

APPUNTI PER LE COSTRUZIONI IN LEGNO:

normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere

a cura DELL'UFFICIO TECNICO ASSOLEGNO



FEDERLEGNOARREDO

©Copyright 2017

**APPUNTI PER LE
COSTRUZIONI IN LEGNO:
normativa, progettazione e
buone pratiche di cantiere**

Versione 2.0
(Marzo 2018)

A CURA
DELL'UFFICIO TECNICO ASSOLEGNO

©Copyright 2017

Prefazione

A cura di Giorgio Bignotti

Lo sviluppo delle costruzioni in legno in Italia

Dopo decenni di presenza marginale, a partire dagli anni '80, si è potuto assistere ad un graduale ritorno dei sistemi costruttivi in legno nel panorama edile italiano. La produzione domestica di legno lamellare ha reso disponibile sul mercato nazionale, già dalla fine degli anni '70, un prodotto di legno ingegnerizzato che a piccoli ma veloci passi ha conquistato la fiducia di progettisti e committenti soprattutto nell'ambito delle coperture. Parallelamente i sistemi di prefabbricazione per le case ed i piccoli edifici in legno sviluppavano le tecnologie block-haus e telaio per l'edilizia residenziale che tuttavia rimarrà ancora per lungo tempo ancorata ai sistemi costruttivi tradizionali del cemento armato e del laterizio. Gli anni '90 hanno visto la maturazione del settore legno delle costruzioni e la nascita di numerosi operatori industriali ed artigianali, ma è con l'avvio del nuovo millennio che una vera e propria rivoluzione tecnologica avviene nel modo di costruire con il legno. Diversi sono i fattori che intervengono. La comparsa sul mercato del CLT o Xlam da un notevole impulso all'edilizia in legno che vede l'utilizzo dei pannelli a strati di tavole dapprima negli edifici a due – tre piani per estendersi poi anche agli edifici alti. La crisi internazionale del 2008 interessa fortemente anche il nostro paese ed in particolare il settore immobiliare, tuttavia l'industria delle costruzioni in legno, sia pur con qualche scossone e convulsione, conquista fette di mercato importanti mostrando grande dinamismo e vedendo la nascita di nuovi operatori. La consapevolezza crescente che le costruzioni debbano rispondere sempre più a criteri di sostenibilità e di efficienza energetica contribuisce a creare un terreno favorevole per il settore del legno da costruzione non solo tra gli addetti ai lavori ma anche in una vasta fascia dell'opinione pubblica in generale.

L'importanza del costruire bene – in una fase così dinamica e cruciale, nella quale gli indicatori di fiducia dei consumatori, dei progettisti, degli imprenditori, delle assicurazioni e persino delle banche nei confronti delle costruzioni in legno continuano a crescere, diventa essenziale mantenere ed incrementare il livello di qualità del costruito. Notevoli sforzi sono stati compiuti in questi ultimi decenni, da parte delle aziende e dalle associazioni di categoria, per stimolare l'impiego del legno come materiale da costruzione. La promozione e la diffusione del know-how del costruire con il legno passa in realtà attraverso innumerevoli canali, ma è indubbio che le corrette realizzazioni, gli esempi virtuosi, le opere di prestigio installate sul territorio, costituiscano il miglior biglietto da visita per "Mr Timber" nel nostro paese.

L'importanza di un costruttore specializzato

Come detto, la reputazione del legno è estremamente positiva in Italia ed in molti paesi europei. Questo traguardo è stato raggiunto grazie all'impegno degli operatori del settore che nella maggior parte dei casi hanno lavorato con scrupolo e competenza realizzando opere straordinarie. Ovviamente sono stati anche compiuti errori. A volte l'inesperienza, a volte la frammentazione della progettazione senza il necessario coordinamento, in altri casi l'insufficienza delle risorse destinate alla costruzione di un'opera o semplicemente la non idoneità delle modalità di appalto, hanno portato a casi di insuccesso che si sono poi manifestati nel breve o nel medio periodo. Caratteristica delle costruzioni in legno è che eventuali difetti vengano alla luce in tempi relativamente contenuti, al massimo entro i vent'anni di vita della struttura, ma anche in pochi anni nei casi più gravi. Fortunatamente questi eventi sono numericamente limitati ma è anche ragionevole supporre che invecchiando il parco delle costruzioni lignee esistenti altre situazioni problematiche si manifesteranno in futuro, con il rischio conseguente di indebolire la reputazione delle costruzioni lignee. Ogni caso di insuccesso costituisce infatti una minaccia per il settore perché un singolo evento negativo ha un potere mediatico molto più forte di centinaia di esempi virtuosi. Diventa quindi fondamentale che venga compiuto ogni sforzo per rendere sempre più rari gli errori di progettazione, di produzione, di esecuzione e di gestione del costruito.

Assolegno, l'associazione di FederlegnoArredo che raccoglie gli operatori della filiera delle costruzioni in legno, vuole con questa modesta pubblicazione, dare un piccolo contributo in questo senso, mettendo in comune esperienze ed informazioni che possano essere da stimolo per gli associati, i progettisti, i direttori dei lavori e tutte le figure che contribuiscono alla riuscita di un'opera, portandoli così a riconoscere le peculiarità nell'iter di realizzazione di una costruzione in legno. Parlare anche di errori costituisce di per sé un atto di umiltà, virtù indispensabile per chi vuole porsi di fronte ad un'opera da realizzare con il necessario rispetto verso le leggi della natura e la consapevolezza che solo con il sapere condiviso di tanti si possano evitare le disattenzioni e gli errori di pochi.

“Ma, oltre a queste osservazioni, mi sembra opportuno concludere osservando in via generale che, relativamente ai metodi di calcolo e alle normative, si debba evitare di dar loro importanza eccessiva, per non mettere in ombra la progettazione vera e propria. La quale ha nel calcolo soltanto una delle sue fasi, seppure fondamentale, mentre trova in altre questioni aspetti altrettanto qualificanti: intendo soprattutto la concezione generale delle strutture; l’armonica distribuzione delle masse; i particolari costruttivi; l’analisi dei problemi esecutivi e dei costi; l’esame critico del comportamento generale della costruzione comprendente anche, e non secondariamente, la presenza di elementi non strutturali e della parte del terreno coinvolta dalla struttura. Fatti, questi, che debbono entrare nel vivo del processo progettuale, divenendo una forza unica e ogni volta diversa. Fatti che non possono essere unitariamente colti da elaborazioni numeriche e computers come invece può riuscire a fare la mente umana con gli insostituibili ausili, peculiari soltanto ad essa, dell’intuizione, dell’inventiva, della fantasia, della creatività.

Vi ringrazio per la pazienza e l’attenzione con le quali mi avete ascoltato e Vi rinnovo il più cordiale saluto.”

Prof. Emerito Piero Pozzati
Università di Bologna
1922- 2015

Indice

1. Introduzione

| | | |
|-----|------------|----|
| 1.1 | Generalità | 16 |
| 1.2 | Contenuti | 16 |

2. Concezione ingegneristica generale dell'opera

| | | |
|---------|---|----|
| 2.1 | Introduzione | 17 |
| 2.2 | Collegamenti e particolari costruttivi | 18 |
| 2.3 | Descrizione dei principali tipi di collegamento | 20 |
| 2.4 | Collegamenti tra pannelli verticali e diaframmi orizzontali | 23 |
| 2.4.1 | Collegamenti tra pareti e fondazione | 23 |
| 2.4.2 | Collegamenti tra pareti e solai | 26 |
| 2.4.3 | Collegamenti tra pareti e copertura | 29 |
| 2.4.4 | Collegamenti tra pannelli verticali | 30 |
| 2.4.4.1 | Collegamenti tra pareti allineate | 30 |
| 2.4.4.2 | Collegamenti tra pareti tra loro ortogonali | 32 |
| 2.4.5 | Collegamenti tra pannelli orizzontali | 34 |
| 2.4.6 | Collegamenti relativi a scale e balconi | 37 |
| 2.4.6.1 | Collegamenti di scale | 37 |
| 2.4.6.2 | Collegamenti di balconi | 37 |

3. Concezione tecnologica dell'opera in legno

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1 | Generalità | 40 |
| 3.2 | Progettare la durabilità: "carico di umidità" | 43 |
| 3.2.1 | "Sorgenti" d'Umidità per l'edificio | 44 |
| 3.2.2 | Meccanismi di trasporto dell'umidità all'interno dell'edificio | 48 |
| 3.2.3 | "Moisture design" per gli edifici in legno | 49 |
| 3.2.4 | Controllo dell'acqua piovana | 49 |
| 3.2.5 | I principi di difesa dall'umidità: la regola delle "4D" | 50 |
| 3.2.6 | "Deflection" | 52 |
| 3.2.7 | "Drainage" | 55 |
| 3.2.8 | "Drying" | 59 |
| 3.2.9 | "Durable materials" | 60 |

4. In cantiere: buone pratiche

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.1 | Finalità del presente capitolo | 62 |
| 4.2 | Quando si manifestano gli errori | 63 |
| 4.2.1 | Impiantistica: esempi e indicazioni per una corretta concezione e posa | 65 |
| 4.2.2 | Camini | 75 |
| 4.2.2.1 | Distanza dai materiali combustibili | 79 |
| 4.2.2.2 | Sistemi intubati | 82 |
| 4.2.2.3 | Il Comignolo e quota di sbocco | 84 |
| 4.2.2.4 | Contatto umano accidentale | 91 |
| 4.2.2.5 | Tenuta all'aria e impermeabilizzazioni | 92 |
| 4.2.2.6 | Installazioni vietate | 94 |
| 4.2.2.7 | Controlli finali dell'installatore di impianti termosanitari e del fumista | 95 |
| 4.2.2.8 | Documentazione per lo spazzacamino | 96 |
| 4.2.2.9 | Collaudo dello spazzacamino | 97 |
| 4.2.3 | Sigillatura dei Sanitari | 97 |
| 4.3 | Fondazioni e attacco a terra | 102 |
| 4.3.1 | Il sistema di fissaggio – posa degli hold down | 105 |
| 4.3.2 | La normativa tedesca | 113 |
| 4.3.3 | Tetto piano – le sette regole d'oro | 117 |

5. Esempi e casistiche: breve analisi degli errori

| | | |
|---------|--|-----|
| 5.1 | Una breve panoramica | 123 |
| 5.2 | Le Strutture in legno | 125 |
| 5.3 | Le tipologie e le cause degli insuccessi | 128 |
| 5.4 | Le cause dei Crolli | 129 |
| 5.4.1 | Il crollo della copertura della Siemens Super Arena | 129 |
| 5.4.1.1 | Il collasso dell'opera | 132 |
| 5.4.1.2 | Approfondimenti tecnici sul crollo | 132 |
| 5.4.1.3 | Consolidamento della struttura (cenni) | 134 |
| 5.4.2 | Sala Espositiva – Padiglione Jyväskylä (Finlandia) | 134 |
| 5.4.2.1 | Il collasso dell'opera | 135 |
| 5.4.2.2 | Approfondimenti tecnici sul crollo | 135 |
| 5.5 | Ulteriori casi di problematiche riscontrate negli edifici in legno | 136 |
| 5.5.1 | Edificio privato (struttura in CLT e legno lamellare) | 137 |
| 5.5.2 | Scuola pubblica (struttura in CLT) | 137 |
| 5.5.3 | Progetto C.A.S.E. – L'Aquila (struttura in CLT) | 138 |

Le Appendici

6. Appendice A: I Controlli di accettazione in cantiere

| | | |
|--------|--|-----|
| 6.1 | Generalità | 140 |
| 6.2 | Coefficienti di Variazione e Coefficienti parziali di sicurezza | 141 |
| 6.3 | I controlli di Accettazione – Documentazione accompagnatoria | 143 |
| 6.4 | I controlli di accettazione – il legno massiccio | 145 |
| 6.4.1 | Legno massiccio a sezione rettangolare – Classificazione con metodi a vista | 145 |
| 6.4.2 | Scelta del metodo da utilizzare | 146 |
| 6.4.3 | Norme di classificazione e principi generali | 148 |
| 6.4.4 | Difetti e metodi di misurazione | 149 |
| 6.4.5 | NORMA UNI 11035-1/2: 2010 | 159 |
| 6.4.6 | NORMA DIN 4074-1: 2012 | 161 |
| 6.4.7 | NORMA DIN 4074-5: 2008 | 163 |
| 6.4.8 | NORMA NF B 52-001: 2011 | 165 |
| 6.4.9 | Esempi | 167 |
| 6.4.10 | Legno massiccio a sezione irregolare | 170 |
| 6.4.11 | Classificazione del legname a sezione irregolare | 171 |
| 6.4.12 | Le Valutazioni Tecniche Europee | 173 |
| 6.4.13 | Legno massiccio a sezione rettangolare: Classificazione a macchina | 180 |
| 6.5 | Il Legno lamellare– I controlli di accettazione | 186 |
| 6.6 | I controlli di accettazione - altri elementi giuntati (pannelli in compensato di tavole ed elementi in legno massiccio giuntati) | 190 |
| 6.7 | Elementi Meccanici di collegamento | 193 |
| 6.8 | Prove complementari in accettazione | 195 |
| 6.8.1 | Prove di carattere distruttivo – legno massiccio | 197 |
| 6.8.2 | Prove di carattere distruttivo – assortimenti giuntati e incollati | 198 |
| 6.9 | UNI TR 11499 e prossima Circolare Esplicativa | 198 |
| 6.9.1 | Tolleranze dimensionali per legno massiccio, legno lamellare e assortimenti innovativi | 199 |
| 6.9.2 | Strutture semplici e di modesta entità | 202 |

7. Appendice “B” - Durabilità & Agenti Biotici

| | | |
|-------|---|-----|
| 7.1 | Durabilità: quadro normativo | 203 |
| 7.2 | Agenti biotici di degrado | 208 |
| 7.2.1 | Coleotteri | 208 |
| 7.2.2 | Termiti | 214 |
| 7.2.3 | Funghi xylofagi | 216 |
| 7.3 | Degradamento da agenti non biotici | 220 |
| 7.3.1 | Fattori atmosferici del degradamento abiotico | 221 |

| | |
|----------------------------------|------------|
| Riferimenti bibliografici | 223 |
|----------------------------------|------------|

Indice Tabelle

| Rif. Tab. | Titolo |
|-----------|---|
| 3.1 | Classi, posa e rischio di attacco biologico |
| 4.1 | Cause e tipologie di errori – 2007 Università di Lund |
| 4.2 | Temperatura massima della parete esterna |
| 5.1 | Distribuzione degli errori in fase progettuale (estratto da Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber? – Lund University) |
| 6.1 | Valori γ_M per le proprietà dei materiali |
| 6.2 | Metodo probabilistico per le proprietà degli assortimenti strutturali in legno – Fonte: JCSS PROBABILISTIC MODEL CODE - Part 3: RESISTANCE MODELS |
| 6.3 | Documentazione accompagnatoria per i prodotti di maggiore diffusione commerciale |
| 6.4 | Norme applicabili al processo di classificazione secondo la resistenza con metodi a vista |
| 6.5 | Provenienza, Norme di classificazione e correlazione con le classi di resistenza |
| 6.6 | 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 |
| 6.7 | Caratteristiche del legno di reazione |
| 6.8 | UNI 11035-2 regole di classificazione |
| 6.9 | DIN 4074-1 regole di classificazione |
| 6.10 | DIN 4074-5 regole di classificazione |
| 6.11 | NF B 52-001 regole di classificazione (Abete) |
| 6.12 | ETA 11/0219 Regole di classificazione Uso Fiume di Abete e Larice |
| 6.13 | ETA 11/0219 Regole di classificazione Uso Trieste di Abete e Larice |
| 6.14 | ETA 11/0219 Profili resistenti Uso Fiume e Trieste di Abete e Larice |
| 6.15 | ETA 12/0540 Regole di classificazione Uso Fiume di Castagno |
| 6.16 | Profili caratteristici Uso Fiume di Castagno |
| 6.17 | Visual Override – classificazione a macchina |
| 6.18 | Classi di resistenza e resistenza del giunto espressa come resistenza caratteristica a flessione del giunto stesso |
| 6.19 | Classe di tolleranza 1 – EN 336 |
| 6.20 | Classe di tolleranza 2 – EN 336 |
| 6.21 | Coefficiente di ritiro k per legno lamellare |
| 7.1 | Classi di utilizzo secondo EN 335-1/2 (modificata) |
| 7.2 | Caratteristiche di durabilità naturale delle principali specie legnose utilizzate in edilizia (EN 350 serie). |
| 7.3 | EN 460 - Relazione tra classi di rischio (denominate classi di utilizzo nella EN 335) e durabilità naturale del legno in merito all'applicazione di un trattamento preservante . |
| 7.4 | Famiglie di insetti e le principali caratteristiche per la loro identificazione |

Indice Figure

| Rif. Fig. | Titolo |
|-----------|--|
| 2.1 | Stati di compressione paralleli o ortogonali alla fibratura (figura da Piazza et al. [2005]) |
| 2.2 | Trasmissione delle forze orizzontali mediante elementi metallici di ancoraggio a trazione (hold-down) e a taglio (angolari) |
| 2.3 | Sistemi di ancoraggio a trazione (hold-down) e a taglio (angolari) |
| 2.4 | a) Forze esterne agenti sulle sezioni A-A e B-B di una generica parete in legno; (b) azioni interne in presenza di un unico tipo di ancoraggio resistente sia a trazione che a taglio; (c) azioni interne in presenza di ancoraggi a trazione (hold-down) e a taglio (angolari) |
| 2.5.I | Distribuzione delle azioni interne in una parete realizzata mediante più pannelli XLAM nel caso di presenza (a) o assenza di giunti verticali (b) |
| 2.5.II | Distribuzione delle azioni interne in un diaframma realizzato con pannelli XLAM; azioni orizzontali agenti nelle due direzioni principali (a e b). |
| 2.6. | Nodi strutturali principali in un edificio in legno |
| 2.7 | Appoggio diretto della parete in fondazione: collegamento a trazione mediante hold-down e a taglio mediante angolari metallici, rispettivamente per pannelli in XLAM e intelaiati |
| 2.8 | Appoggio della parete in fondazione con soglia di legno: collegamento a trazione mediante hold-down, collegamento a taglio tra parete e soglia mediante viti incrociate e tra soglia e fondazione mediante tasselli, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati |
| 2.9. | Appoggio della parete su zoccolo di fondazione: collegamento a trazione e a taglio mediante piastre forate, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati |
| 2.10 | Appoggio della parete sul solaio di interpiano: collegamento a trazione mediante coppia di hold-down o nastro forato, collegamento a taglio tra parete superiore e solaio mediante angolari metallici, collegamento a taglio tra solaio e parete inferiore mediante viti, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati |
| 2.11 | Appoggio della parete sul solaio di interpiano: collegamento a trazione mediante nastri forati, collegamento a taglio tra parete superiore e parete inferiore mediante piastre forate, collegamento a taglio tra solaio e parete inferiore mediante viti, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati |
| 2.12 | Appoggio del solaio di interpiano su parete continua: collegamento mediante angolare metallico avvitato alla parete |
| 2.13 | Collegamento di una trave alla parete mediante staffe metalliche |
| 2.14 | Copertura in pannelli XLAM con sporti di gronda realizzati mediante “falsi travetti” |
| 2.15 | Copertura a travetti di un edificio in XLAM |
| 2.16 | Copertura a travetti di un edificio intelaiato: soluzione con travetti continui in appoggio sulle pareti esterne oppure soluzione con “falsi travetti” in gronda |
| 2.17 | Collegamento parete-parete XLAM: giunto a mezzo legno avvitato e giunto con viti incrociate |
| 2.18 | Collegamento parete-parete XLAM: giunto con tavole coprigiunto in compensato |
| 2.19. | Giunzione dei fogli di rivestimento di un parete intelaiata in corrispondenza di un montante |
| 2.20 | Collegamento d'angolo mediante viti, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati |
| 2.21. | Collegamento d'incrocio mediante viti incrociate, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati |

| | |
|------------|--|
| 2.22 | Collegamento solaio-solaio XLAM: giunto a mezzo legno avvitato e giunto con viti incrociate |
| 2.23. | Collegamento solaio-solaio XLAM: giunto con tavole coprigiunto in compensato |
| 2.24 | Controventamento di piano mediante fogli di rivestimento chiodati |
| 2.25 | Collegamento tra solaio e travi principali |
| 2.26. | Scale realizzate mediante una rampa XLAM in appoggio su staffe metalliche collegate al pianerottolo o mediante gradini collegati alle pareti perimetrali mediante angolari metallici avvitati |
| 2.27. | Balcone realizzato in continuità con le travi del solaio |
| 2.28 | Balcone realizzato mediante un pannello XLAM in appoggio su staffe metalliche fissate alle pareti perimetrali e su pilastri esterni oppure mediante travetti a sbalzo, ancorati a taglio con squadrette metalliche e a flessione con nastri forati |
| 3.1 | Strategie di progetto per aumentare la durabilità della costruzione |
| 3.2. | Edificio realizzato in legno con elementi protetti alla base e rialzati da terra |
| 3.3. | Edificio realizzato in legno con elementi esposti (non protetti) al degrado nella zona di attacco a terra |
| 3.4 | Possibili classi di utilizzo all'interno di un dato edificio in legno |
| 3.5 | I quattro principali vettori causa di penetrazione d'acqua. (Fonte: Designing for Durability – American Wood Council) |
| 3.6 | I quattro principi "4Ds" per la difesa dell'edificio (Deflection; Drainage; Drying; Durable materials-Fonte: Designing for Durability – American Wood Council) |
| 3.7 | Scossalina metallica a protezione dell'elemento esposto. In estradosso è altresì compreso un gap d'aria per la ventilazione (fonte EXOVA BM TRADA) |
| 3.8 | Scossaline metalliche per l'allontanamento dell'acqua piovana in estradosso (fonte: archivio storico Università di Trento) |
| 3.9 | Il taglio dello spigolo inferiore del travicello non è solo motivo estetico ma serve per allontanarlo dalla pioggia di stravento |
| 3.10 | In questo caso la testa della trave è addirittura in parte esposta alle intemperie con conseguenti problemi a breve di termini di marcescenze |
| 3.11 | Drainage / "Drenaggio" – prevedere vani dove si possa convogliare l'acqua e facilitarne il deflusso per gravità può essere considerata una possibile soluzione complementare al principio "Deflection" (Fonte: EXOVA BM TRADA). |
| 3.12 | Nella foto l'attacco a terra è posto al di sotto del piano di calpestio. Guaine impermeabilizzanti poste ad "U" in corrispondenza dell'attacco a terra sulla parete possono portare allo stesso modo a fenomeni di marcescenza |
| 3.13 | L'Aquila: collasso della struttura per non corretta impermeabilizzazione del nodo balcone |
| 3.14 | Possibile soluzione per quanto riguarda l'attacco del balcone; struttura non a sbalzo anche al fine di un maggior confort acustico (fonte: Holzforschung Austria). |
| 3.15 | Drenage / "Drenaggio" – nel presente caso la soluzione a livello di particolare costruttivo è estremamente semplice: montante di balaustra distanziato dalla trave principale, evitando contestualmente superfici di contatto (fonte: archivio storico Università di Trento) |
| 3.16 | scegliere gli opportuni materiali con particolare riferimento all'Sd (grandezza che esprime la resistenza al passaggio del vapore) garantisce un corretto controllo del vapor d'acqua all'interno del pacchetto (Fonte: Designing for Durability – American Wood Council) |
| 3.17 | pacchetto telaio e materiali non traspiranti: degrado da parte di funghi. (Fonte: Designing for Durability – American Wood Council) |
| 3.18 (a÷b) | Lamellare di Iroko (Olanda)con giunti a tutta sezione; Nessuna delaminazione (classe di servizio 3) - Struttura esposta (15 anni) |

| | |
|---------------------------------|--|
| 4.1 | Correlazione tra “fenomeno di errore” e età dell’opera |
| 4.2 | I concetti di resistenza, isolamento e tenuta (REI) sono vani, qualora non vengano applicate regole di dettaglio per la progettazione dei passaggi impiantistici |
| 4.3 | Cattiva distribuzione degli impianti (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.4 | Corretta distribuzione degli impianti (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.5 | Passaggio sotto porta impianti (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.6 | Comportamento errato e mancato schema impiantistico - Passaggio impianti con scasso del cordolo e assenza di appoggio per hold-down |
| 4.7 | Posizione corretta delle scatole elettriche (fonte: archivio RASOM Wood Technology) |
| 4.8 | Passaggio non corretto (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.9 | Passaggio corretto (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.10 | Passaggio corretto punto luce (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.11 | Passaggio corretto punto luce (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.12 | Predisposizione impianto elettrico (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.13 | Schema fori impianti elettrico (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.14 | Corretta nastratura dei corrugati (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.15 | Cavo elettrico esterno e sigillatura (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.16 | Portafrutto a norma per le strutture in legno (fonte: archivio RASOM Wood Technology) |
| 4.17 | Scatole per strutture in muratura (fonte: archivio RASOM Wood Technology) |
| 4.18 | distribuzione impianto idraulico tradizionale (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.19 | Distribuzione impianto idraulico senza accavallamenti e con cassetta di distribuzione (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.20 | Assenza di protezione per la struttura in legno (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.21 | Protezione dalle condense tramite interposizione della guaina (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.22 | corretto fissaggio della tubazione al solaio (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.23 a, 4.23 b, e, 4.23 c | posa dei camini e cause di incendio |
| 4.24 | Esempi di camini previsti per combustibili solidi non eseguiti correttamente: ignorata completamente la distanza di sicurezza dai materiali combustibili |
| 4.25 | Schema composizione camino “Tratto dalla UNI EN 1443:2005” |
| 4.26 | Non utilizzare tubo flessibile di raccordo (fonte: archivio RASOM Wood Technology) |
| 4.27 | Esempio di attraverso solaio con distanza di sicurezza assente |
| 4.28 | Esempio corretto di attraversamento copertura |
| 4.29 | Passaggio camino in struttura a pannelli portanti (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.30 | Passaggio camino in struttura a pannelli portanti (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.31 | Posa di materiale isolante incombustibile in prossimità del passaggio del camino (vedi freccia nera) in sostituzione alla fibra di legno (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |

| | |
|--------------|---|
| 4.32 | Distanza minima tra due o più condotti e tra i condotti e il cavedio è di almeno 2 cm. (In presenza di condotti in materiale non classificato secondo UNI EN 13501-1 è vietato l'intubamento multiplo.) |
| 4.34 | Passaggio tubi (vedi freccia nera) nel passaggio camino non permesso (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.35 | Parte terminale camino con pale girevoli |
| 4.36 (a;b;c) | Esempi di realizzazioni di comignoli |
| 4.37 | Quote di sbocco sul tetto in pendenza |
| 4.38 | Quote di sbocco in funzione della distanza del terminale dall'ostacolo privo di aperture |
| 4.39 | Quote di sbocco di un tetto piano in presenza di ostacolo (balcone) |
| 4.40 | Quote di sbocco di un tetto piano in presenza di aperture |
| 4.41 | Quote di sbocco dei camini in presenza di lucernario |
| 4.42 | Quote di sbocco in caso di abbaino |
| 4.43 | Tenuta all'aria in corrispondenza del camino (esempio) |
| 4.44 | Posa della guaina impermeabile (esempio) |
| 4.45 | Distribuzione impianto |
| 4.46 | Posa massetti |
| 4.47 | Chiusura con cartongessi |
| 4.48 | Impermeabilizzazione doccia (fonte: archivio RASOM Wood Technology) |
| 4.49 | Impermeabilizzazione miscelatori doccia (fonte: archivio RASOM Wood Technology) |
| 4.50 | Profilo rompigoocia (doccia)- (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.51 | Profilo rompigoocia (vasca) - (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l) |
| 4.52 | Schematizzazione nodo attacco a terra. (fonte: www.woodlab.info) |
| 4.53 | Dettaglio di attacco a terra di un edificio a telaio progettato e realizzato correttamente, da notare la differenza di quota tra terreno ed imposta della parete in legno. (fonte: www.woodlab.info) |
| 4.54 | Attacco a terra non corretto; la parete in CLT è stata posata direttamente sulla platea senza una guaina di separazione. (fonte: www.woodlab.info) |
| 4.55 | Attacco a terra eseguito correttamente, la guaina bituminosa protegge il CLT dalla risalita dell'umidità per capillarità. (fonte: www.woodlab.info) |
| 4.56 | Esempio di attacco a terra eseguito correttamente, in questo caso tra la platea e la parete in CLT è stato realizzato un cordolo di rialzo. (fonte: www.woodlab.info) |
| 4.57 | Esempio di drenaggio perimetrale del terreno su fondazione a piastra. (fonte: CasaAttiva) |
| 4.58 | Esempio di fissaggio con hold-down posti ad un interasse non corretto |
| 4.59 | Immagine tratta dal libro del carpentiere |
| 4.60 | “Catena” calcestruzzo – acciaio - legno |
| 4.61 | Meccanismi di rottura a trazione |
| 4.62 | Meccanismi di rottura a taglio |
| 4.63 | Esempio di posa ideale |
| 4.64 | Esempi di posa non corretta |
| 4.65 | Modi di rottura per connessioni acciaio-legno (fonte: EC5, paragrafo 8.2.3, figura 8.3) |
| 4.66 | Schematizzazione primo caso: singolo hold-down |
| 4.67 | Schematizzazione secondo caso: gruppo di 5 hold-down posti ad interasse di 10 cm. |
| 4.68 | Schematizzazione terzo caso: gruppo di 3 hold-down posti ad interasse di 20 cm. |
| 4.69 | Parete esterna con soglia sporgente rispetto alla fondazione con sistema di isolamento |

| | |
|-------|---|
| | termico |
| 4.70 | Punto più basso della parete esterna sporgente dalla fondazione con facciata ventilata |
| 4.71 | Parete meno distanziata dalla fondazione con letto di ghiaia sulla facciata esterna |
| 4.72 | Parete esterna sporgente dalla piattaforma con pavimentazione solida e pendenza verso il basso sulla parete esterna |
| 4.73 | Crescita di funghi all'interno dell'ambiente dell'edificio dovuta a condensa interstiziale |
| 4.74 | Schema della diffusione del vapore inverno/estate (Fonte: ProClima.de) |
| 4.75 | Caratteristica della membrana in funzione del valore di S_d (Fonte: UNI 11470:2015) |
| 4.76 | Attrezzatura per il Blower Door Test montata su una porta |
| 5.1 | Collasso progressivo di un edificio multipiano in calcestruzzo armato dovuto alla rimozione prematura degli elementi di puntellamento – Virginia, 1973 |
| 5.2 | Collasso di una partizione di elemento tridimensionale in acciaio – Koblenz 1971 |
| 5.3 | Collasso dello Jyväskylä Paviljonki – 2003 (Finlandia) |
| 5.4 | Fessure presenti su elemento in legno lamellare; il passaggio nell'immediata vicinanza del tubo dell'acqua calda ha prodotto un'essiccazione ulteriore con creazione di fessure vicino alla linea di colla. |
| 5.5 | Rottura di un elemento in legno lamellare dovuto ad una bassa qualità realizzativa del giunto a dita. La linea di rottura coincide con la presenza lungo il profilo dell'elemento di giunti a dita |
| 5.6 | Tipologia strutturale - Siemens Super Arena |
| 5.7 | Profilo dell'opera post collasso- Siemens Super Arena |
| 5.8 | Interno dell'opera prima del collasso- Siemens Super Arena |
| 5.9 | Tralicci (particolare – appoggio su colonne in cemento armato) - Siemens Super Area |
| 5.10 | Dettaglio del nodo |
| 5.11 | Foto dall'alto a seguito del collasso parziale dell'opera |
| 5.12 | particolare del giunto a seguito della rottura (avvenuta presumibilmente a trazione parallela alla fibratura) |
| 5.13 | Consolidamento e recupero della struttura della Siemens Super Arena |
| 5.14 | Sistema strutturale della Sala Espositiva – Pad. Jyväskylä. Con il cerchio è indicato il giunto che successivamente ha provocato il collasso dell'opera |
| 5.15 | Nodo della struttura della Sala Espositiva – Pad. Jyväskylä. - Nodi realizzati in difformità al progetto strutturale |
| 5.16 | Vista facciata esterna - (fonte: CNR-IVALSA) |
| 5.17 | Parete in CLT in corrispondenza della finestra – (fonte: CNR-IVALSA) |
| 5.18 | Dettagli del degrado diffuso delle pareti in CLT dovuto alla presenza di acqua in corrispondenza dell'appoggio alla fondazione in c.a e all'assenza del cordolo di rialzo. - (fonte: CNR-IVALSA) |
| 5.19 | Dettagli del balcone crollato in una palazzina del Progetto C.A.S.E. a Cese di Preturo (AQ) - (fonte: CNR-IVALSA) |
| 6.1 | 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) |
| 6.2.A | Misurazione di nodi singoli secondo EN 1310 |
| 6.2.B | Misurazione di gruppi di nodi (EN 1310) |
| 6.2.C | Definizione e misurazione di nodi singoli sul bordo secondo EN 1310 |

| | |
|----------|--|
| 6.2.D | Influenza di un nodo sulla resistenza di un elemento strutturale; la distribuzione delle tensioni cambia e la tensione applicata aumenta |
| 6.3 | Metodo per la misurazione dell'inclinazione della fibratura (EN 1310). In alto particolare dell'utensile; in basso uso dell'utensile |
| 6.4 | Modalità secondo le quali può presentarsi la cipollatura (da UNI 11035. A = cipollatura affiorante; B = cipollatura completa e inclusa; C = cipollatura multipla; D = cipollatura ammissibile; E = cipollatura inammissibile per eccessiva eccentricità; F =cipollatura inammissibile per eccessivo diametro |
| 6.5 | Misurazione dello smusso |
| 6.6 | Diverse tipologie di deformazioni che possono manifestarsi su una tavola nel corso della stagionatura/essiccazione del legno |
| 6.7 | Nodo singolo sulla faccia |
| 6.8 | Nodo singolo sul bordo (a: diametro più piccolo; b: faccia su cui riportare la misura a) |
| 6.9 | Lesioni sulla faccia (sx) o in testa all'elemento (dx) |
| 6.10 | Inclinazione della fibratura e profondità della fessura |
| 6.11 | Azzurramento |
| 6.12.I | Canastro sulla sezione trasversale, riconoscibile per il colore brunastro che segue gli anelli di accrescimento |
| 6.12.II. | Attacco di insetto; misura della galleria (a) e successiva comparazione dei valori con quanto previsto dalla norma |
| 6.13.I | Regolarità della sezione trasversale. La differenza tra altezza e larghezza della sezione non deve superare i 2 cm |
| 6.13.II | Eccentricità massima ammessa del midollo per Uso Fiume e Trieste di Abete e Larice pari al 20% |
| 6.14 | 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 |
| 6.15 | La sezione trasversale dell'elemento deve essere costante dal "calcio" alla "punta" |
| 6.16 | L'elemento può seguire la rastremazione del fusto con una tolleranza massima pari a 6 mm/m |
| 6.17 | Misura della densità attraverso la tecnologia dei raggi X (fonte: archivio storico Microtec) |
| 6.18 | Strumento vibrazionale in combinazione con scanner (vedi strumento a sx dell'immagine - fonte: archivio storico Microtec) |
| 6.19 | Raggi X; Laser; "Color Scanning" (fonte: archivio storico Microtec) |
| 6.20 | Misura delle deformazioni del segato (fonte: archivio storico Microtec) |
| 6.21 | Etichetta riportata nella documentazione accompagnatoria (EN 14080: 2013 - Figura ZA.5). Nel caso in questione la classe di resistenza dell'elemento è identificata come GL 24h. La classificazione delle tavole è quindi desumibile dalla tabelle che seguono (T14 per l'esempio riportato) |
| 6.22 | Report redatto secondo al EN 384 per classificare di piatto le tavole con regola DIN 4074-1 (classi "T" come da UNI EN 14080: 2013). |
| 6.23 | 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) |
| 6.24 | Distanza nodo – giunto |
| 6.25 | Adesivo non perfettamente distribuito – il prodotto deve essere scartato dalla Direzione Lavori prima della sua posa in opera |
| 6.26 | Nodo in prossimità del giunto; tolleranze e prescrizioni della UNI EN 14080 non rispettate in fase di produzione |
| 6.27 | Configurazione per elementi in legno massiccio incollati - t =spessore delle lamelle tra 45 e 85 mm (compreso) |

| | |
|-------------|--|
| 6.28 | Nel caso di strutture lignee l'energia del terremoto è dissipata dagli elementi metallici di collegamento che, nel caso in cui presentino un comportamento duttile, si snervano e si plasticizzano prima che avvenga la rottura; viceversa il legno ha un comportamento fragile e si rompe senza una fase post-elastica. |
| 6.29 | EN 380 – Prova di carico su passerella in legno lamellare |
| 7.1 (a)÷(d) | Adulto, uova e larve di Capricorno delle case (<i>Hylotrupes bajulus</i>). |
| 7.2 (a)÷(b) | Adulto e gallerie (<i>Hesperophanes</i>) |
| 7.3 | Adulto e gallerie (<i>Xestobium rufovillosum</i> “Orologio della morte”) |
| 7.4 (a)÷(b) | Adulto e gallerie (<i>Lyctus brunneus</i>) |
| 7.5 (a)÷(b) | Adulto e gallerie (<i>Reticulitermes lucifugus</i> - operaio) |
| 7.6 (a)÷(b) | Micelio di <i>Serpula lacrymans</i> in diversi stadi di sviluppo |
| 7.7 (a)÷(b) | Funghi cromogeni su segati di pino e muffe superficiali su abete rosso |
| 7.8 | Procedimento decisionale per la corretta scelta del materiale ligneo in funzione della durabilità |

1. Introduzione

1.1 GENERALITÀ

Oggi il settore delle costruzioni in legno può vantare un ampio e strutturato panorama normativo all'interno del quale è possibile trovare i riferimenti per concepire, dimensionare e verificare le opere. Le analisi numeriche e le relative modellazioni sono strumento indispensabile per analizzarne il comportamento statico e garantirne la stabilità. E' però importante che vi siano anche una serie di accorgimenti di carattere costruttivo, siano questi sia di tipo tecnologico che ingegneristico, in modo che la configurazione generale dell'opera possa garantirne la sicurezza nel corso completo della sua vita utile.

E' pertanto importante, ed è scopo principale di questa pubblicazione, fornire esempi utili di buone pratiche di gestione del processo edilizio e delinearne esempi atti a concepire ed eseguire correttamente sia edifici che coperture. In questa pubblicazione, in particolare, si farà attenzione alla fase progettuale e cantieristica.

1.2 CONTENUTI

La presente pubblicazione introduce in modo schematico i seguenti aspetti:

- concezione ingegneristica di un'opera in legno (capitolo 2) con indicazioni circa la corretta concezione dei nodi costruttivi ;
- definizione dei principi derivanti gli aspetti tecnologici nell'utilizzo del legno, quale materiale strutturale di origine biologica (capitolo 3);
- La gestione del cantiere e quali possono essere degli utili esempi per definire una prassi corretta per la realizzazione di un'opera di ingegneria in legno (capitolo 4);
- L'analisi di alcune casistiche di riferimento, commentando gli errori che hanno portato ad una situazione di rischio per la pubblica incolumità (capitolo 5);

Infine il testo riporta due appendici:

- Una prima dedicata al controllo dei materiali in accettazione in cantiere, commentando alcuni degli aspetti introdotti dalle Revisione delle Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Una seconda, a corredo del capitolo dedicato agli aspetti tecnologici (capitolo 3), relativa ai maggiori agenti biotici oggetto di degrado del legno

2. Concezione ingegneristica generale dell'opera

2.1 INTRODUZIONE

Gli edifici in legno mono - o plurifamiliari ad uso abitativo con numero di piani limitato possiedono generalmente adeguate capacità prestazionali nei confronti dei terremoti. Si tratta di strutture tipicamente leggere e regolari, con un numero elevato di elementi resistenti verticali che assolvono contemporaneamente la funzione controventante, in cui ciascun elemento costruttivo viene collegato mediante elementi meccanici a comportamento duttile. Nonostante tali sistemi costruttivi siano raramente interessati da collassi strutturali, l'edificio può rivelarsi inadeguato agli effetti delle azioni sismiche nei confronti del danneggiamento e della richiesta di agibilità post-sisma. È stato il caso, ad esempio, di molti degli edifici in legno compromessi a seguito dei terremoti di Northridge (1994) e di Kobe (1995). Molte delle strutture colpite e danneggiate in modo considerevole durante tali eventi sono state prima demolite e poi ricostruite nella fase di intervento post sisma poiché ritenute irrecuperabili. I collassi degli edifici colpiti da tali terremoti sono in gran parte imputabili a una errata concezione/progettazione strutturale di base o dalle scadenti caratteristiche costruttive della struttura.

Nell'approccio moderno alla progettazione sismica si applicano misure specifiche per limitare al massimo l'interruzione delle attività normalmente svolte nell'edificio, a seguito di un evento sismico con alta probabilità di accadimento, e per evitarne il collasso al verificarsi di terremoti con bassa probabilità di accadimento. Al variare della classe d'uso dell'edificio può essere richiesta la piena o parziale operatività. I nuovi edifici devono quindi essere concepiti in modo da assicurare un prestabilito stato di danneggiamento al variare del livello di intensità sismica di riferimento, indipendentemente dalla tipologia costruttiva utilizzata. Il livello di danneggiamento permette di esprimere un giudizio sull'operatività della struttura, sul suo stato di sicurezza, nonché sul raggiungimento/superamento della capacità finale a cui segue il collasso. Gli edifici nuovi devono essere progettati in accordo alla normativa vigente in modo da mitigare il rischio sismico e rendere sicure le attività per le quali la struttura è stata progettata.

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.

Le costruzioni oggetto della presente trattazione sono realizzate interamente o in parte con componenti strutturali di legno o materiali da esso derivati, deputati a soddisfare i requisiti di sicurezza definiti dalle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008 e da quelle di prossima uscita all'interno dell'anno 2017), nei confronti delle azioni definite dalle norme stesse. Le istruzioni, le regole e i modelli di calcolo richiamati in questo documento sono direttamente applicabili agli edifici definiti "ordinari". Per gli edifici che differiscono da quelli "ordinari", ulteriori provvedimenti dovranno essere presi in considerazione da parte del progettista. Per edifici "ordinari" si intende fare qui riferimento a costruzioni a pianta sufficientemente compatta e simmetrica nelle due direzioni principali, che rispettino i requisiti di regolarità definiti nelle NTC 2008. Con particolare riferimento alle parti strutturali, tali edifici devono verificare che: l'interasse massimo tra gli elementi portanti verticali con funzione controventante non superi 8,00 m, ciascun elemento portante verticale deputato alla funzione controventante sia collegato a terra mediante dispositivi meccanici atti ad impedirne lo scorrimento e il ribaltamento, gli orizzontamenti siano progettati per assolvere un'adeguata funzione controventante di piano (presentare sufficiente rigidità e resistenza) e, infine, l'altezza massima dell'edificio non sia superiore ai 4 piani.

Si sottolinea infine che nei paragrafi seguenti non si tratteranno aspetti relativi a formulazioni e calcoli di dimensionamento e verifica; allo stesso tempo si individueranno temi di concezione strutturale, rimandando al capitolo successivo ("Concezione tecnologica di un'opera in legno") i temi dedicati alla tecnologia del fabbricato. Entrambi i fattori (ossia ingegneristico e tecnologico), in processo di progettazione devono essere presi opportunamente in considerazione ai fini di realizzare un'opera rispondente alle caratteristiche qualitative disposte dalla normativa vigente e come richiesto dalla committenza.

2.2 COLLEGAMENTI E PARTICOLARI COSTRUTTIVI

Entro il presente paragrafo per semplicità di lettura e rimandando a testi specifici di approfondimento si tratteranno le peculiarità costruttive dei sistemi costruttivi a pannelli (siano essi pannelli XLAM oppure pannelli intelaiati). La concezione dei collegamenti in detti sistemi costruttivi è un elemento fondamentale nella progettazione strutturale dell'intero edificio. Il numero, la disposizione e il dettaglio costruttivo dei sistemi di collegamento influenza infatti il comportamento dell'intero edificio in termini di resistenza, rigidità, duttilità e robustezza strutturale.

Il montaggio di un edificio con tali sistemi costruttivi procede tipicamente "per piani": si dispongono gli elementi verticali di ogni piano (pannelli di parete); si dispongono gli elementi orizzontali (pannelli di solaio) in appoggio sulle pareti; infine si procede al montaggio dei pannelli verticali del piano successivo, allineati verticalmente con i pannelli

inferiori, in appoggio sui pannelli di solaio. La trasmissione delle azioni verticali dai piani superiori a quelli inferiori avviene attraverso l'elemento di solaio: particolare cura dovrà quindi essere posta nella verifica di compressione ortogonale alla fibratura sull'elemento di solaio.

Nel legno, la resistenza a sforzi assiali di compressione è principalmente influenzata dall'angolo tra la direzione della fibratura e la direzione degli sforzi applicati. I valori di resistenza massima si ottengono nel caso di compressione parallela alla fibratura, mentre nel caso di compressione ortogonale alla fibratura si ottengono valori di resistenza inferiori di circa un ordine di grandezza: si riportano di seguito i valori di resistenza caratteristici a compressione nel caso di legno lamellare di conifera classe GL24h, Figura 2.1.)

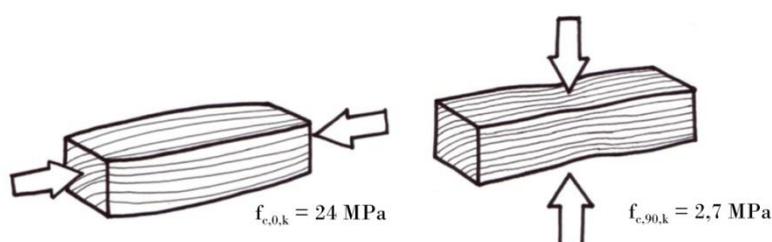


Figura 2.1. Stati di compressione paralleli o ortogonali alla fibratura (figura da Piazza et al. [2005])

Il collegamento tra solaio e parete verticale è inoltre fondamentale nella trasmissione delle forze orizzontali, che avviene tipicamente con uno schema del tipo illustrato in Figura 2.2. La forza F_v si trasmette attraverso angolari metallici e connettori a gambo cilindrico (viti o chiodi) lavoranti a taglio; il momento flettente M determina una coppia alla base del pannello, ovvero una forza di compressione F_c ad una estremità e una forza di trazione F_t all'altra estremità; l'azione assiale N di compressione esercita una forza stabilizzante che si oppone al ribaltamento della parete. Eventuali trazioni all'estremità della parete sono assorbite da appositi elementi metallici di ancoraggio denominati "hold-down" (Figura 2.3). In alternativa sono possibili anche dettagli costruttivi in cui un unico tipo di ancoraggio resiste sia a trazione che a taglio.

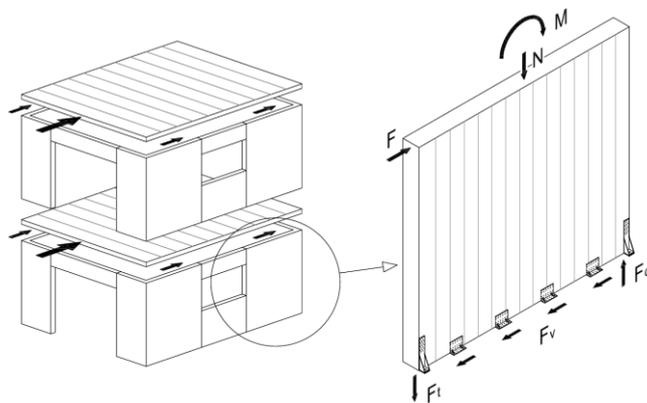


Figura 2.2. Trasmissione delle forze orizzontali mediante elementi metallici di ancoraggio a trazione (hold-down) e a taglio (angolari)

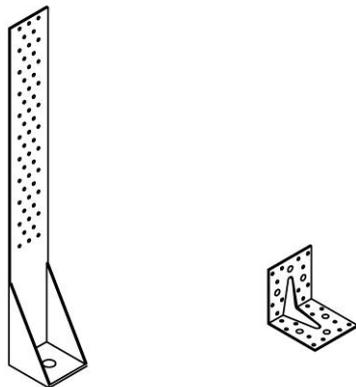


Figura 2.3. Sistemi di ancoraggio a trazione (hold-down) e a taglio (angolari)

2.3 DESCRIZIONE DEI PRINCIPALI TIPI DI COLLEGAMENTO

Come detto il collegamento tra pannelli di parete e solai è fondamentale non solo per la trasmissione delle forze verticali, ma anche per la trasmissione delle forze

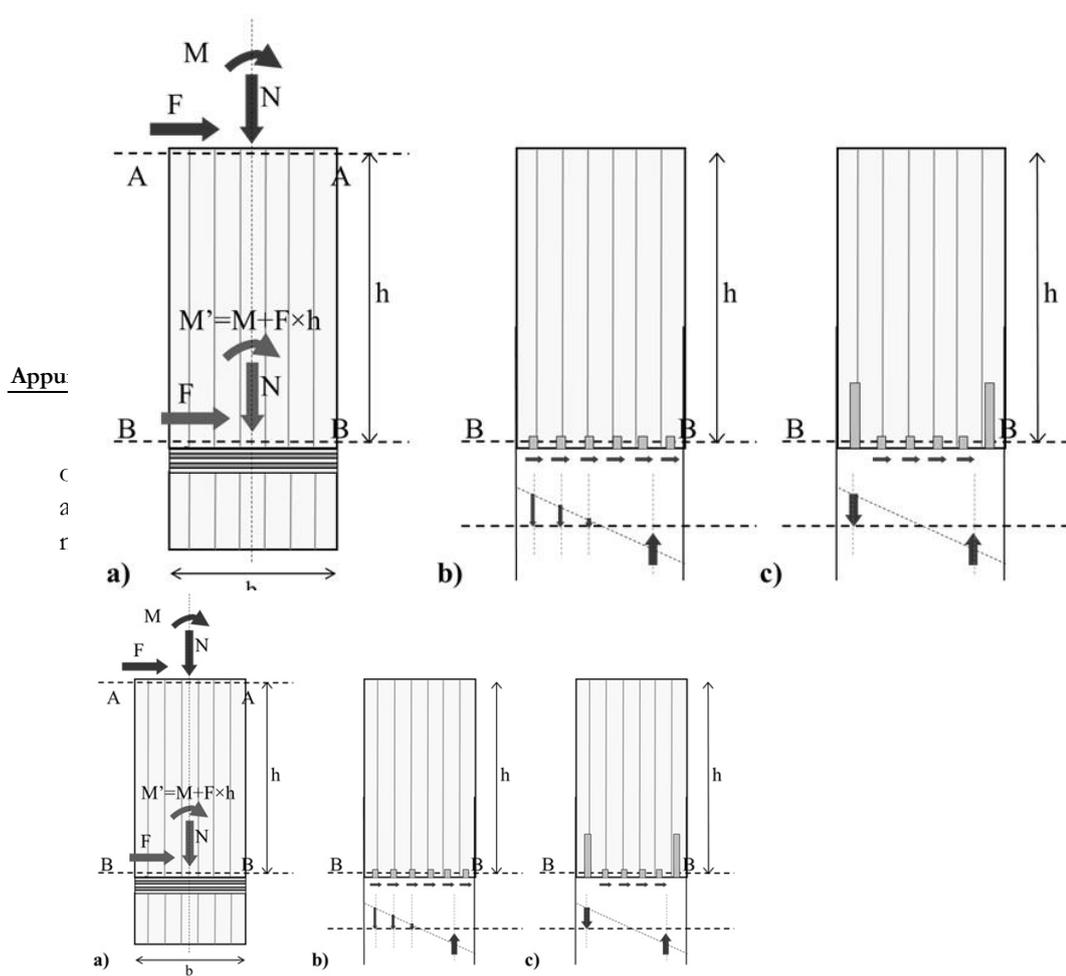


Figura 2.4 (a) Forze esterne agenti sulle sezioni A-A e B-B di una generica parete in legno; (b) azioni interne in presenza di un unico tipo di ancoraggio resistente sia a trazione che a taglio; (c) azioni interne in presenza di ancoraggi a trazione (hold-down) e a taglio (angolari)

Nella trasmissione delle forze orizzontali rivestono una notevole importanza anche i collegamenti verticali tra i pannelli XLAM o tra i fogli di rivestimento (in genere OSB o compensato) delle pareti intelaiate. Come illustrato nella Figura 2.5.I con riferimento ad una parete in XLAM, tali collegamenti, se dimensionati e realizzati correttamente, garantiscono la trasmissione delle forze di taglio tra un pannello e quello adiacente: in tal caso quindi l'ancoraggio a trazione può essere posto agli estremi dell'intera parete. Se invece tali collegamenti non sono dimensionati per assorbire le azioni taglianti agenti (Figura 2.5.II), ogni singolo pannello dovrà essere considerato come "indipendente" e quindi vincolato con ancoraggi a trazione alle estremità.

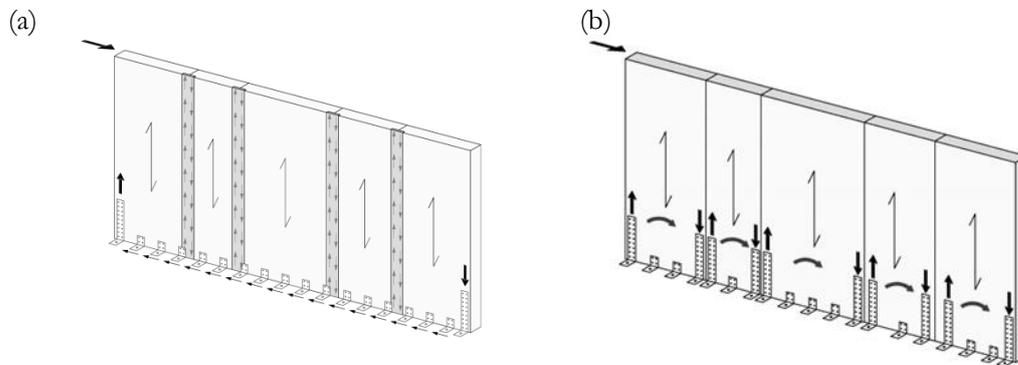


Figura 2.5.I Distribuzione delle azioni interne in una parete realizzata mediante più pannelli XLAM nel caso di presenza (a) o assenza di giunti verticali (b)

Nel caso dei solai i collegamenti tra pannelli affiancati assolvono sia al compito di limitare cedimenti differenziali tra un pannello e quello vicino (azioni fuori piano), sia a quello di garantire un comportamento a diaframma dell'orizzontamento soggetto ad azioni laterali, specialmente nel caso di azioni sismiche.

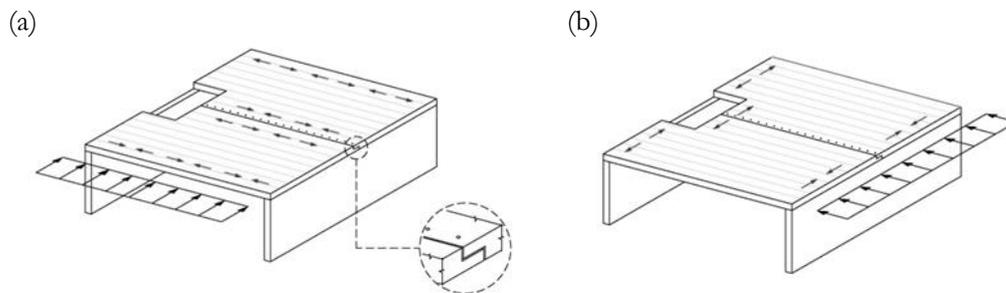


Figura 2.5.II Distribuzione delle azioni interne in un diaframma realizzato con pannelli XLAM; azioni orizzontali agenti nelle due direzioni principali (a e b).

Di seguito saranno illustrate nel dettaglio, con particolare riguardo sia alle problematiche tecnologiche che strutturali, le diverse tipologie di collegamenti, riportando alcune delle soluzioni costruttive più comuni. Si premette che l'illustrazione dei particolari costruttivi è limitata ai dettagli dei sistemi meccanici di collegamento: non sono dunque riportati i

particolari relativi al posizionamento di altri elementi legati alla protezione della parete e alla fisica tecnica della costruzione (guaine, teli, nastri, strati di isolamento, finiture ecc.).

Si possono distinguere principalmente le seguenti tipologie di collegamenti (vedi fig. 2.6):

- Collegamenti tra pannelli verticali e diaframmi orizzontali (particolari 1, 2 e 3)
- Collegamenti tra pannelli verticali (particolari 4 e 5)
- Collegamenti tra pannelli orizzontali (particolare 6)
- Collegamenti relativi a scale e balconi (particolari 7 e 8)

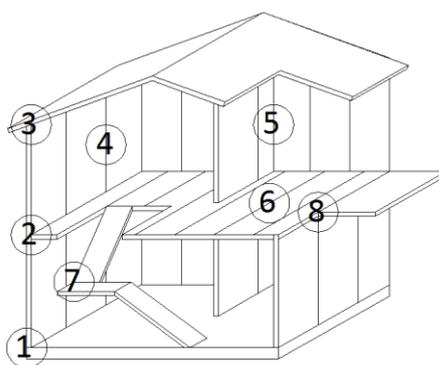


Figura 2.6. Nodi strutturali principali in un edificio in legno

2.4 COLLEGAMENTI TRA PANNELLI VERTICALI E DIAFRAMMI ORIZZONTALI

2.4.1 Collegamenti tra pareti e fondazione

Si illustrano di seguito alcune possibili soluzioni per il collegamento tra le pareti verticali e l'elemento di fondazione in calcestruzzo armato.

Una prima soluzione (*Figura 2.7*) è quella di appoggiare direttamente la parete di legno sull'elemento di fondazione (ovviamente con l'interposizione di guaine di impermeabilizzazione, non riportate in figura, atte a proteggere il legno dall'umidità).

Al fine di contrastare l'effetto delle azioni orizzontali sugli edifici (vento e sisma) che possono generare forze di sollevamento e scorrimento del pannello rispetto alla fondazione, si utilizzano in genere *hold-down*, chiodati alla parete in legno e collegati al calcestruzzo mediante tasselli fissati in maniera meccanica o chimica, e angolari metallici a taglio, fissati in modo analogo.

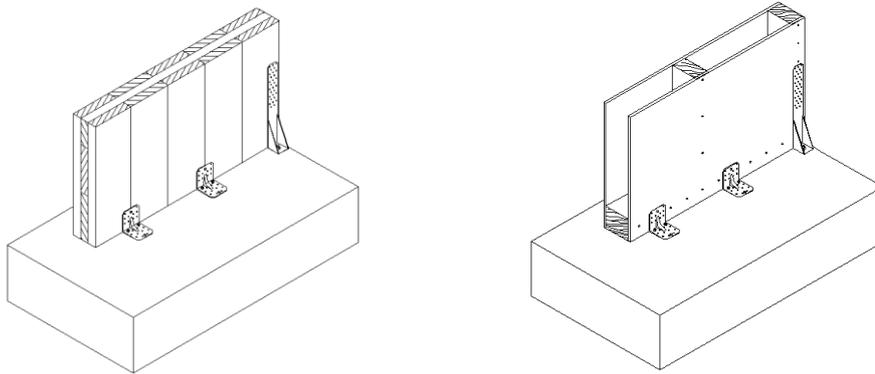


Figura 2.7. Appoggio diretto della parete in fondazione: collegamento a trazione mediante hold-down e a taglio mediante angolari metallici, rispettivamente per pannelli in XLAM e intelaiati

Un'altra possibile soluzione prevede il posizionamento di una soglia di legno di interposizione tra parete e fondazione, in genere utilizzando una specie legnosa naturalmente più durabile, come può essere il larice. In tal caso si possono avere dei vantaggi nel montaggio legati al fatto che una volta posata e "messa in bolla" la soglia, il posizionamento della parete è più veloce ed il suo fissaggio è fatto su un elemento in legno (e non in calcestruzzo).

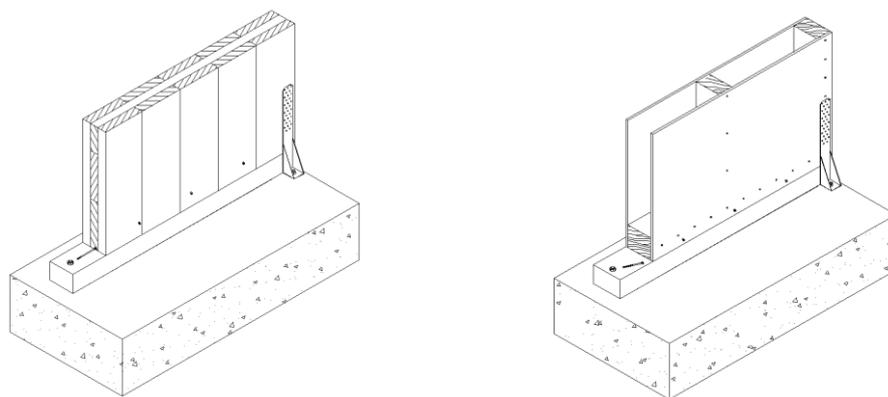


Figura 2.8. Appoggio della parete in fondazione con soglia di legno: collegamento a trazione mediante hold-down, collegamento a taglio tra parete e soglia mediante viti incrociate e tra soglia e fondazione mediante tasselli, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

In tale caso si deve prevedere un collegamento a taglio tra la soglia e la fondazione, generalmente mediante tasselli fissati in maniera meccanica o chimica; è comunque consigliabile prevedere anche degli angolari a taglio qualora, in caso di non perfetta planarità della fondazione in c.a., vi sia una riduzione della portata dei tasselli. Il collegamento a taglio tra parete e soglia può avvenire in diversi modi (angolari metallici, piastre forate chiodate oppure viti incrociate come illustrato in Figura 2.8); il collegamento a trazione avviene tipicamente mediante hold-down.

È possibile inoltre realizzare un cordolo di calcestruzzo armato (Figura 2.9): in tal caso i collegamenti a taglio e trazione sono realizzati generalmente mediante piastre metalliche chiodate alla parete e tassellate al calcestruzzo; potrebbe però essere necessario prevedere anche degli angolari di collegamento tra parete e fondazione in c.a. per la tenuta ai carichi fuori piano.

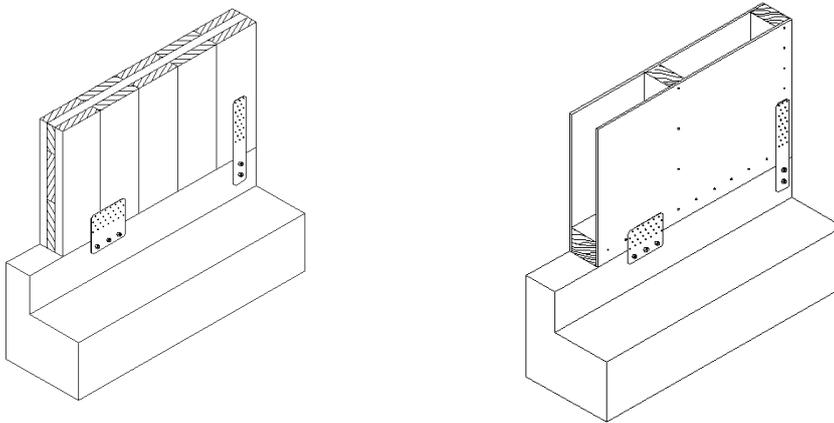


Figura 2.9. Appoggio della parete su zoccolo di fondazione: collegamento a trazione e a taglio mediante piastre forate, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

2.4.2 Collegamenti tra pareti e solai

Nel nodo parete-solaio-parete la trasmissione delle azioni è garantita tramite sistemi di giunzione analoghi a quelli utilizzati in fondazione. Anche per tale nodo si usano in genere due differenti tipologie di sistema di ancoraggio per la trasmissione degli sforzi di taglio e di trazione.

Per trasmettere le forze di trazione tra pannello superiore al pannello inferiore si possono utilizzare coppie di hold-down chiodati alle pareti e collegati tra di loro tramite un bullone. In alternativa possono essere utilizzati nastri forati passanti (Figura 2.10). La trasmissione delle azioni di taglio tra parete superiore e solaio avviene in genere mediante angolari metallici o viti inclinate; la trasmissione delle azioni di taglio tra solaio e parete inferiore avviene tipicamente tramite viti.

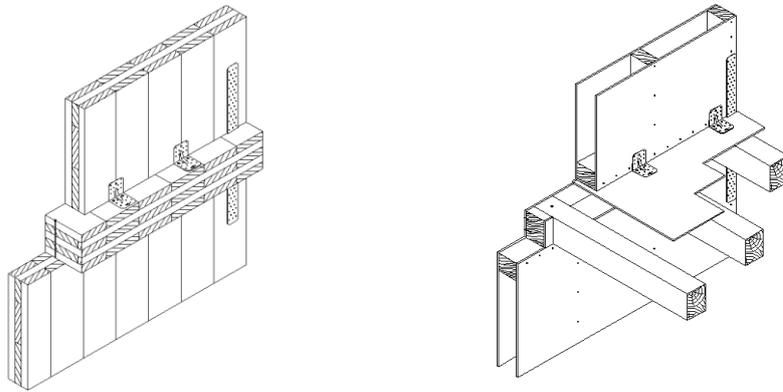


Figura 2.10. Appoggio della parete sul solaio di interpiano: collegamento a trazione mediante coppia di hold-down o nastro forato, collegamento a taglio tra parete superiore e solaio mediante angolari metallici, collegamento a taglio tra solaio e parete inferiore mediante viti, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

In alternativa si può realizzare un collegamento a taglio tra parete superiore e parete inferiore anche mediante piastre forate (Figura 2.11).

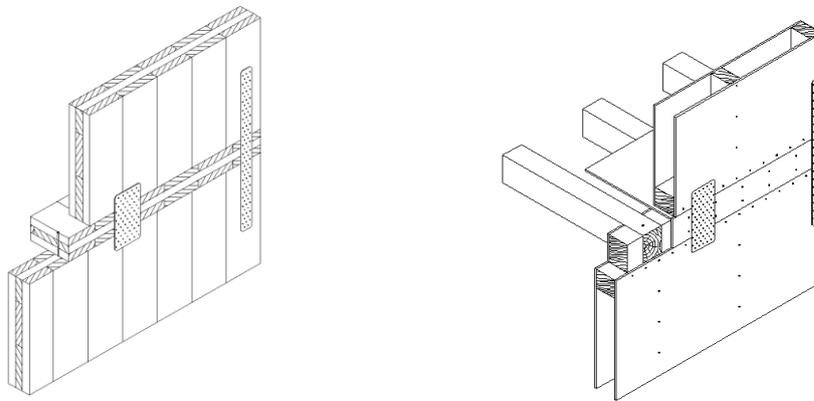


Figura 2.11. Appoggio della parete sul solaio di interpiano: collegamento a trazione mediante nastri forati, collegamento a taglio tra parete superiore e parete inferiore mediante piastre forate, collegamento a taglio tra solaio e parete inferiore mediante viti, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

Talvolta, nell'intersezione tra partizione verticale e orizzontale, l'elemento continuo è rappresentato dalla parete: in tale caso il collegamento del solaio avviene in genere mediante angolari metallici avvitati alla parete (Figura 2.12), mentre il fissaggio di travi può essere realizzato ad esempio mediante staffe metalliche (Figura 2.13).

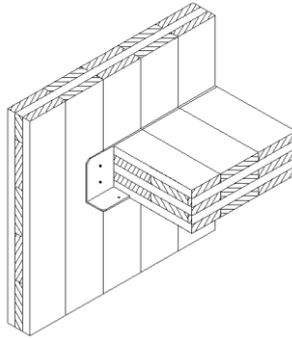


Figura 2.12. Appoggio del solaio di interpiano su parete continua: collegamento mediante angolare metallico avvitato alla parete

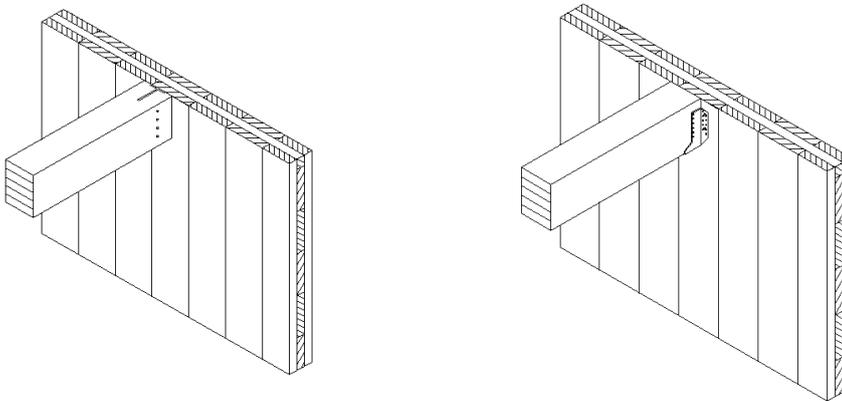


Figura 2.13. Collegamento di una trave alla parete mediante staffe metalliche

2.4.3 Collegamenti tra pareti e copertura

Negli edifici XLAM la copertura può essere realizzata sia con pannelli XLAM che, come più spesso accade, mediante travi di colmo e travetti. Nel primo caso il collegamento tra pannelli e pareti è in genere realizzato attraverso viti ed è possibile, come illustrato in Figura 2.14 interrompere il pannello XLAM in corrispondenza della parete, realizzando lo sporto di gronda mediante dei “falsi travetti”. Si tratta di una soluzione che consente di mantenere la forma tradizionale allo sporto di gronda.

Nel caso di tetto “tradizionale” è possibile realizzare l'appoggio sulle pareti sagomando opportunamente i travetti di copertura (Figura 2.15).

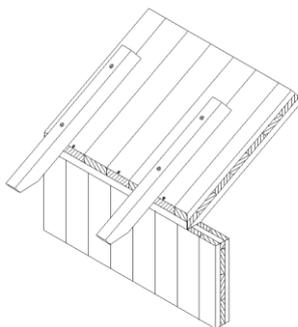


Figura 2.14 Copertura in pannelli XLAM con sporti di gronda realizzati mediante “falsi travetti”

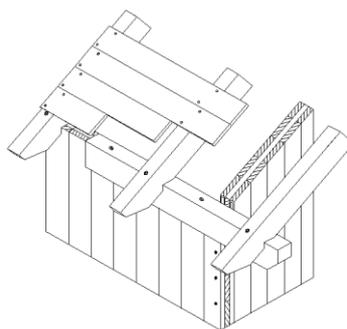


Figura 2.15. Copertura a travetti di un edificio in XLAM

Negli edifici intelaiati tipicamente si realizza una copertura tradizionale a travetti. Come illustrato in Figura 2.16 sono possibili due diverse soluzioni: travetti continui sull'appoggio della parete oppure interrotti in corrispondenza dell'appoggio per uscire in gronda con dei "falsi travetti". Quest'ultima soluzione viene adottata in genere poiché permette di limitare, in presenza di un elevato strato di coibentazione, lo spessore del pacchetto di copertura in gronda (dove l'isolante non è posato).

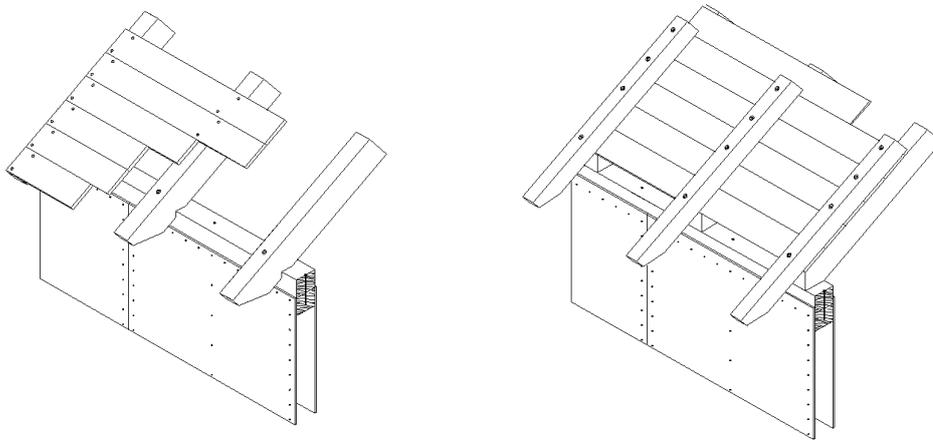


Figura 2.16. Copertura a travetti di un edificio intelaiato: soluzione con travetti continui in appoggio sulle pareti esterne oppure soluzione con "falsi travetti" in gronda

2.4.4 Collegamenti tra pannelli verticali

2.4.4.1 Collegamenti tra pareti allineate

Le dimensioni laterali dei pannelli XLAM posti in opera possono essere limitate per diverse ragioni (produttive, di progetto, di trasporto ecc.), per cui, per realizzare pareti di una certa lunghezza risulta necessario accostare e collegare meccanicamente più pannelli disposti in verticale. Nelle Figure 2.17 e 2.18 sono illustrate alcune possibilità di collegamento tra elementi verticali: tali collegamenti devono essere dimensionati per resistere alle forze di taglio che si trasmettono da un pannello all'altro quando la parete è sollecitata dai carichi orizzontali. Il collegamento è realizzato in genere mediante viti o coprigiunti chiodati in tavole di compensato strutturale.

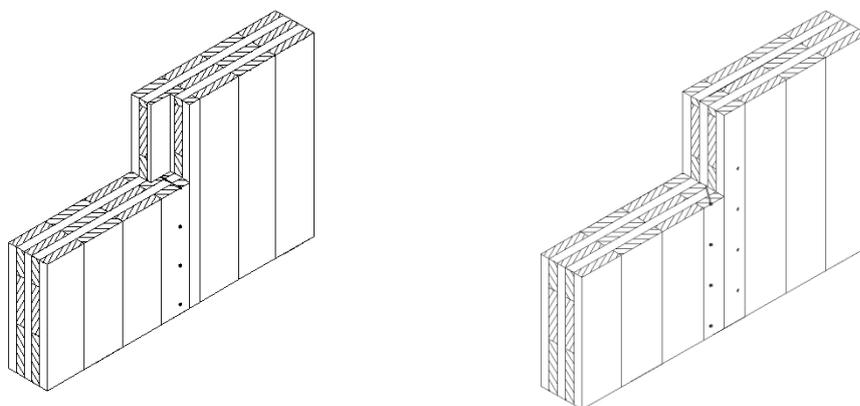


Figura 2.17. Collegamento parete-parete XLAM: giunto a mezzo legno avvitato e giunto con viti incrociate

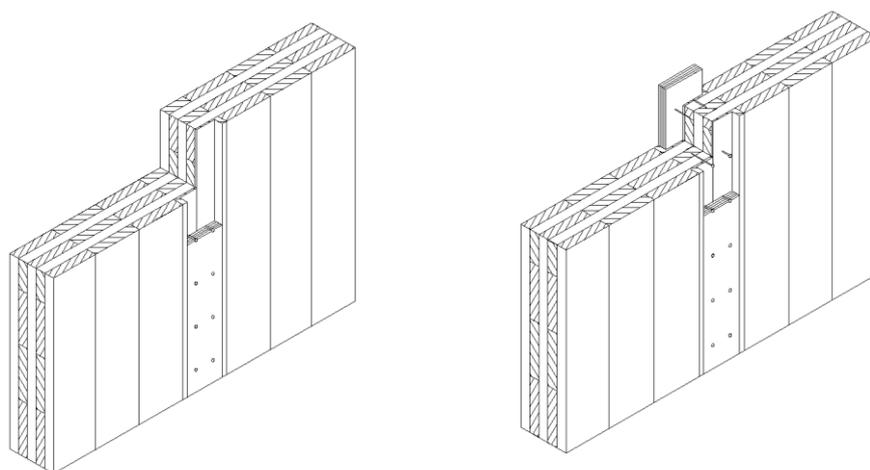


Figura 2.18 Collegamento parete-parete XLAM: giunto con tavole coprigiunto in compensato

Per assicurare il controventamento delle pareti intelaiate risulta fondamentale il dimensionamento della chiodatura tra fogli di rivestimento (in genere OSB o compensato) e il telaio in legno. Dato che la dimensione laterale massima di tali fogli di rivestimento è tipicamente 125 cm, la trasmissione delle forze taglianti è assicurata tramite

la giunzione dei fogli di rivestimento in corrispondenza di un montante, come illustrato in Figura 2.19

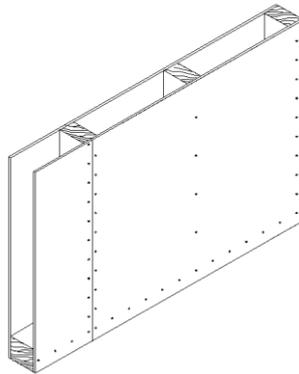


Figura 2.19. Giunzione dei fogli di rivestimento di un parete intelaiata in corrispondenza di un montante

2.4.4.2 Collegamenti tra pareti tra loro ortogonali

Il collegamento d'angolo tra pareti ortogonali è indispensabile per garantire un maggiore comportamento scatolare ed una maggiore robustezza all'intera costruzione. Tale vincolo costituisce inoltre un presidio ulteriore, rispetto al collegamento in sommità e alla base della parete, per le forze fuori piano delle pareti, dovute per esempio alla azione del vento in pressione o depressione sull'edificio. Tipicamente il collegamento è realizzato mediante viti, come illustrato in Figura 2.20.

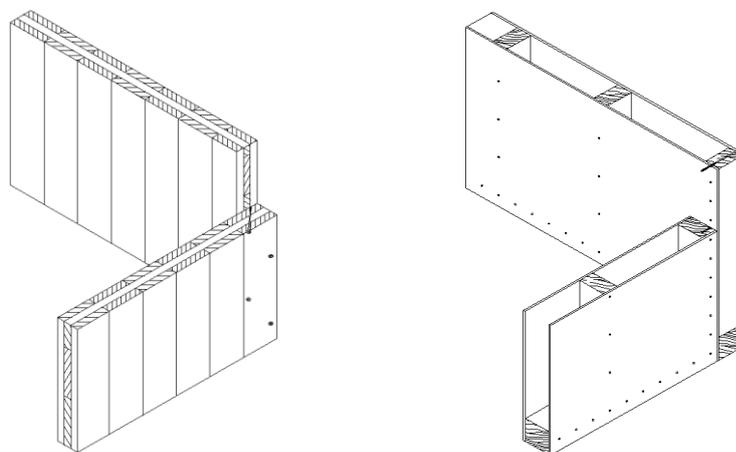


Figura 2.20. Collegamento d'angolo mediante viti, rispettivamente per pannelli XLAM e intellaiati

Nel caso di collegamenti di estremità tra pannelli XLAM particolare attenzione deve essere posta alla modalità di inserimento della vite nella testa del pannello: se infatti la vite è inserita in uno strato del pannello con direzione della fibra parallela all'asse della vite, la resistenza del connettore risulta ovviamente limitata. Poiché in fase di montaggio può essere non sempre facile individuare lo strato corretto in cui inserire la vite autoforante, si consiglia di inserire le viti leggermente inclinate, così da essere sicuri di avere sempre un angolo di almeno 30° tra vite e direzione della fibratura.

Considerazioni analoghe si hanno nel caso di collegamenti di incrocio tra pareti, come illustrato in Figura 2.21.

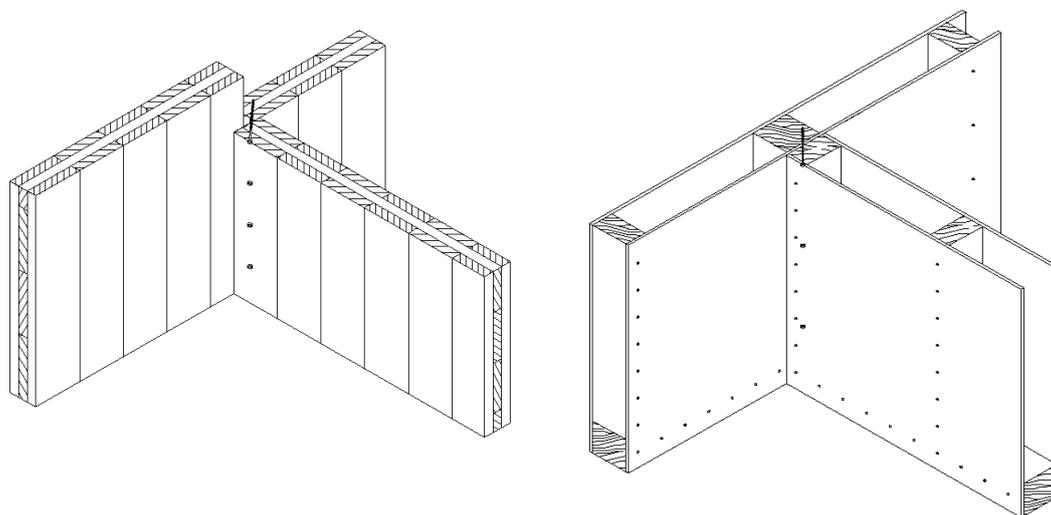


Figura 2.21. Collegamento d'incrocio mediante viti incrociate, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

2.4.5 Collegamenti tra pannelli orizzontali

Nel caso di solai e coperture, realizzati con pannelli XLAM, poiché questi presentano dimensioni trasversali ridotte per ragioni produttive e di trasporto, è necessario realizzare giunti trasversali tra pannello e pannello, permettendo così la realizzazione di un diaframma orizzontale continuo di maggiori dimensioni (comportamento nel piano) ed evitando abbassamenti differenziali (comportamento fuori piano). Si tratta tipicamente di collegamenti “a cerniera”, che non garantiscono quindi la trasmissione delle azioni flettenti e che vengono realizzati parallelamente alla direzione portante principale del solaio. Nelle Figure 2.22 e 2.23 sono illustrati alcuni possibili dettagli costruttivi realizzati mediante viti o coprigiunti chiodati (del tutto simili a quelli illustrati per il collegamento tra parete e parete).

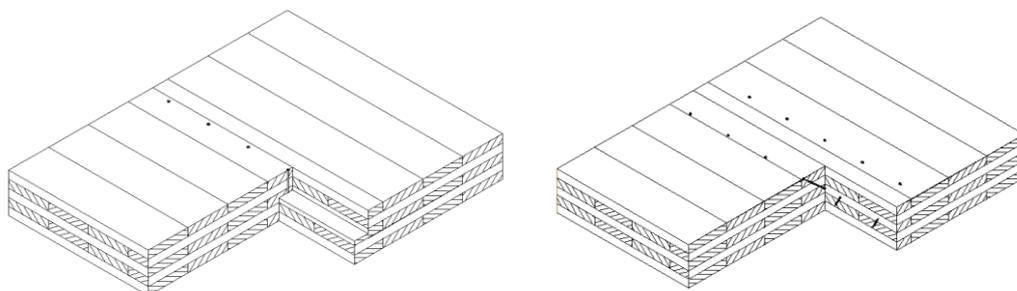


Figura 2.22. Collegamento solaio-solaio XLAM: giunto a mezzo legno avvitato e giunto con viti incrociate

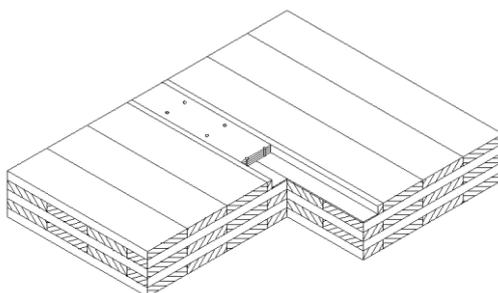


Figura 2.23. Collegamento solaio-solaio XLAM: giunto con tavole coprigiunto in compensato

Nel caso di impalcati in edifici intelaiati il controventamento di piano è garantito dal rivestimento con fogli a base di legno, disposti sfalsati tra loro. Per garantire una efficace trasmissione degli sforzi di taglio le Norme Tecniche per le Costruzioni prevedono (punto 7.7.5.3) che tutti i bordi dei rivestimenti strutturali siano collegati agli elementi del telaio: i rivestimenti strutturali che non terminano su elementi del telaio devono essere sostenuti e collegati da appositi elementi di bloccaggio taglio-resistenti (Fig. 2.24).

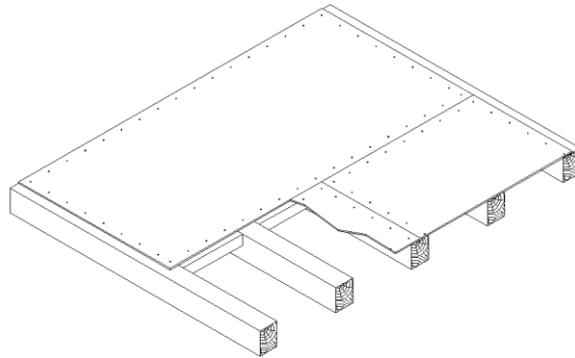


Figura 2.24 - Controventamento di piano mediante fogli di rivestimento chiodati

Il collegamento tra il solaio e le travi principali può avvenire generalmente in due modi: il solaio può appoggiare superiormente all'estradosso della trave (soluzione con trave fuori spessore del solaio) oppure può rimanere "nello spessore" della trave principale. In questo ultimo caso è molto impegnativo utilizzare elementi lignei, sia per aspetti costruttivi che di verifica strutturale: una possibile soluzione può essere quella di utilizzare laminati di acciaio (Fig. 2.25).

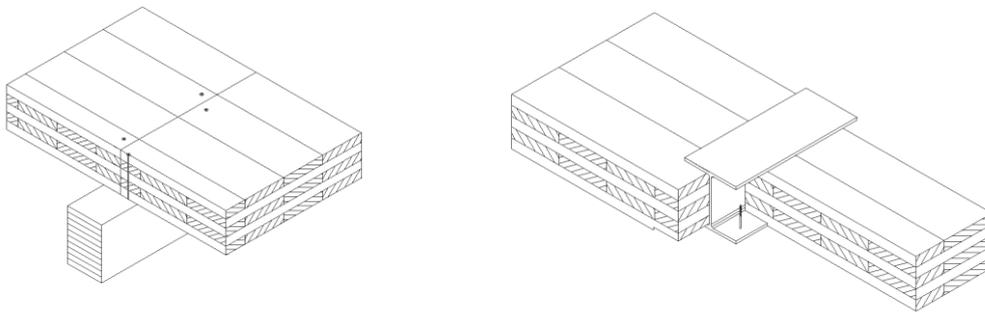


Figura 2.25. Collegamento tra solaio e travi principali

2.4.6 Collegamenti relativi a scale e balconi

2.4.6.1 Collegamenti di scale

Si riportano in Figura 2.26 due possibili soluzioni costruttive relative alla realizzazione di scale a struttura lignea. In un caso la rampa è realizzata mediante un pannello XLAM inclinato in appoggio su staffe metalliche collegate al pianerottolo; nel secondo caso i gradini sono collegati direttamente alle pareti perimetrali mediante angolari metallici avvitati.

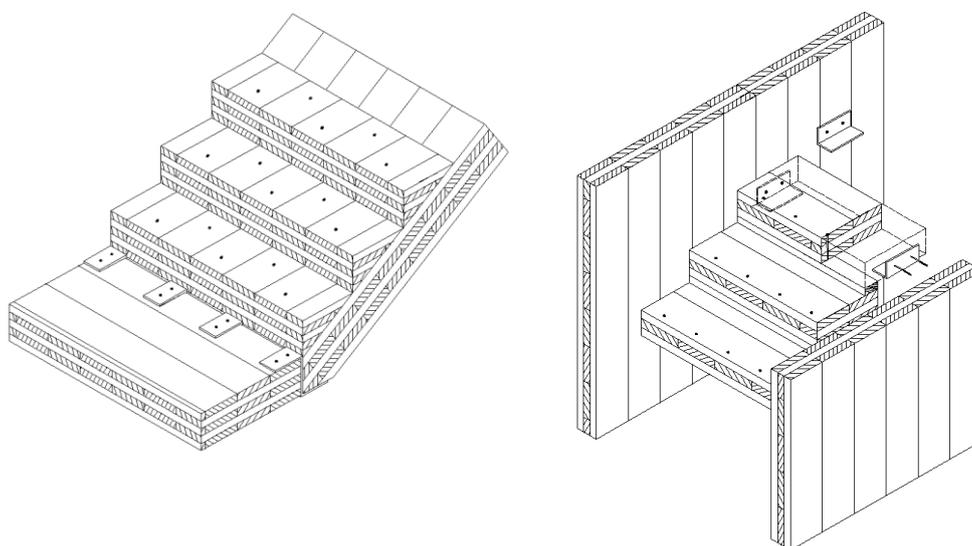


Figura 2.26. Scale realizzate mediante una rampa XLAM in appoggio su staffe metalliche collegate al pianerottolo o mediante gradini collegati alle pareti perimetrali mediante angolari metallici avvitati

2.4.6.2 Collegamenti di balconi

Anche nel caso dei balconi si possono avere molteplici soluzioni costruttive. Nella Figura 2.27 lo sbalzo del balcone è realizzato prolungando gli elementi portanti del solaio: tale soluzione permette di realizzare balconi nella direzione di orditura del solaio (ad esempio travi in legno, pannelli XLAM). Si osservi come in tale caso lo stesso elemento

strutturale venga a trovarsi in classi di servizio (e in classi di rischio) differenti, a seconda che si trovi all'interno (solaio) o all'esterno (balcone) dell'involucro edilizio.

Nella Fig. 2.28 sono presentate due diverse soluzioni costruttive per balconi di edifici con solaio XLAM. Nel primo caso il balcone è realizzato mediante un pannello XLAM in appoggio su staffe metalliche fissate alle pareti perimetrali e su pilastri esterni in legno o acciaio; nel secondo caso il balcone è realizzato da travetti a sbalzo, ancorati a taglio alle pareti mediante squadrette metalliche e ancorati a flessione al solaio mediante nastri forati chiodati. Sembra il caso di ricordare che comunque tali pannelli devono essere protetti, in quanto generalmente prodotti per le classi di servizio 1 e 2 (*Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno - Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici*).

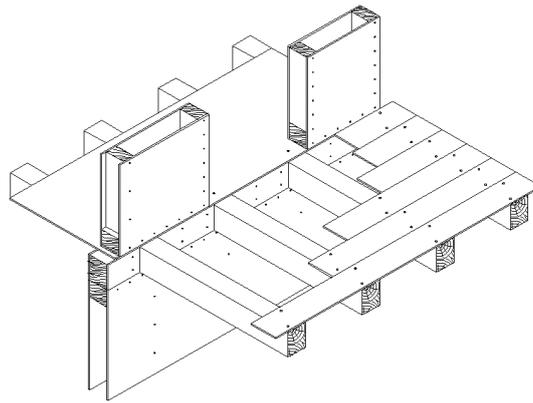


Figura 2.27 Balcone realizzato in continuità con le travi del solaio

In generale sono sempre preferibili soluzioni costruttive che consentano la completa separazione degli elementi strutturali esterni all'involucro edilizio. Questo garantisce più facilmente, in caso di eventuale degrado dovuto alla più elevata classe di rischio, la possibilità di completa sostituzione di tali elementi nel corso della vita della costruzione, senza effettuare alcun intervento sulla struttura interna dell'edificio.

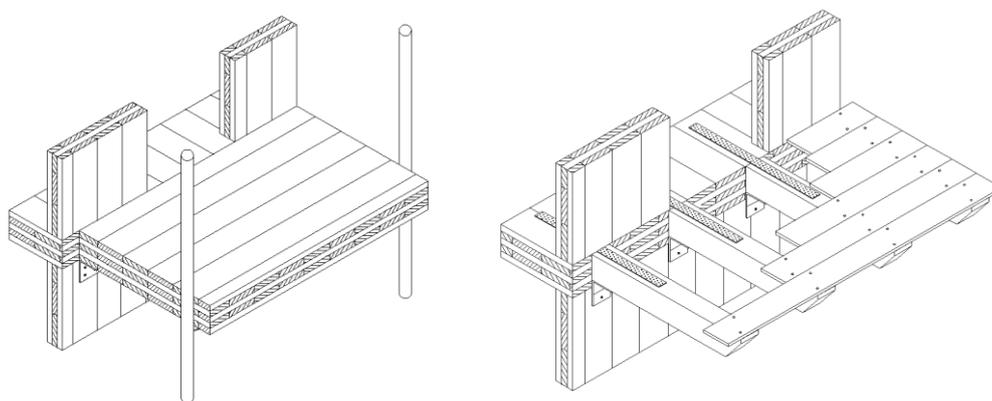


Figura 2.28 Balcone realizzato mediante un pannello XLAM in appoggio su staffe metalliche fissate alle pareti perimetrali e su pilastri esterni oppure mediante travetti a sbalzo, ancorati a taglio con squadrette metalliche e a flessione con nastri forati

3. Concezione tecnologica dell'opera in legno

3.1 GENERALITÀ

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 derivati da quelli relativi 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 vapore acqueo 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.

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.



Fig. 3.1 - Strategie di progetto per aumentare la durabilità della costruzione

Le azioni legate ai fenomeni di condensazione possono presentarsi in diversi casi:

- all'interno di elementi dei pacchetti costruttivi, quando gli strati che li compongono non rispettano alcuni parametri tecnici per una efficace diffusione del vapore;
- sulla superficie di elementi costruttivi in caso di condizioni climatiche particolarmente severe, che favoriscono la condensazione del vapore contenuto nell'aria; un differente aspetto del fenomeno si manifesta in caso di temperature molto basse, con la formazione di uno strato di ghiaccio superficiale, che si trasforma in quantità di acqua spesso importanti non appena la temperatura sale al di sopra di 0 °C;
- all'interno di locali non ventilati, in caso di apporto notevole di umidità, anche in ambiente domestico.

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 connessioni e sui connettori metallici. 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 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 la Fig. 3.1). 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.

Con particolare riferimento alla concezione strutturale, si riportano solo due immagini particolarmente significative atte a esemplificare situazioni corrette o da evitare per gli edifici in legno (Figure 3.2 e 3.3).



Figura 3.2. Edificio realizzato in legno con elementi protetti alla base e rialzati da terra

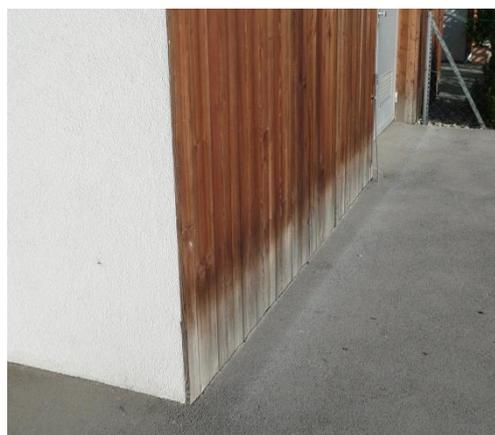


Figura 3.3. Edificio realizzato in legno con elementi esposti (non protetti) al degrado nella zona di attacco a terra

3.2 Progettare la durabilità: “carico di umidità”

All'interno di questo breve paragrafo si vuol dare al progettista incaricato gli strumenti per poter rispondere alle seguenti domande:

- Da dove può provenire l'acqua?
- Come viene trasportata l'acqua all'interno dell'edificio?
- Come può essere controllato il “carico di umidità”?
- Come può essere rimosso il “carico di umidità”?

Innanzitutto si deve precisare che è necessario definire un controllo progettuale evitando contestualmente zone di accumulo preferenziale di acqua liquida o umidità che può fungere da innesco per lo sviluppo di organismi di degrado (quali principalmente funghi) e quindi portare ad una vita utile dell'opera inferiore rispetto a quanto definito nella normativa corrente.

Avere una corretta considerazione dei fenomeni di degrado (sia di tipo biologico che abiotico) è un parametro che vale per tutte le soluzioni costruttive di cui a titolo di esempio si riportano:

- Per edifici in acciaio con particolare riferimento ai fenomeni di corrosione
- Per Opere in calcestruzzo con particolare riferimento a tutte le relative fessurazioni dovute che possono portare appunto ad infiltrazioni di acqua con successiva perdita delle caratteristiche meccaniche della stessa opera in c.a.

3.2.1 “Sorgenti” d’Umidità per l’edificio

Sempre in via del tutto schematica possono essere distinte due “sorgenti” d’umidità che il progettista deve prendere in considerazione.

- **“Sorgente” di umidità interna all’edificio:** ossia l’umidità derivante dalla presenza di persone all’interno dell’edificio e dalla loro attività;
- **“Sorgente” di umidità esterna all’edificio:** ossia umidità causata da precipitazioni, sistemi di irrigazione e acqua dal sottosuolo. Per quanto riguarda le precipitazioni deve essere inoltre fatta un’analisi dei venti dominanti in quanto gli stessi possono essere veicolo di acqua piovana e quindi portare su particolari porzioni o facciate dell’edificio, possibili criticità innalzando contestualmente le relative spese di manutenzione. In particolari zone climatiche – laddove si abbiano zone particolarmente umide e oggetto di nebbia - deve essere preso in considerazione anche il possibile carico di umidità derivante il “vapor d’acqua” ambientale.

Un’ulteriore sorgente di umidità è chiamata “umidità di cantiere”: in altre parole si tratta di acqua contenuta all’interno (principalmente ma non solo) del calcestruzzo, che durante il processo di maturazione si libera all’interno dell’ambiente.

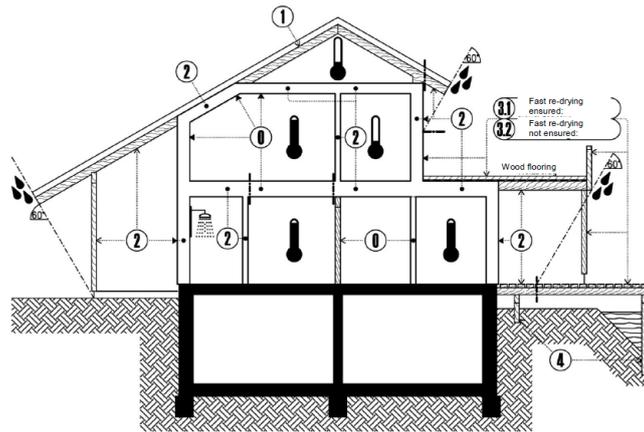
Quindi si comprende subito che dei carichi di umidità, il progettista deve tener conto sia in fase di cantiere che durante la vita di esercizio del fabbricato, applicando laddove opportuno tutte le strategie necessarie a mantenere la struttura con un tasso di umidità inferiore al 20%, limite per cui si possono appunto innescare fenomeni di degrado da parte di organismi fungini.

Al fine di raggiungere questo obiettivo rimane indispensabile capire come si muove l'acqua e il vapor d'acqua all'interno dell'edificio. Utile per una schematizzazione e prendendo spunto dalle norme UNI EN 335 (serie) in termini di classi di utilizzo, si possono presumere le seguenti classi (individuate in tabella 3.1 con la sigla "CU") atte a far comprendere il rischio di attacco biologico in funzione della configurazione di posa, con particolare riferimento alle relative correlazioni con il rischio di degrado biologico a carico di insetti e funghi.

| CU | 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 | No |
| | 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 | No |
| 4 | Umidità del legno sopra il 20% | Legno a contatto con acqua e/o con il terreno | Sì | Sì | Sì |

Tabella 3.1 – Classi, posa e rischio di attacco biologico

In funzione delle classi sopra menzionate e ad una implementazione pratica all'interno di un dato edificio in legno si riporta di seguito possibili situazioni che possono verificarsi:



| | |
|----------|--|
| Legenda: | |
| (0) | “Classi di utilizzo” |
| ← | Pacchetto esterno al fabbricato |
| • | Pacchetto interno al fabbricato |
| ← | Pacchetto esterno / interno |
| — | Confine tra due diverse classi di utilizzo |
| ▨ | Pacchetto aperto |
| □ | Pacchetto chiuso |
| ☀ | Ambiente riscaldato |
| ☁ | Ambiente non riscaldato |
| 💧 | Ambiente umido |

Figura 3.4 – Possibili classi di utilizzo all'interno di un dato edificio in legno

3.2.2 Meccanismi di trasporto dell'umidità all'interno dell'edificio

La migrazione di umidità all'interno dell'edificio solitamente avviene attraverso quattro meccanismi di seguito descritti brevemente:

- **Acqua liquida:** è il movimento dell'acqua sotto l'azione di forze quali ad esempio la gravità o la differenza di pressione tra ambienti diversi;
- **Capillarità:** è il movimento dell'acqua liquida all'interno di materiali porosi, risultante da quelle che vengono comunemente chiamate "tensioni superficiali";
- **Convezione:** si riferisce al movimento del vapor d'acqua risultante movimenti d'aria non nello spazio ma anche all'interno dei medesimi materiali da costruzione;
- **Diffusione:** è il movimento del vapor d'acqua risultante una differenza di pressione tra ambienti confinanti.

In ambito costruttivo, sicuramente tra i quattro movimenti d'acqua descritti sopra, quelli di maggior impatto sono:

- Acqua liquida
- Capillarità

Infatti sia i processi di infiltrazione di acqua piovana (e quindi riconducibili ad acqua liquida) e i processi di infiltrazione dal sottosuolo (assimilabili ai fenomeni di capillarità) devono essere oggetto di attenzione sia in fase di progettazione (sia questa in primis architettonica che strutturale) che nelle successive fasi di costruzione dove sia il Costruttore (inteso come il soggetto responsabile dell'intera opera) che il Direttore Lavori devono far sì che il fabbricato possa essere garante della vita nominale dell'opera stessa.

Sembra altrettanto opportuno sottolineare che non devono essere comunque trascurati il carico di umidità derivanti "il movimento d'aria" e "diffusione" in quanto gli stessi possono essere allo stesso modo (e in assenza di particolari dettagli costruttivi) le prime cause derivanti possibili marcescenze della struttura.

3.2.3 “Moisture design” per gli edifici in legno

Per “moisture design” all’interno del presente paragrafo si devono intendere tutte quelle azioni di carattere progettuale dedicate a mitigare il rischio di degrado biologico derivanti appunto un innalzamento dell’umidità degli elementi portanti in legno.

Recenti studi di settore sono concordi nell’affermare che la prima causa di mancanza di durabilità di una struttura lignea sia deputata ad infiltrazioni d’acqua (principalmente dovuta a fenomeni atmosferici) all’interno del pacchetto costruttivo.

3.2.4 Controllo dell’acqua piovana

Generalmente possono essere identificate due strategie per il controllo dell’acqua piovana a difesa dell’opera in legno (complementari tra loro):

- Minimizzare la quantità d’acqua piovana a contatto con la superficie dell’edificio;
- Gestire l’acqua che si viene a depositarsi sulla superficie e/o all’interno dei pacchetti costruttivi

In particolar modo è altrettanto chiaro che la penetrazione di acqua piovana avviene quando concorrono simultaneamente le seguenti condizioni.

- a) Nel pacchetto costruttivo, sia questo una struttura opaca orizzontale, verticale o inclinata è presente un’apertura o un foro;
- b) L’acqua sia materialmente presente nei pressi dell’apertura;
- c) Vi sia un vettore (forza) che porta l’acqua dall’esterno all’interno della stratigrafia.

In relazione ai possibili vettori, questi possono essere così riassunti:

- Forza di gravità;
- Tensione superficiale;
- Capillarità;
- Energia Cinetica;
- Differenza di pressione del vapor d’acqua.

All’interno della figura 3.5 vengono schematizzati i vettori di cui sopra, per una maggiore comprensione del testo.

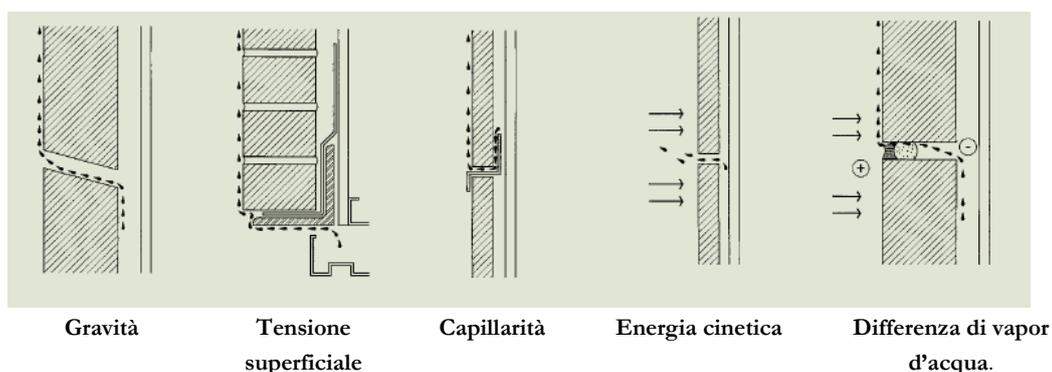


Fig. 3.5 – I quattro principali vettori causa di penetrazione d'acqua.

(Fonte: Designing for Durability – American Wood Council)

Ai fini del controllo della penetrazione d'acqua, il progettista incaricato ha quindi il compito di eliminare una delle condizioni riassunte nei punti a); b); c). Quindi in altre parole deve prendere gli adeguati provvedimenti architettonici (principalmente, ma non solo) al fine di:

- Ridurre il numero e la dimensione di aperture presenti sull'edificio, nonché provvedere ad una corretta impermeabilizzazione delle opere;
- Tenere l'acqua lontana da tali aperture;
- Contenere o eliminare i quattro vettori di cui sopra al fine di minimizzare l'ingresso di acqua piovana.

3.2.5 I principi di difesa dall'umidità: la regola delle "4D"

I criteri di difesa per un edificio dal "carico di umidità" sono inoltre articolati all'interno dei principi di progettazione, definiti dai paesi anglosassoni come le regole delle "4Ds" (deflection, in senso letterale "deviazione"; drainage, "drenaggio"; drying "possibilità di asciugare"; durable materials "materiali durabili").

Tali principi sono inoltre riassunti all'interno della figura riportata di seguito (Fig. 3.6).

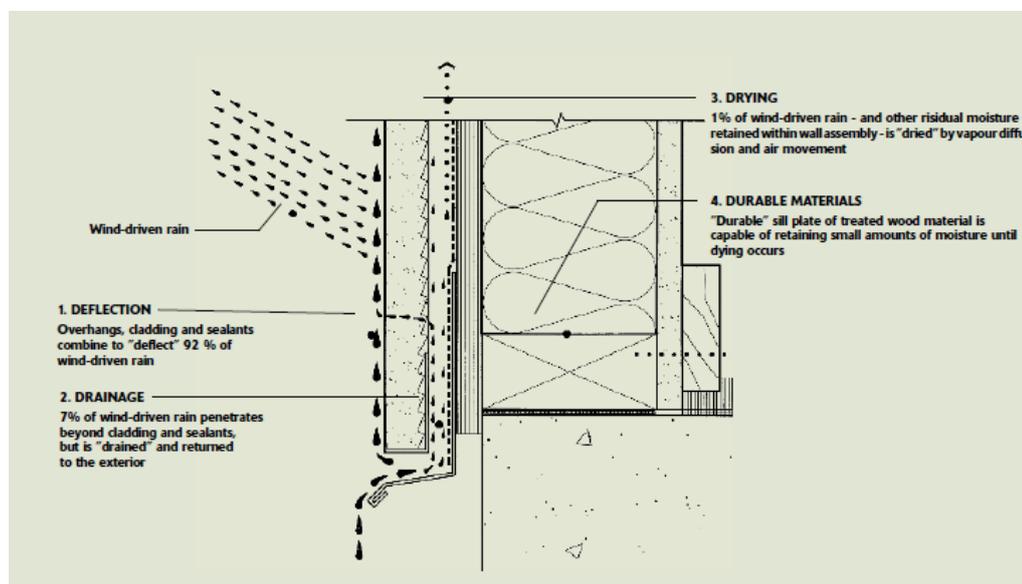


Fig. 3.6 – I quattro principi “4Ds” per la difesa dell’edificio (*Deflection; Drainage; Drying; Durable materials*)
(Fonte: Designing for Durability – American Wood Council)

In riferimento al controllo dell’acqua piovana, con il termine “deviazione” (*Deflection*) devono intendersi tutti quei provvedimenti progettuali e costruttivi che tendono a minimizzare l’impatto dell’acqua liquida sull’involucro dell’edificio. Tale principio di natura prettamente architettonica è il primo elemento di difesa e probabilmente il più importante. Si riepilogano quindi gli altri fattori in funzione legati principalmente alla gestione dell’acqua una volta che questa è penetrata all’interno dell’involucro:

- “Drainage” / “drenaggio”
- “Drying” / “Asciugatura”
- “Durable materials” / “Materiali durabili”

Tali principi hanno una doppia valenza:

- sia per quanto riguarda gli aspetti macroscopici dell’edificio (quali ad esempio: la forma del fabbricato, le pendenze della copertura...)

- che gli aspetti di dettaglio (quali ad es. provvedimenti per l'impermeabilizzazione, per la ventilazione e la definizione di tutti quegli accorgimenti costruttivi) deputati a risolvere possibili situazioni di criticità che possono essere oggetto di innesco per un futuro degrado biologico dell'ossatura dell'opera.

In analogia quindi a quanto si prevede per le norme legate al dimensionamento degli elementi portanti, è sempre opportuno avere una "ridondanza" dei fattori di "difesa" nei confronti dell'umidità al fine di ottenere una corretta progettazione tecnologica dell'edificio.

Di seguito verranno analizzati singolarmente ogni "D" di difesa, in modo da fornire esempi di senso pratico.

3.2.6 "Deflection"

La Deviazione ("Deflection") è il primo, e probabilmente il più importante principio a livello architettonico per cercare di contenere e minimizzare il carico di umidità dell'opera di ingegneria.

In presenza di venti dominanti è infatti importante prevedere protezioni della facciate, ad es. con sporti di gronda. A tal proposito non devono intendersi solo pensiline in appoggio alla parete, ma anche tutte quelle scossaline metalliche che poste in estradosso allontanano l'acqua dalla superficie del materiale e che vanno a proteggere le testate degli elementi oppure lavorazioni meccaniche atte ad evitare il contatto tra acqua piovana e testate degli elementi (vedi fig. 3.7 e 3.8 e 3.9). In figura 3.10 si riporta esempio di non corretta esecuzione dell'opera.

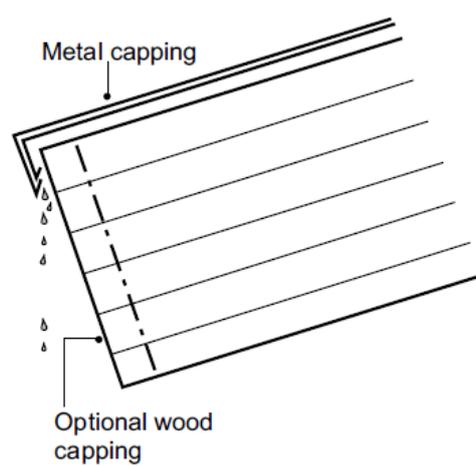


Fig. 3.7 – Scossalina metallica a protezione dell'elemento esposto. In estradosso è altresì compreso un gap d'aria per la ventilazione (fonte EXOVA BM TRADA)



Fig. 3.8 – scossaline metalliche per l'allontanamento dell'acqua piovana in estradosso (fonte: archivio storico Università di Trento)

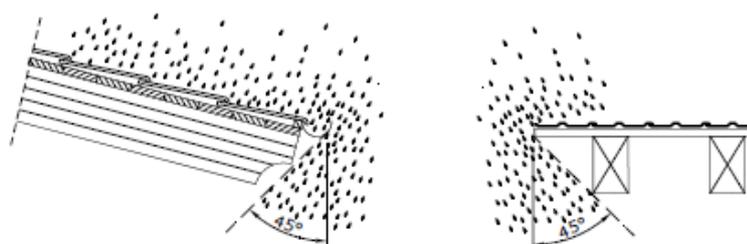


Fig. 3.9 – Il taglio dello spigolo inferiore del travicello non è solo motivo estetico ma serve per allontanarlo dalla pioggia di stravento



Fig. 3.10 – In questo caso la testa della trave è addirittura in parte esposta alle intemperie con conseguenti problemi a breve di marcescenze

3.2.7 “Drainage”

Il “Drenaggio” è il secondo principio e può essere considerato come elemento ridondante rispetto a quanto già visto nel precedente paragrafo (qualora appunto sia garantita una protezione sufficiente in considerazione del principio “*Deflection*”). La posa di una membrana, all’interno del vano di aerazione, può avere il compito di facilitare la fuoriuscita dell’acqua verso l’esterno (indicata nella figura 3.11 come “*second line of defence*”).

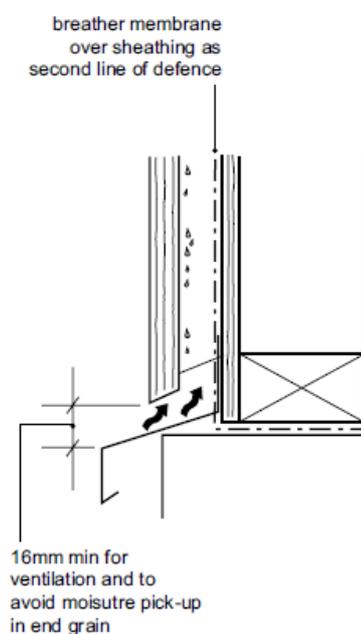


Fig. 3.11 – Drainage / “Drenaggio” – prevedere vani dove si possa convogliare l’acqua e facilitarne il deflusso per gravità può essere considerata una possibile soluzione complementare al principio “*Deflection*” (Fonte: EXOVA BM TRADA).

Nella figura 3.12 è invece riportato un attacco a terra non corretto: infatti sia a livello esterno che interno all'abitazione gli elementi in legno si trovano al di sotto del piano di calpestio, creando i presupposti per un attacco da parte di agenti di degrado, quali funghi.



Figura. 3.12 – Nella foto l'attacco a terra è posto al di sotto del piano di calpestio. Guaine impermeabilizzanti poste ad "U" in corrispondenza dell'attacco a terra sulla parete possono portare allo stesso modo a fenomeni di marcescenza.

Allo stesso modo si accenna solo che particolari nodi costruttivi devono essere accuratamente progettati e realizzati al fine di non rendere possibile eventuali infiltrazioni lungo la facciata. A titolo di esempio si possono riportare:

- Attacco dei serramenti;
- Attacco balconi

Per dovere di cronaca in relazione alla casistica del nodo “balcone”, in questo ambito ci limitiamo a sottolineare come sia necessario procedere ad una corretta concezione della stratigrafia, consentendo all’acqua piovana di poter defluire lungo le vie di scolo, senza creare punti preferenziali di accumulo. Allo stesso modo, deve essere predisposta una corretta posa delle guaine atte ad evitare il contatto tra la parte “a secco” e la parte “umida” dell’opera. Da evidenziare congiuntamente che membrane a tessitura spugnosa, possono fungere da “riserva di acqua” che può essere (in caso di perdita o di infiltrazione e se a diretto contatto con la struttura lignea) causa di marcescenze.

Nelle figura 3.13 si riporta esempio di non corretto approccio alle costruzioni in legno che ha generato (in un balcone a sbalzo della New town dell’Aquila) le condizioni per creare infiltrazioni d’acqua nel pacchetto costruttivo che ha portato ad un processo accelerato di degrado del pannello x-lam provocando il successivo crollo del balcone medesimo; in figura 3.14 – al contrario – si riporta possibile soluzione corretta per la concezione di un nodo balcone. Anche in questo caso, avvalersi di costruttori specializzati nelle opere in legno non significa solo avere a disposizione manodopera specializzata nella posa, bensì potersi avvalere di tecnici e professionisti che possono inquadrare l’opera in un processo multidisciplinare che tenda a prendere in considerazione sia le peculiarità ingegneristiche che tecnologiche.



Fig. 3.13 – New town L'Aquila: collasso della struttura per non corretta impermeabilizzazione del nodo balcone

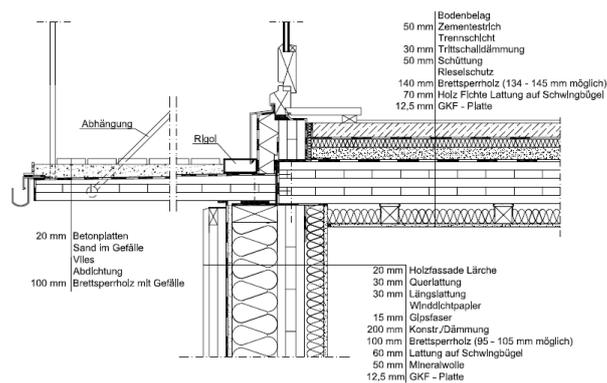


Fig. 3.14 – Possibile soluzione per quanto riguarda l'attacco del balcone; struttura non a sbalzo anche al fine di un maggior confort acustico (fonte: Holforschung Austria).

Sempre in relazione al principio di “Drenaggio”, soprattutto in relazione ad opere poste in classe di servizio tre secondo EC 5, sono da evitare superfici di contatto tra materiali diversi: ad es. legno – acciaio. Questo infatti può portare alla formazione di condensa con successivo avvio di un processo di degrado evidenziato in figura 3.15 dalle striature nerastre poste sull'elemento ligneo.

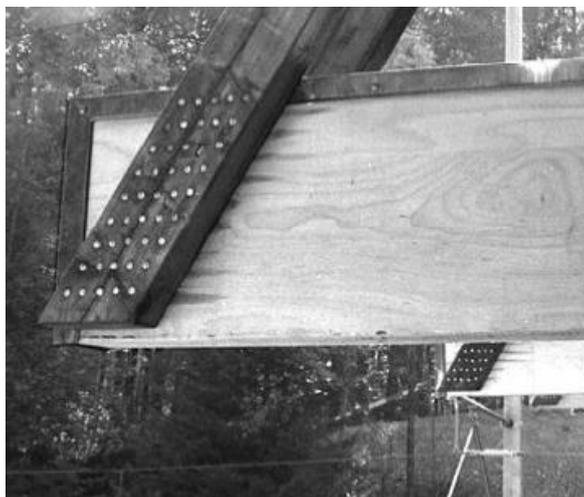


Fig. 3.15 – Drainage / “Drenaggio” – nel presente caso la soluzione a livello di particolare costruttivo è estremamente semplice: montante di balaustra distanziato dalla trave principale, evitando contestualmente superfici di contatto (fonte: archivio storico Università di Trento)

3.2.8 “Drying”

Il processo di *Drying* può avvenire attraverso movimenti d’aria che tendono ad allontanare dalla struttura lignea vapor d’acqua, evitando quindi punti di condensa che possono portare a puntuali innalzamenti di umidità. In questo caso ha notevole importanza la scelta dei materiali che vanno a costituire la parete soprattutto in relazione alla membrana utilizzata, agli elementi di rivestimento e al relativo isolante del pacchetto costruttivo. In figura 3.16 un esempio di quelle che possono essere le dinamiche del controllo del vapor d’acqua e relativo rischio di condensa interstiziale.

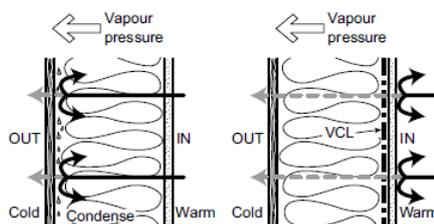


Figura 3.16 – scegliere gli opportuni materiali con particolare riferimento all’Sd (grandezza che esprime la resistenza al passaggio del vapore) garantisce un corretto controllo del vapor d’acqua all’interno del pacchetto (Fonte: Designing for Durability – American Wood Council)



Figura. 3.17 – pacchetto telaio e materiali non traspiranti: degrado da parte di funghi.

(Fonte: CNR-IVALSA)

In figura 3.17 – a titolo di esempio – viene riportato una configurazione del pacchetto costruttivo non corretta che ha creato le condizioni per la formazione di condensa interstiziale e mancata traspirazione da parte dell'involucro con conseguente innesco di attacco biologico a carico di micelio fungino.

3.2.9 “Durable materials”

Qualora l'umidità del materiale non possa essere tenuta sotto controllo attraverso l'applicazione dei primi tre principi e in assenza di trattamento preservanti di tipo superficiale o profondo, è necessario un approfondimento circa le caratteristiche di durabilità del materiale (si veda a tal proposito quanto esposto all'interno dell'appendice dedicato alla Durabilità).

Gli esempi che seguono sono la dimostrazione che in particolari contesti, la scelta di determinate specie, può supplire alla mancanza di dettagli costruttivi atti a preservarne la funzionalità.



Fig. 3.18 (a÷b) –Lamellare di Iroko (Olanda)con giunti a tutta sezione; Nessuna delaminazione (classe di servizio 3) - Struttura esposta (15 anni)

Si tende quindi a sottolineare, a termine del presente paragrafo, che la concezione corretta di un'opera in legno è intrinsecamente multidisciplinare e che solo costruttori e professionisti con un bagaglio tecnico specializzato possono essere garanti della qualità del costruito.

4. In cantiere: buone pratiche

4.1 FINALITÀ DEL PRESENTE CAPITOLO

Scopo del presente paragrafo è quello di fornire un utile supporto al fine di limitare la probabilità di incorrere in quelli che sono gli errori più frequenti nel settore delle costruzioni in legno, implementando le casistiche di seguito riportate con buone prassi tenute in cantiere.

E' altrettanto vero che la maggioranza degli errori che si compiono all'interno del panorama edile generale, indipendentemente dalla tipologia costruttiva utilizzata (ad es. acciaio, muratura, cemento armato), si possono evitare se si conoscono meglio le peculiarità tecnologiche e ingegneristiche del materiale.

La pubblicazione "*Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber*" schematizza così gli errori che possono intervenire nel processo di edificazione secondo il seguente ordine:

- *Errori dovuti all'ignoranza*: tutti i soggetti della filiera devono avere adeguata preparazione. Questo vale sia a livello di progettazione, produzione, cantiere, direzione lavori e collaudo. Al fine di evitare tale tipologia di errori, è fondamentale implementare la formazione, a tutti i livelli, per tutti gli attori della filiera.
- *Errori dovuti a scarsa attenzione e negligenza*: è importante che durante tutto il processo di edificazione vi siano soggetti deputati al controllo, quale ad es. la Direzione Lavori, che possa prendere visione delle operazioni che vengono svolte e verificare il grado di rispondenza delle opere al progetto.
- *Errori "intenzionali"*: in tal caso si tratta di errori in senso lato in quanto gli stessi sono attuati in modo consapevole con il fine di avere una maggiore redditività dalle opere cantierizzate.

E' da evidenziare che le tipologie di errori sopra menzionati, non possono e non devono essere risolti da un incremento dei fattori di sicurezza, come a volte prospettato

all'interno della normativa nazionale. Non è infatti sovradimensionando gli elementi strutturali che si può garantire una corretta progettazione dell'opera (ad es. una struttura concepita con una scarsa cura verso la durabilità dell'opera rimarrà tale nonostante un sovradimensionamento delle sue parti strutturali).

E' altrettanto vero che non è possibile evitare completamente l'errore umano, ma allo stesso tempo è possibile incidere sulla sua frequenza agendo sulla formazione, sui controlli in accettazione in cantiere, sulla supervisione durante il montaggio e sul monitoraggio durante la vita della costruzione.

In tutto questo, è di primaria importanza che la formazione tenda a sensibilizzare i professionisti non solo sui temi legati all'ingegneria del legno, ma anche a quelli inerenti l'organizzazione del processo di edificazione dell'opera in tutte le sue fasi senza escludere ovviamente gli aspetti legati alla cantieristica e a quanto definito nei testi di tecnologia del legno.

All'interno del paragrafo 4.2 vengono quindi riportati una serie di casistiche allo scopo di semplificare l'argomento e fornire al lettore una prima serie di dati elaborati in contesti internazionali.

4.2 QUANDO SI MANIFESTANO GLI ERRORI

Una ricerca eseguita dall'Università Lund (Eva Frühwald, Erik Serrano, Tomi Toratti, Arne Emilsson, Sven Thelandersson – 2007) ha inquadrato le cause che hanno poi portato a collassi totali o parziali delle opere, su un campione di 127 casi.

| Cause di collasso dell'opera | Percentuale (%) |
|--|-----------------|
| Carichi permanenti di progetto | 41,5 % |
| Errate modalità di montaggio | 14,1 % |
| Alterazioni delle condizioni di cantiere | 12,5 % |
| Carichi accidentali di progetto | 11,4 % |
| Errori di produzione in fabbrica | 5,4 % |
| Sovraccarico | 4,4 % |
| Errate modalità di fabbricazione | 4,2 % |
| Prestazioni del materiale in legno | 1,5 % |
| Altri errori | 5,0 % |

Tab.4.1 – distribuzione degli errori causa di insuccesso – 2007 Università di Lund

Riprendendo allo stesso modo, l'analisi condotta dall'Ateneo sopramenzionato è interessante vedere l'età della costruzione e il verificarsi del collasso (sia questo totale o parziale) dell'opera.

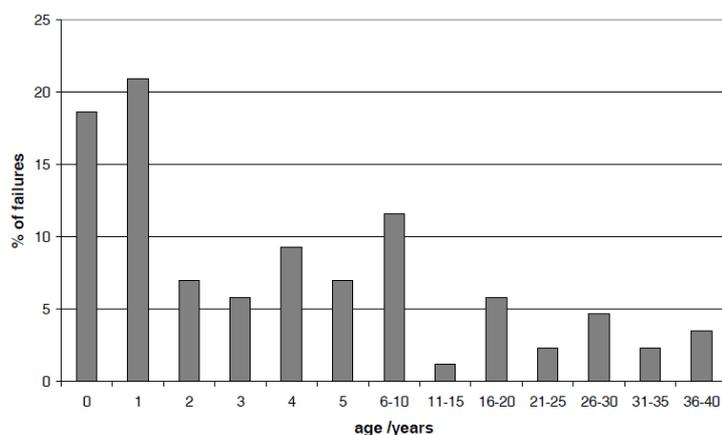


Fig. 4.1 – Correlazione tra “fenomeno di errore” e età dell’opera

In altre parole e in relazione alla fig. 4.1 le percentuali si distribuiscono secondo il seguente modo in funzione del verificarsi dell’errore:

- Durante la costruzione 18.6%
- Durante i primi tre anni della costruzione 33.7%
- Dopo i primi tre anni della costruzione 47.7%

4.2.1 IMPIANTISTICA: ESEMPI E INDICAZIONI PER UNA CORRETTA CONCEZIONE E POSA

All’interno del presente paragrafo verranno fornite, tramite l’ausilio di immagini, alcune indicazioni di massima circa le correlazioni che possono sussistere tra struttura e impianti con particolare riferimento a quanto attualmente richiesto dalle regole tecniche e dalle norme applicabili.

In relazione ai concetti di resistenza al fuoco si accenna solo che, laddove la normativa nazionale lo richiede, è di primaria importanza una progettazione di dettaglio dei passaggi impiantistici al fine di non rendere vano il dimensionamento dei pacchetti costruttivi e la relativa compartimentazione dei locali (in figura 4.2 è riportato un corretto modus operandi per arrivare a garantire la resistenza al fuoco prevista).



Fig. 4.2 - I concetti di resistenza, isolamento e tenuta (REI) sono vani, qualora non vengano applicate regole di dettaglio per la progettazione dei passaggi impiantistici

Seguendo la trattazione in merito alla distribuzione degli impianti si riportano esempi nelle figure 4.3 e 4.4.



Fig. 4.3 - Cattiva distribuzione degli impianti (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l)



Fig. 4.4 - corretta distribuzione degli impianti (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l)

Inoltre tra un locale e l'altro è opportuno prevedere il passaggio dei tubi sotto le porte e non attraverso la fresata di parete (vedi fig. 4.5); in figura 4.6 è riportato invece un esempio di carattere negativo, dove – al fine di permettere il passaggio degli impianti –

l'impresa ha proceduto a demolire parte del cordolo in c.a. con conseguente mancanza di appoggio per il corrispettivo hold-down.



Fig. 4.5 – Passaggio sotto porta impianti (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l.)



Fig. 4.6 – Comportamento errato e mancato schema impiantistico - Passaggio impianti con scasso del cordolo e assenza di appoggio per hold-down

Gli impianti inoltre influiscono sicuramente sul comfort acustico dell'abitazione. In tal caso, per ridurre i ponti acustici è preferibile installare le scatole elettriche in modo sfalsato (in planimetria) come mostrato in figura 4.7

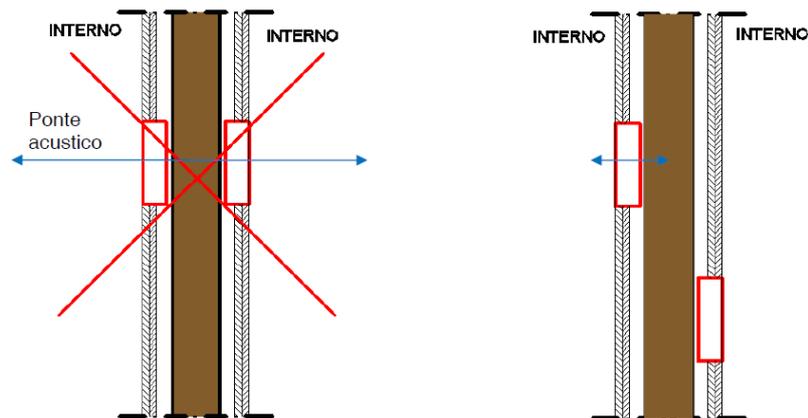


Fig. 4.7 – posizione corretta delle scatole elettriche (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l)

Per quanto riguarda i corrugati, non si deve mai procedere agli attraversamenti dei profili metallici con rischi di lacerazione e otturazione dello stesso corrugato (come da figure 4.8 e 4.9).



Fig. 4.8 – passaggio non corretto (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l.)



Fig. 4.9 – passaggio corretto (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l.)

In riferimento al punto luce del soffitto deve essere previsto il passaggio in aderenza al pannello Xlam; rimane non preferibile forare il pannello dall'alto per raggiungere da sopra il punto luce (vedi fig. 4.10 e 4.11).

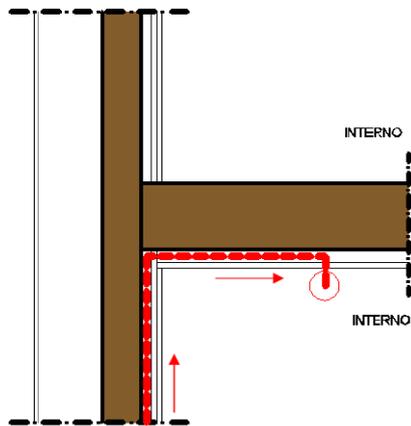


Fig. 4.10 – Passaggio corretto punto luce (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l.)



Fig. 4.11 – Passaggio corretto punto luce (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l.)

Per garantire la tenuta all'aria di tutto l'involucro i corrugati non sono legati a fascio e fatti passare in un unico foro quadrato, ma gli stessi fori sono distribuiti linearmente, lasciando lo spazio di lavorazione necessario tra i canali al fine di poter posare il nastro di tenuta all'aria (vedi fig. 4.12 e 4.13).



Fig. 4.12 – predisposizione impianto elettrico (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l.)

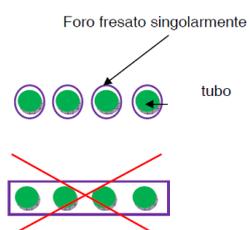


Fig. 4.13 – schema fori impianti elettrico (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l.)

Inoltre si deve procedere a nastrare i corrugati in uscita verso l'esterno e tra unità abitative differenti (vedi fig. 4.14).



Fig. 4.14 – Corretta nastratura dei corrugati (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l.)

In seguito alla stesura dei cavi elettrici, tutti i corrugati comunicanti con l'esterno (ad es. uscita cavo allarme, citofono, antenna, punti luce, automatismi, ecc.) dovranno essere resi ermetici attraverso l'uso di tappi idonei o tramite l'utilizzo di silicone (vedi fig. 4.15).



Fig. 4.15 – Cavo elettrico esterno e sigillatura (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l)

In relazione alle scatole porta frutto devono essere utilizzate speciali scatole che superino la prova del filo incandescente secondo quanto definito dalla norma IEC 60695 (serie).

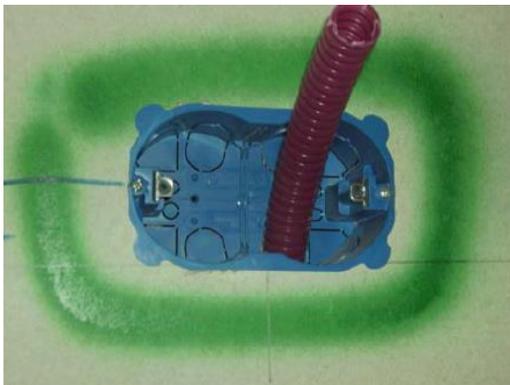


Fig 4.16 – portafrutto a norma per le strutture in legno (fonte: archivio RASOM Wood Technology)



Fig. 4.17 – scatole per strutture in muratura (fonte: archivio RASOM Wood Technology)

Per quanto concerne l'impianto idrico, allo stesso modo si cerca di sintetizzare considerazioni al fine di suggerire gli adeguati comportamenti in sede di cantiere.

E' consigliabile quindi, evitando congiuntamente qualsiasi tipo di accavallamento di tubi, far uso di cassetta di distribuzione dedicata ad ogni bagno senza l'utilizzo di giunti a "T" (come indicato all'interno delle fig. 4.18 e 4.19).

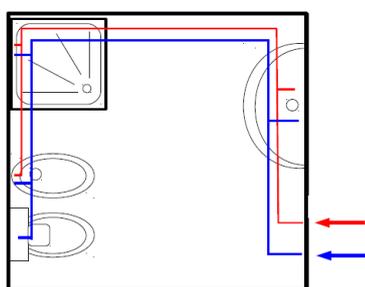


Fig. 4.18 - distribuzione impianto idraulico tradizionale (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l.)

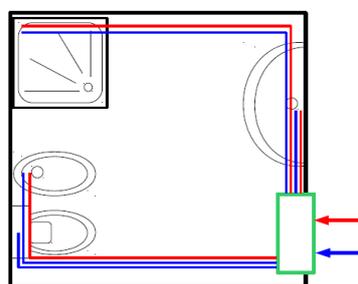


Fig. 4.19 - Distribuzione impianto idraulico senza accavallamenti e con cassetta di distribuzione (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l.)

Inoltre il fissaggio del tubo alla struttura dovrà essere eseguito tramite l'interposizione di guaina protettiva, per evitare che eventuali condense sulle parti metalliche esposte possano danneggiare la struttura.



Fig 4.20 – assenza di protezione per la struttura in legno
(fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l)



Fig 4.21 –protezione dalle condense tramite interposizione della guaina (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l)

L'ancoraggio al solaio dovrà essere elastico ed evitare ogni possibile ponte acustico. Si consiglia quindi di prevedere l'uso di materiale fono isolante interposto tra la fascetta metallica e il tubo e tra tubo e solaio (vedi fig. 4.22).



Fig 4.22 –corretto fissaggio della tubazione al solaio (fonte: archivio RASOM Wood Technology)

4.2.2 CAMINI

Nel settore della realizzazione di camini/ canne fumarie ci si imbatte in una moltitudine di norme tecniche, leggi e decreti, i quali ci descrivono come deve essere realizzato un corretto sistema di evacuazione dei prodotti della combustione; Il presente manuale è pensato per facilitare le procedure di installazione, posa, manutenzione e controllo delle canne fumarie, rimandando ad altri testi di approfondimento ulteriori nozioni dedicate al tema dei camini.

Tali tipologie di incendi sono legati al combustibile solido e alle alte temperature (come da fig. 4.23a; 4.23b; 4.23c)

E' innanzitutto vero che le canne fumarie sono generalmente la principale causa di incendio per le coperture in legno. La causa in primis deriva da una non corretta installazione.

Riassumendo le cause che possono essere all'origine di incendi possono essere riassunte come segue:



Fuliggine (creosoto)
Mancanza di pulizia



Per contatto camino materiale combustibile

Inadeguatezza normativa tecnica
(Costruzione non a regola d'arte)



Incendio esterno al camino dovuto alle scintille che
si depositano su materiali portati dal vento o uccelli

Fig. 4.23a, 4.23b e 4.23c – posa dei camini e cause di incendio

Attualmente, i camini sono ancora intesi come “cavedi” formati da camicie sovrapposte in cls, nei quali viene inserito, alle volte, un tubo senza isolamento (come mostrato nelle figure seguenti – fig. 4.24).



Fig. 4.24 - Esempi di camini previsti per combustibili solidi non eseguiti correttamente: ignorata completamente la distanza di sicurezza dai materiali combustibili

La corretta esecuzione del camino è quindi fondamentale per costruire una casa sicura; piccoli accorgimenti possono fare la differenza, in particolar modo nelle costruzioni in legno. Nel caso in cui il camino sia passante attraverso i solai in legno e/o la copertura, al fine di salvaguardare la sicurezza da rischi o pericoli di incendio delle strutture lignee, è necessario scegliere soluzioni tecnologiche adeguate nonché l'impiego esclusivo di materiali marcati CE.

Inoltre per tutti i nuovi camini, quelli sottoposti a modifiche e per quelli da risanare, deve essere sempre predisposto un progetto:

- Progetto/dimensionamento del camino, definito e calcolato secondo quanto previsto dal DM.37/08, per le canne fumarie collettive ramificate e per tutti gli impianti a gas oltre i 50 kW, il progetto è redatto da un tecnico abilitato iscritto al collegio o albo professionale.
- Per tutti gli altri impianti il progetto può essere redatto in alternativa dal tecnico abilitato, direttamente dal responsabile tecnico della ditta installatrice, sempre secondo quanto previsto dal DM. 37/08.

Un camino può essere costruito con soluzioni differenti, adattandosi alla casistica del cantiere.

- **Sistema Camino:** camino installato utilizzando una combinazione di componenti compatibili (tubo interno, isolante, involucro esterno, camicia, ecc...), fabbricati o specificati da un solo fabbricante, marcati CE secondo la specifica norma tecnica applicabile, e la cui responsabilità circa le prestazioni del prodotto (in

particolare la distanza da materiale combustibile) riguardante l'intero sistema camino, ricade principalmente sotto il fabbricante medesimo.

- **Camino composito:** camino installato o costruito in sito utilizzando una combinazione di componenti compatibili quali, tubo interno (parete direttamente a contatto con i fumi), eventuale isolamento e involucro (camicia) esterno che possono essere forniti da produttori diversi o dallo stesso produttore. La responsabilità dell'individuazione della prestazione di prodotto dell'insieme degli elementi (in particolare la distanza dai materiali combustibili) ricade principalmente sotto la responsabilità del tecnico che ha eseguito il calcolo secondo le norme UNI EN 15287-1/2.

- **Intubamento (tipo di camino composito):** Operazione di inserimento, di uno specifico condotto, in un cavedio esistente (anche se di nuova fabbricazione) di materiali non combustibili, libero e per uso esclusivo. Il condotto per intubamento deve essere specificatamente dichiarato idoneo e marcato CE, e deve essere libero di dilatare. Per caldaie a condensazione al di sotto dei 35 kW a gas si devono usare tubi in acciaio inox o sintetici (PPS) solo se marcati CE, oltre i 35 kW a condensazione il condotto deve in ogni caso essere incombustibile. Il calcolo deve essere eseguito secondo le norme UNI EN 15287-1/2

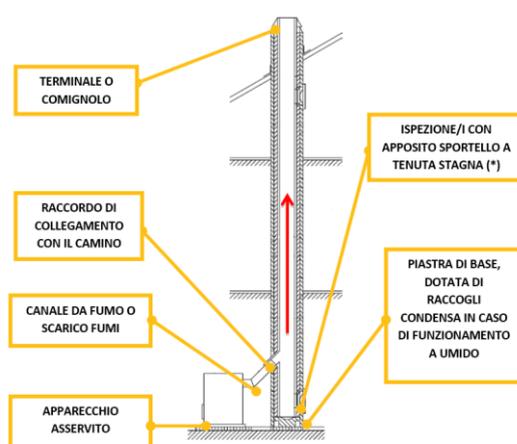


Fig. 4.25 - Schema composizione camino "Tratto dalla UNI EN 1443:2005"

Il canale da fumo è il tratto di tubazione che collega l'apparecchio al camino. In assenza di

indicazione fornite dal fabbricante o del calcolo preliminare secondo UNI EN 13384-1 occorre tener presente le seguenti indicazioni di base:

- devono essere coibentati, se esterni o passanti in locali da non riscaldare (secondo UNI 10683)
- devono consentire dilatazioni termiche di esercizio;
- non devono avere tratti in contropendenza (secondo UNI 10683);
- devono essere installati in modo da limitare la formazione di condensa ed evitarne la fuoriuscita in corrispondenza delle giunzioni
- devono essere posizionati ad una distanza dai materiali combustibili non minore a quella indicata nella designazione di prodotto
- non devono essere costituiti da tubi metallici flessibili (secondo UNI 10683);
- devono essere ispezionabili e smontabili.

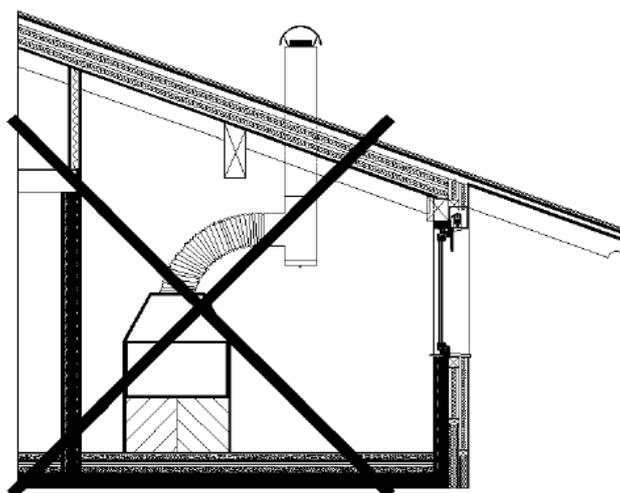


Fig. 4.26 - non utilizzare tubo flessibile di raccordo (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l)

4.2.2.1 DISTANZA DAI MATERIALI COMBUSTIBILI

Il camino deve rispettare una determinata distanza dai materiali combustibili (mobili, pavimenti in legno, passaggio tetto, ecc): essa può variare da zero a diversi centimetri (indicata da una lettera G – quale resistenza alla fuliggine – e seguita da due numeri che

indicano la distanza in mm da rispettare in presenza di materiali combustibili). Nel caso di un Sistema Camino la distanza tra camino e materiale combustibile è indicata sul certificato dato dal produttore del camino stesso (si veda la “designazione” trattata di seguito). Nell’eventualità si installasse un Camino Composito (è il caso di materiale non certificato a Sistema o intubamento di una canna esistente) la distanza dal materiale combustibile deve essere calcolata secondo le UNI EN 15287-1/2.

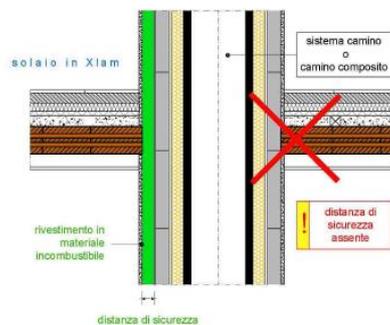


Fig. 4.27 - esempio di attraversamento solai con distanza di sicurezza assente

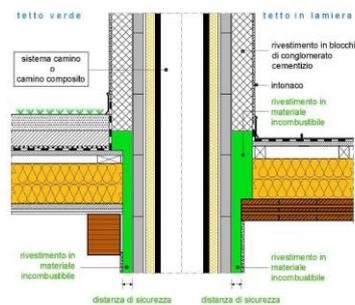


Fig. 4.28 - Esempio corretto di attraversamento copertura

Il camino deve essere posto in modo centrato all’interno della camicia; non è ammissibile che il tubo sia spostato su un lato. Tale prescrizione vale anche per gli impianti a combustibile gassoso e liquido (come da fig. 4.29).



Fig. 4.29 – Passaggio camino in struttura a pannelli portanti (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l)

Nella figura seguente (fig. 4.30) si noti come la protezione del legno avvenga attraverso il posizionamento di due lastre in fibrogesso (Euroclasse di resistenza al fuoco A1): nella presente casistica inoltre il tubo viene fissato con appositi agganci per poter mantenere la posizione centrale rispetto al foro e quindi anche le opportune distanze dai materiali combustibili che lo circondano.



Fig. 4.30 – passaggio camino in struttura a pannelli portanti (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l)

Inoltre verso le due pareti in legno si preveda sempre una protezione al calore, attraverso la posa di pannelli in fibrogesso.

Da segnalare, infine, che in occasione di canna fumaria verso l'esterno e per tutta la lunghezza del camino, si debba prevedere la presenza di un isolante non combustibile (ad es. lana di roccia) con Euroclasse di resistenza al fuoco A1 (vedi fig. 4.31).



Fig. 4.31 – posa di materiale isolante incombustibile in prossimità del passaggio del camino (vedi freccia nera) in sostituzione alla fibra di legno (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l)

4.2.2.2 SISTEMI INTUBATI

In questa sezione del testo, riporteremo brevemente alcune note di carattere generale, rimandando alla lettura di testi dedicati un approfondimento dedicato al tema.

Innanzitutto si riporta nella figura seguente le indicazioni da tenere tra i condotti e il cavedio.

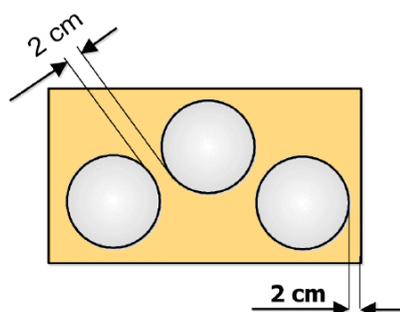


Fig. 4.32 – La distanza minima tra due o più condotti e tra i condotti e il cavedio è di almeno 2 cm. (In presenza di condotti in materiale non classificato secondo UNI EN 13501-1 è vietato l'intubamento multiplo.)

Spesso il condotto del camino può essere sfruttato per portare in copertura altri tipi di tubazioni come per esempio gli sfiati di cucine o bagni. In tal caso si preveda vano dedicato e separato dal condotto del camino. Tale prescrizione vale anche per gli impianti a combustibile gassoso e liquido.

Non è naturalmente concesso il passaggio tubi nel condotto del camino.



Fig. 4.34 – passaggio tubi (vedi freccia nera) nel passaggio camino; non permesso (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l)

4.2.2.3 IL COMIGNOLO E QUOTA DI SBOCCO

Il comignolo di un camino deve permettere la corretta evacuazione dei prodotti della combustione offrendo protezione da pioggia e neve, mantenendo un corretto tiraggio in presenza di vento proveniente da qualsiasi direzione.

Secondo la normativa vigente, non sono ammessi i comignoli con ausili meccanici di aspirazione, ad esempio comignoli eolici (pale girevoli come da Fig. 4.35).



Fig. 4.35 – Parte terminale camino con pale girevoli

Secondo la normativa UNI 10683 lo scarico dei prodotti da combustione deve avvenire a tetto e vieta per tutti gli impianti a combustione solida (ad es. legna o pellet) lo scarico a parete.

In riferimento all'argomento e a titolo esemplificativo vengono riportate varie possibilità costruttive della parte terminale del camino.



Fig. 4.36 (a; b; c): esempi di realizzazioni di comignoli

Requisiti circa le distanze di sicurezza indicate nella UNI 7129-3. All'interno della presente norma si riportano le quote di sbocco di seguito riassunte in figure esemplificative.



Fig. 4.37: Quote di sbocco sul tetto in pendenza

Tab. 3 (UNI EN 7129-3)

| SIMBOLO | DESCRIZIONE | AREA DI RISPETTO | | |
|---------|---|---|---|-----------------|
| | | Sistema fumario operante con pressione negativa | Sistema operante con pressione positiva | Cappe aspiranti |
| c | Distanza misurata dalla superficie del tetto (mm) | 1300 | 500 | 500 |
| a | Altezza sopra il colmo del tetto | 500 | 500 | 500 |

Inoltre:

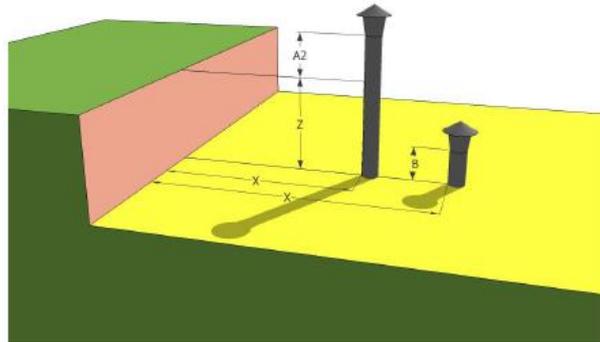


Fig. 4.38: Quote di sbocco in funzione della distanza del terminale dall'ostacolo privo di aperture

Tab. 4 (UNI EN 7129-3)

| Pressione negativa | | Pressione positiva | |
|--------------------|-----------------|--------------------|----------|
| Distanza (mm) | Quota di sbocco | Distanza (mm) | |
| $X \leq 2000$ | $Z + A2$ | $X \leq 1200$ | $Z + A2$ |
| $X > 2000$ | B | $X > 2000$ | B |

Nota: Con il simbolo Z si intende l'altezza in mm dell'ostacolo a vano tecnico; in merito alle quote A2 e B si rimanda alla tabella 5

Per quanto riguarda la presenza di un balcone, si riporta:

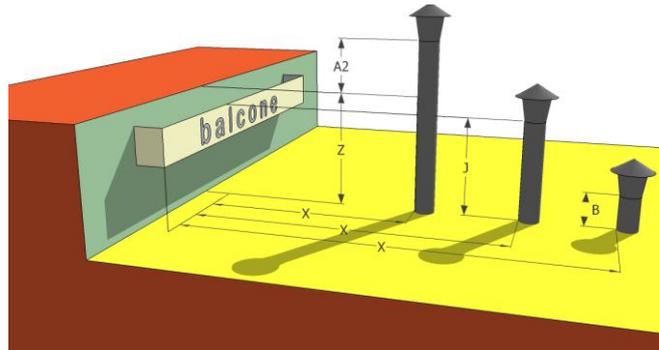


Fig. 4.39: Quote di sbocco di un tetto piano in presenza di ostacolo (balcone)

Tab. 5 (UNI EN 7129-3)

| Simbolo | Descrizione | Distanze da rispettare (mm) | | |
|---------|---|-----------------------------|--------------------|-----------------|
| | | Pressione negativa | Pressione positiva | Cappe Aspiranti |
| A2 | Altezza sopra la falda virtuale tesa tra i tetti di edifici o ostacoli o vani tecnici adiacenti in assenza di aperture/finestre | 500 | 500 | 500 |
| B(*) | Altezza sopra tetti piani o parapetti chiusi | 1000 | 500 | 500 |

(*) se il terrazzo o lastrico solare è calpestabile occorre rispettare le distanze relative al piano di calpestio

Qualora l'ostacolo presenti delle aperture le quote sono le seguenti:

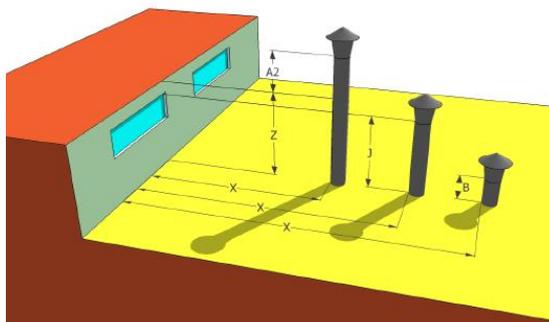


Fig. 4.40: Quote di sbocco di un tetto piano in presenza di aperture

Tab. 6 (UNI EN 7129-3)

| Pressione negativa | | Pressione positiva | |
|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| Distanza (mm) | Quota di sbocco | Distanza (mm) | Quota di sbocco |
| $X \leq 3000$ | $Z+A2$ | $X \leq 2500$ | $Z+A2$ |
| $3000 < X \leq 5000$ | J | $3000 < X \leq 4000$ | J |
| $X > 5000$ | B | $X > 4000$ | B |

Nota: In caso di presenza di balcone a terrazza (invece che di semplice finestra) la quota X deve essere computata a partire dalla balaustra (chiusa o aperta che sia) e non dalla parete dell'edificio; con il simbolo Z si intende l'altezza in mm dell'ostacolo o vano tecnico

In presenza di lucernari si prendano come riferimento le seguenti quote:

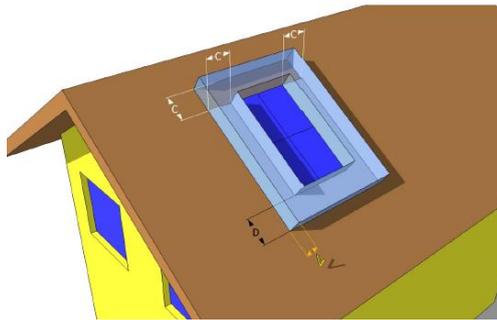


Fig. 4.41: Quote di sbocco dei camini in presenza di lucernario

Tab. 7 (UNI EN 7129-3)

| Simbolo | Descrizione | Area di rispetto | | | |
|------------|-------------|---|--|-----------------|------|
| | | Sistema fumario con pressione negativa | Sistema fumario con pressione positiva | Cappe aspiranti | |
| Lucernario | C | Distanza dal filo superiore o laterale di aperture o finestre | 1000 | 600 | 600 |
| | D | Distanza dal filo inferiore di aperture o finestre | 3000 | 2500 | 2500 |
| | V | Altezza sopra aperture o finestre | 1000 | 1000 | 1000 |

In caso di abbaino:

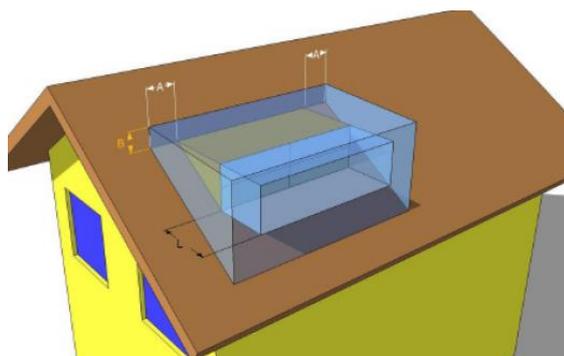


Fig. 4.42: Quote di sbocco in caso di abbaino

Tab. 8 (UNI EN 7129-3)

| Simbolo | Descrizione | Area di rispetto | | | |
|---------|-------------|---|--|-----------------|------|
| | | Sistema fumario con pressione negativa | Sistema fumario con pressione positiva | Cappe aspiranti | |
| Abbaino | A | Distanza laterale da abbaino | 1500 | 600 | 600 |
| | B | Altezza sopra il colmo della struttura dell'abbaino | 1000 | 600 | 600 |
| | L | Distanza frontale da abbaino | 3000 | 2500 | 2500 |

4.2.2.4 CONTATTO UMANO ACCIDENTALE

Laddove ci sia il rischio di contatto umano accidentale e per garantire la sicurezza di impiego del camino/canale da fumo, l'installatore deve verificare che la temperatura della parete esterna di contatto non superi i valori riportati nella seguente tabella della norma UNI TS 11278.

| Materiale della parete esterna | Massimi valori di temperatura (riferiti alla temperatura ambiente a 20°C) |
|---|---|
| Metallo nudo | 70 |
| Metallo verniciato | 80 |
| Metallo smaltato | 86 |
| Metallo ricoperto da materiale plastico | 90 |

Tab. 4.2 - Temperatura massima della parete esterna.

Nel caso in cui suddette temperature della parete esterna vengano superate, l'installatore dovrà proteggere opportunamente la superficie esterna di contatto rispettando le indicazioni eventualmente riportate nel libretto del fabbricante o mediante idonei schermi/strutture di protezione delle parti pericolose. Per evitare il superamento di tali temperature è opportuno e vivamente consigliato l'utilizzo di prodotto coibentato.

4.2.2.5 TENUTA ALL'ARIA E IMPERMEABILIZZAZIONI

Per gli edifici a basso consumo energetico, è fondamentale un involucro termico continuo con perfetta tenuta all'aria.

Ciò è possibile utilizzando camini con l'isolamento integrato, con l'ausilio di speciali elementi per il taglio termico da collocare in corrispondenza degli attraversamenti tetto o soletta, garantendo al contempo la tenuta all'aria desiderata e in ultimo facendo uso di sistemi di adduzione dell'aria comburente dall'esterno, senza dover effettuare fori nell'involucro isolante. Il comignolo dovrà essere ugualmente isolato in modo da garantire la continuità dello strato coibente dell'involucro.

La tenuta all'aria deve essere garantita lungo gli angoli del cartongesso ma anche e soprattutto nel passaggio attraverso il tetto.

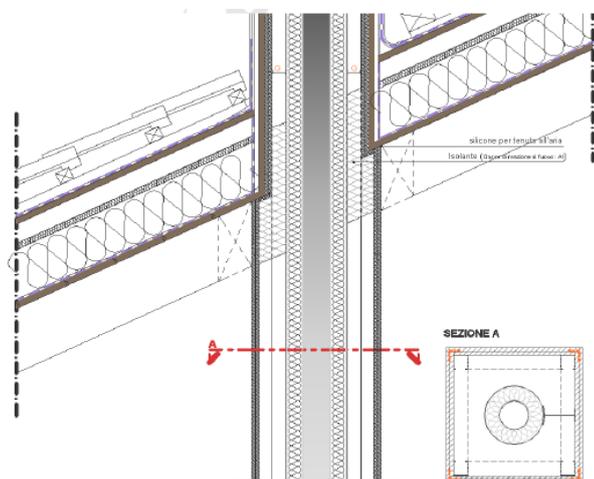


Fig. 4.43 – Tenuta all'aria in corrispondenza del camino (esempio)

Allo stesso modo è importante sigillare a regola d'arte le guaine e la lamiera sottotetto.



Fig. 4.44 – posa della guaina impermeabile (esempio)

Inoltre in senso generale è bene precisare che negli edifici ad alte prestazioni energetiche, la tenuta all'aria dell'involucro (assenza di fughe e spifferi), è importante tanto quanto l'isolamento termico. Permette di abbassare notevolmente i consumi estivi ed invernali, aumenta le prestazioni e i rendimenti degli impianti, migliora sensibilmente sia l'acustica sia il comfort di chi abita e vive l'edificio (nonché è garante delle prestazioni della stratigrafia in relazione alla condensa interstiziale). Inoltre, la tenuta all'aria dell'edificio è verificata e misurata in opera dai principali enti di certificazione italiani, tramite il test di tenuta a pressione (comunemente chiamato "Blower Door test"). Il risultato del test dipende dalla qualità della messa in opera di tutti gli elementi costruttivi, misurati contemporaneamente e simultaneamente. Durante la prova, salvo casi in cui dei difetti emergono in maniera evidente, non è possibile stabilire un'unica causa, o un'unica origine delle fughe d'aria. È quindi indispensabile che:

- Tutte le maestranze coinvolte nei lavori siano specializzate ed intervengano ognuna autonomamente e spontaneamente nel mantenere e nel ripristinare la tenuta all'aria dell' involucro edilizio;
- Chi esegue la struttura deve sigillare e nastrare tutte le giunzioni delle pareti opache;
- I serramentisti devono installare gli infissi in maniera corretta e con le idonee guarnizioni, sigillature o nastrature previste dal produttore, anche tra telaio e controtelaio;
- Tutti gli impiantisti (elettrico, idraulico, aeraulico), antennisti, fumisti, e tutti quelli che devono passare, attraversare, modificare l'involucro a tenuta dell'edificio sono tenuti a ripristinare perfettamente la tenuta all'aria che è stata interrotta da queste lavorazioni.

4.2.2.6 INSTALLAZIONI VIETATE

Di seguito si riporta un breve elenco delle installazioni vietate dalla normativa vigente:

- Lo scarico fumi a parete o senza camino (escluso quando espressamente autorizzato e regolamentato dalla legislazione vigente);

- Camini o tubi interni senza certificato CE o specifica Valutazione Tecnica Europea “ETA”;
- Cavedio e rivestimenti interni realizzati in materiali combustibili;
- Camini con pressione positiva nell’edificio, escluso l’intubamento in pressione e intercapedine ventilata per caldaie a gas domestiche fino 35 kW;
- Utilizzo di materiali diversi da quelli indicati nel progetto salvo modifiche in corso d’opera, in ogni caso sono ammessi materiali di pari prestazione in possesso di marcatura CE o Valutazione Tecnica Europea “ETA”;
- Danneggiamento dell’involucro esterno/cavedio;
- Utilizzo del cavedio o dell’involucro per altri usi, come il passaggio di cavi, tubi ecc.;
- Messa in funzione da parte della ditta installatrice senza il collaudo dello spazzacamino;
- Installazione dell’apparecchio, del generatore o del camino da parte di persone o ditte non in possesso dei requisiti richiesti dalla legislazione vigente (DM 37/08);
- Stufe e caldaie senza certificato CE o senza dimensionamento del fumista;

4.2.2.7 CONTROLLI FINALI DELL’INSTALLATORE DI IMPIANTI TERMOSANITARI E DEL FUMISTA

L’installatore di impianti termosantari e/o il fumista (autorizzati secondo quanto previsto dal DM 37/08) sono responsabili dell’installazione a regola d’arte dell’intero impianto, incluso il camino. Per eventuali parti di impianto preesistenti o laddove la posa sia stata eseguita da soggetti o ditte terze (p.es. muratore, fumista, installatore di impianti termosantari ecc.), l’installatore di impianti termosantari e/o il fumista dovranno integrare la propria dichiarazione di conformità con quelle rilasciate dalle stesse ditte installatrici, allegando la documentazione pervenuta previa valutazione del contenuto della medesima.

Prima che lo spazzacamino riceva la documentazione per il collaudo finale, l’installatore di impianti termosantari o il fumista devono controllare il proprio impianto.

Devono essere eseguite almeno le seguenti verifiche:

- Certificato di conformità della posa del camino (se questo è stato montato da altri soggetti, come per es. il muratore, un altro installatore di impianti

termosanitari o il fumista) ed i certificati CE o la Valutazione Tecnica Europea “ETA” di conformità dei materiali utilizzati

- Presenza e corretta compilazione della placca camino
- Attenta verifica della distanza da materiale combustibile come da designazione prodotto secondo norme di sistema (p.es. UNI EN 13063, UNI EN 1856 ecc...), oppure in assenza di essa verifica del calcolo redatto dall’installatore secondo UNI EN 15287
- Analisi di combustione prevista nello specifico (può essere considerata anche quella eseguita dalla ditta di manutenzione dell’apparecchio che ha eseguita una messa in funzione) e i valori dovranno essere confrontati con i dati tecnici dell’apparecchio e del camino
- Misurare il tiraggio camino alla potenza max. e min. (solo apparecchi in depressione)
- Controllare la tenuta dello scarico fumi ponendolo in pressione dall’apparecchio al comignolo, questo escluso (caldaie tipo C a tiraggio forzato)
- Installazione del canale da fumo/condotto di scarico secondo le disposizioni legislative e/o del produttore (p.es. per lunghezza, numero curve, pendenza ecc.)
- Sufficiente apporto d’aria comburente, per le caldaie a gas domestiche atmosferiche 6 cm²/Kw (min. 100 cm²) ed eventualmente misurare (per es. con il metodo 4 PA) o per centrali termiche secondo progetto
- Con stufe di combustibili solidi l’apertura di ventilazione viene indicata dal fabbricante dell’apparecchio o calcolata e prevista dal fumista secondo quanto previsto dalla UNI 10683
- Distanze e altezze del comignolo da ostacoli o dal tetto devono essere misurati per assicurarsi di essere fuori della zona di riflusso e di non inquinare abitazioni o locali con i gas di scarico, p.es. verifica visiva con fumogeni, in ogni caso le distanze dovranno rispettare quanto previsto dalle norme di installazione (p.es. UNI 7129, UNI 10683 ecc.)
- Per la prova di tenuta e la videoispezione del camino l’installatore di impianti termosanitari e il fumista si possono avvalere anche di quella eseguita dallo spazzacamino di competenza, senza l’obbligo di eseguirne una propria.

4.2.2.8 DOCUMENTAZIONE PER LO SPAZZACAMINO

Dopo l’installazione, ma prima della consegna dell’impianto al cliente si devono consegnare allo spazzacamino i seguenti documenti:

- Dichiarazione di conformità per la posa del camino redatto dalla ditta esecutrice (ai sensi del DM 37/08) con tutti gli allegati richiesti dalla legislazione vigente
- Certificato per i materiali utilizzati secondo quanto previsto dal Reg. UE n. 305/2011
- Qualora non si utilizzi prodotto certificato come sistema camino (es: UNI EN 13063, UNI EN 1856 ecc..) il calcolo della distanza da materiale combustibile secondo UNI EN 15287
- Scheda tecnica dell'apparecchio installato
- Analisi di combustione dell'apparecchio
- Tiraggio del camino alla potenza min. e max. (solo per camino in depressione)
- Prova di tenuta dello scarico fumi
- Scheda di controllo finale dell'installatore di impianti termosanitari o del fumista

4.2.2.9 COLLAUDO DELLO SPAZZACAMINO

Ogni camino deve essere collaudato dallo spazzacamino prima della messa in funzione dell'apparecchio, secondo il D.P.P. 13/11/2006 n. 62, art. 7. Solo il certificato di collaudo dello spazzacamino di competenza autorizza la ditta installatrice a consegnare l'impianto al proprio cliente e di metterlo in funzione definitivamente. La garanzia e la responsabilità, secondo il DM 37/08 rimane sempre della ditta che ha eseguito l'installazione dell'impianto/apparecchio.

Lo spazzacamino esegue i seguenti controlli:

- Tutta la documentazione da presentare per il collaudo dell'impianto
- Prova di tenuta del tubo interno del camino
- Videoispezione di tutto il percorso del camino
- Altezze e distanze minime del comignolo
- Posizioni, documenti e montaggio degli accessori obbligatori e utili
- Controllo di sicurezza di tutto l'impianto fumario

4.2.3 SIGILLATURA DEI SANITARI

Le zone bagno hanno bisogno di scrupolosa attenzione affinché non accadano sgradevoli inconvenienti con le infiltrazioni dell'acqua.

Di seguito, per immagini (riportate a titolo di esempio e in via non esaustiva circa le casistiche che possono essere adottate), vengono identificate le principali attività fronte la corretta realizzazione di tali locali considerati come "umidi".



Fig. 4.45 – Distribuzione impianto

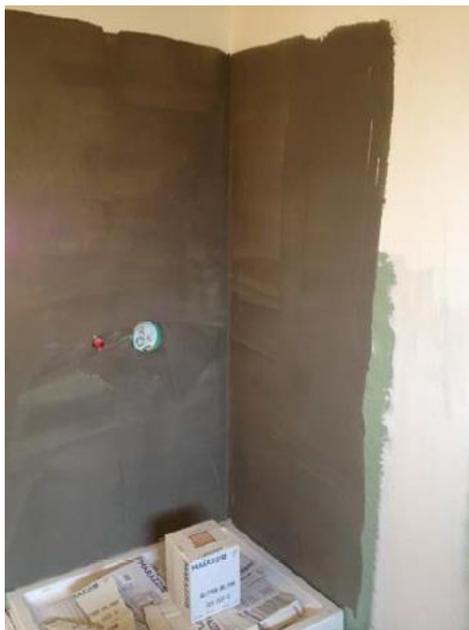


Fig. 4.46 – Posa massetti



Fig. 4.47 – chiusura con cartongessi

Una volta posizionato il piatto doccia e la posa dei sanitari dovrà seguire la fase di sigillatura/impermeabilizzazione sia del pavimento che di tutte le zone di possibile infiltrazione d'acqua.



La doccia dovrà (ad esempio) essere impermeabilizzata con guaina liquida in più mani;

Fig. 4.48 – Impermeabilizzazione doccia (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l.)

Tutti i gruppi miscelatori a parete dovranno essere sigillati con collari di supporto impermeabilizzanti o tramite silicone, evitando così possibili infiltrazioni in prossimità degli stessi.



Fig. 4.49 – Impermeabilizzazione miscelatori doccia (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l)

È possibile l'utilizzo di profili che evitano infiltrazioni di acqua tra il muro e il piatto della doccia o la vasca.



Fig. 4.50 – Profilo rompigoccia (doccia)- (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l.)



Fig. 4.51 – Profilo rompigoccia (vasca) - (fonte: archivio RASOM Wood Technology s.r.l.)

Segue la fase di chiusura con rivestimento di tipo ceramico; in prossimità dei miscelatori è bene prevedere il taglio più largo della piastrella in modo da poter posare la rosetta e il silicone stesso.

4.3 FONDAZIONI E ATTACCO A TERRA

Il nodo parete fondazione è sicuramente uno dei punti più delicati in una costruzione in legno, sia per la connessione strutturale, sia per la protezione del nodo da umidità, pioggia battente ed eventuali infiltrazioni d'acqua.

Si possono presentare tre problemi legati a quest'ultimo aspetto (Fig. 4.52):

- 1) Contatto diretto per infiltrazione di acqua (nel caso in cui la quota di appoggio della parete in legno si trovi al di sotto del piano di campagna);
- 2) Trasmissione di umidità per risalita capillare dalla fondazione in cemento armato;
- 3) Formazione di umidità per condensa interstiziale.

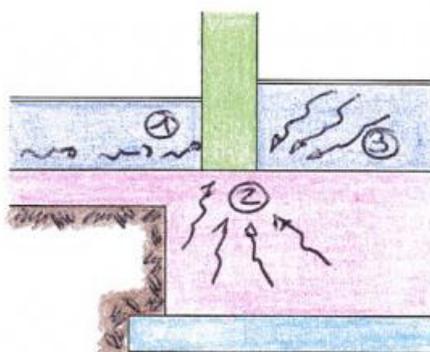


Fig. 4.52 – Schematizzazione nodo attacco a terra. (fonte: www.woodlab.info)

Il contatto per infiltrazione avviene nel momento in cui l'acqua in forma liquida si infiltra attraverso il sottofondo del marciapiede esterno e raggiunge per gravità la base della parete in legno. Per ovviare a questo tipo di problematica è necessario impostare la quota di appoggio della parete superiormente al livello del terreno esterno (almeno 10 cm).

Il livello del pavimento esterno dovrà sempre essere inferiore al livello del pavimento interno (minimo 5 cm).

Indipendentemente dal tipo di fondazione (platea oppure trave rovescia) e di tecnologia costruttiva utilizzata (telaio o CLT), è consigliabile la realizzazione di un cordolo perimetrale avente la funzione di rialzare l'appoggio della struttura lignea. Questa soluzione garantisce l'integrità del legno anche nelle fasi di cantiere e permette di procedere alla posa delle pareti anche nelle stagioni più sfavorevoli dal punto di vista

meteorologico. Il cordolo, realizzato in c.a., dovrà avere una larghezza utile sufficiente per consentire la corretta disposizione dell'armatura e garantirne la tenuta dopo il getto. Altre soluzioni, come ad esempio quella di posizionare una radice in larice per rialzare la quota di appoggio della parete non danno nessuna garanzia, in quanto il larice rimane sempre sotto il livello del terreno in una posizione in cui può comunque andare incontro a fenomeni di degrado da marcescenza. Ultimamente il mercato ha proposto delle nuove soluzioni per questo nodo facendo uso di manufatti metallici, in alluminio e acciaio, che hanno lo scopo di alzare la quota di posa della parete e permettere un minimo di aerazione alla base della parete stessa.

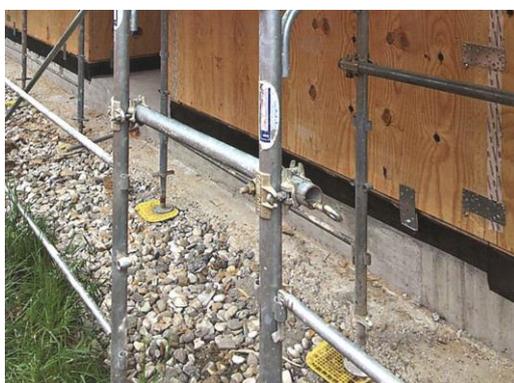


Fig. 4.53 – Dettaglio di attacco a terra di un edificio a telaio progettato e realizzato correttamente, da notare la differenza di quota tra terreno ed imposta della parete in legno. (fonte: www.woodlab.info)

La risalita per capillarità è quel fenomeno per cui l'acqua presente nel terreno tende a risalire contro gravità all'interno della platea sfruttando la porosità del calcestruzzo per effetto capillare. In questo caso il cemento armato funziona da pompa osmotica prelevando l'acqua dal terreno e portandola verso l'alto. Se appoggiassimo direttamente la parete sul cemento, a lungo andare l'umidità presente nel cemento migrerebbe alla base della parete in legno che inizierebbe a marcire. La soluzione migliore è interporre una barriera alla risalita di umidità tra fondazione e legno attraverso la posa di una guaina bituminosa tra cemento e legno. Vanno tuttavia evitate le guaine a cuffia incollate al legno che non permettono al legno di traspirare correttamente, come pure le guaine adesive di collegamento tra legno e cemento.



Fig. 4.54 – Attacco a terra non corretto; la parete in CLT è stata posata direttamente sulla platea senza una guaina di separazione.
(fonte: www.woodlab.info)



Fig. 4.55 – Attacco a terra eseguito correttamente, la guaina bituminosa protegge il CLT dalla risalita dell'umidità per capillarità.
(fonte: www.woodlab.info)

Il vapore dell'aria interna che traspira verso l'esterno, lo fa anche nel nodo dell'attacco a terra, e dal momento che molto spesso si tratta del punto più freddo della casa, spesso si forma condensa. L'unico modo è isolare correttamente il nodo ed eseguire un'analisi termica agli elementi finiti per verificarne la correttezza; è quindi fondamentale eliminare il ponte termico tra legno e cemento.



Fig. 4.56 – Esempio di attacco a terra eseguito correttamente, in questo caso tra la platea e la parete in CLT è stato realizzato un cordolo in c.a. di rialzo. (fonte: www.woodlab.info)

Infine è necessario porre attenzione al concetto del drenaggio perimetrale alla fondazione che, se realizzato correttamente, garantisce un elevato e maggiore livello di protezione alla struttura dell'edificio; è anche preferibile che non ci sia un corpo cementizio a contatto con il piede della casa e che l'acqua che colpisce il primo perimetro dell'edificio abbia la possibilità di allontanarsi il più velocemente possibile.

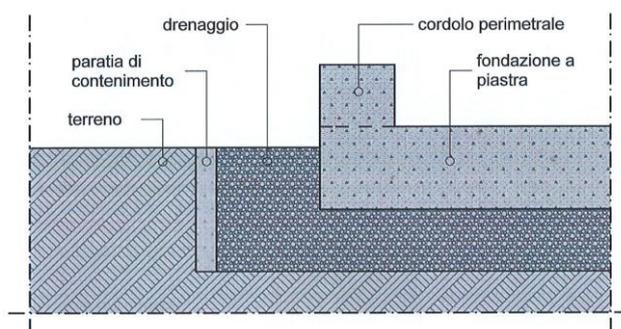


Fig. 4.57 – Esempio di drenaggio perimetrale del terreno su fondazione a piastra. (fonte: CasaAttiva)

4.3.1 IL SISTEMA DI FISSAGGIO – POSA DEGLI HOLD DOWN

Per trasmettere le sollecitazioni sulle pareti provocate dalle forze orizzontali, si utilizzano hold-down (connettori con il compito di impedire il sollevamento delle pareti) e squadrette a taglio (incaricate di impedire la traslazione della parete stessa). Le staffe hold-down vengono poste il più possibile alle estremità della parete in modo tale da massimizzare il braccio e quindi riuscire a sfruttare al meglio la capacità portante della connessione metallica. Per quanto riguarda le squadrette a taglio, esse vengono di norma disposte ad interasse regolare lungo il lato inferiore della parete.



Fig. 4.58 – Esempio di fissaggio con hold-down posti ad un interasse non corretto.

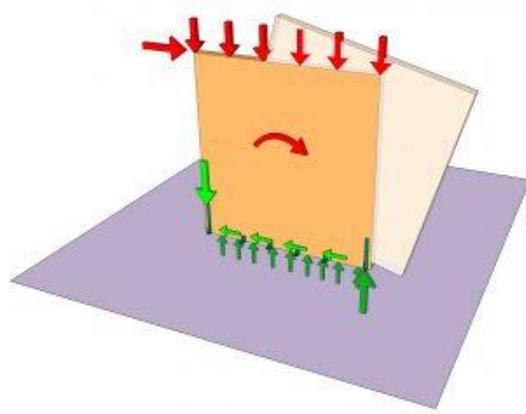


Fig. 4.59 – Immagine tratta dal libro del carpentiere

È importante e necessario sottolineare che gli hold-down sono totalmente privi di resistenza a taglio e che per questo il loro utilizzo va limitato alle sole zone dove si ha effettivamente una forza di sollevamento. Un corretto dimensionamento della connessione a terra sta alla base di una buona riuscita di un progetto in quanto rappresenta uno dei punti più delicati.

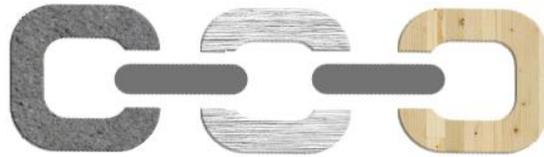


Fig. 4.60 – “Catena” calcestruzzo – acciaio - legno

Pensando alla connessione calcestruzzo acciaio legno come ad una catena, l’anello più debole determina la resistenza complessiva indipendentemente dalla capacità portante degli altri anelli.

Si devono perciò indagare i meccanismi di rottura a trazione (Fig. 4.61):

- rottura lato legno
- rottura lato acciaio

- rottura conica del cls
- rottura per estrazione
- rottura per splitting

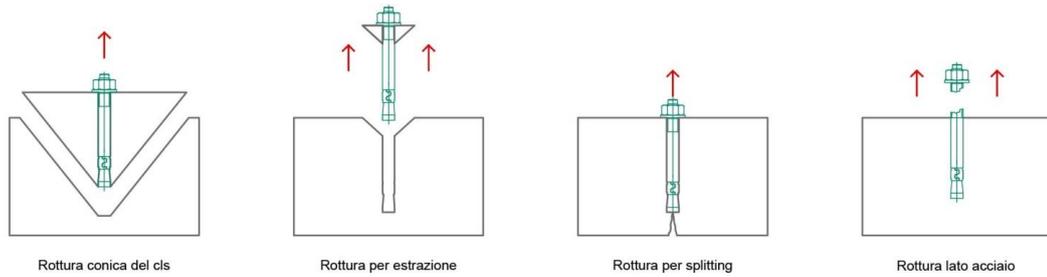


Fig. 4.61 – Meccanismi di rottura a trazione

ed i meccanismi di rottura a taglio (Fig. 4.62):

- rottura lato legno
- rottura lato acciaio per taglio puro
- rottura lato acciaio per taglio con flessione
- rottura del bordo
- rottura per pry-out del cls

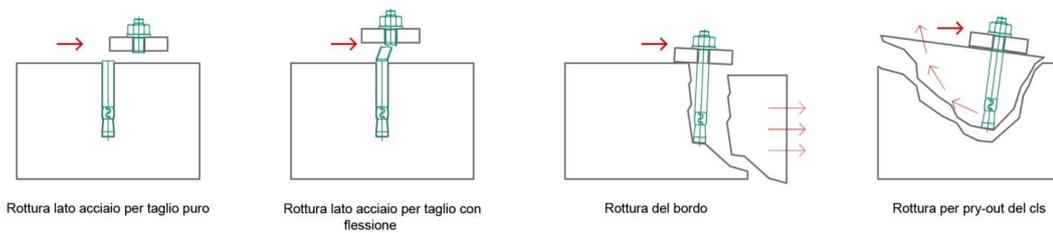


Fig. 4.62 – Meccanismi di rottura a taglio

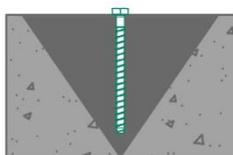


Fig. 4.63 – Esempio di posa ideale

Indipendentemente dalla tipologia, tutti i sistemi di fissaggio presentano nelle immediate vicinanze della loro applicazione delle tensioni dovute alla trasmissione delle forze a cui sono sottoposti.

La massima resistenza di un ancoraggio si ha se vengono soddisfatte le seguenti condizioni:

- adeguata distanza dai bordi del supporto base;
- adeguata distanza da altri tasselli;
- sufficiente spessore del supporto di base;
- rispetto della profondità di ancoraggio calcolata.

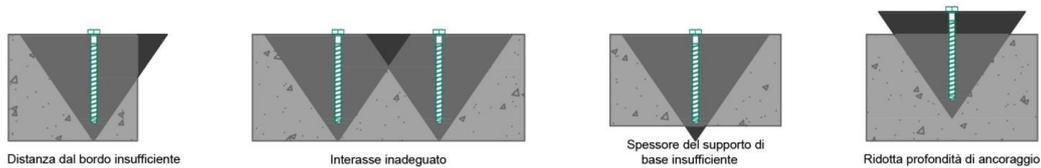


Fig. 4.64 – Esempi di posa non corretta

Inoltre c'è da tenere conto che la capacità portante caratteristica di una connessione acciaio-legno dipende dallo spessore delle piastre di acciaio, la cui resistenza dovrà essere verificata. Il carico di collasso di una connessione a gambo cilindrico può essere determinata per mezzo della teoria plastica sviluppata da Johansen. La capacità portante caratteristica per chiodi, bulloni, spinotti e viti, per singolo piano di taglio e per singolo mezzo di unione, dovrà essere assunta come il valore minimo determinato tramite le espressioni definite nel paragrafo 8.2.3 dell'EC5 (Fig. 4.65).

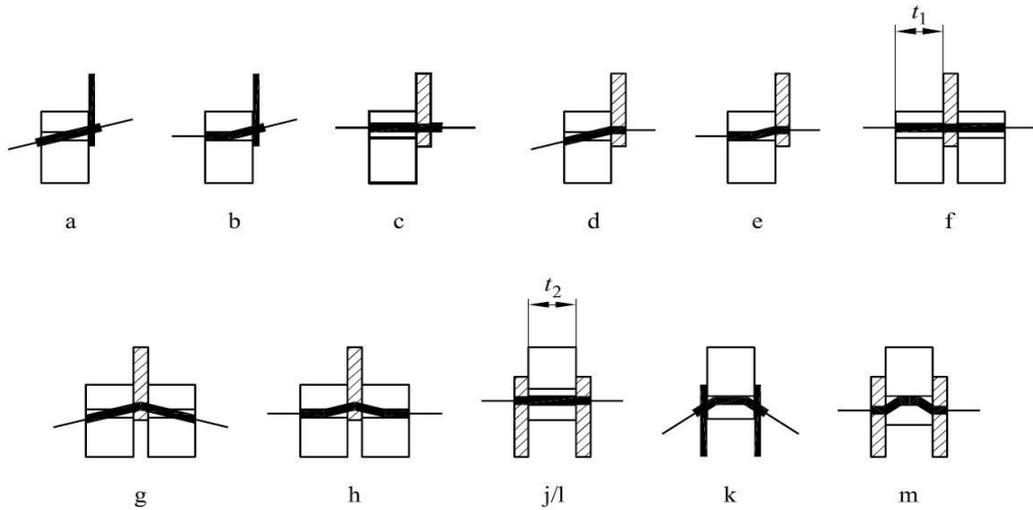
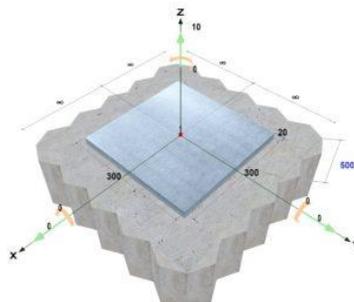


Fig. 4.65 - Modi di rottura per connessioni acciaio-legno (fonte: EC5, paragrafo 8.2.3, figura 8.3)

Tramite l'utilizzo di un software in linea con ETAG 001 (Edizione 1997) abbiamo voluto provare a confrontare i valori di resistenza di un sistema di ancoraggio singolo con uno a 5 hold-down affiancati.

Primo caso (Fig. 4.66): singolo hold-down con 45 chiodi anker 4,0×60, ancoraggio a calcestruzzo C25/30 non fessurato tramite barra filettata M16 5.8 e resina vinilestere.



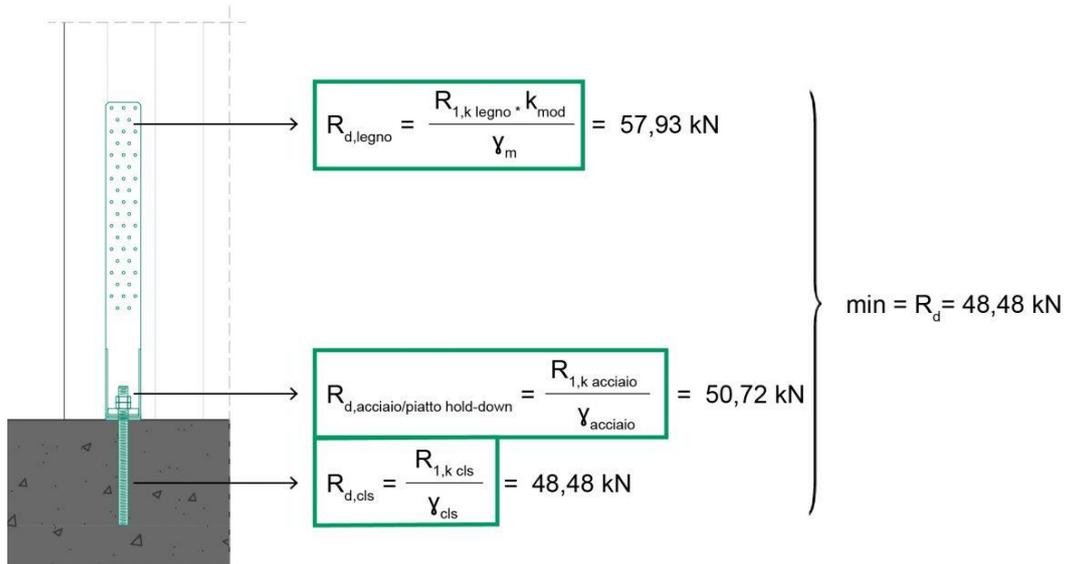
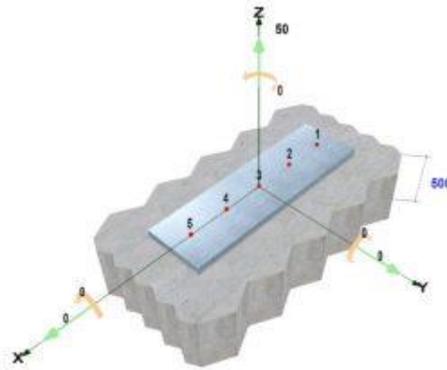


Fig. 4.66 – Schematizzazione primo caso: singolo hold-down

Consideriamo adesso il secondo caso (Fig. 4.67): gruppo di 5 hold-down con 45 chiodi anker 4,0×60, ancoraggio a calcestruzzo C25/30 non fessurato tramite barre filettate M16 5.8 e resina vinilestere; interasse tra le barre di 10cm e distanza dai bordi pienamente rispettata.



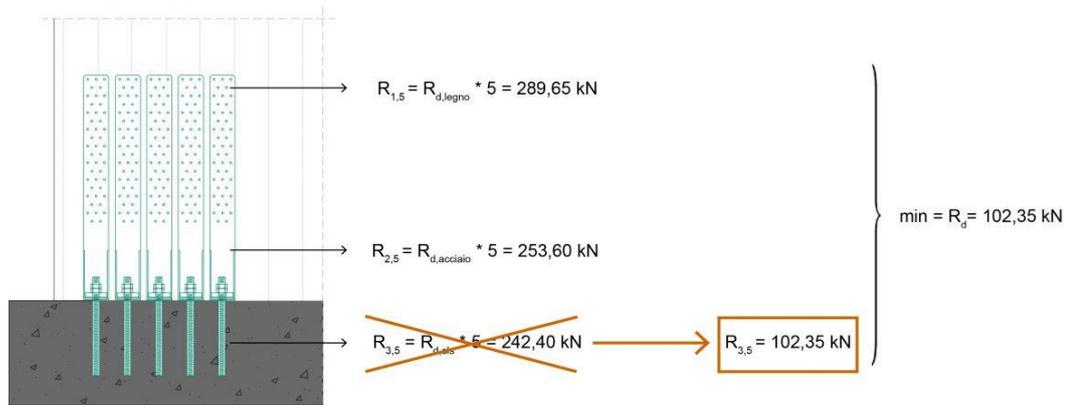


Fig. 4.67 – Schematizzazione secondo caso: gruppo di 5 hold-down posti ad interasse di 10 cm.

Quindi con singolo hold-down $R_{d,cls} = 48,48\text{kN}$ mentre con cinque $R_{3,5} = 102,35\text{kN}$: in proporzione il gruppo ha resistenza minore del singolo perché è presente l'interferenza che le barre creano tra di loro.

Fosse possibile moltiplicare $R_{d,cls}$ per il numero di hold-down presenti il suo valore sarebbe pari a

$$R_{3,5} = 48,48 * 5 = 242,40 \text{ kN}$$

Mettendo in proporzione questo valore e $R_{3,5}$ calcolato dal software si ottiene

$$102,35/242,40 = 0,42 \quad \text{quindi la resistenza lato cls ha circa il } \mathbf{60\% \text{ in meno di efficacia}}$$

È quindi chiaro il fatto che un singolo ancorante ha in proporzione una resistenza maggiore del sistema a 5 ancoraggi:

$$102,35/5 = 20,47 \text{ kN/cad} \quad \text{sempre } \mathbf{60\% \text{ in meno di resistenza}} \text{ di un singolo connettore.}$$

È curioso notare come l'utilizzo di soli 3 hold-down posti a 20 cm di distanza (Fig. 4.68) porti al medesimo risultato. Infatti, non solo il baricentro della connessione è il medesimo ma la rottura del cono di cls avviene a 102,35kN, esattamente lo stesso valore ottenuto con 5 barre filettate. Ciò implica che 2 dei 5 hold-down **non contribuiscono** all'incremento della resistenza della connessione, risultando pertanto **completamente superflui**.

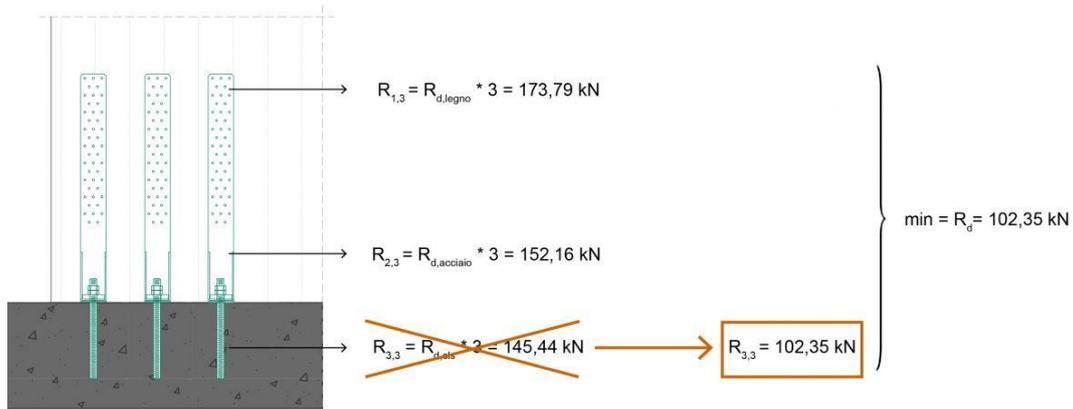


Fig. 4.68 – Schematizzazione terzo caso: gruppo di 3 hold-down posti ad interasse di 20 cm.

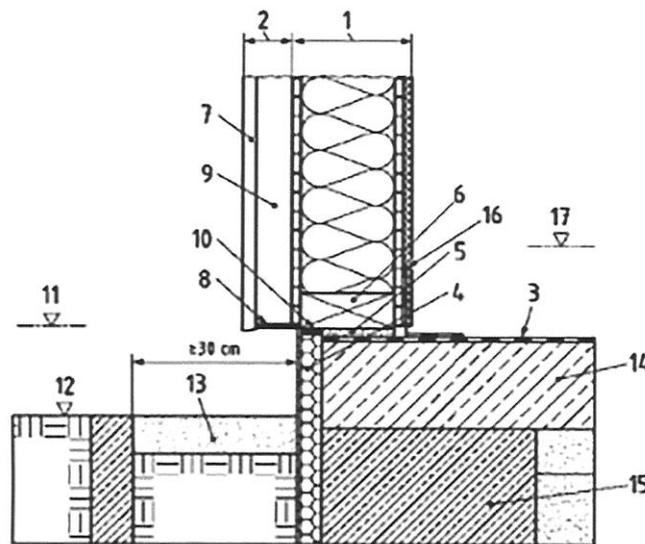
Considerate le modalità di rottura del calcestruzzo viste prima (adeguata distanza dai bordi e dagli altri tasselli) e i risultati del calcolo di resistenza del calcestruzzo, la seguente configurazione è sconsigliata. La riduzione del braccio data dal distanziamento dei dispositivi di ancoraggio va inoltre ad influire sulla resistenza a ribaltamento della parete.

Per concludere, realizzare una struttura a regola d'arte non prevede necessariamente l'uso eccessivo di sistemi di ancoraggio: questa soluzione, oltre a risultare molto costosa per la committenza, comporterà anche una posa estremamente più laboriosa in cantiere.

(Fonte: www.ergodomus.it)

- 10. Livello del suolo esterno
- 11. Piattaforma
- 12. Fondamenta
- 13. Guarnizione a tenuta stagna tra parete e guaina protettiva contro l'umidità di risalita
- 14. Livello del pavimento finito

- Fig. 4.70 – Punto più basso della parete esterna sporgente dalla fondazione con facciata ventilata

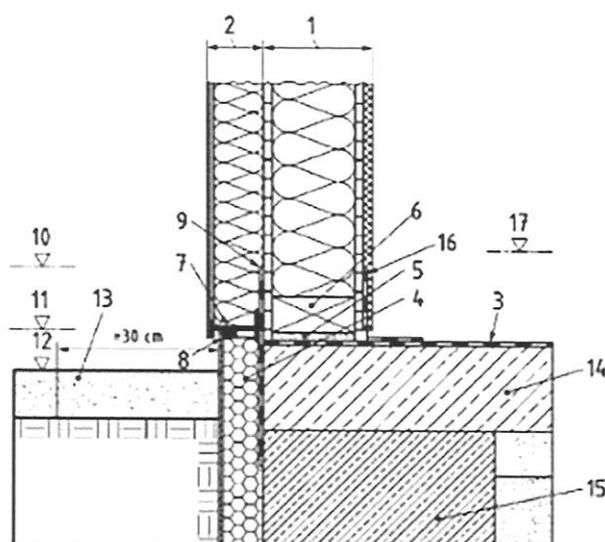


Legenda:

- 1. Struttura portante variabile (tecnologia Xlam, telaio, legno massiccio, ecc.), stratigrafia secondo il sistema di isolamento termico prescelto
- 2. Facciata ventilata
- 3. Guaina protettiva contro l'umidità di risalita
- 4. Isolamento perimetrale della piattaforma con materiale isolante
- 5. Iniezione cementizia livellante
- 6. Cordolo di legno duro classe di utilizzo GK 0 (essiccato in modo che non vi siano attacchi di insetti e microrganismi)
- 7. Pannello di facciata
- 8. Schermo di protezione contro l'invasione di animali e insetti
- 9. Spazio arieggiato
- 10. Guarnizione di sigillatura dei giunti
- 11. Soglia della piattaforma che deve essere di almeno 15 cm sopra il livello del suolo esterno

- 12. Livello del suolo esterno
- 13. Letto di ghiaia
- 14. Piattaforma
- 15. Fondamenta
- 16. Guarnizione a tenuta stagna tra parete e guaina protettiva contro l'umidità di risalita
- 17. Livello superiore del pavimento finito

- Fig. 4.71 – Parete meno distanziata dalla fondazione con letto di ghiaia sulla facciata esterna

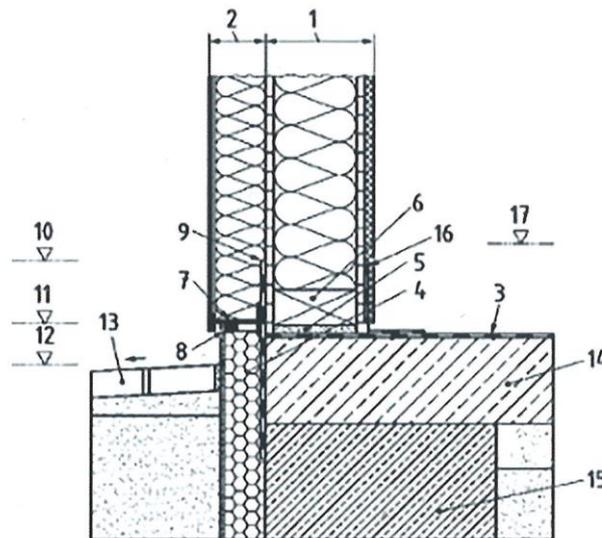


Legenda:

- 1. Struttura portante variabile (tecnologia Xlam, telaio, legno massiccio, ecc.), stratigrafia secondo il sistema di isolamento termico prescelto
- 2. Sistema di isolamento termico stratificato con certificazione di idoneità a carico del direttore lavori
- 3. Guaina protettiva contro l'umidità di risalita
- 4. Isolamento perimetrale della piattaforma con materiale isolante
- 5. Iniezione cementizia livellante
- 6. Cordolo di legno duro classe di utilizzo GK 0 (essiccato in modo che non vi siano attacchi di insetti e microrganismi)
- 7. Profilo di sostegno del sistema di isolamento termico (doppia T di materiale isolante)
- 8. Guarnizione di sigillatura dei giunti

9. Guaina di sigillatura verticale secondo DIN 18195-4
10. Livello di sigillatura della guaina allo stato finale, che deve superare i 15 cm di lato superiore del cordolo di legno duro
11. Lato inferiore del cordolo di legno duro che, nello stato finale, deve trovarsi ad almeno 5 cm sopra il livello della pavimentazione esterna
12. Livello del suolo esterno
13. Letto di ghiaia
14. Piattaforma
15. Fondamenta
16. Guaina di raccordo a tenuta stagna fra parete e guaina protettiva
17. Livello superiore del pavimento finito

- Fig. 4.72 - Parete esterna sporgente dalla piattaforma con pavimentazione solida e pendenza verso il basso sulla parete esterna



Legenda:

1. Struttura portante variabile (tecnologia Xlam, telaio, legno massiccio, ecc.), stratigrafia secondo il sistema di isolamento termico prescelto
2. Sistema di isolamento termico stratificato con certificazione di idoneità a carico del direttore lavori
3. Guaina protettiva contro l'umidità di risalita
4. Isolamento perimetrale della piattaforma con materiale isolante
5. Iniezione cementizia livellante

6. Cordolo di legno duro classe di utilizzo GK 0 (essiccato in modo che non vi siano attacchi di insetti e microrganismi)
7. Profilo di sostegno del sistema di isolamento termico (doppia T di materiale isolante)
8. Guarnizione di sigillatura dei giunti
9. Guaina di sigillatura verticale secondo DIN 18195-4
10. Livello di sigillatura della guaina allo stato finale, che deve superare i 15 cm di lato superiore del cordolo di legno duro
11. Lato inferiore del cordolo di legno duro che, nello stato finale, deve trovarsi ad almeno 5 cm sopra il livello della pavimentazione esterna
12. Livello del suolo esterno
13. Copertura di terrazzo o di balcone con strato impermeabilizzato e pendenza minima 2%
14. Piattaforma
15. Fondamenta
16. Guaina di raccordo a tenuta stagna fra parete e guaina protettiva
17. Livello superiore del pavimento finito

4.3.3 TETTO PIANO - LE SETTE REGOLE D'ORO

Come realizzare un tetto piano a regola d'arte ed evitare errori che potrebbero portare alla marcescenza delle parti strutturali?

Bisogna sottolineare subito che l'**impermeabilizzazione** (o tenuta all'acqua) è l'aspetto più importante in assoluto per una copertura piana e va garantita sempre e comunque. Il posatore e la direzione lavori hanno pertanto una **responsabilità** molto grande sul corretto funzionamento e sulla durata nel tempo.

Premesso ciò è necessario chiarire che l'analisi di una stratigrafia per un tetto piano è tutt'altro che semplice e richiede **conoscenze approfondite di fisica tecnica** nonché la capacità di padroneggiare software specifici.



Fig. 4.73 - Crescita di funghi all'interno dell'ambiente dell'edificio dovuta a condensa interstiziale

La Fig. 4.73 è riferita ad una copertura piana che manifesta gravi problemi dopo pochi anni dalla sua realizzazione: nello specifico un **fungo** si è sviluppato nell'isolante, ha attraversato il perlinato ed è entrato in casa. Alcuni test dimostrano che l'impermeabilizzazione è perfetta ma nonostante ciò l'isolante risulta essere fradicio. Di chi è allora la colpa?

Il problema risiede nella errata **gestione del vapore** interno all'abitazione che durante la stagione invernale migra verso l'esterno dove la pressione parziale è minore. La verifica di **Glaser** richiede, tra le altre cose, che il movimento del vapore avvenga solo ed unicamente per **diffusione** ovvero "poco vapore in molto tempo". Affinché ciò avvenga è naturalmente necessario che la tenuta all'aria sia perfetta ovvero che le membrane verso il lato caldo siano nastrate correttamente.

Cosa succede nei punti di discontinuità? Il vapore si sposta per **convezione** ovvero "molto vapore in poco tempo" e questa extra-quantità una volta arrivata negli strati esterni più freddi **condensa** si trasforma in acqua. In questa nuova forma non è più in grado di tornare indietro e passare la membrana di tenuta e si accumula andando ad aumentare l'umidità nell'isolante e nel legno eventualmente presente nel pacchetto (travi strutturali, morali di contenimento, etc...).

Durante **l'estate** cosa succede?

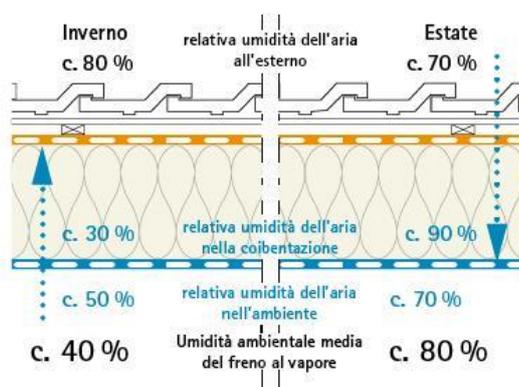


Fig. 4.74 - Schema della diffusione del vapore inverno/estate (Fonte: ProClima.de)

Durante l'estate il calore esterno favorisce il cosiddetto meccanismo di diffusione inversa ovvero spinge il vapore dall'esterno verso l'interno permettendo così il riassorbimento (Fig. 4.74). Tutto ciò non è però possibile se la tenuta all'aria è realizzata per mezzo di una **barriera vapore** ($S_d \geq 100$ m).

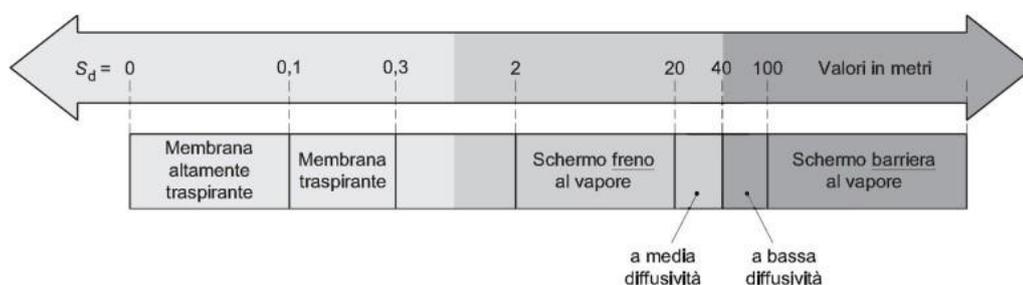


Fig. 4.75 – Caratteristica della membrana in funzione del valore di S_d (Fonte: UNI 11470:2015)

Diventa importante quindi la scelta opportuna delle membrane che devono avere la capacità di frenare il vapore durante la stagione invernale per poi lasciarlo passare quando le temperature esterne aumentano. Fortunatamente il mercato offre da qualche anno teli con queste caratteristiche ovvero dotati di valore **S_d variabile**.

Il loro dimensionamento e l'analisi di una stratigrafia che le prevede non è semplice e richiede l'utilizzo di **software** in grado di operare in **regime dinamico** e non stazionario.

In questi casi è molto importante definire correttamente le condizioni al contorno ed i criteri da utilizzare per dichiarare la corretta funzionalità nel tempo del pacchetto.

Il dimensionamento della membrana è solo il primo passo però: la **corretta messa in opera** affinché la tenuta all'aria sia perfetta è importante almeno quanto il calcolo e forse ancora di più. Si consiglia pertanto vivamente di fare un **Blower Door Test** di tenuta all'aria prima della posa dello strato isolante e di accertare l'assenza di perdite per mezzo del **generatore di fumo** (Fig. 4.76).



Fig. 4.76 - Attrezzatura per il Blower Door Test montata su una porta

Queste problematiche sono note anche in Germania e qualche anno fa un gruppo di ricercatori ha creato le “Sette regole d’oro per i tetti piani in legno”. Qui di seguito si riporta la traduzione del documento.

Conclusioni dei relatori del Congresso “Conservazione del legno e fisica tecnica” tenutosi a Lipsia il 10/11 febbraio 2011 sul tema: “Tetti piani non ventilati in legno”

L'installazione di barriere vapore ($S_d \geq 100 \text{ m}$) su strutture impermeabili che danno verso l'esterno non è più conforme alle regole del buon costruire. Queste membrane impediscono che durante l'estate si attivi il meccanismo della "diffusione inversa", necessaria per asciugare l'umidità invernale creata dal trasporto di vapore per convezione causato da seppure debolissime ma inevitabili perdite d'aria.

Le 7 regole d'oro per un tetto piano senza la necessità di analisi specifiche... (nel clima normale secondo UNI EN 15026)

1. **Ha una pendenza $\geq 3\%$ in configurazione "indeformata" o $\geq 2\%$ in configurazione "deformata" sotto carico**
2. **è di colore scuro (assorbimento di radiazioni $\geq 80\%$), senza ombra e non ha**
3. **nessuno strato di copertura (ghiaia, tetto verde, rivestimento terrazzato) ma**
4. **una barriera vapore variabile all'umidità (lato interno) e**
5. **nessuna cavità incontrollabile sul lato freddo dello strato isolante e**
6. **una perfetta tenuta d'aria testata e**
7. **una umidità degli elementi portanti incluso il tavolato rilevata prima della chiusura ($u \leq 15\% \pm 3\%$) o rivestimenti in legno ($u \leq 12\% \pm 3 \text{ M-}\%$). Questi valori vanno rilevati con cura ed opportunamente documentati.**

Calcolo secondo Glaser

La verifica secondo il metodo Glaser sulla base delle ipotesi di sola diffusione è valida solo per materiali non riflettenti, tetti piani privi di ombreggiamenti e senza strati di rivestimento. In questi casi deve essere tenuto un margine sulla quantità di essiccazione di almeno 250 g/m^2 .

Nota: questa prova può valutare solo le membrane con un valore costante di S_d ; devono inoltre essere rispettate le regole 5, 6 e 7 riportate sopra.

Simulazioni termoigrometriche specifiche

Simulazioni specifiche secondo EN 15026 sono richieste se anche una sola delle 7 regole di cui sopra non è rispettata e quindi la verifica secondo Glaser non è ammessa.

In tale contesto si deve tener conto in particolare di quanto segue:

- **Ombreggiamento delle aree del tetto causato dalla morfologia del terreno, edifici, sovrastrutture (Collettori solari, vani ascensore o simili)**

- *Strati superiori all'impermeabilizzazione con o senza isolamento aggiuntivo*
- *Ingresso vapore per convezione a causa della non perfetta tenuta all'aria dell'involucro*

L'influenza di rivestimenti in ghiaia e sottofondi verdi su tetti piani non ventilati con coibentazione tra i travetti è ancora oggetto di ricerca. Attualmente, i tetti piani con strati di copertura sono verificabili a favore di sicurezza solo se sulla parte superiore del rivestimento è previsto un isolamento aggiuntivo (ad es. isolante in pendenza). Gli spessori di isolamento necessari possono essere dimensionati solo mediante simulazione termoigrometrica. Le coperture con sistemi di costruzione a strati non richiedono verifiche specifiche solo se almeno l'80% dello spessore dell'isolamento è disposto sopra la struttura in legno.

(Fonte: www.ergodomus.it)

5. Esempi e casistiche: breve analisi degli errori

5.1 UNA BREVE PANORAMICA

Ogni opera parte naturalmente dal progetto e in questa sede a titolo introduttivo diviene interessante, a prescindere dal materiale con cui viene realizzata l'opera, classificare le tipologie di errore che si possono riscontrare in fase di progettazione.

| Distribuzione degli errori in fase progettuale | |
|--|-------------|
| Tipi di errore | Percentuale |
| Errori concettuali | 34% |
| Analisi strutturale | 34% |
| Disegni, particolari costruttivi e piani di lavoro | 28% |
| Combinazione | 4% |
| Tot. | 100% |

Tab.5.1 – Distribuzione degli errori in fase progettuale (estratto da Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber? – Lund University)

Altri errori possono accadere in fase di esecuzione dell'opera.

Sottolineiamo che le considerazioni seguenti non sono esclusive per le costruzioni in legno ma ovviamente coinvolgono tutte le tipologie di materiale utilizzato.

Ad esempio:

- nelle opere in calcestruzzo è doveroso assicurare una vibrazione adeguata dei getti nonché garantire una corretta maturazione prima della rimozione dei casseri e dei puntelli. Una prematura rimozione degli elementi di puntellamento, può causare insuccessi come quello descritto in fig. 5.1 in Virginia nel 1973 dove il crollo dell'opera si è propagato in maniera progressiva causando la morte di 15 carpentieri.



Fig. 5.1 – Collasso progressivo di un edificio multipiano in calcestruzzo armato dovuto alla rimozione prematura degli elementi di puntellamento – Virginia, 1973

Analoghe considerazioni valgono anche per le strutture in acciaio; qualora si tratti di strutture snelle, in via generale, è fondamentale evitare fenomeni di instabilità anche in fase transitoria di montaggio. Si sono verificati casi in cui strutture in acciaio sono collassate per instabilità del lembo compresso: a titolo di esempio in figura 5.2 è riportato il collasso di un ponte in acciaio in fase di montaggio.



Fig. 5.2 - Collasso di una partizione di elemento tridimensionale in acciaio – Koblenz
1971

5.2 LE STRUTTURE IN LEGNO

Raramente nel recente passato si sono verificati crolli o dissesti (totali o parziali) di opere di ingegneria in legno. Gli errori che però hanno determinato un insuccesso non sono semplici da analizzare, allo stesso tempo si assiste a più fattori correlati tra loro, solo in alcuni casi sono imputabili ad un non corretto dimensionamento degli elementi strutturali.

Volendo schematizzare le possibili situazioni di rischio si possono individuare le seguenti cause di danno:

- Errata valutazione dei carichi in gioco;
- Inadeguata realizzazione dei collegamenti;
- Effetti derivanti da una non corretta impermeabilizzazione delle opere;

- Cattiva progettazione dei particolari costruttivi influenti sulla durabilità dell'opera;
- Inadeguata gestione del cantiere;
- Insufficienti performance dei materiali utilizzati.

E' difficile trovare in letteratura una statistica completa circa questi aspetti ma si può comunque affermare che il dimensionamento e la corretta esecuzione dei collegamenti riveste sicuramente, nel nostro settore, un aspetto principe nel definire la sicurezza dell'opera.

Un esempio è illustrato dall'immagine seguente.



Fig. 5.3 – Collasso dello Jyväskylä Paviljonki – 2003 (Finlandia)

In questo caso (Fig. 5.3) la principale causa del crollo è stata identificata nella pessima esecuzione del collegamento in fase di montaggio: il crollo infatti ha “preso avvio” dalla rottura di un nodo dove erano presenti tra piastra metallica e legno solo 7 perni su 33 previsti.

In molti altri casi gli errori sono riconducibili ad una non-adequata considerazione degli effetti climatici prodotti dall'ambiente in cui il materiale “legno” viene posto. Il problema più frequente è rappresentato dalle fessurazioni perpendicolari alla fibratura (si accenna

solo che non tutte le fessure hanno un effetto sulla stabilità dell'elemento e che devono essere oggetto di una attività di diagnostica per una loro effettiva valutazione).

Di seguito si riporta un esempio dove a fianco di un elemento di legno lamellare è stato posto un tubo dell'acqua calda che ha favorito l'insorgenza di fessure da ritiro per essiccazione (l'opera nel caso in questione e visto la lunghezza delle fessure e la loro profondità è stata oggetto di opere di consolidamento).

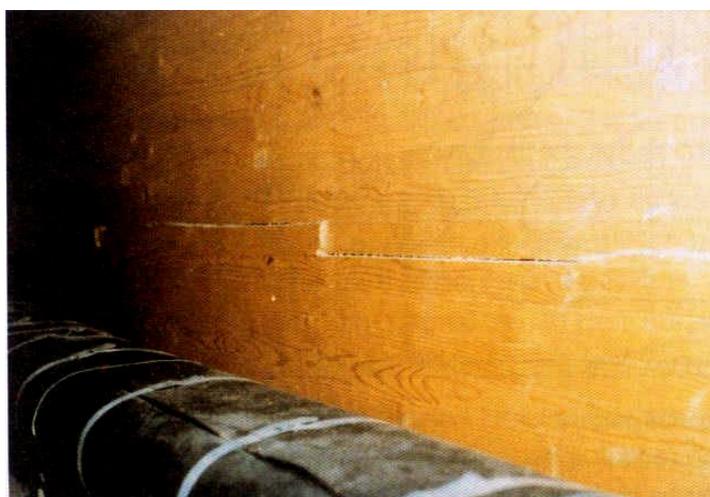


Fig. 5.4 – Fessure presenti su elemento in legno lamellare; il passaggio nell'immediata vicinanza del tubo dell'acqua calda ha prodotto un'essiccazione ulteriore con creazione di fessure vicino alla linea di colla.

Contrariamente a quanto si possa immaginare collassi dovuti ad una scarsa qualità del materiale fornito sono piuttosto rari. A titolo di completezza si riporta un caso di cattiva realizzazione di elemento in legno lamellare con adesivo distribuito in modo non uniforme sul giunto a dita e con la presenza di una eccessiva nodosità in relazione alla regola di classificazione secondo la resistenza utilizzata.

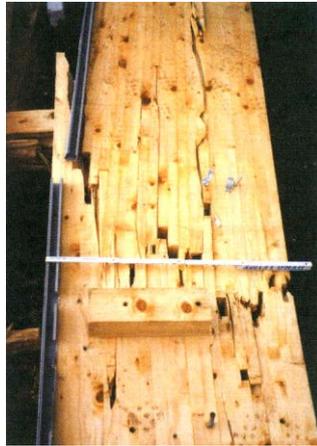


Fig. 5.5 – Rottura di un elemento in legno lamellare dovuto ad una bassa qualità realizzativa del giunto a dita. La linea di rottura coincide con la presenza lungo il profilo dell'elemento di giunti a dita.

5.3 LE TIPOLOGIE E LE CAUSE DEGLI INSUCCESSI

I codici di calcolo internazionali per il dimensionamento delle strutture (indipendentemente dal materiale strutturale impiegato) si basano genericamente su quella che può essere definita l' "affidabilità della struttura". In altre parole e in senso strettamente statistico, la probabilità che si verifichi un collasso (sia questo totale o parziale) è nell'ordine 10^{-6} per anno.

Allo stesso modo le cause che determinano l'instabilità di una struttura possono essere riassunte come segue:

- **Circostanze particolarmente sfavorevoli** quali ad esempio carichi da neve particolarmente alti legati ad un dimensionamento della struttura non sufficiente (ma comunque conforme alla normativa vigente). Tale circostanza viene amplificata qualora l'opera sia concepita dal lato architettonico in modo da favorire l'accumulo di neve in alcune porzioni della copertura.
- **Condizioni impreviste**, quali ad esempio esplosioni. In questo caso possono essere prese in considerazione accorgimenti progettuali al fine di contenere il crollo progressivo dell'opera.

- **Errori grossolani** derivanti da una cattiva progettazione, produzione in stabilimento e realizzazione dell'opera. In questo caso possono essere prese in considerazione diversi fattori per ridurre il rischio che tale situazione possa verificarsi, come la formazione dei professionisti e delle imprese e controlli più severi sia in produzione che in cantiere.

A titolo esemplificativo, all'interno della presente pubblicazione verranno illustrate due casistiche, particolarmente studiate e approfondite, di crolli (globali e parziali) avvenuti nei paesi del centro Europa:

- **Velodromo di Copenhagen (Siemens Super Arena 2003)**: due di dodici capriate in legno lamellare con luce libera di circa 72 m hanno ceduto nel Gennaio del 2003. Fortunatamente tale collasso ha interessato la struttura prima dell'organizzazione di una gara internazionale di 6 giorni dove sarebbero stati presenti migliaia di persone.
- **Sala Espositiva in Jyväskylä (Exhibition hall in Jyväskylä, Finlandia 2003)**: quattro delle 10 capriate in legno lamellare hanno ceduto solo dopo due settimane dall'inaugurazione dell'opera. Il giorno prima del crollo, l'edificio ha ospitato un particolare evento con 9.000 visitatori presenti. Fortunatamente il giorno del crollo solo 10 persone erano all'interno della struttura e tutte sono state in grado di mettersi in salvo prima del collasso.

5.4 LE CAUSE DEI CROLLI

5.4.1 Il crollo della copertura della Siemens Super Arena

La Siemens Super Arena (nome dato dal main sponsor) è uno spazio multifunzionale destinato ad attività sportive di dimensioni 90 m x 120 m. La struttura è stata costruita nel 2001 e inaugurata nel Febbraio del 2002. I costi di costruzione si aggirano intorno ai 6 Milioni di Euro, prevalentemente provenienti da fondi pubblici.

L'esecuzione dell'opera è stata affidata ad una società di carattere generale che successivamente ha subappaltato la parte legno ad una piccola realtà imprenditoriale che ha curato la parte progettuale e realizzativa della copertura.

La struttura (rappresentata dalle figure che seguono) ha un interasse tra l'orditura primaria di 10.1 m con una luce di 72 m; gli elementi in legno poggiano su colonne in cemento armato. Nelle figure seguenti si vuol dare una panoramica circa le caratteristiche della struttura (da fig. 5.6 a fig. 5.9).

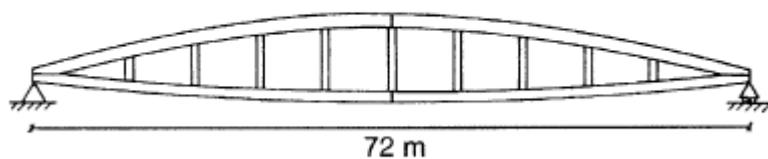


Fig. 5.6 – Tipologia strutturale - Siemens Super Arena



Fig. 5.7– Profilo dell'opera post collasso- Siemens Super Arena



Fig. 5.8 – Interno dell'opera prima del collasso- Siemens Super Arena



Fig. 5.9 – Tralicci (particolare – appoggio su colonne in cemento armato) - Siemens Super Arena

In relazione ai nodi, gli elementi sono giuntati tra di loro e ai plinti in c.a. mediante circa 170 tasselli di diametro 12 mm, posti a 2+2 in lastre di acciaio.

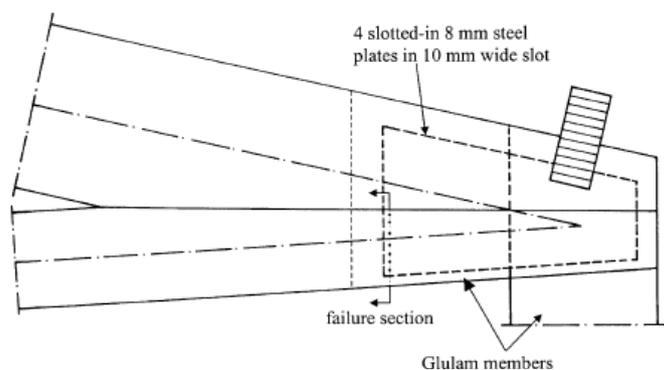


Fig. 5.10 – Dettaglio del nodo

La struttura era stata progettata per un peso proprio di $0,5 \text{ kN/m}^2$, un carico imposto derivante da attrezzature e illuminazione di $0,4 \text{ kN/m}^2$, un carico da neve di $0,8 \text{ kN/m}^2$ e vento. Nel corso della vita della struttura è bene precisare che i carichi non sono mai stati superiori a $0,6 \text{ kN/m}^2$ (incluso il peso proprio della struttura).

5.4.1.1 Il collasso dell'opera

Il mattino del 3 Gennaio del 2003 il traliccio posto in corrispondenza della linea 4 cadde improvvisamente a terra. Fortunatamente il crollo fu solo parziale in quanto i tralicci lungo le linee 2 e 5 non subirono la stessa fine. I termini di sicurezza nei confronti di crolli progressivi sono normalmente assicurati rendendo la struttura ridondante, ma nel presente caso la struttura secondaria fu staticamente determinante: le travi del tetto che collegano le varie capriate infatti non erano continue, ma semplicemente delle spezzate appoggiate sulle stesse capriate.

Tale soluzione, sicuramente discutibile in termini di aderenza ai principi di calcolo internazionale, fu comunque efficace nel non trasferire gli ulteriori carichi agli altri elementi rimasti in piedi.

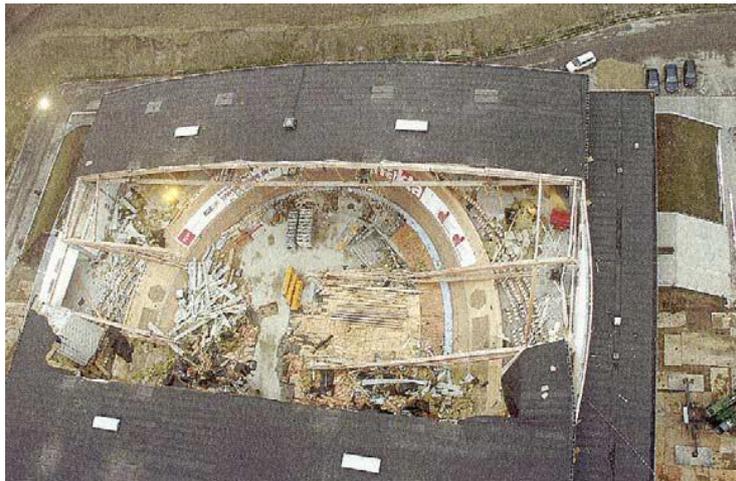


Fig. 5.11 – Foto dall'alto a seguito del collasso parziale dell'opera

5.4.1.2 Approfondimenti tecnici sul crollo

I tecnici incaricati di approfondire le indagini sui motivi del crollo trovarono che il collasso ebbe origine dalla prima fila dei tasselli in corrispondenza del giunto illustrato in figura 5.10. Il motivo principale di un tale accadimento è da imputarsi a errori in fase di

progettazione. Lo strutturista infatti aveva dimensionato inizialmente la struttura, considerando la stessa come piena (a metà campata) ma non aveva poi verificato le relative sezioni in corrispondenza dei nodi alla luce delle riduzioni delle stesse causate dalla presenza della carpenteria metallica.

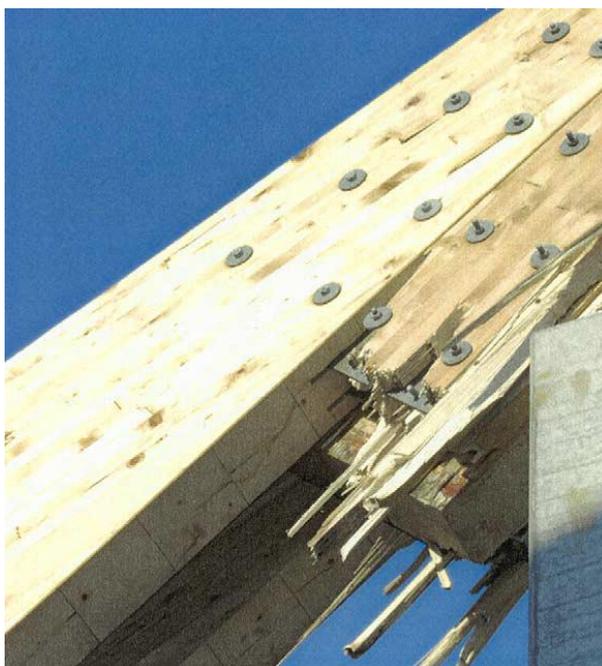


Fig. 5.12 – particolare del giunto a seguito della rottura (avvenuta presumibilmente a trazione parallela alla fibratura)

Per completezza si riportano inoltre ulteriori cause che possono aver influito negativamente sulla realizzazione complessiva dell'opera (seppur in modo marginale rispetto agli errori progettuali):

- Alcuni degli elementi strutturali in legno lamellare non risultavano in linea con le prestazioni dichiarate dal produttore: i nodi in alcune lamelle erano più grandi di $1/3$ rispetto a quanto permesso dalla relativa regola di classificazione;

- Due elementi di cui uno crollato a terra presentavano un incollaggio non sufficiente, soprattutto per mancanza di catalizzatori e quindi particolarmente sensibili all'umidità;
- Progetto non corretto nel considerare la stabilità laterale della struttura.

5.4.1.3 Consolidamento della struttura (cenni)

Il consolidamento della struttura è stato realizzato attraverso la posa di elementi in acciaio, trasferendo le forze dalle estremità degli archi, bypassando il punto debole dei nodi, come altresì meglio illustrato in fig. 5.13.

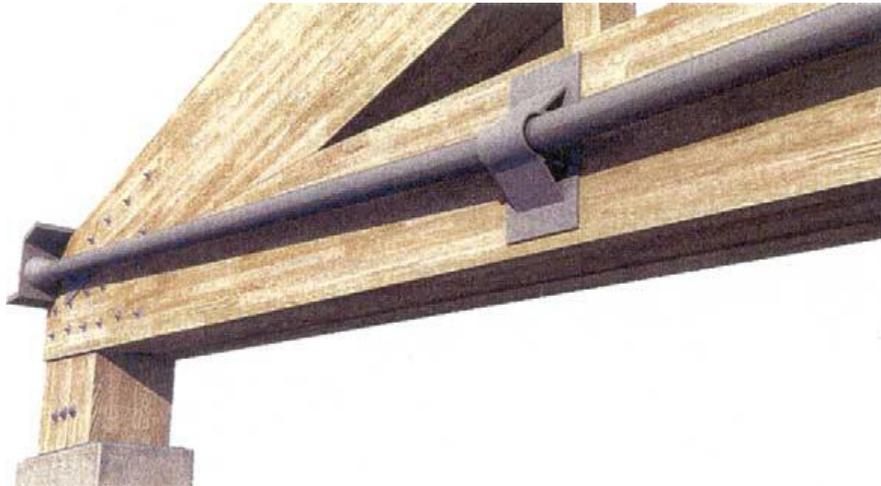


Fig. 5.13 – Consolidamento e recupero della struttura della Siemens Super Arena

5.4.2 Sala Espositiva – Padiglione Jyväskylä (Finlandia)

La sala espositiva “B2” del Padiglione Jyväskylä ha una superficie totale di 5600 m² ed è stata aperta al pubblico due settimane prima del collasso della struttura.

La struttura del tetto è realizzata con un sistema di elementi in legno lamellare aventi una luce di 52 m, un'altezza complessiva di 4.8 m e un'interasse di 9.0 m (come da figura 5.14). Tali elementi poggiano su colonne in cemento armato. I collegamenti sono

costituiti da due lastre scanalate in acciaio (spessore 8 mm) con lunghezza di 150 mm tassellate con spinotti di diametro 12 mm. Tutti i tasselli sono stati applicati – in sede di prefabbricazione - lungo la faccia interna degli elementi al fine di non renderli visibili per motivi estetici e per rendere conforme la struttura ai criteri antincendio.

Si precisa sin da subito, che tale operazione, rese impossibile un controllo visivo circa la qualità realizzativa e la quantità dei collegamenti una volta che gli elementi prefabbricati lasciarono lo stabilimento produttivo.

Il progetto fu realizzato applicando la versione sperimentale dell'Eurocodice (ENV 1995).

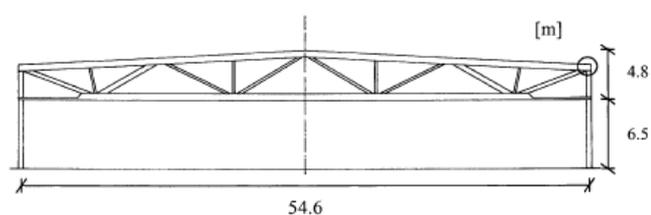


Fig. 5.14 – Sistema strutturale della Sala Espositiva – Pad. Jyväskylä. Con il cerchio è indicato il giunto che successivamente ha provocato il collasso dell'opera

5.4.2.1 Il collasso dell'opera

Sabato 1 Febbraio 2003, la copertura della sala B2 collassò parzialmente. Prima del crollo alcune persone presenti all'interno del fabbricato si accorsero che l'opera non era più sicura causa il cedimento di alcuni controventi e fortunatamente riuscirono ad uscire prima che si verificasse il crollo stesso.

5.4.2.2 Approfondimenti tecnici sul crollo

Il 4 Febbraio, La Finnish Accident Investigation Board (FAIB) decise di iniziare una fase investigativa sull'accaduto.

Gli esperti incaricati evidenziarono quanto di seguito:

- Il carico da neve al momento della rottura era di circa 50 kg/m^3 con condizioni di vento calmo (circa 1.3 m/s). In accordo alle regole di calcolo Finlandesi, il carico da neve da considerarsi nell'area del cantiere era di circa

200 kg/m³; includendo i coefficienti di sicurezza la copertura sarebbe stata in grado di sopportare un carico di 390 kg/m³.

- All'interno del giunto da dove si è propagato il collasso erano presenti solo 7 dei 33 spinotti richiesti dal progetto esecutivo dell'opera.
- Il posizionamento degli spinotti non rispecchiava quanto era invece indicato negli elaborati progettuali (alcuni spinotti erano addirittura esterni alle piastre di acciaio destinate ad accoglierli).
- I fori per l'accoglimento dei tasselli erano realizzati con profondità variabile e spesso "sovradimensionati"



Fig. 5.15 – Nodo della struttura della Sala Espositiva – Pad. Jyväskylä. - Nodi realizzati in difformità al progetto strutturale

5.5 Ulteriori casi di problematiche riscontrate negli edifici in legno

Di seguito verranno illustrati degli esempi di problematiche riscontrate in alcuni edifici in legno relative in particolare all'aspetto della durabilità dovute ad attacchi da agenti biotici, soprattutto quelli da carie fungina; questo perché le condizioni di umidità del legno all'interno della struttura superano in alcuni punti la soglia del 20% per periodi prolungati. Le possibili cause del manifestarsi di questa condizione possono essere ricondotte a errori

di progetto, errori in fase di cantiere, cause accidentali, mancanza di controllo/manutenzione oppure ad una serie di concause che possono coinvolgere l'insieme delle possibilità precedenti.

5.5.1 Edificio privato (struttura in CLT e legno lamellare)

Si tratta di un edificio a due piani con pareti in CLT e solai tradizionali con travi in legno lamellare e sovrastante caldana in cls alleggerito. I proprietari segnalano la probabile presenza di insetti in una zona che aveva precedentemente sofferto di una perdita d'acqua dal terrazzo soprastante. Indagini successive identificano la presenza di volumi degradate nella zona segnalata. La scopertura successiva del pannello fa emergere un forte degrado al di sotto di una finestra dalla quale si era probabilmente infiltrata acqua; da segnalare che non sono immediatamente osservabili errori nella progettazione, nemmeno perdite d'acqua o accumuli nel corso del montaggio della struttura (Fig. 5.16 e Fig. 5.17).



Fig. 5.16 - Vista facciata esterna
(fonte: CNR-IVALSA)



Fig. 5.17 - Parete in CLT in corrispondenza della finestra - (fonte: CNR-IVALSA)

5.5.2 Scuola pubblica (struttura in CLT)

In questo caso si tratta di una scuola primaria avente struttura in CLT ad un solo piano. Pochi mesi dopo l'inaugurazione si manifestano preoccupanti segni di marcescenze diffuse, in alcuni casi diffusissime. Le pareti in CLT poggiano direttamente sul piano di fondazione, senza cordoli di rialzo; presenza di acqua liquida sotto l'impiantito, trasportata in alto dal pannello in CLT stesso. In pochi mesi si sono evidenziate marcescenze fino a 2 metri in altezza (Fig. 5.18 a-b-c).



Fig. 5.18 - a



Fig. 5.18 - b



Fig. 5.18 - c

Dettagli del degrado diffuso delle pareti in CLT dovuto alla presenza di acqua in corrispondenza dell'appoggio alla fondazione in c.a e all'assenza del cordolo di rialzo. - (fonte: CNR-IVALSA)

5.5.3 Progetto C.A.S.E. – L'Aquila (struttura in CLT)

A Settembre 2014 avviene il crollo improvviso di un balcone in una palazzina del Progetto C.A.S.E. a Cese di Preturo (AQ). La causa è da imputarsi all'accumulo di acqua sul solaio del balcone nelle zone maggiormente esposte ai venti principali e quindi a pioggia obliqua. L'acqua piovana è penetrata attraverso le staffe di sostegno delle ringhiere e si è accumulata nel pannello in CLT che, quasi perfettamente sigillato, non ha avuto la possibilità di asciugarsi (Fig.5.19 a-b).



Fig. 5.19 - a



Fig. 5.19 - b

Dettagli del balcone crollato in una palazzina del Progetto C.A.S.E. a Cese di Preturo (AQ) (fonte: CNR-IVALSA)

Le Appendici

Per una migliore comprensione circa gli iter da definire per l'accettazione del materiale in cantiere e per la progettazione degli elementi in relazione alle caratteristiche di durabilità del materiale, si riportano brevi appendici aventi un taglio tecnico-pratico in modo da fornire ai professionisti e aziende del settore alcuni spunti per una migliore esecuzione del costruito, al fine di tenere in considerazione sia le caratteristiche ingegneristiche che tecnologiche del materiale legno.

6. Appendice A:

I Controlli di accettazione in cantiere

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 del testo si vuol quindi fornire una panoramica circa i principali criteri per l'accettazione in cantiere dei materiali alla luce di quelli che saranno i nuovi adempimenti definiti nel testo della revisione delle Norme Tecniche per le costruzioni. A tal proposito ripercorrendo il nuovo paragrafo 11.7 si riportano dei chiarimenti atti ad una implementazione del nuovo testo normativo in ambito produttivo e professionale.

Nella presente appendice non si prendono in considerazione gli aspetti di dimensionamento e verifica come definito nei pertinenti paragrafi delle NTC.

6.1 GENERALITÀ

E' innanzitutto bene precisare come la Norma tecnica è indirizzata alle distinte fasi di progettazione, posa/installazione, collaudo e manutenzione delle "Opere" ed in particolare degli elementi (strutturali) che prioritariamente assicurano e/o contribuiscono alla sicurezza delle opere stesse, anche in concomitanza ad eventi eccezionali di origine naturale o accidentale.

Il nuovo testo del par. 11.1 riprende, aggiornando le Norme con quanto previsto dal Reg. UE n. 305/2011 e s.m.i., quanto precedentemente proposto dal DM 14.01.2008 per quanto riguarda le modalità di qualificazione ed identificazione dei materiali e prodotti.

In particolare, le casistiche entro le quale 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).

Innanzitutto si pone in evidenza come il nuovo testo delle NTC precisi che l'obbligo di denuncia attività per i centri di lavorazioni e da ritenersi cogente sia nel caso di trasformazione di prodotti marcati CE sia di prodotti oggetto di qualificazione nazionale.

6.2 COEFFICIENTI DI VARIAZIONE E COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA

La nuove Norme dispongono al paragrafo 4.4.6 due diverse colonne dedicate ai coefficienti parziali di sicurezza, denominate come colonna "A" e colonna "B", distinte in funzione dei coefficienti di variazione della resistenza.

| Stati limite ultimi | Colonna A γ_M | Colonna B γ_M |
|--|-------------------------|-------------------------|
| Combinazioni Fondamentali | | |
| Legno massiccio | 1,50 | 1,45 |
| Legno lamellare incollato | 1,45 | 1,35 |
| Pannelli di tavola incollate a strati incrociati | 1,45 | 1,35 |
| Pannelli di particelle o di fibre | 1,50 | 1,40 |
| LVL, compensato, pannelli di scaglie orientate | 1,40 | 1,30 |
| Unioni | 1,50 | 1,40 |
| Combinazioni eccezionali | 1,00 | 1,00 |

Tab. 6.1 – Valori γ_M per le proprietà dei materiali

Si possono assumere i valori riportati nella colonna B della stessa tabella, per produzioni continuative di elementi o strutture, soggette a controllo continuativo del materiale dal quale risulti un coefficiente di variazione (rapporto tra scarto quadratico medio e valor medio) della resistenza non superiore al 15%.

A tal proposito si riporta come la JCSS (Joint Committee on Structural Safety), riporta coefficienti di variazione del 15% per le produzioni oggetto di marcatura CE, come inoltre riportato nella seguente tabella:

| | Distribuzione | COV |
|----------------------------------|---------------|-----|
| Resistenza a flessione (R_m) | Lognormal | 15% |
| Modulo Elastico (E_m) | Lognormal | 13% |

Tab. 6.2 – Metodo probabilistico per le proprietà degli assortimenti strutturali in legno – Fonte: JCSS
PROBABILISTIC MODEL CODE - Part 3: RESISTANCE MODELS

A tal proposito anche la Circolare Esplicativa al nuovo testo (al momento della redazione della presente pubblicazione) riporta quanto segue per il cap. C11.7:

*“Qualora non siano applicabili le **procedure di marcatura CE, per le quali si applicano i modelli probabilistici della JCSS (Joint Committee on Structural Safety)**, il produttore deve assicurare un sistema di controllo della costanza della prestazione tale da poter attribuire al prodotto ai coefficienti parziali di sicurezza di cui al par. 4.4.6 delle NTC”*

Quindi, in altre parole e in termini semplicistici:

- Le nuove norme definiscono diversi coefficienti di sicurezza in funzione del Coefficiente di variazione dedicato a quella tipologia di prodotto;
- La JCSS definisce Coefficienti di Variazione, per elementi oggetto di controllo in fabbrica in accordo alle specifiche tecniche armonizzate applicabili, tali da poter assimilare ai materiali inclusi entro tali controlli (marcatura CE) i coefficienti indicati alla colonna “B”;
- Per i materiali e prodotti oggetto di qualificazione nazionale, il produttore deve assicurare un sistema di controllo della qualità tale per cui deve essere possibile calcolare il relativo Coefficiente di Variazione sulle prestazioni meccaniche. In alternativa e in mancanza di tale Coefficiente di Variazione vengono applicati i coefficienti della Colonna “A”.

A titolo di completezza si riporta infine che i coefficienti k_{mod} sono armonizzati con quanto previsto nei pertinenti Codici di Calcolo Europei.

6.3 I CONTROLLI DI ACCETTAZIONE – DOCUMENTAZIONE ACCOMPAGNATORIA

A tal proposito si riporta quanto definito dal nuovo testo di legge:

“Tutte le forniture di legno strutturale devono essere accompagnate da:

- *una copia della documentazione di marcatura CE, secondo il sistema di valutazione e verifica della costanza della prestazione applicabile al prodotto, oppure copia dell’attestato di qualificazione o del certificato di valutazione tecnica rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale;*
- *Dichiarazione di Prestazione di cui al Regolamento (UE) n. 305/2011 oppure dichiarazione resa dal Legale Rappresentante dello stabilimento in cui vengono riportate le informazioni riguardanti le caratteristiche essenziali del prodotto ed in particolare: la 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*

Nel caso di prodotti provenienti da un centro di lavorazione, oltre alla suddetta documentazione, le forniture devono accompagnate 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;”*

Inoltre la Circolare Esplicativa recita quanto segue al par. C11.7.10.1.2:

“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 (casistiche A; B; 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.”

Quindi di seguito e in via schematica si riportano, per ogni prodotto maggiormente diffuso a livello commerciale, i principali riferimenti normativi dedicati a definirne la conformità e la relativa documentazione accompagnatoria:

| 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 resa dal Legale Rappresentante | 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 resa dal Legale Rappresentante | |
| KVH | Certificato CE secondo EN 15497 e Dichiarazione di Prestazione resa dal Legale Rappresentante | |
| 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 Direttore Tecnico di Produzione attestante le caratteristiche essenziali del prodotto;
- Attestato come centro di lavorazione; Dichiarazione resa dal Direttore Tecnico di Produzione inerente la descrizione delle lavorazioni eseguite.

(2) In alternativa 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 Direttore Tecnico di Produzione attestante le caratteristiche essenziali del prodotto;
- Attestato di qualificazione come centro di lavorazione;
- Dichiarazione resa dal Direttore Tecnico del centro di lavorazione inerente la descrizione delle lavorazioni eseguite.

Tab. 6.3 – Documentazione accompagnatoria per i prodotti di maggiore diffusione commerciale

6.4 I CONTROLLI DI ACCETTAZIONE – IL LEGNO MASSICCIO

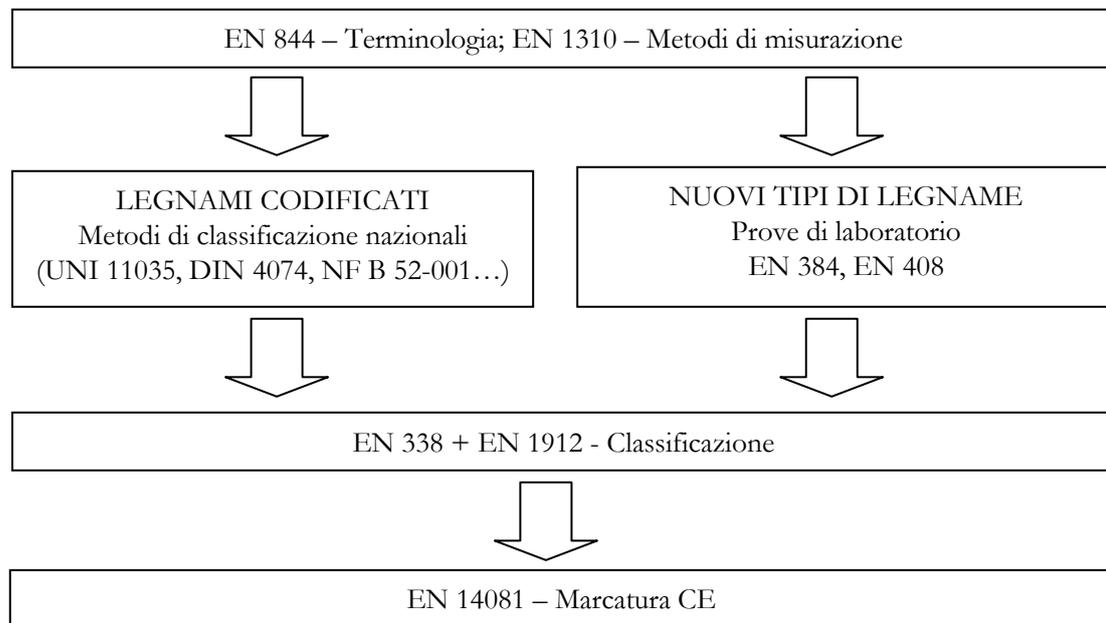
Il nuovo corpo normativo delle Norme Tecniche per le Costruzioni riporta al par. 11.7.10.2 “Controlli di accettazione in cantiere” la seguente dicitura, riprendendo quanto indicato dalla UNI TR 11499/2013 “Legno strutturale - Linee guida per i controlli di accettazione in cantiere”:

“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”

Di seguito in forma schematica si riportano indicazioni per quanto riguarda la scelta della regola di classificazione da utilizzare e i principi con cui effettuare tale selezione.

6.4.1 LEGNO MASSICCIO A SEZIONE RETTANGOLARE – 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. Il valore di riferimento che viene riportato nei profili prestazionali è un “valore caratteristico”, ovvero elaborato 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).



Tab. 6.4 – Norme applicabili al processo di classificazione secondo la resistenza con metodi a vista

6.4.2 SCELTA DEL METODO 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 breve tabella, desunta dalla UNI EN 1912:2012 “Legno strutturale - Classi di resistenza - Assegnazione delle categorie visuali e delle specie”, che possa dare indicazione 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 Picea Abies (PCAB) | CNE EUROPA | DIN 4074-1 | S7, S10, S13 | C18, C24, C30 |
| | ITALIA | UNI 11035-1/2 | S3, S2, S1 | C18, C24, _{FLA} C30* |
| | FRANCIA | NF B 52-001 | ST III, ST II, ST I | C18, C24, C30 |
| Abete Bianco Abies Alba (ABAL) | CNE EUROPA | DIN 4074-1 | S7, S10, S13 | C16, C24, C30 |
| | ITALIA | UNI 11035-1/2 | S3, S2, S1 | C18, C24, _{FLA} C30* |
| | FRANCIA | NF B 52-001 | ST III, ST II, ST I | C18, C24, C30 |
| Abete Rosso, Abete Bianco Picea Abies, Abies Alba (WPCA) | CNE EUROPA | DIN 4074-1 | S7, S10, S13 | C16, C24, C30 |
| | ITALIA | UNI 11035-1/2 | S3, S2, S1 | C18, C24, _{FLA} C30* |
| | FRANCIA | NF B 52-001 | ST III, ST II, ST I | C18, C24, C30 |
| Douglasia Pseudotsuga Menziesii (PSMN) | GERMANIA | DIN 4074-1 | S7, S10, S13 | C16, C24, C35 |
| | ITALIA | UNI 11035-1/2 | S1, S2, S2&better | C30, C22, _{FLA} C24* |
| | FRANCIA | NF B 52-001 | ST III, ST II | C18, C24 |
| Rovere Quercus Petraea Quercus Robur (QCXE) | GERMANIA | DIN 4074-5 | LS 10 | D30 |
| | FRANCIA | NF B 52-001 | 3, 2, 1 | D18, D24, D30 |
| Larice Larix Decidua (LADC) | ITALIA | UNI 11035-1/2 | S3, S2 | C18, C22 |
| | CNE EUROPA | DIN 4074-1 | S7, S10, S13 | C16, C24, C30 |

| Specie legnosa | Provenienza | Norma di classificazione | Categoria | Classe di resistenza |
|--|---------------|--------------------------|---------------------|---|
| | FRANCIA | NF B 52-001 | ST III, ST II, ST I | C18, C24, C27 |
| Pino Silvestre Pinus Sylvestris (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 Pinus nigra subs. Laricio (PNNL) | ITALIA | UNI 11035-1/2 | S3, S2 & better | C14, C24 |
| Castagno Castanea Sativa (CTST) | ITALIA | UNI 11035-1/2 | S | D24, _{FLA} D27*, _{FLA} C30* |

Tab. 6.5 – 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 IVALSÀ per conto di FederlegnoArredo al fine di valorizzare le specie italiane;
- Con la sigla “CNE” si intende l’acronimo di Centro Nord Est Europa.

6.4.3 NORME DI CLASSIFICAZIONE E 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).

6.4.4 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.

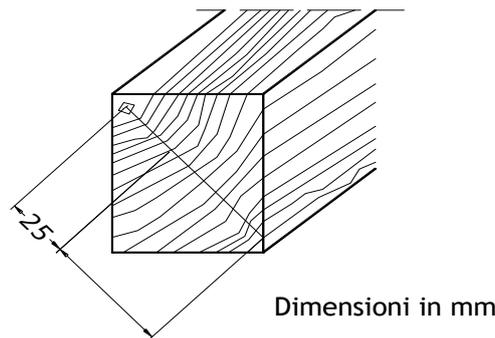


Fig. 6.1 – Misurazione dell'ampiezza degli anelli di accrescimento secondo EN 1310; si considera il valore medio misurato su almeno 10 anelli escludendo quelli a meno di 25 mm dal midollo (se presente).

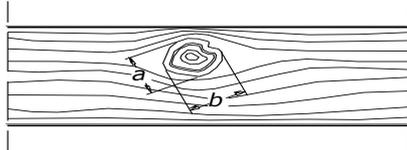
Nodi. I nodi rappresentano l'inclusione della parte basale di un ramo all'interno di un fusto. Esistono due tipologie prevalenti:

- 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)

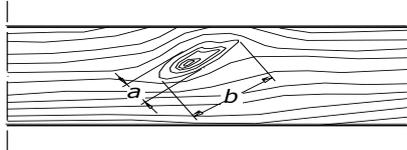
- e durante il successivo accrescimento dell'albero è stato inglobato dal legno circostante;
- nodi aderenti (nodi sani) sono invece quelli in cui c'è continuità tra il legno del nodo e quello del fusto, e derivano dall'inclusione di rami ancora vivi.

I nodi possono avere forma e dimensioni molto diverse: le Figure 6.2.A – 6.2.C illustrano alcune tipologie di nodo e le relative modalità di misurazione secondo EN 1310, mentre la Figura 6.2.D descrive l'influenza di un nodo (sano o cadente non fa differenza) sulla sezione resistente dell'elemento. 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 ininfluenti sulla resistenza meccanica.

Nodo rotondo

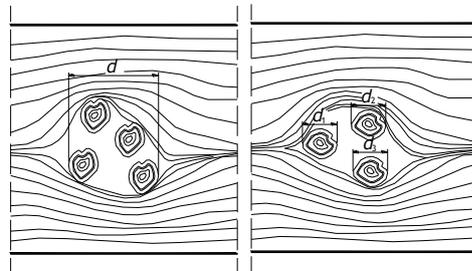


Nodo ovale



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

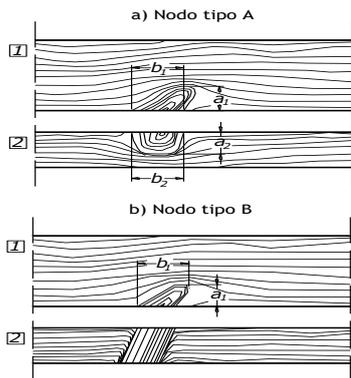
Figura 6.2.A: Misurazione di nodi singoli secondo EN 1310



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

Figura 6.2.B: Misurazione di gruppi di nodi (EN 1310)

Nodo sullo spigolo



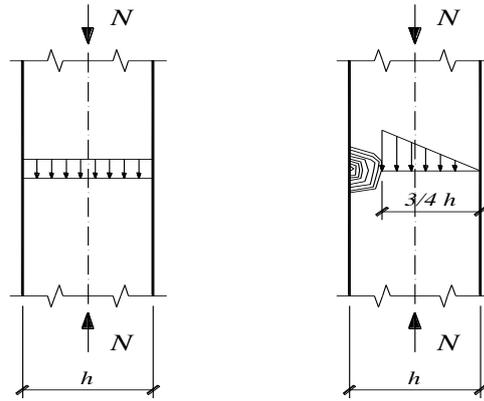
diametro $d = \frac{a_1 + b_1}{2}$
sulla faccia (nodo tipo A e nodo tipo B)

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

Legenda

- ☐ Sulla faccia
- ☒ Sul bordo (nodo tipo B: non misurato)

Figura 6.2.C: Definizione e misurazione di nodi singoli sul bordo secondo EN 1310



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

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

Figura 6.2.D: Influenza di un nodo sulla resistenza di un elemento strutturale; la distribuzione delle tensioni cambia e la tensione applicata aumenta.

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 del cuore 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 diritta 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 $f_{m,\alpha,k}$ in funzione dell'angolo α di deviazione della fibratura rispetto all'asse longitudinale dell'elemento (Tabella 6.6). Una fibratura leggermente inclinata può prodursi anche a partire da legno con fibratura perfettamente diritta, 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).

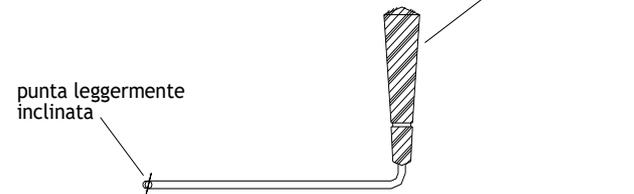
| pendenza | 0 | 1:25 | 1:20 | 1:15 | 1:10 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|
| $f_{m,\alpha,k} / f_{m,k}$ | 1,00 | 0,88 | 0,86 | 0,78 | 0,62 |

Tab. 6.6 - 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

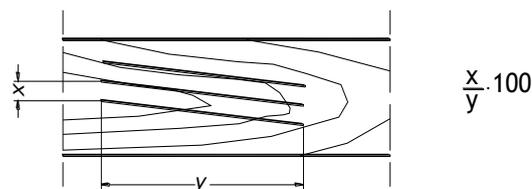
Secondo la norma EN 1310 l'inclinazione della fibratura può essere misurata sulla faccia di un elemento di legno con una punta per tracciare, munita di un braccio e di un'impugnatura mobile (vedi Figura 6.3). L'esperienza pratica dimostra però che questo metodo risulta spesso poco attendibile, per cui per una valutazione più precisa dell'angolo di inclinazione della fibratura si consiglia di valutare, quando si manifestano, l'andamento delle fessurazioni da ritiro.

Inclinazione della fibratura

Punta per tracciare



Uso della punta per tracciare



x è la deviazione della fibratura, in mm;
 y è la lunghezza sulla quale è stata effettuata la misurazione, in mm.

Fig. 6.3 - Metodo per la misurazione dell'inclinazione della fibratura (EN 1310). In alto particolare dell'utensile; in basso uso dell'utensile

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 6.4).

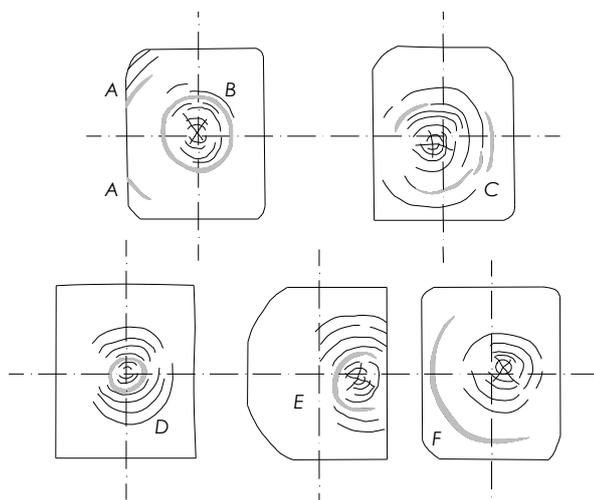


Fig. 6.4 - Modalità secondo le quali può presentarsi la cipollatura (da UNI 11035. A = cipollatura affiorante; B = cipollatura completa e inclusa; C = cipollatura multipla; D = cipollatura ammissibile; E = cipollatura inammissibile per eccessiva eccentricità; F = cipollatura inammissibile per eccessivo diametro)

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 fibre), 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 14) presentano alcune similitudini, tuttavia essi differiscono per molte particolarità.

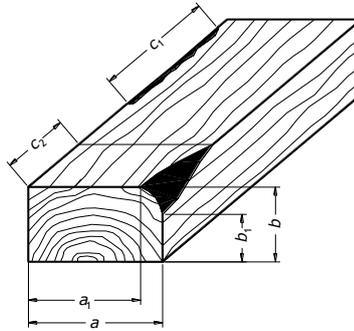
| | Legno di compressione (Conifere) | Legno di tensione (Latifoglie) |
|---------------|---|--|
| Composizione | più lignina | più cellulosa |
| Colore | rosso scuro | bianco, cotonoso |
| Ritiri | assiale molto elevato; radiale e tangenziale inferiore al normale | assiale elevato; radiale e tangenziale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

Tab. 6.7 - 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



$$w_f = \frac{a - a_1}{a}$$

$$w_e = \frac{b - b_1}{b}$$

- 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 lunghezza dello smusso, in cm oppure in percentuale della lunghezza.

Fig. 6.5 – Misurazione dello smusso

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.

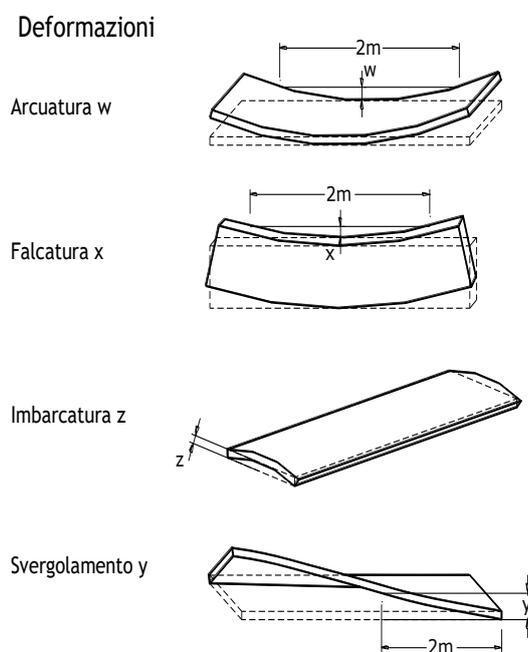


Fig. 6.6 – Diverse tipologie di deformazioni che possono manifestarsi su una tavola nel corso della stagionatura/essiccazione del legno

6.4.5 NORMA UNI 11035-1/2: 2010

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).

| DIFETTI | CONIFERE 1 | | | CONIFERE 2 | | LATIFOGLIE |
|---|--|--|---------------|--|---------------------------------|--|
| | S1 | S2 | S3 | S1 | S2/S3 | S |
| Smussi (1) | $s \leq 1/4$ | $s \leq 1/3$ | $s \leq 1/3$ | $s \leq 1/4$ | $s \leq 1/3$ | $s \leq 1/3$ |
| Nodi singoli (2) | $A \leq 1/5$ $d < 50$ mm | $A \leq 2/5$ $d < 70$ mm | $A \leq 3/5$ | $A \leq 1/5$ $d < 50$ mm | $A \leq 3/5$ | $A \leq 1/2$ $d \leq 70$ mm, $D \leq 150$ mm |
| Nodi raggruppati (3) | $Ag \leq 2/5$ | $Ag \leq 2/3$ | $Ag \leq 3/4$ | $Ag \leq 2/5$ | $Ag \leq 3/4$ | $Ag \leq 1/2$ t ≤ 70 mm |
| Ampiezza anelli | ≤ 6 mm | ≤ 15 mm | | Non specificata | | |
| Massa volumica | Non specificata | | | $\rho > 380$ kg/m ³ | | $\rho > \rho_{\min}$ (4) |
| Incl. fibratura | $\leq 1:14$ | $\leq 1:8$ | $\leq 1:6$ | $\leq 1:14$ | $\leq 1:8$ | $\leq 1:6$ |
| Fessurazioni - da ritiro - cipollatura - lesioni | non pass. non amm. non amm. | ammesse con limit. ammessa con limit.(6) non ammesse | | ammesse non amm. non amm. | ammesse non amm. non amm. | con limitazioni (5) con limitazioni (6) non ammesse |
| Degrado da funghi - azzurramento - carie | ammesso non ammesse | | | | | |
| Legno di reazione | $\leq 1/5$ | $\leq 2/5$ | $\leq 3/5$ | $\leq 1/5$ | $\leq 3/5$ | 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 |

-
- (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 A_g 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 q_{min} : 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 r_{max} 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. Latifolia: La cipollatura è ammessa se $r_{max} < b/3$ ed $\varepsilon < b/6$. Di norma non ammessa. Solo per Castagno/Italia, si considerano: il rapporto r_{max} 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 $r_{max} < b/3$ ed $\varepsilon < b/6$.
- (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).
-

Tab. 6.8 – UNI 11035-2 regole di classificazione

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 Latifolia trova applicazione attualmente solo per il Castagno

6.4.6 NORMA DIN 4074-1: 2012

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 | $\Lambda \leq 3/5$ | $\Lambda \leq 2/5$ | $\Lambda \leq 1/5$ |
| 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 | $\leq 12\%$ | $\leq 12\%$ | $\leq 7\%$ |
| Fessurazioni | | | |
| - da ritiro (b) | ammesse $\leq 1/2$ | ammesse $\leq 1/2$ | ammesse $\leq 2/5$ |
| - Da gelo/fulmine e cipollature | non ammesse | non ammesse | non ammesse |
| Degrado da funghi | ammesso | | |
| - azzurramento | non ammesse | | |
| - carie | 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) | 8 mm / 2 m lung. | | |
| - arcuatura | 8 mm / 2 m lung. | | |
| - falcatura | 1 mm / 25 mm larg. | | |
| - svergolamento | 1 mm / 25 mm larg. | | |
| - | 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 ($u > 20\%$)

Tab. 6.9 – DIN 4074-1 regole di classificazione

6.4.7 NORMA DIN 4074-5: 2008

La norma in questione si applica al legname di latifolia, 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 | $s \leq 1/3$ | $s \leq 1/3$ | $s \leq 1/4$ |
| Nodi singoli | $A \leq 3/5$ | $A \leq 2/5$ | $A \leq 1/5$ |
| Per la Quercia | $A \leq 3/5$ | $A \leq 2/5$ | $A \leq 1/6$ |
| Ampiezza anelli | Nessuna limitazione | | |
| Incl. Fibratura (a) | $\leq 16\%$ | $\leq 12\%$ | $\leq 7\%$ |
| Fessurazioni - da ritiro (c) - Da gelo/fulmine e cipollature | ammesse $\leq 3/5$ non ammesse | ammesse $\leq 1/2$ non ammesse | ammesse $\leq 2/5$ non ammesse |
| Degrado da funghi - azzurramento - carie | ammesso non ammesse | | |
| Rosato (inizio di carie) | $\leq 3/5$ | $\leq 2/5$ | $\leq 1/5$ |
| 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 ($u > 20\%$)

Tab. 6.10 – DIN 4074-5 regole di classificazione

6.4.8 NORMA NF B 52-001: 2011

La norma si applica al legno proveniente dalle foreste francesi (comprese quelle in area tropicale). La versione in vigore è quella del 2011 a cui sono stati aggiunti vari aggiornamenti (l'ultimo è quello del 2016).

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 è 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 52-001:2011 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.

| Sezione | ST I | ST II | | ST III | |
|--|---|---|---|---|---|
| | $\leq 20.000 \text{ mm}^2$ | $\leq 20.000 \text{ mm}^2$ | $>20.000 \text{ mm}^2$ | $\leq 20.000 \text{ mm}^2$ | $> 20.000 \text{ mm}^2$ |
| Ampiezza anelli | $\leq 6 \text{ mm}$ | $\leq 8 \text{ mm}$ | | $\leq 10 \text{ mm}$ | |
| Diametro dei nodi sulla faccia (l) | $\varnothing \leq 30 \text{ mm}$ e $\varnothing \leq 1/6$ di l | $\varnothing \leq 50 \text{ mm}$ e $\leq 1/2$ della larghezza | | $\varnothing \leq 100 \text{ mm}$ $\varnothing \leq 3/4$ della larghezza | |
| Diametro dei nodi sul lato (e) | $\varnothing \leq 2/3$ di e e $\varnothing \leq 40 \text{ mm}$ | $\varnothing \leq 2/3$ di e e $\varnothing \leq 40 \text{ mm}$ | $\varnothing \leq 2/3$ di e e $\varnothing \leq 80 \text{ mm}$ | $\varnothing \leq 2/3$ di e e $\varnothing \leq 40 \text{ mm}$ | $\varnothing \leq 2/3$ di e e $\varnothing \leq 80 \text{ mm}$ |
| Fessure passanti | Lunghezza della fessura \leq a due volte la larghezza del pezzo | | | Lunghezza della fessura \leq a 600 mm | |
| Fessure non passanti | Lunghezza della fessura \leq 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 $< 100 \text{ cm}$ | | | |
| 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 | $< 10 \text{ mm}$ | | | $< 20 \text{ mm}$ | |
| Falcatura | $< 8 \text{ mm}$ | | | $< 12 \text{ mm}$ | |
| Svergolamento | Fino a 1 mm ogni 25 mm di larghezza | | | Fino a 2 mm ogni 25 mm di largh. | |

Tab. 6.11 – NF B 52-001 regole di classificazione (Abete)

6.4.9 Esempi

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:



Fig. 6.7 - Nodo singolo sulla faccia

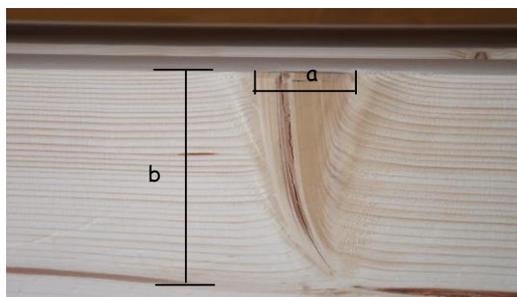


Fig. 6.8 - Nodo singolo sul bordo (a: diametro più piccolo; b: faccia su cui rapportare la misura a)

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.



Fig. 6.9 – 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.

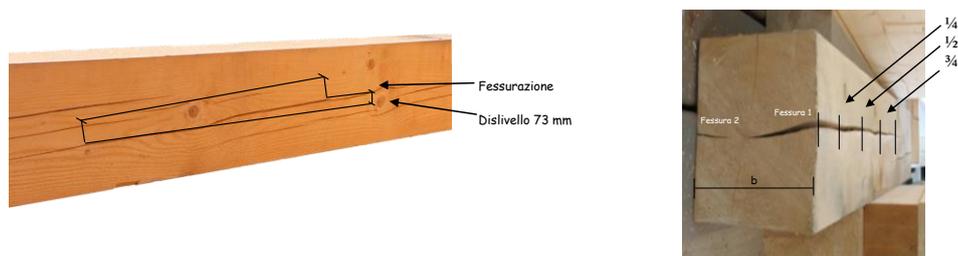


Fig. 6.10 – Inclinazione della fibratura e profondità della fessura

- **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.



Fig. 6.11 – Azzurramento

Fig. 6.12.I – Canastro sulla sezione trasversale, riconoscibile per il colore brunastro che segue gli anelli di accrescimento.

- **Attacchi di insetti secondo UNI 11035-2**

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 nerastrati, 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).

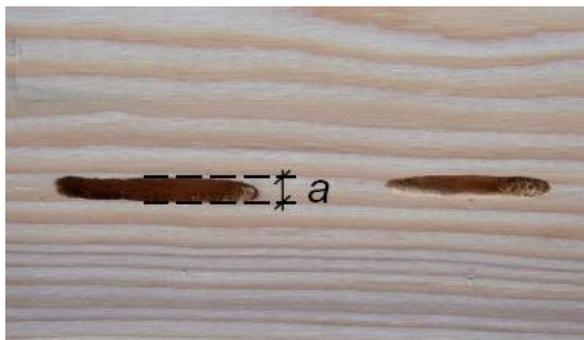


Fig. 6.12:II – Attacco di insetto; misura della galleria (a) e successiva comparazione dei valori con quanto previsto dalla norma.

6.4.10 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 il 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.

6.4.11 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 del 2.2.2009, 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 sezione trasversale, 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 delle lunghezze), superando così le difficoltà dovute alle prescrizioni normative definite nella Circolare Esplicativa del 2.2.2009. Inoltre sempre in merito all'argomento si fa presente che sul mercato e su iniziativa di Assolegno sono stati 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 12/540).

6.4.12 Le Valutazioni Tecniche Europee

Visto 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.

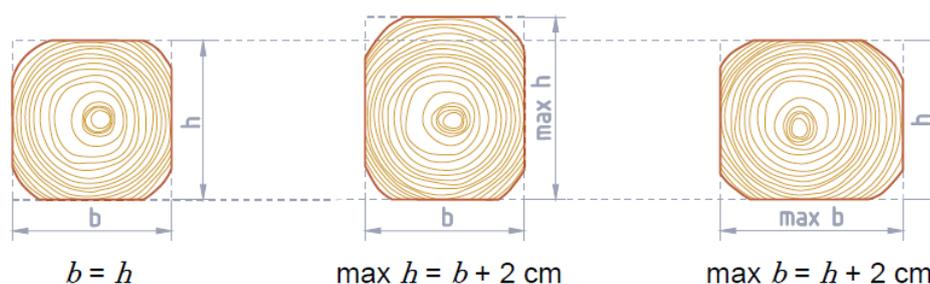


Fig. 6.13.I – Regolarità della sezione trasversale. La differenza tra altezza e larghezza della sezione non deve superare i 2 cm

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 figura illustrativa circa l’eccentricità ammessa del midollo rispetto al centro geometrico della sezione trasversale.

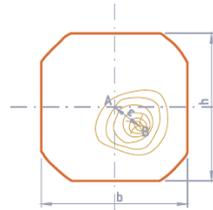


Fig. 6.13.II – Eccentricità massima ammessa del midollo per Uso Fiume e Trieste di Abete e Larice pari al 20%

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.

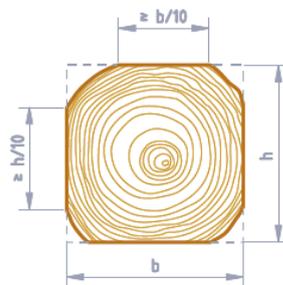


Fig. 6.14 – Lo smusso deve essere compreso tra 1/3 e 9/10 della sezione; per l'uso Fiume di Castagno possono essere ammesse superfici tonde per una lunghezza massima di 0.5 m

Per quanto invece riguarda l'eccentricità si ricorda che:

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

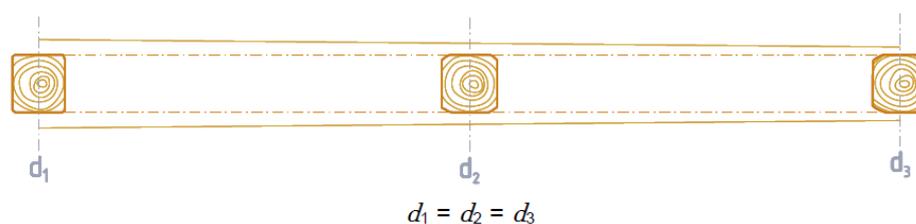


Fig. 6.15 – La sezione trasversale dell'elemento deve essere costante dal “calcio” alla “punta”

- Per l'Uso Trieste (Abete e Larice):

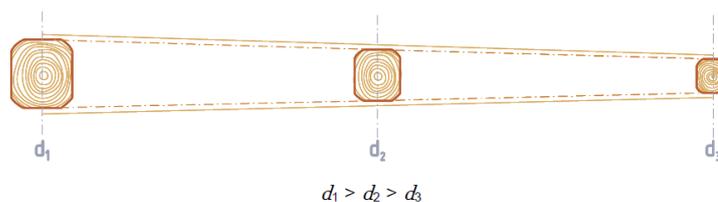


Fig. 6.16 – L'elemento può seguire la rastremazione del fusto con una tolleranza massima pari a 6 mm/m

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 | $A_g \leq 2/3$ |
| Ampiezza anelli | < 6 mm |
| Incl. 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 sez. trasversale | < 2 cm |
| Legno di reazione | $\leq 2/5$ |
| Attacchi di insetti | Permessi con limitazioni (c) |
| Vischio | non ammesso |
| Deformazioni (b) - arcuatura /falcatura - svergolamento - | 10 mm / 2 m lung. 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:

$$r_{\max} \leq b/3 \text{ e } \varepsilon < b/6.$$

Tab. 6.12 – ETA 11/0219 Regole di classificazione Uso Fiume di Abete e Larice

- Uso Trieste di Abete e Larice:

| DIFETTI | UTS/A |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Smussi | $s \leq 9/10$ |
| Nodi singoli | $\Lambda \leq 2/5$ ($d < 70$ mm) |
| Nodi a gruppi | $\Lambda_g \leq 2/5$ |
| Ampiezza anelli | < 6 mm |
| Incl. fibratura | $\leq 12.5\%$ |
| 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 | $< 20\%$ |
| Regolarità della sez. trasversale | < 2 cm |
| Legno di reazione | $\leq 2/5$ |
| 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 | $R \leq 6$ 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 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:

$$r_{\max} \leq b/3 \text{ e } \varepsilon < b/6.$$

Tab. 6.13 – 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 |
| | $f_{t,0,k}$ | 14 | 11 | N/mm ² |
| Trazione | $f_{t,90,k}$ | 0.4 | 0.4 | N/mm ² |
| | $f_{c,0,k}$ | 21 | 18 | N/mm ² |
| Compressione | $f_{c,90,k}$ | 2.5 | 2.2 | N/mm ² |
| | $f_{v,k}$ | 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 |

Tab. 6.14 – 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 riportano le regole di classificazione dedicate all'**Uso Fiume di Castagno** (così come definito nella Valutazione Tecnica Europea 12/0540):

| DIFETTI | UFS/C |
|-----------------------------------|---|
| Smussi | $s \leq 9/10$ |
| Nodi singoli | $A \leq 2/5$ ($d \leq 70$ mm; $D \leq 120$ mm) |
| Nodi a gruppi | $A_g \leq 1/2$ ($t \leq 70$ mm) |
| Ampiezza anelli | Nessuna limitazione |
| Incl. fibratura | $\leq 16.5\%$ |
| 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 sez. 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 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 per cipollatura visibile o probabile è ammessa se:

$$r_{\max} \leq b/3 \text{ e } \epsilon < b/6.$$

Tab. 6.15 – 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 | $f_{m,k}$ | 29 | N/mm ² |
| Trazione | $f_{t,0,k}$ | 16 | N/mm ² |
| | $f_{t,90,k}$ | 0,9 | N/mm ² |
| Compressione | $f_{c,0,k}$ | 23 | N/mm ² |
| | $f_{c,90,k}$ | 7,6 | N/mm ² |
| Taglio | $f_{v,k}$ | 4,0 | N/mm ² |
| Modulo di elasticità | $E_{0,mean}$ | 11,2 | kN/mm ² |
| | $E_{0,05}$ | 9,4 | kN/mm ² |
| | $E_{90,mean}$ | 0,74 | kN/mm ² |
| Modulo a taglio | G_{mean} | 0,70 | kN/mm ² |
| Densità | ρ_k | 504 | kg/m ³ |
| | ρ_{mean} | 570 | kg/m ³ |

Tab. 6.16 – Profili caratteristici Uso Fiume di Castagno

6.4.13 Legno massiccio a sezione rettangolare: Classificazione 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 dei nodi, 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:

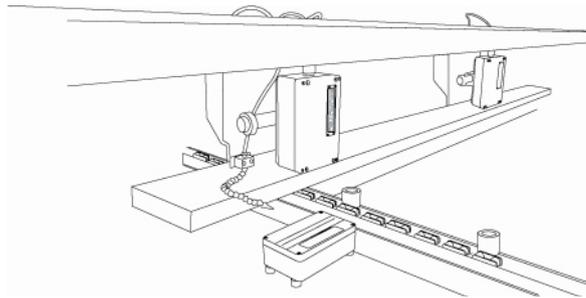


Fig. 6.17 – Misura della densità attraverso la tecnologia dei raggi X (fonte: archivio storico Microtec)

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 definito in figura 6.17).

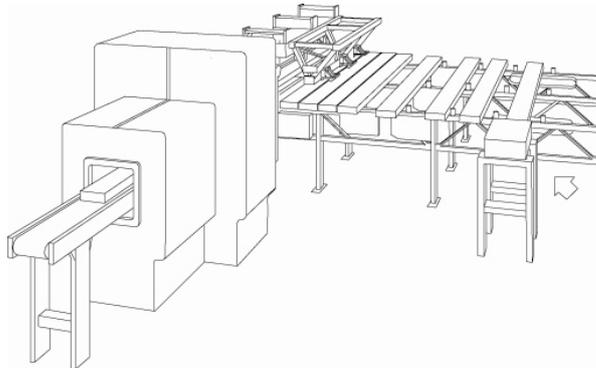


Fig. 6.18 –strumento vibrazionale in combinazione con scanner (vedi strumento a sx dell’immagine- fonte: archivio storico Microtec)

Infine 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 fig. 6.19).

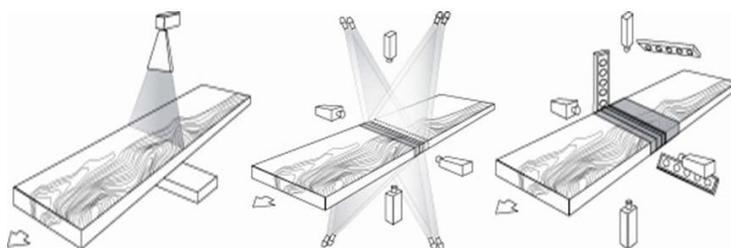


Fig. 6.19 – Raggi X; Laser; “Color Scanning” (fonte: archivio storico Microtec)

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 comportamento del materiale. 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.

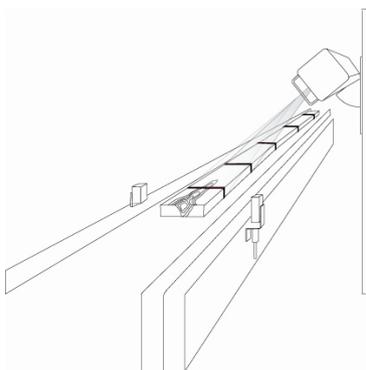


Fig. 6.20 – Misura delle deformazioni del segato (fonte: archivio storico Microtec)

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:

- Al fine di 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 di 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 prossimo testo delle Norme Tecniche per le Costruzioni 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”* (Tab. 6.17):

| 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 1/2 della lunghezza del pezzo, scegliendo il valore minore | Non maggiori di 1 m o di 1/4 della lunghezza del pezzo, scegliendo il valore minimo. |
| | Fessure passanti | Non maggiore di 1m o di 1/4 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 sobbollimento (c) | | La carie soffice non è ammessa; il sobbollimento è ammesso. | La carie soffice non è ammessa; il sobbollimento 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 | | | |

Tab. 6.17 – Visual Override – classificazione a macchina

6.5 IL LEGNO LAMELLARE – I CONTROLLI DI ACCETTAZIONE

In relazione all'argomento il testo delle prossime NTC, riprendendo quanto già in essere nella UNI TR 11499: 2013 definisce i seguenti controlli:

“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).”

In relazione:

- **Alla classificazione secondo la resistenza delle tavole** eseguita in stabilimento, questa può essere desunta dai documenti accompagnatori al materiale medesimo secondo gli esempi e la tabella 6.18 riportata di seguito (per semplicità all'interno del presente manuale si farà riferimento alle classi di lamellare omogeneo “h” rimandando per gli elementi composti alla lettura della UNI EN 14080: 2013). Si fa presente che per una stessa classe di resistenza del legno lamellare incollato (GLxx) possono essere utilizzate diverse classi di resistenza delle tavole in funzione della resistenza dell'incollaggio del giunto a pettine.

Una volta definita la classe di resistenza delle tavole, la Direzione Lavori deve richiedere al fornitore, secondo quanto disposto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni e per quanto applicabile, report specifici dedicati alla caratterizzazione a trazione delle lamelle redatti conformemente alla UNI EN 384 (“Legno strutturale - Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica”). In figura 6.21 si riporta esempio di etichettatura e in figura 6.22 si riporta esempio di report sopra menzionato (prima pagina).

| | |
|---|--------------------|
| CE | |
| 4321 | |
| AnyCo Ltd 12 4321-CPD-00234 | |
| EN 14080:2013 Glued laminated timber Intended to be used in buildings and bridges | |
| Mechanical resistance and resistance to fire as | |
| – geometrical data (mm) | 160 x 800 |
| – strength class | GL 24h |
| Bonding strength as | |
| – strength class | GL 24h |
| – bonding strength test | B |
| Reaction to fire | D-s2, d0 |
| Release of formaldehyde | E1 |
| Durability of bonding strength | |
| – species | <i>Picea abies</i> |
| – adhesive | MUF, Type IGP70S |
| Durability of other characteristics as | |
| – natural durability class(es) against wood destroying fungi | Durability class 5 |

Fig. 6.21 – Etichetta riportata nella documentazione accompagnatoria (EN 14080: 2013 - Figura ZA.5). Nel caso in questione la classe di resistenza dell'elemento è identificata come GL 24h. La classificazione delle tavole è quindi desumibile dalla tabella 6.18 (T14 per l'esempio riportato)

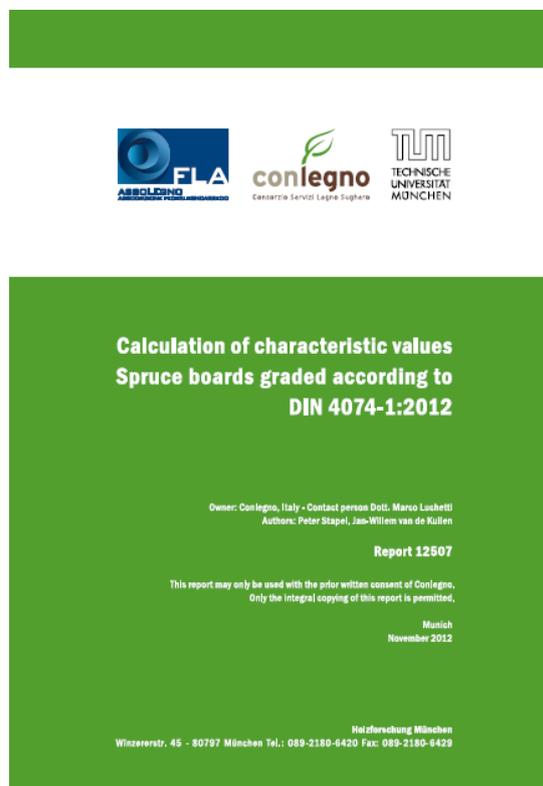


Fig. 6.22 – Report redatto secondo la norma EN 384 per classificare di piatto le tavole con regola DIN 4074-1 (classi “T” come da UNI EN 14080: 2013).

Per quanto riguarda la correlazione tra la classe di resistenza del legno lamellare incollato e la relativa classe di resistenza delle tavole si rimanda alla tabella seguente:

| Classe di resistenza elemento in legno lamellare | Classe di resistenza delle tavole | $f_{m,j,k}$ |
|--|-----------------------------------|-------------|
| GL20h | T10 | 25 |
| GL20h | T11 | 22 |
| GL22h | T13 | 25 |
| GL24h | T14 | 30 |
| GL26h | T16 | 33 |
| GL28h | T18 | 36 |
| GL30h | T21 | 38 |
| GL30h | T22 | 37 |
| GL32h | T24 | 41 |
| GL32h | T26 | 38 |

Tab. 6.18 – Classi di resistenza e resistenza del giunto espressa come resistenza caratteristica a flessione del giunto stesso

- **Alle prove distruttive di controllo della produzione**, la UNI EN 14080: 2013 solitamente (in questa sede non si prendono in considerazioni le prove a taglio in sostituzione della prova a delaminazione) dispone per il produttore il seguente tipo di controllo:
 - o **Prove sul giunto a pettine:** 3 campioni per ogni linea e turno di lavoro prelevando gli stessi della classe più alta prodotta. Tale campionamento va ripetuto in funzione della specie e dell'adesivo utilizzato.
 - o **Prove di delaminazione:** per ogni linea e ogni 20 m³ di produzione deve essere prelevato un provino per la prova dedicata alla tenuta della linea di colla.

Di tali controlli distruttivi il produttore di legno lamellare tiene un apposito registro; il Direttore Lavori, secondo il testo delle nuove NTC, dovrà prenderne visione.

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 si riportano quindi le seguenti figure:

- **Disposizione delle lamelle:** 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).



a)



b)

Fig. 6.23 – 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 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 quelle che possono essere gli sforzi a fatica lungo i piani di incollaggio. D'altro lato, 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 dell'opera atta a minimizzare gli interventi di manutenzione.

- **Distanza nodo / giunto:** la UNI EN 14080: 2013 definisce una distanza minima tra nodo e giunto pari a 3 volte il diametro del nodo più vicino al giunto stesso. Lo stesso Standard di Prodotto permette comunque al produttore distanze inferiori qualora l'andamento della fibratura riprenda il suo andamento pressoché

parallelo all'asse della tavola medesima (e comunque compreso all'interno delle tolleranze previste dalle specifiche norme di classificazione, qualora naturalmente si tratti di un processo di selezione a vista).

In figura 6.24 si riporta metodo di misura nodo e tolleranza circa la distanza dello stesso dal giunto medesimo.

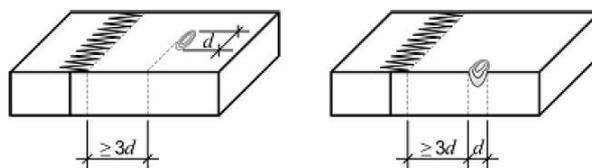


Fig. 6.24 – Distanza nodo - giunto

6.6 I CONTROLLI DI ACCETTAZIONE - ALTRI ELEMENTI GIUNTATI (PANNELLI IN COMPENSATO DI TAVOLE ED ELEMENTI IN LEGNO MASSICCIO GIUNTATI)

Le Nuove Norme Tecniche 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** (Xlam) valgono le stesse considerazioni fatte per il legno lamellare in merito alla classificazione delle tavole, prove distruttive e distanza nodo giunto.



Fig. 6.25 – Adesivo non perfettamente distribuito – il prodotto deve essere scartato dalla Direzione Lavori prima della sua posa in opera.

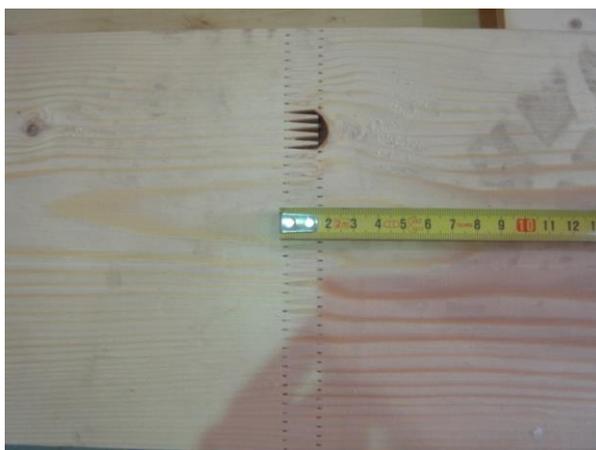


Fig. 6.26 – Nodo in prossimità del giunto; tolleranze e prescrizioni della UNI EN 14080 non rispettate in fase di produzione

- **Elementi duo/trio** (*glued solid timber*): la norma UNI EN 14080: 2013 include all'interno della definizione elementi costituiti da 2 a 5 lamelle (aventi la stessa classe di resistenza) con andamento della fibratura pressoché parallelo e uno spessore delle tavole compreso tra 45 mm e 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.

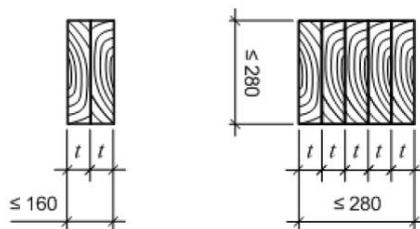


Fig. 6.27 – Configurazione per elementi in legno massiccio incollati
t = spessore delle lamelle tra 45 e 85 mm (compreso)

- **Legno massiccio giuntato a tutta sezione (KVH):** tali prodotto devono essere conformi alla UNI EN 15497 “*Legno massiccio strutturale con giunti a dita - Requisiti prestazionali e requisiti minimi di produzione*” (oltre naturalmente ad essere lavorati presso un centro di trasformazione con opportuno attestato di denuncia attività rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale).

Anche in questo caso per i controlli di accettazione si potrà far riferimento a quanto indicato per il legno lamellare in relazione a:

- prove distruttive eseguite in stabilimento
- classificazione degli elementi unitari (anche in questo caso, come già precisato per gli assortimenti “duo/trio”, dovrà essere definito opportuna correlazione con le classi di resistenza “C” della UNI EN 338).

In aggiunta a quanto sin ora definito le Nuove “Norme Tecniche per le Costruzioni” 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.”

Sempre in merito all'argomento il par. 4.4 riporta:

“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, più che un criterio di accettazione, è da riferirsi a delle regole pratiche di esecuzione. Allo stesso modo è da considerarsi quanto di seguito riportato – ad oggi - nella revisione della Circolare Esplicativa:

“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 prossime Norme Tecniche per le Costruzioni 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 creino (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.

6.7 ELEMENTI MECCANICI DI COLLEGAMENTO

La concezione dei collegamenti nei sistemi costruttivi a pannelli (siano essi pannelli XLAM oppure pannelli intelaiati) 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, rigidezza, duttilità e robustezza strutturale.

A tal proposito le Norme 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%.”

La revisione delle Norme Tecniche per le Costruzioni riporta 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.”

Sempre in merito all'argomento e in riferimento all'ultimo paragrafo la revisione della Circolare Esplicativa definisce quanto di seguito:

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 in relazione a questo aspetto il Direttore Lavori deve:

- identificare le zone dichiarate come dissipative: la progettazione antisismica, come suggerito dall'Eurocodice 8, prevede che le strutture debbano essere concepite secondo il “Criterio della gerarchia delle resistenze”, ossia 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.

- Su tali elementi, all'interno delle zone dissipative, qualora la stessa carpenteria metallica non sia stata oggetto di caratterizzazione a carichi ciclici secondo le procedure previste in sede di marcatura CE, il Direttore Lavori provvede a verificarne la conformità secondo quanto previsto dalle procedure di prova richiamate nei pertinenti standard di prodotto.



Fig. 6.28 – Nel caso di strutture lignee l'energia del terremoto è dissipata dagli elementi metallici di collegamento che, nel caso in cui presentino un comportamento duttile, si snervano e si plasticizzano prima che avvenga la rottura; viceversa il legno ha un comportamento fragile e si rompe senza una fase post-elastica.

In ultimo si fa presente che gli standard di prodotto pertinenti per la carpenteria metallica prevedono già una caratterizzazione sotto i carichi ciclici. Tale prescrizione normativa trova ad oggi un'applicazione marginale considerando quelle che possono essere i collegamenti chiodati oggetto di progettazione e successiva realizzazione in cantiere.

6.8 PROVE COMPLEMENTARI IN ACCETTAZIONE

Al termine del paragrafo 11.7.10.2 “Controlli di Accettazione in Cantiere”, la revisione delle Norme Tecniche per le Costruzioni individua 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 allegato 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**

****Nota:** la UNI TR 11499/2013 riprende quanto indicato all'interno della Norma Armonizzata UNI EN 14081-1 al par. 5.1 “Classificazione – generalità”

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 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

6.8.1 Prove di carattere distruttivo – legno massiccio

Per quanto riguarda gli assortimenti in legno massiccio (siano questi a sezione rettangolare o irregolare), la revisione delle Norme Tecniche per le Costruzioni definisce 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 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.

6.8.2 Prove di carattere distruttivo – assortimenti giuntati e incollati

Le NTC circa l'argomento 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 portare 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.



Fig. 6.29– EN 380 – Prova di carico su passerella in legno lamellare

6.9 UNI TR 11499 e prossima Circolare Esplicativa

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 11499/2013 (“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 prossime Norme Tecniche – 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.

6.9.1 Tolleranze dimensionali per legno massiccio, legno lamellare e assortimenti innovativi

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 |

Tab. 6.19 – Classe di tolleranza 1 – EN 336

- **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 |

Tab. 6.20 – 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%

- **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%

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:

$$l_{\text{corr}} = l_a [1 + k(\omega_{\text{ref}} - \omega_a)]$$

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 determinato 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.

Tab. 6.21 – 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).

6.9.2 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 così come riportato all'interno delle Norme Tecniche per le Costruzioni:

- Luce massima ammessa uguale a 6 m oppure aventi un quantitativo massimo fornito (lotto di fornitura) uguale a 15 m³

7. Appendice “B” - Durabilità & Agenti Biotici

7.1 DURABILITA': QUADRO NORMATIVO

Le caratteristiche meccaniche e di durabilità di un determinato assortimento dipendono in primis dalla specie legnosa.

Il legno, infatti, essendo un materiale di origine naturale, è biodegradabile da batteri, funghi, insetti e organismi marini i quali possono causare modificazioni dell'aspetto, della struttura e della sua composizione chimica. La resistenza che il legno oppone agli agenti che causano il suo biodegradamento è chiamata durabilità naturale e dipende principalmente dalla presenza di estrattivi, composti chimici di varia natura (terpeni, fenoli, tannini, ecc.), che si depositano nelle cellule della parte più interna del fusto durante il processo di duramificazione. In alcune specie legnose gli estrattivi impartiscono al durame una colorazione più scura rispetto all'alburno, queste specie sono definite a durame differenziato.

Generalizzando, possiamo dire che l'alburno di tutte le specie legnose è sempre non durabile nei confronti degli organismi xilofagi, mentre il durame, quando è differenziato, ha una notevole resistenza contro gli insetti e comportamento diverso da specie a specie nei riguardi degli attacchi fungini. La durata in servizio di una specie legnosa dipende sia dalla sua durabilità naturale sia dalle condizioni ambientali nelle quali il legno si trova in servizio e dagli organismi xilofagi potenzialmente presenti, cioè dalle classi di utilizzo, definite nella Tabella 7.1 estrapolata e modificata rispetto alle tabelle presenti nelle norme UNI EN 335-1 ed UNI EN 335-2.

| Classe di utilizzo | Umidità del legno | Agenti biologici | Esempio |
|---|---|---|---|
| 1 (coperto all'interno) | Sempre inferiore o al massimo = 20% | Insetti (coleotteri, termiti se localmente presenti) | Mobili, parquet, perlinati, ecc. |
| 2 (coperto all'interno) | Occasionalmente > 20% | Insetti (coleotteri, termiti se localmente presenti) | Travature, soffitti, serramenti con adeguata copertura. |
| 3.1 (non a contatto con il terreno) | Occasionalmente > 20% Non esposto alla pioggia | funghi basidiomiceti, funghi cromogeni | Serramenti esterni, infissi esterni, rivestimenti esterni, arredo urbano, mobili da giardino. |
| 3.2 (non a contatto con il terreno) | Frequentemente > 20% esposto alla pioggia | muffe | |
| 4.1 (a contatto con il terreno o con acqua dolce) | Prevalentemente o permanentemente > 20% | Insetti (coleotteri, termiti se localmente presenti) | Pali, staccionate, arredo urbano, bordi piscine, sponde fluviali, ecc |
| 4.2 (piantato nel terreno o immerso in acqua dolce) | Permanentemente > 20% | funghi basidiomiceti, funghi cromogeni muffe funghi della carie soffice | |
| 5 (immerso in acqua di mare) | Permanentemente > 20% | Funghi della carie soffice organismi marini perforanti, nella parte emersa coleotteri e termiti | Pali di fondazione, pontili pali da ormeggio ecc. |

Tab. 7.1 – classi di utilizzo secondo EN 335-1/2 (modificata)

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 dovremo trovare prevalentemente nelle classi di rischio 1, 2 e 3.1 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 (rottture delle coperture o di tubi di conduzione dell'acqua).

Negli edifici il rischio di attacco da insetti, coleotteri (ubiquitari in Europa) e isotteri (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 7.2 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.

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

Tab. 7.2 - Caratteristiche di durabilità naturale delle principali specie legnose utilizzate in edilizia (EN 350 serie).

Si ricorda che la nuova UNI EN 14081-1: 2016 (Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section - Part 1: general requirements) ai fini di dichiarare la durabilità della specie si pone in via cautelativa verso il produttore. Lo stesso standard al paragrafo “5.5.1 Structural timber without preservative treatment” riporta quanto segue:

“The natural durability in accordance with EN 350-2 shall be declared with specific reference being to sapwood if the producers makes no special provision for its exclusion”

Quindi in attesa che il Gruppo di Lavoro, SG18 (gruppo di lavoro che riunisce i Notified body) dia ulteriori informazioni applicative, al produttore di legno strutturale si possono prospettare le seguenti opzioni:

- Dichiarare in Etichetta e nella Dichiarazione di Prestazione la dicitura “NPD” (“Nessuna Prestazione Dichiarata”);
- Dichiarare una classe di durabilità in Etichetta e nella Dichiarazione di Prestazione pari a “5” facendo riferimento all’alburno come da UNI EN 350-2 (qualora presente sul prodotto);
- Dichiarare in Etichetta e nella Dichiarazione di Prestazione una classe di durabilità come da UNI EN 350-2 riferendo la stessa al solo durame.

Inoltre è necessario ricordare, all’interno del presente paragrafo, che la norma UNI EN 460 che mette in relazione la durabilità del legno ai funghi basidiomiceti con la classe di utilizzo (ancora denominate secondo la vecchia terminologia classi di rischio di attacco biologico) e che permette di stabilire la necessità di applicare un trattamento preservante quando una specie legnosa è utilizzata in una determinata classe di utilizzo (Tabella 7.3).

| Classe di rischio* | Classe di durabilità | | | | |
|--------------------|----------------------|-----|-----|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | (0) | (0) |
| 3 | 0 | 0 | (0) | (0) - (X) | (0) - (X) |
| 4 | 0 | (0) | (X) | X | X |
| 5 | 0 | (X) | (X) | X | X |

Legenda:

0 durabilità sufficiente; (0) durabilità generalmente sufficiente ma in certi casi può essere raccomandato un trattamento preservante; (0)- X durabilità sufficiente ma in funzione della specie legnosa e della sua impregnabilità può essere necessario un trattamento preservante. (X) trattamento preservante normalmente raccomandato; X trattamento necessario

Tabella 7.3 – EN 460 Relazione tra classi di rischio (denominate classi di utilizzo nella EN 335) e durabilità naturale del legno in merito all'applicazione di un trattamento preservante .

7.2 Agenti biotici di degrado

7.2.1 Coleotteri

Gli insetti coleotteri, a seconda della specie, attaccano il legno degli alberi quando sono ancora in piedi, il legno 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 deprezzano 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 rosime, 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 7.4 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 |

Tab. 7.4 - Famiglie di insetti e le principali caratteristiche per la loro identificazione.

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 alla 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 *Trichoderma holosericeus*, che infesta esclusivamente legni di Latifolia 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 Latifolia 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 Latifolia 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.



Fig. 7.1 (a)-(d) - 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.

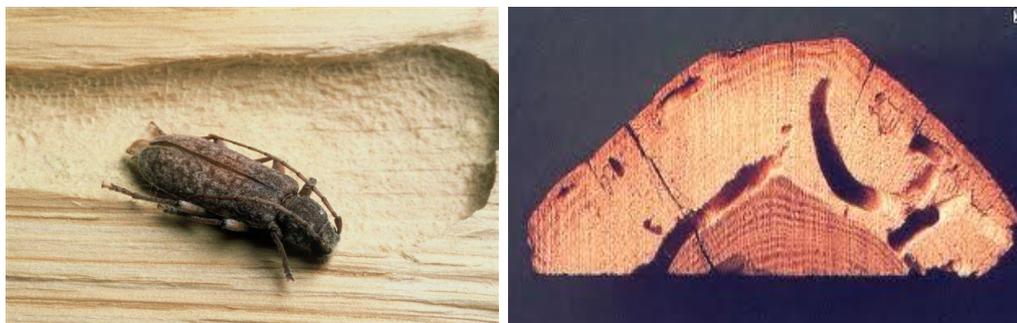


Fig. 7.2 (a)÷(b) - Adulto e gallerie (**Hesperophanes**)

Nota: È un insetto della stessa famiglia del capricorno delle case, le sue larve si nutrono principalmente di legno di latifoglie (quercia, faggio, ecc.).

Presenza

- gallerie di sezione ovale, parallele alle fibre del legno, le cui pareti mostrano striature causate dai colpi delle mandibole, come per il Capricorno;
- escrementi di colore giallo chiaro, a forma di piccole botti;



7.3 - Adulto e gallerie (**Xestobium Rufillosum** “Orologio della morte”)

Nota: 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;
- tarlature granulari di forma lenticolare, di circa 1 mm di diametro;



Fig. 7.4 (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;

7.2.2 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 *Kalotermes 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 tessili. 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 *Kalotermes 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.



Fig. 7.5 (a)-(b) - 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.

7.2.3 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.

Nella Figura 7.6 è rappresentato il 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.



Fig. 7.6 (a)-(b) - 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*, *Antrodia* 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. E' 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.



Fig. 7.7 (a)+(b) - 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 7.8 è riportato il procedimento decisionale che un progettista di strutture in legno deve affrontare prima della messa in opera di una struttura lignea.

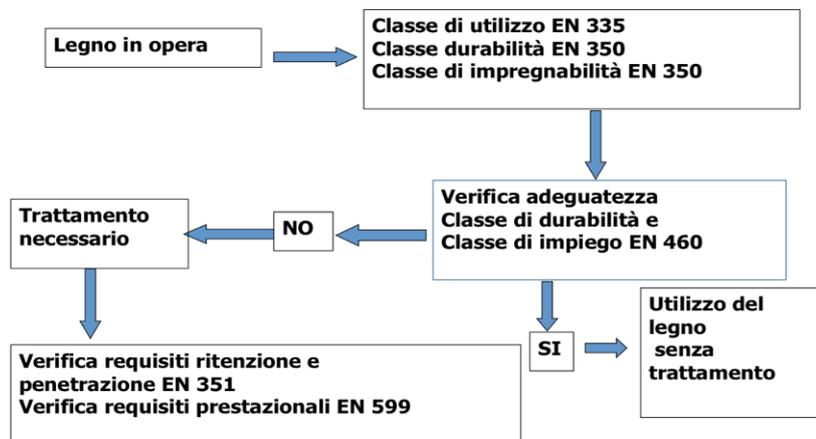


Fig. 7.8 - Procedimento decisionale per la corretta scelta del materiale ligneo in funzione della durabilità

7.3 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.

7.3.1 Fattori atmosferici del degradamento abiotico

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.

Riferimenti bibliografici

EN 13986 Wood-based panels for use in construction – Characteristics, evaluation of conformity and marking

EN 336 Structural timber - Sizes, permitted deviations

EN 14080 Timber structures – GLT / GST – Requirements

EN 14081-1 Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross-section – Part 1, General requirements

EN 14250 Timber structures – Production requirements for fabricated trusses using punched metal plate fasteners

EN 14279 Laminated veneer lumber (LVL) – Specifications, definitions, classification and requirements

EN 14358 Timber structures – Fasteners and wood-based products – Calculation of characteristic 5-percentile value and acceptance criteria for a sample

EN 14374 Timber structures – Structural laminated veneer lumber – Requirements

EN 14545 Timber structures – Connectors – Requirements

EN 14592 Timber structures – Fasteners – Requirements

EN 1995-1-1 Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General -Common rules and rules for buildings

EN 1998-1 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings

EN 335-1 Durability of wood and wood-based products – definition of hazard classes of biological attack – Part 1:General

EN 335-2 Durability of wood and wood-based products – definition of hazard classes of biological attack – Part 2: Application to solid wood

EN 335-3 Durability of wood and wood-based products – Definition of hazard classes of biological attack – Part 3: Application to wood-based panels

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

EN 350-1 Durability of wood and wood-based products – Preservative treated solid wood – Part 1: Classification of preservative penetration and retention

EN 384 Structural timber - Determination of characteristic values of mechanical properties and density

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

EN 594 Timber structures – Test methods – Racking strength and stiffness of timber frame wall panels

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

2001, Bridge inspection and Maintenance manual (Transit new Zeland)

2004, ESTIMATING SEISMIC DAMAGE AND REPAIR COSTS, Raymond Foltz
The Citadel Texas A&M Advisor: Dr. Mary Beth Hueste

2005, Earthquake Spectra, Volume 21, No. 4, pages 901–927.; Earthquake Engineering Research Institute

2012, SHAKE TABLE TEST ON 3-STOREY LIGHT-FRAME TIMBER BUILDING, Tiziano Sartori, Daniele Casagrande, Roberto Tomasi, Maurizio Piazza

2012, Design and Implementation of A Structural Health - Monitoring and Alerting System for Hospital Buildings in the United States, United States Geological Survey, Menlo Park, CA, USA; Instrumental Software Technologies, Inc., NY, USA

2010, CANADIAN WOOD-FRAME HOUSE CONSTRUCTION, www.cmhc.ca

2013, Chapter 2 Seismic Monitoring of Structures and New Developments, Earthquakes and Health Monitoring of Civil Structures, Stato della California

2001, Understanding Biodeterioration of Wood in Structures, P.I. Morris - Wood Preservation Scientist - Composites and Treated Wood Products - Forintek Canada Corp.

2010, WOOD MOISTURE MONITORING DURING LOG HOUSE THERMAL INSULATION MOUNTING, P. Kotásková, Z. Havířová

2013, RATIONAL PROCEDURE FOR DAMAGE BASED SERVICEABILITY DESIGN OF STEEL BUILDINGS UNDER WIND LOADS AND A SIMPLE LINEAR RESPONSE HISTORY PROCEDURE FOR BUILDING CODES, Virginia Polytechnic Institute

LEARNING FROM FAILURES: CASE STUDIES

2012, Designing for Durability, rethink Wood - EDUCATIONAL-ADVERTISEMENT, [www. reThinkWood.com/CEU](http://www.reThinkWood.com/CEU)

2012, Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts, Philipp Dietsch Dr.-Ing., Research Associate Chair of Timber Structures and Building Construction Technische Universität München, Germany; Steffen Franke Prof. Dr.-Ing, Professor for Timber Constructions Bern University of Applied Sciences, Architecture, Wood and Civil Engineering CH-2504 Biel/Bienne, Switzerland; Bettina Franke Dr. Ing., Research Associate Bern University of Applied Sciences, Architecture, Wood and Civil Engineering CH-2504 Biel/Bienne, Switzerland; Andreas Gamper MSc,

Research Assistant Chair of Timber Structures and Building Construction Technische Universität München, Germany; Stefan Winter Univ.-Prof. Dr.-Ing. Chair of Timber Structures and Building Construction Technische Universität München, Germany

2012, Monitoring building climate and timber moisture gradient in large-span timber structures, P. Dietsch, A. Gamper, M. Merk, S. Winter, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion Technische Universität München, Germany

2008, Robustness evaluation of failed timber structures-Eva Frühwald, S. Thelandersson, Lund University Ludovic Fülöp, Tomi Toratti, VTT

2012, DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA STRUTTURALE E IDRAULICA: Utilizzo di dispositivi isteretici per l'isolamento di piano: strategie per una progettazione sismica di tipo multi-prestazionale, Stefano Gagliardi

2011, Wireless in situ measurements of moisture content and temperature in timber constructions, Karin Sandberg, Anna Pousette, Simon Dahlquist, SP Technical Research Institute of Sweden

2007, Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber?, Eva Frühwald, Erik Serrano, Tomi Toratti, Arne Emilsson, Sven Thelandersson (University of Lund)

2015, RAPPORTO TECNICO UNI - LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO STRUTTURALE (rev. 10.11.15) UNI

2014, LONG TERM IN-SITU MEASUREMENTS OF DISPLACEMENT, TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY IN A MULTISTOREY RESIDENTIAL CLT-BUILDING, Erik Serrano, Bertil Enquist, Johan Vessby (Linnaeus University, Lund University, SP Technical Research Institute of Sweden)

2005, Un'introduzione al monitoraggio sismico. Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell'Università degli Studi di Trento. Emiliano Debiassi Davide Trapani

2009, La classificazione secondo la resistenza, Brunetti, Corradetti, Lavisci e Luchetti

2008, Comparison of different machine strength grading principles, M. Bacher

2012, Il libro del carpentiere (2° edizione), Franco Piva

2013, Indicazioni per la progettazione e direzione lavori di edifici in legno in zona sismica, Cristiano Loss, Marco Luchetti, Maurizio Piazza, Mauro Andreolli

2014, Il legno massiccio: materiale per un'edilizia sostenibile, AAVV

2017, Danni e difetti delle costruzioni in legno. Diagnosi, punti critici, soluzioni – Alex Merotto