



LA FIGURA DEL DIRETTORE TECNICO DI PRODUZIONE

Norme Tecniche per le Costruzioni – DM 17.01.18

conlogno
consorzio servizi legno sughero

FLA
FEDERLEGNOARREDO

1 - INTRODUZIONE	
1.1 Generalità	11
1.2 Contenuti	11
2 - PRINCIPI DI TECNOLOGIA DEL LEGNO	
2.1 Generalità	13
2.2 Proprietà del materiale	13
2.3 Anisotropia	14
2.4 Igroscopicità	14
2.5 Umidità del legno	15
2.6 Ritiri e deformazioni	17
2.7 Determinazione dell'umidità del legno	19
2.8 Variabilità della specie	20
2.9 Durabilità	21
2.10 Classi di durabilità	22
2.10.1 Umidità, classi di servizio e classi di utilizzo	24
2.10.2 Classi di utilizzo e classi di durabilità	27
2.10.3 Agenti biotici di degrado	29
2.11 Conservazione	37
2.11.1 Trattamenti preventivi	37
2.11.2 Trattamenti curativi	38
2.12 Degrado da agenti non biotici	39
2.12.1 Fattori atmosferici	39
3 - CLASSIFICAZIONE SECONDO LA RESISTENZA	
3.1 Generalità	41
3.2 Normativa dell'applicabile - classificazione con metodi a vista	41
3.3 Scelta della regola di classificazione da utilizzare	42
3.3.1 Norme di classificazione: principi generali	44
3.3.2 Difetti e metodi di misurazione	45
3.3.3 Norma UNI 11035-1/2	51
3.3.4 Norma DIN 4074-1	53
3.3.5 Norma DIN 4074-1	54
3.3.6 Norma NF B 52 001-1	54
3.3.7 Esempi - misurazione dei difetti	56

3.3.8 Legno massiccio a sezione irregolare	58
3.3.9 "Perlinato" strutturale	66
3.3.10 Legno massiccio classificato con metodi a macchina	70
4 - DIAGNOSI DELLE STRUTTURE ESISTENTI: PRINCIPI	
4.1 Scopo dell'attività di diagnosi	73
4.2 Accessibilità della struttura: un prerequisito indispensabile per l'indagine diagnostica	74
4.3 Riconoscimento della specie legnosa	74
4.4 Tipologie strutturali	76
4.5 I metodi di indagine	78
4.5.1 Ispezione visuale	78
4.5.2 Indagini strumentali	79
4.5.3 Degrado di tipo meccanico: rilievo	81
4.6 Manutenzione del patrimonio storico - cenni	81
4.7 Elementi posti in opera e qualificazione nazionale	81
5 - NORMATIVA ITALIANA E COMUNITARIA	
5.1 Introduzione	83
5.2 Paragrafo 4.4 "Costruzioni in legno" progettazione e coefficienti di sicurezza	83
5.2.1 Resistenza di progetto	83
5.2.2 Carico da neve e classi di servizio	86
5.3 Paragrafo 7.7 - Costruzioni in legno & progettazione in zona sismica	87
5.3.1 Aspetti concettuali della costruzione in legno	87
5.3.2 Materiali, proprietà dissipative e fattori di comportamento	88
5.3.3 Capitolo 8: Esistente	90
5.3.4 Sopraelevazioni e interventi di adeguamento	90
5.4 Capitolo 11.1: Materiali prodotti a base legno: normativa applicabile	92
5.4.1 Attestati di qualificazione: fabbricanti e centri di lavorazione	92
5.4.2 Documentazione accompagnatoria	93
5.4.3 La figura del costruttore	94
5.4.4 I prodotti a base legno: normativa applicabile	97
5.4.5 Legno lamellare	102
5.4.6 Elementi di legno massiccio giuntati ("duo/trio")	110

5.4.7 Elementi in legno massiccio a tutta sezione (KVH)	111
5.4.8 Compensato di tavole: (CTL - cross laminated timber)	111
5.4.9 I sistemi costruttivi: una valutazione tecnica europea?	113
5.5 Denuncia di attività come centro di lavorazione	114
5.6 La figura del carpentiere: UNI 11742	115
5.6.1 Maestranze, tutela e valorizzazione	115
5.6.2 Carpentiere generico e carpentiere specializzato: requisiti di accesso	116
6 - I CONTROLLI DI ACCETTAZIONE	
6.1 Il legno massiccio: classificazione con metodi a vista	119
6.2 Il legno massiccio: classificazione con metodi a macchina	121
6.3 Legno lamellare: controlli di accettazione	122
6.4 Altri elemneti giuntati	124
6.5 Controlli geometrici e di umidità	124
6.6 Elementi meccanici di collegamento	125
6.7 Prove complementari di accettazione	126
6.7.1 Prove di carattere distruttivo: legno massiccio	127
6.7.2 Prove di carattere non distruttivo: elementi giuntati	127
6.7.3 Circolare 2019 & UNI TR 11499	128
7 - PROGETTAZIONE STRUTTURALE: CONCETTI GENERALI E DURABILITÀ DELL'OPERA	
7.1 Pricipi generali di calcolo delle strutture	131
7.1.1 Gli elementi strutturali	131
7.1.2 Le situazioni transitorie ed altri esempi significativi	134
7.2 Tipologie costruttive e comportamento statico e sismico	136
7.2.1 Strutture a pannelli di tavole incollate a strati incrociati (Xlam)	136
7.2.2 Strutture a telaio tipo platform-frame	138
7.2.3 Strutture a telaio e controventi in acciaio o legno	139
7.3 Durabilità e dettagli costruttivi	141
7.3.1 Attacco a terra delle pareti in legno	141
7.3.2 Sporto di gronda	142
7.3.3 Balconi non coperti	143
7.3.4 Coperture piane	144
7.4 Comportamento al fuoco	144

7.4.1 Comportamento a fuoco del legno	144
7.4.2 Protezione a fuoco della ferramenta	145
7.4.3 Protezione al fuoco in fase di cantiere	145
8 - FISICA TECNICA PER EDIFICI IN LEGNO	
8.1 Introduzione	147
8.2 Fisica tecnica: princp fondamentali	151
8.2.1 L'umidità del legno	151
8.2.2 Calore e vapore	152
8.3 La fisica tecnica: princp fondamentali	157
8.3.1 Da materiale naturale a materiale da costruzione	157
8.3.2 Dal materiale al componente	159
8.3.3 Dal componente all'involucro termico	171
8.3.4 Il test in opera Blower Door	179
8.4 Il bilancio energetico	183
8.4.1 Introduzione	183
8.4.2 Il bilancio energetico invernale	184
8.4.3 Il bilancio energetico estivo dell'involucro	187
9 - RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	
9.1.1 Pubblicazioni	191
9.1.2 Norme di prodotto	191
9.1.3 Adesivi	192
9.1.4 Connettori metallici	192
9.1.5 Durabilità	192
9.1.6 Norme di classificazione secondo la resistenza	192
9.1.7 Progettazione	193
9.1.8 Altre	193

LA FIGURA DEL DIRETTORE TECNICO DI PRODUZIONE

Norme Tecniche per le Costruzioni – DM 17.01.18

conlogno
consorzio servizi legno sughero

FLA
FEDERLEGNOARREDI

Introduzione a cura di Assolegno

Le strutture in legno hanno recentemente acquistato una buona posizione di mercato per quel che riguarda la realizzazione di complessi residenziali, in aggiunta alla già riconosciuta competitività raggiunta nel settore delle coperture sia civili che industriali.

Il materiale legno si è riscoperto vantaggioso sia in termini di efficienza strutturale che di costo. La crescente diffusione del legno si spiega inoltre con la maggior sensibilità che oggi si rivolge all'utilizzo di materiali "naturali", con la disponibilità di nuovi prodotti industriali a base di legno, nonché con un aumento della conoscenza acquisita dai professionisti e dagli operatori del settore.

Entro questo ambito, le rinnovate Norme Tecniche per le costruzioni individuano nella figura del Direttore Tecnico di Produzione (DTP), una funzione chiave nei processi di qualificazione, controllo interno e denuncia di attività delle imprese del legno strutturale.

Competenza, ma anche aggiornamento tecnico – normativo: il testo delle NTC 2018 infatti presuppone una crescita professionale costante del personale, che sappia coniugare pratica professionale ad una capacità decisionale per assicurare sul mercato elementi strutturali in linea con gli adempimenti normativi e con le aspettative della committenza, sia questa pubblica che privata.

Il presente testo – a supporto delle attività didattiche di percorsi formativi e di aggiornamento del Direttore Tecnico di produzione – vuole essere una sintesi degli argomenti che tale figura deve conoscere e padroneggiare.

In particolare si possono definire i seguenti macro temi, trattati nei paragrafi che seguiranno:

- Principi di tecnologia e aspetti di classificazione secondo la resistenza;
- Inquadramento Normativo, nazionale e comunitario;
- Legno in opera: tecniche e aspetti di diagnosi;
- Cantiere e Controlli di accettazione
- Progettazione in zona sismica e aspetti di durabilità delle strutture in legno
- Sicurezza in caso di incendio: in cantiere e a struttura ultimata
- Principi di Fisica Tecnica

Come nella passata edizione delle NTC, anche con il nuovo testo delle Norme Tecniche per le Costruzioni, il Direttore Tecnico di Produzione diviene quindi l'anello di congiunzione tra progettazione e direzione lavori; proprio in relazione a questo aspetto diviene fondamentale riuscire ad avere delle competenze specifiche dedicate al settore legno strutturale, visto sia come materiale peculiare in relazione alle sua origine biologica, ma anche come elemento capace di fornire prestazioni sicuramente di interesse per la realizzazione di piccole e grandi costruzioni.

Infine sembra opportuno richiamare le parole del professor Giordano per sintetizzare il compito che ogni Direttore Tecnico di Produzione deve seguire in ambito di stabilimento e non solo. Lo stesso Guglielmo esprimeva l'obiettivo "che di ogni materiale costruttivo si faccia l'uso più razionale e economico sfruttando in modo opportuno le sue caratteristiche peculiari..." (Torino, 1946).

Sperando che la presente pubblicazione possa essere un utile strumento a supporto della tua quotidianità lavorativa, con l'occasione porgo i miei più cordiali saluti e ti ricordo che tutta la struttura di Assolegno rimane a tua completa disposizione per qualsiasi ulteriore chiarimento.

Marco Vidoni
Presidente di Assolegno

1

Introduzione

1.1 GENERALITÀ

Oggi il settore delle costruzioni in legno può vantare un ampio e strutturato panorama normativo, rinnovato dal recente aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, all'interno del quale il progettista, così come il direttore lavori, collaudatore e filiera produttiva, trovano i riferimenti per concepire, controllare, dimensionare e verificare le opere.

Entro tale ambito tecnico-normativo il Direttore Tecnico di Produzione dovrà potersi muovere con facilità, in modo da favorire i processi di dialogo con il Progettista e la Direzione Lavori, nonché procedere ad una organizzazione dello stabilimento in modo razionale, tenendo presente le peculiarità del materiale e i relativi processi che portano all'assegnazione in una classe di qualità meccanica (prestazione) ai vari assortimenti a base legno presenti sul mercato internazionale.

1.2 CONTENUTI

La presente pubblicazione introduce in modo schematico i seguenti aspetti:

- Principi di Tecnologia del Legno (capitolo 2): entro il quale si riportano le principali proprietà del materiale, le relazioni legno-acqua e la durabilità del legno.
- La classificazione del legno per usi strutturali (capitolo 3) è una delle attività più importanti del Direttore Tecnico di Produzione, viene affrontata con riferimento alle principali norme di classificazione Europee che si utilizzano per classificare il materiale che viene utilizzato nel nostro Paese.
- Legno in opera: tecniche e aspetti di diagnosi (Capitolo 4): vuole offrire al candidato alla figura di Direttore Tecnico di Produzione una panoramica delle modalità di azione per poter comprendere i principi dell'attività di diagnosi in loco che possono discostarsi dalle modalità di classificazione secondo la resistenza riportate nel capitolo 2 del presente manuale.
- Inquadramento Normativo, nazionale e comunitario (capitolo 5): è riportata una ampia trattazione delle maggiori novità introdotte dalle Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018; si affrontano le prescrizioni normative circa la progettazione statica e in zona sismica; è necessario che il Direttore Tecnico di Produzione acquisisca le adeguate conoscenze per poter leggere un disegno esecutivo, che conosca i principi che guidano la progettazione in zona sismica e che sappia capire i dettagli importanti che garantiscono la durabilità dell'opera. Inoltre è trattato in modo approfondito il tema dei controlli in stabilimento e quanto indicato nel cap. 11.7 delle NTC 2018.
- Cantiere e Controlli di accettazione (capitolo 6): i controlli di accettazione sono stati precisati per la prima volta all'interno delle NTC 2018; diviene importante per il Direttore Tecnico di Produzione riuscire a confrontarsi con la DL incaricata sulla base di conoscenze tecnico-normative acquisite durante i percorsi di formazione e aggiornamento.
- Progettazione strutturale e durabilità (capitolo 7): si affrontano i principi di meccanica delle strutture utili alla comprensione del funzionamento strutturale, si espongono i principali sistemi costruttivi ed il loro funzionamento. Una sezione è dedicata ai principali dettagli costruttivi che contribuiscono alla durabilità dell'opera. È affrontato anche l'importante tema del comportamento al fuoco e della riduzione del rischio di incendio in fase di cantiere mirando a sensibilizzare il personale nell'operare tutte quelle misure di mitigazione del rischio.
- Principi di Fisica Tecnica (Capitolo 8): vengono riportati cenni in merito alla corretta concezione dei pacchetti costruttivi in modo da fornire uno spirito critico nella visione dei termini di produzione e prefabbricazione di competenza del Direttore Tecnico di Produzione.

2 Principi di tecnologia del legno

2.1 GENERALITÀ

Si richiamano le principali proprietà meccaniche del legno:

- forte anisotropia di tutte le proprietà meccaniche, che quindi variano con la direzione anatomica considerata;
- elevata dipendenza delle proprietà meccaniche dalla massa volumica (densità) e dall'umidità;
- forte variabilità delle proprietà meccaniche in funzione della specie legnosa e della quantità, posizione e natura dei difetti;
- variazioni nel tempo di deformazione e di resistenza legate alla durata delle sollecitazioni applicate (comportamento reologico).
- ottima efficienza strutturale (il rapporto tra prestazioni e peso è simile a quello dell'acciaio, ed è 5 volte migliore rispetto a quello del calcestruzzo armato);

Tali proprietà devono essere conosciute dal Progettista che le deve poterle trattare non come dei limiti ma come delle opportunità.

2.2 PROPRIETÀ DEL MATERIALE

A livello tassonomico le specie possono essere suddivise in due categorie: latifoglie (ad es. quercia, castagno, pioppo....) e conifere (ad es. abeti, pini, larici...). A tali gruppi (in estrema sintesi) corrispondono caratteristiche anatomiche diverse e conseguentemente anche proprietà meccaniche (come da Figura 2.1 e Figura 2.2 riportate di seguito).

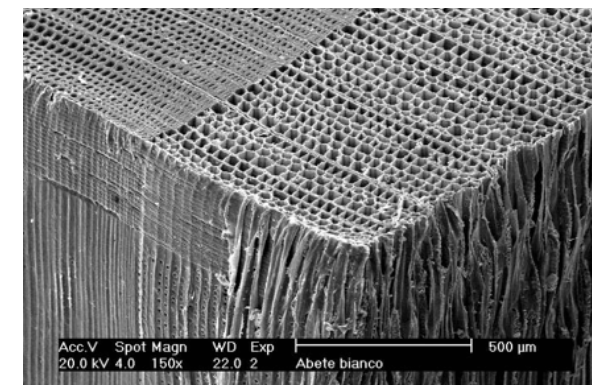


Figura 2.1 - Abete bianco al microscopio elettronico.

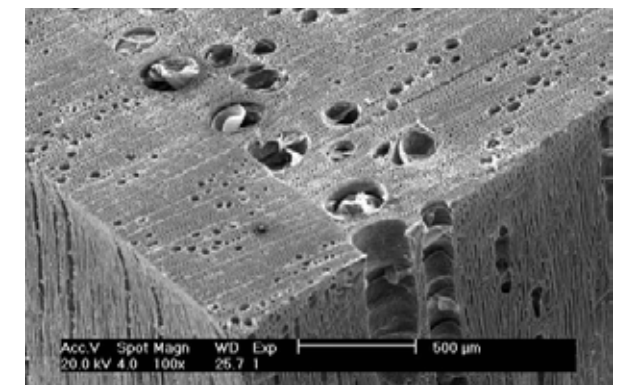


Figura 2.2 – Castagno al microscopio elettronico

Il legno rappresenta il tessuto del tronco, dei rami e delle radici di un albero e degli arbusti. Esso viene prodotto da uno strato di forma anulare detto “cambio” (Figura 2.3).

Il legno può essere definito e caratterizzato soltanto considerando le tre direzioni anatomiche fondamentali:

- “longitudinale o parallela alla fibratura”, ovvero parallela all’asse del tronco;
- “radiale”, ortogonale all’asse del tronco e che parte dal centro;
- “tangenziale”, ovvero tangente agli anelli di accrescimento.

A livello meccanico e per semplicità, le direzioni radiale e tangenziale vengono confuse e prendono il nome di “direzione trasversale o perpendicolare”

Il tessuto e le cellule, che ne determinano l’aspetto, sono differenti a seconda della sezione considerata.

La Figura 2.3 mostra le tre sezioni:

- trasversale (perpendicolare all’asse del tronco);
- radiale (piano della sezione parallelo all’asse del tronco e parallelo ai raggi midollari);
- tangenziale (piano della sezione parallelo all’asse del tronco e praticamente perpendicolare ai raggi midollari).

2.3 ANISOTROPIA

La sua struttura eterogenea conferisce al legno un'elevata anisotropia.

Ciò significa che le sue caratteristiche morfologiche dipendono dalla sezione esaminata e che le sue proprietà fisico-meccaniche sono influenzate dalla direzione lungo la quale vengono rilevate.

Alle tre sezioni anatomiche corrispondono diversi “disegni” del legno, che costituiscono la traccia degli anelli stessi, e che a volte risultano ben visibili ad occhio nudo: il disegno “rigato” sulle superfici radiali, quello “fiammato” sulle tangenziali e quello “ad anelli concentrici” sulle trasversali (Figura 2.4). Essere in grado di individuare le suddette superfici e direzioni di riferimento è fondamentale per interpretare correttamente i comportamenti del legno e dunque utilizzarlo in modo appropriato.

Le caratteristiche fisiche, quali i ritiri e i rigonfiamenti, così come le proprietà meccaniche del legno, quali la resistenza a trazione o a compressione, differiscono, infatti, secondo la direzione esaminata e in molti casi anche in maniera significativa: in uno stesso provino, ad esempio, la resistenza a trazione lungo la direzione longitudinale può essere fino a 25 volte superiore a quella riscontrabile in direzione perpendicolare alla fibratura.

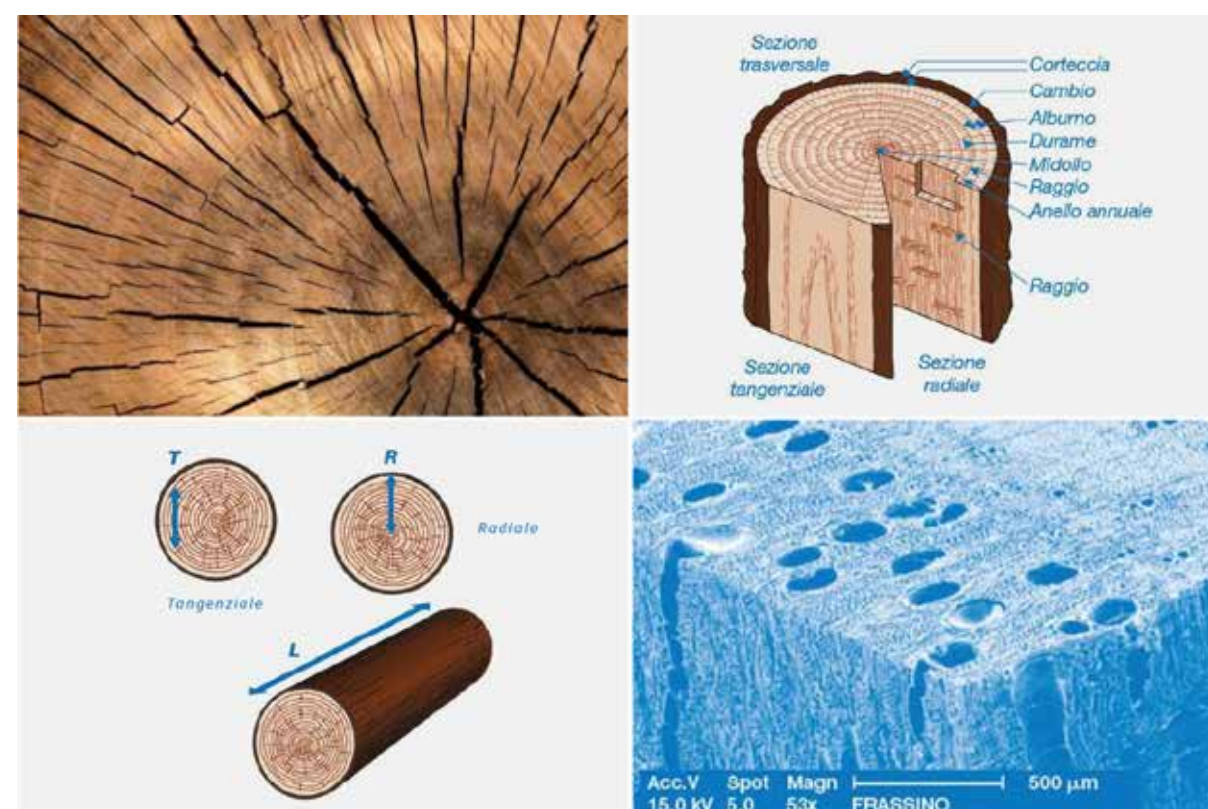


Figura 2.3 - Schematizzazione delle direzioni anatomiche del legno.

2.4 IGROSCOPICITÀ

In condizioni di normale esposizione ambientale, nel legno è sempre presente una certa quantità di acqua strettamente connessa alla componente cellulosica delle pareti cellulari (acqua di saturazione). Nel legno molto umido (legno fresco o immerso) si riscontra anche una quota di acqua cosiddetta “libera”, in quanto contenuta nelle cavità cellulari e dunque non legata alle pareti.

Facendo il rapporto tra il peso dell'acqua contenuta in un elemento ligneo ed il suo peso secco, ed esprimendo tale valore in percentuale, se ne ottiene l'umidità; nella pratica questa viene generalmente misurata indirettamente mediante appositi strumenti (igrometri) che ne forniscono una stima in funzione di note relazioni con le proprietà elettriche e dielettriche del legno.

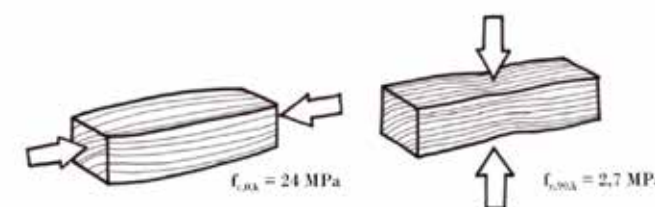


Figura 2.4 - Stati di compressione paralleli o ortogonali alla fibratura (figura da Piazza et al. [2005]).

Nella maggior parte delle specie legnose mediamente umidità del legno superiori al 30% comporta la presenza di acqua libera, mentre al di sotto di tale soglia si ha solo acqua legata alle pareti cellulari (acqua di saturazione). Tale valore è definito “punto di saturazione delle pareti cellulari” che per convenzione è fissato pari al 30% per tutte le specie legnose e il range di variazione dell'umidità del legno al di sotto di esso (0%-30%) è detto “campo igroscopico”. Questo intervallo è estremamente importante ai fini pratici in quanto, come già accennato, i fenomeni di assorbimento e desorbimento dell'acqua da parte del legno determinano variazioni dimensionali della sua parete e dunque ritiri e rigonfiamenti macroscopici nel segato.

Il ritiro volumetrico totale del legno che si registra nel passaggio dal suo stato fresco a quello anidro (conseguibile solo in condizioni controllate di laboratorio) varia, in funzione delle diverse specie, da circa il 6% a più del 20%.

Come è stato detto, però, il legno è un materiale anisotropo e dunque i ritiri e rigonfiamenti sono di entità diversa a seconda della direzione anatomica esaminata; in particolare, mentre in direzione longitudinale entrambi si possono considerare ininfluenti, in direzione tangenziale e radiale sono invece rilevanti, con i primi mediamente pari al doppio dei secondi.

L'anisotropia dei ritiri è all'origine delle fessurazioni e deformazioni del legno, per cui un elemento sottoposto a variazioni di umidità, oltre a modificare il suo volume, può evidenziare fessure visibili sulla superficie e un cambiamento della sua forma geometrica. Tali fenomeni sono fisiologici e inevitabili in quanto conseguenza della struttura del legno e differiscono in base alla posizione che l'elemento ligneo aveva nel tronco da cui è stato ricavato, dando luogo, ad esempio, alle ampie fessurazioni dei segati contenenti il midollo o all'imbarcamento di quelli tangenziali, ottenuti da un taglio periferico del tronco originario escludendo il midollo (Figura 2.5).

Variazioni dell'umidità del legno si verificano, indipendentemente dal grado di stagionatura raggiunto, tutte le volte che cambiano le condizioni climatiche dell'ambiente in cui viene messo in opera. Il rimedio più semplice ed efficace per risolvere il problema delle conseguenti variazioni dimensionali è quello di condizionare il legno a un'umidità in equilibrio con l'ambiente di posa (che risulterà diversa in funzione del manufatto considerato: ad esempio, intorno al 7% per un parquet e pari a circa il 15% per gli elementi lignei di un sottotetto non riscaldato). Allo stesso tempo, è sempre necessario far ricorso a soluzioni tecniche (quali il rilascio di opportuni giunti di dilatazione), grazie alle quali gli eventuali movimenti abbiano modo di verificarsi senza determinare particolari inconvenienti. Opportuni rivestimenti protettivi permettono di contenere gli effetti dovuti ad oscillazioni di umidità brevi e limitate in quanto rallentano lo scambio di umidità del legno con l'ambiente, ma non riescono ad eliminare completamente il fenomeno.

2.5 UMIDITÀ DEL LEGNO

Il legno si distingue da altri materiali per la sua spiccata affinità per l'acqua. Anche se posto in opera da lungo tempo, continua infatti a scambiare umidità con l'ambiente circostante, variando le sue dimensioni e molte delle sue proprietà fisico-meccaniche. Si definisce umidità del legno (u) il rapporto percentuale tra il peso dell'acqua presente in un singolo pezzo di legno e il suo peso anidro:

$$u(\%) = \left(\frac{p - p_0}{p_0} \right) \times 100$$

dove: p = peso del legno al momento della misura; p_0 = peso del legno anidro

Essa viene espressa in percentuale e può assumere valori da 0% ad oltre il 100%. In questo ultimo caso il peso dell'acqua presente in un campione è maggiore di quello del legno anidro. Il legno tende ad adeguare la sua umidità alle condizioni termo-igrometriche dell'ambiente di posa tramite il continuo scambio di molecole d'acqua che si liberano dalla sua superficie; contemporaneamente si verifica l'assorbimento da parte del legno di molecole di vapore presenti nell'ambiente. La differenza di velocità tra i due fenomeni provoca variazioni di umidità nel legno che, come conseguenza, generano variazioni dimensionali del materiale.

Quando la velocità di assorbimento da parte del legno uguaglia quella di rilascio nell'ambiente circostante si instaura una condizione, che corrisponde alla cosiddetta umidità di equilibrio. Questa sarà mantenuta fino alla successiva variazione delle condizioni ambientali.

L'umidità del legno è quindi funzione diretta dell'umidità relativa dell'aria. Anche la temperatura ha influenza sull'umidità del legno, ma in modo indiretto, in quanto fattore di variazione dell'umidità dell'aria.



Figura 2.5 - Presenza di fessure da ritiro su elemento in legno massiccio curvo – le fessure da ritiro nella generalità dei casi non devono prestare preoccupazioni in quanto fenomeno legato al comportamento del legno nei confronti dei processi di stagionatura o essiccazione.

Ad esempio nelle abitazioni dove mediamente la temperatura è di 20° e l'umidità dell'aria 60%, l'umidità di equilibrio del legno è intorno all'11; in una cantina dove mediamente la temperatura è di 15° e l'umidità dell'aria 85%, l'umidità di equilibrio del legno supera il 18%. Ovviamente le variazioni termoigrometriche stagionali dell'aria provocano piccole variazioni dell'umidità del legno dell'ordine di qualche punto percentuale in più e in meno.

L'umidità di equilibrio del legno alla temperatura ambiente di 20°C e all'umidità relativa dell'aria del 65% viene definita umidità normale e, nel caso del legno massiccio di conifere, corrisponde ad un valore di umidità del legno del 12%. A questo riguardo è sempre opportuno usare il legno ad un'umidità più vicina possibile a quella che esso tenderebbe a conseguire per raggiunge l'equilibrio con l'ambiente di posa (Tabella 2.1); in tal modo si eviterebbero importanti variazioni igrometriche che inducono tensioni, deformazioni e, a volte, rotture del materiale e che danno luogo a frequenti contestazioni a livello di fornitura.

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

Tabella 2.1 - Umidità di equilibrio del legno e Umidità / Temperatura dell'aria.

2.6 RITIRI E DEFORMAZIONI

Come precedentemente accennato, ai movimenti determinati dalla perdita o dall'assorbimento di umidità delle pareti cellulari corrispondono variazioni dimensionali del legno; rispettivamente il ritiro (in inglese: shrinkage; in francese: retrait; in tedesco: Schwindung) o il rigonfiamento (in inglese: swelling; in francese: gonflement; in tedesco: Quellung).

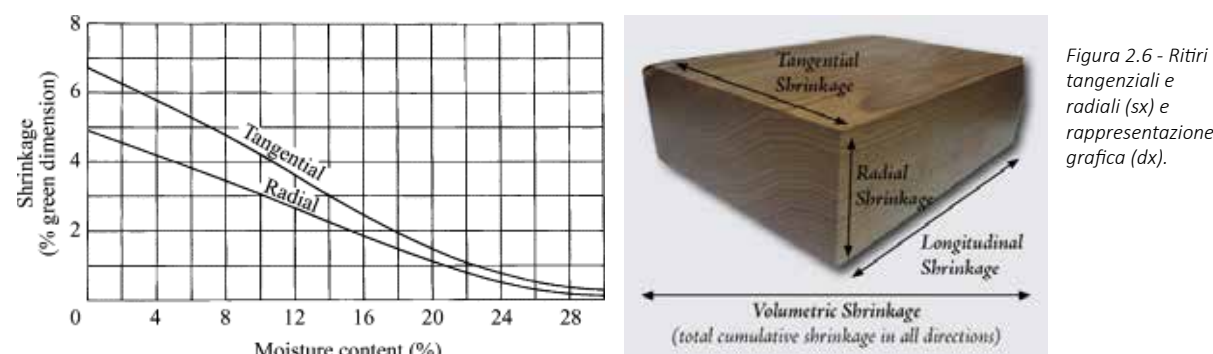
Viene definito ritiro volumetrico totale βv la diminuzione percentuale di volume del legno che si determina passando dallo stato fresco Vf a quello anidroV0, riferita al suo stato fresco, ovvero:

$$\beta v (\%) = (\frac{V_f - V_0}{V_f})$$

I valori del ritiro volumetrico totale del legno sono compresi tra il 9% ed il 23% circa, con una notevole variabilità tra le diverse specie e provenienze ma anche tra provini estratti da uno stesso tronco. In prima approssimazione, inoltre, le variazioni dimensionali o movimenti del legno sono direttamente proporzionali alla sua densità o massa volumica: valori bassi si hanno ad esempio per i pini o la betulla

(legni leggeri) mentre valori elevati si riscontrano nel caso di querce e faggio (legni pesanti).

Nella maggior parte dei casi, ritiro e rigonfiamento rappresentano un processo reversibile il cui andamento tende ad essere lineare per variazioni di umidità del legno comprese tra lo stato anidro ($u = 0\%$) e il punto di saturazione delle pareti cellulari ($u = 30\%$), detto anche “campo igroscopico”. In linea di massima, il ritiro totale del legno è dato dalla somma dei suoi ritiri lineari totali lungo le direzioni anatomiche di riferimento. Inoltre a causa della sua anisotropia, il ritiro totale del legno in direzione assiale è generalmente trascurabile (compreso tra 0,1 e 0,8%) rispetto a quello in direzione tangenziale (compreso tra 4 e 23%), mentre il ritiro in direzione radiale (compreso tra 2 e 12%) è pari a circa la metà di quello tangenziale.



Il manifestarsi di fenomeni di ritiro e rigonfiamento, congiuntamente all'anisotropia del legno, è la causa principale della comparsa di alcuni inconvenienti:

- distorsione dei solidi: un qualsiasi solido ricavato dal legno fresco dopo l'essiccazione presenterà una variazione di volume e una significativa deformazione. Ad esempio, rispetto all'originaria forma rettangolare o quadrata della sezione essa tenderà ad assumere un aspetto romboidale;
- ovalizzazione dei fori: per lo stesso principio, un foro od un solido di forma circolare tenderanno ad ovalizzarsi;
- fessure radiali a "V": negli assortimenti di grande sezione contenenti il midollo il ritiro angolare finisce spesso per indurre tensioni elevate, con conseguente apertura di profonde fessurazioni a sviluppo radiale che deprezzano notevolmente il materiale;
- imbarcamento delle tavole tangenziali: questa deformazione si evidenzia sulle tavole prive di midollo (ovvero ricavate con piani di taglio tangenziali). Il lato della tavola più esterno tenderà in tal caso a ritirarsi maggiormente rispetto al lato opposto, esercitando forze tali da deformare il segato trasversalmente, con la convessità della curvatura orientata verso il midollo. L'imbarcamento tende ad aumentare con la tangenzialità della tavola;
- falcatura: si verifica quando, in prossimità di un bordo della tavola, è presente una porzione di legno di reazione (vedasi anche le schede difetti “legno di reazione” e “deformazioni”, in Appendice I) che, a causa del suo maggior ritiro assiale, tende ad incurvarla longitudinalmente a “lama di falce”;
- svergolamento (o svergolatura): è causato da un movimento torsionale dell'intera tavola rispetto al suo asse longitudinale e si manifesta in seguito al ritiro di una porzione di legno di reazione presente nella zona centrale della tavola, oppure quando la tavola è stata ricavata da un assortimento con fibratura elicoidale;
- arcuatura: è una deformazione determinata dal ritiro anomalo di una porzione di legno di reazione presente su una faccia del segato, con incurvamento a “doga di botte”.



A tal riguardo, poiché la fornitura e posa di elementi lignei di ampia sezione contenenti il midollo (quali ad esempio le travature che compongono l'orditura principale di una struttura), per prassi comune e necessità di contenere costi e tempi di consegna, avviene con legname che non ha ancora raggiunto un'umidità di equilibrio con l'ambiente della collocazione finale e spesso presenta valori di umidità anche superiori al 20%, è chiaro che il materiale sarà soggetto a stagionatura “in opera” con l'inevitabile sviluppo di fessurazioni a volte importanti e di deformazioni permanenti sotto l'azione dei carichi ai quali è sottoposto. Ciò determina spesso reclami e contestazioni da parte dei clienti che potrebbero essere limitate tramite una corretta informazione sul comportamento del legno da esplicitare già in fase di definizione del contratto.

Sebbene il fenomeno del ritiro / rigonfiamento sia di per sé imprescindibile, esso è sempre accentuato da:

- variazioni elevate delle condizioni di umidità relativa dell'ambiente in cui il legno è a contatto, in termini di valore assoluto e/o rapidità del cambiamento (come ad esempio durante la messa in funzione di impianti di condizionamento / riscaldamento);
- esposizione a condizioni termo-igrometriche non corrispondenti all'umidità del legno a cui l'assortimento è stato stagionato o essiccato;
- progettazione e dettagli costruttivi non idonei a sopportare i movimenti del legno.

2.7 DETERMINAZIONE DELL'UMIDITÀ DEL LEGNO

L'umidità del legno può essere misurata oppure stimata. Nel primo caso si utilizzano metodi cosiddetti diretti, che prevedono la determinazione del peso della massa d'acqua contenuta nel campione rispetto alla sua massa anidra. Si tratta nello specifico di un metodo distruttivo che consente di determinare la massa anidra di un campione di legno attraverso l'uso di una stufa ventilata riscaldata a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ e di determinarne l'umidità con l'applicazione della formula già ricordata. Il metodo analitico sopra descritto rappresenta il procedimento ufficiale da utilizzare in caso di contestazioni.

Nel secondo caso, per stimare indirettamente l'umidità del legno si sfrutta la sua correlazione con alcune proprietà elettriche, misurando queste ultime con strumenti di diverso tipo. I metodi indiretti non danneggiano il manufatto (o lo danneggiano solo in misura trascurabile) e sono pertanto classificati tra quelli non distruttivi, anche se in genere sono meno accurati. Essi permettono inoltre di ripetere facilmente le misure sullo stesso elemento per monitorarne le variazioni di umidità nel tempo. Gli strumenti possono essere essenzialmente di due tipi (Figura 2.7): “a resistenza” (che richiedono tuttavia l'inserimento di due elettrodi nel legno) e “a capacità” o “dielettrici” (che vengono solo appoggiati alla superficie del legno).

Quelli a resistenza, più comunemente usati, si basano sul principio che il legno essiccato è un pessimo conduttore di elettricità per cui la sua resistività è funzione dell'umidità, ossia aumenta al diminuire di questa e viceversa, seguendo una legge esponenziale fino al punto di saturazione ($u = 30\%$), per poi continuare a diminuire in maniera meno marcata e regolare. Il loro campo utile di misura va dal 6-7% al 25-30% di umidità del legno.



Figura 2.7 – Igrometro a chiodi (a “resistenza”) e a contatto (a “capacità”).

2.8 VARIABILITÀ DELLE SPECIE

Poiché le piante in grado di produrre legno sono decine di migliaia, esso è di per sé caratterizzato da un elevato livello di variabilità. Come già accennato, ogni specie è infatti connotata da una propria struttura anatomica e dall'eventuale presenza di estrattivi e, sebbene i legnami commercializzati rappresentino solo una piccola frazione del totale, ciò determina un'estrema variabilità delle proprietà di questo materiale. Considerando ad esempio una delle caratteristiche fisiche di più immediata percezione, la massa volumica o densità (ovvero, il rapporto tra la massa e il volume apparente di un campione di legno), è possibile riscontrare valori pari a circa 160 kg/m^3 per la balsa (*Ochroma pyramidale*) e di circa 1280 kg/m^3 per il guaiaco (*Guaiacum officinale*, noto anche come *Lignum vitae*).

Questa variabilità, definita interspecifica, non è però l'unica. Oltre alle cause genetiche, anche i fattori di tipo ambientale influenzano le caratteristiche del tessuto legnoso, determinando la cosiddetta variabilità intraspecifica. In virtù di ciò anche legnami appartenenti alla stessa specie possono presentare differenze nelle loro caratteristiche.

Infine, una terza fonte di variabilità nel legno si riscontra all'interno dello stesso albero. Le proprietà di un elemento ligneo possono infatti variare secondo la sua posizione originaria nel tronco, sia radiale (intesa come distanza di prelievo rispetto al centro della sezione trasversale del fusto), che longitudinale (intesa come altezza lungo il fusto dal quale è stato ricavato). Anche la presenza di difetti quali, ad esempio, nodi o deviazioni della fibratura, essendo essi localizzati solo in alcune parti del fusto, concorre a determinare un'ulteriore causa di variabilità. Un corretto impiego del legno non può quindi prescindere dalla valutazione di questi elementi.

Nel caso di un impiego strutturale è poi opportuno che qualsiasi calcolo relativo alle proprietà di resistenza meccanica debba basarsi, per motivi di sicurezza, sui valori minimi registrati per la sollecitazione considerata piuttosto che sulla media dei risultati ottenuti.



Figura 2.8 – Elementi strutturali in castagno a sezione circolare – non solo differenze anatomiche e di prestazioni, ma differenti tipi di legno mostrano differenti classi di durabilità nei confronti del degrado di tipo biotico (courtesy Woodland Enterprise Centre).

Ai fini di una corretta caratterizzazione tecnologica del materiale e per rendere confrontabili tra loro i risultati ottenuti, è quindi necessario seguire idonei criteri di campionamento in cui è richiesta una particolare attenzione alla numerosità del campione, alla metodologia di riferimento (a questo proposito esistono, ad esempio, norme nazionali UNI, DIN, AFNOR, ASTM ecc., europee EN ed internazionali ISO), al condizionamento dei provini (in modo da riferire i risultati a ben determinati valori di umidità e temperatura del legno), alla regolazione dei parametri di prova (velocità e tempo di applicazione della sollecitazione, in quanto il legno ha un comportamento visco-elastico), ai limiti di validità delle prove svolte e all'applicabilità dei risultati ottenuti.

2.9 DURABILITÀ

Un aspetto fondamentale da risolvere e che riguarda il normale esercizio della struttura è rappresentato dagli aspetti tecnologici dell'opera (in altre parole legati all'utilizzo di un materiale di origine biologica). Di seguito si richiama l'attenzione su alcuni punti essenziali che riguardano la concezione della struttura allo scopo di fornire indicazioni di carattere generale e garantire la sicurezza delle opere, come definito dalla normativa corrente e secondo quelle che sono le aspettative della committenza.

La progettazione di strutture in legno è un processo multidisciplinare, per la naturale tendenza del legno al degrado biologico se esposto a determinati condizioni di umidità. Ai fini dello sfruttamento del legno per la produzione di oggetti e opere durature nel tempo, il degrado biologico deve essere quindi impedito o comunque ritardato almeno per la durata di vita richiesta al prodotto in questione. Questa problematica investe anche gli edifici in legno, soprattutto se consideriamo gli aspetti connessi alla loro concezione, talvolta erroneamente derivata da quella relativa ad altri materiali strutturali.

Il termine "Azione", per il progettista, è generalmente collegato al concetto di forza o carico applicato, o a deformazioni impresse o causate da altri fattori anche eccezionali. Tuttavia, è invalso l'utilizzo del termine in senso lato, per indicare tutti quei fenomeni con effetti diretti sulla costruzione (si pensi all'azione del fuoco in uno scenario di incendio). In analogia con le definizioni usate per i fenomeni meccanici, dove "azione" indica il carico agente sulla struttura, "effetto" indica la sollecitazione meccanica dell'elemento strutturale e il termine "rischio" è associato al cedimento strutturale dell'elemento, si potrà parlare - con riferimento ai problemi legati alla durabilità e alla protezione del legno - di "azione" per le cause che determinano l'apporto di acqua o di umidità all'elemento di legno, di "effetto" per descrivere l'aumento di umidità del legno e di "rischio" in relazione alle possibilità di degrado biologico del materiale.

Per quanto riguarda le "azioni" legate direttamente all'acqua, il progetto deve evitare il ristagno dell'acqua a contatto del legno e comunque permettere sempre e in qualsiasi punto una buona ventilazione in modo da mantenere condizioni di umidità del legno sotto il 20%, limite oltre il quale inizia a manifestarsi l'attacco fungino. Un'azione più o meno intensa può derivare da un diverso grado di esposizione dell'elemento. Si nota come l'azione delle intemperie possa avvenire in maniera indiretta, come capita quando l'acqua piovana è trasportata fino sulla superficie del legno dal vento.



Figura 2.9 - Strategie di progetto per aumentare la durabilità della costruzione.

La capacità del legno di assorbire acqua per fenomeni di capillarità viene favorita nel caso di contatto diretto con altri materiali igroscopici o comunque contenenti acqua, come nel caso di elementi poggianti direttamente sulle fondazioni in cemento armato, oppure nell’eventualità di contatto diretto con il terreno e la vegetazione, con un rischio particolarmente importante per il legno a causa dei microrganismi presenti.

Anche l’accumulo di neve in prossimità degli elementi della struttura induce molteplici effetti. L’ammasso di neve, infatti, impedisce la ventilazione delle superfici di legno da essa coperte. La neve si trasforma in acqua non appena la temperatura risale, cosicché la neve accumulatasi può portare a infiltrazioni di acqua in parti della costruzione che, altrimenti, potrebbero essere considerate come sufficientemente protette.

Per quanto riguarda le “Azioni” legate a sostanze diverse dall’acqua, anche se il legno è generalmente poco sensibile ad un buon numero di sostanze chimiche che invece per altri materiali possono rappresentare un rischio importante, non si deve sottovalutare l’effetto di queste condizioni di esposizione sulle parti metalliche della struttura (unioni). La presenza di acqua nel legno in quantità sufficiente favorisce quindi la corrosione dei metalli e ciò, a sua volta, favorisce il degrado del legno. Anche in questo caso, i fenomeni di degrado possono essere facilmente evitati quando si impedisce l’instaurarsi di condizioni di umidità elevata nel legno e disponendo di elementi metallici protetti, come descritto nel successivo paragrafo.

In perfetta analogia con le verifiche strutturali, si possono individuare le due componenti della relazione della verifica della durabilità, “Azione” e “Resistenza al degrado”, e controllare che le conseguenze della prima non superino la seconda (si veda Figura 2.9). Si può intervenire su entrambe le componenti, cioè riducendo le azioni e/o aumentando la resistenza agli attacchi biologici in genere e, in particolare, a quelli fungini.

La riduzione delle azioni avviene tramite provvedimenti costruttivi, quali una adeguata concezione della costruzione, o con l’aggiunta di appositi elementi aventi esclusiva funzione di protezione del legno. L’aumento della resistenza al degrado può avvenire tramite la scelta e l’utilizzazione di specie legnose più resistenti, sfruttandone quindi la resistenza naturale, o tramite il trattamento del legno, di superficie o per impregnazione. Tuttavia, questi ultimi provvedimenti, pur favorendo la durabilità, necessitano di adeguata manutenzione e quindi non possono sostituire in toto i cosiddetti provvedimenti costruttivi, molto più efficienti e duraturi.

2.10 CLASSI DI DURABILITÀ

Le cause del degradamento del legno in opera sono di origine diversa e variano dal deterioramento dovuto ad agenti abiotici quali agenti chimici, umidità, eccesso di carico, al danno dovuto ad organismi. Il danno più rilevante è solitamente portato dall’azione di funghi e insetti, che si nutrono delle sostanze organiche di cui il legno è costituito, sia quando ancora l’albero è in piedi e svolge le sue funzioni vegetative, sia quando si trova in opera nelle strutture degli edifici: per questo sono definiti organismi xilofagi.

Se consideriamo un edificio civile, ci dovremmo trovare prevalentemente nelle classi di utilizzo 1, 2 e 3.1 (vedi §2.9.2) in cui solo occasionalmente sono presenti condizioni di umidità ottimali per lo sviluppo di funghi. Spesso lo sviluppo di funghi è dovuto a infiltrazione di umidità nel tetto o sottotetto o attraverso le testate delle travi inserite nella muratura per errori nella progettazione o per eventi straordinari (rotture delle coperture o di tubi di conduzione dell’acqua).

Negli edifici il rischio di attacco da insetti, coleotteri (ubiquitari in Europa) e isoteri (termiti, non ubiquitarie ma possono rappresentare un problema in alcune zone dell’Europa meridionale), può essere sempre presente se non sono state adottate misure di prevenzione. Comunque la scarsa durabilità naturale di una specie legnosa non comporta necessariamente l’impossibilità d’impiego: l’impregnazione con sostanze preservanti può infatti conferire al legno anche un alto grado di durabilità.

E’ però necessario che il legno sia dotato di buone caratteristiche di impregnabilità. Nella Tabella 2.2 sono riportate le caratteristiche di durabilità naturale delle principali specie legnose utilizzate in edilizia. Tale tabella sintetizza ed in alcuni casi amplia i contenuti riportati nella norma UNI EN 350-2. Nella legenda è indicata la classificazione della durabilità naturale riguardo a funghi, insetti coleotteri e termiti e la classificazione dell’impregnabilità del legno estratta dalla UNI EN 350-1.

Nome commerciale	Specie Nome scientifico	Origine	Funghi	Durabilità naturale					Impregnabilità	
				Hyl	Hesp.	An.	Ly.	Term	D	A
Abete bianco	<i>Abies alba Mill.</i>	EU, USA	4	NR	R	NR	R	NR	2-3	2
Abete rosso	<i>Picea abies L. Karst.</i>	EU	4	NR	R	NR	R	NR	3-4	3
Douglasia	<i>Pseudotsuga menziesii (Mirb) Franco</i>	USA	3	NR	R	NR	R	NR	4	3
Larice	<i>Larix decidua Mill.</i>	EU	3-4	NR	R	NR	R	NR	4	2
Pino silvestre	<i>Pinus sylvestris L.</i>	EU	3-4	NR	R	NR	R	NR	3-4	1
Castagno	<i>Castanea sativa Mill.</i>	EU	2	R	NR	NR	NR	NR	4	2
Pioppo	<i>Populus spp.</i>	EU	5	R	NR	NR	R	NR	3	1
Querce caducifoglie	<i>Quercus spp</i>	EU	2-4	R	NR	NR	NR	NR	4	1

Legenda:

Classi di durabilità naturale ai funghi

1 – molto durabile

2 - durabile

3 – moderatamente durabile

4 – poco durabile

5 – non durabile

Insetti del legno

Hyl. – *Hylotrupes bajulus*

Hesp. – *Hesperoohanes cinereus*

An. – *Anobidi spp.*

Ly. – *Lyctus spp.*

Term. – *Termite spp.*

Classi di durabilità naturale agli insetti coleotteri

R – resistente

NR – non resistente

Classi di durabilità naturale agli insetti isoteri o termiti

R – resistente

MR – moderatamente resistente

NR – non resistente

Classi di impregnabilità del legno: A (alburno), D (durame)

1 – impregnabile

2 – moderatamente impregnabile

3 – poco impregnabile

4 – non impregnabile

Tabella 2.2 - Caratteristiche di durabilità naturale delle principali specie legnose utilizzate in edilizia (EN 350) L’alburno di tutte le specie è sempre classe di durabilità 5 nei confronti dei funghi e NR nei confronti degli insetti.

2.10.1 UMIDITÀ, CLASSI DI SERVIZIO E CLASSI DI UTILIZZO

All'interno della progettazione di un'opera in legno è di fondamentale importanza definire il contesto termo igrometrico a cui gli elementi, porzioni degli stessi o l'opera nella sua interezza, saranno soggetti. Infatti il rischio di attacco biotico da parte di agenti fungini è direttamente correlato all'umidità del materiale: l'attacco biotico si verifica qualora l'umidità del legno supera il 20% e porta alla demolizione della tessuto legnoso con successivo decadimento delle proprietà meccaniche del legno.

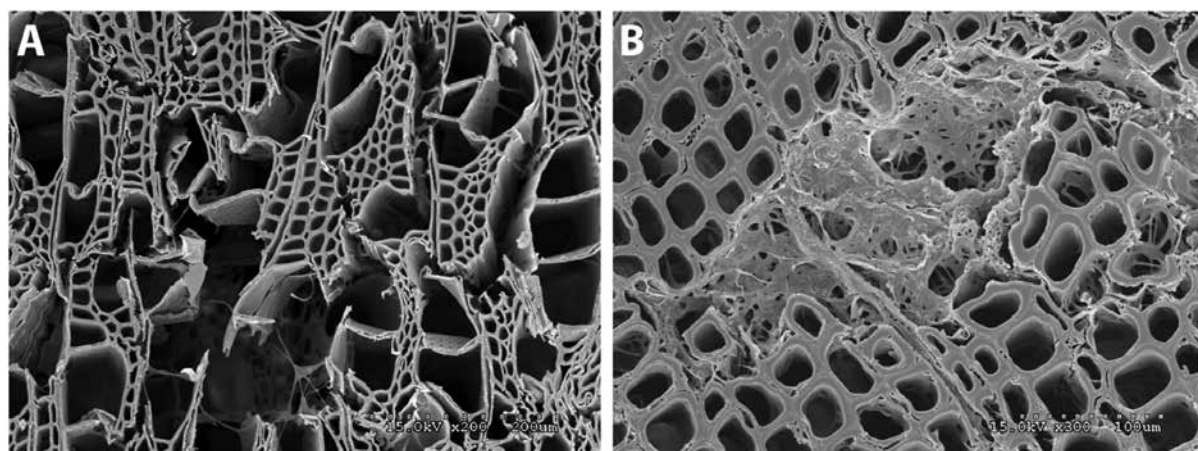


Figura 2.10 - a) Tessuto legnoso attaccato da funghi della carie (basidiomiceti); b) tessuto legnoso non soggetto ad attacchi (in questo caso le pareti cellulari non hanno subito azioni di degrado).

Di seguito, in considerazione delle classi di servizio, così come altresì definito nelle pertinenti classi di utilizzo (UNI EN 335), sono riportate considerazioni utili al fine di considerare un'interazione tra scelte progettuali e successivi requisiti di manutenzione dell'opera.

Per quanto attiene le classi di servizio è possibile riportare la seguente schematizzazione in accordo a quanto indicato nella UNI EN 1995-1-1 e le Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17.01.18).

L'attribuzione ad una classe di servizio ha riflessi in ambito progettuale andando a definire sia i coefficienti correttivi da applicare in sede dimensionamento dell'opera che in relazione ai particolari esecutivi dedicati alla cantieristica dell'opera stessa:

- In ambienti interni riscaldati (con RH generalmente inferiore al 65%; T 20°C), le strutture in legno possono essere assegnate alla **classe di servizio 1**, in questo caso l'umidità media degli elementi in legno allo stato di equilibrio è indicativamente non superiore al 12%;
- In ambienti protetti ma non riscaldati (con RH maggiore dell'85% solo per poche settimane all'anno; T 20°C), le strutture in legno possono essere assegnate alla **classe di servizio 2**, in questo caso l'umidità del legno può superare il 20% solo in determinati e brevi periodi dell'anno;
- In ambienti non protetti in generale, le strutture in legno devono essere assegnate alla **classe di servizio 3**. L'umidità degli elementi in legno – per la maggior parte del periodo dell'anno – sarà maggiore del 20%.

Allo stesso modo le classi di utilizzo espresse dalla UNI EN 335 riportano suddivisione riportata di seguito. E' da sottolineare che tale schematizzazione ha riflessi in relazione principalmente alle misure di protezione, nonché in merito alle caratteristiche di durabilità dell'opera e del materiale al fine di un suo corretto utilizzo.

- **Classe d'utilizzo 0:** tale classe include tutte quelle realizzazioni (o porzioni di esse) dove l'umidità del legno è costantemente inferiore al 20% per tutta la durata d'esercizio. Nella classe d'uso 0 non vi sono le condizioni per un attacco biotico da parte di funghi;
- **Classe d'utilizzo 1:** entro tale classe si includono quelle realizzazioni (o porzioni di esse) dove l'umidità del legno è inferiore al 20% per la durata d'esercizio per l'opera. Solo saltuariamente può essere prevista un RH superiore dell'85% (per brevi periodi dell'anno); in considerazione delle presenti condizioni di contorno sono possibili infestazioni prevalentemente da insetti.

- **Classe d'utilizzo 2:** tale classe include quelle realizzazioni (o porzioni di esse) entro le quali l'umidità del legno è occasionalmente sopra il 20%; allo stesso tempo l'umidità relativa dell'ambiente di posa può superare l'85%. Entro tali condizioni di contorno sono possibili attacchi da parte di funghi e insetti.
- **Classe d'utilizzo 3:** tale classe include quelle realizzazioni (o porzioni di esse) entro le quali l'umidità del legno è frequentemente sopra il 20%; il legno è esposto direttamente alle precipitazioni atmosferiche (allo stesso tempo non è a contatto diretto né con il terreno né con l'acqua). Sono naturalmente possibili attacchi da parte di funghi e insetti.

Nota: in considerazione della concezione architettonica dell'edificio, può verificarsi che un componente si trovi ad essere a contatto diretto con il terreno o con l'acqua. In tale evenienza l'elemento (o porzione di esso) deve essere considerato in classe d'utilizzo 4.

La "classe d'utilizzo 3" comprende le seguenti "sotto-classi":

- **Classe d'utilizzo 3.1:** all'interno di tale classe vengono ad essere comprese quelle realizzazioni dove il drenaggio d'acqua e/o la ventilazione consentono una rapida cessione di umidità da parte del materiale; come risultato l'umidità del legno è solo saltuariamente superiore al 20%.
- **Classe d'utilizzo 3.2:** la classe 3.2 comprende realizzazioni entro le quali non è garantito né il drenaggio di acqua, né la ventilazione. In tal caso il rischio di attacchi di funghi e insetti è elevato in quanto il materiale legno può trovarsi frequentemente sopra al 20%.

- **Classe d'utilizzo 4:** comprende realizzazioni dove il materiale legno si trova a costante contatto con l'acqua o terreno. L'umidità del legno è quindi da considerare sopra al 20%. Entro tale ambito è necessario considerare la sostituzione periodica degli elementi (in funzione della classe di durabilità così come espressa dalla UNI EN 350) causa lo sviluppo di carie ad opera di funghi e attacchi da parte di insetti xilofagi.
- **Classe di utilizzo 5:** legno a contatto con acqua marina

Classe di Utilizzo	Umidità del legno	Situazione di posa	Rischio di degrado a carico di		
			Insetti	Funghi	Carie soffice
0	Umidità del legno costantemente al di sotto del 20%; umidità relativa media al di sotto dell'85%; solo per brevi periodi umidità relativa sopra l'85%	Elementi installati all'interno di ambienti residenziali o in compartimenti riconducibili in termini di umidità relativa e temperatura	Sì	No	No
1	Umidità del legno costantemente al di sotto del 20%; umidità relativa sopra l'85% solo per brevi periodi	Legno riparato dalle intemperie e alla pioggia	Sì	No	No
2	Umidità del legno occasionalmente sopra al 20% per brevi periodi; umidità relativa media sopra l'85%	Legno riparato dalle intemperie e alla pioggia; occasionalmente possono crearsi situazioni di contorno con alta umidità relativa (ad es. fenomeni di condensazione)	Sì	Sì	No
3	3.1 Umidità del legno occasionalmente sopra al 20%	Legno non riparato dalle intemperie, non a diretto contatto con il terreno o con l'acqua; drenaggio e ventilazione consentono al materiale una veloce perdita di umidità.		Sì	Sì
	3.2 Umidità del legno frequentemente sopra il 20%;	Legno non riparato dalle intemperie, non a diretto contatto con il terreno o con l'acqua; drenaggio e ventilazione non consentono al materiale una veloce perdita di umidità (ad es. dovuti ad una non corretta progettazione).		Sì	Sì
4	Umidità del legno sopra il 20%	Legno a contatto con acqua e/o con il terreno	Sì	Sì	Sì

Tabella 2.3 — Classi, posa e rischio di attacco biologico.

Quindi si comprende subito che dei carichi di umidità, il progettista deve tener conto sia in fase di cantiere che durante la vita di esercizio del fabbricato, applicando laddove opportuno tutte le strategie necessarie a mantenere la struttura con un tasso di umidità inferiore al 20%, limite oltre il quale si possono appunto innescare fenomeni di degrado da parte di organismi fungini. In funzione delle classi sopra menzionate e ad una implementazione pratica all'interno di un dato edificio in legno, si riportano di seguito le possibili situazioni che possono verificarsi.

2.10.2 CLASSI DI UTILIZZO E CLASSI DI DURABILITÀ

Nel prospetto seguente sono riportate le classi di durabilità (UNI EN 350) in relazione alle relative classi di utilizzo. In assenza di particolari costruttivi e in riferimento alle classi di durabilità definite dalla UNI EN 350 devono adottarsi specie che soddisfino i requisiti indicati di seguito per la classe d'uso considerata. Si ricorda che la classe di durabilità espressa si riferisce al solo durame. Può essere comunque ammesso dell'alburno nella misura entro la quale questo non è superiore al 5% all'interno della sezione trasversale visibile.

CLASSE DI UTILIZZO	CLASSE DI DURABILITÀ (FUNGHI – UNI EN 350)				
	1	2	3	4	5
0	+	+	+	+	+
1	+	+	+	+	+
2	+	+	+	(+)	(+)
3.1	+	+	+ ^{a)}	(+)	—
3.2	+	+	—	—	—
4	+	+ ^{b)}	—	—	—

Legenda:
+ Durabilità naturale sufficiente
(+) Durabilità naturale sufficiente purché implementata da misure costruttive adeguate
— Durabilità naturale non sufficiente
a Il Durame di Larice e Douglasia possono essere utilizzati anche in classe di uso 3.1
b Entro la classe di uso 4 può ritenersi sufficiente l'utilizzo di legname appartenente alla classe di durabilità 2.

Tabella 2.4 - Classe d'Uso & classe di durabilità.

Da un punto di vista pratico di seguito si riportano le seguenti esempi circa le possibili correlazioni tra le classi di utilizzo espresse dalla UNI EN 335 e le classi di durabilità definite dalla UNI EN 350:

Classe di utilizzo		Specie legnose impiegabili (nomi commerciali)
1	Include tutte quelle realizzazioni (o porzioni di esse) dove l'umidità del legno è costantemente inferiore al 20% per tutta la durata d'esercizio. Nella classe d'uso 0 non vi sono le condizioni per un attacco biotico da parte di funghi (ad es. al coperto e in ambiente riscaldato);	Tutte le specie legnose, durame e alburno
2	Include quelle realizzazioni (o porzioni di esse) entro le quali l'umidità del legno è occasionalmente sopra il 20%; allo stesso tempo l'umidità relativa dell'ambiente di posa può superare l'85%. Entro tali condizioni di contorno sono possibili attacchi da parte di funghi e insetti (ad es. al coperto con rischio di inumidimento)	Durame di Castagno, Cipresso, Robinia, Quercia cerro e Quercia rovere non necessitano di trattamento preservante. Alburno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Larice, Pino silvestre, Pino nero, Douglasia, Pioppo, nonché alburno di tutte le specie legnose potrebbero necessitare di trattamento preservante se in ambienti frequentemente umidi.

3	Include quelle realizzazioni (o porzioni di esse) entro le quali l'umidità del legno è frequentemente sopra il 20%; il legno è esposto direttamente alle precipitazioni atmosferiche (allo stesso tempo non è a contatto diretto né con il terreno né con l'acqua). Sono naturalmente possibili attacchi da parte di funghi e insetti (ad es. legname esposto alle intemperie).	Durame di Castagno, Cipresso, Robinia e Quercia rovere non necessitano di trattamento preservante. Durame di Larice, Pino silvestre, Douglasia e 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. Alburno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Pino nero, Pioppo, nonché alburno 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	comprende realizzazioni dove il materiale legno si trova a costante contatto con l'acqua o terreno. L'umidità del legno è quindi da considerare sopra al 20%. Entro tale ambito è necessario considerare la sostituzione periodica degli elementi (in funzione della classe di durabilità così come espressa dalla UNI EN 350) causa lo sviluppo di carie a carico di funghi e attacchi da parte di insetti xilofagi (ad es. a contatto con terreno o acqua dolce).	Durame di Castagno, Cipresso, Robinia 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. Alburno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Pino nero, Pioppo, nonché alburno di tutte le specie legnose necessitano di trattamento preservante.
5	In acqua di mare	Durame di Larice, Pino silvestre, Douglasia, Castagno, Cipresso, Robinia, Cerro e Rovere dovrebbero essere sottoposti a trattamento preservante ad eccezione di quegli elementi in cui può essere tollerato il degrado. Alburno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Pino nero e Pioppo, nonché alburno di tutte le specie legnose necessitano di trattamento preservante

Tabella 2.5 - -- Classe di utilizzo & classe di durabilità.

Nella precedente tabella il durame del Larice, del Pino silvestre e della Douglasia sono stati considerati in classe di durabilità 3 nei confronti degli attacchi da funghi xilofagi; alcune provenienze dovrebbero essere considerate in classe 4 e quindi trattate come gli Abeti.

2.10.3 AGENTI BIOTICI DI DEGRADO

Come ulteriore conseguenza della sua origine biologica, il legno può essere deteriorato dagli agenti del biodegradamento, principalmente funghi e insetti, che trovano nutrimento nei costituenti chimici della parete delle sue cellule o nelle sostanze di riserva in esse accumulate. Se, sotto un certo aspetto, tale fenomeno può costituire un vantaggio (ad esempio, quando un prodotto ligneo diviene inutilizzabile e deve essere smaltito) esso può rappresentare un problema nel momento in cui è richiesta la sua conservazione dopo la posa in opera.

La durabilità naturale, proprietà che esprime appunto la resistenza al degradamento biologico del materiale, varia anch'essa in virtù della specie legnosa e, in quelle a durame differenziato, è migliore nel durame rispetto alla porzione di alburno, grazie agli estrattivi contenuti nel primo. È bene sottolineare tuttavia che il legno non si degrada per il solo trascorrere del tempo ma per l'azione di un qualche agente esterno. Ciò significa che se conservato in condizioni idonee è un materiale estremamente durevole. Ne sono un esempio i manufatti ritrovati nelle tombe dei Faraoni, conservatisi perfettamente per oltre 4000 anni, o gli ammirevoli edifici lignei sacri giapponesi ancora integri dopo 1300 anni di servizio.

Tuttavia, anche in condizioni più critiche per la sua conservazione, alle quali sono ad esempio soggetti ponti, pontili, paleria o costruzioni navali, il legno si dimostra un materiale affidabile ed efficace, purché vengano scelte le specie legnose idonee, adottate corrette soluzioni costruttive e sia effettuata la necessaria manutenzione (Figura 2.11).



Figura 2.11 - Passerella in legno e presenza di scossaline metalliche a protezione degli elementi portanti. Strutture in classe di servizio 3 necessitano di particolari costruttivi specifici e di assicurare una razionale manutenzione durante la vita nominale dell'opera.

La soluzione alle esigenze di durata nel tempo di un manufatto ligneo consiste in primo luogo nel realizzare condizioni sfavorevoli allo sviluppo degli organismi che lo degradano. Nel caso dei funghi, ad esempio, è importante evitare che l'umidità del legno possa superare una certa soglia di rischio, indicativamente attorno al 20%; per alcuni insetti particolarmente dannosi, come ad esempio le tèrmiti, è invece assolutamente necessario evitare il contatto con fonti di infestazione (per approfondimenti si rimanda al § 2.9.4.2).

Anche il materiale esposto alle intemperie può pertanto conservare a lungo la sua funzionalità, senza evidenziare particolari problemi, qualora venga impiegata la specie legnosa adatta ed i dettagli costruttivi prevedano che l'acqua possa defluire velocemente dalla superficie, evitando il ristagno o

la formazione di condensa, che risultano dannosi specialmente in prossimità di eventuali giunzioni, cavità e nelle zone di contatto con la muratura perimetrale. In alternativa, contro i rischi di alterazioni fungine o di attacco di insetti, possono rivelarsi efficaci vari tipi di trattamenti preservanti, superficiali contro gli insetti e profondi applicati con autoclave contro i funghi, in funzione dei livelli di protezione richiesti, che permettono di ottenere una durabilità conferita. In questo ambito, i progressi raggiunti nella formulazione dei prodotti usati e nelle tecniche di applicazione consentono trattamenti efficaci e definitivi ma anche rispettosi dell’ambiente.

Di seguito si riporta una panoramica sulle famiglie di insetti maggiormente diffusi e i meccanismi di demolizione dei funghi per un approfondimento sul tema.

2.10.3.1 Coleotteri

Gli insetti coleotteri, a seconda della specie, attaccano sia il legno degli alberi in piedi che, il legno segato ed i prodotti derivati dal legno.

Nei coleotteri l’insetto adulto, contrariamente a quanto talvolta si crede, è il minor responsabile dei danni causati al legno. Infatti, questi insetti durante il loro ciclo vitale subiscono una metamorfosi completa, cioè dall'uovo fuoriesce la larva che, dopo un periodo più o meno lungo a seconda della specie, durante il quale essa vive e si accresce all'interno del legno, si trasforma in pupa e successivamente in adulto o insetto perfetto; a questo punto fuoriesce attraverso un foro detto "foro di sfarfallamento". Sono invece le larve che provocano il danno maggiore scavando nell'interno del legno gallerie più o meno lunghe e il cui diametro è in rapporto con le dimensioni della larva, le quali rovinano il legno sia dal punto di vista estetico che da quello della resistenza meccanica. La base essenziale per il loro nutrimento è costituita dalle sostanze di riserva (amidi, zuccheri), dalla cellulosa e dalle sostanze azotate.

Questi insetti sfarfallano generalmente nella primavera-estate e le femmine, dopo la fecondazione, iniziano a deporre le uova nelle fessurazioni che può presentare il legno o in vecchi fori di sfarfallamento; il buono stato di conservazione della superficie lignea con eventuali finiture, la chiusura dei fori di sfarfallamento di attacchi pregressi con appositi stucchi limita la deposizione delle uova da parte delle femmine delle nuove generazioni e quindi il progredire dell’attacco.

Gli insetti si insediano in prevalenza nell'alburno del legno e, mentre alcune specie come Anobium punctatum e Stromatium fulvum possono vivere su un grande numero di legni, sia di Latifoglie che di Conifere, altri sono confinati a un limitato numero di specie; Hylotrupes bajulus per esempio si trova solo sui legni di Conifera (pini, abete, douglasia, larice) e Trichoferus holosericeus (Hesperophanes cinereus) solo su quelli di Latifoglia. Altri attaccano esclusivamente legno che abbia subito un precedente attacco fungino (Xestobium rufovillosum), altri ancora, come i Lyctus spp., attaccano solamente latifoglie a vasi grandi (0,07 mm) e con un elevato contenuto di amido (> 3%). Anche l'età del legno del manufatto ha una notevole importanza: alcune sostanze come vitamine e proteine presenti nel legno con il tempo possono degradarsi, così che le larve non trovano più un nutrimento adeguato per compiere il loro normale ciclo biologico. Alcune larve appartenenti agli Anobidi possiedono nell'apparato digerente, in speciali strutture, dei simbionti che forniscono vitamine e producono gli aminoacidi necessari alla vita della larva, per cui queste possono svilupparsi normalmente anche in legni molto vecchi.

I danni causati dagli insetti possono essere molto gravi, perché le larve vivono per lungo tempo (da 2 a 6 anni e anche più a seconda della specie) scavando all'interno del legno gallerie tortuose piene di rosame, che si intersecano fra loro in un fitto intreccio fino a togliere, nei forti attacchi, ogni resistenza meccanica al legno. Purtroppo molto spesso accade che ci si accorga della presenza dell'insetto soltanto quando l'attacco è già avanzato; infatti, nulla appare all'esterno fino al momento in cui le larve si trasformano in insetto perfetto, poiché esse scavano le gallerie nell'interno del legno lasciando intatto un leggero strato superficiale. I primi sintomi dell'attacco si hanno dunque soltanto dopo il primo

sfarfallamento degli adulti, quando compaiono i caratteristici fori sulla superficie del legno. Tuttavia, anche allora non si può dare una valutazione esatta dell'entità del danno se non si asporta lo strato superficiale del legno, mettendo così in evidenza il fitto intreccio di gallerie negli strati sottostanti. Nella Tabella 2.6 sono riassunte per le differenti famiglie di insetti le principali caratteristiche utili per la loro identificazione.

Famiglia insetti	Preferenze del legno	Condizioni ambientali del legno	Forma e dimensioni foro sfarfallamento (diametro)	Rosume	Gallerie
ANOBIDI	C, L Preferibilmente A; talvolta D	Secco	Circolare, 1,5-3 mm	Polvere fine e pallottoline ellittiche	In tutte le direzioni; fino 3 mm diametro
CERAMBICIDI	C, L A talvolta D	Legno in fase di stagionatura o appena stagionato	Da ovali a circolari 3-10 mm	Polvere farinosa e pallottoline	Ovali; fino a 13 mm di diametro
LICTIDI	L A (contenuto amido > 3%; larghezza vasi >0,07 mm)	Legno appena stagionato	Circolare - ovale 0, 8-2 mm	Polvere simile al talco	Circolari, numerose e in tutte le direzioni, anche parallele alla fibra

Tabella 2.6 - Famiglie di insetti e le principali caratteristiche per la loro identificazione. C = conifera - L = latifoglia A = alburno - D = durame

Nei legni utilizzati nelle strutture i danni maggiori sono causati dai Cerambicidi, insetti che hanno dimensioni tra 1 e 2,5 cm, caratterizzati da lunghe antenne che possono talvolta superare anche la lunghezza dell'insetto stesso. Tali insetti risultano essere i più pericolosi per le strutture lignee in opera poiché scavano gallerie che possono raggiungere anche un centimetro di diametro, in direzione variabile rispetto alle fibre del legno. Tra questi Hylotrupes bajulus, detto anche Capricorno delle case, è il più diffuso, il suo habitat preferenziale è costituito dalle travi in legno di conifera dei sottotetti, la temperatura migliore per il suo sviluppo durante lo stadio larvale è tra 28°C e 30°C. Le infestazioni riscontrate in vecchi legni sono sempre esaurite, perché la larva di Hylotrupes, che non ha simbionti nel suo apparato digerente, dipende interamente per il suo sviluppo dal contenuto in azoto del legno, il cui valore nutrizionale diminuisce dopo poche decadi; attacchi in atto e di notevole entità si riscontrano invece in legni messi in opera in restauri relativamente recenti (max. 80 anni) in cui siano state effettuate massicce sostituzioni.

Meno diffusi ma ugualmente molto rilevanti sono i danni dovuti al Trichoferus holosericeus, che infesta esclusivamente legni di Latifoglia quali quercia, pioppo e castagno; l'insetto adulto ha dimensioni di 1 - 2,5 cm, colore bruno, uniformemente ricoperto da una peluria grigia, un ciclo biologico di due/tre anni in dipendenza della temperatura e dell’umidità relativa.

Meno comune dei precedenti è lo Stromatium fulvum che attacca sia il legno di Latifoglia che quello di Conifera. L’adulto di dimensioni tra 1,8 e 2,5 cm è interamente di colore rosso coperto di una corta ed abbondante peluria. Tale insetto vive nel legno molto secco e può causare ingenti danni in quanto

il ciclo biologico dura diversi anni e possono susseguirsi sulla stessa struttura diverse generazioni. Danni decisamente minori per quanto riguarda le strutture lignee, ma molto frequenti per i manufatti presenti nelle abitazioni, nei musei o nelle chiese sono dovuti alla presenza di Anobidi. Questi sono insetti piccoli (2-9 mm), di colore che va dal rossastro al rosso-bruno, attaccano sia il legno di Latifoglia che di Conifera, preferibilmente in opera da un certo numero di anni. Il ciclo biologico varia da due a sei anni, a seconda della specie, delle condizioni climatiche e del tipo di legno. Tra gli Anobidi, *Anobium punctatum* è molto diffuso nei manufatti, anche perché attacca indifferentemente Latifoglie e Conifere; si sviluppa a temperature ottimali di 22-23 °C ed in ambienti con umidità relativa del 50-60%, condizioni ambientali che si trovano facilmente nei musei e nelle chiese. Le larve possiedono simbionti che consentono loro di attaccare anche legni molto vecchi. Non dissimile da quello dell'*Anobium punctatum* è il comportamento del *Nicobium hirtum* e dell'*Oligomerus ptilinoides*, anche se questi ultimi sembrano sopportare temperature superiori, per cui si possono trovare nelle travi dei sottotetti. Attaccano soprattutto le Latifoglie. Occasionalmente, in manufatti che siano rimasti per lungo tempo in ambienti umidi o esposti all'aperto, si trovano danni - sempre rilevanti - dovuti a *Xestobium rufovillosum*, che usualmente infestano le travature dove infiltrazioni di acqua hanno provocato un degradamento fungino. Attacchi da Lictidi (*Lyctus brunneus*, *Lyctus linearis*), insetti di piccole dimensioni (3-7 mm), di colore da bruno-rossastro a nero, non si riscontrano mai negli oggetti di legno antico, in quanto le larve non possiedono enzimi atti a digerire la cellulosa e dipendono dalle sostanze di riserva del legno come amidi e zuccheri, che si degradano rapidamente nel tempo. Di seguito si riportano immagini esplicative circa la forma adulto, uova e larva di alcuni dei principali insetti xylofagi.

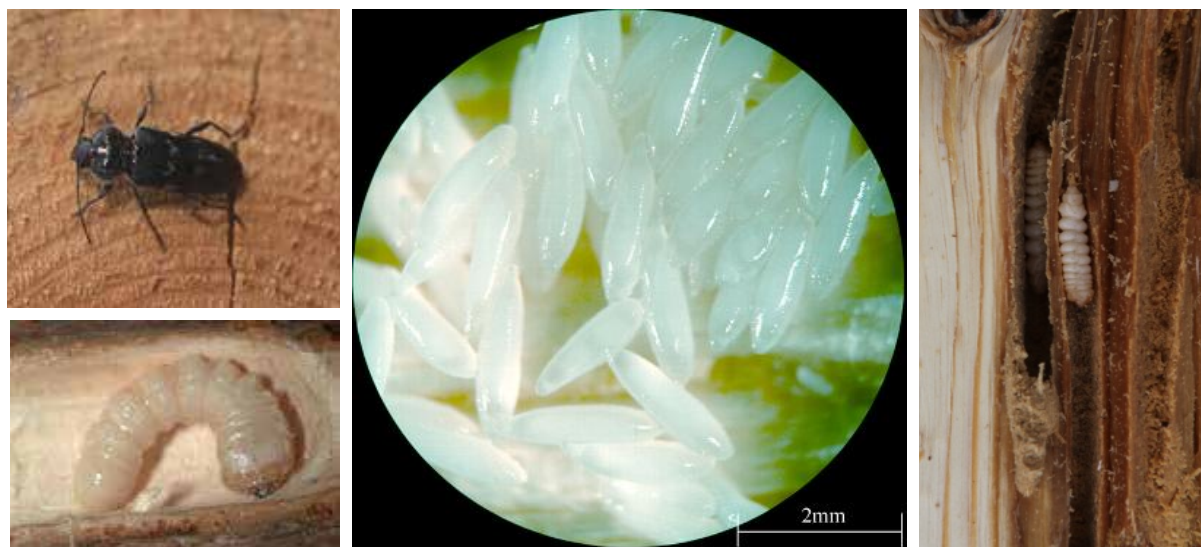


Figura 2.12 - Adulto, uova e larve di Capricorno delle case (*Hylotrupes bajulus*).

Note: La femmina depone un centinaio di uova nei manufatti in legno di conifera (pini, abeti, larice ecc.). Le condizioni ottimali per lo sviluppo sono costituite da una alta umidità e una temperatura relativamente elevata (17-18°C). Gli adulti sono buoni volatori e diffondono facilmente l'infestazione.



Figura 2.14 - Adulto e gallerie (*Xestobium rufovillosum* "Orologio della morte").

Note: Si tratta di un insetto xilofago le cui larve apprezzano il legno già degradato dal fungo della carie cubica o fibrosa, ovvero con una umidità superiore al 20%. L'insetto adulto di colore scuro e con una lunghezza compresa tra 5 e 7 mm, appare tra aprile e maggio e può vivere da 1 a 10 anni. La larva, di colore bianco latte, ha una lunghezza compresa tra 6 e 11 mm. Presenza:

- fori d'uscita circolari, con un diametro di 2-4 mm;
- gallerie circolari;
- tarature granulari di forma lenticolare, di circa 1 mm di diametro.



Figura 2.15 - (a)÷(b) - Adulto e gallerie (*Lyctus brunneus*).

Nota: Lungo da 3 a 5 mm, è di colore bruno scuro - rossastro con elitre più chiare. Primo segmento toracico largo nella parte anteriore come la base delle elitre. Elitre dall'aspetto uniforme con fori longitudinali disposti in linee irregolari. Antenne ingrossate all'apice. Rosume fine. Foro di sfarfallamento ovale o debolmente ovale di circa 1,5 mm di diametro

Presenza:

- fori di uscita circolari da 1 a 2 mm di diametro;
- piccoli coni di rosura molto fine;
- il legno assume un aspetto farinoso mentre la superficie dei manufatti non presenta tracce visibili di alterazioni.

2.10.3.2 Termiti

Le termiti sono insetti sociali che vivono in colonie molto numerose costituite da tre caste: operaie, soldati e riproduttori; il loro ciclo biologico comprende tre stadi: uovo, ninfa e adulto.

Le operaie sono sterili, attere, di colore biancastro e si occupano di tutte le attività relative al funzionamento della colonia; i soldati sono simili alle operaie, ma hanno il capo e le mandibole più sviluppati e sono fortemente sclerotizzati, dovendo difendere la colonia dai predatori. I riproduttori sono di dimensioni maggiori, di colore da giallo-bruno a nero e hanno due paia di ali trasparenti di uguale lunghezza; in una comunità vi sono numerosi riproduttori potenziali, ma soltanto una coppia, re e regina, sono normalmente riproduttori attivi. Se uno di essi muore ne subentra immediatamente un altro. In Italia sono presenti due specie di termiti, *Reticulitermes lucifugus* della famiglia Rhinotermitidae (che provoca i maggiori danni al legno in opera) e *Kaloterms flavicollis* della famiglia Kalotermitidae. Le Termiti sotterranee (*Reticulitermes lucifugus*) necessitano di un'elevata umidità e di una temperatura moderata e quasi costante e costruiscono il loro nido nel terreno. Esse scavano così nel sottosuolo numerose gallerie per raggiungere la superficie e le costruzioni, dove trovano le sostanze organiche, soprattutto cellulosiche, di cui si nutrono e cioè legno, carta e tessuti. Le termiti digeriscono la cellulosa mediante simbionti presenti nell'apparato digerente. Se fra il nido e la fonte di nutrimento devono superare superfici esposte costruiscono, con terra e frammenti di legno, gallerie (camminamenti) che mantengono il contatto con il terreno umido e proteggono le Termiti dalla luce e dall'aria. Questi insetti distruggono il legno facendo delle gallerie caratteristiche, parallele alla direzione delle fibre e scavate nella zona primaverile dell'anello annuale, che sono prive di rosime ma tappezzate da escrementi e terra. La superficie del legno rimane perfettamente integra, per cui è difficile riconoscere un attacco, che può essere individuato solo con l'asportazione dello strato superficiale del legno o con l'osservazione delle eventuali gallerie superficiali presenti nelle zone vicine al legno infestato. Le *Kaloterms flavicollis* sono note anche come "Termiti del legno secco", vivono in una colonia che non raggiunge mai grandi proporzioni e possono fare il nido anche all'interno del legno. Attaccano il legno scavando gallerie nel legno primaverile, le gallerie sono prive di rosime il quale si deposita per gravità nella parte più bassa della galleria. Infatti spesso l'indizio dell'attacco è dovuto alla presenza del materiale espulso che si accumula sulle superfici sottostanti il legno attaccato.

In linea generale, al fine di limitare il pericolo di attacchi da termiti, possono essere adottate le seguenti misure:

- Alla base dell'edificio in legno deve essere presente una lastra continua di calcestruzzo progettata in modo che l'ampiezza delle fessure non superi 1mm.
- I canali di penetrazione degli impianti devono essere sigillati con malta antiritiro oppure essere facilmente ispezionabili.
- Lo zoccolo di fondazione deve essere sollevato dal terreno per almeno 15cm.
- Mantenere il legno asciutto.



Figura 2.16 - Adulto e gallerie
(*Reticulitermes lucifugus* - operaio).

Principali indizi della presenza di termiti sotterranee

- presenza di cavità al di sotto di una sottile pellicola superficiale o di gallerie strette senza segatura e cementate;
- gallerie o cordoni costruiti su materiali duri;
- ponti a forma di stalattiti e stalagmiti, costruiti per raggiungere il cibo distante;
- presenza di piccoli fori di circa 2 mm, visibili sull'intonaco del soffitto o delle pareti, rivestiti o meno;
- sciamatura: volo simultaneo delle termiti riproduttrici per fondare nuove colonie.

2.10.3.3 Funghi Xylofagi

I funghi responsabili dei maggiori danni al legno in opera appartengono prevalentemente al gruppo dei basidiomiceti, il cui ciclo biologico può essere così schematizzato: le spore, diffuse attraverso l'aria, venendo a contatto con legname avente un contenuto di umidità superiore al 20%, germinano dando origine alle ife, i filamenti che costituiscono il micelio fungino. Queste invadono dapprima le cellule parenchimatiche dei raggi, quindi le cellule legnose; in alcune specie (*Serpula lacrymans*) il micelio può organizzarsi in cordoni detti rizomorfe che hanno varie funzioni: la conduzione dell'acqua, la diffusione dell'attacco in punti anche lontani e il mantenimento delle ife in vita latente quando le condizioni ambientali non sono più compatibili con la crescita del micelio. A questa fase di sviluppo prettamente vegetativo succede la formazione del corpo fruttifero che dà luogo alle spore.

Sul piano fisiologico la caratteristica fondamentale dei funghi è data dal fatto che la loro nutrizione dipende essenzialmente dalla loro capacità di digerire sostanze organiche complesse: gli enzimi secreti dalle ife trasformano composti insolubili e molto complessi, come la cellulosa, in prodotti solubili e meno complessi che le cellule del fungo possono assorbire attraverso le loro pareti. Questo degradamento è designato con il nome di carie: a seconda del modo in cui si realizza e della natura dei costituenti degradati, la carie del legno provocata dai basidiomiceti può presentarsi sotto forme differenti.

Si individuano due tipi di carie, la carie bruna e la carie bianca. La distinzione è basata sull'apparenza del legno attaccato ed è connessa a variazioni nella composizione chimica della parete cellulare indotte dall'azione degli enzimi, i quali nella carie bruna sono in grado di degradare la cellulosa, le emicellulose ed in caso di attacco molto avanzato della parete cellulare resta solo la lignina e piccole quantità di idrati di carbonio, il legno diviene di colore più scuro e presenta fessurazioni trasversali e longitudinali che formano dei parallelepipedi e ricordano l'aspetto del legno carbonizzato, si parla in questo caso di carie cubica. Il legno molto alterato diviene friabile dando una polvere bruna sottile.

Nella carie bianca le ife secernono enzimi che degradano sia la lignina che la cellulosa e le emicellulose; la lignina nei primi stadi di attacco e la cellulosa successivamente, oppure tutte e due simultaneamente. Il legno conserva la sua struttura fibrosa e il suo aspetto generale è modificato da un cambiamento del colore originario in un bianco-giallastro; la sua consistenza diviene molle e il legno si rompe facilmente senza però essere friabile.

Le proprietà meccaniche del legno sono notevolmente modificate dall'attacco fungino, specie la resistenza all'urto che è una delle prime caratteristiche del legno a subire una riduzione. Ad esempio un attacco iniziale da funghi da carie bruna su legno di Conifere, che si traduce in piccole modificazioni di colore e di aspetto del legno, comporta una perdita di resistenza all'urto del 60%; lo stesso dicasi per la resistenza a flessione statica.

L'umidità iniziale del legno è uno dei fattori più importanti perché un attacco da funghi si possa instaurare con successo: essa deve essere superiore al 20%. Quando poi l'attacco si è affermato è il fungo stesso con il suo metabolismo che contribuisce a mantenere nel substrato il tenore di acqua sufficiente al suo sviluppo;

La temperatura di accrescimento del micelio varia entro limiti abbastanza ampi, in generale tra 10 e 40 °C con un intervallo ottimale tra 20 e 30 °C.

La luce non è indispensabile alla crescita del fungo se si fa eccezione al momento della formazione del corpo fruttifero: infatti in luoghi privi di luce, come miniere e cantine, i funghi presentano spesso forme anomale.

Se le condizioni di temperatura ambiente e di umidità del legno rimangono ottimali l'attacco fungino può proseguire senza interruzioni e si possono avere danni notevoli in poco tempo; solitamente quando la temperatura ambiente diminuisce al di sotto dei 10°C l'attacco si arresta anche se le ife rimangono vive, capaci di riprendere le loro attività non appena le condizioni ambientali saranno ritornate favorevoli.

Il danno dovuto a funghi da carie si riscontra solitamente in travi di sottotetti dove infiltrazioni di acqua hanno portato il legno ad un'umidità ottimale, più raramente in manufatti immagazzinati in ambienti umidi.



Figura 2.17 - tipico attacco da carie che si osserva nelle strutture dei sottotetti: l'attacco si sviluppa in corrispondenza della testata della trave, dove questa è inserita nella muratura e dove generalmente si riscontrano infiltrazioni di acqua dall'esterno.

Figura 2.18 - Micelio di *Serpula lacrymans* in diversi stadi di sviluppo.



Il fungo di maggior interesse economico in Europa è la *Serpula lacrymans* per le sue possibilità di adattamento molto particolari e per l'intensità e l'estensione degli attacchi che provoca. Questo fungo si sviluppa su legno con un'umidità del 20%, a temperature variabili tra 3 e 26°C con range ottimale tra 21 e 23°C, quindi può continuare ad accrescersi anche nel periodo invernale.

Altri funghi della carie che si riscontrano nelle strutture lignee degli edifici possono essere carie bianche (*Bjerkandera*, *Collybia*, *Paxillus*, *Pleurotus*, *Trametes*, *Phellinus*) su legno di latifoglie e più spesso carie bruna (*Coniophora puteana*, *Antrrodia spp*, *Gloeophyllum spp*, *Poria spp*) su legno di latifoglie e principalmente su legno di conifere.

Altri esempi di attacchi fungini su legno strutturale possono essere dovuti a carie soffice in condizioni di umidità relative molto elevate e scarsa ossigenazione tali da impedire lo sviluppo dei funghi basidiomiceti. Altri fattori quali le alte temperature e l'elevata concentrazione di preservanti contro i basidiomiceti possono favorire talvolta lo sviluppo di questi funghi appartenenti a Deuteromiceti ed Ascomiceti.

Il progredire del degradamento da parte di questi funghi è molto lento rispetto ai basidiomiceti ed avviene principalmente sulla cellulosa della parete secondaria delle cellule legnose. L'attacco determina un aspetto del legno molto scuro, una consistenza del legno molto soffice quando è bagnato e una volta secco si evidenziano crettature longitudinali e trasversali presenti solo su un sottile strato superficiale, infatti immediatamente sotto tale strato il legno risulta essere sano.

Vi sono poi funghi detti "cromogeni", o "dell'azzurramento"; con quest'ultimo termine viene designata una particolare colorazione grigia-azzurrastra più o meno intensa che il legno assume in seguito all'attacco fungino. È un fenomeno molto comune nelle Conifere ma si osserva anche nelle Latifoglie, specie di origine tropicale; è limitato alla zona dell'alburno in quanto questi funghi vivono a spese di contenuti cellulari delle cellule parenchimatiche ricche di sostanze di riserva facilmente degradabili. Proprio per questo il principale danno causato al legno dall'azzurramento è di ordine estetico, mentre le proprietà meccaniche non vengono alterate in modo apprezzabile.

I funghi responsabili dell'azzurramento sono numerosi e appartengono ad Ascomiceti e Deuteromiceti; il loro sviluppo è condizionato da un'umidità del legno superiore al 30%, che corrisponde al punto di saturazione delle fibre, e dalla presenza di ossigeno; la temperatura ottimale è situata fra i 22 e i 25 °C, ma questi funghi resistono molto bene anche al freddo. L'infestazione avviene principalmente sui tronchi appena abbattuti o sui segati non stagionati, in secondo luogo su manufatti che in determinate situazioni abbiano assunto un'elevata umidità. In ogni caso la caratteristica colorazione che il legno assume non è dovuta ad alcuna sostanza colorante diffusa dalle ife del fungo, ma ad un fenomeno di diffrazione della luce sulle ife scure attraverso le pareti traslucide delle cellule del legno.



Figura 2.19 - Funghi cromogeni su segati di pino e muffe superficiali su abete rosso.

In ambienti molto umidi, dove vi possano essere fenomeni di condensa, viene spesso notata la presenza sui manufatti di "muffe", cioè di funghi appartenenti ai Deuteromiceti (*Penicillium*, *Aspergillus*); anche questi funghi non causano gravi danni al legno, ma possono alterare vernici e colori.

Nella Figura 2.20 è riportato il procedimento decisionale che un progettista di strutture in legno deve affrontare prima della messa in opera di una struttura lignea.

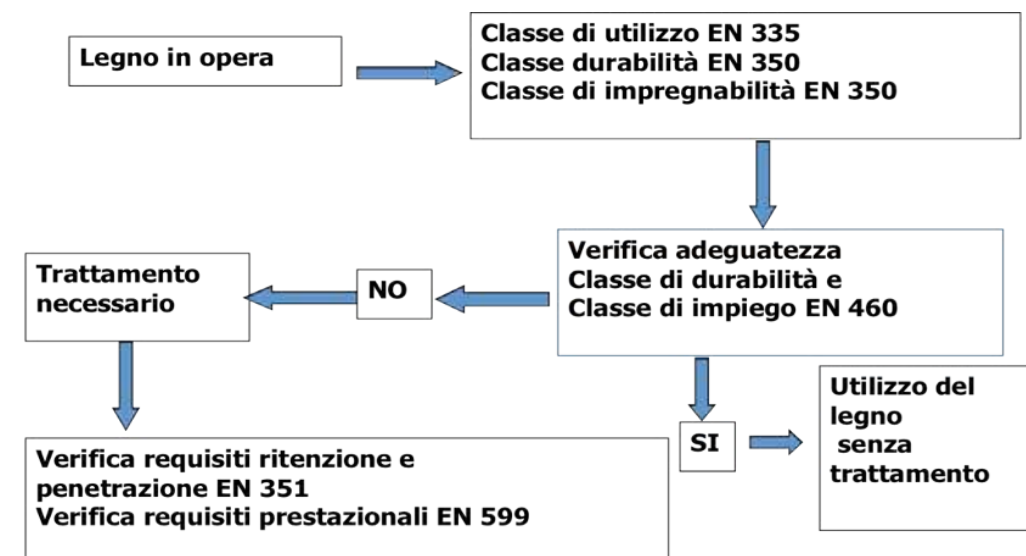


Figura 2.20 - Procedimento decisionale per la corretta scelta del materiale ligneo in funzione della durabilità.

2.11 PRESERVAZIONE

Il legno è un materiale impermeabile (con esso si fanno le botti, le scandole che si utilizzano in alternativa alle tegole), si bagna ma difficilmente si riesce a far penetrare in esso una sostanza liquida, questo è il grosso limite dei trattamenti preservanti.

Esistono tuttavia alcune specie legnose, come il pino, che hanno una scarsa durabilità naturale ma che risultano permeabili alle sostanze preservanti.

Tutte le sostanze preservanti che possono avere efficacia come insetticidi o fungicidi, a causa dei principi attivi contenuti, sono classificate come "presidi medico-chirurgici" e pertanto devono essere autorizzati dal Ministero della Salute; una volta autorizzati, i prodotti devono riportare in etichetta la dicitura: "Presidio Medico-Chirurgico" e "Registrazione del Ministero della salute n.".



Figura 2.21 – La confezione del prodotto preservante deve riportare per Legge il numero di registrazione al Ministero della Salute e la composizione del prodotto, nonché le indicazioni circa il rischio chimico.

I trattamenti possono essere preventivi o curativi.

2.11.1 TRATTAMENTI PREVENTIVI

I trattamenti preventivi si fanno generalmente in stabilimento mediante impregnazione (per le specie impregnabili come il pino) o superficiali a pennello per le specie legnose non impregnabili (come l'abete).

I trattamenti superficiali contro gli insetti generalmente sono a base di sostanze quali la permotrina o sali di boro, riescono a penetrare solo di qualche millimetro, tuttavia tale penetrazione è sufficiente ad ammazzare la larva appena nasce in quanto l'uovo generalmente è posato in prossimità della superficie del legno. Qualora il trattamento venga fatto su legno fresco non ancora o poco fessurato, le

fessure da ritiro che si apriranno dopo il trattamento risulteranno non protette e quindi ottimo luogo per l'insetto adulto per deporre le uova; il trattamento quindi deve essere ripetuto dopo l'apertura delle fessure proprio in corrispondenza di queste. Il trattamento ha comunque efficacia limitata nel tempo, pertanto ogni circa 10 anni dovrebbe essere ripetuto.

I trattamenti superficiali contro i funghi della carie hanno il solo effetto di ritardare l'attacco fungino ma sicuramente non rendono il legno immune dal degrado specie in ambienti molto umidi o a contatto col terreno.

I trattamenti profondi, efficaci sia contro i funghi che gli insetti, si conferiscono in autoclave per immersione mediante cicli di vuoto e pressione al termine dei quali si ottiene un materiale impregnato con le sostanze preservanti anche in profondità. Tale trattamento può essere effettuato solo sull'alburno delle specie legnose sufficientemente impregnabili (permeabili) come il Pino e risulta scarsamente efficace su specie poco impregnabili come l'abete. È il caso dei pali per linee aeree o degli arredi da giardino, spesso realizzati con pino impregnato in autoclave, che resistono per alcune decine di anni a contatto col terreno, cioè in classe di rischio elevata.

2.11.2 TRATTAMENTI CURATIVI

Contro gli attacchi da insetti in corso esistono trattamenti con gas velenosi o con le atmosfere modificate ai quali si ricorre solo in casi eccezionali essendo molto costosi e difficoltosi da utilizzare. Si possono utilizzare i trattamenti a pennello o con gel che impediscono la formazione di nuove larve, tuttavia le larve già all'interno del legno continueranno a lavorare fino allo sfarfallamento.

Contro l'attacco da funghi della carie l'unico intervento risolutivo è la rimozione della causa dell'umidità; un eventuale trattamento a pennello non ha grande efficacia se continuano a permanere le condizioni di umidità elevata.

Dopo aver bloccato il degrado e rimosse le cause andrà valutata la necessità di intervenire con il consolidamento strutturale.

2.12 DEGRADAMENTO DA AGENTI NON BIOTICI

Per degradamento abiotico s'intende il degradamento dovuto a cause di origine non biologica tra cui gli agenti atmosferici, fattori chimici, fattori fisici e a cause di natura statica del legno utilizzato nella costruzione di edifici (degradamento strutturale). In questo paragrafo saranno trattati i fattori atmosferici che determinano il degradamento abiotico in quanto responsabili di modificazioni superficiali e del legno e del colore che rivestono importanza sia dal punto di vista estetico che come fenomeni precursori del degradamento biotico.

2.12.1 FATTORI ATMOSFERICI

Quando il legno è esposto all'esterno, non a contatto con il terreno, si osserva un degradamento dovuto a una complessa combinazione di fattori di tipo chimico, fisico e meccanico che è definito in inglese *weathering*, un termine equivalente in italiano non esiste e può essere tradotto con degradamento dovuto a fattori atmosferici.

I fattori che causano questo tipo di alterazione sono in ordine d'importanza l'umidità, la luce solare, variazioni di temperatura, aggressioni da parte di sostanze chimiche (dovute all'inquinamento atmosferico), abrasione da particolato trasportato dal vento e l'azione concomitante di agenti biologici quali muffe e funghi cromogeni (agenti che non determinano una diminuzione delle caratteristiche meccaniche del legno ma che determinano delle modificazioni superficiali di colorazione).

I rapidi cambi di umidità che si hanno sulla superficie del legno esposto all'esterno a causa di pioggia, rugiada, assorbimento di vapore acqueo, causano continui ritiri e rigonfiamenti in funzione del gradiente di umidità tra esterno e interno del legno con conseguente formazione di deformazioni e rotture superficiali; le variazioni dimensionali si sviluppano in maniera diversa nel legno tardivo e in quello primaverile e determinano come effetto finale la rimozione dello strato superficiale del legno primaverile a densità minore.

La luce solare determina un rapido foto invecchiamento della superficie esposta con una variazione del colore che può, a seconda delle specie legnose, tendere ad un ingiallimento o un imbrunimento e successivamente all'ingrigimento. Queste variazioni di colore sono dovute ad una decomposizione della lignina delle cellule legnose più superficiali (ad una profondità compresa tra 0,05 e 0,5 mm) innescata dalla radiazione UV ed ad un'ossidazione degli estrattivi. La radiazione UV ha un'energia sufficiente per degradare la lignina e i carboidrati, componenti strutturali della cellula legnosa, mentre per l'ossidazione e decomposizione degli estrattivi è sufficiente l'energia della radiazione del visibile. Inoltre l'acqua meteorica determina il dilavamento degli estrattivi idrosolubili dalla superficie del legno.

I due fattori di degradamento, luce solare e umidità, agiscono in differenti momenti e spesso il fenomeno di degradamento è dovuto alla somma dei due fattori dove l'uno può incrementare l'effetto dell'altro: il legno è irradiato dalla luce solare dopo essere stato esposto alla pioggia o all'umidità della notte.

Il processo di degradamento inizia immediatamente quando il legno è esposto all'esterno ma è un processo molto lento, infatti si ha una erosione superficiale di 5-6 mm di spessore in 100 anni di esposizione all'intemperie. Nonostante la lentezza di questo processo è importante conoscerne i fattori che lo determinano e adottare misure preventive poiché le variazioni chimico fisiche che produce potrebbero facilitare e favorire lo sviluppo del degradamento biotico a tutta la struttura del legno e diminuirne la durata in servizio in modo considerevole. Altro fattore che può influenzare questo fenomeno è la temperatura: alte temperature possono aumentare la velocità delle reazioni di decomposizione della lignina, invece le basse temperature possono con la trasformazione dell'acqua assorbita dal legno in ghiaccio, incrementare la formazione delle fratture superficiali. Altri fattori come l'erosione e l'abrasione superficiale dovuta a vento e sabbia o particolato possono incrementare la rimozione degli strati superficiali del legno.

3

Classificazione secondo la resistenza

3.1 GENERALITÀ

L'uso del legno come materiale da costruzione è una delle prime tracce della civiltà, e oggi distingue le società più attente alla sostenibilità da quelle meno rispettose dell'ambiente.

Il "legno" (materia prima) diventa "legname" (prodotto per uso strutturale) quand'è classificato secondo la resistenza e fornito in cantiere da un produttore o da un centro di lavorazione qualificato. Questo termine, tradizionalmente usato anche in Italia (il Prof. Giordano parlava di "legname da opera") richiama correttamente la differenza tra "wood" e "timber" tipica dei paesi anglofoni.

La classificazione secondo la resistenza è il processo di selezione attraverso il quale ogni singolo segato può essere inserito in una classe (o categoria), così da attribuirgli valori affidabili di resistenza e rigidità. L'elevata variabilità naturale delle caratteristiche morfologiche e meccaniche del legno ha comportato la necessità di definire regole oggettive e ripetibili per la sua classificazione in base alla resistenza, al fine di ottimizzarne gli impieghi in maniera coerente con l'evoluzione delle metodologie ed esigenze progettuali. Le regole di classificazione a vista attualmente in vigore sono state definite a seguito di migliaia di prove distruttive, successivamente codificate in norme tecniche condivise da operatori di varia provenienza (segherie, progettisti, assicurazioni, agenzie governative...) e convalidate da decenni di esperienza applicativa, sia in Europa che in Nordamerica. Un processo che è in costante evoluzione per rimanere al passo con i livelli di affidabilità e sicurezza richiesti alle strutture e che i prodotti a base di legno, correttamente selezionati dai carpentieri, hanno da sempre garantito.

Questa pubblicazione è basata sulle esperienze didattiche sviluppate fino ad oggi da Assolegno e costituisce un supporto per quelle future. Per questo motivo, dopo aver trattato brevemente gli aspetti generali (il quadro normativo e le caratteristiche della materia prima), descrive le metodologie di classificazione a vista prima in termini generali e poi con riferimento specifico alla norma italiana (UNI 11035) e a quelle che sono impiegate dai fornitori maggiormente presenti sul nostro mercato (DIN 4074 e NF B 52-001).

La trattazione è volutamente molto sintetica perché, nella pratica professionale, nessun testo didattico può sostituirsi alle norme applicabili, nella loro versione completa ed aggiornata.

3.2 NORMATIVA APPLICABILE – CLASSIFICAZIONE CON METODI A VISTA

Attualmente a livello comunitario, la norma armonizzata è la EN 14081-1 "Legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza – requisiti generali" che fa riferimento a vari metodi (o "regole") di classificazione adottati a livello nazionale o locale, ma pur sempre coerenti con essa, in particolare con i requisiti di cui all'Allegato A.

La classificazione può essere eseguita "a vista" o "a macchina". In entrambi i casi, lo scopo è l'attribuzione al singolo elemento di una classe di resistenza (gruppo di tipi di legname con proprietà di resistenza simili e quindi intercambiabili), normalmente armonizzata con quelle definite dalla EN 338 ("Legno strutturale - Classi di resistenza"). Per le esigenze di progettazione, la classificazione secondo la resistenza è espressa da una serie di profili prestazionali per le specie legnose e le classi di qualità più frequentemente usate. I valori di riferimento che vengono riportati nei profili prestazionali sono "valori caratteristici", ovvero elaborati statisticamente sulla base dei risultati di prove distruttive.

A titolo di completezza si precisa che per il legno lamellare e gli altri prodotti incollati o diversamente assemblati (chiodi, viti, graffe, cavicchi...) la classificazione dei segati (lamelle, tavole o altro) dev'essere comunque effettuata con riferimento alla EN 14081-1 e al relativo metodo nazionale (o locale).

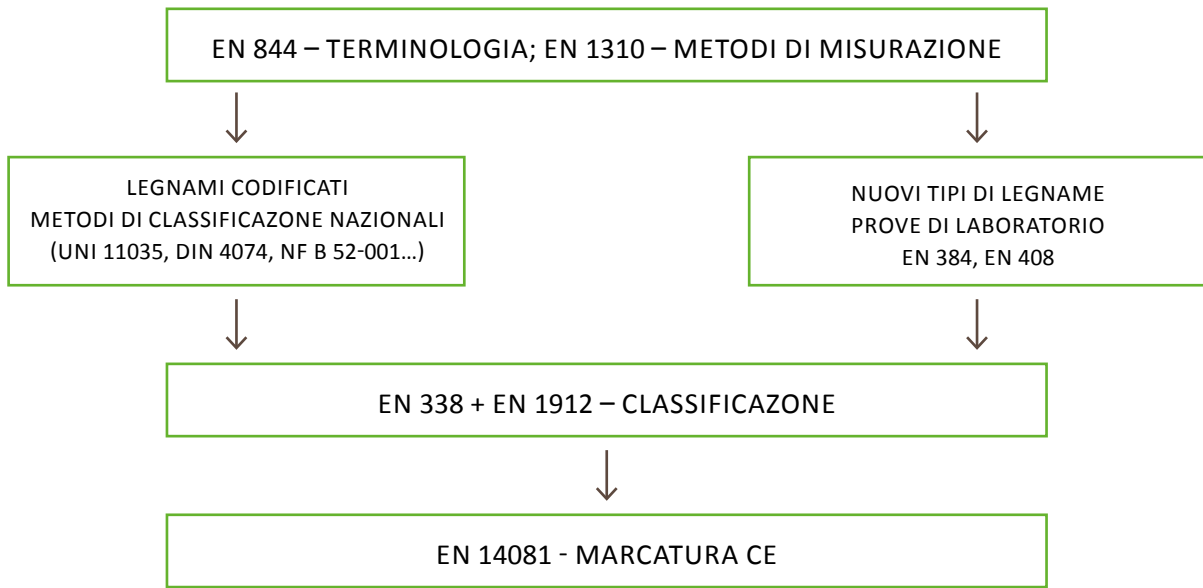


Figura 3.1 – Classificazione e certificazione del legname a sezione rettangolare.

3.3 SCELTA DELLA REGOLA DI CLASSIFICAZIONE DA UTILIZZARE

Le metodologie di classificazione “a vista” si basano su una grande mole di dati (prove di laboratorio) e di esperienze applicative, che ne confermano la validità, in piena coerenza con i livelli di affidabilità statistica attualmente prescritti sia in sede nazionale (Norme Tecniche per le Costruzioni) che in ambito Europeo (Eurocodici pertinenti). La scelta del metodo di classificazione avviene per combinazione specie / provenienza, in quanto paesi diversi hanno sviluppato, per legname proveniente da specifici paesi o “macroaree” regole di classificazione che possono differire le une dalle altre. Tutte le regole di classificazione secondo la resistenza con metodi a vista devono però essere in linea con quanto definito nell’Allegato A della UNI EN 14081-1.

Di seguito si riporta un estratto desunto dalla UNI EN 1912 “Legno strutturale - Classi di resistenza - Assegnazione delle categorie visuali e delle specie”, che fornisce indicazioni sulle correlazioni tra categorie resistenti (con riferimento dalla norma di classificazione) e le relative classi di resistenza della UNI EN 338.

Specie legnosa	Provenienza	Norma di classificazione	Categoria	Classe di resistenza
Abete Rosso <i>Picea Abies</i> (PCAB)	CNE EUROPA	DIN 4074-1	S7, S10, S13	C18, C24, C30
	FRANCIA	NF B 52-001	ST III, ST II, ST I	C18, C24, C30
Abete Bianco <i>Abies Alba</i> (ABAL)	CNE EUROPA	DIN 4074-1	S7, S10, S13	C16, C24, C30
	FRANCIA	NF B 52-001	ST III, ST II, ST I	C18, C24, C30
Abete Rosso, Abete Bianco <i>Picea Abies, Abies Alba</i> (WPCA)	CNE EUROPA	DIN 4074-1	S7, S10, S13	C16, C24, C30
	ITALIA	UNI 11035-1/2	S3, S2, S1	C18, C24, FLAC30*
	FRANCIA	NF B 52-001	ST III, ST II, ST I	C18, C24, C30
Douglasia <i>Pseudotsuga Menziesii</i> (PSMN)	GERMANIA	DIN 4074-1	S7, S10, S13	C16, C24, C35
	ITALIA	UNI 11035-1/2	S1, S2, S2&better	C30, C22, FLAC24*
	FRANCIA	NF B 52-001	ST III, ST II	C18, C24
Rovere <i>Quercus Petraea, Quercus Robur</i> (QCXE)	GERMANIA	DIN 4074-5	LS 10	D30
	FRANCIA	NF B 52-001	3, 2, 1	D18, D24, D30
Larice <i>Larix Decidua</i> (LADC)	ITALIA	UNI 11035-1/2	S3, S2	C18, C22
	CNE EUROPA	DIN 4074-1	S7, S10, S13	C16, C24, C30
	FRANCIA	NF B 52-001	ST III, ST II, ST I	C18, C24, C27
Pino Silvestre <i>Pinus Sylvestris</i> (PNSY)	CNE EUROPA	DIN 4074-1	S7, S10, S13	C18, C24, C30
	FRANCIA	NF B 52-001	ST III, ST II	C18, C24
Pino laricio <i>Pinus nigra subs. Laricio</i> (PNNL)	ITALIA	UNI 11035-1/2	S3, S2 & better	C14, C24
Castagno <i>Castanea Sativa</i> (CTST)	ITALIA	UNI 11035-1/2	S	D24, FLA C30*, FLA D27*

Tabella 3.1 – Provenienza, Norme di classificazione e correlazione con le classi di resistenza.

- Note:**
- Con il simbolo “*” sono indicate le classi di resistenza ottenute tramite report di prova privati redatti conformemente alla UNI EN 384 “Legno strutturale - Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica” dal CNR IVALSA per conto di FederlegnoArredo al fine di valorizzazione delle specie italiane; report di proprietà di Conlegno.
 - Con la sigla “CNE” si intende l’acronimo di Centro Nord Est Europa.

3.3.1 NORME DI CLASSIFICAZIONE: PRINCIPI GENERALI

Come accennato precedentemente le norme relative alla classificazione indicano quali sono le caratteristiche ed i difetti ammissibili nelle diverse classi di resistenza, per una data specie legnosa (o gruppo di specie) e per una provenienza geografica.

I metodi di misurazione delle varie caratteristiche sono generalmente quelli prescritti dalla norma EN 1310, salvo quanto diversamente specificato nelle singole norme di classificazione. In particolare le caratteristiche o i difetti che devono essere valutati sono:

- l'ampiezza media degli anelli di accrescimento, o eventualmente la massa volumica del legno;
- la tipologia, posizione, frequenza e dimensione dei difetti quali:
- nodi, misurati tramite il rapporto tra il diametro e la sezione di riferimento
- deviazione della fibratura
- legno di reazione
- attacchi di insetti o agenti di carie del legno
- deformazioni
- smussi
- fessurazioni da ritiro
- lesioni meccaniche
- cipollature (ammesse con limitazioni solo dalla norma UNI 11035 per il legname italiano di castagno, larice, abete centro Italia, mentre sono escluse da tutte le altre norme di classificazione)
- altro (inclusioni di corteccia, vischio....).

Inoltre si precisa che:

- La classificazione rimane valida con lavorazioni (piallatura e levigatura generalizzate) superficiali fino a 5 mm per dimensioni ≤ 100 mm e fino a 10 mm per dimensioni superiori. Se le lavorazioni eccedono tali limiti, l'elemento dev'essere riclassificato.
- Qualora richiesto può essere eseguita una misura dell'umidità, con metodo elettrico (EN 13183-2 "Umidità di un pezzo di legno segato - Stima tramite il metodo elettrico") anche se già si prevede la possibilità di usare igrometri a contatto all'interno della nuova UNI EN 14081-1: 2016 (in attesa di essere pubblicata in GUCE).

3.3.2 DIFETTI E METODI DI MISURAZIONE

Le prestazioni di un elemento di legno strutturale sono in gran parte influenzate dalla presenza e dalla posizione di alcune caratteristiche naturali che sono considerate, per questo impiego, dei difetti. Una breve descrizione della loro origine e del loro effetto sulla resistenza del legno è certamente utile per comprendere meglio le regole di misurazione e le prescrizioni sviluppate nelle varie normative nazionali. Di seguito si fa riferimento alla EN 1310 "Legno tondo e segati - Metodo di misurazione delle caratteristiche" e alla UNI 11035-1/2 (norma di classificazione per legname di provenienza italiana).

Ampiezza degli anelli di accrescimento

Questo parametro, di facile valutazione sulle superfici trasversali, è in parte correlato con la massa volumica del legno e quindi con la sua rigidità e la sua resistenza meccanica. Generalmente, per le Conifere, ad un aumento di ampiezza degli anelli corrisponde una diminuzione della massa volumica e quindi delle resistenze meccaniche. Per questo motivo, varie normative per la classificazione dei segati secondo la resistenza considerano l'ampiezza media degli anelli di accrescimento un indice diretto di valutazione delle resistenze meccaniche dell'elemento ligneo. Ma la regolarità di accrescimento è un fattore ancora più importante. In climi freddi o con moderate escursioni termiche, come quello Scandinavo o di alcune vallate Alpine, cresce il legno di Conifera considerato di maggior pregio, caratterizzato da anelli sottili e regolari.

Per le Latifoglie, invece, la suddetta relazione è più articolata: ad esempio nel caso di quelle ad anello poroso (Querce caducifoglie) anelli ampi sono generalmente indice di un legno più denso.

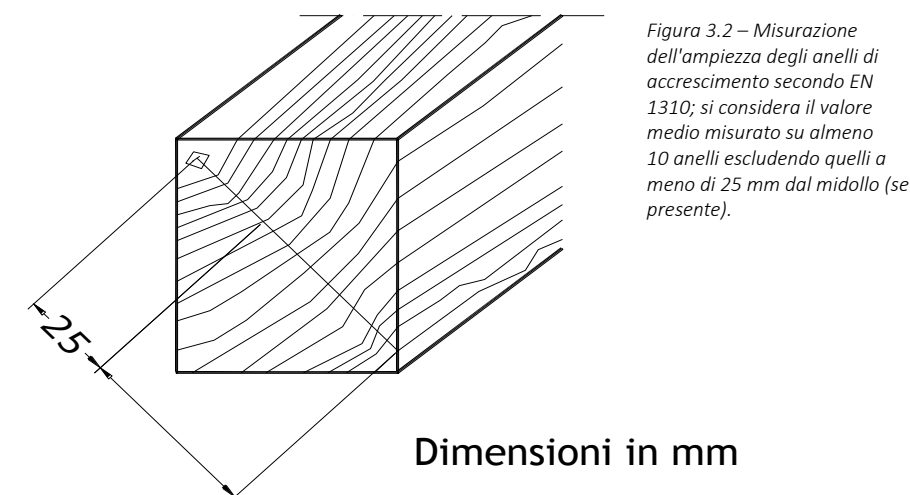


Figura 3.2 – Misurazione dell'ampiezza degli anelli di accrescimento secondo EN 1310; si considera il valore medio misurato su almeno 10 anelli escludendo quelli a meno di 25 mm dal midollo (se presente).

Nodi

I nodi rappresentano l'inclusione della parte basale di un ramo all'interno di un fusto.

Esistono due tipologie prevalenti:

- nodi cadenti (nodi morti) sono quelli che possono staccarsi dalla superficie del semilavorato: al momento dell'inclusione nel legno, il ramo era già morto (secco) e durante il successivo accrescimento dell'albero è stato inglobato dal legno circostante;
- nodi aderenti (nodi sani) sono invece quelli in cui c'è continuità tra il legno del nodo e quello del fusto, e derivano dall'inclusione di rami ancora vivi.

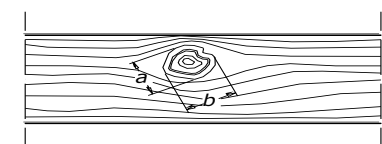
I nodi possono avere forma e dimensioni molto diverse: le Figura 3.3.A – 3.3.C illustrano alcune tipologie di nodo e le relative modalità di misurazione secondo EN 1309-3, mentre la Figura 3.3.D descrive l'influenza di un nodo (sano o cadente non fa differenza) sulla sezione resistente dell'elemento.

Una precisazione merita il gruppo di nodi ossia quei nodi che insistono su un tratto di segato compreso all'interno di 150 mm. Per i gruppi di nodi si calcola il parametro dato dal rapporto tra la somma dei diametri minimi dei nodi che fanno parte e la dimensione della faccia su cui compare il gruppo di nodi medesimo.

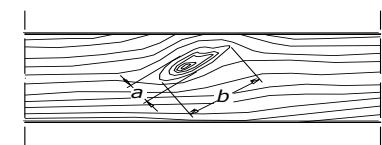
Può essere considerato un gruppo di nodi anche a distanze maggiori di 150 mm laddove la fibratura non recuperi la sua direzione originale tra i nodi oggetto di interesse.

In alcune norme per la classificazione del legno secondo la resistenza, vedi ad es. la norma UNI 11035, le dimensioni dei nodi invece devono essere rilevate misurandone il diametro minore. La resistenza meccanica del legno può risultare considerevolmente ridotta a causa dei nodi, in base soprattutto al tipo, alle dimensioni (soprattutto in rapporto alla sezione), alla loro posizione e alle modalità di applicazione delle sollecitazioni. I nodi, inoltre, possono influenzare anche la lavorabilità, l'essiccazione e le possibilità di incollaggio del legno. Le caratteristiche dei nodi costituiscono quindi un importante criterio di riferimento per la classificazione dei segati, tanto in funzione della loro resistenza che del loro impiego in falegnameria. Nel caso di legno strutturale i nodi con diametro inferiore ai 5 mm vengono ritenuti influenti sulla resistenza meccanica.

Nodo rotondo

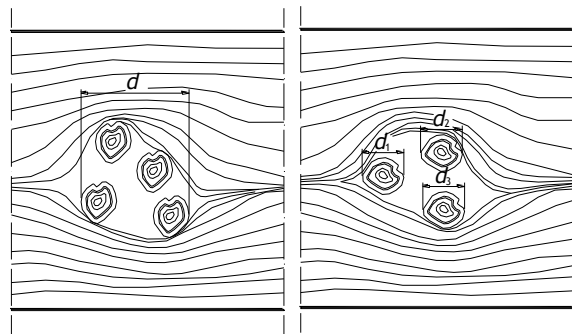


Nodo ovale



$$\text{diametro } d = \frac{a+b}{2}$$

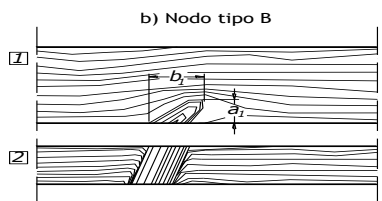
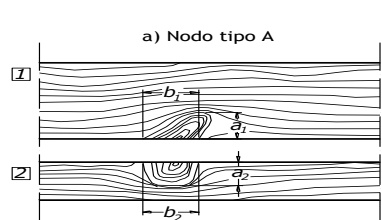
Figura 3.3.A:
Misurazione
di nodi singoli
secondo EN
1309-3



$$\text{diametro } d = d_1 + d_2 + d_3$$

Figura 3.3.B: Misurazione di gruppi di nodi (UNIEN 1309-3). Nella prima figura "d" indica la lunghezza del tratto interessato dal gruppo di nodi; nella seconda figura "d" è la somma dei diametri.

Nodo sullo spigolo



$$\text{diametro } d = \frac{a_1+b_1}{2} \text{ sulla faccia (nodo tipo A e nodo tipo B)}$$

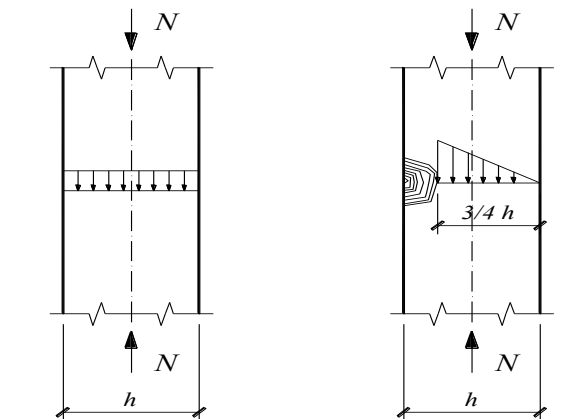
$$\text{diametro } d = \frac{a_2+b_2}{2} \text{ sul bordo (nodo tipo A)}$$

Legenda

[1] Sulla faccia

[2] Sul bordo (nodo tipo B: non misurato)

Figura 3.3.C:
Definizione e
misurazione di
nodi singoli sul
bordo secondo EN
1309-3



$$\sigma_c = N/(h \cdot b) \quad (a) \text{ legno privo di difetti}$$

$$\sigma_{c,max} = 8/3 \cdot \sigma_c \quad (b) \text{ legno con nodo}$$

Figura 3.3.D: Influenza di un nodo sulla resistenza di un elemento strutturale; la distribuzione delle tensioni cambia e la tensione massima aumenta a parità di carico esterno.

Midollo

Il midollo corrisponde alla traccia lasciata dalla gemma apicale dell'albero all'interno del tronco: da un punto di vista dell'impiego strutturale del legno, costituisce un difetto, in quanto la sua presenza può ridurre la resistenza meccanica dei semilavorati. Ciò è dovuto alla diversa struttura cellulare e chimica di questo tessuto rispetto al legno circostante. Inoltre, in prossimità del midollo si riscontra spesso un'elevata frequenza di nodi e, nei fusti degli alberi più vecchi, possono a volte presentarsi fessurazioni e marcescenze. La segazione di un tronco può includere od escludere la presenza di midollo, e determinarne la posizione nel segato. Occorre ricordare che i segati con midollo incluso, nel corso della stagionatura tendono a manifestare le tipiche fessurazioni da ritiro a "V".

Inclinazione della fibratura

L'inclinazione della fibratura rappresenta l'orientamento longitudinale delle cellule dei tessuti legnosi rispetto all'asse principale del fusto. L'angolo di inclinazione può essere molto variabile, da pochi gradi fino ai 90° in alcuni casi eccezionali. La fibratura inclinata è un difetto molto comune sia del legno di conifere che di latifoglie (che in molte specie legnose può presentare anche deviazioni localizzate); in realtà fusti con fibratura perfettamente dritta sono piuttosto rari.

La fibratura inclinata può avere conseguenze anche rilevanti sulle possibilità d'impiego del legno: la resistenza meccanica può diventare considerevolmente inferiore a quella del legno normale in funzione del valore dell'angolo di inclinazione e del tipo di sollecitazione e, soprattutto, viene ridotta la sua resilienza, cioè la capacità del legno di assorbire urti. La fibratura inclinata influenza ugualmente la stabilità dimensionale e le deformazioni, la lavorabilità, l'essiccazione e la finitura delle superfici del legno. A titolo di esempio, si riportano i fattori di riduzione della resistenza a flessione f_m, α, k in funzione dell'angolo α di deviazione della fibratura rispetto all'asse longitudinale dell'elemento (Tabella 3.2). Una fibratura leggermente inclinata può prodursi anche a partire da legno con fibratura perfettamente dritta, in seguito alla segazione dei tronchi secondo una certa angolazione (in particolare nel caso di fusti molto rastremati o che presentano una circonferenza irregolare o un accrescimento eccentrico).

Pendenza	0	1:25	1:20	1:15	1:10
$f_m, \alpha, k / f_m, k$	1,00	0,88	0,86	0,78	0,62

Tabella 3.2 - Influenza dell'inclinazione della fibratura sulla resistenza a flessione. Valori applicabili a segati in dimensioni d'uso strutturale, per deviazioni della fibratura presenti in maniera diffusa sull'elemento.

Secondo la norma EN 1310 l'inclinazione della fibratura può essere misurata sulla faccia di un elemento di legno con una punta per tracciare, munita di un braccio e di un'impugnatura mobile (vedi Figura 3.4). L'esperienza pratica dimostra però che questo metodo risulta spesso poco attendibile, per cui per una valutazione più precisa dell'angolo di inclinazione della fibratura si consiglia di valutare, quando si manifestano, l'andamento delle fessurazioni da ritiro.

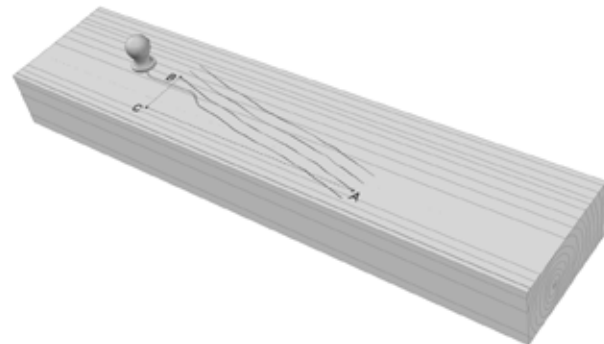


Figura 3.4 - Metodo per la misurazione dell'inclinazione della fibratura (EN 1310).

Nota:

$$F = (x/y) \cdot 100$$

Dove

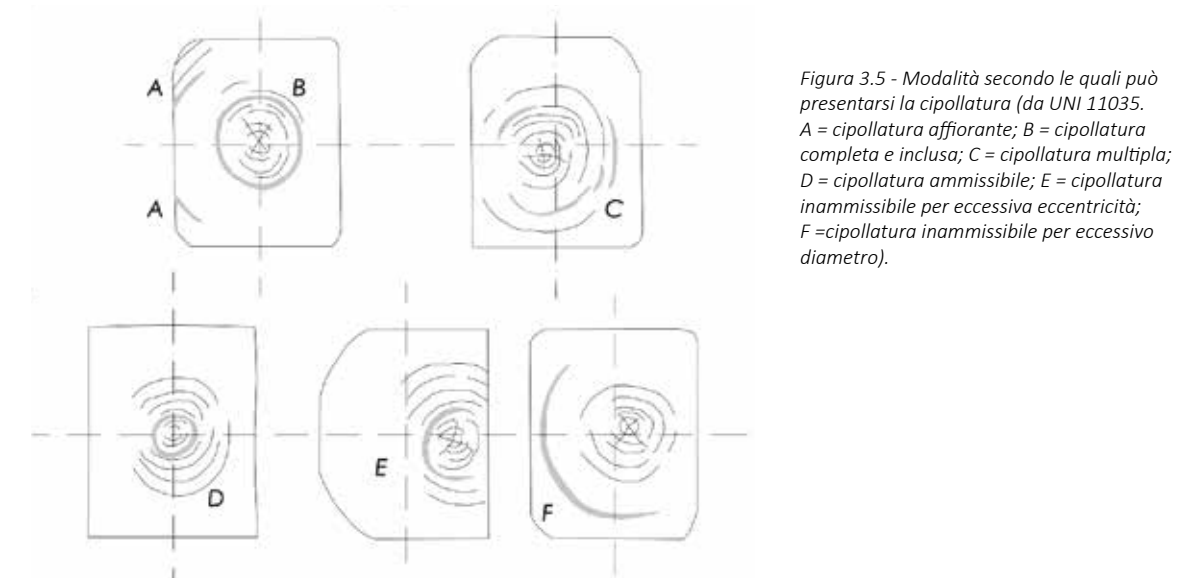
F è l'inclinazione della fibratura espressa in %

x è la differenza di quota dovuta all'inclinazione della fibratura (mm), tratto B-C

y è la lunghezza, misurata lungo l'asse longitudinale del segato, tratto A-C, su cui viene determinata l'inclinazione della fibratura (mm)

Cipollatura

La cipollatura è una separazione tra i tessuti legnosi che segue l'andamento di uno o più anelli di accrescimento; questo difetto probabilmente è già presente sugli alberi in piedi, ma può progredire ulteriormente dopo l'abbattimento e la stagionatura in seguito allo sviluppo di tensioni interne da accrescimento o da ritiro. Le cipollature possono essere complete o parziali, singole o multiple (Figura 3.5).



Le cipollature si possono verificare all'interno di anelli particolarmente ampi o in coincidenza di un'improvvisa variazione di ampiezza tra due anelli contigui. Alcune specie legnose, soprattutto se provenienti da determinate aree geografiche, sono particolarmente soggette a cipollatura: Castagno, Abete bianco, Larice ed alcuni Eucalipti sono le più note. Se la causa di tale difetto non è ancora completamente nota, l'effetto è ben conosciuto: una grave soluzione di continuità che comporta una forte diminuzione della resistenza meccanica dell'elemento e l'impossibilità di ottenere determinate sezioni dalla segazione dei tronchi (a causa della separazione degli anelli in corrispondenza della cipollatura).

Fessurazioni (o cretti) da ritiro

Le fessurazioni da ritiro si manifestano quando l'umidità del legno scende sotto il 30% (ovvero il punto di saturazione delle pareti cellulari), e sono più evidenti quando nel segato è presente il midollo. L'origine delle fessurazioni è da attribuirsi al ritiro dimensionale del legno, che è maggiore nella direzione tangenziale rispetto a quella radiale. Durante la stagionatura si sviluppano delle tensioni all'interno del legno che portano all'apertura di fessurazioni con sezione a "V", aperta verso la corteccia e chiusa verso il midollo. La presenza di fessurazioni è dunque indice del fatto che il legno è almeno parzialmente stagionato. L'andamento longitudinale delle fessurazioni da ritiro fornisce, come già ricordato, un'indicazione precisa dell'inclinazione della fibratura.

Rimargini (cicatrizzazioni), inclusioni di corteccia

L'albero in genere reagisce ad una ferita formando una massa di cellule denominate "callo cicatriziale" grazie al quale, gradualmente, in base alla sua estensione e gravità, la ferita viene rimarginata. Una lesione esterna può anche determinare la produzione di sacche e canali traumatici: resiniferi, nel legno di conifere, e gommiferi, in quello di latifoglie. I canali resiniferi traumatici si possono tra l'altro

formare anche nel legno di Abete bianco, Cedri, Cipressi e di altre specie prive di canali resiniferi. Durante il processo di cicatrizzazione, alcune porzioni di corteccia possono essere inglobate nel legno determinando le "inclusioni di corteccia"; inclusioni di corteccia si hanno anche in corrispondenza di una biforcazione dell'asse principale e di un concrescimento di due o più rami/fusti. A volte è possibile riscontrare nel fusto la formazione di zone di barriera (tessuti di compartimentazione generati in seguito a traumi) che effettuano un'azione di protezione nei confronti di un ulteriore sviluppo di lesioni o infezioni di agenti patogeni. Tali zone, tuttavia, sono spesso considerate come difetti del legno in quanto presentano una struttura del legno meccanicamente più debole e possono dare origine alla formazione di cipollature.

Legno di reazione

Questo difetto può formarsi sia nel legno di Conifera (legno di compressione) che in quello di Latifoglia (legno di tensione). In genere il legno di compressione si forma nella parte inferiore (compressa o sottovento) della sezione trasversale di un fusto inclinato di Conifera, mentre il legno di tensione si forma in quella superiore (tesa o sopravvento) di un fusto inclinato di Latifoglia. Entrambi sono comunemente noti anche con il termine più generico di "legno di reazione", per evidenziare che essi si formano per annullare gli effetti di una forza esterna che agisce sollecitando il fusto. Il legno di compressione e quello di tensione (Tabella 3.3) presentano alcune similitudini, tuttavia essi differiscono per molte particolarità.

	Legno di compressione (Conifere)	Legno di tensione (Latifoglie)
Composizione	più lignina	più cellulosa
Colore	rosso scuro	bianco, cotonoso
Ritiri	assiale molto elevato; radiale e tangenziale inferiore al normale	assiale elevato; radiale e tangenziale normale
Comportamento	tende a separarsi dal legno normale	Presenta forti fessurazioni e collassi

Tabella 3.3 - Caratteristiche del legno di reazione.

Colorazioni anomale

Le colorazioni anomale del legno possono avere varia origine: possono essere dovute ad attacchi parassitari, a ferite, o essere associate a legno di reazione ma, in alcuni casi, la causa non è certa. Esse non hanno generalmente conseguenze dal punto di vista meccanico. Alcuni esempi sono: inclusioni di alborno nel durame del legno di Larice, Abete rosso, Douglasia, Rovere ed Eucalipto; "cuore rosso" del Faggio; "cuore bruno" del Frassino; "cuore verde" di molti Pioppi, vena verde del ciliegio, vena nera del noce.

Smussi

Gli smussi sono una superficie arrotondata che raccorda due facce di un elemento e quindi rappresentano una riduzione della sezione in un segato ricavato nella parte periferica del tronco, oppure non completamente prismatico. In alcuni assortimenti per uso strutturale (travi uso Fiume e uso Trieste), gli smussi vengono tollerati ed anzi ne costituiscono una particolarità estetica. Gli assortimenti contenenti smussi necessitano di particolari accorgimenti nel caso di unione con altri elementi strutturali.

Smusso

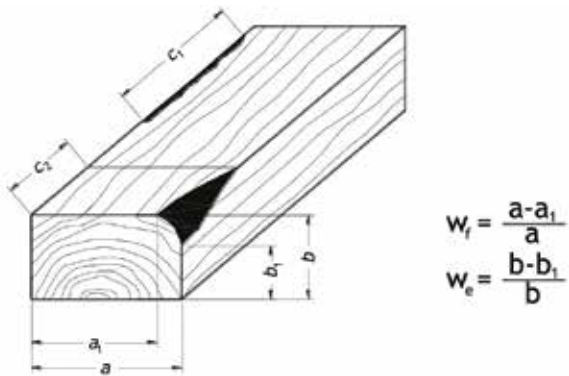


Figura 3.6 – Misurazione dello smusso.

w_f è la larghezza dello smusso sulla faccia, come frazione decimale;
 w_e è la larghezza dello smusso sul bordo, come frazione decimale;
 a è la larghezza totale della faccia, in mm;
 a_1 è la larghezza della faccia ridotta dallo smusso, in mm;
 b è la larghezza totale del bordo, in mm;
 b_1 è la larghezza del bordo ridotto dallo smusso, in mm;
 c è la grandezza dello smusso, in cm oppure in percentuale della lunghezza.

Deformazioni

Le deformazioni sono variazioni della forma geometrica di un elemento rispetto a quella di un prisma e si manifestano con la stagionatura del legname, in conseguenza di fibratura deviata oppure per la presenza di legno di reazione.

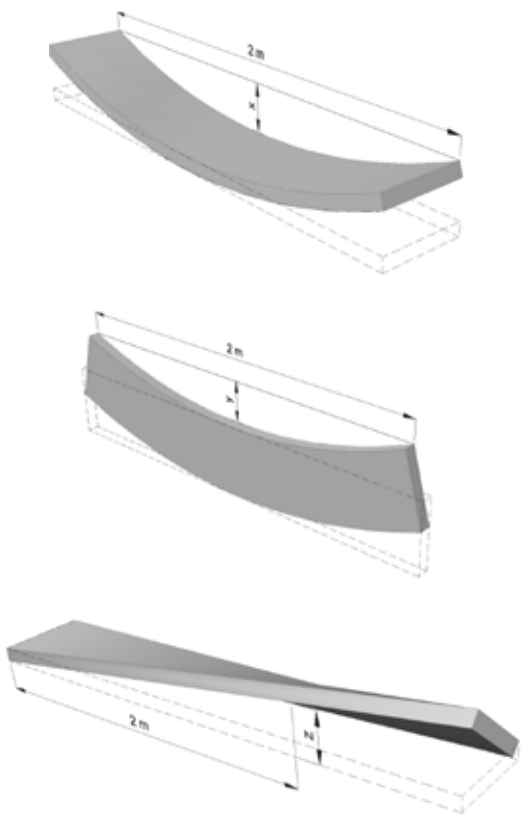


Figura 3.7 – Deformazioni – rispettivamente arcuatura, falcatura e svergolamento.

3.3.3 NORMA UNI 11035-1/2 ¹

In relazione al legname a spigolo vivo di provenienza italiana, le parti che sono di riferimento per il classificatore sono le seguenti:

- UNI 11035-1 “Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica - Parte 1: Terminologia e misurazione delle caratteristiche”;
- UNI 11035-2 “Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica - Parte 2: Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza meccanica e valori caratteristici per tipi di legname strutturale”;

Le pagine seguenti sintetizzano i requisiti e le principali metodologie di misurazione della UNI 11035-2:2010. Si ricorda che questa pubblicazione ha finalità didattiche. Per scopi professionali si deve fare riferimento ai testi originali della norma, nell’edizione vigente o specificata nel contratto/progetto. Presenta tre diverse categorie resistenti per la regola Conifere 1 (S1=la migliore; S2; S3=la peggiore); due categorie per la regola Conifere 2 (S1 e S2/S3) e una sola categoria per le latifoglie (S).

¹ La norma UNI 11035-1/2 è in corso di revisione presso il pertinente gruppo di lavoro UNI e comporterà delle modifiche importanti per quanto riguarda un maggior allineamento ai metodi di misura proposti dalla normativa DIN 4074-1/5; allo stesso tempo sarà rivista la struttura della norma stessa dove la parte 1 si applicherà alle Conifere e la parte 2 alle Latifoglie.

	CONIFERE 1			CONIFERE 2		LATIFOGIE
DIFETTI	S1	S2	S3	S1	S2/S3	S
Smussi (1)	s ≤1/4	s ≤1/3	s ≤1/3	s ≤1/4	s ≤1/3	s ≤1/3
Nodi singoli (2)	A ≤1/5 d <50 mm	A ≤2/5 d <70 mm	A ≤3/5	A ≤1/5 d <50 mm	A ≤3/5	A ≤1/2 d ≤70 mm, D ≤150 mm
Nodi raggruppati (3)	Ag ≤2/5	Ag ≤2/3	Ag ≤3/4	Ag ≤2/5	Ag ≤3/4	Ag ≤1/2 t ≤70 mm
Ampiezza anelli	≤ 6 mm	≤ 15 mm		Non specificata		
Massa volumica	Non specificata			ρ > 380 kg/m³		ρ > ρmin (4)
Incl. Fibratura	≤ 1:14	≤ 1:8	≤ 1:6	≤ 1:14	≤ 1:8	≤ 1:6
Profondità delle fessurazioni - da ritiro - cipollatura - lesioni	non pass. non amm. non amm.	ammesse con limit. (5) ammesse con limit. (6) non ammesse		ammesse non amm. non amm.		ammesse con limit. (5) ammesse con limit. (6) non ammesse
Degrado da funghi - azzurrimento - carie	ammesso non ammesse					
Legno di reazione	≤ 1/5	≤ 2/5	≤ 3/5	≤ 1/5	≤ 3/5	ammesso
Attacchi di insetti	non amm.	con limitazioni (7)		non amm.	con limitazioni (7)	
Vischio	non ammesso					
Deformazioni - arcuatura - falcatura - svergolamento - imbarcamento	10 mm / 2 m lung. 8 mm / 2 m lung. 1 mm / 25 mm larg. nessuna limitazione		20 mm / 2 m 12 mm / 2 m 2 mm/25mm nessuna lim.	10 mm / 2 m lung. 8 mm / 2 m lung. 1 mm / 25 mm larg. nessuna limitazione		10 mm / 2 m lung. 8 mm / 2 m lung. 1mm/25mm larg. nessuna limitazione

Tabella 3.4 – UNI 11035-2 regole di classificazione.

(1) s = rapporto fra dimensione obliqua dello smusso e lato maggiore della sezione; S = porzione di lato della sezione con smusso
(2) Si considera il nodo più grande del segato, e se ne misura il diametro minimo d , nonché il diametro massimo D . Si definisce inoltre A il rapporto fra d e la larghezza della faccia su cui d stesso viene misurato.
(3) Conifere: Non considerare questo criterio per Abete/Nord e Larice/Nord. Per le altre combinazioni specie/provenienza considerare il rapporto Ag fra la somma dei diametri minimi dei nodi compresi in un tratto di 150 mm e la larghezza della faccia su cui compaiono. Latifoglie: Si considera la somma t dei diametri minimi dei nodi compresi in un tratto di 150 mm. Si definisce inoltre W il rapporto fra tale somma e la larghezza della faccia su cui compaiono.
(4) Si applicano i seguenti valori di $pmin$: 395 kg/m³ per Castagno/Italia; 415 kg/m³ per Pioppo e Ontano/Italia; 510 kg/m³ per Altre latifoglie/Italia; 740 kg/m³ per Querce caducifoglie/Italia.
(5) Se passanti, sono ammesse solo su una testata, e con lunghezza max. pari a due volte la larghezza della sezione
(6) Conifera: di norma non ammessa. Solo per Larice/Nord e Abete/Centro Sud, si considerano: il rapporto $rmax$ fra il raggio massimo della cipollatura e il lato minore b della sezione; l'eccentricità ϵ cioè la distanza massima del midollo rispetto al centro geometrico della sezione. Latifoglia: La cipollatura è ammessa se $rmax < b/3$ ed $\epsilon < b/6$. Di norma non ammessa. Solo per Castagno/Italia, si considerano: il rapporto $rmax$ fra il raggio massimo della cipollatura e il lato minore b della sezione; l'eccentricità ϵ cioè la distanza massima del midollo rispetto al centro geometrico della sezione. La cipollatura è ammessa se $rmax < b/3$ ed $\epsilon < b/6$.
(7) Ammessi solo fori con alone nerastro, oppure fori rotondi senza alone nerastro di diametro compreso tra 1,5 mm e 2,5 mm (Anobidi), purché l'attacco sia sicuramente esaurito, per un max. di 10 fori, distribuiti uniformemente, per metro di lunghezza (somma di tutte e quattro le facce).

Infine si precisa che:

- La regola Conifere 1 si applica a Abete bianco, Abete rosso, Larice, Pino Laricio
- La regola Conifere 2 si applica alla Douglasia
- La regola Latifoglia trova applicazione attualmente solo per il Castagno

3.3.4 NORMA DIN 4074-1

La DIN 4074-1 (“Legno strutturale classificato secondo la resistenza - legname di Conifera”) è certamente, in Italia, il riferimento più diffuso a livello commerciale.

I criteri di classificazione sono differenziati nel caso di:

- Travi e altri elementi squadrati sollecitati di “bordo” (identificati con il suffisso “K”);
- Tavole sollecitate di piatto ($b>h$);
- Lamelle (tavole destinate all’incollaggio);
- Listelli.

La norma è applicabile al legno di provenienza Centro Nord Est Europa, con la sola esclusione della Douglasia di cui si considera solo la provenienza tedesca. Include la suddivisione della qualità resistente degli elementi in tre categorie, quali S7 (la peggiore), S10 e S13 (la migliore).

All’interno della presente pubblicazione si farà riferimento alla sola regola dedicata ad elementi sollecitati di bordo. Si ricorda che questa pubblicazione ha finalità didattiche. Per scopi professionali si deve fare riferimento ai testi originali della norma, nell’edizione vigente o specificata nel contratto/progetto.

DIFETTI	S7, S7K	S10, S10K	S13, S13K
Smussi	$s \leq 1/4$	$s \leq 1/4$	$s \leq 1/5$
Nodi singoli	$A \leq 3/5$	$A \leq 2/5$	$A \leq 1/5$
Ampiezza anelli	$\leq 6 \text{ mm}$	$\leq 6 \text{ mm}$	$\leq 4 \text{ mm}$
- per Douglasia	$\leq 8 \text{ mm}$	$\leq 8 \text{ mm}$	$\leq 6 \text{ mm}$
Incl. Fibratura	$\leq 12\%$	$\leq 12\%$	$\leq 7\%$
Profondità delle fessurazioni - da ritiro (b) - da gelo/fulmine e cipollature	ammesse $\leq 1/2$ non ammesse		ammesse $\leq 2/5$ non ammesse
Degrado da funghi - azzurramento - carie	ammesso non ammesse		
Legno di reazione	$\leq 2/5$	$\leq 2/5$	$\leq 1/5$
Attacchi di insetti	Ammessi sino a 2 mm Ø		
Vischio	non ammesso		
Deformazioni (b) - arcuatura - falcatura - svergolamento -	8 mm / 2 m lung. 8 mm / 2 m lung. 1 mm / 25 mm larg.		
Midollo (a)	Ammesso	Ammesso	Non ammesso (a)

(a) Ammesso per travi con larghezza $b > 120 \text{ mm}$

(b) questa caratteristica non è visibile su legno non essiccato ($u>20\%$)

Tabella 3.5 – DIN 4074-1 regole di classificazione.

3.3.5 NORMA DIN 4074-5

La norma in questione si applica al legname di latifoglia, con particolare riferimento alla Quercia. Anche in questo caso si farà esclusivo riferimento alla regola dedicata agli assortimenti sollecitati di “bordo” identificati con il suffisso “K”. La norma riporta tre categorie denominate come LS7 (la peggiore), LS10 e LS13 (la migliore); non tutte le categorie in funzione della specie legnosa considerata possono avere una corrispondenza con le classi di resistenza della UNI EN 338. Si ricorda che questa pubblicazione ha finalità didattiche. Per scopi professionali si deve fare riferimento ai testi originali della norma, nell’edizione vigente o specificata nel contratto/progetto.

DIFETTI	LS7, LS7K	LS10, LS10K	LS13, LS13K
Smussi	s ≤1/3	s ≤1/3	s ≤1/4
Nodi singoli	A ≤3/5	A ≤2/5	A ≤1/5
Per la Quercia	A ≤3/5	A ≤2/5	A ≤1/6
Ampiezza anelli	Nessuna limitazione		
Incl. Fibratura (a)	≤ 16%	≤ 12%	≤ 7%
Profondità delle fessurazioni - da ritiro (c) - da gelo/fulmine e cipollature	ammesse ≤ 3/5 non ammesse	ammesse ≤ 1/2 non ammesse	ammesse ≤ 2/5 non ammesse
Degrado da funghi - azzurramento - carie	ammesso non ammesse		
Rosato (inizio di carie)	≤ 3/5	≤ 2/5	≤ 1/5
Attacchi di insetti	Non ammessi		
Vischio	Non ammesso		
Deformazioni (c) - arcuatura - falcatura - svergolamento -	12 mm / 2 m 12 mm / 2 m 2 mm / 25 mm	8 mm / 2 m lung. 8 mm / 2 m lung. 1 mm / 25 mm larg.	8 mm / 2 m lung. 8 mm / 2 m lung. 1 mm / 25 mm larg.
Midollo	Non ammesso (b)	Non ammesso (b)	Non ammesso
(a) Questa caratteristica non è da tenere in considerazione per legname di Faggio			
(b) Ammesso per travi con larghezza b > 100 mm			
(c) questa caratteristica non è visibile su legno non essiccato (u>20%)			

Tabella 3.6 – DIN 4074-5 regole di classificazione.

3.3.6 LA NORMA NF B 52 001-1

La norma si applica al legno proveniente dalle foreste francesi (comprese quelle in area tropicale). La versione in vigore è quella del 2018. I legnami europei considerati sono: Quercia (Farnia e Rovere), Douglasia, Larice europeo, Abete di Sitka, Abete bianco, Abete rosso, Pini (Marittimo e Laricio) e Pioppo. Prossimamente la Norma sarà aggiornata includendo il legname di Faggio e di Castagno.

La principale particolarità della norma NF B 52 001-1è che differenzia le regole di classificazione in funzione della sezione che presentano gli elementi oggetto di selezione: questo rende molto complesso il compito sia del Classificatore stesso, ma anche del Direttore Lavori nel definire la conformità del lotto. La norma prevede, (questo in generale, anche se non per tutte le specie mantiene tale suddivisione), tre categorie denominate come: STI (la migliore), STII, STIII (la peggiore). Le pagine seguenti sintetizzano i requisiti e le principali metodologie di misurazione della NF B 52 001-1 per Abete Rosso e Bianco. Si ricorda che questa pubblicazione ha finalità didattiche. Per scopi professionali si deve fare riferimento ai testi originali della norma, nell’edizione vigente o specificata nel contratto/progetto.

	ST I	ST II		ST III	
Sezione	≤ 20.000 mm²	≤ 20.000 mm²	>20.000 mm²	≤ 20.000 mm²	> 20.000 mm²
Ampiezza anelli	≤ 6 mm	≤ 8 mm		≤ 10 mm	
Diametro dei nodi sulla faccia (l)	∅ ≤ 30 mm e ∅ ≤1/6 di l	∅ ≤ 50 mm e ≤ 1/2 della larghezza		∅ ≤ 100 mm ∅ ≤ 3/4 della larghezza	
Diametro dei nodi sul lato (e)	∅ ≤2/3 di e e ∅ ≤ 40 mm	∅ ≤ 2/3 di e e ∅ ≤ 40 mm	∅ ≤ 2/3 di e e ∅ ≤ 80 mm	∅ ≤ 2/3 di e e ∅ ≤ 40 mm	∅ ≤ 2/3 di e e ∅ ≤ 80 mm
Fessure passanti	Lunghezza della fessura ≤ a due volte la larghezza del pezzo			Lunghezza della fessura ≤ a 600 mm	
Fessure non passanti	Lunghezza della fessura ≤ a metà della lunghezza del pezzo			Non limitate	
Tasche di resina	Non ammesse	Ammesse fino alla lunghezza di 80 mm			
Inclinazione della fibra localizzata	1:10	1:4			
Inclinazione della fibra generale	1:14	1:6			
Corteccia	Non ammessa				
Smusso longitudinale	Non ammesso	< 1/3 della lunghezza dell’elemento e < 100 cm			
Smusso larghezza	Non ammesso	< 1/3 dello spessore del lato			
Degrado da funghi azzurramento	Ammesso				
Degrado da funghi carie bruna e bianca	Non ammesse				
Attacco di insetti forellini neri	Ammesso se presente solo su una sola faccia				
Arcuatura	< 10 mm			< 20 mm	
Falcatura	< 8 mm			< 12 mm	
Svergolamento	Fino a 1 mm ogni 25 mm di larghezza			Fino a 2 mm ogni 25 mm di largh.	

Tabella 3.7 – NF B 52 001-1 regole di classificazione (Abete

3.3.7 ESEMPI – MISURAZIONE DEI DIFETTI

Per immagini a scopo illustrativo si riportano di seguito alcuni esempi per la misurazione dei difetti.

Nodi singoli secondo UNI 11035-1/2 e DIN 4074-1/5: deve essere misurato il diametro minimo del nodo in rapporto alla faccia su cui compare secondo quanto indicato nelle figure seguenti:



Figura 3.8 - Nodo singolo sulla faccia.

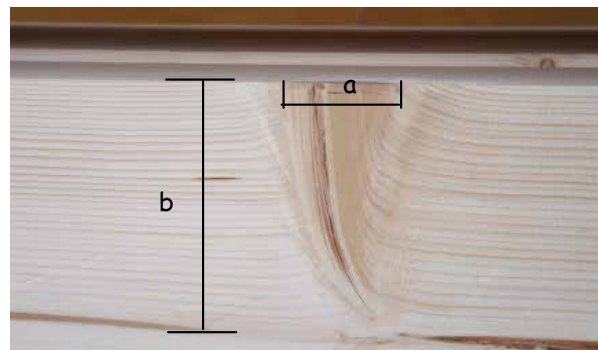


Figura 3.9 - Nodo singolo sul bordo (a: diametro più piccolo; b: faccia su cui rapportare la misura a).

Si ricorda inoltre che nodi aventi diametro minore di 5 mm non devono essere presi in considerazione. Sono altresì considerati allo stesso modo nodi sani, cadenti o marci ...

Lesioni meccaniche. Tale difetto non è mai ammesso da nessuna norma di classificazione. Di seguito alcuni esempi.



Figura 3.10 – Lesioni sulla faccia (sx) o in testa all'elemento (dx).

Inclinazione e profondità della fessura secondo DIN 4074-1. Le fessurazioni consentono di misurare l'inclinazione della fibratura, come “dislivello” rispetto ad una lunghezza (normalmente 1 m). Per misurare la profondità delle fessurazioni, si divide la lunghezza della fessura in 4 parti uguali e si procede a misurarne la profondità nei punti a $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ della lunghezza totale della fessurazione. Si sommano le tre misure fatte e si divide per 3 ottenendo la profondità media. Tale valore deve essere poi rapportato alla base dell'elemento. Fessurazioni di lunghezza minore o uguale a $\frac{1}{4}$ della lunghezza del segato, fino al massimo di 1 m., non vengono prese in considerazione.

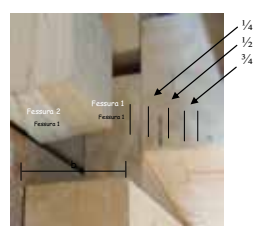
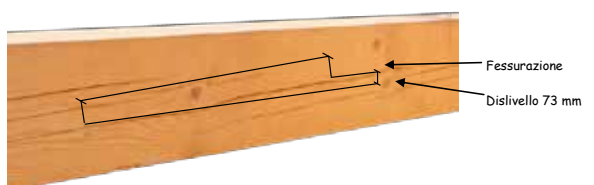


Figura 3.11 – Inclinazione della fibratura e profondità della fessura.

Azzurramento e legno di reazione (Conifere) secondo UNI 11035-1/2. Funghi dell'azzurramento sono sempre ammessi da tutte le regole di classificazione. Per il legno di reazione la UNI 11035-1/2 definisce due metodi di misurazione dello stesso, considerando in alternativa, la porzione di “canastro” sulla faccia o sul perimetro del segato.



Figura 3.12 – Azzurramento.



Figura 3.13 – Canastro sulla sezione trasversale, riconoscibile per il colore bruno che segue gli anelli di accrescimento.

Attacchi di insetti secondo UNI 11035 (serie). Deve essere scartato ogni elemento soggetto ad attiva infestazione da parte di Insetti in grado di proliferare anche nel legno stagionato (in genere: Anobidi, Lictidi, Cerambicidi). Sono ammessi solo fori di insetti che attaccano esclusivamente il legno fresco, purché l'attacco sia sicuramente esaurito: fori tipicamente rotondi, con alone nerastro, aventi diametro di circa 2 mm, fino a una presenza massima di 10 fori su un qualsiasi tratto di 1 m di lunghezza (sommando i fori visibili sulle quattro facce del pezzo). In caso di attacchi pregressi e comprovatamente esauriti, sono ammessi in ciascun elemento ligneo fori di Anobidi (tipicamente rotondi, senza aloni nerastri, aventi diametro non maggiore di 2 mm), fino a una presenza massima di 10 fori su un qualsiasi tratto di 1 m di lunghezza (sommando i fori visibili sulle quattro facce del pezzo).

Non sono ammessi fori prodotti da Lictidi (fori piccolissimi senza alone, rotondi e tipicamente di diametro non maggiore di 1 mm) o da Cerambicidi (fori molto grandi senza alone, tipicamente ellittici e con diametro minimo maggiore di 3 mm). Non sono altresì ammessi segni di degradamento dovuti all'attacco di altri insetti distruttori del legno (per esempio Termiti).

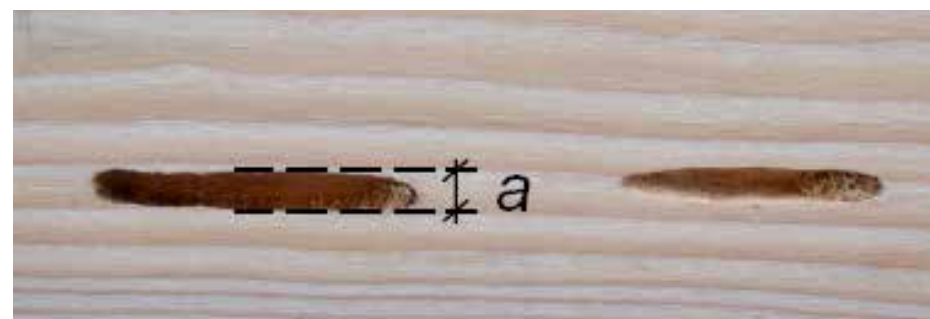


Figura 3.14 – Attacco di insetto; misura della galleria (a) e successiva comparazione dei valori con quanto previsto dalla norma.

3.3.8 LEGNO MASSICCIO A SEZIONE IRREGOLARE

Appare utile prima di scendere nel dettaglio circa le modalità di classificazione del materiale fare una piccola precisazione in relazione a tale tipologia di assortimento. Innanzitutto per legname a sezione irregolare si può a titolo indicativo riportare la seguente definizione:

- Legno massiccio classificato secondo la resistenza il cui smusso eccede i limiti di tolleranza riportati all'interno della UNI EN 14081-1 (ossia con smusso superiore ad 1/3 della faccia).

Entro tale definizione possono essere distinti in via semplicistica i seguenti assortimenti:

- Legname "rusticato": nel linguaggio corrente per legname rusticato si intende legno con smussi realizzati attraverso una piallatura degli spigoli contenente o meno il midollo.
- Legname "Uso Fiume" (§ 3.1 - UNI 11035-3): trave a sezione quadrata o rettangolare ottenuta da tronco mediante squadratura meccanica, continua e parallela dal calcio alla punta su quattro facce a spessore costante con smussi e contenente il midollo.
- Legname "Uso Trieste" (§ 3.2 - UNI 11035-3): trave a sezione quadrata o rettangolare ottenuta da tronco mediante squadratura meccanica, continua dal calcio alla punta su quattro facce seguendo la rastremazione del tronco, con smussi e contenente il midollo

Inoltre relativamente al legname "Uso Fiume" e "Uso Trieste" può essere utile per una maggiore comprensione riportare le seguenti definizioni (UNI 11035-3):

- Smusso: superficie arrotondata originale del tronco, con o senza corteccia, eventualmente regolarizzata tramite lavorazione meccanica con l'asportazione di non più di 5 mm sotto corteccia, che raccorda due facce contigue dell'elemento ligneo.
- Sezione nominale: sezione del rettangolo circoscritto dell'elemento ligneo a metà della lunghezza, alla quale sono riferiti i valori caratteristici.

3.3.8.1 Classificazione del legname a sezione irregolare

Per quanto riguarda le regole di classificazione da adottare per assortimenti a sezione irregolare si riportano le seguenti casistiche:

CASO A. Assenza di documenti normativi dedicati al tipo di legno impiegato: l'unico riferimento normativo per poter definire una conformità al materiale risulta quanto definito all'interno della Circolare Esplicativa delle NTC 2018, che viene riportata di seguito per completezza e facilità di lettura:

"C11.7.2 "legno con sezioni irregolari": in assenza di specifiche prescrizioni, per quanto riguarda la classificazione del materiale, si potrà fare riferimento a quanto previsto per gli elementi a sezione rettangolare, senza considerare le prescrizioni sugli smussi e sulla variazione delle sezioni trasversali, purché nel calcolo si tenga conto dell'effettiva geometria delle sezioni trasversali."

Tale prescrizione normativa comporta necessariamente:

- Una penalizzazione dei valori caratteristici potenzialmente attribuibili a tali assortimenti;
- Obbliga il progettista ad un approfondimento delle caratteristiche geometriche della fornitura che difficilmente possono essere generalizzabili.

CASO B. UNI 11035-3 "Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica - Parte 3: Travi Uso Fiume e Uso Trieste": la norma specifica per l'Uso Fiume e Uso Trieste di Abete Rosso e Bianco (provenienza Italia e Centro Europa) le regole di classificazione e i profili resistenti da affidare a tali assortimenti.

Nel caso in questione quindi i valori caratteristici sono riferiti alla sezione nominale (rettangolo circoscritto a metà della lunghezza), superando così le difficoltà dovute alle prescrizioni normative definite nella Circolare Esplicativa. Inoltre sempre in merito all'argomento si fa presente che sul mercato e su iniziativa di Assolegno sono state sviluppate apposite Valutazione Tecniche Europee (dedicate sia all'Uso Fiume e Trieste di Abete che all'Uso Fiume di Castagno) che presentano specifiche regole di classificazione che possono differire da quanto indicato all'interno della UNI 11035-3.

Per le tipologie che possono essere assimilabili alla casistica A (così come definito all'interno del presente paragrafo) si rimanda a quanto già definito per il legno massiccio a sezione rettangolare; al contrario di seguito verranno approfondite le regole di classificazione per gli assortimenti Uso Fiume e Trieste di Abete (UNI 11035-3) e Uso Fiume di Castagno (ETA 12/0540).

3.3.8.2 Le Valutazioni Tecniche Europee

Vista la non applicabilità della UNI EN 14081-1 dedicata agli assortimenti a spigolo vivo con una tolleranza di smusso massima ammessa di 1/3 della faccia, su iniziativa di Assolegno, sono stati sviluppate due Valutazioni Tecniche Europee:

- ETA 11/0219 "Uso Fiume e Trieste of Softwood": applicabile al legname di Abete bianco, rosso e Larice provenienza del Centro Europa e Italia
- ETA 12/0540 "Uso Fiume of Chestnut": applicabile al legname di Castagno di origine Italiana e Francese.

In relazione alle due tipologie di legname, si riportano in sintesi le principali caratteristiche, le relative regole di classificazione e i profili resistenti.

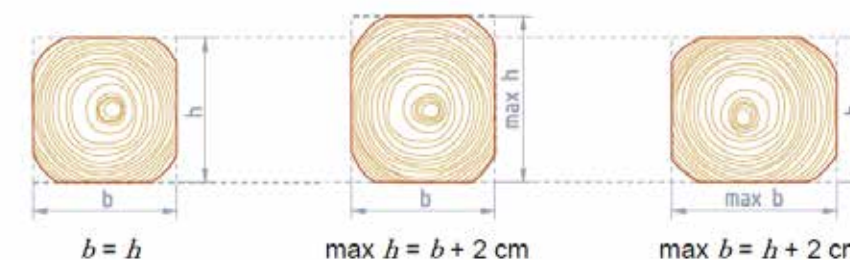


Figura 3.15 – Regolarità della sezione trasversale. La differenza tra altezza e larghezza della sezione non deve superare i 2 cm

Per quanto riguarda l'Uso Fiume e Trieste di Abete rosso, bianco e Larice (parametro di classificazione non relativo all'Uso Fiume di Castagno), si riporta la figura illustrativa circa l'eccentricità ammessa del midollo rispetto al centro geometrico della sezione trasversale.

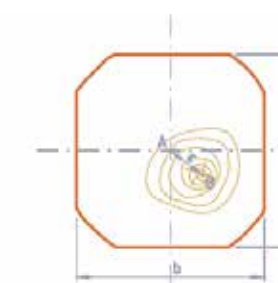


Figura 3.16 – Eccentricità massima ammessa del midollo per Uso Fiume e Trieste di Abete e Larice pari al 20% in rapporto al lato minore

Lo smusso, anche nelle pertinenti Valutazione Tecniche Europee può avere un'ampiezza massima sino a 9/10 della sezione. Per l'Uso Fiume di Castagno è però ammesso che tratti di 0.5 m possano essere completamente tondi al fine di cercare di massimizzare le relative rese di classificazione.

E’ inoltre da precisare come:

- Per l’Uso Fiume di Abete e Larice lo smusso deve essere pressoché simmetrico tra tutte e quattro le facce ed avere almeno su una sezione un’ampiezza di almeno 1/3 rispetto alla faccia su cui compare;
- Per l’Uso Fiume di Castagno lo smusso può essere asimmetrico e l’elemento può avere una faccia riconducibile allo spigolo vivo e le altre con presenza di smusso (in ogni modo tale smusso in una sezione del segato deve essere superiore ad 1/3).

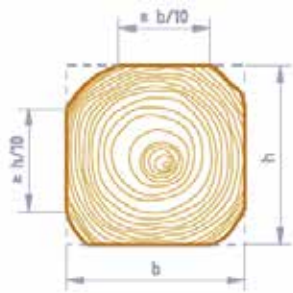


Figura 3.17 – Lo smusso deve essere compreso tra 1/3 e 9/10 della sezione; per l’uso Fiume di Castagno possono essere ammesse superfici tonde per una lunghezza massima di 0.5 m.

Per quanto invece riguarda la conicità si ricorda che:

- Per l’Uso Fiume (Abete, Larice e Castagno):

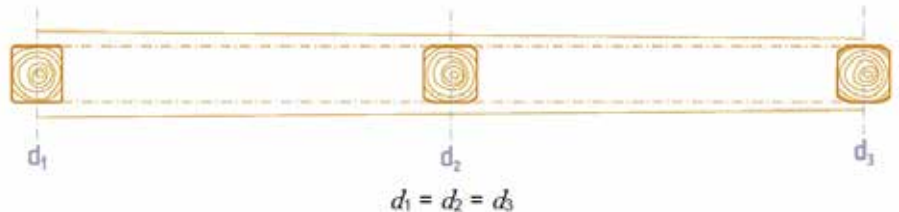


Figura 3.18 – La sezione trasversale dell’elemento deve essere costante dal “calcio” alla “punta”. Naturalmente, vista la particolare geometria dell’elemento è palese che in prossimità del calcio dell’elemento si possa trovare una sezione più vicina allo spigolo vivo (in quanto maggiormente toccato da “sega”); allo stesso modo in prossimità della punta dell’elemento stesso la sezione presenterà smussi più pronunciati.

- Per l’Uso Trieste (Abete e Larice):

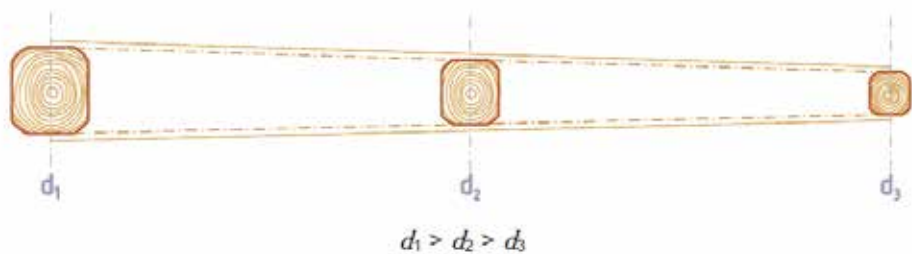


Figura 3.19 – L’elemento può seguire la rastremazione del fusto con una rastremazione massima pari a 6 mm/m. Visto che l’elemento Uso Fiume segue la rastremazione del visto, è altrettanto palese che lo smusso sia pressoché costante (in termini di ampiezza) passando dal calcio alla punta.

Quindi in relazione alle regole di classificazione per l’Uso Fiume e Trieste di Abete e Larice si riporta relativa tabella come da ETA 11/0219 (che riprende gli stessi principi della UNI 11035-3 “Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica - Parte 3: Travi Uso Fiume e Uso Trieste”).

- Uso Fiume di Abete e Larice:

DIFETTI	UFS/A
Smussi	$s \leq 9/10$
Nodi singoli	$A \leq 2/5$ ($d < 70$ mm)
Nodi a gruppi	$Ag \leq 2/3$
Ampiezza anelli	< 6 mm
Inclinazione fibratura	$\leq 12.5\%$
Fessurazioni	
- da ritiro (b)	ammesse
- da gelo/fulmine	non ammesse
- cipollature	generalmente non ammesse (d)
Degrado da funghi	
- azzurrimento	ammesso
- carie	non ammesse
Midollo eccentrico	$< 20\%$
Regolarità della sezione trasversale	< 2 cm
Legno di reazione	$\leq 2/5$
Attacchi di insetti	permessi con limitazioni (c)
Vischio	non ammesso
Deformazioni (b)	
- arcuatura /falcatura	10 mm / 2 m lung.
- svergolamento	1 mm / 25 mm larg.
-	
Midollo (a)	ammesso
Rastremazione	non ammessa

(a) Negli assortimenti Uso Fiume e Trieste è obbligatoria la presenza del midollo

(b) Generalmente ammesse. Fessurazioni passanti da una faccia all’altra dell’elemento sono ammesse solo in testata, con una lunghezza massima della fessura non maggiore della larghezza dell’elemento.

(c) Sono permessi solo fori con alone nerastro o fori rotondi senza alone nerastro, di diametro compreso tra 1.5 mm e 2,5 mm (Anobidi), ad infestazione terminata. Complessivamente possono essere presenti fino ad un massimo di 10 fori, uniformemente distribuiti, per metro lineare (somma di tutte 4 le facce).

(d) Generalmente non ammessa; solo su Abete bianco e rosso è permessa una cipollatura con: $r_{max} \leq b/3$ e $\epsilon < b/6$.

Tabella 3.8 – ETA 11/0219 Regole di classificazione Uso Fiume di Abete e Larice.

- Uso Trieste di Abete e Larice:

DIFETTI	UFS/A
Smussi	$s \leq 9/10$
Nodi singoli	$A \leq 2/5$ ($d < 70$ mm)
Nodi a gruppi	$Ag \leq 2/3$
Ampiezza anelli	< 6 mm
Inclinazione fibratura	$\leq 12.5\%$
Fessurazioni - da ritiro (b) - da gelo/fulmine - cipollature	ammesse non ammesse generalmente non ammesse (d)
Degrado da funghi - azzurramento - carie	ammesso non ammesse
Midollo eccentrico	$< 20\%$
Regolarità della sezione trasversale	< 2 cm
Legno di reazione	$\leq 2/5$
Attacchi di insetti	permessi con limitazioni (c)
Vischio	non ammesso
Deformazioni (b) - arcuatura /falcatura - svergolamento -	8 mm / 2 m lung. 1 mm / 25 mm larg.
Midollo (a)	ammesso
Rastremazione	$R \leq 6$ mm/m

- (a) Negli assortimenti Uso Fiume e Trieste è obbligatoria la presenza del midollo
- (b) Generalmente ammesse. Fessurazioni passanti da una faccia all'altra dell'elemento sono ammesse solo in testata, con una lunghezza massima della fessura non maggiore della larghezza dell'elemento.
- (c) Sono permessi solo fori con alone nerastro o fori rotondi senza alone nerastro, di diametro compreso tra 1.5 mm e 2,5 mm (Anobidi), ad infestazione terminata. Complessivamente possono essere presenti fino ad un massimo di 10 fori, uniformemente distribuiti, per metro lineare (somma di tutte 4 le facce).
- (d) Generalmente non ammessa; solo su Abete bianco e rosso è permessa una cipollatura con:
 $r_{max} \leq b/3$ e $\epsilon < b/6$.

Tabella 3.9 – ETA 11/0219 Regole di classificazione Uso Trieste di Abete e Larice.

I profili caratteristici delle categorie resistenti UFS/A e UTS/A sono i seguenti:

Proprietà	Simbolo	UFS/A	UTS/A	
Flessione	f_m, k	27	28	N/mm ²
Trazione	$f_{t,0}, k$	14	11	N/mm ²
	$f_{t,90}, k$	0.4	0.4	N/mm ²
Compressione	$f_{c,0}, k$	21	18	N/mm ²
	$f_{c,90}, k$	2.5	2.2	N/mm ²
Taglio	f_v, k	4.0	3.4	N/mm ²
Modulo di elasticità	E_0, mean	10.5	8.8	kN/mm ²
	$E_{0,05}$	7.0	5.9	kN/mm ²
	E_{90}, mean	0.37	0.29	kN/mm ²
Modulo a taglio	G_{mean}	0.69	0.54	kN/mm ²
Densità	ρ_k	380	370	kg/m ³
	ρ_{mean}	460	450	kg/m ³

Tabella 3.10 – ETA 11/0219 Profili resistenti Uso Fiume e Trieste di Abete e Larice.

La sezione a cui si riferiscono i valori caratteristici definiti nei profili UFS/A e UTS/A è quella del rettangolo circoscritto a metà lunghezza.

- Di seguito si riportando le regole di classificazione dedicate all’Uso Fiume di Castagno (così come definito nella Valutazione Tecnica Europea 12/0540):

DIFETTI	UFS/A
Smussi	s ≤9/10
Nodi singoli	A ≤ 2/5 (d < 120 mm)
Nodi a gruppi	Ag ≤ 1/2 (t ≤ 70 mm)
Ampiezza anelli	nessuna limitazione
Inclinazione fibratura	≤ 16.5%
Fessurazioni	
- da ritiro (b)	ammesse
- da gelo/fulmine	non ammesse
- cipollature	generalmente non ammesse (d)
Degrado da funghi	
- azzurramento	ammesso
- carie	non ammesse
Midollo eccentrico	nessuna limitazione
Regolarità della sezione trasversale	< 2 cm
Legno di tensione	nessuna limitazione
Attacchi di insetti	permessi con limitazioni (c)
Vischio	non ammesso
Deformazioni (b)	
- arcuatura /falcatura	8 mm / 2 m lung.
- svergolamento	1 mm / 25 mm larg.
-	
Midollo (a)	ammesso
Rastremazione	non permessa

- (a) Negli assortimenti Uso Fiume e Trieste è obbligatoria la presenza del midollo
- (b) Generalmente ammesse. Fessurazioni passanti da una faccia all'altra dell'elemento sono ammesse solo in testata, con una lunghezza massima della fessura non maggiore della larghezza dell'elemento.
- (c) Sono permessi solo fori con alone nerastro o fori rotondi senza alone nerastro, di diametro compreso tra 1.5 mm e 2,5 mm (Anobidi), ad infestazione terminata. Complessivamente possono essere presenti fino ad un massimo di 10 fori, uniformemente distribuiti, per metro lineare (somma di tutte 4 le facce).
- (d) Generalmente non ammessa; solo su Abete bianco e rosso è permessa una cipollatura con:
 $r_{max} \leq b/3$ e $\epsilon < b/6$.

Tabella 3.11 – ETA 12/0540 Regole di classificazione Uso Fiume di Castagno.

Il profilo caratteristico della categoria resistente UFS/C è il seguente:

Proprietà	Simbolo	UFS/C	
Flessione	fm ,k	29	N/mm ²
Trazione	ft,0, k	16	N/mm ²
	ft,90, k	0,9	N/mm ²
Compressione	fc,0, k	23	N/mm ²
	fc,90, k	7,6	N/mm ²
Taglio	fv, k	4,0	N/mm ²
Modulo di elasticità	E0, mean	11,2	kN/mm ²
	E0,05	9,4	kN/mm ²
	E90, mean	0,74	kN/mm ²
Modulo a taglio	Gmean	0,70	kN/mm ²
Densità	ρk	504	kg/m ³
	ρ mean	570	kg/m ³

Tabella 3.12 – Profili caratteristici Uso Fiume di Castagno.

3.3.9 “PERLINATO” STRUTTURALE

Relativamente alle perline e in considerazione della geometria che tali elementi presentano (profilo “maschio – femmina”), non si applica quanto indicato nella UNI EN 14081-1 in termini di certificazione di prodotto.

Alla luce di tale premessa, relativamente al presente assortimento, è possibile procedere a definirne la conformità secondo i punti b) e c) del par. 11.1 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (vedi capitolo dedicato alla normativa nazionale e comunitaria).

Sempre in merito all’argomento tramite l’impegno dell’Associazione (supportata da Conlegno), e a seguito di un lungo lavoro di concertazione con tutti i paesi comunitari, si è quindi giunti a formulare una specifica Valutazione Tecnica Europea (ETA 18-0288) per il “Perlinato Strutturale” (con profilo “maschio- femmina”), sulla base dell’EAD 130196-00-0304 “Solid Wood Boards for Flatwise Structural Use with Overlapping Edge Profiles”.

3.3.9.1 Campo di applicazione

L’ETA 18-0288 si applica a tutti quegli elementi ad uso strutturale con profilo maschio – femmina, aventi le seguenti dimensioni minime:

- Spessore (min.): 18 mm
- Larghezza (min): 80 mm

La sezione “resistente”, così come quella oggetto di classificazione (vedi successivo paragrafo “Metodo e regola di classificazione” per approfondimenti) è quella compresa tra le linee tratteggiate (in altre parole non si prendono in considerazioni i profili maschio / femmina).

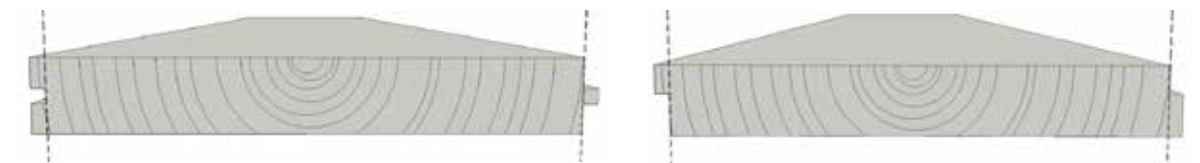


Figura 3.20 - Esempi di sezione resistente del tavolame con profilo maschio – femmina.

Attualmente all’interno della Valutazione Tecnica Europea sono comprese le seguenti combinazioni specie / provenienza:

- Conifere:**
- Abete rosso – Picea abies L. Kast (provenienza Centro* / Nord / Est Europa);
 - Abete bianco- Abies alba Mill. (provenienza Centro* / Nord / Est Europa);
 - Larice – Larix decidua Mill. (provenienza Centro* / Nord / Est Europa);
 - Pino Silvestre – Pinus sylvestris L. (provenienza Centro / Nord / Est Europa);
 - Douglasia - Pseudotsuga Menziesii Mill. (provenienza Austria e Germania)
- Latifoglie:**
- Quercia - Quercus robur L. & Quercus petrea Liebl. (provenienza Germania)

(*) Nota: comprende Arco Alpino; è allo studio un piano prove dedicato alla caratterizzazione meccanica del Castagno di provenienza italiana e francese.

3.3.9.2 Regola di classificazione e valori caratteristici

Come precedentemente accennato, la sezione di riferimento per la classificazione a vista è quella compresa dalle linee tratteggiate riportata negli esempi come in Figura 3.20. La classificazione avviene attraverso l’applicazione della DIN 4074-1 per le conifere e la DIN 4074-5 per le latifoglie (regole “brett”).

Di seguito e rimandando all’ultima edizione in vigore della Norma richiamata sopra si riportano i prospetti riassuntivi circa le tolleranze ammesse per le categorie S7; S10; S13 (Conifere) e LS10&better (Latifoglie).

Parametro di classificazione (CONIFERE)	Categoria resistente		
	S7	S10	S13
Nodo: Nodo singolo Raggruppamento di nodi Nodo sul bordo	Fino a 1/2 Fino a 2/3 -	Fino a 1/3 Fino a 1/2 Fino a 2/3	Fino a 1/5 Fino a 1/3 Fino a 1/3
Inclinazione della fibratura	Fino a 16%	Fino a 12%	Fino a 7%
Midollo	AmMESSo	AmMESSo	Non amMESSo*
Larghezza degli anelli: - In generale: - Douglasia:	Fino a 6 mm Fino a 8 mm	Fino a 6 mm Fino a 8 mm	Fino a 4 mm Fino a 6 mm
Fessurazioni: - Cretti da ritiro** - Fulmine - Cipollatura	AmMESSo Non amMESSo Non amMESSo	AmMESSo Non amMESSo Non amMESSo	AmMESSo Non amMESSo Non amMESSo
Smussi	Fino a 1/3	Fino a 1/3	Fino a ¼
Deformazioni** - Def. nel piano - Svergolamento - Imbarcamento	Fino a 12 mm 2mm/ 25 mm di spes. Fino a 1/20	Fino a 8 mm 1 mm/ 25 mm di spessore Fino a 1/30	Fino a 8 mm 1 mm/ 25 mm di spessore Fino 1/50
Alterazioni cromatiche & Carie: - Azzurramento - “Rosato” - Carie bruna / bianca	AmMESSo Fino a 3/5 Non amMESSa	AmMESSo Fino a 2/5 Non amMESSa	AmMESSo Fino a 1/5 Non amMESSa
Legno di compressione	Fino a 3/5	Fino a 2/5	Fino a 1/5
Attacchi di insetti (legno U>20%)	AmMESSe gallerie fino a 2 mm di diametro		
Altri parametri di classificazione	Devono essere valutati con riferimento al senso dei normali parametri di classificazione		

** Questi parametri non vengono considerati per la classificazione del legno fresco (U≥20%)

Tabella 3.13 – Regola di classificazione per il perlinato di Conifera.

Parametro di classificazione (LATIFOGLIE)	Categoria resistente LS10
Nodo:	
Nodo singolo	Fino a 1/3
Raggruppamento di nodi	Fino a 1/2
Nodo sul bordo	Fino a 2/3
Inclinazione della fibratura	Fino a 12%
Midollo	Non ammesso
Larghezza degli anelli:	Nessuna limitazione
Fessurazioni **: - Cretti da ritiro - Fulmine - Cipollatura	Ammesso Non ammesso Non ammesso
Smussi	Fino a 1/4
Deformazioni** - Def. nel piano - Svergolamento - Imbarcamento	Fino a 8 mm 1 mm/ 25 mm di spessore Fino a 1/30
Alterazioni cromatiche & Carie: - Azzurramento - “Rosato” - Carie bruna / bianca	Ammesso Fino a 2/5 Non ammessa
Legno di compressione	Fino a 2/5
Attacchi di insetti (legno U>20%)	Non ammesse
Altri parametri di classificazione	Devono essere valutati con riferimento al senso dei normali parametri di classificazione
** Questi parametri non vengono considerati per la classificazione del legno fresco (U≥20%)	

Tabella 3.13 – Regola di classificazione per il perlinato di Conifera.

Infine, riprendendo quanto definito all’interno dell’Allegato n. 4 dell’ETA 18-0288, si riportano di seguito i principali riferimenti dedicati alle categorie S7; S10; S13 (conifere); LS10&better (latifoglie).

Caratteristiche (CONIFERE)	Categorie resistenti		
	S7	S10	S13
Classi di resistenza (Abete Rosso e Pino Silvestre)*	C18	C24	C30
Classi di resistenza (Abete Bianco e Larice)*	C16	C24	C30
Classi di resistenza (Douglasia) *	C18	C24	C35
Tolleranze dimensionali	Vedi classi di tolleranza della UNI EN 336		
Durabilità	Classe 5 (Qualora si escluda dal segato l’alburno si può far riferimento alle classi della UNI EN 350)		
Classi di servizio	1, 2		
Reazione al fuoco	D-s2, d0		
Resistenza al fuoco	Charring rate come da EN 1995-1-2		

Tabella 3.15 – Valori caratteristici per il perlinato incluso nell’ETA 18/0288 – Conifere
*Nota: Qualora necessario è possibile fare riferimento alle classi a trazione “T” come da UNI EN 338: 2016.

Caratteristiche (LATIFOGLIE)	Categorie resistenti LS10& Better
Classi di resistenza (Farnia e Rovere)	D30
Tolleranze dimensionali	Vedi classi di tolleranza della UNI EN 336
Durabilità	Classe 5 (Qualora si escluda dal segato l’alburno si può far riferimento alle classi della UNI EN 350)
Classi di servizio	1, 2
Reazione al fuoco	D-s2, d0
Resistenza al fuoco	Charring rate come da EN 1995-1-2

Tabella 3.16 – Valori caratteristici per il perlinato incluso nell’ETA 18/0288 – Conifere.

3.3.10 LEGNO MASSICCIO CLASSIFICATO CON METODI A MACCHINA

In Italia la classificazione secondo la resistenza del legname strutturale è tradizionalmente effettuata con metodo a vista, cioè rilevando manualmente le caratteristiche del legno in grado di influenzare le proprietà meccaniche. Negli ultimi 5-6 anni, però, sono state svolte indagini per mettere a punto sistemi di classificazione a macchina per alcune specie legnose presenti nel nostro Paese, con l'obiettivo di introdurre anche in Italia questa metodologia, già ampiamente diffusa in molti paesi europei e extra-europei.

Innanzitutto giova ricordare che la stessa classificazione a macchina permette:

- Un numero più ampio di classi di resistenza a cui attribuire gli elementi oggetto di selezione;
- Rese di classificazione più alte;
- Maggiore ripetibilità del processo di classificazione

Inoltre, sempre a titolo di completezza, si indica che la stessa UNI EN 14081-1 (Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross-section – Part 1, General requirements”) comprende due metodologie di classificazione a macchina identificate come:

- Machine controlled system
- Output controlled system

Machine controlled system: la macchina di classificazione utilizza settings approvati dal TC124/WG2/TG1 (gruppo di lavoro in seno al Comitato Europeo di Normazione responsabile dei valori caratteristici attribuibili alle tipologie di legno) sulla base di prove distruttive condotte secondo la UNI EN 14081-2 (Strutture di legno - Legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza - Parte 2: Classificazione a macchina - Requisiti aggiuntivi per le prove iniziali di tipo); il produttore di legno strutturale in questo caso utilizza i settings forniti dal costruttore della macchina di classificazione e non è autorizzato ad apportare nessuna modifica ai settaggi predisposti dal costruttore medesimo.

Output controlled system: in questo caso il processo di classificazione secondo la resistenza è controllato in continuo attraverso prove distruttive: non ci sono infatti entro la presente casistica settings dedicati alla tipologia di legno oggetto di selezione.

Così come avviene per la classificazione secondo la resistenza con metodi a vista, anche per quelli a macchina il sistema di attribuzione alle classi di resistenza si basa sulle seguenti tre grandezze:

- Resistenza: è considerata la proprietà più importante nel processo di attribuzione di un segato ad una classe di resistenza; il quinto percentile della popolazione oggetto di caratterizzazione meccanica è identificato come valore caratteristico;
- Rigidezza: per il progettista è il parametro che generalmente è considerato più importante; i valori caratteristici sono considerati sia il quinto percentile che il valor medio;
- Densità o massa volumica: in alcuni casi, anche se ha influenza sul dimensionamento delle unioni, tale parametro in ambito tecnologico e normativo è considerato il meno importante, in quanto solo per alcune specie è direttamente correlabile con le proprietà di Resistenza e Rigidezza.

Di seguito si riportano esempi con cui possono essere presi in considerazioni i difetti del materiale; naturalmente più “macchine” vengono poste in serie nella linea di produzione e maggiore sarà l'accuratezza nell'attribuire un singolo segato ad una classe di resistenza:

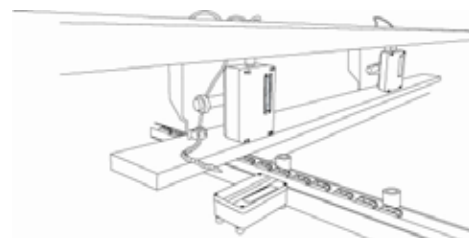


Figura 3.21 - Esempi di sezione resistente del tavolame con profilo maschio - femmina – Misura della densità attraverso la tecnologia dei raggi X (fonte: archivio storico Microtec).

Vi sono inoltre strumenti di tipo vibrazionale che misurano attraverso interferometri laser, il modulo elastico dinamico del pezzo di legno e ne determinano la relativa classe di resistenza (gli stessi possono essere disposti in combinazione con misuratori di densità come in Figura 3.22).

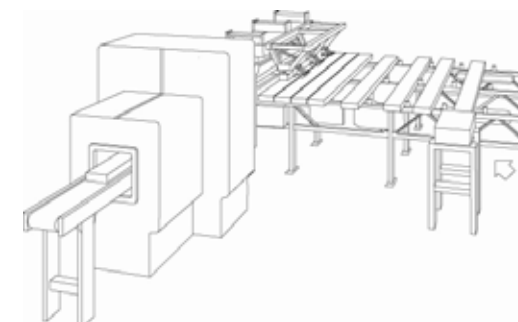


Figura 3.22 - Esempi di sezione resistente del tavolame con profilo maschio - femmina – strumento vibrazionale in combinazione con scanner (vedi strumento a sx dell'immagine - fonte: archivio storico Microtec).

In relazione ai controlli al termine della linea di classificazione (il cosiddetto “Visual Override”) possono essere utilizzati strumenti che si basano su tecnologie a raggi X, laser o “color scanning” (vedi Figura 3.23).

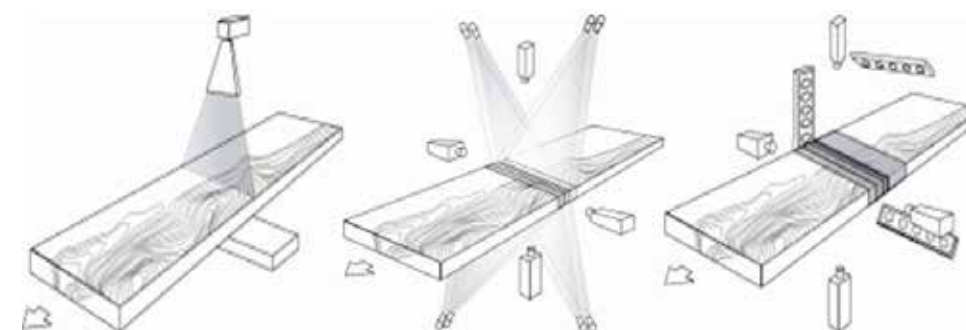


Figura 3.23 - Esempi di sezione resistente del tavolame con profilo maschio - femmina – Raggi X; Laser; “Color Scanning” (fonte: archivio storico Microtec).

Infine per quanto riguarda la misura delle deformazioni del segato possono essere utilizzati strumenti che, disposti lungo la linea di produzione, forniscono una misura attendibile del fenomeno. Infatti le deformazioni sono un parametro importante (legato all'essiccazione del materiale) direttamente correlabile alla presenza sul segato stesso di legno di reazione o di inclinazione della fibratura eccessiva.

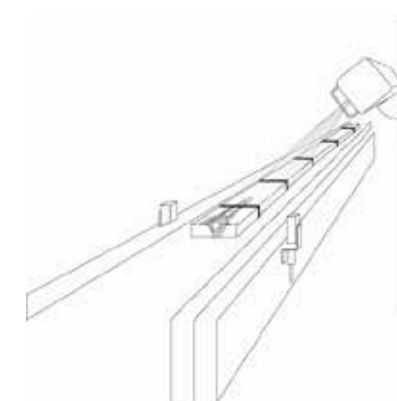


Figura 3.24 - Esempi di sezione resistente del tavolame con profilo maschio - femmina – Misura delle deformazioni del segato (fonte: archivio storico Microtec).

4

Diagnosi e strutture esistenti: principi

4.1 SCOPO DELL'ATTIVITÀ DI DIAGNOSI

La diagnosi può essere definita come un insieme di tecniche non distruttive, visive o strumentali, finalizzate ad individuare eventuali carenze conservative, costruttive o progettuali che rendono parzialmente o totalmente inefficiente o non sicura una struttura.

In Italia la conservazione delle strutture lignee è soprattutto indirizzata ai casi diffusi di coperture e solai inseriti in edifici storici in muratura. L'interesse è quindi rivolto alla diagnosi e al consolidamento di elementi strutturali semplici (travi) o più complessi (capriate) e alla interazione degli orizzontamenti lignei con le strutture murarie portanti, settori dove si sono sviluppate grande esperienza e professionalità.

Le strutture lignee, oltre ad assolvere a funzioni statiche, costituiscono superficie o supporto di opere pittoriche, di intaglio o, più in generale di decori dall'alto valore storico artistico.

E' frequente imbattersi in chiese o palazzi storici con strutture portanti completamente dipinte, spesso con decori ed elementi che inequivocabilmente legano la struttura ad un determinato periodo storico, ad una data famiglia o ad uno specifico evento. In questi casi ovviamente, l'obiettivo di un eventuale intervento di recupero non è solo quello del mantenimento della struttura, ma anche e soprattutto della conservazione degli elementi decorativi.



Figura 4.1 - Esempi di sezione resistente del tavolame con profilo maschio - femmina – Palazzo Steri (Palermo) - il soffitto illustra - tra stemmi aristocratici, rabeschi, allegorie di virtù - episodi del ciclo troiano e di Tristano e Isotta, degli Argonauti e della Bibbia: nelle superfici istoriate delle travi lignee tempestandole di unicorni e di soldati, di cavalli, giardini, navi e fontane.

Una prima e importante connotazione che appartiene al settore del legno strutturale, a differenza di quanto avviene in altri settori dove la struttura viene ad essere "campionata" in determinate aree di saggio (ad es. muratura), è che devono essere sottoposti a ispezione e diagnosi tutti gli elementi che compongono l'opera di ingegneria e per tutta la loro lunghezza, anche nelle parti nascoste.

Requisito quindi fondamentale per poter svolgere un'indagine diagnostica da parte del professionista quanto per l'impresa di costruzione, è l'accessibilità alla struttura.

4.2 ACCESSIBILITÀ DELLA STRUTTURA: UN PREREQUISITO INDISPENSABILE PER L'INDAGINE DIAGNOSTICA

Ancor prima della diagnosi è necessario lo studio del funzionamento strutturale, sia della struttura nel suo complesso che dei dettagli costruttivi. Tale fase riveste un ruolo importante al fine di comprendere quali possano essere i carichi in gioco e quali le sollecitazioni a cui sono soggetti gli elementi lignei. Diviene poi una priorità riuscire a raggiungere la struttura in modo che questa possa essere facilmente ispezionabile dal tecnico incaricato. L'orditura lignea deve essere quindi raggiungibile in ogni sua parte e le superfici (per quanto possibile) devono essere pulite e visibili, ovvero non devono essere presenti detriti di vario tipo e genere o rivestimenti che possono essere di ostacolo alla valutazione tecnologica degli elementi oggetto di attenzione.

Nel periodo rinascimentale le strutture erano sempre provviste di un efficiente sistema di percorsi e camminamenti d'ispezione posizionati in punti ben precisi, da cui era possibile percepire movimenti o danni verificatisi. Sono d'esempio i camminamenti collocati al centro delle capriate al di sopra delle catene che, in alcune chiese maggiori, divengono anche elemento decorativo. I movimenti reciproci che si percepiscono tra i diversi elementi al centro di una capriata, sono spesso il sintomo di cedimento degli appoggi in corrispondenza della muratura o dei giunti tra puntone e catena. Con l'avvento del Barocco si perde più o meno velocemente questa buona consuetudine.

È molto difficile trovare oggi strutture di nuova edificazione in cui questi percorsi siano stati previsti, ma la loro assenza rende generalmente difficoltose le operazioni di controllo.

4.3 RICONOSCIMENTO DELLA SPECIE LEGNOSA

Le varie specie legnose possono essere riconosciute sia a livello macroscopico che microscopico. In questo ultimo caso però sono necessarie competenze approfondite ed una strumentazione costosa. A tal proposito un utile riferimento normativo è la UNI 11118 ("Beni culturali - Manufatti lignei - Criteri per l'identificazione delle specie legnose").

Per il riconoscimento macroscopico, talvolta, è sufficiente verificare la presenza (assenza) di alcune caratteristiche visibili ad occhio nudo (o al massimo con l'ausilio una comune lente di ingrandimento), utilizzando apposite chiavi dicotomiche (figure 4.4 e 4.5) che riportano tali caratteristiche, ed in presenza di campioni di legno con idonee dimensioni (rappresentativo di tutte e tre le direzioni anatomiche: radiale, tangenziale e trasversale), è possibile arrivare a determinare la specie (genere) di appartenenza. Per quanto riguarda la procedura di riconoscimento, si accenna solo che questa avviene per lo più attraverso l'osservazione della sezione trasversale dell'elemento. Successivamente il primo passo da compiere è quello definire se siamo di fronte ad un legno di latifoglia o di conifera. Questa operazione è generalmente agevole poiché dalla sezione trasversale dei campioni di legno, le conifere presentano anelli di accrescimento molto più marcati e distinguibili tra loro rispetto alle latifoglie. Ciò è dovuto al fatto che nelle Conifere è particolarmente evidente la formazione di cellule a lume ampio e pareti sottili (legno primaverile) e cellule schiacciate radialmente con lume ridotto e pareti molto spesse (legno autunnale).



Figura 4.2 – Campione di legno di conifera dove è ben visibile la zona tardiva degli anelli di accrescimento (courtesy CNR IVALS).



Figura 4.3 – Campione di legno di latifoglia (courtesy CNR IVALS).

Una volta stabilito se siamo in presenza di una conifera o di una latifoglia è possibile seguire il percorso indicato nella "Chiave dicotomica per il riconoscimento macroscopico dei principali legnami indigeni impiegati in Italia" (vedi Figura 4.4 e Figura 4.5).

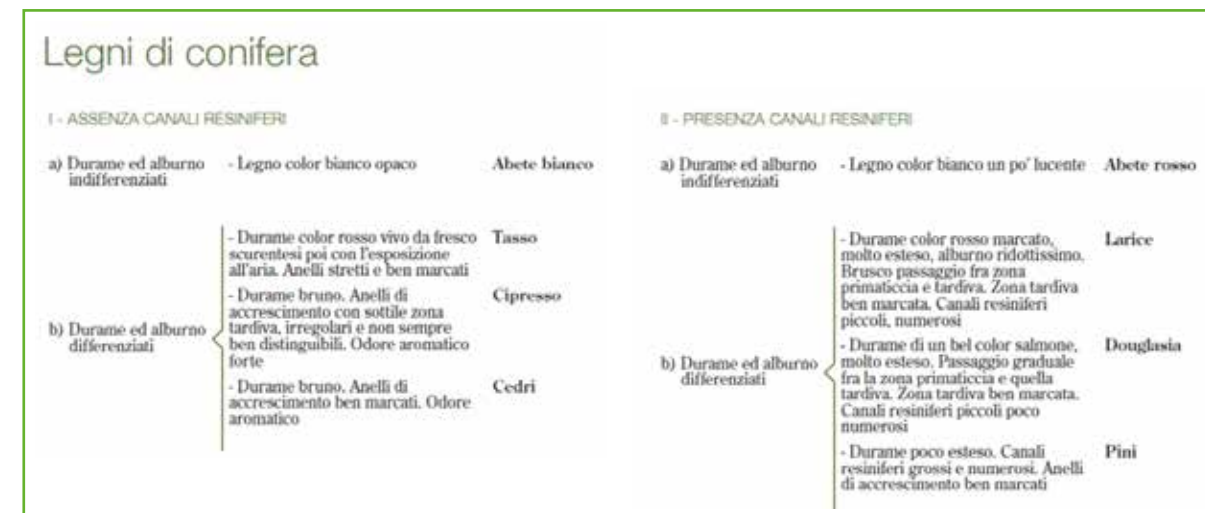


Figura 4.4 - Chiave dicotomica per legni di Conifera (courtesy CNR IVALS).

In relazione alle latifoglie si riportano le seguenti chiavi dicotomiche:



Figura 4.5 - Chiave dicotomica per legni di Latifoglia (courtesy CNR IVALS).

4.4 TIPOLOGIE STRUTTURALI

Al fine di definire i processi di valutazione nell'iter di diagnosi, è importante (come accennato precedentemente) per il professionista quanto per l'impresa incaricata ai lavori di ripristino, definire la tipologia strutturale di riferimento. Vista l'ampia trattazione che occorrerebbe per considerare in modo esaustivo l'argomento, di seguito si riportano solo indicazioni circa le principali tipologie di capriate presenti all'interno del nostro panorama edilizio. In senso generale possiamo affermare che le capriate sono chiamate a raccogliere i carichi della copertura e agenti sulla copertura e trasferirli alle murature.

In Figura 4.6 si riportano esempi di differente disposizione delle orditure secondarie sulle capriate, alla "Piemontese" e alla "Lombarda".

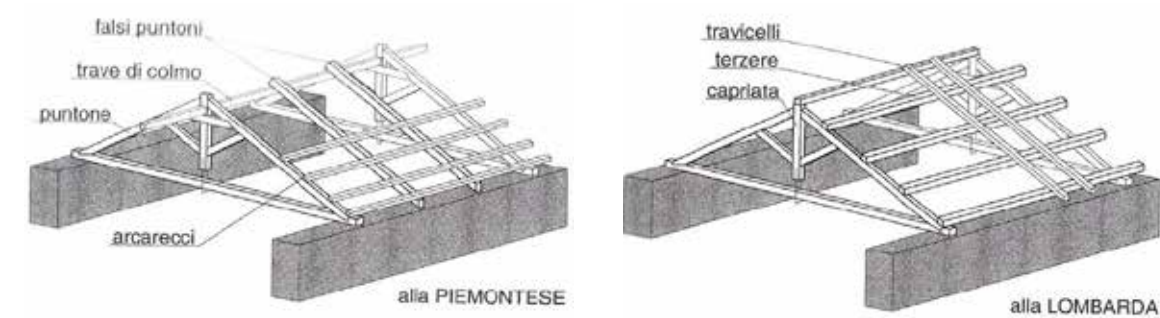


Figura 4.6 – Tipologie strutturali – esempi

Le capriate sono strutture non spingenti in quanto la spinta orizzontale alla estremità dei puntoni viene richiusa dalla catena. La distanza fra le capriate, fino a luci di 20 m, è generalmente di circa 3,00 /4,50 m. Nelle testate a padiglione le capriate possono costituire l'appoggio puntiforme per i cantonali (corrispondenti a linee di displuvio o di compluvio). Nei tetti a doppia falda che si sviluppano con cambi di direzione del colmo e dei muri laterali, le capriate possono essere poste in diagonale per fornire da una parte la struttura portante per la linea di displuvio, da quell'altra per la linea di compluvio.

Normalmente capriate costituite da puntoni, catena monaco e saette riescono a coprire generalmente luci da 7 a 10 m. E' opportuno sottolineare che, per ricercare una ulteriore specializzazione funzionale dei componenti, si usa spesso sostituire gli elementi tesi con elementi metallici più sottili in grado di assicurare resistenze maggiori con pesi inferiori; questo avviene con più frequenza per luci comprese fra i 10 e i 18 m. Il tipo di capriata mista più diffusa è quello alla "Polonceau" o alla francese (vedi Figura 4.7).

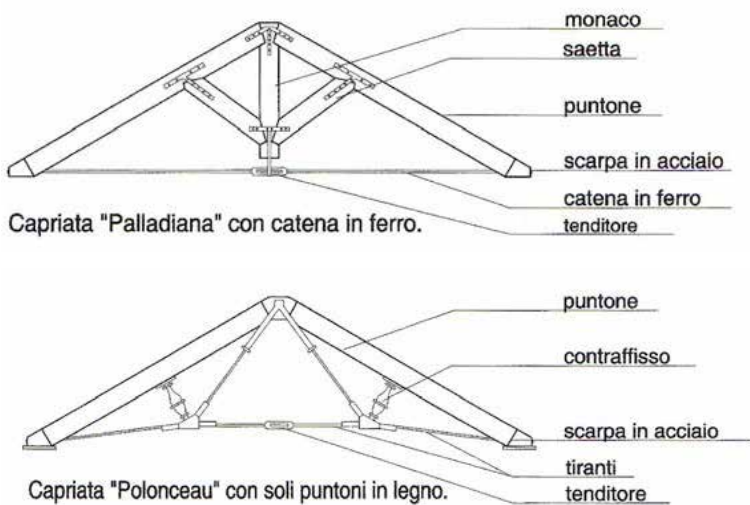


Figura 4.7 – Tipologie strutturali - capriate miste.

Infine per completezza di informazioni si riportano alcune tipologie di capriate in legno e luci ottimali di impiego (Figura 4.8):

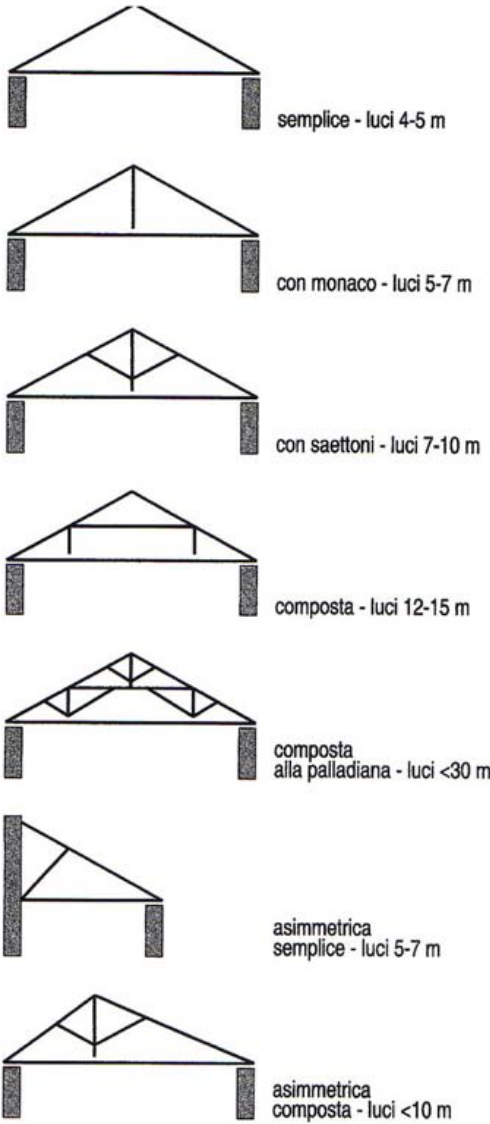


Figura 4.8 – Tipologie di capriate.

4.5 I METODI DI INDAGINE

Si premette che la garanzia di sicurezza non viene dal numero di prove o dallo strumento usato per le indagini, ma dalle competenze del professionista, capace di combinare le informazioni ottenute dall’ispezione visiva e dalle prove strumentali sugli elementi lignei, con tutti gli altri dati rilevati, elaborando infine una valutazione di sintesi, che è ciò che serve al progettista.

4.5.1 ISPEZIONE VISUALE

In particolare l’iter di diagnosi prevede una indagine visiva che ha la funzione di identificare la tipologia di legname, la sua difettosità originaria e la presenza di degradi meccanici e biotici direttamente osservabili a occhio nudo. Lo scopo principale dell’indagine visuale (vedi tab, 4.1 estratta dalla UNI 11119) rimane quello di giungere ad una classificazione secondo la resistenza dell’elemento, basata sulla difettosità originaria di ciascuna membratura, e di determinare le principali variazioni conseguenti alla vita della struttura: danni meccanici e degradi biotici che possono avere determinato limitazione della resistenza degli elementi.

CARATTERISTICA		CATEGORIA IN OPERA		
		I	II	III
Smussi		≤ 1/8	≤ 1/5	≤ 1/3
Lesioni varie, cretti da gelo, cipollature		Assenti	Assenti	Ammissibili se limitate
Nodi singoli		≤ 1/5; ≤ 50 mm	≤ 1/5; ≤ 70 mm	≤ 1/2
Gruppo di nodi		≤ 1/5	≤ 2/3	≤ 1/2
Inclinazione della fibratura (%)	Sezione radiale	7%	12%	20%
	Sezione tangenziale	10%	20%	33%
Fessurazioni radiali da ritiro		Ammissibili purché non passanti		

Tabella 4.1 -Regola di classificazione elementi in opera (UNI 11119).

Si ricorda che per l’assegnazione ad una categoria resistente è possibile comunque utilizzare la UNI 11035-2 (“Legno strutturale – Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica. Parte 2: regole di classificazione a vista secondo la resistenza meccanica e valori caratteristici per i tipi di legname strutturale”), purché:

- L’elemento in opera deve appartenere a uno dei tipi di legname previsti nella stessa UNI 11035-2;
- La visibilità e l’accessibilità dell’elemento deve essere estesa ad almeno tre facce e a una delle due testate.

²Nota: si evidenzia che la norma UNI 11119 al paragrafo 7.6 “modalità operative diverse” include la possibilità di utilizzare regole di classificazione diverse da quelle indicate sopra, purché soddisfino i seguenti requisiti e purché il professionista incaricato se ne assuma la responsabilità:
a) considerare almeno le seguenti caratteristiche che influiscono sulla resistenza o in generale sul comportamento strutturale in opera dell’elemento:
- nodi singoli; gruppi di nodi; smussi; inclinazione della fibratura; fessurazioni (da ritiro, cipollatura, da fulmine, da gelo, ecc.); lesioni varie;
b) essere applicabili alla specie legnosa dell’elemento da classificare;
c) esplicitare le modalità di misurazione delle varie caratteristiche;
d) essere corredate da tabelle di valori prestazionali associati a ciascuna categoria in cui gli elementi lignei vengono classificati.
Inoltre, le regole di classificazione applicabili agli elementi lignei in opera dovranno soddisfare anche i requisiti di seguito elencati, al fine di tenere conto delle particolari condizioni di ispezione:
e) prevedere e tenere in considerazione le limitazioni derivanti dalle condizioni di accessibilità e di visibilità delle superfici degli elementi. Se il numero delle facce dell’elemento visibili è minore di tre, tale circostanza deve essere esplicitamente riportata nel resoconto di ispezione;
f) prevedere la presenza di legno degradato e indicarne i metodi di misurazione; di norma:
- le zone degradate da funghi devono essere escluse per intero dalla sezione efficace; per attacchi di insetti omogeneamente diffusi nell’intera sezione critica, si potrà adottare la sezione stessa per intero ai fini della sola classificazione, attribuendole però ai fini dell’analisi strutturale valori delle proprietà fisico-meccaniche ridotti proporzionalmente all’area occupata dalle gallerie; la necessità di questa riduzione dovrà essere esplicitamente segnalata nel resoconto di ispezione, che indicherà la percentuale di riduzione da applicare; per attacchi di insetti localizzati, le zone degradate dovranno essere escluse per intero dalla sezione efficace;
g) classificare separatamente ciascuna delle zone critiche identificate.

4.5.2 INDAGINI STRUMENTALI

Lo strumento di indagine più semplice è il martello la cui risposta sonora derivante dalla percussione dell’elemento, permette di individuare eventuali anomalie (carie, cavità, cipollature, ecc.). In certi casi la percussione con martello può risultare esaustiva, in particolare per elementi di piccola sezione e completamente a vista. Generalmente le indagini strumentali vengono eseguite per indagare lo stato di conservazione delle porzioni non direttamente accessibili (ed in particolare in corrispondenza dell’appoggio degli elementi nella muratura), è possibile definire eventuali porzioni o elementi degradati. Nell’ambito della diagnosi delle strutture lignee di grandi dimensioni le tecniche strumentali impiegate ad oggi riguardano generalmente il rilevamento di zone ad alta concentrazione di umidità e/o interessate da carie (degrado da funghi) e/o attacco da insetti, nonché la misura dell’estensione di tali zone.

4.5.2.1 Rilevamento Umidità

La carie del legno è un processo di degradazione di cui sono responsabili alcuni fughi Basidiomiceti (carie bianca e carie bruna) o Ascomiceti e Deuteromiceti (carie soffice) che attaccano la parete cellulare demolendo la cellulosa e/o la lignina mediante l’azione di enzimi. L’azione di tali funghi può avvenire solamente ad umidità superiore al 20%, condizione che in una struttura ben progettata non deve verificarsi, se non in maniera temporanea.

Diviene allora molto importante determinare il contenuto di umidità, indice di un fenomeno degenerativo in atto. E’ chiaro però che, se al momento dell’indagine viene rilevata umidità inferiore al 20%, questo non significa che il legno non sia stato attaccato da funghi, è possibile infatti che in passato ci siano state condizioni di umidità elevate che abbiano favorito l’attacco da funghi e al momento sono cessate. In linea di principio inoltre l’umidità all’interno del legno si muove dalle zone più umide a quelle meno umide, con una conseguente formazione di gradienti interni longitudinali o trasversali. Questo movimento segue leggi fisiche diverse riferibili di volta in volta alla permeabilità, all’adsorbimento, alla diffusione, alla capillarità e all’osmosi.

Lo studio del contenuto di umidità e dei gradienti è di fondamentale importanza nel campo strutturale per la comprensione di alcune problematiche legate non solamente all’apertura di alcune fessurazioni, ma anche all’evoluzione ed all’origine di alcuni processi degenerativi del legno. In particolare, la presenza di una più alta umidità interna rispetto all’esterna potrebbe essere legata ad una importante infiltrazione di acqua dalle teste o, per gravità, da fessurazioni estradossali, o da infiltrazioni e condensazione in corrispondenza di elementi metallici, con la conseguente formazione di condizioni favorevoli allo sviluppo di carie invisibili dall’esterno. Al contrario, un più alto valore di umidità superficiale potrebbe essere determinato da fenomeni temporanei di condensazione superficiale e comunque di più semplice risoluzione.



Figura 4.9 – Elemento cariato in prossimità dell’appoggio murario – Esempio.

4.5.2.2 Degrado di tipo biologico: rilevamento e misura

La tecnica attualmente più utilizzata è la “resistografica”, che consente l’impiego di uno strumento trasportabile – trapano dinamometrico - che, con qualche accorgimento, può essere utilizzato anche in condizioni disagiati di lavoro. L’apparecchio è assimilabile ad un trapano strumentato in grado di rilevare la resistenza che il materiale legno oppone alla foratura con una punta che avanza e ruota; le dimensioni esigue della punta (da 1,5 mm a 3 mm di diametro) non provocano danni strutturali ed estetici all’elemento. Il grafico, denominato generalmente “profilo”, riporta sull’asse delle ordinate la resistenza del legno alla penetrazione, espressa mediante un’unità di misura arbitraria, e sulle ascisse la profondità di penetrazione in scala reale, carattere quest’ultimo che ci consente di localizzare e rilevare in termini dimensionali un eventuale danno, cavità o difetto riscontrato all’interno dell’elemento. Il trapano dinamometrico è uno strumento nato per la diagnosi su piante in piedi, ma le risposte su segati risultano ugualmente valide e, addirittura più facilmente interpretabili. La tecnica resistografica consente al diagnosta di indagare elementi strutturali lignei, non solamente in luce, ma anche in corrispondenza degli appoggi o, più in generale, nelle parti non visibili dell’elemento. Sono da considerarsi inadeguati invece i carotaggi e le forature di tipo ordinario allo scopo di eseguire in seguito prove con frattometro (apparecchio che esegue prove di flessione su carote di piccole dimensioni): oltre a fornire risposte discutibili, risultano maggiormente difficoltose e distruttive.

Altra indagine di dubbia valenza è quella che fa utilizzo di uno strumento chiamato anche “sclerometro da legno” che utilizza un punzone che viene “sparato” contro la superficie con una energia costante, la profondità di penetrazione dovrebbe essere correlata con le proprietà meccaniche; ovviamente si ottiene una stima delle proprietà della sola superficie del legno ma non si ottiene alcuna informazione circa le proprietà meccaniche e il degrado in profondità e nelle zone nascoste.

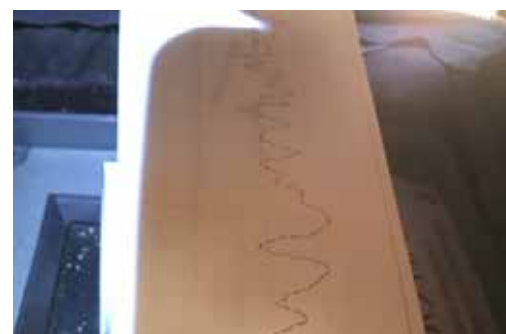


Figura 4.10 – Profilo resistografico – esempio.

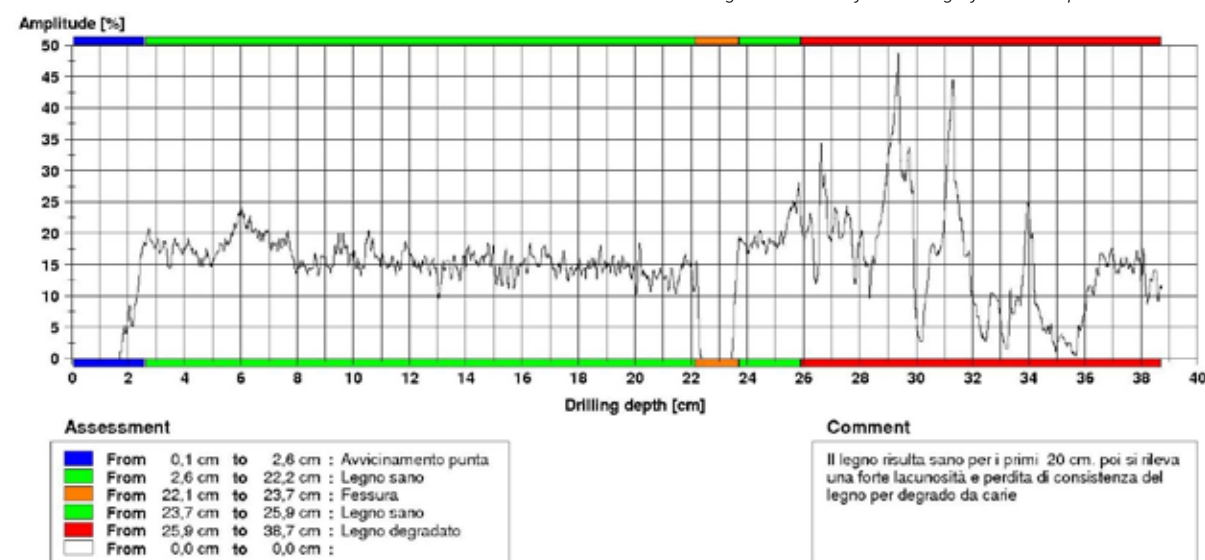


Figura 4.11 - Il risultato di una prova con trapano dinamometrico, denominato profilo, consiste in un grafico che rappresenta la consistenza del legno all’interno di una sezione.

Tutte le anomalie rilevate che portano a sostanziali variazioni della resistenza e della rigidità dell’elemento, andranno a costituire la sezione critica rappresentativa dell’elemento stesso o di una sua porzione. La sezione efficace, ottenuta decurtando dalla sezione nominale dell’elemento la sezione critica, sarà quella utilizzabile per le verifiche statiche.

4.5.3 DEGRADO DI TIPO MECCANICO: RILIEVO

Per quanto riguarda il degrado meccanico, vengono rilevati eventuali dissesti del sistema strutturale e delle sue unità strutturali (avvallamenti, perdite di complanarità e verticalità, ecc.); su ciascun elemento si rilevano poi, tutte quelle manifestazioni (rottture, lesioni, deformazioni, scorrimenti, rotazioni, ecc.) dovute principalmente all’azione dei carichi.

Rientrano entro tale tipologia anche i relativi controlli sulle connessioni e sulle unioni di carpenteria realizzati al fine di verificarne in loco il relativo stato di conservazione. Altro tipo di degrado di tipo meccanico sono le eccessive inflessioni che possono derivare sia da sovraccarico che da cicli di importanti variazioni di umidità. Il degrado di tipo meccanico solitamente può presentare difficoltà nel riconoscimento e computazione della sua estensione ed è strettamente legato all’esperienza maturata dal tecnico incaricato.



Figura 4.12 – degrado di tipo meccanico – sfilamento della saetta spesso conseguenza del dissesto del dente di connessione tra puntone e catena.

4.6 MANUTENZIONE DEL PATRIMONIO STORICO – CENNI

Al fine di garantire il corretto esercizio di un’opera di ingegneria in legno, con particolare riferimento alle coperture, in sintesi è necessario garantire almeno i seguenti aspetti:

1. Dimensionamento: i tassi di carico a cui va fatto lavorare il legno devono essere in linea con quanto disposto dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, al fine di non “stressare” il legno e creare i presupposti per un degrado di tipo meccanico;
2. Aereazione e rapporti legno - acqua: per quanto concerne le opere in legno è sempre bene partire dalla consapevolezza che tale materiale è di origine biologica e che lo stesso può essere aggredito da agenti di degrado con particolare riferimento ai funghi della carie. Quindi è indispensabile procedere a prevedere tutte le misure, sia sugli appoggi murari che nel manto di copertura, necessarie ad allontanare l’acqua dal legno. La ventilazione è senza dubbio uno strumento di tutela e di valorizzazione della durabilità delle strutture lignee.
3. Monitoraggio e manutenzione periodica della struttura: a prescindere dal materiale con cui è realizzata una determinata opera di ingegneria è indispensabile prevedere semplici e periodiche ispezioni visive dell’orditura. Molto spesso infatti tali semplici controlli evitano costi di intervento onerosi e consentono alla struttura di essere efficiente per la vita nominale prevista.

4.7 ELEMENTI POSTI IN OPERA E QUALIFICAZIONE NAZIONALE

La Prima Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, con parere n. 3/2012 si è espressa sulle modalità con cui definire una conformità degli elementi di recupero in legno alle prescrizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni. In questo frangente:

- Qualora, gli elementi di recupero siano oggetto di lavorazioni in stabilimento, questo deve intraprendere un iter di qualificazione secondo il p.to B del cap. 11.1 procedendo quindi a formare un Direttore Tecnico interno all’azienda e depositando domanda di qualificazione secondo quanto indicato nel par. 11.7.10.
- Qualora al contrario gli elementi siano oggetto di una attività diagnostica e le eventuali lavorazioni siano condotte in situ, gli stessi elementi non sono oggetto di qualificazione secondo il p.to B del cap.11.1; entro tale ambito si considera quindi la stessa attività di diagnosi (svolta dal professionista) come procedura al fine di affidare i valori caratteristici alla medesima travatura.

5

Normativa italiana e comunitaria

5.1 INTRODUZIONE

È bene sottolineare ancora una volta che la pubblicazione in Gazzetta Ufficiale dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17/01/2018 (di seguito indicate come "NTC 2018") e relativa Circolare Esplicativa n.7 del 21/01/2019 (di seguito indicata come "Circolare 2019") ha comportato rinnovati e diversi impegni per tutti i soggetti che intervengono nel processo produttivo edile: progettisti, direttori dei lavori, collaudatori, produttori, centri di lavorazione e costruttori.

A tal proposito il Cap. 11 (Materiali e prodotti ad uso strutturale – Generalità) del DM 17.01.18, definisce le procedure per una corretta identificazione, definizione della conformità ed accettazione dei materiali e prodotti ad uso strutturale al fine di garantire la tracciabilità lungo tutta la filiera.

L'evidenza della certificazione o qualificazione del prodotto viene data fornendo alla direzione lavori adeguata documentazione accompagnatoria (§ 11.7.10.1.2 – DM 17.01.18 "Forniture e documentazione di accompagnamento"). La stessa documentazione accompagnatoria viene fornita sia dal Produttore sia dal Centro di Lavorazione.

In ambito comunitario si ricorda che la pubblicazione del Regolamento UE n. 305/2011 (CPR) di aggiornamento alla Direttiva Prodotti da Costruzione n.89/106/CEE ha integrato i principi relativi alla marcatura CE.

Solo a titolo di completezza si ricordano le maggiori novità introdotte, quali:

- il settimo requisito base delle risorse naturali ("uso sostenibile delle risorse naturali"),
- la dichiarazione di prestazione,
- la revisione dei sistemi di attestazione della conformità,
- la rivisitazione del ruolo degli enti/laboratori notificati.

Quindi con il 1° Luglio 2013, il Regolamento Prodotti da Costruzione è divenuto per i soggetti della filiera l'unico riferimento al fine di affidare la conformità ai prodotti a base legno secondo l'iter di marcatura CE.

Di seguito, si cercherà – in relazione ai principali paragrafi di interesse per il settore legno e alle principali novità introdotte – di fornire una lettura congiunta tra quanto indicato nelle NTC 2018 e quanto definito all'interno della medesima Circolare Esplicativa richiamata sopra. Il taglio (volutamente schematico) vuole facilitare sia il tecnico nell'applicazione dei principali adempimenti di legge che l'industria di settore in un dialogo più stretto con gli altri attori della filiera, compresi quindi gli uffici territoriali deputati al rilascio delle autorizzazioni necessarie alla cantierizzazione dell'opera.

5.2 PARAGRAFO 4.4 "COSTRUZIONI IN LEGNO" PROGETTAZIONE E COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Il paragrafo in questione definisce i criteri di calcolo statico delle strutture realizzate con elementi di legno strutturale o con prodotti a base di legno (oggetto di qualificazione, certificazione e denuncia di attività così come meglio indicato all'interno del par. 11.7 descritto di seguito).

Di seguito - rimandando a letture successive del nuovo corpo normativo – si riportano esclusivamente le maggiori novità introdotte dalle NTC 2018.

5.2.1 RESISTENZA DI PROGETTO

Il paragrafo 4.4 delle NTC 2018, rispetto alla precedente versione delle Norme, è caratterizzato sicuramente da una maggior armonizzazione ai codici di calcolo Europei in termini di coefficienti parziali di sicurezza. Entro tale aspetto giova sottolineare che le rinnovate NTC 2018, prevedono per la prima volta, la possibilità di applicare differenti coefficienti parziali di sicurezza (γ_M) in funzione del Coefficiente di Variazione della resistenza dei materiali a base legno. Infatti, il paragrafo 4.4.6 "Resistenza di Progetto" indica quanto segue: *"Il coefficiente γ_M è valutato secondo la colonna A della tabella 4.4.III. Si possono assumere i valori riportati nella colonna B della stessa tabella, per produzioni continuative di elementi o strutture, (...) dal quale risulti un coefficiente di variazione (rapporto tra scarto quadratico medio e valor medio) della resistenza non superiore al 15%. Le suddette produzioni devono essere inserite in un sistema di qualità di cui al § 11.7."*

Stati limite ultimo	Colonna A (γM)	Colonna B (γM)
Combinazioni fondamentali		
Legno massiccio	1,50	1,45
Legno lamellare incollato	1,45	1,35
Pannelli di tavole incollate a strati incrociati	1,45	1,35
Pannelli di particelle o fibre	1,50	1,40
LVL, compensato, pannelli di scaglie orientate	1,40	1,30
Unioni	1,50	1,40
Combinazioni eccezionali	1,00	

Tabella 5.1 - Coefficienti parziali di sicurezza: da tabella 4.4.III (semplificata).

Sempre in relazione all’argomento, si precisa che i modelli probabilistici, riconosciuti a livello internazionale per il calcolo dei rispettivi Coefficienti di Variazione (CoV), sono quelli forniti dalla JCSS (Joint Committee on Structural Safety – <http://www.jcss.byg.dtu.dk/>).

La stessa JCSS assume - per gli assortimenti “incollati” oggetto di controllo continuo (oggi disciplinati dalle specifiche tecniche armonizzate richiamate dal par. 11.7, quali ad es. UNI EN 14080 per legno lamellare incollato o EAD 130005-00-0304 per elementi X-lam) i seguenti Coefficienti di Variazione (CoV) :

- $CoV \leq 15\%$ per la Resistenza a flessione (Rm);
- $CoV \leq 13\%$ per quanto riguarda il Modulo di elasticità a flessione (Em)

Allo stesso modo, la nuova Circolare Esplicativa– riprendendo indirettamente quanto indicato dalla JCSS - riporta al par. C4.4.6 la seguente dicitura: *“Nella Tabella 4.4.III delle NTC sono forniti i valori del coefficiente parziale di sicurezza relativo al materiale. I valori appartenenti alla colonna “A” possono essere sempre adottati; i valori riportati in colonna “B” possono essere sempre adottati purché i materiali utilizzati siano prodotti secondo un sistema di qualità e quindi certificati secondo la lettera A) o C) (ETA) di cui al par. 11.1”*

Quindi nel caso di elementi incollati (quali ad es. legno lamellare e X-lam), oggetto di marcatura CE secondo le rispettive specifiche tecniche applicabili da cui risulti un controllo continuativo della produzione, questi possono essere attribuiti alla colonna B della tab. 4.4.III attraverso la seguente documentazione accompagnatoria (come altresì definito nel par. 11.7.10.1.2 “Forniture e documentazione di accompagnamento”) senza la necessità di ulteriori documentazione a corredo della fornitura:

- una copia della documentazione di marcatura CE, secondo il sistema di valutazione e verifica della costanza della prestazione applicabile al prodotto in questione;
- la Dichiarazione di Prestazione di cui al Regolamento (UE) n.305/2011

Infine, si riporta una ulteriore nota di chiarimento in merito alla dicitura introdotta al par. C11.7.10 (“Fabbricanti e Centri di Lavorazione”) che aggiunge quanto segue:

“Il fabbricante deve assicurare un sistema di controllo della produzione in fabbrica, tale da poter attribuire al prodotto i coefficienti parziali di sicurezza di cui al par. 4.4.6 delle NTC. Qualora il fabbricante intendesse attribuire il tipo di legname alla colonna “B” della tabella 4.4.III delle NTC, nella documentazione di accompagnamento delle forniture deve essere fatto esplicito riferimento ai coefficienti di variazione calcolati in fase di caratterizzazione fisico-meccanica dei prodotti”

Si ricorda che il termine “tipo di legname” si riferisce ad elementi in legno massiccio e ha una sua precisa collocazione normativa definita all’interno della UNI 11035-1 “Legno Strutturale – Classificazione

a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica” (norma richiamata dalle medesime NTC). Per facilità di lettura si riporta tale definizione di:

- § 3.18 (UNI 11035-1): Tipo di legname: materiale al quale si applicano i valori caratteristici. Il tipo di legname viene definito da parametri quali specie, provenienza e categoria. Ogni tipo di legname comprende assortimenti di varia sezione e lunghezza, i quali devono contribuire tutti insieme alla determinazione dei valori caratteristici.

Quindi solo in relazione ad elementi in legno massiccio, qualora il produttore sia interessato ad attribuire i coefficienti della colonna B, dovrà – all’interno della documentazione accompagnatoria – fare riferimento ai coefficienti di variazione calcolati in fase di caratterizzazione fisico – meccanica dei prodotti (vedi procedure di derivazione dei valori caratteristici indicati nella UNI EN 384 “Legno strutturale - Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica”) elaborando una specifica dichiarazione dedicata.

L’approfondimento documentale specificato al par. C11.7.10 della Circolare Esplicativa troverebbe giustificazione nei Coefficienti di Variazione proposti per il legno massiccio dai modelli probabilistici definiti dalla Joint Committee on Structural Safety che proprio per tale assortimento in riferimento alle conifere di provenienza europea prevedono:

- $CoV \leq 25\%$ per la Resistenza a flessione (Rm);
- $CoV \leq 13\%$ per quanto riguarda il Modulo di elasticità a flessione (Em)

Tali coefficienti infatti non consentirebbero di fatto una attribuzione diretta con i valori di γM disposti nella colonna B, comportando contestualmente un approfondimento delle caratteristiche fisiche-meccaniche del tipo di legname oggetto di attività di testing.

Infine, per quanto riguarda i valori di kmod, questi sono forniti nella Tab. 4.4.IV delle NTC 2018: anche sotto questo aspetto, tale tabella risulta essere modificata favorevolmente rispetto a quella contenuta nelle NTC 2008 per le condizioni di carico istantanee. Infatti nell’ultima colonna, quella appunto relativa alla classe di carico istantanea, i valori sono stati incrementati del 10%, armonizzando così tale parametro con quanto previsto in sede di codice di calcolo europeo (EC5 – UNI EN 1995).

³In relazione agli elementi quali LVL, pannelli OSB, di particelle o di fibre e pannelli compensato, esiste numerosa letteratura scientifica che dimostra che, per tali elementi, i Coefficienti di Variazioni (resistenza a flessione perpendicolare alla fibratura o a trazione parallela alla fibratura) sono inferiori al 15%.
In termini generici è comunque possibile affermare che più piccoli risultano essere gli elementi unitari in legno che costituiscono – tramite incollaggio – l’assortimento finito, minori sono i relativi coefficienti di variazione sulla resistenza considerata. Alla luce di quanto indicato in nota, quindi, anche per gli assortimenti in LVL, OSB, panelli di particelle, fibre e compensato viene ad applicarsi la colonna B del par. 4.4.6.

5.2.2 CARICO DA NEVE E CLASSI DI SERVIZIO

Le norme NTC 2008 non fornivano un'indicazione della classe di durata del carico neve in funzione dell'altitudine, lasciando al progettista la scelta in funzione delle caratteristiche del sito. A tal proposito anche l'Eurocodice 5 non fornisce indicazioni: dal momento che i carichi climatici quali la neve variano nei diversi Paesi, l'assegnazione delle classi di durata del carico deve essere specificata nell'appendice nazionale.

Le NTC 2018, al punto 4.4.4, forniscono invece la seguente indicazione: “il sovraccarico da neve riferito al suolo q_{sk} , calcolato in uno specifico sito ad una certa altitudine, è da attribuire ad una classe di durata del carico da considerarsi in funzione delle caratteristiche del sito per altitudini di riferimento inferiori a 1000 m, mentre è da considerarsi almeno di media durata per altitudini superiori o uguali a 1000 m”. Ne consegue quindi che a quote inferiori a 1000 m il sovraccarico da neve può essere considerato, a meno che le caratteristiche del sito non suggeriscano considerazioni diverse, di breve durata. A quote superiori a 1000 m invece il sovraccarico da neve deve necessariamente essere considerato almeno di media durata.

Inoltre, le nuove norme dispongono chiarimenti anche sull'attribuzione della classe di servizio a particolari strutture, quali ad es. i palaghiacci. Per capirne i motivi è necessario precisare alcuni aspetti così come di seguito riportato.

La definizione delle classi di servizio è fornita al punto 4.4.5 delle NTC 2018 ed integrata dal paragrafo C4.4.5 della Circolare 2019, dove è indicato che la:

- Classe di servizio 1 “è caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno”; elementi in ambiente chiuso e riscaldato.
- Classe di servizio 2 “è caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno”; elementi in ambiente interno non riscaldato, elementi in ambiente esterno protetti dall'esposizione diretta degli agenti atmosferici.
- Classe di servizio 3 “è caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2”; elementi in ambiente esterno esposti direttamente agli agenti atmosferici.

L'individuazione rigorosa delle classi di servizio dipende quindi dalle condizioni termo igrometriche dell'ambiente circostante: la coppia di valori temperatura/umidità relativa dell'ambiente è infatti strettamente legata all'umidità che sarà presente all'interno del materiale stesso. Un elemento di legno posto in un ambiente a temperatura e umidità relativa costanti raggiunge, dopo un determinato lasso di tempo, un certo valore di umidità di equilibrio. L'andamento della relazione tra umidità del legno e parametri climatici è mostrato nelle curve riportate in Figura 5.1.

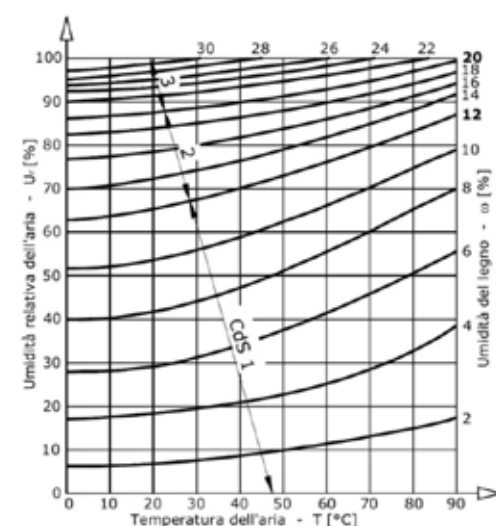


Figura 5.1 - Curve di equilibrio igroscopico per la definizione della classe di servizio (tratta da CNR-DT 206 R1/2018).

Come si nota dalla Figura 5.1 e come riportato al punto 2.3.1.3 dell'Eurocodice 5 (EN 1995-1-1, 2014) tali condizioni corrispondono ad un contenuto di umidità medio nella maggior parte del legno di conifera non maggiore del 12% per la classe di servizio 1 e non maggiore del 20% per la classe di servizio 2.

Tipicamente:

- Classe di servizio 1: possono appartenere a tale classe gli elementi lignei protetti contro le intemperie come quelli posti all'interno degli edifici in ambienti climatizzati. Qualora, per alcune settimane durante l'anno, gli elementi siano sottoposti a condizioni ambientali peggiori, l'umidità nel legno tende a non variare in modo significativo a causa dei tempi necessari per instaurare tale modifica.
- Classe di servizio 2: possono appartenere a tale classe gli elementi lignei posti all'esterno degli edifici ma protetti, almeno parzialmente, dalle intemperie e dall'irraggiamento solare diretto. Si deve notare che, per come sono definite le classi di servizio, in alcuni casi gli elementi costruttivi della stessa opera possono appartenere a classi di servizio diverse: è ad esempio il caso di una trave di copertura che esce in gronda (la parte interna all'edificio si trova in classe di servizio 1, la parte esterna si trova in classe di servizio 2).
- Classe di servizio 3: possono appartenere a tale classe gli elementi lignei posti all'esterno degli edifici direttamente esposti alle intemperie senza protezione. Questo significa che gli elementi costruttivi si devono assegnare alla classe di servizio 3, se le condizioni per un'assegnazione alle classi di servizio 1 e 2 non possono essere garantite.

L'attribuzione alla classe di servizio 3 può interessare tuttavia anche elementi costruttivi posti in ambienti interni che eccedono frequentemente le condizioni per l'attribuzione alla classe di servizio 2. I palaghiaccio, ambienti caratterizzati da un alto grado di umidità, a causa delle basse temperature, presentano umidità di equilibrio del legno maggiori a parità di umidità relativa dell'aria e la possibilità di condensazione del vapore d'acqua sugli elementi freddi; devono quindi essere attribuiti alla classe di servizio 3.

5.3 PARAGRAFO 7.7 – COSTRUZIONI IN LEGNO & PROGETTAZIONE IN ZONA SISMICA

In termini generali si precisa che il presente capitolo disciplina la progettazione delle nuove opere soggette anche all'azione sismica. Le sue indicazioni sono, naturalmente, da considerarsi aggiuntive e non sostitutive di quelle riportate nel Capitolo 4.4 precedentemente esaminato.

Di seguito sono riportati alcune note in relazione ai punti di maggiore interesse.

5.3.1 ASPETTI CONCETTUALI DELLA COSTRUZIONE IN LEGNO

Il sotto-paragrafo riprende quanto già stabilito al § 7.2.2. (“Criteri generali di progettazione dei sistemi strutturali”) sui sistemi strutturali in generale rimarcando che, in presenza di azioni sismiche, anche gli edifici di legno verranno progettati ipotizzando per le strutture un comportamento di tipo dissipativo oppure non dissipativo.

- Strutture non dissipative: le strutture dovranno essere verificate in campo elastico (fattore di comportamento, q_0 non superiore a 1,5 o comunque considerando un fattore di comportamento q_{ND} , ridotto rispetto al valore minimo della CD “B” – “Classe di duttilità bassa”);
- Strutture dissipative: in questo caso si terrà conto della possibilità della struttura di dissipare energia in alcune zone duttili (tipicamente le unioni) considerando nel calcolo, in maniera esplicita od implicita, le non linearità di tali zone. Nel primo caso (esplicito) si adotteranno effettivamente adeguate leggi costitutive non elastiche (analisi non lineare), nel secondo caso (implicito) si terrà invece conto della duttilità in maniera semplificata e convenzionale riducendo lo spettro elastico attraverso il fattore di comportamento (q_0) e continuando ad utilizzare per i materiali leggi costitutive elastiche (analisi lineare se si trascurano le non linearità geometriche).

Le NTC 2018 precisano altresì che non tutti i collegamenti prescelti e/o gli elementi strutturali devono avere un comportamento duttile. Infatti per garantire il comportamento dissipativo ipotizzato occorrerà identificare per la struttura un meccanismo di collasso duttile globale e localizzare le zone dissipative in alcune delle connessioni mentre tutte le membrature e le restanti connessioni dovranno rimanere in

campo elastico. All'interno del medesimo paragrafo troviamo la seguente dicitura che introduce il concetto di sovraresistenza per le zone non dissipative:

“Ai fini dell'applicazione dei criteri della progettazione in capacità, per assicurare la plasticizzazione delle zone dissipative (...), queste devono possedere una capacità almeno pari alla domanda mentre le componenti non dissipative (...) adiacenti, debbono possedere una capacità pari alla capacità della zona dissipativa amplificata del fattore di sovraresistenza γ_{Rd} , di cui alla Tab. 7.2.1”.

In termini pratici questo significa che gli elementi di legno (elementi non dissipativi) devono avere una resistenza superiore alle unioni progettate come dissipative; pertanto se ad per una unione dissipativa sono previsti un certo numero di chiodi, non devono essere utilizzati più chiodi altrimenti si rischia di falsare il rapporto di sovraresistenza diminuendo di fatto la duttilità globale della struttura.



Figura 5.2 - Hold-down sovrachiodato; essendo la resistenza della chiodatura superiore alla resistenza della piastra metallica, la rottura avviene in maniera fragile su quest'ultima.

Figura 5.3 - In questo caso la chiodatura, meno resistente della piastra metallica, ha avuto una rottura duttile con piegamento dei chiodi e rifollamento del legno.

In relazione ai fattori di sovraresistenza, la norma definisce anche tale aspetto riportando all'interno della Tabella 5.2 (Tab. 7.2.1 della norma) tali coefficienti γ_{Rd} :

Tipologia strutturale	Elementi strutturali	Progettazione in capacità	γ_{Rd}	
Legno		Collegamenti	CD "A"	CD "B"
			1,60	1,30

Tabella 5.2 – Fattori di sovra-resistenza (γ_{Rd}).

Nota - CD "A": classe di duttilità "alta"; CD "B": classe di duttilità "bassa".

Il testo delle NTC 2018, fornisce comunque la possibilità di utilizzare valori inferiori a quelli indicati all'interno della tabella sopra riportata, ma precisa quanto di seguito:

“(...) valori inferiori del fattore di sovraresistenza ed in ogni caso maggiori o uguali a 1,3 per CD "A" e a 1,1 per CD "B" devono essere giustificati sulla base di idonee evidenze teorico-sperimentali”.

5.3.2 MATERIALI, PROPRIETÀ DISSIPATIVE E FATTORI DI COMPORTAMENTO

Le indicazioni del presente paragrafo si applicano qualora si ipotizzino in sede di progetto strutture di tipo dissipativo e forniscono le opportune regole per una progettazione in capacità. Rispetto alla versione precedente, la norma precisa le caratteristiche dei pannelli strutturali da utilizzarsi nelle pareti di taglio e nei diaframmi orizzontali, evitando possibili fraintendimenti circa la massa volumica richiesta e la relativa tipologia di assortimento. A tal proposito – per facilità di lettura - si riporta estratto della norma contenente le disposizioni a) b) e c):

“Per l'utilizzo nelle pareti di taglio e nei diaframmi orizzontali, i pannelli strutturali di rivestimento

devono rispettare le seguenti condizioni:

- a) i pannelli di particelle (UNI EN 312) devono avere una spessore non inferiore a 13 mm e massa volumica caratteristica in accordo a UNI EN 12369-1;
- b) i pannelli di compensato (UNI EN 636) devono avere spessore non inferiore a 9 mm;
- c) i pannelli di OSB (UNI EN 300) devono avere spessore non inferiore ai 12 mm se disposti a coppia, non inferiore a 15 mm se disposti singolarmente”.

Sempre a titolo di completezza si precisa che all'interno delle vecchie NTC 2008, la versione era la seguente:

“a) i pannelli di particelle hanno una massa volumica non inferiore a 650 kg/m³ e spessore non inferiore a 13 mm;

b) i pannelli di compensato presentano spessore non inferiore a 9 mm.”

Da sottolineare che la precedente dicitura riportata nelle NTC2008 induceva molte volte confusione tra gli operatori di settore, produttori, professionisti e uffici territoriali competenti al rilascio dell'autorizzazione sismica. Tale poca chiarezza normativa indirettamente portava a ritardi tecnico amministrativi e relativo ritardo di cantierizzazione dell'opera. Inoltre si riportano di seguito alcune brevi considerazioni in merito ai fattori di comportamento e alle novità introdotte dalle NTC 2018. Nel caso di strutture con comportamento dissipativo, infatti, è obbligo del Progettista giustificare la scelta dei valori assunti per il fattore di comportamento di base q_0 in funzione della capacità dissipativa del sistema strutturale nonché dei criteri di dimensionamento dei collegamenti. Devono inoltre essere prevenute rotture di tipo fragile mediante una puntuale applicazione dei principi della progettazione in capacità. Nella Tabella 5.3 (denominata come 7.3.11 nelle NTC 2018 e riportata per le varie tecniche costruttive al paragrafo 7.3.2.) sono indicati, per ciascuna delle due classi di duttilità previste e per le diverse tipologie strutturali, i valori massimi del fattore di comportamento q_0 da utilizzare nelle verifiche allo SLV. Nel caso in cui il controventamento della struttura sia affidato a materiali diversi dal legno (calcestruzzo armato, acciaio), si dovrà ovviamente fare riferimento ai paragrafi che riguardano tali materiali.

Costruzioni di legno (§ 7.7.3)	CD "A"	CD "B"
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni Strutture reticolari iperstatiche con giunti chiodati	3,0	2,0
Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico	4,0	2,5
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni.	5,0	3,0
Pannelli di parete incollati a strati incrociati, collegati mediante chiodi, viti, bulloni; Strutture reticolari con collegamenti a mezzo di chiodi, viti, bulloni o spinotti; Strutture cosiddette miste, ovvero con intelaiatura (sismo-resistente) in legno e tamponature non portanti	-	2,5
Strutture isostatiche in genere, compresi portali isostatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, e altre tipologie strutturali	-	1,5

Tabella 5.3 – Fattori massimi di comportamento e tipologie strutturali.

Alcuni dei valori sopra riportati differiscono lievemente da quelli elencati nelle tabelle 7.7.1 e 7.7.11 delle vecchie NTC 2008, ora unificate in un'unica tabella che prevede anche per le strutture della prima riga la possibilità di essere progettate in CD "A" o in CD "B". Ulteriore importante novità, rispetto alla versione della corrente delle Norme, è che viene esplicitato il relativo coefficiente di comportamento per le strutture realizzate tramite CLT a cui viene attribuito un $q_0 \max = 2,5$ (CD "B").

⁴ "SLV": Stato Limite di Salvaguardia della Vita: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

5.3.3 CAPITOLO 8: ESISTENTE

Le norme NTC 2008 non fornivano un'indicazione della classe di durata del carico neve in funzione dell'altitudine, lasciando al progettista la scelta in funzione delle caratteristiche del sito. A tal proposito anche l'Eurocodice 5 non fornisce indicazioni: dal momento che i carichi climatici quali la neve variano nei diversi Paesi, l'assegnazione delle classi di durata del carico deve essere specificata nell'appendice nazionale. La presente parte di testo delle NTC 2018 & Circolare 2019 può rappresentare per il settore una possibile opportunità per implementare la propria quota di mercato. Rispetto alla precedente versione, per la prima volta, il materiale legno viene considerato come elemento positivo nei processi di messa in sicurezza degli edifici.

All'interno del presente paragrafo, infatti, si fa esplicito riferimento a quanto disciplinato nel par. "C8.7.4.1 Criteri per gli interventi di consolidamento degli edifici in muratura" di cui si riporta un breve estratto: *"Il rinforzo dei setti murari può essere eseguito mediante elementi strutturali integrativi collaboranti disposti sulla superficie, questi possono essere, per esempio, realizzati in acciaio (strutture reticolari costituite da piatti/nastri) o in legno (pannellature). Opportune connessioni devono consentire la collaborazione tra parete esistente e il rinforzo."*

Inoltre per quanto riguarda la "Formazione dei diaframmi di piano" la circolare riporta:

- *"Per gli edifici storici, nel consolidamento di solai lignei sono genericamente preferibili, i diaframmi leggeri, di rigidità non trascurabile, realizzati a secco, quali quelli ottenuti con doppio assito, con pannelli a base legno quali quelli citati nel paragrafo 11.7 (...)"*;
- *"Per quanto riguarda le coperture, nelle costruzioni in muratura è in linea generale opportuno operare mediante il mantenimento dei tetti in legno per non incrementare le masse nella parte più alta dell'edificio.... Ove i tetti presentino orditure spingenti (...) la spinta deve essere contenuta, integrando in modo opportuno lo schema strutturale."*

5.3.4 SOPRAELEVAZIONI E INTERVENTI DI ADEGUAMENTO

Le NTC 2018 elencano al paragrafo 8.4.3 tutte le casistiche per le quali si rende obbligatorio un intervento di adeguamento della costruzione, nello specifico "quando si intenda:

- a) sopraelevare la costruzione;
- b) ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta;
- c) apportare variazioni di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%, valutati secondo la combinazione caratteristica (...);
- d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente (...);
- e) apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV."

Le norme specificano inoltre che:

"Una variazione dell'altezza dell'edificio dovuta alla realizzazione di cordoli sommitali o a variazioni della copertura che non comportino incrementi di superficie abitabile, non è considerato ampliamento, ai sensi della condizione a). In tal caso non è necessario procedere all'adeguamento, salvo che non ricorrano una o più delle condizioni di cui agli altri precedenti punti."

Si nota un probabile refuso nella terminologia della norma quando si scrive che tali interventi non sono considerati "ampliamento" ai sensi della condizione a): per coerenza il termine "ampliamento" andrebbe sostituito con "sopraelevazione".

Si nota inoltre che tale punto è stato modificato rispetto alle NTC 2008, che prevedevano indicazioni più restrittive:

"Una variazione dell'altezza dell'edificio, per la realizzazione di cordoli sommitali, sempre che resti immutato il numero di piani, non è considerata sopraelevazione o ampliamento, ai sensi dei punti a) e b)."

L'interpretazione di questi punti non è sempre univoca e chiara. Il problema di fondo è che le NTC non definiscono in modo chiaro cosa intendono per "sopraelevazione", fornendo al contempo una definizione delle possibili "eccezioni".

Non si tratta di sopraelevazione quando si ha un aumento di altezza dovuto alla realizzazione di cordoli sommitali: è ragionevole considerare che gli effetti del modesto aumento dell'altezza dell'edificio siano più che compensati dai vantaggi strutturali di un cordolo in sommità delle strutture murarie.

Non si tratta di sopraelevazione quando pur avendo una variazione dell'altezza della copertura non si ha un incremento di superficie abitabile. Da una lettura letterale della norma, quindi, pare legarsi la necessità di procedere o meno ad adeguamento a definizioni di tipo urbanistico. Ad esempio, nel caso della trasformazione di superfici accessorie (una soffitta o un sottotetto non abitabile) in superfici abitabili, sarebbe automaticamente obbligatorio procedere ad adeguamento. Per assurdo sembrerebbe invece possibile la realizzazione di un piano aggiuntivo non destinato a superficie abitabile senza dover procedere ad adeguamento.

La Circolare chiarisce invece che l'incremento di superficie abitabile debba essere significativo da un punto di vista strutturale e non letto letteralmente alla luce di norme urbanistiche e regolamenti edilizi: l'intento è quello di obbligare all'adeguamento dell'intera costruzione quando effettivamente siano presenti significativi cambi strutturali o variazioni significative della massa sismica. Chiarita la ratio della norma, sarà il progettista a dover valutare, caso per caso, la situazione. Si tratta di un chiarimento importante, che evita possibili letture sbagliate della norma.

Cerchiamo di chiarire con alcuni esempi:

- trasformazione di un sottotetto non abitabile destinato a soffitta praticabile (cat. A, sovraccarico 2 kN/m^2 , in quanto servizio di locali di abitazione) in ambienti ad uso residenziale (cat. A, sovraccarico 2 kN/m^2): qualora il modesto aumento della massa, dovuto ad esempio alle modifiche del pacchetto di solaio, possa essere giudicato non strutturalmente significativo, allora non è necessario procedere all'adeguamento;
- trasformazione di un sottotetto accessibile per sola manutenzione (cat H1 in accordo con le vecchie NTC 2008, sovraccarico $0,5 \text{ kN/m}^2$) in ambienti ad uso residenziale (cat. A, sovraccarico 2 kN/m^2) con una variazione significativa dell'altezza della copertura per la realizzazione di un soppalco di notevole dimensione: in questo caso gli interventi portano ad incrementi di altezza dell'edificio e massa sismica che necessitano di attenta valutazione.

In ogni caso resta valido il criterio aggiuntivo previsto dal punto c) della norma in merito alle variazioni di destinazione d'uso, che limita gli incrementi dei carichi globali verticali in fondazione al 10%.

5.4 CAPITOLO 11.1: MATERIALI E PRODOTTI A BASE LEGNO

Il nuovo testo del par. 11.7 riprende, aggiornando le Norme con quanto previsto dal Reg. 305/2011 e s.m.i., quanto precedentemente proposto dal precedente testo delle NTC 2008 in merito alle modalità di qualificazione ed identificazione dei materiali e prodotti. In particolare e in riferimento a quanto definito dal par. 11.1, le casistiche entro le quali è possibile parlare di conformità rispetto ai prodotti immessi sul mercato sono le seguenti:

- A) Marcatura CE secondo Norma Armonizzata;
- B) Qualificazione nazionale, in alternativa ad una Norma Armonizzata per la quale sia ancora valido il relativo periodo di coesistenza;
- C) Per i prodotti per uso strutturale non ricadenti nelle casistiche A e B, il produttore potrà dotarsi di marcatura CE in accordo a specifico ETA (Valutazione Tecnica Europea) in alternativa al Certificato di Valutazione Tecnica rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (ove naturalmente disponibili).

Inoltre, il nuovo testo delle NTC precisa altresì che l'obbligo di Denuncia Attività per i Centri di Lavorazione è da ritenersi cogente sia nel caso di trasformazione di prodotti marcati CE, che di prodotti oggetto di qualificazione nazionale. L'attestato di Denuncia Attività è quindi da considerarsi come parte integrante della documentazione accompagnatoria (come meglio spiegato all'interno del par. 11.7.2.10 "Forniture e documentazione di accompagnamento").

In questa sede, sempre in relazione alla documentazione accompagnatoria della merce verso il cantiere, si aggiunge che il par.11.7.1 "Generalità" definisce quanto di seguito:

"Ogni fornitura deve essere accompagnata, secondo quanto indicato al §11.7.10.1.2, da un manuale contenente le specifiche tecniche per la posa in opera"

Di seguito e rimandando alla lettura del nuovo testo delle NTC, in questa sede si prendono in considerazione esclusivamente le parti di maggiore novità che interessano le imprese di settore.

5.4.1 ATTESTATI DI QUALIFICAZIONE: FABBRICANTI E CENTRI DI LAVORAZIONE

Il nuovo testo del par. 11.7 riprende, aggiornando le Norme con quanto previsto dal Reg. 305/2011 e s.m.i., quanto precedentemente proposto dal precedente testo delle NTC 2008 in merito alle modalità di qualificazione ed identi Il paragrafo 11.7.10.1 "Fabbricanti e Centri di Lavorazione", che è stato notevolmente ampliato rispetto a quanto contenuto nelle precedenti NTC, riordina le procedure di identificazione, qualificazione e accettazione dei prodotti e impartisce le disposizioni che fabbricanti, centri di lavorazione e fornitori intermedi devono rispettare per garantire le caratteristiche e le prestazioni dei materiali forniti.

In relazione ai termini di qualifica si riporta quanto di seguito:

- Rinnovo attestato di qualificazione nazionale (fabbricanti): il termine del rinnovo degli attestati non sarà più entro Febbraio. Infatti le nuove Norme stabiliscono che le imprese oggetto di qualificazione "entro il 31 gennaio di ogni anno, trasmettono al Servizio tecnico centrale evidenza documentale dei controlli effettuati sulla produzione nell'anno precedente"
- Validità degli attestati di qualificazione (fabbricanti): gli attestati di qualificazione rilasciati cessano la loro validità dopo cinque anni a seguito del rilascio. Al contempo si precisa che gli attestati di qualificazione "già rilasciati ai sensi del DM 14.01.2008 cessano comunque di validità cinque anni dopo l'entrata in vigore della presente versione delle Norme tecniche per le Costruzioni";
- Centri di lavorazione: per quanto riguarda i termini di Denuncia di Attività dei Centri di lavorazione, le nuove norme traspongono quanto attualmente in essere all'interno della Circolare Esplicativa del 2.2.2009, all'interno del corpo legislativo delle Norme Tecniche.

Di seguito si riporta breve estratto:

"Si definiscono Centri di Lavorazione del legno strutturale, gli stabilimenti nei quali viene effettuata la lavorazione degli elementi base qualificati per dare loro la configurazione finale in opera (...). Come tali devono documentare la loro attività al Servizio Tecnico Centrale, il quale, ultimata favorevolmente l'istruttoria, rilascia un Attestato di denuncia di attività (...)."

Inoltre le stesse Norme precisano che *"Nel caso di impiego di prodotti base marcati CE, ogni lavorazione successiva a tale marcatura, non effettuata in cantiere sotto la responsabilità del direttore dei lavori, deve essere effettuata presso un centro di lavorazione."*

Infine per quanto riguarda la figura del Direttore Tecnico di Produzione, il nuovo testo delle NTC pone l'accento sull'importanza di tale figura, in quanto soggetto che si "assume le responsabilità relative alla conformità alle presenti norme delle attività svolte nel centro di lavorazione"

Inoltre sempre in merito al DTP, oltre ad una formazione iniziale, lo stesso dovrà "frequentare un corso di aggiornamento con cadenza almeno triennale". In relazione ai corsi di formazione e aggiornamento di Direttore Tecnico di Produzione è altresì necessario – per il soggetto che vuole proporli sul mercato - che gli stessi siano approvati dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (non è quindi più sufficiente il semplice deposito del relativo regolamento presso gli uffici del Servizio Tecnico Centrale).

Sempre sullo stesso argomento la Circolare Esplicativa precisa quanto segue:

"Per quanto riguarda i Corsi di formazione e di Aggiornamento per "Direttori tecnici della produzione", si rammenta che "appositi corsi" di formazione erano già stati introdotti con le precedenti NTC 2008; sono ora previsti anche i Corsi di aggiornamento, a cadenza triennale, aventi carattere obbligatorio: ne consegue che i Direttori che abbiano già seguito un Corso di formazione, in caso di mancato aggiornamento, vedranno decadere la loro qualificazione di Direttore. Gli attestati di partecipazione rilasciati ai sensi delle precedenti NTC 2008, cessano di avere validità al termine di tre anni dalla data di entrata in vigore dell'attuale "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", ovvero al 20 marzo 2021."

Quindi in ragione delle precisazioni riportate nel testo della circolare Esplicativa dovranno essere frequentati – dai soggetti qualificati come Direttori Tecnici di Produzione - entro il 20 Marzo 2021, opportuni corsi di aggiornamento al fine di mantenere tale qualifica.

5.4.2 DOCUMENTAZIONE ACCOMPAGNATORIA

Il paragrafo 11.7.10.2 "Forniture e documentazione di accompagnamento" è stato aggiornato in funzione del Regolamento UE 305/2011 e specifica la documentazione che deve accompagnare le forniture di legno strutturale.

In particolar modo e in senso generale la documentazione accompagnatoria deve essere composta da:

- Una copia del Certificato CE di Costanza della Prestazione (qualora applicabile dal sistema di attestazione previsto per il prodotto immesso in cantiere) oppure dall'attestato di qualificazione o dal Certificato di Valutazione Tecnica rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale;
- Dichiarazione di Prestazione (DoP) come da Reg. 305/2011 oppure Dichiarazione resa dal Legale Rappresentante dello stabilimento in cui vengono riportate le informazioni riguardanti le caratteristiche essenziali del prodotto: "(...) classe di resistenza del materiale, l'Euroclasse di reazione al fuoco e il codice identificativo dell'anno di produzione; sulla stessa dichiarazione deve essere riportato il riferimento al documento di trasporto";

Inoltre il nuovo corpo normativo delle NTC 2018 esplicita anche la documentazione inerente i centri di lavorazione e questa dovrà essere composta da:

- Una copia dell’Attestato di Denuncia dell’Attività del centro di lavorazione;
- Dichiarazione del Direttore Tecnico della Produzione inerente la descrizione delle lavorazioni eseguite;

Nella tabella seguente si riportano per ciascuno degli assortimenti maggiormente diffusi a livello commerciale la documentazione accompagnatoria come da nuove NTC e relative specifiche tecniche di riferimento.

Assortimento	Documentazione accompagnatoria	
	Produzione	Lavorazione
Legno massiccio a spigolo vivo classificato secondo la resistenza (1)	Certificato CE secondo EN 14081-1 e Dichiarazione di Prestazione	Attestato di Denuncia di Attività e Dichiarazione resa dal Direttore Tecnico di Produzione
Legno lamellare incollato e legno massiccio incollato	Certificato CE secondo EN 14080 e Dichiarazione di Prestazione	
KVH	Certificato CE secondo EN 15497 e Dichiarazione di Prestazione	
Compensato di tavole (Xlam) (2)	Certificato CE secondo ETA e Dichiarazione di Prestazione resa dal Legale Rappresentante	

(1) Per gli assortimenti. “Uso Fiume” e “Uso Trieste” e a “sezione irregolare”, salvo casistiche legate all’applicazione di specifica Valutazione Tecnica europea (ETA), la documentazione accompagnatoria sarà costituita dai seguenti documenti:

- Attestato di qualificazione ministeriale come produttore ; Dichiarazione resa dal Legale Rappresentante.
- Attestato come centro di lavorazione; Dichiarazione resa dal Direttore Tecnico di Produzione .

(2) La conformità del compensato di tavole può essere definita attraverso specifica Valutazione di Idoneità Tecnica (come da Linee Guida emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici). In tale caso la documentazione accompagnatoria dovrà essere costituita da:

- Valutazione di idoneità tecnica all’impiego
- Dichiarazione resa dal Legale Rappresentante
- Attestato di qualificazione come centro di lavorazione
- Dichiarazione resa dal Direttore Tecnico del centro di lavorazione

Tabella 5.4 – Documentazione accompagnatoria per i prodotti di maggiore diffusione commerciale.

5.4.3 LA FIGURA DEL COSTRUTTORE

In merito alla figura del “costruttore” va premesso che in realtà non esiste nella legge italiana una definizione ed una disciplina precisa, ben delimitata e definita, per ambiti, oggetto di attività e requisiti professionali, che possa renderne compiutamente il senso, la portata e gli effetti, non solo in termini giuridici ma anche in termini più strettamente professionali. Esistono invece caratterizzazioni della figura medesima del costruttore in ambiti diversi, con prescrizioni e previsioni diverse, in ragione dei diversi obiettivi perseguiti dal legislatore. Solo a titolo di esempio si riportano considerazioni in merito in funzione del documento legislativo oggetto di interesse:

- DPR 380/01 e s.m.i.:
- o Il costruttore è il soggetto titolare del permesso di costruire;
- o Tale soggetto è responsabile della conformità “delle opere alla normativa urbanistica, alle previsioni di piano nonché, unitamente al direttore dei lavori, a quelle del permesso e alle modalità esecutive stabilite dal medesimo. Essi sono, altresì, tenuti al pagamento delle sanzioni pecuniarie e solidalmente alle spese per l’esecuzione in danno, in caso di demolizione delle opere abusivamente

realizzate (art. 29); allo stesso tempo lo stesso testo unico non riporta una definizione tecnico-organizzativa dello stesso.

- D. lgs. 122/05 “Disposizioni per la tutela dei diritti patrimoniali degli acquirenti di immobili da costruire”:
- o individua il costruttore in colui che si pone come soggetto venditore di un immobile da costruire, sia che lo abbia edificato direttamente, sia attraverso appalto o esecuzione ad opera di terzi;

L’amministrazione finanziaria, ovviamente ai soli fini fiscali, considera costruttore l’impresa che svolge attività di “produzione di immobili” per la successiva vendita, a nulla rilevando chi ne abbia effettuato la materiale esecuzione dei lavori.

Da un’analisi quindi dei testi vigenti di legge e congiuntamente dalla giurisprudenza, è possibile individuare quale costruttore il soggetto chiamato ad eseguire un’opera: in altre parole il costruttore è quel soggetto professionale che assume rilievo di fronte alla legge per ciò che va a costruire su incarico e/o per soddisfare un’esigenza di un committente.

Venendo quindi alla Circolare Esplicativa (che sicuramente sotto un profilo di gerarchia delle fonti si pone ad un livello inferiore), questa introduce finalmente la figura del Costruttore del legno, precisando alcuni dei compiti in materia dei prodotti strutturali utilizzati (e relativa documentazione accompagnatoria/tracciabilità lungo la filiera), in linea con quanto espresso dal DPR 380/01. A tal proposito si riporta breve estratto della Circolare (C11.7.10.1.1 Identificazione e rintracciabilità dei prodotti qualificati): *“Il costruttore resta comunque responsabile della qualità degli elementi strutturali in legno posti in opera, qualità che sarà controllata dal Direttore dei Lavori secondo le procedure di cui al § 11.7.10.2. Lo stesso costruttore, nell’ambito delle proprie responsabilità, prima dell’inizio della costruzione dell’opera, deve acquisire idonea documentazione relativa ai componenti, per ciascun elemento strutturale in legno da utilizzare, al fine di ottenere le prestazioni indicate nel progetto. Tale documentazione dovrà essere comprensiva sia della fase di produzione come da §. 11.1 (casi A, B o C) che di quella di centro di lavorazione come da § C11.7.10.1. Inoltre ai fini della rintracciabilità dei prodotti, il costruttore deve assicurare la conservazione della medesima documentazione, unitamente a marchiature o etichette di riconoscimento, fino al completamento delle operazioni di collaudo statico.”*

In relazione alle responsabilità si fa presente (nel caso di contratti di appalto come molte volte avviene all’interno dei rapporti committente - impresa costruttrice del comparto legno) che le stesse vertono principalmente sulla garanzia dell’opera da eventuali difformità e vizi, ovvero deve garantire che la stessa sia esente da vizi, sia con riguardo alle regole dell’arte e alle norme tecniche inderogabili, sia con riguardo al capitolato ed al progetto.

Ciò significa che in caso contrario il committente potrà chiedere che le difformità e i vizi siano eliminati a spese del costruttore, oppure che il prezzo sia diminuito, salvo il risarcimento del danno nel caso di colpa del costruttore. Se vizi e difformità sono tali da rendere l’opera del tutto inadatta alla sua destinazione, il committente potrà chiedere la risoluzione del contratto. Per gli edifici e le altre cose immobili destinate per loro natura a lunga durata, la garanzia dura dieci anni dal compimento dell’opera: se in questo arco temporale l’opera rovina in tutto o in parte o presenta pericolo di rovina o gravi difetti, per vizio del suolo o per difetto della costruzione, il costruttore sarà responsabile nei confronti del committente e dei suoi aventi causa purché sia stata fatta denuncia entro un anno dalla scoperta e la relativa azione sia iniziata entro un anno dalla denuncia. Come è ormai acquisito anche al vissuto quotidiano, le conseguenze di tale forma di garanzia ruotano intorno alla distinzione sulla natura dei difetti dell’opera: se non gravi la garanzia avrà durata di due anni, se gravi di dieci anni. Distinzione che tiene conto, in buona sostanza, dell’obiettivo di far conseguire al

committente la consegna di un'opera solida e duratura, anche in relazione ad efficienza, funzionalità. Per tal motivo, infatti, senza addentrarsi in discorsi e in argomenti tecnico-giuridici, va precisato che all'individuazione dei primi (difetti non gravi) si giunge in via di esclusione rispetto all'individuazione dei secondi (difetti gravi) e che con riguardo a questi ultimi la giurisprudenza ha dato, sì, differenti contenuti e caratterizzazioni, ma comunque pur sempre all'interno dell'univoco concetto per cui il difetto, per considerarsi grave, pur non determinando la rovina o il pericolo di rovina dell'edificio o delle altre cose immobili, deve essere tale da incidere significativamente sul godimento e sulla funzionalità del bene.

A titolo di completezza si riporta art. 1669 del codice civile:

“Art. 1669 - Rovina e difetti di cose immobili

Quando si tratta di edifici o di altre cose immobili destinate per la loro natura a lunga durata, se, nel corso di dieci anni dal compimento, l'opera, per vizio del suolo o per difetto della costruzione, rovina in tutto o in parte, ovvero presenta evidente pericolo di rovina o gravi difetti, l'appaltatore è responsabile nei confronti del committente e dei suoi aventi causa, purché sia fatta la denuncia entro un anno dalla scoperta. Il diritto del committente si prescrive in un anno dalla denuncia.”

5.4.4 I PRODOTTI A BASE LEGNO: NORMATIVA APPLICABILE

Nel presente paragrafo si riportano per i principali assortimenti legnosi ad uso strutturale, i rispettivi riferimenti normativi, e le relative modalità di certificazione (p.to A o C – ETA – del par. 11.1) o qualificazione nazionale previste dalle vigenti NTC (p.to B del par. 11.1).

5.4.4.1 Legno massiccio ad uso strutturale

Lo strumento operativo attraverso il quale un produttore provvede ad affidare ad un segato una determinata classe di resistenza (generalmente armonizzata con quanto disposto dalla UNI EN 338 “Legno strutturale – classi di resistenza”) è la classificazione secondo la resistenza. Esistono due metodi:

- Classificazione secondo la resistenza con metodi a vista;
- Classificazione secondo la resistenza con metodi a macchina.

La classificazione eseguita con metodi a vista, assegna a ciascun segato una determinata classe di resistenza sulle base di alcune caratteristiche facilmente rilevabili (ad es. ampiezza media degli anelli di accrescimento, nodi, inclinazione della fibratura....). Questo metodo di classificazione richiede personale esperto e qualificato e comporta generalmente una sottostima delle caratteristiche meccaniche (quindi a favore di sicurezza).

Le regole di classificazione (specificate solitamente in standard nazionali – ad es. UNI 11035-1/-2) sono diverse nei vari paesi in funzione della specie legnosa e delle tradizioni nella lavorazione, ma seguono necessariamente gli stessi principi contenuti nell'allegato A della UNI EN 14081-1. La UNI EN 1912 (“Classi di resistenza – Assegnazione delle categorie visuali e delle specie”) riporta altresì le correlazioni tra categorie resistenti definite a livello nazionale (ad. es. S7, S10 e S13 secondo DIN 4074-1 oppure S1, S2, e S3 secondo UNI 11035-1/-2) e le classi di resistenza della UNI EN 338 (classi “C” o “D”).

La classificazione eseguita con metodi a macchina invece si basa su criteri che prendono in considerazione le reali prestazioni dell'elemento ligneo. La macchina misura uno o più parametri non distruttivi (generalmente il modulo elastico “locale” a flessione in vari punti del segato) attribuendo ad ogni elemento una classe di resistenza.

L'affidabilità statistica della correlazione deve essere stata verificata attraverso un'ampia serie di prove sperimentali su un campione rappresentativo della popolazione in esame. Un controllo visivo finale (“visual override” secondo UNI EN 14081-1) del segato consente poi di individuare quei difetti (quali ad es. attacchi di funghi, insetti, fessurazioni o legno di reazione) di cui la macchina non ha rilevato l'importanza.

Relativamente alle macchine che ad oggi si possono trovare sul mercato è possibile fare (in via semplicistica) la seguente schematizzazione:

- Macchine di classificazione che misurano il modulo elastico locale su più punti del segato
- Macchine di tipo “vibrazionale” (che misurano il modulo elastico dinamico del segato)
- Macchine a raggi X (che misurano i difetti del segato in funzione della densità che questi presentano)
- Metodi combinati (ad es. macchine a raggi X combinate a macchine di tipo “vibrazionale”)

A questo proposito si accenna solamente che i report dedicati alla definizione dei settings delle macchine sono, ad oggi, oggetto di valutazione da parte di uno specifico Task Group Europeo (TG1/WG2/TC124).

Tale gruppo di lavoro ha il compito (in estrema sintesi) di vagliare i rapporti di prova presentati dai maggiori enti di ricerca europei al fine di:

- Validare i settings delle macchine di classificazione
- Inserire nuovi tipi di legname all'interno della UNI EN 1912 e definire appositi AGR (Approved Grading Reports) che hanno la funzione di definire correlazioni tra categorie resistenti e classi di resistenza della UNI EN 338 in attesa appunto che vengano pubblicati nella stessa UNI EN 1912.

5.4.4.2 Legno massiccio a sezione rettangolare

La norma armonizzata di riferimento per li legno massiccio a sezione rettangolare è la UNI EN 14081-1 (“Legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza – requisiti generali”), il cui periodo di coesistenza è terminato il 1 Dicembre 2012. Ad oggi quindi è cogente per i produttori la marcatura CE.

Sembra altresì opportuno riportare nuovamente e per facilità di lettura una definizione di legno massiccio a sezione rettangolare (così come già indicato all’interno del paragrafo del presente testo in relazione ai temi dedicati alla classificazione secondo la resistenza) al fine di procedere ad una maggiore comprensione del quadro normativo legato a tale assortimento:

“legno massiccio classificato secondo la resistenza la cui ampiezza di smusso non eccede 1/3 della larghezza della faccia dell’elemento”

Norma	Titolo
- UNI EN 14081-2	- Strutture di legno - Legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza - Parte 2: Classificazione a macchina - Requisiti aggiuntivi per le prove iniziali di tipo
- UNI EN 14081-3	- Strutture di legno - Legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza - Parte 3: Classificazione a macchina - Requisiti aggiuntivi per il controllo della produzione in fabbrica
- UNI EN 14081-4	- Strutture di legno - Legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza - Parte 4: Classificazione a macchina - Regolazioni per i sistemi di controllo a macchina

Tabella 5.5 – UNI EN 14081-1 (serie).

Venendo quindi alle fasi operative a cui il produttore deve sottostare ai fini di definire la conformità alla UNI EN 14081-1, si riportano nella tabella di seguito i principali “passi” da compiere:

Fasi operative	Modalità
Formare all’interno dello stabilimento la figura del classificatore (1)	La formazione del personale può avvenire attraverso esperti interni allo stabilimento (ad es. il Direttore Tecnico di Produzione) o attraverso un soggetto qualificato esterno all’azienda (1)
Definire istruzioni operative e procedure interne atte a dimostrare la conformità della produzione a quanto prescritto dalla Norma Armonizzata EN 14081-1.	Il manuale di controllo interno della produzione (FPC) deve comporsi di tutte le procedure richieste dalla stessa Norma Armonizzata, quali (ad esempio): - modalità di etichettatura del materiale - richiamo alle norme di classificazione utilizzate per la conformità (con eventuali istruzioni operative ad uso dei classificatori), - schede per la verifica del corretto funzionamento dell’igrometro, schede per la registrazione dei controlli della produzione . ecc, ecc.
Sottoporre il proprio stabilimento produttivo a visita ispettiva da parte di Ente Notificato ai sensi del Requisito 1 del Regolamento 305/2011 (“Resistenza meccanica e stabilità)	Nell’iter di marcatura CE del Legno Massiccio a sezione Rettangolare, il sistema di verifica della costanza della prestazione (ossia la “severità” del controllo effettuato dall’ente notificato) previsto è pari a 2+. In tale frangente l’ente notificato di riferimento compie (oltre ad una visita ispettiva di carattere iniziale) una sorveglianza periodica: annualmente controlla che siano rimaste inalterate le condizioni iniziali di idoneità del processo di controllo della produzione che hanno permesso il rilascio del certificato di conformità. Nel caso lo stabilimento sia dotato di macchina per la classificazione, l’ente di certificazione compie due visite annuali (semestrali).

Tabella 5.6 – Marcatura CE Legno Massiccio a Sezione Rettangolare: fasi operative.

(1) L’SG18 “Sectorial Group 18: Structural Timber Product” è un Gruppo Settoriale (a cui fanno parte i maggiori Enti Notificati Europei) che ha il compito di redigere specifiche linee guida (“Position Paper”) atte a definire i criteri di ispezione e verifica degli stabilimenti in accordo alle norme armonizzate di riferimento. Per quanto riguarda la classificazione del legname, tale Sectorial Group, prescrive l’esistenza di almeno due figure: il classificatore e un addetto al controllo dell’attività dei classificatori stessi (chiamato “supervisor”). Inoltre la versione della UNI 11035-1/2: 2010, prescrive (nell’allegato informativo A) che la stessa formazione annuale deve essere attestata da un Ente Esterno, indipendente da quello per cui opera il classificatore.

Altri documenti normativi di importanza tecnica sono i seguenti:

- UNI EN 338 (“Legno strutturale - Classi di resistenza”) fissa le classi di resistenza di riferimento. Tale documento normativo, elaborato principalmente per le specie del Centro - Nord Europa, definisce probabilmente un’eccessiva proporzionalità lineare tra densità e resistenza. I vantaggi che tale semplificazione ha portato sono certamente da apprezzare. Infatti, il riferimento univoco ad un profilo resistente tramite un codice intuitivo e l’approccio prestazionale hanno consentito indubbiamente una facilità di uso da parte anche di progettisti meno specializzati, contribuendo significativamente alla diffusione del legno come materiale strutturale.
- UNI EN 1912 (“Legno strutturale - Classi di resistenza - Assegnazione delle categorie visuali e delle specie”) riassume le combinazioni specie/provenienza/classe (ovvero il “tipo di legno”) per le quali si dispone di un riferimento, definendo quindi una correlazione tra le categorie visuali resistenti (definite nei documenti di classificazione) e i valori caratteristici della UNI EN 338. Contestualmente si precisa che risulta possibile arrivare a marcare CE una specie legnosa non inclusa nella UNI EN 1912 attraverso un rapporto di prova redatto conformemente alla UNI EN 384.
- UNI EN 336 definisce (per il legno massiccio a sezione rettangolare) le tolleranze dimensionali dei segati da rispettare nei rapporti di carattere commerciale

Infine, si ricorda che la EN 14081-1 permette l’etichettatura del materiale su pacco o sul singolo elemento, definendo con precisione due procedure dedicate alla documentazione accompagnatoria da fornire alla committenza.

Tali procedure prendono il nome di:

- “Metodo A”: specifica le regole da seguire per la marcatura del singolo elemento (§ 7.1 p.to a della UNI EN 14081-1);
- “Metodo B”: specifica le regole da seguire per la marcatura del pacco (§ 7.1 p.to b della UNI EN 14081-1).

5.4.4.3 Legname a sezione irregolare

Appare utile (prima di definire in dettaglio il quadro normativo dedicato a legname a sezione irregolare) richiamare quanto espresso dalle NTC 2018 relativamente i criteri da definizione della conformità come da § 11.1.

A tal proposito un elemento strutturale può essere posto in commercio attraverso:

- L'applicazione di una norma armonizzata (marcatura CE);
- L'applicazione di una procedura di qualificazione nazionale (qualora si ricada all'interno del periodo di coesistenza di Norma Armonizzata);
- L'applicazione di un Benestare Tecnico Europeo o, in alternativa, di un Certificato di Idoneità Tecnica all'Impiego.

Inoltre per legname a sezione irregolare si può a titolo indicativo riportare la seguente definizione:

“Legno massiccio classificato secondo la resistenza il cui smusso eccede i limiti di tolleranza riportati all'interno della UNI EN 14081-1”.

Entro tale definizione possono essere distinti gli assortimenti definiti nel par. 3.3.8 del presente manuale. Relativamente le modalità di certificazione e attribuzione delle conformità si riporta la seguente tabella riassuntiva (Tabella 5.7):

Tipologia di assortimento	Attribuzione della conformità
Legname “rusticato”	Qualificazione ministeriale secondo il p.to B del § 11.1 attraverso le modalità di classificazione riportate in Circolare 2019 (1)
Legno “Uso Fiume”	Qualificazione ministeriale secondo il p.to B del § 11.1: - Attraverso le modalità di classificazione riportate in circolare esplicativa del 21.01.2019 n. 7 (1) - Attraverso l'applicazione della UNI 11035-3 (solo per Travi Uso Fiume di Abete Rosso e Abete Bianco) In alternativa: Marcatura CE secondo Benestare Tecnico Europeo (EAD 130167 – 00 – 0304 “Strength graded structural timber – square edged logs with wane- softwood” –per Abete Bianco, Abete Rosso, Larice & EAD 130012-00-0304 “Strength graded structural timber - square edged logs with wane – chestnut” per il Castagno).
Legno “Uso Trieste”	Qualificazione ministeriale secondo il p.to B del § 11.1: - Attraverso le modalità di classificazione riportate in circolare esplicativa del 21.01.2019 n. 7 (1) - Attraverso l'applicazione della UNI 11035-3 (solo per Travi Uso Trieste di Abete) In alternativa: Marcatura CE secondo Benestare Tecnico Europeo (EAD 130167 – 00 – 0304 “Strength graded structural timber – square edged logs with wane- softwood” –per Abete Bianco, Abete Rosso, Larice)

Nota 1: § C11.7.2 “legno con sezioni irregolari”: in assenza di specifiche prescrizioni, per quanto riguarda la classificazione del materiale, si potrà fare riferimento a quanto previsto per gli elementi a sezione rettangolare, senza considerare le prescrizioni sugli smussi e sulla variazione delle sezioni trasversale, purché nel calcolo si tenga conto dell'effettiva geometria delle sezioni trasversali.

Tabella 5.7 – Riferimenti normativi legno a sezione irregolare.

5.4.4.4 Legno a sezione irregolare: la qualificazione ministeriale

Come accennato nei paragrafi precedenti, un possibile iter per definire la conformità del legno massiccio a sezione irregolare consiste nella qualificazione ministeriale come indicato al p.to B del § 11.1 delle NTC 2018.

A tal proposito si riportano le principali fasi operative (Tabella 5.8) al fine di conseguire attestato di qualificazione del Servizio Tecnico Centrale del CSLP:

Fasi operative	Modalità
Individuare la figura del Direttore Tecnico di Produzione (1)	Al fine di ottenere la qualifica di Direttore Tecnico di Produzione, il candidato dell'azienda deve frequentare apposito corso di formazione (e superare il relativo esame), il cui regolamento risulti depositato presso il Servizio Tecnico Centrale.
Definire istruzioni operative e procedure interne all'aziende atte a dimostrare la conformità della produzione a quanto prescritto dal DM 14.01.08	L'istanza di qualificazione come produttore di elementi strutturali come Uso Fiume e Uso Trieste solitamente si compone di due parti: una parte generale, costituita da Dichiarazioni di vario tipo a firma del Legale Rappresentate e del Direttore Tecnico di Produzione, e da una parte specifica dedicata alla definizione delle procedure interne all'azienda atte a definire i relativi controlli.
Depositare presso gli uffici del Servizio Tecnico Centrale la documentazione prodotta.	Una volta accertata la completezza delle informazioni fornite, lo stesso Servizio Tecnico Centrale rilascia apposito Attestato di qualificazione come produttore.
Nota 1: Inoltre il Direttore Tecnico della Produzione deve essere un collaboratore stabile dell'azienda e seguire un solo stabilimento.	

Tabella 5.8 – Qualificazione ministeriale: passi da compiere.

Il Direttore Tecnico di Produzione (DTP) è quindi una figura chiave nel definire tale iter di certificazione. In via sintetica allo stesso DTP possono essere attribuiti i seguenti compiti e responsabilità:

- Controlli di produzione
- Classificazione secondo la resistenza
- Gestione delle Non Conformità

Se l'azienda esegue anche la progettazione, lavorazione e posa dei materiali, il DTP coordina i responsabili di tali attività ai fini del soddisfacimento dei requisiti della fornitura.

5.4.4.5 Il “Perlinato” ad Uso Strutturale

Relativamente il “perlinato” ad uso strutturale valgono le medesime considerazioni riportate in relazione agli assortimenti a sezione irregolare.

A tal proposito si possono quindi configurare le seguenti ipotesi di conformità del materiale alle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni:

Qualificazione ministeriale secondo il p.to B del § 11.1:

- Attraverso le modalità di classificazione riportate in Circolare 2019 (inclusendo quale sezione resistente quella compresa tra profili maschio – femmina);
- Attraverso Valutazione Tecnica Europea in accordo all'EAD 130196-00-0304 “Solid Wood Boards for Flatwise Structural Use with Overlapping Edge Profiles”.

5.4.5 LEGNO LAMELLARE

Il legno lamellare è un prodotto costituito da lamelle incollate parallelamente la fibratura attraverso l'uso di adesivi strutturali (ad es. poliuretanici, melamminici).

La definizione delle proprietà fisiche-meccaniche del legno lamellare è correlata:

- all'analisi delle lamelle e posizione delle stesse all'interno del profilo del prodotto finito;
- corretta realizzazione del giunto a dita

I requisiti per definire la conformità di tale assortimento legnoso sono contenuti all'interno della UNI EN 14080 che permette ai singoli stabilimenti produttivi di apporre la marcatura CE.

Nei paragrafi di seguito si cerca di accompagnare il lettore ad un'attenta analisi dell'evoluzione normativa legata a tale prodotto, riportando i principali contenuti della UNI EN 14080: 2013.

5.4.5.1 Contesto normativo

La pubblicazione della EN 14080: 2013 ha comportato l'introduzione di molte novità all'interno del panorama normativo. A tal proposito si riporta innanzitutto le seguenti definizioni:

- Legno lamellare: elemento strutturale composto da almeno due lamelle aventi andamento della fibratura pressoché parallelo. Le stesse lamelle possono essere composte da una o due tavole per lato con spessore finito compreso tra 6 mm a 45 mm (incluso).
- Elementi Bilama/Trilama ("glued solid timber"): elementi strutturali con dimensioni delle sezioni fino a 280 mm composti da 2 / 5 lamelle (aventi la stessa classe di resistenza) con andamento della fibratura pressoché parallelo e uno spessore delle tavole compreso tra 45 mm fino a 85 mm (incluso).

Inoltre, per la prima all'interno di una specifica tecnica europea, sono state introdotte le classi di resistenza a trazione. La norma infatti definisce i valori caratteristici minimi delle tavole per la definizione dei profili resistenti degli elementi finiti. Di seguito si riporta a titolo di completezza suddetti valori (ed eventuali corrispondenze con le classi di resistenza attualmente in uso nella UNI EN 338 - classi "C").

Classi T	ft,0,l,k	Et,0,l,mena	pl,k
T8 (C14)	8	7000	290
T9	9	7500	300
T10 (C16)	10	8000	310
T11 (C18)	11	9000	320
T12 (C20)	12	9500	330
T13 (C22)	13	10000	340
T14 (C24)	14	11000	350
T14,5	14,5	11000	350
T15	15	11500	360
T16 (C27)	16	11500	370
T18 (C30)	18	12000	380
T21 (C35)	21	13000	390
T22	22	13000	390
T24 (C40)	24	13500	400
T26	26	14000	410
T27 (C45)	27	15000	410
T28	28	15000	420
T30 (C50)	30	15500	430

Tabella 5.9 – Classi di resistenza a trazione (EN 14080).

Elenco delle specie a cui è applicabile la norma armonizzata:

Spruce (Picea abies, PCAB), Fir (Abies alba, ABAL), Scots pine redwood (Pinus sylvestris, PNSY), Douglas fir (Pseudotsuga menziesii, PSMN), Western Hemlock (Tsuga heterophylla, TSHT), Corsican pine and Austrian black pine (Pinus nigra, PNNL), European larch (Larix decidua, LADC), Siberian larch (Larix sibirica, LASI), Dahurian larch (Larix gmelinii (Rupr.) Kuzen.), Maritime pine (Pinus pinaster, PNPN), Poplar (Applicable clones: Populus x euramericana cv "Robusta", "Dorskamp", "I214" and "I4551", POAL), Radiata- Pine (Pinus radiata, PNRD), Sitka-spruce (Picea sitchensis, PCST), Southern Yellow pine (Pinus palustris, PNPL), Western Red Cedar (Thuja plicata, THPL), Yellow Cedar (Chamaecyparis nootkatensis, CHNT).

Specie diverse da quelle sopra menzionate devono essere sottoposte a certificazione attraverso ETA (Valutazione Tecnica Europea come da Regolamento Prodotti da Costruzione – Reg. 305/2011 e s.m.i.).

Classi di resistenza potenzialmente attribuibili ad un elemento di legno lamellare: GL20, GL22, GL24, GL26, GL 28, GL30 e GL32 (sia composito "c" che omogeneo "h").

⁵ La UNI EN 14080: 2013 sarà a breve revisionata all'interno del CEN TC124/WG3; entro tale ambito e in relazione alle classi a trazioni riportate all'interno della norma armonizzata riportata sopra, è possibile che vi sia un'armonizzazione di valori caratteristici definiti all'interno della UNI EN 338: 2016.

Proprietà	Simbolo	GL20h	GL22h	GL24h	GL26h	GL28h	GL30h	GL32h
Flessione	fm,g,k	20	22	24	26	28	30	32
Trazione	ft,0,g, k	16	17,6	19,2	20,8	22,3	24	25,6
	ft,90,g, k	0,5						
Compressione	fc,0,g, k	20	22	24	26	28	30	32
	fc,90,g, k	2,5						
Taglio	fv,g, k	3,5						
Rototaglio	fr,g, k	1,2						
Modulo di elasticità	E0,g,mean	8400	10500	11500	12100	12600	13600	14200
	E0,g,05	7000	8800	9600	10100	10500	11300	11800
	E90,g,mean	300						
	E90,g,05	250						
Modulo a taglio	Gg,mean	650						
	Gg,05	540						
Modulo a rototaglio	G r,g,mean	65						
	G r,g,05	54						
Densità	ρ g,k	340	370	385	405	425	430	440
	pg,mean	370	410	420	445	460	480	490

Tabella 5.10 - Valori caratteristici per resistenza, rigidezza (N/mm²) e massa volumica (kg/m³): lamellare omogeneo.

Proprietà	Simbolo	GL20h	GL22h	GL24h	GL26h	GL28h	GL30h	GL32h
Flessione	fm,g,k	20	22	24	26	28	30	32
Trazione	ft,0,g, k	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
	ft,90,g, k	0,5						
Compressione	fc,0,g, k	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
	fc,90,g, k	2,5						
Taglio	fv,g, k	3,5						
Rototaglio	fr,g, k	1,2						
Modulo di elasticità	E0,g,mean	10400	10400	11000	12000	12500	13000	13500
	E0,g,05	8600	8600	9100	10000	10400	10800	11200
	E90,g,mean	300						
	E90,g,05	250						
Modulo a taglio	Gg,mean	650						
	Gg,05	540						
Modulo a rototaglio	G r,g,mean	65						
	G r,g,05	54						
Densità	ρ g,k	355	355	365	385	390	390	400
	pg,mean	390	390	400	420	420	430	440

Tabella 5.11 - Valori caratteristici per resistenza, rigidezza (N/mm²) e massa volumica (kg/m³): lamellare composito.

5.4.5.2 Classificazione delle tavole: normativa e procedimento

Come precedentemente riportato la classificazione secondo la resistenza può essere eseguita con metodi a vista o metodi a macchina. In questa sede si vogliono sottolineare le importanti novità introdotte dalla UNI EN 1912: 2012 relativamente la corrispondenza tra classi di resistenza e categorie visuali resistenti. A tal proposito si ricorda che tale documento normativo riporta, per ogni documento nazionale (ad es. UNI 11035-1/-1; DIN 4074-1; NF B 52-001) riconosciuto conforme alla UNI EN 14081-1, l’elenco delle stesse categorie resistenti a cui è possibile attribuire una classe di resistenza riportata nella UNI EN 338.

Sempre in merito all’argomento, si ricorda a tal proposito che la DIN 4074-1 riporta per le seguenti tipologie di assortimento una specifica regola di classificazione:

	spessore “d” e/o altezza “h”	Larghezza “b”
Listello	6 mm ≤ d ≤ 40 mm	b < 80 mm
Tavola	6 mm ≤ d ≤ 40 mm	b ≥ 80 mm
Tavolone	d > 40 mm	b > 3d
Legname squadrato	b ≤ h ≤ 3b	b > 40 mm

Tabella 5.12 – Assortimenti e regole di classificazione definite dalla DIN 4074-1.

Le altre norme nazionali maggiormente diffuse sul territorio nazionale dedicate alla classificazione a vista secondo la resistenza (ad es. UNI 11035-1/2) prendono in considerazione esclusivamente assortimenti sollecitati di bordo, ossia con l’asse maggiore della sezione trasversale parallelo alla sollecitazione.

La UNI EN 1912: 2012 specifica per la prima volta (in allegato A) relativamente alla DIN 4074-1 apposita dicitura, quale: “graded as joist” (ossia “classificato come trave” - traduzione letterale “classificato di coltello”) rendendo quindi non più utilizzabile la regola di classificazione dedicata alle tavole per attribuire ad ogni singolo elemento apposito profilo resistente così come definito nella UNI EN 338.

In altri termini tale novità normativa rende altresì cogente la misura del nodo sul bordo in rapporto al lato su cui esso compare, così come indicato all’interno della regola di classificazione dedicata alle travi (elementi sollecitati di “coltello” – si veda per ulteriori chiarimenti Figura 5.4 e Figura 5.5).

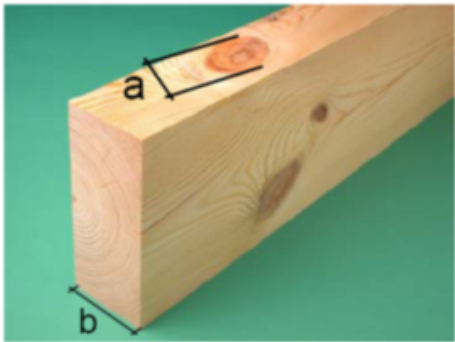
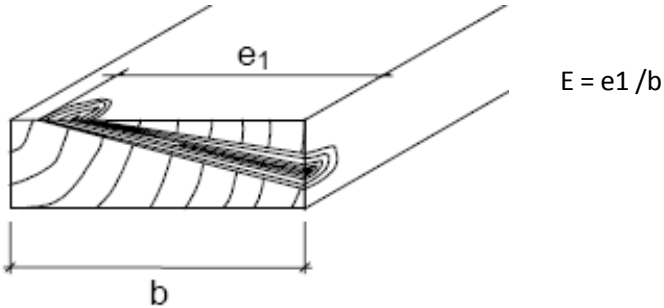


Figura 5.4 – Classificazione legno massiccio – DIN 4074-1 (regola “travi”).

$$A=a/b$$

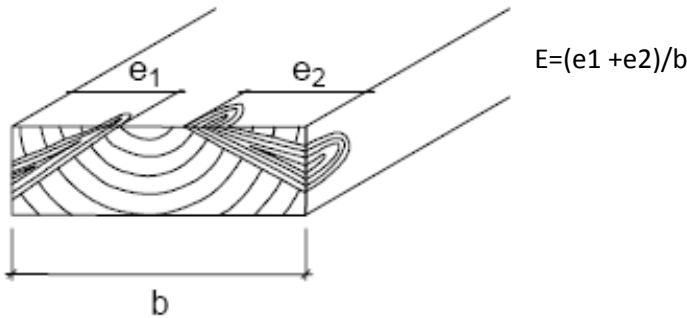
Tolleranze
(nodo singolo regola “travi”)

S7 $A \leq 1/2$
S10 $A \leq 1/3$
S13 $A \leq 1/5$



Tolleranze
(nodo singolo regola “tavole”)

S7 $E \leq 1/2$
S10 $E \leq 1/3$
S13 $E \leq 1/5$



Tolleranze
(nodo singolo regola “tavole”)

S7 $E \leq 1/2$
S10 $E \leq 1/3$
S13 $E \leq 1/5$

Figura 5.5 – Classificazione legno massiccio – DIN 4074-1 (regola “tavole”).

Come si può facilmente intuire, procedere alla classificazione delle tavole con la regola predisposta per gli elementi sollecitati di bordo (“di coltello”) risulta una soluzione non praticabile in senso pratico causa l’alto numero di elementi scartati (alla luce delle tolleranze previste dalla stessa regola di classificazione).

Al fine di continuare a classificare secondo la regola predisposta per le “tavole” un produttore dovrà quindi essere in possesso di apposito rapporto di prova redatto in conformità alla UNI EN 384. Tale possibilità è infatti prevista all’interno della UNI EN 14081-1 al p.to 5.2.2 di cui si riporta per completezza estratto:

“If the grade and species have been assigned to a strength class by EN 1912, the characteristic values for the properties shall be those given for the assigned strength class in EN 338; otherwise they are determined in accordance with EN 384”.

Tale caratterizzazione meccanica dovrebbe mirare alla determinazione di quei parametri caratteristici delle lamelle che influenzano maggiormente le proprietà meccaniche del legno lamellare. In base allo stato attuale della ricerca si tratta principalmente della resistenza a “trazione” e del modulo elastico E. Si tratta quindi di procedere ad identificare classi di resistenza a trazione (che sono identificate in normativa con la lettera “T” all’interno della UNI EN 338 e in tab. 1 della UNI EN 14080) in aggiunta alle attuali classi a flessione (identificate con la lettera “C” per le conifere e “D” per le latifoglie).

Un’ultima considerazione relativamente al tema della classificazione delle lamelle, deve essere dedicata alle prospettive offerte dalle macchine dedicate a tale operazione di selezione. Da questo punto di vista, considerate le rese e la valorizzazione che tali strumenti di lavoro permettono di ottenere in sede di produzione, una macchina di classificazione deve essere considerato come il prossimo obiettivo per tutti i produttori di legno lamellare che vogliono immettere sul mercato elementi finiti con profili meccanici attribuibili alle classi di resistenza più alte e ad elevato valore aggiunto e aumentare le rese di produzione.

⁶ Si ricorda che la EN 1912 è attualmente in fase di revisione in ambito CEN e la stessa riporterà ulteriori novità in merito ai criteri con cui sono state associate a tipi di legno classi di resistenza sulla sola esperienza tecnico-professionale e quindi in assenza di una caratterizzazione fisico-meccanica svolta in conformità secondo la EN 384

5.4.5.3 Controllo della fase di incollaggio: giunto a dita e linea di colla

Oltre che dalle proprietà delle lamelle, la resistenza degli elementi in legno lamellare incollato è influenzata anche dal giunto di testa delle lamelle ("finger joint"). Soltanto grazie al giunto a pettine è possibile la produzione di una "lamella continua" e quindi dell'elemento finito. I giunti di testa delle singole lamelle, (giunto a pettine – finger joint), deve essere realizzato osservando determinate limitazioni date dall'allegato I della UNI EN 14080: 2013.

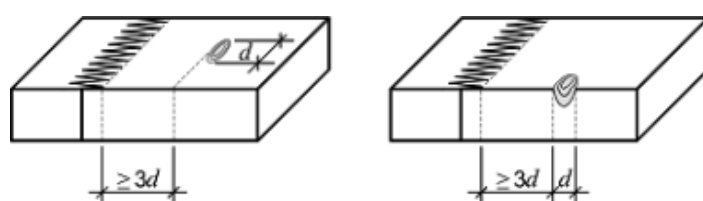


Figura 5.6 – Nodo – Giunto (allegato I – UNI EN 14080).

Da un punto di vista tecnico, ciò che diviene importante per la tenuta del giunto in relazione alla classe di resistenza prodotta del legno lamellare, è un controllo dell'inclinazione della fibratura nell'intorno del finger joint stesso, come altresì riportato all'interno della stessa norma:

"Knots with a diameter smaller than 6mm may be disregarded". Nodi di diametro inferiore a 6mm non devono essere considerati.

"There shall be no knots or pronounced grain disturbance within the joint itself". Non devono esserci nodi o disturbi pronunciati della fibratura all'interno del giunto.

La norma EN14080:2013 prescrive una distanza minima fra nodo e giunto che garantisce l'assenza di disturbo della fibratura causato dal nodo; per una maggiore chiarezza circa l'argomento (distanza nodo -giunto) e visto gli attuali processi di revisione della stessa EN 14080: 2013 che porteranno ad un progressivo allineamento dei contenuti della stessa EN 14080 con quanto indicato dalla prEN 16351 (prossima norma per il CLT) si riporta il seguente testo (si veda per approfondimenti l'Allegato G della prEN 16351): "Outside the joint the distance between a knot and the end of the cross-cut timber shall be not less than $(l_j + 3d)$, where l_j is the finger joint length, see Figure G.3, unless the distance in every board is measured and it is documented by testing that an adequate strength of the finger joints is achieved with a smaller minimum distance. In the latter case, the end of the cross-cut shall be not less than $1,5d$."

(Traduzione: Al di fuori del giunto, la distanza tra il nodo e la base della sezione oggetto di taglio trasversale non deve essere inferiore a $(l_j + 3d)$, dove l_j è la lunghezza dei diti del giunto (...), a meno che la distanza (tra nodo e giunto) non sia misurata in ciascuna tavola e sia documentata una adeguata resistenza con tolleranze inferiori rispetto a quelle sopra menzionate. In ogni modo, la distanza tra il taglio trasversale non deve essere inferiore a $1,5d$)

Inoltre la stessa prEN 16351 aggiunge quanto di seguito:

"In the range of the finger joints the grain orientation shall be parallel to the longitudinal direction. If timber pieces are cross-cut, this general requirement is deemed to be satisfied, if the distance between the cross-cut and the nearest knot is not less than $3d$ ".

(Traduzione: nell'intorno del nodo a pettine, l'orientamento della fibratura deve essere pressoché parallelo all'asse longitudinale dell'elemento. Se il pezzo di legno considerato è quello scartato, si può affermare che generalmente il presente requisito può essere considerato soddisfatto, se la distanza tra la troncatura della tavole e il nodo più vicino non è più piccola di $3d$).

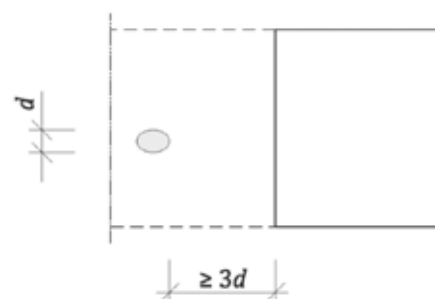
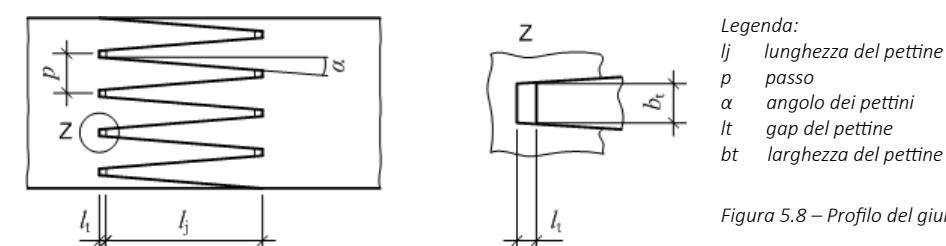


Figura 5.7 – Allegato G prEN 16351 – Distanza nodo e taglio di troncatura della tavola.

Si fa notare che i termini di distanza tra nodo e giunto, prevedono la possibilità, qualora il produttore voglia individuare tolleranze inferiori ai $3d$ fra il giunto a dita e il nodo di dimostrare attraverso opportune prove distruttive la resistenza del giunto medesimo in rapporto ai valori dichiarati.

Dello stesso avviso anche le Istruzioni CNR DT 206-R1/2018 che al § 15.2.1.1 "Controlli sul legno e sui materiali a base di legno" affermano: "possono essere ammesse distanze minori qualora la fibratura in prossimità del giunto a dita della faccia a vista ritorni ad avere un andamento pressoché parallelo all'asse longitudinale della tavola. Sono da evitare giunti aventi dita rotte o parzialmente compromesse; tali difetti possono essere tollerati se limitati anche in considerazione della larghezza dell'elemento". Pertanto le rigide regole sopra indicate possono essere interpretate con il buon senso dettato dalle Istruzioni CNR.

A seconda della classe di resistenza del legno lamellare, il giunto a pettine deve raggiungere valori di resistenza fissati dagli standard di riferimento. Le potenzialità di tale giunzione dipendono prevalentemente dalle caratteristiche geometriche dei denti e dalla qualità della produzione, che a sua volta dipende dagli impianti di produzione. La lamella continua così realizzata presenta, in base alla specie legnosa utilizzata e al tipo d'impiego previsto, uno spessore massimo finale di 45 mm. I criteri di prova al fine di definire la conformità del giunto sono indicati all'interno della UNI EN 408. Nella Figura 5.8 si riporta esempio di profilo del giunto a dita.



Legenda:
 l_j lunghezza del pettine
 p passo
 α angolo dei pettini
 l_t gap del pettine
 bt larghezza del pettine

Figura 5.8 – Profilo del giunto a pettine

Oltre che la qualità del giunto di testa devono essere effettuate anche verifiche relativamente i piani di incollaggio.

In particolare:

- Per gli elementi prodotti per le classi di servizio 1 e 2 si esegua una prova a taglio sulla linea di colla;
- Per gli elementi prodotti per la classe di servizio 3 si prevede (oltre naturalmente la prova di rottura del finger joint) anche prove di delaminazione

In relazione all'argomento e in via semplicistica, le prove che vengono svolte in stabilimento sono eseguite ogni 20 m³ di produzione e lo stesso fabbricante è tenuto ad archiviare i risultati su di un registro in funzione (ad es.) al numero di pressata eseguito.

Infine, per quanto concerne la posizione delle lamelle all'interno del pacchetto finito, si deve tener conto del fatto che la parte "destra" della tavola (quella più vicina al midollo) deve trovarsi sempre dallo stesso lato. Nel legno lamellare destinato alla classe di servizio 3, entrambe le lamelle esterne devono avere la parte "destra" rivolta verso l'esterno (vedi Figura 5.9):



Figura 5.9 – Orientamento lamelle –
 configurazione a) per la classe di servizio 1, 2 & 3;
 configurazione b) per le classi di servizio 1 e 2

5.4.6 ELEMENTI DI LEGNO MASSICCIO GIUNTATI (“DUO / TRIO”)

Con l'introduzione della UNI EN 14080:2013 nel panorama normativo italiano e comunitario, si includono gli elementi “DUO/TRIO” (definiti come al § 5.2 della stessa UNI EN 14080:2013 come “glued solid timber”), ossia assortimenti costituiti da da 2 / 5 lamelle (aventi la stessa classe di resistenza) con andamento della fibratura pressoché parallelo e uno spessore delle tavole compreso tra 45 mm fino a 85 mm (incluso).

La stessa nuova norma armonizzata di cui sopra prevede l'utilizzo degli stessi assortimenti sollecitati di bordo o in alternativa di piatto. Agli elementi finiti è possibile attribuire una classe di resistenza in conformità a quanto previsto all'interno della UNI EN 338.

Tale norma, similmente a quanto previsto per il legno lamellare, specifica i requisiti relativamente a:

Legno e specie potenzialmente utilizzabili:

Spruce (Picea abies, PCAB), Fir (Abies alba, ABAL), Scots pine redwood (Pinus sylvestris, PNSY), Douglas fir (Pseudotsuga menziesii, PSMN), Western Hemlock (Tsuga heterophylla, TSHT), Corsican pine and Austrian black pine (Pinus nigra, PNNL), European larch (Larix decidua, LADC), Siberian larch (Larix sibirica, LASI), Dahurian larch (Larix gmelinii (Rupr.) Kuzen.), Maritime pine (Pinus pinaster, PNP), Poplar (Applicable clones: Populus x euramericana cv “Robusta”, “Dorskamp”, “I214” and “I4551”, POAL), Radiata- Pine (Pinus radiata, PNRD), Sitka-spruce (Picea sitchensis, PCST), Southern Yellow pine (Pinus palustris, PNPL), Western Red Cedar (Thuja plicata, THPL), Yellow Cedar (Chamaecyparis nootkatensis, CHNT).

Modalità di produzione del giunto: per cui valgono le medesime considerazioni riportate nei pertinenti paragrafi dedicati al legno lamellare. A tal proposito, a titolo di completezza, si riporta le seguenti specifiche di produzione:

- Le tavole devono avere un'umidità compresa tra l'8% e il 18%
- Al momento della realizzazione del giunto, la temperatura del legno non deve essere minore di 15°C
- L'adesivo deve essere applicato alle entrambe le estremità dell'elemento per una lunghezza minima pari a ¼ della lunghezza del dito
- I giunti devono essere incollati entro e non oltre 24 h dopo il taglio. Al momento dell'incollaggio, l'operatore deve assicurare la pulizia delle superfici.
- Nella realizzazione del giunto devono essere rispettate le prescrizioni in merito a: miscelatura, applicazione, tempo aperto e tempo chiuso, tempo di indurimento...
- Non deve essere eseguita nessuna ulteriore lavorazione prima dell'avvenuta reticolazione dell'adesivo. La pressione finale deve essere applicata al giunto per almeno 2 s .
- Adesivi: come per il legno lamellare incollato, questi devono risultare conformi a:
- UNI EN 301: relativamente ad adesivi fenolici e amminoplastici
- UNI EN 15425: relativamente ad adesivi poliuretanici o isocianatici
- Controlli di produzione in fabbrica: si prevedono i controlli così come descritto all'interno dei pertinenti paragrafi dedicati al legno lamellare (si vedano i temi classificazione delle tavole e incollaggio).

⁹Alcuni adesivi permettono un'umidità massima pari al 25%

¹⁰Nota: per la maggior parte delle conifere, una pressione finale compresa tra 2 N/mm² a 5 N/mm² è sufficiente per giunti a dita di lunghezza maggiore di 25 mm; per giunti a dita di lunghezza inferiore è necessaria una pressione compresa tra 5 e 10 N/mm²

5.4.7 ELEMENTI IN LEGNO MASSICCIO A TUTTA SEZIONE (KVH)

Per tali elementi, la marcatura CE oggi risulta cogente, così come definito all'interno della UNI EN 15497. Di seguito è in via sintetica si riportano le principali caratteristiche:

- I presenti assortimenti possono essere impiegati esclusivamente nelle classi di servizio 1 e 2;
- La lunghezza delle dita dei giunti deve essere minimo 45 mm.

Inoltre, relativamente le condizioni di produzione, si riporta quanto segue:

- Gli elementi da giuntare devono avere una temperatura maggiore della temperatura minima prescritta all'interno della scheda tecnica dell'adesivo;
- L'umidità dei singoli elementi deve essere minore del 15%;
- La pressione di serraggio deve essere in linea con quanto definito dal produttore dell'adesivo ma comunque (in nessun caso) deve essere minore di 0,3 MPa per un'area della sezione trasversale maggiore di 0,35 m² e di 0,5 MPa per un'area minore di 0,0125 m². Per valori intermedi deve essere fatta un'interpolazione lineare;
- La temperatura durante l'indurimento deve essere pari a 18°C (e comunque in linea con quanto prescritto dal fabbricante);
- Il giunto a dita a tutta sezione non deve essere sottoposto a carichi prima che siano trascorse 72h

5.4.8 COMPENSATO DI TAVOLE (CLT – CROSS LAMINATED TIMBER)

A partire dagli anni 90, l'edilizia in legno ha avuto una rapida evoluzione: da un utilizzo del materiale per la realizzazione di soli solai e coperture, si è cominciato anche nel nostro Paese ad utilizzare lo stesso materiale nelle tre dimensioni nello spazio.

Tale rapida diffusione di sistemi costruttivi in legno è dovuta anche dall'introduzione nel comparto edile di un nuovo materiale: il compensato di tavole (CLT).

Relativamente a questo prodotto, le dimensioni lungo entrambi gli assi principali (che variano a seconda dei produttori) sono di gran lunga maggiori dello spessore del pannello. Gli elementi portanti di compensato di tavole assumono, in base alle condizioni di carico, funzione di lastre (per le pareti) e/o di piastre (per i solai). In generale, il vantaggio principale del sistema è la capacità di auto-controventarsi grazie al comportamento scatolare dell'edificio finito.

Per quanto riguarda la situazione normativa e in particolare quella dedicata alla certificazione di prodotto, i pannelli CLT circolano sul territorio nazionale coperti da marcatura CE in accordo a specifici ETA o (in alternativa) tramite Valutazione Tecnica rilasciata dal Servizio Tecnico Centrale (CVT – Certificato di Valutazione Tecnica).

A fianco degli iter di certificazione descritti precedentemente, uno specifico gruppo di lavoro CEN (WG3/TC124), ha ultimato recentemente la redazione di norma armonizzata (prEN 16351) dedicata all'ottenimento della marcatura CE (a seguito di un lungo e quantomai complesso iter di concertazione dei contenuti con la stessa Commissione Europea). Tale standard di prodotto andrà sicuramente a sostituirsi in un prossimo futuro alle approvazioni tecniche rilasciate sia a livello italiano che europeo, quali CVT o ETA.

A tal riguardo si segnala una importante (quanto discutibile) decisione di tale gruppo di lavoro. Nella definizione del prodotto (nella prEN 16351) saranno altresì compresi tutti quei pannelli aventi almeno tre strati incollati (disposti ortogonalmente tra di loro), costituiti da tavole di legno (di spessore compreso tra 6 mm e 45 mm) o (in alternativa) da pannelli a base di legno (LVL; SWP “solid wood panel”; pannelli di compensato).

Inoltre, la stessa definizione ammette elementi non simmetrici rispetto allo strato di mezzera del pannello stesso.

All'interno della sopra menzionata prEN 16351 è previsto inoltre l'iter certificativo dedicato a pannelli CLT giuntati a tutta sezione (come mostrato in Figura 5.10):



Figura 5.10 – Pannello CLT -
Giunto a tutta sezione

La complessità normativa della futura norma armonizzata riflette (in modo evidente) la storia che la certificazione di prodotto ha avuto nell'ultimo decennio: l'eterogeneità dei metodi di indagine descritti all'interno degli ETA sembra infatti trovare corrispondenza nelle sperimentazioni suggerite dalla prEN 16351.

Allo stesso tempo, l'introduzione di una norma armonizzata dedicata a tale prodotto (qualora approvata dai rispettivi paesi membri) sicuramente comporterà una maggior trasparenza sul mercato rendendo espliciti (al contrario degli attuali ETA) i relativi controlli di produzione da attuarsi in stabilimento.

5.4.8.1 Pannelli CLT: cenni di caratterizzazione fisico-meccanica

Sia gli ETA che la stessa prEN 16351, al fine di procedere a definire le caratteristiche meccaniche del prodotto prevedono due alternative, riportate di seguito:

- Una caratterizzazione ottenuta tramite prove
- Una caratterizzazione legata alle proprietà delle tavole (geometria, specie, classe di resistenza ...) che compongono lo stesso pannello

La caratterizzazione tramite prova vuol portare il produttore a definire un profilo specifico del pannello in modo da dare al progettista tutte le informazioni necessarie al fine di dimensionare opportunamente gli elementi in funzione delle forze e momenti in gioco.

Giova in ultimo riportare quanto previsto dalle Linee Guida dedicate ai prodotti innovativi in legno pubblicate dal CSLP (e scaricabili gratuitamente dal sito www.csplp.it) in merito all'ottenimento del Certificato di Valutazione Tecnica dedicato ai pannelli CLT. Sarebbe opportuno – per tale strumento normativo e qualora la Norma Armonizzata EN 16351 tardasse ancora nella pubblicazione in Gazzetta Ufficiale Europea – disporre un iter di revisione (molti infatti dei riferimenti richiamati risultano essere obsoleti).

5.4.9 I SISTEMI COSTRUTTIVI: UNA VALUTAZIONE TECNICA EUROPEA?

Innanzitutto, al fine di chiarire l'argomento, va ribadito l'orientamento che vuole l'attivazione dell'ETA (Valutazione Tecnica Europea) “a richiesta del fabbricante”, così che, se il produttore non richiede l'ETA, non potrà parlarsi di alcuna obbligatorietà con riguardo a quella produzione. In altre parole non può parlarsi di obbligo quando la procedura è ad iniziativa del soggetto interessato, ovvero attivabile a sua richiesta.

Conseguentemente, più che di obbligatorietà è meglio parlare di opportunità desumibili dall'ETA. Ancor di più per quanto relativo alle NTC 2018. Tali norme al p.to C del § 11.1 prevedono il ricorso alla definizione della conformità secondo la Valutazione Tecnica Europea (in alternativa alla Certificazione di Idoneità Tecnica all'Impiego) qualora non siano applicabili le disposizioni contenute nei punti A) e B) del medesimo paragrafo.

A tal proposito può essere utile richiamare il parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 13/2014 dove si definiscono – in sintesi – le seguenti casistiche:

a. “tecnologia costruttiva” si intende l'utilizzo di elementi strutturali qualificati secondo le disposizioni previste al par. 11.1 (p.ti a, b, c), dimensionati secondo i metodi della Scienza delle Costruzioni sulla base delle formulazioni contenute nelle NTC 2018 da professionista abilitato che si assume la responsabilità delle calcolazioni effettuate e del rispetto dei requisiti di sicurezza strutturale e (laddove applicabile) di resistenza al fuoco dell'opera. Lo stesso progetto deve essere depositato presso gli uffici competenti (quali ad es. Comune, Genio Civile ecc) così come definito all'interno della legislazione nazionale.

b. Per “sistema costruttivo” (vedi “kit” – ETAG 007) si deve intendere un insieme di prodotti che costituiscono un'opera di ingegneria oggetto di prefabbricazione, dimensionamento e produzione in serie. In questo caso, la progettazione e il relativo dimensionamento dell'intera opera non avvengono più considerando i singoli prodotti, bensì prendendo come riferimento i profili meccanici potenzialmente attribuibili ai manufatti indicati nella Valutazione Tecnica Europea. Gli stessi profili meccanici degli elementi prefabbricati sono derivati attraverso metodi di prova e verifica così come stabilito all'interno delle specifiche tecniche applicabili e dal TAB (“Technical Assessment Body”) di riferimento. Ad esempio di una parete prefabbricata coperta da ETA il Fabbricante non è tenuto a dichiarare le prestazioni e le dimensioni dei singoli elementi che la costituiscono ma le prestazioni fisiche e meccaniche della intera parete chiusa.

5.5 DENUNCIA DI ATTIVITÀ COME CENTRO DI LAVORAZIONE

I centri di lavorazione ("trasformazione") nei quali viene effettuata la lavorazione degli elementi base per dare loro la configurazione finale in opera (intagli, forature, applicazione di piastre metalliche, etc) devono documentare la loro attività al Servizio Tecnico Centrale, il quale, ultimata favorevolmente l'istruttoria, rilascia un Attestato di denuncia di attività recante il riferimento alla ditta, allo stabilimento, al marchio. Circa quest'ultimo aspetto, si precisa che ogni Centro di lavorazione deve depositare presso il Servizio Tecnico Centrale il disegno del proprio marchio, che deve essere impresso in modo permanente (anche mediante etichettatura etc.) su ogni elemento lavorato. Tali modalità di "denuncia di attività" sono indicate all'interno del par. 11.7.10.1 e prevedono che tale qualificazione sussista sia nel caso di lavorazioni di prodotti oggetto di qualificazione nazionale che di marcatura CE.

Per completezza si riporta come la stessa Nota di Chiarimenti n. 3187 del 21 Marzo 2018 del Consiglio Superiore, recante "Prima Applicazione del DM 17.01.18, riportante l'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni alle procedure autorizzative e di qualificazione del Servizio Tecnico Centrale" riporta altresì al par. 2.8 "Qualificazione di elementi strutturali e sistemi costruttivi in legno massiccio, legno lamellare e pannelli a base di legno" quanto di seguito:

"Obbligo della Denuncia attività come centri di lavorazione: il §11.7.10.1 delle NTC 2018 indica chiaramente che i Produttori di elementi in legno marcati CE (sulla base ad es. delle EN 14080 o delle EN 14081), qualora nei propri stabilimenti effettuino le lavorazioni tipiche dei centri di lavorazione, devono denunciare questa attività al STC, per ottenere il conseguente Attestato. I medesimi obblighi sono posti in capo alle ditte straniere dotate di marcatura CE."

Allo stesso modo il Parere della Prima Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 56/2012 avente come oggetto "Quesito in merito all'obbligatorietà della denuncia attività come centro di lavorazione (NTC2008)" riporta il seguente considerato:

"La sezione, con riferimento alle disposizioni del par. 11.7.10 delle NTC 2008 (...), rileva che gli stabilimenti dove si produce il legno base e si effettuano altresì le lavorazioni per ottenere elementi strutturali pronti per l'uso deve possedere sia la marcatura CE di cui alle relative norme armonizzate (...) sia l'attestato di Denuncia Attività rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale. A tal riguardo si osserva che, per quanto concerne la qualità del prodotto finito, nel caso si tratti di Centro di Lavorazione, non è sufficiente possedere la marcatura CE del prodotto base o acquistare un prodotto base marcato CE, ma bisogna dimostrare con procedure operative e documentazione adeguata non solo la tracciabilità del prodotto ma anche la corretta esecuzione delle specifiche lavorazioni richieste del committente (...). Inoltre sotto il profilo normativo – fatti salvi i principi comunitari di cui il vigente Regolamento UE n. 305/2011 (...) – si rileva che tale dettato (...) risulta estremamente chiaro riguardo alle necessità del possesso della doppia attestazione (marcatura CE e attestato di Denuncia Attività) e pertanto non dà adito a dubbi interpretativi, né consente deroghe o disapplicazioni."

5.6 LA FIGURA DEL CARPENTIERE: UNI 11742

Anche se non strettamente pertinente ai temi affrontati all'interno del presente capitolo, sembra opportuno accennare alla norma dedicata a regolamentare la professione del Carpentiere.

Infatti in un contesto edile dove si registra un crescente interesse per l'edilizia in legno, sia residenziale che non residenziale, diviene importante per il settore industriale arrivare a definire un sistema normativo che possa essere effettivamente di supporto verso un'edilizia di qualità e che sappia allo stesso modo rispondere alle esigenze sia di una committenza privata che pubblica, sempre più attenta ai temi di sostenibilità ambientale e sicurezza strutturale.

Basta evidenziare che la quota delle nuove abitazioni in legno (esclusi ampliamenti) rappresentano nel biennio 2016-2017 circa il 7% del totale costruito, mentre tale percentuale nel 2014 si attestava nell'intorno del 6% (fonte: 3° Rapporto case ed Edifici in legno – Centro studi FederlegnoArredo Eventi SpA).

È inoltre chiaro che tutti gli elementi strutturali debbano essere vincolati tra loro, in linea con le richieste progettuali, al fine di realizzare opere corrette all'interno di un territorio, come quello italiano, caratterizzato da rischio sismico.

Ingegneria, ma non solo: quando si procedere alla cantierizzazione di opere con ossatura portante in legno è importante tenere conto delle peculiarità del materiale, che può essere soggetto ad azioni di degrado da parte di agenti (principalmente) biotici (funghi) che possono determinare manutenzioni straordinarie in relazione alla vita nominale prevista.



Figura 5.11 - Edificio realizzato in legno con elementi protetti alla base e rialzati da terra (esempio)



Figura 5.12 - Edificio realizzato in legno con elementi esposti (non protetti) al degrado nella zona di attacco a terra (esempio)

Per cercare quindi di evidenziare l'operato delle aziende specializzate nei lavori di edilizia in legno, Assolegno, ha cercato di definire una norma di riferimento per assicurare che i soggetti che operano in cantiere siano provvisti degli adeguati requisiti di conoscenza, abilità e competenza. A tal proposito, infatti, a Marzo 2019 è stata pubblicata sul catalogo UNI, la norma UNI 11742 "Attività professionali non regolamentate – Carpentiere di elementi e strutture di legno - Requisiti di conoscenza, abilità, competenza".

5.6.1 MAESTRANZE, TUTELA E VALORIZZAZIONE

La legge 4 del 14 gennaio 2013 "Disposizioni in materia di professioni non organizzate" dà piena applicazione al principio di sinergia tra legislazione e normazione tecnica. In particolare, l'articolo 6 "Autoregolamentazione volontaria", pur non rendendo obbligatorio il rispetto delle norme UNI, definisce quei principi e criteri generali che disciplinano l'esercizio dell'attività professionale che la norma tecnica di fatto garantisce.

In via semplicistica, secondo quanto disposto dalla stessa legge sopra richiamata e dalla Norma UNI 11742, il carpentiere, per potersi vedere riconosciuta la propria professionalità, ha la necessità di coinvolgere un Organismo di parte terza che provvede ad accertare per i singoli candidati la sussistenza dei requisiti minimi di conoscenza, abilità e competenza tramite un percorso di esame ad hoc.

Ma quali sono in particolare le figure previste dalla norma? La UNI 11742 identifica due figure di riferimento:

- **Carpentiere generico:** assimilabile ad una figura pratica che sappia leggere disegni esecutivi e contestualmente conosca i principi di base con cui eseguire la posa di materiali “complementari” all’opera strutturale, quali ad es.: guaine impermeabilizzanti, teli traspiranti, pannelli di isolamento ...;
- **Carpentiere specializzato:** tale figura ha il compito di coordinare la squadra (o squadre) di montaggio e di interagire con la direzione lavori e (eventualmente) con il costruttore. Lo stesso carpentiere specializzato può proporre una pianificazione dei lavori e delineare contestualmente – per quanto di sua competenza – soluzioni tecnico-organizzative al fine di favorire una visione multidisciplinare del cantiere.



Figura 5.13 – Attività del carpentiere: posa della guaina impermeabile nell’intorno della canna fumaria

5.6.2 CARPENTIERE GENERICO E CARPENTIERE SPECIALIZZATO: REQUISITI DI ACCESSO

Per poter conseguire i “patentini” di carpentiere generico e carpentiere specializzato la Norma UNI 11742 al par. 6.2 riporta specifici requisiti di accesso:

- Per i carpentieri generici, questi devono dimostrare di aver acquisito almeno qualifica triennale nell’ambito della carpenteria in legno conseguita presso opportuno centro di formazione, o in alternativa, dimostrare di avere almeno quattro anni di pratica professionale presso un’azienda del settore o in conto proprio;
- Per i carpentieri specializzati allo stesso modo è richiesta, in alternativa ad una qualifica triennale nell’ambito della carpenteria in legno conseguita presso opportuno centro di formazione, un’esperienza di pratica professionale di almeno 5 anni presso un’azienda del settore o in conto proprio.

Tali requisiti, concertati all’interno del Gruppo di Lavoro “Legno Strutturale” (Commissione “Legno”), sono stati introdotti al fine di definire una sorta di tutela delle costruzioni in legno che vedono nella formazione (in primis) uno strumento per la crescita per tutta la filiera dell’edilizia in legno.



Figura 5.14 – Metropol Parasol – Siviglia – particolare della struttura LVL

6

I controlli di
accettazione

La prima regola per evitare errori è accettare in cantiere solo materiale conforme alle specifiche tecniche di riferimento e con i requisiti prestazionali definiti in progetto.

Nella presente sezione si vuol quindi fornire una panoramica circa i principali criteri per l'accettazione in cantiere dei materiali alla luce degli adempimenti definiti nel testo delle NTC 2018 e relativa Circolare 2019. A tal proposito, ripercorrendo il paragrafo 11.7, si riportano dei chiarimenti atti ad una implementazione del nuovo normativo in ambito produttivo e professionale.

In relazione ai termini di documentazione accompagnatoria si rimanda agli specifici paragrafi così come indicato nel § 5.4.2 "Documentazione accompagnatoria" della presente pubblicazione.

6.1 IL LEGNO MASSICCIO – CLASSIFICAZIONE CON METODI A VISTA

Il nuovo corpo normativo delle Norme Tecniche per le Costruzioni riporta al par. 11.7.10.2 "Controlli di accettazione in cantiere" la seguente dicitura, riprendendo quanto indicato dalla UNI TR 11499/2013 "Legno strutturale - Linee guida per i controlli di accettazione in cantiere":

"Per gli elementi di legno massiccio, su ogni fornitura, dovrà essere eseguita obbligatoriamente una classificazione visuale in cantiere su almeno il cinque per cento degli elementi costituenti il lotto di fornitura, da confrontare con la classificazione effettuata nello stabilimento"

In relazione al campionamento suggerito dalle NTC 2018 nei termini di controllo di accettazione in cantiere, si consiglia alla Direzione Lavori di dare precedenza agli elementi che costituiscono l'orditura principale della copertura. Allo stesso modo, diviene preferibile agire andando a prelevare e controllare elementi che possano rispondere al criterio di rappresentatività della fornitura stessa.

Sempre in merito all'argomento, si ricorda che le caratteristiche che risultano importanti ai fini di una verifica della classificazione con metodi a vista svolta in stabilimento, sono l'ampiezza dei nodi presenti sul segato e l'inclinazione della fibratura (rimangono comunque da valutare la presenza di anomalie che rendono l'elemento non ad uso strutturale). A tal proposito si riporta in una tabella riassuntiva i limiti di accettazione previsti dalle principali norme adottate sul territorio nazionale (DIN 4074-1/5 & UNI 11035-1/2) dedicate a legno massiccio a profilo rettangolare.

UNI 11035-1/2						
REGOLE	CONIFERE 1			CONIFERE 2		LATIFOGLIE
Categorie	S1	S2	S3	S1	S2/S3	S
Nodi singoli	A ≤1/5 d <50 mm	A ≤2/5 d <70 mm	A ≤3/5	A ≤1/5 d <50 mm	A ≤3/5	A ≤1/2 d ≤70 mm, D ≤150 mm
Nodi raggruppati	Ag ≤2/5	Ag ≤2/3	Ag ≤3/4	Ag ≤2/5	Ag ≤3/4	W ≤1 /2 t ≤70 mm
Incl. fibratura	≤ 1:14	≤ 1:8	≤ 1:6	≤ 1:14	≤ 1:8	≤ 1:6
DIN 4074-1 (CONIFERE)			DIN 4074-5 (LATIFOGLIE)			
Categorie	S7K	S10K	S13K	LS10K		
Nodi singoli	A ≤3/5	A ≤2/5	A ≤1/5	A ≤2/5		
Incl. fibratura	≤ 16%	≤ 12%	≤ 7%	≤ 12%		

Tabella 6.1 – Legno Massiccio – tolleranze nodi e inclinazione della fibratura – Legname a sezione rettangolare (semplificato).

Si consiglia di eseguire il campionamento dando la precedenza agli elementi che costituiscono l'orditura principale dell'orditura, cercando al contempo di prelevare elementi rappresentativi della fornitura.

Per i corretti metodi di misura dei parametri richiamati, si rimanda alla lettura del cap. 3 "Classificazione secondo la resistenza"

Per quanto invece riguarda il legname a sezione irregolare, si riporta la seguente tabella di sintesi per un controllo di accettazione:

DIFETTI	UFS/A(1)
Nodi singoli	$A \leq 2/5$ ($d \leq 70$ mm)
Nodi a gruppi	$Ag \leq 2/3$
Incl. Fibratura	$\leq 12.5\%$
DIFETTI	UFS/A(2)
Nodi singoli	$A \leq 2/5$ ($d \leq 70$ mm)
Nodi a gruppi	$Ag \leq 2/3$
Incl. Fibratura	$\leq 12.5\%$
DIFETTI	UFS/A(3)
Nodi singoli	$A \leq 2/5$ ($d \leq 70$ mm; $D \leq 120$ mm)
Nodi a gruppi	$Ag \leq 1/2$ ($t \leq 70$ mm)
Incl. Fibratura	$\leq 16.5\%$
(1) Tolleranze per elementi di Uso Fiume di Abete & Larice	
(2) Tolleranze per elementi di Uso Fiume di Abete & Larice	
(3) Tolleranze per elementi di Uso Fiume di Castagno	

Tabella 6.2 – Legno Massiccio – tolleranze nodi e inclinazione della fibratura – Legname a sezione irregolare (semplificato).

6.2 LEGNO MASSICCIO: CLASSIFICAZIONE CON METODI A MACCHINA

Ai fini della presente pubblicazione e per fornire alla Direzione Lavori, un utile riferimento per il controllo del materiale in cantiere, si precisa solamente che:

- Per ri-classificare il legno massiccio in ingresso in cantiere non è corretto utilizzare una macchina diversa da quella utilizzata in sede di produzione, ogni settings per le macchine di classificazione, infatti e in termini generici, è oggetto a valutazione da parte del TC124/WG2/TG1, gli stessi settings presentati dai vari produttori di macchine classificatrici non presentano le stesse attribuzioni alle classi di resistenza e le medesime efficienze sebbene siano elaborati tutti in accordo alla UNI EN 14081-2 “Strutture di legno - Legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza - Parte 2: Classificazione a macchina - Requisiti aggiuntivi per le prove iniziali di tipo”;
- Ai fini di una ri-classificazione del legno massiccio per ottemperare ai criteri del testo delle NTC 2018 e così come già definito dalla UNI TR 11499, deve essere fatto riferimento ai criteri aggiuntivi definiti dalla UNI EN 14081-1 in termini di “Visual Override” (Tabella 6.3):

Classe di resistenza UNI EN 338		C18 e inferiori	Superiori a C18
Lunghezza massima ammissibile delle fessurazioni (a)		Le fessurazioni minori della metà dello spessore possono essere ignorate.	
	Fessurazioni non passanti	Non maggiori di 1/5 o ½ della lunghezza del pezzo, scegliendo il valore minore	Non maggiori di 1 m o di ¼ della lunghezza del pezzo, scegliendo il valore minimo.
	Fessure passanti	Non maggiore di 1m o di ¼ della lunghezza del pezzo, scegliendo il valore minimo. Se alle estremità, una lunghezza non maggiore di due volte la larghezza del pezzo.	Ammesse solo in corrispondenza delle estremità con una lunghezza non maggiore della larghezza del pezzo
Massima deformazione ammissibile riferita a 2 m di lunghezza (b)	Arcuatura	20 mm	10 mm
	Falcatura	12 mm	8 mm
	Svergolamento	2/25 mm di larghezza	1/25 mm di larghezza
	Imbarcamento	Senza restrizioni	
Smusso		Lo smusso non è maggiore di un terzo delle dimensioni del bordo e/o della faccia dell'elemento	
Carie soffice e azzurramento (c)		La carie soffice non è ammessa; l'azzurramento è ammesso.	La carie soffice non è ammessa; l'azzurramento non è ammesso.
Danni da insetti		Non è ammessa alcuna infestazione attiva. Non sono ammessi fori della vespa del legno, mentre altri tipi di fori da insetti sono valutati come anomalie	
Anomalie		Nel caso in cui la riduzione della resistenza causata da quel difetto sia manifestatamente minore di quella causata da altri difetti ammessi del presente prospetto, il pezzo può essere accettato purché il difetto sia di tipo tale da non aumentare dopo la lavorazione o l'essiccazione.	
a) La lunghezza delle fessurazioni è collegata all'umidità e di conseguenza i limiti indicati si applicano solo al momento della classificazione.			
b) Poiché la deformazione è collegata all'umidità e di conseguenza i limiti indicati si applicano solo al momento della classificazione.			
c) L'azzurramento dell'alburno non è un difetto strutturale ed è accettabile senza limitazioni			

Tabella 6.3 – Visual Override – classificazione a macchina (UNI EN 14081-1).

6.3 LEGNO LAMELLARE: I CONTROLLI DI ACCETTAZIONE

In relazione all'argomento le NTC 2018, riprendendo quanto già in essere nella UNI TR 11499: 2013 definisce la seguente dicitura:

“Per gli elementi di legno lamellare dovrà essere acquisita la documentazione relativa alla classificazione delle tavole e alle prove meccaniche distruttive svolte obbligatoriamente nello stabilimento di produzione relativamente allo specifico lotto della fornitura in cantiere (prove a rottura sul giunto a pettine e prove di taglio e/o delaminazione sui piani di incollaggio).”

Prima di trattare l'argomento oggetto del presente paragrafo, si riporta per maggior chiarezza una breve analisi della UNI EN 14080: 2013 e relativo EAD 130005-00-0304 (“Solid wood slab element for use as structural element in buildings”) per quanto riguarda i controlli distruttivi che avvengono all'interno dello stabilimento a carico del fabbricante.

Il campionamento in relazione alle prove da condurre sul giunto è regolamentato all'interno dell'interno dell'Allegato E della UNI EN 14080. A tal proposito si riporta per completezza quanto indicato nel paragrafo E.1.2 “For factory production control”: “The specimens taken in a shift shall, as far as possible, be taken evenly distributed in time and shall be representative for the lamination size produced during the shift”

Per quanto invece attiene alla periodicità delle medesime prove, questa è specificata in Tabella 16 “Factory production control for glued laminated products”:

- “At least 3 per shift and line, highest strength class or manufacturer specific strength class and adhesive” (prove sul giunto a dita)
- “for each shift in which gluing is carried out one full cross sectional specimen for each 20 m³ of production or part thereof” (prove di delaminazione)

Quindi il produttore verifica secondo definite periodicità e in funzione della rappresentatività del turno di lavoro i campioni da sottoporre a prova.

Sempre in merito a tale argomento le NTC 2018, si pongono in evidenza i termini “prove meccaniche distruttive svolte obbligatoriamente nello stabilimento”, rendendo chiaro il riferimento a quanto previsto nella stessa UNI EN 14080 per quanto riguarda numero e periodicità delle stesse, senza ulteriori oneri a carico del fabbricante in termini di prove da condurre in stabilimento in riferimento alla fornitura in cantiere. Infine giova ricordare che:

- Per le classi di servizio 1 e 2 la UNI EN 14080 prevede la possibilità di sostituire la prova di delaminazione con prova a taglio della linea di colla in accordo a quanto indicato nell'Annex D della stessa UNI EN 14080;
- La norma UNI EN 14080: 2013 delinea l'obbligo per il fabbricante di registrare le prove che vengono condotte in stabilimento e di conservare tale documentazione per 10 anni (vedi par. 6.3.2.5 “Controls during manufacturing process”);
- L'ente di Certificazione controlla durante gli audit periodici (due volte / anno) che vengano eseguite le prove minime condotte dall'azienda e che le stesse vengano registrate con riportate le informazioni al fine di garantire una corretta tracciabilità (AVCP 1);
- La permanenza della validità del certificato “CE” individua la corretta applicazione delle procedure e delle prove sopramenzionate (sul giunto e sulla linea di colla).

Alla luce del tema sembra altresì utile riportare quanto indicato nelle rispettive CNR DT 206 R1/2018 “Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di legno” (par. 15.2.1.1 – “Controlli sul legno e sui materiali a base di legno”) che conferma quanto indicato nella presente risposta (vedi estratto riportato di seguito) :

“i controlli distruttivi effettuati in stabilimento sono di carattere obbligatorio secondo le periodicità definite dalle specifiche tecniche di riferimento. La permanenza della validità del certificato CE indica

implicitamente la corretta applicazione delle procedure e delle prove sopramenzionate (sul giunto e sulla linea di colla); pertanto in presenza di certificato CE non è necessario da parte della Direzione Lavori l'acquisizione di ulteriori documenti relativi al controllo di produzione (quali ad es. il registro delle prove interne o la documentazione inerente la classificazione delle tavole).”

E' parere della presente Associazione che in presenza di certificato CE non si renderebbe necessario da parte della Direzione Lavori l'acquisizione di ulteriori documenti relativi al controllo di produzione, in quanto già oggetto di verifica da parte del Notified body incaricato al controllo della verifica della costanza della prestazione.

Sempre in merito all'argomento le stesse Norme Tecniche definiscono quanto segue:

“Inoltre, su almeno il 5% del materiale pervenuto in cantiere, deve essere eseguito il controllo della disposizione delle lamelle nella sezione trasversale e la verifica della distanza minima tra giunto e nodo, secondo le disposizioni della UNI EN 14080.”

Per quanto riguarda l'argomento (“disposizione delle lamelle nella sezione trasversale”) – per facilità di lettura e rimandando ad ulteriori approfondimenti al § 5.4.5 “Legno lamellare”, si riportano quindi le seguenti figure:



Figura 6.1 – Disposizione delle lamelle in sezione trasversale: a) per la classe di servizio 3 (EN 1995-1-1); b) per classe di servizio 1 e 2 (EN 1995-1-1). In funzione della classe di servizio la disposizione dell'ultima lamella è rivolta dallo stesso lato (classe di servizio 1 e 2) come da figura b) o in alternativa presenta il midollo dell'ultima tavola rivolto verso il lato opposto come da figura a).

In relazione all'argomento si precisa inoltre che la disposizione delle lamelle è un parametro utile nel bilanciare i processi di ritiro e rigonfiamento che il materiale compie nella ricerca dell'equilibrio igroscopico, in funzione delle condizioni ambientali di riferimento, minimizzando quelli che possono essere gli sforzi a fatica lungo i piani di incollaggio. Tuttavia, tale prescrizione normativa non è di per sé sufficiente a garantire la durabilità dell'opera che comunque deve essere demandata a particolari costruttivi e ad una progettazione atta a minimizzare gli interventi di manutenzione.

In relazione alla “distanza nodo-giunto” si faccia riferimento a quanto scritto al § 5.4.5.3 “Controllo della fase di incollaggio: giunto a dita e linea di colla” considerando che la presenza di un nodo non è da considerarsi un'anomalia di per sé, ma risulta essere un fattore indicativo circa l'orientamento della fibratura in prossimità del giunto considerato.

In altre parole, il nodo può essere considerato un elemento di allarme che non deve però di per sé costituire fattore di valutazione in senso negativo; la Direzione Lavori deve procedere ad accertarsi che l'orientamento della fibratura (tramite opportuni strumenti quali ad es. il graffietto) sia, in prossimità del giunto a dita, “perlopiù” parallela all'asse longitudinale dell'elemento. Tale controllo deve essere eseguito solo qualora la distanza nodo giunto risulti inferiore a 3 d (dove ricordiamo “d” è il diametro del nodo oggetto di attenzione) e per nodi di diametro superiore a 6mm.

Infine, sempre in relazione all'argomento e per completezza si precisa che:

- Nodi aventi diametro inferiore a 6 mm non devono essere considerati.
- Le presenti considerazioni possono essere estese anche ai pannelli in compensato di tavole in quanto EAD 130005-00-0304 (“Solid wood slab element for use as structural element in buildings”) richiama la EN 14080 per quanto attiene i controlli da eseguirsi in stabilimento (vedi tab. 4 “Control Plan for the manufacturer” dell'EAD sopra menzionato).
- Il produttore può dotarsi di particolari procedure (in accordo a quanto indicato nell'Allegato I della UNI EN 14080) al fine di consentire tolleranze minori rispetto a quelle indicate in norma.

¹³ Le NTC 2018 al capitolo 12 affermano: “... a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità: ... Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)”.

¹⁴ Si consiglia di definire un campione rappresentativo delle sezioni fornite. Allo stesso modo si rammenta che il diverso orientamento dell'ultima lamella è dedicato a conferire una maggior stabilità dimensionale agli elementi in legno lamellare posti in classe di servizio 3. Inoltre si precisa che tale disposizione delle lamelle non influenza il comportamento meccanico degli elementi e i relativi valori caratteristici dichiarati dal produttore medesimo all'interno della pertinente DoP.

6.4 ALTRI ELEMENTI GIUNTATI

Le NTC 2018 riportano quanto segue in relazione all'argomento:

“Per gli altri elementi giuntati di cui ai paragrafi 11.7.3 (Legno strutturale con giunti a dita), 11.7.5 (Pannelli a base di legno) ed 11.7.6 (Altri prodotti derivanti dal legno per uso strutturale), dovrà essere acquisita la documentazione relativa alla classificazione del materiale base e alle prove meccaniche previste nella documentazione relativa al controllo di produzione in fabbrica, svolte obbligatoriamente in stabilimento relativamente allo specifico lotto della fornitura in cantiere. Inoltre, su almeno il 5% del materiale pervenuto in cantiere, deve essere eseguito il controllo della disposizione delle lamelle nella sezione trasversale e la verifica della distanza minima tra giunto e nodo, secondo le disposizioni delle specifiche tecniche applicabili.”

Più in particolare:

- Per i pannelli in compensato di tavole (CLT) valgono le stesse considerazioni fatte per il legno lamellare in merito alla classificazione delle tavole, prove distruttive e distanza nodo giunto;
- Legno massiccio incollato (“Duo/Trio”) e legno massiccio incollato a tutta sezione (“KVH”): anche in questo caso per i controlli di accettazione si potrà far riferimento per quanto applicabile al legno lamellare;

6.5 CONTROLLI GEOMETRICI E DI UMIDITÀ

In aggiunta a quanto sin ora definito le NTC 2018 riportano:

“Infine, su almeno il 5% degli elementi di legno lamellare e degli elementi giuntati di cui ai paragrafi 11.7.3, 11.7.5 ed 11.7.6 forniti in cantiere, deve essere eseguito il controllo dello scostamento dalla configurazione geometrica teorica secondo le tolleranze di cui al § 4.4.”

A tal proposito il par. 4.4 definisce quanto di seguito:

“Per tutte le membrature per le quali sia significativo il problema della instabilità, lo scostamento dalla configurazione geometrica teorica non dovrà superare 1/500 della distanza tra due vincoli successivi, nel caso di elementi lamellari incollati, e 1/300 della medesima distanza, nel caso di elementi di legno massiccio.”

In relazione a tale aspetto ci permettiamo di aggiungere che tale considerazione:

- Non si riferisce a tutti gli elementi in legno lamellare o massiccio, ma solo per quelli per i quali “sia significativo il problema della instabilità” (ad es. travi snelle in cui l'altezza supera 4 volte la base o pilastri)
- più che un criterio di accettazione, sembra riferirsi a delle regole pratiche di esecuzione.

In relazione ai termini di controllo dell'umidità, la Circolare 2019 riporta quanto di seguito:

“In relazione ad elementi lineari o planari che devono essere incorporati in pacchetti costruttivi atti a definire la stratigrafia di strutture opache orizzontali, verticali e coperture assemblate in situ, non ventilati, il Direttore Lavori è opportuno che provveda ad assicurarsi che l'umidità degli elementi portanti al momento della chiusura della stratigrafia interessata sia inferiore o uguale al 18%. Tale controllo dovrà interessare almeno il 10% del materiale strutturale fornito ed essere uniformemente distribuito su tutta la fornitura messa in opera”

Quindi le NTC 2018 prevedono a carico della Direzione Lavori, per strutture opache assemblate in situ (ossia in cantiere) non ventilate, il controllo dell'umidità degli elementi portanti affinché non si generino (a seguito della chiusura di tali pacchetti) situazioni favorevoli allo sviluppo di agenti biotici di degrado (funghi) e quindi a marcescenze con conseguenti problemi di durabilità dell'opera.

6.6 ELEMENTI MECCANICI DI COLLEGAMENTO

La concezione dei collegamenti nei sistemi costruttivi a pannelli (siano essi pannelli XLAM oppure pannelli intelaiaati) è un elemento fondamentale nella progettazione strutturale dell'intero edificio. Il numero, la disposizione e il dettaglio costruttivo dei sistemi di collegamento influenzano infatti il comportamento dell'intero edificio in termini di resistenza, rigidità, duttilità e robustezza strutturale. A tal proposito le NTC 2018 prevedono il seguente controllo, assumendo una tolleranza massima sulle distanze indicate in sede di progetto pari al 5%. Di seguito si riporta relativa dicitura:

“In relazione ai collegamenti il Direttore Lavori dovrà assicurarsi che le distanze degli elementi di collegamento (dai bordi o dalle estremità degli elementi lignei, e gli interassi tra i medesimi elementi), siano quelle indicate nel progetto. Può essere prevista una tolleranza sulle distanze indicate in sede di progetto al massimo pari al 5%.”

Le NTC 2018 riportano inoltre il seguente passaggio:

“Per gli elementi meccanici di collegamento di cui al § 11.7.8, in fase di accettazione in cantiere, il Direttore dei lavori verifica la prevista documentazione di qualificazione, la corrispondenza dimensionale, geometrica e prestazionale a quanto previsto in progetto, ed acquisisce i risultati delle prove meccaniche previste nelle procedure di controllo di produzione in fabbrica. Il Direttore dei lavori effettua, altresì, prove meccaniche di accettazione in ragione della criticità, della differenziazione e numerosità degli elementi di collegamento.”

Ai fini di chiarire l'argomento è indispensabile riportare ulteriori specifiche date dalla Circolare 2019 per la direzione lavori:

“Per gli elementi meccanici di collegamento all'interno delle zone dichiarate quali dissipative, secondo quanto indicato nel paragrafo 7.7.1, qualora non ne sia definito il comportamento a carichi ciclici secondo le specifiche tecniche applicabili, il Direttore Lavori esegue prove meccaniche di accettazione in ragione della criticità, della differenziazione e numerosità, come altresì riportato nel par. 11.7.10.2.”

Quindi un “collegamento critico”; è da assimilarsi ad un collegamento posto in una zona considerata a “comportamento dissipativo” (ossia quelle zone entro le quali occorre prevedere che gli elementi strutturali a comportamento plastico raggiungano lo stato post-elastico quando gli elementi a comportamento fragile sono ancora in fase elastica e ben lontani dal raggiungimento della rottura). Le zone dissipative devono essere quindi indicate in sede progettuale (qualora naturalmente il progettista adotti un fattore di comportamento $q_0 > 1.5$) come quelle zone entro le quali la struttura dissipa energia, deformandosi. Entro tali zone considerate dissipative possono essere utilizzati solamente materiali e mezzi di unione che garantiscono un adeguato comportamento di tipo oligociclico (così come definito nel pertinente paragrafo 7.7.2 delle NTC 2018).

In particolare, il par. 7.7.2 delle medesime norme riporta, in relazione ai mezzi di unione meccanici, quanto di seguito: *“I mezzi di unione meccanici devono soddisfare i seguenti requisiti:*

- a) i connettori a gambo cilindrico devono essere conformi ai requisiti di cui al § 11.7.8 delle presenti norme;*
- b) gli elementi di carpenteria metallica, realizzati in composizione anche saldata, devono rispettare le prescrizioni riportate nella presente normativa relativamente alle costruzioni di acciaio.”*

In via semplicistica si ricorda che i connettori a gambo cilindrico devono risultare conformi alla UNI EN 14592 (“Strutture di legno - Elementi di collegamento di forma cilindrica – Requisiti”) e recare opportuna marcatura CE (obbligatoria dal 01/07/2013). Tale standard di prodotto, attualmente in fase revisione nel pertinente gruppo di lavoro europeo, riporterà una specifica procedura di prova dedicata a verificare il comportamento sotto carichi ciclici degli elementi metallici a gambo cilindrico. Ai fini di tale caratterizzazione, già oggi molti produttori di carpenteria metallica stanno procedendo a “testare” i propri elementi a gambo cilindrico secondo tali prove a fatica oligociclica.

Quindi:

- Qualora il produttore abbia già realizzato una campagna prova al fine di definire il comportamento oligociclico dei propri connettori a gambo cilindrico (in conformità con quanto indicato dalla prossima edizione della EN 14592), è parere della scrivente Associazione che non risulta necessario prevedere ulteriori prove di accettazione in quanto si andrebbe semplicemente a ripetere quanto già svolto in sede di controllo della produzione;
- Qualora invece il produttore non avesse proceduto a caratterizzare il comportamento oligociclico i propri connettori a gambo cilindrico e allo stesso modo la struttura sia stata progettata per accedere alle riserve anelastiche del sistema (comportamento strutturale dissipativo), il Direttore Lavori deve procedere per i collegamenti a gambo cilindrico ad una implementazione dei controlli secondo le modalità di prova indicate dalla medesima EN 14592.

6.7 PROVE COMPLEMENTARI DI ACCETTAZIONE

Al termine del paragrafo 11.7.10.2 “Controlli di Accettazione in Cantiere”, le NTC 2018 individuano i casi entro cui è necessario approfondire le caratteristiche dichiarate dalla documentazione accompagnatoria attraverso prove di carattere distruttivo e non distruttivo. In particolare, il testo riporta la seguente dicitura: *“Nei casi in cui non siano soddisfatti i controlli di accettazione, oppure sorgano dubbi sulla qualità e rispondenza dei materiali o dei prodotti a quanto dichiarato, oppure qualora si tratti di elementi lavorati in situ, oppure non si abbiano a disposizione le prove condotte in stabilimento relative al singolo lotto di produzione, si deve procedere ad una valutazione delle caratteristiche prestazionali degli elementi attraverso una serie di prove distruttive e non distruttive (...)”*

Quindi alla luce di quanto indicato all’interno del testo le prove “complementari” all’accettazione del materiale in cantiere, sono da verificarsi solo in particolari casi, ossia schematizzando:

- Nel caso di dubbi circa la veridicità della documentazione accompagnatoria;
- Qualora il materiale venga lavorato in cantiere. Per quanto riguarda questo aspetto si rimanda a quanto in essere all’interno dell’Appendice E (“Lavorazioni in cantiere”) della UNI TR 11499.

Tale Appendice infatti, prescindendo dalle lavorazioni incluse all’interno del progetto, individua due casistiche (la prima per il legno massiccio e una seconda dedicata agli elementi giuntati) che possono portare alla perdita della conformità dei prodotti forniti.

Di seguito si riporta, per completezza, quanto indicato dallo stesso rapporto tecnico sopra richiamato.

Caso A) Legno massiccio: La classificazione (eseguita in stabilimento) risulta cambiata qualora:

- la riduzione delle dimensioni della sezione dovuta alla lavorazione sia maggiore di 5 mm, per dimensioni minori o uguali a 100 mm.
- la riduzione delle dimensioni della sezione dovuta alla lavorazione sia maggiore di 10 mm, per dimensioni maggiori a 100 mm

Lavorazioni di questo tipo comportano sempre una perdita di conformità dell’elemento; è inoltre da precisare, sia per il massiccio ma anche per elementi in legno lamellare o Xlam, che sezionature dell’elemento in senso trasversale sono sempre consentite.

Caso B) Legno lamellare e altri assortimenti giuntati:

- Sezionature longitudinali (parallele alla fibratura) lungo la base o l’altezza della sezione portano ad una perdita della conformità dell’elemento

Inoltre e in senso generale, la UNI TR 11499/2013 circa la richiesta di eseguire prove complementari atte a comprovare la veridicità della documentazione accompagnatoria precisa che deve essere cura della Direzione Lavori predisporre una relazione in cui si evinca almeno:

- La descrizione dei metodi di indagine con cui si è proceduto a riscontrare la mancata conformità degli elementi;
- Il tipo di difetto causa della mancata conformità;
- I riferimenti normativi.

6.7.1 PROVE DI CARATTERE DISTRUTTIVO: LEGNO MASSICCIO

In relazione agli assortimenti in legno massiccio (siano questi a sezione rettangolare o irregolare), le NTC 2018 definiscono quanto segue:

“Per quanto riguarda il legno massiccio potrà fatto farsi utile riferimento ai criteri di accettazione riportati nella norma UNI EN 384”.

Nel caso in questione, le NTC 2018 rimandano semplicemente alla norma con cui vengono derivati i valori caratteristici; vista la mole di materiale necessario al fine di comprovare la validità della classificazione, nel caso in cui questa non sia eseguita correttamente, si consiglia alla Direzione Lavori semplicemente di non accettare il materiale, giustificando la scelta in funzione al mancato rispetto delle tolleranze definite all’interno della norma di classificazione utilizzata in sede di produzione.

6.7.2 PROVE DI CARATTERE NON DISTRUTTIVO – ELEMENTI GIUNTATI

Le NTC 2018 circa l’argomento non riportano indicazioni relative alle prove distruttive ma riportano quanto segue:

“Per il legno lamellare e gli altri elementi giuntati di cui ai § 11.7.3, 11.7.4, 11.7.5 ed 11.7.6, in considerazione dell’importanza dell’opera, potranno essere effettuate, da un laboratorio di cui all’articolo 59 del DPR 380/2001, prove di carico in campo elastico anche per la determinazione del modulo elastico parallelo alla fibratura secondo le modalità riportate nella UNI EN 408 o nella UNI EN 380, ciascuna in quanto pertinente.”

Si tratta di prove che devono essere eseguite su elementi in dimensioni d’uso che non devono essere portati a rottura, ma bensì a definirne il modulo elastico parallelo alla fibratura e a confrontarlo successivamente con quanto indicato nelle rispettive dichiarazioni di prestazione che accompagnano il materiale.



Figura 6.2 – EN 380 – Prova di carico su passerella in legno lamellare.

¹⁵ La UNI TR 11499/2013 riprende quanto indicato all’interno della Norma Armonizzata UNI EN 14081-1 al par. 5.1 “Classificazione – generalità”

6.7.3 CIRCOLARE 2019 & UNI TR 11499

All'interno della Circolare 2019, a termine del paragrafo C11.7.10.2 "Controlli di accettazione in cantiere" è riportata la seguente dicitura:

"In relazione ai controlli di accettazione in cantiere su elementi strutturali in legno il Direttore lavori può fare altresì utile riferimento a metodi di classificazione misti, attuati tramite l'utilizzo di strumenti portatili di ausilio alla classificazione a vista e a quanto previsto dal rapporto tecnico UNI TR 11499 ("Legno strutturale – Linee guida per i controlli di accettazione in cantiere")"

Per quanto riguarda i controlli di accettazione in cantiere con strumenti portatili a supporto della classificazione a vista, al momento non ci sono adeguate indicazioni in normativa al fine di definirne la conformità e permetterne l'utilizzo; le NTC 2018 – giustamente – lasciano spazio ad eventuali approfondimenti tecnici e scientifici che potrebbero portare alla definizione di tale strumentazione a supporto della Direzione Lavori.

In riferimento alla UNI TR 11499/2013 e alle ulteriori indicazioni che il testo fornisce alla direzione Lavori, viene fatto di seguito un breve approfondimento.

6.7.3.1 Tolleranze dimensionali per legno massiccio, legno lamellare e CLT

Per il legno massiccio, la norma fa riferimento a quanto indicato all'interno della UNI EN 336: 2013 ("Legno strutturale - Dimensioni, scostamenti ammissibili"). In merito all'argomento si riportano le tolleranze dimensionali (vedi successive Classi di tolleranza 1 e 2), relative alle sezioni indicate nel progetto, che lo stesso produttore è tenuto ad indicare nel contratto e a rispettare nella fornitura.

CLASSE DI TOLLERANZA 1	
Per spessori e larghezze ≤ 100 mm	(-1; +3) mm
Per spessori e larghezze > 100 mm e ≤ 300 mm	(-2; +4) mm
Per spessori e larghezze > 300 mm	(-3; +5) mm
CLASSE DI TOLLERANZA 2	
Per spessori e larghezze ≤ 100 mm	(-1; +1) mm
Per spessori e larghezze > 100 mm e ≤ 300 mm	(-1,5; +1,5) mm
Per spessori e larghezze > 300 mm	(-2,0; +2,0) mm

Tabella 6.5 - Legno massiccio, tolleranze in sezione – Classe di tolleranza 2 – EN 336.

Per quanto riguarda le tolleranze nel senso della lunghezza, la UNI EN 336 si limita a specificare che non sono ammessi scostamenti in negativo rispetto a quanto definito in sede di progetto. Inoltre la norma indica che, in assenza di ulteriori sperimentazioni, debbano applicarsi le seguenti correzioni alle tolleranze dimensionali in funzione dell'umidità iniziale del materiale fornito:

Per le Conifere e Pioppo:

Si assume che lo spessore e la larghezza di un elemento ligneo aumentino dello 0.25% per ogni variazione dell'1% di umidità maggiore del 20% fino ad arrivare al 30% e diminuiscano dello 0.25% per ogni variazione dell'1% di umidità minore del 20% ($k=0,0025$).

Per le Latifoglie:

Si assume che lo spessore e la larghezza di un elemento ligneo aumentino dello 0.35% per ogni variazione dell'1% di umidità maggiore del 20% fino ad arrivare al 30% e diminuiscano dello 0.35% per ogni variazione dell'1% di umidità minore del 20% ($k=0,0035$).

Detta l_x la generica dimensione della sezione trasversale misurata alla umidità del legno dello $x\%$, la misura corretta l_{20} all'umidità del 20% sulla quale condurre il controllo dimensionale è:

$$\begin{aligned} \text{se } x\% \text{ è maggiore del } 20\%: & \quad l_{20} = l_x / (1 - k \cdot (x - 20)) \\ \text{se } x\% \text{ è minore del } 20\%: & \quad l_{20} = l_x / (1 - k \cdot (x - 20)) \end{aligned}$$

Per quanto invece riguarda il legno lamellare la norma fa riferimento a quanto specificato all'interno della UNI EN 14080:2013, che riporta le seguenti tolleranze:

- Larghezza della sezione trasversale: (+2; -2) mm per tutte le larghezze
- Altezza della sezione trasversale:

Per $h \leq 400$ mm	(+4; -2) mm
Per $h > 400$ mm	(+1; -0,5) %
- Lunghezza di un elemento rettilineo:

Per $l \leq 2,0$ m	(+2; -2) mm
Per $2 < l < 20$ m	(+0,1; -0,1) %
Per $l \geq 20$ m	(+20; -20) mm

Gli angoli della sezione trasversale non dovrebbero differire da un angolo retto per una misura maggiore di 1:50.

L'umidità di riferimento è del 12%; qualora l'umidità dell'elemento in legno lamellare differisca da tale valore, la dimensione effettiva deve essere calcolata come segue: $l_{corr} = l_a [1 + k(\omega_{ref} - \omega_a)]$

dove:

- l_{corr} = è la dimensione corretta in mm;
- l_a = è la dimensione effettiva in mm;
- ω_a = è l'umidità effettiva in percentuale
- ω_{ref} = è l'umidità di riferimento in percentuale
- k = coefficiente di ritiro

Il coefficiente di ritiro k è dato come segue:

k	
Perpendicolare alla fibratura	0.0025
Parallelo alla fibratura	0.0001

Nota: i valori sono validi per legno di conifera e di pioppo e per umidità comprese tra il 6% ed il 25%.
Il coefficiente di ritiro perpendicolare alla fibratura è la media dei ritiri tangenziali e radiali.

Tabella 6.6 – coefficiente di ritiro k per legno lamellare.

Infine, in merito agli elementi innovativi e alle relative tolleranze, la UNI TR 11499 rimanda alle rispettive Valutazioni Tecniche Europee (ETA).

6.7.3.2 Strutture semplici e di modesta entità

Per strutture semplici e di modesta entità, la UNI TR 11499 riporta che la scelta, l'opportunità e i metodi di prova relativi ai controlli supplementari devono essere pesati in funzione dell'importanza della struttura. In particolare, per strutture semplici e di modesta entità possono essere indicate quelle aventi le seguenti caratteristiche per cui è discrezione della Direzione Lavori procedere o meno ad un approfondimento secondo metodi distruttivi o non distruttivi così come riportato all'interno delle NTC 2018: "Luce massima ammessa uguale a 6 m oppure aventi un quantitativo massimo fornito (lotto di fornitura) uguale a 15 m³".

Tale dicitura sopra riportata infatti è presente all'interno dell'appendice B della UNI TR 11499/2013; lo stesso rapporto tecnico – sempre per completezza – si ricorda essere richiamato all'interno della Circolare Esplicativa al p.to C11.7.10.2 "Controlli di accettazione in cantiere"

7

Progettazione strutturale:

concetti generali e durabilità dell'opera

Nel presente capitolo si affronta, seppur in breve, il comportamento strutturale delle opere in legno. Il processo progettuale prevede varie fasi connesse tra di loro, e non si deve mai limitare ad un mero calcolo strutturale, dato che per il legno, risulta determinante lo studio del minimo dettaglio, al fine di garantire la miglior performance in termini di efficienza strutturale e durabilità.

Il primo paragrafo si occupa dei principi generali di calcolo strutturale, in particolare ci si sofferma sul funzionamento delle varie componenti strutturali di un'opera e sugli effetti non trascurabili derivanti da alcune situazioni transitorie ricorrenti in ambito di cantiere.

Il secondo paragrafo descrive le varie tipologie costruttive per edifici con struttura in legno, soffermandosi, per ognuna di esse, sul comportamento statico e sismico.

Il terzo paragrafo affronta il concetto di durabilità, un aspetto imprescindibile per le costruzioni in legno. Si riportano una serie di esempi e i particolari costruttivi ritenuti più significativi, sottolineando l'approccio progettuale migliore da seguire al fine di garantire una corretta durabilità dell'opera.

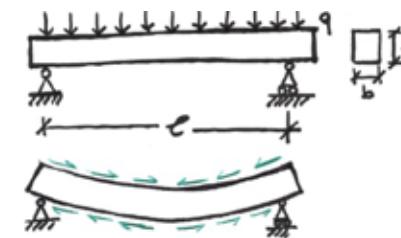
Il quarto paragrafo, infine, tratta del comportamento a fuoco delle strutture, come garantire una adeguata protezione al fuoco della ferramenta presente nelle unioni e come affrontare la sicurezza al fuoco in fase di cantiere.

7.1 PRINCIPI GENERALI DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

Il paragrafo illustra brevemente le principali tipologie di elementi costruttivi che sono impiegati nel campo delle costruzioni in legno, spiegandone il comportamento e la funzione svolta. Particolare attenzione è stata riservata alle situazioni transitorie ed agli effetti non trascurabili che queste possono avere in fase di cantiere.

7.1.1 GLI ELEMENTI STRUTTURALI

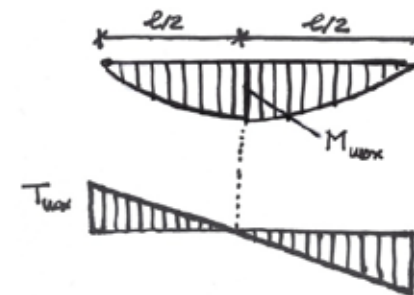
Elemento trave



- Elemento con una dimensione predominante sulle altre due $l \gg b, h$;
- È in posizione orizzontale o sub-orizzontale;
- Porta i carichi verticali (ovvero agenti trasversalmente rispetto la suo asse);
- Lavora a flessione e taglio.

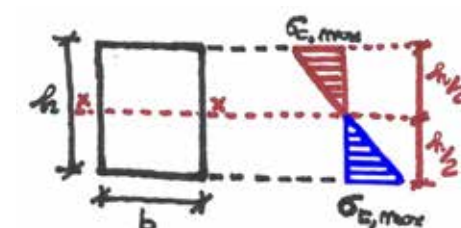
In un elemento inflesso e che lavora su doppio appoggio, le fibre superiori sono compresse e le fibre inferiori sono tese.

Caratteristiche della sollecitazione



$$M_{max} = \frac{ql^2}{8} \quad \text{Momento flettente massimo}$$

$$T_{max} = \frac{ql}{2} \quad \text{Taglio massimo}$$



$$\sigma_{c,max} = -\frac{M_{max}}{W_{xx}} = -\frac{6M_{max}}{b \cdot h^2} \quad \text{Tensione di compressione massima}$$

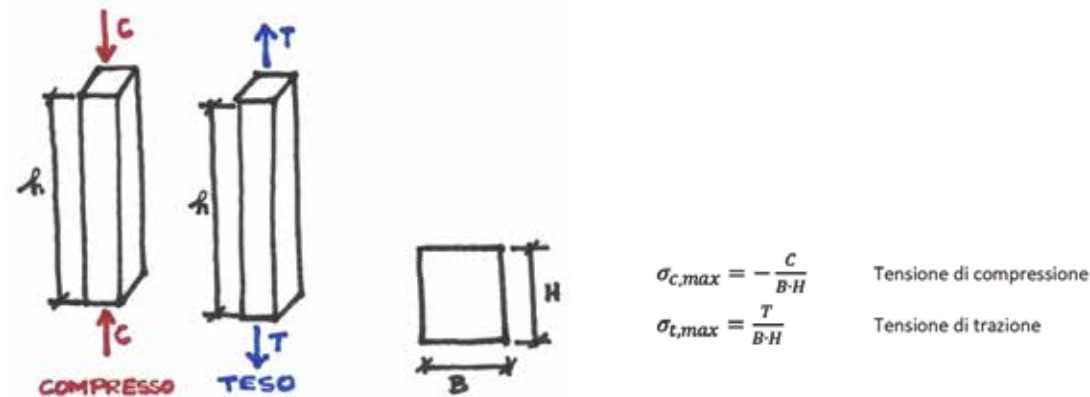
$$\sigma_{t,max} = \frac{M_{max}}{W_{xx}} = \frac{6M_{max}}{b \cdot h^2} \quad \text{Tensione di trazione massima}$$

$$W_{xx} = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad \text{Modulo di resistenza flessionale rispetto all'asse xx}$$

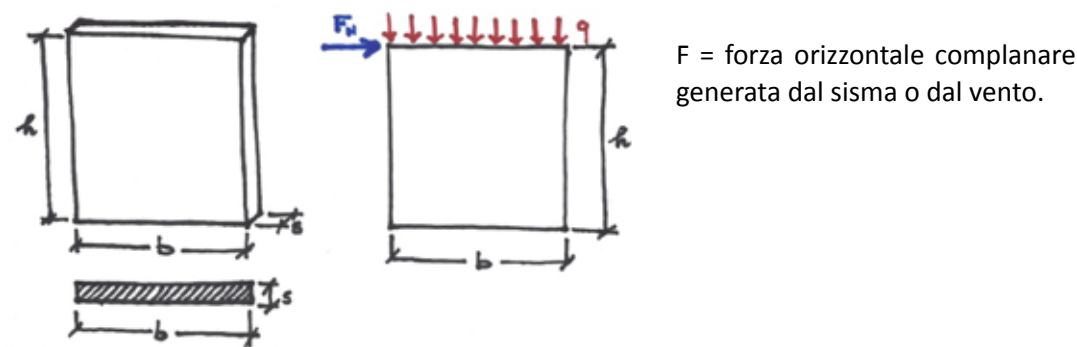
q = carico distribuito sulla trave (peso proprio, carico permanente e sovraccarico portati).

Elemento pilastro

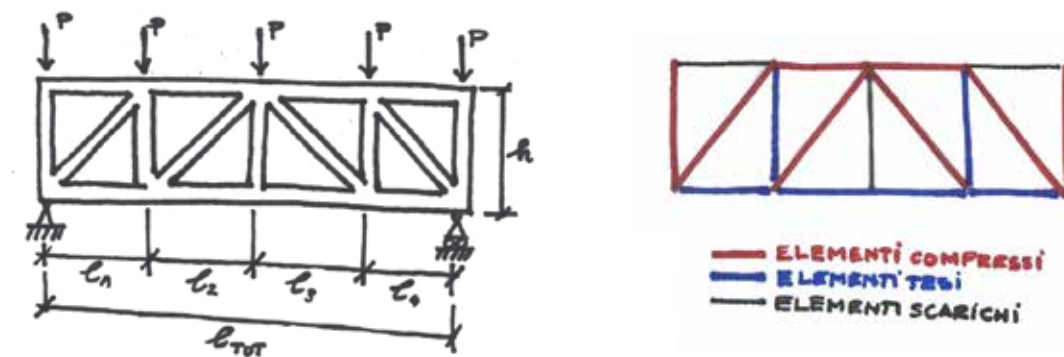
- È in posizione verticale;
- Porta i carichi verticali (ovvero agenti secondo il proprio asse);
- Lavora a sforzo normale (compressione "C" o trazione "T", in quest'ultimo caso prende il nome di "tirante" o più genericamente di "asta").

**Elemento parete**

- Porta i carichi verticali ed orizzontali;
- Per essere definita parete deve essere $b > 4s$ (altrimenti si parla di pilastro).

**Trave reticolare**

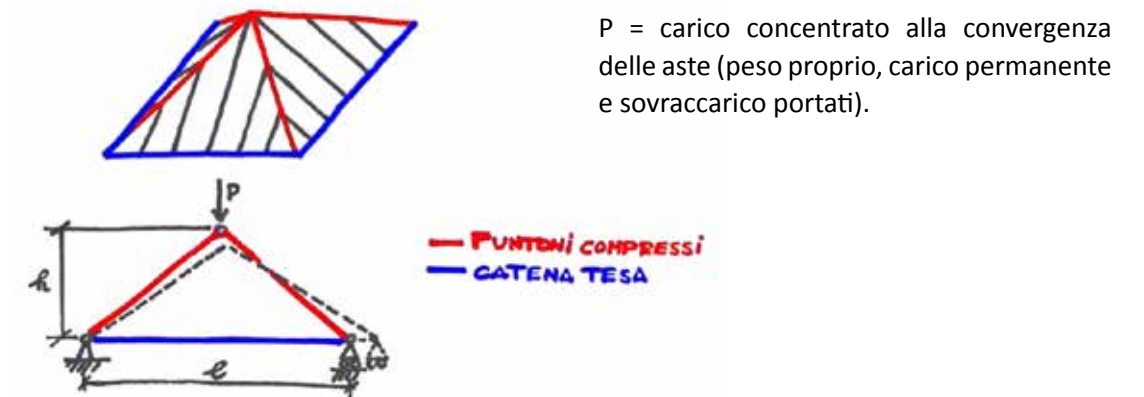
- Porta i carichi verticali;
- Quando caricata nelle unioni le aste lavorano principalmente per sforzo normale;
- Permette di coprire grandi luci ottimizzando le sezioni degli elementi strutturali.



P = carico concentrato alla convergenza delle aste (peso proprio, carico permanente e sovraccarico portati).

Tetto a padiglione

- Struttura spingente (ossia che trasmette agli appoggi delle forze orizzontali oltre che verticali), è necessaria la presenza della catena per equilibrare le forze orizzontali.

**Capriata Palladiana**

Si esamina brevemente il funzionamento di una capriata semplice alla Palladio.

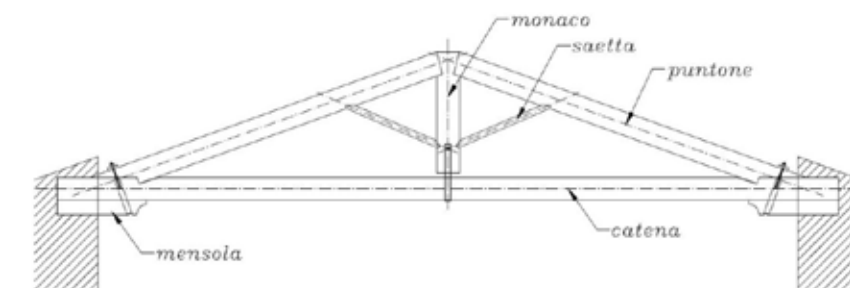


Figura 7.1 - Capriata semplice alla Palladio.

I puntoni sono realizzati con un unico pezzo e contrastano in basso con la catena ed in sommità con il monaco, questi elementi sono soggetti a pressoflessione (compressione e flessione).

Le saette offrono un appoggio intermedio ai puntoni, limitandone il momento flettente e sono soggette a compressione. Il monaco ha la funzione di elemento di interposizione tra le sommità dei puntoni; in tale zona risulta compresso ortogonalmente alla fibratura, per tale motivo nelle capriate antiche il monaco è spesso realizzato con legno di latifoglia, maggiormente resistente a compressione ortogonale rispetto alle conifere; inoltre riprende gli sforzi trasmessi dalle saette e li riporta alla sommità dei puntoni risultando teso. La catena può essere realizzata in un solo pezzo o in due o più pezzi uniti tra loro in vario modo, questa assorbe e richiude le spinte orizzontali provenienti dai puntoni e risulta pertanto tesa. Il momento flettente ed il taglio derivanti dal peso proprio risultano generalmente trascurabili ai fini pratici.

Fra il monaco e la catena è presente una fascia metallica che offre un appoggio intermedio alla catena limitandone l'inflessione.

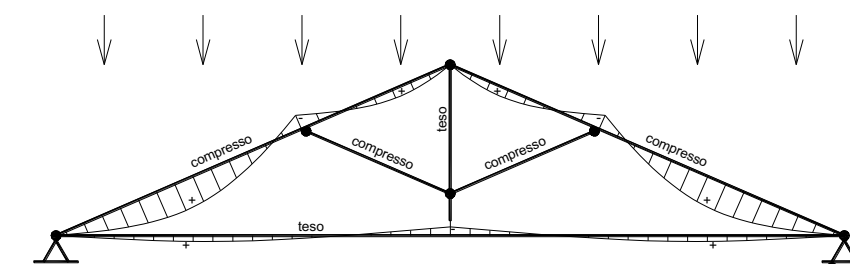


Figura 7.2 - Diagramma del momento flettente e indicazione dell'ulteriore sforzo normale.

L'unione più importante è quella tra puntone e catena, perché soggetta ai maggiori sforzi e determinante per il funzionamento della capriata come struttura chiusa non spingente, inoltre è normalmente situata all'interno della muratura, dove il rischio di degrado biologico è più elevato.

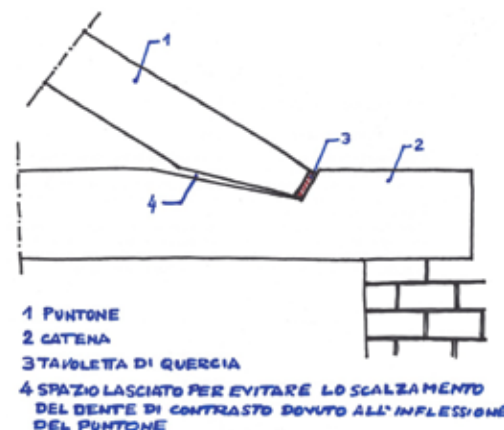
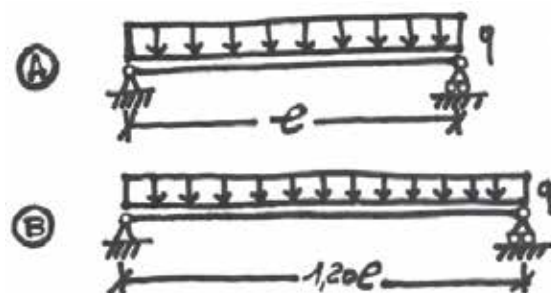


Figura 7.3 - Unione Puntone-Catena.

L'eventuale cedimento del dente di contrasto provoca lo scorrimento del puntone verso l'esterno, che può trovare contrasto direttamente nella muratura trasformando la capriata da struttura chiusa non spingente a struttura spingente; con lo scorrimento del puntone si ha l'allentamento delle saette, che rappresenta un campanello d'allarme del dissesto in atto, in quanto provoca un aumento dei momenti flettenti nei puntoni di circa 3 volte e può portare al crollo della capriata per rottura di questi ultimi.

7.1.2 LE SITUAZIONI TRANSITORIE ED ALTRI ESEMPI SIGNIFICATIVI

Incremento della luce di calcolo



Caso A

$$M_{max,A} = \frac{ql^2}{8} \quad \text{Momento flettente massimo}$$

$$T_{max,A} = \frac{ql}{2} \quad \text{Taglio massimo}$$

$$f_{max,A} = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EJ} \quad \text{deformazione (abbassamento sotto carico)}$$

Caso B

$$M_{max,B} = \frac{q \cdot (1,20l)^2}{8} \cong \frac{ql^2}{5,6}$$

$$T_{max,B} = 1,20 \cdot \frac{ql}{2}$$

$$f_{max,B} = 2,07 \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EJ}$$

Un incremento della luce l del 20% comporta un incremento del 43% delle tensioni di trazione e compressione sul materiale ed una deformabilità massima (f_{max}) doppia.

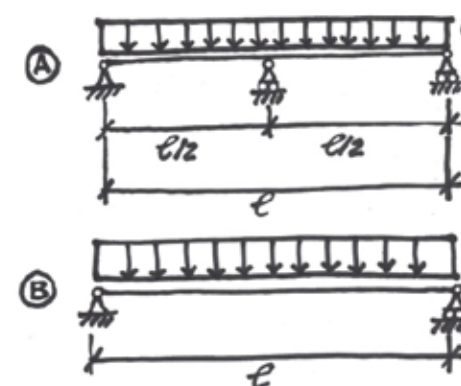
$$M_{max,B} \cong 1,43 \cdot M_{max,A} \rightarrow \sigma_{max,B} \cong 1,43 \cdot \sigma_{max,A} \quad \text{Tensione di flessione (trazione e compressione massime)}$$

$$T_{max,B} = 1,20 \cdot T_{max,A}$$

$$f_{max,B} \cong 2,07 \cdot f_{max,A}$$

Per questo motivo ogni variazione della luce l , a parità di sezione e carico, deve essere valutata attentamente, poiché comporta incrementi non trascurabili in termini sollecitazioni e deformabilità.

Variazione dello schema statico



Caso A

$$M_{max,A} = \frac{q(\frac{l}{2})^2}{8} = \frac{ql^2}{32} \quad \text{Momento flettente massimo}$$

Caso B

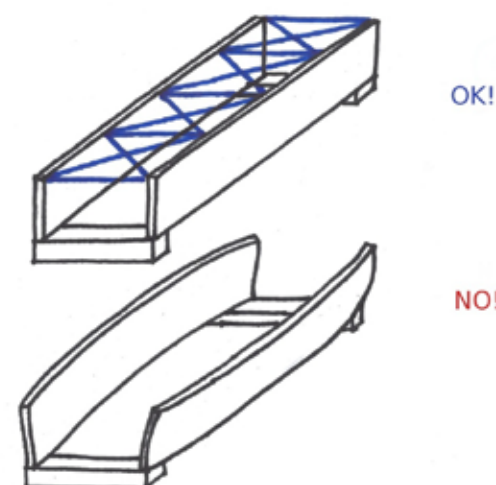
$$M_{max,B} = \frac{ql^2}{8}$$

La variazione dello schema statico da trave su tre appoggi a trave in semplice appoggio comporta un notevole incremento delle tensioni di compressione e trazione sul materiale.

$$M_{max,B} = 4 \cdot M_{max,A} \rightarrow \sigma_{max,B} = 4 \cdot \sigma_{max,A} \quad \text{Tensione di flessione (trazione e compressione massime)}$$

La variazione dello schema statico nelle situazioni transitorie di cantiere deve essere valutata attentamente, la mancanza temporanea dell'appoggio centrale può portare a tensioni superiori a quelle resistenti del materiale, anche in presenza dei soli carichi permanenti.

Instabilità flessio-torsionale

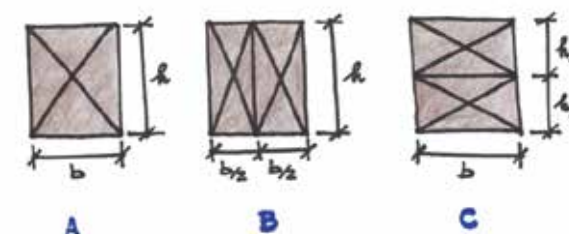


Per elementi snelli (base molto minore dell'altezza) su luci di calcolo elevate si deve prestare particolare attenzione al fenomeno di instabilità flessio-torsionale, che può verificarsi anche in presenza dei soli carichi permanenti. Per questo motivo deve sempre essere stabilizzato il lembo superiore compresso mediante l'inserimento di elementi di controvento.

Durante il montaggio, qualora in sede di progetto sia previsto il controvento, è necessario che le travi rimangano puntellate con uno o più supporti intermedi fino alla completa realizzazione del controvento.

Utilizzo di sezioni accoppiate

Talvolta come elemento trave si rende necessario l'utilizzo di sezioni di legno accoppiate invece di un singolo elemento; questo, per esempio, poiché risulta necessaria una sezione con una base (larghezza) maggiore rispetto a quelle in produzione per la singola sezione. La disposizione delle sezioni accoppiate non è indifferente e, al variare di questa, si hanno notevoli differenze in termini di resistenza e rigidezza (deformabilità), come approfondiremo nel seguito.



Caso A

$$W_A = \frac{bh^2}{6} \quad \text{Modulo di resistenza flessionale - Resistenza}$$

$$J_A = \frac{bh^3}{12} \quad \text{Momento di inerzia asse forte - Rigidezza}$$

Caso B

$$W_B = 2 \cdot \frac{\frac{b}{2} \cdot h^2}{6} = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$J_B = 2 \cdot \frac{\frac{b}{2} \cdot h^3}{12} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Caso C

$$W_C = 2 \cdot \frac{b \cdot (\frac{h}{2})^2}{6} = \frac{1}{2} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$J_C = 2 \cdot \frac{b \cdot (\frac{h}{2})^3}{12} = \frac{1}{4} \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Conclusioni

Come emerge dalle analisi dei casi A, B e C la disposizione delle sezioni accoppiate non risulta indifferente in termini di resistenza e rigidezza.

La disposizione delle sezioni come nel caso B risulta del tutto equivalente al caso A, si dovranno comunque prevedere unioni tra le due sezioni per evitare l'insorgere di fenomeni di instabilità flessa-torsionale come descritti nel paragrafo precedente.

$$W_B = W_A$$

$$J_B = J_A$$

Al contrario, la disposizione delle sezioni come nel caso C comporta una riduzione sostanziale sia in termini di resistenza che di rigidezza rispetto al caso A, per poter avvicinarsi al quale andrebbero previste unioni particolarmente importanti e una valutazione del funzionamento suffragata da calcolo. Si sconsiglia comunque questa disposizione delle sezioni, risultando molto più idonea e vantaggiosa quella prevista dal caso B.

$$W_C = \frac{1}{2} \cdot W_A$$

$$J_C = \frac{1}{4} \cdot J_A$$

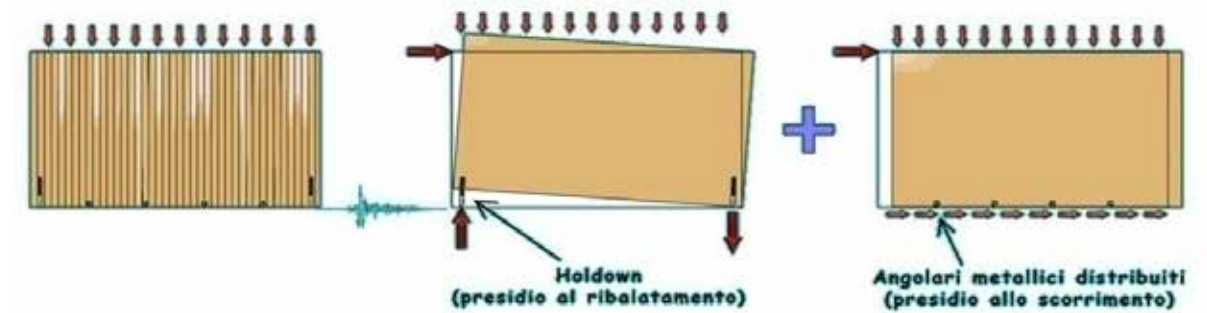


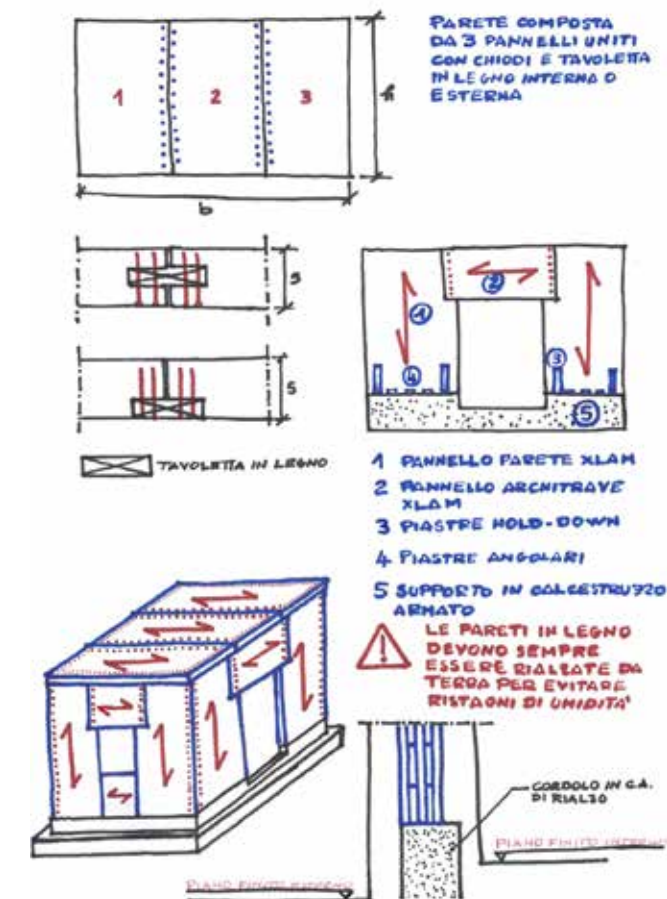
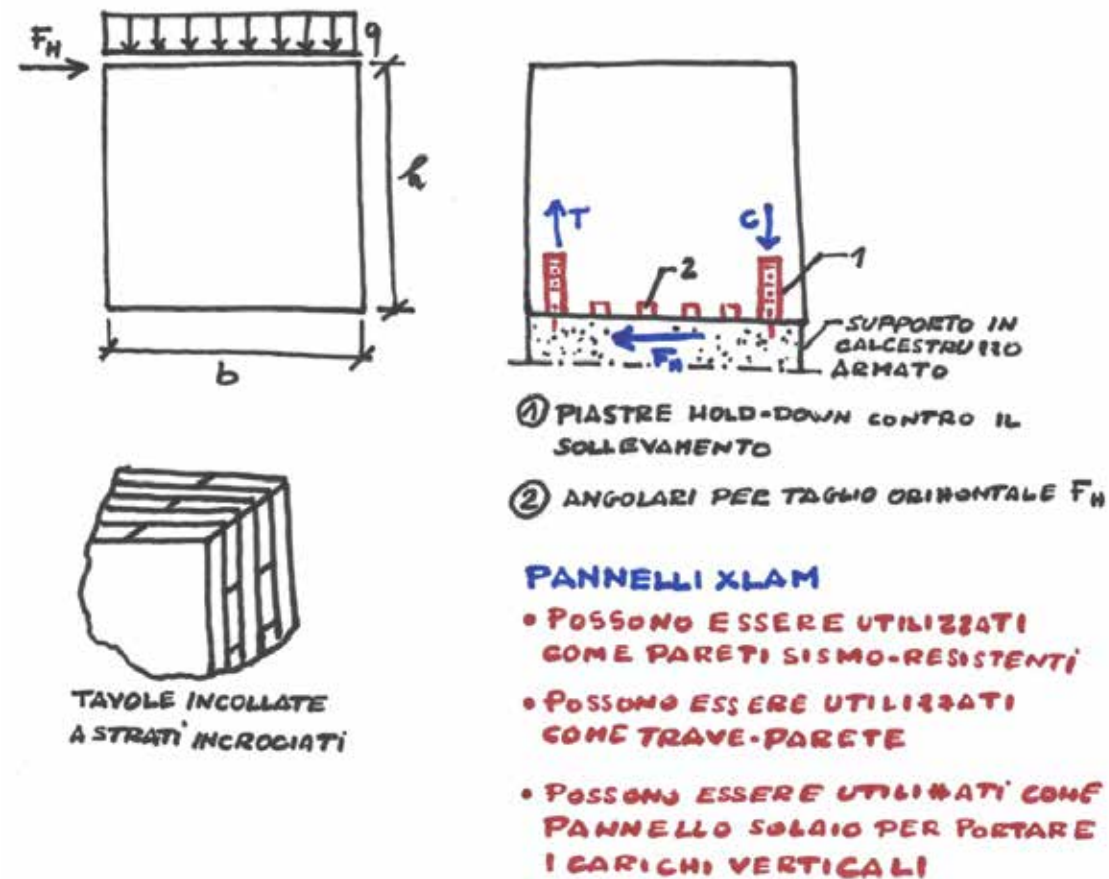
Figura 7.5 - Schema di funzionamento di un pannello XLam per azioni nel piano. F è la forza orizzontale complanare che sollecita la parete causata dal sisma o dal vento.



Figura 7.7 - Stratigrafia di un pannello solaio in XLam; da notare lo strato interposto di gomma per realizzare il disaccoppiamento acustico necessario a contrastare la propagazione dei rumori fra i vari piani dell'edificio.

7.2 TIPOLOGIE COSTRUTTIVE E COMPORTAMENTO STATICO E SISMICO

7.2.1 STRUTTURE A PANNELLI DI TAVOLE INCOLLATE A STRATI INCROCIATI (XLAM)



7.2.2 STRUTTURE A TELAIO TIPO PLATFORM-FRAME

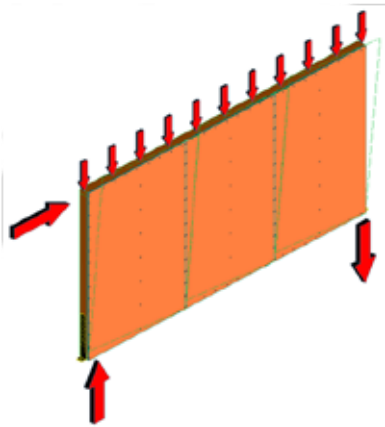
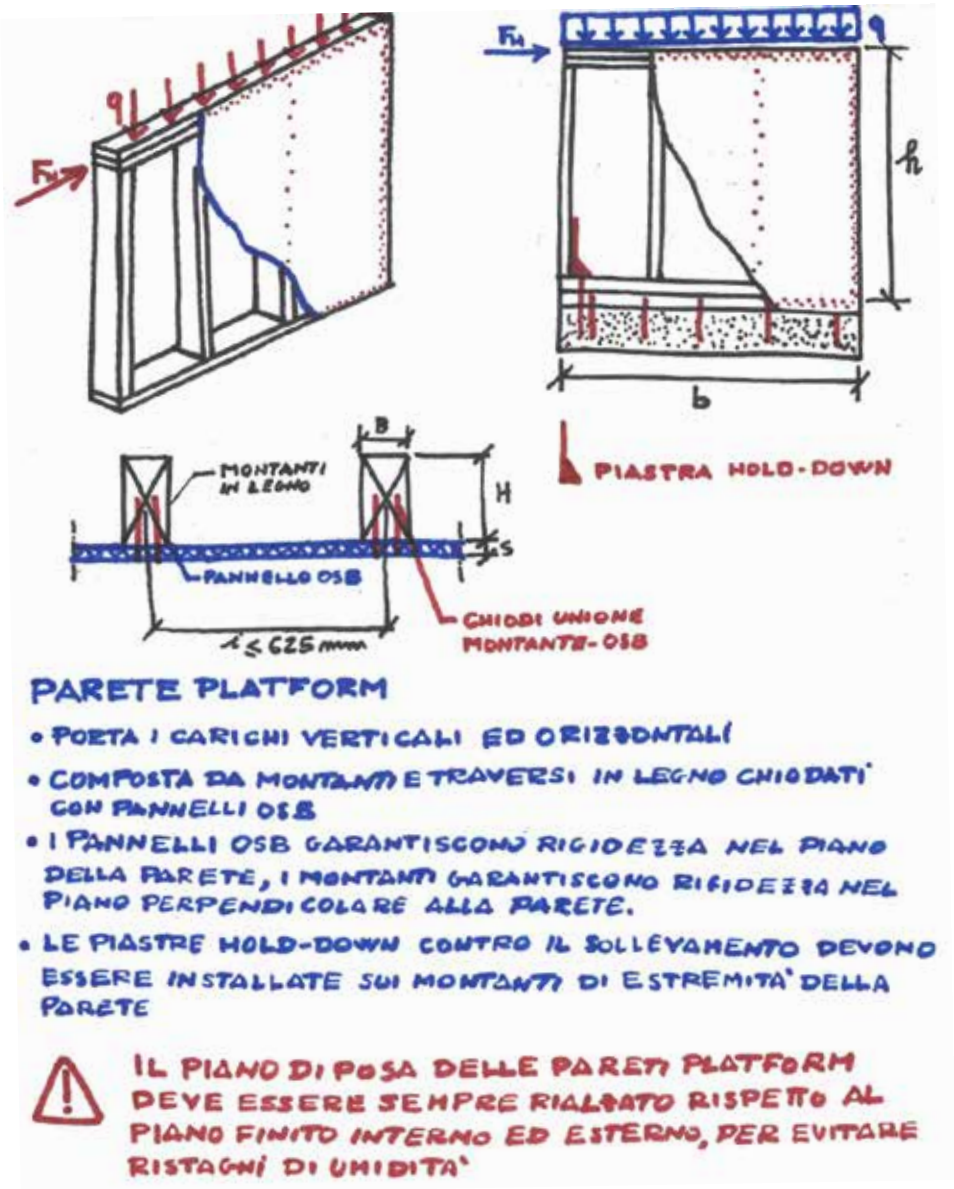


Figura 7.8 - Funzionamento parete platform per azioni nel piano.

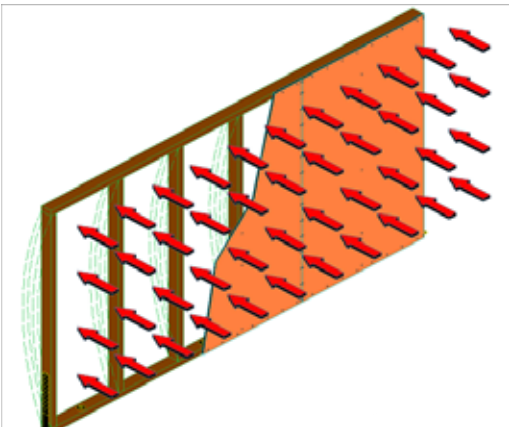


Figura 7.9 - Funzionamento parete platform per azioni ortogonali al piano della parete.

Figura 7.10 (sinistra) - Parete platform con interposto isolante tra i montanti. Ciascun pannello OSB deve essere chiodato su tutti e quattro i bordi. Qualora il foglio di OSB abbia una altezza inferiore alla parete, la giunzione orizzontale tra fogli deve essere sempre presidiata da un elemento orizzontale interposto fra i montanti, chiamato blocking, sul quale chiodare le estremità dei pannelli.



Figura 7.11 (destra) - Installazione Hold-down su parete platform



Figura 7.12 - Vista frontale di più pareti paltform assemblate.

7.2.3 STRUTTURE A TELAIO E CONTROVENTI IN ACCIAIO O LEGNO

- Travi e Pilastri in legno portano i carichi verticali;
- I diagonali (controventi) in acciaio assorbono i carichi orizzontali;
- I controventi in acciaio devono sempre essere tesati dopo il montaggio.

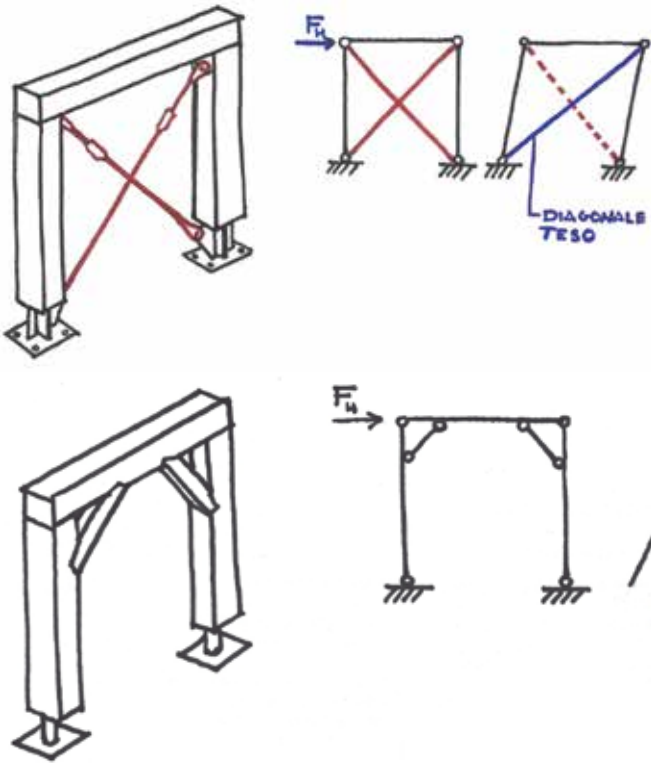


Figura 7.13 - Soluzione 1: Telaio in legno con controventi in acciaio. Fh è la forza orizzontale complanare che sollecita la parete causata dal sisma o dal vento.

Figura 7.14 - Soluzione 2: Telaio in legno con irrigidimento dei nodi mediante elementi in legno. Fh è la forza orizzontale complanare che sollecita la parete causata dal sisma o dal vento.

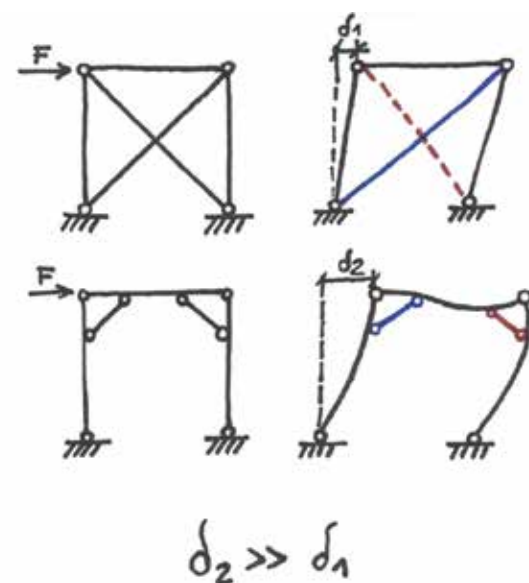


Figura 7.15 - Confronto tra Soluzione 1 e 2; la soluzione con controventi risulta notevolmente più rigida nei confronti dei carichi orizzontali; la soluzione 2 non è adatta alla realizzazione di edifici in quanto eccessivamente deformabile ma può risultare adeguata alla costruzione di piccole tettoie. F_h è la forza orizzontale complanare che sollecita la parete causata dal sisma o dal vento.



Figura 7.16 - Vista di un edificio con struttura a telaio con controventi in legno.

7.3 DURABILITÀ E DETTAGLI COSTRUTTIVI

7.3.1 ATTACCO A TERRA DELLE PARETI IN LEGNO

L'attacco a terra delle pareti in legno riveste un'importanza fondamentale nell'ottica di garantire una corretta durabilità all'opera.

Il legno deve avere sempre il piano di posa ad una quota superiore a quella di piano finito interno ed esterno, per evitare pericolosi ristagni di umidità che possono degradare il materiale nel tempo; non è corretto affidarsi alle sole guaine.

Nel caso di solaio contro-terra con casseri a perdere tipo "Cupolex" risulta inoltre importante, per consentire il funzionamento del sistema, prevedere tubi di aerazione e tubi di scarico per lo smaltimento di eventuale acqua di ristagno. Si riporta un particolare costruttivo per una migliore comprensione.

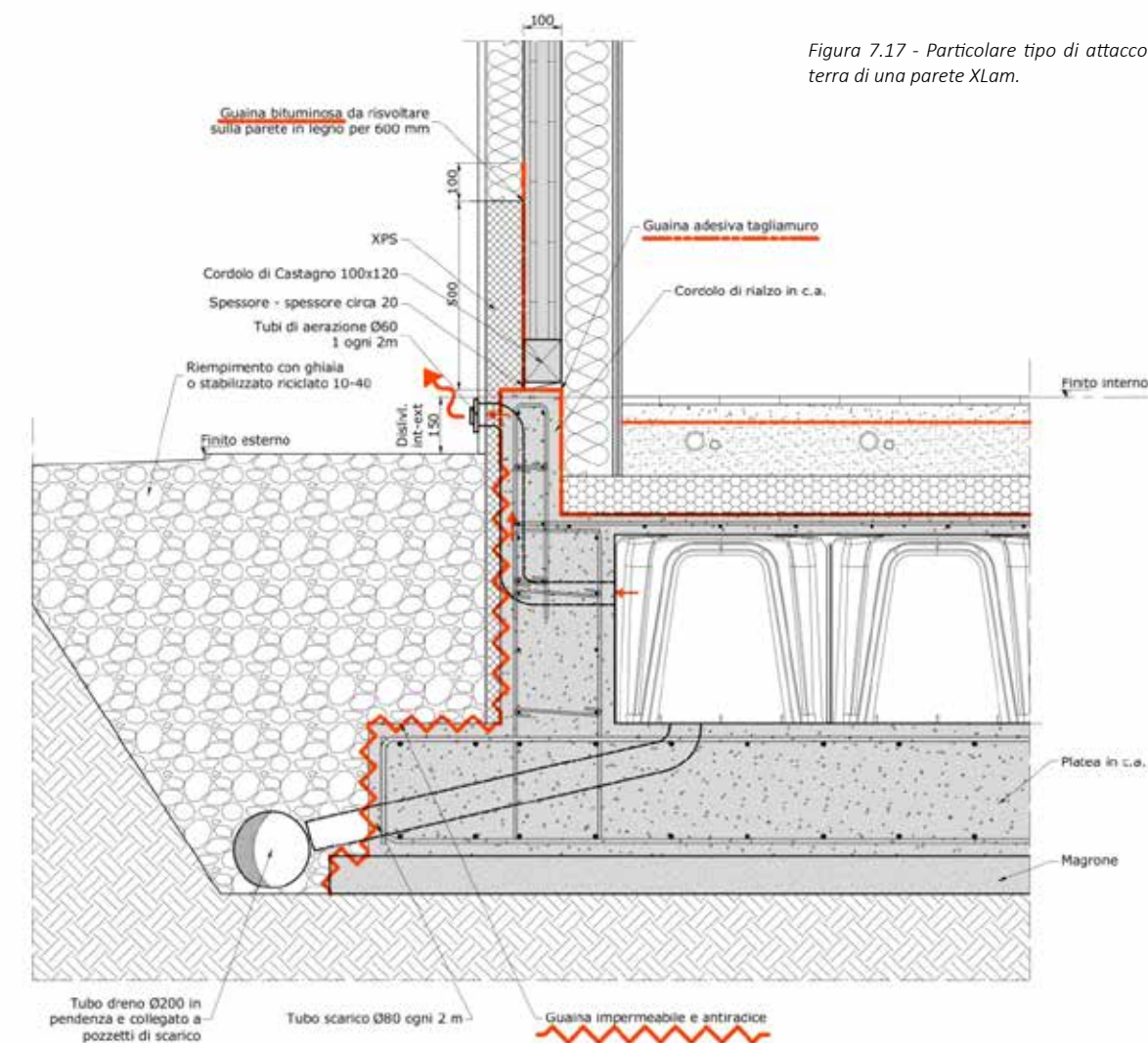


Figura 7.17 - Particolare tipo di attacco a terra di una parete XLam.

Figura 7.18 - Cordolo di rialzo in c.a. e parete XLam su cordolo in legno.



Figura 7.19 - Cordolo di rialzo in c.a., la parete XLam poggia direttamente su quest'ultimo.



7.3.2 SPORTO DI GRONDA

Nelle costruzioni in legno lo studio dei particolari costruttivi riveste un ruolo fondamentale per una corretta progettazione.



Un dettaglio particolarmente importante riguarda l'aggetto della copertura a protezione della facciata dell'edificio.

Le foto soprastanti ed a lato sono emblematiche della differenza sostanziale, in termini di degrado della facciata, tra una copertura senza aggetto ed una con aggetto; nel caso delle costruzioni in legno, oltre al fenomeno di degrado superficiale della finitura, si possono innescare fenomeni di infiltrazione delle acque piovane che possono portare ad un degrado materico della struttura con ripercussioni anche gravi. Per questo motivo nella progettazione degli edifici in legno è altamente sconsigliato l'utilizzo di coperture senza sporto di gronda, che si consiglia sempre di inserire, anche con dimensioni non particolarmente estese.

Nel seguito si riporta un particolare costruttivo specifico per un aggetto di copertura per una miglior comprensione.

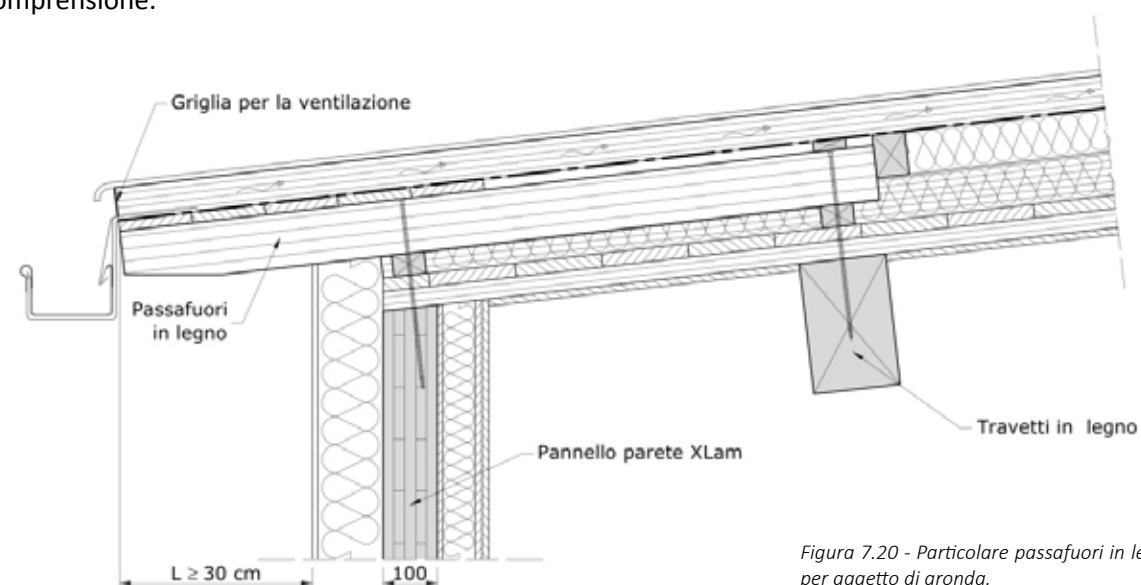


Figura 7.20 - Particolare passafuori in legno per aggetto di gronda.

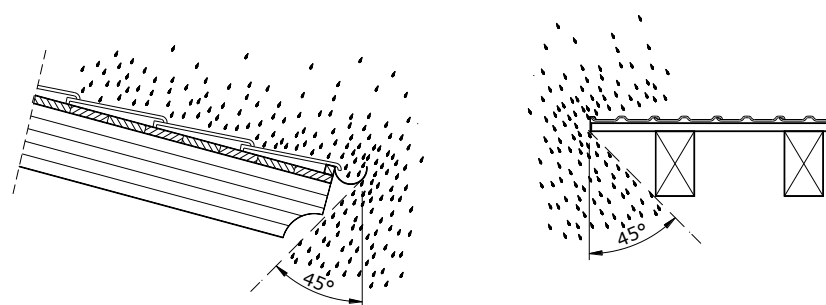


Figura 7.21 - Regole progettuali per una corretta protezione dall'acqua piovana; il legno deve essere sufficientemente arretrato in modo che la pioggia di stravento (a 45°) non lo investa.



Figura 7.22 - Estremità dei travicelli non sufficientemente arretrati o protetti. Figura 7.23 - Dettaglio dei passafuori in legno su una copertura Xlam.

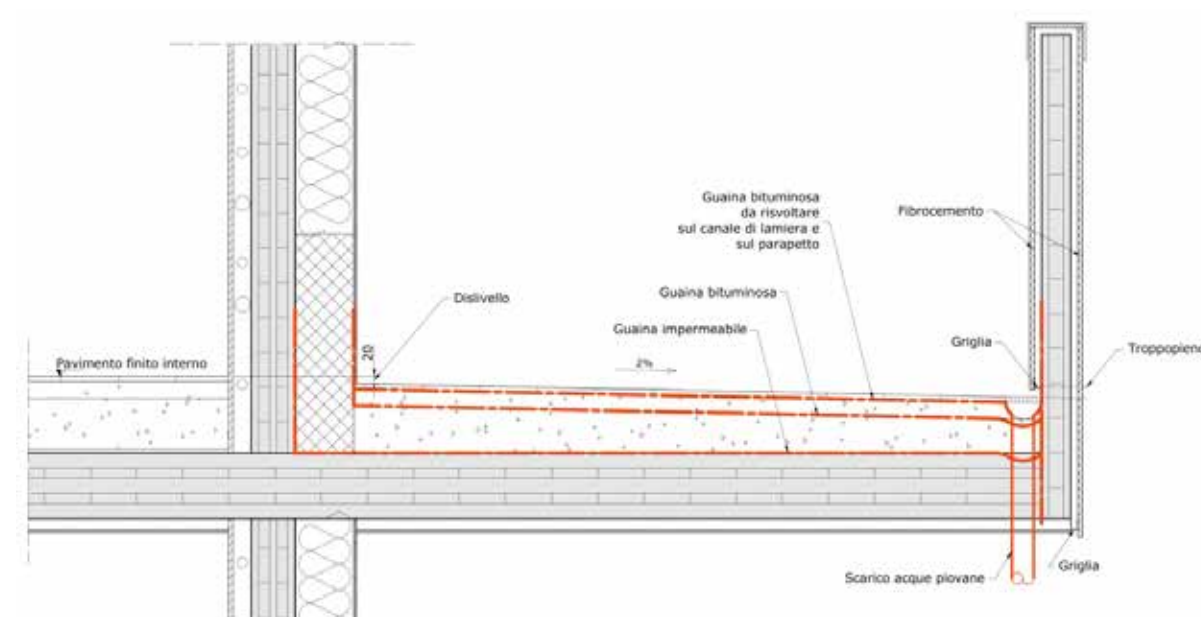
7.3.3 BALCONI NON COPERTI

I balconi costituiscono un punto critico nelle costruzioni in legno in quanto, trattandosi di elementi direttamente esposti agli agenti atmosferici, qualora la progettazione e la realizzazione non siano state eseguite in modo corretto, possono svilupparsi fenomeni di degrado sulla struttura.

Un primo accorgimento riguarda la pendenza da assegnare al balcone, che si consiglia pari ad almeno il 2%, in modo tale da favorire un corretto deflusso delle acque piovane.



Figura 7.24 - Balcone non coperto con grave problema di ristagno delle acque meteoriche.



L'impermeabilizzazione riveste un ruolo fondamentale, e deve seguire il criterio della "ridondanza", si devono cioè inserire non una ma una serie di guaine, in modo tale che, in caso di malfunzionamento della guaina più superficiale, che costituisce la tenuta all'acqua vera e propria, si garantisca comunque una protezione efficace alla struttura in legno del balcone.

Ogni guaina deve essere dotata di un proprio scarico così da assicurare il deflusso dell'acqua. Le guaine devono essere inoltre risvoltate sul parapetto e sulla parete in modo tale da proteggere queste superfici e non lasciare alcun punto di possibile infiltrazione. Dovrà inoltre essere sempre presente un sistema di troppo-pieno, in modo tale che non si verifichino accumuli di acqua nel caso il pozzetto di scarico risulti ostruito.

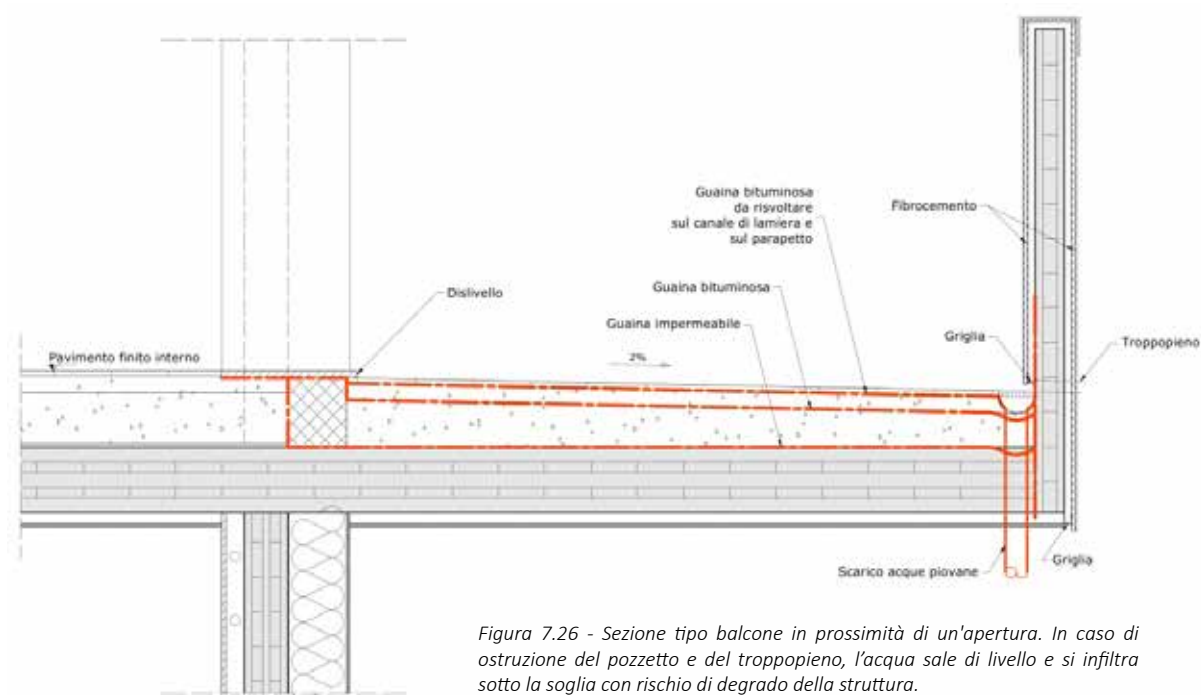


Figura 7.26 - Sezione tipo balcone in prossimità di un'apertura. In caso di ostruzione del pozzetto e del troppopieno, l'acqua sale di livello e si infiltra sotto la soglia con rischio di degrado della struttura.

La soluzione con parapetto chiuso è sempre pericolosa in quanto l'allontanamento delle acque non è diretto; tale soluzione è caldamente sconsigliata. E' sempre preferibile utilizzare parapetti aperti.



Figura 7.27 - Parapetto aperto su un edificio in legno.

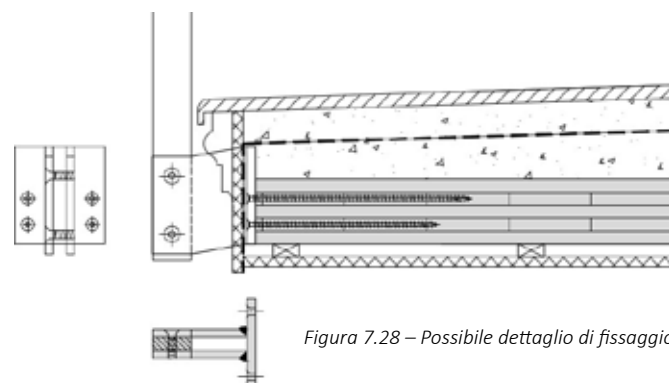


Figura 7.28 - Possibile dettaglio di fissaggio

I parapetti devono essere fissati sul fronte del balcone e mai superiormente in modo che le guaine non siano interrotte. Gli elementi di fissaggio devono avere una leggera pendenza verso l'esterno dell'edificio per allontanare l'acqua.

7.3.4 COPERTURE PIANE

L'utilizzo di coperture piane è sconsigliato per le costruzioni in legno in quanto, rispetto alle coperture inclinate, per la loro scarsa pendenza possono favorire ristagni d'acqua, che, nel caso di non corretta posa in opera del sistema di impermeabilizzazione possono portare a rischi di infiltrazione con successivo degrado del materiale.

7.4 COMPORTAMENTO AL FUOCO

7.4.1 COMPORTAMENTO A FUOCO DEL LEGNO

Il legno è un materiale combustibile, ma dotato di una propria resistenza al fuoco. Le strutture in legno non sono necessariamente più vulnerabili al fuoco delle strutture in calcestruzzo armato o in acciaio,

infatti raramente contribuiscono in modo sostanziale ad alimentare un incendio ma ne subiscono anzi le conseguenze, manifestando al riguardo un comportamento almeno non peggiore, se non addirittura migliore, rispetto a strutture realizzate con altri materiali.

Il legno nei confronti del fuoco ha il seguente comportamento:

- Brucia lentamente, la carbonizzazione procede dall'esterno verso l'interno della sezione;
- Il legno non ancora carbonizzato rimane efficiente dal punto di vista meccanico;
- La rottura meccanica dell'elemento avviene quando la parte della sezione non ancora carbonizzata è talmente ridotta da non riuscire più ad assolvere alla sua funzione portante.

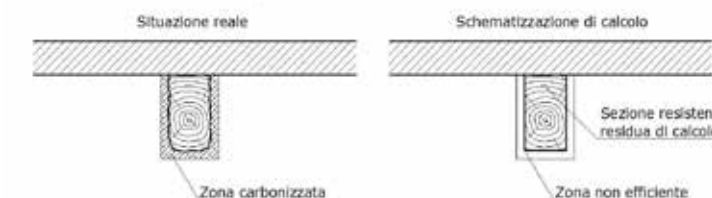


Figura 7.29 - Comportamento a fuoco di una sezione in legno.

7.4.2 PROTEZIONE A FUOCO DELLA FERRAMENTA

Le unioni metalliche delle strutture in legno devono essere protette dal fuoco per evitare che, in caso di incendio, l'aumento di temperatura provochi una perdita di efficienza dell'unione.

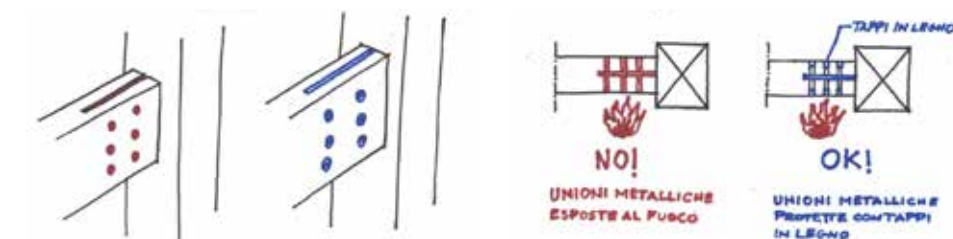


Figura 7.30 - Protezione delle unioni metalliche mediante tappi e listelli in legno.

7.4.3 PROTEZIONE AL FUOCO IN FASE DI CANTIERE

Il rischio di incendio in generale è proporzionale alla superficie di materiale infiammabile esposta. Negli edifici soggetti a prevenzione incendi le Regole Tecniche di prevenzione incendi stabiliscono delle limitazioni alle superfici di materiale infiammabile al fine di limitare il rischio di innesco e propagazione dell'incendio; il rivestimento delle pareti di legno con cartongesso non solo aumenta la resistenza al fuoco della struttura ma limita fortemente il rischio di innesco e propagazione dell'incendio. Durante le fasi di cantiere, prima dell'applicazione dei rivestimenti, la struttura non ha protezioni e risulta fortemente vulnerabile, per tale motivo sono molto frequenti gli incendi in tale fase. Ci sono fasi costruttive nelle quali è presente una grande quantità di legno esposto senza protezioni. Queste fasi sono particolarmente critiche in quanto rappresentano situazioni transitorie molto sensibili a fenomeni quali l'incendio.

Pertanto durante tutta la durata del cantiere dovrà essere prestata particolare attenzione a questo aspetto, adottando una serie di misure, delle quali si riportano le più significative:

- Adeguata formazione del personale presente in cantiere riguardo al rischio di incendio nelle varie fasi costruttive;
- Lavorazioni che prevedano la generazione di calore, quali per esempio la saldatura a fiamma delle guaine e la saldatura del metallo a elettrodo, devono essere evitate in prossimità di elementi di legno e degli isolanti, compresi gli scarti e le polveri; inoltre devono essere eseguite da personale qualificato e con esperienza nel tipo specifico di lavorazione;
- Presenza di estintori in cantiere in numero sufficiente e ben distribuiti in relazione alla estensione del cantiere ed al rischio delle lavorazioni;
- Installazione di sistemi antincendio, quali sistemi di allarme con dispositivi di rivelazione fumo, installazione di sprinklers (sistemi di spegnimento) temporanei nelle zone più critiche.

8

Fisica tecnica per edifici in legno

8.1 INTRODUZIONE



Figura 8.1 - Nuova scuola Verdi di Collecchio (PR) – Esempio di edificio ad altissima efficienza energetica con struttura lignea.

Da qualche anno, gli edifici in legno, vengono associati “automaticamente” ad edifici che riescono a coniugare design, comfort, sostenibilità ed efficienza energetica. Questo automatismo è frutto dei numerosi esempi positivi realizzati da progettisti ed imprese che sono riusciti a sfruttare sino in fondo le straordinarie caratteristiche fisico-chimiche di questo materiale. Non bisognerebbe mai dimenticare che queste caratteristiche sono la diretta conseguenza della natura stessa del legno e la sua origine “biologica”, che da madre natura viene creato e alla quale (inevitabilmente) ritornerà. Quindi oltre agli esempi positivi, sono evidenti alcune problematiche o peggio, esempi negativi, visibili come delle macchie su una bella camicia bianca, frutto di sottovalutazioni progettuali, di realizzazioni approssimative e di manutenzioni mal o mai eseguite. Errori di chi ha sottovalutato (a volte inconsciamente) i pochi ma importanti “punti deboli” (acqua stagnante, insetti e altri microorganismi) di questo incredibile materiale da costruzione che accompagna l’uomo da decine di migliaia di anni. Alla luce di questo, il presente capitolo non ha solo la finalità di illustrare i fenomeni fisici che occorrono negli edifici in legno e che molto interessano a chi vuole realizzare edifici “prestazionali” quali isolamento termico, traspirabilità e “ecologicità” in primis, ma soprattutto come quegli stessi fenomeni fisici, dialoghino dinamicamente con le proprietà biologiche del materiale e possano, se mal progettati, alterare la struttura stessa della materia “legno”, riconsegnandolo precocemente a madre natura. Indagando questo rapporto, non solo riusciremo a progettare e costruire edifici in legno più performanti, ma riusciremo a far sì che le straordinarie prestazioni di comfort di cui sono potenzialmente capaci, possano durare per moltissimi anni. I concetti fondamentali di seguito illustrati, anche se non strettamente connessi all’attività di un DTP, possono diventare a mio avviso strumenti utili per integrare la conoscenza che già possiedono e farla evolvere da “conoscenza” a “cultura”, e riconquistare una piena consapevolezza delle potenzialità e dei limiti di questo materiale che la natura ci dona e di cui diventiamo, come tecnici utilizzatori, responsabili.



¹⁶ Sono numerosi sì gli esempi a riprova di questo, dagli edifici della laguna veneziana, alle abitazioni ed agli edifici religiosi tradizionali giapponesi, alle case-fienili storiche del continente nord-americano. La vita del legno dipende essenzialmente dalle condizioni ambientali in cui è posto che possono deciderne il rapido degrado o la durabilità anche superiore ad altri materiali da costruzione.

Quale è il ruolo della fisica tecnica?

Che sia per norma o sia per obiettivo progettuale, i requisiti fondamentali che vengono richiesti ai moderni edifici in legno sono i seguenti :

- Resistenza meccanica e durabilità (durabilità alle intemperie, alle dilatazioni termiche, all'uso, etc..)
- Salubrità (emissioni dei materiali interni, ricambio d'aria igienico minimo garantito, controllo radon, etc..)
- Comfort termico (sia nella stagione fredda che in quella calda)
- Comfort acustico (fonoisolamento e requisiti acustici passivi, livelli di rumorosità impianti, etc..)
- Sostenibilità (riciclabilità dei materiali utilizzati, contenuto di riciclato, energia di gestione, energia grigia, etc..)
- Efficienza energetica (bassi fabbisogni, rendimenti impiantistici, energia primaria, integrazione da rinnovabili).

In ognuno di questi aspetti, direttamente o indirettamente, la fisica tecnica gioca un ruolo primario nella progettazione , nella realizzazione ed anche nella conduzione degli edifici in legno.

L'ordine con cui ho elencato questi requisiti non è casuale, ed ha una precisa gerarchia valida per qualsiasi edificio, sia esso in struttura lignea che realizzato con altre tecnologie costruttive. Ma mentre in edifici pensati e realizzati con materiali "inerti" , seppur con qualche limite è ancora possibile (ma non consigliabile) affrontare singolarmente o in "ordine sparso" ciascuno di essi, negli edifici "in legno" tale approccio non è assolutamente vincente. I fenomeni legati ai flussi di calore, ai passaggi incontrollati di vapore e di aria esterna, se mal progettati, possono alterare significativamente (ed in breve tempo) sia la iniziale resistenza meccanica che la salubrità interna. Alla stessa stregua, una impostazione strutturale articolata può portare a risoluzioni artificiose e costruzioni difficoltose dei dettagli termici fondamentali.



Figura 8.3 – Gli edifici con struttura in XLAM sono caratterizzati da setti simili come percezione ad edifici a muratura portante.

Mai come nel progetto e nella realizzazione di un edificio "in legno" è necessario riconquistare un approccio progettuale olistico e organico. Spesso i requisiti sopra elencati, sono affrontati e risolti in modo disarmonico, con un ordine di priorità dettato più dal desiderio di qualificare l'edificio come prestazionale su un certo tema, piuttosto che come organismo la cui qualità dovrebbe essere distribuita equamente nella sua totalità. Possiamo dire che la fisica tecnica è quindi **condizione necessaria** (ma non sufficiente) per la progettazione e la realizzazione di un edificio in legno, non solo una opzione da accendere per quelli che si vogliono qualificare come maggiormente "efficienti". Credo che la cartina di tornasole di questo approccio (e che sicuramente in molti progettisti ed imprese hanno già vissuto) sia l'esperienza di vedersi presentare (da un cliente come da un progettista) un progetto più o meno definito per poi chiedersi, come fosse una variabile indipendente, con quale tecnologia realizzarlo. Un approccio figlio di decenni in cui la bassa qualità generale dell'edilizia perdonava facilmente le incongruità e il basso comfort conseguente, sull'allarme della soluzione più economica. Personalmente credo che molti soggetti premino la tecnologia costruttiva in XLAM non per le caratteristiche prestazionali, la razionalità o la standardizzazione produttiva che offre, ma semplicemente perché simile ad un muro in laterizio di antica memoria.

¹⁷ Ad essere sinceri, un materiale totalmente "inerte" non esiste, si pensi agli edifici realizzati in cemento armato anche solo 30-40 anni fa e che oggi, causa cattiva manutenzione o per semplici errori progettuali, sono oggetto di pensanti ristrutturazioni se non di demolizione.

Ma sono quindi così fragili gli edifici in legno?

Tutti i materiali da costruzione, se male utilizzati, possono dare origine ad edifici "fragili", si pensi ad esempio agli edifici in cemento armato esposti alle intemperie o ad edifici in acciaio in relazione al pericolo di incendio. Il legno, rispetto a tutti gli altri materiali da costruzione, è risorsa rinnovabile e sia direttamente che come prodotto derivato (legno lamellare, compensato di tavole, pannelli isolanti o impiallacciati , etc....) può vantare una tavolozza di prestazioni (meccaniche, termiche, fonoisolanti, bassa tossicità, età..) inarrivabili ed uniche. Una tavolozza estesa e di qualità messa in mano a qualsiasi progettista. Da queste evidenze, è mia modesta opinione che dietro un edificio fragile, si cela un progetto ed una realizzazione fragili. Ed è su queste che bisogna continuare a migliorare. Nella Figura 7.4 qui a fianco è mostrato un dettaglio di una casa "tradizionale" giapponese in cui è evidente come l'utilizzo del legno come elemento portante (in un paese con forte attività sismica) e con un clima caratterizzato da una umidità ambientale elevata e piogge torrenziali, passi in primis dalla conoscenza dei suoi limiti e dalla protezione da possibili infiltrazioni di acqua.



Figura 8.4 – Casa tradizionale giapponese con struttura lignea – appoggio a terra.

Ottimo progetto e ottima realizzazione



Figura 8.5 – Antica "farmhouse" americana a sinistra e abitazione tradizionale del Benin – Africa su pali.

E' palese che molte delle problematiche accennate prima, sono imputabili a questo approccio progettuale che, nella cattiva realizzazione trova spesso un alibi di un progetto realizzato senza la citata visione. Le architetture "spontanee" in legno di tutto il mondo sono a testimoniare che l'approccio corretto sia sempre quello di "conformare" ed "evolvere" il linguaggio architettonico alle esigenze del materiale (e con risultati eccezionali dal punto di vista compositivo), piuttosto che illudersi di "piegare" il materiale alle mutabili esigenze del design.

La stessa distinzione tra edifici "in legno" o edifici a "struttura lignea" non è di poco conto, visto che nei primi potremmo associare alla specifica "in legno" solo alcune parti dell'organismo edilizio (quali finiture o solo una parte delle strutture quali la copertura), mentre nei secondi, il ruolo del materiale assume un ruolo decisamente diverso. Le nuove costruzioni in legno sono realizzate con tecniche e tipologie costruttive che hanno subito un'evoluzione rivolta essenzialmente alla prefabbricazione degli elementi strutturali e alla standardizzazione delle operazioni di montaggio. Molti sistemi hanno subito la trasformazione delle tecniche di assemblaggio degli elementi e l'utilizzo di elementi compositi in sostituzione degli elementi in legno massiccio.

Progettare con il "legno" può stare a significare avere a che fare con una moltitudine di prodotti con

caratteristiche termo-fisiche molto diverse e che è consigliabile conoscere bene (si pensi alla differenza di traspirabilità tra il legno massello e alcuni “prodotti” del legno, quali i pannelli composti da fibre di legno o pannelli OSB). Anche la tipologia strutturale scelta (ad elementi piani tipo XLAM o lineari a telaio) ha significative ricadute sulla corretta configurazione della stratigrafia, così come degli elementi di interferenza con l’involucro termico (quali la ferramenta ad esempio) o del posizionamento di percorsi e cavedi impiantistici meno “impattante”.

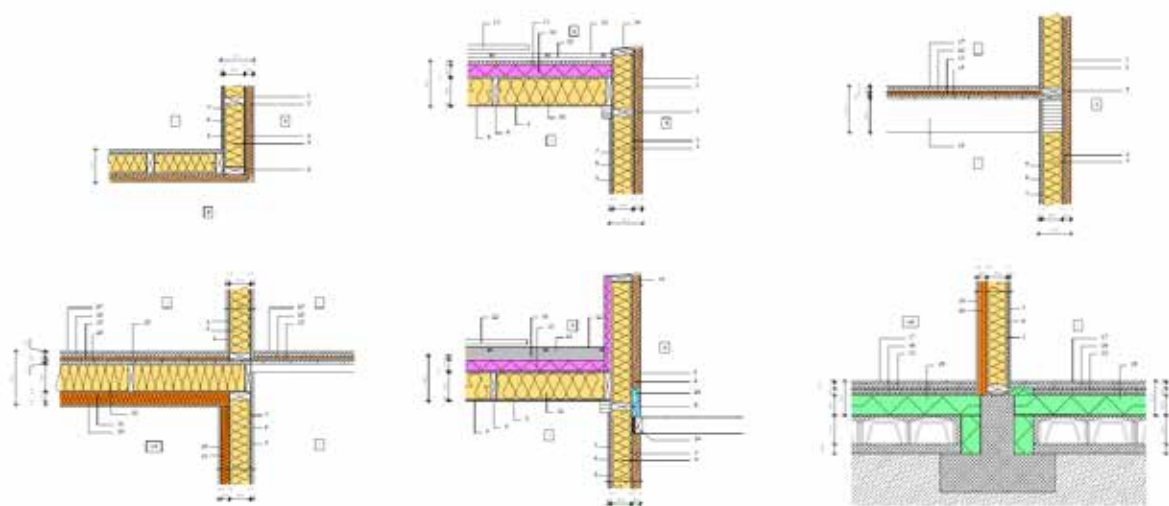


Figura 8.6 – Il progetto esecutivo di un edificio in legno dovrebbe mettere in evidenza il ruolo degli elementi (isolamento, tenuta all'aria, impermeabilizzazione all'acqua) e non solo essere una visione a risoluzione maggiore degli elementi stessi.

Chi progetta legno dovrebbe inoltre sempre tenere in considerazione le successive fasi di montaggio al fine di scegliere gli elementi di protezione (temporanei o definitivi) all'acqua piovana o alla radiazione solare, e deve naturalmente pretendere nella documentazione di appalto che tali indicazioni progettuali vengano rigorosamente rispettate. Non bisognerebbe mai dimenticare che i valori di conducibilità o traspirabilità che si leggono nelle schede tecniche sono determinati con precise condizioni al contorno (soprattutto di umidità relativa) ed un lieve scostamento di queste condizioni può peggiorare drasticamente le prestazioni dell'elemento costruttivo nei primi mesi di conduzione dell'edificio. Nello stesso processo andrebbero considerati e “progettati” i test di verifica delle prestazioni, quali la verifica dell'ermeticità dell'involucro, della umidità da costruzione o delle temperature superficiali. A mio avviso, concepirli come semplici verifiche, piuttosto che strumenti attivi per “correggere” o migliorare le prestazioni durante l'esecuzione dell'edificio, è una grande perdita di opportunità del processo edilizio.

E gli inquilini?

E' evidente quindi che per risolvere le problematiche accennate (che ripeto non sono degli edifici in legno ma bensì sono falle del loro processo ideativo e realizzativo) va ampliata la visione progettuale che deve “inglobare” anche la costruzione e la successiva manutenzione e conduzione dell'edificio. Tutti ne sono coinvolti, futuri utilizzatori compresi che non possono “esimersi” dal corretto uso. Una ultima, evidente (ma mai abbastanza sottolineata osservazione): i moderni edifici in legno non sono paragonabili come “fisica tecnica” a quelli che li hanno preceduti nei secoli scorsi in quanto radicalmente diverse sono le esigenze di comfort che venivano loro richieste. Ad una capanna africana, così come ad un maso alpino, nessuno ha mai richiesto la capacità di raffrescarsi “attivamente”; oggi, anche a causa dell'allarme generalizzato sul clima, agli edifici in legno, vengono richieste prestazioni termiche e capacità di resistenza sempre maggiori (si pensi semplicemente alle terrazze piane), ignorandone le conseguenze in termini di flussi di calore e vapore o pericolo di infiltrazioni d'acqua piovana. In sostanza, non è cambiato il legno, ma siamo cambiati noi e quello che esigiamo dai nostri spazi.



8.2 FISICA TECNICA: PRINCIPI FONDAMENTALI

Prima di capire quali prestazioni termiche chiedere agli elementi dell'involucro termico di un edificio in legno, è fondamentale capire quali sono le caratteristiche termo-fisiche che caratterizzano questo materiale e quali le variabili che le influenzano. Nel paragrafo successivo utilizzeremo queste singole caratteristiche termo-fisiche per determinare le prestazioni invernali ed estive dei diversi componenti dell'involucro termico.

Il legno è un materiale poroso-capillare e a seconda della sua massa volumica, la percentuale dei pori è mediamente pari a 50-60%. Il legno ha quindi una grande superficie interna, caratteristica che è determinante per tutte le sue proprietà termofisiche. Questo sistema costituito prevalentemente da cavità, come tutti i materiali porosi, assorbe vapore acqueo dall'aria circostante e può imbevverssi, per capillarità, di acqua o di altri liquidi (ad es. soluzioni di sostanze protettive del legno, adesivi).

Come già accennato, l'umidità del legno ne influenza praticamente tutte le caratteristiche fisiche, meccaniche e tecnologiche, quali la conducibilità termica ad esempio. Anche per la stabilità dimensionale essa assume un ruolo rilevante (molto maggiore della dilatazione termica) e può essere garantita se, in fase di lavorazione, il legno possiede un'umidità che manterrà anche nel successivo impiego. I parassitari del legno, animali e vegetali, necessitano, per la sopravvivenza di un determinato contenuto minimo di umidità; è quindi possibile ottenere una buona protezione del legno semplicemente mantenendo sufficientemente bassa la sua umidità. Un progetto cosciente deve quindi evitare il ristagno dell'acqua a contatto del legno e comunque permettere sempre e in qualsiasi punto una buona ventilazione in modo da mantenere condizioni di umidità del legno sotto il 18÷20%, limite oltre il quale inizia a manifestarsi l'attacco fungino. Tutto questo assume maggiore importanza se si realizza che le specie legnose più utilizzate (Abete rosso e abete bianco) sono caratterizzate da una Classe di Durabilità 4 o 5 (debolmente durabile o non durabile) ed evidenzia come il criterio di scelta dipenda da altri parametri quali l'economicità, la disponibilità e la lavorabilità.

8.2.1 L'UMIDITÀ NEL LEGNO.

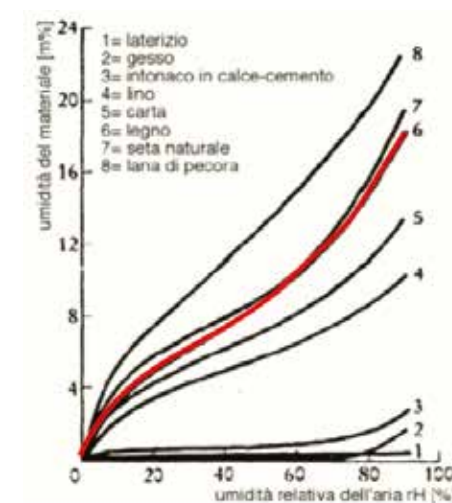


Figura 8.7 – Umidità dei materiali in funzione dell'umidità ambientale - [fonte Künzel 1990]

La densità della sostanza legnosa caratterizza la densità delle pareti cellulari esclusi i pori. Essa è pressoché la stessa in tutte le specie legnose (ca. 1.500 kg/m³) ed è perciò una costante del materiale legno. Oltre alla sostanza legnosa, il legno contiene acqua ed aria, il che spiega le sue buone capacità termo isolanti. Contrariamente alla densità della sola sostanza legnosa, la massa volumica (o densità apparente) presenta notevoli variazioni sia tra le varie specie legnose che all'interno di una specie stessa (a causa delle differenze dovute al luogo ed alle condizioni di crescita) ed anche in funzione della posizione nel tronco. La densità apparente è estremamente variabile e, può variare da 100 kg/m³ del legno di balsa, a 1.200 kg/m³ del legno di guaiaco.

Oltre alla densità della sostanza legnosa e alla massa volumica apparente, si definisce anche una massa volumica del legno anidro (cioè privo completamente di acqua al suo interno) che dipende in sostanza dal suo indice dei vuoti. Tale valore può variare da 0,3 g/cm³ a 1,0 g/cm³. Il peso specifico è a sua volta influenzato dal suo contenuto di umidità e questa influenza varia a seconda delle caratteristiche igroscopiche della specie legnosa e del contenuto di umidità dell'aria in cui esso è immerso. Essendo un materiale igroscopico, cioè capace di assorbire l'acqua presente nell'atmosfera, il legno stabilisce un equilibrio con l'ambiente circostante assorbendo (adsorbimento) o cedendo (desorbimento) vapore

acqueo. Questo rapporto “dinamico” con l’umidità dell’ambiente in cui è inserito è conseguenza della elevata superficie interna della sua struttura e risulta estremamente utile per contrastare rapide variazioni dell’umidità ambientale cedendo o assorbendone una certa quantità, con un effetto per l’ambiente in cui esso è inserito che potremmo definire di “inerzia” igroscopica. Si definisce umidità del legno “u” nel seguente modo:

$$u = \frac{(p - p_0)}{p_0} \cdot 100 \text{ [\%]}$$

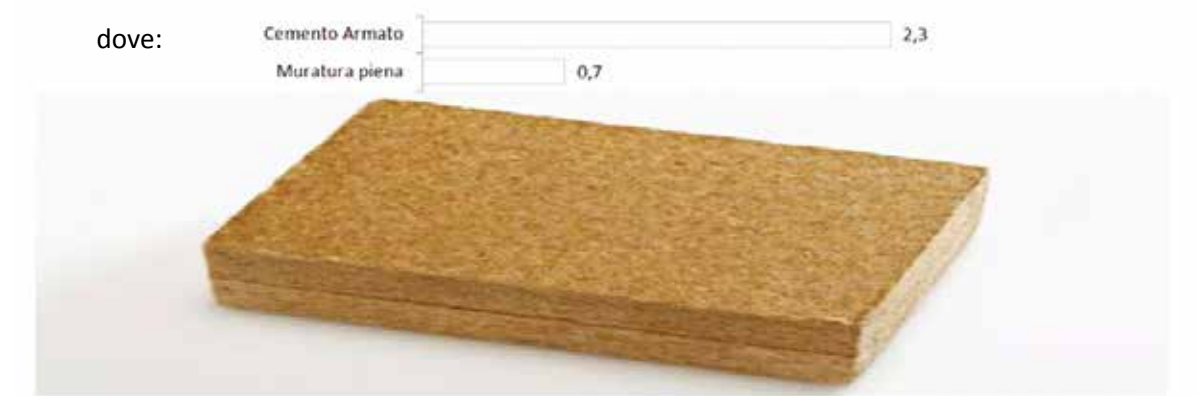


Figura 8.9 – molti materiali coibenti peggiorano sensibilmente la loro capacità coibente in funzione del loro contenuto di umidità interno.

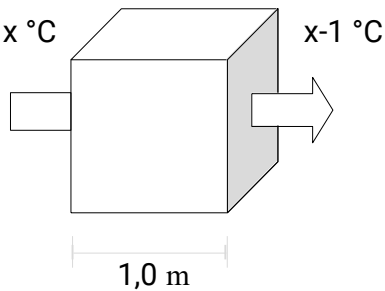
p = peso umido
p0 = peso anidro.
Si fa notare che u >100% è possibile se il legno è fresco e umido e che nel punto di saturazione fibre/ pareti cellulari u è circa il 30%. L’umidità di equilibrio con una temperatura dell’aria di 20°C e U.R. 65% è compresa tra il 12% - 16%.

STATO DEL LEGNO	VALORI DI UMIDITÀ [%]
legno allo stato fresco (appena tagliato)	40÷200
punto di saturazione (al disotto comincia il ritiro)	30÷35
legno al sicuro da funghi della carie	< 18
umidità commerciale (stagionatura all’aria libera)	15
umidità normale (Ta 20°C – U.R. 65%)	12
umidità tecniche (stagionatura artificiale)	9÷12
legno anidro (Ta 103°C – U.R. 0%)	0

Tabella 8.1- Valori tipici di umidità del legno.

8.2.2 CALORE E VAPORE

Per valutare la capacità termica isolante di un elemento costruttivo risulta di particolare importanza la sua conducibilità termica λ che si misura in W/(mK). Con essa si intende la quantità di calore che in un’ora passa attraverso un cubo di 1 m di spigolo, quando tra due superfici laterali parallele esiste una differenza di temperatura, costante nel tempo, di 1°K. A causa della sua elevata percentuale di pori, il legno è un cattivo conduttore di calore e di conseguenza un buon isolante termico. Il materiale legno è costituito da sostanza legnosa, acqua ed aria e quindi la sua conduttività termica λ è funzione di: massa volumica, umidità, struttura, temperatura. Per legno con un contenuto di umidità di circa il 20%, la conduttività termica perpendicolarmente alla fibratura assume valori λ ⊥ = 0,10 ÷ 0,20 W/(mK). Essa è quindi circa 15 volte più piccola che nel calcestruzzo armato e circa 10 volte in quello normale non armato!



Come scritto, il valore di conducibilità delle diverse specie legnose dipende fortemente sia dalla sua massa volumica (diversa da specie a specie), sia dal contenuto di umidità. Nella norma UNI EN ISO 10077-2 viene riportata la seguente tabella che mostra la variabilità del valore di conducibilità termica delle specie legnose più diffuse.

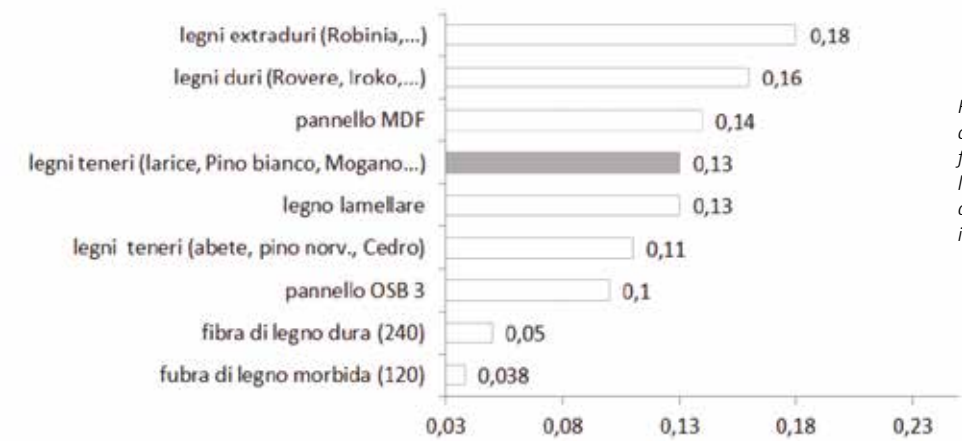


Figura 8.10 – Valori di conducibilità ortogonale alla fibratura di diverse specie legnose e alcuni dei prodotti derivati più utilizzati– valori in [W/m²K].

Oltre alle caratteristiche isolanti del legno massiccio, è utile conoscere anche quelle dei prodotti “derivati” quali i pannelli piani o i pannelli composti da fibre di legno. Data la sua struttura porosa, il legno, rispetto ad altri materiali da costruzione, ha una bassa resistenza al passaggio di vapore. Al fine di quantificare tale caratteristica, viene definito il fattore “μ” adimensionale di “resistenza alla diffusione del vapore” che indica quanto maggiore è la resistenza alla diffusione del vapore acqueo di un materiale rispetto ad uno strato d’aria di spessore equivalente : “μ” ha come valore minimo 1, a cui corrisponde proprio l’aria.

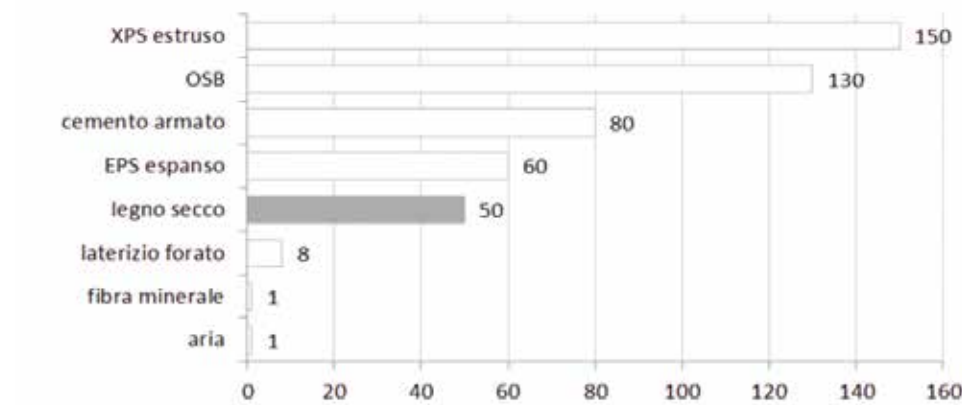


Figura 8.11 – Valore di resistenza alla diffusione del vapore μ di diversi materiali da costruzione – valore adimensionale.

Si evidenzia che, spesso ingenuamente, ci si scorda che nelle stratigrafie dei componenti edilizi di edifici in legno, si trovano diverse tipologie di materiali “derivati” dal legno (vedi ad esempio pannelli OSB o legno lamellare) i quali, a causa della loro composizione in cui sono presenti anche collanti di origine chimica, presentano valori di μ molto superiori a quello del legno (che è compreso genericamente in un range tra 40 e 60). Altro errore comune è quello di dimenticarsi che, nelle fessure tra pannelli lignei o a causa delle variazioni dimensionali delle sezioni di travi in legno causati dalle variazioni di umidità, la resistenza alla diffusione del vapore acqueo crolla miseramente e, in concomitanza con temperature basse, può produrre accumuli di condensa nel materiale interessato. È per questo che, soprattutto negli edifici in legno, per garantire in modo continuativo la tenuta all’aria (concetto che meglio approfondiremo in seguito) vengono inseriti teli con la funzione di regolare anche il passaggio del vapore.

Capacità di accumulare calore

E' esperienza comune di tutti associare ad edifici realizzati con materiali "pesanti", un buon comfort estivo (almeno per certi periodi). Questa attitudine è conseguenza (assieme ad altri fattori tra cui la conducibilità termica λ e la densità del materiale) della capacità di energia termica che essi sono capaci di accumulare favorendo la stabilità della temperatura interna. Si definisce quindi il parametro Capacità termica specifica, la cui unità di misura genericamente è in kJ/kgK, come la quantità di energia termica necessaria per riscaldare 1 kg di materiale di 1°K. Dai valori riportati nella seguente tabelle, si evince ad esempio che il legno, per unità di peso, può accumulare il doppio del calore del cemento (anche se per farlo necessita di un tempo molto più lungo).

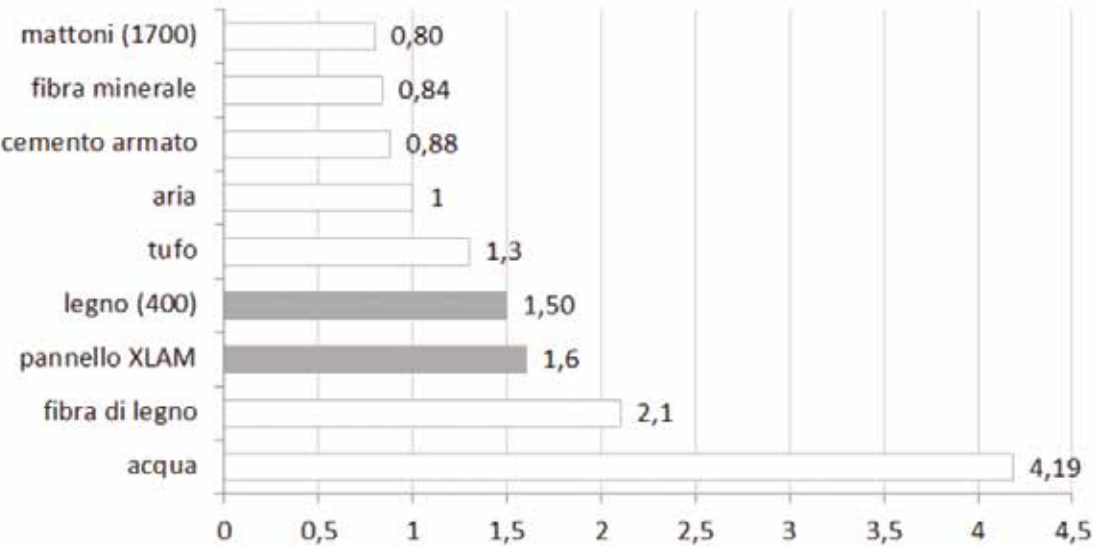


Figura 8.12 – Capacità termica di diversi materiali da costruzione – valori in [kJ/kgK]

La sola capacità termica non è sufficiente a dare una visione completa del reale comportamento estivo del materiale. Per ampliare questa visione può essere utile un parametro aggiuntivo definito come "Profondità di penetrazione termica b" o "effusività termica" che indica con quanta "velocità" il materiale assorbe o cede calore (nello specifico la velocità con cui assorbe una quantità di calore per innalzare la sua temperatura di 1°K). Si calcola così:

$$b = \sqrt{(\lambda * c * \rho)} \quad [Ws^{0,5}/m^2K]$$

Un materiale con un alto valore di b, a parità di capacità termica, reagirà con maggiore velocità alle variazioni di Temperatura e, essendo i flussi di calore di maggiore intensità, verrà percepito più freddo rispetto ad un materiale con un b più basso.

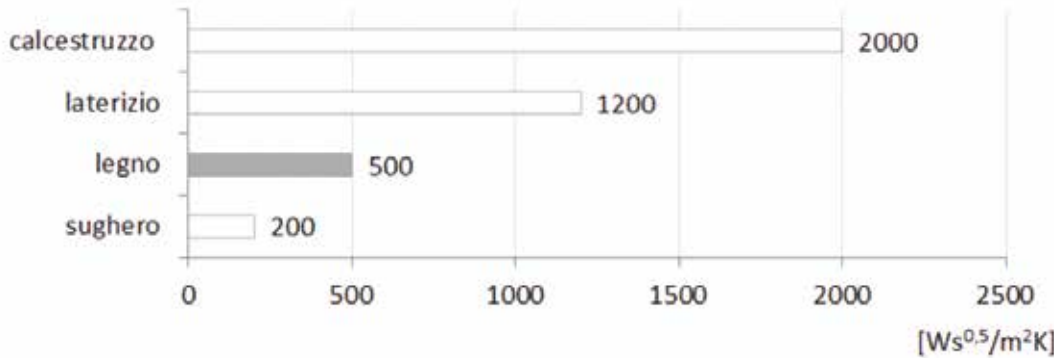


Figura 8.13 – Penetrazione termica "b" di diversi materiali da costruzione.



Figura 8.14 – Il legno e il cemento armato hanno entrambi una ottima capacità "teorica" di accumulare calore nel lungo periodo, ma il primo ha una risposta più dinamica e rapida agli sbalzi di temperatura.

In conclusione, è un buon materiale dal punto di vista costruttivo?

Il legno, rispetto a moltissimi altri materiali da costruzione, riesce a coniugare diverse caratteristiche termofisiche fondamentali per la realizzazione di ambienti confortevoli quali:

- Bassa conducibilità termica di circa 0,13 [W/m²K];
- Basso fattore μ di resistenza alla diffusione del vapore che per il legno massello è di circa 50 [-];
- Capacità di accumulare calore ed anche molto più rapidamente di altri materiali di finitura (ma non con la stessa rapidità di una pietra o di un intonaco);
- È un "regolatore" naturale dell'umidità interna degli ambienti, grazie alla sua capacità di prendere e cedere umidità dall'ambiente in cui si trova;
- Dal legno si possono derivare una serie di prodotti termoisolanti e fonoisolanti, nonché pannelli per costruzioni "a secco" quali i pannelli OSB, i pannelli MDF e i pannelli LVL, che possono sostituire molti elementi normalmente realizzati con lavorazioni "umide" quali gli intonaci o i massetti.



Figura 8.17 - Esempi realizzativi di strutture in legno in ambito alpino

Fondamentale affinché queste prestazioni rimangano stabili ed inalterate nel tempo, è che il livello di umidità al suo interno sia compresa tra il 12 ed il 20% massimo. In chiave sostenibilità vi sono poi due aspetti significativi da sottolineare:

- Il legno ha un basso contenuto di energia grigia: un metro cubo di legno da costruzione, per essere reso disponibile, necessita di circa 0,83 kWh/kg, quando ad esempio per produrre 1 kg di alluminio ne servono circa 60;
- Il legno presenta una ampia possibilità di riutilizzo: il legno, sia a fine vita, sia come prodotto di scarto di altri processi produttivi, trova moltissimi impieghi per l'imballaggio o per produrre prodotti derivati (quali pannelli OSB, truciolari, MDF, etc.);
- Possibilità di essere utilizzato come fonte energetica rinnovabile: a fine vita, è l'unico materiale da costruzione che può essere utilizzato come combustibile di energia rinnovabile.

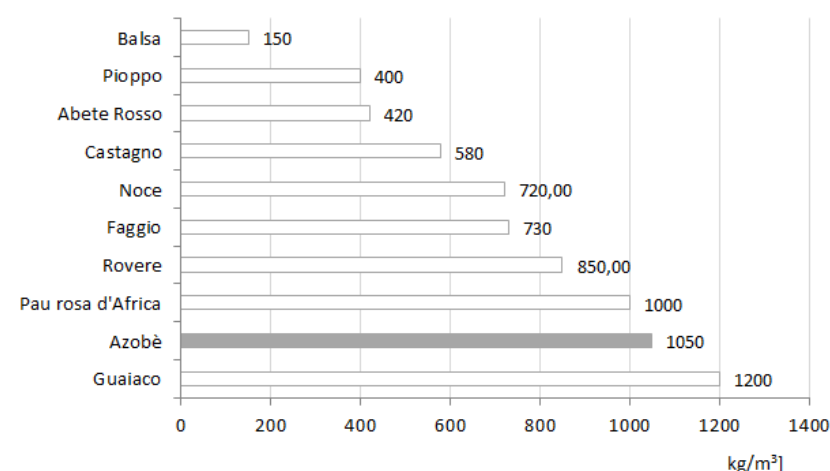


Figura 8.18 - Massa volumica di diverse specie legnose.

8.3 LA FISICA TECNICA DELL'INVOLUCRO TERMICO

8.3.1 DA MATERIALE NATURALE A MATERIALE DA COSTRUZIONE

Voglio subito evidenziare che, a mio avviso, non esistono a priori materiali “buoni” e materiali “meno buoni” dal punto di vista della fisica tecnica, ma solo materiali le cui caratteristiche termofisiche sono ben sfruttate (e ben protette) da un progetto impostato correttamente e sviluppato al fine di massimizzarne le caratteristiche positive, tutelandosi da quelle negative.

Questa impostazione, valida per qualsiasi tipo di edificio, è ancora più vera per gli edifici in legno, la cui quasi totalità delle caratteristiche termofisiche è fortemente influenzata dalle soluzioni per la protezione dall'umidità, da attacchi biotici o fotodegradazione introdotte dai progettisti e dagli esecutori. Non ha senso quindi parlare di prestazioni termiche di un edificio in legno, senza aver preliminarmente tutelato ogni sua parte da possibili accumuli di acqua, che sia condensa di vapore, pioggia o umidità di risalita.

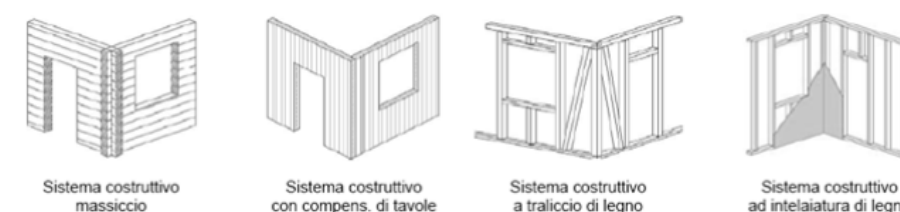


Figura 8.19– Il materiale “legno” può essere utilizzato come elemento dei pacchetti delimitanti l'involucro termico in svariati modi.

Un altro aspetto che può nascondere notevoli insidie per la riuscita di un edificio in legno di qualità è l'approccio progettuale “sequenziale” e per temi “stagni” (comportamento invernale e comportamento estivo ad esempio) : ognuna delle caratteristiche fisiche elencate nel precedente paragrafo, partecipa alle prestazioni termiche ed al comfort interno in ogni momento dell'anno (anche quando gli impianti sono spenti) e bisognerebbe cercare di sfruttarle tutte al meglio, per qualsiasi stagione e qualsiasi utilizzo si faccia dell'edificio.

Nel momento in cui utilizziamo un qualsiasi materiale per confinare uno spazio rispetto al clima esterno e agli agenti atmosferici, causa le leggi che governano gli stati energetici e l'equilibrio costante che essi cercano, viene attraversato continuamente da una serie di sollecitazioni termiche, meccaniche e igroscopiche e di flussi di calore e vapore entranti ed uscenti, la cui intensità varia con il contesto climatico e/o geografico in cui operiamo.

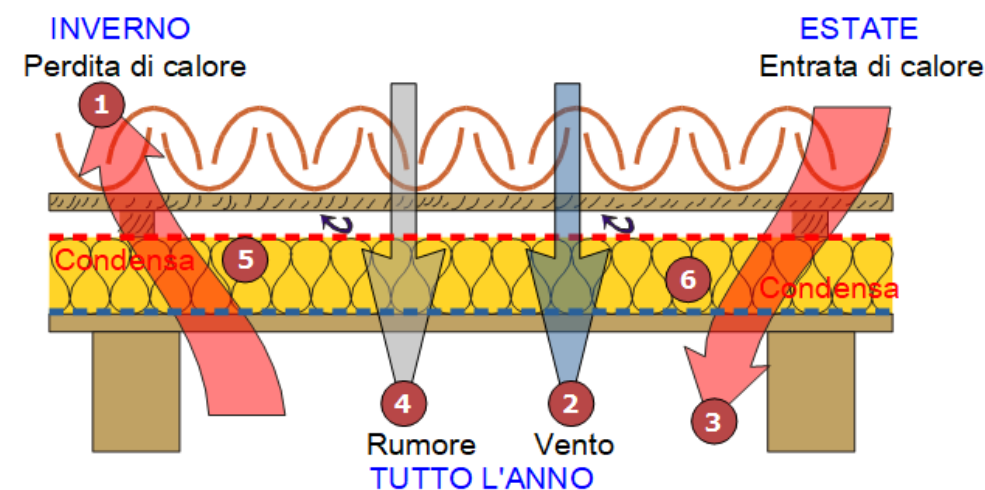


Figura 8.20 – Schematizzazione dei flussi entranti/uscenti da un pacchetto di copertura

Questi flussi, se non ben progettati, possono portare a fenomeni incontrollati di accumulo di acqua all'interno dei componenti delimitanti l'involucro termico e ad un crollo delle prestazioni termiche, in un processo iterativo che ben poche speranze lascia alla durabilità teorica del componente stesso. Questo può accadere non solo per un componente progettato male, ma anche per componenti che vengono a trovarsi in condizioni diverse per l'uso per cui sono stati pensati o, nel caso di edifici con alto livello di tenuta all'aria, per strategie di ventilazione errate o mai attuate. Stesse attenzioni devono essere poste in relazione agli ingressi "incontrollati" di acqua piovana, di risalita dal terreno o ambientale (nebbia ad esempio): una loro sottovalutazione (o mancata progettazione) risulta estremamente pericolosa negli edifici in legno i quali, alla luce di quanto scritto, possono essere realizzati solo in piena coscienza e conoscenza sia delle potenzialità che dei limiti del materiale. Nella corretta composizione degli elementi delimitanti l'involucro termico di un edificio in legno, sarebbe prioritario partire dalla sua classe di utilizzo che ne determina il rischio eventuale di attacco biologico, le condizioni di umidità o di esposizione alle intemperie in cui si verrà a trovare per tutta la sua vita operativa.

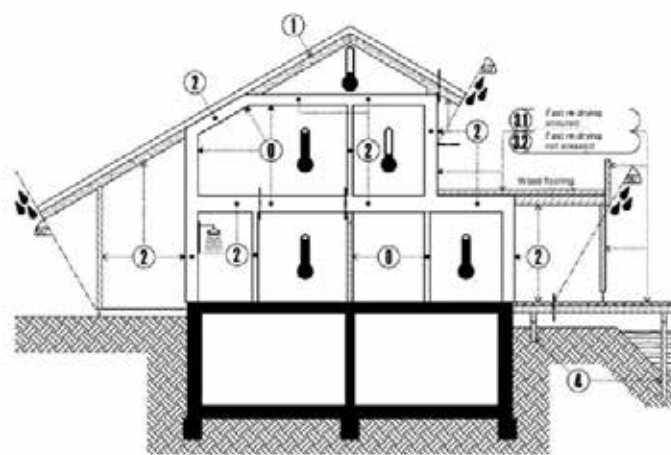


Figura 8.21 - Norme serie UNI EN 355 – tabella 3.1 : schema riportante la classificazione delle diverse classi di utilizzo degli elementi dell'involucro.

Un ultimo tema, ma spesso il più subdolo, riguarda la possibile umidità da "costruzione" lasciata in regalo da lavorazioni di cantiere complementari a quelle dell'involucro ligneo (ad esempio getti di calcestruzzo o sottofondi alleggeriti) che, senza una attenta valutazione dei giusti tempi di asciugatura, (molto rara) possono causare danni spesso ingenti e imprevedibili se non quando oramai l'unica soluzione è la demolizione.



Figura 8.22 – L'umidità negli edifici in legno può anche derivare da lavorazioni "umide" (sottofondi ad esempio ma anche intonaci), così come da fenomeni meteorologici intensi durante la costruzione.

Quindi la progettazione di un componente di un involucro termico richiede una visione più ampia che saperne calcolare le grandezze fisiche che seguono, il cui valore è significativo per capire semmai la congruità alla strategia energetica scelta ove anche il clima esterno, il tipo di utilizzo e il tipo di impianto attivo fanno la loro parte.

Soprattutto negli edifici in legno, che delle iper-prestazioni termiche fanno la loro caratteristica principale, dovrebbe essere indagata e sfruttata al massimo dai progettisti, la possibilità che offre l'involucro termico di ridurre al minimo i fabbisogni di calore (sia positivo che negativo), il corretto orientamento, il giusto valore di isolamento termico e la migliore strategia bioclimatica (se disponibile), così come la sintonia del sistema attivo impiantistico.

Spesso, a meno di errori clamorosi nel dimensionamento e nella scelta dei materiali, l'innescò di un fenomeno di degrado è dato dalla singolarità mal realizzata, dal cavedio non sigillato, dalla tubazione che taglia lo strato di tenuta all'aria, dalla sigillatura eseguita senza le opportune attenzioni. Certamente la strada della razionalità e della minimizzazione impiantistica, soprattutto negli edifici in legno, è un valore da perseguire e da ricercare.



Figura 8.23 – Esempio di passaggio impiantistico ben realizzato (sx) e mal realizzato (dx) nella stessa abitazione.

Per quanto riguarda il concetto di "giusto" valore di isolamento, credo che vada ricercato in funzione del "cost-optimun", determinando il valore della grandezza fisica da un bilancio energetico ben fatto (stazionario, dinamico o semi-dinamico che sia) e non solo guardando il singolo componente.

Tra le condizioni al contorno, credo che la più importante e sottovalutata, sia il livello di tenuta all'aria che, per esperienza diretta, è il fattore che rende reali le prestazioni calcolate e che, senza la quale, rimarrebbero solo numeri di un foglio di calcolo. Ogni componente deve quindi essere progettato "contemporaneamente", sia dal punto di vista dei flussi di calore, che dei flussi di vapore, dando continuità progettuale e costruttiva agli strati di isolamento e di tenuta all'aria ed identificando i punti di discontinuità che meritano approfondimenti e specifici dettagli costruttivi, il cui numero è spesso inversamente proporzionalità alla razionalità progettuale.

8.3.2 DAL MATERIALE AL COMPONENTE

Nella progettazione di un componente di un involucro termico, devono essere utilizzate nelle giuste proporzioni ed ordine le caratteristiche precedentemente descritte di isolamento termico, capacità termica e di resistenza alla diffusione del vapore. Materiali giusti, ma posizionati con un ordine errato, possono portare ad un componente o poco prestazionale o addirittura di scarsa durabilità a causa dei fenomeni di condensazione interna che potrebbero manifestarsi.

La Figura 7.24 mostra un esempio di stratigrafia tipo di una parete di un edificio a struttura lignea (nello specifico "a telaio"). Vengono elencati i diversi utilizzi del legno e dei suoi derivati in funzione delle caratteristiche termo-fisiche evidenziate nel precedente paragrafo.

In particolare:

- Materiale 1: fibra di legno termoisolante ad alta densità (180) idonea alla rasatura esterna;
- Materiale 2: fibra di legno termoisolante a media densità (140) con maggiore potere coibente e con telaio;
- Materiale 3: pannello LVL di controventamento e chiusura della parete a telaio;
- Materiale 4: fibra di legno termoisolante a bassa densità (50) per il riempimento della struttura;
- Materiale 5: fibra di legno a bassa densità (50) per il riempimento della controparte impiantistica;
- Materiale 6: pannello in legno mineralizzato per il supporto di intonaco interno a calce.

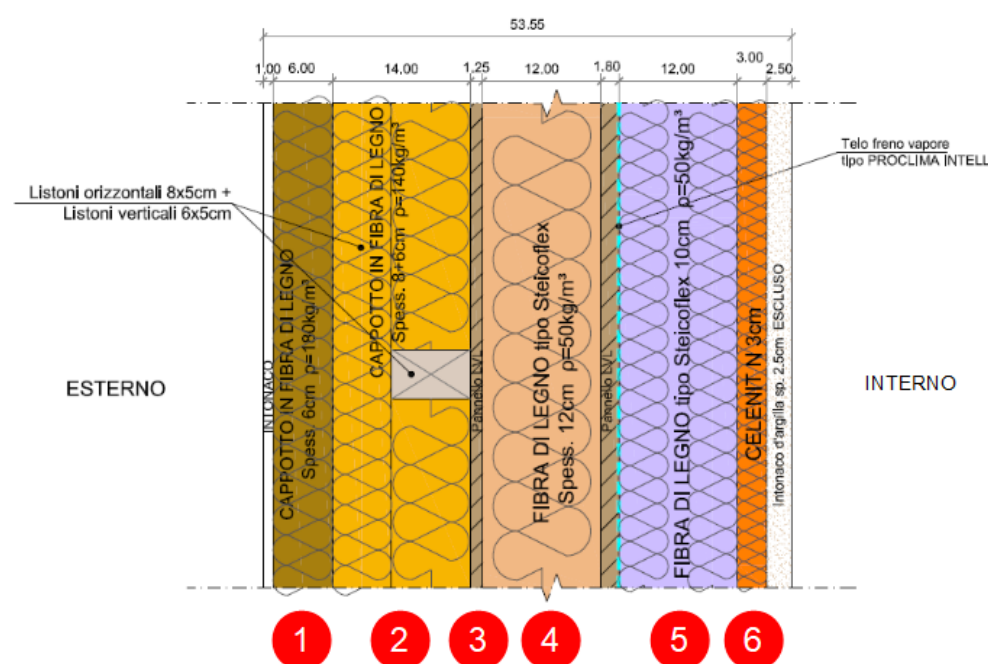


Figura 8.24 - Stratigrafia di una parete esterna di un edificio a struttura a telaio ad alte prestazioni invernali ed estive.

Perché i singoli strati sono in quell'ordine? Perché ho materiali con diverse densità? Per quale motivo ho all'interno uno strato di intonaco? Sono domande a cui risponderemo alla fine dopo aver analizzato come calcolare le prestazioni termiche ed igrometriche di un componente.

8.3.2.1 Le prestazioni termiche

La trasmittanza

La trasmittanza U la cui unità di misura è $[W/m^2K]$ quantifica l'energia termica dispersa per conduzione da un componente costruttivo per la differenza di $1^\circ K$ tra la faccia interna ed esterna dello stesso. Il flusso di calore è sempre nella direzione della differenza di T positiva (cioè dal lato caldo al lato freddo). Si definisce anche trasmittanza "stazionaria" perché è lo scambio di calore che avviene quando sono definiti i livelli di temperatura interni ed esterni e tutta la capacità termica della parete è "satura". È anche il motivo per cui, nel calcolo, non è contemplata la massa del componente costruttivo. Minore è il valore U di un componente e minore sarà il flusso di calore uscente/entrante, minore sarà l'energia dispersa/ricevuta per conduzione attraverso il componente edilizio nella stagione considerata.

Il calcolo della trasmittanza U è eseguito secondo la norma UNI EN ISO 6946: 2017 che fornisce un metodo di calcolo sia per componenti con stratigrafie omogenee, sia per componenti che presentano delle discontinuità dovute a variazioni di spessore o di materiale al suo interno (come succede per esempio per strutture a telaio).

Note conducibilità e spessori dei materiali componenti, per calcolare U_{tot} di un componente edilizio omogeneo si procede così:

- Si calcola la R_{tot} del componente a cui vanno sommate le resistenze termiche superficiali (o liminari) dovute al movimento dell'aria in corrispondenza delle superfici esterne ed interne, variabili in funzione del tipo di componente considerato:

$$R_{tot} = R_{si} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se} \quad [m^2K/W]$$

Dove:

s_i è lo spessore in metri del materiale i -esimo

λ_i è il valore di conducibilità del materiale i -esimo

R_{si} è il valore della Resistenza superficiale interna

R_{se} è il valore della Resistenza superficiale esterna

- Si calcola la Trasmittanza termica del componente come l'inverso della Resistenza termica totale R_{tot} , cioè:

$$U_{tot} = 1/R_{tot} \quad [W/m^2K]$$

Spesso ci si dimentica che il valore di Trasmittanza di un componente edilizio è direttamente correlato al valore di temperatura superficiale interna (ed esterna) che esso assumerà in condizioni di equilibrio termico (casa riscaldata a $20^\circ C$ ad esempio) ed è quindi uno dei fattori determinanti per le condizioni di comfort interno e come vedremo meglio nel paragrafo successivo, indirettamente della salubrità dell'aria.

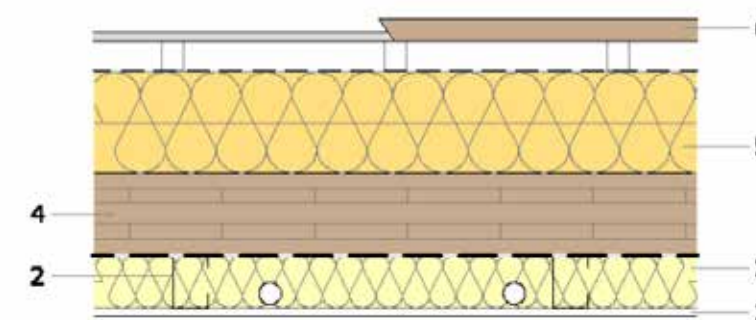


Figura 8.25 - Parete esterna con tecnologia XLAM (sezione omogenea).

Per **stratigrafie non omogenee**, in cui cioè possono occorrere cambiamenti nella tipologia del materiale o nello spessore di uno stesso materiale (si pensi ad esempio a un edificio in legno con pareti a telaio in cui l'isolamento è interrotto dalla presenza dei montanti strutturali a passo costante), la norma UNI EN ISO 6956, fornisce un metodo di calcolo che viene descritto nel punto successivo.

Le discontinuità di resistenza termica ed i ponti termici materici e geometrici

Come scritto nel paragrafo precedente, la grandezza della trasmittanza (formula [3]) serve a quantificare l'energia termica dispersa per conduzione da un componente costruttivo. Nel caso di componenti non omogenei, la norma UNI EN ISO 6946 definisce una metodologia specifica per il calcolo di un valore U medio che tiene conto dell'aumento dei flussi di calore dovuti proprio alle discontinuità di resistenza termica degli strati (fino a 3 stratigrafie diverse nello stesso componente). Il metodo fornito dalla UNI ha i suoi limiti di applicabilità dati dalla forma rettangolare delle disomogeneità, dal rapporto tra la conducibilità termica degli strati disomogenei (circa 4-5 volte) e dalla assenza di cavità interne. Un altro modo di calcolare la trasmittanza di componenti disomogenei è di calcolare il flusso di calore che

attraversa il componente edilizio con un software agli elementi finiti che operi secondo la norma UNI EN 10211, da cui poter derivare sia le discontinuità del flusso termico (ponti termici materici), sia le discontinuità di temperature superficiali interne a causa delle stesse disomogeneità. Il risultato del calcolo bidimensionale è il valore ψ (si dice PSI) che si misura in $[W/mK]$.

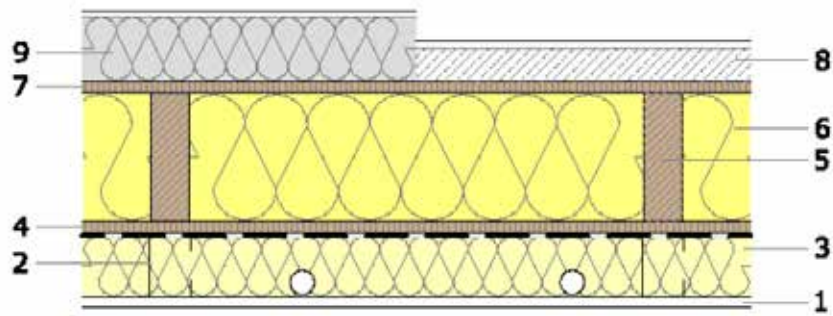


Figura 8.26 – Parete esterna con tecnologia “a telaio” (sezione disomogenea)

Orientamento elemento costruttivo		Resistenza termica lineare $[m^2K/W]$	
2-Parete		R_{si} interna	0,13
verso 1-Aria es		R_{se} esterna	0,04

Sezione 1	λ $[W/mK]$	Sezione 2 (opzionale)	λ $[W/mK]$	Sezione 3 (opzionale)	λ $[W/mK]$	Spessore $[mm]$
Rasatura cappotto	0,900	Ras. cappotto	0,900			7
Cappotto Lana di Roccia	0,036	Cappotto Lana di Roccia	0,036			80
OSB	0,130	OSB	0,130			15
Rockwool 211	0,035	Legno	0,130			200
OSB	0,130	OSB	0,130			15
Cartongesso	0,210	Cartongesso	0,210			12,5
Cartongesso	0,210	Cartongesso	0,210			12,5
% Sezione 1		% Sezione 2	% Sezione 3		Totale	
89%		11,1%			34,2	cm

Maggiorazione valore U	W/(m²K)	Valore U:	0,135	W/(m²K)
------------------------	---------	-----------	-------	---------

Figura 8.27 – calcolo sfruttando la norma UNI EN 6946 per il calcolo della trasmittanza di pareti disomogenee.

Durante il periodo invernale, in corrispondenza dei flussi di calore maggiori, cioè con valori PSI più alti, si avranno le T superficiali inferiori. Si pensi ad esempio ad un solaio in XLAM che fuoriesce dall’involucro termico per realizzare lo sporto di un balcone.

Oltre ai ponti termici materici, conseguenza come detto di disomogeneità dei valori di resistenza termica del componente, si definiscono un’altra tipologia di ponte termici: quelli geometrici. A differenza dei primi, in questi i flussi di calore aggiuntivi (rispetto al valore di trasmittanza calcolata) sono dovuti a variazioni non della stratigrafia del componente, ma bensì a delle variazioni della geometria (ad esempio un angolo di un edificio).

Il calcolo che si esegue è il medesimo (con un software agli elementi finiti che operi secondo la norma UNI EN 10211) ma a seconda dei riferimenti con cui si descrive la totalità dell’energia termica che attraversa il componente, questi possono avere un valore ψ positivo o negativo.

Questo non significa che il flusso di calore aggiuntivo abbia una direzione “opposta” a quello calcolato con la Trasmittanza, ma soltanto che nel calcolo del flusso di calore tramite la trasmittanza, stiamo o sottostimando o sovrastimando la quantità di calore totale. Anche in questi, durante il periodo invernale, in corrispondenza dei flussi di calore maggiore, si avranno le T superficiali inferiori.

Le due tipologie di ponti termici (materici e geometrici) si possono anche sommare (si pensi ad un angolo di un edificio con struttura a telaio, in cui è inserito ad esempio un elemento metallico).

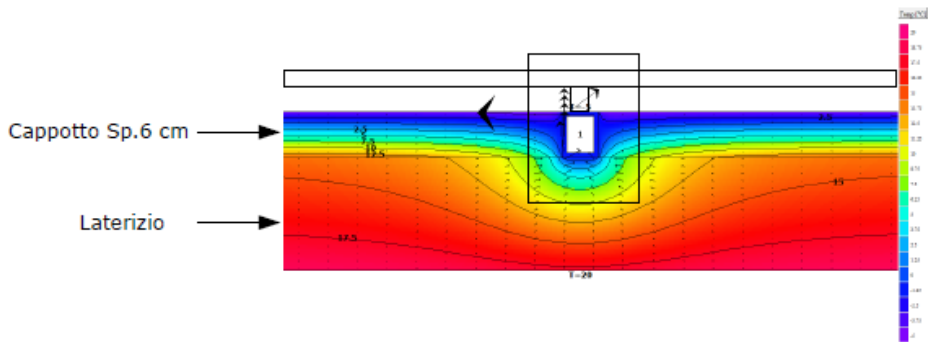


Figura 8.28 – Analisi FEM per un a parete contenente un montante in alluminio inserito nello spessore del cappotto esterno.

Quali sono i valori limite di trasmittanza termica da rispettare?

La normativa generalmente chiede (direttamente o indirettamente) il rispetto di valori limite di trasmittanza sia ai fini del rispetto dei requisiti energetici minimi dei fabbricati (siano essi di nuova costruzione o assimilabili a ristrutturazione), sia ai fini della deducibilità fiscale degli interventi sugli edifici esistenti.

Per gli edifici realizzati con tecnologia in legno, questi valori sono normalmente raggiungibili con spessore di isolanti inferiori rispetto a soluzioni massicce in quanto lo stesso legno strutturale presente partecipa all’isolamento termico.

TABELLA 1 (Appendice A) Trasmittanza termica U di riferimento delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non riscaldati o contro terra		
Zona climatica	U_{rif} $[W/m^2K]$	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,45	0,43
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

TABELLA 2 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e ambienti non riscaldati		
Zona climatica	U_{rif} $[W/m^2K]$	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,38	0,35
C	0,36	0,33
D	0,30	0,26
E	0,25	0,22
F	0,23	0,20

Figura 8.29 – D.M. 26/06/2015 Requisiti Minimi – Appendice A “tabelle trasmittanze limite”.

Tabella 2. Valori limite della trasmittanza termica utile U delle strutture componenti l’involucro edilizio espressa in (W/m^2K)

Zona climatica	strutture opache verticali	strutture opache orizzontali o inclinate		chiusure apribili e assimilabili $(^{**})$
		Coperture	Pavimenti $(^{*})$	
A	0,54	0,32	0,60	3,7
B	0,41	0,32	0,46	2,4
C	0,34	0,32	0,40	2,1
D	0,29	0,26	0,34	2,0
E	0,27	0,24	0,30	1,8
F	0,26	0,23	0,28	1,6

$(^{*})$ Pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno

$(^{**})$ Conformemente a quanto previsto all’articolo 4, comma 4, lettera c), del decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59, che fissa il valore massimo della trasmittanza (U) delle chiusure apribili e assimilabili, quali porte, finestre e vetrine anche se non apribili, comprensive degli infissi.

Figura 8.30 - I limiti di trasmittanza per la deducibilità fiscale.

La trasmittanza dinamica, lo sfasamento ed il fattore di attenuazione

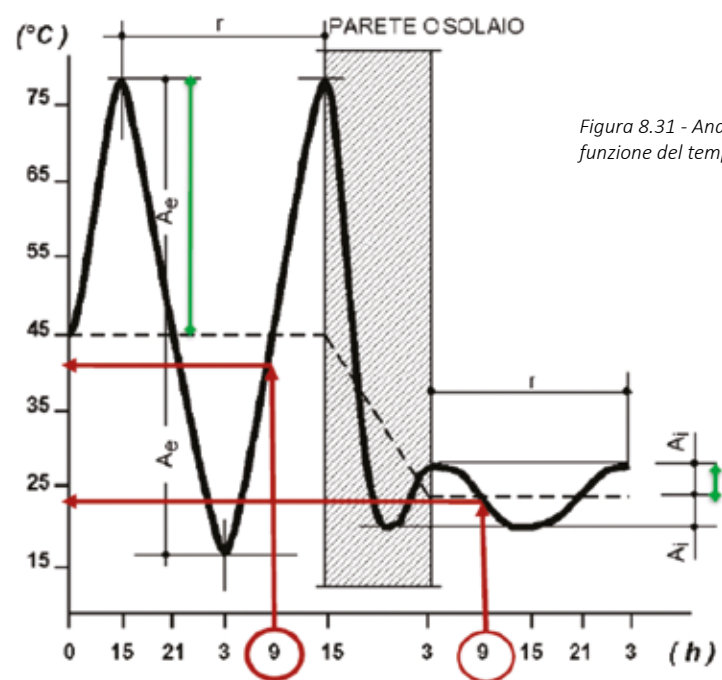


Figura 8.31 - Andamento delle temperature in funzione del tempo in regime termico variabile

Rispetto alla trasmittanza stazionaria U precedentemente vista, si effettua il calcolo della trasmittanza dinamica Y_{ie} (o periodica) secondo la metodologia della norma UNI 13786. L'unità di misura è sempre $[W/m^2K]$ ed il valore che si ottiene dal calcolo viene confrontato con valori minimi richiesti dalla normativa (più bassi sono, meglio è), verificandone la congruenza. Il significato fisico di questo parametro è quello di quantificare il modo in cui un determinato componente (parete, tetto) si comporta rispetto a fluttuazioni climatiche dinamiche (si pensi alla variazione di temperatura esterna dell'aria in Estate).

E' un parametro che valuta la capacità di una parete o di una copertura opaca di sfasare e attenuare la componente periodica del flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore. L'involucro edilizio è l'elemento di separazione tra l'ambiente interno e quello esterno. Il suo compito è far sì che, nonostante la variabilità che caratterizza l'ambiente esterno, le condizioni all'interno siano stabilmente confortevoli (anche per una questione di dimensionamento ed efficienza impiantistica). Questa verifica, da norma, è richiesta solo per località la cui l'irradianza media mensile sia superiore ai $290 [W/m^2]$.

- La medesima norma permette di calcolare altri due parametri utili a comprendere il comportamento di un componente opaco in regime estivo, ma di cui non vi è più l'obbligo normativo di rispetto:
- Lo Sfasamento, che descrive quanto tempo (in [h]) occorre tra le due condizioni di picco di temperatura superficiale esterna ed interna, considerandone un andamento sinusoidale;
 - Il Fattore di attenuazione, che esprime in [%] quanto la struttura riesce a smorzare gli effetti delle variazioni climatiche esterne;
 - Sulla base di quanto descritto, si evince che è importante avere :
 - Sfasamento elevato (dove per elevato si intende un valore almeno superiore alle 8 ore), così da allontanare i due picchi tra loro;
 - Fattore di attenuazione basso, così da risentire molto poco delle variazioni esterne.

Questi tre valori (trasmittanza dinamica, sfasamento e fattore di attenuazione) sono legati tra loro e a valori buoni di uno di questi, corrispondono valori buoni degli altri due. I parametri fisici che influiscono sui loro valori sono i seguenti :

- Conducibilità λ dei materiali
 - Capacità termica C dei materiali (proporzionale al calore specifico c e alla sua massa m)
 - Spessore del materiale (che influisce sulla massa presente e sulla resistenza termica totale)
- Le grandezze prima definite hanno quindi il compito di capire come sfruttare le pareti esterne e la loro combinazione di isolamento e capacità di accumulo dell'energia termica (inerzia termica) al fine di limitare sia il calore in ingresso (sia dall'aria esterna che dalla radiazione solare), sia le oscillazioni di temperatura superficiale, ma sempre relativamente alle forzanti climatiche esterne sui componenti opachi.

STRATIGRAFIA		Standard	Classe A	Passiva			
		mm	mm	mm			
1	Fibrogesso	12,5	12,5	12,5			
2	Montanti metallici	50	50	50			
3	Isolante fibroso	50	50	50			
4	Pannello XLAM	100	100	100			
5	Cappotto RW/WW	60	120	160			
6	Facciata ventilata	50	50	50			
Spessore [cm]		27,2	33,2	37,2			
PRESTAZIONI		limite					
Sf [h]		10 *	11,3	13,7	15,6		
Y _{IE} [W/m²K]		0,12	0,02	0,01	0,01		
U [W/m²K]		ZONA	0,26	0,19	0,16		
		ZONA A	ZONA B	ZONA C	ZONA D	ZONA E	ZONA F
		0,43	0,43	0,34	0,39	0,26	0,24

Figura 8.32 – Tabella riassuntiva delle prestazioni termiche del pacchetto di cui alla Figura 7.25

- Oltre a questi parametri, altri due parametri che “aiutano” negli stessi obiettivi sono:
- Coefficiente di assorbimento esterno α : si misura in [%] ed è un indice della capacità del materiale di assorbire la radiazione solare. Dipende in modo significativo dal colore della superficie.
 - Coefficiente di emissività esterno ϵ : si misura in [%] ed è un indice della capacità del materiale di cedere per irraggiamento verso le superfici (più fredde) esterne la sua energia termica. Dipende in modo significativo dal tipo di materiale e dalla struttura della superficie (più alta per i materiali edili e più bassa per i metalli).
- I due valori si “combinano” in un parametro unico definito SRI (Solar Reflectance Index).



Figura 8.33 – Utilizzo di una guaina riflettente ad alto valore SRI su un moderno edificio in legno.

Il problema dei carichi interni

In realtà il comfort estivo, a parità di valori di trasmittanza periodica, di sfasamento e di fattore di attenuazione, può essere seriamente compromesso dai carichi interni. Oltre ai parametri sopra citati, vi è un altro parametro che lo stesso algoritmo di calcolo fornisce come risultato e che può essere d'aiuto a capire come l'elemento costruttivo si comporta rispetto appunto a carichi interni significativi: la Capacità termica areica interna C_{ip} (calcolata secondo UNI EN ISO 13786:2008). Questo parametro, che si misura in $[kJ/m^2K]$ descrive il comportamento dell'involucro edilizio interno, tenendo in considerazione della profondità di penetrazione dell'onda termica. Un alto valore di C_{ip} sta a significare che la parete ha una buona capacità di accumulo termico rispetto ai carichi interni (o dei guadagni solari indesiderati) e contribuisce a ridurre la temperatura superficiale della parete. Questo parametro è anche utile ad aumentare il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti di energia (solare ed interni) nel periodo di riscaldamento.

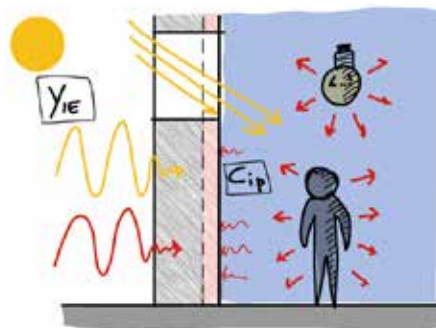


Figura 8.34 – Edificio residenziale in legno – si noti l'utilizzo di pareti interne in legno mineralizzato come pannello porta intonaco per aumentare il valore di capacità Areica interna degli ambienti.

8.3.2.2 Le verifiche termo-igrometriche

I calcoli visti nei paragrafi precedenti hanno come scopo determinare la quantità di energia termica che attraversava (soprattutto per conduzione) il componente edilizio. Le verifiche termo-igrometriche hanno lo scopo di valutare il rischio che, nel componente edilizio non avvenga o avvenga oltre certi limiti, condensa superficiale (e di conseguenza muffe) e/o condensa interstiziale.

Perché si forma condensa sulla superficie interna di un componente edilizio?

In caso di condizioni esterne critiche (molto freddo) e scarso isolamento dell'involucro dell'edificio, la superficie interna può diventare così fredda da risultare al di sotto del punto di rugiada (cioè quella temperatura a cui l'umidità presente in quella concentrazione può condensare). L'aria interna che si trova vicina a questa superficie fredda, si raffredda a tal punto da condensare. Ad esempio, con una temperatura interna di 20°C ed una umidità relativa del 50%, la temperatura di rugiada è di circa 9,3°C. Se una parte dell'involucro dell'edificio ha una temperatura della superficie interna inferiore a questa temperatura, l'aria interna condenserà sulla superficie stessa.

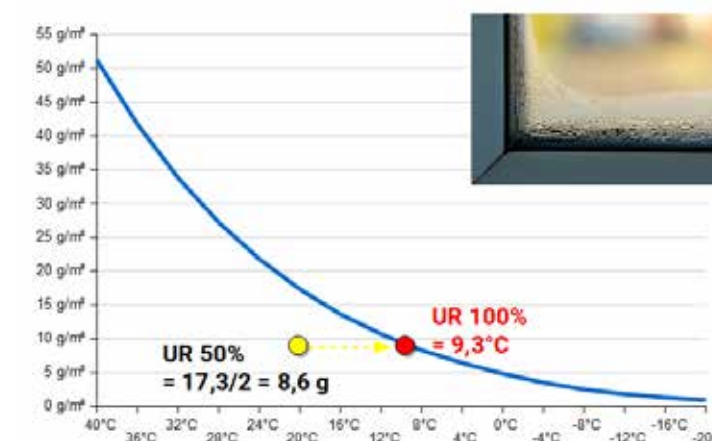


Figura 8.35 – Grafico illustrativo del punto di rugiada per una miscela d'aria e vapore.

Per la formazione di muffe non è necessario che vi sia condensazione, ma è sufficiente arrivare all'80% di U.R., quindi nel caso esposto, basterà che una superficie sia ad una temperatura inferiore a 12,6°C (a cui corrisponde appunto una U.R. dell'80%) affinché vi siano le condizioni favorevoli alla sua formazione. È facilmente intuibile che i punti maggiormente soggetti a questo rischio sono ove sono presenti dei ponti termici (cioè delle riduzioni della resistenza termica/aumenti dei flussi di calore), oppure dei punti in cui l'umidità si accumula causa scarsa ventilazione (ad esempio dietro ad un armadio o una tenda).

Precedentemente abbiamo visto come, tramite la grandezza ψ $[W/mK]$ fosse possibile valutare quantitativamente un ponte termico. Ma da questo valore (che dipende anche dal sistema di riferimento scelto per descrivere l'edificio) non è possibile valutare la qualità termica del componente, cioè quanto "distanti" siamo dalle condizioni di condensa superficiale o formazione di muffa.

A tale scopo è stato definito un ulteriore parametro, definito Fattore superficiale di temperatura definito come segue:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} [-]$$

Dove:

θ_{si} è lo spessore in metri del materiale i-esimo

θ_i è il valore di conducibilità del materiale i-esimo

θ_e è il valore della Resistenza superficiale interna

Affinché il componente sia verificato, è necessario che il valore di $f_{Rsi} > f_{Rsi\ min}$, il cui valore dipende dal clima, dalle condizioni di umidità interna dell'ambiente considerato e dal tipo di componente (parete, copertura, etc.). Valori buoni di f_{Rsi} sono genericamente superiori a 0,7.

Perché si forma condensa all'interno del mio elemento?

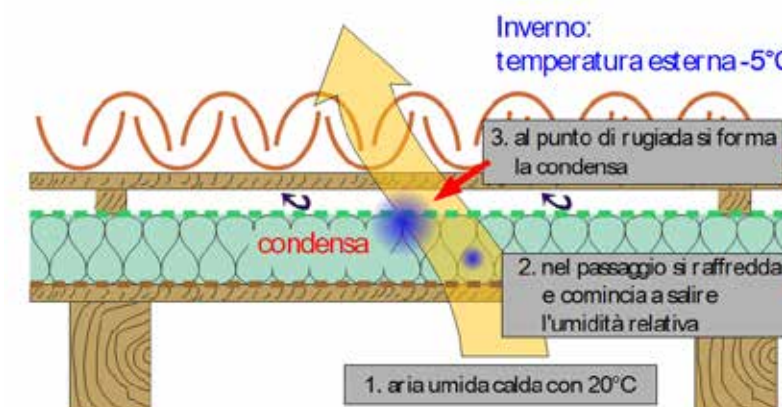


Figura 8.36 – Meccanismo di formazione di condensa interstiziale in una copertura lignea.

Il punto di rugiada è rilevante solo se vi “arriva” l’aria interna attraverso il fenomeno della diffusione. Bisogna ricordare che il vapore disciolto nell’aria interna si sposta da zona dove la pressione è maggiore (zone più calde) a dove la pressione è minore (zone più fredde). In Inverno si sposterà dall’interno verso l’esterno ed in Estate viceversa. Se un elemento costruttivo è, in qualche punto al suo interno, al di sotto di tale temperatura, si avrà condensa.

La norma di calcolo per la verifica del rischio di condensa interstiziale è la UNI EN ISO 13788, mentre le condizioni interne di calcolo (temperatura dell’aria e U.R. dell’aria) sono quelle previste nell’appendice alla norma sopra citata, secondo il metodo delle classi di concentrazione. In tale norma sono indicate anche le quantità massime di condensa per metro quadro ammissibili nel componente edilizio.

Nel paragrafo precedente abbiamo visto come ogni materiale può essere caratterizzato da un valore “μ” adimensionale di “resistenza alla diffusione del vapore” che indica quanto maggiore è la resistenza alla diffusione del vapore acqueo di un materiale rispetto ad uno strato d’aria di spessore equivalente. Passando dal materiale al componente edilizio, viene definito il parametro Sd = spessore equivalente d’aria per la diffusione del vapore, misurato in [m].

La formula per il calcolo di Sd è la seguente:

$$S_d = \sum_i^n s_i \times \mu_i \quad [m]$$

dove:

Si è lo spessore in metri del materiale i-esimo

μi è il valore del fattore di resistenza igroscopica del materiale i-esimo

Ogni pacchetto opaco delimitante l’involucro termico ha un proprio valore Sd, necessario come vedremo per verificarne la compatibilità normativa. La UNI 11470 al paragrafo 4.1 propone a tal proposito una classificazione degli schermi e delle membrane traspiranti sulla base del valore di Sd.

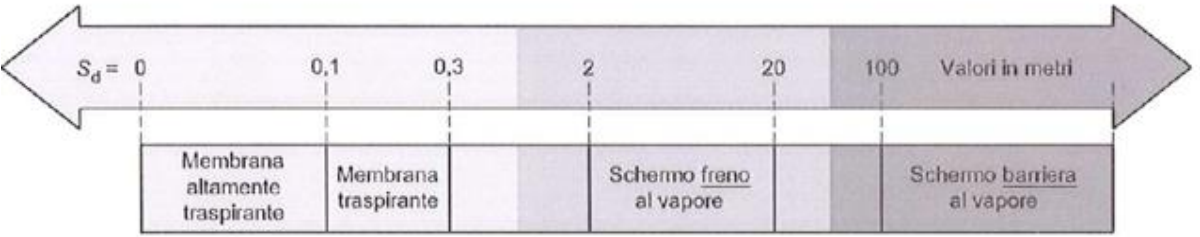


Figura 8.37 – Classificazione degli schermi e delle membrane in funzione del loro valore Sd.

I parametri su cui “lavorare” per evitare condensazione sono quindi:

- Valore Sd degli strati dei materiali (cioè del valore μ e del loro spessore)
- Valore di resistenza termica dei vari materiali (perché cambia il punto in cui si potrebbe avere condensa)

La funzione dei teli freno vapore e delle barriere vapore è proprio quello di regolare la quantità di aria interna (e di vapore) che attraversa l’elemento costruttivo, al fine di evitare o limitare i fenomeni di condensa interstiziale.

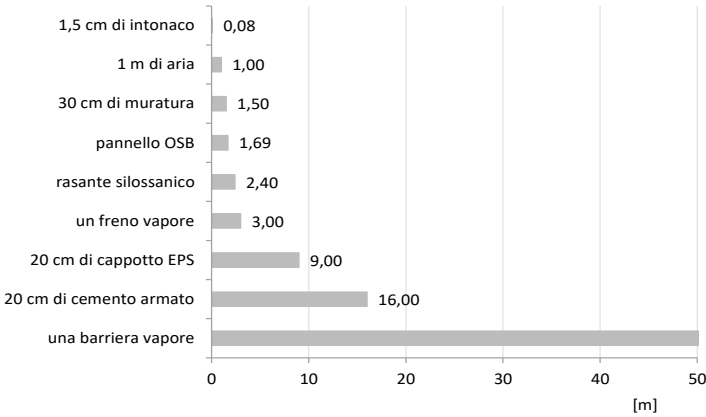


Figura 8.38 – Valori Sd di stratigrafie di materiali comunemente utilizzati.

Perché è necessario nastrare i teli freno vapore?

Se un elemento costruttivo è, in qualche punto al suo interno, al di sotto di tale temperatura, si avrà condensa soltanto se l’aria interna attraverserà l’elemento per convezione e la quantità di vapore trasportabile (e la condensa conseguente) da questo fenomeno è molto superiore rispetto a quello che si ha per sola diffusione.

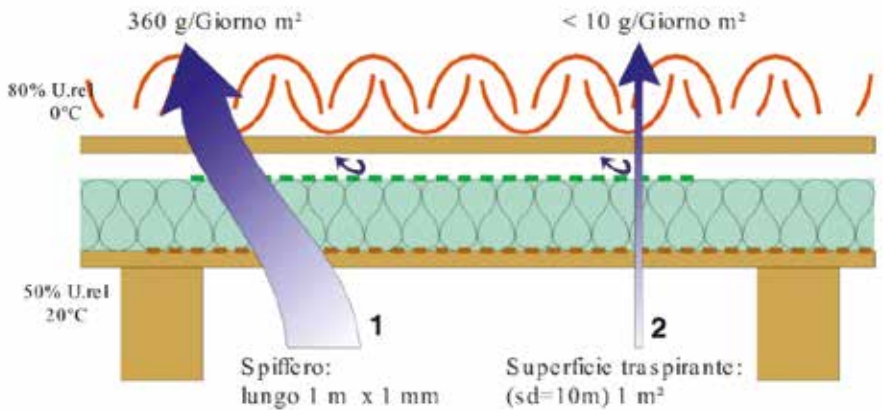


Figura 8.39 – I teli freno vapore hanno sia la funzione di frenare il vapore che si muove per diffusione, sia quello che eventualmente per delle aperture o discontinuità, si muoverebbe per convezione all’interno del pacchetto costruttivo.



Figura 8.40 – Posa di un telo freno vapore e delle relative nastrature.

Quali sono quindi le conseguenze di punti mal isolati o con discontinuità nello strato di tenuta all’aria? Le possibili conseguenze sono le seguenti:

- Perdita di calore (maggiori costi di riscaldamento)
- Possibile formazione di muffe
- Possibile degrado biologico del materiale nel caso del legno
- Possibile perdita del potere coibente a causa delle condense interstiziali con un aumento conseguente dei fenomeni sopra elencati

NA.1.5. UNI EN ISO 13788:2003	Densità [kg/m³]	W [g/(m²)]
Laterizi	600-2000	≤500
Calcestruzzo	400-2400	≤500
Legnami e derivati	500-800	≤30 ρ d
Intonaci e malte	600-2000	≤30 ρ d
Fibre di natura organica:		
con collanti resistenti all'acqua	300-700	≤20 ρ d
con collanti non resistenti all'acqua	300-700	≤5 ρ d
Fibre minerali	10-150	≤5000 ρ d [Λ/(1-1,7%)]
Materie plastiche cellulari	10-80	≤5000 ρ d [Λ/(1-1,7%)]

Tabella 7.2 – Quantità massima di condensa consentita rispetto al materiale da costruzione – Appendice NA1.5 della norma 13788.

Come posso evitare la condensa superficiale e interstiziale?

- Utilizzare materiali con permeabilità crescente dall'interno verso l'esterno
- Utilizzare materiali con conducibilità decrescente dall'interno verso l'esterno
- Evitare materiali con ridotta permeabilità al vapore negli strati esterni.

E quando è necessaria una analisi più sofisticata dei flussi di vapore?

Come molti possono immaginare, l'umidità nei componenti non si propaga solo per diffusione, ma anche convezione e capillarità. Anche i fenomeni atmosferici esterni e l'umidità da costruzione possono giocare un ruolo importante nell'eventuale degrado di un componente in legno. Il metodo basato sul diagramma di Glaser descritto dalla norma UNI EN ISO 13788 fornisce uno strumento semplificato cautelativo che porta a sovrastimare il fenomeno della diffusione. La norma UNI EN 15026 invece propone un metodo sofisticato basato su un'analisi dinamica della migrazione del vapore per avvicinarsi alla simulazione del comportamento reale del fenomeno che tiene in considerazione tutti i possibili fenomeni di migrazione del vapore.

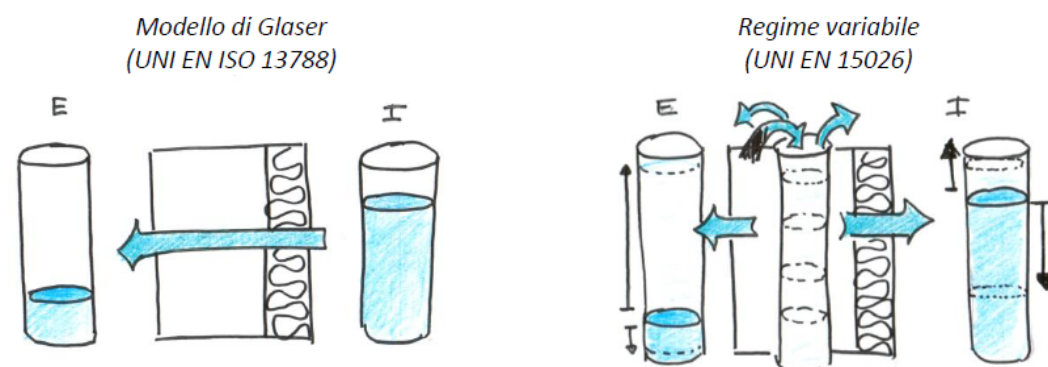


Figura 8.41 – Regime stazionario e regime variabile a confronto. A sinistra è rappresentata la migrazione del vapore in regime stazionario: condizioni costanti all'interno e all'esterno. Nell'immagine di destra è indicata la migrazione del vapore in regime dinamico: condizioni variabili all'interno ed all'esterno e capacità della struttura di assorbire umidità e di cederla. (fonte: ANIT – Manuale Isolamento termico dall'interno).

8.3.2.3 Conclusioni

Come linee guida di buona pratica per capire la "bontà" della composizione di un componente costruttivo, possono essere generalizzate le seguenti regole:

- Il valore di resistenza alla diffusione del vapore S_d deve essere crescente dall'interno verso l'esterno (Se S_d interno è circa 12 volte il valore di S_d esterno non esiste praticamente nessun pericolo di condensa);
- Il valore di conducibilità termica deve essere crescente dall'interno verso l'esterno (cioè la temperatura dei materiali che il vapore incontra uscendo diminuisce gradualmente);
- Nei climi caldi, il valore di capacità termica più alta dovrebbe essere verso l'interno (al fine di stabilizzare i guadagni interni) e l'isolamento maggiore all'esterno (per tenere tale massa "scarica");
- I rivestimenti superficiali esterni debbono proteggere dagli agenti atmosferici, in particolare dalla pioggia. Ma, per avere un buon funzionamento della struttura, debbono anche permettere la fuoriuscita del vapore (talvolta viene utilizzato il termine, tecnicamente impreciso ma efficace, traspirabilità);
- La tenuta all'aria (soprattutto la sua continuità) è fondamentale per la protezione del pacchetto nel tempo, delle sue prestazioni termiche e per limitare le dispersioni energetiche durante tutto l'anno.

¹⁸ Queste regole valgono per le condizioni climatiche italiane. Se fossimo in climi molto più umidi andrebbero riviste.

8.3.3 DAL COMPONENTE ALL'INVOLUCRO TERMICO



Figura 8.42 – Per realizzare un involucro termico, i componenti non solo si sommano, ma si dispongono per sfruttare al massimo le potenzialità energetiche offerte dal clima e dalle specificità del luogo di costruzione.

Cosa è un involucro termico?

Perché realizziamo edifici? In primis per proteggerci dai pericoli e ripararci dal clima esterno le cui condizioni climatiche, per buona parte dell'anno solare, sono distanti dalle nostre condizioni ottimali di comfort. Per ottenere stabili e durature condizioni di comfort all'interno di un edificio, che esso sia in legno, in terra cruda o cemento, è necessario riuscire a creare al suo interno un livello energetico consono a queste condizioni. Non solo crearlo, ma anche mantenerlo. Per fare questo, sembra una ovvietà, è necessario confinare ed isolare questo livello energetico ed evitare che, inevitabilmente, si adegui al dominante livello energetico esterno.

Il concetto di "involucro termico" è semplicemente questo: un confine fisico in cui, spendendo meno energia possibile (sia essa elettrica, termica, rinnovabile o fossile) si riesca a mantenere (nel modo più efficiente, salubre e sostenibile) determinati parametri di comfort. Ma per fare questo non è sufficiente "giustapporre" dei componenti, bensì è necessario comporre l'edificio come un tutto organico, che sfrutti ciascuno di questi componenti al suo massimo (si pensi ad esempio alle finestre) per arrivare al fine primario.

Non farlo spesso significa perdere una opportunità di ottenere il massimo rendimento dal nostro edificio (sia esso energetico che economico), avere scarsa razionalità costruttiva e, probabilmente, creare punti deboli di scarsa affidabilità e difficile manutenzione.

In cosa è diverso un involucro termico di un edificio in legno?

Dal punto di vista della fisica tecnica, cioè dei fenomeni di passaggio dei flussi di calore e vapore sia in Estate che in Inverno, non cambia nulla. Quello che cambia sono le migliori prestazioni termo-isolanti dei componenti opachi (pareti e copertura soprattutto) e le conseguenze (pericolose) di eventuali errori di progettazione/esecuzione sul rischio di condense o eventuali ristagni di acqua occulti. Se il legno è utilizzato come rivestimento interno, non è da sottovalutare la sua capacità di volano igrometrico che aiuta a stabilizzare i valori di U.R dell'aria interna.



La regola della continuità

Non vuole essere questo paragrafo un trattato né di composizione architettonica, ma piuttosto una raccolta di semplici consigli e regole per pensare e realizzare degli ottimi involucri termici di edifici in legno.

Le regole per progettare e realizzare un ottimo “involucro termico” possono essere:

- Conoscere potenzialità e limiti dei materiali con cui sono realizzati i diversi componenti;
- Progettare le giuste prestazioni dei componenti (viste al paragrafo precedente) in relazione al contesto climatico in cui saranno inserite, verificando il rischio di condense eventuali;
- Individuare la strategia migliore (invernale o estiva) per comporre i componenti nel modo più razionale possibile ottenendo al contempo un magnifico design. Un esempio di questa strategia potrebbe essere l’ottenimento di un rapporto S/V (superficie dell’involucro / volume dell’edificio) il più basso possibile (ovvero edificio compatto) oppure la massimizzazione dei guadagni solari (se il clima lo permette).

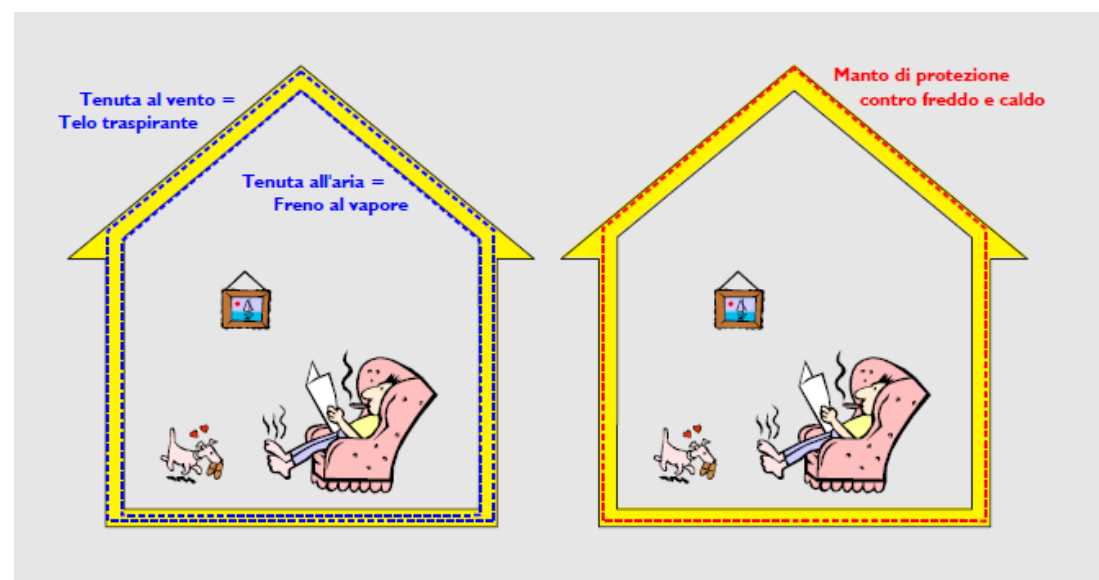


Figura 8.43 – La regola della continuità dell’isolamento, della tenuta all’aria e della tenuta al vento (courtesy of Günther Gantioler).

Una delle regole più intuitive e funzionali è quella della “continuità” che si declina nelle seguenti :

1. Continuità dell’isolamento termico;
2. Continuità dello strato di tenuta all’aria;
3. Continuità dello strato di tenuta al vento (quando non coincide con la tenuta all’aria).

Sottolineo che sono requisiti non soddisfabili “singolarmente” ma che per ottenere gli effetti di uno, è necessario soddisfare anche gli altri, in una logica di complementarità.

La continuità dell’isolamento termico ha come scopo principale l’uniformità e la stabilità della temperatura interna e la sua maggiore vicinanza possibile alla temperatura di comfort dell’aria (solitamente in un range compreso in circa 4°K). Questo ha diversi “effetti collaterali” positivi quali:

- un basso fabbisogno di calore nella stagione invernale perché limita i flussi di calore per conduzione verso l’esterno;
- in concomitanza con buoni valori dei trasmittanza dinamica e capacità areica interna, un basso fabbisogno di energia frigorifera sensibile nella stagione estiva;
- un alto valore del fattore superficiale di temperatura (lontananza dal punto di rugiada!).

La continuità dello strato di tenuta all’aria ha come scopo principale quello di mantenere in “salute” i materiali coibenti e, soprattutto in edifici in legno, anche le strutture perché evita che, sia per diffusione che per convenzione, aria umida possa arrivare a contatto con punti freddi all’interno del nostro pacchetto coibente, innescando fenomeni di condensa interstiziale.

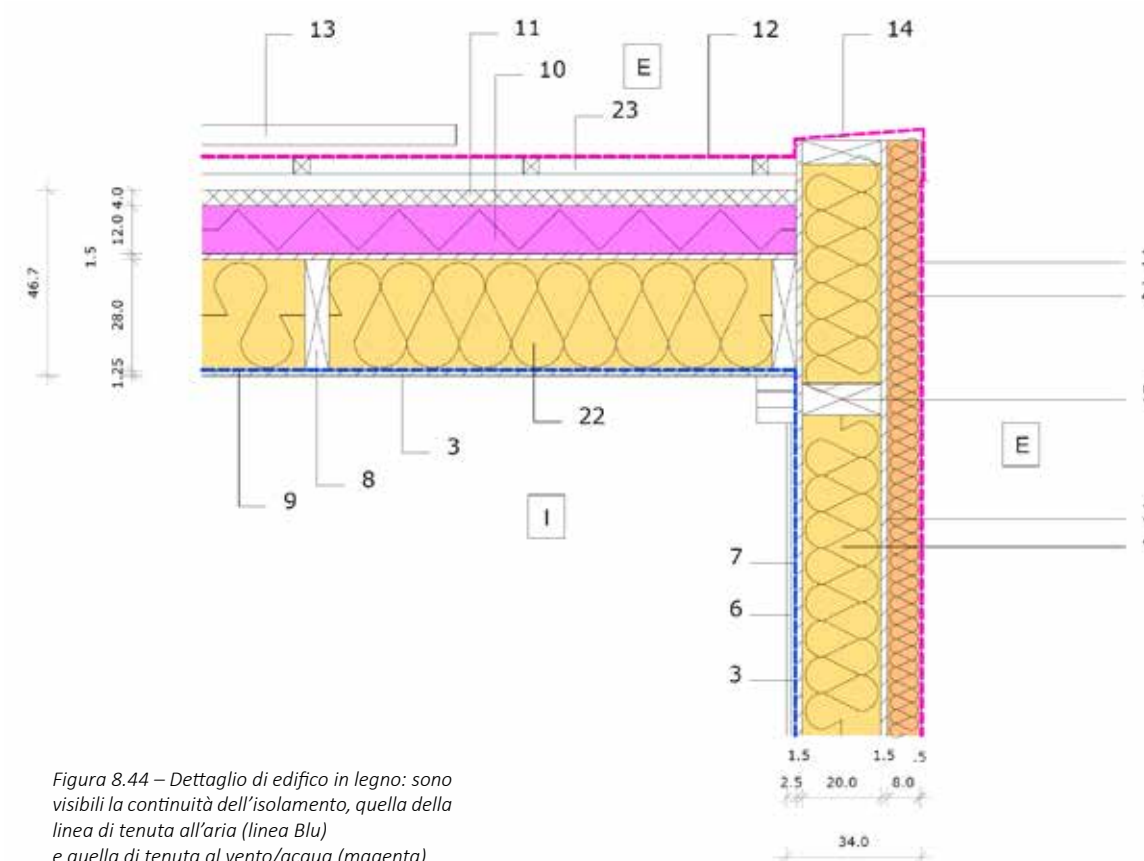


Figura 8.44 – Dettaglio di edificio in legno: sono visibili la continuità dell’isolamento, quella della linea di tenuta all’aria (linea Blu) e quella di tenuta al vento/acqua (magenta).



Figura 8.45 – Teli freno vapore sul lato interno di un edificio in legno a telaio.

Anche la continuità dello strato di tenuta all’aria ha diversi “effetti collaterali” positivi quali:

- un basso fabbisogno di calore nella stagione invernale, perché limita gli ingressi incontrollati di aria esterna più fredda;
- un basso fabbisogno di energia frigorifera sensibile e latente nella stagione estiva perché limita gli ingressi incontrollati di aria esterna più calda e talvolta più umida;
- un miglioramento delle prestazioni di fonoisolamento passivo delle strutture opache;
- la possibilità di utilizzare un impianto di ventilazione meccanica con la massima efficacia sia in filtraggio che nel recupero di calore.

La continuità dello strato di tenuta al vento ha lo scopo di evitare che, per differenza di pressione, aria fredda (o calda e umida) venga spinta dall’esterno verso l’interno del componente in zone ove la temperatura sia prossima a quella di rugiada e che, l’eventuale condensa, non possa rievaporare in tempi rapidi.

Naturalmente esiste una “quarta” linea che è quella della protezione dall’acqua meteorologia o per infiltrazione dal terreno. Anche per questa vale la regola della continuità e della risoluzione dei punti di giunzione spesso causa della maggior parte delle infiltrazioni.

A volte si pensa che alcuni materiali possono “partecipare” a due o più di queste interfacce. È il caso ad esempio di una guaina impermeabilizzante che, essendo anche una barriera vapore, può fungere da linea di tenuta all’aria. Ma questo non è sempre vero e spesso si sentono in cantiere “leggende” come ad esempio il cappotto che funge anche da tenuta all’aria, quando al limite (se rasato) può fungere da linea di tenuta al vento. Per capire l’eventuale sinergia di alcuni materiali vanno lette le specifiche schede tecniche e verificati gli usi per i quali sono stati prodotti.



Figura 8.46 – Telo traspirante con funzione di tenuta al vento e di protezione occasionale dalla pioggia (sinistra) e telo di protezione del solaio XLAM interpiano per l’umidità da getti di riempimento umidi (destra).

Dal componente al dettaglio costruttivo.

Il modo più semplice per capire se e dove è necessario sviluppare un dettaglio è quello di individuare i punti di discontinuità (per geometria o tipologia di materiale) delle linee precedentemente descritte. In particolare :

- ove l’isolamento cambia (attacca tra parete e pavimento o tra parete e copertura);
- ove cambia la linea di tenuta all’aria (attacco tra parete e pavimento o tra parete e copertura);
- ove cambia il materiale che è deputato alla tenuta all’aria (il caso di una parete esterna a telaio in cui all’interno vi è un setto in cemento armato oppure dove sono inseriti gli infissi).

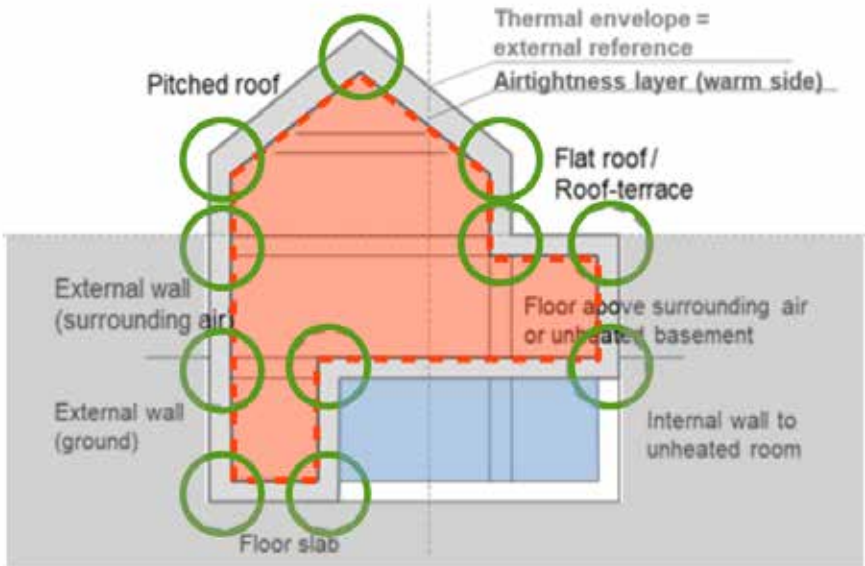


Figura 8.47 – Identificazione dei punti “tipici” dove ci sono punti di discontinuità dell’isolamento e della tenuta all’aria.

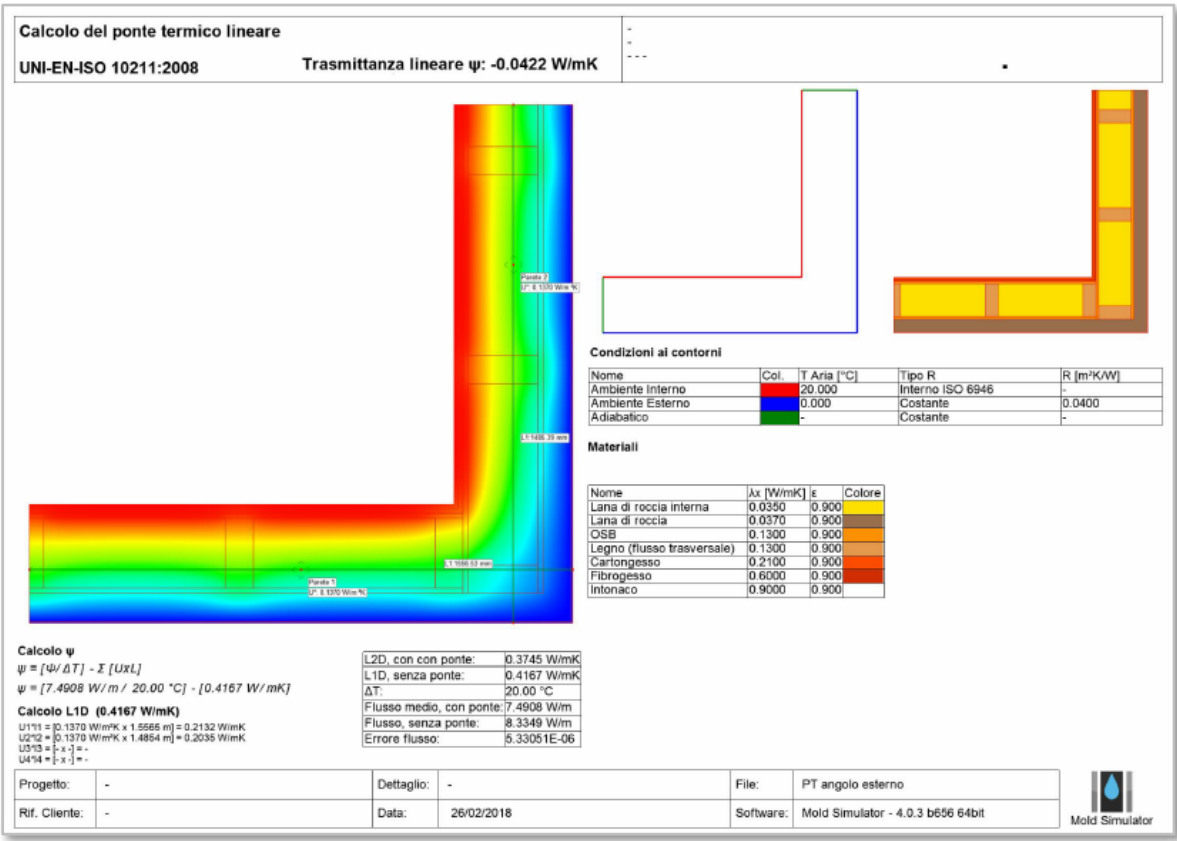


Figura 8.48 – Tavola di analisi del dettaglio d’angolo di un edificio a telaio e calcolo del valore PSI di ponte termico.

Altri punti in cui dovrebbero essere sviluppati i dettagli a livello esecutivo sono i seguenti :

- ove si hanno delle singolarità che interrompono la linea dell’isolamento (vedi il caso dei supporto di una facciata ventilata che interrompe la continuità dell’isolante esterno);
- ove si hanno delle singolarità che interrompono la linea della tenuta all’aria (vedi il caso de i montanti di una controparete che bucano la linea di tenuta all’aria di un freno vapore in un edificio a struttura “a telaio”);
- Per lo stesso motivo, in tutti i punti in cui si ha un elemento impiantistico che attraversa un componente dell’involucro termico.

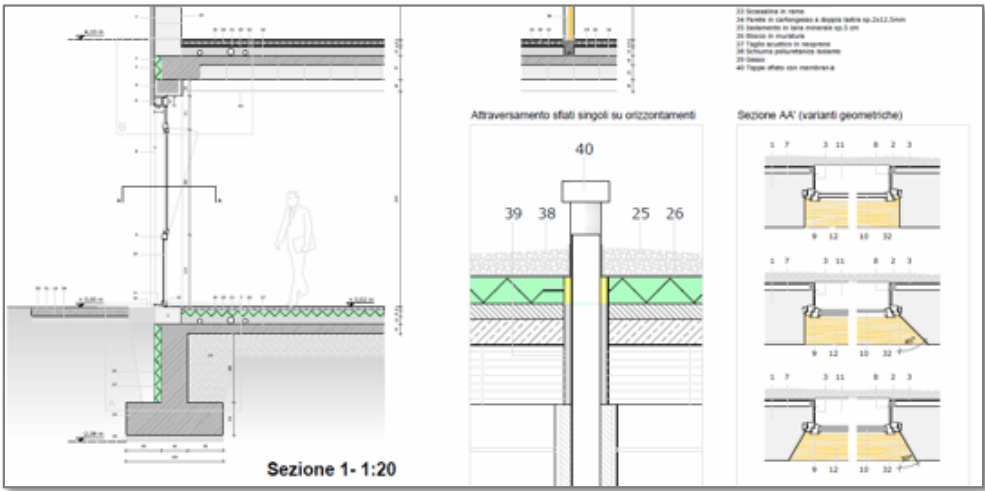


Figura 8.49 – Tavola di dettaglio di un edificio scolastico a struttura massiccia ; si noti l’analisi del dettaglio di intersezione dello sfato di copertura).

La tenuta all'aria, questa sconosciuta.

Tra i tre punti sopra elencati, quello di cui progettisti e costruttori hanno minore coscienza è il requisito della tenuta all'aria che, in una personale classifica, reputo il prioritario in un edificio in legno. Credo che il motivo risieda nel fatto che molti di noi sono cresciuti in edifici dove tale funzione fosse svolta silenziosamente dall'intonaco interno (a cui nessuno mai associa questa funzione ma solo quello di finitura) ed in cui gli spifferi, visti come salvatori della patria, assolvevano al compito delicato di miscelare l'aria interna umida con aria esterna secca, evitando molte volte la formazione di muffa (non sempre) e ripianando le perdite energetiche con un radiatore over-size. La lodevole comparsa di componenti opache iper-coibentanti ed infissi iper-sigillati ha reso necessario innalzare il livello di tenuta all'aria degli attuali edifici in legno perché molto più fredde le temperature interne dei componenti e molto più significativo e subdolo il ruolo dei ponti termici.

Oggi sul mercato esiste una moltitudine di prodotti con una moltitudine di prestazioni che, se ben progettati e ben posati, permettono di ottenere livelli di tenuta all'aria ottimali per le prestazioni dei moderni edifici NZEB (range tra 1,5 fino a 0,3 h-1). Elenco, senza voler essere esaustivo, una serie di materiali che possono essere utilizzati come elementi di tenuta all'aria per edifici in legno:

- intonaco: anche per edifici in legno l'intonaco può svolgere questa funzione, ma a patto che sia realizzato sulla effettiva linea di tenuta all'aria e non sulla controparete impiantistica interna. attenzione soprattutto alla qualità dell'intonaco e le eventuali cavillature. Solitamente eventuali perdite sono dovute al possibile movimento della lastra di supporto.
- Pannelli OSB: attenzione che non tutti i pannelli OSB sono validi come elementi di tenuta. La permeabilità all'aria è molto variabile da produttore a produttore ed è influenzata dallo spessore (da 16-18 o 22mm) e dal tipo (Tipo 3 e Tipo 4 sono migliori) secondo la classificazione UNI EN 300:2006. Valori tipici di permeabilità all'aria q50 sono compresi tra 0,07 e 0,34 m³/m²h
- Pannelli XLAM: esistono pannelli a 3 e 5 strati definiti "a tenuta all'aria" in base al tipo di incollaggio e molti sono certificati Classe 4 secondo la norma (per serramenti) UNI EN 12207. In generale bisogna fare molta attenzione ai nodi e ai punti disomogenei.
- Teli/Membrane: questi teli, oltre che di "tenuta all'aria" possono essere anche freni o barriere per il vapore. Valori tipici di permeabilità all'aria sono di circa 0,01 m³/m²h;
- Calcestruzzo: si intende calcestruzzo gettato (setti e platee cementizie) e non massetti impastati con sabbia o altro inerte (che non sono a tenuta).



Figura 8.50 – Pannelli OSB utilizzati come strato di tenuta all'aria (sinistra). Si notino le giunzioni nastrate. A destra invece un edificio con setti di cemento armato a cui è deputata la funzione di tenuta all'aria.

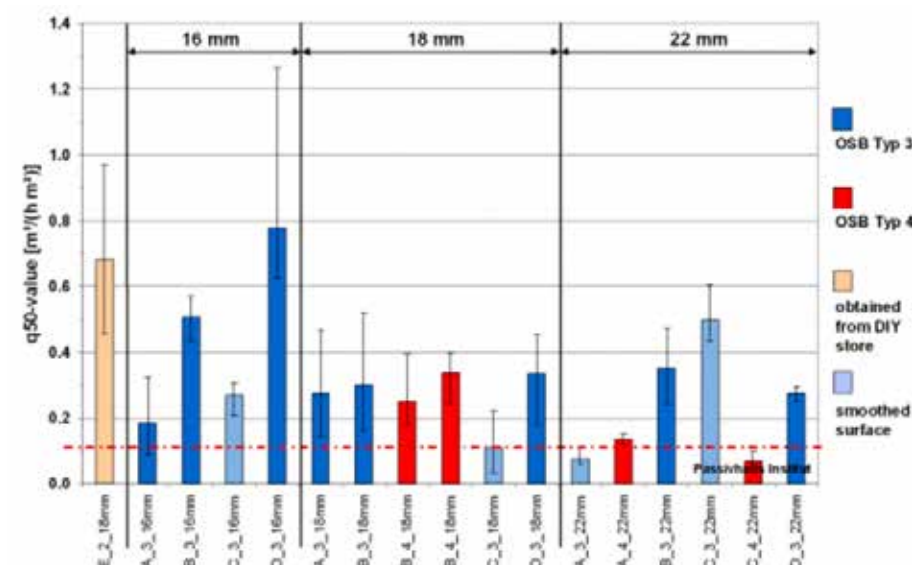


Figura 8.51 – Misura della permeabilità all'aria di una serie di pannelli OSB presenti sul mercato. Fonte PHI "Airtightness of OSB boards" – Passipedia.

Naturalmente la parte "difficile" sono i punti di giunzione i quali possono dar luogo a cospicui passaggi di vapore (e generare condensa). Esistono per ciascuno dei supporti sopra elencati specifici elementi di tenuta che si possono riassumere in queste tipologie:

- Nastri acrilici (da interno, da esterno o per entrambi i lati) e butilici (nel caso si chiedi anche una tenuta all'acqua);
- Schiume "elastiche" certificate anche a "tenuta all'aria", utili soprattutto nella sigillatura dei serramenti o per l'incollaggio di teli su platea;
- Sigillanti silano-polimeri a reazione neutra che polimerizzano con l'umidità;

Si faccia sempre attenzione al tipo di supporto per i quali sono indicati e le modalità di posa (attenzione soprattutto alla polvere). Una caratteristica comune a questi prodotti è l'elasticità che serve a garantire l'assorbimento dei movimenti dei materiali nel tempo, senza rompersi. Anche gli attraversamenti impiantistici (solo quelli sui componenti dell'involucro termico) devono essere opportunamente sigillati e, nel caso degli impianti elettrici, anche all'interno della guaina (meglio con dei tappi). Anche per questi elementi esistono sul mercato prodotti di sigillatura specifici molto più funzionali di discutibili soluzioni "improvvisate" che spesso si vedono in cantiere. Anche la ferramenta (tipo hold-down o piastre di altro tipo) sono spesso ignorati ma rappresentano numerosi (e di difficile soluzione a volte) punti di debolezza dello strato di tenuta.



Figura 8.52 – (sinistra) La ferramenta, se non considerata, è un elemento serio di disturbo della continuità della tenuta all'aria, così come la struttura portante delle contro pareti (si notino i punti chiodo sul retro).

Di seguito un elenco dei materiali che NON sono adeguati per la tenuta all'aria:

- Giunti in malta cementizia;
- Pannelli in fibre di legno (soprattutto quelli più morbidi);
- Membrane e teli perforati da eventuali graffette rimosse;
- Pannelli EPS o XPS;
- Rivestimento in legno tipo perline o con incastro "blockhaus";
- Nastro adesivo non certificato per l'utilizzo come nastro a tenuta (tipo nastro americano o carta gommata);
- Calcestruzzo troppo asciutto o troppo umido;
- Schiuma di poliuretano (PU) non elastica;
- Giunzione con silicone acrilico rigido.



Figura 8.53 – Nastrature sui pannelli OSB e sull'attacco delle colonne perimetrali di un edificio in legno. Fonte COOP Estense – SMK Rovereto sul Secchia (MO).

Ma quanto dovrebbe durare la tenuta all'aria di un edificio?

La domanda giusta dovrebbe essere "quanto dura un edificio in legno senza tenuta all'aria?"

La tenuta all'aria deve essere un requisito progettuale, al pari di avere ambienti luminosi e spazi arredabili. Non si ottiene per "magia" né tantomeno "automaticamente" perché si sono scelti materiali validi per l'isolamento termico. Questo significa che sia a livello di elaborati grafici che di documentazione di cantiere, deve esistere un "progetto" della tenuta all'aria. Che devono essere richieste precise condizioni di posa dei nastri, dei teli e di qualità di tutti gli elementi coinvolti, proprio al fine di massimizzarne la resa e farla durare nel tempo. Gli stessi test di tenuta (che dopo vedremo) devono essere programmati ed eseguiti in momenti precisi al fine di verificare e poter migliorare la posa e la qualità degli elementi di tenuta. Fare un test solo al termine dei lavori, poco prima che gli inquilini entrino in casa, non può dare nessuna garanzia in tal senso.

Sono state fatte diverse misurazioni di edifici secondo lo standard Passivhaus che già dai primi anni '90 rispettavano i severi requisiti di tenuta all'aria richiesti dal protocollo. Quelli (meglio) eseguiti hanno confermato anche dopo 25 anni il medesimo valore del primo test e con tipologie di edificio sia con tecnologia costruttiva "massiccia" che in legno.

8.3.4 IL TEST IN OPERA BLOWER DOOR

Come già detto, i test in opera sono funzionali a verificare direttamente o indirettamente le prestazioni (termiche) dell'edificio realizzato. Nei due sotto-paragrafi successivi descriveremo sinteticamente due delle principali prove in opera richieste dai protocolli di certificazione più diffusi in ambito internazionale:

- Il test per la verifica della permeabilità all'aria (detto comunemente Blower Door);
- Le indagini termografiche.

Esistono prove in opera anche per altre finalità, come quelle acustiche e di salubrità, che non sono oggetto di questo paragrafo e che saranno oggetto di una successiva integrazione di questo manuale. Un'altra prova in opera delle prestazioni termiche di un componente edilizio (ma utilizzata soprattutto per edifici esistenti) è il termo-flussimetro, per la misura della trasmittanza termica stazionaria (valore U in W/m^2K). In ambito internazionale anche il protocollo LEED, in relazione alle attività di Commissioning dell'involucro (BECx), richiede test di verifica delle prestazioni.

Servono sia come strumenti di verifica finale ma sono anche molto utili come strumenti per evidenziare delle debolezze dell'involucro durante la costruzione (e poter intervenire) o come strumenti diagnostici (edifici con problematiche). Naturalmente oltre al test sono molto importanti le azioni "complementari" ad essi che possiamo riassumere nei seguenti punti:

- Definizione del tipo di test e della metodologia di prova (ad esempio Blower Door test – Metodo A secondo UNI EN ISO 9972;
- Definizione dei valori da raggiungere (ad esempio $n_{50} < 0,60 \text{ h}^{-1}$;
- Programmazione dei test all'interno del cronoprogramma di costruzione o occupazione dell'edificio;

Il Blower-Door-Test permette di misurare l'ermeticità di un edificio dopo aver imposto una determinata differenza di pressione tra interno ed esterno. Il metodo permette di scoprire "le perdite d'aria" dell'involucro edilizio e di valutare il flusso (o il tasso) di ricambio dell'aria.

Attraverso un apposito ventilatore l'aria viene immessa o aspirata dall'edificio oggetto del test. La forza del ventilatore viene regolata in modo che tra pressione interna e pressione esterna ci sia una prestabilita differenza di pressione (solitamente 50 Pa). La differenza di pressione tra due punti dell'atmosfera è la causa dei flussi d'aria.

Al ventilatore sono collegati degli strumenti (Data-Logger) che misurano la differenza di pressione e l'intensità del flusso d'aria. La velocità di rotazione del ventilatore sarà regolata in modo tale da generare una ben determinata differenza di pressione tra l'interno e l'esterno (50 Pa).

Di conseguenza si induce un flusso d'aria che compensa le "perdite" di differenza di pressione dovute alle infiltrazioni. Il valore del flusso d'aria misurato viene poi utilizzato per ricavare diversi indici a secondo della norma di riferimento.



Figura 8.54 – Test Blower Door in un edificio scolastico in legno (Scuola G.Verdi Collecchio).

Per le due norme più utilizzate (UNI EN 13829 e UNI EN ISO 9972), tale valore viene diviso rispettivamente per il volume netto e lordo dell'edificio. Poiché a determinate infiltrazioni d'aria corrispondono carichi termici che l'impianto di riscaldamento/condizionamento deve compensare, il Blower Door test è fondamentale per valutare il comportamento termico-energetico degli edifici, specialmente se si vogliono raggiungere elevate prestazioni.

Tipici valori di n50 (differenza di pressione 50 Pa) sono:

- casa passiva n50 ≤ 0,6 h⁻¹
- edificio a basso consumo energetico n50 ≤ 2,0 h⁻¹
- edificio con impianto di ventilazione forzata n50 ≤ 1,5 h⁻¹
- edificio tradizionale n50 ≤ 3,0 h⁻¹

In genere, ai fini del comfort, sono segnalate le perdite (gli spifferi) ove la velocità dell'aria è > 2,0 m/s, mentre se il valore n50 di target non è raggiunto, non è più solo significativa la velocità ma anche l'area di influenza della perdita.

Il test di tenuta all'aria segue attualmente la normativa UNI EN ISO 9972 in vigore dal 2015, che supera la normativa precedente, la UNI EN 13829 in vigore dal 2001. Aspetto fondamentale di differenza tra la attuale normativa e la precedente è il metodo di calcolo del volume interno V_{n50} [m³]. La UNI EN ISO 9972 richiede che per il calcolo del volume interno siano utilizzate le dimensioni interne complessive, non dovendo quindi sottrarre il volume occupato dalle pareti interne e dai solai interpiano.

La UNI EN 13829 non prende invece in considerazione pareti interne e solai, calcolando stanza per stanza il volume di aria netto. Ne consegue che il volume che si ottiene con la UNI EN ISO 9972 è maggiore rispetto a quello ottenuto rispetto alla UNI EN 13829 e quindi il valore n50 con la nuova normativa risulterà inferiore a quello calcolato con la precedente. Per questo per alcuni protocolli tra i quali CasaClima e per Passivhaus occorre continuare ad usare la UNI EN 13829.

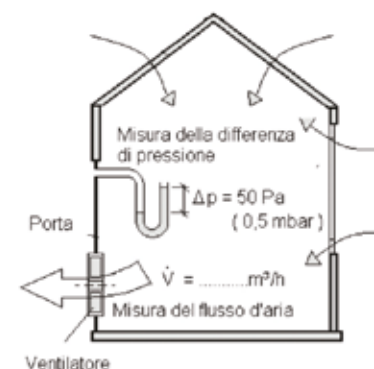


Figura 8.55 – Schema dei parametri in gioco per il calcolo del valore n50.



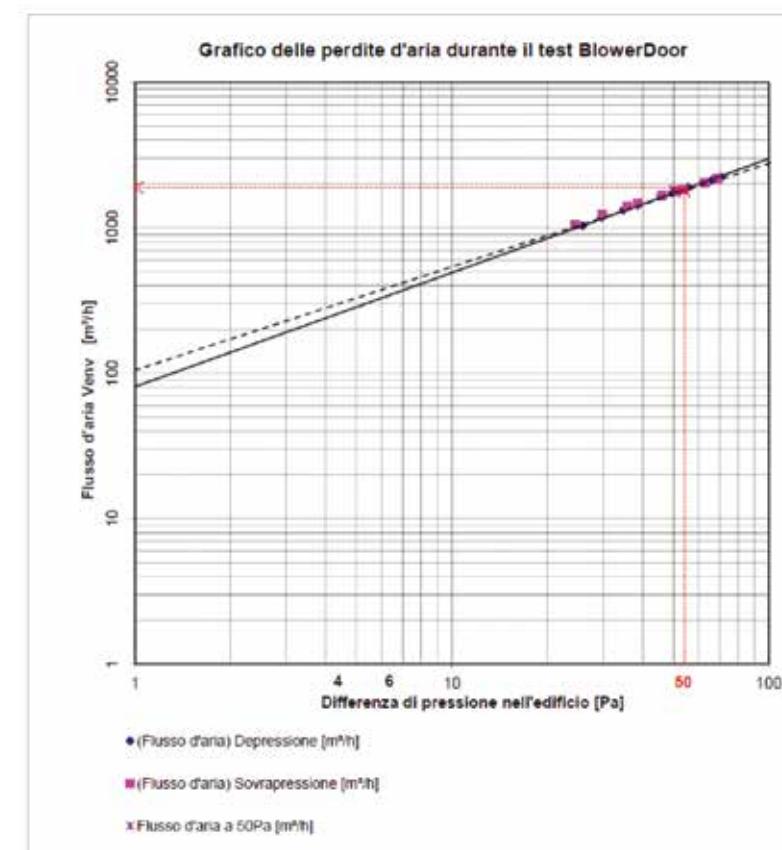
Figura 8.56 – Preparazione di un test Blower Door Metodo B per un edificio con struttura XLAM. Si possono notare i teli utilizzati per sigillare le aperture prima della posa degli infissi.

La formula per il calcolo del valore n50 istantaneo è la seguente :

$$n_{50} = V_{50} / V_n \quad [\text{h}^{-1}]$$

dove:

- V₅₀ è la portata in metri cubi per ora del ventilatore per mantenere una pressione costante (positiva o negativa) di 50 Pascal rispetto alla differenza di pressione “naturale “ dell'edificio (solitamente dell'ordine di 0,5 Pa, ma dipendente da temperatura, esposizione e vento);
- V_n è il valore del volume netto di riferimento che, a seconda del protocollo di certificazione scelto potrebbe essere misurato diversamente.



Il Blower Door Test descritto, nella UNI EN 13829:2002, prevede due metodi di prova distinti, mentre la norma 9972 ne prevede 3, sostanzialmente molto simili. Ai fini di questo manuale si descrivono quelli della prima:

- Metodo A: prova di un edificio in uso: questo test serve a verificare effettivamente le perdite parassite di un edificio normalmente in uso (ad esempio serramenti chiusi ma non sigillati);
- Metodo B: prova dell'involucro edilizio: tutte le aperture devono essere chiuse e/o sigillate.

²⁰ Un valore di n50 di 1 sta a significare che con una differenza di pressione di 50 Pa il volume d'aria dell'edificio viene cambiato per 1 volta in un'ora.

²¹ Preferisco definirlo “istantaneo” perché la misura del parametro n50 secondo la norma è in realtà un valore interpolato da misure a pressioni superiori ed inferiori al valore di 50 Pascal.

Il metodo “A” serve a valutare l’effettivo tasso di ricambio di aria dell’edificio (rapporto tra flusso di aria e volume interno ad una data pressione, normalmente 50 Pa) e fornire quindi un parametro di riferimento per un costruttore o una caratterizzazione qualitativa dell’edificio in uso. Il metodo “B” serve invece a caratterizzare l’involucro edilizio in quanto ogni apertura impiantistica (a discrezione di chi fa la misura) può venire sigillata e la sigillatura deve essere descritta nel report di misura stesso. Entrambi i metodi sono utili ai fini di una caratterizzazione delle prestazioni dell’involucro, anche se ovviamente il metodo “A” è più immediato e facilmente realizzabile sebbene i risultati forniti solitamente non incontrano le esigenze di capitolato e i valori forniti dal metodo “A” sono maggiori rispetto al metodo “B”.

La norma UNI EN 13829:2002 fornisce ulteriori dettagli sui metodi di prova e sulla presentazione dei risultati, anche se questo tipo di test solitamente viene utilizzato per un’analisi qualitativa della realizzazione dell’edificio. Tale analisi qualitativa serve a rilevare ed intervenire su determinate infiltrazioni causate, ad esempio, da errori di installazione di serramenti, da grate da areazione forzata non installate correttamente oppure da negligenze in fase di realizzazione.

Quali sono gli errori più comuni?

1. Il primo errore è non programmare il test inserendolo nel flusso delle lavorazioni del cantiere, bensì di vederselo solo come una verifica finale. In tal modo, con esito negativo, sarà quasi impossibile (e probabilmente molto costoso) intervenire. Quindi è necessario fare almeno 1 test con Metodo B ed inserirlo nel cronoprogramma e nei documenti contrattuali, indicando come i diversi interlocutori devono relazionarsi a vicenda affinché il test sia possibile (involucro chiuso) e con le sigillature temporanee eseguite;
2. Dal punto di vista costruttivo, sono quasi sempre le intersezioni tra impianti (soprattutto impianti elettrici) ed involucro che creano le maggiori perdite: è necessario razionalizzare i passaggi ed indicare per ciascuno di essi la metodologia di sigillatura esterna (tra tubazione ed involucro) ed interna (tra tubo e cavo). Per la seconda molto meglio l’utilizzo di tappi piuttosto che di siliconi;
3. Fare affidamento a massetti alleggeriti o caldane per la tenuta all’aria verso terra. Questi due elementi hanno un coefficiente di permeabilità all’aria troppo elevato. Solo una platea di cemento gettata può essere utilizzata a tal scopo, ed i teli delle pareti, devono essere collegati e sigillati ad essa;
4. Sottovalutare l’influenza della ferramenta e delle graffette sui teli delle pareti;
5. Fissare la struttura della controparete alle pareti XLAM o agli OSB senza punto chiodo di sigillatura.

8.4 IL BILANCIO ENERGETICO

8.4.1 INTRODUZIONE

E’ intuitivo pensare un edificio qualificato in Classe A o superiore, come ad un edificio confortevole. In realtà questa associazione non è così “automatica” e potremmo dire, senza timore di essere smentiti, che le caratteristiche che portano un edificio ad essere classificato in una ottima classe, sono condizioni “necessarie ma non sufficienti” per portarlo ad avere un ottimo comfort (invernale o estivo che sia). Un bilancio energetico non ci dice la velocità con cui si muove l’aria all’interno delle nostre stanze o la difformità delle temperature superficiali, ma da indicazioni su come ottimizzare geometria e prestazioni del nostro sistema edificio-impianto e della quantità di energia necessaria a soddisfare certi servizi (riscaldamento, raffrescamento, ACS e oltre). Scopo di questo breve paragrafo è di descrivere sinteticamente gli elementi che concorrono ad un bilancio energetico invernale ed estivo e di come utilizzare questo calcolo per individuare la migliore strategia energetica da utilizzare per il nostro specifico edificio. E’ evidente che gli edifici in legno, avvantaggiati dal punto di vista dell’isolamento, ma svantaggiati dal punto di vista della sensibilità ai carichi interni e ai guadagni solari, richiedono una strategia che non privilegi solo una stagione (riscaldamento ad esempio), ma con la giusta impostazione progettuale, prestazioni equilibrate e una efficace strategia di schermatura estiva, possono ambire ad essere efficienti e confortevoli per tutto l’anno.

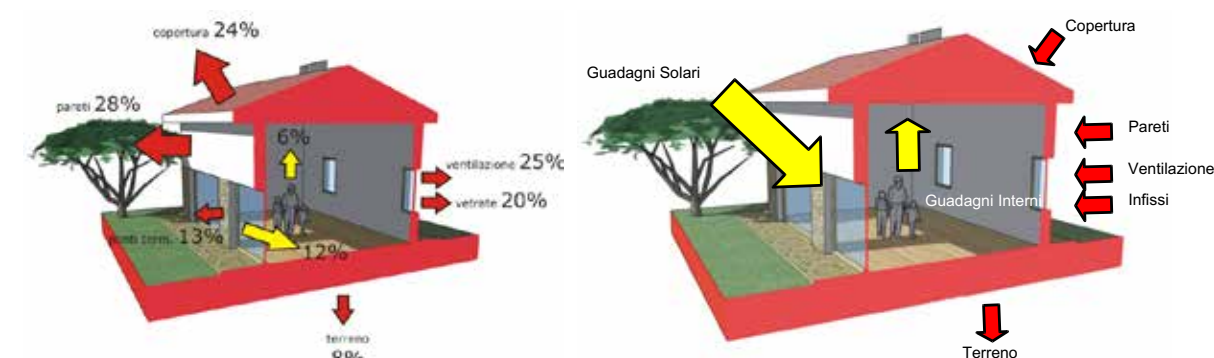


Figura 8.57 – Schematizzazione dei fattori che concorrono al bilancio invernale ed estivo del fabbisogno energetico di un edificio.

A tal fine è fondamentale dare le seguenti definizioni:

- Energia finale: è la forma di energia utilizzata direttamente dai consumatori, ad esempio l'olio combustibile o la benzina nel serbatoio, il gas naturale dalla condotta, l'elettricità dall'azienda elettrica, gli agglomerati di legno, il calore a distanza, ecc.;
- Energia utile: è l'energia fornita al consumatore, è energia finale trasformata in energia utile (calore di riscaldamento e di processo, freddo, luce, energia meccanica ed energia chimica);
- Energia primaria: per energia primaria s'intende il potenziale energetico presentato dai vettori energetici nella loro forma naturale, ad esempio il petrolio, il gas naturale, il carbone, l'uranio naturale, l'acqua e altre fonti energetiche rinnovabili. Nella maggior parte dei casi, l'energia primaria deve essere trasformata in energia secondaria in centrali elettriche, raffinerie, ecc.

²² Esistono anche metodi di classificazione del comfort. Il principale per spazi riscaldati e raffrescati è quello descritto nella norma ISO 7730 (Fanger) tramite il “Predicted Mean Vote (PMV)”. La norma UNI EN 15251 invece è utile per verificare, sulla base del modello adattivo, se sono rispettate le condizioni di comfort oppure no. Tale modello si basa sull'assunto (confermato da numerosi test) che le persone tendono ad adattarsi automaticamente a un ambiente non climatizzato se possono operare liberamente (o hanno la sensazione di poterlo fare) sul microclima della stanza e sulle proprie abitudini.

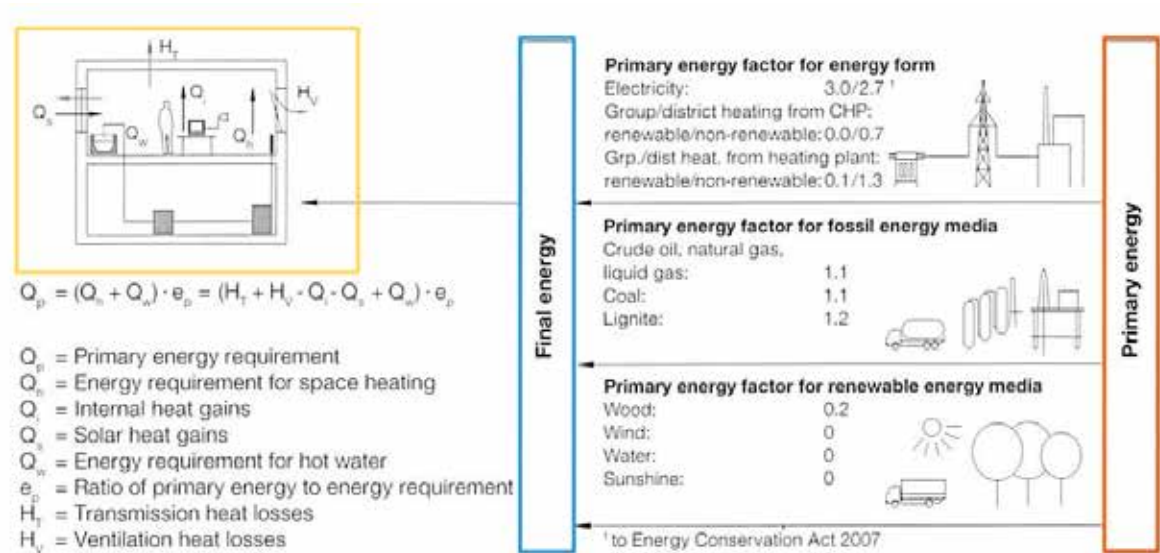


Figura 8.58 – Schematizzazione dei flussi di energia utile, finale e primaria.

8.4.2 IL BILANCIO ENERGETICO INVERNALE

Come dice la parola stessa, il bilancio energetico ha lo scopo di fare un **bilancio tra le perdite** (o dispersioni per trasmissione e ventilazione) **ed i guadagni “gratuiti” di energia** (interni e solari) al fine di capire, per la stagione di riferimento, il fabbisogno energetico netto dell’edificio per mantenere le condizioni di comfort, che per la stagione di riscaldamento sono i 20°C di temperatura dell’aria interna. Questo bilancio viene fatto considerando l’energia termica (calore), un database di dati climatici comune e condizioni “standard” di occupazione e di utilizzo. Calcolato tale fabbisogno, attraverso i rendimenti impiantistici (η_H) e dei coefficienti di conversione, viene calcolata l’energia finale e primaria conseguente.

Utilizzando la dicitura della norma UNI TS 11300-1, dal fabbisogno di energia utile di riscaldamento $Q_{H,nd}$, si può ricavare l’indice EPI , suddividendo il fabbisogno per la superficie utile riscaldata.

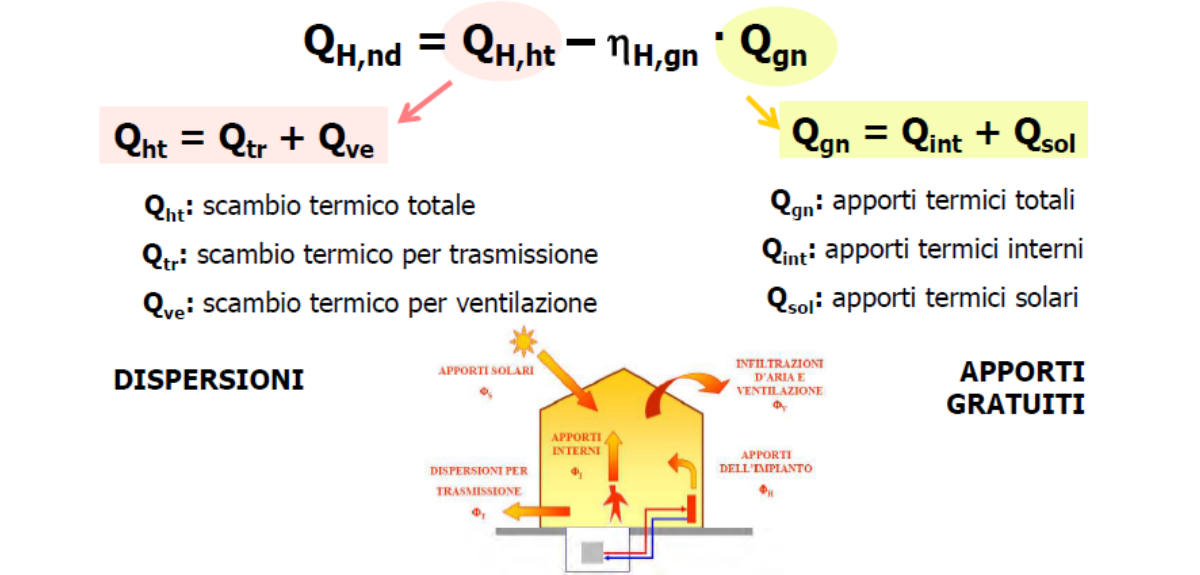


Figura 8.59 – Bilancio energetico per calcolare il fabbisogno utile di energia per il riscaldamento dell’involucro secondo le UNI TS 11300-1.

Calcolato il valore di $Q_{H,nd}$, si può calcolare l’indice energetico utile parametrizzandolo (ad esempio) sulla superficie utile riscaldata:

$EPI_{inv} = Q_{H,nd} / S_u \text{ [kWh/m}^2\text{a]}$

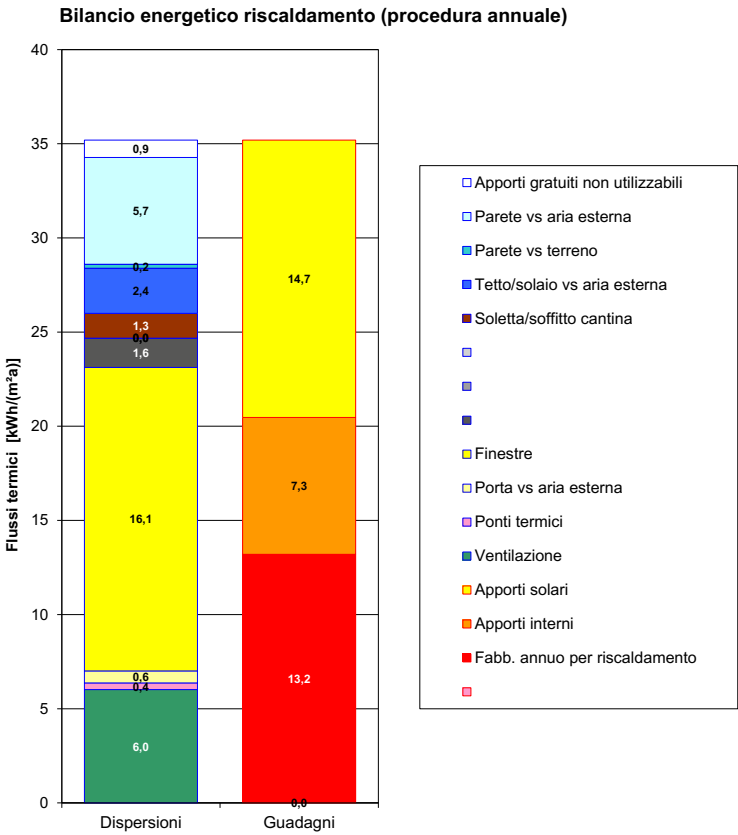


Figura 8.60 – Grafico risultante di un bilancio energetico stagionale: l’area rossa è l’energia termica che bisogna fornire all’edificio per mantenere in equilibrio il sistema.

Dal fabbisogno di energia termica utile dell’involucro, conoscendo i rendimenti impiantistici η_H ed i coefficienti di conversione tra energia utile e primaria, si può ottenere il Fabbisogno di energia primaria dell’involucro per il riscaldamento ed anche l’indice di energia primaria, parametrizzandolo sulla superficie utile riscaldata ad esempio.



Figura 8.61 - Conoscendo i rendimenti impiantistici η_H ed i coefficienti di conversione tra energia utile e primaria, si può ottenere il Fabbisogno di energia primaria.

L'obiettivo principale deve essere quello di ottenere un valore di $Q_{H,nd}$ il più basso possibile e per ottenere questo le strade possibili possono essere molte e dipendenti soprattutto dai seguenti parametri :

- Contesto climatico ;
- Funzione dell'edificio (residenziale o non residenziale);
- Geometria dell'edificio (orientamento, rapporto S/V - superficie dell'involucro / volume dell'edificio - , posizionamento relativo delle parti opache e trasparenti, età.);
- Qualità termica dell'involucro (trasmissioni stazionarie dei componenti opachi, degli infissi e presenza significativa di ponti termici) e della tenuta all'aria dello stesso ;
- Strategia di ventilazione (naturale, meccanica con o senza recupero di calore);
- Capacità dell'involucro di sfruttare ed utilizzare i guadagni gratuiti (solari ed interni).

Le **strategie possibili** per calibrare precisamente i parametri sopra citati, evitando ad esempio di fare edifici troppo o troppo poco isolati o troppo o troppo poco vetrati in relazione al contesto climatico, possono essere diverse, ma principalmente tre:

1. Minimizzazione delle perdite di energia termica: la strada è quella di impostare involucri con un rapporto S/V significativamente basso (inferiore a 0,5 per case unifamiliari e 0,3 per edifici più grandi tipo scuole) e di coibentare molto i componenti edilizi (valore U che a seconda delle zone climatiche può partire da 0,20 W/m²K fino ad arrivare a 0,10 W/m²K. Grande cura nella minimizzazione dei ponti termici e della scelta della qualità termica del foro finestra (vetro-telaio-cassonetti). Utilizzo di sistemi di ventilazione meccanica bilanciata con recupero di calore e valori n50 inferiori a 1,0 h-1 fino a 0,6 h-1;

2. Massimizzazione dei guadagni gratuiti di energia termica: se il contesto climatico lo permette (zone con inverni miti e ben esposte alla radiazione solare), è possibile sfruttare al massimo i guadagni solari per catturare energia termica (radiazione solare). Le caratteristiche di questi involucri, oltre ad un orientamento ottimale in relazione al percorso solare sono:

- Verso Sud, il rapporto tra parte opaca e trasparente potrebbe essere vicino al 30-40% (valori più grandi di superficie vetrata portano a guadagni spesso non utilizzabili). Verso Nord e verso gli altri orientamenti è consigliabile non salire sopra il 15%;
- Utilizzo di vetrate con fattori solari g elevati (superiori a 0,5) ma non trascurando il potere isolante che non dovrebbe (a seconda delle zone climatiche) salire oltre il valore di 1,2÷1, W m²K. In sostanza il bilancio netto di energia termica degli infissi verso Sud dovrebbe essere positivo;
- Sistema di schermatura "efficace", cioè capace di adattarsi (meglio se in modo automatico) alle esigenze istantanee dell'involucro regolando la quantità di radiazione solare incidente sulle vetrate. Tale sistema dovrebbe essere integrato nel sistema BMS (Building Management System) dell'edificio, se presente.

3. Una combinazione di queste due strategie (consigliabile);



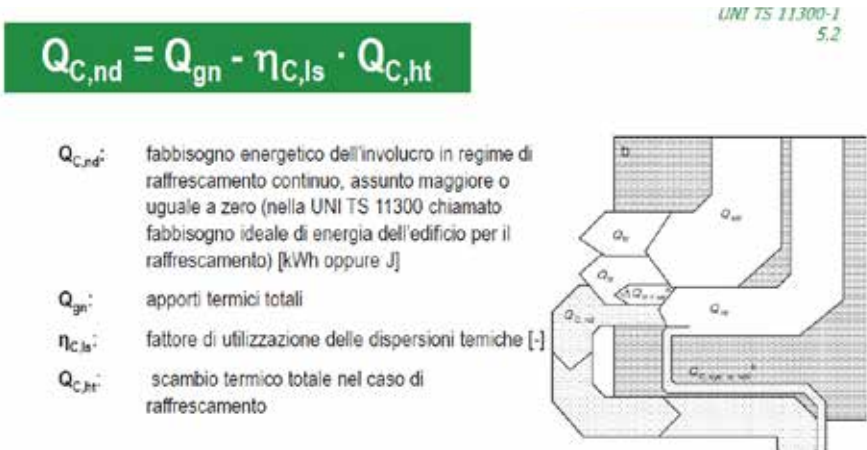
Figura 8.62 – Passivhaus Pichler - Pfitsch – Alto Adige : un esempio di edificio che sfrutta entrambe le strategie di minimizzazione delle perdite e massimizzazione dei guadagni solari.

Gli edifici in legno sono avvantaggiati o svantaggiati rispetto ad altre soluzioni costruttive?

Gli edifici in legno sono avvantaggiati soprattutto dagli ottimi (cioè bassi) valori di trasmittanza termica raggiungibili dai componenti opachi (pareti soprattutto) nei sistemi "a telaio". Il sistema costruttivo con pannelli XLAM ha comunque necessità di un cappotto esterno, anche se (a parità di valore U) di spessore inferiore di pareti realizzate con laterizio o cemento armato. Dal punto di vista della massimizzazione dei guadagni solari, bisogna fare molta attenzione affinché la geometria "pensata" per guadagnare energia termica durante la stagione invernale, sia sufficientemente ombreggiata durante quella estiva, altrimenti si rischia di surriscaldare internamente l'involucro molto rapidamente già nelle mezze stagioni. Un altro punto che necessita più cura rispetto ad edifici "massicci" è il requisito della tenuta all'aria, in quanto usualmente maggiore il numero delle connessioni da sigillare e dei possibili punti di infiltrazione.

8.4.3 IL BILANCIO ENERGETICO ESTIVO DELL'INVOLUCRO

Il bilancio energetico estivo ha lo scopo di fare un bilancio degli apporti termici totali (per trasmissione dagli elementi opachi e trasparenti, della ventilazione e gli apporti interni) e le dispersioni totali di energia termica (dell'involucro quando la temperatura esterna lo permette o per irraggiamento, verso il terreno o tramite ventilazione) al fine di capire, per la stagione di riferimento, il fabbisogno energetico netto dell'edificio per mantenere le condizioni di comfort, che per la stagione di raffrescamento sono i 25°C di temperatura dell'aria interna con circa il 60% di U.R.. Questo bilancio viene fatto considerando l'energia termica (calore) e un database di dati climatici comune e condizioni "standard" di occupazione e di utilizzo.



²³ Sembra strano ma da sempre l'umanità ha cercato di realizzare edifici dove il contesto climatico fosse favorevole (non troppo freddo o non troppo caldo).

²⁴ Con ventilazione "naturale" intendo un ricambio dell'aria interna attuata direttamente con apertura manuale delle finestre.

Calcolato tale fabbisogno, attraverso i rendimenti impiantistici (η_H) e dei coefficienti di conversione, viene calcolata l'energia finale e primaria conseguente. In questo esempio non è trattata l'energia necessaria a deumidificare che merita un approfondimento a parte.

Utilizzando la dicitura della norma UNI TS 11300-1, dal fabbisogno di energia utile di raffrescamento $Q_{C,nd}$, si può ricavare l'indice EPe suddividendo il fabbisogno per la superficie utile raffrescata.

Calcolato il valore di $Q_{H,nd}$, si può calcolare l'indice energetico utile parametrizzandolo (ad esempio) sulla superficie utile riscaldata :

$$EPI_{inv} = Q_{H,nd} / S_u \text{ [kWh/m}^2\text{a]}$$

Anche per questo bilancio, l'obiettivo dovrebbe essere quello di ottenere un valore di $Q_{C,nd}$ il più basso possibile e per fare questo le strade possibili possono essere molte e dipendenti soprattutto dai seguenti parametri:

- Contesto climatico;
- Funzione dell'edificio (residenziale o non residenziale);
- Geometria dell'edificio (orientamento, rapporto S/V, posizionamento relativo delle parti opache e trasparenti, età..);
- Tipologia di schermatura e sua regolazione;
- Qualità termica dell'involucro (trasmissioni stazionarie e dinamiche, sfasamenti e fattore di attenuazione dei componenti opachi, capacità areiche interne) e della tenuta all'aria dello stesso;
- Capacità delle finiture esterne dell'involucro di limitare l'assorbimento di energia termica della radiazione solare (bassi fattori di assorbimento) e di dissipare l'energia termica contenuta nei sui materiali esterni per irraggiamento verso superfici più fredde (generalmente il cielo);
- Strategia di ventilazione per il ricambio igienico dell'aria (naturale, meccanica con o senza recupero di calore);
- Strategia di ventilazione per il raffrescamento dell'involucro;
- Capacità dell'involucro di utilizzare le dispersioni termiche "gratuite".

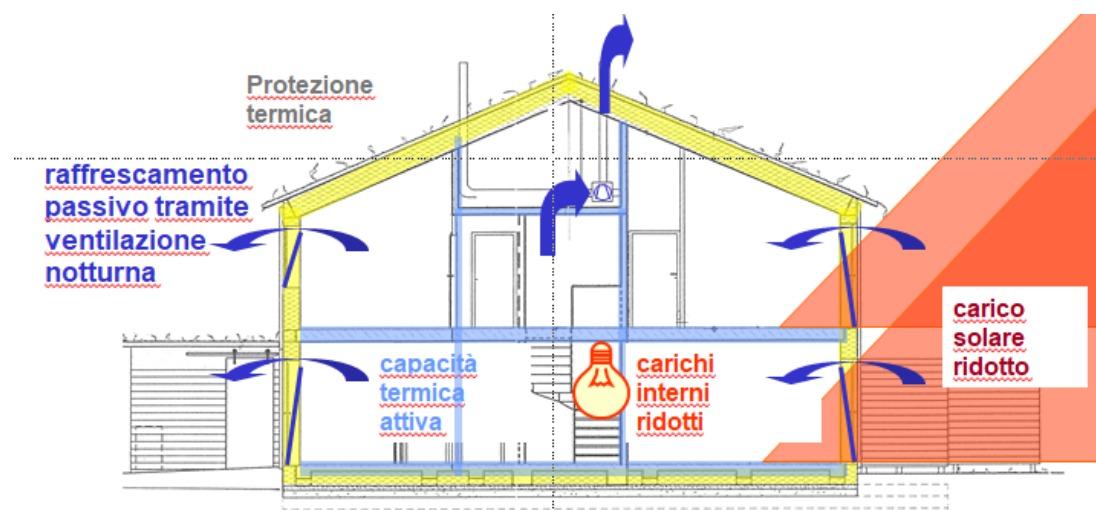


Figura 8.64 – Strategie di raffrescamento passivo utilizzabili per un involucro edilizio.

Le **strategie possibili** per calibrare precisamente i parametri sopra citati, in relazione al contesto climatico, possono essere diverse, ma principalmente tre:

1. Minimizzazione dei guadagni di energia termica: in questa strategia si collocano tutte quelle tecnologie che limitano i guadagni di energia termica "indesiderati" quali:

- a. Schermature efficaci (ma che non penalizzino troppo i livelli di luce naturale all'interno degli ambienti);

- b. Utilizzo per i rivestimenti esterni di materiali a basso valore di assorbimento α ;
- c. Progettare involucri con un rapporto S/V significativamente basso (inferiore a 0,5 per case unifamiliari e 0,3 per edifici più grandi tipo scuole);
- d. Coibentare molto i componenti edilizi (si, lo stesso coibente che serve per la stagione invernale!);
- e. Trovare la giusta combinazione tra isolamento e massa per raggiungere valori di sfasamento superiori ad almeno 8-10 [h] per le pareti e valori superiori per le coperture;
- f. Utilizzo di sistemi di ventilazione meccanica con recuperatori di calore e dotati di pre raffrescamento geotermico;
- g. Utilizzo di apparecchiature elettroniche ed elettrodomestici ad alta efficienza elettrica.

2. Massimizzazione delle dispersioni gratuite di energia termica:

- a. Utilizzo per i rivestimenti esterni di materiali ad alto valore di emissività ϵ ;
- b. Sfruttamento della ventilazione naturale notturna per "scaricare" la massa interna dal calore accumulato durante il giorno (cioè posizionare finestre contrapposte e con logiche di apertura funzionali a questo);
- c. Scaricare parte del calore verso il terreno evitando di coibentare in modo eccessivo il pavimento o le pareti controterra;

3. Una combinazione di queste due strategie (consigliabile).



Figura 8.65 – COOP Alleanza 3.0 Formigine – esempio di edificio in legno in cui diverse strategie per il raffrescamento passivo sono state utilizzate per realizzare il primo supermercato in legno LEED di Italia (courtesy Sistem Costruzioni Spa).

Gli edifici in legno sono avvantaggiati o penalizzati rispetto ad altre soluzioni costruttive?

Il vantaggio della maggiore coibentazione a parità di spessore vale anche per il lato "estivo". Gli edifici in legno, soprattutto quelli con sistemi "a secco" di rivestimento interno (in cartongesso o similare) sono molto sensibili ai guadagni solari incontrollati ed ai guadagni interni ed è quindi necessario schermare con assoluta efficacia, pena superare spesso le condizioni di comfort estivo (26°C), anche durante le mezze stagioni. Sarebbe molto consigliabile quindi integrare le pareti interne con intonaci o materiali di rivestimento con un valore di Cip elevato (Capacità areica interna) tipo intonaci di calce, di argilla o rivestimenti in pietra o ceramica. Certamente la presenza di un riscaldamento o raffrescamento a pavimento "taglia" parte della capacità dell'edificio di utilizzare la sua capacità termica per stabilizzare la temperatura interna e contrastare eventuali guadagni interni indesiderati.

9

Riferimenti bibliografici

9.1.1 PUBBLICAZIONI

AAVV, 2010. La figura del Direttore Tecnico di Produzione
 AAVV, 2014. Il legno massiccio: materiale per un'edilizia sostenibile.
 AAVV, 2017. Appunti per le Costruzioni in legno.
 AAVV, 2018. La classificazione secondo la resistenza.
 Assolegno, 2013. Guida Pratica alla Durabilità e ai Trattamenti del legno.
 Cristiano Loss, Marco Luchetti, Maurizio Piazza, Mauro Andreolli, 2013. Indicazioni per la progettazione e direzione lavori di edifici in legno in zona sismica
 Marco Lauriola, Maurizio Follesa, Marco Luchetti, 2011. Edifici a struttura di legno, Progettazione e realizzazione.
 Marco Lauriola, Mario Moschi, 2011. Durabilità e manutenzione delle strutture di legno.
 Marco Luchetti, Thomas Schrentewein, 2011. Elementi strutturali in legno – Travi Uso Fiume e Uso Trieste: tradizione ed innovazione.
 Raffaello Nardi Berti, 2006. La struttura anatomica del legno ed il riconoscimento dei legnami italiani di più corrente impiego Seconda edizione CNR IVALLSA
 Friz H. Schweingurber, 1990. Microscopic wood anatomy. Terza edizione, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research
 Roberto Zanuttini, Gaetano Castro, Stefano Berti 1998. "Xiloglos. Glossario multilingue dei termini usati in tecnologia del legno" www.populus.it/xilo.php
 Stefano Berti, Alan Crivellaro, Michela Nocetti, Leonardo Rescic, Lorena Sozzi, "Conoscere il legno", CNR IVALLSA Firenze Italia
 Brunetti, Cerullo, Luchetti, Nocetti, Togni, 2011, "Il legno strutturale italiano entra in Europa. Situazione tecnico-normativa per gli assortimenti a sezione rettangolare," AL. AREALEGNO, Vol. 56, pp. 52-55
 Brunetti, Luchetti, Nocetti, Togni 2011. "Impiego del legno in edilizia. Nuove regole e nuove opportunità," SHERWOOD. FORESTE ED ALBERI OGGI, Vol. 175, No. 7, pp. 42-45.
 AA.VV., Strutture resistenti al fuoco, EPC, Roma, 2017.

9.1.2 NORME DI PRODOTTO

EAD 130005-00-0304	Solid wood slab element for use as structural element in buildings
EAD 130196-00-0304	Solid wood boards for flatwise structural use with overlapping edge profiles
EAD 130012-00-0304	Strength graded structural timber - square edged logs with wane - chestnut
EAD 130167-00-0304	Strength graded structural timber - square edged logs with wane - softwood
UNI EN 336	Structural timber. Sizes, permitted deviations
UNI EN 338	Structural timber. Strength classes
UNI EN 1912	Structural timber. Strength classes. Assignment of visual grades and species
UNI EN 13986	Wood-based panels for use in construction – Characteristics, evaluation of conformity and marking
UNI EN 14080	Timber structures – Glued laminated timber – Requirements
UNI EN 14081-1	Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 1: General requirements
UNI EN 14250	Timber structures. Product requirements for prefabricated structural members assembled with punched metal plate fasteners
UNI EN 14279	Laminated Veneer Lumber (LVL). Definitions, classification and specifications
UNI EN 14374	Timber structures – Structural laminated veneer lumber. Requirements
UNI EN 16351	Timber structures - Cross laminated timber – Requirements

9.1.3 ADESIVI

UNI EN 301	Adhesives, phenolic and aminoplastic for load-bearing timber structures Classification and performance requirements
UNI EN 15425	Adhesives - One component polyurethane (PUR) for load-bearing timber structures - Classification and performance requirements

9.1.4 CONNETTORI METALLICI

UNI EN 14545	Timber structures – Connectors. Requirements
UNI EN 14592	Timber structures – Dowel-type fasteners. Requirements

9.1.5 DURABILITÀ

UNI EN 335	Durability of wood and wood-based products. Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products
UNI EN 350-2	Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood. Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe
UNI EN 351-1	Durability of wood and wood-based products. Preservative-treated solid wood. Part 1: Classification of preservative penetration and retention
UNI EN 460	Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood – Guide of the durability requirements for wood to be used in hazard classes
UNI EN 599-1	Durability of wood and wood-based products. Efficacy of preventive wood preservatives as determined by biological tests. Part 1: Specification according to use class
UNI EN 599-2	Durability of wood and wood-based products. Performance of preventive wood preservatives as determined by biological tests. Part 2: Classification and labelling

9.1.6 NORME DI CLASSIFICAZIONE SECONDO LA RESISTENZA

DIN 4074-1	Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit. Teil 1: Nadelschnittholz
DIN 4074-5	Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 5: Laubschnittholz
NF B 52-001-1	Règles d'utilisation du bois dans la construction - Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés français résineux et feuillus - Partie 1 : bois massif
NF B 52-001-2	Règles d'utilisation du bois dans la construction - Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés résineux et feuillus - Partie 2 : méthode alternative pour le bois massif entrant dans la fabrication de bois lamellé collé BLC et bois massif reconstitué BMR - Règles d'utilisation du bois dans la construction - Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés résineux et feuillus - Partie 2: Méthode alternative pour le bois massif entrant dans la fabrication de bois lamellé collé BLC et bois massif reconstitué BMR.
UNI EN 11035-1	Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica – Parte 1: Terminologia e misurazione delle caratteristiche
UNI EN 11035-2	Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza

UNI EN 11035-3	meccanica – Parte 2: Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza meccanica e valori caratteristici per tipi di legname strutturale Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica
UNI 11118	Beni culturali - Manufatti lignei - Criteri per l'identificazione delle specie legnose
UNI 11119	Beni culturali. Manufatti lignei. Strutture portanti degli edifici – Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera”
UNI 11130	Beni culturali - Manufatti lignei - Terminologia del degradamento del legno
UNI 11138	Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Criteri per la valutazione preventiva, la progettazione e l'esecuzione di interventi

9.1.7 PROGETTAZIONE

UNI EN 1995-1-1	Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings
UNI EN 1995-1-2	Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1-2: General – Structural fire design
UNI EN 1998	Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance
DM 17.01.18	Norme Tecniche per le Costruzioni
CM 21.01.2019	Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
CNR DT 206 R1	Istruzioni per la progettazione, Istruzione, l'esecuzione ed il Controllo delle Strutture in legno

9.1.8 ALTRE

ISO 9001	Quality management systems – Fundamentals and vocabulary
UNI TR 11499	Legno – strutturale – Linee guida per i controlli di accettazione in cantiere
UNI 11742	Attività Professionali non regolamentate – Carpenterie di elementi e strutture di legno – Requisiti di conoscenza, abilità, competenza

GLI AUTORI – BREVE BIOGRAFIA

Ing. Michele De Beni

Nel 1999 si laurea come Ingegnere Edile presso la facoltà di ingegneria dell'Università di Bologna. E' iscritto all'albo degli ingegneri della provincia di Modena n.2389.

Esperto di edilizia ad alto rendimento energetico, LEED Green Associate, Progettista e Docente accreditato Passivhaus Institute, tecnico competente in acustica ambientale della Regione Emilia Romagna, dal 2000 si occupa di progettazione architettonica ed impiantistica, realizzazione e test per edifici ad alte prestazioni energetiche ed ambientali, secondo i protocolli di sostenibilità più diffusi quali CasaClima, Passivhaus e LEED®.

Ing. Marco Lauriola

Ingegnere Civile libero professionista, si occupa di progettazione strutturale, progetto di interventi di recupero, consolidamento e adeguamento statico-sismico, consulenza a progettisti ed imprese operanti nel settore delle costruzioni in legno, ricerca nel campo del comportamento statico, sismico ed al fuoco di tali strutture e in generale nella ricerca scientifica nel settore del legno in collaborazione con Università e CNR.

È membro del Gruppo di Studio per la redazione delle "Istruzioni per il Progetto, l'Esecuzione e il Controllo delle Strutture di Legno" CNR-DT 206.

Dall'A.A. 2008/2009 è titolare del Corso di "Costruzioni in legno" presso la Scuola di Ingegneria dell'Università di Firenze come Docente a contratto.

Dott. Marco Luchetti

Laureato Dottore Forestale nel 2005, presso l'Università di Firenze, svolge attualmente il ruolo di Responsabile di Assolegno dal 2013; delegato italiano per i gruppi di normazione europea TC124/WG2 (Solid Timber) e TC124/WG3 (Glued laminated timber).

Esperto in tematiche normative nazionali e internazionali con un particolare focus dedicato agli aspetti di certificazione di prodotto, classificazione secondo la resistenza e diagnosi dell'esistente.

conlegno
consorzio servizi legno sughero

conlegno.eu



federlegnoarredo.it