

Indice

Introduzione.....	1
Elementi della fisica edile.....	2
La prestazione invernale.....	3
Prestazione estiva.....	5
Condense interstiziali.....	6
La prestazione acustica.....	10
Permeabilità all'aria.....	12

Introduzione

La fisica edile si occupa delle prestazioni termiche invernali ed estivi, dei moti termoigrometrici come la diffusione di vapore e delle caratteristiche acustiche di elementi costruttivi e nella loro combinazione degli edifici. Infine analizza anche la salubrità delle costruzioni che è uno degli elementi più importanti delle costruzioni in legno.

Ogni singolo aspetto però ha influenza negativa o positiva sugli altri elementi. Materiali che funzionano bene d'inverno, non automaticamente hanno elevate prestazioni per la protezione estiva. Perciò è importante che non si perda mai di vista il compromesso ottimale, da preferire alla eccessiva ottimizzazione di un singolo aspetto:



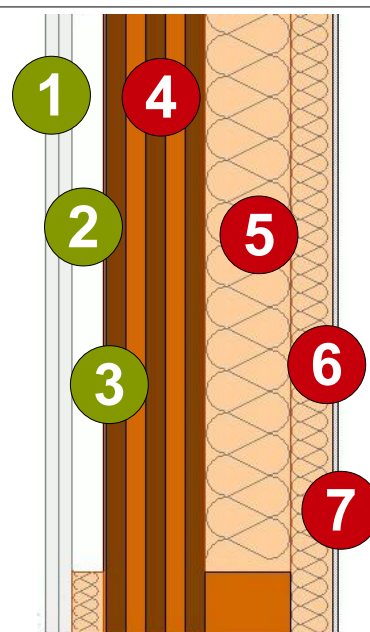
Elementi della fisica edile

La fisica edile di costruzioni in X-Lam comprende varie problematiche. Le più importanti sono:

- la **prestazione invernale**, o meglio la perdita di calore invernale; il metodo semplificato secondo la norma UNI EN ISO 6946 definisce la trasmittanza unitaria U come perdita di calore in W a metro quadro di superficie dell'elemento costruttivo differenza di temperatura interne-esterna di 1 grado Kelvin: unità W/m^2K
- la **prestazione estiva**, rappresentato da diverse caratteristiche della struttura (attenzione, non la prestazione dell'appartamento, ma del solo elemento costruttivo!): la riduzione ampiezza e lo sfasamento secondo il metodo "Heindl" e l' U dinamico secondo la norma UNI EN 13786 come richiesto dal DPR 59/09.
- le **condense interstiziali**, cioè il pericolo di formazione condensa nell'elemento costruttivo (sia quello invernale che quello estiva). Il metodo di calcolo viene definito dalla norma UNI EN 13788.
- il pericolo di **crescita muffa**, controllando la temperatura superficiale interna minima in presenza di ponti termici in situazione di clima interno definito (59/2009). Il metodo di calcolo è definito dalla norma UNI EN 13788.
- la **prestazione acustica**, caratterizzato dall'abbattimento acustico della facciata secondo il DPCM 97, misurando il $D_{is,2m,nT,w}$ in cantiere, l'isolamento acustico aereo degli solai e delle pareti divisorie R'_w e il passaggio di rumore al calpestio L'_{nw} .
- la **permeabilità all'aria**, che rispecchia la qualità di posa e salvaguardia gli sforzi fatti rispetto alle altre prestazioni. La permeabilità all'aria viene controllata con i test "BlowerDoor" secondo la norma UNI EN 13829, misurando il n_{50} .
- la **salubrità** degli ambienti interna con il test SALUScontrol.

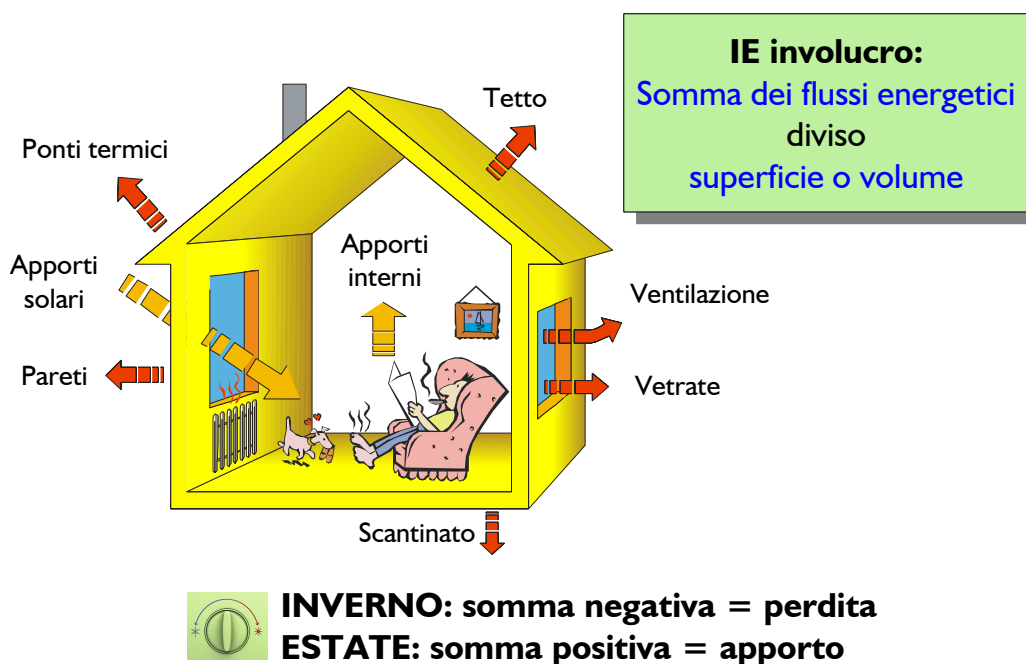
La parete X-Lam ha la seguente stratigrafia generale:

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



La prestazione invernale

La prestazione invernale viene definita con l'indice energetico dell'edificio. L'indice energetico però è una somma del bilancio energetico. Pertanto non si può detrarre dalle prestazioni singoli degli elementi costruttivi, una qualità termica globale dell'edificio.



La caratteristica termica del singolo elemento però è la **trasmissione unitaria U**.

Per il metodo semplificato indicato dal DPR 59/2009 / Dlgs 311/2006 per la concessione edilizia valgono i seguenti limiti dal 01.01.2010:

W/m ² K	A	B	C	D	E	F
01.01.2010	600	601	901	1.401	2.101	3.001
Pareti	0,62	0,48	0,40	0,36	0,34	0,33
Coperture	0,38	0,38	0,38	0,32	0,30	0,29
Pavimenti	0,65	0,49	0,42	0,36	0,33	0,32
Serramenti	4,60	3,00	2,60	2,40	2,20	2,10
Vetri	3,70	2,70	2,10	1,90	1,70	1,30

Per la detrazione IRPEF nelle ristrutturazioni energetiche invece dal 01.01.2010 valgono:

Valori U limite per l'accesso alla detrazione IRPEF 55% 2008						
Tab 2, allegato B, DM 11.02.2008; GU 66, della finanziaria 2008; dal 01.01.2010						
W/m ² K	A	B	C	D	E	F
01.01.2010	600	601	901	1.401	2.101	3.001
Pareti	0,56	0,43	0,36	0,30	0,28	0,27
Coperture	0,34	0,34	0,34	0,28	0,24	0,23
Pavimenti	0,59	0,44	0,38	0,30	0,27	0,26
Serramenti	3,90	2,60	2,10	2,00	1,60	1,40

Calcolo del valore U: UNI 6946

Parete X-Lam 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	Doppio cartongesso	0,250			2,5	0,100
2	Strato d'aria poco ventilato	0,360			3,0	0,083
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	6,0	1,500
6	Fibra di legno intonacabile	0,050			2,0	0,400
7	Intonaco al silicato	0,700			0,5	0,007
8						
9						
			Percentuale superficie stratigrafia 2	9,1%	26,0	0,170

Somma

Trasmittanza U [W/m²K]: 0,335

Resistenza termica R [m²K/W]: 2,989

errore **2%**

Limiti validi per: **Padova (PD)**

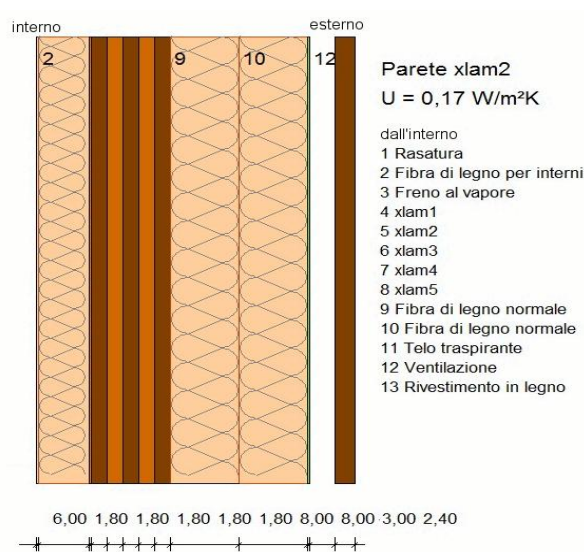
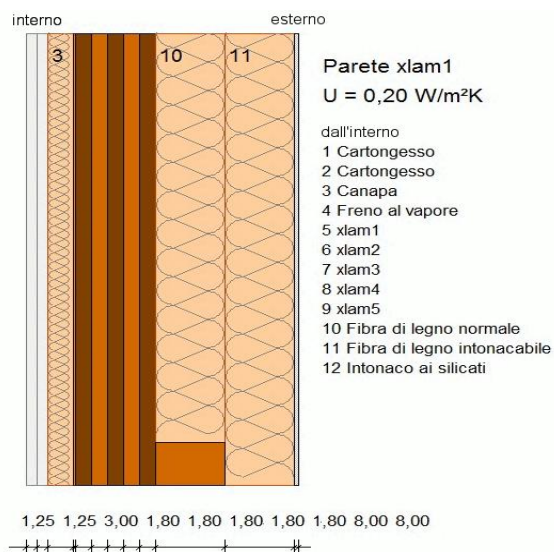
Limite U finanziaria 2010 [W/m²K]: **0,28**

U FEP

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

Il calcolo della trasmittanza unitaria dev'essere eseguita secondo la norma UNI EN ISO 6946, inserendo anche singoli ponti termici ripetitivi (attenzione al controllo del limite dell'errore). Vengono esclusi elementi ventilati e teli, guanine, ...

Esempi di pareti:



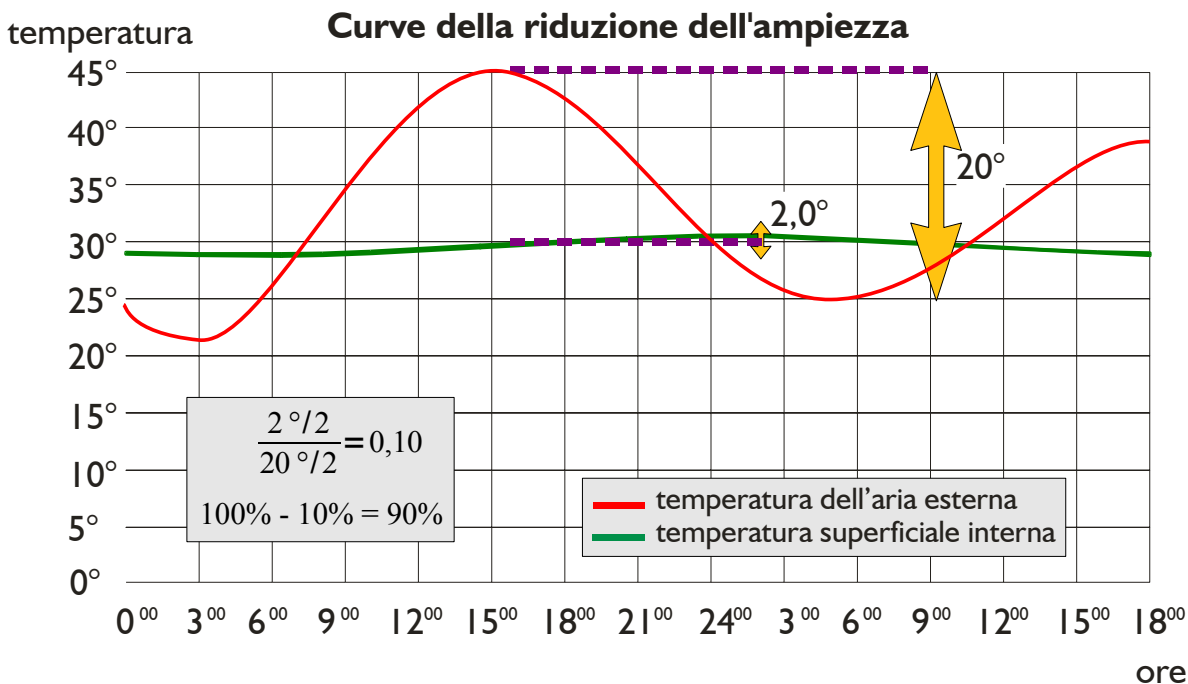
Prestazione estiva

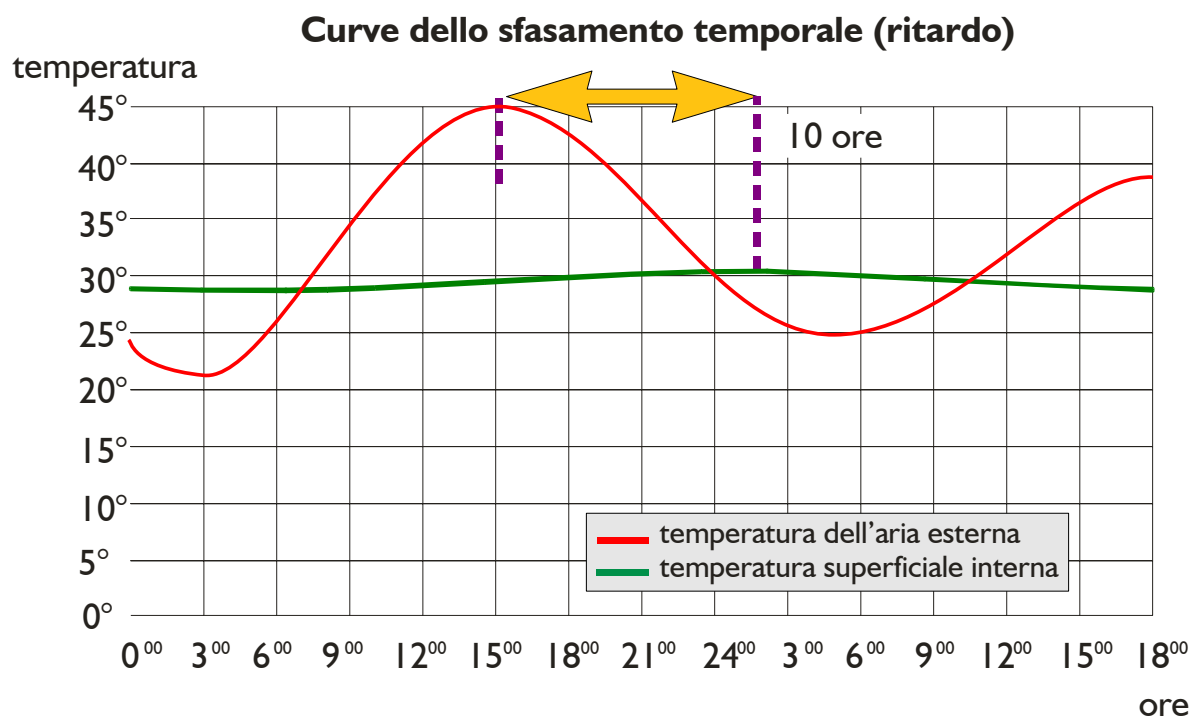
Per caratterizzare la prestazione estiva (vale per tutti i comuni delle zone climatiche A-E che hanno una irradianza mensile nel mese più soleggiato superiore a 209 W/m²) di ci sono due sistemi di verifica secondo il decreto attuativo del Dlgs 59/09:

- Peso superficiale (min. 230 kg)
- Metodo alternativo trasmittanza periodica dinamica Yie

Inoltre esiste da tempo un metodo internazionale chiamato "Heindl" che valuta la prestazione estiva con la riduzione ampiezza e lo spostamento fase:

Il calore esterno arriva all'interno tramite conduzione, convezione ed irraggiamento. La riduzione dell'ampiezza della temperatura in combinazione allo sfasamento temporale, ossia lo spostamento dell'istante del raggiungimento della temperatura di picco interna rispetto a quello relativo alla temperatura esterna, definisce la qualità del tetto. Più si riesce a ridurre l'influenza della temperatura esterna, meglio è. È consigliata una riduzione dell'ampiezza del 90%. Per lo sfasamento temporale si consiglia un valore di almeno 10 ore, per portare l'arrivo della temperatura calda interna alla sera. Con le temperature esterne più basse di notte, si riesce infatti a rinfrescare meglio le stanze da letto.





Il decreto DPR 59/09 richiede per pareti una trasmittanza periodi Y_{ie} inferiore a $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ e per coperture $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Condense interstiziali

Per un tetto asciutto serve una buona diffusione al vapore dei materiali impiegati. Di massima importanza è però anche la ridotta quantità della condensa, perché troppa umidità crea il pericolo di muffa ed alghe e aumenta la conducibilità termica dei materiali.

Secondo le norme la quantità massima di umidità ancora accettabile per le strutture di legno è di $0,5 \text{ kg}$ di acqua al m^2 . Per periodi di tempo ridotti (max 7 giorni) si possono accettare anche fino ad $1,0 \text{ kg/m}^2$. Per questo motivo serve all'interno della struttura una limitazione all'entrata del vapore (attenzione! non una barriera, ma solo qualcosa che ne dosi il passaggio lasciando la quantità necessaria all'asciugamento), per poter restare sempre nei limiti di umidità ottimali. D'altra parte sul lato esterno del tetto serve una superficie molto traspirante, che garantisca un asciugamento veloce.

S_d è lo spessore equivalente alla diffusione del vapore e descrive la "permeabilità" di uno specifico strato (materiali di costruzione, coibenti, teli, freni al vapore, guaine, ...) in rapporto ad uno spessore d'aria. Se un freno al vapore ha un valore s_d di 2 m , vuol dire, che "frena" il passaggio di vapore acqueo come uno strato di 2 metri d'aria. Un telo traspirante con un s_d di $0,04 \text{ m}$, lascia passare il vapore come uno strato d'aria di 4 cm .

I teli, i freni e le barriere per il vapore vengono classificati nel modo seguente:

- $s_d < 0,1 \text{ m}$ telo ad alta traspirabilità
- $1 \text{ m} < s_d < 20 \text{ m}$ freno al vapore (materiale semitraspirante per il vapore)
- $s_d > 100 \text{ m}$ barriera al vapore

Il calcolo viene eseguito secondo la normativa UNI EN 13788, che richiede un bilancio igrometrico mensile e il controllo della condensa accumulata e la rispettiva evaporazione:

Calcolo delle condense interstiziali**Parete X-Lam 1**

Clima interno UNI EN 13788; allegato E.7/E.8

Abitazione

Clima esterno UNI 10349

Verona

nr	Stratigrafia 1 dall'interno verso l'esterno	s [m]	μ_{\min} [-]	$\mu_{\min} * s$ [m]	μ_{\max} [-]	$\mu_{\max} * s$ [m]	sd_{fix} [m]	sd [m]
1	Doppio cartongesso	0,025					0,20	
2	Canapa, materassino	0,030					0,04	
3	Freno al vapore							
4	X-Lam 5 strati	0,090					3,60	
5	Fibra di legno normale	0,080					0,40	
6	Fibra di legno intonacabile	0,080					0,40	
7	Intonaco al silicato	0,005					0,46	
8								
9								

Nota

Elemento senza condense interstiziali.

Mese	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
h	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	
θ_i	°C	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	
θ_e	°C	2,4	4,9	9,3	13,7	17,4	21,7	23,8	23,6	20,2	14,7	8,5	4,3
ϕ_i	%	50	50	60	65	70	70	70	65	60	50	50	
ϕ_e	%	82	63	69	62	67	68	70	65	69	71	87	83
p_i	Pa	1168	1168	1401	1518	1635	1635	1635	1518	1401	1168	1.168	
p_e	Pa	595	545	808	971	1330	1763	2061	1631	1186	965	689	

c	g/M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
---	-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Mc	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

In questo caso le condense interstiziali mensili -c- non ci formarono e perciò anche la condensa accumulata Mc era nullo.

Attenzione! il decreto attuativo per il calcolo della prestazione energetica di edifici D.lgs 59/09 chiede per la concessione edilizia oltre al calcolo energetico anche il calcolo delle condense interstiziali con parametri di calcolo più severi (20°C temperatura e 65% umidità relativa dell'aria interna). Inoltre chiede il controllo dell'assenza di condensazioni superficiali (attenzione ai ponti termici) con tali parametri. Per evitare muffa invece si deve assicurare di rimanere ovunque (ad'eccezione delle finestre) sopra l'80% di umidità relativa con 20°C e 55% di umidità relativa.

Calcolo Tsimin da Um.rel.limite

	Ti	φi	φi lim	Tsimin
Muffa UNI 13788	20,0°C	55%	80%	14,1°C
Muffa standard DIN	20,0°C	50%	80%	12,6°C
Condensazione superficiale	20,0°C	65%	100%	13,2°C

Come si può notare, il controllo della muffa é il requisito più severo e richiede una temperatura superficiale interna di almeno 14,1°C con il clima interno a norma con temperatura di 20°C e 55% di umidità relativa.

Per il calcolo bisogna individuare

- il posto di costruzione
- l'umidità relativa interna limite (80% per muffa; 100% per condense superficiali)
- il clima interno (13788; D.lgs 59/09; ...)
- fRsi ricavato dal calcolo ad elementi finiti

Capoluogo di riferimento	Milano	122 m
Comune dell'oggetto	Milano	122 m
Fattore altitudine	178 m/K	Δ alt. 0



Umidità relativa interna limite	80%
Clima interno scelto	13788 20°C-55%

Mese	T _{e cdPR}	T _e	T _i	φ _i	p _{sat,i}	p _i	p _{sat} (T _{si})	T _{simin}	f _{Rsi}
Gennaio	1,7°C	1,7°C	20°C	55%	2.337 Pa	1.285 Pa	1.607 Pa	14,1°C	0,677
Febbraio	4,2°C	4,2°C							0,626
Marzo	9,2°C	9,2°C							0,452
Aprile	14,0°C	14,0°C							0,014
Maggio	17,9°C	17,9°C							
Giugno	22,5°C	22,5°C							
Luglio	25,1°C	25,1°C							
Agosto	24,1°C	24,1°C							
Settembre	20,4°C	20,4°C							
Ottobre	14,0°C	14,0°C							0,014
Novembre	7,9°C	7,9°C							0,511
Dicembre	3,1°C	3,1°C							0,650

Mese più critico secondo f _{Rsi,max}	Gennaio
---	---------

f _{Rsi,max}	0,677
f _{Rsi} da calcolo a elementi finiti	0,750
Struttura a NORMA?	OK

Il fRsi é il fattore di temperatura e descrive in modo indipendente dal luogo il requisito di temperatura superficiale interna minima Tsimin.

Capoluogo di riferimento	Milano	122 m
Comune dell'oggetto	Milano	122 m
Fattore altitudine	178 m/K	Δ alt. 0



Umidità relativa interna limite	100%
Clima interno scelto	59 20°C-65%

Mese	$T_{e,cdPR}$	T_e	T_i	ϕ_i	$p_{sat,i}$	p_i	$p_{sat}(T_{si})$	$T_{s,imin}$	f_{Rsi}
Gennaio	1,7°C	1,7°C	20°C	65%	2.337 Pa	1.519 Pa	1.519 Pa	13,2°C	0,630
Febbraio	4,2°C	4,2°C							0,571
Marzo	9,2°C	9,2°C							0,373
Aprile	14,0°C	14,0°C							
Maggio	17,9°C	17,9°C							
Giugno	22,5°C	22,5°C							
Luglio	25,1°C	25,1°C							
Agosto	24,1°C	24,1°C							
Settembre	20,4°C	20,4°C							
Ottobre	14,0°C	14,0°C							
Novembre	7,9°C	7,9°C							0,440
Dicembre	3,1°C	3,1°C							0,599

Mese più critico secondo $f_{Rsi,max}$	Gennaio
--	---------

$f_{Rsi,max}$	0,630
f_{Rsi} da calcolo a elementi finiti	0,750
Struttura a NORMA?	OK

La prestazione acustica

Per la prestazione acustica viene richiesto l'adempimento dei limiti definiti del DPCM '97

Cat	Destinazione	R'_w	$D_{2m,nT,w}$	L'_{nw}
A	Edifici adibiti a residenza e assimilabili	≥ 50	≥ 40	≤ 63
B	Edifici adibiti ad uffici e assimilabili	≥ 50	≥ 42	≤ 55
C	Edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili	≥ 50	≥ 40	≤ 63
D	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili	≥ 55	≥ 45	≤ 58
E	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	≥ 50	≥ 48	≤ 58
F	Edifici adibiti ad attività ricreative o di culto e assimilabili	≥ 50	≥ 42	≤ 55
G	Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili	≥ 50	≥ 42	≤ 55

Tab 1: Limiti del DPCM '97

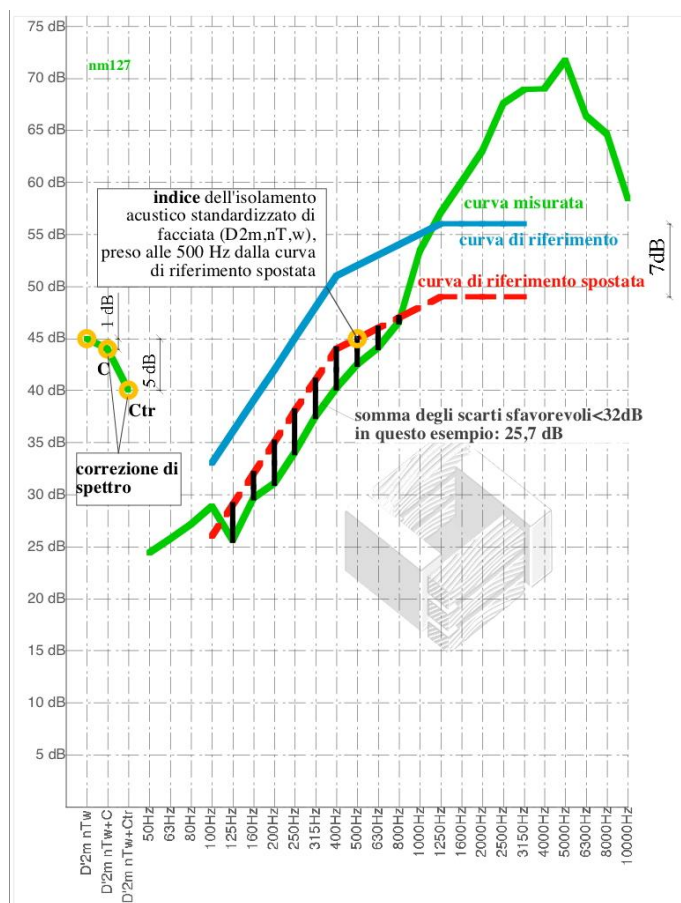
I controlli vengono eseguiti con un test in cantiere, che raccoglie tutte le perdite acustiche in un unico valore $D_{is,2m,nT,w}$ della facciata:

Indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata

I test devono essere eseguiti secondo le norme ISO 140-5 & ISO 717-1

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

1. Il principio massa-molla-massa funziona anche con i pannelli X-Lam.
2. Masse aggiuntive sono importanti per ridurre il passaggio di rumore a frequenze basse (p.e. traffico, aerei, ...) e al calpestio.
3. Coibentazioni leggeri-rigidi (polistirene espanso, polistirene estruso, ...) hanno bisogno di masse aggiuntive.
4. 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 acusti-



camente non assorbenti. Per esempio, i materiali fibrosi, in questo caso sono più adatti dei materiali rigidi, perché assorbono il rumore.

5. 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.

6. 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.

Permeabilità all'aria

La permeabilità all'aria definisce il modo e la quantità del passaggio dell'aria in un elemento costruttivo. Attenzione! Tale concetto non dev'essere scambiato con la diffusione del vapore, che è un fenomeno utile, per asciugare il tetto. Il passaggio libero di aria, comporta invece gravi problemi di tipo termico e di condensa. Il passaggio del vapore nelle fessure aperte va, come già detto, nella direzione del passaggio del calore: d'inverno dall'interno all'esterno, d'estate viceversa dall'esterno all'interno. L'umidità condensa ad una temperatura più bassa di quella di saturazione (vedi capitolo sulla diffusione del vapore). La quantità di condensa creata a causa del passaggio libero d'aria è circa 100 volte più alta di quella "fisiologica" che si ha nella diffusione controllata del vapore. Per questo motivo le fessure aperte nella struttura comportano spesso un danno, favorendo la formazione di muffa. In ogni caso incidono molto sul comfort interno, per gli spifferi d'aria fredda, soprattutto quando all'esterno siamo in presenza di un forte vento o di una temperatura molto bassa.

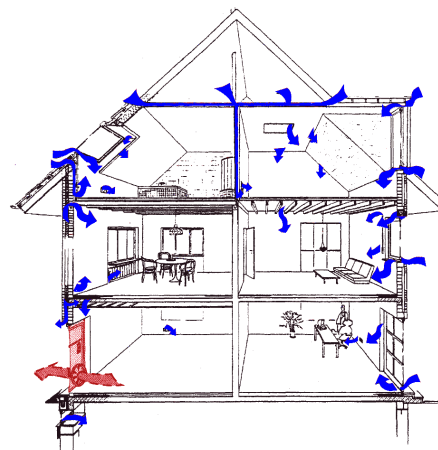
Lo stesso effetto si riscontra d'estate in sottotetti climatizzati, dove si forma la condensa a causa dell'entrata dell'aria esterna umida e calda, che all'interno raggiunge la temperatura di saturazione.

Una buona tenuta all'aria si può garantire trovando la sintesi tra la progettazione e l'esecuzione e cercando di avere due strati ermetici al passaggio d'aria:

- strato interno di tenuta all'aria (per esempio con il freno al vapore)
- strato esterno di barriera al vento (per esempio con telo ad alta traspirabilità)

I punti deboli non sono le superfici grandi, ma tutte le interruzioni, attachi e le fuoriuscite con travi, travetti, finestre, porte e gli impianti elettrici e termo-sanitari.

Per misurare la tenuta all'aria di un edificio intero o un singolo appartamento, si usa il test Blower Door eseguendo la misura secondo la normativa UNI EN 13829, recepita in Italia nel novembre 2002. Tramite questo test si misura il ricambio d'aria per infiltrazione, con una differenza di pressione fra interno ed esterno di 50 Pa (Pascal). Il test viene eseguito installando un ventilatore su una porta esterna o su una finestra, mentre tutte le altre aperture verso esterno rimangono chiuse e quelle interne aperte.



Schema: © BlowerDoor GmbH



Durante il test si misura quanta aria dev'essere fornita all'appartamento per raggiungere la pressione costante di 50 Pa. Facciamo osservare che questo volume d'aria è il volume che l'appartamento contemporaneamente perde. Con tale metodologia, che richiede 2.000 misure automatizzate, si verifica la perdita specifica d'aria n_{50} dell'oggetto misurato. Le perdite andranno individuate tramite opportuni strumenti quali termo-anemometro e termocamera oppure con il semplice aiuto della mano. Anche nebbia artificiale può essere d'ausilio nella ricerca delle perdite.