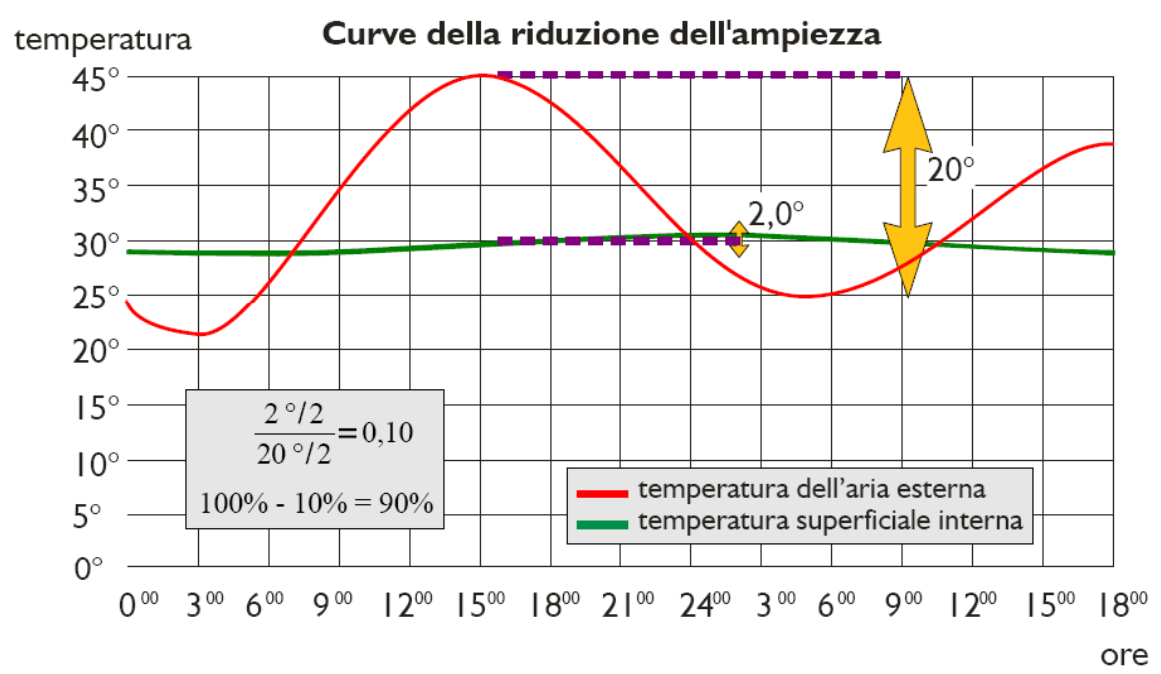


# Aspetti della fisica tecnica

## Esigenze e principi

Günther Gantioler

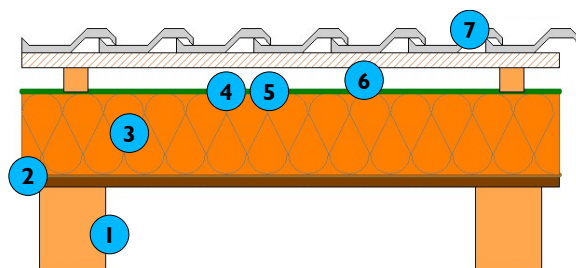


## Introduzione

La fisica edile di tetti 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 del tetto a differenza di temperatura interne-esterna di 1 grado Kelvin: unità  $W/m^2K$
- la **prestazione estiva**, rappresentato da diverse caratteristiche del tetto (attenzione, non la prestazione dell'appartamento, ma del solo elemento costruttivo!): la riduzione ampiezza e lo sfasamento secondo il metodo "Heindl", l'attenuazione e lo spostamento fase secondo la norma UNI EN 13786 e come elemento più semplice, la massa.
- le **condense interstiziali**, cioè il pericolo di formazione condensa nel tetto (sia quella invernale che quella estiva). Il metodo di calcolo viene definita 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.
- 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  $n_{50}$ .

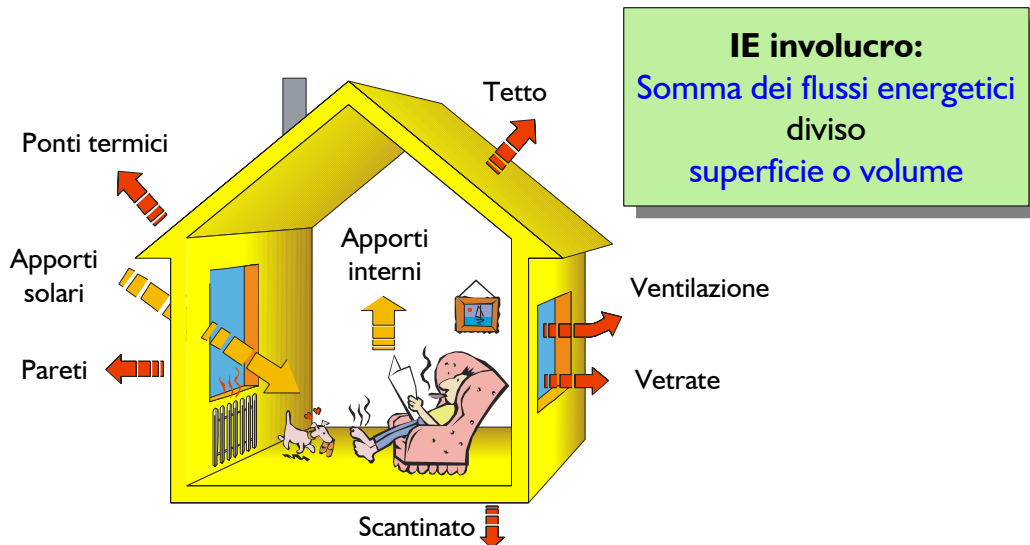
1. Struttura portante (orditura in legno, X-Lam, ...)
2. Tenuta all'aria | elemento freno al vapore
3. Coibentazione contro freddo, caldo e rumore
4. Tenuta al vento | elemento traspirante
5. Secondo strato impermeabilizzante (sicurezza + allarme)
6. Ventilazione per asciugare la coibentazione, l'orditura e la copertura e per ridurre il passaggio di calore
7. Copertura (tegole, pietre, legno, lamiera, ...) primo strato impermeabilizzante



- |                    |                                 |
|--------------------|---------------------------------|
| 1. Struttura       | 5. 2° strato impermeabilizzante |
| 2. Tenuta all'aria | 6. Ventilazione                 |
| 3. Coibentazione   | 7. Copertura 1° strato imperm.  |
| 4. Tenuta al vento |                                 |

## 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.



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

La caratteristica termica del singolo elemento è la trasmittanza unitaria U.

Calcolo Ustat: UNI 6946

Tetto Promolegno

Resistenza superficiale interna Rsi	0,10	Resistenza superficiale esterna Rse	0,10
Ascendente		Ventilato ascendente	

nr	Stratigrafia 1 dall'interno verso l'esterno	$\lambda$ [W/mK]	Stratigrafia 2	$\lambda$ [W/mK]	s [cm]	D [m²K/W]
1	Tavolato	0,130			2,0	0,154
2	Freno al vapore sd = 2,0 m					
3	Fibra di legno, densità 150 kg/m³	0,040			8,0	2,000
4	Telo traspirante sd = 0,05 m					
5	Ventilazione				4,0	
6	Listello portategola				3,0	
7	Tegola				2,0	
8						
9						
Percentuale superficie stratigrafia 2					19,0	0,200

Trasmittanza U [W/m²K]: **0,425**

Resistenza termica R [m²K/W]: **2,354**

errore 0%

Limiti validi per: **Firenze (FI)**

Limite U finanziaria 2008 [W/m²K]:	0,32
Limite U finanziaria 2010 [W/m²K]:	0,28

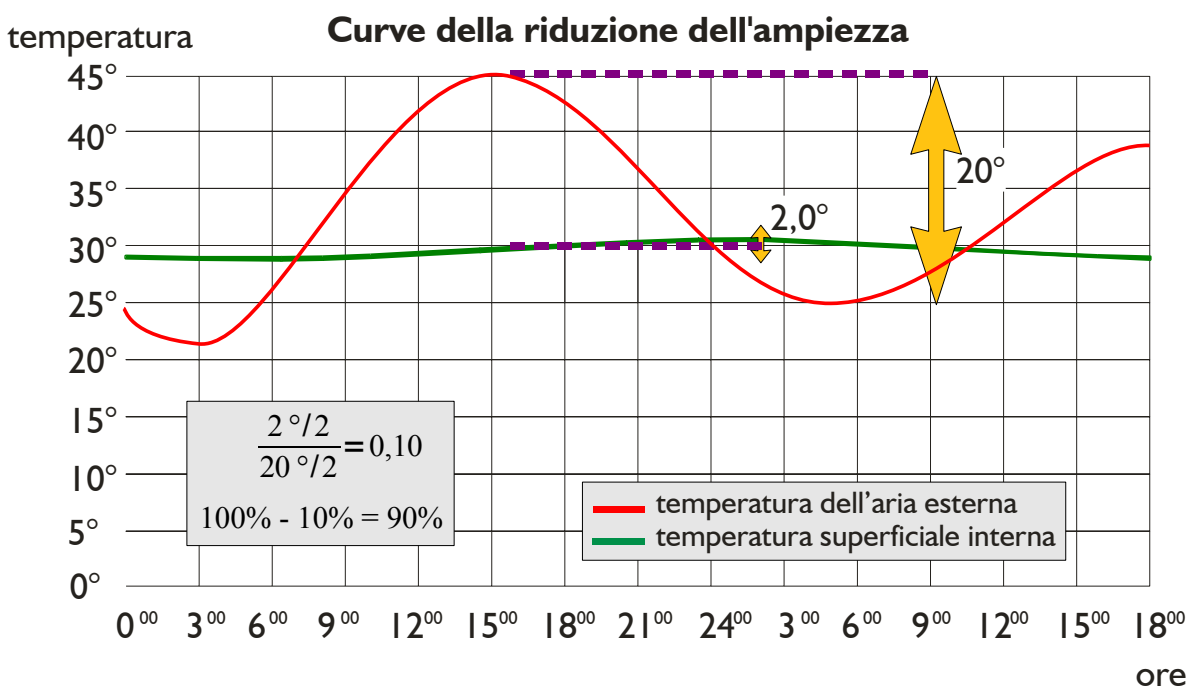
	U	FEP	
Limite 311/06 01.01.08	0,35	0,46	W/m²K
Limite 311/06 01.01.10	0,32	0,42	W/m²K

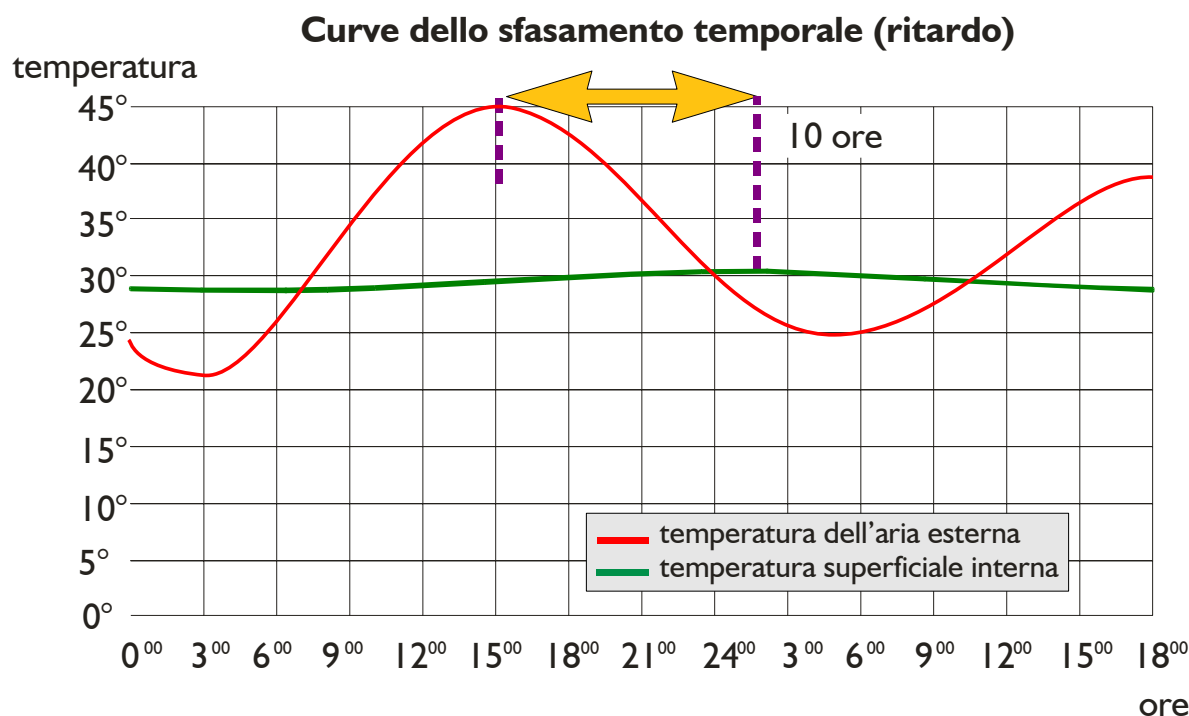
## Prestazione estiva

Per caratterizzare la prestazione estiva ci sono tre sistemi:

- Peso superficiale (min. 230 kg) (secondo 311/06)
- Metodo alternativo (calcolo „Heindl“: riduzione ampiezza, spostamento fase)
- Metodo alternativo trasmittanza periodica dinamica, attenuazione e sfasamento

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 metodo più usato per il calcolo è il metodo "Heindl" a matrice.

Per definire la prestazione estiva di pacchetti esistono anche altri metodi. Con l'approvazione del D.lgs. 311/06 è stato pubblicato il peso superficiale come caratteristica che dovrebbe aiutare a ridurre il passaggio di calore. Infatti la massa, come nell'acustica, aiuta a frenare questo passaggio. Come nell'acustica ci sono però tanti altri parametri, che permettono di progettare un pacchetto efficiente per ridurre il caldo estivo. Soprattutto la massa termica dinamica, l'insieme tra massa, capacità termica e conducibilità dei materiali riduce in modo molto efficiente l'apporto solare nelle stanze sotto il tetto.

Infatti il D.lgs. 311/06 (allegato I, art. 9) prescrive per località con valore medio mensile dell'irradiazione sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva,  $I_{m,s} \geq 290 \text{ W/m}^2$  un peso superficiale minimo di  $230 \text{ kg/m}^2$  o in alternativa, la prova che il pacchetto scelto equivalga rispetto all'abbattimento del passaggio di calore alla prescrizione della massa superficiale.

Come ultimo sistema, ma quello definito dalla norma e ormai richiesto dalle ultime leggi nazionali e regionali, si usa la UNI EN ISO 13786 per calcolare la trasmittanza periodica dinamica  $U_{din}$ , l'attenuazione  $f_a$  e lo sfasamento  $\varphi$ . L'attenuazione  $f_a$  è il rapporto tra l' $U_{din}$  e  $U_{stat}$  invernale. Mentre lo sfasamento  $\varphi$  evidenzia la differenza tra le due oscillazioni delle temperature superficiali interne ed esterne.

## 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  $\text{m}^2$ . Per periodi di tempo ridotti 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 lasciandone la quan-

tità 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.

Sd 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 sd 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 sd di 0,04 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:

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

Per raggiungere i valori consigliati secondo la figura precedente si possono utilizzare anche dei materiali da rivestimento speciali. Nel tetto e nelle strutture con parete in legno questi ultimi potrebbero essere all'interno un pannello OSB e all'esterno del coibente una lastra in fibre di legno ad alta traspirazione e densità. Si consiglia tuttavia di mettere un freno al vapore e un telo traspirante per avere l'impermeabilizzazione all'aria, vento e all'acqua anche sui giunti.

## La prestazione acustica

Per la prestazione acustica di tetto 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	$\geq 50$	$\geq 40$	$\leq 63$
B	Edifici adibiti ad uffici e assimilabili	$\geq 50$	$\geq 42$	$\leq 55$
C	Edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili	$\geq 50$	$\geq 40$	$\leq 63$
D	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili	$\geq 55$	$\geq 45$	$\leq 58$
E	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	$\geq 50$	$\geq 48$	$\leq 58$
F	Edifici adibiti ad attività ricreative o di culto e assimilabili	$\geq 50$	$\geq 42$	$\leq 55$
G	Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili	$\geq 50$	$\geq 42$	$\leq 55$

Tab 1: Limiti del DPCM '97

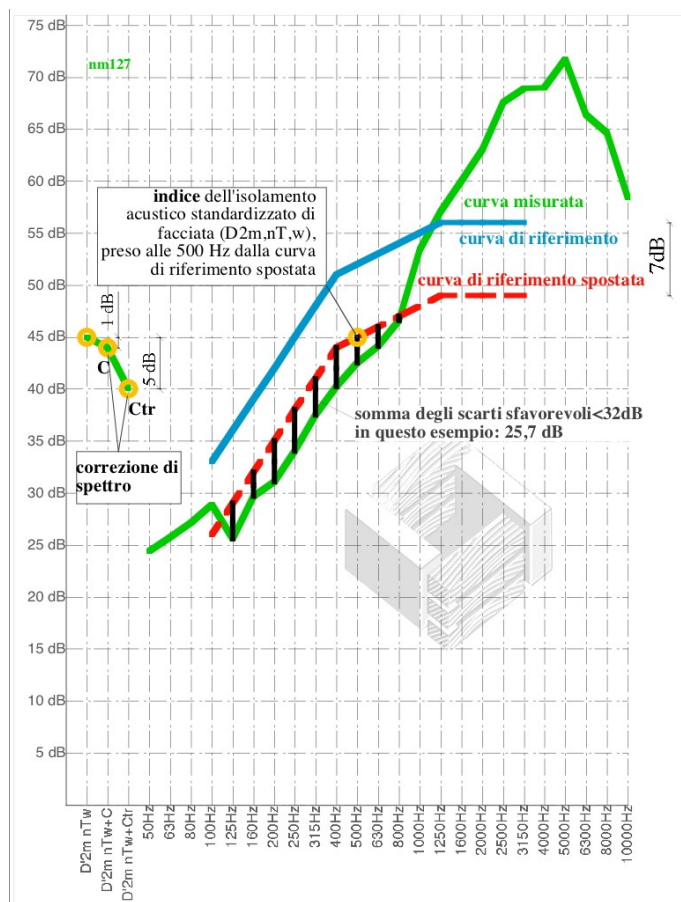
I controlli vengono eseguiti con un test in cantiere, che raccoglie tutte le perdite acustiche in un unico valore  $D_{is,2m,nT,w}$  della facciata:

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 le esperienze della ricerca sull'abbattimento acustico di tetti in legno [1]

1. Il principio massa-molla-massa funziona anche nei tetti leggeri.
2. Le masse sono importanti per ridurre il passaggio di rumore a frequenze basse (p.e. traffico, aerei, ...).
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. La parete esterna influenza molto l'efficienza dell'abbattimento acustico del tetto. Riduce di più le prestazioni di tetti buonissimi che di tetti discreti.

7. Elementi che passano dall'interno all'esterno (travetti, travi, ...) conducono molto rumore all'interno. Termicamente e acusticamente è meglio una soluzione con i travetti esterni finti.

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 e le fuoriuscite dal tetto con condotte, tubi e canali. Attenzione all'antenna, ai tubi di ventilazione, ai tubi per l'impianto solare termico e fotovoltaico come alle lampade esterne, ai passaggi di travi e travetti e alle finestre.

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.

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 la nebbia artificiale può essere d'ausilio nella ricerca delle perdite.

## **Bibliografia**

[1]	„Acustica di tetti leggeri“; Günther Gantioler, Bernhard Oberrauch, Monika Legierska; rapporto di ricerca 2007-2009; <a href="http://www.tbz.bz">www.tbz.bz</a>