

Progettare la tenuta all'aria nelle costruzioni in legno

a cura di Franco Piva

Tratto da

Manuale delle costruzioni di legno



Prontuario tecnico

Progettare la tenuta all'aria nelle costruzioni in legno

a cura di Franco Piva



3.2 STRATI FUNZIONALI: TENUTA ARIA E TENUTA VENTO

Come si deve comportare il tecnico quando affronta la progettazione della tenuta all'aria? Su quali principi si deve basare questa delicata fase?

Il primo passo consiste nell'individuazione di due strati funzionali ovvero due linee immaginarie continue (prive di interruzioni) che avvolgono l'intero edificio e lo proteggono dai movimenti dell'aria nelle due direzioni: dall'interno verso l'esterno e dall'esterno verso l'interno. Queste linee sono:

- "*Tenuta all'aria*". Posta verso il lato caldo garantisce l'ermeticità dell'involucro impedendo all'aria calda e carica di umidità interna di uscire verso l'esterno e portando con sé grandi quantità di vapore;

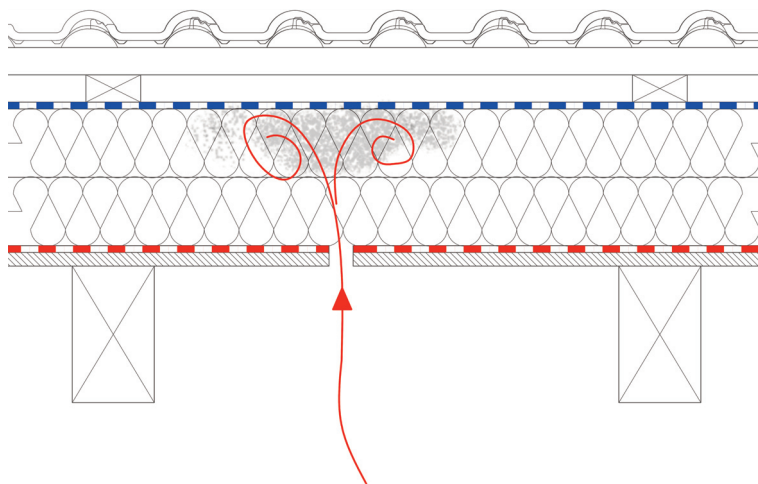


Figura 3.2. Tenuta all'aria.

- "*Tenuta al vento*". Posta verso il lato freddo impedisce all'aria fredda di infiltrarsi all'interno dell'isolante riducendo localmente la temperatura. A livello pratico va a svolgere una funzione uguale e contraria alla linea di tenuta all'aria.

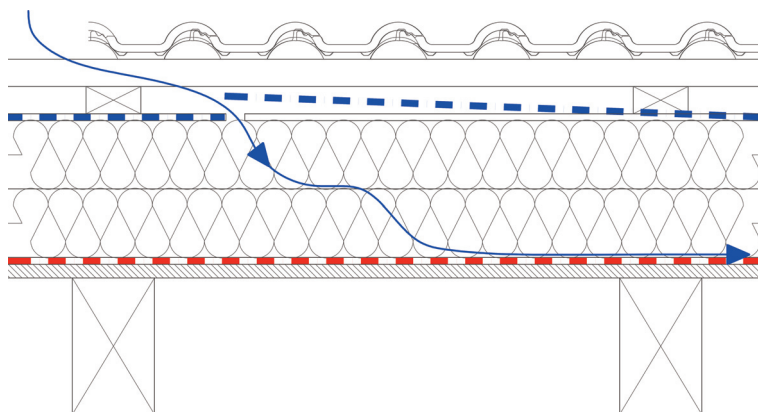


Figura 3.3. Tenuta al vento.

È compito del progettista individuare correttamente e nella maniera più opportuna questi due strati e di mantenere la scelta con coerenza durante tutta la progettazione e la successiva realizzazione: dovrà perciò considerare diversi fattori, tra i quali le caratteristiche dei materiali e le eventuali difficoltà/problematiche di posa.

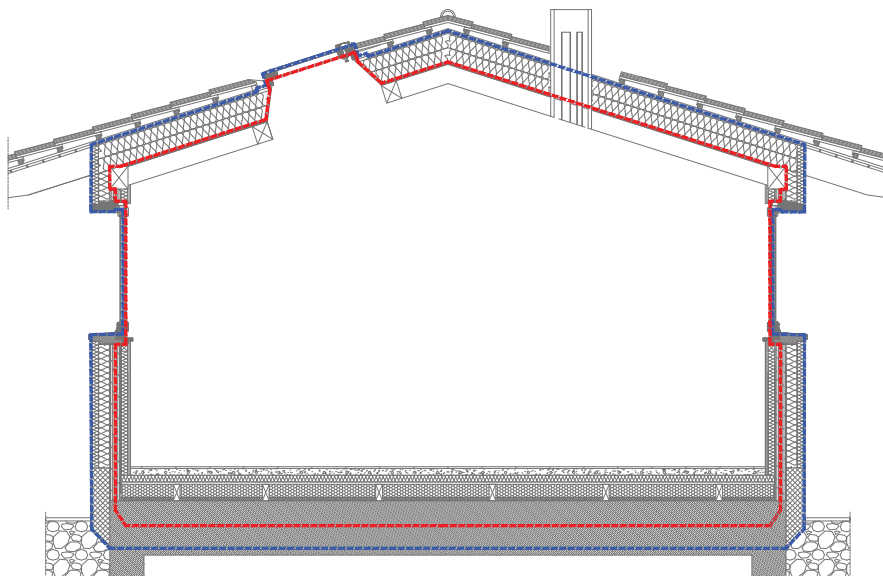


Figura 3.4. Individuazione delle linee di tenuta all'aria e al vento in un edificio in legno.

Se la mancanza di un'adeguata tenuta al vento può portare ad un raffreddamento locale dell'isolante esterno e quindi a fenomeni di condensa interstiziale (comunque lenti), la mancanza di tenuta all'aria porta alla formazione di moti convettivi per mezzo dei quali grandi masse di vapore caldo, provenienti dall'interno, condensano sugli strati più freddi dell'involucro causando gravi danni. A questo punto, ha poca importanza avere o non avere la tenuta al vento in quanto la condensa si formerà comunque indipendentemente dalla validità di quest'ultimo strato funzionale.

Quali caratteristiche devono avere queste linee immaginarie? E quali sono i punti deboli? Le due linee dovranno necessariamente essere continue ovvero non presentare discontinuità che danno origine agli spifferi e l'operazione non è facile. Infatti, si tratta di collegare tra loro materiali di diversa natura e consistenza con finiture superficiali molto diverse. Queste sigillature devono essere inoltre elastiche per assorbire gli inevitabili movimenti di assestamento della struttura senza rompersi: gli edifici in legno sono soggetti a costanti micro-movimenti dovuti alle variazioni stagionali del tasso medio di umidità o dovuti ad azioni orizzontali tipo il vento. Particolare attenzione nella progettazione dovrà essere posta negli spigoli o nelle soluzioni di continuità tra materiali diversi.

Infine è necessario prestare molta attenzione alle condizioni delle superfici da collegare: queste devono essere pulite e prive di polvere o di residui oleosi di qualsiasi genere. Nessun adesivo è infatti in grado di aderire in presenza di questi elementi di disturbo ed un primer in molti casi può rappresentare una possibile soluzione.

Il mercato fortunatamente propone moltissimi materiali, facili da reperire ed utili ad evitare i fenomeni degli spifferi: membrane, nastri adesivi, nastri espandenti, guaine liquide, sigillanti da estrarre a base siliconica o acrilica, nastri butilici, schiume ad elasticità permanente, etc. I cataloghi dei vari operatori del settore si ampliano continuamente.

3.3 PROGETTAZIONE DELLA TENUTA ALL'ARIA PER DIVERSI SISTEMI COSTRUTTIVI

Nelle costruzioni in legno spesso l'esecuzione dei lavori è molto più importante dei calcoli progettuali: garantire all'edificio un'elevata ermeticità, ovvero essere privo di spifferi, è naturalmente di primaria importanza. Ogni perdita rappresenta un difetto costruttivo, un dettaglio non correttamente analizzato a livello progettuale o non realizzato secondo le indicazioni del tecnico ed è fonte di diverse problematiche più o meno gravi analizzate precedentemente. Nel caso specifico delle strutture in legno, la tenuta all'aria può essere garantita in diversi modi a seconda che si stia lavorando su pareti a telaio, X-Lam o altri sistemi costruttivi.

3.3.1 Telaio

Solitamente la tenuta all'aria viene affidata al pannello OSB interno, il quale svolge così una triplice funzione: statica (controvento), freno a vapore ed infine tenuta all'aria. Risulta così indispensabile nastrare perfettamente tutte le giunzioni OSB-OSB anche nel caso in cui sia presente un bordo maschio-femmina tra di essi. Nei casi in cui il controventamento sia affidato a materiali non a tenuta all'aria, come ad esempio un tavolato a 45°, in luogo della nastratura sarà posto in opera un telo continuo che avrà funzione anche di freno vapore. Questo telo dovrà naturalmente essere nastrato lungo le giunzioni analogamente a quanto visto per il pannello OSB.

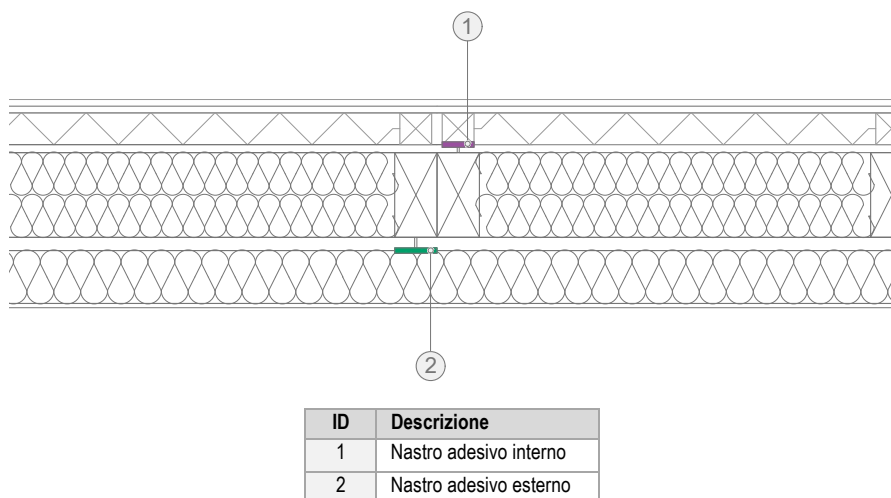


Figura 3.5. Sigillatura di una giunzione tra pannelli OSB realizzata mediante nastro adesivo e tabella materiali.

3.3.2 Pannelli multistrato con colla

Il pannello X-Lam non sempre garantisce la tenuta all'aria: dipende dal numero degli strati e dalla tecnica utilizzata per l'incollaggio. Normalmente i pannelli a 5 strati sono garantiti come “*a tenuta all'aria*” ma si consiglia di verificare sempre i certificati del produttore. Per quanto riguarda i pannelli a 3 strati, il discorso è diverso in quanto difficilmente assicurano l'impermeabilità all'aria: grazie a particolari tecniche di assemblaggio alcuni produttori riescono tuttavia a garantire la tenuta anche per queste stratigrafie. Nel caso in cui per la tenuta all'aria si faccia affidamento al singolo pannello, si può avere questa semplificazione: pensare che la linea rossa corra lungo l'asse del pannello stesso e così facendo tutte le giunzioni dovranno essere opportunamente sigillate con del nastro adesivo o con dei nastri espandenti.

È possibile anche operare in cantiere seguendo un approccio diverso, ovvero affidare l'impermeabilità all'aria non al pannello, bensì ad una membrana con un idoneo valore di S_d posta esternamente. In questo caso è possibile montare tutta la struttura senza curarsi delle giunzioni pannello-pannello e pannello-altri elementi costruttivi. Tutte le attenzioni sulla sigillatura si spostano però a questo punto dall'X-Lam alla membrana. In questo caso il rischio di avere fenomeni di condensa interna al pannello è generalmente da escludere qualora si abbia una coibentazione esterna di sufficiente spessore ovvero tale da garantire una temperatura interna al pannello X-Lam sempre superiore a quella di condensa. Come da obbligo di legge è comunque richiesta la verifica del bilancio sui 12 mesi.

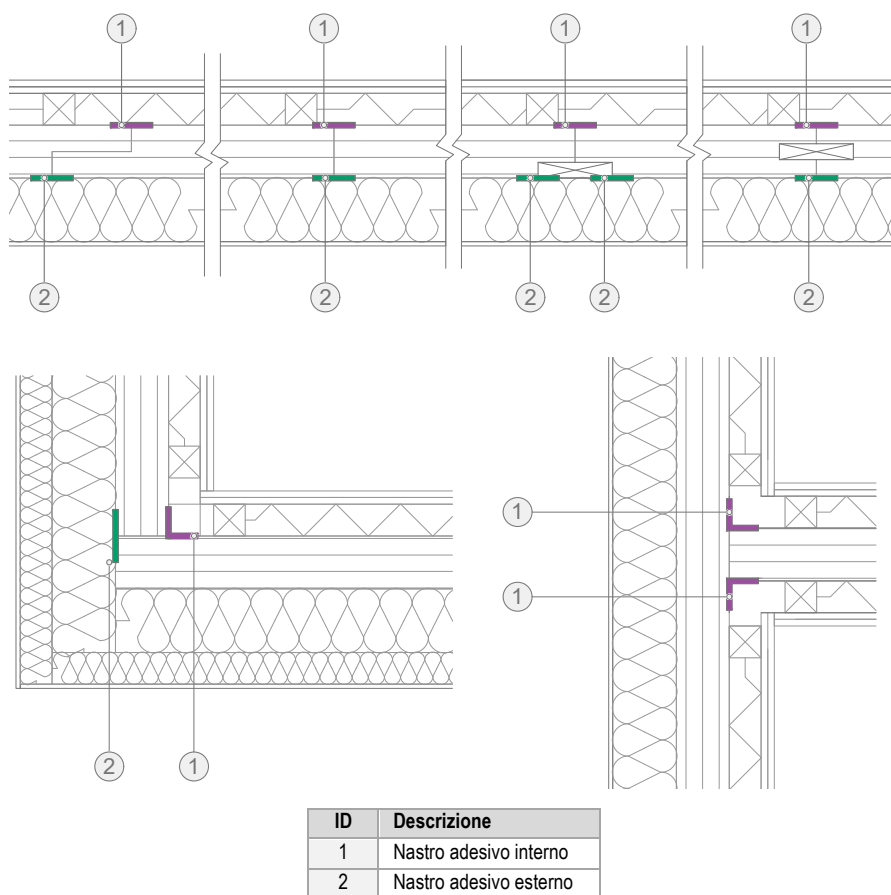


Figura 3.6. Alcune modalità di sigillatura di una giunzione tra pareti X-Lam realizzata mediante nastro adesivo.

3.3.3 Pannelli multistrato senza colla

Il discorso è un po' diverso quando si parla di pareti senza colla ovvero tipo DLT o NLT o Brettstapel. In questi casi, non essendoci alcun tipo di colla, le pareti non possono essere considerate a tenuta: diventa perciò necessario porre in opera una membrana continua lungo la superficie esterna della parete.

Una domanda piuttosto frequente è: in questi casi la membrana va posizionata all'interno o all'esterno della parete strutturale? Non esiste una risposta unica in quanto è necessaria una verifica termoigrometrica che cambierà moltissimo in funzione della permeabilità della membrana stessa ovvero del suo valore S_d . In linea di massima è preferibile utilizzare prodotti altamente traspiranti ($S_d < 0,5 \text{ m}$) così da non avere fondamentalmente influenza sulla verifica a livello di calcolo. Il loro effetto sarà invece

importantissimo per garantire il soddisfacimento delle ipotesi alla base della verifica e cioè di spostamento del vapore per sola diffusione. La posa di una guaina sul lato interno della parete pone delle difficoltà tecniche non semplici da risolvere per garantire la continuità con gli altri teli, come per esempio quello della copertura o dei solai interpiano.

3.3.4 Coperture

Lungo la superficie della falda, al di sopra del tavolato, sarà posto un freno vapore che svolgerà tra le altre cose anche la funzione impermeabilizzante; tale membrana dovrà essere ripiegata per facilitare il collegamento con gli altri elementi costruttivi e mantenere quindi la continuità dello strato di tenuta all'aria in coerenza con le scelte iniziali fatte dal progettista. Il dettaglio costruttivo dei vari collegamenti dovrà essere studiato di volta in volta. Ad esempio, per quanto riguarda il sistema costruttivo a telaio, nel caso del giunto tra pannello interno in OSB e membrana della copertura, per evitare che quest'ultima si interrompa sui correnti sul giunto tra corrente e banchina, si opta per soluzioni come quella del tetto incassato¹: i travetti interni si interrompono contro la banchina e la membrana viene portata al di sopra incontrando una superficie liscia. Lungo l'aggetto della falda l'orditura secondaria sarà raddoppiata e sovrapposta per poter creare lo sbalzo.

Un dettaglio, così studiato, presenta inoltre un secondo grande pregio molto apprezzato dai progettisti: esternamente lo spessore dell'isolante è nascosto come si può notare dalle immagini seguenti. In aggiunta questo accorgimento permette non solo di evitare le perdite in gronda, ma anche quello sul frontespizio attraverso le travi sporgenti di colmo, mezzacasa e banchina.

Segue la Figura 3.7 con sezione e vista prospettica di un tetto “*incassato*”.

¹ Non esiste un termine unico per indicare questa tipologia. Altri nomi solitamente utilizzati sono: tetto riportato, tetto doppio, tetto sistema, tetto con falso correntino.

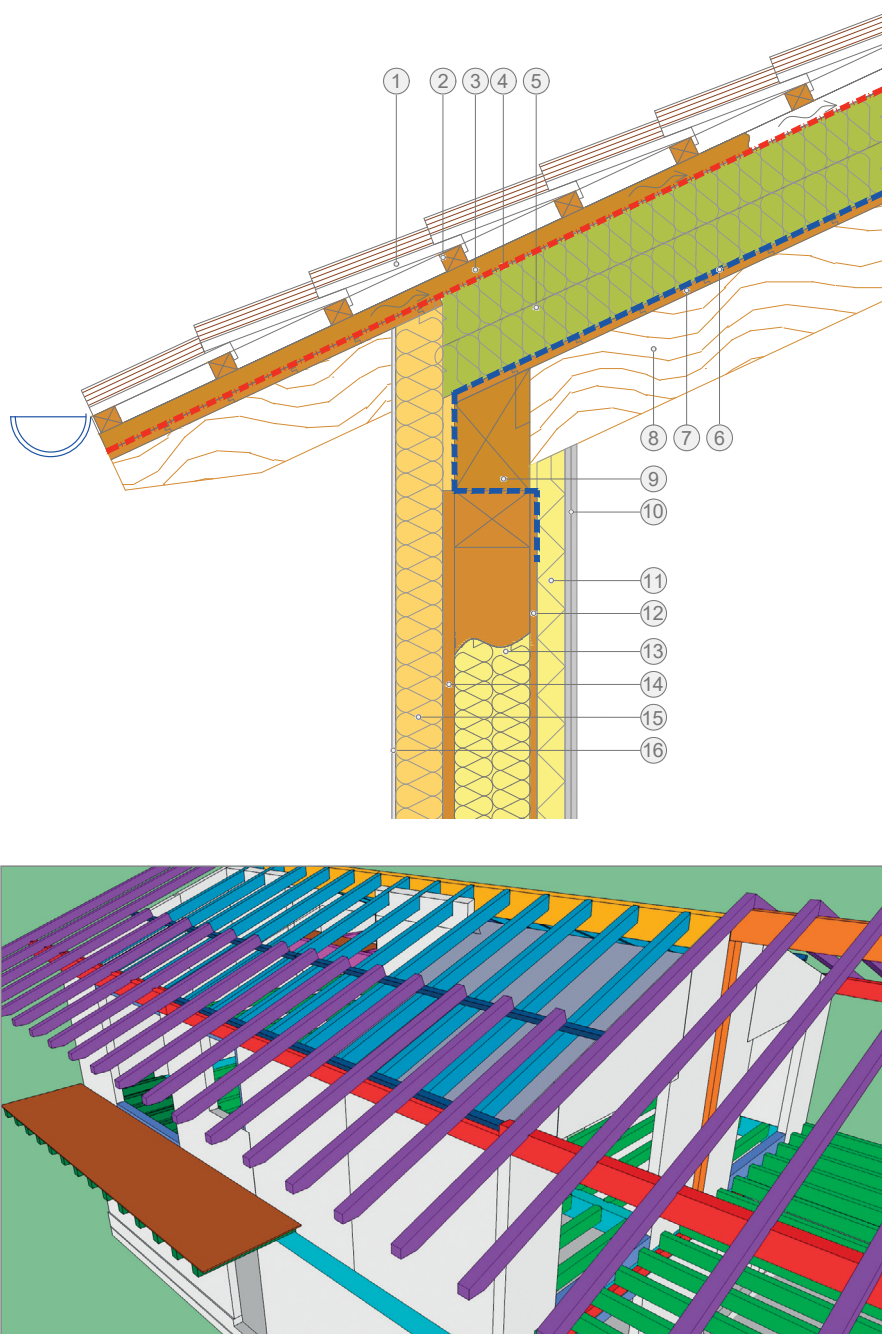
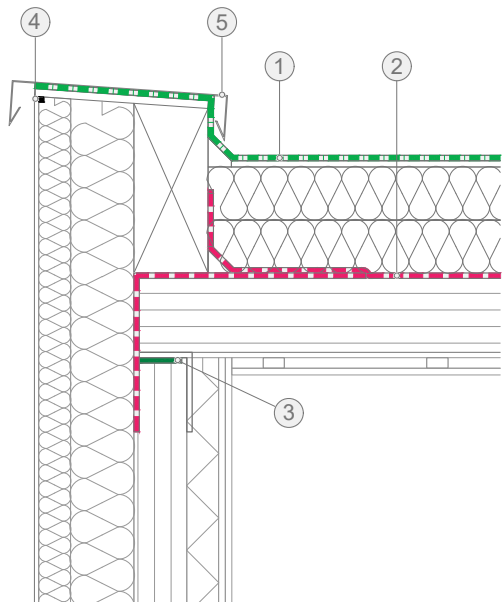


Figura 3.7. Sezione e vista prospettica di un tetto *"incassato"*.

Tabella materiali relativa alla Figura 3.7.

ID	Spessore [mm]	Descrizione
1		Tegole
2	40	Listelli portategola
3	40	Listelli di ventilazione
4		Membrana traspirante
5	200	Isolante 100+100
6		Schermo freno al vapore
7	20	Perlina
8		Correntini 120x200, i = 80 cm
9		Banchina
10	25	Doppio pannello fibrogesso
11	60	Controparete isolata
12	15	Pannello OSB
13		Isolante tra i montanti
14	25	Pannello di chiusura
15	100	Cappotto isolante
16	8	Rasatura



ID	Descrizione
1	Telo impermeabile
2	Telo controllo vapore
3	Isolante acustico
4	Nastro espandente
5	Lamiera

Figura 3.8. Giunzione copertura piana-parete esterna e tabella materiali.

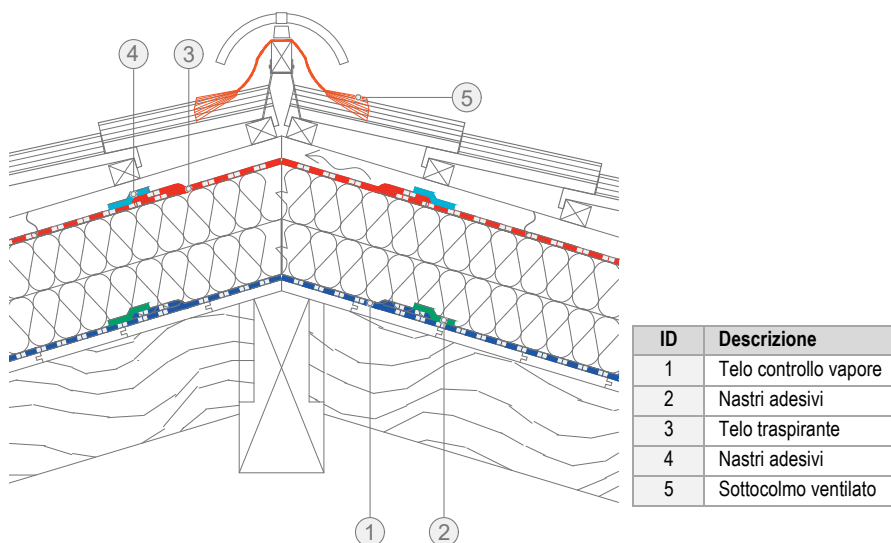


Figura 3.9. Strato di tenuta sul colmo e tabella materiali.

Il freno vapore non deve presentare discontinuità sulla sommità del colmo proprio perché si tratta di un punto particolarmente soggetto ad infiltrazioni d'acqua. Inoltre, l'aria calda proveniente dall'interno tende a concentrarsi in quel punto e a fuoriuscire attraverso gli eventuali spifferi.

3.3.5 Piccole aperture

Tutti i fori presenti nell'involucro ligneo rappresentano delle criticità in quanto ogni interruzione dello strato di tenuta dev'essere sigillata con cura. In particolare gli impianti costituiscono indubbiamente uno dei fattori più delicati per la tenuta all'aria, creando una discontinuità. Essi mettono in comunicazione l'interno con l'esterno della struttura: ad esempio i corrugati per i punti luce o i fori per la ventilazione necessari se si ha la cucina a gas. È molto importante garantire la sigillatura tra l'esterno del tubo/corrugato e la faccia interna del foro per mezzo di materiali elastici, capaci di adattarsi alla forma della cavità creata nel legno, spesso non molto regolare.

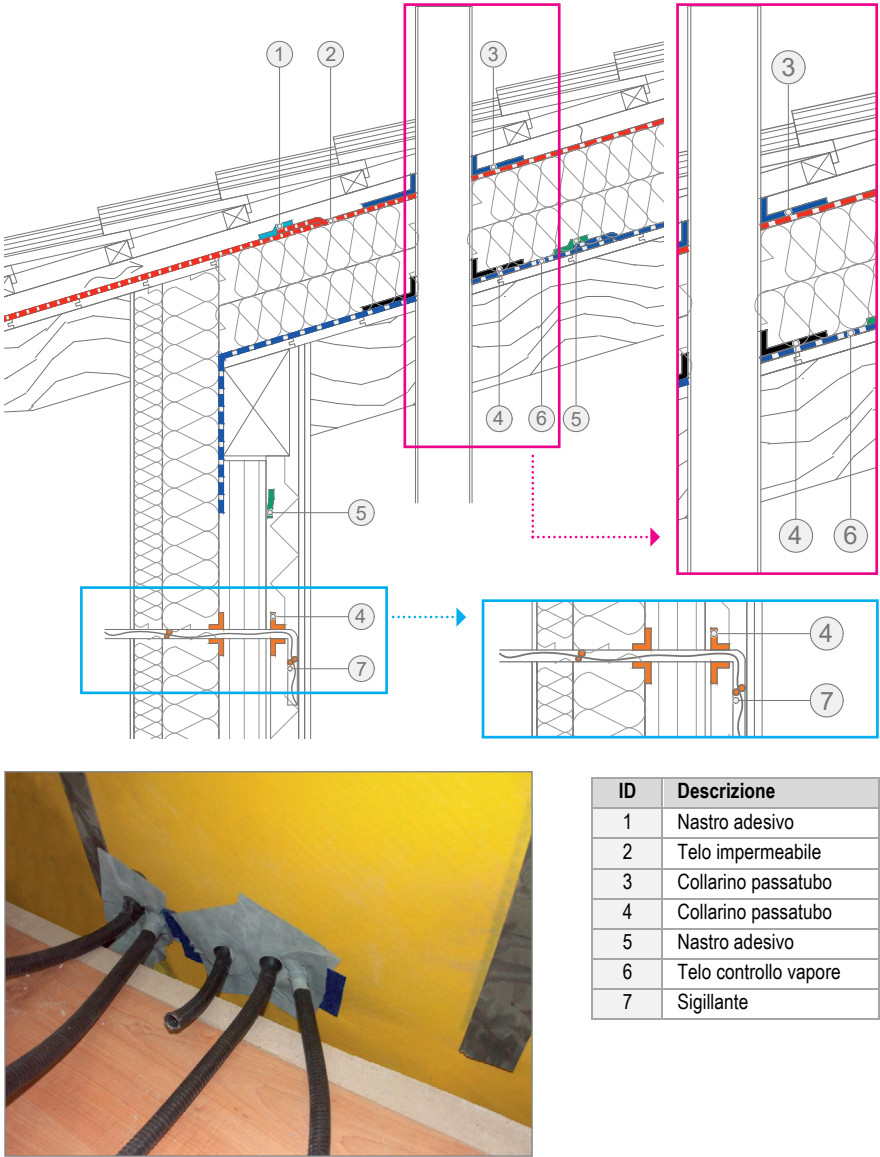
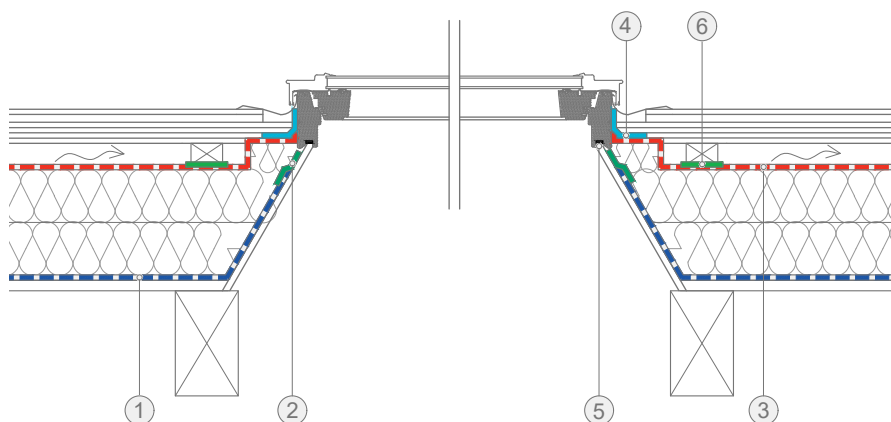


Figura 3.10. Particolare dell'interruzione di tenuta intorno a un tubo freddo e ad un corrugato elettrico realizzata con collari autoadesivi in EPDM e nastri butilici (con rispettiva tabella materiali).



ID	Descrizione
1	Telo controllo vapore
2	Nastro adesivo
3	Telo impermeabile
4	Banda adesiva
5	Nastro espandente
6	Guarnizione punto chiodo

Figura 3.11. Particolare dell'interruzione di tenuta in prossimità di un lucernario: il freno vapore viene allungato fino al di sotto del serramento (e rispettiva tabella materiali).

3.4 CONTROLLI DI CANTIERE

Paradossalmente il tema della tenuta all'aria non è molto conosciuto dagli addetti ai lavori e viene spesso ignorato dai più o delegato ad un qualcuno non ben definito in cantiere. Per non avere problemi è necessario che siano contemporaneamente presenti tre fattori riportati di seguito in ordine di importanza:

- 1) un vero e proprio progetto redatto da un tecnico competente che si assumerà la responsabilità di quanto disegnato;
- 2) maestranze in grado di seguire le indicazioni progettuali ricevute e disposte ad imparare qualcosa di nuovo;
- 3) un tecnico che vigili in cantiere, in grado di risolvere i problemi man mano che si presentano e capace di trasmettere i concetti base agli artigiani.

Sulla base delle esperienze accumulate in questi anni si ritiene molto utile portare in cantiere le tavole con riportate in evidenza le linee rossa e blu nelle sezioni orizzontali e verticali. Questi elaborati serviranno come base per spiegare agli artigiani in cantiere come impostare il proprio lavoro così da poter garantire il raggiungimento di elevati valori di ermeticità all'aria.

Come scritto prima, la fase di controllo è importante ma ancora di più lo è quella di

interfacciamento con le maestranze in cantiere in quanto è impensabile che la direzione lavori sia presente tutto il giorno tutti i giorni.

Un'ultima indicazione, non meno importante ma sempre valida, è la seguente: al termine della posa delle membrane e dei nastri nessuna estremità deve essere “libera” o “svolazzante”. Anche senza Blower door test in funzione si può facilmente intuire come l'estremità di una membrana non sigillata non sia assolutamente in grado di garantire la tenuta all'aria.



Figura 3.12. Esempi di errata posa in opera di membrane e teli.

La qualità dell'operato sinergico di queste due figure (progettista/i ed artigiani) viene poi misurata a fine lavori per mezzo di un test tanto importante quanto severo denominato Blower door, letteralmente “*porta che aspira*”, descritto nel paragrafo successivo. Se il test darà esito positivo in cantiere saranno tutti contenti, ma in caso contrario cosa succede? Capita spesso di sentir pronunciare dal progettista frasi del tipo “*L'elettricista doveva sapere come garantire la tenuta all'aria!*”, oppure ancora

“Non era mio compito dire loro come eseguire il dettaglio”. Non sono frasi ammissibili: il progettista ha la responsabilità di dare indicazioni confrontandosi in maniera continuativa e costruttiva con le maestranze di cantiere per essere sicuro che la soluzione proposta sia realizzabile nei tempi e nei costi previsti.



Manuale delle costruzioni di legno



INDICE

1 SISTEMI COSTRUTTIVI

1.1	Principi generali	11
1.2	Blockbau	11
1.3	X-Lam	12
1.4	Telaio	17
1.5	Sistemi senza colle	20
1.5.1	Pannello chiodato (NLT)	20
1.5.2	Pannello fissato con perni (DLT)	21
1.6	Sistemi nervati e alveolari/scatolari	24
1.7	Altri sistemi	28
1.7.1	Sistema Holzius	29
1.7.2	Sistema Brettstapel	30

2 FISICA TECNICA DELLE COSTRUZIONI IN LEGNO

2.1	Premessa	31
2.2	Caratteristiche termoigrometriche dei materiali	32
2.2.1	Conducibilità	32
2.2.2	Permeabilità al vapore	38
2.3	Calcolo trasmittanza strutture omogenee	41
2.4	Calcolo trasmittanza strutture disomogenee	43
2.4.1	Parete a telaio	43
2.4.2	Limiti di applicabilità del metodo	47
2.4.3	Parete in X-Lam	49
2.5	Migrazione del vapore	51
2.5.1	Diffusione e convezione del vapore	52
2.5.2	Strati funzionali, freni e barriere al vapore	56
2.5.3	Verifiche termoigrometriche	58
2.5.4	Diffusione e convezione	76

2.6	Parametri estivi	77
2.7	Stratigrafie	82
2.7.1	Parete esterna X-Lam non ventilata - Isolante mono e bidensità	82
2.7.2	Parete esterna a telaio non ventilata	84
2.7.3	Parete esterna X-Lam ventilata - Con rivestimento continuo e discontinuo	86
2.7.4	Parete esterna a telaio ventilata - Con rivestimento continuo e discontinuo	88
2.7.5	Solaio interpiano X-Lam	91
2.7.6	Solaio interpiano a travetti	92
2.7.7	Copertura inclinata travetti e X-Lam	93
2.7.8	Copertura piana non ventilata - Travetti e X-Lam	94
2.8	Tetto piano	95
2.8.1	Il riassorbimento	101
2.8.2	Le analisi termoigrometriche	102
2.8.3	Le 7 regole d'oro	103

3 TENUTA ALL'ARIA

3.1	Concetti base: perché è importante la tenuta all'aria	107
3.1.1	Acustica	107
3.1.2	Comfort	108
3.1.3	Energia	108
3.1.4	Ventilazione meccanica	109
3.1.5	Condense interstiziali	109
3.2	Strati funzionali: tenuta aria e tenuta vento	109
3.3	Progettazione della tenuta all'aria per diversi sistemi costruttivi	112
3.3.1	Telaio	112
3.3.2	Pannelli multistrato con colla	113
3.3.3	Pannelli multistrato senza colla	114
3.3.4	Coperture	115
3.3.5	Piccole aperture	118
3.4	Controlli di cantiere	120
3.5	Rilievo strumentale in cantiere: Blower door test	122
3.6	Criticità del sistema a controparete ed importanza del pre-test	131
3.7	Blower door test e tetti piani	134
3.8	Indicazioni normative	134

3.8.1	Provincia Autonoma di Trento - D. Pres. P. 2 agosto 2017, n. 13-66/Leg	134
3.8.2	Provincia Autonoma di Bolzano - Direttiva CasaClima 2015 (<i>"Direttiva Tecnica Nuovi Edifici"</i>)	136
4	STATICA	
4.1	Aspetti normativi	139
4.2	Tensioni ammissibili e stati limite	141
4.3	Caratteristiche meccaniche	145
4.3.1	Fattori che influenzano le resistenze meccaniche del legno	145
4.3.2	Profili prestazionali del legno da costruzione	146
4.4	Comportamento sismico	149
4.5	Verifica delle vibrazioni	158
4.5.1	Modi di vibrare di un solaio (analisi FEM)	162
4.6	Resistenza al fuoco	166
4.7	Modellazione numerica	170
4.8	Modellazione superfici: X-Lam, telaio e sezioni composte	173
4.9	Connessioni e sistemi di fissaggio	175
4.10	Connessione a terra	181
4.10.1	Problematiche legate al mancato livellamento	186
4.10.2	Riempimento sottoparete con malta espansiva	188
4.10.3	Fissaggio lato calcestruzzo	190
4.10.4	Indicazioni specifiche per pareti a telaio	199
5	RESPONSABILITÀ DEL PROGETTISTA E DEL DIRETTORE DEI LAVORI	
5.1	Redazione dei progetti strutturali esecutivi e delle relazioni di calcolo	205
5.2	Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo	219
5.3	Direttore dei lavori e accettazione materiale in cantiere	220
5.3.1	Staffe	225
5.3.2	Materiali e prodotti a base di legno	228
5.4	Collaudo	231

6	DURABILITÀ	
6.1	Concetti base	235
6.2	Il progetto della durabilità	238
6.3	Dettaglio di attacco a terra	241
6.3.1	Durabilità	241
6.3.2	Aspetti statici	247
6.3.3	Aspetti termici	252
6.4	Criteri di scelta dei materiali	258
6.5	Allontanamento delle acque meteoriche	259
6.5.1	Pluviali inseriti nello spessore del cappotto	260
6.6	Sistemi di monitoraggio	264
6.7	Controlli di cantiere	269
6.8	Controlli e manutenzione periodica	270
7	INGEGNERIZZAZIONE E CONCETTO BIM	
7.1	Cos'è	273
7.2	Importanza dell'ingegnerizzazione	276
7.3	Trasportabilità e montaggio	286
7.3.1	Generalità	286
7.3.2	Oversea	290
7.4	Il concetto BIM applicato alle costruzioni in legno	294
7.5	Concetto WYDIWYG®	295
7.6	Modellazione geometrie complesse	299
8	AMPLIAMENTI E SOPRAELEVAZIONI IN LEGNO	
8.1	Concetti generali	305
8.2	Valutazione delle strutture esistenti	308
8.2.1	Analisi storico-critica	308
8.2.2	Rilievo	309
8.2.3	Caratterizzazione meccanica dei materiali	310
8.2.4	Livelli di conoscenza e fattori di confidenza	310
8.2.5	Azioni	311
8.2.6	Materiali utilizzati per l'intervento	311
8.2.7	Valutazione e progettazione in presenza di azioni sismiche	311
8.3	Vantaggi offerti dal legno	314

8.3.1	Leggerezza delle strutture e alta capacità portante	314
8.3.2	Cantiere pulito	315
8.3.3	Flessibilità e libertà progettuale	315
8.3.4	Velocità di posa	315
8.4	Dettagli costruttivi	316
9	DETTAGLI COSTRUTTIVI	
9.1	Attacco a terra – parete esterna X-Lam	321
9.2	Attacco a terra – parete esterna a telaio	323
9.3	Spigolo parete – parete non ventilata	325
9.4	Spigolo parete – parete ventilata	327
9.5	Spigolo parete – parete a telaio non ventilata	329
9.6	Parete – parete non ventilata	331
9.7	Solaio interpiano – parete esterna	332
9.8	Solaio interpiano – parete interna	334
9.9	Copertura – parete esterna (sezione trasversale)	335
9.10	Copertura – parete esterna (sezione longitudinale)	337
9.11	Copertura piana – parete esterna	339
9.12	Colmo copertura travetti	341
9.13	Attraversamento copertura con camino “caldo”	342
9.14	Lucernario su copertura inclinata	344
9.15	Passaggi impianti	346
9.16	Connessione parete – serramento	348
9.17	Connessione serramento con cassonetto frangisole – parete	351
10	ESEMPI REALIZZATI	
10.1	Makoko Floating School II	353
10.2	Edificio a sei piani Modena	355
10.3	Ex Officine Scaglietti	358
10.4	Quartier generale VisLab	361
10.5	Centro residenziale per la grave disabilità	364
10.6	Palestra Palagano	368
10.7	Supermercato Massa Finalese	370
10.8	Palestra comunale Salvador Allende di Cavezzo	372

10.9 Centro socio-riabilitativo diurno per disabili a San Felice	375
10.10 Bamboo Stalactite	377
10.11 Uffici Arimondo	379
10.12 Facciata EJC	383
BIBLIOGRAFIA	387
Riferimenti bibliografici	387
Riferimenti normativi, legislativi e buone prassi	388

Desidero ringraziare tutte le persone che mi hanno aiutato e sopportato durante la stesura di questo libro. Senza il prezioso aiuto dei miei collaboratori non sarei mai riuscito a completare il lavoro.

Ringrazio inoltre l'Editore per la fiducia e Dario e Riccardo per aver insistito ed avermi infine convinto a scrivere questo nuovo libro che racchiude le esperienze e conoscenze acquisite in oltre 15 anni di attività.

Voglio infine ringraziare Lino ed Elena perché senza di loro nulla sarebbe mai iniziato.

Buona lettura,

L'Autore

Progettare la tenuta all'aria nelle costruzioni in legno

a cura di

Franco Piva

*Ingegnere, titolare dello Studio "Ergodomus Timber Engineering",
specializzato nella progettazione e ingegnerizzazione di strutture in legno.*

Tratto da

Manuale delle costruzioni di legno



Panoramica sui sistemi costruttivi a base di legno

Fisica tecnica e tenuta all'aria

Statica, progetto strutturale, materiali, collaudo

Durabilità, ingegnerizzazione e BIM

Ampliamenti e sopraelevazioni in legno

Dettagli costruttivi ed esempi di realizzazioni



Legislazione Tecnica
libreria professionale