

QUADERNO TECNICO
PER IL PROFESSIONISTA

7

Tetti in legno



BigMat
CONSIGLI PROFESSIONALI E MATERIALI EDILI



QUADERNO TECNICO
PER IL PROFESSIONISTA

7

BigMat
www.bigmat.it
CONSIGLI PROFESSIONALI E MATERIALI EDILI

In questo numero

Il tetto in legno è il tema di questo settimo fascicolo della collana "I quaderni tecnici BigMat", collana che affronta le tematiche più importanti per la costruzione, realizzata dai distributori BigMat per offrire uno strumento utile, completo e facilmente consultabile, ideale per il professionista dell'edilizia. In queste pagine troverete informazioni utili sulla progettazione della struttura del tetto, sull'isolamento termoacustico e sulla corretta posa in opera per garantire la durabilità dell'opera.



INDICE

	PROGETTO E DURABILITÀ	04
	CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL LEGNO	04
	PERCHÉ REALIZZARE UN TETTO IN LEGNO	08
	DEFINIRE LA FORMA DEL TETTO	10
	SPINTE SUI MURI	12
	STRUTTURE A CAPRIATA	14
	Capriate tradizionali	14
	Capriate moderne	17
	IL TETTO PRETAGLIATO E TECNICHE DI CONNESSIONE	18
	Collegamento trave principale (colmo) – trave secondaria (puntoni)	18
	Sistemi di giunzione moderni - connettori cilindrici	20
	Unioni incollate	21
	PRODUZIONE TETTI IN LEGNO E CERTIFICAZIONI	24
	DURABILITÀ DEL LEGNO	26
	Legno e umidità	26
	Degrado da funghi	28
	Degrado da insetti	29
	TRATTAMENTI PRESERVANTI	30
	SCELTA DELLA SPECIE IN FUNZIONE DELLA CLASSE D'USO	31
	LEGNO LAMELLARE	32
	Designazione delle travi lamellari	34
	COMFORT ABITATIVO E SISTEMA TETTO	36
	REQUISITI DELLA COPERTURA	36
	CARATTERISTICHE DELL'ISOLANTE	39
	POSA CONTINUA O DISCONTINUA DELL'ISOLANTE TERMICO? LA RESISTENZA MECCANICA	42
	GESTIONE DEL FLUSSO DI UMIDITÀ	43
	Membrane traspiranti e freni/barriere al vapore	47
	Microventilazione e macroventilazione	48
	ACUSTICA DEI TETTI IN LEGNO	51
	ESEMPI DI STRATIGRAFIA	54
	Vantaggi e svantaggi degli isolanti di impiego comune in edilizia	55
	CURA DEI DETTAGLI	56
	TETTI A REGOLA D'ARTE	56
	Fissaggio degli elementi di tenuta in corrispondenza delle aperture	62
	Posa degli elementi di tenuta bituminosi	63
	GLOSSARIO TECNICO	66

Tetti in legno

PROGETTO E DURABILITÀ

Che si tratti di opere in legno massiccio o lamellare, la progettazione non può prescindere dalla conoscenza del legno. Questo, per un lungo periodo, è stato ingiustamente screditato, additando alla sua scarsa qualità le cause dell'insuccesso della struttura con esso realizzato. Sono, al contrario, le scarse conoscenze del progettisti ad influire negativamente sulla riuscita dell'opera. Una costruzione in legno non va solo calcolata ma anche analizzata.

CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL LEGNO

Se progettate correttamente, le opere in legno sono eterne. Le pagode giapponesi con oltre 1400 anni di vita sono ancora oggi in perfette condizioni, avendo resistito a terremoti di magnitudo anche maggiore di quella che ha causato la distruzione della città di L'Aquila nel 2009. Rappresentano, pertanto, un eccezionale esempio di durabilità e resistenza. Non si ha testimonianza, invece, di costruzioni in cemento armato ugualmente datate e conservate fino ai nostri giorni.

Solo successivamente al terremoto dell'Abruzzo nel 2009, il legno è stato riconosciuto come materiale da costruzione di particolare interesse al pari dei tradizionali acciaio e calcestruzzo.

Le prescrizioni per la progettazione sono contenute nella NTC 2008 entrata in vigore infatti a luglio del 2009.

Il legno è un materiale anisotropo: le sue caratteristiche meccaniche, come quelle igrometriche, variano a seconda della direzione

considerata. Anche l'essenza influisce sulle proprietà: le conifere si comportano diversamente dalle latifoglie, l'abete diversamente dal larice, ecc.. Per descrivere il comportamento di una trave in legno è consuetudine fare il paragone con un pacco di spaghetti dove gli spaghetti rappresentano adeguatamente le fibre del legno. Una trave mostra elevati valori di resistenza lungo la direzione delle fibre (compressione e trazione) proprio come il pacco di spaghetti. Al contrario è meno resistente per le sollecitazioni lungo le altre direzioni, come trazione o compressione perpendicolare alle fibre e taglio: le fibre, concettualmente, tendono ad aprirsi allontanandosi e la deformazione aumenta rapidamente (vedi figura pag. 6).

Uno dei punti deboli del legno, spesso non considerato nella verifiche strutturali, è la resistenza a trazione ortogonale, fino a 50 volte inferiore alla resistenza a trazione parallela alle fibre. Tale stato tensionale si verifica spesso nei



NTC 2008: NORMATIVA DI RIFERIMENTO PER LA PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE IN LEGNO

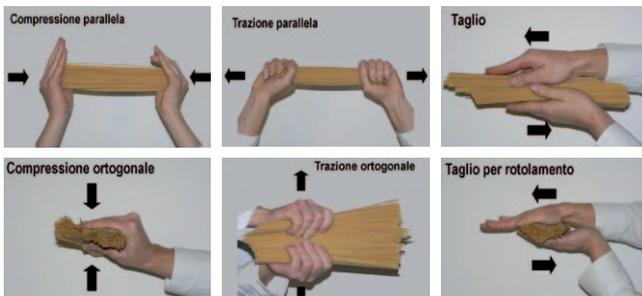
- Capitolo 4 "Costruzioni civili ed industriali" - Paragrafo 4.4 "Costruzioni di legno"
- Capitolo 7 "Progettazione per azioni sismiche" - paragrafo 7.7 "costruzioni di legno"
- Capitolo 11 "Materiali e prodotti per uso strutturale" - paragrafo 11.7 Materiali e

prodotti a base legno

Per tutto quanto non espressamente riportato nelle NTC 2008 il progettista è tenuto a fare riferimento a

- EUROCODICE 5 (UNI EN 1995:2004) Progettazione delle strutture di legno
- Linee guida del CNR CNR-DT 206/2007 Istruzioni per la progettazione, l'Esecuzione e il Controllo delle strutture di legno



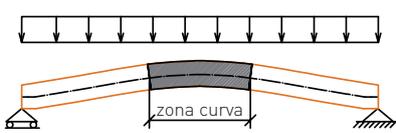
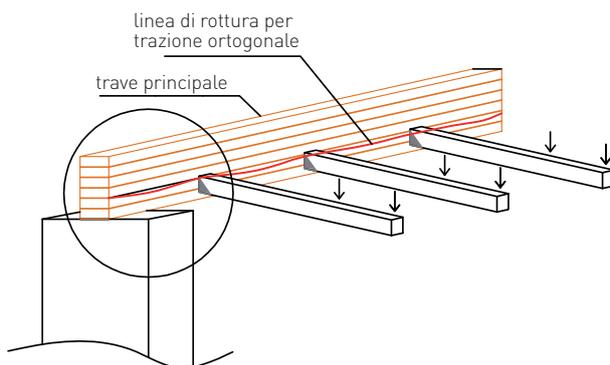


• Similitudine fibre legnose - spaghetti.

Attenzione alla deviazione delle fibre!

Alcune specie cresciute in condizioni particolari possono presentare la fibratura inclinata. Ciò significa la presenza di azioni di compressione che non agiscono più nella direzione assiale, bensì in una direzione mista assiale e tangenziale. La resistenza diminuisce all'aumentare del grado di inclinazione.

giunti, o in presenza di carichi appesi, o nelle travi curve (boomerang) così come in quelle rastremate, e ancora nelle travi con intagli. Per evitare la rottura è necessario, ad esempio, che i carichi appesi siano applicati entro il terzo superiore della trave. Va presa in considerazione anche la compressione ortogonale che si riscontra sugli appoggi o nei nodi



Le travi curve sono ottenute sottoponendo le lamelle a momento flettente. Pertanto rimane uno stato tensionale interno ortogonale alla fibratura che si somma ai carichi esterni agenti sulla trave posta in opera.

• Stati di sollecitazione di trazione ortogonale alla fibratura.

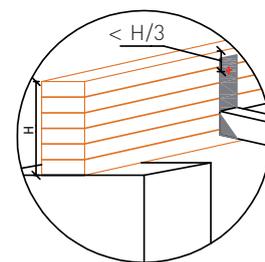
delle capriate (ad esempio sulla superficie di contatto puntone-colmo o puntone-banchina).

Nel caso dei tetti, è importante controllare le deformazioni. Il legno è un materiale viscoelastico ed il suo modulo elastico è cinque volte inferiore a quello del calcestruzzo. La principale conseguenza della viscosità è il protrarsi nel tempo delle deformazioni per effetto dei carichi permanenti (come il peso) e, quindi, l'aumento della freccia nelle travi inflesse.

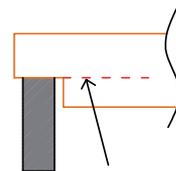
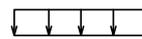


• Effetto delle deformazioni viscoso.

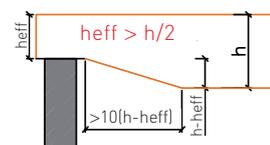
Questo fenomeno è possibile riscontrarlo nelle travi in legno massiccio poste in opera umide e che stagionano sotto carico. In questi casi è bene eseguire il calcolo allo stato limite d'esercizio, il quale impone restrizioni maggiori sulle deformazioni, ossia sulla freccia ammissibile, piuttosto che allo stato limite ultimo (cioè a collasso).



È necessario che la prima fila di connettori di fissaggio sia posizionata entro il primo terzo superiore della trave principale.



Nell'intaglio nascono tensioni ortogonali. Eseguire una rastremazione.



La rastremazione deve essere di lunghezza come da figura, e l'altezza in testata deve essere pari ad $heff$.

CALCOLO AGLI STATI LIMITE



Il calcolo di una struttura in legno è condotto sulla base di **metodi semiprobabilistici agli stati limite**.

STATO LIMITE ULTIMO

La struttura viene calcolata rispetto al collasso (al valore estremo della sua capacità portante) verificando la relazione:

$$A_k \cdot \gamma_k \leq (k_{mod} \cdot R_k) / \gamma_m$$

in cui i carichi A_k agenti sulla struttura vengono amplificati tramite opportuni coefficienti di maggiorazione γ_k , mentre la resistenza caratteristica del legno R_k viene diminuita per mezzo dei coefficienti γ_m e K_{mod} .

R_k è la resistenza caratteristica del legno (equivalente dell' R_{ck} per il calcestruzzo), distinguendo il legno massiccio (nelle classi di resistenza C14, C16, o C18, il cui valore è riportato nella norma UNI EN338) dal legno lamellare (nelle classi di resistenza GL24, GL28 o GL32 il cui valore è invece indicato nella UNI EN 1194).

K_{mod} è la correzione in virtù dell'umidità di equilibrio dell'elemento strutturale e della durata del carico.

Riprendendo il paragone con il pacco di spaghetti, quando questo viene messo in acqua gli spaghetti si allontanano e si ammorbidiscono. Allo stesso modo, se il legno si trova in condizioni di eccessive umidità, le sue fibre perdono di coesione e compattezza con una riduzione della resistenza meccanica.

Ecco perché l'Eurocodice 5 definisce tre classi di servizio ed il coefficiente di riduzione della resistenza meccanica K_{mod} .

COEFFICIENTE K_{MOD} PER TRAVI IN LEGNO LAMELLARE E LEGNO MASSICCIO				MATERIALE	γ_m [NTC2008]	γ_m [Eurocodice 5]	
CLASSE DI DURATA DEL CARICO	CLASSE DI SERVIZIO (in base all'umidità $u\%$ di equilibrio nel legno)			LEGNO MASSICCIO	1,5	1,3	
	Classe 1 ($u < 12\%$) Ambienti chiusi, riscaldati in inverno	Classe 2 ($12\% < u < 20\%$) Ambienti chiusi ma non riscaldati di inverno e ambienti aperti ma al coperto	Classe 3 ($u > 20\%$) All'aperto, senza protezione dalle intemperie	LEGNO LAMELLARE	1,45	1,25	
	PERMANENTE	0,6	0,6	0,5	LVL, COMPENSATO, OSB	1,4	1,2
	LUNGA DURATA	0,7	0,7	0,55	PANNELLI DI PARTICELLE E FIBRE	1,5	1,2
	MEDIA DURATA	0,8	0,8	0,65	CONNESSIONI	1,5	1,3
	BREVE DURATA	0,9	0,9	0,7			
ISTANTANEO	1,0	1,0	0,9				

γ_m è il coefficiente di sicurezza del materiale in riferimento alla NTC2008. Si osservi che l'Eurocodice 5 prescrive valori minori che però non sono stati accettati dalla normativa italiana.

STATO LIMITE D'ESERCIZIO

Prevedere il contenimento delle deformazioni entro limiti necessari per assicurare la funzionalità secondo l'uso previsto.

La scelta dei limiti di deformabilità dipende dall'uso della struttura e dalla suscettibilità delle finiture. Nei casi pratici possono essere usati i seguenti limiti per la deformazione istantanea (U_{inst}) e per la deformazione finale (U_{fin}) i seguenti limiti riferiti alla luce L della campata.

ELEMENTO DI CAMPATA "L" (semplicemente appoggiato)	Travi secondarie di copertura	Travi principali di copertura	Travi di colmo di coperture a due falde	Travi diagonali di copertura a quattro falde	Solai senza pavimenti rigidi e senza tramezzi rigidi	Solai con pavimenti e/o tramezzi rigidi
U_{inst}	L/300	L/400	L/500	L/500	L/400	L/500
U_{fin}	L/250	L/300	L/350	L/350	L/300	L/350

PERCHÉ REALIZZARE UN TETTO IN LEGNO

Un tetto con struttura portante in legno è preferibile rispetto ad altri materiali perché:

IL LEGNO È UN MATERIALE LEGGERO E RESISTENTE...

- **Leggero, ottima resistenza a flessione, compressione e trazione e con un ottimo rapporto resistenza/peso.** Il legno ha una massa cinque volte inferiore a quella del calcestruzzo, pertanto un tetto in legno riduce il carico agente sulla struttura dell'edificio. Il legno lamellare è, ad esempio, il materiale ideale per le coperture di grandi luci, fino anche a 100 metri.
- **Leggero, ottimo per l'impiego in zona sismica.** La spinta del sisma, essendo proporzionale alla massa della struttura, provoca effetti minori su di essa. Ciò consente di realizzare connessioni metalliche di dimensioni contenute in grado di assorbire l'energia del terremoto.

Materiale	Resistenza Kg/cm ²	Peso specifico Kg/m ³	Modulo elastico Kg/cm ²
Legno	circa 400	500 - 700	100000
Cemento Armato	circa 400	2500	300000
Acciaio	4000 - 5000	7800	2100000

- **Ideale per le ristrutturazioni e le sopraelevazioni.** In caso di sopraelevazioni l'impiego del legno permette di ridurre i sovraccarichi sull'edificio. Secondo la NTC2008, se si ricorre a materiali leggeri la verifica sismica non è richiesta a condizione che l'incremento delle masse al piano sia inferiore al 20% e, contemporaneamente, l'incremento dei carichi in fondazione sia inferiore al 10%.

...CON OTTIME CARATTERISTICHE TERMICHE E ISOLANTI...

- **Ridottissima sensibilità agli sbalzi termici.** Il coefficiente di dilatazione termica lineare

è circa un terzo di quello dell'acciaio. La dilatazione termica effettiva risultante è sempre inferiore al valore teorico atteso, poiché parzialmente compensata dal ritiro dovuto alla diminuzione di umidità interna che accompagna l'incremento della temperatura.

- **Ottimo isolante termico.** A parità di spessore, la conduttività termica del legno è un terzo di quella del laterizio forato, un decimo del calcestruzzo e solo tre volte superiore alla lana di vetro.

MATERIALE	CONDUTTIVITÀ TERMICA [W/Mk]
Calcestruzzo	2,3
LEGNO	0,10 - 0,20
Mattone pieno	0,7
Mattone forato	0,2 - 0,25
Intonaco isolante	0,09 - 0,13
Acciaio	39

- **Isolante acustico.** Un impiego appropriato del legno può risultare di grande ausilio per risolvere problemi di insonorizzazione. Le travi, per la loro minore rigidità, trasmettono alla struttura ed ai serramenti una quota di vibrazioni (e quindi di energia sonora) inferiore rispetto a calcestruzzo e acciaio.

...RESISTENTE AL FUOCO...

- **Buon comportamento al fuoco.** Il legno è un materiale combustibile ma resistente al fuoco e non sviluppa gas tossici. Aggredito dal fuoco, si consuma alla velocità di circa 0,7 mm al minuto. Tuttavia è in grado di continuare a svolgere la sua funzione strutturale, indipendentemente dalla temperatura raggiunta dall'incendio, fino a quando la sollecitazione sulla sezione non carbonizzata (sezione efficace) non supera il valore di rottura. Contrariamente al legno, l'acciaio perde le sue caratteristiche di portanza già a 400°C.

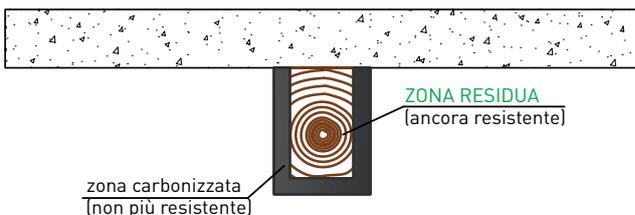
... SOSTENIBILE, ECOLOGICO E RICICLABILE...

- **Principale materiale per la bioedilizia.** Il legno è il materiale preferito dai bioarchitetti e risponde perfettamente agli obiettivi della



A seguito di un incendio le travi metalliche hanno ceduto piegandosi sugli elementi di legno. Il fuoco ha ridotto le sezioni delle travi in legno, ma queste hanno resistito.

DURANTE L'INCENDIO



bioarchitettura (naturale, a basso costo energetico, non inquinante, crea ambienti armoniosi di elevato comfort e risparmio energetico). È un materiale "rigenerabile", ovvero la corretta gestione della risorsa "bosco" può garantirne continuamente la disponibilità. Una copertura, ma in generale un edificio in legno può essere facilmente demolito ed il legno può essere riutilizzato tanto in edilizia, quanto in altri settori.

	Energia incorporata [MJ/kg]
Acciaio	10,1
Legno massiccio	2,1
Lamellare	4,6
LVL (microlamellare)	7,9

... CON I DOVUTI ACCORGIMENTI È UN MATERIALE DUREVOLE...

- **Vita eterna.** Con i dovuti accorgimenti progettuali, la corretta scelta delle essenze legnose in relazione all'ambiente in cui il legno viene messo in opera, ed una periodica manutenzione, una costruzione in legno può essere eterna.

... FACILMENTE LAVORABILE...

- **Velocità di installazione.** È facilmente lavorabile e grazie alle moderne macchine a controllo numerico si presta facilmente alla prefabbricazione. Un tetto in legno può essere costruito e premontato direttamente presso lo stabilimento di produzione riducendo notevolmente la durata del cantiere e semplificando la posa.

... PRESENTA VANTAGGI PER LA SICUREZZA IN CANTIERE...

- **Minori rischi di infortunio.** La semplicità delle operazioni da eseguire ed i pesi inferiori delle strutture in legno rispetto agli altri materiali riducono i rischi di infortuni. Inoltre, le strutture sono montate a terra, sollevate e posate con gru riducendo il rischio di cadute dall'alto.

... ESTETICAMENTE INEGUAGLIABILE...

- **Esteticamente ineguagliabile.** Le numerose specie legnose disponibili garantiscono una grande varietà di tonalità e colore, con una tessitura organica che nessun prodotto industriale può eguagliare. Una struttura con travi in legno a vista trasmette una sensazione di calore, serenità, eleganza e benessere, elementi essenziali per migliorare il comfort e la qualità della vita di chi abita questi ambienti.

EFFETTO SULL'AMBIENTE	Legno	Acciaio	Calcestruzzo
Energia incorporata	1	1,26	1,57
Emissione gas effetto serra	1	1,34	1,81
Inquinamento dell'aria	1	1,24	1,47
Inquinamento dell'acqua	1	4,00	3,50
Consumo di risorse	1	1,11	1,81
Produzione di rifiuti solidi	1	1,08	1,23

DEFINIRE LA FORMA DEL TETTO

Una copertura in legno viene spesso realizzata da una ditta terza che si occupa sia della progettazione che della produzione, ed in alcuni casi del montaggio. **La parte più delicata è la progettazione inclusa la definizione della forma**, in quanto la richiesta di realizzare un tetto in legno, nella maggior parte dei casi, avviene in corso d'opera per motivi di carattere estetico. Le difficoltà sono dovute all'impostazione del progetto studiato in latero cemento che non tiene conto delle peculiarità delle coperture in legno e dei metodi di produzione. Molto frequente è trovare le pilastrature in posizione sfalsata, non simmetrica, perché concepite in base all'ottimizzazione delle stanze. Questo complica la progettazione che impone la realizzazione di capriate a struttura spaziale. Allo stesso modo, la richiesta del committente di realizzare capriate classiche con pendenze molto ridotte rappresenta

un pessimo impiego della tipologia costruttiva e crea criticità nella realizzazione dei nodi di carpenteria (specialmente nel caso di collegamenti di tipo tradizionale con legno massiccio).

Anche la scelta dell'essenza influisce sulla costruzione. Nell'impiego di travi in massiccio è opportuno tener conto che questo viene posato allo stato fresco. Ciò impone la necessità di utilizzare schemi costruttivi con elementi lignei in appoggio che non impediscano i naturali movimenti del legno per effetto della stagionatura.

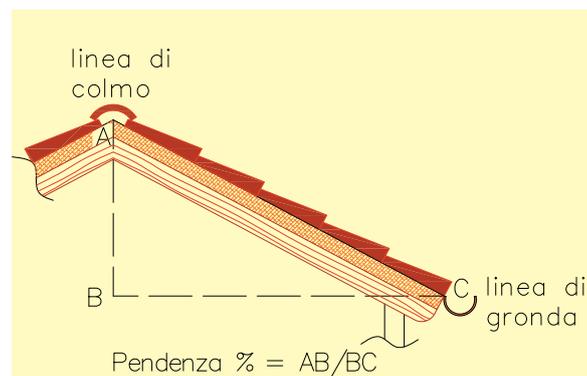
Nel complesso la copertura viene definita dall'analisi di:

1. Pendenza:

- Condizioni climatiche
- Tegumento
- Uso del sottotetto

COEFFICIENTI PER IL CALCOLO DELLA LUNGHEZZA DELLA FALDA IN FUNZIONE DELLA PENDENZA (RIFERITA AD 1m DI LARGHEZZA "BC" DI FALDA)

PENDENZA %	INCLINAZIONE FALDE	LUNGHEZZA FALDE
5	2°52'	1,001
10	5°43'	1,005
15	8°32'	1,011
20	11°19'	1,020
22	12°25'	1,024
25	14°02'	1,030
30	16°42'	1,044
35	19°17'	1,059
38	20°48'	1,069
40	21°48'	1,077
42	22°47'	1,080
45	24°13'	1,096
48	25°38'	1,109
50	26°34'	1,118
52	27°28'	1,127
55	28°48'	1,141
58	30°07'	1,156
60	30°57'	1,166
65	33°01'	1,192
70	34°59'	1,220
75	36°52'	1,249
80	38°39'	1,280
85	40°22'	1,312
90	41°59'	1,345



Esempio di calcolo della lunghezza della falda

Pendenza falda 25%

Larghezza falda BC = 5m

⇨ Lunghezza falda AC

$$AC = 1,03 \times 5 = 5,15 \text{ m}$$

LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA	PENDENZA (%)
Zone di alta montagna	>60%
Zone alpine	50 - 60%
Zone appenniniche	35 - 45%
Italia centrale	30%
Italia meridionale	20 - 25%

PRODOTTO	PENDENZE (%)
Tegole in laterizio	30% < P < 35%
Tegole di cemento	30% < P < 35%
Tegole metalliche e bituminose	P > 30%
Lastre ardesiate	P > 35%
Lastre di pietra, scandole lignee	P > 35%

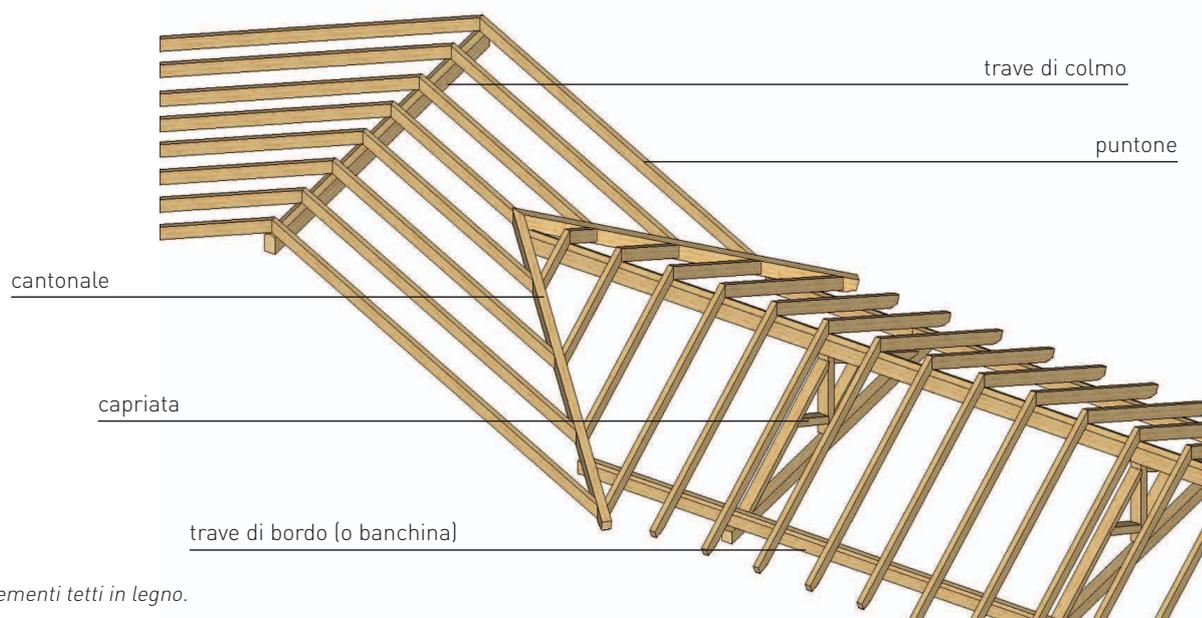
• *Inclinazione della copertura in funzione delle condizioni climatiche (tabella a sinistra) e dei materiali (tabella a destra).*

2. Forma:

- Pianta ed organizzazione strutturale dell'edificio
- Materiale del manto di copertura
- Uso del sottotetto
- Esistenza di elementi verticali (muro di spina, pilastri)

- Semplicità (riduzione dei compluvi)

3. Spinta indotta dalle falde sulle strutture d'imposta e principio adottato per eliminarla o riportarla al terreno.



• *Elementi tetti in legno.*



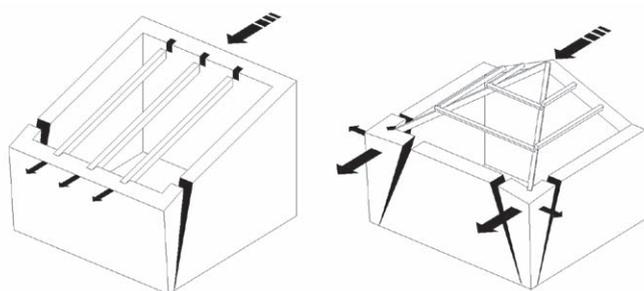
IMPORTANZA DEL SOPRALLUOGO

Definita la forma, è fondamentale eseguire un rilievo molto accurato una volta terminata l'edificazione delle parti in muratura. Tale rilievo viene condotto per verificare la rispondenza con gli elaborati grafici delle opere in c.a., in base ai quali è stata progettata anche la struttura della copertura. Infatti, le macchine a controllo numerico (tipo Hundegger), predisposte per ricevere i dati dal software di progettazione, eseguono tagli e lavorazioni con una precisione dell'ordine del mm.

Se in cantiere si dovessero riscontrare differenze di quota, anche di soli pochi centimetri, tra i pilastri di appoggio delle capriate, allora gli intagli eseguiti sulle travi potrebbero non essere più combacianti. Questo comporta notevoli ritardi sulla posa della struttura per via delle necessarie attività di correzione di carpenteria.

SPINTE SUI MURI

Un tetto con struttura in legno a falda, rispetto ad un tetto piano, ha indubbi vantaggi sul controllo dei sovraccarichi accidentali (neve) e sullo smaltimento delle acque meteoriche. Tuttavia le falde potrebbero determinare delle spinte sulla muratura su cui poggiano a causa dell'inclinazioni dei puntoni. Infatti, la componente del carico diretta secondo



- Meccanismi di collasso fuori piano favoriti da coperture spingenti: martellamento delle travi di falda; martellamento delle travi d'angolo.

l'asse dei puntoni determina il loro scorrimento. Di conseguenza, i puntoni esercitano un'azione concentrata che deve essere efficacemente contrastata dalla muratura.

Realizzando un cordolo in c.a. di collegamento tetto-muratura i carichi vengono distribuiti sulla muratura in modo uniforme portandoli a valori accettabili. È

buona norma interporre tra cordolo e puntone un dormiente in legno di specie durevole (larice, castagno o quercia) per evitare che il contatto diretto con il c.a. porti a fenomeni di degrado della struttura portante conseguenti alla formazione di umidità.

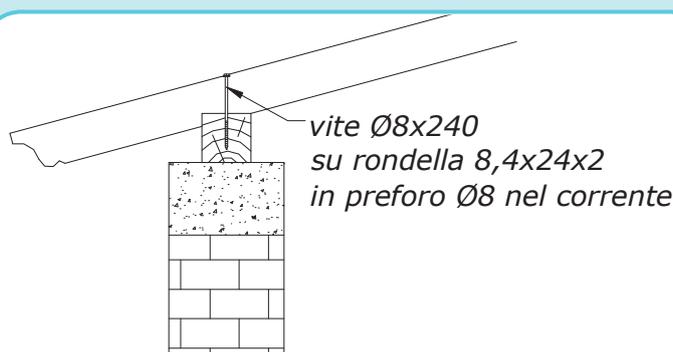
In realtà, le spinte sono da associare esclusivamente alla conformazione dei vincoli di appoggio. Sagomando opportunamente il puntone, o il dormiente (eventualmente il cordolo), in modo che la superficie di contatto puntone-dormiente sia piana e orizzontale, si trasmettono solo azioni verticali.

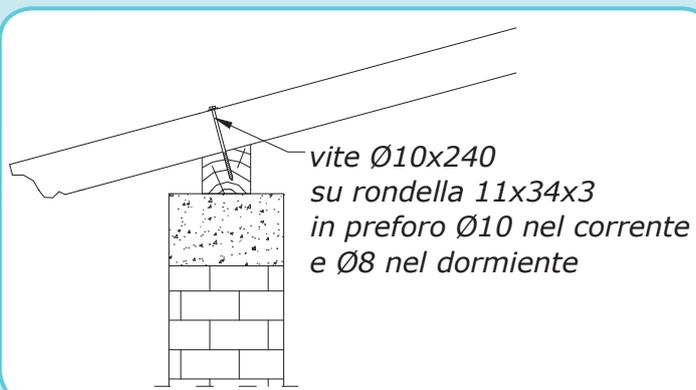
TIPOLOGIE DI APPOGGIO AL MURO PERIMETRALE



Il dormiente viene fissato per mezzo di barre filettate; il contatto diretto e continuo con il cordolo in cls può causare degrado per fenomeni di condensa. È bene utilizzare specie durevoli (quercia, castagno, larice).

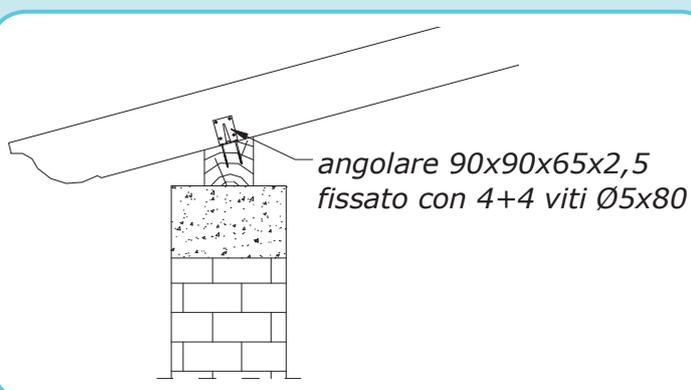
Appoggio in piano mediante sagomatura della trave. La lavorazione richiede molta precisione e deve essere eseguita in stabilimento. Il vantaggio è quello di avere l'appoggio in piano e quindi reazioni vincolari verticali.



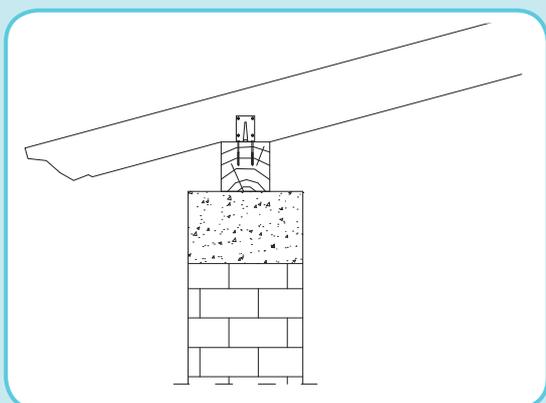


Il dormiente è sagomato in pendenza e la vite deve sopportare azioni orizzontali anche in condizioni statiche.

Il dormiente è sagomato in pendenza ma il fissaggio è realizzato mediante una piastra di fissaggio ad esempio se la trave è molto alta. Anche in questo caso l'elemento metallico è soggetto ad azioni orizzontali in condizioni statiche.



Sagomatura della trave per garantire un appoggio orizzontale. È bene eseguire la lavorazione in stabilimento per garantire la posa a regola d'arte. Questo è il caso di travi di elevato spessore per curarne l'aspetto estetico in modo che lo sporto sia più sottile.



Ancoraggio diretto della trave al cordolo in c.a. realizzato secondo la pendenza della falda. In questo caso si possono avere fenomeni di degrado per condensa a causa del contatto diretto. Meglio interporvi una tavola di legno di specie naturalmente durabile, o delle guaine.



STRUTTURE A CAPRIATA

Le capriate svolgono un ruolo fondamentale. Consentono di realizzare strutture non spingenti grazie al loro schema statico (struttura chiusa spingente internamente, ma non esternamente). I puntoni sono soggetti a compressione e le spinte orizzontali sugli appoggi sono equilibrate per la presenza di un elemento teso orizzontale (la catena). La configurazione delle aste ed i particolari costruttivi delle capriate sono influenzati dal tipo di materiale impiegato, tanto da poter distinguere, in modo assai evidente, le capriate di tipo tradizionali, in legno massiccio, dalle capriate moderne in legno lamellare ed acciaio.

Capriate tradizionali

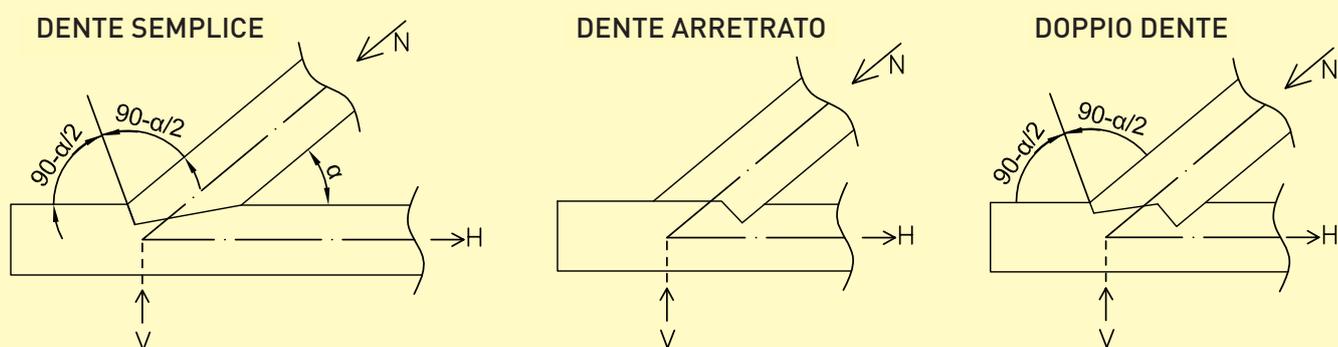
Sono caratterizzate da collegamenti interni ad intaglio (a dente semplice, a dente arretrato, a doppio dente) nei quali gli sforzi tra le varie aste si trasmettono per contatto diretto.

A causa del semplice accostamento delle superfici, tali collegamenti non sono in grado di resistere all'inversione degli sforzi. Nelle linee guida CNR DT 206/2007, infatti, sono considerati in grado di trasmettere solamente sforzi di compressione ed è necessario prevedere dei presidi, come ad esempio l'inserimento di viti o chiodi, per evitare il distacco degli elementi in caso di inversione degli sforzi (ad esempio per effetto del vento o del sisma).

In base alla luce da coprire la struttura può variare negli elementi da cui è composta. La forma più semplice è quella a cavalletto con monaco per luci fino a 7 m.

Il **monaco** ha la funzione di elemento di interposizione fra le sommità dei puntoni ed in tale zona risulta compresso ortogonalmente alla fibratura. Non ha funzione strutturale, ma serve ad evitare le lesioni dei puntoni per contatto diretto.

Fra il monaco e la catena è presente una fascia metallica che offre un appoggio intermedio alla catena limitandone l'inflessione nel tempo per effetto del proprio peso.

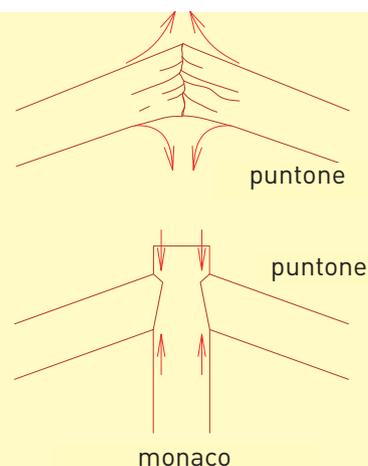
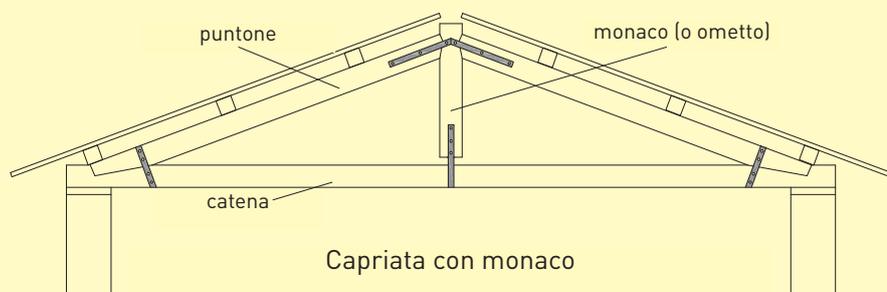


Legenda

- V reazione vincolare verticale sull'appoggio
- H reazione vincolare orizzontale sull'appoggio
- N sforzo assiale nel puntone

• Connessioni tradizionali.

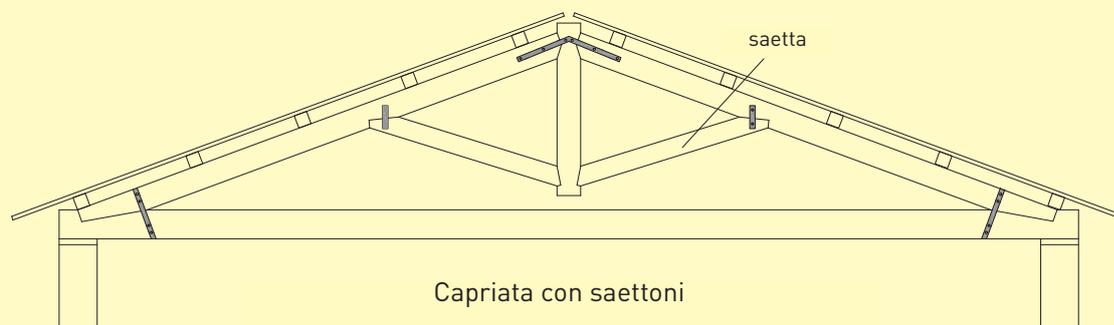
Capriata con monaco: da 5 a 7 metri



Attraverso le **saette** (detti anche contraffissi), che forniscono un appoggio intermedio ai puntone riducendo su questi gli sforzi di flessione, è possibile coprire luci maggiori (fino a 10 m). Le saette sono

soggette a compressione e il monaco risulta teso per equilibrare le forze trasmesse dalle saette stesse. Solitamente sono posizionate ad un terzo della lunghezza dei puntone rispetto alla sommità.

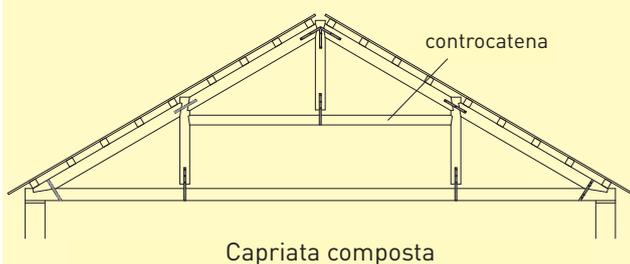
Capriata con saettoni: da 7 a 10 metri



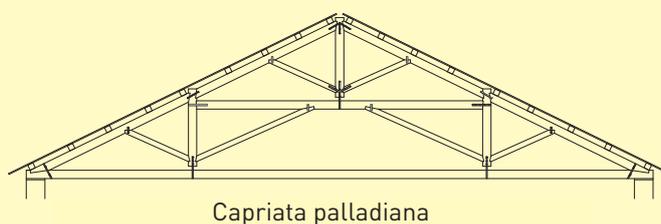
Per luci maggiori (fino a 15 m) si ricorre a capriate composte e di tipo palladiana con la presenza di una **controcatena**, a metà lunghezza dei puntone, che irrigidisce la struttura assorbendo gli sforzi dei

puntone. La catena in questi casi non è un elemento unico a causa delle limitate lunghezze delle travi massicce, ma è giunta attraverso un nodo particolare detto a "dardo di Giove".

Capriata composta: da 12 a 15 metri



Capriata palladiana: da 20 a 30 metri

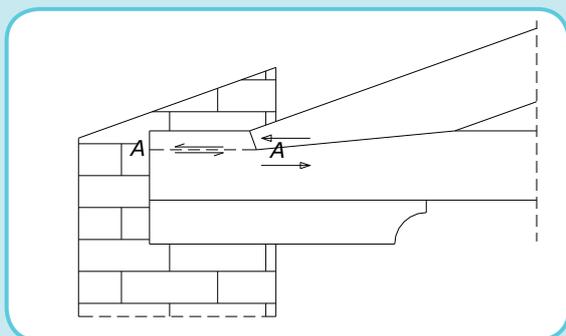


GIUNTO PUNTONE-CATENA



È il giunto più importante perché soggetto ai maggiori sforzi ed è determinante per il funzionamento della capriata come struttura chiusa non spingente. È spesso situato all'interno della muratura dove c'è il maggior pericolo di degrado biologico (aspetto a volte trascurato).

La rottura del giunto può avvenire perché spesso non si ha spazio per realizzare il dente abbastanza lungo da soddisfare con largo margine la verifica a taglio.

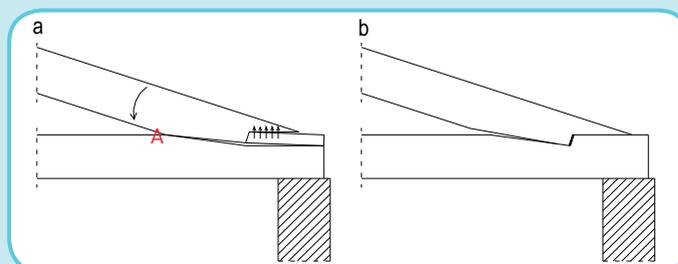


L'eventuale cedimento del dente di contrasto provoca lo scorrimento del puntone verso l'esterno. Il puntone può trovare contrasto direttamente nella muratura trasformando la capriata da struttura chiusa non spingente a struttura spingente.

- *Figura 1 - La componente orizzontale dello sforzo di compressione del puntone si trasferisce alla catena per mezzo del dente situato sopra la superficie A-A; su tale superficie si sviluppano sforzi di taglio.*

La cattiva realizzazione del giunto può, inoltre, comportare lo “scalzamento” del dente per trazione ortogonale alla fibratura. Ad esempio, un abbassamento della trave di colmo può causare la rotazione del puntone intorno al punto di contatto A con la catena innescando l'“effetto leva”; tale pericolo può essere scongiurato riducendo la zona di contatto sub-orizzontale fra puntone e catena limitando l'effetto leva.

- *Figura 2 - Riducendo la zona di contatto sub-orizzontale fra puntone e catena e limitando l'effetto leva (caso b) si riduce il pericolo di scalzamento del dente per trazione ortogonale alla fibratura sotto l'effetto del sisma (caso a).*



È buona norma presidiare il giunto con una “fasciatura passiva” regolabile. È detta passiva perché entra in funzione solo in caso di scorrimento del puntone. Può essere realizzata con una piastra ad U, su cui sono saldate due barre filettate. La piastra avvolge inferiormente la catena e viene serrata tramite due dadi per mezzo di una contropiastra sul puntone.

- *Figura 3 - fasciatura passiva come presidio del nodo puntone-catena.*

L'allentamento delle saette è un campanello di allarme del dissesto in atto; esso provoca nei puntoni l'aumento dei momenti flettenti di circa 3 volte e può portare al crollo della capriata per rottura dei puntoni stessi.

Spesso il dissesto delle capriate è accompagnato dalla diminuzione degli angoli fra puntoni e catena, a seguito dello scorrimento dei puntoni rispetto alla catena, evidenziata dall'abbassamento del colmo e dall'allentamento delle saette.

Per tale ragione è importante limitare l'inflessione del colmo attraverso le verifiche agli stati limite d'esercizio.



- *Figura 4 - Fasciatura passiva come presidio del nodo puntone-catena.*

Capriate moderne

L'avvento del legno lamellare incollato ha permesso di superare agevolmente i limiti imposti dal materiale sia in termini di dimensioni che di resistenza riportando la pratica costruttiva agli originari schemi semplici di puntoni e tirante (che può essere realizzato anche in acciaio).

Nelle capriate moderne i collegamenti sono realizzati mediante "unioni meccaniche" (il monaco potrebbe essere assente).

Il nodo tra la capriata e la trave principale può essere realizzato interrompendo la trave principale e utilizzando delle piastre metalliche ad hoc. La trasmissione degli sforzi è assicurata dalla resistenza propria del mezzo di collegamento. L'utilizzo di piastre metalliche

variamente collegate per mezzo di perni e bulloni passanti, permette la massima libertà espressiva nella configurazione del nodo.

I vantaggi non sono solo strutturali rispetto alla capriata tradizionale: si pensi alla possibilità di rialzare il tirante e dunque migliorare la funzionalità degli spazi sotto la copertura. In definitiva si può affermare che la moderna tecnica delle costruzioni in legno lamellare consente, entro certi limiti, di rendere indipendente la scelta della configurazione geometrica strutturale dalla modalità di realizzazione dei nodi tra le singole aste. Le tecniche di connessione consentono di riprodurre capriate classiche in chiave moderna.



IL TETTO PRETAGLIATO E TECNICHE DI CONNESSIONE

La diffusione del legno lamellare ed il miglioramento delle macchine a controllo numerico, che hanno consentito la prefabbricazione, hanno favorito anche lo sviluppo dei moderni sistemi di collegamento.

Così si distinguono le unioni tradizionali, descritte nei paragrafi precedenti, dalle unioni meccaniche moderne realizzate mediante l'inserimento di elementi metallici o l'utilizzo di collanti adesivi.

Le unioni meccaniche moderne possono essere classificate in funzione della tipologia di connettore usato:

- **Connettori metallici a gambo cilindrico** (chiodi, bulloni, perni, viti e cambrette)
- **Connettori metallici di superficie** (caviglie, anelli, piastre dentate)
- Piastre preformate (lamiere sottili piegate a

freddo oppure in alluminio) per il collegamento tra travi principali e travi secondarie generalmente disponibili a catalogo e dotati di documentazione tecnica del produttore che certifica i valori minimi di portata.

L'ampia possibilità di scelta del tipo di connessione consente di privilegiare la rapidità del montaggio o la flessibilità della configurazione della struttura.

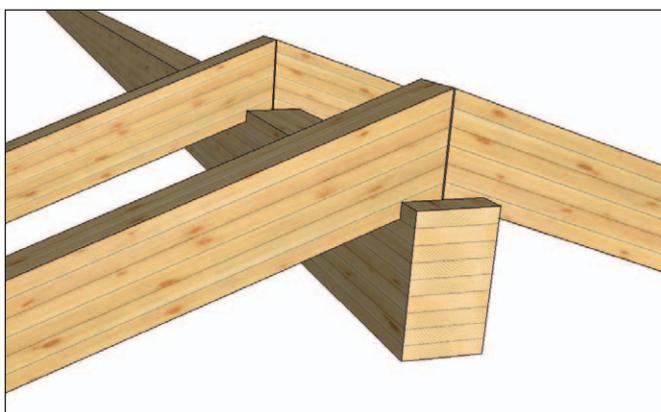
Collegamento trave principale (colmo) – trave secondaria (puntoni)

Il collegamento della trave secondaria può avvenire in "appoggio" sulla trave principale o in "spessore". Come detto in merito alle spinte sui muri, nel collegamento in appoggio è preferibile evitare sagomature del colmo ed eseguire gli intagli sulla trave secondaria in modo da realizzare una superficie di appoggio piana e orizzontale. Il collegamento deve

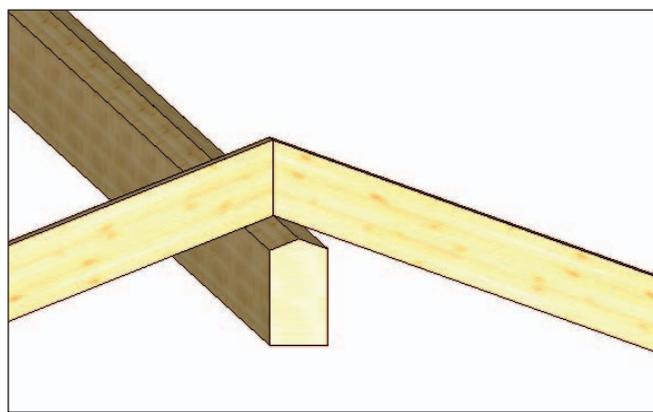
essere completato con una vite di fissaggio.

Le verifiche da condurre sono:

- **Compressione dell'appoggio**
- **Verifica dell'intaglio**
- **Verifica della vite di fissaggio ausiliaria** (alle azioni del sisma e del sollevamento da vento)
- **Eventuale rinforzo strutturale nella zona dell'intaglio**



• *Sagomatura del puntone per la realizzazione di un appoggio orizzontale. (soluzione consigliata).*



• *Sagomatura del colmo (soluzione sconsigliata: perchè la struttura è spingente e la forza deve essere equilibrata dalla vite di connessione).*

Il collegamento in spessore consente di ridurre l'altezza complessiva del tetto ma pone una maggiore attenzione nei calcoli. Nel caso di realizzazione del collegamento sia a tappa a pareti verticali che a coda di rondine vengono eseguiti degli intagli, solitamente di 2 o 3 cm, nella trave principale per l'alloggiamento del puntone. La riduzione di sezione del colmo genera inevitabilmente un decremento del momento di inerzia (e quindi del modulo di resistenza) che deve essere preso in considerazione nelle verifiche strutturali (freccia e tensione flessionale). La posa deve essere completata anche in questo caso con viti per evitare il sollevamento. Le verifiche principali da effettuare sono:

- **Verifica di compressione all'appoggio**
- **Verifica dell'intaglio sulla trave secondaria**
- **Verifica della trave principale con sezione ridotta**
- **Verifica per carichi appesi** al fine di evitare rotture per trazione ortogonale (la reazione della trave secondaria non si trasmette all'estradosso del colmo ma ad una quota inferiore).

Il collegamento in spessore consente una estrema facilità e rapidità di montaggio, ma è molto importante conoscere il passaggio degli impianti (comignoli, antenne, canini, etc...).



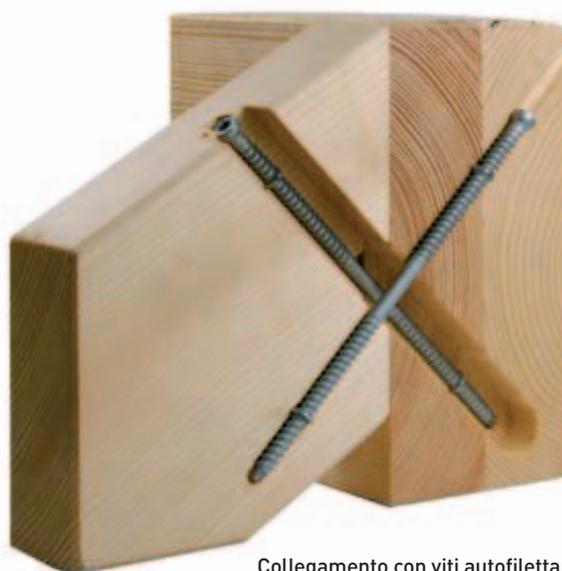
Tasche



Coda di rondine

Un miglior comportamento meccanico, che preserva la semplicità di posa, può essere ottenuto ricorrendo al collegamento con **viti autofilettanti**, a filetto completo o a doppio filetto, disposte ad X inclinate a 45°. Si evitano gli svantaggi dovuti alla riduzione di sezione e si ottiene uno schema statico tipo traliccio. La vite infissa nella

trave principale lavora principalmente a trazione, la vite infissa nella trave secondaria risulta compressa: esse fungono da diagonali tese e compresse, come nei tralicci, e la verifica da eseguire è quella di resistenza delle viti (resistenza allo sfilamento del gambo filettato). Anche da un punto di vista estetico il risultato è qualitativamente elevato poiché si tratta di un collegamento a scomparsa (la forma ridotta della testa della vite, con intaglio torx, viene completamente



Collegamento con viti autofilettanti

nascosta all'interno delle travi).

A differenza delle code di rondine, una maggiore flessibilità nel posizionamento delle travi, a scapito della velocità di posa, può essere ottenuta con sistemi di collegamento metallici, quali "scarpe" e "piastre a scomparsa" in acciaio o alluminio.

In questo caso le verifiche da effettuare sono quelle delle piastre (il produttore fornisce il valore della portata) e dei connettori cilindrici (chiodo, vite, spinotto, bullone), sollecitati principalmente a taglio e trazione, usati per il loro fissaggio.

Piastra a scomparsa



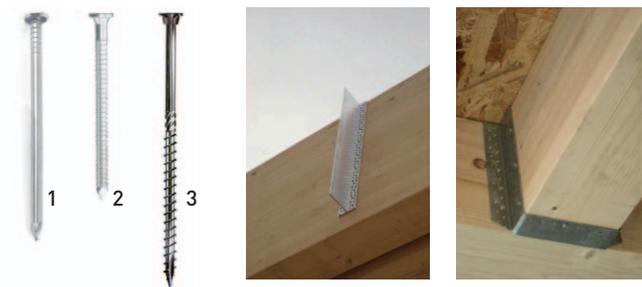
Scarpa metallica



Sistemi di giunzione moderni - connettori cilindrici

CONNETTORI A GAMBO CILINDRICO

I connettori a gambo cilindrico possono essere a gambo liscio (1) o ad aderenza migliorata (2 e 3). Sono molto usati per fissare tavolati, pannelli e piastre metalliche (in figura alcuni esempi applicativi).



SPINOTTI (O PERNI)

Gli spinotti sono elementi cilindrici, a superficie liscia, con le estremità rastremate, per facilitare l'inserimento all'interno del foro predisposto nel legno. Quest'ultimo deve essere dello stesso diametro del perno! Il perno deve essere inserito a forza, subito dopo l'esecuzione del foro, per evitare che la naturale variazione dimensionale del legno (per igroscopicità) chiuda il foro e causi la perdita dell'allineamento tra i fori della piastra e i fori del legno.



Gli spinotti autoforanti non necessitano del preforo. Forano contemporaneamente acciaio e legno e possono essere applicati con avvitatori. Il foro nella piastra deve avere diametro pari a quello dello spinotto aumentato di un millimetro. Non deve essere effettuato contemporaneamente alla foratura

del legno, al fine di evitare che i trucioli metallici allarghino il foro nel legno.

Lo spinotto viene impiegato per trasmettere sforzi di taglio. Per giunzioni legno-legno bisogna prevedere dei sistemi che evitino l'apertura del giunto: rimpiazzare, ad esempio, alcuni spinotti con bulloni o semplicemente aggiungere (fuori calcolo) 4 bulloni di chiusura del giunto.



VITI E BULLONI

Le viti si distinguono in viti tradizionali (o tirafondi), innovative e speciali (a doppio filetto).

Le viti tradizionali possono essere a testa svasata o a testa esagonale. Per l'infissione necessitano del "doppio" preforo: il primo di diametro pari a quello del gambo, il secondo pari al 70% del diametro del gambo. Le moderne viti autoforanti non necessitano del preforo per l'applicazione. Anche queste possono essere a testa svasata (con specifiche rondelle) o esagonale. Nelle viti autoforanti a tutto filetto la testa è ridotta per permettere la penetrazione all'interno del legno.

Le viti speciali a doppio filetto sono impiegate per usi

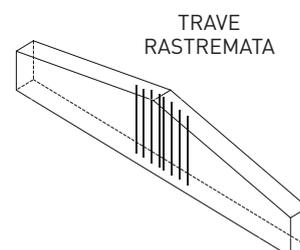
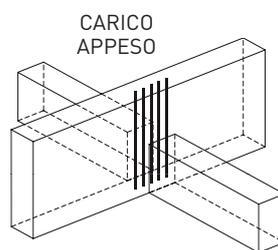
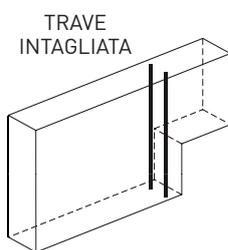


specifici: possono indurre stati di compressione tra due elementi da unire o all'interno dello stesso elemento. Ad esempio, sono impiegate per evitare la rottura lungo la zona dell'intaglio. I bulloni vengono impiegati per giunzioni soggette a sforzi di taglio e/o trazione. Vanno infissi in fori del diametro del bullone stesso maggiorato di 1 mm e devono essere serrati immediatamente dopo la messa in opera per

garantire un adeguato contatto tra gli elementi lignei da unire. Se necessario, devono essere riserrati quando gli elementi raggiungono l'equilibrio igroscopico. Le rondelle hanno dimensioni superiori rispetto alle rondelle standard: il loro diametro esterno è 3 volte quello del bullone, allo scopo di diffondere meglio le tensioni nel legno ed evitare rotture per trazione ortogonale alla fibratura.



• Unione mediante bulloni.



• Esempi di rinforzo strutturale mediante applicazione di viti a tutto filetto per scongiurare la rottura per trazione ortogonale.

Unioni incollate

Le unioni meccaniche sono le preferite in quanto conferiscono alla struttura le caratteristiche di duttilità e dissipazione di energia necessarie per la resistenza alle azioni sismiche. Tuttavia, in alcuni casi, è opportuno realizzare giunti rigidi. A questo scopo si utilizzano le unioni con barre incollate o con piastre metalliche incollate.

Le unioni incollate trasferiscono gli sforzi dal legno alle barre d'unione lungo tutta la lunghezza dell'incollaggio consentendo il raggiungimento di elevati valori di rigidità. Inoltre, presentano vantaggi nei confronti della corrosione e della protezione al fuoco (gli elementi metallici sono all'interno della trave e quindi protetti) ed un miglior risultato estetico in quanto il giunto non è visibile.

Le resine epossidiche sono i collanti più impiegati. È importante che non siano troppo liquide al fine di evitare percolazioni che svuotano la zona di incollaggio e vadano a riempire eventuali fessure del legno, impedendone i movimenti. A tal fine, è bene "caricare" le resine con inerti minerali fini (filler) per raggiungere la giusta consistenza tissotropica. Per garantire la compatibilità dei materiali, le barre devono essere incollate parallelamente alla fibratura:

lungo tale direzione il legno ha ritiri e rigonfiamenti trascurabili. Una barra inserita trasversalmente rispetto alla fibratura contrasterebbe il ritiro ed il rigonfiamento del legno generando pericolose autotensioni di taglio alternate sull'incollaggio.

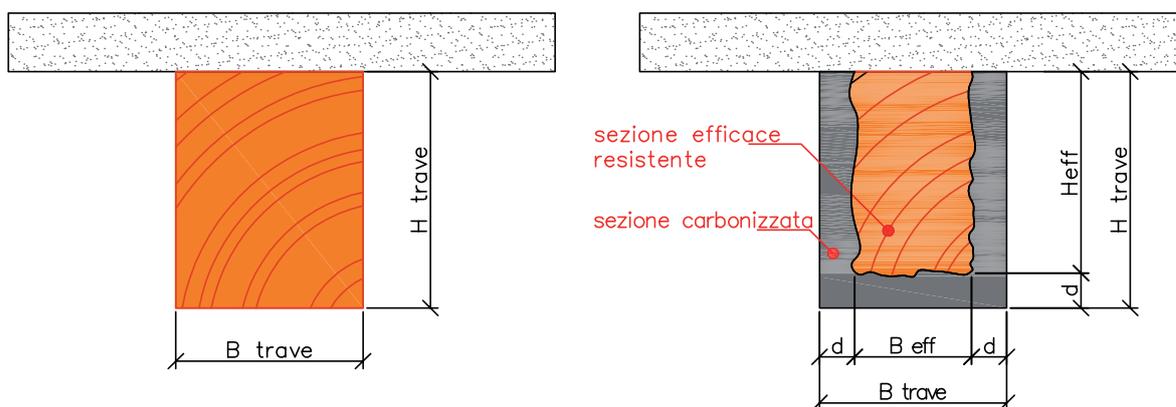
Come barre possono essere impiegate i comuni tondini d'acciaio ad aderenza migliorata che mostrano una sufficiente adesione con le malte epossidiche. In alternativa, barre in vetroresina, sicuramente più costose.



• Esempio di unione con piastra incollata (trave ginocchio).

RESISTENZA AL FUOCO DELLE CONNESSIONI METALLICHE

Il legno è un materiale combustibile. Sotto l'azione del fuoco subisce un processo di "carbonizzazione" durante il quale, sulla superficie esterna, si forma una crosta, mentre internamente rimane sano. La parte ancora non intaccata (detta sezione efficace) riesce a svolgere la sua funzione strutturale. La carbonizzazione procede dall'esterno verso l'interno ad una velocità β_{car} nota, molto bassa (circa 0,7mm/min per il lamellare e 0,9 per il massiccio).



$$B_{eff} = B_{trave} - 2d$$

$$H_{eff} = H_{trave} - d$$

$$d = \beta_{car} \cdot t_{req} \text{ (profondità di carbonizzazione)}$$

$$t_{req} = \text{tempo in minuti di resistenza (30, 60,..)}$$

Secondo l'Eurocodice 5, per la valutazione della resistenza al fuoco, scelta la dimensione della trave, la sezione efficace (che dovrà resistere ai carichi di progetto in base agli stati limite) sarà quella data dalle dimensioni della trave decurtata degli spessori "d" che carbonizzeranno nel tempo richiesto per la resistenza (R30, R60). La profondità di carbonizzazione si calcola con la semplice formula "spazio = velocità x tempo" come mostrato in figura.

È possibile ricorrere, eventualmente, a trattamenti protettivi (vernici intumescenti) che creano un effetto schiumogeno e rallentano la combustione innalzando la temperatura di ignizione. Tuttavia, è da evitare un uso esclusivo di tali trattamenti, perché col tempo perdono efficacia e la loro durata massima è di 5 anni. Quindi devono essere rimossi e riapplicati.

Molto spesso sono i collegamenti metallici a rappresentare il vero punto di debolezza della struttura lignea nei confronti del fuoco. Le parti metalliche costituiscono, infatti, elemento di trasmissione di calore anche all'interno della massa lignea (nel caso del collegamento) oppure esse presentano, se esposte al fuoco, deformazioni incompatibili con la statica globale della struttura (elementi di controvento, elementi tesi in genere, ecc.).

Le cosiddette unioni "non protette" (cioè unioni realizzate con elementi metallici esposti in tutto o in parte), possono essere generalmente considerate soddisfacenti alla classe di resistenza R15 o R20, secondo quanto indicato in tabella.

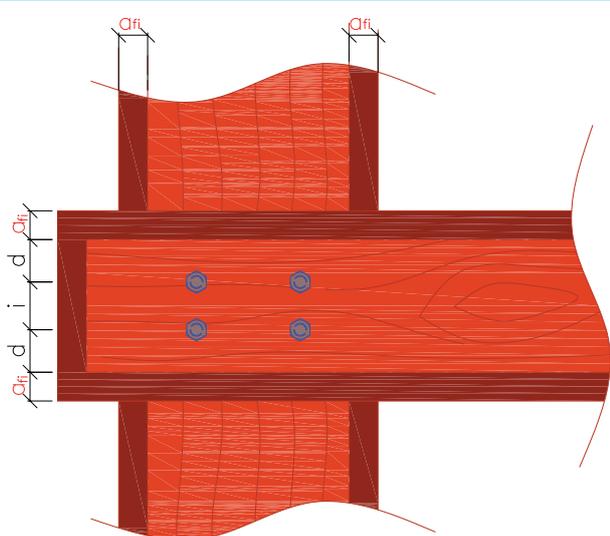
CLASSI DI RESISTENZA PER UNIONI NON PROTETTE

ELEMENTI DI COLLEGAMENTO	Chiodi	Viti	Bulloni	Perni	Altri
t_d (MINUTI)	15	15	15	20	15
CONDIZIONE IMPOSTA	$\varnothing \geq 2,8 \text{ mm}$	$\varnothing \geq 3,5 \text{ mm}$	$s \geq 45 \text{ mm}$	$s \geq 45 \text{ mm}$	$s \geq 45 \text{ mm}$

s spessore dell'elemento di collegamento \varnothing diametro dell'elemento di collegamento

Oltre tali valori sono necessari requisiti aggiuntivi da considerare attentamente in sede di progetto, in particolare sullo spessore dell'elemento ligneo collegato e sulla distanza del mezzo di connessione dai bordi e dalle estremità del medesimo elemento. Spessore minimo dell'elemento ligneo e distanza minima da bordi ed estremità devono essere garantiti anche al tempo richiesto di resistenza al fuoco, considerando la riduzione di sezione dovuta alla carbonizzazione e potendosi scontare il tempo già garantito nella medesima tabella. Una più elevata resistenza al fuoco per un collegamento può essere ottenuta, in genere, con una adeguata progettazione del medesimo o mediante protezioni da applicare in opera:

- Ad esempio, in caso di collegamenti con chiodi, viti o perni aumentando gli spessori degli elementi lignei e la distanza dal bordo della quantità "a_{fi}" in funzione della velocità di carbonizzazione β.



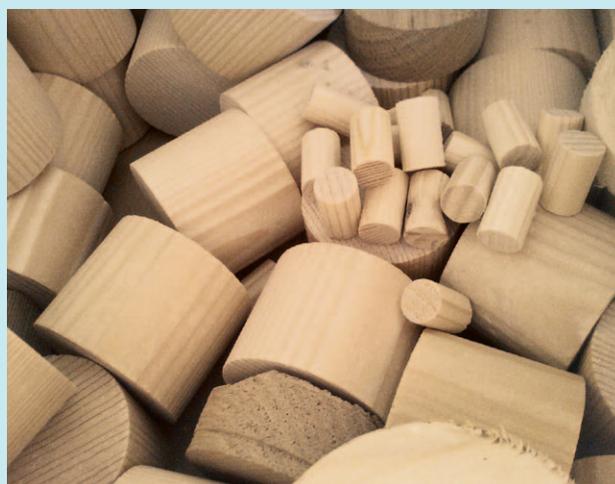
$$a_{fi} = 1,5 \cdot \beta_{car} \cdot (t_{req} - t_d)$$

Mediamente, per avere una resistenza t_{req} pari a 30 min:

chiodi, viti $a_{fi} \Leftrightarrow 1 \text{ cm}$

perni $a_{fi} \Leftrightarrow 1,5 \text{ cm}$

- Un altro requisito consiste nel proteggere completamente il collegamento con un "copriferro" di legno, il quale dovrà avere spessore tale da garantire il tempo minimo di protezione al fuoco richiesto dal progetto, tenuto conto della resistenza minima già garantita secondo la tabella (ad esempio tappi in legno incollati, pannelli in legno, cartongesso o lastre in calcio-silicato).



- Esecuzione delle fresature per il posizionamento dei connettori cilindrici (a sinistra) che saranno protetti con l'inserimento di un tappo in legno (a destra).

PRODUZIONE TETTI IN LEGNO E CERTIFICAZIONI

La produzione, la fornitura e l'impiego dei prodotti a base legno per uso strutturale devono avvenire secondo un sistema di qualità che consente di individuare i singoli componenti dalla fase di classificazione e/o marchiatura fino alla loro messa in opera.

Nel disegno, il progettista deve prescrivere e precisare le lavorazioni da eseguire (tasche, forature, giunti a coda di rondine, ecc...) in conformità alla normativa e numerare opportunamente le travi. Queste saranno etichettate in stabilimento e montate esattamente secondo le prescrizioni e l'ordine riportato nel disegno stesso.

Le lavorazioni possono essere eseguite esclusivamente da un "Centro di Trasformazione" qualificato sotto la responsabilità del Direttore Tecnico di Produzione che, presa visione del progetto, verifica la coerenza delle prescrizioni rispetto alla normativa e alle capacità produttive del centro ed eventualmente segnala le

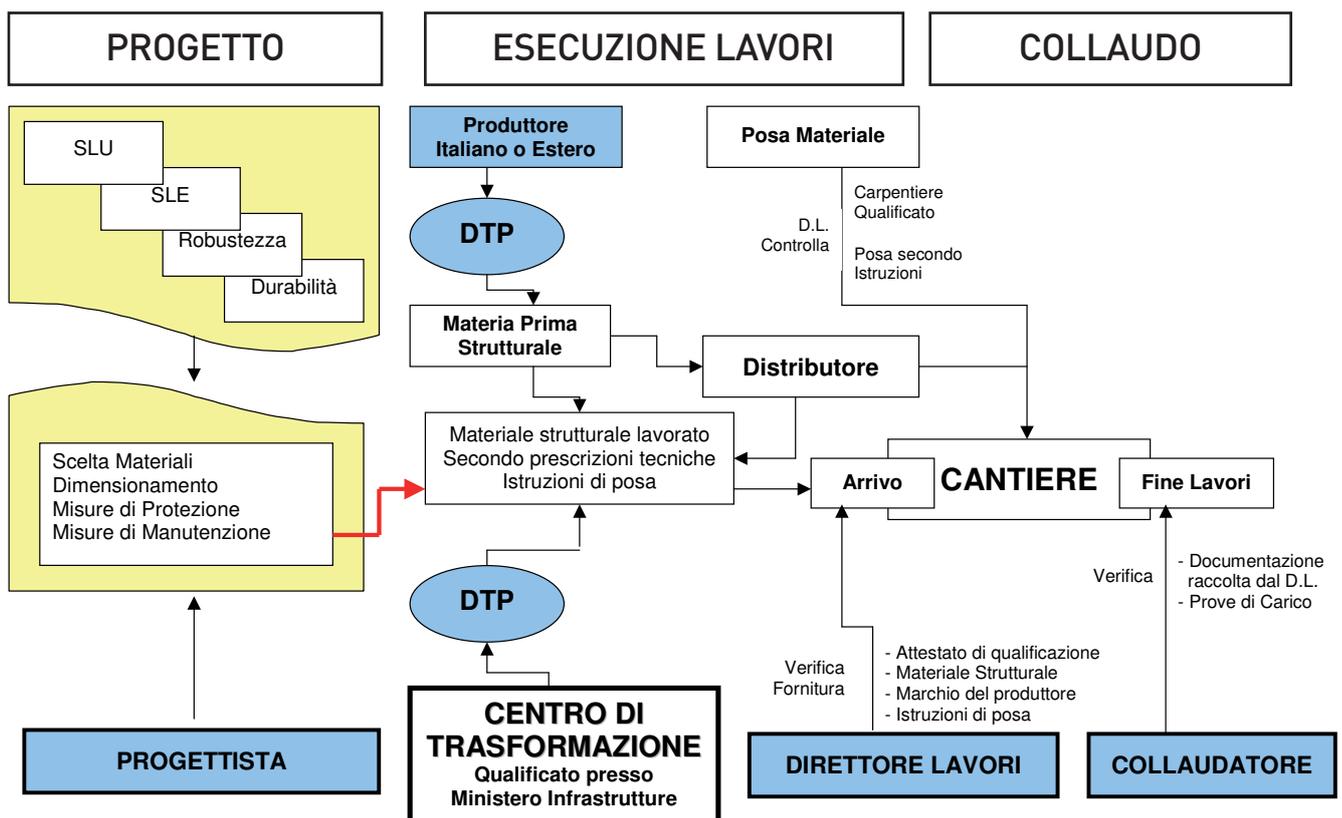
modifiche da apportare.

Il materiale tagliato e pronto per l'assemblaggio viene sottoposto a trattamento con gli impregnanti applicati a macchina o a pennello. Una buona pratica prevede l'applicazione di un impregnante trasparente o in tonalità molto chiara come protettivo temporaneo. Ad edificio completato, è consigliabile una seconda mano atta a coprire lo sporco che si viene a depositare durante le fasi di montaggio.

Si ricorda, inoltre, che **il materiale in arrivo in cantiere deve essere accettato dalla Direzione Lavori** che ha il compito di controllare la rispondenza dei materiali strutturali con quanto riportato nel progetto. Verifica, dunque, la classe di resistenza dichiarata dal fornitore nella documentazione accompagnatoria del materiale ed, eventualmente, esegue prove sui materiali stessi. Nello schema sono riportati tutti gli attori coinvolti nella filiera e le funzioni da essi svolte.

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

D.M. 14/01/2008



QUALIFICAZIONI MINISTERIALI

Una prima distinzione è fatta tra centri di produzione e centri di trasformazione, e come per gli altri materiali da costruzione quali l'acciaio è necessario avere una qualifica per eseguire determinate attività.

Produttori: sono gli stabilimenti che producono di legno massiccio o legno lamellare partendo dal troco o da semilavorati. Devono essere in possesso dell'Attestato di Qualificazione rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Ministero. È sostanzialmente il soggetto legalmente responsabile della classificazione secondo la resistenza del prodotto o dell'elemento.

Centri di trasformazione: sono gli stabilimenti in cui viene effettuata la lavorazione degli elementi base provenienti dai produttori per dare loro la configurazione finale in opera (tagli, intagli, forature, applicazione di ferramenta, ecc.) senza modificare le proprietà meccaniche dell'elemento. In tale frangente il prodotto lavorato prende la denominazione di elemento ad uso strutturale.

I Centri di trasformazione devono possedere l'Attestato di Denuncia di Attività rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale, presso cui va depositato il disegno del proprio marchio. Tale marchio deve essere impresso in modo permanente (anche mediante etichettatura etc.) su ogni elemento lavorato.

Rivenditore o distributore: un rivenditore che sia solo fornitore e non produttore, è il soggetto che effettua la vendita a fronte della quale il materiale entra in cantiere senza eseguire modifiche e/o

trasformazioni. Per il rivenditore non sono richieste abilitazioni poichè non effettua alcuna lavorazione.

Le forniture effettuate da un commerciante o da un rivenditore devono essere accompagnate dai documenti rilasciati dal Produttore o dal Centro di Lavorazione in modo che sia garantita la rintracciabilità del prodotto dalla sua prima classificazione sino alla messa in opera.

Carpentiere: esegue lavorazioni e posa in opera in cantiere di prodotti o elementi strutturali. La qualificazione non è necessaria a meno che la sua attività preveda trasformazioni di "prodotti" in "elementi" tale da renderlo assimilabile ad un centro di trasformazione.

Si ricorda anche la distinzione tra prodotti ed elementi:

Prodotti in legno per uso strutturale: manufatti commercializzati per un impiego generico in ambito strutturale, la cui specifica destinazione o funzione in un progetto o in una commessa non è ancora definita al momento della vendita. Esempi: legno massiccio o lamellare venduto senza sapere se sarà impiegato come trave di solaio o puntone di capriata o per altro uso strutturale.

Elementi strutturali in legno: prodotti in legno per uso strutturale ai quali, al momento della vendita, sia stata assegnata una specifica funzione in un progetto o in una commessa e sia stata eventualmente eseguita una trasformazione. Esempi: travi per solaio, pannelli per parete, copertura in legno, ecc..

DURABILITÀ DEL LEGNO

La durabilità è l'attitudine di un oggetto a preservarsi nel tempo dal degrado e dall'usura, risultando sempre idoneo alla sua funzione. La durabilità di un manufatto è strettamente legata alla natura del materiale che è biodegradabile. Questo, però, non significa che le strutture di legno siano meno durabili di quelle costruite utilizzando altri materiali. Con gli opportuni accorgimenti possono essere eterne.

Bisogna tener presente che il legno è un materiale vivo, anche dopo il taglio dalla pianta: interagisce sempre e costantemente con l'ambiente in cui si trova. Vi è, in primo luogo, un continuo scambio di

umidità tra legno e ambiente; vi possono essere microorganismi come muffe che insidiano le travi, così come non si può escludere, a priori, la presenza di insetti che si nutrono del legno stesso.

Legno e umidità

Il legno, per la sua anatomia, prima dell'abbattimento è caratterizzato da un'umidità interna molto alta, superiore al 30%.

Successivamente al taglio inizia un processo di stagionatura naturale molto lento, che può durare diversi anni: il legno perde la sua umidità interna

che tende ad equilibrarsi verso un valore ("umidità di equilibrio") variabile in funzione delle condizioni ambientali (temperatura e umidità relativa dell'aria). Lo stesso elemento in legno posto in due ambienti differenti, per temperatura e umidità, avrà due umidità di equilibrio diverse (come si può notare dalla tabella).

		UMIDITÀ RELATIVA DELL'ARIA IN %																			
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
TEMPERATURA DELL'ARIA IN °C	0	1	3	4	5	6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17	19	22	27	33
	10	1	3	4	5	5	6	7	8	9	10	10	11	12	14	15	17	19	22	26	32
	20	1	3	4	5	5	6	7	8	9	9	10	11	12	13	15	16	18	21	25	31
	30	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	24	30
	40	1	2	3	4	5	6	6	7	8	9	9	10	11	12	13	15	17	19	23	29
	50	1	2	3	4	5	5	6	7	7	8	9	10	10	11	13	14	16	18	22	28
	60	1	2	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9	10	11	12	14	15	17	21	27
	70	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8	9	10	11	13	14	16	20	26
	80	1	1	2	3	3	4	4	5	6	6	7	7	8	9	10	12	13	15	19	25
	90	1	1	2	2	3	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9	11	12	14	18	24

- Se la temperatura è $T = 20\text{ °C}$ e l'umidità relativa dell'aria è $UR = 65\%$, il legno si equilibra intorno al valore $u = 12\%$ (cella di colore azzurro).

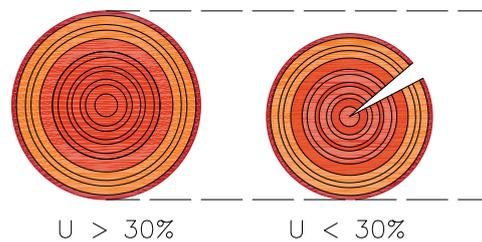
In conseguenza della perdita di umidità, il legno si contrae e si fessura per effetto del ritiro igrometrico (diminuzione delle dimensioni). Poiché è un materiale igroscopico, la sua umidità non sarà mai costante e sarà sempre soggetto a continui ritiri e rigonfiamenti. A causa della anisotropia, l'entità delle variazioni è trascurabile lungo la direzione delle fibre (longitudinale), mentre è importante nella direzione tangenziale generalmente doppia di quella radiale. Questo porta a deformazioni diverse che dipendono dalla forma della trave. Un tronco durante la stagionatura avrà un raggio più piccolo e circonferenza minore. Per il fatto che la riduzione tangenziale è maggiore di quella radiale

Coefficients medi di dilatazione igrometrica		
	Conifera	Latifoglie
Variatione longitudinale	0,01%	0,01%
Variatione radiale	0,12%	0,2%
Variatione tangenziale	0,24%	0,4%

Esempio

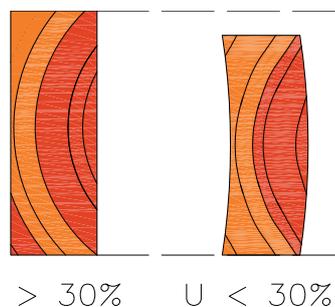
Considerando un cubetto di legno di conifera, ad esempio, di lato 200mm che passa da U=30% ad U=10%

Riduzione longitudinale	$200 \times 0,01 \times (30-10) / 100 = 0,4 \text{ mm}$ ⇨ L = 200 - 0,4 = 199,6 mm
Riduzione Radiale	$200 \times 0,12 \times (30-10) / 100 = 4,8 \text{ mm}$ ⇨ L = 200 - 4,8 = 195,2 mm
Riduzione tangenziale	$200 \times 0,24 \times (30-10) / 100 = 9,6 \text{ mm}$ ⇨ L = 200 - 9,6 = 190,4 mm

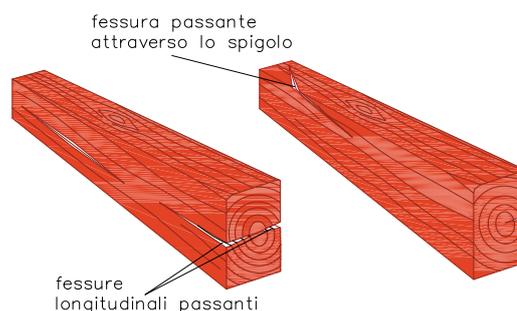


inevitabilmente fessurerà. Si avrà una fessura principale che parte dal midollo (detto anche cuore) più eventuali fessure secondarie.

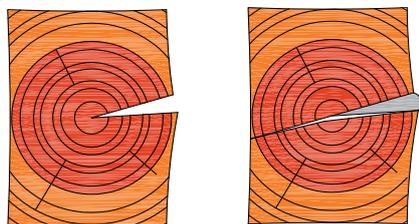
Solo le sezioni ricavate senza includere il centro del tronco (le cosiddette "fuori cuore") non formeranno fessure ma solo distorsioni.



Le fessure sono fisiologiche: destano preoccupazioni solo nei casi in cui la trave sia affetta da fessure su due facce e queste si incontrano dividendo in due la sezione, oppure quando queste passano lo spigolo determinando una vera e propria rottura.



STUCCARE LE FESSURE?



La stuccatura delle fessure da ritiro con malte o resine è pratica **errata**, poiché nella stagione umida, il rigonfiamento tende a chiuderle. I materiali di riempimento possono lavorare come un "cuneo" ed ampliare l'entità delle fessurazioni.

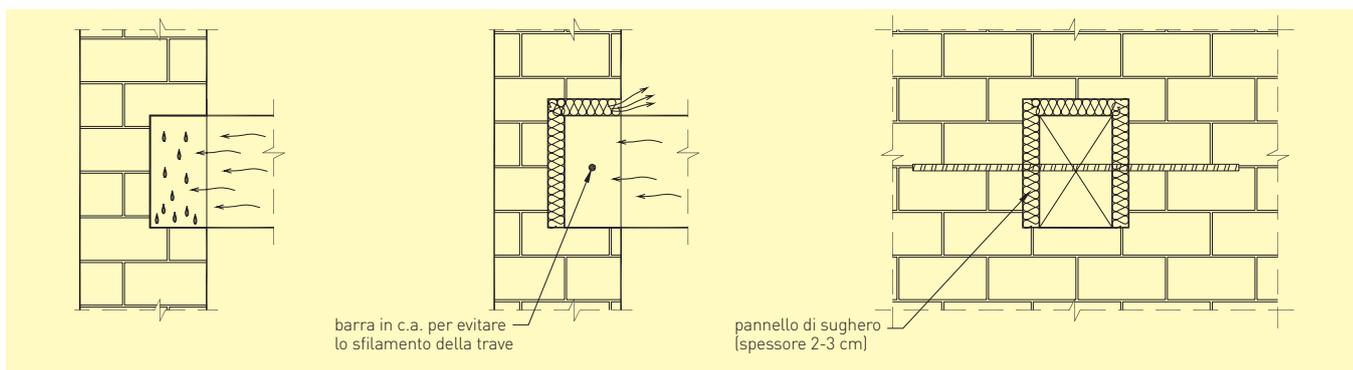
Degrado da funghi

I funghi delle carie (funghi del marcimento) si manifestano quando l'umidità di equilibrio nel legno è maggiore del 20%. Sono funghi deleteri perché producono un'azione distruttiva. L'attacco si manifesta inizialmente con una mutazione del colore che con il progredire diventa sempre più scuro. Il legno perde le sue caratteristiche fisico meccaniche e la resistenza diminuisce sin dai primi stadi dell'attacco. Le zone a rischio sono i ponti termici: principalmente gli appoggi sulla muratura dove la parete fredda favorisce la condensazione dell'umidità del legno sulla testata se non è nelle condizioni di respirare. È buona pratica coibentare la trave con dei pannelli di sughero (perché è comprimibile e traspirante) o guaine

protettive. Se l'appoggio è realizzato con scarpette metalliche lasciare almeno 1-2 cm di aria per evitare il deposito della sporcizia e favorire il deflusso dell'acqua e la ventilazione.

L'attacco fungino avanza fintanto che permangono le condizioni favorevoli di umidità. Quando il valore scende sotto il 20% il fungo cessa solo temporaneamente la sua attività. Infatti, il danno causato rimane e se l'umidità ritorna ad essere elevata, il fungo riprende la sua azione.

Sia l'alburno sia il durame sono soggetti ad attacco fungino. Esistono specie legnose, quali il castagno e le querce, il cui durame è più resistente rispetto alle altre specie legnose.



NORMA EN350-2 "CLASSIFICAZIONE DELLA DURABILITÀ NATURALE NEI CONFRONTI DEI FUNGHI CARIOGENI (RIFERITO AL DURAME)". RIGUARDA IL LEGNO MASSICCIO MA SI APPLICA ANCHE AL LAMELLARE.

Classe di durabilità	Descrizione	Esempi
1	Molto durabile	Castagno, robinia
2	Durabile	Castagno, rovere
3	Moderatamente durabile	Larice, douglasia
4	Poco durabile	Larice, abete bianco, abete rosso
5	Non durabile	Faggio

NOTA: L'ALBURNO DI QUALUNQUE SPECIE LEGNOSA È DA CONSIDERARSI NON DURABILE

I FUNGHI DELL'AZZURRAMENTO

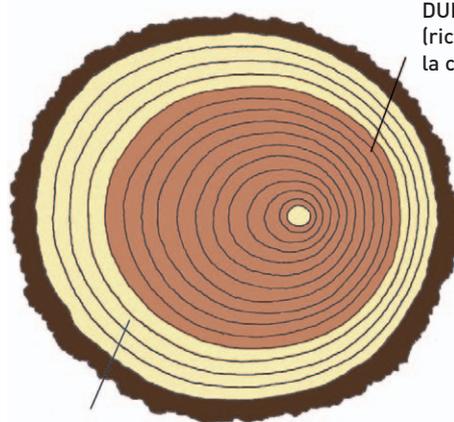


Alcuni funghi, detti "cromogeni", causano alterazioni cromatiche del legno, sia superficiali che profonde. Tra questi, i più diffusi sono quelli comunemente noti con il nome di "funghi dell'azzurramento" che conferiscono al legno una colorazione che varia dal grigio chiaro al blu nerastro. **Questi funghi non modificano le caratteristiche meccaniche del legno, ma provocano esclusivamente alterazioni di carattere estetico che determinano un deprezzamento della trave.**

Degrado da insetti

Gli insetti che attaccano il legno sono vari: il più pericoloso è il cosiddetto **“capricorno della casa”**. Gli insetti depongono le uova nelle piccole cavità del legno. Quando si schiudono, le larve penetrano nella massa legnosa mangiandola e scavando delle gallerie. L'attacco delle larve può durare anche alcuni anni prima che esse si trasformano in insetti che forano la superficie esterna e abbandonano il legno lasciando visibile il cosiddetto foro di “sfarfallamento”.

Il rischio di attacco è subordinato alla possibilità dell'insetto adulto di deporre le uova nelle fessure o nelle cavità: i trattamenti superficiali (impregnanti, vernici, sostanze preservanti) riducono il rischio di deposizione delle uova, ma non lo eliminano. Generalmente gli insetti mangiano la parte esterna, ossia l'alburno, ricco di sostanze nutritive (zuccheri ed amidi), mentre il durame se differenziato come nel castagno e nella quercia è più resistente perché ricco di sostanze estrattive (tannini) a loro sgradevoli. Le specie legnose a durame non differenziato, come l'abete che ha il durame povero di estrattivi, sono attaccabili tanto nell'alburno quanto nel durame.



DURAME
(ricco di estrattivi che danno la colorazione scura)

NOTA
Quando il durame è povero di estrattivi la colorazione rimane chiara e si dice “durame non differenziato” (ad esempio nell'abete).

ALBURNO (ricco di sostanze nutritive)



• *Trave degradata da insetti (sono visibili i fori di sfarfallamento).*

DURABILITÀ NATURALE DELLE SPECIE LEGNOSE IN RIFERIMENTO ALL'ALBURNO E AL DURAME

	Specie legnosa	Forma di degrado	Livello di durabilità
Alburno	Tutte le specie in generale	Funghi / insetti	Poco durabile
Alburno sottile (< 1cm)	Es. Castagno	Insetti	Durabile (dopo la squadratura praticamente perdono l'alburno)
Alburno spesso	Pino, Larice, querce	Insetti	Poco durabile
Durame	Querce, robinia, castagno, larice	Funghi / insetti	Durabile
Durame	Douglasia, pino silvestre	Funghi / insetti	Moderatamente durabile
Durame	Abete (bianco e rosso), pioppo	Funghi / insetti	Poco durabile

IL LEGNO LAMELLARE È PIÙ RESISTENTE ALL'ATTACCO DEGLI INSETTI



Il legno lamellare ha un numero di fessure nettamente inferiore rispetto al legno massiccio. Pertanto, l'insetto ha maggiore difficoltà a deporre le uova. Nel caso in cui ne avesse la possibilità, la larva non riuscirebbe a superare lo strato di colla e rimarrebbe all'interno della singola tavola. Per questi motivi, l'attacco da insetti nel lamellare è piuttosto limitato.

TRATTAMENTI PRESERVANTI

Qualora si voglia usare una specie legnosa la cui durabilità naturale non sia sufficiente, bisogna ricorrere ad un trattamento preservante per conferire una "durabilità indotta" in conformità alle norme EN 351-1 e EN 599-1.

Il legno è un materiale impermeabile (es. le scandole di legno in copertura), si bagna ma non si lascia attraversare dal liquido. Questo è il grosso limite dei trattamenti preservanti.

Nel caso di specie legnose difficilmente permeabili al preservante, come l'abete, si ricorre ad un trattamento superficiale a pennello.

Per essenze impregnabili, come il pino, il trattamento può essere eseguito in stabilimento mediante

impregnazione a macchina.

I trattamenti superficiali possono essere efficaci contro gli insetti; al contrario, nel caso dei funghi da carie, hanno il solo effetto di ritardare l'attacco ma non rendono il legno immune dal degrado.

L'unico rimedio possibile è eliminare la causa dell'umidità, valutando la necessità di un eventuale consolidamento.

I trattamenti profondi, efficaci sia contro i funghi che gli insetti, si eseguono con autoclave per immersione, mediante cicli di vuoto e pressione, al termine dei quali si ottiene un materiale impregnato anche in profondità (pali delle linee aeree o per elementi da arredo giardino).



• Impregnatrice e levigatrice a macchina.



LA NORMA EN 351-1

"Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno - Legno massiccio trattato con i preservanti - Classificazione di penetrazione e ritenzione del preservante" riporta la classificazione di penetrazione e ritenzione del preservante delle specie legnose.

LA NORMA EN 599-1

"Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno - Prestazioni dei preservanti del legno,

utilizzati a scopo preventivo, determinate mediante prove biologiche - Specifiche secondo le classi di rischio" fornisce le indicazioni di prestazione dei preservanti (non tutti i preservanti sono adatti allo scopo!).

Se il trattamento superficiale viene fatto sul legno fresco, le fessure che si formeranno non saranno protette e quindi sarà necessario ripetere il trattamento in corrispondenza delle fessure.

SCELTA DELLA SPECIE IN FUNZIONE DELLA CLASSE D'USO

Nella seguente tabella si vuole dare una descrizione di massima della durabilità delle essenze lignee maggiormente impiegate nell'edilizia in funzione della classe d'utilizzo.

CLASSE D'UTILIZZO (SECONDO EN355)	SPECIE LEGNOSE
1 – Al coperto asciutto	Tutte le specie legnose, durame e alborno, non necessitano di trattamenti preservanti.
2 – Al coperto con rischio inumidimento	Durame di Castagno, Cipresso, Quercia cerro e Quercia rovere non necessitano di trattamento preservante. Alborno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Larice, Pino silvestre, Pino nero, Douglasia, Pioppo, nonché alborno di tutte le specie legnose potrebbero necessitare di trattamento preservante se in ambienti frequentemente umidi.
3 – Esposto alle intemperie	Durame di Castagno, Cipresso e Quercia rovere non necessitano di trattamento preservante. Durame di Larice, Pino silvestre, Douglasia e Quercia cerro potrebbero necessitare di trattamento preservante se in climi umidi e piovosi e/o se non protetti contro i ristagni di umidità e se non è assicurato il rapido deflusso delle acque. Alborno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Pino nero, Pioppo, nonché alborno di tutte le specie legnose necessitano di trattamento preservante se non protetti contro i ristagni di umidità e se non è assicurato il rapido deflusso delle acque.
4 – A contatto con terreno o acqua dolce	Durame di Castagno, Cipresso e Quercia rovere potrebbero necessitare di trattamento preservante se non protetti contro i ristagni di umidità e se non è assicurato il rapido deflusso delle acque. Durame di Larice, Pino silvestre, Douglasia e Quercia cerro dovrebbero essere sottoposti a trattamento preservante ad eccezione di quegli elementi in cui può essere tollerato il degrado. Alborno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Pino nero, Pioppo, nonché alborno di tutte le specie legnose necessitano di trattamento preservante.
5 – In acqua di mare	Durame di Larice, Pino silvestre, Douglasia, Castagno, Cipresso, Quercia cerro e Quercia rovere dovrebbero essere sottoposti a trattamento preservante ad eccezione di quegli elementi in cui può essere tollerato il degrado. Alborno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Pino nero e Pioppo, nonché alborno di tutte le specie legnose necessitano di trattamento preservante.

LEGNO LAMELLARE

Le norme tecniche per le costruzioni NTC2008 stabiliscono al paragrafo 11.7 i criteri di identificazione e qualificazione dei prodotti a base legno. **Tutti i prodotti impiegati in edilizia devono essere coperti da marcatura CE. In particolare:**

PRODOTTO	OBBLIGO MARCATURA CE DAL	NORMA EUROPEA ARMONIZZATA
Legno massiccio	1 gennaio 2012	EN 14081
Legno lamellare	1 dicembre 2011	EN 14080

Il legno lamellare viene ottenuto incollando, parallelamente alla fibratura, lamelle di spessore dai 20 ai 33mm dopo un processo di essiccazione che porta l'umidità delle lamelle in un intervallo compreso tra il 10% e il 15%.

Le lamelle vengono selezionate attraverso un controllo a macchina con taglio ed asportazione delle sezioni contenenti i difetti tipici del legno massiccio (nodi, imbarcamenti, inclinazione delle fibre, cipollature, fessure ecc..). I vari spezzoni sono incollati con "giunti a dita" ottenendo una tavola. L'incollaggio delle tavole sovrapposte è tale per cui i giunti delle lamelle siano in posizione sfalsata per non creare una zona di debolezza lungo il giunto stesso. L'ultima operazione, in ordine di tempo, consiste nell'applicazione di prodotti impregnanti e di un pigmento che conferisca alle travi il colore voluto. Le travi lamellari sono prodotte in lunghezze di 18mt

per motivi di trasporto su strada, ma non esistono veri e propri limiti dimensionali né di lunghezza né di altezza. Inoltre si possono produrre travi curve (durante l'incollaggio le lamelle possono essere curvate con raggio minimo pari a 200 volte lo spessore).

L'introduzione del lamellare in edilizia ha consentito di superare tutte le limitazioni tipiche del legno massello:

- **I difetti tipici del massello**
- **Il rischio di fessurazione** da stagionatura in opera perché è già posato
- **Il rischio di attacco da insetti**
- **La lunghezza limitata.**

Il lamellare è facilmente lavorabile: può essere agevolmente forato, piallato e fresato anche in cantiere. Le caratteristiche del prodotto finito sono influenzate dal materiale base. Le specie più utilizzate sono quelle di conifere:



• Particolare giunto a pettine.



• Legno lamellare incollato.

- Abete rosso: largamente disponibile e facile da lavorare
- Abete bianco: meno pregiato di quello rosso, presenta un accrescimento irregolare con conseguente riduzione delle caratteristiche meccaniche
- Larice: buone caratteristiche meccaniche e di durezza, ampiamente utilizzato per le strutture esposte agli agenti atmosferici e di aspetto

particolarmente piacevole

- Pino silvestre: ampiamente disponibile, ma poco usato in edilizia.

Un problema che affligge il lamellare è la “delaminazione”. È causata dall’alternanza di umido e secco e gradienti di umidità che provocano ritiri e rigonfiamenti non uniformi nella sezione. Per le travi poste all’esterno è sempre opportuno proteggerle dalla pioggia in estradosso.

QUALITÀ INDUSTRIALE E QUALITÀ A VISTA



Il legno lamellare commercialmente può essere fornito con due diverse qualità estetiche di superficie:

- **Qualità a vista:** per un impiego a vista, per esempio in abitazioni, in asili, scuole, impianti sportivi
- **Qualità industriale:** per l’impiego non a vista, per esempio in capannoni industriali, impianti di compostaggio, stalle o per travi di solai e di tetti rivestite

Ciascun produttore fornisce le proprie indicazioni in tal senso, in quanto si tratta di qualità che riguarda esclusivamente l’aspetto estetico (bluettatura, fessurazioni, qualità della piallatura) ma non le caratteristiche meccaniche.



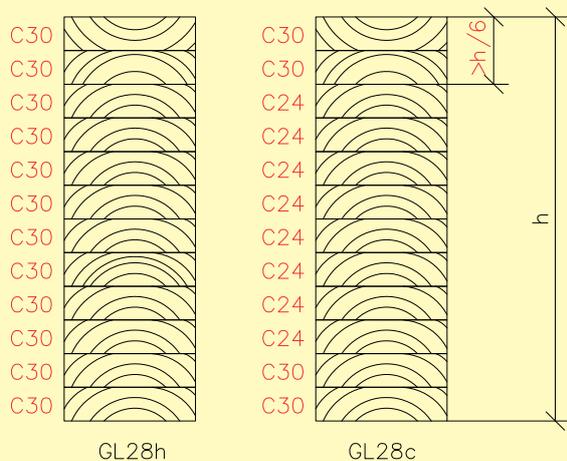
Designazione delle travi lamellari

Le travi lamellari sono indicate con la sigla **GL** seguito da un numero e una lettera. Dal punto di vista della resistenza meccanica la norma UNI EN 1194 distingue tra:

- **Sezioni omogenee**, identificate dalla lettera "h" (ad esempio GL 28h): sono costituite da lamelle della stessa categoria di classificazione

(stessa classe di resistenza delle lamelle, ad esempio C30) e della stessa specie legnosa (o combinazione di specie legnose);

- **Sezioni combinate**, identificate dalla lettera "c" (ad esempio GL 28c): le lamelle esterne appartengono a classi di resistenza superiori di quelle interne.



C30 è la designazione della classe di resistenza secondo la UNI EN 338 del legno massiccio

C = conifera

30 = valore della resistenza a flessione in N/mm^2 della lamella

GL = legno lamellare

h = omogeneo

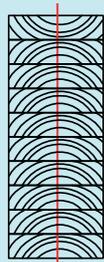
c = composto

CLASSE DI RESISTENZA DEL LEGNO LAMELLARE INCOLLATO	GL 24	GL 28	GL 32
Legno lamellare incollato omogeneo (h)	C24	C30	C40
Legno lamellare incollato combinato: lamelle interne/esterne (c)	C24/C18	C30/C24	C40/C30

- Esempi di composizione di travi lamellari in funzione delle classi di resistenza delle lamelle in conformità alla EN 338.

LAVORAZIONI E SAGOMATURA DEL LAMELLARE

MAI



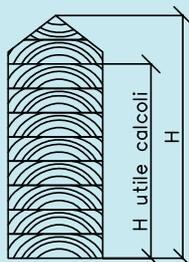
Il taglio in verticale (per ottenere due travi) non è mai consentito. Si perde la classe di resistenza delle lamelle

NO SE COMBINATO

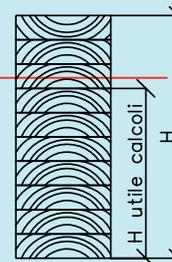


Il taglio in orizzontale (per ridurre l'altezza della trave) non è mai ammesso nel caso di lamellare combinato.

ATTENZIONE ALL'ALTEZZA UTILE



In caso di travi sagomate, nelle verifiche strutturali l'altezza utile ai fini della resistenza è quella fino all'ultima lamella sana



Il taglio in orizzontale è ammesso nel caso di lamellare omogeneo....
MA: nelle verifiche strutturali l'altezza utile della trave è quella fino all'ultima lamella sana

- Tagli sul lamellare.

- Considerazione sulla resistenza.



Analisi termoisometrica delle strutture



KliMat è il nuovo software di BigMat per la verifica termoisometrica delle strutture opache, anche contro-terra.



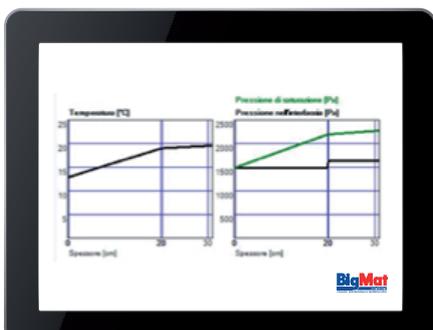
Crea la stratigrafia scegliendo il materiale dal **ricco database dei fornitori BigMat** di cui puoi leggere le descrizioni ed allegare le schede tecniche nella relazione tecnica generata da KliMat. Oppure **crea la tua libreria personalizzata**.



Verifica le prestazioni invernali, trasmittanza U, ma anche quelle estive con la valutazione dello sfasamento termico e attenuazione e con il calcolo della trasmittanza periodica Yie.



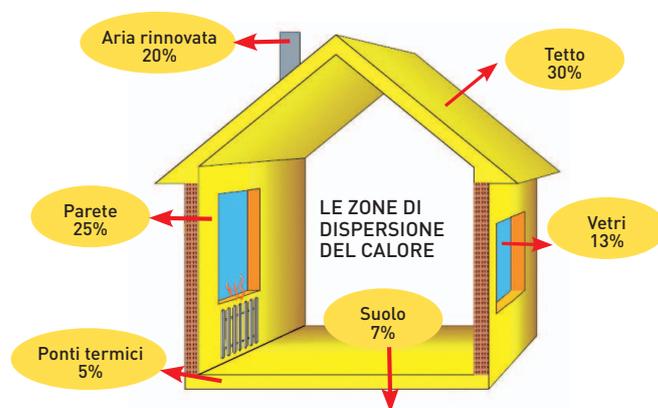
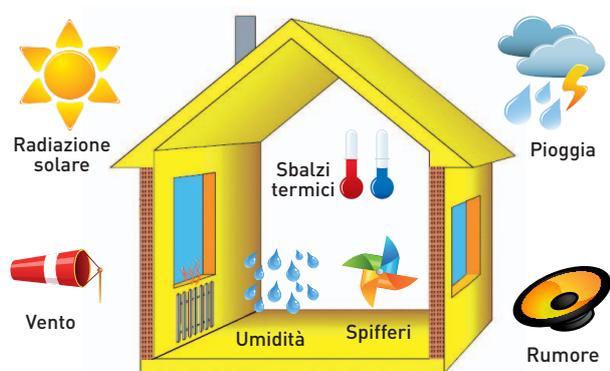
Con i diagrammi di Glaser, mese per mese, analizza il rischio di formazione di condensa.



COMFORT ABITATIVO E SISTEMA TETTO

La copertura è la parte dell'edificio attraverso cui si hanno le maggiori dispersioni di calore. Un tetto eseguito a regola d'arte deve offrire protezione non solo dal freddo in inverno, ma anche dal caldo in estate. Deve assicurare un adeguato livello di isolamento acustico, consentire la diffusione dell'umidità, evitare la formazione di condensa e durare nel tempo.

REQUISITI DELLA COPERTURA



I tetti sono esposti a diverse sollecitazioni, sia esterne (vento, rumore, intemperie, radiazione solare) sia interne (umidità, spifferi d'aria, sbalzi di temperatura), che influiscono sul comfort abitativo generale. Soprattutto per le costruzioni poco massive, come le strutture in legno, variazioni significative di temperatura e pressione di vapore, tra la parte interna ed esterna dell'edificio, possono comportare flussi d'aria e d'umidità che devono essere adeguatamente controllati.

Una corretta progettazione del sistema tetto deve considerare i suddetti fattori, nonché l'uso specifico a cui gli spazi sottostanti la copertura saranno adibiti.

Da un punto di vista termico, esistono due modi di concepire la coibentazione del tetto:

- Isolamento termico tra le orditure portanti: soluzione generalmente adottata nei casi di interventi di risanamento, che offre il vantaggio di un uso razionale degli spazi; tuttavia i puntoni rappresentano dei ponti termici;
- Isolamento termico sopra le orditure: soluzione adottata per le nuove costruzioni, che prevede la posa dell'isolante su un tavolato ligneo (uno strato di

perline), fissato sull'orditura portante, con il vantaggio, rispetto al precedente metodo, di annullare i ponti termici delle travi.

Gli isolanti, morbidi, come lana di roccia o lana minerale, necessitano per la posa sopra l'orditura, di listelli di contenimento che costituiscono un ponte termico. Per ridurre al minimo l'effetto del ponte, è bene sovrapporre un secondo strato ruotato di 90° rispetto al sottostante. In questo modo il ponte termico si riduce alla sola intersezione dei listelli.

I tetti isolati, adibiti a scopo abitativo, possono essere suddivisi in due tipologie secondo la presenza o meno di un'intercapedine di ventilazione (UNI 9460:2008):

- **Tetto caldo (isolato non ventilato)**, che prevede solo una microventilazione sottotegola (obbligatoria per lo smaltimento di eventuali infiltrazioni d'acqua attraverso il manto);
- **Tetto freddo (isolato ventilato)**, che prevede, invece, una vera e propria camera di ventilazione.



COMFORT ABITATIVO E SISTEMA TETTO

Trattandosi di strutture leggere, particolare attenzione deve essere posta nei confronti dell'isolamento termico estivo, inteso come protezione dal caldo (in estate la copertura può superare i 70°C). Per il contenimento dei consumi energetici invernali gli isolanti hanno caratteristiche in grado di soddisfare a pieno i limiti di trasmittanza imposti dal Dlg 311/2006. Negli ultimi anni, i consumi energetici per il raffrescamento hanno superato quelli per il riscaldamento (segno evidente che le strutture peccano in qualcosa!).



Limiti di trasmittanza U

ZONE CLIMATICHE	U (W/m ² K) limite 2010
A - B - C	0,38
D	0,32
E	0,30
F	0,29

• Valori limite della trasmittanza U per le coperture espressa in W/m²K in vigore dal gennaio 2010 (DLG 311/2006). Per avere consumi energetici bassi è consigliabile raggiungere una U pari a 0,19 W/m²K.

Per evitare problemi di surriscaldamento degli ambienti sottostanti, il pacchetto tetto deve possedere una buona inerzia termica, ossia deve essere capace di opporsi al passaggio del flusso di calore, deve assorbirne solo una quota, senza rilasciarla in maniera immediata (effetto di sfasamento, ovvero l'intervallo di tempo impiegato dall'onda termica per attraversare la struttura), e deve contribuire al contenimento delle oscillazioni della temperatura interna (effetto di smorzamento, o attenuazione, dell'onda termica). Uno sfasamento di 4 ore significa che l'onda termica arriva nel sottotetto dopo 4 ore di radiazione solare (se il picco di temperatura sulla superficie esterna si registra alle 14, viceversa, sulla superficie interna si avrà alle 18).

L'obiettivo è avere uno sfasamento di almeno 8 - 10 ore in modo che il calore, successivamente assorbito, possa essere smaltito nelle ore serali, più fresche, grazie alla ventilazione naturale.

Il coefficiente di attenuazione, indicato con il simbolo "fa", è un valore adimensionale, espresso con un numero compreso tra 0 ed 1, che indica la percentuale di intensità dell'onda termica che attraversa la struttura dall'esterno all'interno. Descrive l'andamento della

temperatura superficiale interna rispetto a quella esterna. Avere "fa" pari a 0,2 significa che, qualora la temperatura della superficie esterna vari di 40°C rispetto al valore medio giornaliero, la temperatura della superficie interna della struttura muterà, rispetto al suo valore medio, solo di 40x0,2=8°C.

L'obiettivo è realizzare una copertura che abbia un basso valore di "fa" per far sì che la temperatura superficiale interna della struttura rimanga pressoché costante.

A livello normativo, il parametro che tiene conto del comportamento estivo delle strutture è la **trasmittanza termica periodica "Yie"**, dato dal prodotto della trasmittanza "U" per il coefficiente di attenuazione "fa".



Limiti di trasmittanza periodica Yie

Yie [W/m²K] - DPR 59/2009

	Yie	Oppure massa superficiale minima (esclusi intonaci)
Strutture orizzontali	< 0,2	-
Strutture verticali	< 0,12	Ms > 230 kg/m ²

• Limiti validi solo in caso di irradianza maggiore di 290W/m². Valore consigliato: Yie < 0,1 (per tetti e pareti).

Osservando il DPR 59/09, si notano delle incongruenze:

- La verifica estiva non è obbligatoria per tutte le località, ma solo per quelle con irradianza maggiore di 290W/mq;
- I limiti imposti per la copertura, nonostante sia l'elemento più disperdente, sono meno restrittivi rispetto alle pareti.

Per quanto detto sopra, oltre alla "Yie", è opportuno prendere in considerazione le indicazioni date dalla linea guida del DM 26/06/2009 che fornisce classi di prestazione, in base ai valori di sfasamento ed attenuazione, tali da garantire adeguati livelli di comfort.

SFASAMENTO (ORE)	ATTENUAZIONE	PRESTAZIONE
$\phi > 12$ ore	fa < 0,15	Ottima
10 < ϕ < 12	0,15 < fa < 0,3	Buona
8 < ϕ < 10	0,3 < fa < 0,4	Sufficiente
6 < ϕ < 8	0,4 < fa < 0,6	Mediocre
$\phi > 6$ ore	fa > 0,6	Cattiva

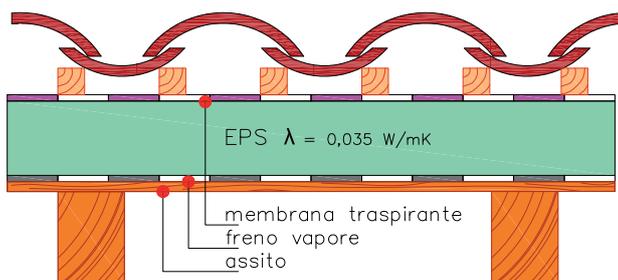
• Linee guida DM 26/06/2009.

CARATTERISTICHE DELL'ISOLANTE

Gli isolanti termici sono principalmente caratterizzati dalla conducibilità termica "λ" che esprime l'attitudine di un materiale a condurre calore. Un isolante sarà tanto migliore quanto più bassa è la sua λ, oppure quanto maggiore è il suo spessore.

Basare la scelta dell'isolante sulla "λ" è corretto per valutare la prestazione termica invernale (la trasmittanza U). La stessa cosa non si può dire per le prestazioni estive.

Si prendano in esame dei pacchetti tetto, realizzati con isolanti di differente λ, posti sopra l'orditura.

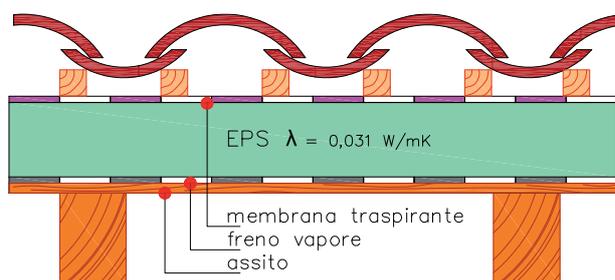


S [cm]	U [W/mqK]	Yie [W/mqK]	SFASAMENTO	ATTENUAZIONE
14	0,22	0,18	3h 31min	0,852
20	0,16	0,13	4h 18min	0,833
42	0,08	0,05	7h 59min	0,599

• Isolamento con EPS - λ = 0,035 W/m·K; ρ = 19,5 kg/m³.

Considerando uno spessore di 14 cm di polistirene, EPS di λ pari a 0,035 W/mK, pur rispettando i limiti normativi estivi si ha solamente uno sfasamento di 3 ore e mezzo. Aumentando lo spessore, la trasmittanza U migliora, ma non vi sono benefici in termini di inerzia termica. Per avere 8 ore di sfasamento sarebbero necessari almeno 40cm di spessore.

Utilizzando un altro isolante, della stessa natura (sintetica), ma con conducibilità minore (λ pari a 0,031 W/mK), il comportamento estivo non migliora. Impiegando isolanti naturali, quali la fibra di legno, si osserva che, sebbene λ sia peggiore, già con soli



S [cm]	U [W/mqK]	Yie [W/mqK]	SFASAMENTO	ATTENUAZIONE
14	0,203	0,173	3h 37min	0,853
20	0,146	0,12	4h 29min	0,828
42	0,075	0,042	8h 28min	0,562

• EPS - λ = 0,031 W/m·K; ρ = 19,5 kg/m³ ; c_p = 1350 J/kgK.

14 cm si riescono a soddisfare tanto i limiti invernali (con prestazione leggermente inferiore) quanto quelli estivi garantendo uno sfasamento di oltre 9 ore. Con 20cm si raggiunge una classe prestazionale estiva "ottima".



S [cm]	U [W/mqK]	Yie [W/mqK]	SFASAMENTO	ATTENUAZIONE
14	0,244	0,11	9h 13min	0,452
20	0,176	0,042	12h 57min	0,237

• Fibra legno - λ = 0,038W/m·K; ρ = 130 kg/m³ ; c_p = 2150 J/kgK.

COMFORT ABITATIVO E SISTEMA TETTO

Perché queste differenze?

Gli isolanti sintetici sono a bassa densità perché formati da celle d'aria in quiete che conferiscono bassi valori di "λ". Tuttavia non contribuiscono positivamente all'inerzia termica perché si scaldano facilmente.

I materiali che partecipano all'inerzia sono quelli contraddistinti da elevata capacità termica (C) – quantità di calore che bisogna fornire al materiale per aumentargli la temperatura di 1°C – ovvero da elevata massa M (quindi densità ρ [kg/m³]) e calore specifico a pressione costante c_p [J/kgK].

Nella fisica tecnica, per confrontare materiali con caratteristiche differenti e valutare l'idoneità a svolgere funzioni di sfasamento, si introduce la "diffusività termica" α [m²/s] che rappresenta la velocità alla quale il calore si diffonde dalla superficie esterna verso quella interna del materiale e mette in relazione la λ con la capacità termica.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

Minore è il valore di diffusività, più lentamente il calore raggiunge la faccia opposta e quindi migliore è il comportamento. Il materiale infatti ha buone capacità

isolanti (ridotti valori di conducibilità termica) e buona capacità di accumulare calore (elevati valori di calore specifico e di densità).

Gli isolanti naturali (fibra di legno, cellulosa, sughero, ecc..) godono di queste caratteristiche risultando idonei sia per il comfort estivo, sia invernale, con spessori contenuti.

Riassumendo, nella stratigrafia del pacchetto tetto oltre alla λ e allo spessore è opportuno:

- **Considerare la densità dell'isolante (più alta è, meglio è)**
- **Considerare il calore specifico (più alto è, meglio è)**
- **Posizionare l'isolante sopra l'orditura (altrimenti costituirebbe ponte termico)**
- **Privilegiare soluzioni con intercapedine ventilata** che diminuisce la temperatura dell'isolante e favorisce la sua asciugatura in caso di limitata condensazione
- **Considerare la resistenza a compressione per una posa continua**

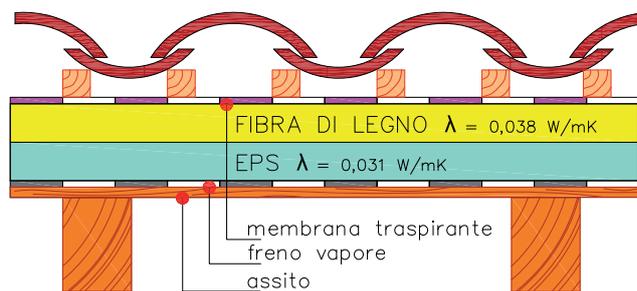
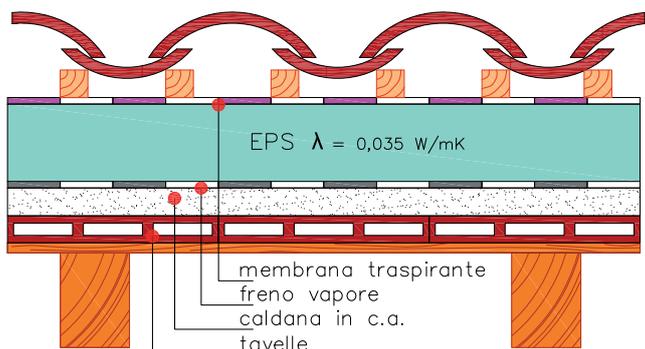
In alternativa, l'inerzia termica può essere migliorata incrementando lo spessore del tavolato. Oppure sostituendo il tavolato con pannelle, mezzane, o altri prodotti in laterizio, eventualmente abbinati ad una caldana gettati in opera. Questa tecnica, che

ISOLANTE	DENSITÀ ρ [kg/m³]	CALORE SPECIFICO c _p [J/kg·K]	CONDUCIBILITÀ TERMICA λ [W/m·K]	DIFFUSIVITÀ TERMICA α [m²/s]	RESISTENZA ALLA DIFFUSIONE DI VAPORE μ
Fibra di legno	150	2080	0,04	1,28205E-07	10
Pannelli in lana di legno con leganti inorganici	300	2080	0,085	1,36218E-07	10-20
Sughero espanso	110	1560	0,04	2,331E-07	10
Fibra di legno	80	2080	0,04	2,40385E-07	10
Lana di roccia ad alta densità	100	1030	0,035	3,39806E-07	1
Lana di vetro	80	1030	0,035	4,24757E-07	12
Perlite espansa in granuli	150	900	0,066	4,88889E-07	1
Poliuretano espanso rigido	35	1260	0,028	6,34921E-07	30-70
Cellulosa	30	2088	0,04	6,3857E-07	1
Lana di pecora in materassino	30	1700	0,04	7,84314E-07	1-3
Polistirene estruso	35	1260	0,035	7,93651E-07	80-200
Lino	30	1600	0,04	8,33333E-07	1
Lana di roccia a bassa densità	30	1030	0,035	1,13269E-06	1
Polistirene espanso con grafite	20	1260	0,031	1,23016E-06	30-70
Polistirene espanso sinterizzato	15	1260	0,036	1,90476E-06	40

• Valori diffusività termica dei materiali isolanti.

porta benefici anche dal punto di vista acustico, è molto utilizzata nel Centro Italia, in caso di ristrutturazioni, per riproporre strutture che si rifanno alla tradizione. Tuttavia è di difficile realizzazione nell'attacco tetto-parete e pone maggiore attenzione nel controllo dell'umidità.

È possibile, ancora, combinare diverse tipologie di isolanti: soluzione spesso adottata per ridurre i costi (strato più interno in EPS e strato superiore in fibra di legno in spessori secondo le prestazioni che si vogliono ottenere). In questo caso è bene eseguire la verifica igrometrica della stratigrafia.



S [cm]	U [W/mqK]	Yie [W/mqK]	SFASAMENTO	ATTENUAZIONE
14	0,227	0,1	6h 38min	0,429

S [cm]	U [W/mqK]	Yie [W/mqK]	SFASAMENTO	ATTENUAZIONE
14	0,22	0,13	7h 13min	0,58

• EPS (λ = 0,035) + caldana in c.a. e tavelle in laterizio.

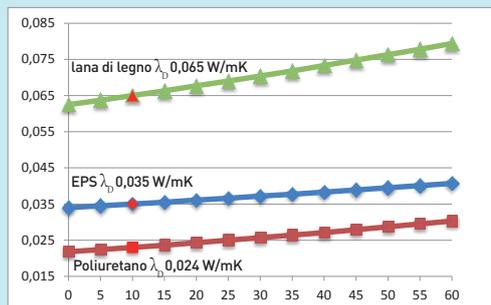
• Fibra legno (λ = 0,038) EPS (λ = 0,031); Spessore complessivo costituito da 8 cm di EPS e 6 cm di fibra di legno.

LAMBDA DI PROGETTO (UNI EN ISO 10456)



Nel calcolo della trasmittanza, il progettista ha a disposizione il valore della conducibilità dichiarata "λ₀" dal produttore, misurata alla temperatura media di riferimento di 10° C su campioni stagionati in ambiente con temperatura di 23° C e umidità relativa del 50%. Queste condizioni di prova sono individuate dalle norme armonizzate europee come rappresentative delle condizioni di esercizio più comuni per i materiali isolanti impiegati in edilizia. Tuttavia, qualora il progettista preveda che le condizioni di esercizio dell'isolante si discostino in modo significativo dalle condizioni di "laboratorio", il valore λ₀ deve essere trasformato in valore di conducibilità di progetto "λ_d" in accordo con la norma di riferimento UNI EN ISO 10456.

Gli isolanti, infatti, sono molto condizionati dalla temperatura di esercizio. La loro performance peggiora all'aumentare della temperatura alla quale operano nella struttura.



In conclusione, un isolante, a seconda delle condizioni di esercizio, può avere più di una conducibilità di progetto λ_d

$$\lambda_d = \lambda_0 \cdot F_t \cdot F_m \cdot F_a$$

F_t = fattore di conversione della temperatura

F_m = fattore di conversione dell'umidità

F_a = fattore di conversione dell'invecchiamento

Per i valori dei coefficienti si rimanda alla norma UNI EN 10456

• Figura 2 - Conducibilità termica in funzione della temperatura di esercizio in accordo alla UNI EN 10456.

POSA CONTINUA O DISCONTINUA DELL'ISOLANTE TERMICO? LA RESISTENZA MECCANICA

La posa in continuo dell'isolante, sia nel caso di tetti freddi che caldi, ha l'indubbio vantaggio di eliminare i ponti termici ed acustici. Per essere idoneo, l'isolante deve possedere sufficiente resistenza a compressione (sia ai carichi distribuiti che concentrati) al fine di sopportare il carico trasmesso dalla copertura e non subire elevate deformazioni che porterebbero nel tempo ad una riduzione di spessore e, quindi, ad un peggioramento della prestazione termica.

Con la posa discontinua, a doppio strato, il peso della copertura viene trasmesso all'orditura portante tramite i moraletti di contenimento dell'isolante.

Nel caso di posa continua, il peso viene scaricato, tramite i listelli di ventilazione, sull'isolante (schiacciandolo). Da non trascurare che, durante la posa, l'isolante è soggetto al pedonamento degli operai che costituisce un carico concentrato.

La resistenza è legata alla densità del materiale e alla natura dell'isolante. In generale maggiore è la densità maggiore è la resistenza. Al contrario la porosità riduce la resistenza a compressione.

Se il pannello non è sufficientemente rigido, il parametro che descrive meglio il suo comportamento è la resistenza al carico puntuale. Infatti, l'isolante

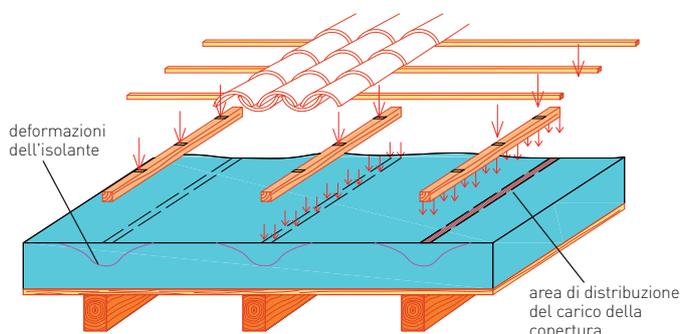
si schiaccia prevalentemente lungo la superficie di contatto con il listello.

In altre parole l'isolante deve essere in grado di sopportare un carico concentrato sulla striscia larga quanto il listello.

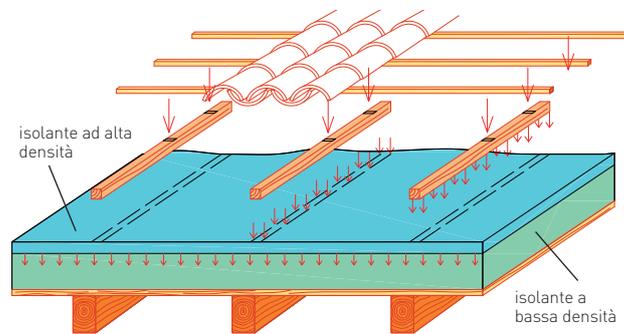
I parametri da prendere in considerazione sono 2:

- **Resistenza a compressione al 10% di deformazione:** fornisce il valore della resistenza a compressione [in kPa], con carico distribuito, quando lo spessore si riduce del 10% (prova eseguita in conformità alla UNI EN 826)
- **Resistenza al carico puntuale** [unità di misura in N] (point load, in riferimento alla norma UNI EN 12430).

In alcuni casi si ricorre ad un doppio strato di isolamento termico con lo strato più esterno, di almeno 2cm di spessore, a densità maggiore di quello sottostante. Il pannello superficiale più denso (e quindi rigido) trasferirà il carico in maniera uniforme su tutta la superficie del pannello meno denso che, di conseguenza, risulterà soggetto a carico distribuito e quindi meno sollecitato. In questo modo è possibile la posa in continuo. In più la doppia densità migliora il comportamento acustico del sistema.



Per tetti a falde sono consigliati valori di resistenza a compressione al 10% di deformazione maggiori di 50 kPa. Per i tetti piani almeno di 150 kPa.



Dimensionando opportunamente la larghezza e il passo dei listelli è possibile individuare la configurazione più idonea.

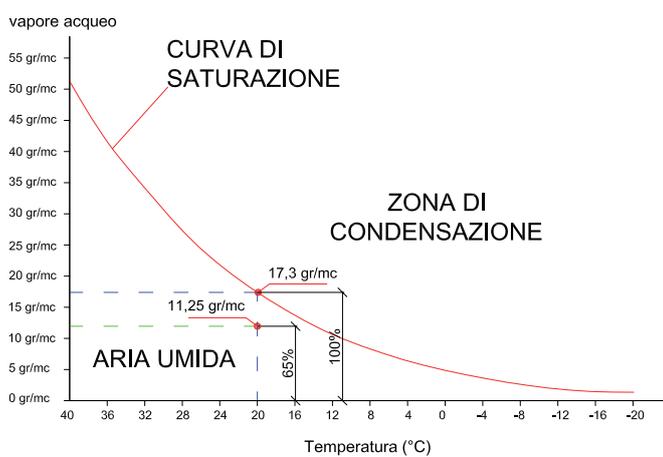
- Deformazioni dell'isolante in corrispondenza della listellatura.

- Deformazione uniforme con uno strato superiore a maggiore densità.

GESTIONE DEL FLUSSO DI UMIDITÀ

Per quanto detto fino a questo punto, è evidente come le condizioni necessarie per la durabilità del tetto siano la corretta gestione del flusso di umidità e l'ermeticità all'aria.

Aria umida



Il vapore acqueo si trova disciolto nell'aria: maggiore è la temperatura, maggiore è il quantitativo che l'aria può contenere.

Per ogni temperatura esiste un limite, oltre il quale il vapore condensa trasformandosi in rugiada (aria satura). Inoltre, maggiore è la quantità di vapore maggiore è la sua pressione (la massima pressione di vapore è, ovviamente, quella in condizioni di saturazione).

L'umidità "assoluta" (g/m^3 di aria secca) è il quantitativo di vapore (grammi) presente nell'ambiente (1 m^3 di aria secca).

Solitamente l'umidità viene espressa come Umidità Relativa (%), ovvero come rapporto percentuale tra il vapore presente e il massimo quantitativo che potrebbe essere contenuto a quella temperatura.

Ad esempio, a 20°C l'aria può contenere un massimo di $17,3 \text{ gr}/\text{m}^3$ di vapore (valore di saturazione). Se ci sono $11,25 \text{ gr}/\text{m}^3$ (valore assoluto) significa che $\text{U.R.} = 11,25/17,3 = 65\%$.

Il vapore, come il calore, tende ad attraversare gli strati della copertura secondo un processo naturale di "diffusione" causato da una differenza di pressione di vapore tra gli ambienti interni ed esterni.

Le molecole gassose, sempre in movimento a causa del loro contenuto di energia, riempiono tutto lo spazio a loro disposizione: questo stato di equilibrio produce, in base alla temperatura, una determinata pressione. Nel caso in cui ci sia una differenza di pressione di vapore (gradiente di pressione) tra due ambienti, si creerà una corrente di compensazione volta a ripristinare l'equilibrio.

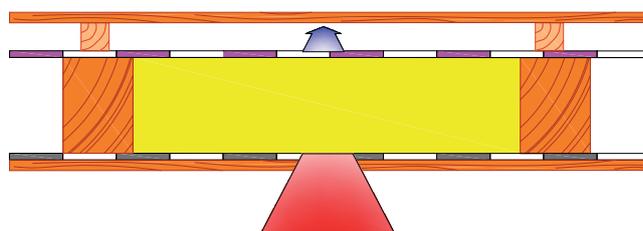
In linea di principio, la direzione del vapore coincide con quella del calore (a maggiori temperature si può avere un maggior contenuto di umidità).

La diffusione è un processo molto lento (ore o giorni) e l'entità del flusso dipende dalla natura del materiale attraversato. Anche nei materiali traspiranti il flusso di vapore (g/h per m^2 di superficie) rimane nell'ordine di qualche unità.

È opportuno controllare la trasmissione del vapore evitando che nella stratigrafia si possa raggiungere la temperatura di rugiada con formazione di condensa interstiziale.

D'inverno il vapore tenderà ad uscire dalla copertura. D'altronde il fenomeno è amplificato dall'elevato quantitativo di vapore prodotto dagli abitanti, circa 12/18 litri di vapore al giorno (igiene personale, doccia, sudorazione, cucina, bucato, piante) che spesso non viene smaltito attraverso la corretta areazione dei locali.

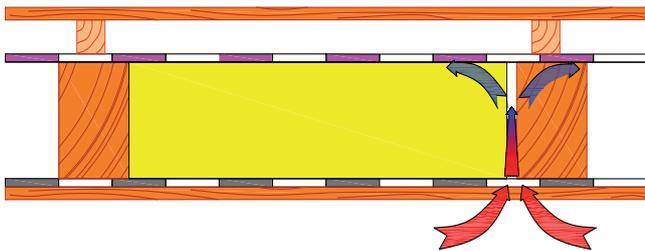
In estate, in funzione delle condizioni climatiche, il vapore potrebbe seguire il percorso inverso entrando attraverso la copertura.



• Diffusione del vapore attraverso gli strati della copertura.

COMFORT ABITATIVO E SISTEMA TETTO

Accanto a tale fenomeno di diffusione, potrebbe verificarsi uno scambio di vapore per “convezione” attraverso le fessure aperte nella copertura, qualora questa non sia perfettamente “ermetica”. Questo processo, a differenza della diffusione, è molto veloce e coinvolge il trasferimento di grandi quantità di vapore aumentando il rischio di formazione di condensa.



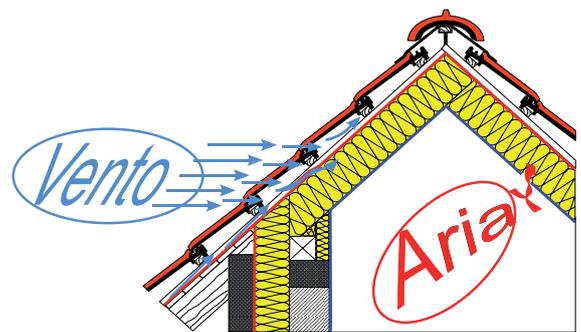
• Convezione el vapore attraverso giunti aperti.

Larghezza giunti	Temperatura interna/umidità	Temperatura esterna/umidità	ΔP	Flusso di vapore per metro di lunghezza del giunto
1 mm	20°C / 50%	15°C / 70%	2 Pa	34 g/h
5 mm	20°C / 50%	15°C / 70%	20 Pa	660 g/h

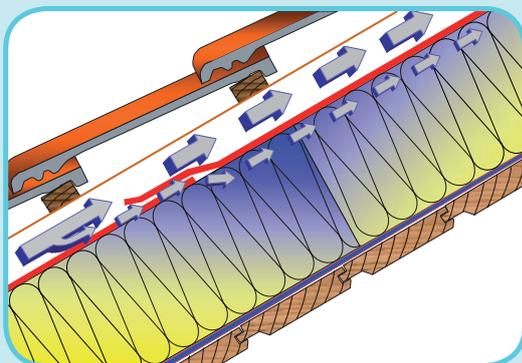
• Flusso di vapore in funzione delle dimensioni dei giunti.

Tenuta all'aria e al vento

L'ermeticità si ottiene attraverso l'impiego di **uno strato interno di tenuta all'aria** (schermo freno/barriera al vapore posta all'intradosso dello strato isolante), **ed uno strato esterno di tenuta al vento e all'acqua** (ad esempio una membrana impermeabile traspirante posta all'estradosso dello strato isolante), avendo cura di sovrapporre correttamente le membrane e sigillare le sovrapposizioni per evitare giunti aperti. Un isolante termico, soprattutto se costituito da materiale fibroso, soggetto a problemi di condensazione, può perdere drasticamente le prestazioni termiche fino al 90%.

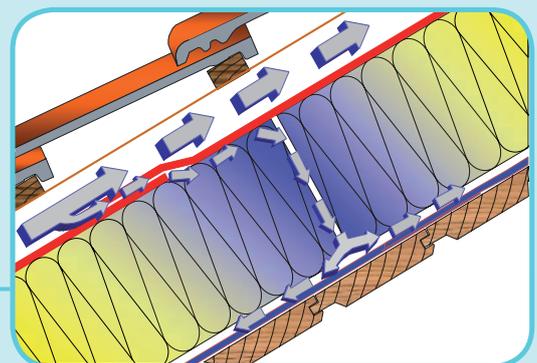


EFFETTI NEGATIVI DELLA MANCATA ERMETICITÀ



Nelle intercapedini ventilate, l'aria passa attraverso il giunto. Dove il pannello isolante risulta essere continuo, si assiste ad un raffreddamento dell'isolante concentrato nella parte superiore. Ciò comporta una perdita di prestazioni termiche nel periodo invernale.

L'aria umida può infiltrarsi tra i giunti dei pannelli e condensare a livello del tavolato interno.



Garantita l'ermeticità, la scelta degli schermi e delle membrane traspiranti è condizionata da diversi fattori, quali:

- Modello funzionale del tetto (tetto freddo o tetto caldo)
- Pendenza del tetto
- Natura dell'isolante
- Ambiente sottostante
- Superficie d'appoggio dell'isolante (perlinato in legno, tavelle con caldana in c.a.)

Nelle coperture continue (coperture piane) la scelta è obbligata. La continuità dell'elemento di tenuta all'acqua è realizzato con una membrana bituminosa, impermeabile sia all'acqua sia al vapore. Pertanto, internamente, l'unica soluzione è prevedere una barriera al vapore che impedisca il suo passaggio che altrimenti condenserebbe in corrispondenza della membrana bituminosa esterna.

Nei tetti discontinui a falde, la pendenza aiuta lo smaltimento delle acque. Inoltre, la presenza di uno strato di ventilazione, di spessore costante e continuo, facilita il deflusso di eventuali infiltrazioni e favorisce lo smaltimento del vapore acqueo proveniente dall'interno. Il controllo della diffusione del vapore si ottiene per mezzo di un freno al vapore (linea blu), come elemento interno di tenuta all'aria, che limita il passaggio del vapore senza impedirlo. Esternamente si utilizza una membrana

altamente traspirante (linea rossa) che agevola l'asciugatura dell'isolante evitando che si bagni. Si realizza quello che viene comunemente denominato "tetto traspirante".

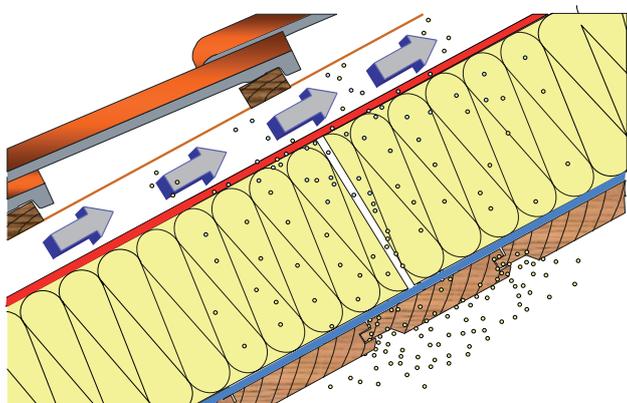
Anche l'isolante deve essere possibilmente traspirante (ad esempio fibroso) per accelerare la diffusione del vapore.

Nei tetti traspiranti si sconsiglia l'uso della barriera al vapore per favorire una eventuale asciugatura interna nella stagione calda.

Del resto anche la UNI EN 13788, inerente la verifica igrometrica delle strutture, ne indica l'uso solo in quei casi in cui non è possibile fare diversamente, ovvero in caso di locali ad elevata produzione di vapore (piscine, distillerie).

L'utilizzo di isolanti non traspiranti e/o di barriere al vapore impone il ricorso ad adeguati sistemi impiantistici di ricambio e depurazione dell'aria, soprattutto in concomitanza di infissi ad alta prestazione energetica, legati all'insorgere di rilevanti problemi igienico sanitari e costruttivi (nel caso di coperture con struttura in legno è necessario evitare che l'umidità di equilibrio del legno superi il 20%).

Solo il 2% riesce ad essere smaltito per diffusione attraverso la struttura! Del resto anche la normativa impone una attenta valutazione nella scelta della barriera al vapore al posto del freno al vapore.



La stratigrafia di un tetto traspirante ad asciugatura veloce deve prevedere elementi che offrono una resistenza al passaggio del vapore, valutata in termini di spessore d'aria equivalente "Sd", decrescenti dall'interno verso l'esterno.



Norma UNI EN 13788

L'adozione di una barriera al vapore deve sempre essere valutata con molta cautela in quanto con la sua presenza spesso si possono verificare inconvenienti:

- riduzione dell'asciugamento estivo
- nelle strutture con impermeabilizzazione sul lato esterno l'eventuale umidità presente all'atto della costruzione non ha più la possibilità di essere smaltita
- la barriera al vapore può perdere le sue caratteristiche

COMFORT ABITATIVO E SISTEMA TETTO

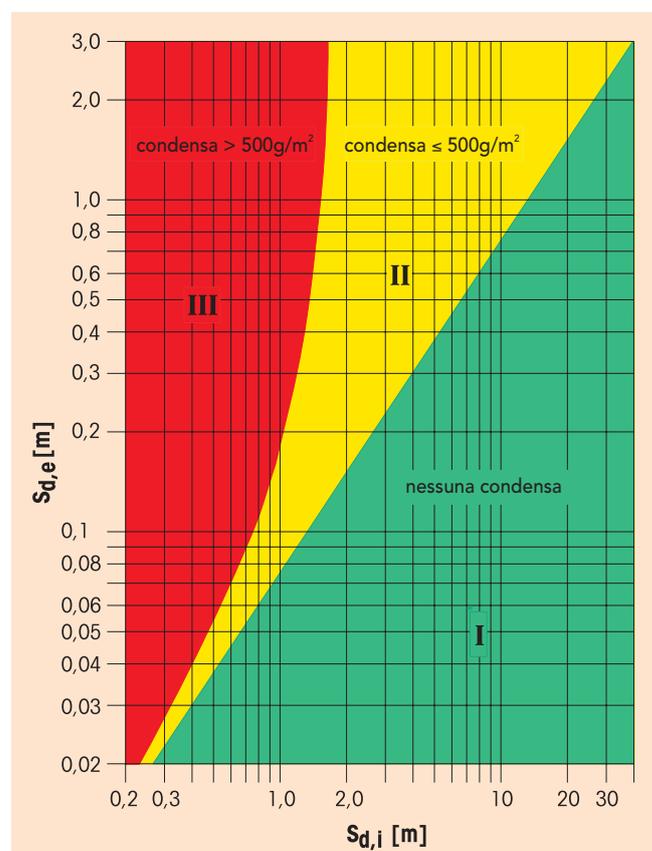
In caso di tetti caldi, la microventilazione, ottenuta con listelli di posa delle tegole, risulta insufficiente per l'asportazione dell'energia termica, ma è ancora efficace per smaltire il vapore proveniente dall'interno delle abitazioni se è garantita un'apertura di 200 cm² per ogni metro lineare di sviluppo della falda del tetto.

Secondo la norma tedesca DIN 4108-3, valida per tetti caldi, e come mostrato nel grafico accanto, combinando freni al vapore e membrane traspiranti con valori di Sd tali per cui si ricade nell'area verde non c'è rischio di condensa a prescindere dalle caratteristiche dell'isolante utilizzato.

Ad esempio, impiegando un freno al vapore con Sd pari a 2 metri e una membrana traspirante con Sd pari a 0,03 metri si ricade nell'area verde senza rischio di condensa.

Nella tabella 4 si riportano i valori consigliati di Sd, secondo la norma UNI 11470, da impiegare per gli schermi e membrane traspiranti in funzione della destinazione d'uso degli ambienti. Le barriere al vapore sono consigliate solo per le classi 4 e 5.

È sempre opportuno prevedere una verifica igrometrica.



• Norma DIN4108-3: combinazione di schermi al vapore [Sd,i] posto all'intradosso dell'isolante e membrane traspiranti [Sd,e] poste all'estradosso dell'isolante.

VALORI CONSIGLIATI PER GLI SMT IN BASE ALLA UNI11470

Classe di umidità	Edificio (esempi)	Sotto il coibente	Sopra il coibente
Classe 1	Magazzini	Schermo freno al vapore Sd ≥ 2 m	Membrana traspirante Sd ≤ 0,3 m
Classe 2	Uffici, negozi	Schermo freno al vapore Sd ≥ 2 m	Membrana traspirante Sd ≤ 0,3 m
Classe 3	Alloggi con basso indice di affollamento	Schermo freno al vapore Sd ≥ 2 m	Membrana traspirante Sd ≤ 0,3 m
Classe 4	Alloggi con alto indice di affollamento, palestre, cantine; edifici riscaldati con sistemi a gas senza camino	Schermo barriera al vapore Sd ≥ 100 m	Membrana traspirante Sd ≤ 0,3 m
Classe 5	Edifici speciali (lavanderie, distillerie, piscine)	Schermo barriera al vapore con valore Sd da verificare secondo UNI EN ISO13788	Membrana traspirante Sd ≤ 0,3 m

Membrane traspiranti e freni/barriere al vapore

Il valore fondamentale, caratteristico della diffusione del vapore acqueo, viene espresso dal coefficiente adimensionale μ , che indica la resistenza al passaggio del vapore offerta dai materiali da costruzione, rispetto a quella di riferimento dell'aria (dove naturalmente $\mu=1$). Quanto minore è questo valore, tanto più facilmente il vapore riesce a penetrare il materiale.

COEFFICIENTE DI RESISTENZA ALLA DIFFUSIONE	CLASSIFICAZIONE
Fino a 10	Diffusione elevata (traspir.)
Da 10 a 50	Diffusione media
Da 50 a 500	Diffusione limitata
Infinito	Barriera al vapore

- *Classificazione della resistenza alla diffusione del vapore acqueo dei materiali*

Se il coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore viene moltiplicato per lo spessore d (in metri) si ottiene lo spessore dello strato d'aria equivalente S_d . Esso serve per confrontare tra loro materiali di diverso spessore per i quali μ non sarebbe sufficiente a descriverne il comportamento.

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

MATERIALE	μ
Laterizio	20
Legno	50-200
Cemento	100-130
Isolanti sintetici	20-300
Polistirene estruso	150
PVC	20000
Telo bituminoso	75000
Vetro, metallo	$\approx \infty$

Esempio: Polistirene estruso

$$d = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}; \quad \mu = 150 \Leftrightarrow S_d = 150 \times 0,1 = 15 \text{ m}$$

Significato: 10 cm di estruso frenano il vapore come 15m d'aria



Norma UNI 11470:2013

Secondo tale norma, le membrane sintetiche, si distinguono in funzione del valore di S_d :

- barriere vapore $S_d \geq 100 \text{ m}$
- freni vapore $2 \text{ m} < S_d < 20 \text{ m}$
- membrane traspiranti $0,1 \text{ m} < S_d < 0,3 \text{ m}$
- membrane altamente traspiranti $S_d \leq 0,1 \text{ m}$

BLOWER DOOR TEST PER LA VERIFICA DELL'ERMETICITÀ



(Norma europea EN 13829 e nazionale ISO 9972)

Serve per determinare l'ermeticità di una casa. Esso valuta il flusso d'aria che attraversa l'involucro edilizio, a seguito della differenza di pressione (50 Pascal) generata da un potente ventilatore. Si aspira l'aria dall'interno dell'edificio in modo da creare una depressione di 50 Pascal. In questo modo nelle fessure, eventualmente presenti nell'involucro dell'edificio, entrerà dell'aria dall'esterno. Le infiltrazioni d'aria potranno essere individuate attraverso una termocamera, un anemometro oppure un generatore di fumo.

Il test rileva la permeabilità all'aria "n50" (flusso d'aria/volume edificio).



Tipici valori di n50 sono:

- casa passiva $\leq 0,6 / \text{h}$
- edificio a basso consumo energetico $\leq 2,0 / \text{h}$
- edificio con impianto di ventilazione forzata $\leq 1,5 / \text{h}$
- edificio tradizionale $\leq 3,0 / \text{h}$

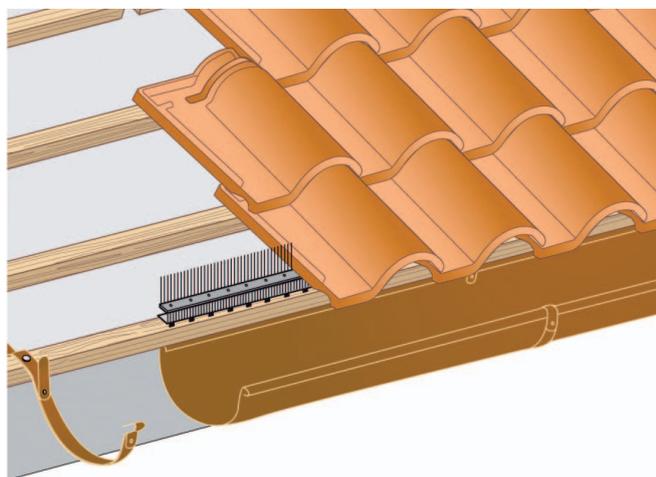
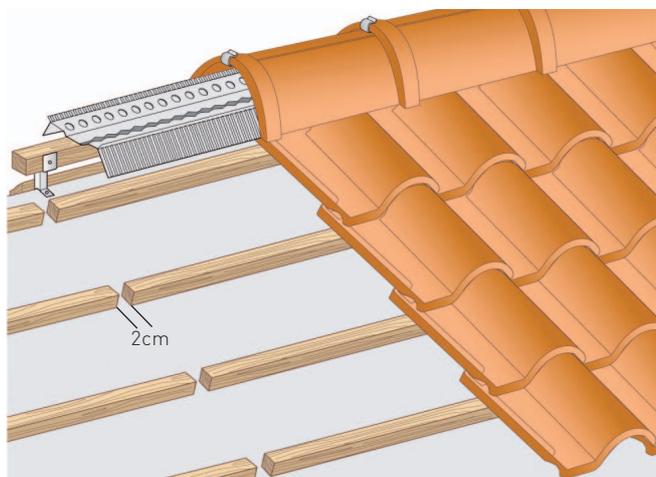
Un valore di n50 di 4 all'ora significa che con una differenza di pressione di 50 Pa il volume d'aria dell'edificio viene cambiato per 4 volte in un'ora.

Microventilazione e macroventilazione

Il vapore per essere smaltito necessita di una adeguata ventilazione. I sistemi di circolazione dell'aria sono di due tipi: microventilazione e macroventilazione

MICROVENTILAZIONE

La **microventilazione** è quella che deve circolare fra i coppi e le tegole, e risulta indispensabile per evitare il ristagno di umidità dovuto alla porosità dei prodotti, a condensazioni, ad infiltrazioni, etc.. Inoltre riduce gli shock termici in quanto tende ad eliminare le differenze di temperatura fra il di sotto e il di sopra delle tegole. Per realizzare la microventilazione si ricorre, generalmente, alla posa delle tegole su una listellatura semplice facendo attenzione ad interrompere la continuità delle file parallele (almeno 2cm) come mostrato nelle figure sottostanti.



• Microventilazione.

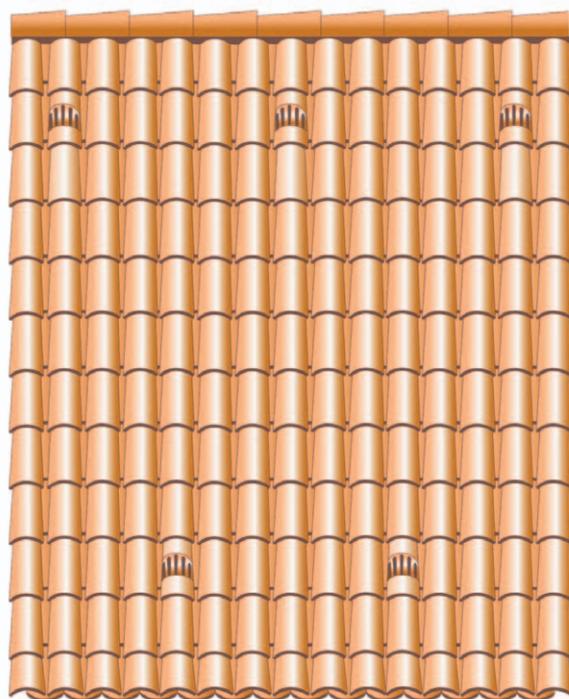


Norma UNI 9460

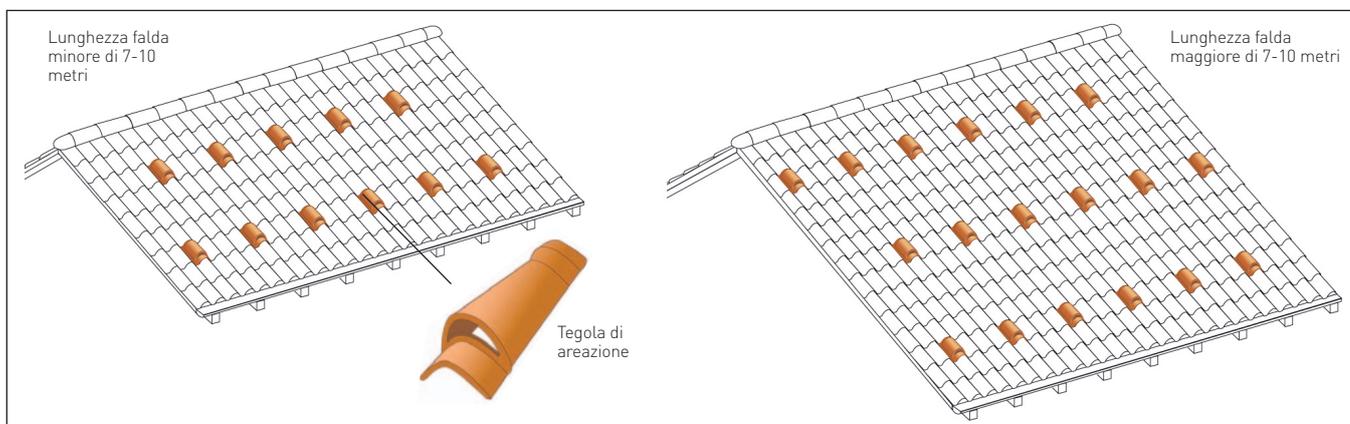
La **posa del manto mediante allettamento di malta (umida)** è assolutamente da evitare poiché, oltre ad impedire la circolazione dell'aria e creare zone in cui l'acqua è più facilmente trattenuta, determina un regime vincolistico tra manto di copertura e supporto che si oppone alle naturali variazioni dimensionali di origine termica del manto stesso.

Il tiraggio può essere migliorato ricorrendo a speciali listelli traforati e al posizionamento di speciali tegole di areazione.

Le tegole d'aerazione si dispongono su file orizzontali. Su falde di forma regolare sono normalmente sufficienti due file: una sulla terza fila dalla linea di gronda e una sulla penultima fila prima della linea di colmo; tegole d'aerazione poste nella parte media della falda si rivelano utili solo se questa supera i 7-10 m di lunghezza.



• Posa delle tegole di areazione.

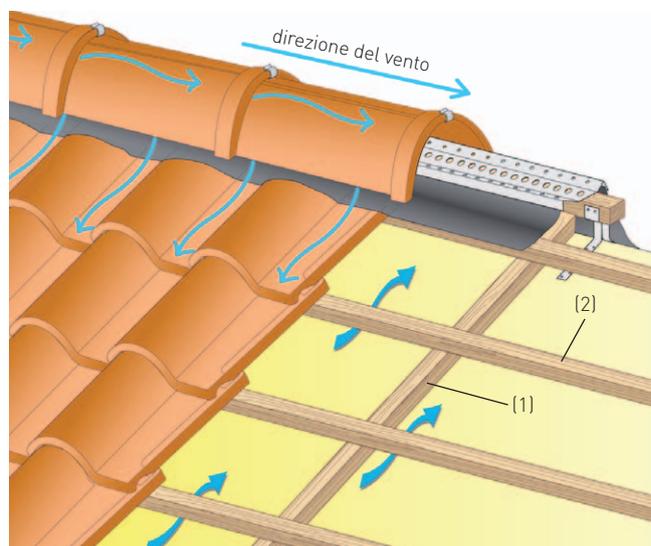


MACROVENTILAZIONE

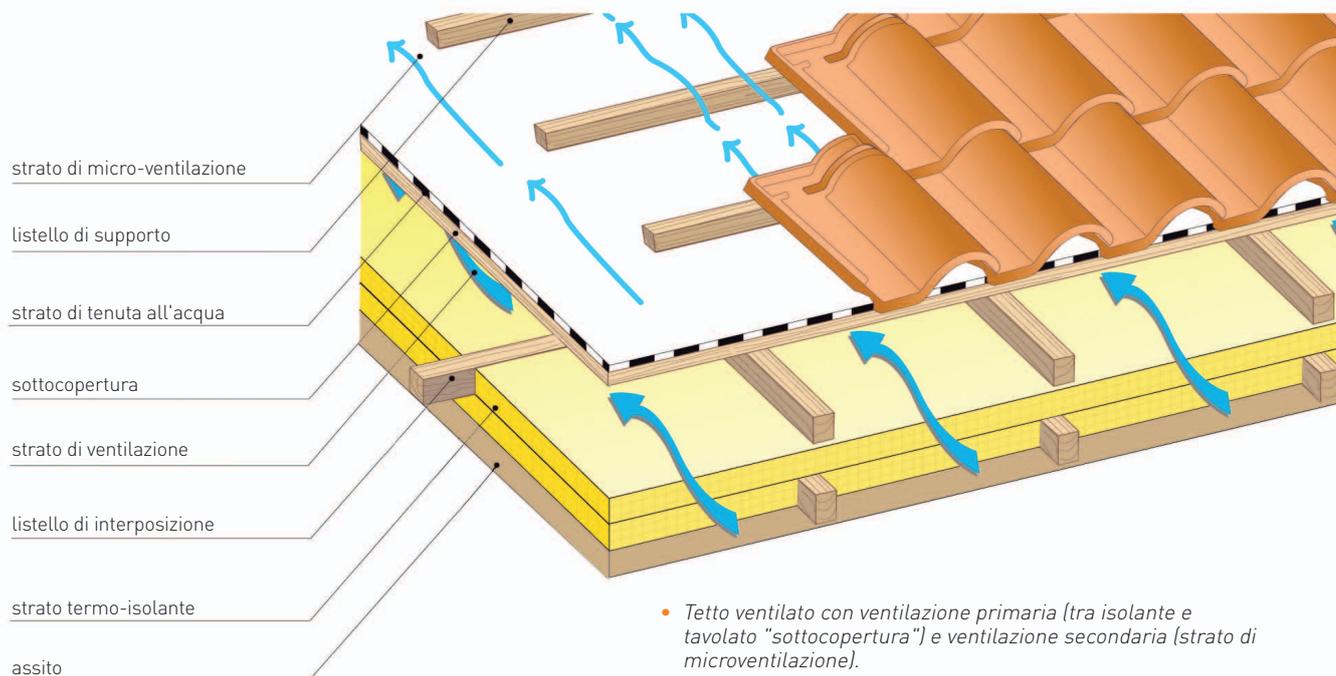
La **macroventilazione** si attiva, invece, tramite una intercapedine di spessore costante al di sopra dell'isolante: l'aria entra dalla gronda e sottraendo calore all'isolante, per effetto camino, fuoriesce a livello del colmo.

Questa forma di ventilazione si realizza normalmente mediante una doppia orditura di listelli: la prima - che crea lo spessore dello strato di ventilazione - è perpendicolare alla linea di gronda (1); la seconda - di supporto alle tegole - è parallela alla linea di gronda (2).

Le due orditure possono anche essere separate da uno strato continuo (sottocopertura): in questo caso lo strato di micro-ventilazione è separato da quello di ventilazione.



• Doppia listellatura per macroventilazione.



• Tetto ventilato con ventilazione primaria (tra isolante e tavolato "sottocopertura") e ventilazione secondaria (strato di microventilazione).

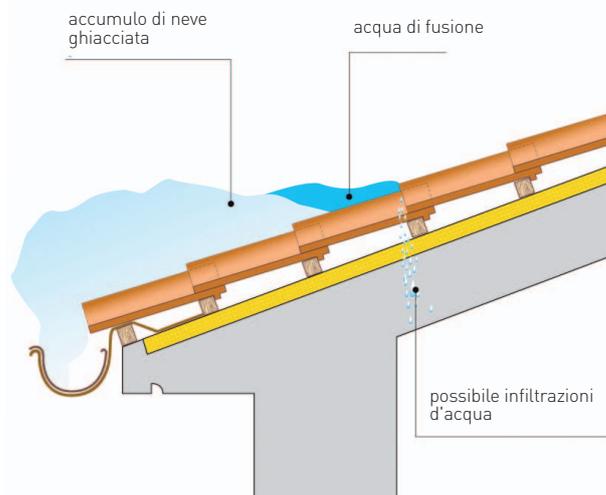
COMFORT ABITATIVO E SISTEMA TETTO

VANTAGGI DELLA VENTILAZIONE

Oltre a collaborare con la microventilazione, la macroventilazione svolge un'azione particolare in rapporto alle diverse condizioni climatiche:

La ventilazione porta i seguenti vantaggi:

- **Nella stagione calda abbassa la temperatura dell'isolante riducendo l'assorbimento di energia termica.** L'effetto è tanto maggiore quanto minore è lo spessore dell'isolante (fino ad annullarsi per le coperture ben isolate contro il caldo) e quanto maggiore è lo spessore dell'intercapedine stessa, fino ad assestarsi intorno ad un valore costante superiore ai 15 cm. Si considera come ottimale un valore di almeno 8 cm di spessore.
- **Associata ad una membrana traspirante "riflettente" consente di ridurre ulteriormente la trasmissione del calore per irraggiamento.**
- **Consente un rapido smaltimento dell'umidità proveniente dall'interno dell'abitazione favorendo l'asciugatura dell'isolante.**
- **Consente uno scioglimento omogeneo della neve evitando il rischio di ristagno dell'acqua disciolta e del ghiaccio formatosi sulla gronda.**
- **Facilita il deflusso di eventuali infiltrazioni.**



Occorre infine ricordare che l'efficacia della ventilazione è influenzata dalla geometria del tetto, dalla presenza di eventuali elementi di discontinuità presenti sulla falda (quali, ad esempio, finestre da tetto o strutture emergenti) e dalla pulizia dell'intercapedine. Inutile dire che per garantire la corretta ventilazione occorre che la linea di gronda e quella di colmo siano il più possibile libere da ostruzioni.

REQUISITI TECNOLOGICI



Per manti di copertura in tegole, secondo la norma UNI 9460 ("Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di coperture realizzate con tegole di laterizio e calcestruzzo"), la sezione di aerazione (per pendenze di falda intorno al 30-35% e lunghezze fino a 7 metri), per intercapedine sia unica che doppia, non deve essere inferiore a 550 cm² per ogni metro di larghezza di falda. Nel primo caso, la sezione si misura al di sotto dei listelli di supporto degli elementi del manto; nel secondo caso, dall'intradosso della sottocopertura.

Per manti di copertura in coppi, sempre secondo la stessa norma UNI, la sezione di aerazione può essere dimezzata.

MICRO-VENTILAZIONE	MEDIA-VENTILAZIONE		MACRO-VENTILAZIONE	
Corretto equilibrio igrometrico	Controllo della condensa interstiziale		Controllo della condensa interstiziale e isolamento estivo	
Posa manto di copertura su listelli 20x20mm paralleli alla linea di gronda Il listello di gronda è di altezza maggiore	TEGOLE	COPPI	TEGOLE	COPPI
	200cm ² /m di larghezza di falda	Non necessaria	550cm ² /m di larghezza di falda	225cm ² /m di larghezza di falda

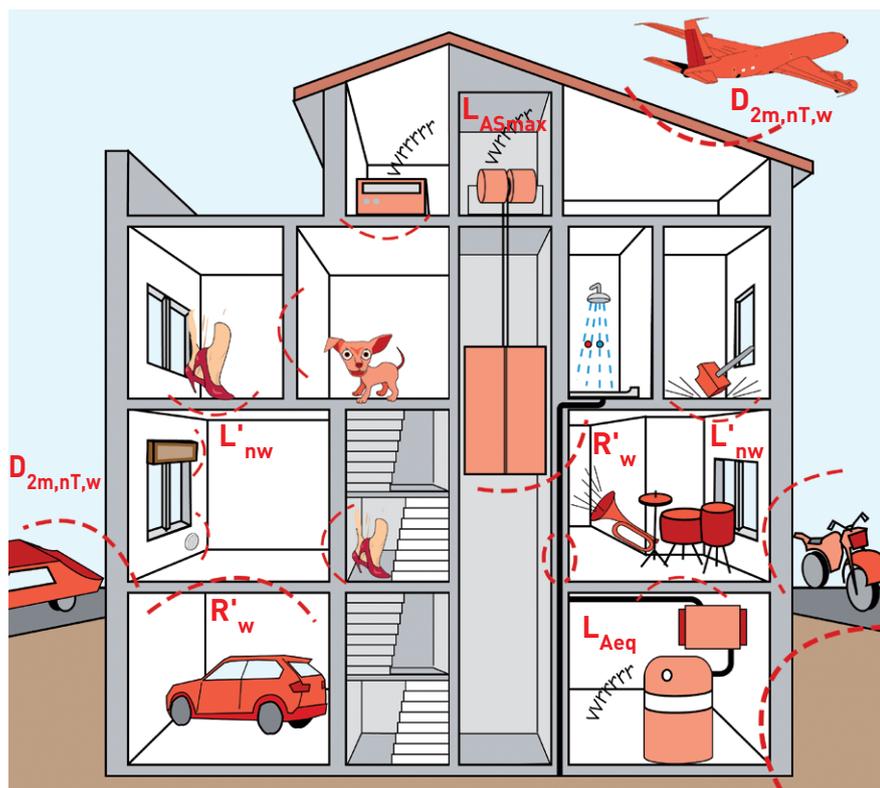
ACUSTICA DEI TETTI IN LEGNO

Sebbene il D.P.C.M. 5/12/1997 relativo ai requisiti acustici passivi non indichi limiti per il rumore proveniente dall'esterno attraverso la copertura, ma solo attraverso la facciata, la norma UNI 11367 "Classificazione acustica delle unità immobiliari" fornisce la definizione di facciata contemplando di fatto anche le coperture: "chiusura di un ambiente che delimita lo spazio esterno da quello interno e può essere orizzontale verticale o inclinata, caratterizzata dalla compresenza di elementi opachi e trasparenti, con o senza elementi per impianti e sistemi di oscuramento, ventilazione, sicurezza, controllo o altre attrezzature esterne". Pertanto anche il tetto ricade nella sfera di applicazione del D.P.C.M 5/12/1997.

Una copertura tradizionale pesante in laterocemento riesce quasi sempre a soddisfare livelli di isolamento acustico di facciata $D_{2m,nT,w}$ superiori a 45 dB. Le coperture in legno sono fortemente penalizzate dalla leggerezza del materiale e dalla presenza di innumerevoli discontinuità (le linee di accostamento delle tavole o dei pannelli, i puntoni nel caso di isolamento tra le travi, la listellatura di supporto dell'isolante e del manto di copertura) da risultare

potenzialmente inadeguate a garantire un buon comfort acustico.

Si tenga presente, inoltre, che il manto di copertura (tegole o coppi), essendo massivo, ma non continuo, dal punto di vista acustico non partecipa alle prestazioni fonoisolanti del sistema. Anche le barriere/freni al vapore, pur essendo elementi continui, sono prive di massa e di conseguenza sono "trasparenti" al passaggio del rumore.



Legenda

- R'_w potere fonoisolante apparente (in opera) di elementi di separazione tra diverse unità abitative
- $D_{2m,nT,w}$ isolamento acustico di facciata dell'edificio
- L'_{nw} livello di calpestio dei solai normalizzati
- L_{ASmax} livello di pressione sonora degli impianti a funzionamento discontinuo
- L_{Aeq} livello di pressione sonora degli impianti a funzionamento continuo

Nota

L'apostrofo indica che il valore da rispettare è quello in opera (R'_w valore in opera; R_w valore di laboratorio).

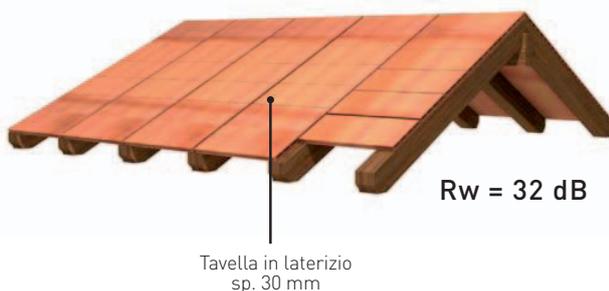
COMFORT ABITATIVO E SISTEMA TETTO

Considerando che per le coperture i vincoli normativi impongono un abbattimento acustico di facciata $D_{2m,nT,w}$ di 40 dB e poiché un semplice tavolato in legno offre in media un abbattimento di 23 dB si capisce come **la progettazione deve essere rivolta a:**

1. **Appesantire quanto più possibile la stratigrafia**
2. **Sigillare le discontinuità evitando i ponti acustici**
3. **Adottare isolanti adeguati anche per l'acustica (non solo la termica)**
4. **Porre particolare attenzione alla distribuzione degli ambienti in caso di tetti ventilati**
5. **Valutare il comportamento al fuoco**

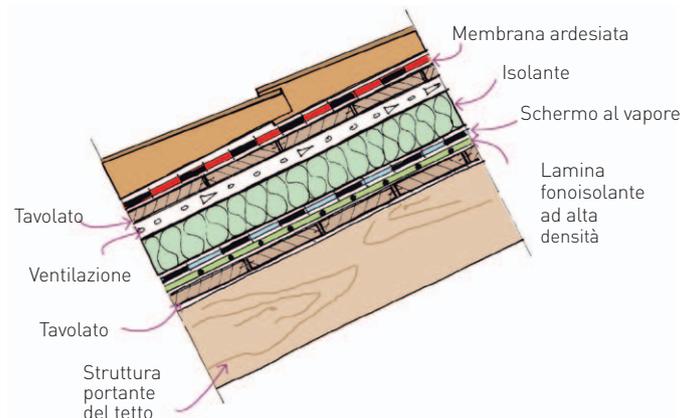
1. L'accorgimento di appesantire o di raddoppiare il primo tavolato confinante con l'ambiente abitato tende a soddisfare la prima esigenza.

La sostituzione del tavolato ligneo con tavelle migliora l'isolamento acustico eventualmente abbinate ad una caldana in c.a. di almeno 5 cm gettata in opera.



• Aumento del potere fonoisolante con il doppio assito, e tavelle.

Nel caso di isolamento con materiali sintetici, a celle chiuse, si possono introdurre delle lamine fonoimpedenti (gomma in EPDM, o gomma vulcanizzata, o piombo), ad alta densità e ad elevato coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore, chiodate al tavolato prima della posa della barriera/freno al vapore. Esse contribuiscono inoltre a sigillare le discontinuità generate dall'accostamento delle tavole.



• Aumento del potere fonoisolante mediante lamina ad alta densità.

2. I ponti acustici vanno eliminati con una posa a regola d'arte che eviti le fughe (che sono allo stesso tempo ponti termici).
3. La scelta del materiale isolante è senza ombra di dubbio l'elemento che incide maggiormente sul raggiungimento di adeguati livelli di comfort. Non può che propendere verso isolanti fibrosi (lana di roccia, lana di vetro, fibra di legno) che hanno un comportamento fonoassorbente, smorzando l'onda sonora. Anche nelle coperture in legno è possibile sfruttare il principio della massa-molla-massa per migliorare l'isolamento: ad esempio posizionando sopra l'isolante fibroso un secondo tavolato che faccia da massa (tetto a doppio assito) su cui sarà poi posato il manto di copertura.

L'assorbimento acustico dei materiali fibrosi dipende dalla frequenza del suono. Senza entrare troppo nel

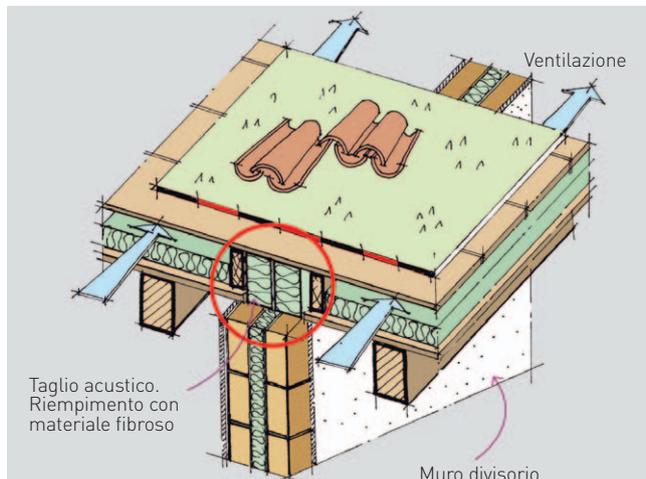
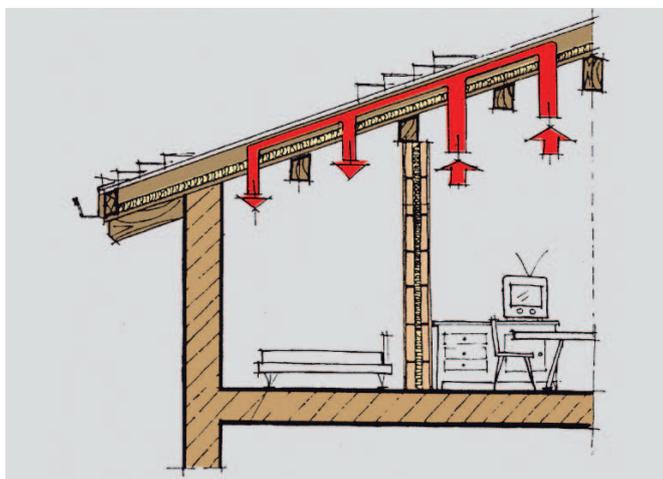
Al fine di garantire sia i requisiti termici che acustici è consigliabile adottare spessori di isolanti fibrosi non inferiori ai 6 cm e densità maggiore di 70 kg/m^3 . Meglio suddividere lo spessore del materiale fonoassorbente in più frazioni (più lastre sovrapposte piuttosto che una unica dello spessore complessivo).

dettaglio, rimandando l'approfondimento ad opportuni testi di acustica, si evidenzia che sovrapponendo due strati fibrosi di diversa densità si riescono ad avere vantaggi acustici per diverse frequenze oltre che meccanici, come evidenziato nei paragrafi precedenti.

4. La presenza della camera di ventilazione crea un "corridoio" di comunicazione tra ambienti abitati sotto la medesima copertura che può favorire le trasmissioni laterali del rumore aereo specie se si usa un pannello isolante non idoneo. È opportuno progettare le partizioni interne verticali con sviluppo

parallelo alla direzione di ventilazione. Solo in questo modo è possibile realizzare un taglio acustico, sempre con isolante fibroso, senza ostacolare la ventilazione.

5. Non da ultimo, è opportuno considerare il comportamento al fuoco, sia in termini di reazione che di resistenza al fuoco. Quindi si dovranno verificare le classi di appartenenza dei vari isolanti e utilizzare preferibilmente materiali di classe 0 (al massimo 1). Importante è anche il rilascio di fumi tossici e gocce incandescenti (problema che affligge gli isolanti sintetici).



• Trasmissione laterale del rumore attraverso l'intercapedine di ventilazione (a sinistra); taglio acustico con materiale fibroso in corrispondenza delle partizioni verticali (a destra).

POTERE FONOISOLANTE DI FACCIATA $D_{2m,nT,w}$

I produttori di isolanti forniscono stratigrafie per tetti in legno con indicazioni sul valore R_w . Tuttavia non è il potere fonoisolante R'_w il valore da verificare ma quello di facciata, ovvero il $D_{2m,nT,w}$. A tal proposito uno studio effettuato dal CNR ha dimostrato che il valore di R_w per i tetti in legno è generalmente superiore al valore $D_{2m,nT,w}$ di circa 7-9 dB. In effetti il $D_{2m,nT,w}$ dipende sia dal potere fonoisolante, sia dalla forma esterna di facciata e dalle

dimensioni della camera in esame.

Pertanto, se una soluzione proposta indica un R_w di 48dB, non è detto che sia verificato il $D_{2m,nT,w}$.

$$D_{2m,nT,w} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \lg \left(\frac{V}{6T_0 S} \right) \text{ (dB)}$$

CATEGORIE	R'_w (dB)	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	$L'_{n,w}$ (dB)	L_{ASmax} (dB)	L_{Aeq} (dB)
D: ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili	55	45	58	35	25
A, C: residenze, alberghi, pensioni e assimilabili	50	40	63	35	35
E: scuole e assimilabili	50	48	58	35	25
B, F, G: uffici, edifici per attività ricreative, per il culto, per il commercio o assimilabili	50	42	55	35	35

R'_w = Potere fonoisolante apparente di facciata (dB) calcolato sulla base dei valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante (R_w) dei singoli elementi che la costituiscono

ΔL_{fs} = Differenza di livello per forma della facciata (dB)

V = Volume dell'ambiente ricevente (m³)

T_0 = Tempo di riverberazione di riferimento per appartamenti (0,5 s)

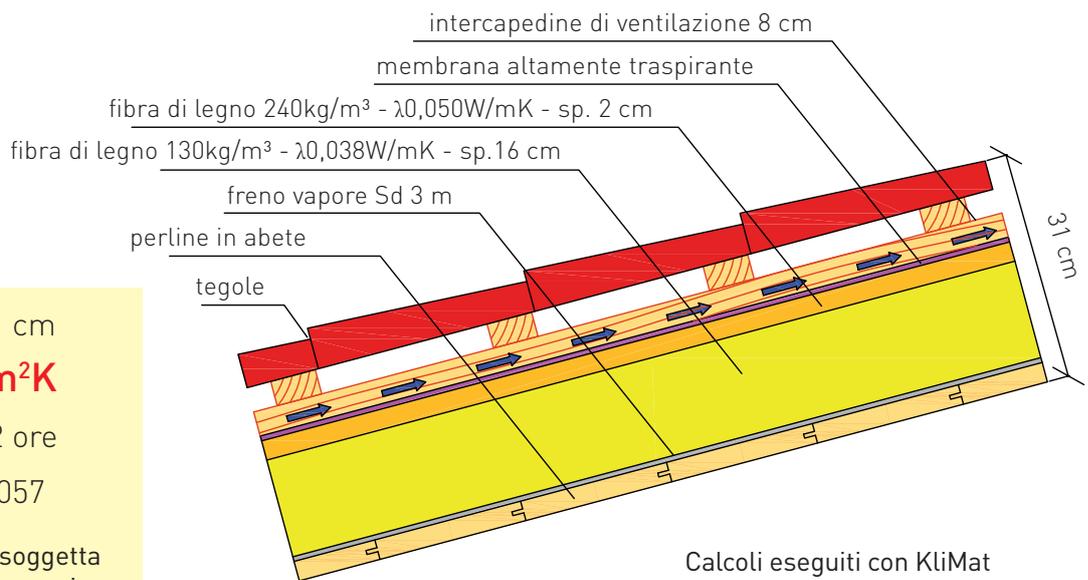
S = Superficie della facciata vista dall'interno (m²)

• Requisiti acustici passivi degli edifici: R'_w e $D_{2m,nT,w}$ devono essere maggiori dei valori indicati, mentre $L'_{n,w}$ così come L_{ASmax} e L_{Aeq} devono essere minori.

ESEMPI DI STRATIGRAFIA

SOLUZIONE 1

Tetto di nuova costruzione con isolamento in estradosso con fibra di legno in due differenti densità.



Spessore 31 cm

U=0,199 W/m²K

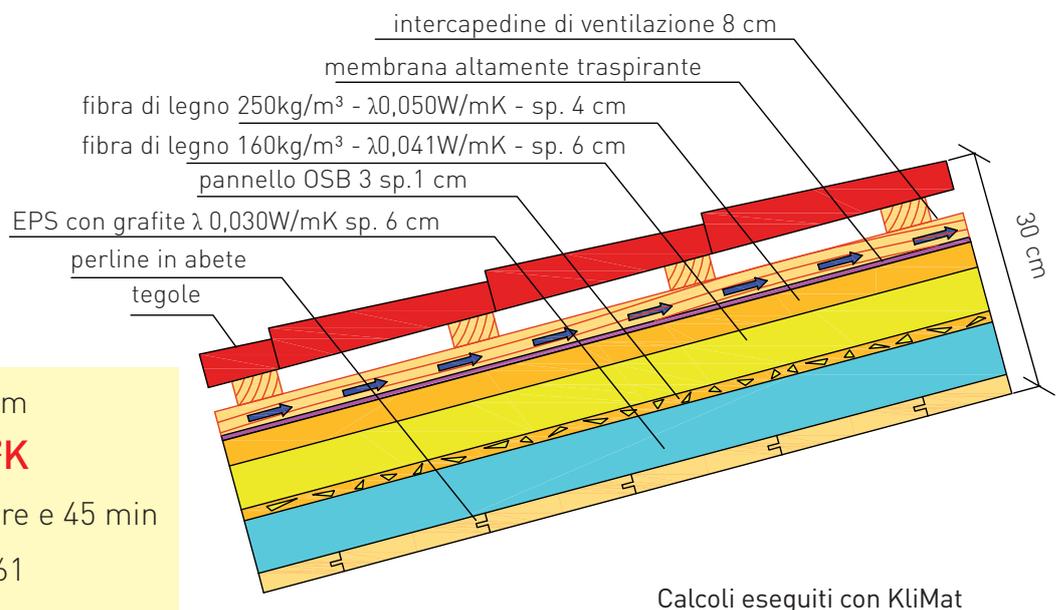
Sfasamento 12 ore

Yie 0,057

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensazione

SOLUZIONE 2

Tetto di nuova costruzione con isolamento in estradosso con strato inferiore in EPS additivato con grafite e strato superiore in fibra di legno.



Spessore 30 cm

U=0,213 W/m²K

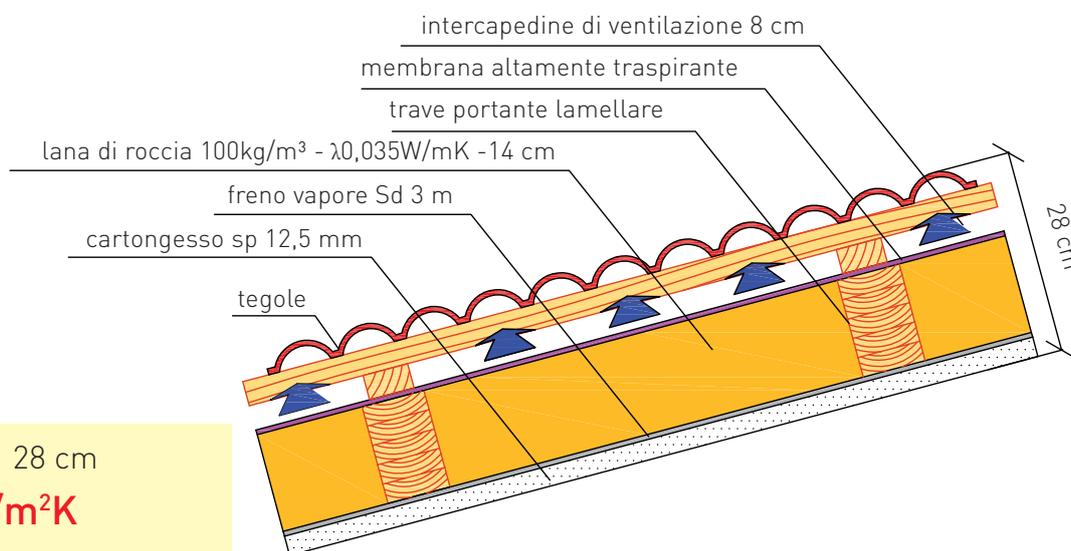
Sfasamento 10 ore e 45 min

Yie 0,061

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensazione

SOLUZIONE 3

Isolamento tra le travi portanti con lana di roccia.



Spessore 28 cm

$U=0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$

Sfasamento 5 ore e 30 min

Y_{ie} 0,17

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensazione

Calcoli eseguiti con KliMat. In questo caso va verificata l'incidenza dei ponti termici costituiti dalle travature.

Vantaggi e svantaggi degli isolanti di impiego comune in edilizia

Concludendo, si riportano brevemente alcune considerazioni sugli isolanti di impiego comune in edilizia

Isolamento sopra le travi portanti

polistirolo espanso, polistirolo estruso, lana di vetro e di roccia (ad alta densità), canapa, fibra di legno, sughero, poliuretano.

Isolamento tra le travi portanti

polistirolo espanso (pannelli autobloccanti), lino, lana di vetro e di roccia, canapa, fibra di legno, lana di pecora, cellulosa.

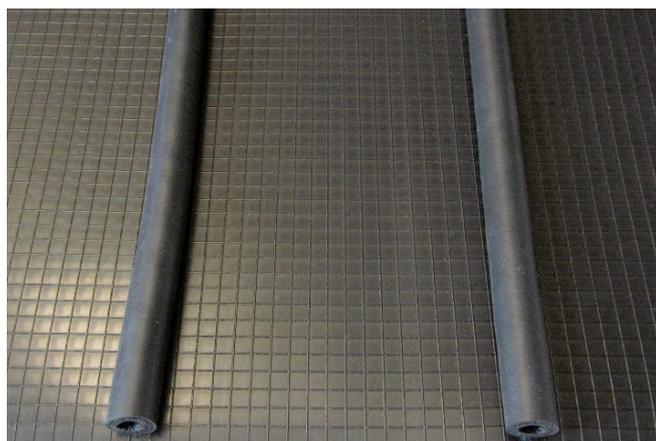
ISOLANTI SINTETICI INORGANICI (LANA DI ROCCIA, LANA MINERALE)	<ul style="list-style-type: none"> • Mediocre comportamento termico (meglio puntare su pannelli ad alta densità) • Buon isolamento acustico • Posa non continua con listelli (ponti termici) • Elevata resistenza al fuoco
ISOLANTI SINTETICI ORGANICI (EPS, XPS, PUR)	<ul style="list-style-type: none"> • Buon isolamento invernale • Scarso isolamento estivo • Scarso isolamento acustico (il PUR ha un miglior comportamento perché a celle aperte) • Posa semplice • Scarsa resistenza al fuoco (provocano gocce incandescenti)
ISOLANTI NATURALI (FIBRA DI LEGNO, SUGHERO)	<ul style="list-style-type: none"> • Buon comportamento termico estivo ed invernale • Buon isolamento acustico • Media resistenza al fuoco (rilascia fumi ma non gocce incandescenti) • Posa semplice in continuo

Una copertura ben progettata deve essere posata a regola d'arte da personale qualificato, per garantire le prestazioni attese. La cura dei dettagli è la condizione necessaria per la durabilità della struttura ed il comfort interno. Il presente capitolo passa in rassegna alcuni accorgimenti, a volte trascurati.

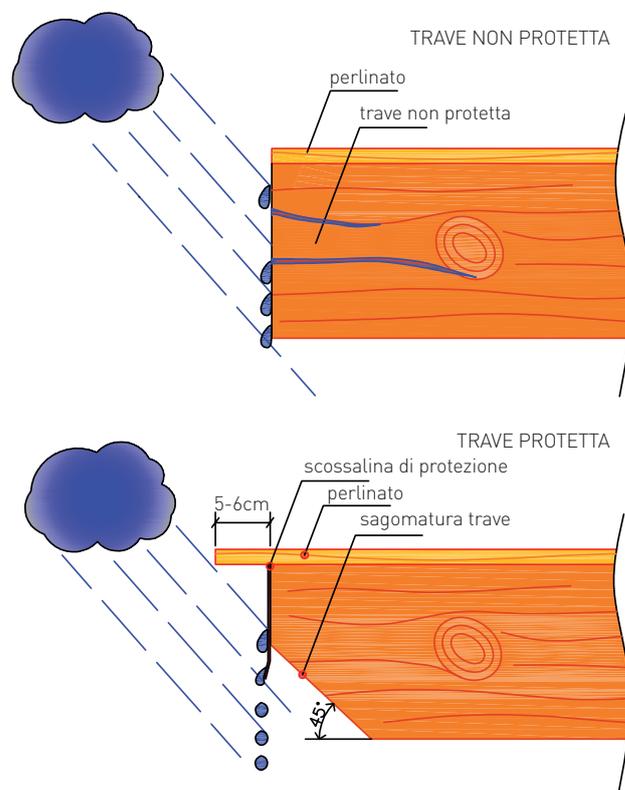
TETTI A REGOLA D'ARTE

PROTEZIONE ELEMENTI IN LEGNO

Nei punti in cui le travi sono a contatto o attraversano la muratura, se questa è portatrice di umidità, è opportuno proteggerle per evitare probabili formazioni di muffe e fessurazioni della finitura interna che di solito si propagano dagli spigoli. A tale scopo si possono usare speciali guarnizioni che seguono le variazioni dimensionali del legno (ritiri e dilatazioni). Ad esempio dei rotoli in poliolefine sui cui sono saldati due tubicini in EPDM: il rotolo evita il passaggio di umidità sulle travi ed i tubicini evitano il passaggio



d'aria. Questi elementi possono essere impiegati anche tra muratura e trave di banchina. Un altro aspetto da non trascurare è la protezione delle testate delle travi uscenti dal perimetro: l'acqua penetra molto più facilmente lungo la direzione delle fibre che in direzione trasversale. È necessario interrompere il bordo della trave 5-6 cm prima dell'ultima perlina, sagomare la trave in modo da non essere bagnata dalla pioggia cadente con una inclinazione di 45°, e prevedere una protezione con una scossalina (detta rompigiocia).



- Protezione della testata delle travi nella muratura (immagine in alto a sinistra); guarnizione in poliolefine (in basso a sinistra); mancata protezione della testata in esterno (alto a destra) e metodo di protezione (in basso a destra).



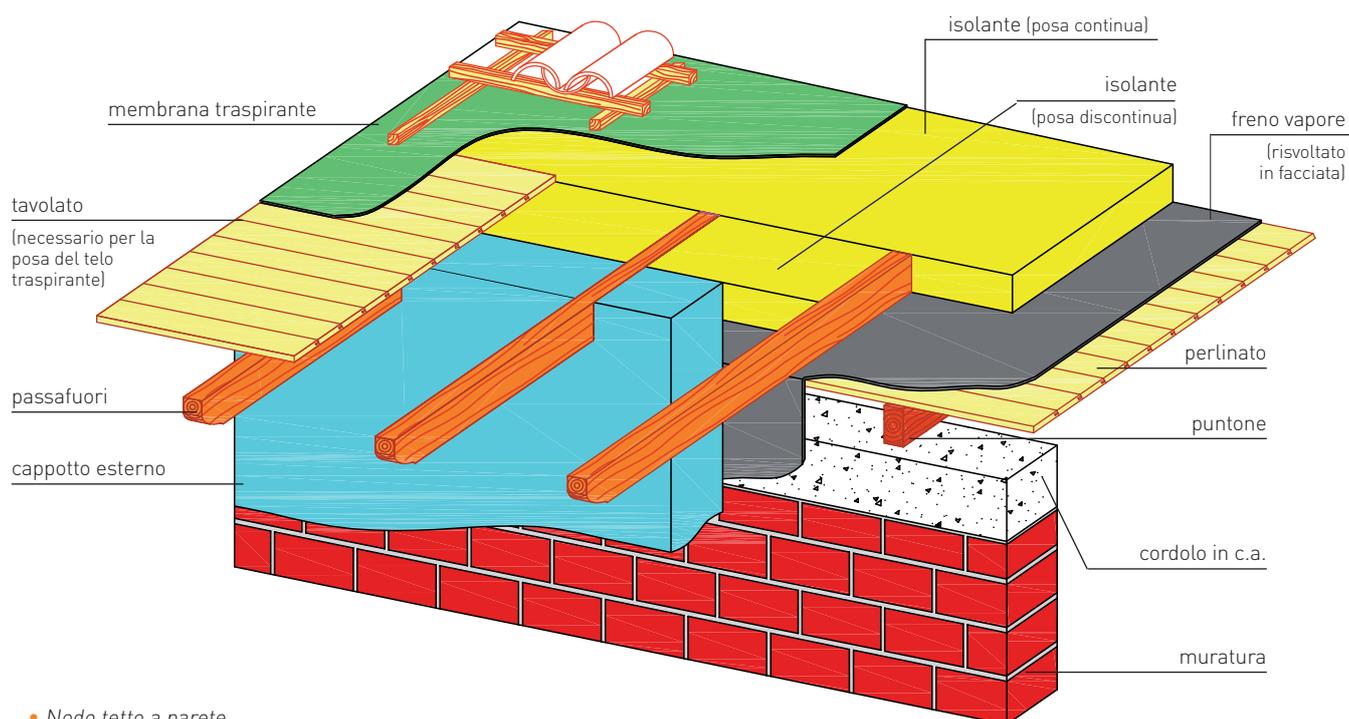
NODO TETTO - PARETE

La continuità dell'isolamento e della tenuta all'aria nel nodo tetto-parete è di difficile realizzazione quando le orditure in legno sono passanti attraverso la muratura.

Per ovviare a ciò, nelle nuove costruzioni, gli elementi strutturali (travi e perline) si fanno terminare in corrispondenza della parete, o sulla trave di bordo.

Sopra questi elementi strutturali vengono posti il tavolato e il freno a vapore. Quest'ultimo deve essere risvoltato sul lato esterno della parete, prima della posa del cappotto della facciata, in modo da garantire la perfetta continuità di

tenuta all'aria tra parete e tetto. L'aggetto della copertura viene realizzato posando, al di sopra del tavolato e del freno al vapore, dei finti travetti ("passafuori") in corrispondenza dei puntoni. L'isolante sarà continuo dal colmo fino all'inizio dei passafuori, poi sarà intervallato dai finti travetti e terminerà in corrispondenza della parte a sbalzo dove si congiunge all'isolamento della parete. Al di sopra dei passafuori viene posato un tavolato che termina dove l'isolante è continuo. Questo tavolato è necessario per la posa continua del telo traspirante e dei listelli dello strato di ventilazione che devono proseguire e congiungersi in gronda (vedere più avanti il dettaglio).



• *Nodo tetto a parete.*

CARATTERISTICHE DEGLI ELEMENTI DI TENUTA PER LA POSA

Nella scelta degli elementi di tenuta si deve prendere in considerazione oltre alla funzionalità, anche la modalità di posa influenzata dalla massa areica e dalla resistenza meccanica.

Nel caso di posa su elementi continui (pannelli, tavolati, perlinati, ecc.) gli elementi di tenuta non sono particolarmente sollecitati se non dal

pedonamento. L'unico requisito da rispettare è quello di una massa sufficiente (almeno 145 g/m^2). Al contrario, in caso di posa su elementi discontinui, quali i listelli di contenimento dell'isolante, assumono molta importanza la resistenza meccanica alla lacerazione misurata con il metodo del "chiodo" e la resistenza longitudinale in funzione dell'interasse dei supporti.

Per gli SMT sintetici la **UNI 11470 "Posa in opera degli schermi e membrane traspiranti (SMT)"** consiglia di:

- Evitare SMT con massa inferiore a 130 g/m²
- Usare SMT di massa areica almeno di classe B (massa > 145 g/m²)
- Usare SMT di massa areica di classe A (massa > 200 g/m²) su supporto cementizio o in condizioni difficili di posa
- Usare SMT di massa areica di classe A per pendenze inferiori al 30%
- Usare SMT di resistenza meccanica opportuna in funzione dell'interasse come da prospetto 3 della UNI 11470
- Usare SMT in classe W1 per meglio assolvere alla funzione di impermeabilizzazione (impermeabilità con colonna d'acqua di 20 cm per 2 ore; classe garantita anche dopo le prove di invecchiamento).

Si ricordano le normative europee valide per gli SMT:

- EN 13859-1 MEMBRANE TRASPIRANTI PER COPERTURE
- EN 13859-2 MEMBRANE TRASPIRANTI PER FACCIATE
- EN 13984 SCHERMI PER IL CONTROLLO DEL VAPORE

CLASSE	MASSA AREICA (M)
A	M ≥ 200 g/m ²
B	M ≥ 145 g/m ²
C	M ≥ 130 g/m ²
D	M < 130 g/m ²

- *Prospetto 2 della UNI 11470 classi di massa areica.*
N.B. Il valore della massa areica è quello dichiarato in scheda tecnica con valore non maggiore del 10% per il limite inferiore di tolleranza. Grammature superiori ai 200 g/m² consigliate nel caso di posa su supporti in cemento e in tutte le condizioni difficili di messa in opera (pendenza del tetto inferiore al 30%).

Classe	Interasse tra i supporti	Resistenza alla trazione longitudinale	Valori di resistenza alla trazione longitudinale dopo invecchiamento UV/IR (*)	Resistenza alla lacerazione da chiodo
R1	45 cm	> 100 N/5 cm	> 65%	> 75 N
R2	60 cm	> 200 N/5 cm	> 65%	> 150 N
R3	90 cm	> 300 N/5 cm	> 65%	> 225 N

- *Prospetto 3 della UNI 11470 classi di resistenza a trazione.*
 (*) Il prodotto dopo essere stato sottoposto alle procedure di invecchiamento UV/IR secondo le UNI EN 1296 e UNI EN 1297 deve continuare a garantire una resistenza alla trazione minima maggiore del 65%.

MEMBRANE ACRILICHE



Gli SMT devono garantire una sufficiente resistenza ai raggi UV per assicurare la funzionalità quando il manto di copertura non è, ad esempio, posato immediatamente dopo la membrana traspirante. In generale, la resistenza ai raggi UV è limitata nel tempo (ciascun produttore indica il tempo espresso in mesi).

Le **membrane con rivestimento acrilico mostrano, sotto questo aspetto, un miglior comportamento.**

Di seguito si riportano i vantaggi nell'utilizzo di membrane altamente traspiranti acriliche rispetto alle tradizionali (con rivestimento esterno in polipropilene):

- **Migliore stabilità termica** (anche temperature fino a 120°C).
Utilizzo ad esempio sotto pannelli per solare termico integrati nel manto di copertura o sotto tegole con pigmentazione scura che trasferiscono molto calore.
- **Migliore impermeabilità** grazie alla superficie idrorepellente che migliora la velocità di scivolamento in gronda dell'eventuale acqua di infiltrazione sottotegola in caso di rottura del manto di copertura anche per tetti a bassa pendenza.
- **Ottimo coefficiente di allungamento** che permette di assecondare i movimenti della struttura in legno senza provocare strappi.
- **Alta stabilità** grazie alla presenza di additivi anti-UV anche in caso di esposizione prolungata della membrana prima della posa del manto di copertura definitivo.
- **Alta resistenza meccanica.**

POSA DEGLI ELEMENTI DI TENUTA

Gli schermi e le membrane traspiranti devono essere posati stendendo i rotoli, nel senso della lunghezza della falda in fasce successive partendo dalla gronda fino al colmo.



Le fasce dovranno essere sormontate l'una sull'altra con opportuna sovrapposizione: minimo 10 cm per pendenze maggiori del 30%, minimo 20 cm per pendenze inferiori al 30%.

Il lembo superiore dello schermo, o membrana, individuato, in generale, da una linea tratteggiata di sovrapposizione, dovrà essere fissato al supporto mediante graffe o chiodi a testa larga.



• Fissaggio con graffe.

Le zone di sovrapposizione devono essere sigillate con opportuni sistemi adesivi (nastri adesivi, bande integrate, doppie bande adesive, o colle sigillanti) secondo le modalità indicate dal produttore.

Lo schermo freno vapore dovrà risvoltarsi in



• Fissaggio con doppia banda adesiva integrata.

facciata per garantire la continuità della tenuta all'aria nel nodo tetto parete. Il passafuori sarà fissato sul perlinato al di sopra del freno interponendo la guaina punto chiodo.



Le membrane traspiranti possono essere fissate direttamente sugli isolanti (non flessibili) mediante graffe, colla o chiodi a testa larga.

FISSAGGIO IN CORRISPONDENZA DELLA GRONDA

In caso di infiltrazione di acqua attraverso il manto di copertura, la membrana traspirante

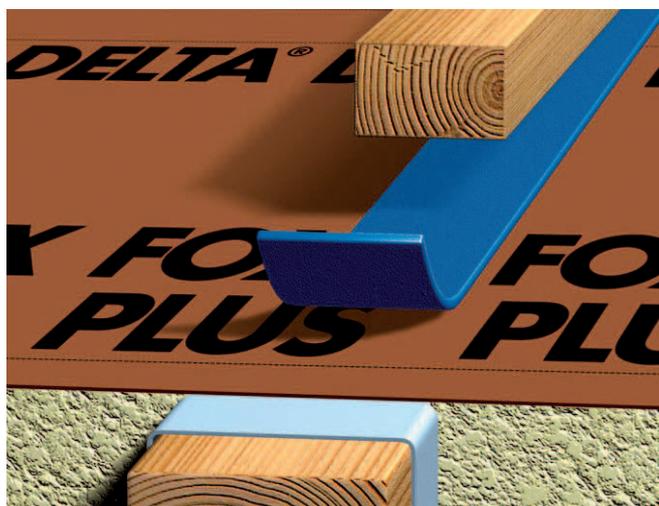


• Particolare della posa della membrana traspirante in gronda.

deve consentire il deflusso e l'evacuazione dell'acqua stessa. Le membrane, per loro natura, non possono rimanere esposte in modo permanente ai raggi UV e, di conseguenza, non devono uscire dai canali di gronda. Devono, pertanto, essere interrotte prima e collegate alla gronda mediante una scossalina metallica, o bande adesive in alluminio. Si procede, successivamente, alla sigillatura con nastri adesivi o colle.

GUARNIZIONI "PUNTO CHIODO"

Prima di procedere al fissaggio dei controlistelli di ventilazione, si deve avere cura di interporre tra la membrana ed il listello la guarnizione detta "punto chiodo" (bande di guarnizione in polietilene/EPDM o colle espandenti) per evitare le infiltrazioni d'acqua nei punti in cui la vite di fissaggio del controlistello va a forare la membrana.



• Posa della guarnizione punto chiodo (foto sopra e sotto).



FISSAGGIO IN CORRISPONDENZA DEL COLMO

Con singola camera di ventilazione, realizzata con listello e controlistello, sia il freno che la membrana devono essere sormontati di almeno 20 cm e sigillati con banda adesiva o collanti.

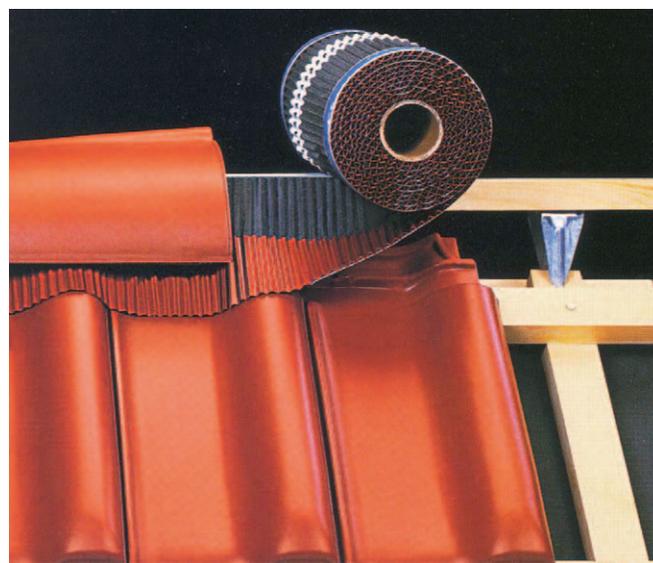


• Posa della membrana traspirante a cavallo del colmo: sovrapposizione lungo la linea tratteggiata.

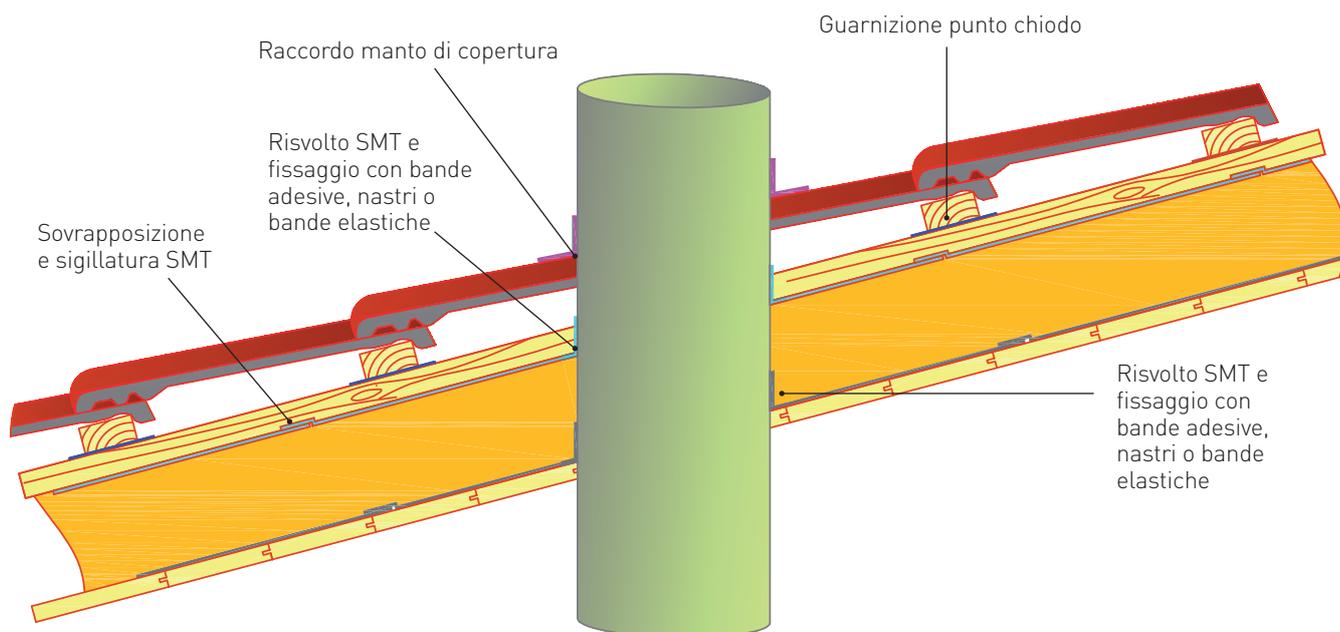
Quando si ha una ventilazione primaria ed una microventilazione sottotegola separate da un tavolato, quest'ultimo e la membrana traspirante fissata su di esso dovranno terminare alcuni centimetri prima della linea di colmo per consentire la corretta ventilazione.

Il freno al vapore va sormontato come nel caso precedente.

Infine il colmo va protetto e impermeabilizzato mediante il "rotolo sottocolmo" che garantisce in ogni caso la corretta ventilazione.



Fissaggio degli elementi di tenuta in corrispondenza delle aperture



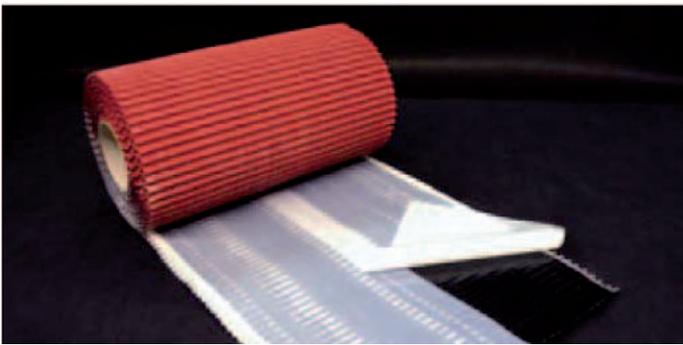
Nella figura sopra sono riportati gli accorgimenti da adottare nella posa in corrispondenza delle aperture quali possono essere i lucernari, gli abbaini, i camini, gli aeratori, ecc..

Il raccordo dello schermo attraverso gli elementi passanti deve essere effettuato tagliandolo agli spigoli, ripiegando i bordi (figura a sinistra) e sigillandoli sui lati della struttura mediante nastri, colle, ecc..

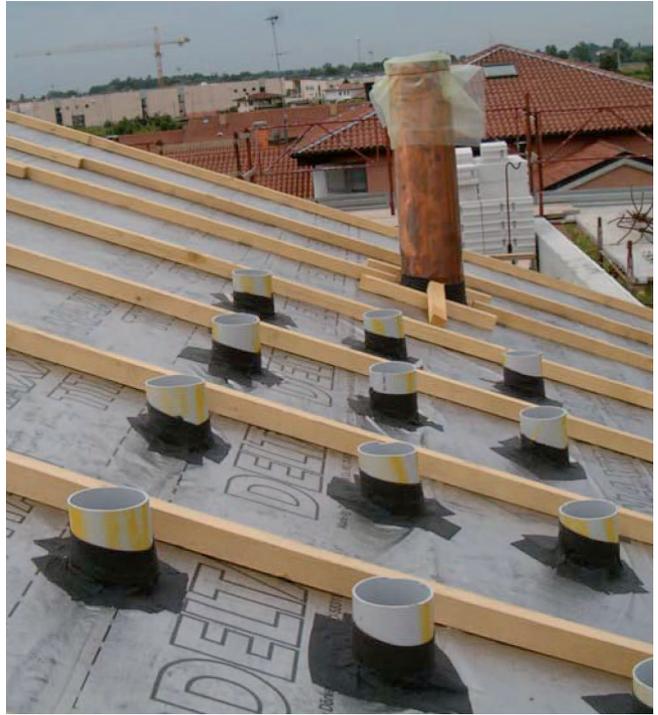
Esempi



- Il risvolto del freno al vapore nei punti di discontinuità.



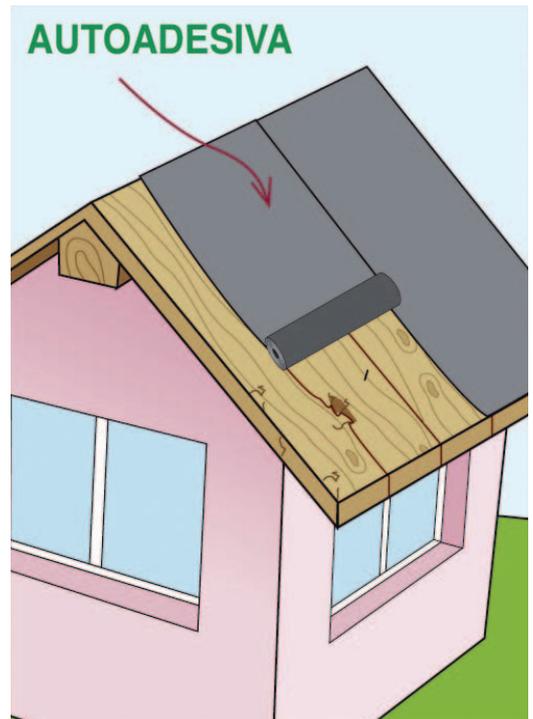
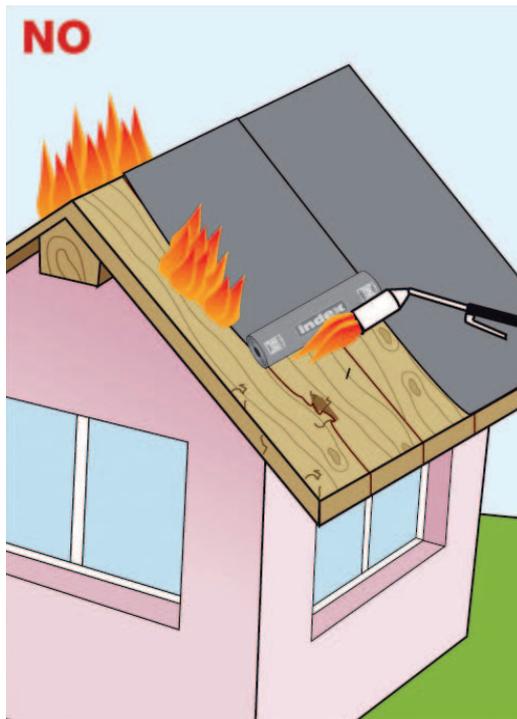
• Raccordo camino - manto di copertura.



• Sigillatura di elementi curvilinei (areatori) mediante banda adesiva elastica.

Posa degli elementi di tenuta bituminosi

Non usare membrane bituminose a fiamma, ma autoadesive! Fissare alla struttura ed incollare le sovrapposizioni secondo le prescrizioni del produttore.



• Posa elementi di tenuta bituminosi autoadesivi.

PASSAGGIO DEI CAMINI



L'attraversamento di un tetto in legno con una canna fumaria o un camino a servizio di caminetti, stufe a legna o pellet o altri apparecchi termici a biomassa, è un punto critico e di particolare importanza ai fini della sicurezza da rischi o pericoli di incendio del tetto in legno. Nel 2007 si sono registrati 307 incendi nella provincia di Brescia, così come, nel 2008, 386 nella provincia di Torino. Dalle statistiche dei Vigili del Fuoco emerge, in particolare, una realizzazione non a regola d'arte dei camini (53%) ed una mancata o cattiva manutenzione degli stessi (18%).

Le cause degli incendi riscontrate sono spesso:

- nel caso di camini tradizionali in laterizio, la combustione della fuliggine depositatasi sulle pareti del condotto e non pulite,
- nel caso di camini moderni, l'impiego di condotti fumari di classi di temperatura inferiore alla temperatura dei fumi
- per entrambi i tipi di camino, il mancato rispetto della distanza di installazione del camino rispetto ai materiali combustibili.



- *Utilizzo di materiale non idoneo (a sinistra) e in prossimità di elementi combustibili (a destra).*

Qualora il camino debba essere realizzato su tetto in legno, è opportuno la dovuta diligenza specie se quest'ultimo è con intercapedine ventilata. La ventilazione, infatti, propaga le fiamme molto più velocemente, l'intervento dei VVFF è più difficoltoso perché non riescono ad individuare il focolaio e la drammatica conseguenza che ne potrebbe derivare è la distruzione completa del tetto a cui si aggiungono altri problemi dovuta alle elevate quantità d'acqua usate dai VVFF stessi.



- *Incendio diffuso su tetto ventilato (a sinistra) e danni causati nei piani inferiori dall'acqua di spegnimento (a destra).*



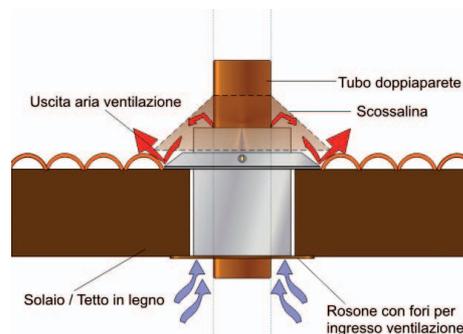
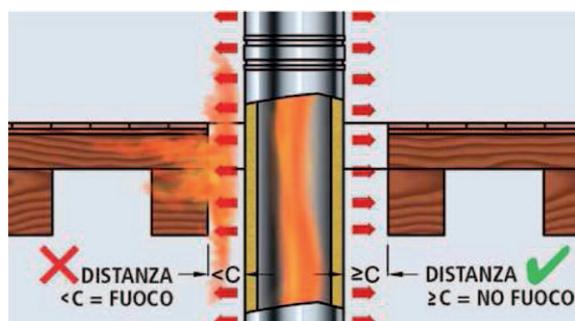
NORMATIVA UNI EN 1443

La norma che regola la posa dei camini è la UNI EN 1443 "camini – requisiti generali" secondo la quale l'attraversamento delle strutture in legno in tutta sicurezza va fatto utilizzando il sistema di evacuazione dei fumi più opportuno scegliendolo in funzione delle temperature dei fumi degli apparecchi che si vogliono utilizzare: per caminetti, stufe ecc., si devono usare camini – canne fumarie con temperatura di funzionamento minima di 400°C e devono resistere a incendio di fuliggine.

Tale norma prevede che i camini siano dotati di una "designazione" ovvero una serie di codici che indichino le sue caratteristiche prestazionali, termodinamiche, di funzionamento e posa:

EN 1856-1 T400 P1 W Vx-L40045 G(50)

- EN 1856-1 indica la normativa di riferimento (EN 1856-1, EN1856-2 requisiti per sistemi camino in metallo, EN 13063 per sistema camino refrattario terracotta/ceramica, EN 1447 per sistema camino con condotti interni in plastica).
- T400 indica la resistenza alla temperatura dei fumi (400= 400°C).
- P1 indica la tenuta alla pressione dei gas (secondo livelli crescenti si usano queste lettere N – negativa, P - positiva, H - alta).
- W indica la resistenza alla condensa (W=camini funzionanti a umido, D = a secco).
- Vx indica la resistenza alla corrosione (sigle possibili Vm,V1,V2,V3).
- Lxxyyy indica il tipo e lo spessore del materiale costituente la parete interna (xx indicano il tipo di materiale, acciaio inox che deve essere almeno AISI 316, yyy lo spessore espresso come multiplo di 0,01mm).
- Gxx, in cui la G indica la resistenza al fuoco di fuliggine (la lettera O indica che non è resistente), mentre le xx indicano la distanza in mm alla quale si deve porre l'esterno del camino dai materiali combustibili con l'interposizione di una intercapedine di aria libera necessaria per il raffreddamento della parete esterna.



- Significato della sigla Gxx: se il camino è posizionato ad una distanza inferiore a C (=Gxx) allora vi è rischio di incendio (a sinistra); installazione corretta con distanziatore ed areazione (a destra)

Solo nel caso in cui l'ultima sigla sia G00 (xx=00) si può tenere il camino addossato al legno!
In un sistema camino (es: EN 1856-1; EN 13063-1/2 ecc...), la distanza è sotto responsabilità del produttore, mentre in un camino composito, costituito da più prodotti sovrapposti, la distanza deve essere calcolata secondo EN15287-1/2 ed è sotto la piena responsabilità dell'installatore del camino/canna fumaria.

Alburno

È la parte legnosa più giovane del tronco degli alberi. Esso si trova subito sotto la corteccia ed è la parte dove scorre la linfa grezza; circonda la porzione più interna, detta durame o "cuore del legno", che svolge solo funzioni di sostegno.

Assito

Supporto di copertura inchiodato sopra i correntini, generalmente realizzato mediante un assemblaggio di tavole di legno (assi) con o senza giunto.

Cipollatura

Processo durante il quale si ha un distacco tra due anelli annuali ed è causa di difetti del legname nel fusto delle piante. È causata dal gelo, dalle intemperie e dai funghi. Riguarda alcune specie piuttosto che altre ed arreca al legname un danno in genere irreversibile.

Conversa o linea di Compluvio.

Linea d'intersezione inclinata e rientrante tra due falde di tetto che formano un angolo concavo (rientrante).

Displuvio (linea di)

L'intersezione inclinata di due falde ad angolo convesso.

Durame

È la parte legnosa interna non più vitale del tronco degli alberi. Circonda il midollo e si estende fino all'alburno. Si distingue dall'alburno per la colorazione

scura data dalla presenza di estrattivi come il tannino.

Eurocodici

Sono le norme europee per la progettazione strutturale. Si allineano alle norme nazionali vigenti e consentono al professionista l'utilizzo di criteri di calcolo comuni ed adottabili anche all'estero. Gli Eurocodici sono 10.

L'Eurocodice 0 fornisce le indicazioni di base per affrontare la progettazione con il metodo semiprobabilistico agli stati limite, le combinazioni di verifica, i fattori di sicurezza (salvo diversamente specificato) per la combinazione delle azioni.

L'Eurocodice 5 è dedicato alle opere strutturali in legno.

Falda

Superficie del tetto in pendenza.

Gronda (o canale di gronda)

Parte inferiore della falda di un tetto. Il suo bordo è detto linea di gronda e determina il limite inferiore del tetto, indica anche il lato da cui defluisce l'acqua piovana prima di scendere nei pluviali.

Grondaia

Canale metallico di solito semicilindrico che, sorretto da ferri (chiamati cicogne o staffe) corre lungo la linea di gronda raccogliendo le acque piovane e convogliandole al doccione, da qui si scaricano nel canale discendente, detto pluviale.

Irradianza

La potenza radiante incidente su una superficie per unità di area. È espressa in watt per unità di area (W/m^2).

Linea di colmo

Linea d'intersezione superiore di due falde opposte del tetto, in genere orizzontale.

Lucernario / Abbaino

Apertura vetrata ricavata nella copertura di un sottotetto, in sostituzione delle finestre, di solito ad una o due falde.

Puntone.

Trave di legno, soggetto a sforzi di compressione, che segue la linea con maggiore pendenza del tetto su cui poggiano le falde.

Trasmittanza termica (U)

È il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad $1^\circ C$ ed è legata alle caratteristiche del materiale che costituisce la struttura e alle condizioni di scambio termico liminare e si assume pari all'inverso della sommatoria delle resistenze termiche degli strati.

Resistenza termica (R)

La resistenza termica R è definita come il rapporto tra lo spessore d dello strato considerato e la sua conducibilità termica λ e rappresenta la difficoltà che il calore incontra nell'attraversare un dato materiale.



BigMat è il primo Gruppo europeo di distributori indipendenti di materiali edili. Un Gruppo diffuso su tutto il territorio nazionale con una rete di distributori efficace e capillare.

Un punto vendita BigMat è un partner prezioso che offre ogni giorno soluzioni concrete, un vero punto di riferimento per gli artigiani, le imprese e i professionisti. In tutti i punti vendita BigMat trovate un vasto assortimento delle marche leader di mercato, disponibilità di merce in magazzino, e servizi efficienti per la costruzione, come la consegna rapida in cantiere e l'affiancamento nella scelta di prodotti e soluzioni.

BigMat, esempio di un sistema moderno di distribuzione organizzata, offre servizi professionali e consulenza avanzata sui temi più attuali che coinvolgono il settore dell'edilizia.

.....
Per saperne di più sui Tetti in legno e per avere approfondimenti sugli argomenti trattati in questo fascicolo, visitate il punto vendita BigMat più vicino alla vostra zona (l'elenco aggiornato è consultabile sul sito www.bigmat.it), troverete tutti i prodotti necessari per il vostro lavoro e una consulenza professionale su misura per le vostre esigenze.

BIBLIOGRAFIA

AAVV "Linee guide per l'edilizia regionale in Toscana"

Costruzioni in legno
Ing. Marco Pio Lauriola

Durabilità e manutenzioni delle strutture in legno
Studioteda (ing. Follesa, ing. Lauriola, ing. Mauro Moschi)

Il benessere acustico nell'edificio. Dai prodotti alle soluzioni tecnologiche
Ilaria Oberti

Incendi dei tetti ed errori di realizzazione dei camini
Dott. ing. Salvatore Buffo, dirigente superiore Comando provinciale dei vigili del fuoco di Brescia, dott. ing. Pier Nicola Dadone, direttore vice dirigente. Comando provinciale dei vigili del fuoco di Brescia

La posa corretta in opera dei manti di copertura in laterizio
Pubblicazione ANDIL

Strutture in legno - Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee
Ing. Piazza, Tomasi, Modena (Hoepfl - 2005)

.....
L'intera collana "I quaderni tecnici BigMat" è scaricabile in formato elettronico sui siti del Gruppo.

Oltre **800** punti
vendita in Europa.



Dati aggiornati a maggio 2013.
Trovi l'elenco aggiornato dei punti vendita
BigMat presenti in Italia sul sito www.bigmat.it

BigMat
www.bigmat.it
CONSIGLI PROFESSIONALI E MATERIALI EDILI

