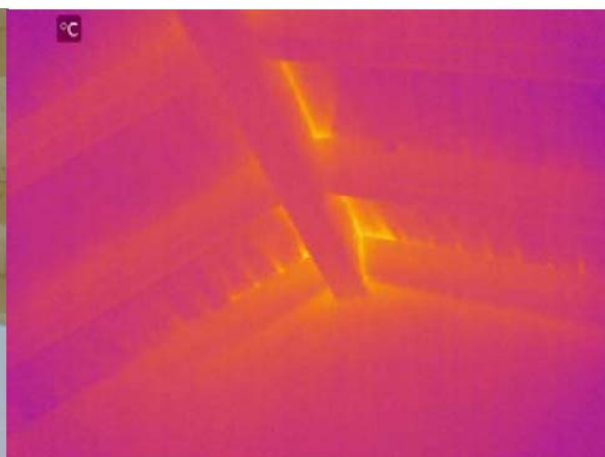


Struttura leggera con inserimento dello sciacquone non a tenuta all'aria.

Infiltrazioni di aria tra parete e vetro fisso orizzontale.



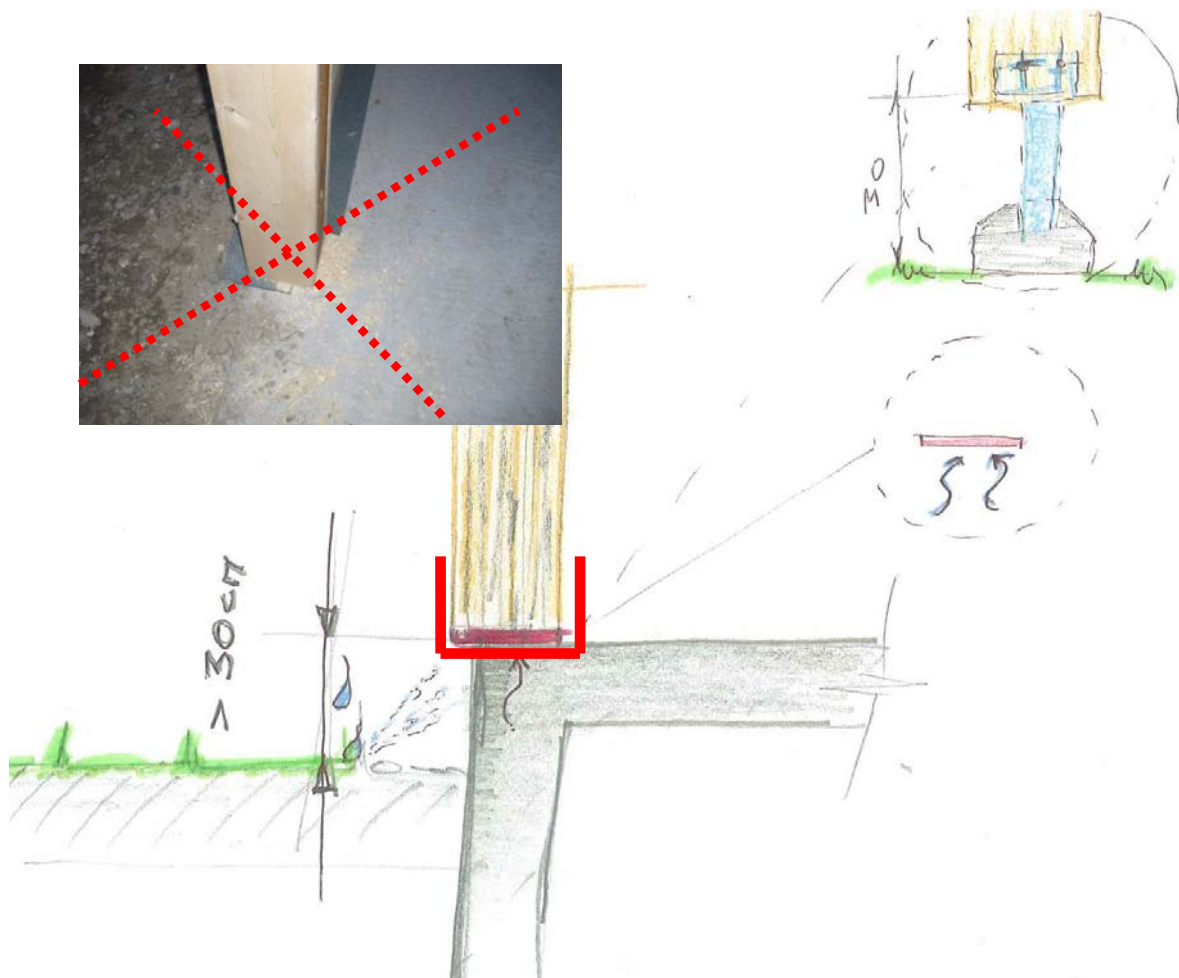
Tetto non a tenuta:



Particolari costruttivi

Protezione costruttiva del legno:

- da acqua - contatto diretto continuo soprattutto il legno da testa (capillarità)
- da acque piovane
- dalla condensa (areazione; punto di rugiada possibilmente non nel legno)
- da umidità permanente $>20\%$
- anche in fase di trasporto e stoccaggio (protezione dal suolo e dalla pioggia tramite telo resistente al vento ma con areazione garantita)
- posa con $u < 20\%$, se fino a $< 30\%$ garantire la possibilità di asciugarsi
- utilizzare di dimensioni adeguate (non troppo piccole all'esterno)



Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno



Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno



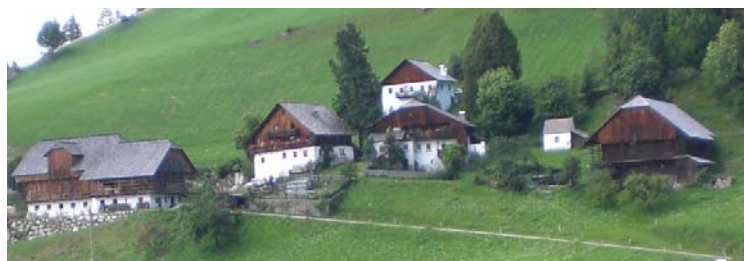
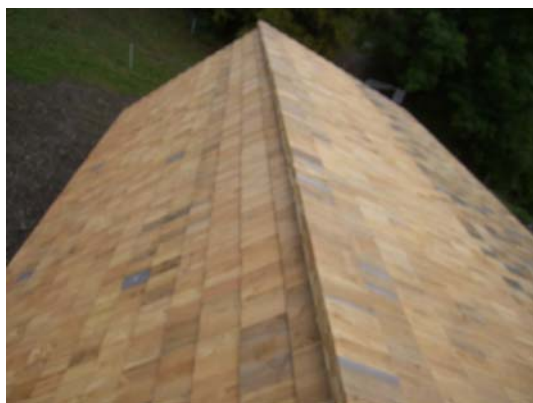
Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

Nel caso di **un'introduzione diretta d'umidità** nell'edificio bisogna trovare ed eliminare le cause per **fermare la quantità di umidità** e per **prosciugare l'elemento** costruttivo.

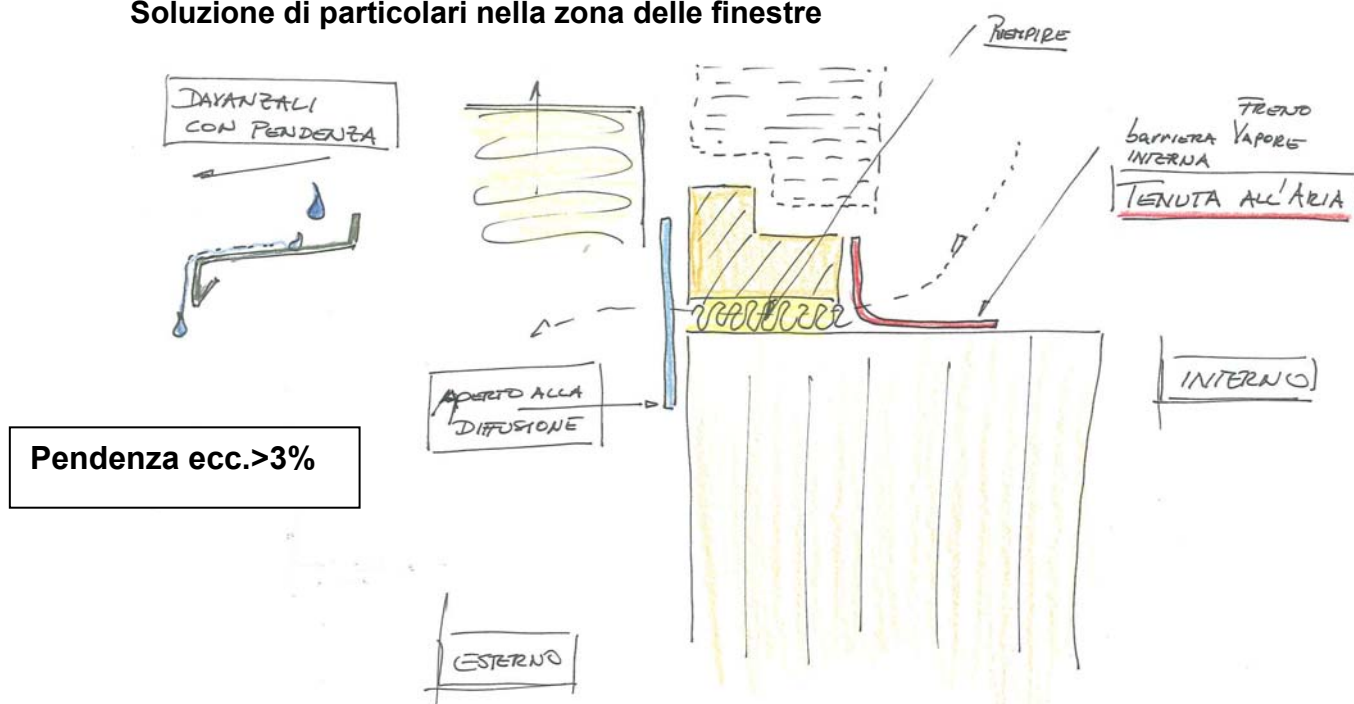
Nella costruzione massiccia sono presenti spesso enorme quantità d'acqua durante la fase costruttiva (sottofondo, massetto, diverse strutture massicce). **Invece nella struttura in legno si può ridurre l'impatto di acqua notevolmente dovuto alla costruzione a secco.** Diventa però cruciale la protezione della costruzione in legno da pioggia ed acqua battente durante la realizzazione dell'edificio e l'inserimento di **materiali isolanti asciutte!**

Se entra acqua, l'umidità deve avere la possibilità di evaporare. Se questo è reso impossibile per un lungo periodo ad esempio a causa di un rivestimento con strati impermeabili su tutte le parti è probabile la formazione di muffa e il legno potrà marcire.

Una casa in legno, anche se non trattata con materiali chimici, può tenere tranquillamente centinaia di anni se costruita a „regola d'arte“.



Soluzione di particolari nella zona delle finestre



Pendenza ecc. >3%



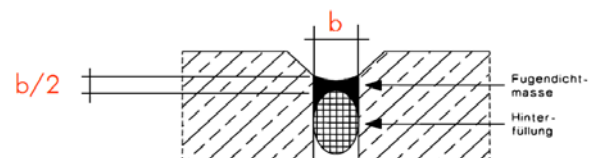
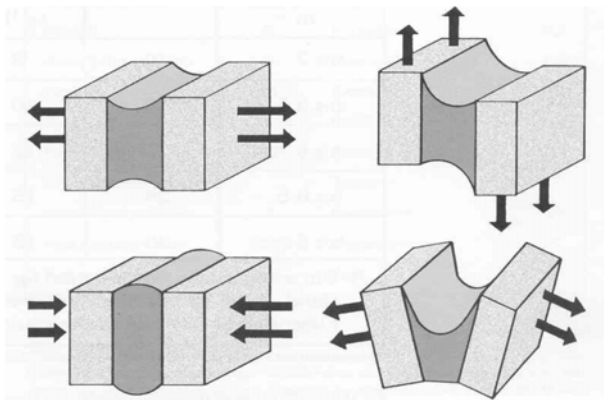
Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno



Nastri autoespandenti

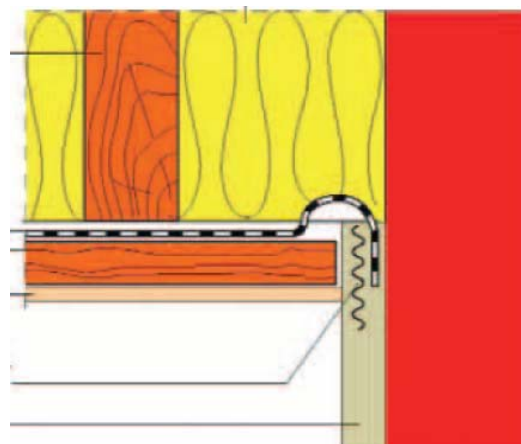
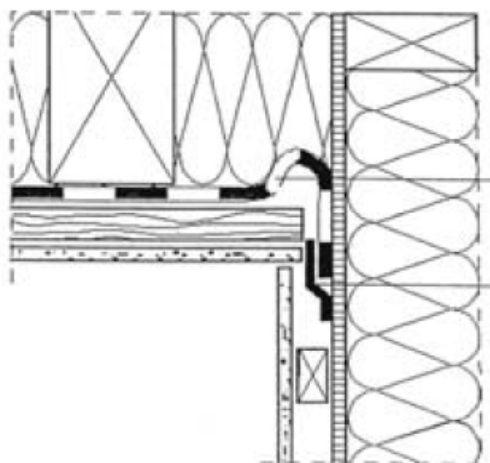


Quando si usa **silicone per chiudere fughe** ecc. è importante un'esecuzione a regola d'arte (raramente da trovare in cantiere) per evitare il rinnovamento necessario dopo poco tempo.



Collegamento di strati a tenuta all'aria

Esempio collegamento telo e piastra OSB oppure telo intonaco.



Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

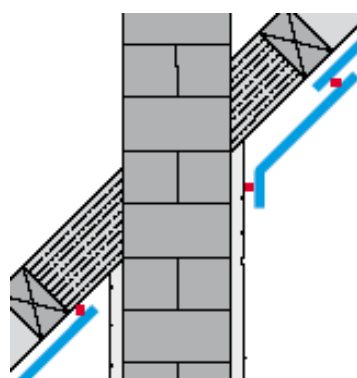


Tenuta vento – freno vapore ... a secondo le necessità



Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

attraversamento tetto- zona camino:



massa interna – lastre di gesso:

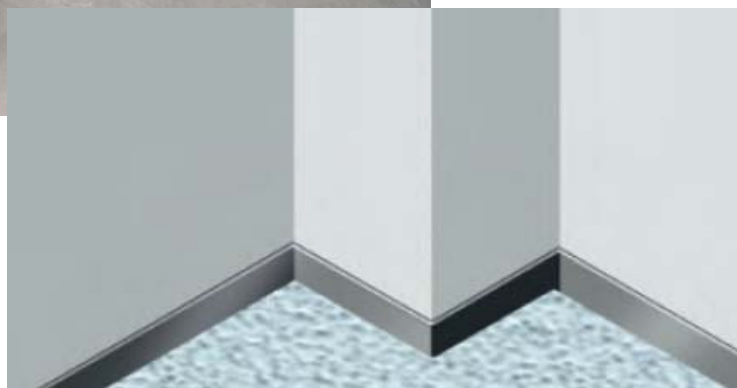


impianti



Passaggio dei tubi prima di montare il cartongesso interno (strato d'impiantistica)
Passaggio di un corrugato a tenuta all'aria

Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno



Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno



Separazione acustica



Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno



Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno



Dettagli particolari – risanamento esistente – costruzione in legno



Fisica Tecnica, soluzioni, approfondimenti e dettagli
Gli aspetti della fisica tecnica applicati all'edificio multipiano in legno

Costruzioni in legno funzionano dalla casetta unifamiliare fino al grande cantiere

Il vantaggio dei grandi cantieri è la possibilità economica di ottimizzare e standardizzare le strutture e le soluzioni per i vari particolari.

