

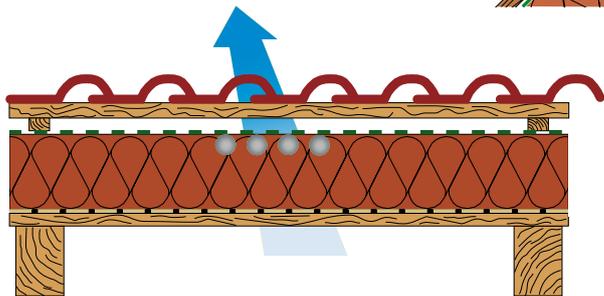
RESTYLING

Il meglio per il tetto.

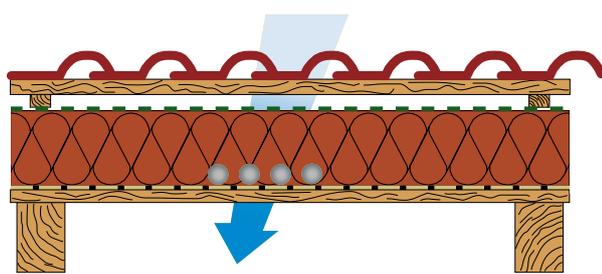
RESTYLING



Inverno



Estate



LA FISICA TECNICA DEL TETTO

RESTYLING
GENNAIO 2008

Autore: Günther Gantioler
Esperto in Fisica Tecnica

Volume Tecnico
N. 01/2004



Riwega[®]

Autore



Gantioler Günther, nato il 14 settembre 1969, direttore amministrativo dello studio di fisica tecnica applicata all'edilizia TBZ è un noto esperto delle problematiche delle costruzioni. Per primo, dal 2000, ha introdotto nel mercato italiano le misure della permeabilità all'aria di edifici e dei tetti. Come certificatore italiano di case passive (PHI Darmstadt) e di case a basso consumo energetico (CasaClima, EnBil, ...) ha potuto approfondire tecnologie innovative per

l'edilizia a risparmio energetico e acquisito competenze relative alla tecnologia di casa passiva e dei componenti correlati (ponti termici, elementi di costruzione altamente coibentati, vetrate passive, ...) in ambito italiano.

Come autore ha pubblicato dal 1995 15 libri sui diversi temi della fisica tecnica applicata all'edilizia.

Impressum:

TBZ GmbH Srl
Via Maso della Pieve 60a, 39100 Bolzano (BZ)
www.tbz.bz info@tbz.bz

Editore:

Riwega Srl
Via Isola di Sopra 28, I-39044 Egna (BZ)
www.riwega.com - info@riwega.com

Indice

1 Prefazione.....	5
2 La fisica tecnica del tetto	6
3 Sistemi.....	7
3.1 La pendenza del tetto	8
3.2 Il tetto aperto alla diffusione al vapore.....	9
3.3 Confronto di alcuni tetti tipo	10
3.3.1 Tetti con orditura in legno	10
3.3.2 Altre tipologie	11
4 La diffusione del vapore.....	13
4.1 Introduzione generale.....	13
4.2 Confronto dei tetti tipo: valori sd e formazione di condensa	17
4.3 Vantaggi e svantaggi di coibentazioni per tetti in legno.....	18
4.4 La norma sulle condense interstiziali.....	19
5 La tenuta all'aria	23
5.1 La problematica dell'impermeabilità all'aria.....	23
5.2 Come garantire una buona tenuta all'aria.....	24
5.3 Regole importanti per una buona tenuta all'aria	26
5.4 La misura dell'impermeabilità all'aria	26
5.5 Confronto dei tetti tipo: impermeabilità all'aria.....	28
6 Teli ad alta traspirabilità e freni al vapore	30
7 Le dispersioni termiche invernali.....	33
7.1 Il peso energetico degli elementi costruttivi	33
7.2 L'indice energetico calore/involucro.....	34
7.3 Il clima	36
7.4 Confronto dei tetti tipo: valori U.....	37
7.5 Resistenze termiche: valori U dei tetti in legno	38
7.6 Ponti termici	42
8 Il surriscaldamento estivo	49
8.1 Riduzione ampiezza e spostamento fase.....	43
8.2 Altre definizioni della prestazione estiva.....	45
8.3 Confronto di coibentazione.....	47
8.4 Confronto di coibentazione.....	47
8.5 Sistemi per ridurre il caldo estivo	48

Indice

8.5.1 Effetto della ventilazione	48
8.5.2 Strati riflettenti esterni	49
9 Materiali per la coibentazione.....	49
10 Il tetto ventilato	51
10.1 Perché ventilare il tetto.....	51
10.1.1 Il colmo in malta	52
10.1.2 Il colmo ventilato.....	52
10.1.3 Ventilazione in gronda	53
10.1.4 Sottocolmi per l'areazione del tetto a confronto	53
11 Il consumo di energia primaria	54
12 Casi problematici.....	55
12.1 Condensa interna alla finestra tetto	55
12.2 Guaina bituminosa e tetto scricchiolante.....	55
12.3 Tetto nuovo gocciolante d'estate	56
13 Le linee guida.....	56
14 Norme, simbologia e bibliografia	57
14.1 Le norme.....	57
14.2 Simbologia	57
14.3 Bibliografia	58

1 Prefazione

Gentile lettore,

quattro anni fa siamo usciti con il primo di due fascicoli tecnici riguardante la fisica tecnica applicata nei cantieri: argomenti importantissimi e fondamentali inerenti il risparmio energetico!

Come primaria azienda italiana specializzata nella produzione e distribuzione di teli traspiranti per l'impermeabilizzazione del tetto e delle pareti ed accessori come sottocolmi per la ventilazione delle coperture, abbiamo ritenuto opportuno riprendere gli argomenti trattati nel precedente volume in funzione delle nuove normative, delle nuove esperienze, prove in cantiere, ecc.

In questi ultimi quattro anni abbiamo distribuito a livello nazionale oltre 50.000 copie dei due volumi tecnici; la maggior parte consegnati a progettisti, architetti ed ingegneri, ma c'è stato anche un enorme interesse da parte delle carpenterie in legno e dei nostri rivenditori.

Anche l'Italia si è adeguata alle leggi sul risparmio energetico aggiornando il D.Lgs. 192 con il nuovo D.Lgs. 311/06. Secondo l'autore i limiti proposti da questa ultima normativa non sono sufficienti a garantire un lavoro ottimale. Nel proseguo della lettura si dimostrerà più approfonditamente il pensiero dell'autore.

In cantiere qualche piccolo "errore" di posa in opera, visto che in cantiere la situazione meteorologica cambia continuamente, può essere tollerato, però la funzionalità del prodotto deve assicurare ugualmente la massima resa. Questo è il motivo principale per cui l'autore consiglia che i limiti non vengano solo rispettati sulla carta, bensì controllati e migliorati nel rispetto delle varie zone climatiche.

Se tutti gli operatori del settore fossero più sensibili al problema del risparmio energetico non costruiremo più delle "baracche", bensì potremo essere un esempio per tutta l'Europa.

Egna, febbraio 2008

Werner Rizzi, Amministratore Riwegra

2 La fisica tecnica del tetto

Il tetto non fa soltanto da manto di copertura per l'edificio, ma deve rispondere anche a svariati requisiti di fisica tecnica, quali ad esempio:

- alta protezione contro l'intrusione d'acqua (buona copertura, pendenza adatta al tipo di copertura, una buona ventilazione del tetto e un buon sottotetto)
- basse dispersioni termiche invernali (valore U basso)
- basso passaggio di calore d'estate (buona riduzione ampiezza e alto spostamento di fase)
- alta tenuta al vento (strato esterno), impermeabilità all'aria (strato interno): valore del test BlowerDoor n50 basso
- veloce smaltimento della condensa invernale ed estiva (combinazione freno al vapore interno / telo altamente traspirante esterno)
- alto potere fonoisolante
- basso consumo di energia primaria nella produzione dei materiali impiegati e nella costruzione del tetto

La fisica tecnica descritta in questo fascicolo vale per tutte le strutture in legno, anche per pareti e terrazzi.

L'insieme, nel complesso di tali caratteristiche adattate al clima e alla specifica situazione locale e la tipologia d'uso del sottotetto, crea il tetto ottimale. Nel seguito ci concentreremo

sulle tipologie del tetto inclinato in legno, perché la riteniamo la versione più evoluta. Daremo anche però indicazioni di confronto per altre tipologie di tetti.



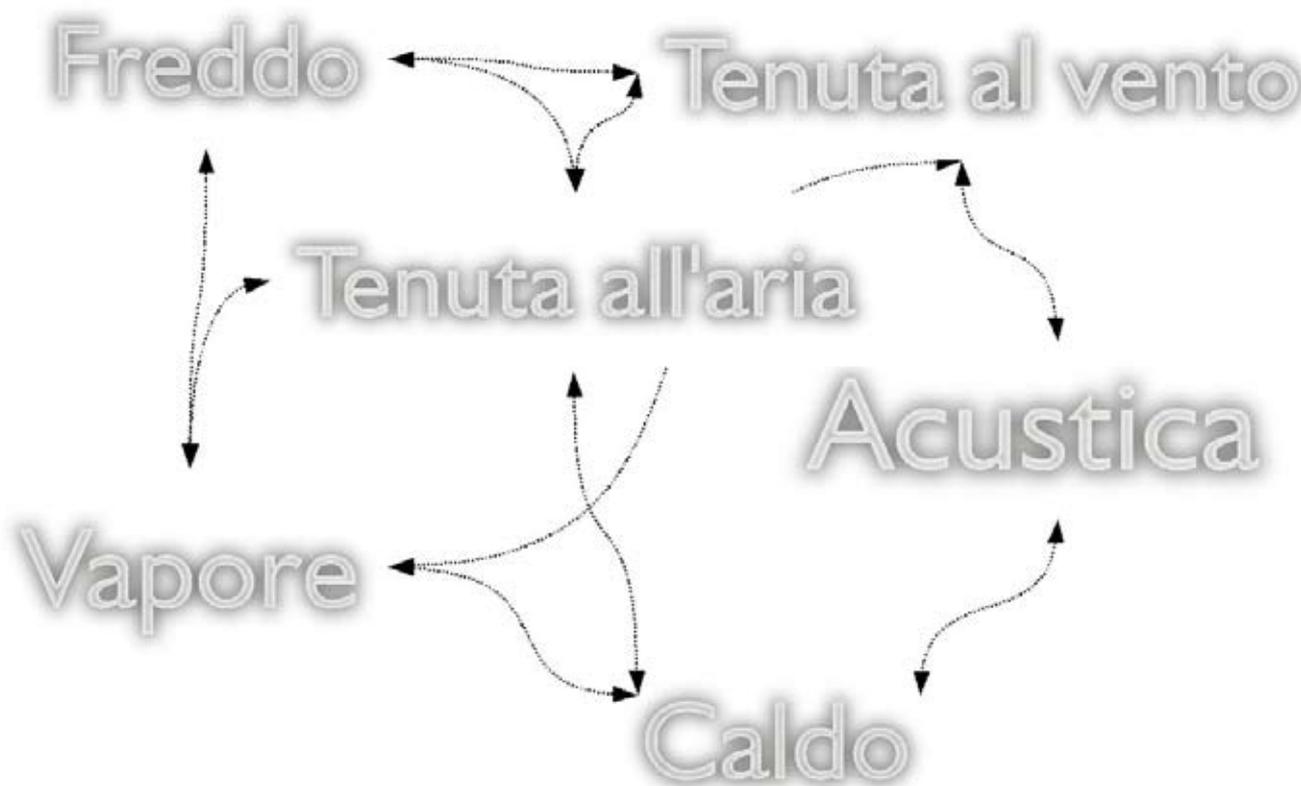
Fig. 1: Impermeabilità all'aria e diffusione al vapore



Fig. 2: Dispersioni termiche e surriscaldamento estivo

Per la parte relativa alla impermeabilizzazione contro acqua, ghiaccio e neve si rimanda ad altri opuscoli della nostra collana sulle costruzioni. In questo numero cercheremo di trattare i fenomeni principali della fisica tecnica applicata ai tetti,

dando consigli generali per l'applicazione dei materiali. Ciò non vuol dire che altre tipologie non funzionino, si richiede però uno studio più accurato della situazione per trovare la corretta applicazione stratigrafica dei materiali scelti.



3 Sistemi

Esistono varie tipologie di tetto a seconda delle diverse necessità. Le varianti più importanti sono:

- Tetto inclinato con struttura portante in legno
 - coibente sopra l'orditura (applicazione usata maggiormente in Italia)
 - coibente tra l'orditura (applicazione usata maggiormente in Germania)
- Tetto inclinato con struttura portante in cemento armato
- Tetto inclinato con struttura portante in acciaio combinato a pannelli sandwich
- Tetto piano (verde) con struttura portante in cemento armato

Vi sono tante altre possibilità di realizzare un tetto. In questo fascicolo ci limiteremo al **tetto inclinato con struttura portante in legno**, con qualche cenno agli altri sistemi. Anche la tipologia d'uso del sottotetto è molto importante per la scelta della disposizione stratigrafica dei materiali. Un sottotetto aerato

non abitato ha delle richieste meno stringenti. Anche in questo caso ci occuperemo principalmente del **sottotetto abitato** o con altre tipologie d'uso, ma comunque occupato da persone, per affrontare le problematiche più stringenti relative ai casi considerati.

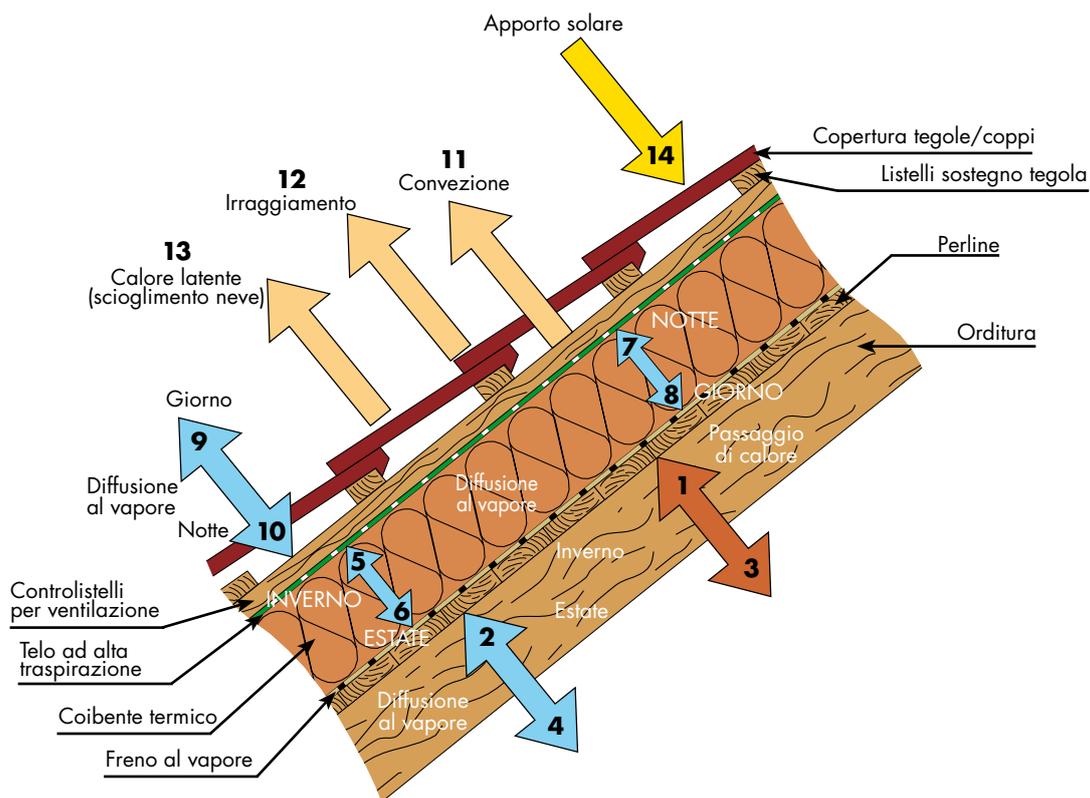


Fig. 3: I flussi di calore e vapore nel tetto

I flussi di calore e di vapore vengono illustrati nella figura precedente:

- Nel sottotetto si verifica d'inverno un passaggio di calore (1) e di vapore acqueo (2) verso l'esterno, mentre d'estate questi flussi cambiano direzione e vanno verso l'interno (3, 4).
- Nella struttura abbiamo un passaggio notevole di vapore d'inverno verso l'esterno (5), d'estate verso l'interno (6). A prescindere dalle stagioni, troviamo di notte un piccolo passaggio verso l'esterno (7), di giorno verso l'interno (8).
- Sulla copertura e sopra la impermeabilizzazione si nota una diffusione di vapore verso l'esterno di giorno (9) e verso l'interno di notte (10). Il calore viene trasmesso in forma di convezione (ventilazione, 11), irraggiamento (12) e di calore latente (quando la neve si scioglie o l'acqua evapora, 13). L'irraggiamento solare (diffuso + diretto) viene trasformato in un apporto di calore (14), che nel periodo estivo raggiunge anche valori critici (fino a 80°C).

3.1 La pendenza del tetto

Un problema gravoso per il tetto è la impermeabilizzazione nei confronti dell'intrusione dell'acqua. La scelta di una inclinazione del tetto al di sopra dei 14° risolve grande parte di questo problema, perché l'acqua ha modo di defluire facilmente in gronda. L'inclinazione del tetto è una

conseguenza della scelta del tipo di copertura. Ogni produttore di tegole in cotto o cemento prescrive un'inclinazione minima per il tipo di prodotto usato. La copertura va posata su un'orditura in legno, listello e controlistello (*non posare la copertura direttamente su cemento o polistirene*).

Pendenza minima consigliata per diverse coperture:

Copertura discontinua	Coppi del tipo "agganciati"	ca. 20°
	"Lose" di pietra, "scandole" di legno	ca. 17°
	Coppi e tegole tipo marsigliese e portoghese	ca. 13°
	Tegole in cemento	ca. 13°
Copertura continua	Lamiera o simile	ca. 6°

Una pendenza troppo alta sfavorisce l'evaporazione della condensa; per questo motivo si consiglia di non superare una pendenza del 40°.

3.2 Il tetto aperto alla diffusione al vapore

La costruzione di un tetto chiuso alle infiltrazioni d'acqua non pone troppe difficoltà alla ditta esecutrice. La stessa cosa non vale però per il vapore acqueo. Non vi è ancora un modo sicuro, garantito e conveniente, per costruire un tetto perfettamente ermetico. Per questo motivo si cerca di trovare il modo più conveniente e adatto al passaggio del vapore. Per avere un buon controllo ci si deve assicurare che la struttura non abbia ponti termici o fughe

aperte, fattori che aumenterebbero in modo eccessivo il fenomeno della condensa con la conseguente produzione di rugiada. Per evitare ponti termici si devono evitare gli elementi con alta conducibilità termica come ad esempio il metallo, che attraversa gli strati della struttura. Già le travi di legno stesse creano un piccolo ponte termico, perché hanno una conducibilità termica molto più alta ($> 0,13 \text{ W/mK}$) dei materiali per la coibentazione termica ($< 0,045 \text{ W/mK}$).

Per evitare fughe aperte, si devono usare materiali e teli impermeabili all'aria e al vento e incollare le sovrapposizioni di tali elementi con colle, nastri o guarnizioni adatti.

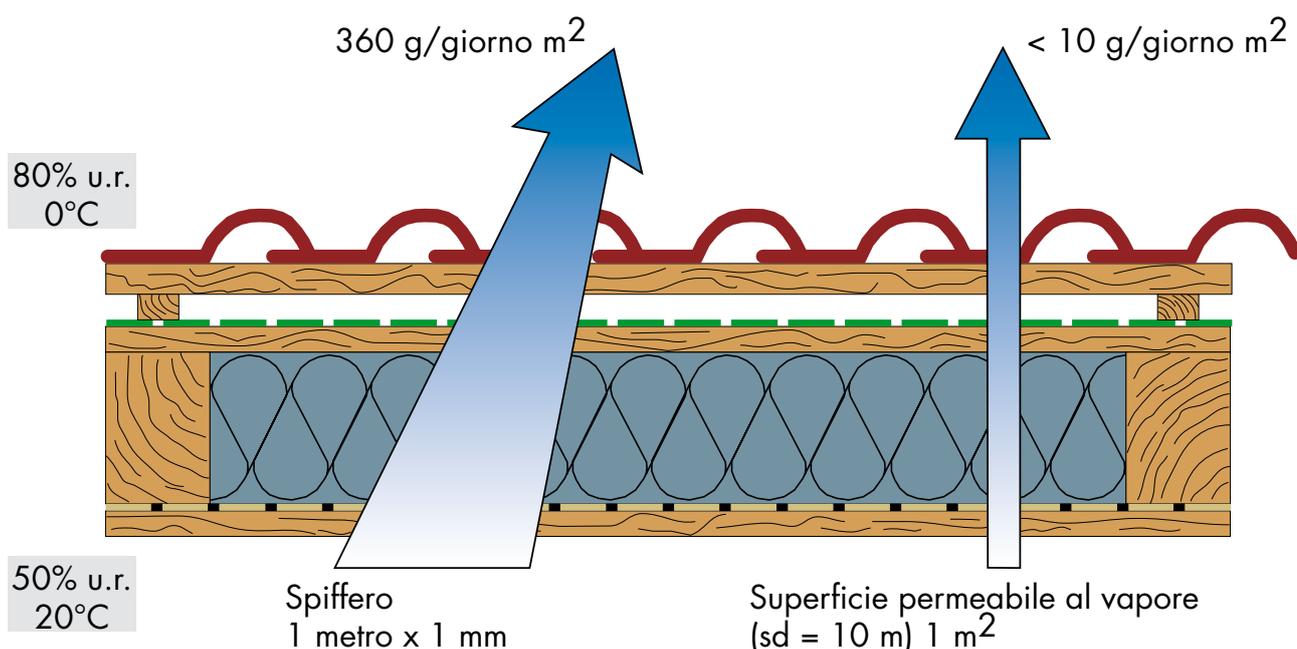


Fig. 4: Differenza tra le vie di passaggio del vapore: fughe e vapore diffuso attraverso una superficie permeabile

Se si evitano, per quanto possibile, ponti termici e fughe aperte, rimane da seguire una regola semplice: la condensa creata d'inverno o d'estate, deve evaporare entro l'anno, questo per garantire che non si abbia un incremento nel tempo di umidità nel fabbricato. L'umidità col tempo porta alla formazione di muffa fino alla distruzione dell'intero tetto, oltre ad una non trascurabile riduzione della resistenza termica dei materiali.

Nelle zone fredde, la rugiada dell'inverno evapora d'estate. Nelle zone molto calde, l'umidità creata d'inverno evapora in primavera e quella creata d'estate evapora invece in autunno. Per questo motivo si è passati dal semplice utilizzo del diagramma Glaser all'applicazione della norma EN 13788 per il calcolo del bilancio di umidità complessiva e della rimanenza di umidità nella struttura.

3.3 Confronto di alcuni tetti tipo

Per inquadrare meglio le problematiche della fisica tecnica di diverse tipologie di tetto utilizzate in Italia, le confronteremo in ogni loro aspetto comune (dispersioni termiche,

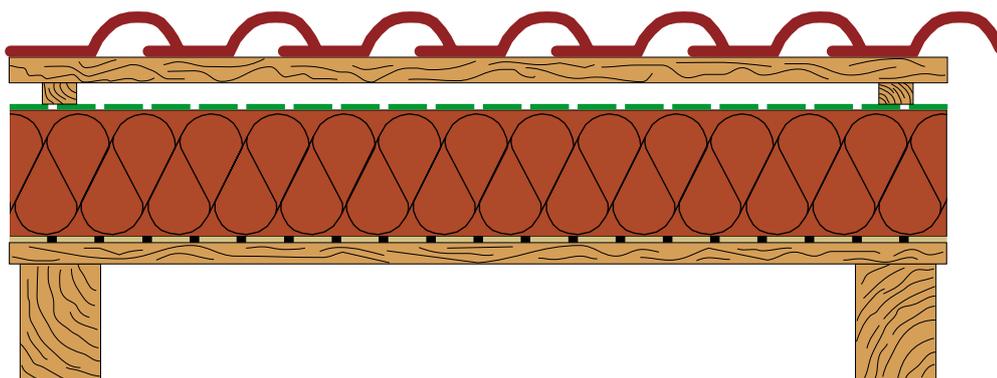
surriscaldamento estivo, permeabilità all'aria, diffusione al vapore). Per il confronto abbiamo scelto le seguenti tipologie:

3.3.1 Tetti con orditura in legno

Per i tetti inclinati con struttura portante in legno esistono due diversi modi di posa del materiale coibente: quello sopra le travi e quello tra le travi. Ognuno ha i suoi pregi e difetti. Nel risanamento di tetti esistenti in legno si applica spesso il sistema di posa tra le travi, anche per non dover togliere tutta la

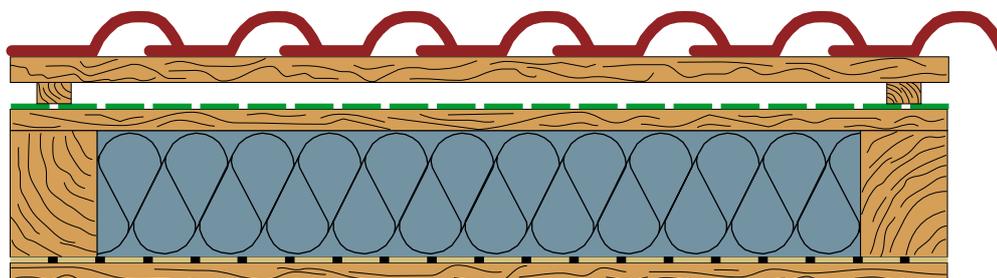
copertura (in ogni caso tale operazione sarebbe comunque consigliabile). Nelle nuove costruzioni è più preferibile l'applicazione della coibentazione sopra le travi, perchè in tale modo si riesce ad eliminare il ponte termico dovuto alle travi.

Tipo A: tetto coibentato sopra l'orditura



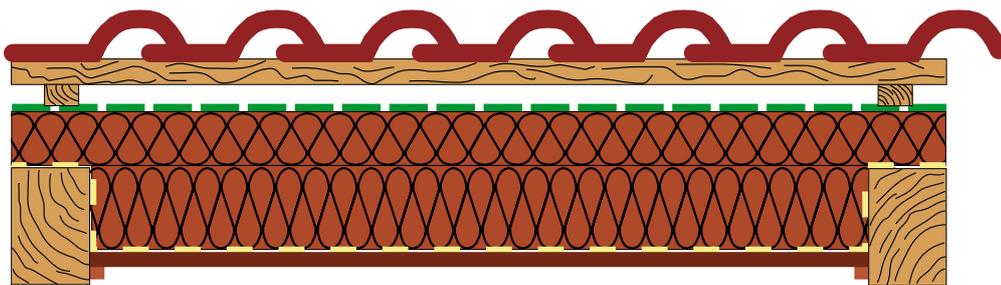
- 40 mm Tegole
- 30 mm Listello portategole
- 40 mm Listello di ventilazione
- 0,2 mm Telo traspirante USB Classic
- 140 mm Fibra di legno 3therm Naturel
- 0,2 mm Freno al vapore USB Micro
- 20 mm Assito
- 140 mm Travetti

Tipo B: tetto coibentato fra l'orditura



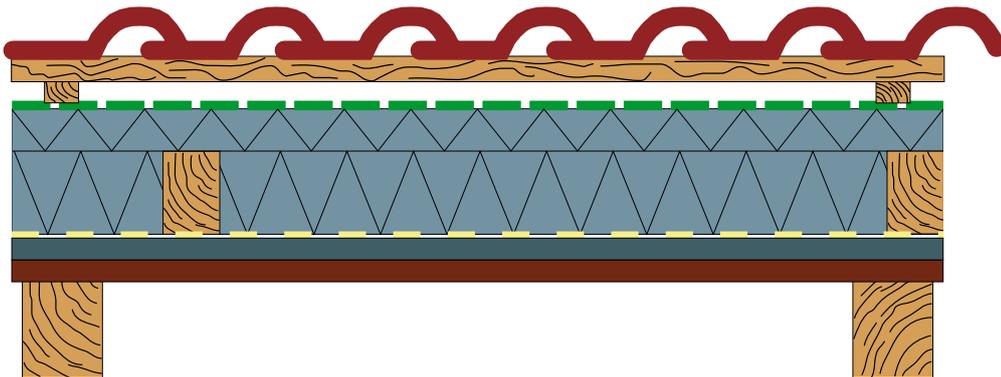
- 40 mm Tegole
- 30 mm Listello portategole
- 40 mm Listello di ventilazione
- 0,2 mm Telo traspirante USB Classic
- 20 mm Assito
- 140 mm Cellulosa
- 0,2 mm Freno al vapore USB Micro
- 20 mm Assito

Tipo C: tetto coibentato nel mezzo e sopra l'orditura



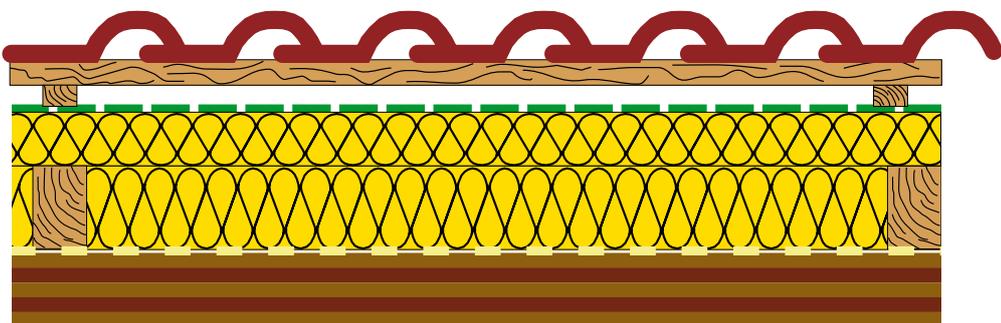
- 40 mm Tegole
- 30 mm Listello portategole
- 40 mm Listello di ventilazione
- 0,6 mm Telo traspirante USB Classic
- 60 mm Fibra di legno pesante 3therm Isolant
- 80 mm Fibra di legno media 3therm Natural
- 0,5 mm Freno al vapore USB Micro
- 20 mm Perlina
- 60 mm Struttura secondaria

Tipo D: tetto coibentato con mezzane



- 40 mm Tegole
- 30 mm Listello portategole
- 40 mm Listello di ventilazione
- 0,2 mm Telo traspirante USB Classic
- 60 mm EPS a graffite
- 80 mm EPS a graffite
- 0,2 mm Freno al vapore USB Micro
- 25 mm Cappa con rete d'acciaio
- 25 mm Mezzane
- 140 mm Travetti

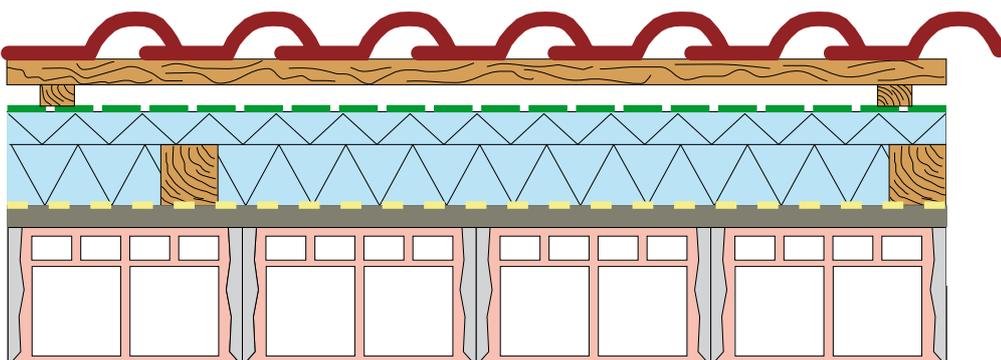
Tipo D: tetto coibentato con mezzane



- 40 mm Tegole
- 30 mm Listello portategole
- 40 mm Listello di ventilazione
- 0,2 mm Telo traspirante USB Classic
- 60 mm Lana di roccia
- 80 mm Lana di roccia
- 0,2 mm Freno al vapore USB Micro
- 20 mm Assi direz. A
- 20 mm Assi direz. B
- 20 mm Assi direz. A
- 20 mm Assi direz. B
- 20 mm Assi direz. A

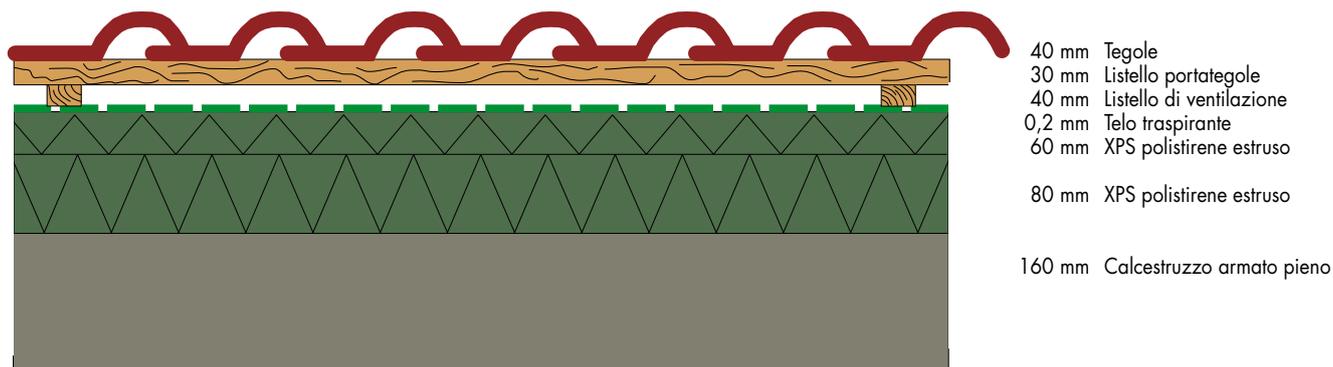
3.3.2 Altre Tipologie

Tipo G: Tetto inclinato con struttura portante in laterocemento



- 40 mm Tegole
- 30 mm Listello portategole
- 40 mm Listello di ventilazione
- 0,2 mm Telo traspirante
- 60 mm EPS polistirene espanso
- 80 mm EPS polistirene espanso
- 0,2 mm Freno al vapore
- 25 mm Cappa con rete d'acciaio
- 185 mm Solaio laterocemento

Tipo H: Tetto inclinato con struttura portante in cemento armato



Tipo I: Tetto inclinato con struttura portante in acciaio combinato a pannelli sandwich

Questo tipo di tetto si trova soprattutto in strutture industriali: in esso una struttura in acciaio sorregge i pannelli sandwich. Tali pannelli di grandi dimensioni hanno solitamente un manto di alluminio, che protegge e racchiude all'interno della schiuma poliuretanicamente materiale con un valore di conducibilità termica molto bassa. Per questo tali pannelli hanno un buonissimo isolamento

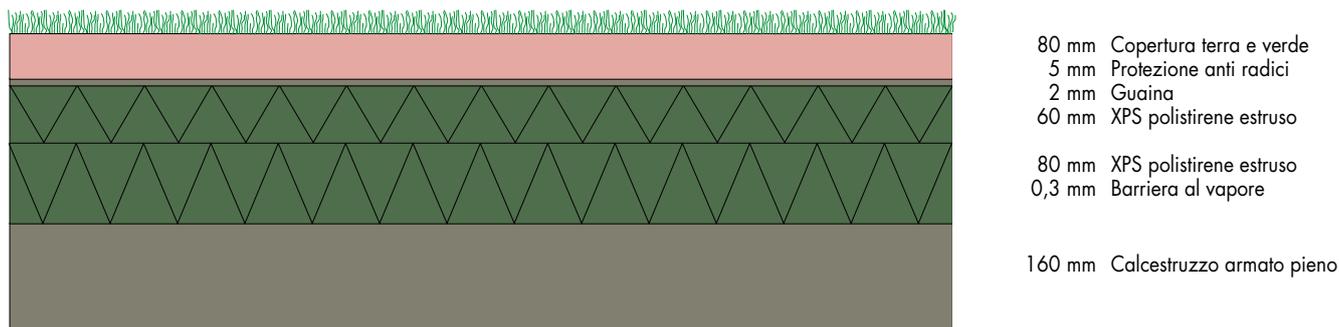
contro il freddo. Problematica è spesso la situazione estiva per la mancanza di massa termica, che non permette di ridurre l'entrata di calore. Anche la permeabilità all'aria dei giunti dipende molto dalla perfetta posa e può essere un punto critico. Grazie al rivestimento in metallo, questo tipo di tetto non ha nessuna diffusione al vapore.



Tipo J: Tetto piano con struttura portante in cemento armato

Il tetto verde sta diventando sempre più comune in Italia. Il suo potenziale di assorbire la pioggia e di proteggere l'impermeabilizzazione di tetti piani convince

sempre più committenti. Soprattutto per tetti piani di uffici o di capannoni può migliorare notevolmente il microclima intorno all'edificio e nel quartiere.



4 La diffusione al vapore

4.1 Introduzione generale

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 si possono accettare anche fino ad $1,0 \text{ kg}/\text{m}^2$. 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 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.

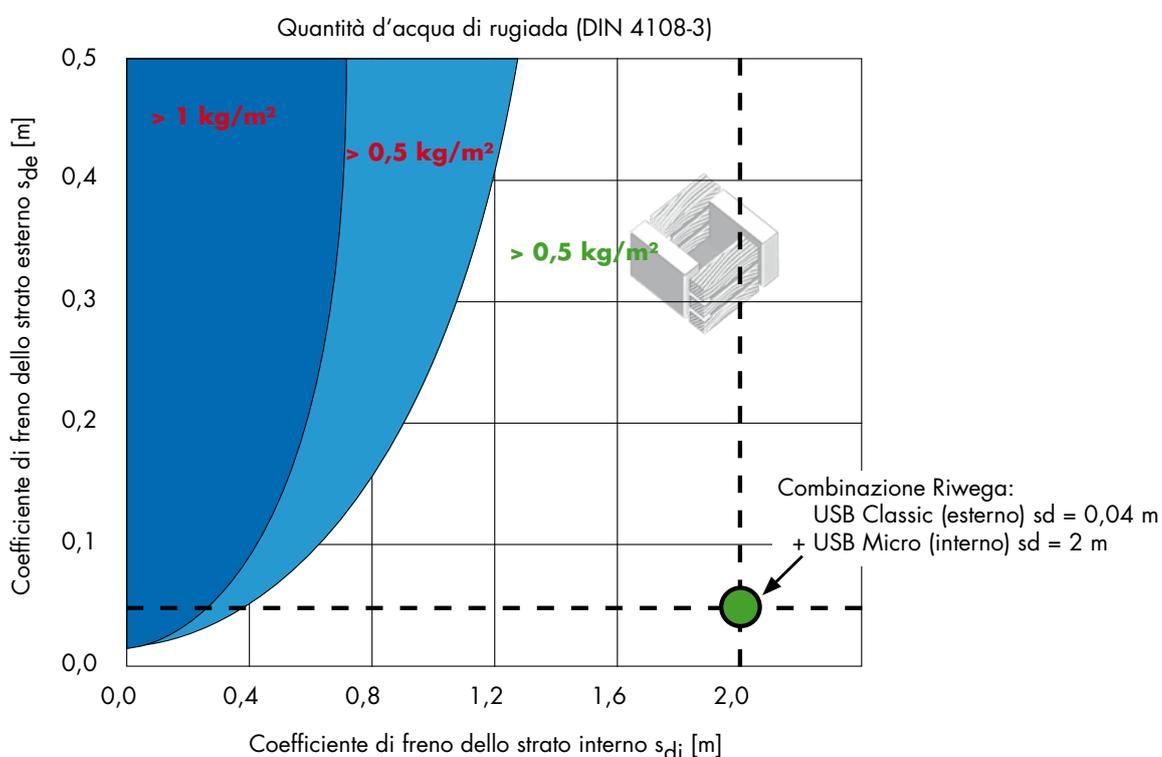


Fig. 5: Combinazione necessaria di freno al vapore e telo ad alta traspirazione

Il grafico mostra l'effetto della combinazione dello strato interno e di quello esterno. Come si nota, si rimane sempre nella zona ottimale se si applica un freno al vapore all'interno ($s_d > 1 \text{ m}$) e un telo molto aperto alla diffusione del vapore all'esterno ($s_d < 0,1$). In questo modo si riesce a garantire che nel tetto non passi troppo vapore dall'interno e che il vapore, una volta entrato nella struttura del tetto, possa essere disperso in modo veloce verso l'esterno.

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:

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

Nella seguente figura vengono riportati due situazioni opposte:

- A destra una stratigrafia con materiali ideali per una buona diffusione al vapore. Dall'interno si parte con valori sd di elementi frenanti, per arrivare al lato esterno con materiali sempre più traspiranti. Il vapore passa le perline (anche dalle fughe d'inverno) e arriva al lato interno del freno al vapore. Tale freno al vapore fa passare una parte ridotta di vapore, che nel coibente riesce ad arrivare facilmente al lato esterno ventilato.
- A sinistra si vede una stratigrafia con scelte di materiali meno adatte. L'umidità che lascia passare il freno al vapore arriva al coibente sintetico. Tale materiale non fa passare l'umidità promuovendo la formazione di condensa nelle eventuali fughe e ostacolando il processo di asciugamento.

Tetto ad asciugatura normale

Tetto ad asciugatura rapida

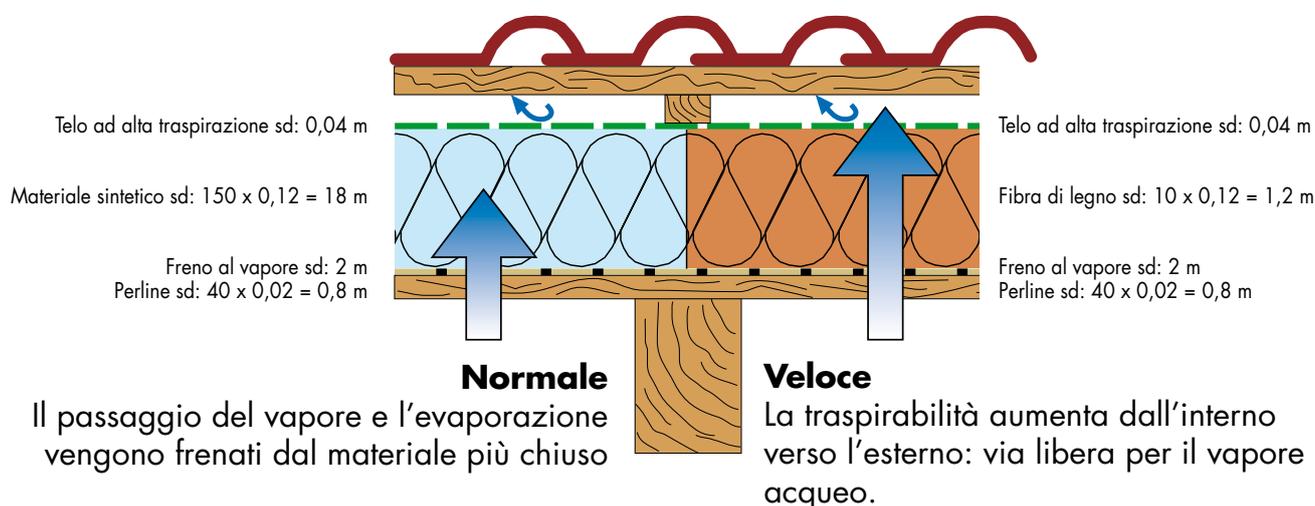


Fig. 6: Tetto ad asciugatura normale a confronto con un tetto ad asciugatura rapida

Lo spessore equivalente alla diffusione al vapore sd si calcola, moltiplicando lo spessore del materiale per il suo valore μ . La lettera greca μ (μ) sta a rappresentare in questo caso la resistenza alla trasmissione del vapore acqueo (UNI 9233) del materiale. Anche il valore μ è normalizzato rispetto alla

resistenza dell'aria. Un materiale con il valore μ di 1, ha la stessa traspirabilità dell'aria. Un materiale con un valore μ di 2 ostacola due volte più la trasmissione del vapore acqueo rispetto all'aria.

Detto d lo spessore dello strato si ha:

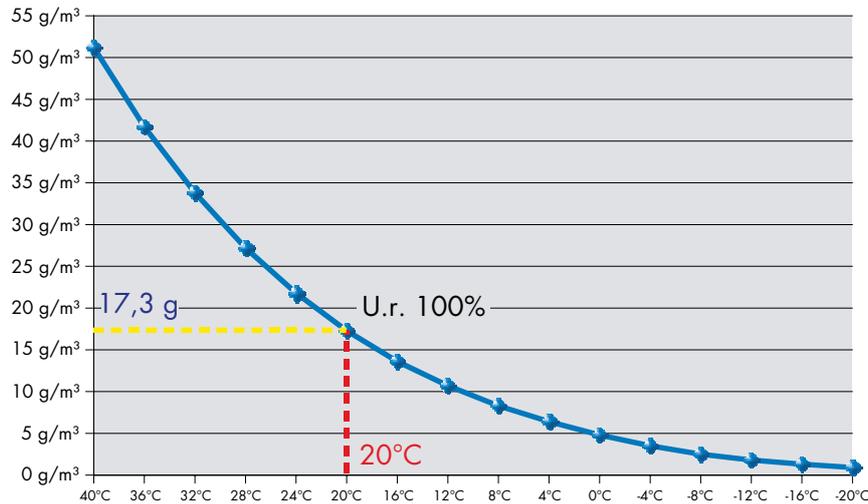
$$sd = \mu \cdot d \text{ [m]}$$

Diamo qui alcuni esempi di μ (vedi anche il capitolo sui materiali e teli):
 aria = 1; polistirene = 50-200; cemento = 75;
 carta catramata = 3.000-20.000; metalli =
 1.000.000 - ∞ ; ...

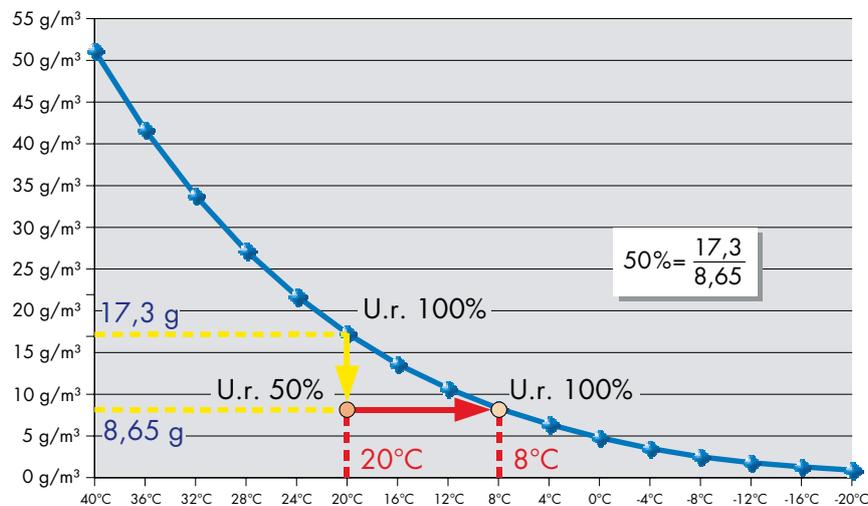
Il passaggio libero di vapore acqueo di per se non è dannoso per le strutture dell'edificio. Il

danno si verifica quando si hanno materiali umidi per troppo tempo (ogni materiale ha una sua propria umidità limite). Per spiegare il fenomeno della formazione dell'umidità nella struttura dobbiamo introdurre altri due concetti: l'umidità di saturazione e l'umidità relativa.

Umidità di saturazione



Umidità relativa



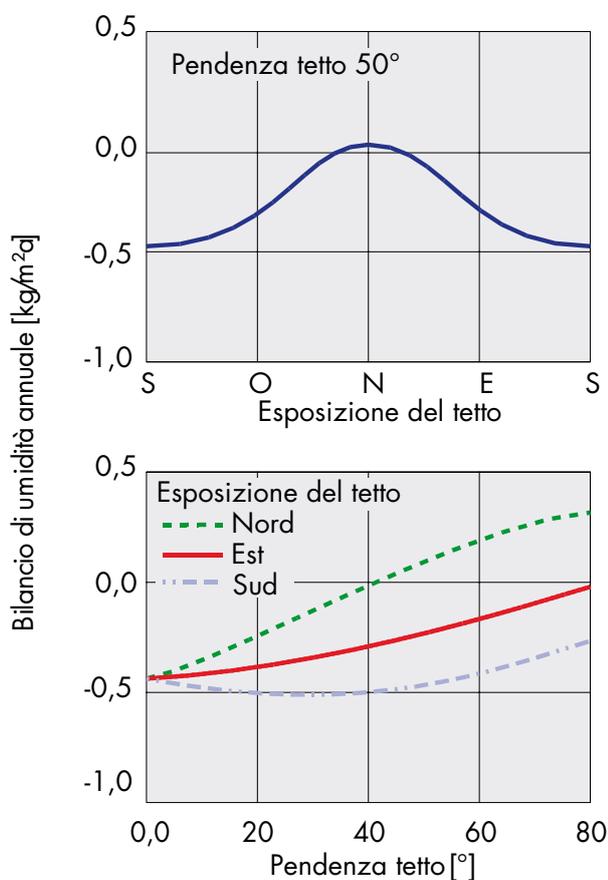
L'aria a 20°C può contenere al massimo 17,3 grammi di vapore acqueo al metro cubo. Superando questa quantità, l'umidità condensa e si trasforma in rugiada. Questo effetto è paragonabile a quello dell'alito caldo, che condensa sull'interno del parabrezza freddo della macchina d'inverno o alla lattina di una bibita fredda dal frigo, che si ricopre di condensa, raffreddando l'aria calda circostante.

L'umidità relativa è definita come la percentuale di vapore acqueo presente nell'aria rispetto alla quantità di saturazione.

Se d'inverno con 20°C interni l'igrometro mostra il 50%, vuol dire, che un metro cubo di aria contiene il 50% di 17,3 g uguale a 8,65 g. Se abbiamo una struttura del tetto aperto questa quantità di vapore acqueo entrerà dentro e diffonderà verso l'esterno, dove troverà temperature via via più basse. Per arrivare alla temperatura di rugiada (circa 8° nel nostro esempio), si deve soltanto trovare l'intersezione con la curva dell'umidità di saturazione come riportato nel diagramma dell'umidità relativa.

Il passaggio di vapore segue la direzione che solitamente è la stessa direzione del flusso di calore. D'inverno la direzione della diffusione del vapore va dall'interno verso l'esterno, d'estate il flusso del vapore segue il percorso inverso.

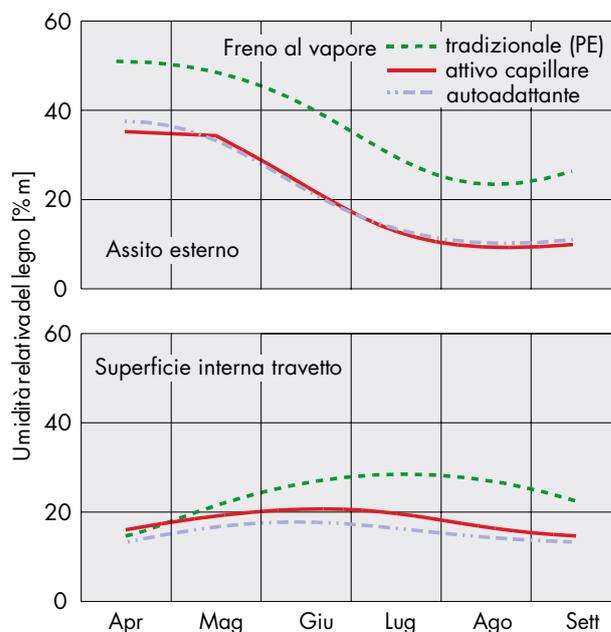
Quando d'inverno il vapore va verso l'esterno, si raffredda e condensa nel momento in cui vengono raggiunte le condizioni del punto di rugiada. Questo succede, perché l'aria fredda riesce a contenere meno vapore acqueo, rispetto all'aria calda.



Bilancio d'umidità annuale in un tetto monitorato con diverse direzioni di esposizione e diverse inclinazioni. Si può notare, che tetti esposti a nord e molto inclinati presentano situazioni termoigrometriche molto più difficili, rispetto a quelli esposti a sud e poco pendenti. A sud abbiamo l'apporto solare, che aiuta molto, inoltre tetti molto inclinati ricevono meno energia solare utile per l'evaporazione della condensa.

Soprattutto d'inverno si realizzano le condizioni termoigrometriche, che producono la condensa del vapore acqueo proveniente dall'interno. Questa condensa deve trovare modo di evaporare verso l'esterno. D'estate abbiamo una situazione diversa. La condensa nasce dal vapore acqueo esterno perciò l'evaporazione deve essere possibile anche verso la direzione interna. Se all'interno abbiamo però una barriera al vapore o un freno al vapore tradizionale, questo passaggio non è più possibile o quantomeno è molto ridotto. Per questo i freni al vapore di nuova generazione sono o autoadattanti all'umidità o basati sull'effetto capillare. [1]

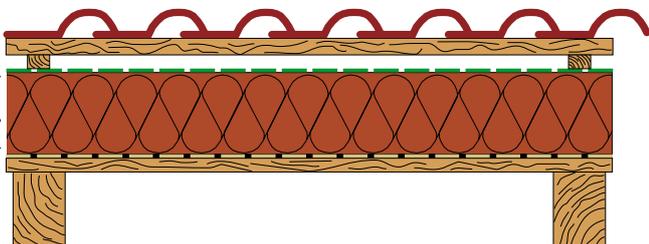
Nella prossima figura vediamo la grande differenza delle capacità di evaporazione dei nuovi freni al vapore (blu, rosso) rispetto a quelli tradizionali. Il raffronto illustrato è stato fatto con un tetto in condizioni critiche (tetto con copertura in lamiera non ventilata, lato nord) [1]:



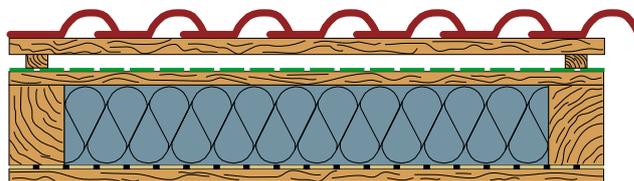
4.2 Confronto dei tetti tipo: valori sd e formazione della condensa

Per il calcolo della formazione di condensa interstiziale si rapportano i risultati del calcolo secondo la norma UNI EN 13788:2003 col clima interno per abitazioni e col clima esterno mensile di Verona (VR). Il freno al

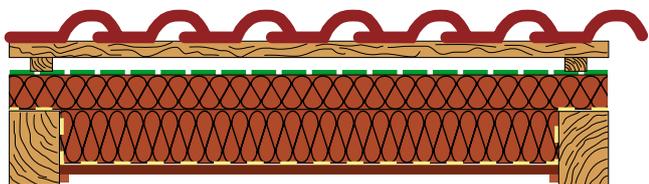
vapore nei pacchetti presentati hanno un valore di sd uguale a 2 m, il telo traspirante un sd di 0,04 m. Il freno al vapore del pacchetto F (fibrogesso interno, OSB esterno) ha un valore di 8 m.



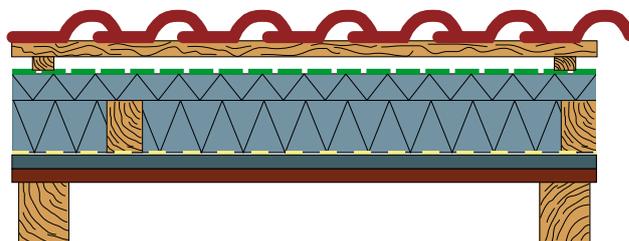
sd = 3,5 m; UNI 13788: senza condense interstiziali



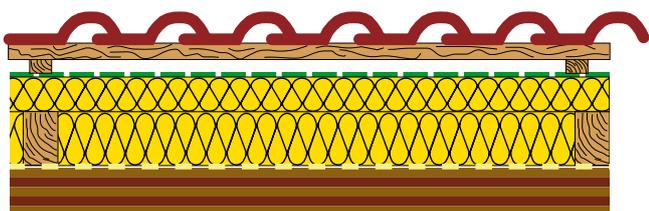
sd = 3,8 m; UNI 13788: senza condense interstiziali



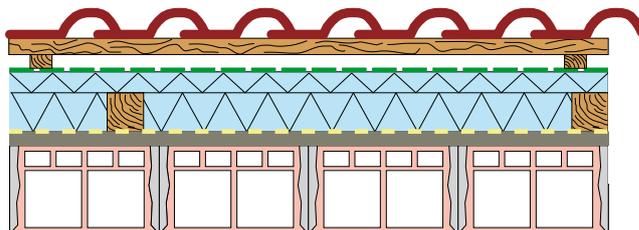
sd = 3,6 m; UNI 13788: senza condense interstiziali



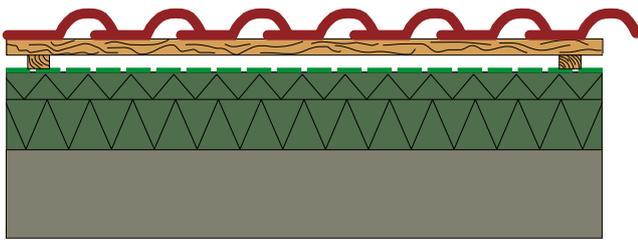
sd = 9,9 m; UNI 13788: senza condense interstiziali



sd = 6,2 m; UNI 13788: senza condense interstiziali



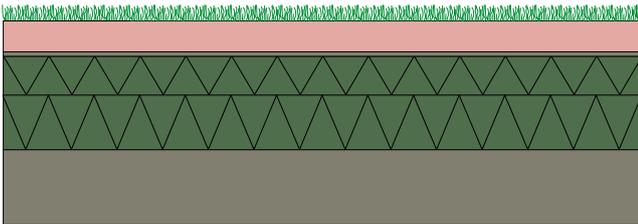
sd = 11,6 m; UNI 13788: senza condense interstiziali



sd = 34,2 m; UNI 13788: senza condense interstiziali



sd = 3.006 m (ermetico per la lamiera);
UNI 13788: senza condense interstiziali



sd = 1.634 m (barriera + guaina);
UNI 13788: condense accumulate di 4 g/m²
e evaporati d'estate

Riassunto Riwega:

L'umidità che si dirige verso il lato freddo non crea danni alla costruzione, se nell'arco dell'anno l'evaporazione è più alta della formazione di condensa. Per garantire questo, serve un freno al vapore interno e un telo traspirante all'esterno della struttura.



4.3 Vantaggi e svantaggi di coibentazioni per tetti in legno

La discussione sulla coibentazione ideale per un tetto in legno è molto ampia. Vantaggi e svantaggi si sovrappongono e i critici come anche sostenitori arrivano spesso al risultato che la coibentazione ideale non esiste. Tra i vari prodotti ci sono vantaggi e svantaggi che

cerchiamo di riassumere. Nella tabella evidenziamo i punti forti o deboli tra una lana minerale, il polistirene e la fibra di legno. Esistono tanti altri materiali, che però possono essere spesso raggruppati nei vantaggi o svantaggi a uno dei materiali scelti:

Elemento	Lana minerale	Polistirene	Fibre di legno
Resistenza termica invernale	Occorre un listello di appoggio che fa ponte termico; perde molta resistenza termica quando diventa umida	Resistenza termica migliore nel confronto, perciò meno spessore. Non perde resistenza con l'umidità.	Porta il peso della copertura. Per questo può essere posato senza listello che fa ponte termico.

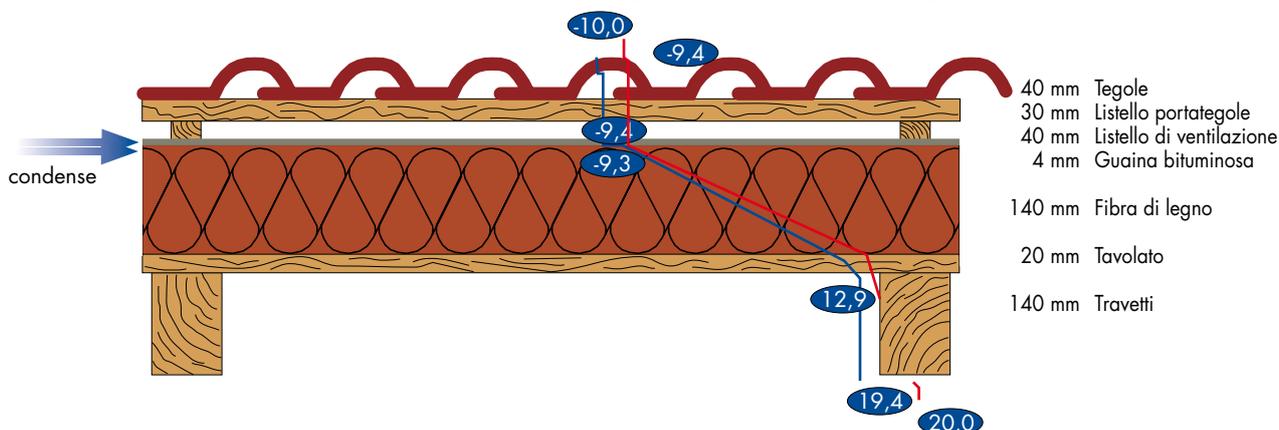
Elemento	Lana minerale	Polistirene	Fibre di legno
Abbattimento caldo estivo	Basso abbattimento di caldo estivo per la bassa densità.	Basso abbattimento di caldo estivo per la bassa densità.	Alto abbattimento di caldo estivo per alta densità.
Abbattimento acustico	Buon abbattimento acustico delle fibre. Il listello di appoggio copertura fa però un ponte acustico.	Basso abbattimento acustico per colpa della risonanza.	Buon abbattimento acustico.
Antincendio	Altissima resistenza al fuoco. Nessun carico d'incendio aggiuntivo.	Media resistenza al fuoco. Aumenta il carico d'incendio. Rilascia fumi tossici.	Media resistenza al fuoco. Aumenta il carico d'incendio. Rilascia molto fumo.
Prezzo	Economico.	Prezzo medio.	Prezzo medio/alto.
Uso in cantiere	Dev'essere protetto molto bene contro la pioggia, altrimenti diventa inutilizzabile come coibentazione tetto.	Serve poca protezione contro la pioggia. Non esporlo a teli trasparenti che lo surriscaldano troppo.	Dev'essere protetto contro la pioggia. Quando si bagna si gonfia!
Posa senza fughe	Semplice: si adatta alla larghezza dell'interasse di listelli.	Difficile: eventuali fughe devono essere schiumate.	Difficile: eventuali fughe devono essere riempite con lino.

4.4 La norma sulle condense interstiziali

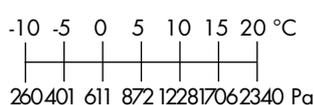
La norma attuale in vigore sulle condense interstiziali è la norma UNI EN ISO 13788:2001. L'ultimo aggiornamento è del 21 giugno 2004. La norma descrive come calcolare le condense superficiali, le condense interstiziali, le quantità massime ammissibili di condense interstiziali, le temperature superficiali interne minime per evitare

condense e per evitare muffa. La novità di questa norma è stato il passaggio da un clima esterno stagionale (stagione di condensazione e stagione di evaporazione delle condense) a quello mensile. Il calcolo mensile rispetta non soltanto le quantità di condense singole, ma soprattutto le quantità di condense accumulate mese per mese.

Facciamo un esempio e analizziamo il tetto seguente con una stratigrafia sbagliata:



Tetto condense
 $U = 0,20W/m^2K$
 $Wt/Wv = 780,1/ 563,7 g/m^2$



Passo 1: definizione e calcolo delle caratteristiche igrometriche

Il tetto in discussione ha una barriera al vapore (guaina bituminosa) al lato esterno. Questo blocca la fuoriuscita di condense d'inverno. D'estate le condense possono

invece evaporare verso il lato interno. Le caratteristiche igrometriche dei materiali sono:

Resistenze alla diffusione di vapore

Strato	μ_{min} [—]	μ_{max} [—]	$\mu_{min} \cdot s$ [m]	$\mu_{max} \cdot s$ [m]	sd [m]
1 Travetti	—	—	—	—	—
2 Tavolato	20	40	0,40	0,80 →	0,40
3 Fibra di legno	5	5	0,70	0,70	0,70
4 Guaina bituminosa	1000	80000	40,00	320,00 ←	320,00
5 Listello di ventilazione	—	—	—	—	—
6 Listello portategola	—	—	—	—	—
7 Tegola	—	—	—	—	—

$\mu \cdot s = 321,10$

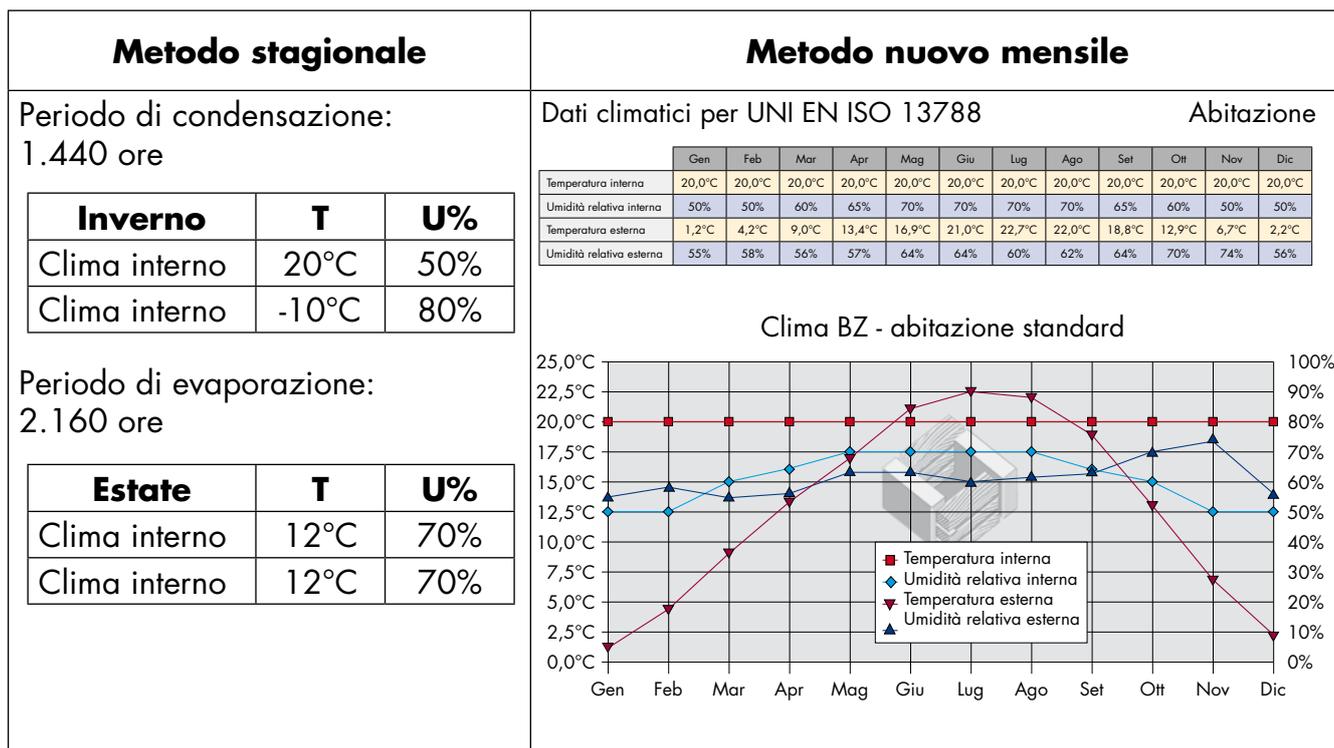
Per i diversi materiali di costruzione vengono certificati i valori limite della resistenza alla

diffusione vapore μ . Come sd va il valore più svantaggioso per il calcolo igrometrico.

Passo 2: definizione del clima interno ed esterno

Mentre la vecchia norma definiva il clima stagionale e calcolava le condense stagionali, la nuova norma definisce la situazione del

clima interno ed esterno in modo mensile (esempio per il clima di Bolzano):



Passo 3: controllo risultati

Nel metodo vecchio tradizionale si calcolava, in modo statico con software specifici, la quantità di condensa invernale e la quantità

evaporabile d'estate. Se l'evaporazione superava la quantità di condensa si passava al controllo:

Elemento di condensazione:

"Fibra di legno - Guaina bituminosa" (non assorbente in modo capillare)

$$m_{W,T} = 1440 * \left(\frac{1170 - 310}{1,06} - \frac{276 - 208}{320,00} \right) / 1500 = 780,1 \text{ g/m}^2 \text{ condense}$$

$$m_{W,V} = 2160 * \left(\frac{1403 - 982}{1,08} + \frac{1403 - 982}{320,02} \right) / 1500 = 563,7 \text{ g/m}^2 \text{ evaporazione}$$

Il potenziale di evaporazione $m_{W,V}$ non basta. Stratigrafia non a norma!

Nel metodo nuovo si fa un calcolo dinamico mensile per ogni passaggio tra materiali

(sull'asse dei valori s_d). Situazioni di condensa vengono segnalati con valori sottolineati:

	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott
Posizione degli strati in s_d [m] e pressione di saturazione p_{sat} [Pa]												
s_d	p_{sat}											
0,00	2250	2221	2215	2234	2264	2292	2315	2342	2353	2348	2327	2289
0,00	2167	2112	2100	2136	2195	2250	2295	2348	2371	2362	2320	2244
0,00	2087	2008	1991	2043	2128	2209	2275	2355	2389	2375	2312	2199
0,00	2009	1908	1886	1952	2062	2168	2255	2362	2407	2388	2304	2156
0,00	1934	1813	1786	1866	1999	2128	2236	2368	2425	2402	2296	2113
0,40	1882	1747	1718	1806	1954	2100	2222	2373	2438	2411	2291	2083
0,45	1805	1651	1619	1718	1888	2057	2201	2380	2458	2426	2282	2037
0,49	1731	1561	1525	1634	1825	2016	2180	2387	2478	2440	2274	1993
0,54	1660	1474	1435	1554	1763	1975	2160	2395	2499	2455	2266	1950
0,59	1591	1392	1351	1478	1703	1935	2139	2402	2519	2470	2258	1907
0,63	1525	1314	1270	1404	1644	1896	2119	2409	2539	2485	2249	1865
0,68	1461	1239	1194	1334	1588	1857	2099	2416	2560	2500	2241	1825
0,73	1400	1169	1122	1267	1533	1819	2079	2424	2581	2515	2233	1784
0,77	1341	1102	1054	1203	1480	1782	2059	2431	2602	2530	2225	1745
0,82	1284	1038	989	1142	1429	1745	2039	2438	2623	2546	2217	1706
0,87	1229	978	928	1083	1379	1709	2020	2446	2644	2561	2208	1668
0,91	1177	920	871	1027	1330	1674	2001	2453	2666	2576	2200	1631
0,96	1126	866	816	974	1283	1639	1982	2461	2687	2592	2192	1595
1,01	1077	815	765	923	1238	1605	1963	2468	2709	2607	2184	1559
1,05	1030	766	716	875	1194	1572	1944	2476	2731	2623	2176	1524
1,10	<u>985</u>	<u>720</u>	<u>670</u>	<u>829</u>	<u>1151</u>	<u>1539</u>	<u>1925</u>	2483	2753	2639	2168	1490
321	981	715	666	824	1147	1536	1923	2484	2755	2640	2167	1487
321	981	715	666	824	1147	1536	1923	2484	2755	2640	2167	1487
321	981	715	666	824	1147	1536	1923	2484	2755	2640	2167	1487
321	981	715	666	824	1147	1536	1923	2484	2755	2640	2167	1487

Formazione di condensa a $s_d = 1,10$ m "Fibra di legno - Guaina bituminosa"

Nell'esempio si hanno delle condense interstiziali tra la fibra di legno e la guaina bituminosa.

Passo 4: calcolo delle quantità accumulate

Quantità di condense mensili g_c e quantità accumulata Ma [g/m²]

g_c	79	201	224	138	112	-164	-344	-577
M_a	> 79	281	504	642	754	590	246	

Nov Dic Gen Feb Mar Apr Mag Giu Lug Ago

per il punto i: $g_{c,i} = \text{ore mensili} / 1500 * ((p_{di} - p_{sat,i}) / s_{d,i} - (p_{sat,i} - p_{de}) / (s_d - s_{d,i}))$

C'è formazione di condense interstiziali, che evaporano però completamente nei mesi estivi. Attenzione alle quantità massime ammesse e ai limiti dei prodotti.

In questo caso la verifica delle quantità di condense evaporate d'estate ha dato un esito positivo. Però c'è l'indicazione di controllare le quantità di condense accumulate (754 g a m²).

Passo 5: controllo delle capacità del materiale

All'ultimo passo si controlla la quantità di condense ammissibili nello strato dove si forma la condensa:

Fibre di natura organica			condense	spessore	densità	
- con collanti non resistenti all'acqua	300 - 700	<=5 r d	105	0,140	150	
				BZ	MO	Roma
			limite	condense	condense	condense
1 Tetto ventilato, fibra di legno 14 cm, freno al vap. interno, telo trasp. esterno			105	0	0	0
come 1, ma senza freno interno, carta catramata esterno			105	754	716	102

La verifica evidenzia che 14 cm di fibra di legno incollato con colle non resistenti all'acqua ha un potenziale di condense ammissibili di 105 g/m². La condensa prodotta invece è di 754 g/m². Perciò il controllo risulta negativo. La stratigrafia non è a norma. Nel confronto tra i climi di Bolzano, Modena e Roma risulta positivo soltanto Roma.

Materiale	Densità [kg/m ³]	Q_{amm} [g/m ²]	Mc [g/m ²]	d [m]	p [kg/m ³]	
Laterizi	600 - 2.000	<=500	condense	spessore	densità	
Calcestruzzi	400 - 2.400	<=500	360	0,020	600	
Legnami e derivati	500 - 800	<=30 r d	675	0,015	1500	
Intonaci e malte	600 - 2.000	<=30 r d				
Fibre di natura organica:			condense	spessore	densità	
- con collanti resistenti all'acqua	300 - 700	<=20 r d	420	0,140	150	
- con collanti non resistenti all'acqua	300 - 700	<=5 r d	105	0,140	150	[W/mK]
- con collanti non resistenti all'acqua	300 - 700	<=5 r d	60	0,080	150	[W/mK]
			condense	spessore	densità	lambda
Fibre minerali bassa densità	10 - 40	<=5.000 r d (l/(1-1,7L))	258	0,080	15	0,040
Fibre minerali alta densità	40 - 150	<=5.000 r d (l/(1-1,7L))	858	0,080	50	0,040
Materie plastiche cellulari bassa densità	10 - 25	<=5.000 r d (l/(1-1,7L))	203	0,080	15	0,032
Materie plastiche cellulari alta densità	25 - 40	<=5.000 r d (l/(1-1,7L))	406	0,080	30	0,032

Fig. 7: Tabella di quantità di condense ammissibili per materiale e esempi di calcolo

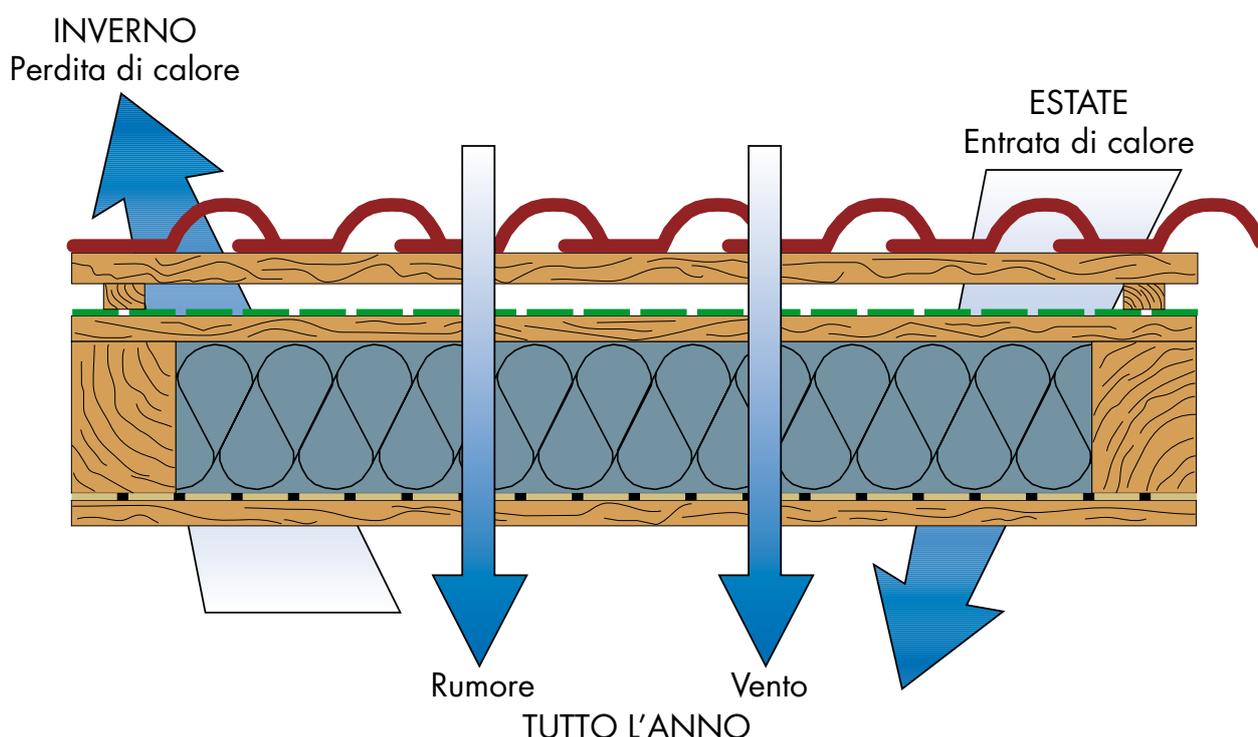
5 La tenuta all'aria

5.1 La problematica dell'impermeabilità 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.

Inoltre si ha un aumento del rumore proveniente dall'esterno durante tutto l'anno.



Se esiste un passaggio libero di aria, per esempio una fessura aperta, si producono i seguenti inconvenienti:

- Perdita di calore d'inverno per convezione libera d'aria calda e per l'entrata di vento freddo dall'esterno.
- Entrata di calore d'estate.
- Passaggio di rumore.
- Condensa negli strati esterni d'inverno, ove l'aria interna umida si raffredda e può condensare.

- Condensa negli strati interni d'estate, ove l'aria esterna umida si raffredda e può condensare.
- Riduzione del comfort interno, per gli spifferi.



Fig. 8: Immagine termografica „naturale“: la neve sciolta per la permeabilità all'aria sopra le finestre del tetto ha creato l'immagine termografica

5.2 Come garantire una buona tenuta all'aria

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.

A titolo di esempio si riportano alcune fotografie:

USB TAPE 1 PE

USB COLL 80



USB TAPE 1 PAP

USB COLL 150 X

Fig. 9: Nastri adesivi Riwega



Fig. 10: Sovrapposizione del telo USB MICRO chiuso con nastro adesivo USB Tape 1 PAP



Fig. 11: Sovrapposizione USB CLASSIC con USB TAPE 1 PE



Fig. 12: Attacchi alla finestra del tetto nastri con USB COLL 80



Fig. 13: Condotte di ventilazione impermeabilizzato con USB COLL 80

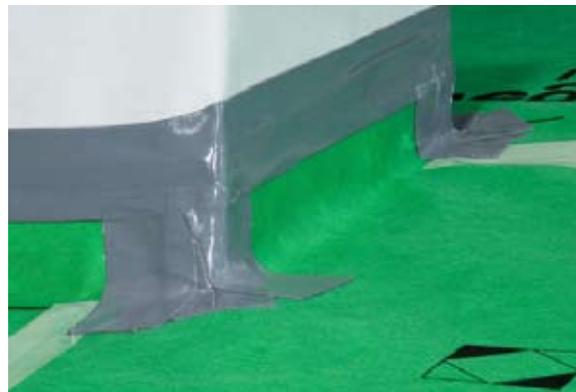


Fig. 14: Attacco del camino nastri con nastro butilico USB COLL 80

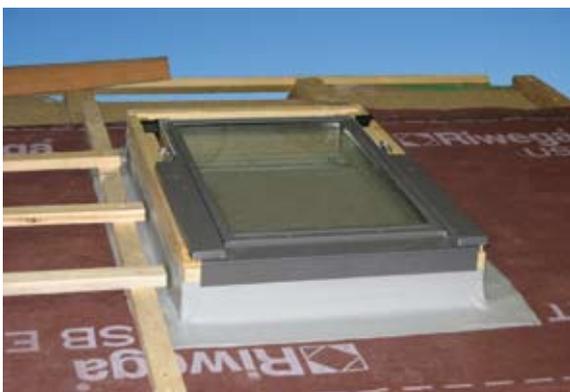


Fig. 15: Finestra del tetto sigillata con USB COLL 150 X



Fig. 16: Travi protetti con GAE ST 125/10 per la tenuta all'aria



SBAGLIATO: Tubo non collegato ermeticamente al freno al vapore



SBAGLIATO: Freno al vapore danneggiato a causa dell'installazione errata dei cavi d'antenna.

5.3 Regole importanti per una buona tenuta all'aria

- I teli ed i freni al vapore sono da incollare nelle loro giunzioni;
- i tubi grossi, le condotte e le finestre nel tetto vanno incollati con nastri al butilene o coperture speciali in PVC all'esterno con il telo ad alta traspirabilità e all'interno con il freno al vapore;
- i tubi sottotraccia dell'impianto elettrico o dei sistemi di telecomunicazione (antenne, telefono, ...) sono da sigillare con del silicone dall'interno;
- il palo di sostegno dell'antenna TV deve rimanere all'esterno della parte riscaldata;
- le travi sono da posare sul muro intonacato o rasato con l'ausilio di doppie gomme EPDM;
- i camini devono essere intonacati anche nel sottotetto non abitato;
- il freno al vapore è da collegare all'interno con gli elementi intonacati tramite l'opportuno listello a pressione.

5.4 La misura dell'impermeabilità all'aria

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.

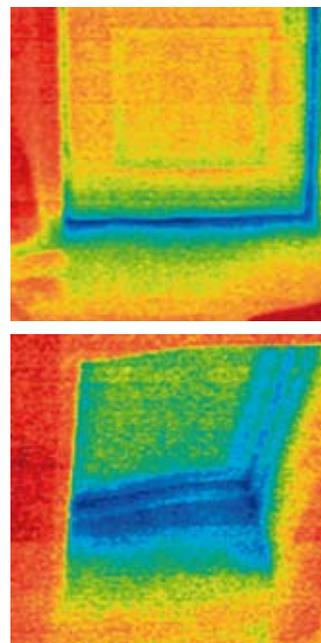
Durante il test si misura quanta aria dev'essere fornita all'appartamento per raggiungere la pressione costante di 50 Pa. Facciamo osservare che questo volume d'aria è il volume che l'appartamento contemporaneamente perde. Con tale metodologia, che richiede 2.000 misure automatizzate, si verifica la 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.



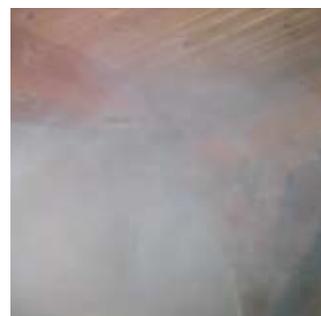
Analisi delle perdite d'aria con termoanemometro



Perdite d'aria in porte e finestre analizzate con la termocamera.



Macchina del fumo per l'analisi di tenuta.



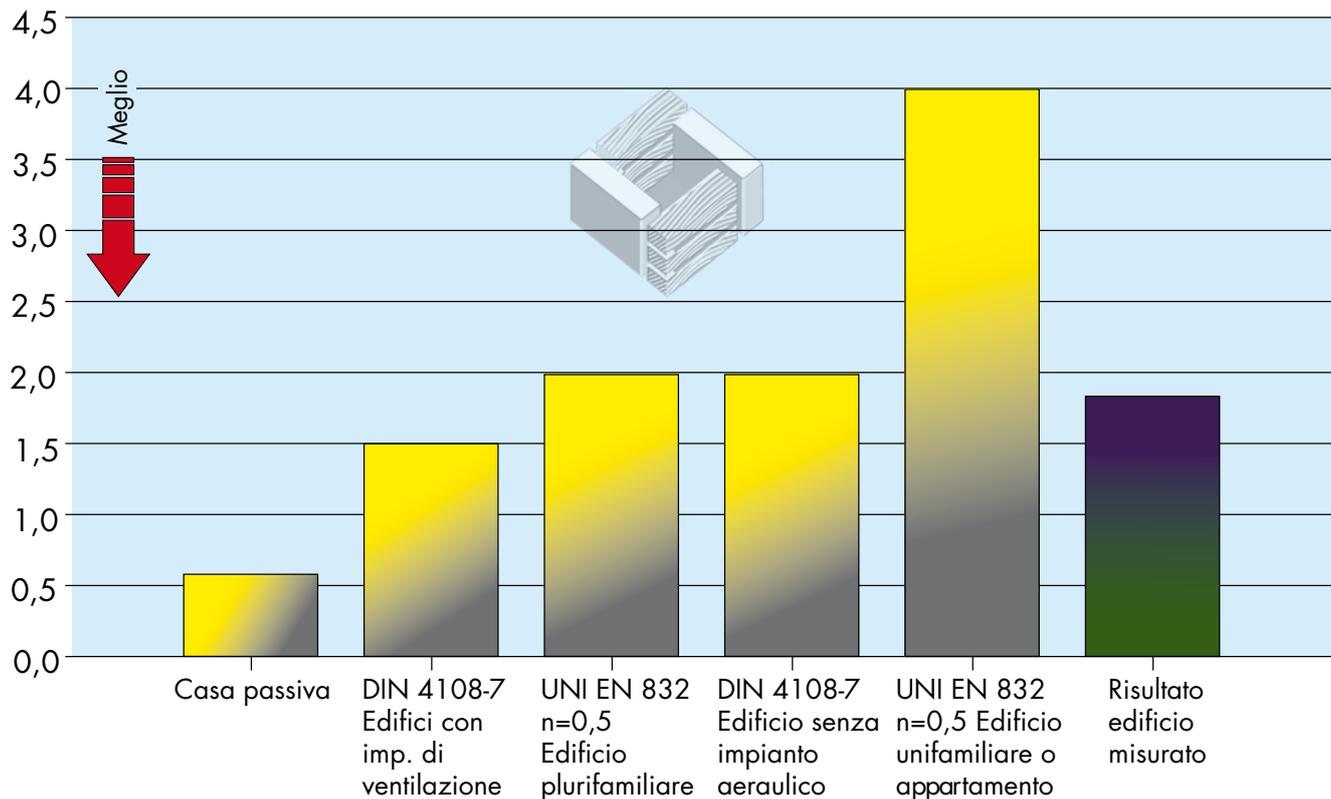
Analisi con macchina fumo per trovare le fughe. In alto l'appartamento vicino dopo 4 min di produzione fumo nell'appartamento vicino.

Il risultato del test è il valore n_{50} , che esprime il rapporto tra l'aria persa e fornita in un'ora a 50 Pa e il volume netto dell'appartamento. I limiti introdotti dalla UNI EN 13829 sono i

seguenti: $n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$ per ogni nuova costruzione; $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$ per edifici con impianti di ventilazione meccanica.

	Casa passiva	DIN 4108-7 <i>Edifici con imp. di ventilazione</i>	UNI EN 832 n=0,5 <i>Edificio plurifamiliare</i>	DIN 4108-7 <i>Edificio senza impianto aeraulico</i>	UNI EN 832 n=0,5 <i>Edificio unifamiliare o appartamento</i>	Risultato edificio misurato
n50	0,6	1,5	2,0	2,0	4,0	1,8

Ricambio d'aria n50



Le perdite d'aria dell'edificio misurato equivalgono ad un buco rotondo con diametro di 30 cm.

Per edifici a basso consumo energetico si raccomanda un valore $n_{50} \leq 2,0 \text{ h}^{-1}$, per edifici passivi un $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ (secondo l'istituto case passive PHI Darmstadt).

Spesso si cerca di paragonare la somma delle perdite di volume d'aria alle perdite che si avrebbero a causa di un buco rotondo delle dimensioni legate ai risultati del test. Un valore n_{50} di $0,51 \text{ h}^{-1}$ risulta uguale ad un buco circolare aperto con diametro di 5 cm. Normalmente troviamo valori molto più alti.

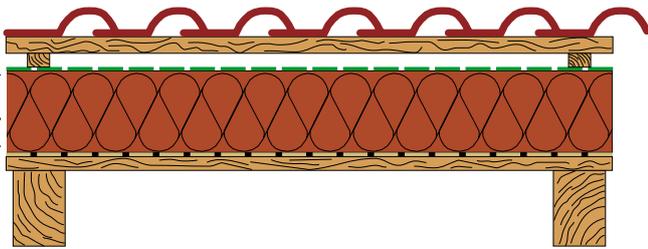
Un valore di $n_{50} 3,0 \text{ h}^{-1}$ è paragonabile ad un'apertura circolare di circa 30 cm di diametro.

Per edifici con impianti di ventilazione forzata vale un limite più severo: con una permeabilità all'aria troppo alta, gli impianti di ventilazione forzata con o senza recupero calore non possono arrivare all'efficienza prevista. Le perdite non previste disturberebbero l'impianto ed il suo buon funzionamento.

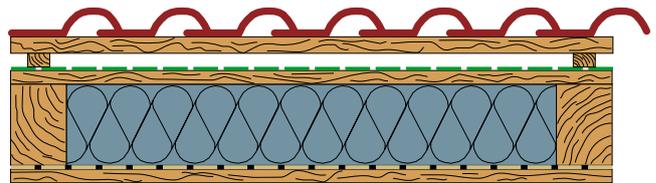
5.5 Confronto dei tetti tipo: impermeabilità all'aria

L'impermeabilità all'aria e al vento secondo la norma UNI EN 13790:2004 viene garantita

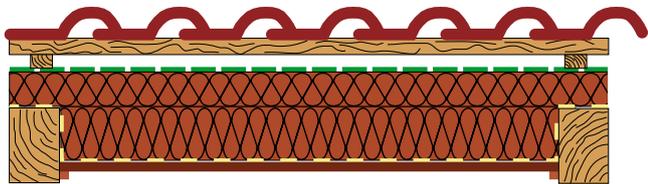
nei pacchetti tipo nel modo seguente:



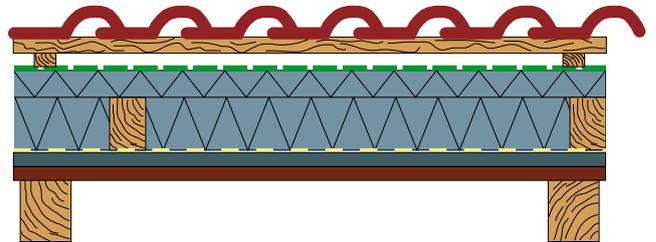
Interno: freno al vapore sull'assito
 Esterno: telo traspirante sopra il coibente



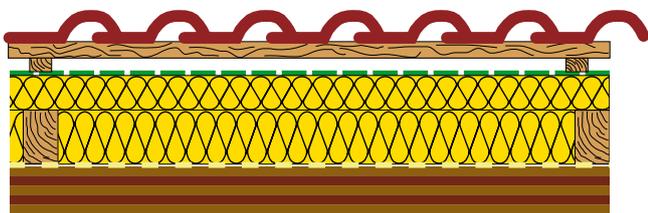
Interno: freno al vapore sull'assito
 Esterno: telo traspirante sopra il secondo tavolato



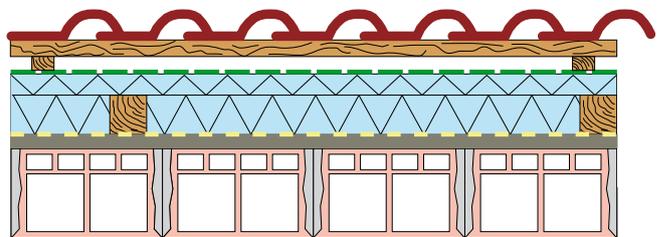
Interno: freno al vapore sull'assito e travetti
 Esterno: telo traspirante sopra il coibente



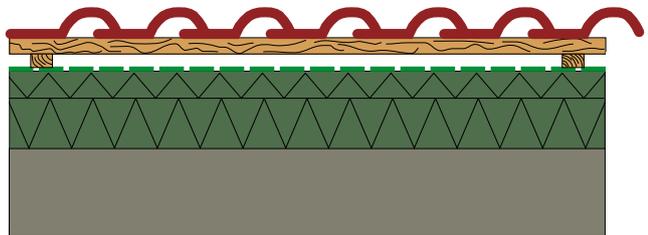
Interno: freno al vapore sulla cappa di cemento
 Esterno: telo traspirante sopra il coibente



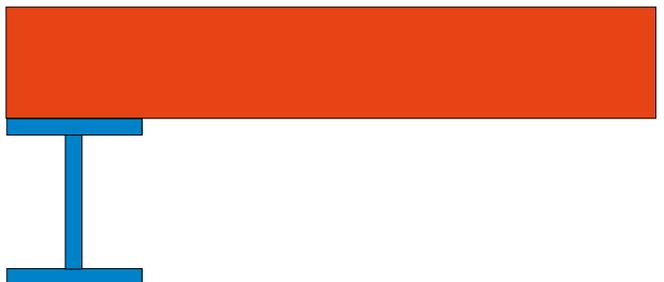
Interno: freno al vapore sul pannello di legno
 Esterno: telo traspirante sopra il coibente



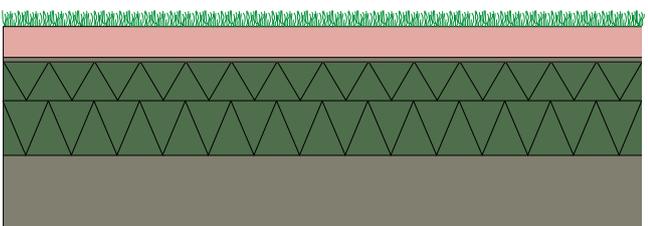
Interno: freno al vapore sulla cappa di cemento
 Esterno: telo traspirante sopra il coibente



Interno: solaio in calcestruzzo pieno
 Esterno: telo traspirante sopra il coibente



Interno: lamiera interna
 Esterno: lamiera esterna



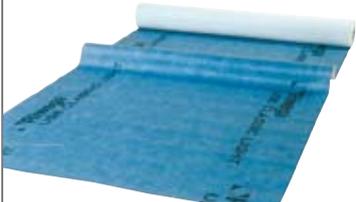
Interno: solaio in calcestruzzo pieno
 Esterno: guaina sotto anti-radice

Riassunto Riwega

Una buona tenuta all'aria si raggiunge soltanto tramite una collaborazione professionale da parte del progettista, del muratore (intonaci, camini, rasature sui bancali, ...), del carpentiere, dell'elettricista (antenne, chiudere con il silicone i tubi che escono) e dell'idraulico (tubi di ventilazione, impianto solare, ...).



Riwega: membrane USB dati tecnici - campi d'applicazione

	LINEA TETTO		
			
			
Descrizione prodotto:	USB CLASSIC	USB CLASSIC LIGHT	USB ELEFANT 100/150/200
Materiale e composizione prodotto:	Telo termosaldato a 140° con additivo speciale 1° strato: PP idrorepellente e stabilizzato ai Raggi UV colore verde 2° strato: PP membrana funzionale traspirante Sd 0,02 3° strato: PP assorbente protettivo	Telo termosaldato a 140° con additivo speciale 1° strato: PP idrorepellente e stabilizzato ai Raggi UV colore blu 2° strato: PP membrana funzionale traspirante Sd 0,02 3° strato: PP assorbente protettivo	Telo termosaldato a 140° con additivo speciale 1° strato: PP idrorepellente e stabilizzato ai Raggi UV colore rosso vinaccia 2° strato: PP membrana funzionale traspirante Sd 0,02 3° strato: PP rinforzato speciale ad alta resistenza
Campi d'applicazione:	<ul style="list-style-type: none"> • tetto inclinato - sul lato esterno - a contatto con il coibente - sul tavolato grezzo 	<ul style="list-style-type: none"> • tetto inclinato - sul lato esterno - a contatto con il coibente - sul tavolato grezzo 	<ul style="list-style-type: none"> • tetto inclinato - sul lato esterno - a contatto con il coibente - sul tavolato grezzo - sulla caldana in CLS
Peso (g/mq):	ca. 180	ca. 145	ca. 238
Valore Sd (m):	>0,02	0,02	0,02
Colonna d'acqua (mm):	>4000	>4000	>8800
Temperatura di resistenza:	-40°/+90°C	-40°/+90°C	-40°/+90°C
Resistenza strappo N/5 cm:	ca. 353	ca. 250	ca. 433
Reazione al fuoco DIN 4102-1	B2	B2	B2
Tipo di sigillante o incollante da utilizzare (vedi depliant nastri adesivi USB):	USB Tape 1 PE USB Tape Sil Estra USB Coll 50/80 USB Tape RIP	USB Tape 1 PE USB Tape Sil Estra USB Coll 50/80 USB Tape 2 Acryl + Butyl	USB Tape 1 PE USB Tape Sil Estra USB Coll 50/80
Versione con nastro adesivo incorporato SK o TOP SK (con doppio nastro adesivo)	Di serie Di serie	Su richiesta	Di serie Di serie
Caratteristiche del prodotto:	Altamente permeabile al vapore acqueo Impermeabile all'acqua Impermeabile al vento	Altamente permeabile al vapore acqueo Impermeabile all'acqua Impermeabile al vento	Altamente permeabile al vapore acqueo Impermeabile all'acqua Impermeabile al vento

Indicazione – caratteristiche principali dei prodotti

Teli ad alta traspirazione

LINEA TETTO E PARETE

			
USB FLAMXX	USB WINDTOP REFLEX	USB WINDTOP UV	USB WALL
Telo termosaldato a 160° senza additivo 1° strato: PP idrorepellente, stabilizzato ai Raggi UV ed autoestingente, colore blu 2° strato: PP membrana funzionale traspirante Sd 0,02 3° strato: PP autoestingente colore grigio chiaro	Telo termosaldato a 160° e microforato 1° strato: PP speciale nebulizzato in alluminio 2° strato: PP assorbente protettivo, colore grigio chiaro	Telo termosaldato a 160° 1° strato: PU poliuretano speciale 2° strato: PES Poliestere colore nero	Telo termosaldato a 140° con additivo speciale 1° strato: PP normale, stabilizzato ai Raggi UV colore grigio 2° strato: PP membrana funzionale traspirante Sd 0,02 3° strato: PP assorbente protettivo
<ul style="list-style-type: none"> • tetto inclinato - sul lato esterno - a contatto con il coibente - sul tavolato grezzo 	<ul style="list-style-type: none"> • parete in legno parte interna ed esterna • tetto inclinato a contatto con il coibente (non come impermeabilizzazione) 	<ul style="list-style-type: none"> • parete in legno parte esterna • tetto inclinato a contatto con il coibente 	<ul style="list-style-type: none"> • parete in legno • tetto inclinato molto pendente sul lato esterno
ca. 153	ca. 115	ca. 170	ca. 120
0,02	0,08	0,19	ca. 0,02
>2000	>415	>2500	>3200
-40°/+90°C	-40°/+90°C	-40°/+90°C	-40°/+90°C
ca. 340	ca. 199	ca. 325	ca. 216
B1	B2	B2	B2
USB Tape 1 PE USB Tape Sil Estra USB Coll 50/80 USB Tape 2 Acryl + Butyl	USB Tape REFLEX USB Coll 50/80 USB Tape 2	USB Tape UV USB Coll 50/80 USB Tape 2	USB Tape 1 PAP USB Tape Sil Estra USB Coll 50/80 USB Tape 2 Acryl + Butyl
Di serie	Di serie	Di serie	Di serie
Su richiesta	Su richiesta	Su richiesta	Su richiesta
Telo altamente traspirante autoestingente. Impermeabile all'acqua Impermeabile al vento	Telo altamente traspirante che riflette il calore. Impermeabile all'aria/vento	Telo altamente traspirante resistente ai raggi UV. Impermeabile all'aria/vento Impermeabile all'acqua	Altamente permeabile al vapore acqueo Impermeabile all'acqua Impermeabile al vento

Riwega: membrane USB dati tecnici - campi d'applicazione

	Freni al vapore		
	LINEA TETTO E PARETE		
			
Descrizione prodotto:	USB MICRO	USB MICRO STRONG	USB MICRO LIGHT
Materiale e composizione prodotto:	Telo termosaldato a 140° con additivo speciale 1° strato: PP normale, stabilizzato ai Raggi UV colore beige 2° strato: PP membrana funzionale freno Sd>2,0 m 3° strato: PP assorbente protettivo	Telo termosaldato a 140° con additivo speciale 1° strato: PP normale, stabilizzato ai Raggi UV colore beige 2° strato: PP membrana funzionale freno Sd>0,02 m 3° strato: PP speciale, rinforzato ad alta resistenza	Telo termosaldato a 140° con additivo speciale 1° strato: PP normale, idrorepellente e stabilizzato ai Raggi UV colore giallo 2° strato: PP membrana funzionale freno Sd 0,02 m
Campi d'applicazione:	<ul style="list-style-type: none"> • tetto inclinato - sul lato interno - sul perlinato 	<ul style="list-style-type: none"> • tetto inclinato - sul lato interno - sul tavolato grasso - sulla caldana in CLS - sul perlinato 	<ul style="list-style-type: none"> • tetto inclinato molto pendente • parete in legno - sul lato interno
Peso (g/mq):	ca. 155	ca. 232	ca. 130
Valore Sd (m):	>2,0	>2,0	>2,0
Colonna d'acqua (mm):	>5500	>9000	>4500
Temperatura di resistenza:	-40°/+90°C	-40°/+90°C	-40°/+90°C
Resistenza strappo N/5 cm:	ca. 270	ca. 440	ca. 210
Reazione al fuoco DIN 4102-1	B2	B2	B2
Tipo di sigillante o incollante da utilizzare (vedi depliant nastri adesivi USB):	USB Tape 1 Pap USB Tape Sil Estra USB Coll 80 USB Tape 2 Acryl + Butyl	USB Tape 1 Pap USB Tape Sil Estra USB Coll 50/80 USB Tape 2 Acryl + Butyl	USB Tape 1 Pap USB Tape Sil USB Coll 80 USB Tape 2 Acryl + Butyl
Versione con nastro adesivo incorporato SK o TOP SK (con doppio nastro adesivo)	Di serie Di serie	Di serie Di serie	Su richiesta Su richiesta
Caratteristiche del prodotto:	Bassa permeabilità al vapore, su entrambi i lati Impermeabile all'acqua Impermeabile all'aria	Bassa permeabilità al vapore, su entrambi i lati Impermeabile all'acqua Impermeabile all'aria	Bassa permeabilità al vapore, su entrambi i lati Impermeabile all'acqua Impermeabile all'aria

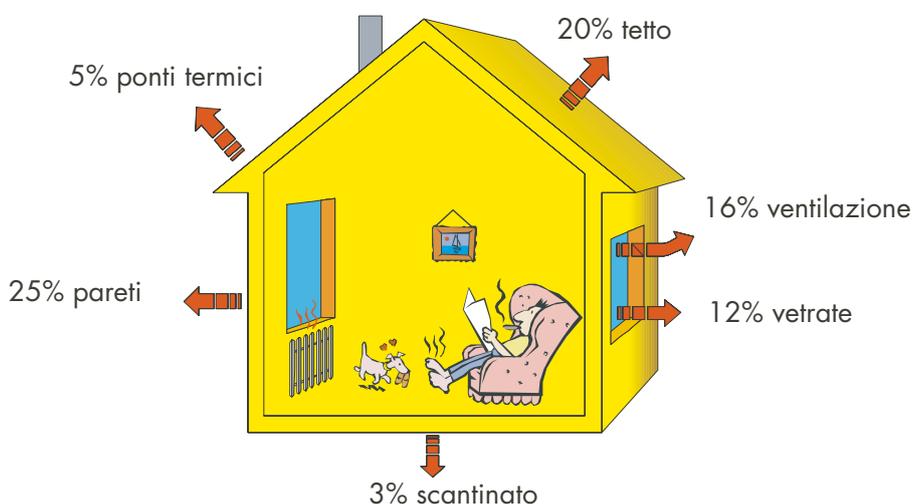
Il telo freno al vapore deve essere posato sul lato interno, sotto la coibentazione.

7 Le dispersioni termiche invernali

Le dispersioni termiche invernali sono responsabili del consumo di combustibile di un edificio. Si origina infatti un flusso di calore verso l'esterno, dovuto alla differenza di temperatura interna ed esterna. Tale flusso dipende dalla differenza di temperatura e dalla qualità termica degli elementi costruttivi (trasmissione U). A queste dispersioni termiche si deve aggiungere un consumo energetico dovuto al ricambio d'aria: l'aria fresca che entra nella casa deve essere riscaldata e

portata alla temperatura interna. La percentuale relativa al fabbisogno energetico dei diversi elementi costruttivi (tetto, solai, parete esterna, finestre, ...) cambia per ogni tipo di progetto. Tuttavia prenderemo come modello una villetta di 212 m² costruita in modo tradizionale e situata in una zona d'Italia con clima medio. Le percentuali di dispersione termica dei vari elementi strutturali e quelle di ventilazione considerate sono illustrate nella figura seguente:

Dispersioni termiche di una casa



Le dispersioni termiche invernali del tetto equivalgono alla percentuale del consumo di combustibile o di energia, necessaria a compensare tali perdite. Le perdite da parte

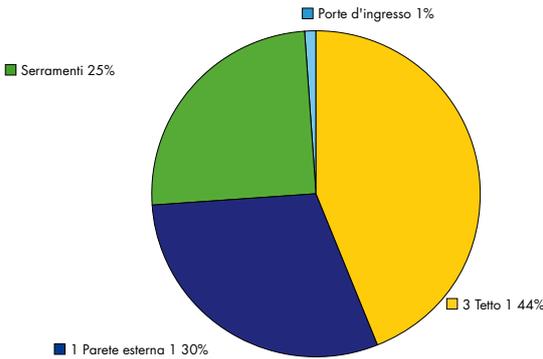
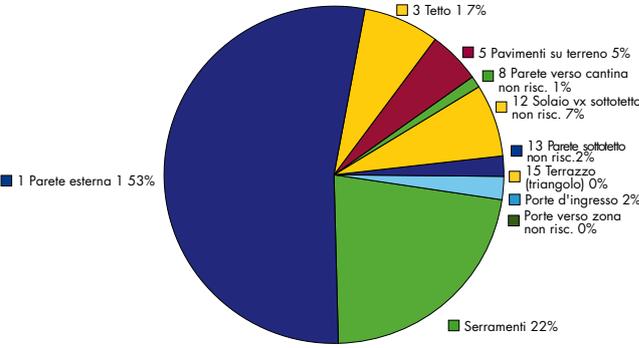
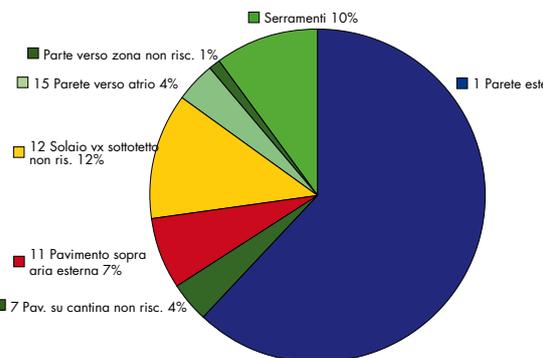
del tetto corrispondono a circa il 20% delle perdite totali di una casa (pertanto rivestono un ruolo importante).

7.1 Il peso energetico degli elementi costruttivi

Per determinare l'importanza del tetto sul consumo energetico si esegue il calcolo del peso energetico. Questo serve per avere, prima della scelta di uno spessore di coibentazione o di una stratigrafia specifica, un feedback dal progetto su quale elemento costruttivo investire di più per ridurre il suo

consumo energetico. Per evidenziare la differenza fra i diversi progetti rispetto al peso energetico, riportiamo tre edifici (un appartamento in mansarda, un edificio bifamiliare e un condominio). La tabella riassume i risultati:

Peso energetico	Tetto	Parete esterna	Serramenti	Resto
Appartamento mansarda	44%	30%	25%	1%
Edificio bifamiliare	14%	53%	22%	11%
Condominio	12%	62%	10%	16%

Edificio	Peso energetico																						
 <p data-bbox="156 629 751 689">Fig. 17: Appartamento mansarda Zarl (BZ) PEtetto: 44%</p>	 <table border="1" data-bbox="837 259 1380 618"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Peso (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3 Tetto</td> <td>44%</td> </tr> <tr> <td>1 Parete esterna</td> <td>30%</td> </tr> <tr> <td>Serramenti</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>Porte d'ingresso</td> <td>1%</td> </tr> </tbody> </table>	Componente	Peso (%)	3 Tetto	44%	1 Parete esterna	30%	Serramenti	25%	Porte d'ingresso	1%												
Componente	Peso (%)																						
3 Tetto	44%																						
1 Parete esterna	30%																						
Serramenti	25%																						
Porte d'ingresso	1%																						
 <p data-bbox="156 1122 635 1155">Fig. 18: Casa 3 litri (Roma) PEtetto: 14%</p>	 <table border="1" data-bbox="821 763 1460 1111"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Peso (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 Parete esterna</td> <td>53%</td> </tr> <tr> <td>Serramenti</td> <td>22%</td> </tr> <tr> <td>12 Salaio vx sottotetto non risc.</td> <td>7%</td> </tr> <tr> <td>5 Pavimenti su terreno</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td>3 Tetto</td> <td>7%</td> </tr> <tr> <td>8 Parete verso cantina non risc.</td> <td>1%</td> </tr> <tr> <td>13 Parete sottotetto non risc.</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>15 Terrazzo (triangolo)</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>Porte d'ingresso</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>Porte verso zona non risc.</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table>	Componente	Peso (%)	1 Parete esterna	53%	Serramenti	22%	12 Salaio vx sottotetto non risc.	7%	5 Pavimenti su terreno	5%	3 Tetto	7%	8 Parete verso cantina non risc.	1%	13 Parete sottotetto non risc.	2%	15 Terrazzo (triangolo)	0%	Porte d'ingresso	2%	Porte verso zona non risc.	0%
Componente	Peso (%)																						
1 Parete esterna	53%																						
Serramenti	22%																						
12 Salaio vx sottotetto non risc.	7%																						
5 Pavimenti su terreno	5%																						
3 Tetto	7%																						
8 Parete verso cantina non risc.	1%																						
13 Parete sottotetto non risc.	2%																						
15 Terrazzo (triangolo)	0%																						
Porte d'ingresso	2%																						
Porte verso zona non risc.	0%																						
 <p data-bbox="156 1615 735 1648">Fig. 19: Condominio ATC Biella (BI) PEtetto: 12%</p>	 <table border="1" data-bbox="837 1245 1380 1603"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Peso (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 Parete esterna</td> <td>62%</td> </tr> <tr> <td>Serramenti</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>12 Salaio vx sottotetto non risc.</td> <td>12%</td> </tr> <tr> <td>11 Pavimento sopra aria esterna</td> <td>7%</td> </tr> <tr> <td>15 Parete verso altro</td> <td>4%</td> </tr> <tr> <td>7 Pav. su cantina non risc.</td> <td>4%</td> </tr> <tr> <td>Parte verso zona non risc.</td> <td>1%</td> </tr> </tbody> </table>	Componente	Peso (%)	1 Parete esterna	62%	Serramenti	10%	12 Salaio vx sottotetto non risc.	12%	11 Pavimento sopra aria esterna	7%	15 Parete verso altro	4%	7 Pav. su cantina non risc.	4%	Parte verso zona non risc.	1%						
Componente	Peso (%)																						
1 Parete esterna	62%																						
Serramenti	10%																						
12 Salaio vx sottotetto non risc.	12%																						
11 Pavimento sopra aria esterna	7%																						
15 Parete verso altro	4%																						
7 Pav. su cantina non risc.	4%																						
Parte verso zona non risc.	1%																						

7.2 L'indice energetico calore/involucro

La bontà, da un punto di vista termico, di una casa, viene definita con l'indice energetico. L'indice energetico IE esprime il consumo di energia per m² all'anno. Questo consumo di energia viene espresso in kWh, l'unità universale standardizzata. Poiché è molto più immediato il consumo di combustibili, riportiamo nella figura seguente lo sviluppo

dell'indice energetico degli ultimi anni sia in kWh che in litri di gasolio, m³ di metano, kg di pellets e legna.

Esempio: Un edificio di 120 m² di superficie riscaldata calpestabile e con un indice energetico di 110, consuma 120 x 110 = 13.200 kWh di energia per anno. Questo fabbisogno di energia utile per riscaldamento

corrisponde a un consumo annuo di 1.320 litri di gasolio, 1.344 m³ di metano, 2.700 kg di pellets o 3.144 kg di legna da ardere. Il progettista può fare il calcolo dell'indice energetico già nella fase di progettazione e lasciare la decisione sulla qualità di costruzione al cliente, prima che la casa sia costruita.

Così il committente decide se investire di più nella fase di costruzione per avere dopo un

consumo ridotto, o costruire con una qualità termica inferiore, ed avere la spesa per il riscaldamento più alto. Una maggiore qualità termica dell'edificio comporta però anche una maggior garanzia contro la muffa, ponti termici e un benessere complessivo più alto. L'investimento in qualità diventa così anche un investimento nell'affidabilità, nella salute della famiglia e nella ridotta dipendenza da forniture esterne.



IE	200	140	110	85	70	50	30	15
	prima 1990	dopo 1990	legge 10: vecchi cd	legge 10: nuovi cd	CasaClima C basso consumo	CasaClima B	CasaClima A	Casa passiva
Gasolio litri	20	14	11	8,5	7	5	3	1,5
Metano m ³	20,4	14,3	11,2	8,7	7,1	5,1	3,1	1,5
Pellets kg	40,8	28,6	22,5	17,4	14,3	10,2	6,1	3,1
Legna kg	47,6	33,3	26,2	20,2	16,7	11,9	7,1	3,6

La possibilità di ridurre i consumi di energia nell'edilizia è molto più alta di quanto si possa pensare. Case a bassissimo consumo energetico, come le case passive, consumano soltanto il 10%!! di una costruzione edilizia tradizionale. Per questo motivo è stata approvata la legge nazionale sul risparmio energetico (D.lgs 192/05 e D.lgs 311/06) che impone una qualità minima per gli edifici di nuova costruzione. Con questa legge l'Italia impone dei limiti molto più severi

rispetto alla vecchia legge 10/91. Comunque i suoi limiti vengono ancora applicati poco. Consigliamo di fare in ogni caso l'attestato di qualificazione energetica già nella fase progettuale e cercare di ridurre ulteriormente del 10-20% il fabbisogno energetico. L'indice energetico calore è il risultato dell'attestato di qualificazione energetica meno le perdite dell'impianto di riscaldamento e rispecchia la qualità costruita dell'involucro termico.

Riwegaga consiglia:

Costruite la casa con un indice energetico calore minore di 70 kWh/m²a!



La conversione tra il fabbisogno energetico primario invernale e l'indice energetico calore si fa in modo semplificato attraverso le seguenti formule:

$$IE_{\text{calore}} = EP_i \cdot \eta_g \text{ [kWh/m}^2\text{a]} \text{ per edifici residenziali}$$

$$IE_{\text{calore}} = EP_i \cdot \eta_g \cdot \frac{V_{\text{lordo}}}{A_{\text{netta}}} \text{ [kWh/m}^2\text{a]} \text{ per edifici non residenziali}$$

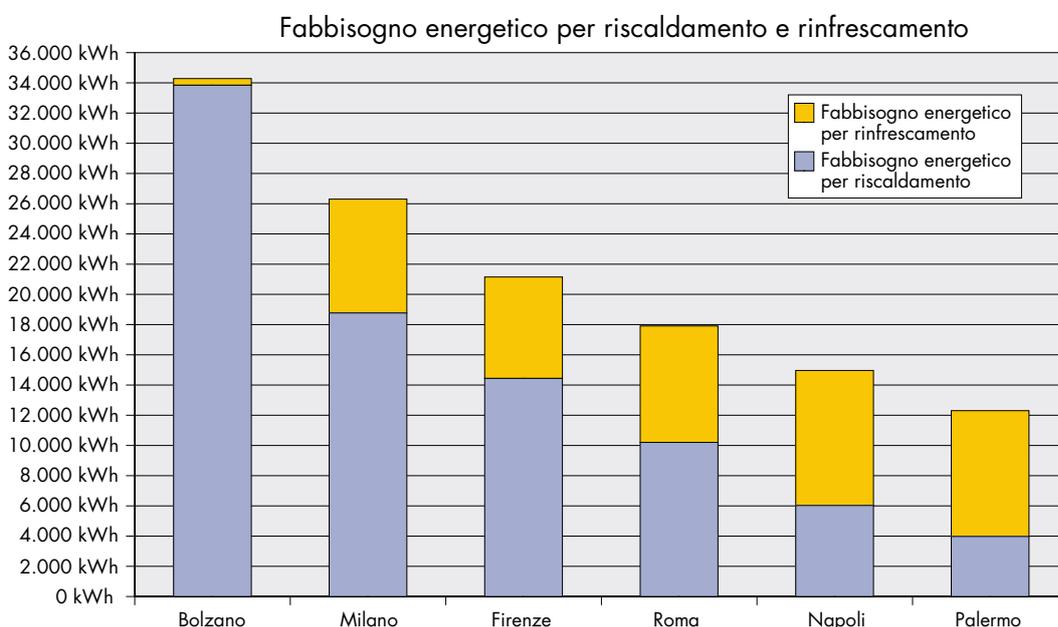
Poiché nell'EP_i viene considerato anche il fabbisogno di corrente elettrica a livello primario, dovrete togliere alla fine ca. l'un per cento al risultato finale per arrivare al IE_{calore}.

7.3 Il clima

Il clima è il fattore più importante per la quantità del fabbisogno termico e non dipende dal progettista o committente. Nel seguente diagramma mostriamo la differenza degli indici energetici sempre per la stessa

villetta, che supporremo collocata in diverse città. Si può notare che al Sud diminuisce moltissimo il fabbisogno energetico per riscaldamento, aumenta però il fabbisogno energetico per raffrescamento.

Il calcolo delle dispersioni termiche è stato fatto per un edificio tradizionale a due piani (212 m²) e normale percentuale di superficie vetrata (17%). Nel calcolo (PHPP) è stato sovrapposto il fabbisogno energetico utile per il riscaldamento invernale ed il raffrescamento estivo. Il diagramma evidenzia la differenza delle zone climatiche d'Italia. Se al Nord la coibentazione è importante soprattutto per ridurre le perdite di calore interno, al Sud serve per ridurre l'ingresso del calore estivo.

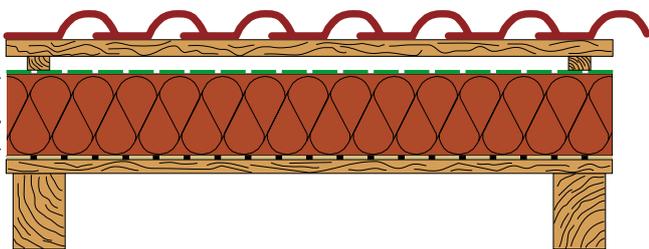


Indice energetico per riscaldamento	159 kWh/m ²	88 kWh/m ²	68 kWh/m ²	48 kWh/m ²	28 kWh/m ²	19 kWh/m ²
Indice energetico per raffrescamento	2 kWh/m ²	35 kWh/m ²	32 kWh/m ²	36 kWh/m ²	42 kWh/m ²	39 kWh/m ²
Indice energetico totale	161 kWh/m²	123 kWh/m²	100 kWh/m²	84 kWh/m²	70 kWh/m²	58 kWh/m²

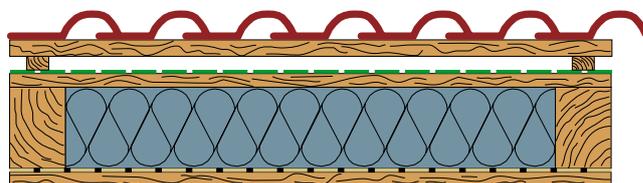
7.4 Confronto dei tetti tipo: valori U

Per confrontare meglio la valenza di protezione termica invernale, abbiamo fissato lo spessore della coibentazione a 14 cm. I

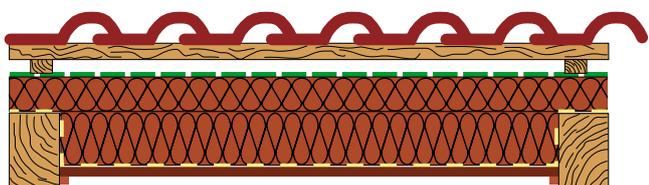
valori consigliati per tetti sono U sotto 0,25 W/m²K.



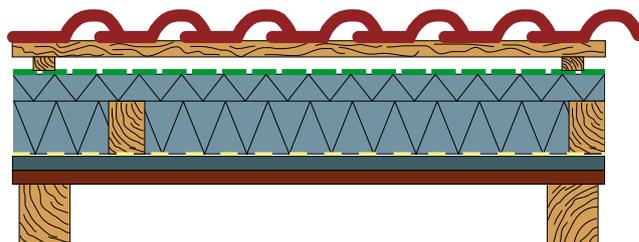
Valore U: **0,259** W/m²K
Coibentazione: pannello fibra di legno, 14 cm



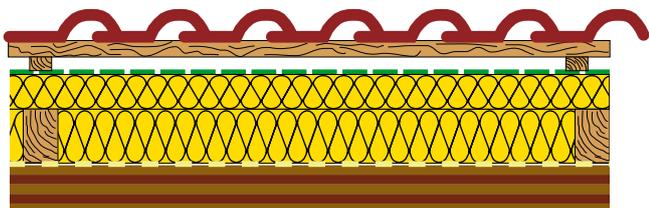
Valore U: **0,292** W/m²K
Coibentazione: materassino di cellulosa, 14 cm



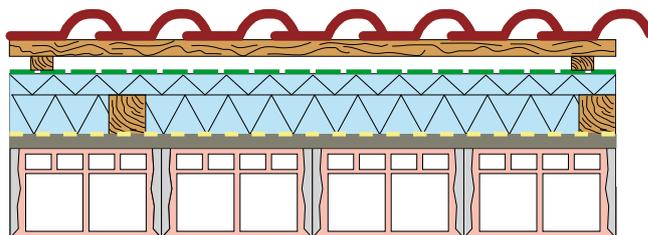
Valore U: **0,306** W/m²K
Coibentazione: pannelli fibra di legno, 14 cm



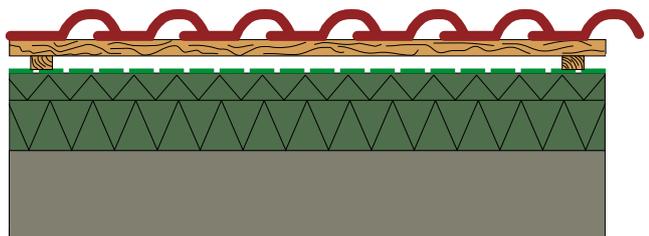
Valore U: **0,244** W/m²K
Coibentazione: EPS con graffite, 14 cm



Valore U: **0,245** W/m²K
Coibentazione: materassino lana di roccia, 14 cm



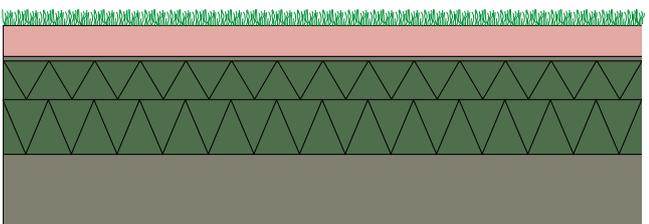
Valore U: **0,265** W/m²K
Coibentazione: pannello di EPS, 14 cm



Valore U: **0,240** W/m²K
Coibentazione: pannello di XPS, 14 cm



Valore U: **0,174** W/m²K
Coibentazione: schiuma poliuretana, 14 cm



Valore U: **0,242** W/m²K
Coibentazione: pannello di XPS, 14 cm



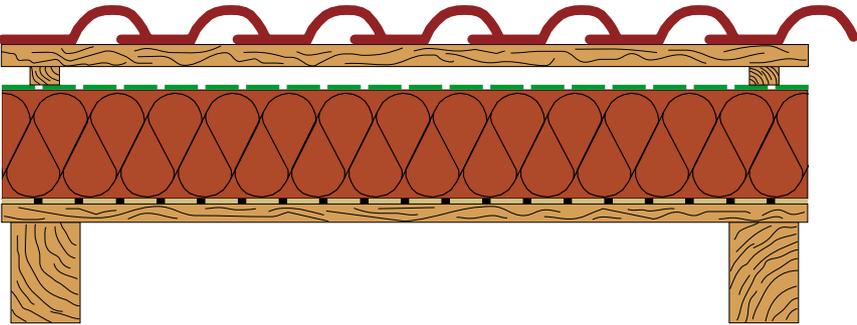
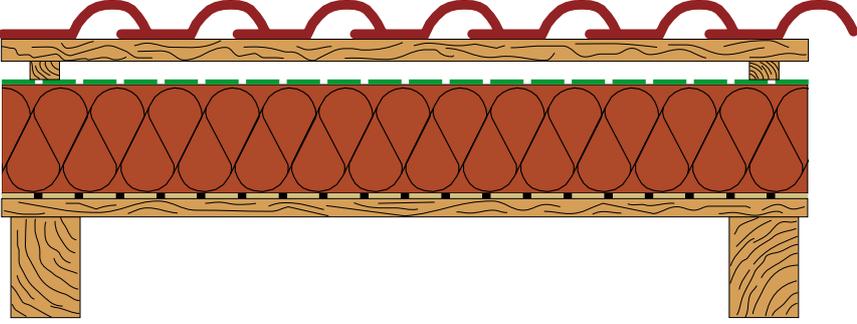
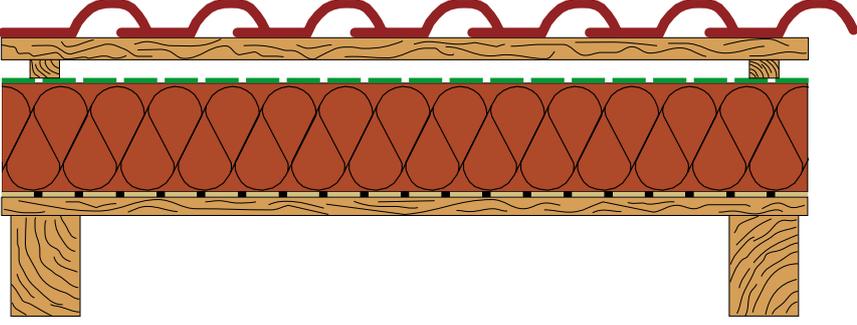
Fig. 20: termografia "naturale"; la neve sciolta sopra l'edificio riscaldato

7.5 Resistenze termiche: valori U dei tetti in legno

Le seguenti tabelle mostrano il valore U (coefficiente di trasmissione termica) dei due tipi di tetto in legno considerati inizialmente. Per ogni tipologia abbiamo calcolato i valori con le tre varietà principali di materiali per la coibentazione: la migliore con un valore λ di

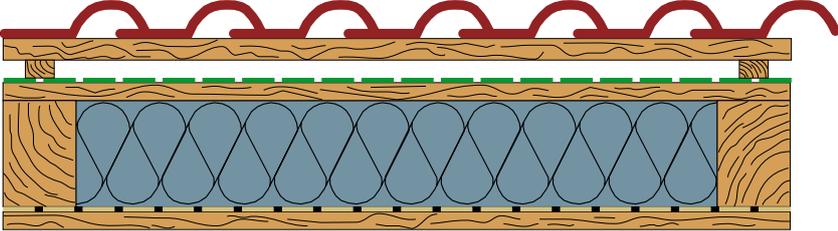
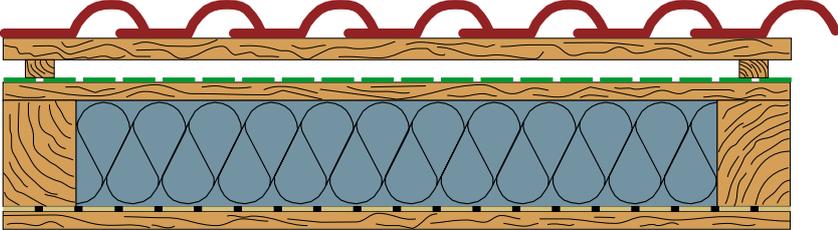
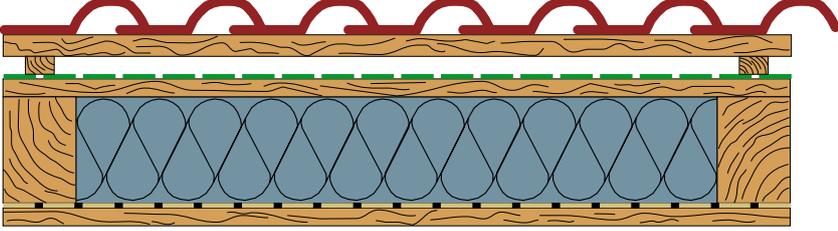
0,035 W/mK, la media con 0,04 W/mK e l'ultima con 0,045 W/mK. Senza dover ricorrere a calcoli complicati, si può trovare il valore calcolato nella riga relativa allo spessore del coibente corrispondente.

Struttura tipo A: Coibente sopra l'orditura	Spessori coibente	valori U [W/m²K]
	$\lambda = 0,030$ 8 cm 10 cm 12 cm 14 cm 16 cm 18 cm 20 cm 22 cm 24 cm 26 cm	$U \neq k$ 0,384 0,315 0,268 0,233 0,206 0,185 0,168 0,153 0,141 0,131

Struttura tipo A: Coibente sopra l'orditura	Spessori coibente	valori U [W/m²K]
	$\lambda = \mathbf{0,035}$ 8 cm 10 cm 12 cm 14 cm 16 cm 18 cm 20 cm 22 cm 24 cm 26 cm	$U \neq k$ 0,429 0,354 0,302 0,262 0,233 0,208 0,189 0,173 0,160 0,148
	$\lambda = \mathbf{0,040}$ 8 cm 10 cm 12 cm 14 cm 16 cm 18 cm 20 cm 22 cm 24 cm 26 cm	$U = k$ 0,425 0,350 0,298 0,259 0,230 0,206 0,187 0,171 0,157 0,146
	$\lambda = \mathbf{0,045}$ 8 cm 10 cm 12 cm 14 cm 16 cm 18 cm 20 cm 22 cm 24 cm 26 cm	$U = k$ 0,469 0,388 0,331 0,289 0,256 0,230 0,208 0,191 0,176 0,163

Per la tipologia B con coibente fra l'orditura si è fatto il calcolo bidimensionale di U, perché le travi realizzano un ponte termico. Per

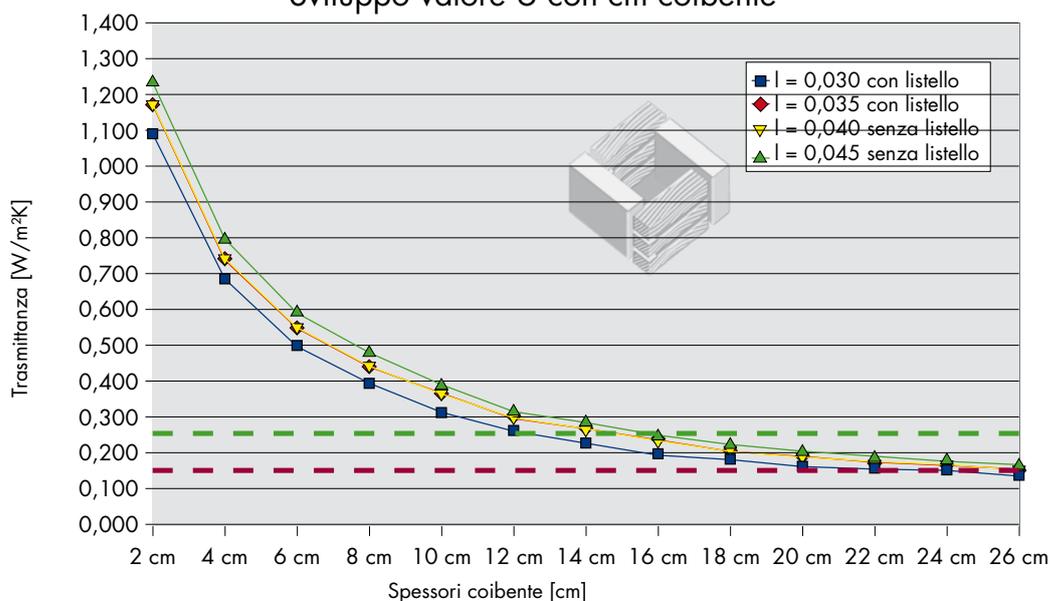
questo motivo il valore effettivo U non è uguale al valore k.

Struttura tipo B: Coibente fra l'orditura	Spessori coibente	valori U [W/m²K]
	$\lambda = \mathbf{0,035}$ 8 cm 10 cm 12 cm 14 cm 16 cm 18 cm 20 cm 22 cm 24 cm 26 cm	$U \neq k$ 0,422 0,354 0,305 0,268 0,239 0,216 0,197 0,181 0,167 0,155
	$\lambda = \mathbf{0,040}$ 8 cm 10 cm 12 cm 14 cm 16 cm 18 cm 20 cm 22 cm 24 cm 26 cm	$U \neq k$ 0,457 0,385 0,332 0,292 0,261 0,236 0,215 0,198 0,183 0,170
	$\lambda = \mathbf{0,045}$ 8 cm 10 cm 12 cm 14 cm 16 cm 18 cm 20 cm 22 cm 24 cm 26 cm	$U \neq k$ 0,490 0,414 0,358 0,316 0,282 0,255 0,233 0,214 0,198 0,185

Nel seguente diagramma riassumiamo i valori elencati nella tabella del tetto A con coibentazione sopra l'orditura. Si può vedere bene, che servono almeno 14-18 cm di

coibente, per ridurre le dispersioni termiche al valore consigliato. Per avere trasmittanze per edifici passivi servono almeno 20 cm.

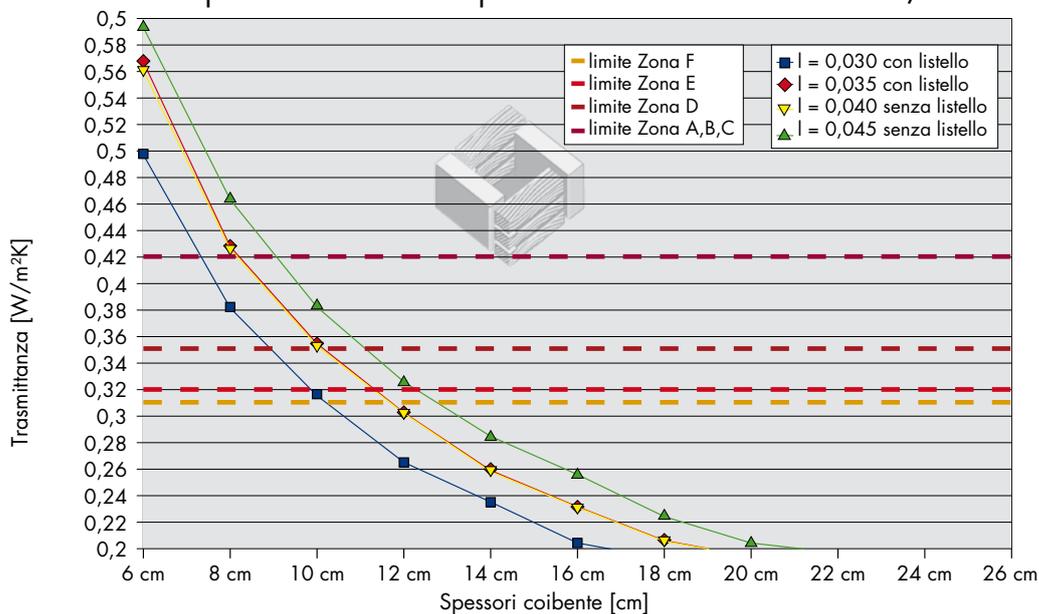
Sviluppo valore U con cm coibente



Si vede inoltre che la riduzione delle dispersioni termiche non è una funzione lineare, dove con lo spessore doppio di coibente riduciamo le dispersioni alla metà, ma è esponenziale: con l'aumento dello spessore si riduce la sua efficienza. Questo fatto comporta che diventa sempre più difficile e costoso ridurre ulteriormente le dispersioni. Se aumentiamo lo spessore da 4 a 8 cm (tipo A, $l = 0,04$), le dispersioni si riducono del 42%; se lo aumentiamo da 16 a 20 cm (sempre di 4 cm), le dispersioni si riducono soltanto del 19%. Lo spessore massimo del coibente del tetto, ancora economicamente ammortizzabile, si aggira sui 30 cm di spessore. Un altro dettaglio sorprendente è il fatto, che

l'efficienza energetica superiore di una coibentazione con una conducibilità termica l di 0,035 W/mK rispetto a una coibentazione con un l di 0,040 W/mK viene vanificato dall'effetto ponte termico di un listello di legno incrociato. Il listello serve per sostenere la copertura in presenza di coibentazioni non portanti, p.e. materiali morbidi come materassini o materiali sintetici di alta valenza termica, p.e. polistireni espansi con grafite. Nel diagramma seguente abbiamo scelto un particolare del diagramma precedente (spessori da 6 cm in su) e inseriti i valori limiti U richiesti del decreto legislativo 311/06 in vigore dal 01.01.2008 (fino al 31.12.2009) per coperture:

Spessori di coibente per entrare nei limiti della 311/06



I differenti limiti si riferiscono alle diverse zone climatiche invernali. La zona F è la più fredda, A la più calda. Si può notare che nella zona E servono almeno da 10 a 13 cm per rientrare nella disposizione della legge. Questi limiti si riferiscono al metodo

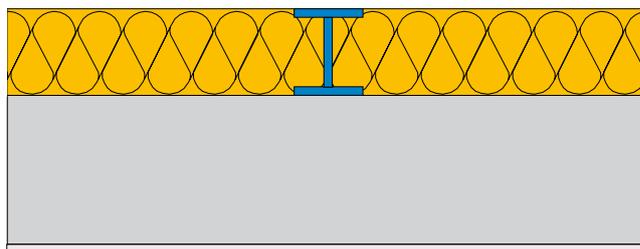
semplificato, mentre per il metodo del bilancio energetico complessivo EPi sono richiesti dei limiti singoli aumentati del 30%, cioè si potrebbe peggiorare la qualità termica del tetto, se si migliora da un'altra parte dell'edificio.

7.6 Ponti termici

Per evitare ponti termici, si deve evitare che elementi con alta conducibilità termica, come il metallo, attraversino la struttura. Già le travi di legno stesse creano un piccolo ponte

termico, perché hanno una conducibilità termica molto più alta ($\lambda > 0,13 \text{ W/mK}$) dei materiali usati per la coibentazione termica ($\lambda < 0,045 \text{ W/mK}$).

Nella figura viene raffigurato un ponte termico, dovuto ad una trave di metallo nella coibentazione esterna del tetto. Nella stratigrafia termica a destra si nota la distorsione delle linee isoterme (a uguale temperatura), a causa della presenza della trave. Senza trave di metallo, le linee sarebbero tutte parallele. A sinistra si vede la densità del flusso di calore nel ponte termico.



Valore U senza ponte termico: $0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Valore U con ponte termico (interasse 2 m):
 $U = 0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $\Psi = 0,83 \text{ W/mK}$

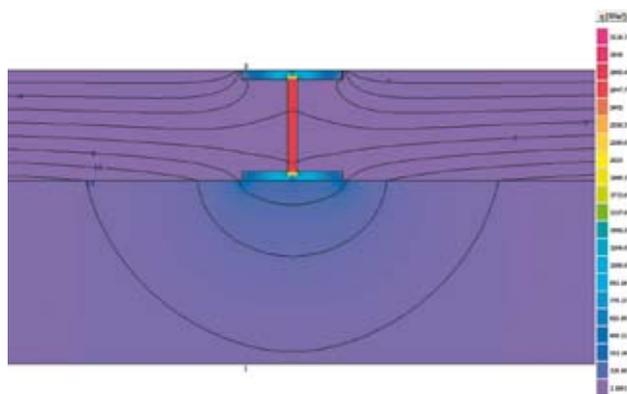


Fig. 21: Flusso di calore nel ponte termico

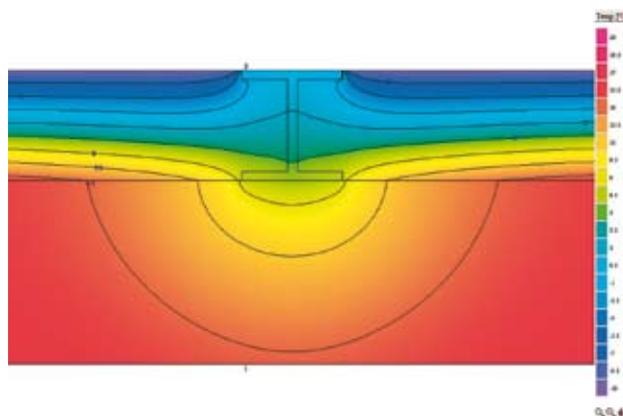


Fig. 22: Linee isoterme del ponte termico

Riassunto Riwega

Per ridurre le dispersioni termiche invernali servono almeno 14-18 cm di coibentazione. Consigliamo di mettere il coibente sopra l'orditura per evitare ponti termici e per proteggere meglio la struttura portante del tetto di legno. Consigliamo inoltre di usare soltanto materiali con marcatura CE e di controllare i dati dei prodotti forniti in cantiere.

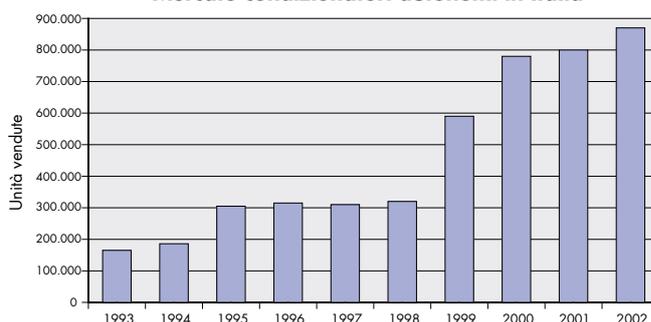


8 Il surriscaldamento estivo

Il surriscaldamento estivo è un problema che si sta aggravando negli ultimi anni. Il collasso della rete elettrica nazionale nell'agosto 2003 fu principalmente causato dall'aumento del consumo per il raffrescamento estivo. La crescita del consumo di energia ha più motivi: l'aumento della parte vetrata, la diminuzione della massa nelle nuove costruzioni, il maggior utilizzo di sottotetti come abitazioni, la richiesta di un comfort interno più alto e il clima più caldo degli ultimi anni. L'importanza del comfort interno estivo è ovvio e può essere risolto in due modi differenti:

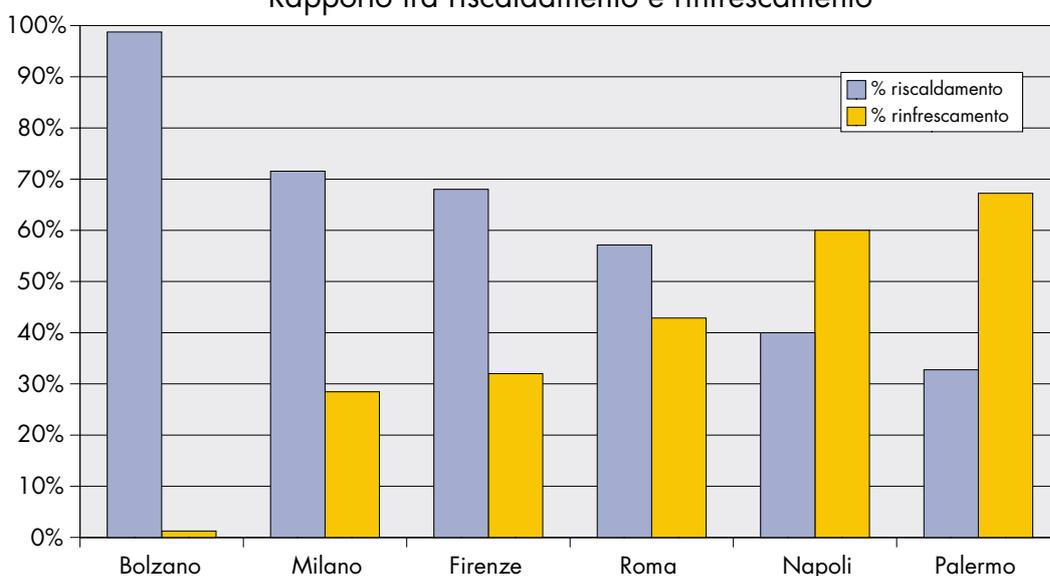
- soluzione attiva: l'impianto di raffrescamento con il consumo d'energia altissimo e i costi elevati
- soluzione passiva: progettazione e costruzione dell'edificio nel modo adatto ai clima caldi.

Mercato condizionatori autonomi in Italia



Il calcolo (PHPP) delle dispersioni termiche è stato fatto per un edificio tradizionale a due piani (212 m²) e normale percentuale di superficie vetrata (17%). Ciò nonostante si verifica, che al sud dell'Italia, il raffrescamento estivo ha un'importanza notevole. La percentuale del raffrescamento estivo sale dall'1% a Bolzano fino al 67% a Palermo.

Rapporto tra riscaldamento e rinfrescamento



% riscaldamento	99%	72%	68%	57%	40%	33%
% rinfrescamento	1%	28%	32%	43%	60%	67%

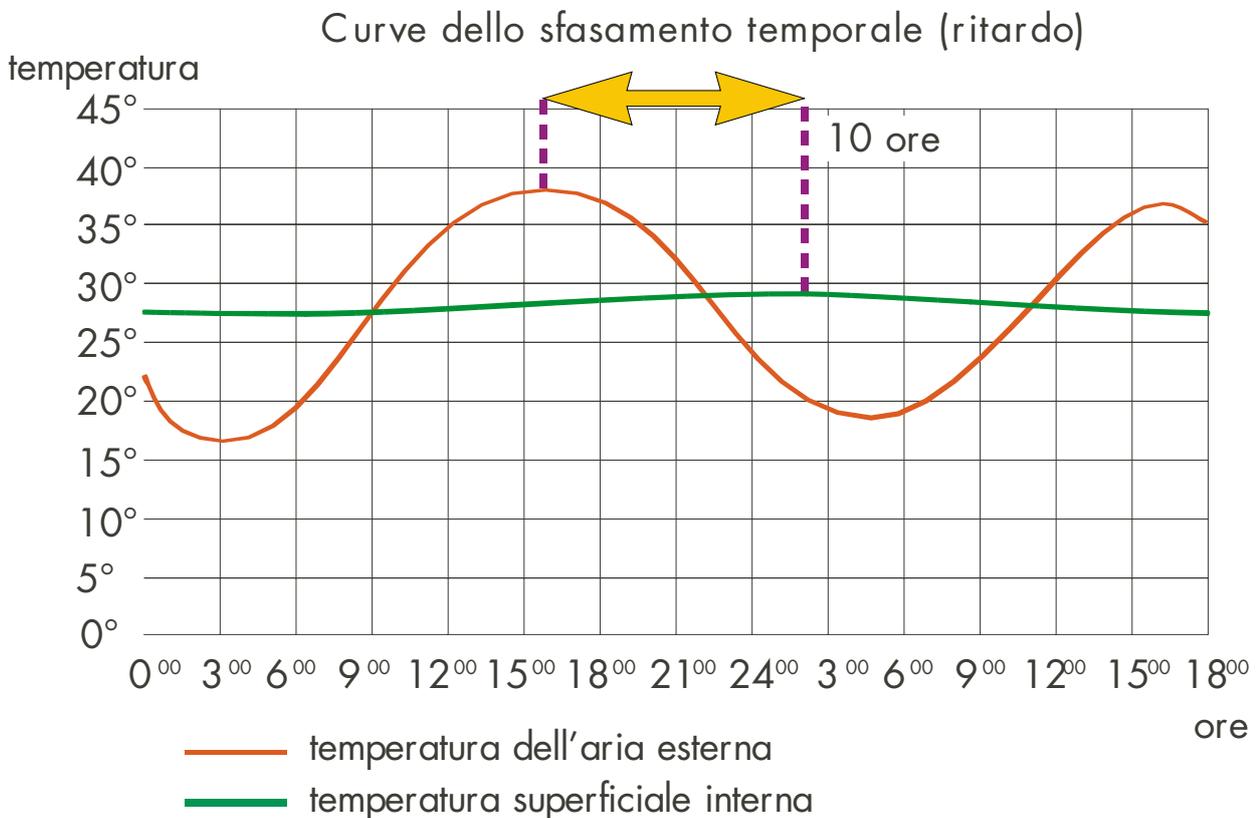
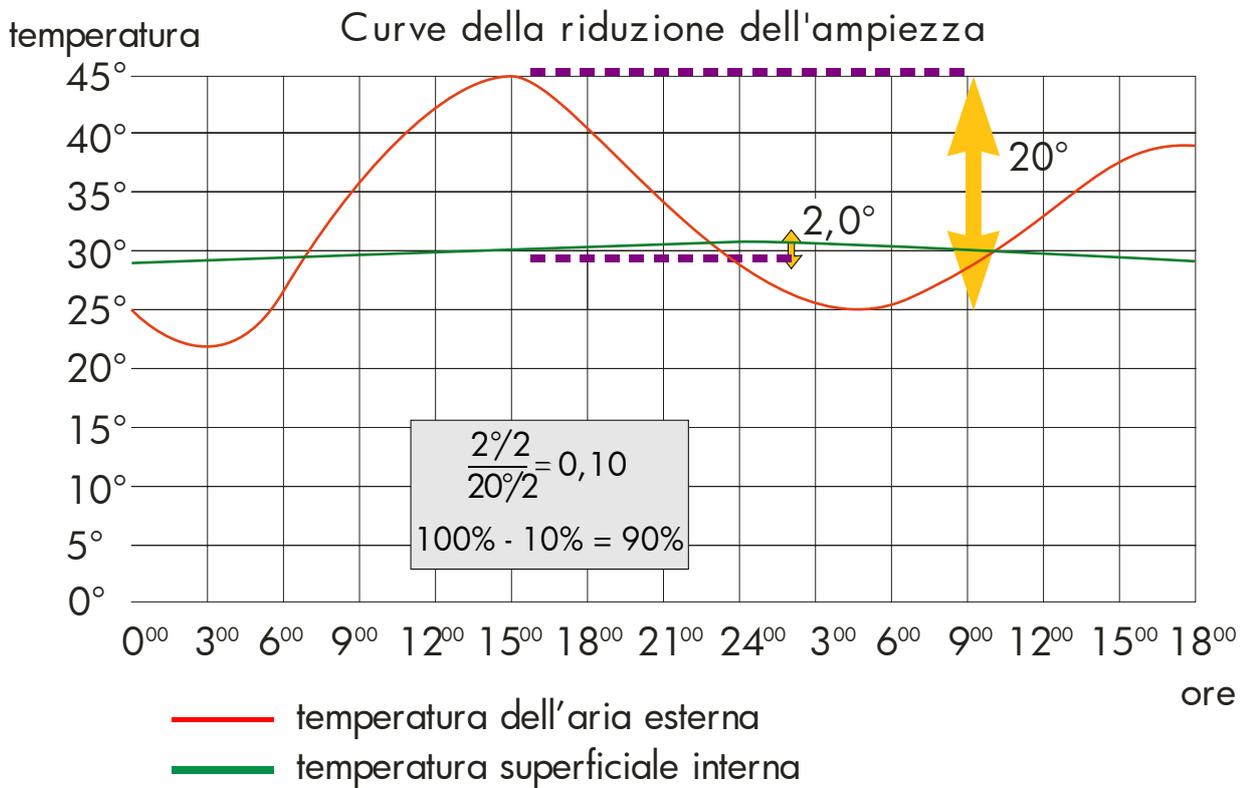
8.1 Riduzione ampiezza e spostamento fase

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

8.2 Altre definizioni della prestazione estiva

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'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva, $I_{m,s} \geq 290 \text{ W/m}^2$ un peso superficiale minimo di 230 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.

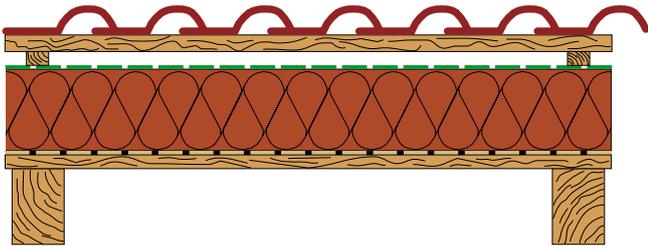
Regione/Provincia	I Mmax	Regione/Provincia	I Mmax	Regione/Provincia	I Mmax	Regione/Provincia	I Mmax
Abruzzo		Lazio		Piemonte		Toscana	
Chieti	306 W/m ²	Frosinone	300 W/m ²	Alessandria	262 W/m ²	Arezzo	267 W/m ²
L'Aquila	273 W/m ²	Latina	316 W/m ²	Asti	260 W/m ²	Firenze	296 W/m ²
Pescara	302 W/m ²	Rieti	270 W/m ²	Biella		Grosseto	314 W/m ²
Teramo	297 W/m ²	Roma	314 W/m ²	Cuneo	235 W/m ²	Livorno	303 W/m ²
Basilicata		Viterbo	287 W/m ²	Novara	281 W/m ²	Lucca	286 W/m ²
Matera	307 W/m ²	Liguria		Torino	272 W/m ²	Massa-Carrara	294 W/m ²
Potenza	301 W/m ²	Genova	287 W/m ²	Verbanò Cusio Ossola		Pisa	301 W/m ²
Calabria		Imperia	306 W/m ²	Vercelli	282 W/m ²	Pistoia	266 W/m ²
Catanzaro	317 W/m ²	La Spezia	299 W/m ²	Puglia		Prato	
Cosenza	334 W/m ²	Savona	274 W/m ²	Bari	331 W/m ²	Siena	282 W/m ²
Crotone		Lombardia		Barletta-Andria-Trani		Trentino-Alto Adige	
Reggio Calabria	318 W/m ²	Bergamo	259 W/m ²	Brindisi	317 W/m ²	Bolzano/Bozen	260 W/m ²
Vibo Valentia		Brescia	282 W/m ²	Foggia	308 W/m ²	Trento	285 W/m ²
Campania		Como	256 W/m ²	Lecce	315 W/m ²	Umbria	
Avellino	311 W/m ²	Cremona	289 W/m ²	Taranto	325 W/m ²	Perugia	295 W/m ²
Benevento	306 W/m ²	Lecco		Sardegna		Terni	278 W/m ²
Caserta	301 W/m ²	Lodi		Cagliari	316 W/m ²	Valle d'Aosta	
Napoli	315 W/m ²	Mantova	286 W/m ²	Carbonia-Iglesias		Aosta	243 W/m ²
Salerno	275 W/m ²	Milano	278 W/m ²	Medio Campidano		Veneto	
Emilia-Romagna		Monza e Brianza		Nuoro	324 W/m ²	Belluno	253 W/m ²
Bologna	296 W/m ²	Pavia	287 W/m ²	Ogliastra		Padova	249 W/m ²
Ferrara	277 W/m ²	Sondrio	259 W/m ²	Olbia-Tempio		Rovigo	300 W/m ²
Forlì-Cesena	308 W/m ²	Varese	255 W/m ²	Oristano	319 W/m ²	Treviso	284 W/m ²
Modena	289 W/m ²	Marche		Sassari	325 W/m ²	Venezia	314 W/m ²
Parma	304 W/m ²	Ancona	301 W/m ²	Sicilia		Verona	250 W/m ²
Piacenza	295 W/m ²	Ascoli Piceno	296 W/m ²	Agrigento	343 W/m ²	Vicenza	256 W/m ²
Ravenna	293 W/m ²	Fermo		Caltanissetta	326 W/m ²		
Reggio Emilia	294 W/m ²	Macerata	294 W/m ²	Catania	326 W/m ²		
Rimini		Pesaro e Urbino	294 W/m ²	Enna	331 W/m ²		
Friuli-Venezia Giulia		Molise		Messina	315 W/m ²		
Gorizia	266 W/m ²	Campobasso	307 W/m ²	Palermo	323 W/m ²		
Pordenone	255 W/m ²	Isernia	292 W/m ²	Ragusa	309 W/m ²		
Trieste	270 W/m ²			Siracusa	323 W/m ²		
Udine	255 W/m ²			Trapani	334 W/m ²		

Fig. 23: Nelle province colorate vale il requisito della prestazione estiva

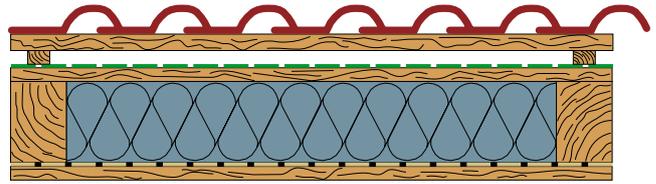
Mentre però il calcolo del peso superficiale è molto semplice (peso senza copertura), il calcolo alternativo è molto complesso e per ora non copre ancora tutti gli elementi richiesti (irraggiamento solare vario, ventilazione, strati riflettenti, elementi di calore latente, ...). La norma per il calcolo del passaggio di

calore è la UNI EN ISO 13786:2001. Il calcolo a matrice (simile alla riduzione ampiezza e spostamento fase) riporta come risultato la trasmittanza dinamica. In questo modo si ottiene un parametro molto simile alla trasmittanza statica invernale. L'unità rimane uguale W/m²K.

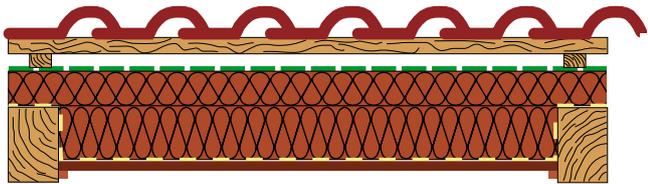
8.3 Confronto dei tetti tipo: prestazione estiva



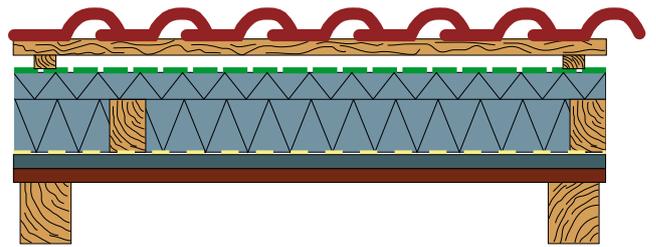
Riduzione ampiezza: **94%** | Sfasamento: **11,6 ore**
 Peso sup.: **34 kg/m²** | Trasmittanza din.: **0,13 W/m²K**



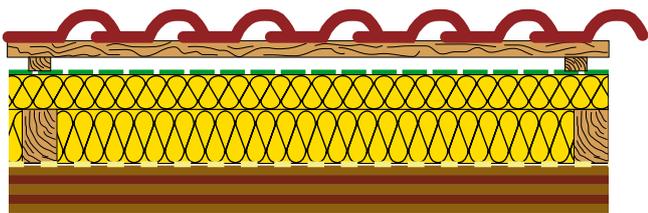
Riduzione ampiezza: **89%** | Sfasamento: **8,4 ore**
 Peso sup.: **32 kg/m²** | Trasmittanza din.: **0,20 W/m²K**



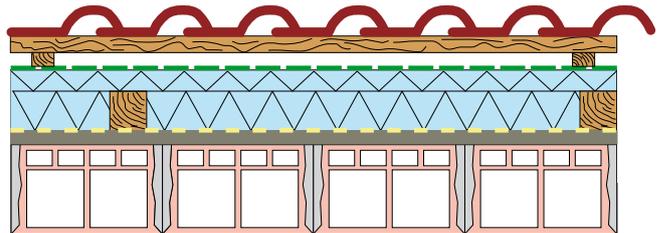
Riduzione ampiezza: **93%** | Sfasamento: **12,0 ore**
 Peso sup.: **40 kg/m²** | Trasmittanza din.: **0,13 W/m²K**



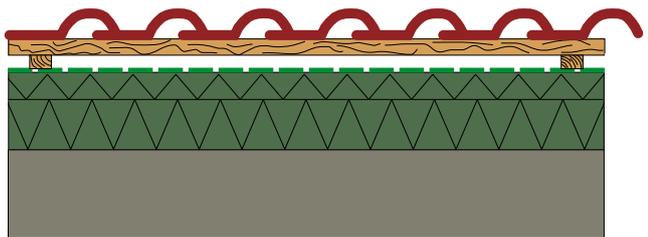
Riduzione ampiezza: **97%** | Sfasamento: **6,7 ore**
 Peso sup.: **107 kg/m²** | Trasmittanza din.: **0,15 W/m²K**



Riduzione ampiezza: **98%** | Sfasamento: **10,3 ore**
 Peso sup.: **63 kg/m²** | Trasmittanza din.: **0,06 W/m²K**



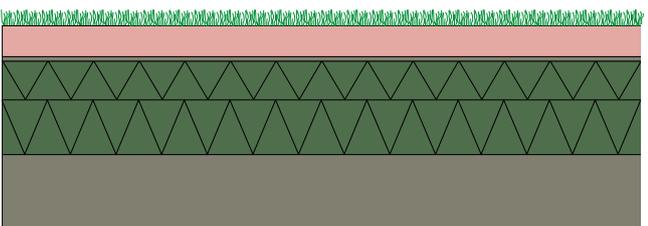
Riduzione ampiezza: **99%** | Sfasamento: **11,0 ore**
 Peso sup.: **403 kg/m²** | Trasmittanza din.: **0,04 W/m²K**



Riduzione ampiezza: **99%** | Sfasamento: **8,1 ore**
 Peso sup.: **372 kg/m²** | Trasmittanza din.: **0,07 W/m²K**



Riduzione ampiezza: **63%** | Sfasamento: **5,9 ore**
 Peso sup.: **20 kg/m²** | Trasmittanza din.: **0,17 W/m²K**



Riduzione ampiezza: **99%** | Sfasamento: **8,2 ore**
 Peso sup.: **468 kg/m²** | Trasmittanza din.: **0,07 W/m²K**

Il confronto dei tetti tipo riguardo al surriscaldamento estivo è molto difficile, esso dipende infatti da molti parametri che entrano in gioco. Come già detto prima, i valori consigliati sono una riduzione ampiezza del 90%, abbinati ad uno sfasamento di almeno 10 ore. L'unica tipologia che con 12 cm di coibentazione non raggiunge neanche uno

dei valori richiesti è il pannello sandwich. Nelle strutture con cemento armato si nota un'altissima riduzione dei picchi, insieme ad uno spostamento fase scarso. La massa enorme riduce molto il picco, che però arriva in anticipo, con il risultato di un raffrescamento notturno naturale poco

efficiente. Il solaio in latero cemento combinato con una coibentazione di 12 cm è una struttura efficace d'estate. Per i tetti in legno si devono aumentare gli spessori delle coibentazioni a 12 cm per raggiungere livelli adeguati.

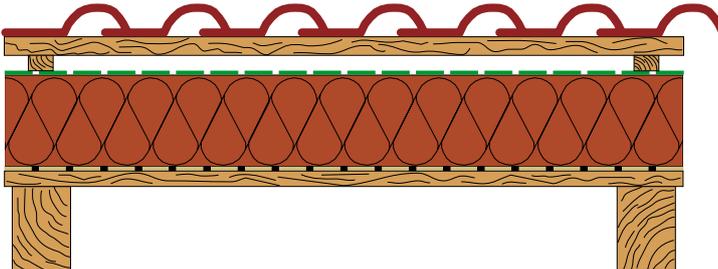
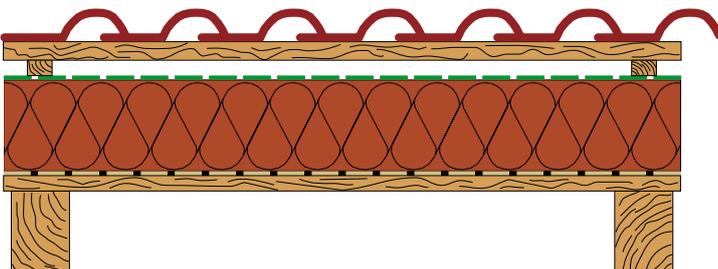
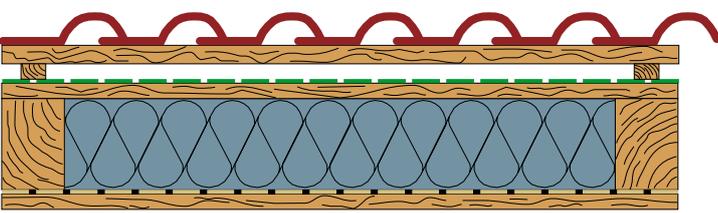
Riassunto Riwega

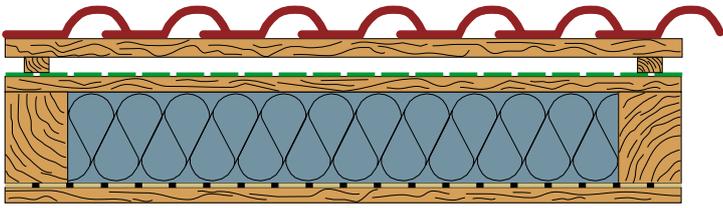
Per ridurre il surriscaldamento estivo nel tetto bisogna coibentare bene (almeno 12-16 cm) e ventilare bene il tetto, perché le temperature sotto la copertura possono arrivare d'estate anche a 70°C!!



8.4 Confronto di coibentazioni

I diversi materiali da coibentazione hanno effetti estivi diversi:

Struttura	spessori coibente	rid. amp. [%]	sfasamento [ore]
Materiale coibente: fibra di legno 	4 cm	60%	5,2
	8 cm	82%	7,7
	12 cm	91%	10,3
	16 cm	95%	12,9
	20 cm	98%	15,6
Materiale coibente: polistirene espanso 	4 cm	55%	4,5
	8 cm	75%	5,5
	12 cm	84%	6,2
	16 cm	88%	6,9
	20 cm	91%	7,7
Materiale coibente: cellulosa 	4 cm	61%	5,4
	8 cm	79%	6,8
	12 cm	87%	8,1
	16 cm	91%	9,6
	20 cm	94%	11,1

Struttura	spessori coibente	rid. amp. [%]	sfasamento [ore]
Materiale coibente: lana di vetro 	4 cm	60%	5,1
	8 cm	77%	5,9
	12 cm	84%	6,4
	16 cm	88%	6,8
	20 cm	90%	7,1

Riassunto Riwega

Il passaggio di calore d'estate attraverso il tetto è più difficile a ridurre le dispersioni termiche invernali. Valori accettabili si raggiungono soltanto con materiali coibenti "pesanti" e comunque di spessori dalle 12-16 cm. Nonostante questo la coibentazione contro il caldo estivo è molto importante, per ridurre il consumo di energia per raffrescamento e per aumentare il comfort interno.



8.5 Sistemi per ridurre il caldo estivo

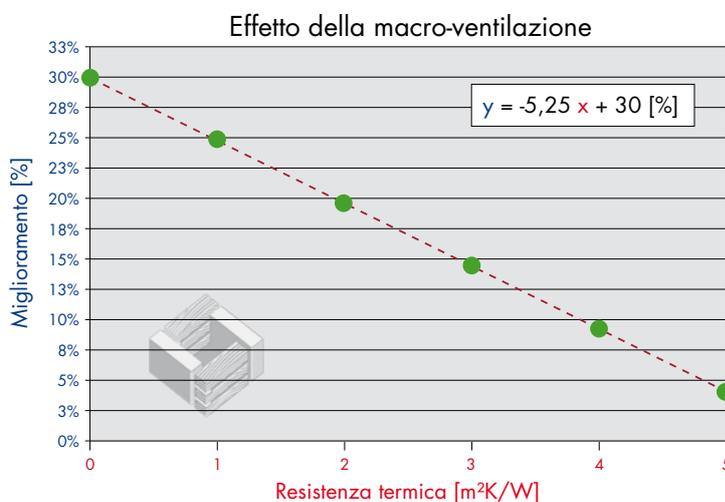
Per aumentare ulteriormente la capacità di ridurre il passaggio di calore estivo del pacchetto tetto si nota la ventilazione e l'uso di strati riflettenti esterni. Questi due effetti non possono essere calcolati ancora con la

normativa la UNI EN ISO 13786:2001. Per questo motivo l'autore ha cercato di riassumere le ricerche conseguite da lui e altri enti in riferimento all'effetto migliorativo sul passaggio di calore.

8.5.1 Effetto della ventilazione

La ventilazione del tetto ha un effetto positivo sulla riduzione del passaggio di calore dal tetto all'appartamento sotto. Questo effetto è però collegato alla resistenza termica: meglio è coibentato il tetto, meno effetto ha la

ventilazione. Con diverse ricerche l'autore ha ricavato una formula semplificata per calcolare l'effetto aggiuntivo sulla riduzione di ampiezza e lo spostamento fase dell'onda termica:



Come si può notare, con resistenze termiche sopra 3 m²K/W (= valore U sotto 0,33 W/m²K) si scende al di sotto del 15%, mentre

con pochissima coibentazione l'effetto si aggira intorno al 30%.

8.5.2 Strati riflettenti esterni

L'uso di strati riflettenti esterni ha un effetto molto positivo, poiché riducono già in partenza l'apporto solare/energetico della coibentazione. I diversi strati attualmente in commercio riflettono oltre il 95% del calore. In situazioni quasi stazionarie come la situazione sotto la copertura, dove per ore la situazione termica rimane uguale, l'effetto

però si riduce, perché entra in gioco la conduzione di calore, dove strati riflettenti metallici non offrono un freno potente al passaggio di calore. Per questo motivo l'effetto di strati riflettenti comporta un aumento della riduzione ampiezza e dello spostamento fase di ca. il 30% soltanto.

9 I materiali per la coibentazione

Riportiamo alcuni dati specifici di materiali per la coibentazione, per poter eseguire

calcoli della trasmittanza, riduzione ampiezza, sfasamento e diffusione al vapore.

Materiale	Tipo	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	μ [-]
Canapa	materassino	0,040	612	22	2
Canna, legata	pannello	0,056	612	190	1
Carta riciclata	materassino	0,040	1.800	85	1
Carta riciclata, pellets	sciolto	0,070	1.800	400	2
Carta riciclata	sciolto	0,050	1.800	50	1
Cellulosa-viscosa	materassino	0,040	2.088	30	1
Cocco, fibre	materassino	0,057	1.500	60	1
Fibre di legno	materassino	0,040	2.088	80	10
Fibre di legno	pannello	0,040	2.088	160	10
Fibre di legno impregnato	pannello	0,050	2.088	220	7
Fibre di legno intonacabile	pannello	0,045	2.088	200	10
Lana di legno mineralizzata	pannello	0,100	1.800	400	4
Lana di pecora	materassino	0,040	1.728	28	2
Lana di roccia, bassa densità	materassino	0,040	900	30	1
Lana di roccia, alta densità	pannello	0,040	900	80	1
Lana di vetro	materassino	0,040	900	30	12
Lino	materassino	0,040	1.600	30	1
Paglia	pannello	0,058	612	175	1
Paglia, cartonato	pannello	0,090	612	330	8
Paglia	sciolto	0,054	612	140	1
Perlite-lana minerale	pannello	0,055	1.000	150	5

Materiale	Tipo	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	μ [-]
Perlite	sciolto	0,050	900	90	3
Perlite compressa/fibre di vetro	pannello	0,045		140	
Polistirene espanso	pannello	0,040	1.260	25	50
Polistirene espanso con grafite	pannello	0,031	1.260	20	30-70
Polistirene estruso	pannello	0,035	1.260	35	80-230
Poliuretano (PU)	pannello	0,030	1.260	35	80
Silicato di calcio	pannello	0,050	920	230	3
Sottovuoto	pannello	0,002			
Sughero espanso scuro	pannello	0,045	1.800	100	10
Sughero incollato	pannello	0,045	1.800	150	10
Sughero	sciolto	0,055	1.800	120	90
Vermiculite	sciolto	0,070		80	1,0
Vetro alveolare S3	pannello	0,045	900	150	∞

λ Conducibilità termica [W/m²K], misurata a 10°C con una maggiorazione media del 10% del valore misurato in laboratorio, per tenere conto dell'invecchiamento del materiale

c Capacità termica [J/kgK]

ρ Densità [kg/m³]

μ Resistenza alla diffusione del vapore acqueo [-]

Esempi:



Fig. 24: Pannello fibra di legno



Fig. 25: Materassino lana di vetro



Fig. 26: Perlite granulata



Fig. 27: Materassino canapa



Fig. 28: Cellulosa sciolta



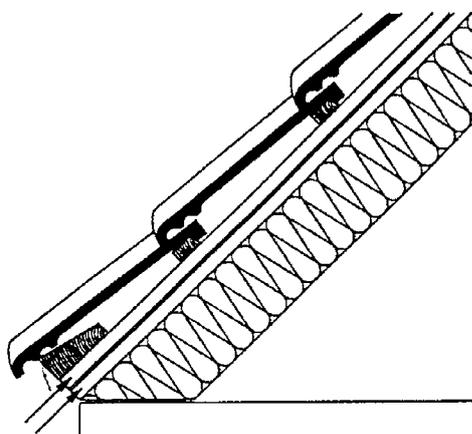
Fig. 29: Pannello polistirene estruso

10 Il tetto ventilato

10.1 Perché ventilare il tetto

■ Per eliminare l'umidità	Il vapore acqueo tende a trasmigrare dagli ambienti sottostanti verso l'alto, creando condensa sulla superficie inferiore della copertura.
■ Per abbassare le alte temperature estive tra copertura e coibente	Espulsione dell'aria calda durante l'estate prima che il calore esterno (fino a 80°C) si trasmetta alla mansarda sottostante.
■ Per far defluire in gronda eventuali infiltrazioni d'acqua	Forti precipitazioni possono imbibire il manto di copertura, creando l'effetto goccia.
■ Perché la copertura in tegole e coppi duri per sempre	Il calore che in inverno sale dall'abitazione viene distribuito uniformemente, evitando scioglimenti circoscritti di neve. Si ottiene così la garanzia alla gelività (gelo/disgelo) da parte dei produttori di tegole e coppi.

Come ventilare il tetto (secondo la normativa DIN 4108-3 tetto coibentato):



1. Apertura in gronda

La sezione d'apertura d'aria nelle linee di gronda deve corrispondere al minimo del 2‰ alla relativa falda tetto e non deve essere comunque inferiore ai 200 cm²/m.

Riwega consiglia:

Usare 400 cm²/m per avere una maggiore certezza di una ventilazione effettiva.



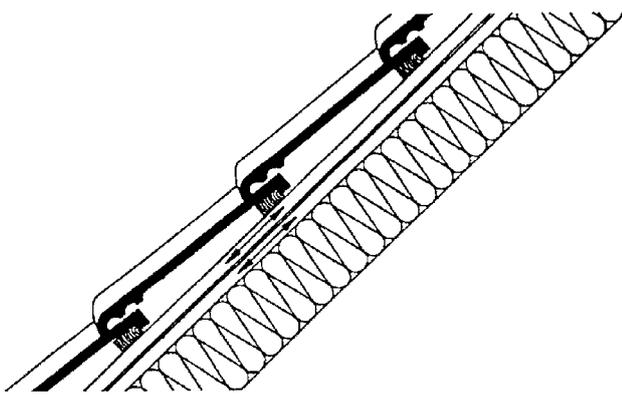
2. Sul colmo e displuvio

La sezione d'apertura d'aria nelle linee di colmo/displuvio deve corrispondere al minimo del 0,05‰ alla relativa falda tetto.

Riwega consiglia:

Usare 145 cm²/m per avere una maggiore certezza di una ventilazione effettiva.





3. Sotto la copertura

La sezione d'apertura d'aria tra copertura e coibente deve essere superiore a 20 mm di altezza e non inferiore a 200 cm²/m in corrispondenza della lunghezza falda.

Riwega consiglia:

Usare da 40 a 60 mm (secondo la pendenza del tetto) per avere una maggiore certezza di una ventilazione effettiva.



10.1.1 Il colmo in malta



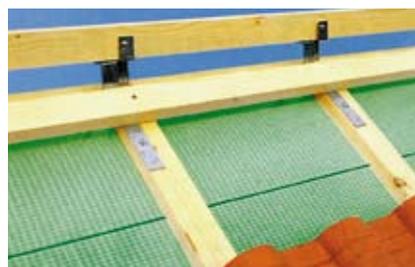
Stop

al colmo posato in malta! Già dopo alcuni anni la tegola di colmo tende a staccarsi dalla copertura.

10.1.2 Il colmo ventilato



1. Fissaggio del portalistello con chiodi o viti



2. Fissaggio del listello porta



3. Fissaggio su listello con chiodi



4. Posa in opera del gancio fermacolmo e della tegola di colmo sulla linea di colmo



5. Posa in opera del gancio fermacolmo e della tegola di colmo sulla linea del displuvio



6. Posato in dettaglio

10.1.3 La ventilazione in gronda



10.1.4 Sottocolmi per l'aerazione del tetto a confronto

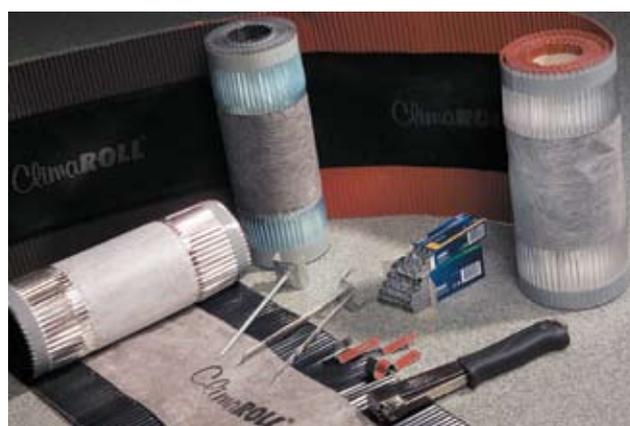
ROLL-tech



Dati tecnici:

- Sviluppo Alu + 50%
- Passaggio d'aria > 145 cm²/m per parte stabile
- Stabilità raggi UV stabile
- Temperatura d'impiego + 2°C/+90°C

Clima Roll



Dati tecnici:

- Sviluppo Alu + 10%
- Passaggio d'aria > 90 cm²/m per parte stabile
- Stabilità raggi UV stabile
- Temperatura d'impiego + 2°C/+90°C

TIROLL-AIR



Dati tecnici:

- Sviluppo Alu + 10%
- Passaggio d'aria > 90 cm²/m per parte
- Stabilità raggi UV stabile
- Temperatura d'impiego + 2°C/+80°C

Venti-tech



Dati tecnici:

- Passaggio d'aria > 88 cm²/m per parte
- Stabilità raggi UV stabile
- Temperatura d'impiego -10°C/+90°C

11 Il consumo di energia primaria

I diversi tipi di tetti differiscono anche nel consumo di energia primaria e nella conseguente emissione di CO₂. Se un tetto risparmia molta energia, perché riduce benissimo le dispersioni termiche o l'entrata

del calore estivo, ma ha un consumo altissimo di energia primaria nella sua produzione, è da preferire un altro tetto con un "bilancio energetico di vita" migliore. I tetti tipo hanno i seguenti bilanci [6]:

	Tetto A	Tetto B	Tetto G	Tetto H	Tetto I	Tetto J
Energia primaria	70 kWh/m²	133 kWh/m²	293 kWh/m²	254 kWh/m²	2.722 kWh/m²	875 kWh/m²
CO₂	-19 kg/m²	-23 kg/m²	78 kg/m²	72 kg/m²	504 kg/m²	214 kg/m²

Risorse per la costruzione: energia primaria e CO₂

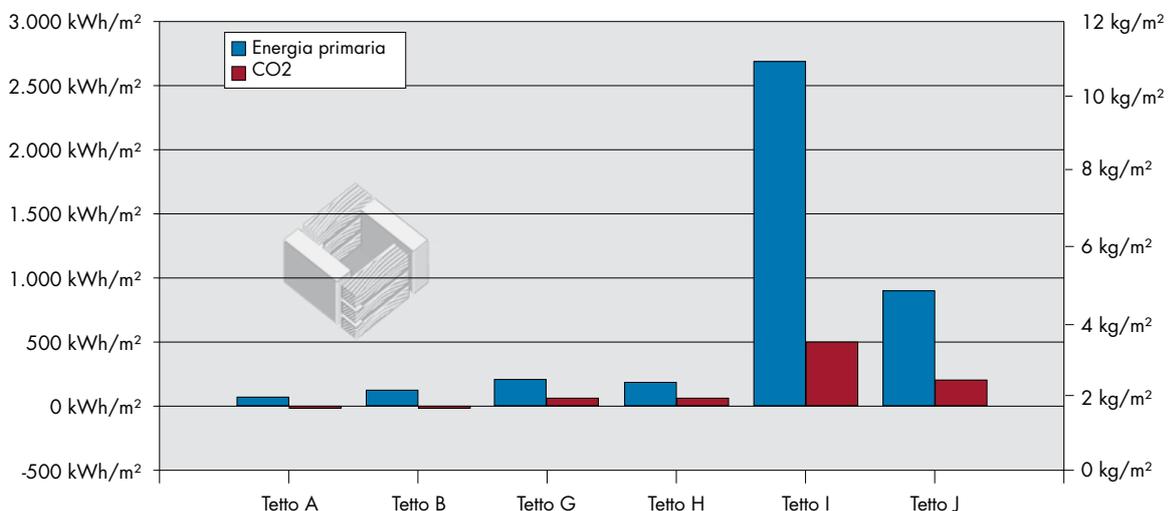


Fig. 30: Consumo di energia primaria e produzione di CO₂ per la produzione dei tetti tipo

12 Casi problematici

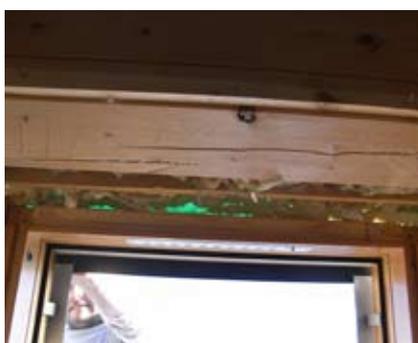
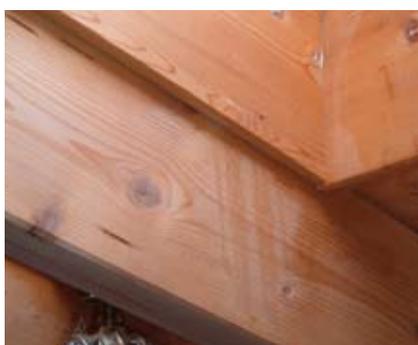
Questo capitolo vuole riportare rari casi problematici che abbiamo incontrato. Non dovrebbero essere intesi come denuncia dei casi specifici ma spiegazioni di situazioni

particolari che possono portare a effetti di formazione muffa o distruzione di materiali del tetto.

12.1 Condensa interna alla finestra tetto

La situazione era abbastanza misteriosa: un tetto coibentato molto bene (12 cm di polistirene estruso) e provvisto di freno a vapore interno e telo traspirante esterno aveva fenomeni di condensa molto gravi.

D'inverno o quando c'era un calo di temperatura esterna alto (temporale estivo) gocciolava il tetto. Un test tenuto all'aria e lo smontaggio del tetto ha portato alla luce le cause della formazione di condensa:



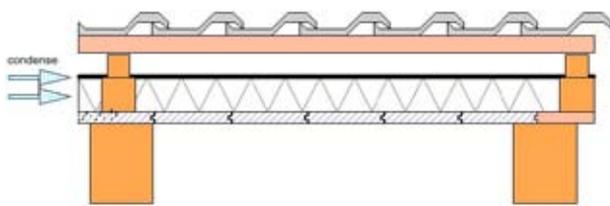
La posa del serramento (anche se fatto secondo le indicazioni del produttore di serramenti e collaudato da lui) non era a regola d'arte. L'attacco al freno al vapore è stato eseguito in maniera da lasciare tanti punti liberi (vedi schiuma di montaggio!). Anche la posa del polistirene espanso evidenziava un lavoro non perfetto con fughe

più larghe di 1,5 cm. Per questo motivo dietro alla perlina si trovavano tanti punti senza coibentazione dove l'aria calda interna condensava direttamente sul telo traspirante. Per fortuna il gocciolamento è avvenuto nell'appartamento, altrimenti con il tempo si sarebbe potuto distruggere il tetto.

12.2 Guaina bituminosa e tetto scricchiolante

In questo caso particolare il committente notava rumori di scricchiolio nel tetto soprattutto quando si toccavano le perline interne. Inoltre le perline erano tutte gonfiate

con la "pancia" verso l'interno. Alla fine si notano grandi perdite di calore e aria nel nuovo tetto.



40 mm Tegola
 30 mm Listello portategola
 40 mm Listello di ventilazione
 4 mm Guaina bituminosa
 60 mm Polistirene espanso
 20 mm Perline
 140 mm Travetti



Tetto scricchiolante
 $u = 0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $W_t/W_v = 587,7 / 477,0 \text{ g/m}^2$

Anche in questo caso la situazione si spiega facilmente. La condensa invernale sotto la guaina bituminosa faceva gonfiare le perline, che oltre ad essere inchiodate molto male

avevano anche il maschio troppo corto. Anche questo tetto nuovo dev'essere cambiato con urgenza per poter salvare almeno l'orditura primaria ancora intatta.

12.3 Tetto nuovo gocciolante d'estate

L'impresa costruiva un nuovo tetto in legno usando la stratigrafia giusta con freno al vapore interno e telo traspirante riflettente esterno. Verso la fine del cantiere in agosto arrivava un temporale e il tetto cominciava a

gocciolare. Si sospettava che il tetto perdesse. Invece era la condensa dell'umidità interna del cantiere (solaio, getti di cemento, malta, ...) che condensava dall'interno col calo estremo del temporale estivo.

13 Le linee guida

- Evitare ponti termici e fughe aperte
- All'interno del tetto deve essere inserito un freno al vapore, che faccia anche da strato tenuta all'aria.
- All'esterno del tetto deve essere installato un telo altamente traspirante, che abbia anche la funzione di tenuta al vento.
- La coibentazione contro le dispersioni termiche dovrebbe essere uniforme e completa al lato esterno, senza materiali passanti l'isolamento che facciano ponte termico.
- Per un'alta protezione contro il surriscaldamento estivo, serve la combinazione tra la massa e la coibentazione.
- I punti critici della tenuta all'aria sono gli elementi di discontinuità del tetto, quali: camini, lucernari, sostegni di antenne TV, condotte di ventilazione, ecc.

14 Norme, simbologia e bibliografia

14.1 Le norme

Norma	Argomento
UNI EN ISO 6946	Calcolo del valore di trasmittanza U
UNI 10344	Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento
UNI 10345	Calcolo U di componenti edilizi finestrati
UNI 10236	Scambi di energia termica tra terreno ed edificio
UNI 10349	Dati climatici
UNI 10351	Conduktività termica e permeabilità al vapore
UNI EN 832	Calcolo del fabbisogno di energia per riscaldamento di edifici ad uso abitativo
prEN 13790	Calcolo del fabbisogno di energia per riscaldamento di edifici
EN 10211	Calcolo di ponti termici
ISO EN 13786 calore	Calcolo della riduzione del caldo estivo: trasmittanza dinamica, specifico dinamico, attenuazione e sfasamento
ISO EN 13788	Calcolo delle quantità di condensa e di evaporazione in strutture edilizie
UNI EN 13829	Misura della permeabilità all'aria

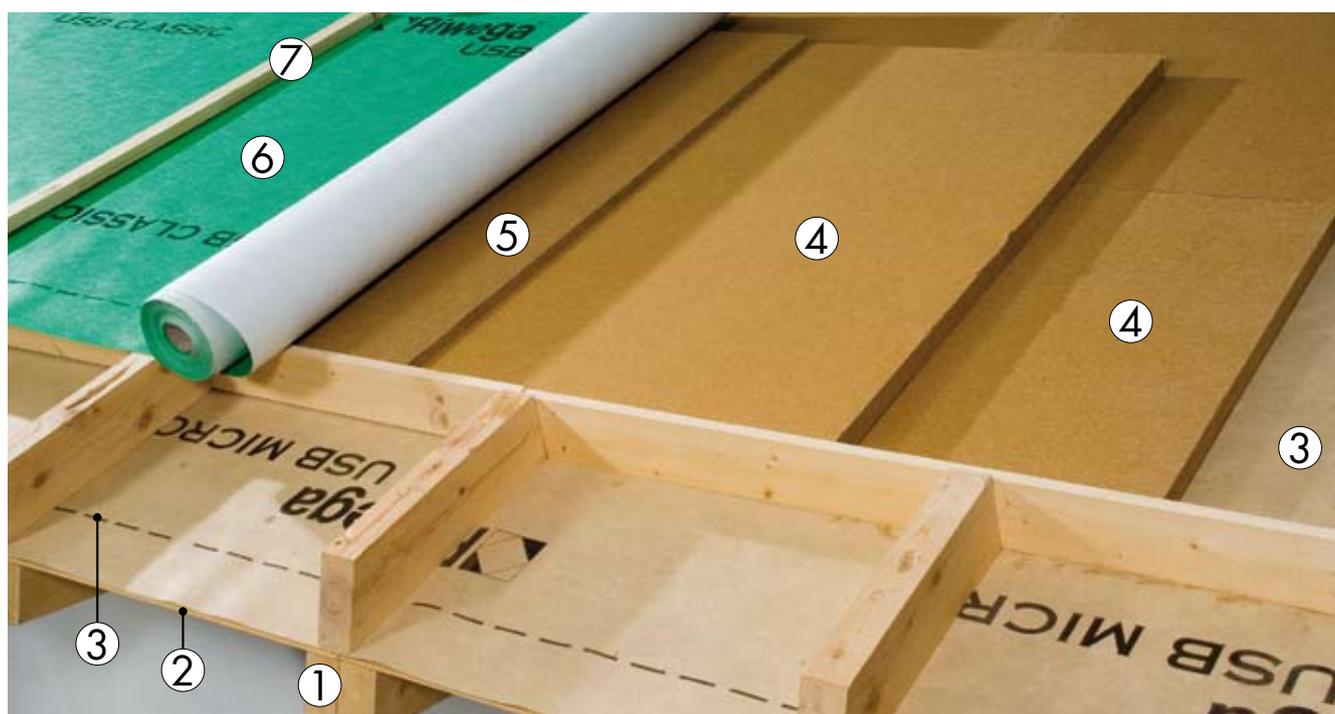
14.2 Simbologia

Simbolo	Unità di misura	Spiegazione
$1/\alpha_i, 1/\alpha_a$	m^2K/W	Resistenza alla conduzione termica
c	$Wh/(m^3K)$	Capacità termica specifica dell'aria: 0,33 $Wh/(m^3K)$
λ (lambda)	W/mK	Conducibilità termica secondo DIN 4108 Parte 4
n_{50}	1/h	Ricambio d'aria test di pressione con differenza di pressione 50Pa
U	$W/(m^2K)$	Coefficiente di trasmissione termica
ψ_i (psi)	$W/(mK)$	Coefficiente di dispersione per ponti termici riferito a misure interne

14.3 Bibliografia

Nr	Titolo
[1]	Künzel, Sedlbauer, 2001, Verlag Ernst & Sohn: Bauphysik Kalender 2001; Dr.-Ing. Hartwig Michael Künzel, Dipl.-Ing. Klaus Sedlbauer: D1 Steildächer
[2]	Ebök: Dampfdiffusion im Dach
[3]	Fraunhofer Institut für Bauphysik: WUFI-Datenbank. Holzkirchen, Juli 2000
[4]	Bauphysik-Kalender 2001, Verlag Ernst & Sohn : Steildächer
[5]	Bauphysik-Kalender 2004, Verlag Ernst & Sohn : Materialtechnische Kenndaten
[6]	SIA Dokumentation D0123 1995: Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten
[7]	Renato Lazzarin, Collana AiCARR, 2003, Dario Flaccovio Editore: Il condizionamento dell'aria

...Il tetto ideale



Spiegazione:

1. Struttura secondaria
2. Perlina spessore 19 mm
3. Freno al vapore USB MICRO Riwega
4. Coibente in fibra di legno tipo 3therm NATUREL 6+6 cm
5. Coibente in fibra di legno tipo 3therm ISOLANT 19 mm
6. Telo trapirante ad alta traspirazione USB CLASSIC Riwega
7. Controlistello 4x5 cm per la ventilazione
 - Listellatura porta tegola a tavolato grezzo

Valori:

- U: 0,268 W/m²k
- sd: 3,55 m
- Condense interstiziali secondo UNIEN 13788: nessuna condensa
- Riduzione ampiezza: 93%
- Sfasamento calore: 11,8 ore

Esempio di calcolo	s (cm)	ρ kg/m ³	μ (cm)	λ (W/mK)	sd (m)
Rsi					
Struttura secondaria	14,000	-	-	-	-
Perlina	2,000	600	40	0,130	-
Freno al vapore USB MICRO Riwega	0,053	-	-	-	2
Fibra di legno 3therm NATUREL	6,000	170	5	0,040	-
Fibra di legno 3therm NATUREL	6,000	170	5	0,040	-
Fibra di legno 3therm ISOLANT	1,900	260	5	0,050	-
Telo traspirante USB CLASSIC Riwega	0,055	-	-	-	0,04
Controlistello	4,000	-	-	-	-
Listello portategola	2,500	-	-	-	-
Tegola	4,000	-	-	-	-
Rse					
	d = 40,443	G = 37,5		RT = 3,73	

Si ringrazie la società 3therm di Montagna (BZ) per l'oneroso contributo dato!
Per questo modello è stata scelta la fibra di legno come coibente. Facciamo comunque presente che a parità di presentazioni/caratteristiche, possono esser scelti anche altri coibenti certificati per ottenere il lavoro a regola d'arte.



Riwega Srl

I-39044 Egna (BZ)

Via Isola di Sopra, 28

Tel. 0039-0471-827500

Fax 0039-0471-827555

E-mail: info@riwega.com

www.riwega.com