

Indicazioni per la progettazione e la direzione lavori di edifici in legno in zona sismica

*CRISTIANO LOSS, MARCO LUCHETTI,
MAURIZIO PIAZZA, MAURO ANDREOLLI*



©Copyright 2013

Introduzione a cura di Claudio Giust

Presidente Assolegno

Ad oggi, il patrimonio edilizio conta oltre 30 milioni di abitazioni costruite nella maggior parte nel dopoguerra con materiali “poveri”. Secondo un’indagine dell’Enea 6 milioni di case costruite prima del 1991 versano in uno stato di conservazione pessimo o mediocre e l’efficientamento energetico del parco edilizio potrebbe ridurre le emissioni di CO₂ del 45%. Un’abitazione di 30 anni consuma infatti circa 180/200 kWh/m²/anno; se ristrutturata in classe energetica B ne consumerebbe 40/50. È necessario quindi nel breve periodo pensare ad un piano per le città che coinvolga l’efficientamento energetico, la riqualificazione delle periferie, l’housing sociale e la mobilità. Bisogna poi perseguire l’obiettivo del risparmio energetico, della manutenzione e della sicurezza statica degli edifici senza perdere di vista il territorio attraverso una politica di tutela ambientale concreta e di opere al servizio del territorio stesso. In questo quadro macroeconomico del nostro Paese si è aperta la strada anche degli edifici a struttura in legno che, da un inizio irrilevante (meno dell’1% nel 2005) sono salite all’8% dei 3.800 edifici in legno costruiti nel 2010 per circa 5.000 abitazioni in legno (circa il 2,8% del totale delle abitazioni).

Il numero delle abitazioni è quintuplicato rispetto a 5 anni prima (fonte Gardino 2012), mentre la costruzione di abitazioni in altri materiali già scendeva sensibilmente. Perciò, fatto pari a 100 le abitazioni costruite nel 2006, quelle in legno passeranno nel 2015 a 650, mentre quelle in altri materiali scenderanno da 100 a 70. Tutto questo ha un significato importante per tutto il comparto delle costruzioni ed è necessario che questo cambiamento sia accompagnato da un’adeguata divulgazione tecnico-scientifica in modo che si riesca a garantire un costruito di qualità, senza disattendere le attese della committenza, ma soprattutto che le soluzioni costruttive scelte siano in grado di garantire la pubblica incolumità.

Questo volume quindi vuol essere uno strumento di carattere operativo che fornisca indicazioni sia ai progettisti, ma anche alle figure deputate alla Direzione Lavori e Collaudo in quanto il concetto di pubblica incolumità abbraccia indistintamente tutta la filiera.

Solo attraverso un impegno congiunto da parte dei produttori, centri di lavorazioni, costruttori e figure professionali legate al comparto costruttivo in legno si potrà parlare di un esempio per il settore edile.

Giova ricordare come la pubblicazione di questo manuale sia solo un ultimo anello della catena. Assolegno nel corso degli anni ha appoggiato la ricerca sul campo in modo continuo e solo a titolo di completezza si riportano gli ultimi tre progetti di ricerca, cofinanziati insieme ad imprese di settore, condotti rispettivamente dalle Università di Brescia, Trento e Trieste sul tema delle costruzioni sismoresistenti in legno.

Tutto ciò per favorire un miglior utilizzo delle capacità strutturali dei diversi sistemi costruttivi che utilizzano il legno come materiale da costruzione, per agevolare un'evoluzione della normativa nazionale e sempre più in armonia con gli Eurocodici di riferimento e per portare il settore delle costruzioni di legno in Italia a competere a tutto campo con quelli dei paesi europei più avanzati.

In ultimo, in qualità di Presidente, mi sento di ringraziare la struttura di Assolegno, per l'ottimo lavoro che quotidianamente svolge verso gli associati e gli stessi autori per l'impegno e la dedizione che hanno avuto nell'elaborare un manuale ricco di informazioni tecnico scientifiche da destinare a professionisti e alle industrie del settore legno strutturale.

Claudio Giust

Presidente Assolegno



Introduzione a cura di Giorgio Bignotti

Consigliere Incaricato Gruppo Grandi Strutture e Produttori di Legno Lamellare

Il presente testo intende fornire indicazioni di carattere generale per la progettazione di edifici lignei secondo la normativa vigente (Eurocodici e NTC) con particolare riferimento agli aspetti di resistenza al sisma ed a quelli tecnico-costruttivi. Spesso il progettista ha difficoltà ad assumere modelli di calcolo che corrispondano effettivamente al sistema costruttivo adottato. Nel testo il progettista trova importanti riferimenti ricavati da recenti sperimentazioni su strutture in scala reale. La pubblicazione esamina le prestazioni antisismiche delle moderne tipologie costruttive a struttura “platform-frame” e “XLAM”, dando conto dei risultati ottenuti dalle prove su tavola vibrante effettuate su edifici pluripiano in vari progetti di ricerca nazionali e internazionali. Tutte **le sperimentazioni eseguite mostrano con evidenza che un edificio a struttura portante in legno, se correttamente progettato, può sopravvivere ad una sequenza ripetuta di eventi sismici significativi** senza provocare perdita di vite umane e salvaguardando anche il patrimonio immobiliare.

Il testo aiuta a comprendere che il legno, come materiale da costruzione in zona sismica, quando utilizzato consapevolmente tenendo conto delle caratteristiche di resistenza e deformabilità degli elementi strutturali e delle relative connessioni, è in grado di fornire sistemi costruttivi moderni ed innovativi, di grande qualità abitativa e ad alte prestazioni nei confronti del sisma. Si può quindi immaginare che le costruzioni multipiano in legno, in virtù anche delle caratteristiche del materiale in termini di sostenibilità, isolamento e sicurezza in caso di incendio, costituiranno sempre più una soluzione vincente. È importante, in questa fase di crescita, che sia garantita da parte delle imprese costruttrici un’elevata qualità del costruito. Indispensabile è il contributo dei progettisti strutturali; un edificio multipiano in legno è innanzitutto, anche se non solo, un’opera importante di ingegneria strutturale, non paragonabile alle tradizionali costruzioni in legno ad uno o due piani di edilizia residenziale. Il testo è quindi finalizzato ad agevolare **l’introduzione dei risultati ottenuti in campo sperimentale nella progettazione corrente. I benefici possono essere notevoli e la normativa premia le costruzioni ben progettate con caratteristiche dissipative.**

Assolegno stimola ed affianca le aziende associate ad investire risorse ed a sostenere gli Enti di ricerca e le Università che sanno dare risposte al mondo industriale di settore. Solo così si potrà continuare a stimolare e incrementare il mercato degli edifici multipiano in legno sismo-resistenti, sviluppando una filiera industriale in linea con i principi di sicurezza e di sostenibilità.

Giorgio Bignotti

Consigliere Incaricato Gruppo Grandi Strutture e Produttori di Legno Lamellare

Introduzione a cura di Emanuele Orsini

Consigliere Incaricato del Gruppo Case ed Edifici a Struttura di Legno

Quando si parla di edifici a struttura di legno possono essere individuati almeno 6 motivi di sostenibilità: sostenibilità storica (architettonica), sostenibilità ambientale (paesaggio), sostenibilità del materiale, sostenibilità di utilizzo, sostenibilità energetica (efficienza) e benessere abitativo.

Infatti, le numerose e straordinarie proprietà della materia prima, unitamente agli sviluppi tecnologici che negli ultimi decenni hanno consentito la trasformazione del legno in prodotti derivati sempre più performanti ed idonei all'impiego in opere d'ingegneria anche di notevole importanza strutturale, hanno fatto del legno uno dei primari materiali da costruzione.

È da tempo acquisita la consapevolezza dei vantaggi offerti dall'utilizzo di questo materiale nella realizzazione di coperture, sia in legno massiccio che in legno lamellare.

A partire dagli anni '80 in poi, parallelamente si sviluppavano la carpenteria tradizionale per i tetti, riscoperta dopo anni di oblio, e l'utilizzo del legno anche per le strutture di elevazione, che hanno portato alla diffusione, sempre maggiore, di edifici in legno, destinati almeno inizialmente e in modo prevalente all'uso residenziale. Un ulteriore fattore di diffusione dei sistemi costruttivi in legno da considerare è la rapidità di costruzione: **grazie alla leggerezza del materiale legno e all'assenza di getti in cantiere, sia la committenza privata che pubblica hanno indirizzato le proprie attenzioni verso tale tipologia costruttiva.**

Con questa pubblicazione, **è volontà dell'Associazione sottolineare come un sistema costruttivo in legno richieda conoscenze e competenze sia strutturali che tecnologiche.** Un'azienda che produce tali sistemi costruttivi non può trascurare nessuna di tali competenze. Tali concetti, espressi in modo chiaro e attraverso esempi nelle pagine seguenti, è necessario che vengano recepiti velocemente da tutta la filiera.

Assolegno si è altresì sempre impegnata nel tema della divulgazione scientifica e nel cercare di traslare all'interno della normativa di settore i risultati ottenuti attraverso una continua ricerca. Questo importante processo è avvenuto e sta avvenendo cercando di coinvolgere produttori, centri di lavorazione e professionisti di settore al fine di sensibilizzare tutti i soggetti della filiera al rispetto delle regole vigenti sul mercato. Da sottolineare anche la pubblicazione digitale allegata al presente volume: una serie di particolari costruttivi (esportabili direttamente in file dxf), con relativa descrizione, destinati ad accompagnare l'attività degli uffici tecnici delle aziende associate. Un patrimonio che deriva dall'attività di ricerca e che solo un'Associazione Nazionale come Assolegno e una manifestazione fieristica internazionale come MADE expo sono in grado di mettere a disposizione a tutta la filiera.

Emanuele Orsini

Consigliere Incaricato Gruppo Case ed Edifici a Struttura di Legno





Indice	II
Indice delle Figure	IV
Indice delle Tabelle	IX
PREFAZIONE	1
NORMATIVE DI RIFERIMENTO	5
CONTENUTI	5
1. EDIFICI SISMO-RESISTENTI A STRUTTURA DI LEGNO	7
1.1 PREMESSA	7
1.2 SISTEMI COSTRUTTIVI PER EDIFICI IN LEGNO	7
1.3 CONCEZIONE STRUTTURALE DEGLI EDIFICI IN LEGNO	9
1.3.1 Sistema costruttivo a pannelli intelaiati leggeri	13
1.3.2 Sistema costruttivo a pannelli di compensato di tavole in legno	18
1.4 INDAGINI SPERIMENTALI PER LO STUDIO DEL COMPORTAMENTO NON LINEARE DEGLI EDIFICI IN LEGNO	23
1.5 CARATTERIZZAZIONE SPERIMENTALE DEI SISTEMI COSTRUTTIVI IN LEGNO	23
1.5.1 Meccanismi di deformazione dei pannelli intelaiati leggeri	24
1.5.2 Meccanismi di deformazione dei pannelli massicci di compensato di tavole	26
1.6 EDIFICI IN LEGNO E PROGETTAZIONE SISMICA SECONDO LA NORMATIVA VIGENTE	29
1.6.1 Norme e regole di progettazione secondo le NTC 2008	29
1.6.2 Regolarità e concezione strutturale	30
1.6.3 Classe di duttilità per gli edifici	31
1.6.4 Fattore di struttura e comportamento strutturale: duttilità e smorzamento dell'edificio	32
1.6.5 Progettazione in capacità	35
1.6.6 I diaframmi di piano	38
1.6.7 Analisi strutturale	39
1.6.8 Modelli numerici per lo studio del comportamento dinamico degli edifici in legno	39
1.6.9 Modelli di calcolo per la singola parete e per i diaframmi	41
1.6.10 Normativa: uno sguardo al futuro	42
1.7 CENNI SULLA DURABILITÀ DEGLI EDIFICI IN LEGNO	42
2. COLLEGAMENTI E PARTICOLARI COSTRUTTIVI	47
2.1 INTRODUZIONE	47
2.2 DESCRIZIONE DEI PRINCIPALI TIPI DI COLLEGAMENTO	49
2.3 COLLEGAMENTI TRA PANNELLI VERTICALI E DIAFRAMMI ORIZZONTALI	51
2.3.1 Collegamenti tra pareti e fondazione	51
2.3.2 Collegamenti tra pareti e solai	53
2.3.3 Collegamenti tra pareti e copertura	56
2.4 COLLEGAMENTI TRA PANNELLI VERTICALI	57
2.4.1 Collegamenti tra pareti allineate	57

2.4.2	Collegamenti tra pareti tra loro ortogonali	59
2.5	COLLEGAMENTI TRA PANNELLI ORIZZONTALI	60
2.6	COLLEGAMENTI RELATIVI A SCALE E BALCONI	62
2.6.1	Collegamenti di scale	62
2.6.2	Collegamenti di balconi	63
3.	PRODOTTI A BASE LEGNO E CONTROLLI DI ACCETTAZIONE	65
3.1	INTRODUZIONE: NORMATIVA ITALIANA E COMUNITARIA	65
3.2	I PRODOTTI A BASE DI LEGNO	67
3.2.1	Legno massiccio	68
3.2.2	Legno massiccio a sezione rettangolare	69
3.2.3	Legno massiccio a sezione irregolare	75
3.2.3.1	Legno a sezione irregolare: la qualificazione ministeriale	77
3.2.3.2	Il Benestare Tecnico Europeo: Uso Fiume e Trieste di Abete e Uso Fiume di Castagno	78
3.2.4	Legno lamellare	79
3.2.4.1	Classificazione secondo la resistenza delle tavole	79
3.2.4.2	Controllo della linea di incollaggio	82
3.2.4.3	Legno lamellare incollato e le classi di resistenza	85
3.2.4.4	Legno lamellare e novità normative: la nuova EN 14080: 2013	85
3.2.5	Elementi Bilama / Trilama	91
3.2.6	Elementi in legno massiccio con giunti a tutta sezione (KVH)	93
3.2.7	Compensato di tavole (XLAM)	94
3.2.7.1	La caratterizzazione fisico meccanica del compensato di tavole	96
3.2.8	I Sistemi costruttivi e Benestare Tecnico / Valutazione Tecnica	99
3.3	I CONTROLLI DI ACCETTAZIONE	99
3.3.1	I controlli in ingresso in cantiere e la documentazione accompagnatoria	101
4.	ELABORATI PROGETTUALI	105
4.1	INDICAZIONI PER LA REDAZIONE	105
4.1.1	A. Relazione tecnica generale	106
4.1.2	B. Relazione tecnica di calcolo strutturale	106
4.1.3	C. Relazione sui materiali impiegati	107
4.1.4	D. Elaborati grafici	108
4.1.5	E. Particolari costruttivi strutturali	108
4.1.6	F. Relazione sul montaggio, durabilità e manutenzione	108
4.1.7	G. Certificato di prevenzioni incendi	109
	BIBLIOGRAFIA	111
	APPENDICE. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	113

Indice delle Figure

- Figura 1.1. Curve sperimentali carico-scorrimento per unioni sollecitate a trazione parallela alla fibratura (figura da Racher [1995]) **9**
- Figura 1.2. (a) Costruzione di strutture a pannelli portanti di legno e (b) percorso di trasferimento delle forze orizzontali in fondazione **11**
- Figura 1.3. Sistema costruttivo con tecnologia a pannelli portanti in legno; meccanismo di scorrimento (a) e di ribaltamento (b) innescato su ciascun piano **12**
- Figura 1.4. (a) Panoramica sui connettori metallici a gambo cilindrico; (b) dispositivi meccanici in acciaio per l'assemblaggio del sistema costruttivo di edifici in legno **14**
- Figura 1.5. Edificio realizzato utilizzando la tecnica costruttiva a pannelli intelaiati leggeri: (I) spaccato assonometrico della struttura; (II) configurazione delle pareti; (III) singolo elemento shear wall; (IV) collegamenti meccanici per impedire il sollevamento e lo scorrimento degli elementi shear wall; (V) sezione verticale e orizzontale della parete e collegamento tipico tra il telaio e i pannelli di rivestimento **15**
- Figura 1.6. Stratigrafia di una parete impiegata nella realizzazione di edifici a pannelli intelaiati leggeri **16**
- Figura 1.7. Dispositivi meccanici utilizzati per il collegamento delle pareti a terra (a) e ai piani (b) **17**
- Figura 1.8. Edificio realizzato utilizzando la tecnica costruttiva a pannelli massicci di compensato di tavole in legno: (I) spaccato assonometrico della struttura; (II) configurazione delle pareti; (III) singolo elemento shear wall; (IV) collegamenti meccanici per impedire il sollevamento e lo scorrimento degli elementi shear wall; (V) sezione verticale e orizzontale della parete **19**
- Figura 1.9. Dettagli costruttivi dei collegamenti utilizzati nel sistema costruttivo a pannelli di compensato di tavole in legno (tecnologia XLAM): accoppiamento pannello-pannello con (I) coppie di viti autoforanti installate inclinate a 45° ; (II) coprigiunto incassato; (III) coprigiunti sulle facce esterne (chiodati o avvitati); (IV) intaglio a mezzo legno e chiusura mediante viti **21**
- Figura 1.10. Dettagli costruttivi dei collegamenti utilizzati nel sistema costruttivo a pannelli di compensato di tavole in legno (tecnologia XLAM): collegamenti parete-parete con (I) angolari meccanici, (II) viti autoforanti **22**

- Figura 1.11.** Dettagli costruttivi dei collegamenti utilizzati nel sistema costruttivo a pannelli di compensato di tavole in legno (tecnologia XLAM): collegamenti parete-solaio-parete in configurazione (I) e (II) **22**
- Figura 1.12.** Meccanismi di deformazione anelastica per elementi parete a pannelli intelaiati leggeri: (a) comportamento per racking mode of deformation in seguito allo scorrimento tra i pannelli di rivestimento e il telaio; (b) comportamento per rocking mode of deformation in seguito al cedimento dell'ancoraggio di base; (c) comportamento per deformazione mista **25**
- Figura 1.13. (a)** Prove sperimentali di pareti intelaiate condotte presso il laboratorio prove Materiali e Strutture dell'Università di Trento; (b) rottura per strappo del dispositivo di ancoraggio a terra; (c) sollevamento della parete per cedimento dell'ancoraggio di base e apertura del pannello di rivestimento della parete **25**
- Figura 1.14. (a)** Prove sperimentali di pareti XLAM eseguite presso il laboratorio di Prove Strutture e Materiali dell'Università di Trento; (b) rottura fragile dell'hold-down per trazione; (c) rottura della connessione chiodata dell'hold-down; (d)(e)(f) deformazione plastica di diversi tipi di angolari di base a seguito di taglio e trazione (Figure modificate da Accler [2012]) **27**
- Figura 1.15.** Meccanismi di deformazione anelastica per elementi parete a pannelli di compensato di tavole: (a) meccanismo di deformazione per scorrimento di base, cedimento degli angolari a taglio; (b) meccanismo di deformazione per rotazione alla base, cedimento dei dispositivi di ancoraggio; (c) comportamento misto per scorrimento e ribaltamento del pannello massiccio **27**
- Figura 1.16.** Raffronto tra le curve di risposta cicliche forza-spostamento ($F-\Delta$) di una parete XLAM monolitica e una realizzata collegando meccanicamente degli elementi massicci XLAM (prove eseguite presso il laboratorio di FP Innovation; Popovsky and Karacbeyli [2012]) **28**
- Figura 1.17. (a)** Meccanismo di deformazione anelastica di una parete intelaiata leggera con deformazione a taglio; (b) meccanismo di deformazione anelastica di una parete in XLAM a seguito del cedimento nei dispositivi di ancoraggio a terra **33**

Figura 1.18. (a)	Rottura fragile dell'hold-down a livello della sezione netta; (b) strappo della chiodatura dell'hold-down di base per sopraggiunta capacità massima	34
Figura 1.19.	Rottura fragile dell'hold-down rispettivamente in corrispondenza della sezione netta (a) e delle costolature di irrigidimento (b) (Immagini da Acler [2012])	35
Figura 1.20.	Modello di equilibrio di corpo rigido per la singola parete; equazioni di equilibrio alla traslazione e alla rotazione (si veda anche l'osservazione a fine paragrafo)	36
Figura 1.21.	Rottura a trazione dei dispositivi di ancoraggio a terra (hold-down): meccanismo duttile con deformazione nei chiodi (a) e fragile con cedimento nella sezione netta (b) (Immagini da Acler [2012])	38
Figura 1.22.	Strategie di progetto per aumentare la durabilità della costruzione	43
Figura 1.23.	Edificio realizzato in legno con elementi protetti alla base e rialzati da terra	45
Figura 1.24.	Edificio realizzato in legno con elementi esposti (non protetti) al degrado nella zona di attacco a terra	45
Figura 2.1.	Stati di compressione paralleli o ortogonali alla fibratura (figura da Piazza et al. [2005])	47
Figura 2.2.	Trasmissione delle forze orizzontali mediante elementi metallici di ancoraggio a trazione (hold-down) e a taglio (angolari)	48
Figura 2.3.	Sistemi di ancoraggio a trazione (hold-down) e a taglio (angolari)	48
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)	49
Figura 2.5.	Distribuzione delle azioni interne in una parete realizzata mediante più pannelli XLAM nel caso di presenza (a) o assenza di giunti verticali (b)	50
Figura 2.6.	Distribuzione delle azioni interne in un diaframma realizzato con pannelli XLAM; azioni orizzontali agenti nelle due direzioni principali (a e b).	50
Figura 2.7.	Nodi strutturali principali in un edificio in legno	51
Figura 2.8.	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	52

- Figura 2.9.** 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 **52**
- Figura 2.10.** Appoggio della parete su zoccolo di fondazione: collegamento a trazione e a taglio mediante piastre forate, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati **53**
- Figura 2.11.** 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 **54**
- Figura 2.12.** 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 **54**
- Figura 2.13.** Appoggio del solaio di interpiano su parete continua: collegamento mediante angolare metallico avvitato alla parete **55**
- Figura 2.14.** Collegamento di una trave alla parete mediante staffe metalliche **55**
- Figura 2.15.** Copertura in pannelli XLAM con sporti di gronda realizzati mediante “falsi travetti” **56**
- Figura 2.16.** Copertura a travetti di un edificio in XLAM **56**
- Figura 2.17.** Copertura a travetti di un edificio intelaiato: soluzione con travetti continui in appoggio sulle pareti esterne oppure soluzione con “falsi travetti” in gronda **57**
- Figura 2.18.** Collegamento parete-parete XLAM: giunto a mezzo legno avvitato e giunto con viti incrociate **58**
- Figura 2.19.** Collegamento parete-parete XLAM: giunto con tavole coprigiunto in compensato **58**
- Figura 2.20.** Giunzione dei fogli di rivestimento di un parete intelaiata in corrispondenza di un montante **59**
- Figura 2.21.** Collegamento d’angolo mediante viti, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati **59**

Figura 2.22.	Collegamento d'incrocio mediante viti incrociate, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati	60
Figura 2.23.	Collegamento solaio-solaio XLAM: giunto a mezzo legno avvitato e giunto con viti incrociate	61
Figura 2.24.	Collegamento solaio-solaio XLAM: giunto con tavole coprigiunto in compensato	61
Figura 2.25.	Controventamento di piano mediante fogli di rivestimento chiodati	61
Figura 2.26.	Collegamento tra solaio e travi principali	62
Figura 2.27.	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	62
Figura 2.28.	Balcone realizzato in continuità con le travi del solaio	63
Figura 2.29	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	64
Figura 3.1.	Tolleranze e limiti di accettabilità nodo sul bordo legname squadrato "travi" (DIN 4074-1)	81
Figura 3.2.	Tolleranze e limiti di accettabilità nodo sul bordo regola tavole (DIN 4074-1)	81
Figura 3.3.	EN 14080: 2013 Distanza minima tra giunto e nodo1	82
Figura 3.4.	Tipico profilo di giunto a dita	83
Figura 3.5.	EN 1194: Disposizione delle lamelle	84
Figura 3.6.	Profilo tipico del giunto a dita a tutta sezione	93
Figura 3.7.	Pannello giuntato a tutta sezione	95

Indice delle Tabelle

Tabella 3.1.	Casistiche di riferimento Cap. 11.1 delle NTC 2008	66
Tabella 3.2.	UNI EN 14081 (serie)	70
Tabella 3.3.	Marcatura CE Legno Massiccio a Sezione Rettangolare: fasi operative	71
Tabella 3.4.	Corrispondenze tra categorie resistenti e classi di resistenza	72
Tabella 3.5.	Corrispondenza tra categorie visuali e classi di resistenza a seguito della riunione del TG1/WG2/TC 124 tenutasi a Milano Maggio 2011 presso FederlegnoArredo	73
Tabella 3.6.	Riferimenti normativi legno a sezione irregolare	76
Tabella 3.7.	Qualificazione ministeriale: passi da compiere	77
Tabella 3.8.	Assortimenti e relativa suddivisione in accordo alla DIN 4074-1	80
Tabella 3.9.	EN 1194: Classi di resistenza legno lamellare	85
Tabella 3.10.	Classi di resistenza a trazione	87
Tabella 3.11.	Valori caratteristici per resistenza, rigidezza (N/mm ²) e massa volumica (kg/m ³): lamellare omogeneo	89
Tabella 3.12.	Valori caratteristici per resistenza, rigidezza (N/mm ²) e massa volumica (kg/m ³): lamellare composito	90
Tabella 3.13.	Verifica conformità giunto / linea di colla	96
Tabella 3.14.	Caratterizzazione del prodotto finito (I)	97
Tabella 3.15.	Caratterizzazione del prodotto finito (II)	97
Tabella 3.16.	Valori caratteristici pannello XLAM secondo Certificato Idoneità Tecnica	98
Tabella 3.17.	Principali riferimenti normativi; periodo di coesistenza	100
Tabella 3.18.	Documentazione accompagnatoria e criteri di controllo della completezza della documentazione accompagnatoria	102
Tabella 3.19.	Metodi sperimentali e Direzione Lavori	104

PREFAZIONE

Le soluzioni architettoniche attuali rivolte al settore civile stanno promuovendo l'uso del legno non solo per realizzare parti di involucro o di arredo interno, ma soprattutto come materiale avente funzione strutturale. L'edificio in legno, associato tradizionalmente all'idea dell'abitazione o villetta isolata, mono- o plurifamiliare, ora trova un utilizzo più ampio come complesso residenziale, con sviluppo in pianta o elevazione anche assai significativo. Si tratta in realtà di una riscoperta del materiale legno come materiale costruttivo, soprattutto in relazione alle moderne tecniche di assemblaggio e/o di produzione degli elementi e componenti lignei. In particolare, gli edifici costruiti impiegando la tecnologia e le tecniche costruttive proprie della carpenteria lignea hanno subito l'inevitabile processo evolutivo incentrato principalmente su prefabbricazione e standardizzazione degli elementi costruttivi.

I motivi che hanno portato e stanno tuttora spingendo verso l'utilizzo del materiale legno nella realizzazione degli edifici sono vari e complessi. È comunque chiaro il ruolo che riveste il legno in una ottica di sostenibilità nel settore edilizio. Questa importante peculiarità del legno si sposa con i vantaggi offerti dal processo produttivo, fortemente industrializzato, seguito per realizzare elementi e/o prodotti a base lignea, nonché dal percorso di progetto, sempre più rivolto a una progettazione di tipo integrata. Nei sistemi costruttivi lignei attualmente in uso la progettazione e realizzazione dell'edificio, con particolare riferimento alle parti strutturali, non strutturali e impiantistiche, seguono ormai un'impostazione logica di tipo integrata. Si assiste molto spesso alla proposta di edifici progettati, realizzati e venduti "chiavi in mano" da parte di imprese specializzate nel settore delle costruzioni lignee.

Da una recente indagine condotta per conto di promo_legno e di "FederlegnoArredo" è emerso che gli edifici costruiti in legno si sono quintuplicati tra l'inizio del 2006 e la fine del 2010. Si è stimato inoltre che tali costruzioni aumenteranno ulteriormente del 50% nei prossimi 5 anni a partire dai dati registrati nel 2010. L'incremento del numero di edifici costruiti sul territorio italiano, siano essi riferiti alla committenza pubblica o a quella privata, favorirà dunque una ulteriore riduzione dei costi di costruzione rendendo di fatto tali sistemi ancora più competitivi rispetto a quelli realizzati impiegando tecniche costruttive tradizionali.

Il settore delle costruzioni lignee vanta una notevole esperienza nel campo degli edifici con dimensioni limitate, soprattutto se ci riferiamo alla situazione del Nord Italia e dell'Europa. La realizzazione è tipicamente seguita da un'unica impresa esecutrice dei lavori che esegue e accompagna tutte le fasi richieste per costruire e rendere abitabile l'edificio. Molto spesso l'impresa stessa segue anche la parte relativa alla progettazione della struttura, in funzione delle esigenze architettoniche richieste. Questo processo si è dimostrato affidabile negli anni poiché relegato tipicamente ad aziende altamente qualificate e con esperienza pluriennale in questo settore. Tuttavia, negli ultimi anni, questa situazione si è scontrata con l'emergere di nuove realtà industriali con esperienze nel settore non pienamente consolidate. D'altra parte, alcuni problemi si possono manifestare con riguardo alla applicabilità delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008, nel seguito richiamate come NTC 2008), soprattutto con riferimento alla progettazione sismica.

Proprio con riguardo alla resistenza sismica da conferire alla costruzione, il legno è considerato un materiale particolarmente adeguato per costruire in zona sismica, potendo contare su una massa volumica ridotta, con rapporti massa/resistenza simili a quelli delle strutture di acciaio e molto più vantaggiosi rispetto a quelli delle costruzioni tradizionali (calcestruzzo, muratura). Ciò significa che le sollecitazioni agenti su una costruzione lignea in caso di terremoto, essendo proporzionali alla massa della costruzione stessa, risultano di molto inferiori. D'altra parte le strutture in legno risultano generalmente più flessibili di strutture analoghe ma realizzate, ad esempio, in calcestruzzo armato o in muratura: questo si rivela essere un ulteriore vantaggio, in quanto una struttura flessibile è tipicamente meno "sensibile" alle sollecitazioni di origine dinamica derivanti da una eccitazione sismica. Tuttavia, il legno presenta caratteristiche sfavorevoli legate all'intrinseca fragilità del materiale, almeno nel caso di sollecitazioni di trazione e flessione. Si deve osservare però che l'edificio in legno non è mai un corpo monolitico, ma è formato da diversi elementi (travi, pareti, solai), uniti tra loro mediante connessioni meccaniche. Tali collegamenti, se ben progettati ed eseguiti, possono dare un contributo estremamente favorevole al comportamento globale dell'edificio, grazie alle deformazioni plastiche degli elementi metallici e all'attrito tra le superfici di contatto, consentendo di dissipare notevoli quantità di energia sviluppata durante il terremoto.

Queste affermazioni sono ampiamente provate sia da recenti studi effettuati sui moderni edifici in legno, sia dall'osservazione del comportamento delle strutture esistenti durante i passati eventi sismici. Molte costruzioni in Giappone e in Cina hanno resistito indenni a molti eventi sismici pur avendo parecchi secoli di vita. Si può citare un esempio per tutti: la Pagoda di Sakyamuni, nella contea di Yingxian (provincia di Shanxi), che con i suoi 67 metri di altezza e una realizzazione totalmente in legno (ivi compresi i nodi di collegamento tra le diverse parti), vanta più di 950 anni di vita.

Tali ottime prestazioni sismiche sono riconosciute anche per i sistemi costruttivi utilizzati nella realizzazione delle abitazioni, quando opportunamente concepite, progettate e realizzate. In quest'ambito si tratta di tipologie costruttive che prevedono l'assemblaggio di elementi strutturali piani del tipo a pannello, siano essi di tipo intelaiato leggero che massicci in compensato di tavole (XLAM), connessi procedendo in successione piano per piano (tecnica del platform frame). Si tratta di tipologie costruttive nelle quali gli elementi strutturali possono assolvere contemporaneamente la funzione portante e di involucro edilizio. Tali sistemi possono essere facilmente costruiti utilizzando elementi prefabbricati o modulari, prodotti in stabilimento, e in seguito assemblati in opera mediante collegamenti meccanici e/o dispositivi in acciaio.

Per quanto riguarda gli edifici a pannelli intelaiati, essi sono molto diffusi soprattutto nel mondo anglosassone, in primis Nord Europa, Canada, Nuova Zelanda e Nord America. L'ossatura portante del sistema, definita da montanti disposti a distanza piuttosto ravvicinata e da traversi in legno (il telaio di legno appunto), viene chiusa con pannelli a base di legno di ridotto spessore, connessi impiegando semplici mezzi di collegamento quali chiodi, cambrette o viti. I pannelli di rivestimento assolvono contemporaneamente la funzione controventante nel piano della parete e di chiusura del telaio. Le costruzioni di tipo a pannelli massicci, che utilizzano tipicamente pannelli di compensato di tavole incrociate, sono sistemi di recente introduzione in Europa, ma con buone prospettive di sviluppo anche altrove, come dimostrato da recentissime realizzazioni in Canada.

Si tratta di strutture caratterizzate da elementi costruttivi piani, utilizzati sia come pareti che come solai, ottenuti per sovrapposizione di strati incrociati di tavole, e uniti tra loro mediante incollaggio o mediante mezzi di unione meccanici. Ambedue i sistemi costruttivi presentano caratteristiche sismo-resistenti molto interessanti e si ritengono adatti anche in siti caratterizzati da terremoti ad alta intensità. L'edificio in legno realizzato mediante questi sistemi costruttivi si presta inoltre ad essere facilmente riparato. Nella fase d'intervento post-sisma sono generalmente facilitate le operazioni di sostituzione delle parti/elementi e/o dei collegamenti danneggiati.

Il presente lavoro nasce con l'intento di fornire delle indicazioni di carattere generale per la progettazione di edifici lignei sismo-resistenti in accordo alla normativa vigente. Saranno esplicitate e chiarite alcune regole di calcolo introdotte con le recenti norme sismiche (Eurocodice 8 e NTC 2008). Il documento si propone di guidare il progettista soprattutto dal punto di vista tecnico-costruttivo, fornendo indicazioni di carattere generale, e rimandando dunque alle sopra citate norme per i principi e i livelli di sicurezza da rispettare. Nel testo sono inseriti anche alcuni modelli di calcolo che derivano dai recenti sviluppi di ricerca e dalla esperienza maturata nel contesto internazionale.

NORMATIVE DI RIFERIMENTO

I contenuti del presente lavoro sono stati elaborati conformemente alle Norme e Istruzioni italiane in vigore, in particolare alle NTC 2008, e alle norme europee EN, in particolare agli Eurocodici strutturali. Per disposizioni specifiche sui materiali, sulle prove di caratterizzazione del materiale e/o dei componenti strutturali, e per altre normative internazionali si rimanda alle pubblicazioni riportate in Appendice.

CONTENUTI

Il presente studio introduce al progetto di edifici lignei sismo-resistenti, commentando alcuni degli aspetti ritenuti fondamentali in quest'ambito e richiamati anche nella normativa in vigore. Sono riportate indicazioni riguardanti i criteri di calcolo, le analisi, le prescrizioni costruttive in aggiunta ai principi da seguire nella redazione delle relazioni di calcolo e dei progetti esecutivi per la progettazione di edifici ordinari. Questo documento riprende alcuni dei risultati e degli sviluppi conseguiti nell'ultimo decennio nel campo delle costruzioni in legno, con particolare riferimento agli aspetti sismici. Il volume è suddiviso in quattro Capitoli, un elenco di riferimenti bibliografici e una Appendice.

Il Capitolo 1 introduce al problema della concezione strutturale e del calcolo delle strutture lignee, con particolare riferimento a tutti gli aspetti e le peculiarità che riguardano i sistemi costruttivi sismo-resistenti. Il Capitolo include una parte specifica in cui sono commentate le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008), nell'intento di fornire chiarimenti sulla procedura di dimensionamento dei sistemi costruttivi che si sono imposti nella pratica corrente. Trattasi del sistema costruttivo a pannelli portanti di compensato di tavole e a pannelli intelaiati con tecnologia platform frame. In particolare sono approfonditi gli aspetti che riguardano il comportamento delle strutture in campo non lineare, prestando attenzione al ruolo svolto dai collegamenti nei confronti della risposta della struttura.

Il Capitolo 2 tratta il tema dei collegamenti. Sono riportati esempi di dettagli e particolari costruttivi, commentati evidenziandone le peculiarità.

Il Capitolo 3 si occupa del materiale legno, del suo uso nella realizzazione di componenti strutturali e delle procedure per l'identificazione e qualificazione degli elementi nel rispetto di quanto previsto dalle NTC 2008.

Il Capitolo 4 rivede le caratteristiche e i contenuti dei documenti progettuali sulla base di quanto richiesto dalla normativa vigente.

In Bibliografia e in Appendice sono riportati elenchi di documenti e norme di riferimento. Si desidera richiamare l'attenzione del lettore sul fatto che le indicazioni riportate nel volume costituiscono solamente un ausilio per i tecnici impegnati, a diverso titolo, nella realizzazione di queste strutture e non possono essere considerate esaustive. È il tecnico che opera, nei diversi ruoli di competenza, che ha la piena responsabilità delle scelte operate in ottemperanza alle norme in vigore.

1. EDIFICI SISMO-RESISTENTI A STRUTTURA DI LEGNO

1.1 PREMESSA

Le strutture in legno hanno recentemente acquistato una buona posizione di mercato per quel che riguarda la realizzazione di complessi residenziali, in aggiunta alla già riconosciuta competitività raggiunta nel settore delle coperture sia civili che industriali. Il materiale legno si è riscoperto vantaggioso sia in termini di efficienza strutturale che di costo. La crescente diffusione del legno si spiega inoltre con la maggior sensibilità che oggi si rivolge all'utilizzo di materiali "naturali", con la disponibilità di nuovi prodotti industriali a base di legno, nonché con un aumento della conoscenza acquisita dai professionisti e dagli operatori del settore. Recenti analisi di mercato confermano la crescita nell'uso dei nuovi sistemi strutturali con ossatura o pannelli portanti di legno nella realizzazione degli edifici residenziali, sistemi costruttivi fino pochi anni fa quasi assenti nella tradizione costruttiva nazionale.

L'evoluzione del quadro normativo impone un'attenzione particolare nei confronti del materiale. In tempi recenti (Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC 2008) è stata pubblicata una nuova mappa di pericolosità sismica del nostro Paese, attribuendo livelli più o meno elevati di pericolosità a tutto il territorio nazionale e esplicitando l'obbligo di progettare e dimensionare anche le strutture lignee al fine di garantirne un'adeguata risposta sismica.

In questo Capitolo saranno analizzate alcune delle peculiarità che riguardano i diversi "tipi costruttivi" sismo-resistenti, focalizzando l'attenzione sui sistemi strutturali più diffusi nell'edilizia del nostro Paese. Saranno esaminati gli aspetti fondamentali propri delle costruzioni in legno, il loro comportamento sismico, le metodologie di calcolo, prestando particolare attenzione ai criteri di progettazione che stanno alla base delle attuali normative.

1.2 SISTEMI COSTRUTTIVI PER EDIFICI IN LEGNO

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.

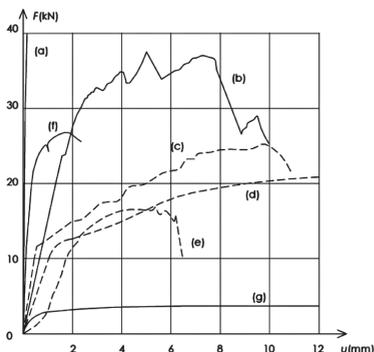
Le nuove costruzioni in legno sono realizzate con tecniche e tipologie costruttive che hanno subito un'evoluzione rivolta essenzialmente alla prefabbricazione degli elementi strutturali e alla standardizzazione delle operazioni di montaggio. Molti sistemi hanno subito la trasformazione delle tecniche di assemblaggio degli elementi e l'utilizzo di elementi compositi in sostituzione degli elementi in legno massiccio.

Le costruzioni multipiano 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), 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 multipiano 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.

1.3 CONCEZIONE STRUTTURALE DEGLI EDIFICI IN LEGNO

Il legno è un materiale da costruzione che presenta buone capacità di resistenza se comparato al suo peso specifico. Le proprietà meccaniche del legno sono tuttavia particolarmente influenzate dalla sua anisotropia e dal suo comportamento reologico: il legno risente marcatamente delle condizioni ambientali, della durata e della direzione di applicazione del carico. Le curve tensione-deformazione (σ - ϵ) di un elemento ligneo evidenziano un comportamento da fragile a marcatamente fragile, ad eccezione del caso in cui l’elemento sia compresso perpendicolarmente alla fibratura. I meccanismi di rottura associati alle sollecitazioni di tipo flessionale e tagliante denotano anch’essi un comportamento poco duttile, quindi non adatto ad assorbire gli effetti indotti dalle azioni sismiche. L’orientamento del carico applicato rispetto alla fibra, nonché i difetti presenti negli elementi lignei, possono ulteriormente introdurre non solo riduzioni di resistenza ma anche comportamenti nettamente più fragili.



- a) Unioni incollate ($A=12500 \text{ mm}^2$)
- b) Connettore ad anello ($d=100 \text{ mm}$)
- c) Piastra dentata doppia ($d=62 \text{ mm}$)
- d) Spinotto ($d=14 \text{ mm}$)
- e) Bullone ($d=14 \text{ mm}$)
- f) Piastra a chiodi di lamiera metallica punzonata ($A=100 \times 100 \text{ mm}^2$)
- g) Chiodo ($d=4.4 \text{ mm}$)

Figura 1.1. Curve sperimentali carico-scorrimento per unioni sollecitate a trazione parallela alla fibratura (figura da Racher [1995])

L'aspetto più importante da considerare nella progettazione di edifici in legno sismo-resistenti riguarda la corretta scelta e dimensionamento dei collegamenti meccanici.

Alcuni dei sistemi costruttivi lignei utilizzati nella realizzazione degli edifici a scopo abitativo sono stati concepiti in zone dove il problema sismico riveste un ruolo secondario nella progettazione. Tuttavia, nel corso degli ultimi anni si è assistito a un'ampia diffusione di tali sistemi anche in aree soggette a rischio sismico medio-alto. Alcune di queste strutture sono state oggetto di ricerca e di sperimentazione in laboratorio, ai fini di meglio comprendere, e quindi migliorare, il comportamento sismo-resistente. Per una panoramica più completa sulle attività svolte e sui principali risultati ottenuti si rimanda a testi specialistici, mentre si vogliono qui richiamare alcuni grandi progetti di ricerca recentemente conclusi: SOFIE (www.progettosofie.it), SERIES Project (www.series.upatras.gr), CUREE-Caltech Woodframe Project (www.curee.org), e NEESWOOD Project (<http://nees.buffalo.edu/projects/NEESWood/>).

In tutta generalità, si può dimostrare che la duttilità, la capacità dissipativa e, in parte, la robustezza dei sistemi costruttivi lignei possono essere assicurate scegliendo e progettando adeguatamente le connessioni. In Figura 1.1 sono riportate le curve di risposta monotona carico-scorrimento ($F-u$) da cui si possono evidenziare i corrispondenti livelli di duttilità per diverse connessioni. La capacità dissipativa dei collegamenti a seguito di cicli ripetuti di carico è funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali e dalla configurazione geometrica dei connettori. Prove in laboratorio hanno dimostrato che solo alcune tipologie di connessione permettono di raggiungere buoni livelli di duttilità mantenendo un comportamento oligociclico adeguato. I collegamenti normalmente utilizzati nelle costruzioni in legno moderne privilegiano l'uso di elementi preformati in acciaio in combinazione con connettori del tipo a spinotto (chiodi, viti, spinotti, bulloni, ecc.) per conferire la duttilità richiesta alla struttura. Indipendentemente dai dispositivi meccanici impiegati, l'ottica è quella di assicurare sufficienti capacità di deformazione anelastica al sistema. La risposta globale finale della struttura è comunque vincolata alla progettazione nel pieno rispetto del principio della gerarchia delle resistenze o, in termini più generali, del capacity design. Progettare sistemi costruttivi lignei in accordo al capacity design implica dimensionare collegamenti a comportamento duttile, nonché mantenere gli elementi lignei a comportamento fragile in campo elastico.

Le soluzioni strutturali maggiormente utilizzate per la realizzazione di edifici in legno si possono classificare in due grandi categorie: (i) costruzioni di tipo intelaiato leggero e (ii) costruzioni di tipo massiccio. La classificazione si basa sul tipo di elementi lignei utilizzati per costruire le pareti portanti. Il mercato, in particolare, ha spinto sull'uso di soluzioni che consentono un rapido assemblaggio in opera dell'edificio, partendo da elementi costruttivi con un livello di prefabbricazione diversa in funzione della complessità dell'opera. Di fatto, sono state promosse le tipologie costruttive che si possono definire a "pannelli portanti lignei", che includono sia i sistemi a pannelli intelaiati leggeri (woodframe o timber framed panel systems), che i sistemi a pannelli di compensato di tavole a strati incrociati (XLAM). In entrambe le soluzioni strutturali, ciascun piano di solaio offre una superficie di lavoro per i livelli successivi agevolando notevolmente il processo di assemblaggio degli elementi; la tecnica è anche nota come platform frame (Figura 1.2(a)). Gli edifici in legno realizzati con la tecnica costruttiva moderna del tipo a pannello, siano essi del tipo intelaiato leggero che di tipo a pannelli di compensato di tavole, sono pensati per distribuire le forze orizzontali tra i singoli elementi costruttivi sfruttando principalmente la resistenza e rigidità offerta dagli elementi nel piano (Figura 1.2(b)). All'interno dell'organismo resistente si possono identificare elementi verticali, pareti di taglio, ed elementi orizzontali, elementi a diaframma, vincolati in modo da trasferire i carichi orizzontali fino in fondazione.

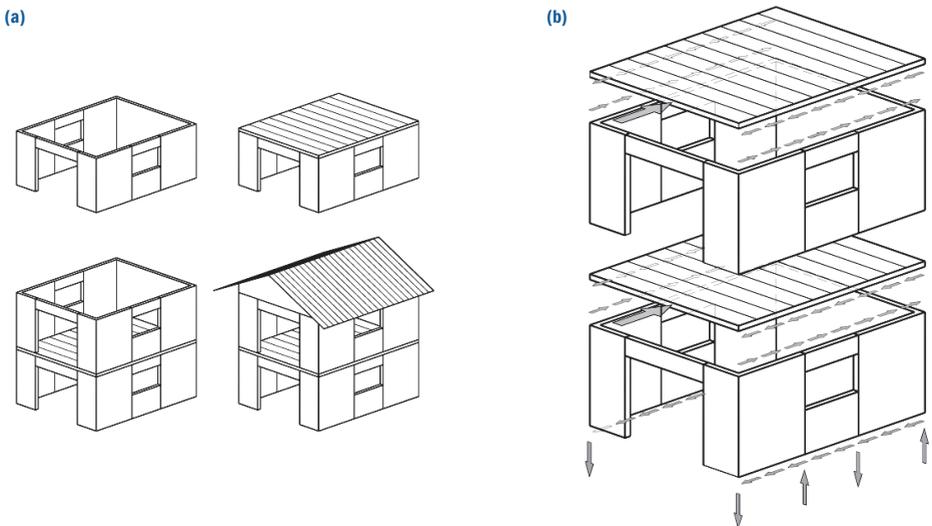


Figura 1.2. (a) Costruzione di strutture a pannelli portanti di legno e (b) percorso di trasferimento delle forze orizzontali in fondazione

Nella fase di concezione della struttura, il sistema deve essere pensato per assicurare la continuità nella trasmissione delle forze a terra, siano esse di tipo orizzontale che verticale, e predisponendo tutte le misure necessarie a garantire un numero sufficiente di collegamenti in relazione al livello delle azioni. Nello specifico, il trasferimento delle sollecitazioni tra gli elementi di parete avviene impiegando collegamenti meccanici in grado di contrastare le azioni di taglio e di ribaltamento generate dalle forze sismiche ai singoli piani.

Nell'assemblaggio della struttura si utilizzano principalmente dispositivi metallici atti ad impedire lo scorrimento di base e il ribaltamento (Figura 1.3). La tipologia, il materiale e la configurazione di questi collegamenti diventano una peculiarità del sistema costruttivo, in relazione al processo esecutivo adottato per la costruzione. Per gli edifici ordinari si utilizzano generalmente degli elementi preformati in acciaio in combinazione con connettori a gambo cilindrico tra i quali viti, spinotti, bulloni, chiodi o graffe metalliche (Figura 1.4).

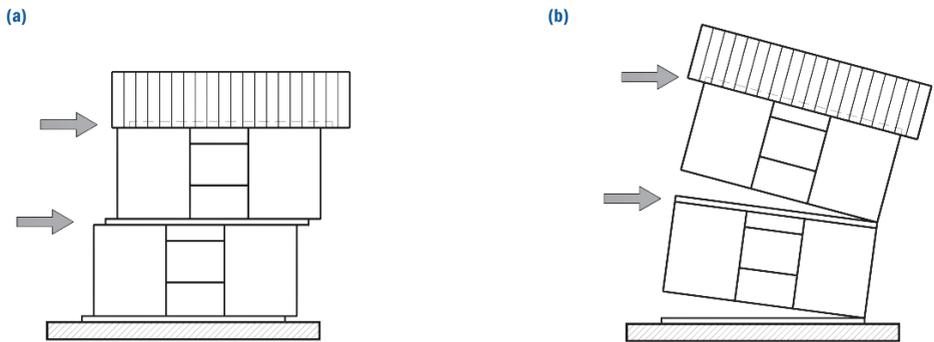


Figura 1.3. Sistema costruttivo con tecnologia a pannelli portanti in legno; meccanismo di scorrimento (a) e di ribaltamento (b) innescato su ciascun piano

La diffusione sul mercato edilizio di questi dispositivi ha permesso di proporre delle soluzioni di comprovata affidabilità da impiegare in sede progettuale.

1.3.1 SISTEMA COSTRUTTIVO A PANNELLI INTELAIATI LEGGERI

Il sistema costruttivo a pannelli intelaiati leggeri è molto diffuso nella realizzazione di edifici ad uso residenziale. La tecnica di costruzione ha origine in Nord America e nonostante il sistema abbia subito nel tempo costanti modifiche, rivolte soprattutto alla prefabbricazione e standardizzazione degli elementi costruttivi e all'uso di prodotti ingegnerizzati, tuttavia il principio di funzionamento rimane immutato. In Figura 1.5 sono riportati il processo di costruzione di un edificio a più piani e alcuni dettagli costruttivi rappresentativi.

Le pareti dell'edificio ad ogni piano si compongono di un'intelaiatura principale in legno irrigidita da pannelli a base lignea o derivati, con azione controventante e di tamponamento, collegati meccanicamente su una o entrambe le facce.

I fogli di rivestimento sono generalmente fissati ai telai in legno mediante chiodi, viti o graffe. In risposta alle esigenze di natura tecnico-architettonica materiali specifici per l'isolamento termico e acustico sono inseriti a scomparsa tra i montanti della parete. Il singolo elemento costruttivo che compone le pareti in ciascuna direzione dell'edificio ha una dimensione vincolata alla dimensione massima dei fogli di rivestimento. Si riconosce l'elemento parete di taglio (*shear wall*) come l'unità minima di parete con caratteristiche portanti proprie, tali da assicurare la resistenza sia nei confronti delle azioni orizzontali che verticali. L'elemento *shear wall* è composto almeno da tre montanti in legno, tipicamente massiccio o lamellare, un corrente superiore e uno inferiore, fogli di rivestimento in OSB, compensato, o altri materiali, fissati meccanicamente lungo i bordi del telaio (Figura 1.6).

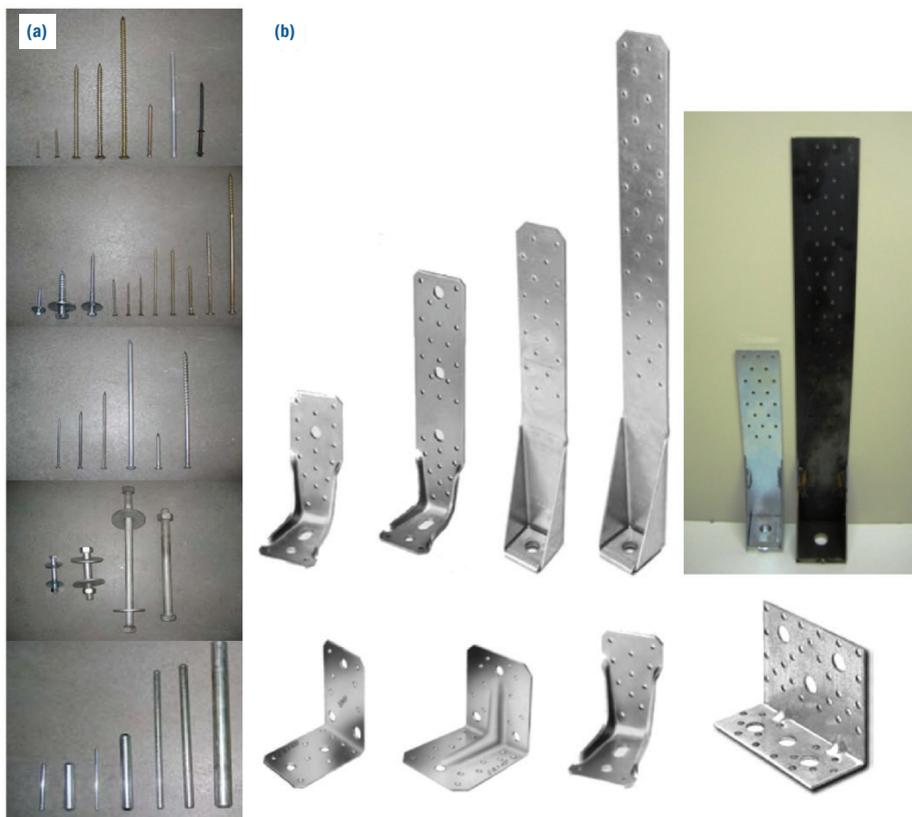


Figura 1.4. (a) Panoramica sui connettori metallici a gambo cilindrico; (b) dispositivi meccanici in acciaio per l'assemblaggio del sistema costruttivo di edifici in legno

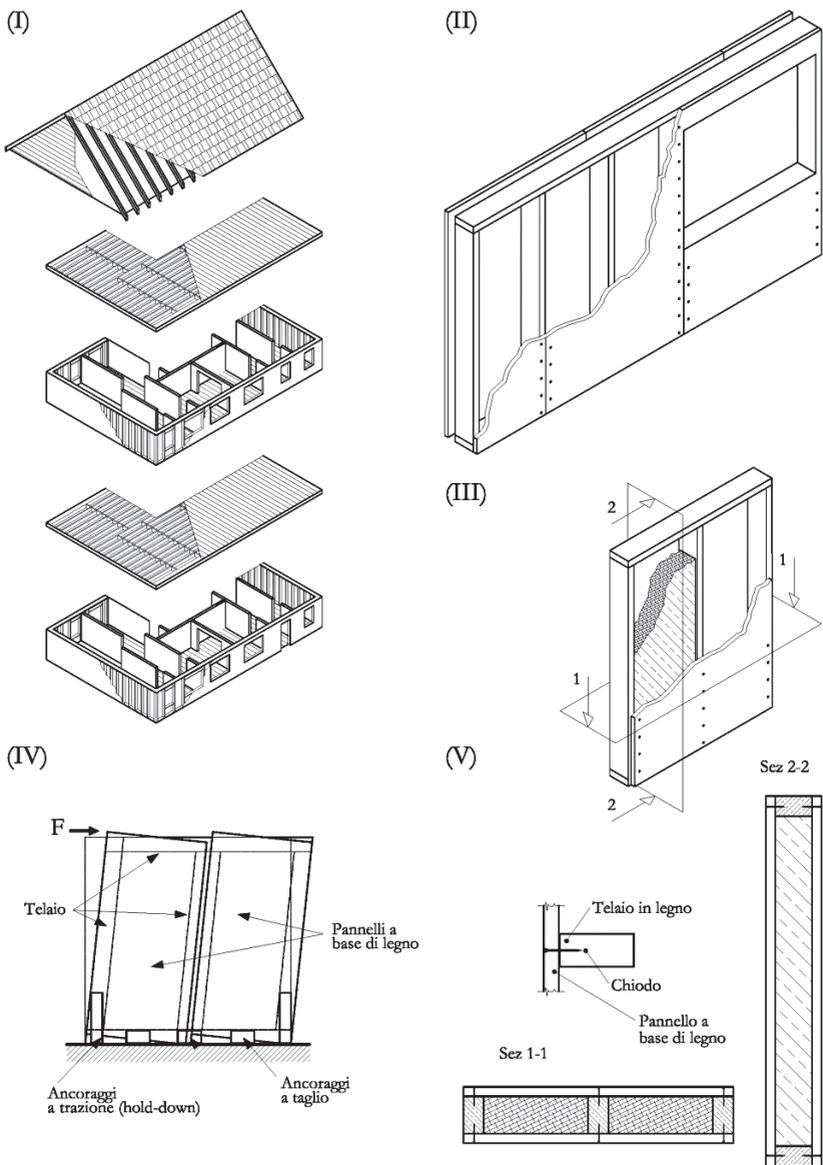


Figura 1.5. Edificio realizzato utilizzando la tecnica costruttiva a pannelli intelaiati leggeri: (I) spaccato assometrico della struttura; (II) configurazione delle pareti; (III) collegamenti meccanici per impedire il sollevamento e lo scorrimento degli elementi shear wall; (IV) sezione verticale e orizzontale della parete e collegamento tipico tra il telaio e i pannelli di rivestimento

I connettori utilizzati per assemblare meccanicamente le pareti sono posti a un interasse definito in funzione delle richieste progettuali, solitamente compresi tra 5 e 30 cm. I montanti sono disposti ad un interasse compreso tra i 40 e 80 cm. Ogni elemento *shear wall* è vincolato alla base mediante dispositivi di collegamento atti ad impedirne lo scorrimento e il ribaltamento per effetto di forze orizzontali. I fogli di rivestimento possiedono delle dimensioni standard: in Europa in genere si trovano pannelli con dimensioni pari a 1,25x2,5 m, in Nuova Zelanda 1,2x2,4 m, mentre in Nord America e Canada sono comuni pannelli in dimensioni 1,22x2,44 m, mentre lo spessore oscilla solitamente nell'intervallo 8÷30 mm. La configurazione ottimale è quella con i fogli di rivestimento orientati con il lato lungo in verticale. Nei casi in cui i pannelli di rivestimento siano orientati orizzontalmente c'è la necessità di irrigidire l'elemento *shear wall*, per esempio utilizzando dei rinforzi trasversali in legno inseriti tra i montanti.

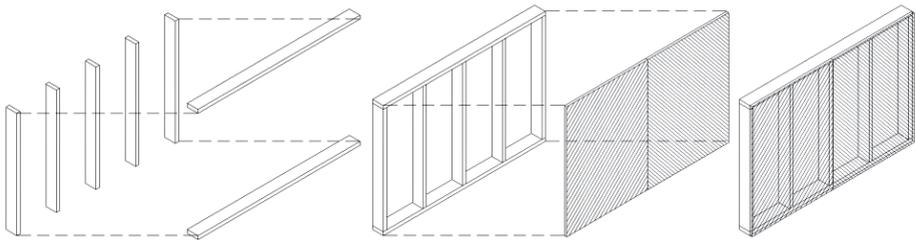


Figura 1.6. Stratigrafia di una parete impiegata nella realizzazione di edifici a pannelli intelaiati leggeri

Agli orizzontamenti è richiesta la capacità di distribuire le forze sismiche di piano su ciascun elemento verticale *shear wall* in funzione della rigidità nel piano delle pareti controventanti. I solai realizzati con tecniche tradizionali, per essere sufficientemente rigidi e resistenti, devono essere costruiti con travi ad interasse regolare, controventate nel piano mediante pannelli a base di legno disposti a giunti sfalsati e fissati meccanicamente. È in crescita l'uso di solai lignei realizzati con elementi prefabbricati a cassone, a pannelli nervati o a pannelli in legno lamellare sdraiato, tipicamente con larghezza variabile nell'intervallo 0,6÷1,3 m, nonché l'uso di pannelli massicci "pieni" giuntati meccanicamente ai bordi e alle estremità per conferire loro adeguata rigidità e resistenza nel piano. I moduli degli orizzontamenti prefabbricati a cassone possono essere composti anche accoppiando travi in legno massiccio, LVL o legno lamellare, ai pannelli a base di legno compensato, truciolare o OSB su una o entrambe le facce, mediante incollaggio.

Il comportamento della struttura a pannelli intelaiati leggeri evidenzia il ruolo dei collegamenti nel percorso di trasferimento dei carichi a terra, soprattutto se ci riferiamo alle forze sismiche orizzontali. I collegamenti utilizzati sulle pareti sono dispositivi meccanici inseriti in prossimità dei piani, atti ad evitarne lo scorrimento e il ribaltamento indotto dalle forze orizzontali, e connettori metallici a gambo cilindrico, utilizzati per assemblare il telaio.

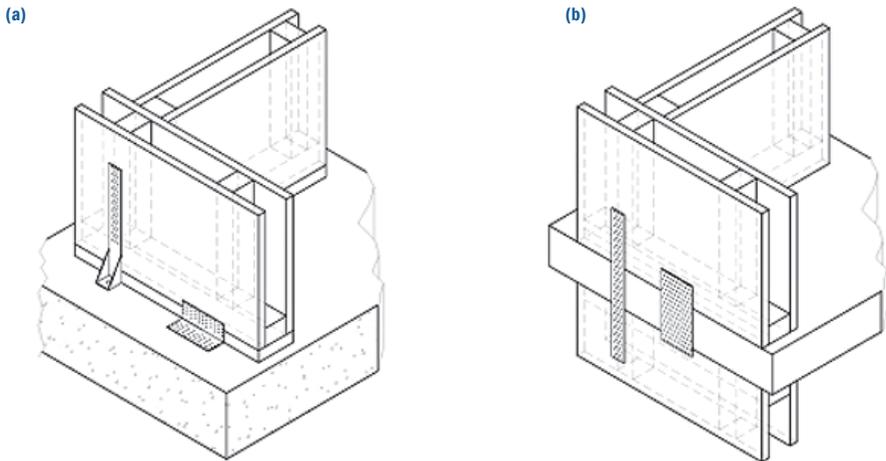


Figura 1.7. Dispositivi meccanici utilizzati per il collegamento delle pareti a terra (a) e ai piani (b)

La dissipazione energetica e la capacità in duttilità della struttura sono strettamente riconducibili al comportamento anelastico dei collegamenti. I collegamenti utilizzati nell'assemblaggio del sistema costruttivo e la relativa configurazione ai piani sono rappresentati in Figura 1.7. Si tratta spesso di sistemi di collegamento standard commercializzati a catalogo e accompagnati da schede tecniche e certificazione di prodotto.

Il comportamento sismico del sistema costruttivo a pannelli intelaiati leggeri è legato alla risposta non lineare degli elementi *shear wall* e ai dispositivi di collegamento che ancorano le pareti ad ogni piano. Il solaio distribuisce le forze sismiche sulle pareti e ne previene lo sbandamento fuori piano.

I collegamenti assicurano la continuità nella trasmissione delle forze in pianta e tra i piani, e l'equilibrio globale del sistema. Il singolo modulo resistente di parete, *shear wall*, garantisce la resistenza, la rigidità e la stabilità ai carichi verticali e orizzontali delle pareti e la dissipazione dell'energia fornita dal sisma al sistema attraverso cicli di isteresi. Nei sistemi sismo-resistenti a pannelli intelaiati lignei, i carichi gravitazionali sono trasmessi in fondazione per mezzo dei montanti. I carichi orizzontali, generati dal terremoto o dal vento, sono invece assorbiti dall'insieme composto da fogli di rivestimento, connettori meccanici in acciaio e telai lignei. Nelle pareti progettate adeguatamente, sottoposte a carico orizzontale, si instaura il meccanismo di deformazione per taglio, indotto dallo scorrimento dei singoli connettori che collegano i fogli di rivestimento al telaio. Il comportamento non lineare degli elementi *shear wall* dipende quindi, in buona sostanza, dalle modalità di deformazione in campo anelastico dei singoli collegamenti.

1.3.2 SISTEMA COSTRUTTIVO A PANNELLI DI COMPENSATO DI TAVOLE IN LEGNO

Il sistema costruttivo a pannelli di legno massiccio a strati incrociati, tecnologia di frequente denominata XLAM è già ampiamente diffusa in Europa, soprattutto nelle aree alpine, ma si sta affermando anche in altri paesi tra i quali soprattutto Canada e USA. Il processo di costruzione e di comportamento meccanico globale della struttura riprende i principi già descritti per gli edifici a tecnologia *platform frame*. Per questi sistemi costruttivi si utilizzano dei pannelli di legno massicci sia come elementi costruttivi verticali che orizzontali. I pannelli in dimensione d'uso si ottengono incollando tavole in legno classificate secondo la resistenza e disposte a strati (almeno 3) inclinati a 90° fra di loro in modo da ottenere pannelli adatti all'uso strutturale (nelle sole classi di servizio 1 e 2 in accordo all'Eurocodice 5 [CEN, 2004a]). Il risultato del processo di produzione è un pannello con caratteristiche di resistenza migliori rispetto al materiale base, e con prestazioni in termini di resistenza e rigidità stabili nel tempo anche considerando il comportamento reologico del legno.

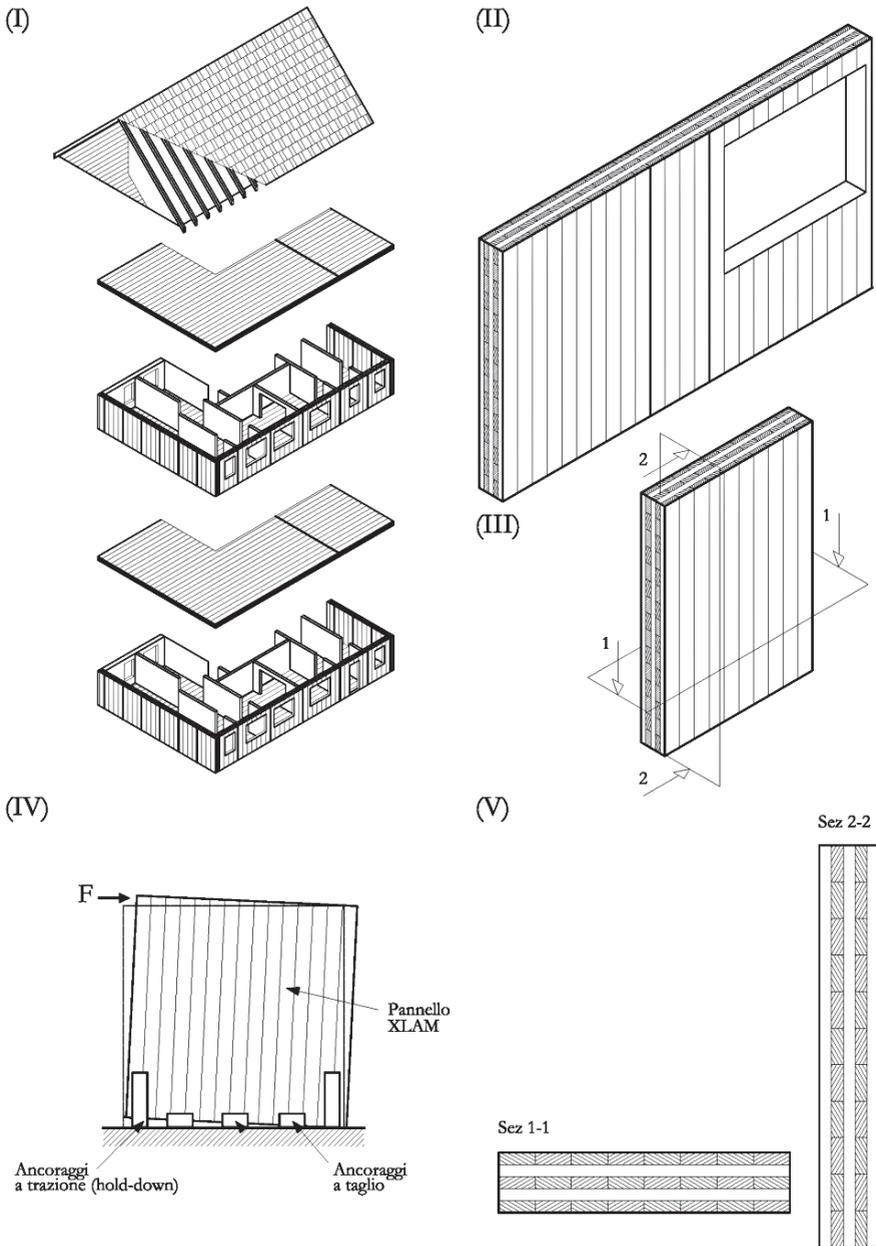


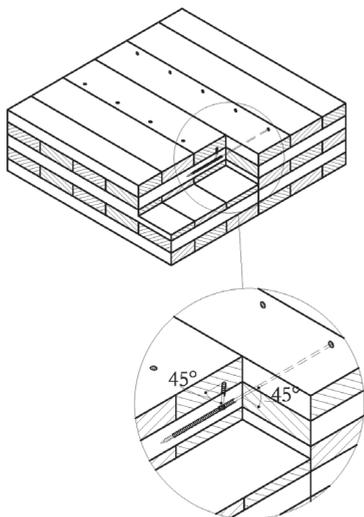
Figura 1.8. Edificio realizzato utilizzando la tecnica costruttiva a pannelli massicci di compensato di tavole in legno: (I) spaccato assonometrico della struttura; (II) configurazione delle pareti; (III) singolo elemento shear wall; (IV) collegamenti meccanici per impedire il sollevamento e lo scorrimento degli elementi shear wall; (V) sezione verticale e orizzontale della parete

Questo sistema costruttivo si pone come valida alternativa ai sistemi tradizionali in muratura nella realizzazione di edifici con un numero elevato di partizioni interne quali condomini, hotel e edifici ad uso residenziale in genere.

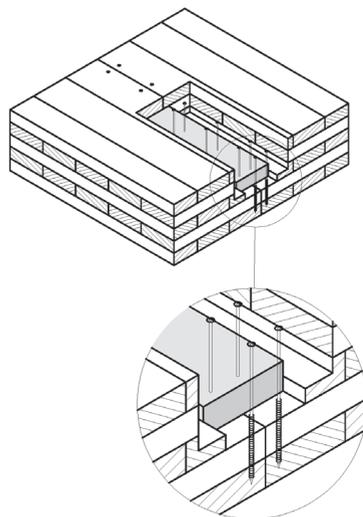
Un edificio costruito con la tecnologia costruttiva a pannelli di compensato di tavole in legno (XLAM) è una struttura scatolare in cui gli orizzontamenti e le pareti sono elementi lignei molto rigidi e resistenti (Figura 1.8). Il comportamento tridimensionale della struttura è assicurato dai collegamenti tra i singoli elementi che compongono le pareti e i solai e dai collegamenti tra gli orizzontamenti e la struttura verticale. In funzione della direzione del carico applicato sul pannello, i pannelli XLAM possono essere interessati da azioni nel proprio piano (comportamento a lastra o membranale) o da azioni fuori piano (comportamento a piastra). In entrambi i casi lo stato tensionale interno al pannello è influenzato dal numero di strati di tavole, dallo spessore e dall'orientamento reciproco tra le tavole. I pannelli XLAM presenti in commercio presentano larghezze fino a circa 3 m, lunghezze usuali fino a 16 m (ma ciò dipende dal singolo produttore), spessori anche oltre 500 mm e, su richiesta, possono essere provvisti di fori per l'installazione degli infissi o altre parti impiantistiche. Le dimensioni finali del pannello sono funzione della facilità di movimentazione e trasporto in cantiere, ma anche e soprattutto della possibilità offerta dalla singola officina di produzione.

A differenza del sistema con pannelli intelaiati di legno, dove sono impiegati un alto numero di connettori metallici di fissaggio tra i fogli di rivestimento e il telaio in legno, il sistema con pannelli di legno massiccio a strati incrociati presenta pareti massicce e connessioni meccaniche localizzate solo in prossimità delle zone di contatto tra i pannelli. Nel percorso di trasferimento delle forze orizzontali a terra, i collegamenti giocano quindi un ruolo primario e diventano di fondamentale importanza per garantire la dissipazione dell'energia prodotta dal sisma. I connettori e i dispositivi di collegamento sono installati in modo da contrastare lo scorrimento e il ribaltamento indotto dalle azioni cosiddette taglianti di piano per effetto delle forze sismiche. Le connessioni, classificate in funzione degli elementi costruttivi collegati, possono assumere la configurazione di tipo parete-parete, parete-fondazione, parete-solaio e solaio-solaio. In generale sono utilizzati connettori metallici a gambo cilindrico come viti autoforanti, chiodi, perni e bulloni e dispositivi di ancoraggio preformati in acciaio (angolari, *hold-down*). Le Figure 1.9, 1.10 e 1.11 riportano alcune configurazioni tipiche per i collegamenti, mentre per maggiori dettagli si rimanda al Capitolo successivo.

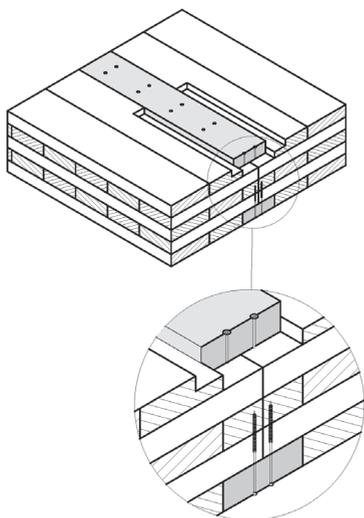
(I)



(II)



(III)



(IV)

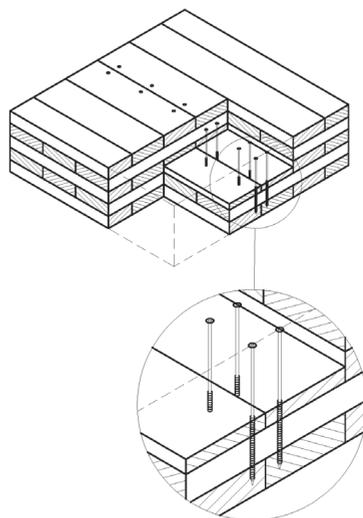
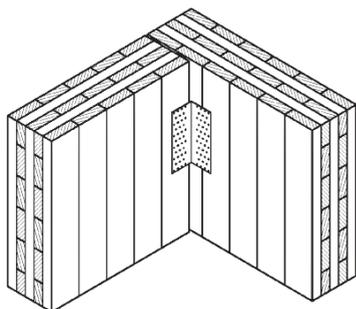


Figura 1.9. Dettagli costruttivi dei collegamenti utilizzati nel sistema costruttivo a pannelli di compensato di tavole in legno (tecnologia XLAM): accoppiamento pannello-pannello con (I) coppie di viti autoforanti installate inclinate a 45°; (II) copri-giunto incassato; (III) copri-giunti sulle facce esterne (chiodati o avvitati); (IV) intaglio a mezzo legno e chiusura mediante viti

(I)



(II)

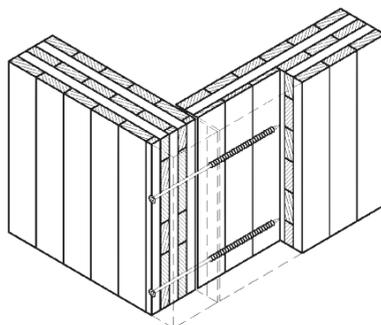
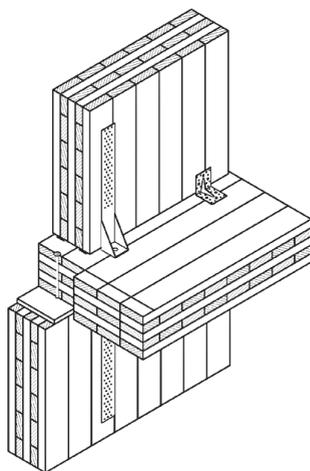


Figura 1.10. Dettagli costruttivi dei collegamenti utilizzati nel sistema costruttivo a pannelli di compensato di tavole in legno (tecnologia XLAM): collegamenti parete-parete con (I) angolari meccanici, (II) viti autoforanti

Nel sistema con pannelli di legno massiccio a strati incrociati, la parete sostiene i carichi gravitazionali lungo tutto il suo sviluppo; a seguito di forze orizzontali i pannelli XLAM rimangono praticamente in campo elastico, poiché molto più resistenti delle connessioni, in cui si concentra invece tutta la capacità anelastica e la dissipazione energetica della struttura.

(I)



(II)

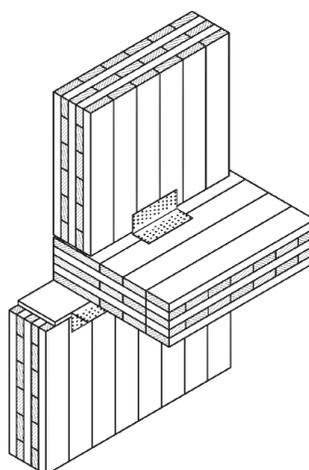


Figura 1.11. Dettagli costruttivi dei collegamenti utilizzati nel sistema costruttivo a pannelli di compensato di tavole in legno (tecnologia XLAM): collegamenti parete-solaio-parete in configurazione (I) e (II)

1.4 INDAGINI SPERIMENTALI PER LO STUDIO DEL COMPORTAMENTO NON LINEARE DEGLI EDIFICI IN LEGNO

Il comportamento sismico dei sistemi costruttivi lignei a pannelli portanti è fortemente influenzato dalla risposta non lineare dei singoli elementi parete (*shear walls*), ai quali vengono trasmesse le forze inerziali di piano dai solai. La capacità in deformazione anelastica del singolo elemento *shear wall* è governata in primis dai collegamenti: una buona duttilità è ottenuta in particolare rispettando il criterio della gerarchia delle resistenze (*capacity design*) in fase di dimensionamento. Sul meccanismo di deformazione anelastica dell'elemento *shear walls* incide pesantemente la configurazione dei carichi applicati in sommità alla parete, verticali e orizzontali, e il suo rapporto di forma (espresso come rapporto tra la base e l'altezza della parete di taglio). Le pareti sono generalmente meno rigide dei solai: tipicamente, nel comportamento tridimensionale globale dell'edificio, la deformabilità degli orizzontamenti può essere trascurata. La curva di comportamento espressa in termini di carico-spostamento ($F-\Delta$) di un elemento parete (*shear walls*) denota un comportamento marcatamente non lineare, con cicli di isteresi affetti da degrado e da *pinching*, in funzione del livello e della storia di carico imposta. Sulla forma del legame $F-\Delta$ incide anche la variabilità aleatoria delle proprietà dei materiali e l'incertezza geometrica degli elementi costruttivi. L'incertezza di comportamento dell'elemento *shear walls* si riflette sulla risposta anelastica di tutto l'edificio. L'elemento è da intendersi quale componente strutturale primario nella definizione della capacità resistente dell'edificio.

1.5 CARATTERIZZAZIONE SPERIMENTALE DEI SISTEMI COSTRUTTIVI IN LEGNO

In letteratura si trovano dati di prove sperimentali eseguite su campioni di parete testati considerando svariate configurazioni di carico, di vincolo, di forma costruttiva e di collegamento a terra. Svariati test sono stati eseguiti presso il laboratorio Prove Materiali e Strutture dell'Università degli Studi di Trento, con prove finalizzate alla caratterizzazione sperimentale sia di elementi costruttivi in compensato di tavole, sia di elementi costruttivi con struttura a pannelli intelaiati leggeri. Queste prove permettono di approfondire lo stato delle conoscenze sulle attuali tecniche costruttive, sulle pratiche costruttive in uso e sui materiali utilizzati nella realizzazione di edifici moderni in legno.

Nel seguito si richiamano solo alcuni aspetti e peculiarità riguardanti tali sistemi costruttivi, rimandando a testi specialistici per una trattazione più completa e approfondita.

1.5.1 MECCANISMI DI DEFORMAZIONE DEI PANNELLI INTELAIATI LEGGERI

La curva di comportamento forza-spostamento ($F-\Delta$) e il meccanismo di deformazione di un elemento shear wall nei sistemi a pannelli intelaiati sono influenzati dalle proprietà meccaniche dei collegamenti di base e dei connettori utilizzati per il suo assemblaggio. I meccanismi anelastici che si possono manifestare a livello di singola parete di taglio sono riconducibili a due casi limite: (i) quello collegato alla deformazione per taglio puro (racking mode of deformation) e (ii) quello corrispondente alla sola rotazione a blocchi 'rigidi' (rocking mode of deformation). Più in generale, il meccanismo deformativo può essere descritto dalla combinazione di questi due comportamenti limite.

Il comportamento non lineare delle strutture lignee si massimizza in fase di progettazione rispettando il principio della gerarchia delle resistenze (capacity design) nel dimensionamento dei collegamenti, considerando eventualmente l'effetto favorevole dei carichi verticali agenti in sommità alla parete. In generale, i collegamenti di base degli elementi shear wall sono dimensionati in modo da inibire ogni possibilità di scorrimento e ribaltamento fino al raggiungimento della loro capacità massima. In questa condizione, si osserva sperimentalmente una risposta non lineare degli elementi shear wall dipendente dal comportamento meccanico dei mezzi di collegamento utilizzati per unire i fogli di rivestimento al telaio. L'ammontare della deformazione anelastica misurata sullo shear wall si può esprimere in relazione al suo rapporto di forma (r) e al valore di scorrimento raggiunto nei connettori. La duttilità massima disponibile diventa funzione del modo di rottura che si instaura a livello del singolo connettore. Il racking mode of deformation (Figura 1.12 (a)) è un meccanismo tipico degli elementi parete correttamente dimensionati in accordo al capacity design. Diversamente, quando i collegamenti di base non sono dimensionati per offrire un'adequata resistenza, si può instaurare un meccanismo per ribaltamento della parete, in seguito al cedimento localizzato del/i collegamento/i di base (Figura 1.12 (b)). Per questo meccanismo si osserva un comportamento dell'elemento shear wall scarsamente duttile e con tipiche rotture di tipo fragile (Figura 1.13). In aggiunta, mentre il meccanismo di tipo racking mode of deformation tende a distribuire la deformazione plastica lungo tutti i bordi dell'elemento, nel meccanismo di tipo rocking mode of deformation la deformazione plastica va a interessare principalmente i dispositivi di ancoraggio a terra (hold-down, tie-down). Nel caso più generale si può assistere ad un comportamento misto in cui sono presenti i due meccanismi limite (Figura 1.12 (c)).

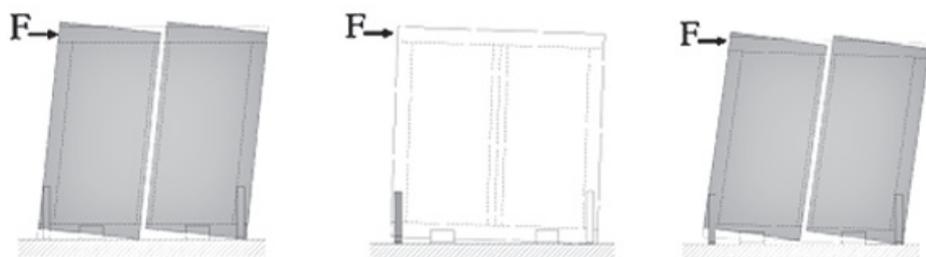


Figura 1.12. Meccanismi di deformazione anelastica per elementi parete a pannelli intalati leggeri: (a) comportamento per racking mode of deformation in seguito allo scorrimento tra i pannelli di rivestimento e il telaio; (b) comportamento per rocking mode of deformation in seguito al cedimento dell'ancoraggio di base; (c) comportamento per deformazione mista



Figura 1.13. (a) Prove sperimentali di pareti intalate condotte presso il laboratorio prove Materiali e Strutture dell'Università di Trento; (b) rottura per strappo del dispositivo di ancoraggio a terra; (c) sollevamento della parete per cedimento dell'ancoraggio di base e apertura del pannello di rivestimento della parete

1.5.2 MECCANISMI DI DEFORMAZIONE DEI PANNELLI MASSICCI DI COMPENSATO DI TAVOLE

Il meccanismo di deformazione globale che interessa un edificio costruito utilizzando il sistema strutturale a pannelli massicci di compensato di tavole (XLAM) è particolarmente influenzato dalla configurazione dei collegamenti. Prove sperimentali eseguite su singoli elementi parete in XLAM hanno dimostrato la stretta relazione che intercorre tra il meccanismo di deformazione atteso e la distribuzione dei collegamenti, in particolare al variare della geometria dei singoli pannelli (per es. il rapporto di forma $r=h/b$). In funzione del tipo di connettore o dispositivo meccanico di collegamento utilizzato e della loro distribuzione nello spazio si possono misurare risposte strutturali (forza-spostamento, $F-\Delta$) sensibilmente diverse.

Il comportamento anelastico di una parete XLAM a rottura è governato da alcuni meccanismi caratteristici che interessano i collegamenti, siano essi del tipo a taglio (per es. squadrette metalliche con chiodi) oppure dispositivi contro il sollevamento (per es. hold-down con chiodi). Per dispositivi di collegamento di uso corrente si riescono ad ottenere livelli accettabili di duttilità e capacità dissipativa solamente quando il meccanismo di deformazione è dominato dallo snervamento dei chiodi utilizzati per connettere il dispositivo di ancoraggio al pannello XLAM, evitando rotture fragili (per esempio la rottura a trazione dell'ancoraggio stesso).

Nella pratica costruttiva corrente i dispositivi di collegamento sono formati da elementi sottili in acciaio formati a freddo e in alcuni casi irrigiditi mediante costolature. Tali ancoraggi sono fissati alla parete lignea mediante l'uso di chiodi (o viti). I meccanismi di deformazione che si osservano sperimentalmente denotano una capacità plastica condizionata dall'eccentricità di carico. In Figura 1.14 si riportano alcune immagini di meccanismi di rottura osservati a seguito di prove sperimentali eseguite su alcuni dispositivi di collegamento (Acler et al. [2011]).

Sperimentalmente si è dimostrato che i singoli pannelli XLAM possono essere considerati rigidi nel loro piano, così che risulta ragionevole considerare, in modo semplificato, che la capacità in spostamento della parete sia il risultato della deformazione subita dai collegamenti. I meccanismi di deformazione che si innescano possono essere ricondotti a due casi limite: (i) un modo di deformazione per scorrimento alla base (Figura 1.15 (a)) e (ii) uno per rotazione rigida del pannello (Figura 1.15 (b)). Nel caso più generale, il meccanismo si manifesta per combinazione di uno scorrimento e un sollevamento sul piano di base (Figura 1.15 (c)).

I meccanismi sono vincolati al comportamento dei collegamenti che partecipano alla deformazione. In funzione del fattore di forma (r) e dell'entità di carico verticale alla sommità della parete, si identifica il meccanismo di deformazione maggiormente probabile.

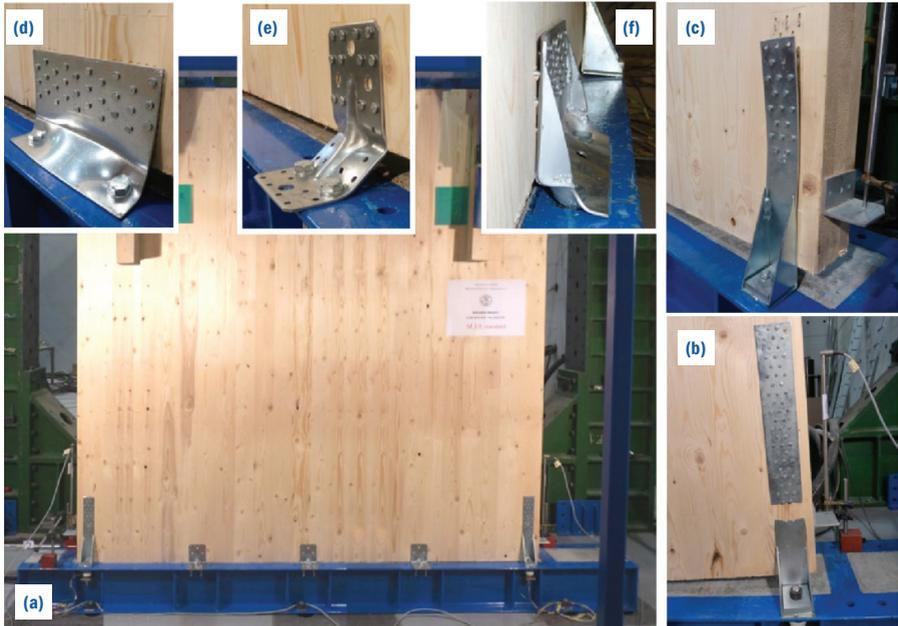


Figura 1.14. (a) Prove sperimentali di pareti XLAM eseguite presso il laboratorio di Prove Strutture e Materiali dell'Università di Trento; (b) rottura fragile dell'hold-down per trazione; (c) rottura della connessione chiodata dell'hold-down; (d)(e)(f) deformazione plastica di diversi tipi di angolari di base a seguito di taglio e trazione (Figure modificate da Acier [2012])

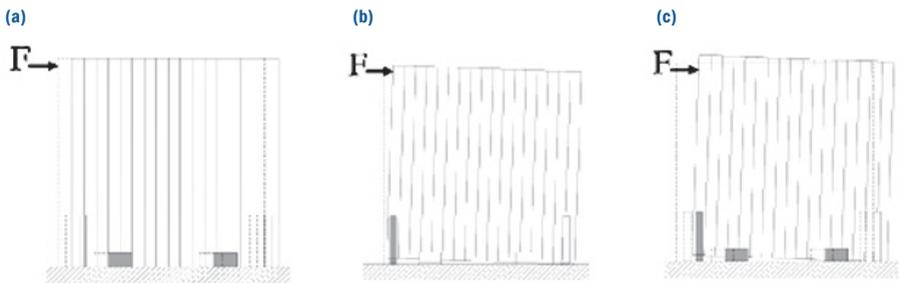


Figura 1.15. Meccanismi di deformazione anelastica per elementi parete a pannelli di compensato di tavole: (a) meccanismo di deformazione per scorrimento di base, cedimento degli angolari a taglio; (b) meccanismo di deformazione per rotazione alla base, cedimento dei dispositivi di ancoraggio; (c) comportamento misto per scorrimento e ribaltamento del pannello massiccio

Nel caso di pannelli XLAM accoppiati mediante collegamenti a parziale ripristino di resistenza, il meccanismo di deformazione anelastico che si instaura può essere sensibilmente diverso da quello dei pannelli singoli. In funzione della capacità resistente e rigidità dei giunti verticali pannello-pannello, i meccanismi locali dei collegamenti di base possono essere sollecitati in modo diverso rispetto al caso dei pannelli isolati. Quando opportunamente dimensionati, i collegamenti interposti tra i singoli pannelli (giunti pannello-pannello) possono migliorare le capacità anelastiche delle pareti. La capacità in duttilità e in dissipazione può essere quindi incrementata inserendo tra i singoli pannelli XLAM dei giunti in grado di plasticizzarsi (Figura 1.16)

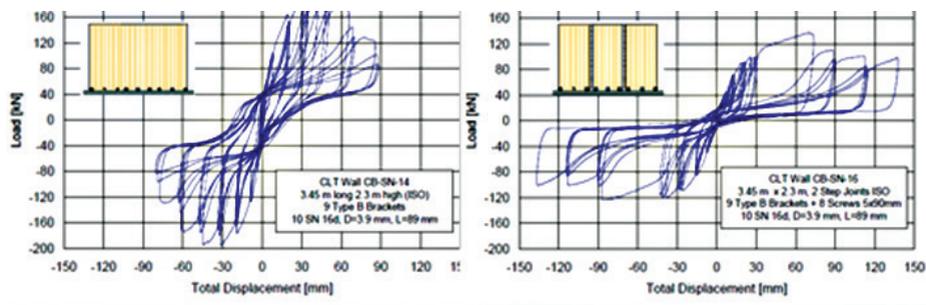


Figura 1.16. Raffronto tra le curve di risposta cicliche forza-spostamento (F- Δ) di una parete XLAM monolitica e una realizzata collegando meccanicamente degli elementi massicci XLAM (prove eseguite presso il laboratorio di FP Innovation; Popovsky and Karabeyli [2012])

Le prove sperimentali eseguite evidenziano l'influenza sul meccanismo di rottura della parete del livello di carico verticale in sommità alla stessa, della presenza di giunti di collegamento pannello-pannello, del rapporto di forma del pannello, in aggiunta alla capacità resistente dei collegamenti di base espressa in termini di forza, duttilità e capacità dissipativa. Normalmente la parete tende comunque a ruotare o scorrere per cedimento dei collegamenti. Così come avviene in altri sistemi costruttivi, l'effetto del carico verticale è quello di incrementare la resistenza della parete, andando a ridurre le forze di sollevamento sui connettori di base (hold-down, tie-down o altri dispositivi meccanici) e, soprattutto, incrementando l'effetto dell'attrito nelle zone di contatto alla base.

1.6 EDIFICI IN LEGNO E PROGETTAZIONE SISMICA SECONDO LA NORMATIVA VIGENTE

La normativa di riferimento per la progettazione delle strutture è rappresentata dalle “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC 2008). Si deve anche aggiungere che l’art. 45 del D.L. 6 dicembre 2011, n. 201 (Decreto Monti cosiddetto “Salva Italia”), modificando l’art. 54 del Testo unico dell’edilizia, di cui al D.P.R. n. 380, 6 giugno 2001, ha di fatto equiparato totalmente il legno agli altri materiali da costruzione ponendo come vincolo per la costruzione lignea in altezza il pieno rispetto di quanto imposto dalle NTC 2008 senza ulteriori vincoli. Di fatto, non esistono limitazioni nell’uso del legno ai fini strutturali per la realizzazione degli edifici, anche considerando altri aspetti quali quelli relativi alla sicurezza al fuoco e alla normativa antincendio, di cui al D.P.R. n° 151 del 1 agosto 2011, “Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione incendi”.

1.6.1 NORME E REGOLE DI PROGETTAZIONE SECONDO LE NTC 2008

L’entrata in vigore in Italia delle Norme Tecniche per le Costruzioni con effetto dal 1 luglio 2009, ha sancito il definitivo passaggio della norma italiana da una impostazione “prescrittiva” ad una “prestazionale”. Un’impostazione “prestazionale” comporta lasciare piena operatività al progettista nell’individuare gli strumenti più adatti per il dimensionamento della struttura, spostando quindi l’attenzione del normatore nel fissare i livelli di sicurezza e i principi di calcolo da rispettare. Nello specifico, al progettista è concessa una maggiore libertà nella ricerca di soluzioni strutturali ottimali, verificando poi il conseguimento dei livelli di sicurezza stabiliti dal legislatore nei confronti della salvaguardia della vita umana. Nel seguito, si vogliono fornire alcuni chiarimenti sul dimensionamento sismico dei sistemi strutturali in legno.

Le citate NTC 2008 trattano il tema delle strutture in legno principalmente ai paragrafi 4.4, 7.7 e 11.7. Regole specifiche per il dimensionamento sismico degli edifici in legno si trovano al Capitolo 7.7 delle NTC 2008, in aggiunta alle disposizioni incluse nell’Eurocodice 8 [CEN, 2004b]. L’impostazione della Norma per la parte relativa alla progettazione sismica di nuove costruzioni in legno è simile a quella per gli altri materiali strutturali: l’approccio di calcolo riconosce alla struttura la possibilità di sviluppare deformazioni anelastiche, anche notevoli, nonché di dissipare l’energia fornita dal sisma all’edificio evitando il collasso degli elementi costruttivi. In relazione al comportamento strutturale che si vuole conseguire sono definite due classi di comportamento: (i) strutturale dissipativo, tipo a e (ii) scarsamente dissipativo, tipo **b**.

Nella progettazione dell'edificio per gli stati limite di esercizio, stato limite di operatività (SLO) e di danneggiamento (SLD), il comportamento strutturale da assumere è quello di tipo non dissipativo, indipendentemente dalle proprietà anelastiche del sistema costruttivo. Il metodo di calcolo per gli stati limite ultimi, siano essi di salvaguardia della vita (SLV) o di prevenzione del collasso (SLC), si riferisce solitamente al comportamento strutturale dissipativo, valutato in funzione del comportamento non lineare della struttura. È comunque sempre possibile progettare edifici a comportamento strutturale non dissipativo nei confronti degli stati limite ultimi, nei casi in cui risulti difficile o impraticabile conferire una risposta duttile al sistema. Per gli elementi strutturali delle fondazioni, che devono essere dimensionati sulla base delle sollecitazioni ad essi trasmesse dalla struttura sovrastante, il comportamento da assumere è di tipo non dissipativo, indipendentemente dal comportamento strutturale attribuito alla struttura su di essa gravante.

1.6.2 REGOLARITÀ E CONCEZIONE STRUTTURALE

Nella progettazione strutturale ci si imbatte spesso in una serie di problematiche tra le quali spiccano non solo il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali, ma anche gli aspetti che riguardano la concezione e l'esecuzione dell'opera (tra queste spiccano le fasi di produzione, trasporto e montaggio). Una concezione strutturale unitaria dell'edificio risulta necessaria, nel rispetto delle esigenze architettoniche e funzionali, per un corretto dimensionamento degli elementi strutturali principali. Nella fase in cui si effettuano le scelte strutturali, risulta fondamentale un attento studio delle problematiche strutturali di impostazione del progetto, più che gli aspetti di dettaglio sul calcolo. Con particolare riferimento alla progettazione sismica, le NTC 2008 richiamano alcune regole specifiche da seguire per conferire all'organismo edilizio una adeguata capacità globale. Al paragrafo 7.2.2. delle medesime Norme sono descritte alcune caratteristiche da tenere in considerazione nella fase di concezione strutturale dell'edificio. Le scelte progettuali operate dovrebbero permettere la realizzazione di un edificio a elevata iperstaticità, con caratteristiche di regolarità in pianta e in elevazione, in grado di assicurare la rigidezza e la resistenza richieste nei confronti delle due componenti sismiche ortogonali orizzontali e, quando vincolante, anche della componente verticale.

1.6.3 CLASSE DI DUTTILITÀ PER GLI EDIFICI

Per strutture a comportamento strutturale dissipativo (tipo a), le NTC 2008 forniscono indicazioni sui materiali da impiegare, sui collegamenti, sulla duttilità e sul fattore di struttura di base (q_0), espresso come valore massimo, e definito in funzione della tipologia costruttiva. Nello specifico, si possono distinguere due livelli di Capacità Dissipativa o Classi di Duttilità (CD):

- ▶ Classe di duttilità alta (CD “A”);
- ▶ Classe di duttilità bassa (CD “B”).

La differenza tra le due classi di comportamento esprime la differenza nelle capacità post-elastiche della struttura. Il dimensionamento deve comunque rispettare il principio della gerarchia delle resistenze (capacity design), indipendentemente dalla classe di comportamento adottata. Il modello di calcolo della struttura in accordo al capacity design è definito con regole di progetto tali da assicurare un meccanismo anelastico duttile al sistema, garantendo la formazione di zone a comportamento dissipativo negli elementi duttili, ed evitando possibili rotture fragili degli elementi costruttivi o la formazione di meccanismi instabili imprevisi. La capacità dissipativa si esprime come somma dell'energia dissipata per isteresi dalle zone a tal fine individuate e progettate, dette “dissipative” o “critiche”. L'individuazione delle zone dissipative deve essere congruente con la tipologia strutturale, e in particolare con la risposta anelastica dei collegamenti. Poiché il comportamento sismico della struttura è largamente dipendente dal comportamento delle sue zone critiche, esse devono formarsi ove previsto e garantire un'adeguata risposta in presenza di azioni cicliche. Il comportamento globalmente dissipativo può ritenersi conseguito qualora le parti non dissipative possiedano una sovrarresistenza sufficiente (ottenuta mediante l'adozione di opportuni coefficienti di sovrarresistenza γ_{Rd}) a consentire lo sviluppo delle plasticizzazioni nelle zone dissipative. Si parla anche di “progettazione in capacità” degli elementi strutturali. Nell'attuale versione della norma non sono fornite indicazioni specifiche per l'attribuzione del coefficiente di sovrarresistenza agli elementi lignei a comportamento fragile.

Tuttavia, vengono fornite tutte le disposizioni costruttive e le regole di dettaglio da rispettare ai fini del dimensionamento dei collegamenti e degli impalcati, in funzione del comportamento atteso della struttura. In mancanza di analisi più approfondite, il coefficiente generico di sovraresistenza (γ_{Rd}) da adottare è pari a 1,3 per CD “A” e a 1,1 per CD “B”.

Nei paragrafi che seguono saranno trattati gli aspetti che riguardano la definizione del fattore di struttura, il suo utilizzo e le indicazioni sull'uso dei coefficienti di sovraresistenza in accordo al modello di calcolo del capacity design.

1.6.4 FATTORE DI STRUTTURA E COMPORTAMENTO STRUTTURALE: DUTTILITÀ E SMORZAMENTO DELL'EDIFICIO

La scelta del fattore di struttura di base (q_0) da assegnare ad una data tipologia strutturale è una operazione non banale, soprattutto se consideriamo che le vigenti NTC 2008 ne fissano esclusivamente il valore limite superiore. L'uso di un dato fattore q_0 presuppone a priori un ben definito comportamento strutturale dissipativo, che si esplica nella capacità della struttura di offrire definiti livelli di duttilità e capacità dissipativa, nonché di resistenza ai carichi agenti. Per quanto esposto nelle Sezioni precedenti, tali prestazioni possono essere garantite solo ed esclusivamente mediante una opportuna definizione dei collegamenti. Utilizzare un determinato valore per il parametro q_0 significa quindi dimensionare adeguatamente i collegamenti in relazione soprattutto all'applicazione del principio della gerarchia delle resistenze e attuare i relativi dettagli costruttivi. Per le strutture in legno è quindi accettato ridurre il livello di azione sismica di progetto a patto che il sistema costruttivo sia in grado di “subire” determinati livelli di deformazione anelastica, questi ultimi principalmente governati dalla capacità offerta dai collegamenti.

Il comportamento delle due tipologie strutturali di riferimento – il sistema a pannelli massicci XLAM e quello a pannelli intelaiati – si rivela sensibilmente diverso, soprattutto se consideriamo il meccanismo di deformazione finale. Con riferimento alla Figura 1.17 si possono distinguere due meccanismi sostanzialmente diversi a livello di singolo elemento parete (shear wall): (i) un modo di deformazione a taglio (per scorrimento) che coinvolge i connettori disposti tra il pannello di rivestimento e il telaio per i sistemi a pannelli intelaiati e (ii) un modo di deformazione per rotazioni rigide innescate dalla deformazione dei collegamenti di base (cedimento hold-down o dispositivi simili) per i sistemi a pannelli in XLAM.

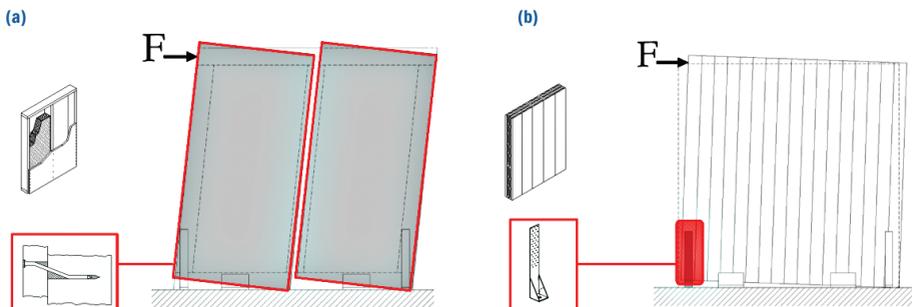
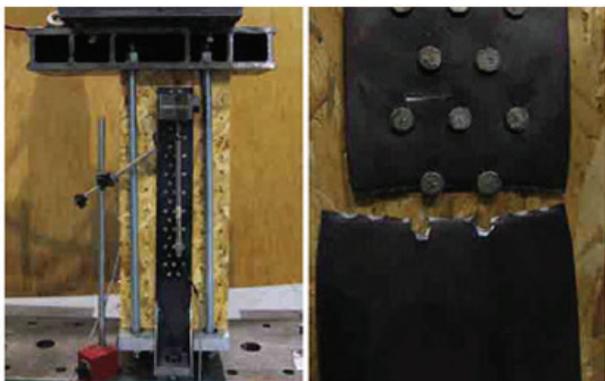


Figura 1.17. (a) Meccanismo di deformazione anelastica di una parete intelaiata leggera con deformazione a taglio; (b) meccanismo di deformazione anelastica di una parete in XLAM a seguito del cedimento nei dispositivi di ancoraggio a terra

In accordo all'attuale versione delle NTC 2008 sono previsti due valori massimi ben distinti del fattore q_0 , pari a 5 e 2 rispettivamente per il sistema a pannelli intelaiati e XLAM. La scelta del valore da assumere in fase progettuale è comunque una funzione della classe di duttilità del sistema (CD "A" o "B"). Nel caso dei sistemi a pannelli intelaiati, il meccanismo per taglio è generalmente duttile in funzione del modo di rottura che si innesca a livello di singolo connettore (tipicamente il chiodo). Il modo di rottura per il chiodo può essere controllato adottando una snellezza (rapporto tra spessore degli elementi collegati e diametro del connettore) sufficiente. Nella norma sono quindi forniti dei limiti sul diametro (ϕ) massimo da assumere per i connettori, sulla densità di alcuni tipi di pannelli e sulla snellezza (λ_ϕ) minima da garantire (per es. $\phi=3,1$ mm, $\rho_k=650$ kg/m³ per i pannelli di particelle definiti nella UNI EN 312, $\lambda_\phi=4$ per la classe CD "A"). La deformazione è generata per scorrimento dei connettori disposti ai bordi del telaio. Normalmente, data l'iperstaticità dell'elemento shear wall, è facile raggiungere livelli di duttilità prossimi a 2÷3 e oltre. In particolare, ciò è possibile controllando adeguatamente la snellezza del singolo chiodo/connettore e la resistenza dell'acciaio impiegato, così come riportato nell'Eurocodice 8 [CEN, 2004b]. Per assicurare la formazione di questo meccanismo è comunque necessario dimensionare i collegamenti di base (per es. angolari a taglio e hold-down) in modo sufficiente a garantire lo sviluppo della capacità dell'elemento parete. Sono quindi da evitare rotture localizzate nei collegamenti di base (Figura 1.18), prima dello sviluppo della massima capacità "a diaframma" (definizione da Eurocodice 5 [CEN, 2004a]) delle pareti.

(a)



(b)



Figura 1.18. (a) Rottura fragile dell'hold-down a livello della sezione netta; (b) strappo della chiodatura dell'hold-down di base per sopraggiunta capacità massima

Si consiglia di limitare il valore del fattore q_0 ad un massimo pari a 3, nel pieno rispetto delle regole previste per le strutture in classe di duttilità alta. Qualora vengano utilizzati fattori di struttura elevati (dell'ordine di 4-5) è bene quindi giustificare tale assunzione in sede progettuale attraverso prove sperimentali o documentazione scientifica di comprovata affidabilità.

Nel caso dei sistemi costruttivi a pannelli XLAM, categoria non chiaramente identificabile nell'attuale versione della norma (NTC 2008), il meccanismo di deformazione si innesca a livello dei collegamenti di base e, se opportunamente dimensionati, nei collegamenti parete-parete tra i pannelli stessi. In questo caso la capacità deformativa anelastica è localizzata in pochi punti, ed è guidata principalmente dal comportamento del/dei singolo/i dispositivo/i di collegamento. Il fattore di struttura da impiegarsi nelle analisi è quindi funzione del numero, distribuzione e capacità propria dei collegamenti di base installati, caratteristiche che possono variare sensibilmente da una costruzione ad un'altra. Nel caso in cui il fattore di struttura sia assunto pari a 2 o più è bene quindi dimostrare le scelte progettuali, in particolare l'atteso comportamento duttile dei dispositivi. Anche in questo caso sono da evitare fenomeni che inneschino rotture fragili nei collegamenti di base (Figura 1.19). Quando risulta difficile stabilire il reale comportamento duttile del sistema a pannelli XLAM, o in mancanza di dati disponibili sul comportamento anelastico dei dispositivi di collegamento utilizzati, è consigliato adottare per il fattore di struttura il valore minimo tra quelli proposti, cioè 1,5.

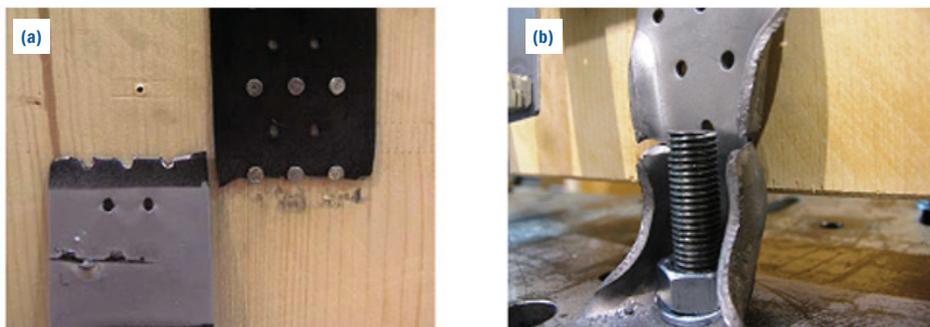


Figura 1.19. Rottura fragile dell'hold-down rispettivamente in corrispondenza della sezione netta (a) e delle costolature di irrigidimento (b) (Immagini da Acler [2012])

L'utilizzo del fattore di struttura q così come definito nelle NTC 2008, presuppone in sede progettuale un controllo sulle proprietà dei materiali e sui mezzi di unione impiegati. Le regole definite nelle NTC 2008, o le analoghe disposizioni dell'Eurocodice 8, derivano dall'esperienza maturata anche con la sperimentazione su componenti/elementi costruttivi o strutture in scala reale, e sono fornite per assicurare un adeguato comportamento sismico del sistema. In particolare, l'obiettivo è quello di assicurare un appropriato comportamento oligociclico del sistema costruttivo, per questo si richiama l'attenzione su casi particolari in cui è previsto l'uso di unioni incollate o nodi di carpenteria. In ogni caso le disposizioni costruttive sui collegamenti e sulle caratteristiche del materiale sono da applicarsi nei casi in cui il sistema si configuri come dissipativo, sia esso in classe "CD A" che in "CD B". Qualora vengano utilizzati dispositivi di collegamento non richiamati direttamente dalle attuali NTC 2008, è bene dimostrare la loro idoneità mediante documentazione e modelli di calcolo di comprovata validità, ottenuti anche da attività sperimentale in laboratorio.

1.6.5 PROGETTAZIONE IN CAPACITÀ

La progettazione in capacità (capacity design), così come richiamato al § 7.2 delle NTC 2008, è una procedura che deve essere seguita nel dimensionamento degli elementi di un sistema strutturale, qui inteso come unione tra collegamenti e singoli elementi lignei, sia a scala locale che globale. Il capacity design è un metodo di progettazione che permette di controllare il meccanismo resistente della struttura. Si attua dimensionando gli elementi a comportamento duttile con le caratteristiche di sollecitazione che derivano dalle analisi, e sovradimensionando gli elementi a comportamento fragile mediante l'applicazione di adeguati fattori di sovrarresistenza (γ_{Rd}).

A livello operativo si tratta di agire in successione prima (i) individuando gli elementi e i meccanismi duttili e fragili, sia a livello locale che globale, poi (ii) dimensionando adeguatamente le zone a comportamento dissipativo e duttile e infine (iii) attuando provvedimenti tali da impedire l'innescarsi di meccanismi di rottura fragili. Più nello specifico si tratta di verificare che le capacità in condizioni ultime degli elementi/meccanismi fragili, a livello locale e globale, siano maggiori della capacità degli elementi/meccanismi duttili presenti all'interno del sistema costruttivo. Per assicurare questa condizione, l'effettiva capacità degli elementi/meccanismi duttili è incrementata mediante un opportuno coefficiente γ_{Rd} , detto "fattore di sovrarresistenza". A partire da tale capacità maggiorata si dimensiona la capacità degli elementi/meccanismi fragili indesiderati.

Con riferimento alla Figura 1.20, nel caso di edifici a pannelli intelaiati leggeri, si tratta di operare nel modo seguente:

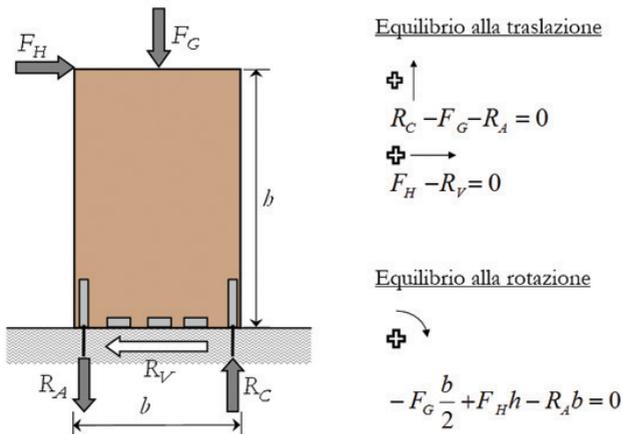


Figura 1.20. Modello di equilibrio di corpo rigido per la singola parete; equazioni di equilibrio alla traslazione e alla rotazione (si veda anche l'osservazione a fine paragrafo)

(i) Si estrapolano dall'analisi sismica i valori delle forze applicate alla parete FG e FH. Si calcola la capacità portante di piastra (definizione da Eurocodice 5 [CEN, 2004a]) della parete $F_{v,Rd}$. Segue la verifica di resistenza (Equazione 2.1):

$$F_H \leq F_{v,Rd} \quad (2.1)$$

Si dimensionano i collegamenti a terra applicando l'adeguato coefficiente di sovrarresistenza in funzione della classe di duttilità.

(ii) Si verificano poi i collegamenti di base:

Resistenza delle squadrette a taglio

$$F_{v,Rd} \cdot \gamma_{Rd} \leq R_V \quad (2.2)$$

Resistenza dei dispositivi di ancoraggio a trazione (hold-down)

$$\left(\frac{(F_{v,Rd}) \cdot h}{b} - \frac{F_G}{2} \right) \cdot \gamma_{Rd} \leq R_A \quad (2.3)$$

In questo modo il meccanismo che si instaura attiva la deformazione plastica nel pannello intelaiato, ovvero nei chiodi disposti tra il pannello e il telaio in legno.

Nel caso di pareti riferite al sistema costruttivo con pannelli in XLAM invece, dato che la parete rappresenta l'elemento fragile e che in genere presenta sempre una sovrarresistenza sufficiente ad evitarne la rottura, l'attenzione va posta nel dimensionamento dei collegamenti di base.

Nello specifico si deve valutare la capacità portante del collegamento hold-down considerando i possibili modi di rottura del sistema meccanico. In generale si possono innescare rotture lato chiodi o lato piastra. Il meccanismo duttile si ottiene quando la deformazione plastica avviene nei connettori utilizzati per unire il dispositivo al pannello XLAM (Figura 1.21).

La capacità portante dell'hold-down con rottura lato chiodi (FRd,hold-down,1) è data semplicemente dal prodotto della capacità portante del singolo chiodo ($F_{v,Rd}$, chiodo) per il numero efficace di connettori (modelli forniti nell'Eurocodice 5 [CEN, 2004a]). La capacità portante dell'hold-down con rottura lato piastra di acciaio si può valutare con i modelli forniti dall'Eurocodice 3 (§ 6.2.3) [CEN, 2005a,b].

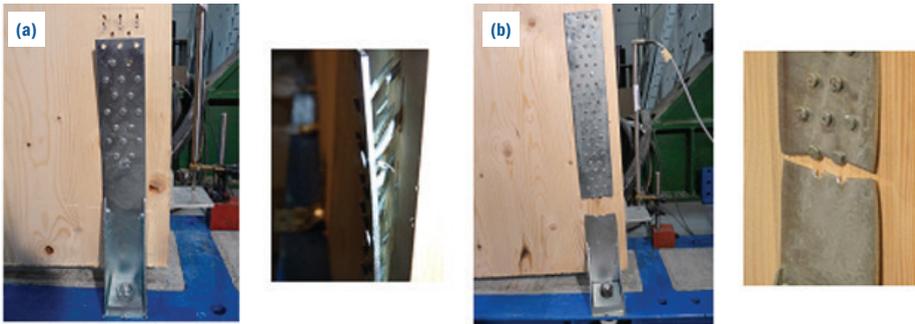


Figura 1.21. Rottura a trazione dei dispositivi di ancoraggio a terra (hold-down): meccanismo duttile con deformazione nei chiodi (a) e fragile con cedimento nella sezione netta (b) (Immagini da Acler [2012])

A questo punto le regole previste dal capacity design prevedono la verifica della seguente disequaglianza:

$$F_{Rd,hold-down,2} \geq \gamma_{Rd} F_{Rd,hold-down,1} \quad (2.4)$$

Applicando questa procedura si riesce a controllare il meccanismo di rottura del dispositivo, facendo in modo che presenti a rottura un comportamento duttile.

Con riferimento alla Figura 1.20, occorre precisare che essa si riferisce all'edificio a un solo piano. Nel caso di edifici multipiano, devono essere considerati ovviamente il tagliante totale di piano e il momento ribaltante applicato dai piani superiori.

1.6.6 I DIAFRAMMI DI PIANO

Nella distribuzione delle forze di piano sui singoli elementi controventanti verticali (shear wall), l'elemento solaio gioca un ruolo fondamentale. In funzione della rigidità e della resistenza degli orizzontamenti si possono infatti manifestare due comportamenti limite: a diaframma flessibile o a diaframma rigido. Si parla rispettivamente di distribuzione delle forze orizzontali in funzione dell'area di influenza o delle rigidità. In accordo alle NTC 2008, il sistema costruttivo deve rispondere adeguatamente ai possibili effetti torsionali che possono accompagnare l'azione sismica: a tal fine, gli orizzontamenti degli edifici devono possedere una rigidità e resistenza tali da premettere lo scambio delle forze tra i diversi sistemi resistenti a sviluppo verticale. Le stesse NTC 2008 parlano più propriamente di solai infinitamente rigidi al § 7.2.6 e suggeriscono alcune configurazioni caratteristiche che soddisfano questo requisito. In generale, nel dimensionamento degli orizzontamenti in legno deve quindi essere considerata l'adeguata capacità di ridistribuire i carichi sugli elementi controventanti verticali.

Nel calcolo, si raccomanda di utilizzare i modelli contenuti nell'Eurocodice 5 al § 9.2.3 [CEN, 2004a], in conformità con le disposizioni esplicitate al § 7.7.5 delle stesse NTC 2008. In questo ambito particolare attenzione deve essere posta nel dimensionamento dei collegamenti tra i singoli elementi modulari di solaio al fine di ripristinare la trasmissione degli sforzi controllare la deformazione globale nel proprio piano dell'impalcato. Nel dimensionamento dei collegamenti dell'impalcato deve essere applicato il principio del capacity design, in modo analogo a quanto illustrato al paragrafo precedente per il caso delle pareti.

Nelle strutture organizzate a pareti di taglio, come nel caso dei sistemi costruttivi in oggetto, i solai giocano inoltre un ruolo fondamentale nel garantire l'adeguato comportamento scatolare: devono quindi essere adeguatamente vincolati alle pareti in modo da impedire lo sbandamento di queste ultime fuori piano.

1.6.7 ANALISI STRUTTURALE

I metodi di analisi da utilizzare e le relative istruzioni per la verifica degli edifici sono richiamati al § 7.3 delle NTC 2008. Per le strutture in legno la norma richiama l'attenzione sul problema della deformabilità dei collegamenti, nonché degli impalcati, che dovrebbero essere opportunamente considerati nelle analisi finali della struttura. Qualora le analisi dell'edificio siano di tipo "elastico lineare equivalente" (metodi Force-Based Design, FBD), con l'adozione di un fattore di struttura q , deve essere verificato che i singoli elementi costruttivi e la struttura nel suo insieme possiedano una duttilità coerente alle ipotesi di progetto. La verifica sul fattore di struttura si ritiene soddisfatta se sono state applicate le regole di progetto e di gerarchia delle resistenze indicate nel medesimo Capitolo della norma (NTC 2008). Alcune indicazioni sull'argomento sono state fornite nei paragrafi precedenti. Alternativamente, e coerentemente con il modello e il metodo di analisi utilizzato, si deve verificare che la struttura possieda una capacità in spostamento superiore alla domanda sismica.

1.6.8 MODELLI NUMERICI PER LO STUDIO DEL COMPORTAMENTO DINAMICO DEGLI EDIFICI IN LEGNO

La valutazione del comportamento globale degli edifici in legno, in condizioni sia statiche che dinamiche, è una operazione generalmente complessa e onerosa che richiede spesso simulazioni numeriche agli elementi finiti (FEM). Le analisi non lineari, siano esse di tipo statico che di tipo dinamico, utilizzano modelli meccanici capaci di descrivere le proprietà anelastiche del sistema.

Per gli edifici in legno si tratta di descrivere l'insieme collegamenti-elementi costruttivi accettando generalmente alcune ipotesi semplificative di comportamento. Nei casi in cui sia perseguita la via delle analisi non lineari è raccomandato l'uso di dati ottenuti da prove sperimentali o da risultati di comprovata affidabilità dei quali si possa fornire idonea documentazione. Le strutture lignee sismo-resistenti sono concepite in modo da assicurare la duttilità richiesta dal sisma all'edificio, mediante lo sviluppo di un meccanismo resistente che richiami la capacità deformativa dai collegamenti. Il comportamento anelastico dei sistemi costruttivi lignei è quindi fortemente influenzato dai collegamenti, considerate le inadeguate capacità deformative degli elementi in legno in relazione alla ciclicità delle azioni. Nei modelli meccanici numerici definiti per investigare il comportamento degli edifici lignei, è ragionevole pensare la struttura come un insieme di elementi a comportamento lineare e immaginare il comportamento non lineare concentrato in zone prefissate della stessa. Una modellazione siffatta viene definita a "plasticità concentrata" e si identifica chiaramente negli edifici in legno considerando tali zone limitate ai soli collegamenti. Il comportamento anelastico dei collegamenti in regime di risposta ciclica è generalmente descritto da modelli isteretici che considerano i tipici fenomeni di degrado osservati sperimentalmente. In letteratura si possono trovare diversi modelli isteretici formulati per descrivere il comportamento meccanico delle connessioni lignee. I modelli isteretici dovranno essere calibrati considerando il degrado di rigidezza e resistenza misurato sperimentalmente, nonché le altre forme di degrado tipiche dei sistemi costruttivi lignei. Anche nel caso delle analisi dinamiche lineari (analisi dinamiche modali), dovranno essere adeguatamente implementate le caratteristiche dei collegamenti, in particolare la loro rigidezza. Per uno stato dell'arte sui modelli numerici disponibili si rimanda a testi specialistici o documenti equiparabili (per es. RILEM [1994], Foliente [1997], Ashraf [2007] e Loss [2011]).

Le NTC 2008 al §10.2 richiamano l'attenzione sull'eventualità in cui vengano svolte analisi e verifiche mediante l'ausilio di codici di calcolo automatico. In questa condizione il progettista deve controllare l'affidabilità dei codici utilizzati e verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti. Il controllo del periodo proprio della struttura, del livello di spostamento e dei tagli di piano ricavati dalle analisi svolte è considerato una buona prassi per verificare l'attendibilità del modello numerico. Il raffronto può essere eseguito con dati raccolti da letteratura relativi a casi con caratteristiche equiparabili a quello in studio o con i dati stimati a partire da modelli di calcolo analitici.

1.6.9 MODELLI DI CALCOLO PER LA SINGOLA PARETE E PER I DIAFRAMMI

Nel Capitolo 7.7 delle NTC 2008 una parte specifica riguarda le verifiche di sicurezza degli elementi costruttivi lignei esposti agli effetti delle forze sismiche. Nella valutazione della capacità portante degli elementi costruttivi, siano essi elementi di parete che di solaio, i modelli di calcolo da impiegare possono essere quelli forniti nell'Eurocodice 5 (§ 9.2.3 e 9.2.4), considerando le disposizioni delle stesse NTC 2008. In quest'ambito, nell'applicazione dei modelli di calcolo, i valori di resistenza da assumere per gli elementi in legno sono riferiti alla classe di servizio di riferimento e sono valutati nella condizione di carichi di tipo "istantaneo". Per la verifica allo stato limite ultimo (SLV e SLC) si applicano i coefficienti parziali di sicurezza per le caratteristiche del materiale impiegato relativi alle combinazioni di carico fondamentali. Le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLD e SLO) degli elementi strutturali, degli elementi non strutturali e degli impianti si effettuano rispettivamente in termini di resistenza, di contenimento del danno e di mantenimento della funzionalità. La prestazione richiesta all'edificio è differenziata in funzione della sua destinazione d'uso, in relazione all'attività normalmente svolta e all'importanza della struttura. Per costruzioni di Classe III e IV, se si vogliono limitare i danneggiamenti strutturali, per tutti gli elementi strutturali, inclusi nodi e connessioni tra elementi, deve essere verificato che il valore di progetto di ciascuna sollecitazione (E_d), calcolato in presenza delle azioni sismiche corrispondenti allo SLD e attribuendo a η il valore di $2/3$, sia inferiore al corrispondente valore della resistenza di progetto (R_d), calcolato secondo le regole specifiche indicate nelle NTC 2008. Per le costruzioni ricadenti in Classe d'uso I e II si deve verificare che l'azione sismica di progetto non produca sugli elementi costruttivi senza funzione strutturale danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile. Nel caso delle costruzioni civili e industriali, qualora la temporanea inagibilità sia dovuta a spostamenti eccessivi di interpiano, questa condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti di interpiano ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto relativa allo SLD siano inferiori ai limiti indicati nelle NTC 2008. Per le costruzioni ricadenti in Classe d'uso III e IV si deve verificare che l'azione sismica di progetto non produca danni agli elementi costruttivi senza funzione strutturale tali da rendere temporaneamente non operativa la costruzione. Nel caso delle costruzioni civili e industriali questa condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti di interpiano ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto relativa allo SLO siano inferiori ai $2/3$ dei limiti indicati nelle NTC 2008.

1.6.10 NORMATIVA: UNO SGUARDO AL FUTURO

L'attuale versione delle Norme Tecniche per le Costruzioni è in corso di aggiornamento e si prevede prossimamente l'emanazione delle nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni". Le modifiche, per quanto riguarda la parte relativa alle costruzioni lignee, non dovrebbero sconvolgere l'impianto di quelle attuali.

Tra le principali novità figurano i limiti introdotti per il controllo delle deformazioni massime ammesse negli elementi inflessi, il riassetto dei coefficienti di sicurezza per avvicinarli ai valori proposti a livello europeo e l'introduzione di fattori di sovrarresistenza specifici per le tipologie costruttive lignee.

1.7 CENNI SULLA DURABILITÀ DEGLI EDIFICI IN LEGNO

In questo documento sono stati richiamati alcuni dei problemi che riguardano nello specifico la progettazione sismica degli edifici multipiano in legno.

Un problema fondamentale da risolvere e che riguarda il normale esercizio della struttura è rappresentato dalla durabilità dell'opera. Di seguito si richiama l'attenzione su alcuni punti essenziali che riguardano la concezione della struttura allo scopo di limitarne il degrado.

La progettazione di strutture in legno impone da sempre un confronto con la problematica della sua durabilità, per la naturale tendenza del legno al degrado biologico. 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.

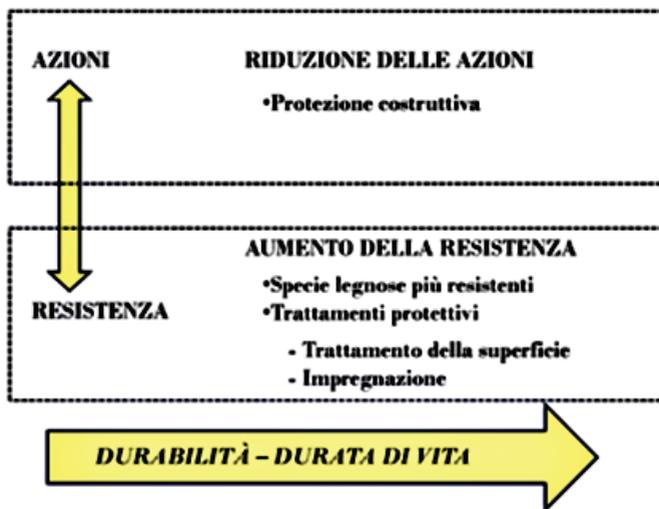


Figura 1.22. Strategie di progetto per aumentare la durabilità della costruzione

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 Figura 1.22). 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 1.23 e 1.24).



Figura 1.23. Edificio realizzato in legno con elementi protetti alla base e rialzati da terra



Figura 1.24. Edificio realizzato in legno con elementi esposti (non protetti) al degrado nella zona di attacco a terra



2. COLLEGAMENTI E PARTICOLARI COSTRUTTIVI

2.1 INTRODUZIONE

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 influenza infatti il comportamento dell'intero edificio in termini di resistenza, rigidezza, 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).

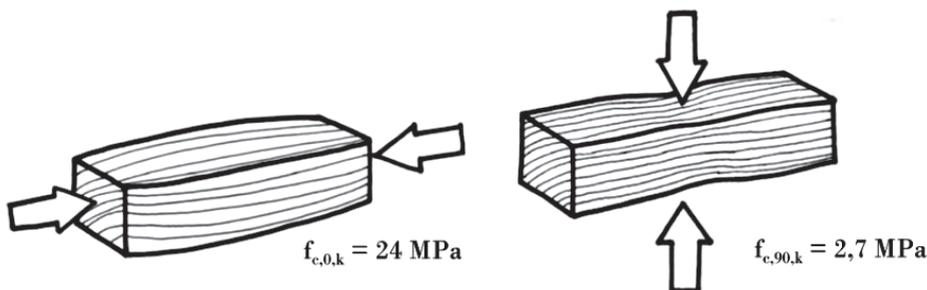


Figura 2.1. Stati di compressione paralleli o ortogonali alla fibratura (figura da Piazza et al. [2005])

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.

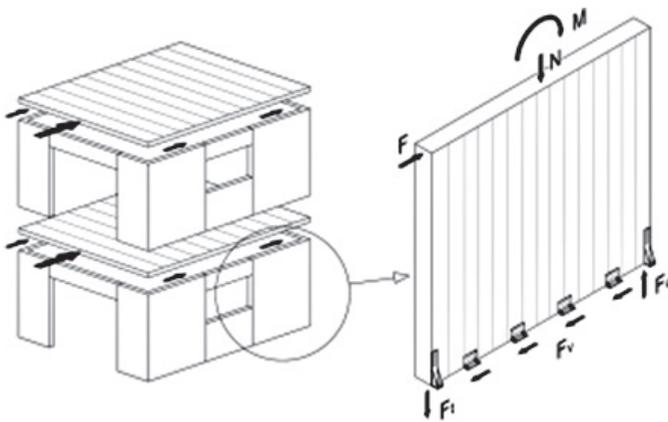


Figura 2.2. Trasmissione delle forze orizzontali mediante elementi metallici di ancoraggio a trazione (hold-down) e a taglio (angolari)

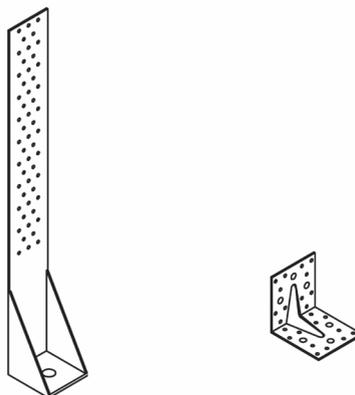


Figura 2.3. Sistemi di ancoraggio a trazione (hold-down) e a taglio (angolari)

2.2 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 orizzontali: in Figura 2.4 sono rappresentate in modo schematico le azioni interne agenti sugli ancoraggi, con particolare riferimento al sistema costruttivo a pannelli massicci XLAM.

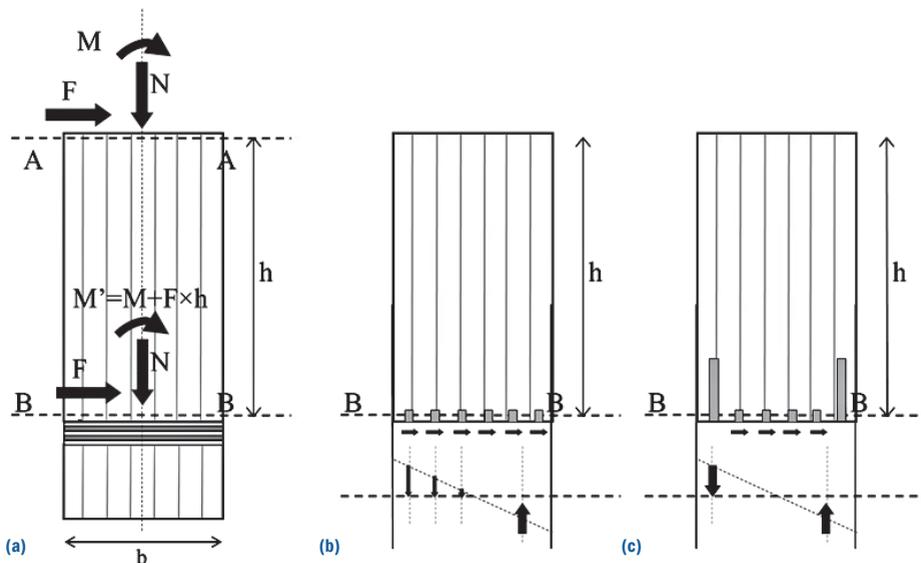


Figura 2.4. (a) Forze esterne agenti sulle sezioni A-A e B-B di una generica parete in legno; (b) azioni interne in presenza di un unico tipo di ancoraggio resistente sia a trazione che a taglio; (c) azioni interne in presenza di ancoraggi a trazione (hold-down) e a taglio (angolari)

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 2.5a 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 2.5b), ogni singolo pannello dovrà essere considerato come "indipendente" e quindi vincolato con ancoraggi a trazione alle estremità.

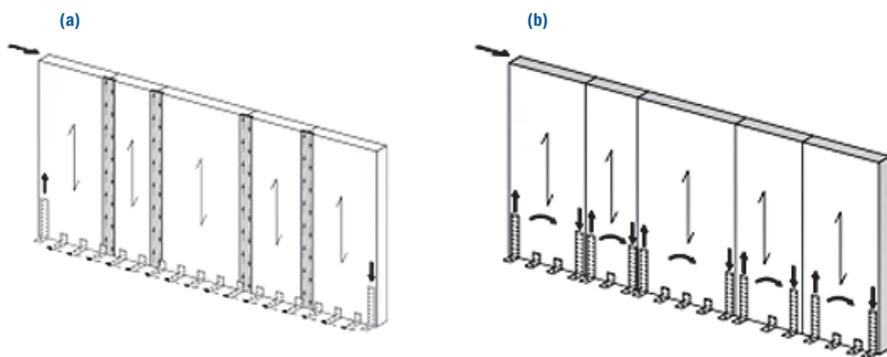


Figura 2.5. Distribuzione delle azioni interne in una parete realizzata mediante più pannelli XLAM nel caso di presenza (a) o assenza di giunti verticali (b)

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.

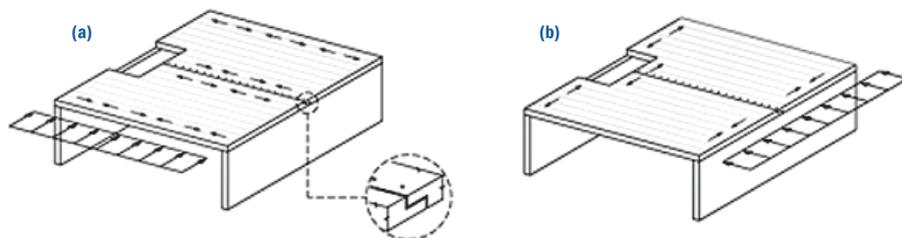


Figura 2.6. Distribuzione delle azioni interne in un diaframma realizzato con pannelli XLAM; azioni orizzontali agenti nelle due direzioni principali (a e b).

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 (Figura 2.7):

- ▶ 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)

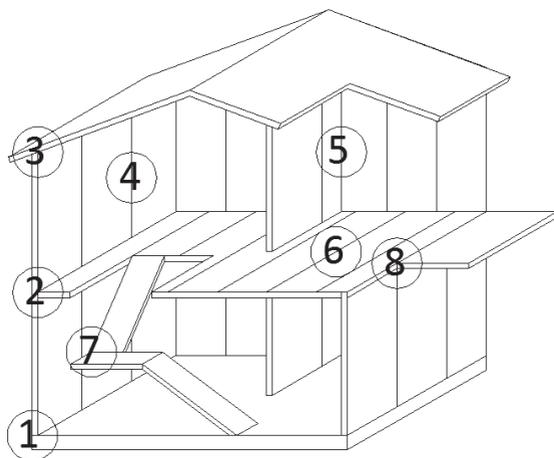


Figura 2.7. Nodi strutturali principali in un edificio in legno

2.3 COLLEGAMENTI TRA PANNELLI VERTICALI E DIAFRAMMI ORIZZONTALI

2.3.1 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 2.8) 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.

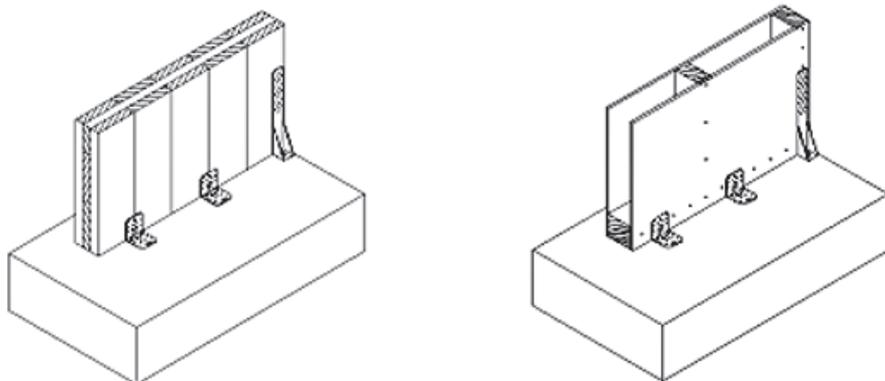


Figura 2.8. Appoggio diretto della parete in fondazione: collegamento a trazione mediante hold-down e a taglio mediante angolari metallici, rispettivamente per pannelli in XLAM e intelaiati

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).

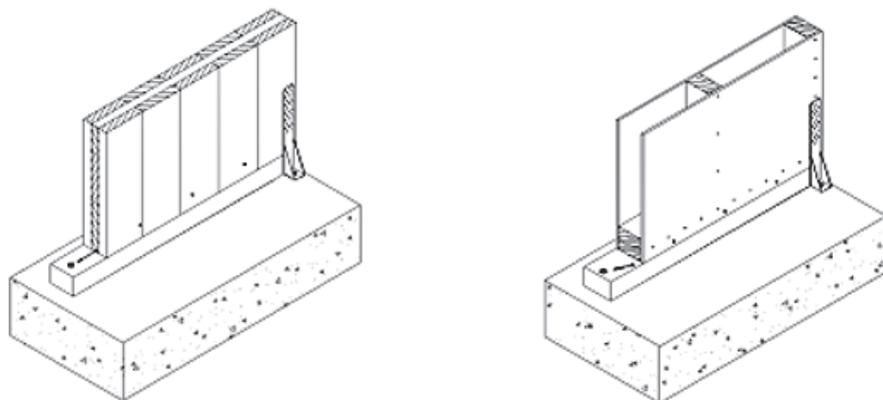


Figura 2.9. Appoggio della parete in fondazione con soglia di legno: collegamento a trazione mediante hold-down, collegamento a taglio tra parete e soglia mediante viti incrociate e tra soglia e fondazione mediante tasselli, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

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; 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 2.9); il collegamento a trazione avviene tipicamente mediante hold-down.

È possibile inoltre realizzare un cordolo di calcestruzzo armato (Figura 2.10): in tal caso i collegamenti a taglio e trazione sono realizzati generalmente mediante piastre metalliche chiodate alla parete e tassellate al calcestruzzo.

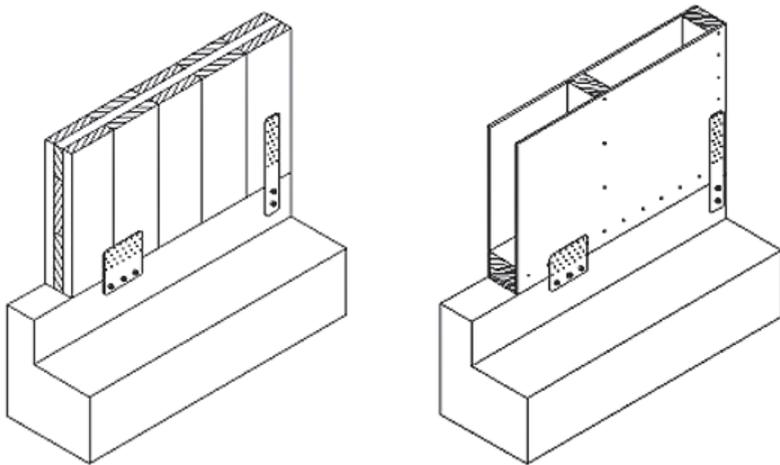


Figura 2.10. Appoggio della parete su zoccolo di fondazione: collegamento a trazione e a taglio mediante piastre forate, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

2.3.2 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 2.11). 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.

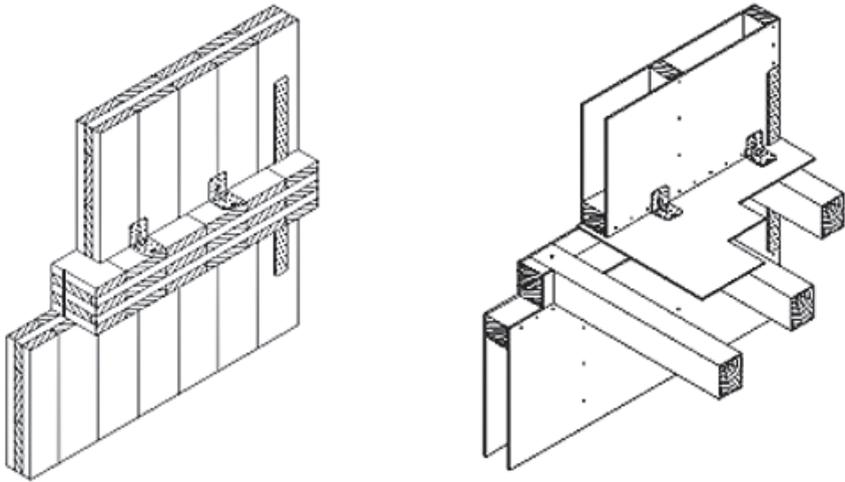


Figura 2.11. Appoggio della parete sul solaio di interpiano: collegamento a trazione mediante coppia di hold-down o nastro forato, collegamento a taglio tra parete superiore e solaio mediante angolari metallici, collegamento a taglio tra solaio e parete inferiore mediante viti, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

In alternativa si può realizzare un collegamento a taglio tra parete superiore e parete inferiore anche mediante piastre forate (Figura 2.12).

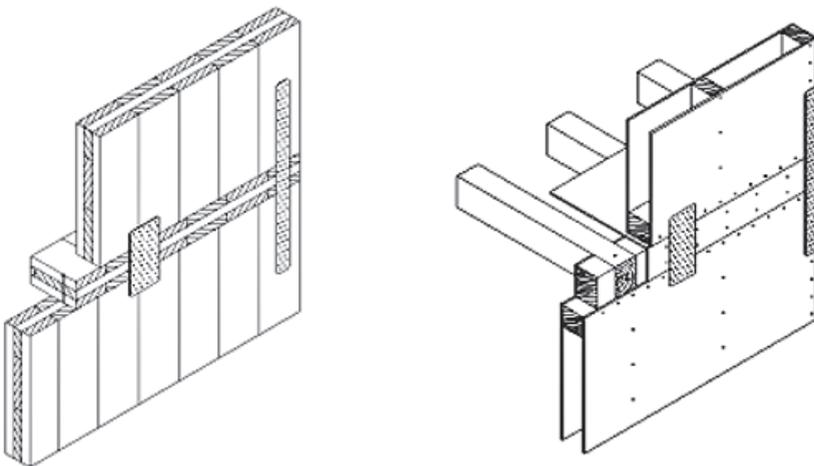


Figura 2.12. Appoggio della parete sul solaio di interpiano: collegamento a trazione mediante nastri forati, collegamento a taglio tra parete superiore e parete inferiore mediante piastre forate, collegamento a taglio tra solaio e parete inferiore mediante viti, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

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 avvitate alla parete (Figura 2.13), mentre il fissaggio di travi può essere realizzato ad esempio mediante staffe metalliche (Figura 2.14).

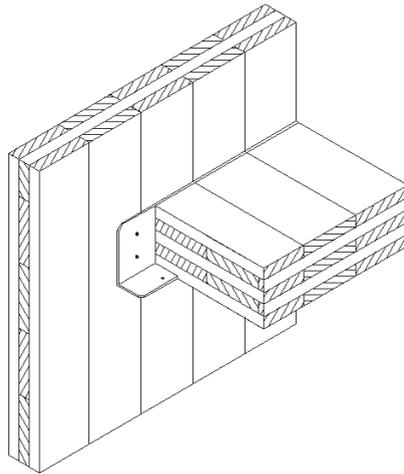


Figura 2.13. Appoggio del solaio di interpiano su parete continua: collegamento mediante angolare metallico avvitato alla parete

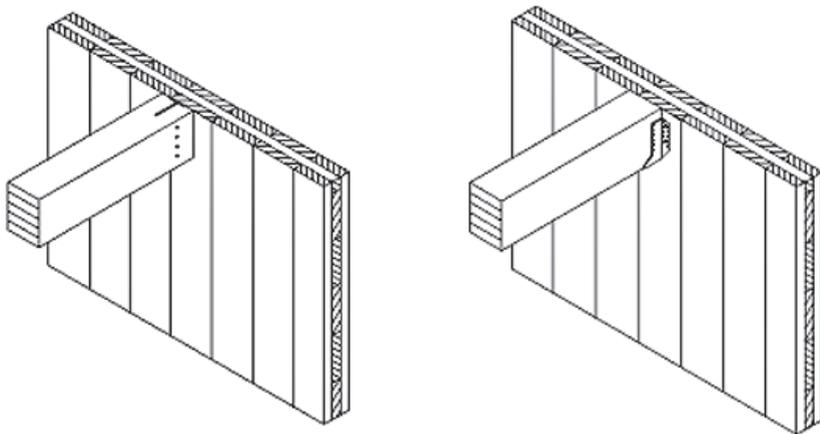


Figura 2.14. Collegamento di una trave alla parete mediante staffe metalliche

2.3.3 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 2.15, 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 2.16).

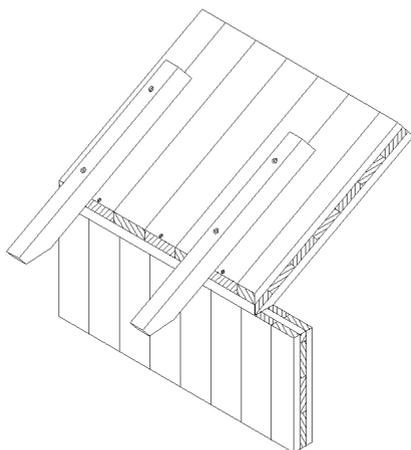


Figura 2.15. Copertura in pannelli XLAM con sporti di gronda realizzati mediante “falsi travetti”

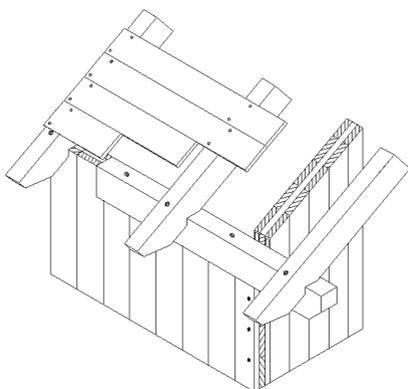


Figura 2.16. Copertura a travetti di un edificio in XLAM

Negli edifici intelaiati tipicamente si realizza una copertura tradizionale a travetti. Come illustrato in Figura 2.17, 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).

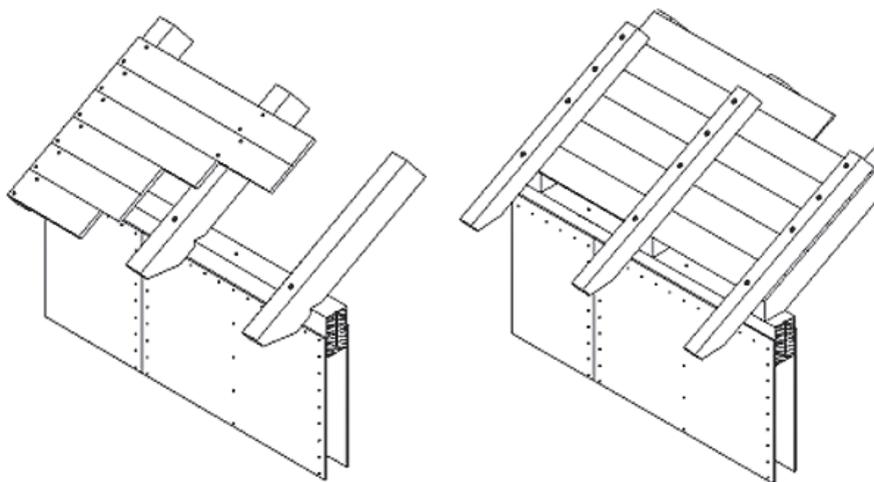


Figura 2.17. Copertura a travetti di un edificio intelaiato: soluzione con travetti continui in appoggio sulle pareti esterne oppure soluzione con "falsi travetti" in gronda

2.4 COLLEGAMENTI TRA PANNELLI VERTICALI

2.4.1 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 2.18 e 2.19 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.

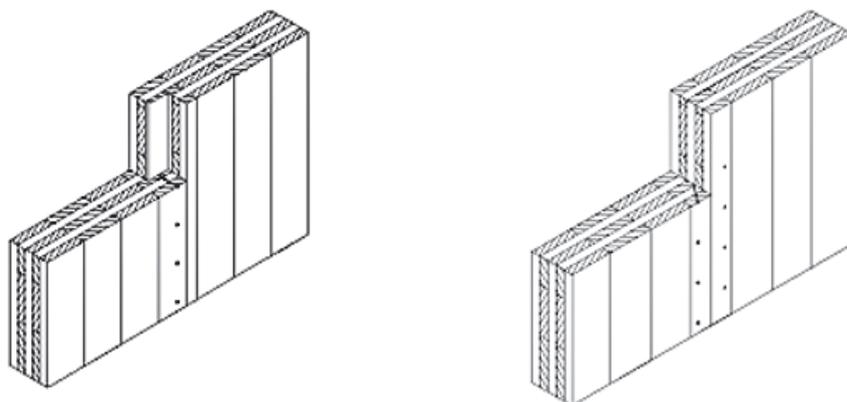


Figura 2.18. Collegamento parete-parete XLAM: giunto a mezzo legno avvitato e giunto con viti incrociate

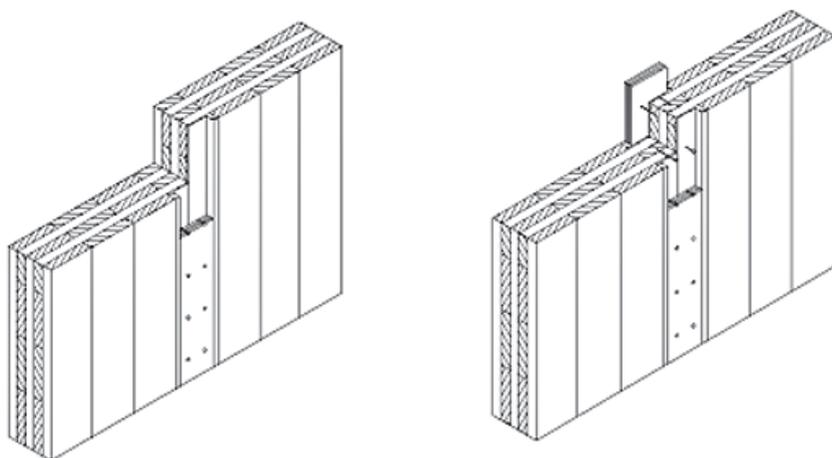


Figura 2.19. Collegamento parete-parete XLAM: giunto con tavole coprigiunto in compensato

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 2.20.

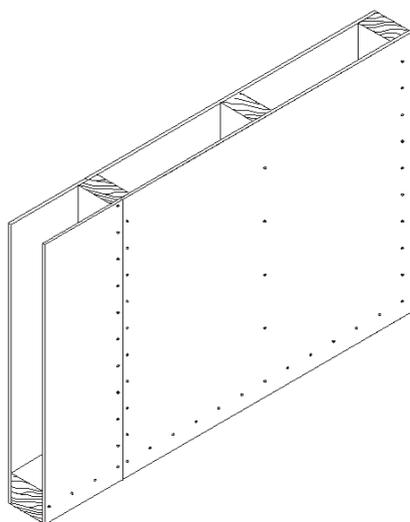


Figura 2.20. Giunzione dei fogli di rivestimento di un parete intelaiata in corrispondenza di un montante

2.4.2 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 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 2.21.

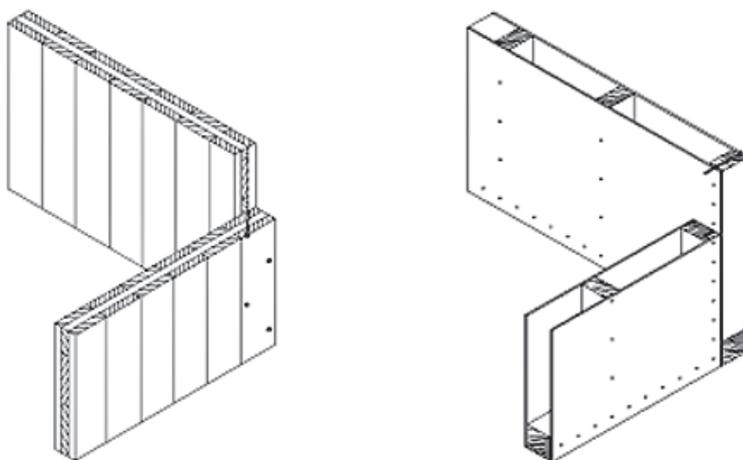


Figura 2.21. Collegamento d'angolo mediante viti, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

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 2.22.

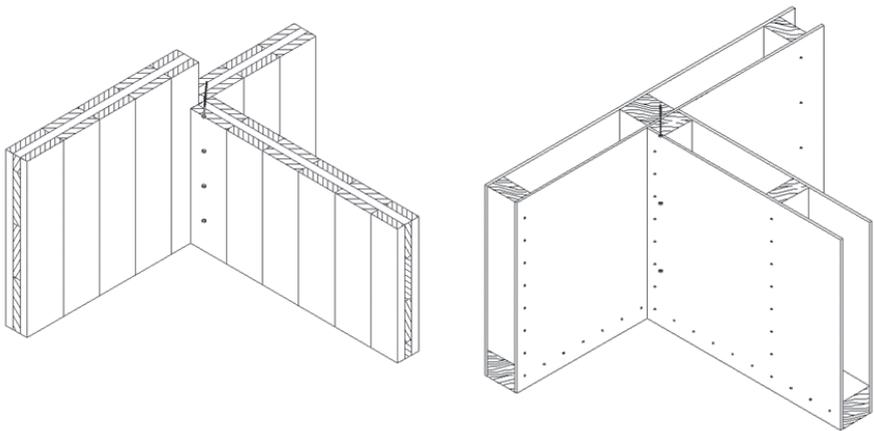


Figura 2.22. Collegamento d'incrocio mediante viti incrociate, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

2.5 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 2.23 e 2.24 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).

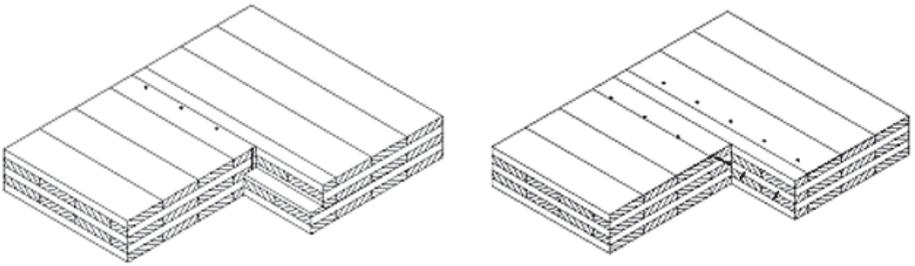


Figura 2.23. Collegamento solaio-solaio XLAM: giunto a mezzo legno avitato e giunto con viti incrociate

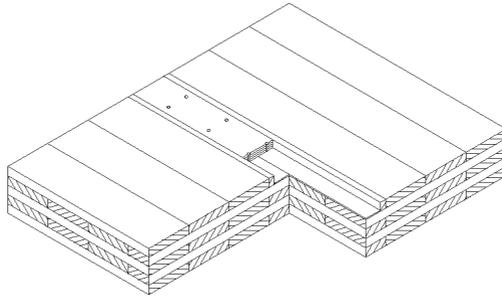


Figura 2.24. Collegamento solaio-solaio XLAM: giunto con tavole coprigiunto in compensato

Nel caso di impalcanti 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 (Figura 2.25).

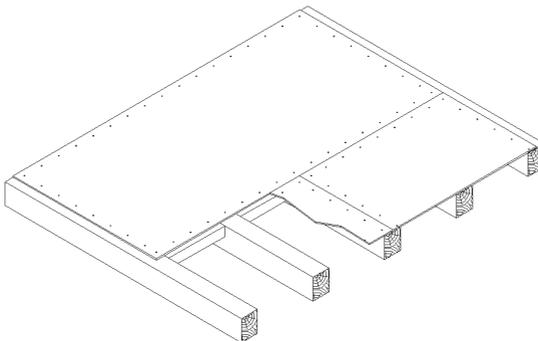


Figura 2.25. Controventamento di piano mediante fogli di rivestimento chiodati

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 (Figura 2.26).

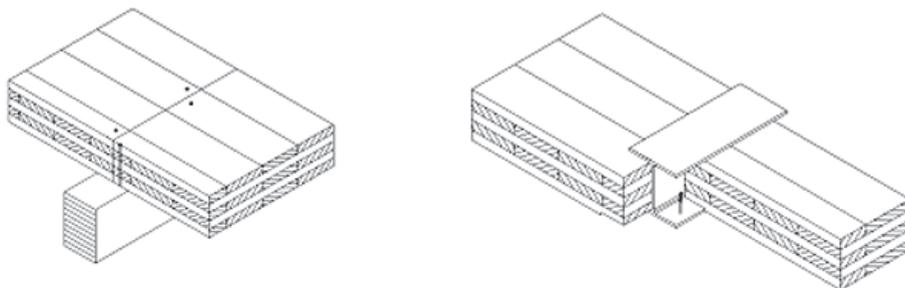


Figura 2.26. Collegamento tra solaio e travi principali

2.6 COLLEGAMENTI RELATIVI A SCALE E BALCONI

2.6.1 COLLEGAMENTI DI SCALE

Si riportano in Figura 2.27 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.

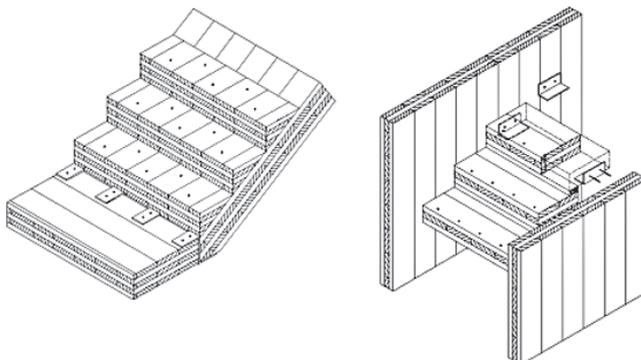


Figura 2.27. Scale realizzate mediante una rampa XLAM in appoggio su staffe metalliche collegate al pianerottolo o mediante gradini collegati alle pareti perimetrali mediante angolari metallici avvitati

2.6.2 COLLEGAMENTI DI BALCONI

Anche nel caso dei balconi si possono avere molteplici soluzioni costruttive. Nella Figura 2.28 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 Figura 2.29 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 [CEN, 2004a]).

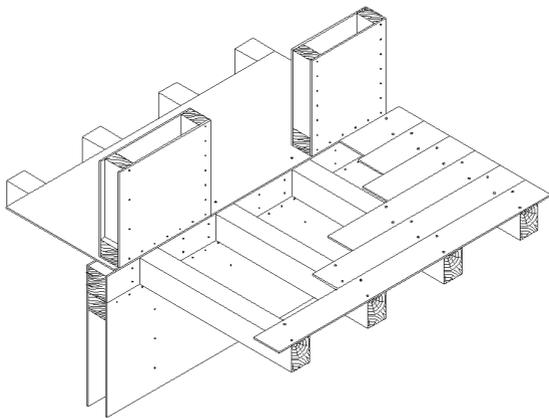


Figura 2.28. Balcone realizzato in continuità con le travi del solaio

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.

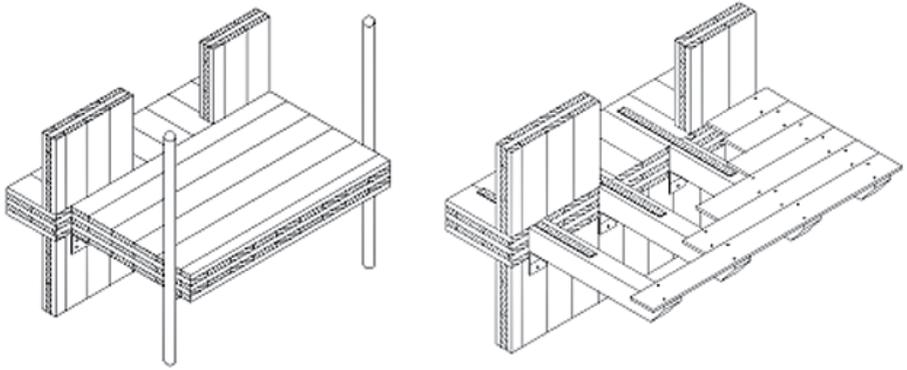


Figura 2.29 Balcone realizzato mediante un pannello XLAM in appoggio su staffe metalliche fissate alle pareti perimetrali e su pilastri esterni oppure mediante travetti a sbalzo, ancorati a taglio con squadrette metalliche e a flessione con nastri forati

3.PRODOTTI A BASE LEGNO E CONTROLLI DI ACCETTAZIONE

3.1 INTRODUZIONE: NORMATIVA ITALIANA E COMUNITARIA

È bene sottolineare ancora una volta che la pubblicazione in Gazzetta Ufficiale delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) ha comportato rinnovati e diversi impegni per tutti i soggetti che intervengono nel processo produttivo edile: progettisti, direttore dei lavori, collaudatori, produttori, centri di lavorazione e costruttori.

A tal proposito il Cap. 11 (Materiali e prodotti ad uso strutturale - Generalità) del DM 14.01.08 [CS.LL.PP., 2009], definisce le procedure per una corretta identificazione, definizione della conformità ed accettazione dei materiali e prodotti ad uso strutturale al fine di garantire la tracciabilità lungo tutta la filiera. L'evidenza della certificazione o qualificazione del prodotto viene data fornendo alla direzione lavori adeguata documentazione accompagnatoria (§ 11.7.10.1.1 – DM 14.01.08 “Identificazione e rintracciabilità dei prodotti qualificati”). La stessa documentazione accompagnatoria viene fornita sia a carico del Produttore sia a carico del Centro di Lavorazione (§ C 11.7.10 “Procedure di qualificazione e accettazione”).

In ambito comunitario si ricorda che la pubblicazione del Regolamento UE n. 305/2011 (CPR) di aggiornamento alla Direttiva Prodotti da Costruzione n.89/106/CEE abbia integrato i principi relativi alla marcatura CE . Solo a titolo di completezza si ricordano le maggiori novità introdotte, quali:

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

Quindi con il 1° Luglio 2013, il Regolamento Prodotti da Costruzione ha definitivamente abrogato la precedente Direttiva 89/106/CEE, divenendo per i soggetti della filiera l'unico riferimento al fine di affidare la conformità ai prodotti a base legno secondo l'iter di marcatura CE.

Le stesse NTC 2008, all'interno dei § 11.1 (“Materiali e prodotti per uso strutturale”) e § 11.7 (“Materiali e prodotti a base di legno”), fissano i requisiti necessari per l'impiego dei prodotti in legno destinati ad uso strutturale nelle costruzioni al fine di soddisfare il requisito essenziale 1 “Resistenza meccanica e stabilità” e il requisito essenziale 2 “Sicurezza in caso di incendio” così come identificati nella Direttiva 89/106, adesso Regolamento 305/2011. Nella Tabella di seguito (Tabella 3.1) si riportano le istruttorie di riferimento così come disposto all'interno del § 11.1.

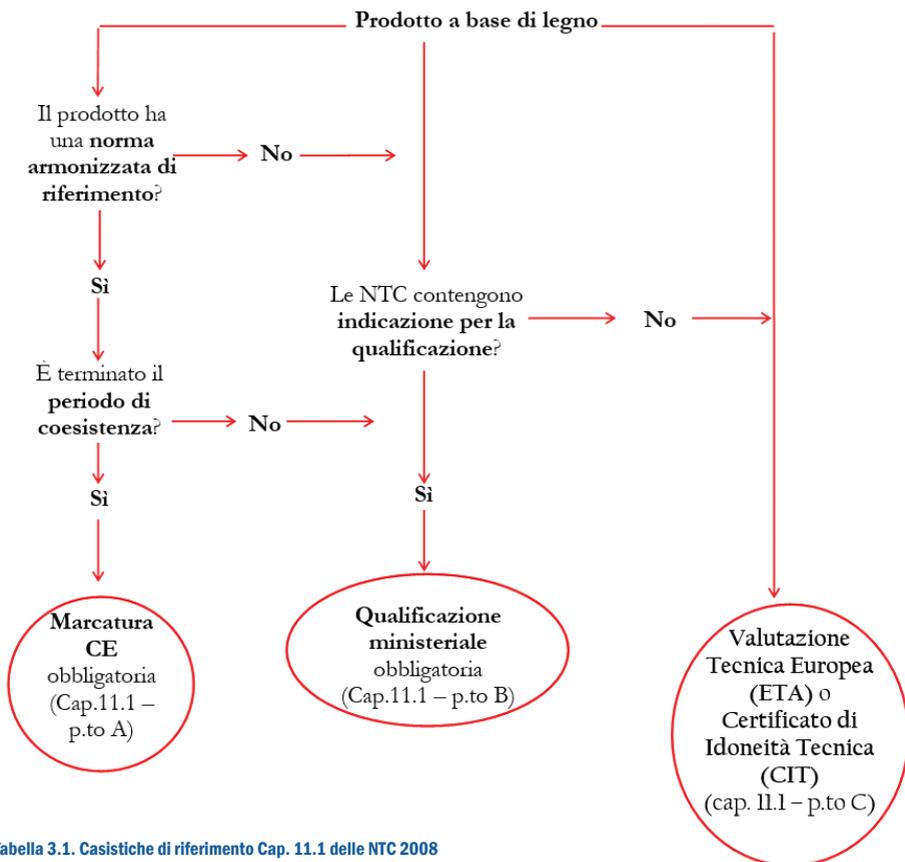


Tabella 3.1. Casistiche di riferimento Cap. 11.1 delle NTC 2008

Appare quindi opportuno riportare le seguenti precisazioni.

- ▶ Per periodo di coesistenza si intende quell’arco di tempo in cui normativa di carattere comunitario e nazionale risultano essere entrambe applicabili al fine di attribuire una conformità al prodotto; al termine di tale periodo diviene obbligatorio per i produttori procedere alla marcatura CE in accordo alla specifica Norma Armonizzata.
- ▶ Naturalmente, qualora si ricada nel cosiddetto “periodo di coesistenza”, è facoltà del singolo produttore decidere se procedere con l’uno (marcatura CE) o con l’altro sistema (qualificazione ministeriale) al fine di attribuire la conformità dei prodotti immessi in commercio.

Entro tale contesto tecnico normativo, è necessario puntualizzare altresì che le NTC 2008, oltre alla certificazione del “materiale base” nel senso definito dalla Circolare 2.2.2009 CSLLPP (si tratta degli “elementi base in legno massiccio e/o lamellare non ancora lavorati a formare elementi strutturali pronti per la messa in opera”), prevedano una denuncia di attività anche per centri di lavorazione (stabilimenti in cui avviene “la lavorazione degli elementi base per dare loro la configurazione finale in opera”) secondo le indicazioni fornite al § C11.7.10 della stessa Circolare Esplicativa.

Nota: si ricorda che, secondo gli attuali orientamenti del Servizio Tecnico Centrale, qualora all’interno di una stabilimento sussistano sia la fase di produzione (in regime di marcatura CE o di qualificazione ministeriale) che di lavorazione, lo stabilimento deve comunque procedere ad acquisire attestato di denuncia di attività.

Al contrario, nessun obbligo di denuncia attività compete a quelle ditte che prelevano il “materiale base” direttamente dal produttore (o dal rivenditore) e apportano le lavorazioni necessarie a “dare loro la configurazione finale in opera” direttamente ed esclusivamente in cantiere (a piè d’opera): in questo caso, infatti, le lavorazioni in questione ricadono completamente sotto la piena responsabilità del Direttore dei lavori dell’opera generale.

Infine, è di recente pubblicazione il DM 267 (5 Aprile 2013) che individua il tariffario per il rilascio degli attestati di qualificazione da parte del Servizio Tecnico Centrale del CLSP.

Nel seguito del testo sono riportate le procedure per il rilascio da parte del Servizio Tecnico Centrale dell’attestato di qualificazione (sia come produttori che come centri di lavorazione), della Certificazione di Idoneità Tecnica (CIT) e degli iter di marcatura CE più diffusi sul territorio nazionale.

3.2 I PRODOTTI A BASE DI LEGNO

Nel presente paragrafo si riportano per i principali assortimenti legnosi ad uso strutturale, i rispettivi riferimenti normativi, le modalità di certificazione e casi esemplificativi legati ai controlli di accettazione a carico della Direzione Lavori.

3.2.1 LEGNO MASSICCIO

Prima di affrontare gli aspetti tecnico-normativi è utile riepilogare i principali aspetti tecnologici del materiale in questione. A tal proposito è noto che le caratteristiche meccaniche del materia prima sono caratterizzate da:

- ▶ elevata variabilità interspecifica (tra specie diverse) e intraspecifica (all'interno della stessa specie);
- ▶ anisotropia di tutte le proprietà meccaniche (che quindi variano con la sezione anatomica considerata);
- ▶ forte variabilità in funzione della quantità, posizione e natura dei difetti

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- ▶ Validare i settings delle macchine di classificazione
- ▶ Inserire nuovi tipi di legname all'interno delle revisione della UNI EN 1912

3.2.2 LEGNO MASSICCIO A SEZIONE RETTANGOLARE

La norma armonizzata di riferimento per il legno massiccio a sezione rettangolare è la UNI EN 14081-1 ("Legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza - requisiti generali"), il cui periodo di coesistenza è terminato il 1 Dicembre 2012. Ad oggi quindi è cogente per i produttori la marcatura CE. Sembra altresì opportuno fornire una prima definizione di legno massiccio a sezione rettangolare al fine di procedere ad una maggiore comprensione del quadro normativo legato a tale assortimento:

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

A seconda delle modalità di classificazione del produttore, la norma armonizzata UNI EN 14081-1 si appoggia ad altri documenti riportati qui di seguito (che vanno ad approfondire le prove di tipo e relativi controlli della produzione in fabbrica):

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

Tabella 3.2. UNI EN 14081 (serie)

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

Fasi operative	Modalità
Formare all'interno dello stabilimento la figura del classificatore (1)	La formazione del personale può avvenire attraverso esperti interni allo stabilimento (ad es. il Direttore Tecnico di Produzione) o attraverso un soggetto qualificato esterno all'azienda (1)
Definire istruzioni operative e procedure interne atte a dimostrare la conformità della produzione a quanto prescritto dalla Norma Armonizzata EN 14081-1.	Il manuale di controllo interno della produzione (FPC) deve comporsi di tutte le procedure richieste dalla stessa Norma Armonizzata, quali (ad esempio): <ul style="list-style-type: none"> - modalità di etichettatura del materiale - richiamo alle norme di classificazione utilizzate per la conformità (con eventuali istruzioni operative ad uso dei classificatori), - schede per la verifica del corretto funzionamento dell'igrometro, schede per la registrazione dei controlli della produzione.... ecc, ecc.
Sottoporre il proprio stabilimento produttivo a visita ispettiva da parte di Ente Notificato ai sensi del Requisito 1 del Regolamento 305/2011 ("Resistenza meccanica e stabilità)	Nell'iter di marcatura CE del Legno Massiccio a sezione Rettangolare, il sistema di verifica della costanza della prestazione (ossia la "severità" del controllo effettuato dall'ente notificato) previsto è pari a 2+. In tale frangente l'ente notificato di riferimento compie (oltre ad una visita ispettiva di carattere iniziale) una sorveglianza periodica: annualmente controlla che siano rimaste inalterate le condizioni iniziali di idoneità del processo di controllo della produzione che hanno permesso il rilascio del certificato di conformità. Nel caso lo stabilimento sia dotato di macchina per la classificazione, l'ente di certificazione compie due visite annuali (semestrali)

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

Tabella 3.3. Marcatura CE Legno Massiccio a Sezione Rettangolare: fasi operative

Altri documenti normativi di importanza tecnica e commerciale sono i seguenti:

► **DIN 4074-1** “Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 1: Nadelschrittholz” (“Classificazione del legno secondo la resistenza – Parte 1: Legno di Conifera”): probabilmente in Italia, tale documento normativo (dedicato alla classificazione a vista) risulta essere il principale riferimento commerciale. Attualmente la norma è applicabile a legname di provenienza Centro Nord Est Europa, con la sola esclusione della Douglasia di cui si considera solo la provenienza Tedesca.

A titolo esemplificativo si riporta la corrispondenza tra le categorie resistenti secondo la DIN 4074-1 e le classi di resistenza secondo la EN 338 per Abete rosso/bianco:

Categorie Resistenti (DIN 4074-1)	Classi di resistenza (EN 338)
S13	C30 (Abete rosso/bianco)
S10	C24 (Abete rosso/bianco)
S7	C18 (Abete rosso)
	C16 (Abete bianco)

Tabella 3.4. Corrispondenze tra categorie resistenti e classi di resistenza

► **UNI 11035-1/2**: “Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica”: tale documento è stato recentemente revisionato (2010) al fine di renderlo conforme all’allegato A della EN 14081-1. La discussione di apposito Report Tecnico in seno ai Gruppi competenti in sede CEN (TG1/WG2/TC124 – vedi § 3.2.1) ha permesso di inserire la norma di classificazione italiana all’interno della EN 1912, consentendo allo stesso modo, anche per le specie di provenienza italiana la corrispondenza delle categorie resistenti con classi di resistenza della EN 338.

In particolare, la UNI EN 1912: 2012 contiene i tipi di legno italiano suddividendole in cinque differenti Categorie denominate S, S1, S2, S2 e superiore, S3, secondo quanto indicato nella norma italiana UNI 11035, e ripartite in sei differenti Classi di Resistenza della norma UNI EN 338, cinque per le conifere, C14, C18, C22, C24 e C30, e una per il castagno, D24. Di seguito si riporta breve prospetto.

Classe di resistenza UNI EN 338	Categoria UNI 11035-2	Nome commerciale	Nome scientifico (identificazione botanica)
Conifere			
C30	S1	Douglasia	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco
C24	S2 e superiore	Pino laricio	<i>Pinus nigra</i> Arnold subsp. <i>laricio</i> Maire
	S2 e superiore	Abete (bianco e rosso)	<i>Abies alba</i> Mill., <i>Picea abies</i> Karst.
C22	S2 e superiore	Larice	<i>Larix decidua</i> Mill.
	S2	Douglasia	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco
C18	S3	Larice	<i>Larix decidua</i> Mill.
	S3	Abete (bianco e rosso)	<i>Abies alba</i> Mill., <i>Picea abies</i> Karst.
C14	S3	Pino laricio	<i>Pinus nigra</i> Arnold subsp. <i>laricio</i> (Poir.) Maire
Latifoglie			
D24	S	Castagno	<i>Castanea sativa</i> Mill.

Tabella 3.5. Corrispondenza tra categorie visuali e classi di resistenza a seguito della riunione del TG1/WG2/TC 124 tenutasi a Milano Maggio 2011 presso FederlegnoArredo

► **UNI EN 338** (“Legno strutturale - Classi di resistenza”) fissa le classi di resistenza di riferimento. Tale documento normativo, elaborato principalmente per le specie del Centro - Nord Europa, definisce probabilmente un’eccessiva proporzionalità lineare tra densità e resistenza. I vantaggi che tale semplificazione ha portato sono certamente da apprezzare. Infatti, il riferimento univoco ad un profilo resistente tramite un codice intuitivo e l’approccio prestazionale hanno consentito indubbiamente una facilità di uso da parte anche di progettisti meno specializzati, contribuendo significativamente alla diffusione del legno come materiale strutturale.

► **UNI EN 1912** (“Legno strutturale - Classi di resistenza - Assegnazione delle categorie visuali e delle specie”) riassume le combinazioni specie/provenienza/classe per le quali si dispone di un riferimento, definendo quindi una correlazione tra le categorie visuali resistenti (definite nei documenti di classificazione) e i valori caratteristici della UNI EN 338. Contestualmente si precisa che risulta possibile arrivare a marcare CE una specie legnosa non inclusa nella UNI EN 1912 attraverso un rapporto di prova redatto conformemente alla UNI EN 384.

► **UNI EN 336** definisce (per il legno massiccio a sezione rettangolare) le tolleranze dimensionali dei segati da rispettare nei rapporti di carattere commerciale

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

Tale procedure prendono il nome di:

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

► Metodo B: specifica le regole da seguire per la marcatura del pacco (§ 7.1 p.to b della UNI EN 14081-1).

3.2.3 LEGNO MASSICCIO A SEZIONE IRREGOLARE

Appare utile (prima di definire in dettaglio il quadro normativo dedicato a legname a sezione irregolare) richiamare quanto espresso dalle NTC relativamente i criteri da definizione della conformità come da § 11.1 del DM 14.01.08.

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

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

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

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

Entro tale definizione possono essere distinti 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 su tutte 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 lavorazioni 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.

Relativamente le modalità di certificazione e attribuzione delle conformità si riporta la seguente tabella riassuntiva (Tabella 3.6):

Tipologia di assortimento	Attribuzione della conformità
Legname "rusticato"	Qualificazione ministeriale secondo il p.to B del § 11.1 attraverso le modalità di classificazione riportate in circolare esplicativa del 2.2.2009 ⁽¹⁾
Legno "Uso Fiume"	Qualificazione ministeriale secondo il p.to B del § 11.1: <ul style="list-style-type: none"> - Attraverso le modalità di classificazione riportate in circolare esplicativa del 2.2.2009 ⁽¹⁾ - Attraverso l'applicazione della UNI 11035-3 (solo per Travi Uso Fiume di Abete Rosso e Abete Bianco) <p style="text-align: center;"><i>In alternativa:</i></p> Marcatura CE secondo Benestare Tecnico Europeo (CUAP N. 03.04/22 "Strength graded structural timber – square edged logs with wane" – solo per Abete Bianco, Abete Rosso, Larice e Castagno) ⁽²⁾
Legno "Uso Trieste"	Qualificazione ministeriale secondo il p.to B del § 11.1: <ul style="list-style-type: none"> - Attraverso le modalità di classificazione riportate in circolare esplicativa del 2.2.2009 ⁽¹⁾ - Attraverso l'applicazione della UNI 11035-3 (solo per Travi Uso Fiume di Abete) <p style="text-align: center;"><i>In alternativa:</i></p> Marcatura CE secondo Benestare Tecnico Europeo (CUAP N. 03.04/22 "Strength graded structural timber – square edged logs with wane" – solo per Abete Rosso, Abete Bianco e Larice) ⁽²⁾

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

Nota 2: In accordo con le nuove procedure definite dal Regolamento Prodotti da Costruzione (Reg. 305/2011) la denominazione corrente per il "Benestare Tecnico Europeo" diverrà "Valutazione Tecnica Europea"; inoltre tutte le procedure dedicate all'ottenimento della Valutazione Tecnica Europea saranno denominate quali "Documenti per la valutazione Europea" (EAD)

Tabella 3.6. Riferimenti normativi legno a sezione irregolare

3.2.3.1 LEGNO A SEZIONE IRREGOLARE: LA QUALIFICAZIONE MINISTERIALE

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

A tal proposito si riportano le principali fasi operative (Tabella 3.7) al fine di conseguire attestato di qualificazione del Servizio Tecnico Centrale del CSLP:

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

Nota 1: Inoltre il Direttore Tecnico della Produzione deve essere un collaboratore stabile dell'azienda e seguire un solo stabilimento.

Tabella 3.7. Qualificazione ministeriale: passi da compiere

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

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

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

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

CASO A. Assenza di documenti normativi dedicate al tipo di legno impiegato: in tale frangente l'unico riferimento normativo per poter definire una conformità al materiale risulta quanto identificato 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: 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 identificate nella Circolare Esplicativa del 2.2.2009.

3.2.3.2 IL BENESTARE TECNICO EUROPEO: USO FIUME E TRIESTE DI ABETE E USO FIUME DI CASTAGNO

Al fine di garantire anche per le travi Uso Fiume e Trieste, lo stesso livello di controllo della produzione in fabbrica previsto per gli assortimenti a spigolo vivo (come indicato altresì dalla UNI EN 14081-1) sono stati elaborati specifici Benestari Tecnici Europei (adesso Valutazioni Tecniche Europee - ETA) relativamente agli assortimenti Uso Fiume di Castagno e Uso Fiume e Trieste di Abete Rosso, Abete Bianco e Larice.

A tal proposito è da evidenziare come tali documenti abbiano, nel panorama normativo comunitario, una struttura molto peculiare in quanto:

- ▶ il titolare di tali ETA risulta essere un soggetto consortile;
- ▶ le aziende aderenti al progetto votato alla marcatura CE di tali assortimenti sono identificate quali stabilimenti dello stesso Consorzio, i cui nominativi sono riportati all'interno di apposito allegato posto in seno allo stesso ETA.

Questo importante risultato, che vede l'Italia protagonista in Europa, deve essere considerato solamente un primo passo per arrivare alla valorizzazione di tali assortimenti. Rimane quindi indispensabile l'impegno dei singoli produttori coinvolti nella quotidianità lavorativa al fine di garantire verso i professionisti del settore un interesse sempre crescente che funga da stimolo per una maggiore diffusione del prodotto sia all'interno del mercato nazionale che estero.

3.2.4 LEGNO LAMELLARE

Il legno lamellare è un prodotto costituito da lamelle incollate parallelamente la fibratura attraverso l'uso di adesivi strutturali (ad es. poliuretanicici, melamminici). La definizione delle proprietà fisiche-meccaniche del legno lamellare è correlata:

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

I requisiti per definire la conformità di tale assortimento legnoso sono contenuti all'interno della UNI EN 14080 che permette ai singoli stabilimenti produttivi di apporre la marcatura CE (resa cogente a partire da 31 Dicembre 2012). Da segnalare altresì come sia stata formalmente approvata la revisione della EN 14080. Tale nuova versione è stata recepita a livello nazionale a Settembre 2013. Nei paragrafi di seguito si cerca di accompagnare il lettore ad un'attenta analisi dell'evoluzione normativa legata a tale assortimento (§ 3.2.4.1; § 3.2.4.2; § 3.2.4.3) sino a esplicitare le principali novità riportate all'interno della UNI EN 14080: 2013 (§ 3.2.4.4).

3.2.4.1 CLASSIFICAZIONE SECONDO LA RESISTENZA DELLE TAVOLE

Come precedentemente riportato (vedi § 3.3.1 a cui si rimanda per ulteriori approfondimenti) la classificazione secondo la resistenza può essere eseguita con metodi a vista o metodi a macchina. In questa sede si vuol sottolineare le importanti novità introdotte dalla UNI EN 1912: 2012 relativamente la corrispondenza tra classi di resistenza e categorie visuali resistenti.

A tal proposito si ricorda che tale documento normativo riporta, per ogni documento nazionale (ad es. UNI 11035-1/-1; DIN 4074-1; NF B 52-001) riconosciuto conforme alla UNI EN 14081-1, l'elenco delle stesse categorie resistenti a cui è possibile attribuire una classe di resistenza riportata nella UNI EN 338.

Si ricorda a tal proposito che la DIN 4074-1 riporta per le seguenti tipologie di assortimento una specifica regola di classificazione:

	spessore "d" e/o altezza "h"	Larghezza "b"
Listello	$6 \text{ mm} \leq d \leq 40 \text{ mm}$	$b < 80 \text{ mm}$
Tavola	$6 \text{ mm} \leq d \leq 40 \text{ mm}$	$b \geq 80 \text{ mm}$
Tavolone	$d > 40 \text{ mm}$	$b > 3d$
Legname squadrato	$b \leq h \leq 3b$	$b > 40 \text{ mm}$

Tabella 3.8. Assortimenti e relativa suddivisione in accordo alla DIN 4074-1

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

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

In altri termini tale novità normativa rende altresì cogente la misura del nodo sul bordo in rapporto al lato su cui esso compare, così come indicato all'interno della regola di classificazione dedicata alle travi (elementi sollecitati di "coltello").

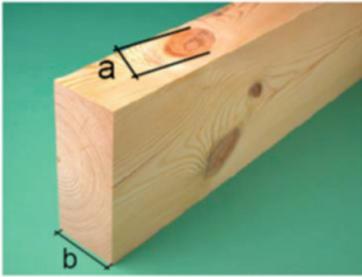
 <p style="text-align: center;">$A = a/b$</p>	$A = a/b$	<p>Tolleranze (nodo singolo regola "travi")</p> <p>S7 $A \leq 1/2$</p> <p>S10 $A \leq 1/3$</p> <p>S13 $A \leq 1/5$</p>
---	-----------	---

Figura 3.1. Tolleranze e limiti di accettabilità nodo sul bordo legname squadrato "travi" (DIN 4074-1)

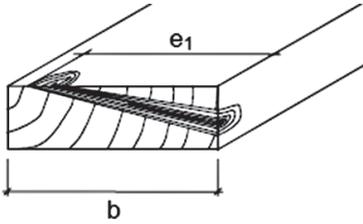
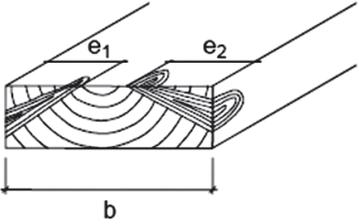
	$E = e_1 / b$	<p>Tolleranze (nodo singolo regola "tavole")</p> <p>S7 $E \leq 1/2$</p> <p>S10 $E \leq 1/3$</p> <p>S13 $E \leq 1/5$</p>
	$E = (e_1 + e_2) / b$	<p>Tolleranze (raggruppament o nodi - regola "tavole")</p> <p>S7 $E \leq 2/3$</p> <p>S10 $E \leq 1/2$</p> <p>S13 $E \leq 1/3$</p>

Figura 3.2. Tolleranze e limiti di accettabilità nodo sul bordo regola tavole (DIN 4074-1)

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

Al fine di continuare a classificare secondo la regola predisposta per le "tavole" un produttore dovrà quindi essere in possesso di apposito rapporto di prova redatto in conformità alla UNI EN 384. Tale possibilità è infatti prevista all'interno della

UNI EN 14081-1 al p.to 5.2.2 di cui si riporta per completezza estratto:

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

Tale classificazione dovrebbe mirare alla determinazione di quei parametri caratteristici delle lamelle che influenzano maggiormente le proprietà meccaniche del legno lamellare. In base allo stato attuale della ricerca si tratta principalmente della resistenza a trazione e del modulo elastico E. Si tratta quindi di procedere ad identificare classi di resistenza a trazione (che verranno identificate in normativa con la lettera “T” nella prossima versione della EN 338) in aggiunta alle attuali classi a flessione (identificate con la lettera “C” per le conifere e “D” per le latifoglie). Un’ultima considerazione relativamente alla tema della classificazione delle lamelle, deve essere dedicata alle prospettive offerte dalle macchine dedicate a tale operazione di selezione. Da questo punto di vista, considerate le rese e la valorizzazione che tali strumenti di lavoro permettono di ottenere in sede di produzione, una macchina di classificazione deve essere considerato come il prossimo obiettivo per tutti i produttori di legno lamellare che vogliono immettere sul mercato elementi finiti con profili meccanici attribuibili alle classi di resistenza più alte e ad elevato valore aggiunto.

3.2.4.2 CONTROLLO DELLA LINEA DI INCOLLAGGIO

Oltre che dalle proprietà delle lamelle, la resistenza degli elementi in legno lamellare incollato è influenzata anche dal giunto di testa delle lamelle (“finger joint”). Soltanto grazie al giunto a pettine è possibile la produzione di una “lamella continua” e quindi del dell’elemento finito. Il giunto di testa delle singole lamelle, (giunto a pettine), deve essere realizzato osservando determinate limitazioni date dalla relativa norma UNI EN 385, adesso “inglobata” all’interno della stessa EN 14080: 2013.

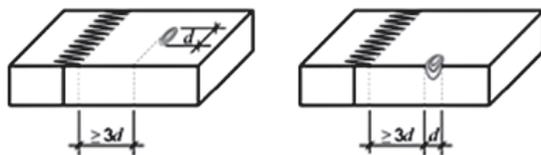
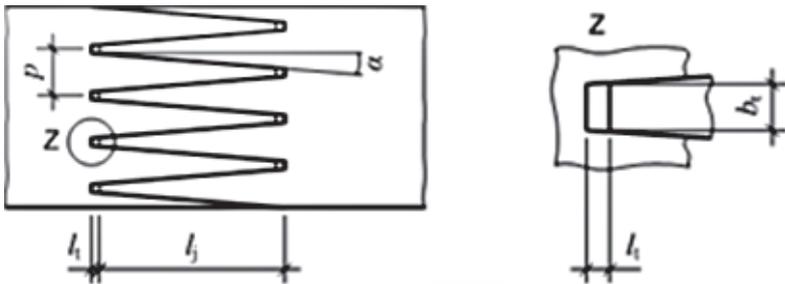


Figura 3.3. EN 14080: 2013 Distanza minima tra giunto e nodo1

Nota 1: la EN 14080: 2013 definisce che il produttore può dotarsi di opportuna procedura di classificazione al fine di dimostrare, attraverso prove, tolleranze di produzioni minori rispetto a quelle definite in Figura 3.3.

A seconda della classe di resistenza del legno lamellare, il giunto a pettine deve raggiungere valori di resistenza fissati dagli standard di riferimento. Le potenzialità di tale giunzione dipendono prevalentemente dalle caratteristiche geometriche dei denti e dalla qualità della produzione, che a sua volta dipende dagli impianti di produzione. La lamella continua così realizzata presenta, in base alla specie legnosa utilizzata e al tipo d'impiego previsto, uno spessore massimo finale di 45 mm. I criteri di prova al fine di definire la conformità del giunto sono indicate all'interno della UNI EN 408. Nella Figura 3.4 si riporta esempio di profilo del giunto a dita.



Legenda:
 lj lunghezza del pettine
 p passo
 α angolo dei pettini
 lt gap del pettine
 bt larghezza del pettine

Figura 3.4. Tipico profilo di giunto a dita

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

In questo ultimo caso i riferimenti normativi risultano essere i seguenti:

- ▶ UNI EN 391 “Legno lamellare incollato - Prova di delaminazione delle superfici di incollaggio”
(per elementi in classe di servizio 3)
- ▶ UNI EN 392 “Legno lamellare incollato. Prova di resistenza a taglio delle superfici di incollaggio”
(per elementi in classe di servizio 1 e 2)

La periodicità e i criteri di accettazione relativamente i controlli di produzione in fabbrica sono definiti all'interno della UNI EN 386 "Legno lamellare incollato – requisiti prestazionali e requisiti minimi di produzione".

Infine, per quanto concerne la posizione delle lamelle all'interno del pacchetto finito, si deve tener conto del fatto che la parte "destra" della tavola (quella più vicina al midollo) deve trovarsi sempre dallo stesso lato. Nel legno lamellare della classe di servizio 3, entrambe le lamelle esterne devono avere la parte "destra" rivolta verso l'esterno (vedi Figura 3.5):

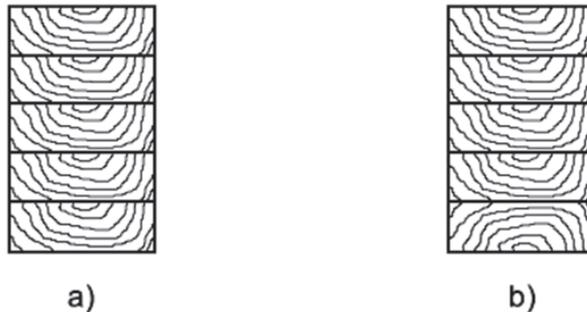


Figura 3.5. EN 1194: Disposizione delle lamelle

Legenda:

- a) Orientamento per la classe di servizio 1 e 2
- b) Orientamento per la classe di servizio 3

Come ampiamente specificato nel § 3.2.4.4, i seguenti standard sono stati superati, in quanto inseriti nel corpo normativo della EN 14080: 2013 (riportati di seguito per ordine di completezza):

- ▶ EN 386: tale norma riporta le modalità, le periodicità e i criteri di accettazione per l'esecuzione di tutti i controlli di produzione previsti nell'iter di marcatura CE;
- ▶ EN 1194: il documento indica i profili degli elementi finiti e i metodi per determinarli (trattata al § 3.2.4.3)
- ▶ EN 385: la norma definisce le modalità produttive per la realizzazione del giunto a dita
- ▶ EN 387: la norma definisce le modalità produttive per il giunto a tutta sezione
- ▶ EN 391: il documento identifica il metodo di prova per l'esecuzione di prove a delaminazione per elementi posti in classe di servizio 3 (EN 1995).
- ▶ EN 392: il documento identifica il metodo di prova per l'esecuzione di prove a taglio per elementi posti in classe di servizio 1 e 2 (EN 1995).

3.2.4.3 LEGNO LAMELLARE INCOLLATO E LE CLASSI DI RESISTENZA

Nell'ambito del legno lamellare incollato laminato orizzontalmente, la norma UNI EN 1194:2000 distingue tra sezioni omogenee (indicate aggiungendo h, ad esempio GL 24h) e sezioni combinate (indicate aggiungendo c, ad esempio GL 24c). Le prime sono costituite da lamelle della stessa categoria di classificazione (classe di resistenza delle lamelle) e della stessa specie legnosa (o combinazione di specie legnose).

Le sezioni combinate prevedono invece lamelle interne ed esterne appartenenti a diverse categorie (classi di resistenza delle lamelle) e specie legnose. Il seguente prospetto rappresenta le sezioni di lamellare rispettivamente omogeneo e combinato.

Classe di resistenza del Legno Lamellare	GL 24	GL 28	GL 32
Legno lamellare omogeneo	C 24	C30	C40
Legno lamellare combinato: lamelle esterne / interne	C24/C18	C30/C24	C40/C30

Tabella 3.9. EN 1194: Classi di resistenza legno lamellare

Va sottolineato infine che le classi di resistenza del legno lamellare, definite nella UNI EN 1194:2000, sono valide per pacchetti costituiti da almeno quattro o più lamelle incollate orizzontalmente.

Come si può facilmente intuire da tale campo di applicazione rimangono esclusi assortimenti bilama e trilama. Tale "lacuna" normativa è stata colmata dalla pubblicazione della EN 14080: 2013 (vedi § 3.2.4.4) .

3.2.4.4 LEGNO LAMELLARE E NOVITÀ NORMATIVE: LA NUOVA EN 14080: 2013

In ambito CEN/TC124/wg3 (Gruppo di normazione europeo relativo ai prodotti in legno giuntati ad uso strutturale) è stata recentemente ultimata il complesso lavoro di revisione della norma armonizzata UNI EN 14080: 2005. La pubblicazione del nuovo standard di prodotto è avvenuto a Settembre del 2013.

In questa sede, in via sintetica e per punti, si riportano le principali novità normative introdotte:

- **Nuova definizione di lamellare e inclusione nel corpo normativo delle procedure per la certificazione di elementi Bilama / Trilama.**

A tal proposito si riportano le seguenti definizioni:

- ▶ **Legno lamellare:** elemento strutturale composto da almeno due lamelle aventi andamento della fibratura pressoché parallelo. Le stesse lamelle possono essere composte da una o due tavole per lato con spessore finito compreso tra 6 mm a 45 mm (incluso).
- ▶ **Elementi Bilama/Trilama (“glued solid timber”):** elementi strutturali con dimensioni delle sezioni fino a 280 mm composti da 2 / 5 lamelle (aventi la stessa classe di resistenza) con andamento della fibratura pressoché parallelo e uno spessore delle tavole compreso tra 45 mm fino a 85 mm (incluso).
- ▶ **Introduzione di classe di resistenza a trazione (classi “T”):** la norma definisce i valori caratteristici delle tavole per la definizione dei profili resistenti degli elementi finiti. Di seguito si riporta a titolo di completezza suddetti valori (ed eventuale corrispondenze con le classi di resistenza attualmente in uso nella UNI EN 338 - classi “C”).

Classi T	$f_{t,0,1,k}$	$E_{t,0,1,mena}$	$\rho_{1,k}$
T8 (C14)	8	7000	290
T9	9	7500	300
T10 (C16)	10	8000	310
T11 (C18)	11	9000	320
T12 (C20)	12	9500	330
T13 (C22)	13	10000	340
T14 (C24)	14	11000	350
T14,5	14,5	11000	350
T15	15	11500	360
T16 (C27)	16	11500	370
T18 (C30)	18	12000	380
T21 (C35)	21	13000	390
T22	22	13000	390
T24 (C40)	24	13500	400
T26	26	14000	410
T27 (C45)	27	15000	410
T28	28	15000	420
T30 (C50)	30	15500	430

Tabella 3.10. Classi di resistenza a trazione

► **Elenco delle specie a cui è applicabile la norma armonizzata:**

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

Specie diverse da quelle sopra menzionate devono essere sottoposte a certificazione attraverso ETA (Benestare Tecnico Europeo - denominazione secondo Direttiva Prodotti da Costruzione – Dir. 89/106 o Valutazione Tecnica Europea - denominazione secondo Regolamento Prodotti da Costruzione – Reg. 305/2011).

► **Inclusione all'interno della EN 14080: 2013 delle seguenti norme:**

- EN 386: tale norma riporta le modalità, le periodicità e i criteri di accettazione per l'esecuzione di tutti i controlli di produzione previsti nell'iter di marcatura CE;
- EN 1194: il documento indica i profili degli elementi finiti e i metodi per determinarli.
- EN 385: la norma definisce le modalità produttive per la realizzazione del giunto a dita
- EN 387: la norma definisce le modalità produttive per il giunto a tutta sezione
- EN 391: il documento identifica il metodo di prova per l'esecuzione di prove a delaminazione per elementi posti in classe di servizio 3 (EN 1995).
- EN 392: il documento identifica il metodo di prova per l'esecuzione di prove a taglio per elementi posti in classe di servizio 1 e 2 (EN 1995).

► **Classi di resistenza** potenzialmente attribuibili ad un elemento di legno lamellare GL20, GL22, GL24, GL26, GL 28, GL30 e GL32 (sia composito "c" che omogeneo "h"). Quindi si ha l'introduzione di nuove classi (GL20, GL22, GL26) e il deprezzamento della GL36. Di seguito si riportano i relativi profili caratteristici (Tabella 3.11 – legno lamellare omogeneo "h"; Tabella 3.12 – legno lamellare composito "c"):

Proprietà	Simbolo	GL20h	GL22h	GL24h	GL26h	GL28h	GL30h	GL32h
Flessione	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Trazione	$f_{t0,g,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,3	24	25,6
	$f_{t90,g,k}$	0,5						
Compressione	$f_{c0,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
	$f_{c90,g,k}$	2,5						
Taglio	$f_{v,g,k}$	3,5						
Rototaglio	$f_{r,g,k}$	1,2						
Modulo di elasticità	$E_{0,g,mean}$	8400	10500	11500	12100	12600	13600	14200
	$E_{0,g,05}$	7000	8800	9600	10100	10500	11300	11800
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Modulo a taglio	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	540						
Modulo a rototaglio	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Densità	g_k	340	370	385	405	425	430	440
	g_{mean}	370	410	420	445	460	480	490

Tabella 3.11. Valori caratteristici per resistenza, rigidezza (N/mm²) e massa volumica (kg/m³): lamellare omogeneo

Proprietà	Simbolo	GL20c	GL22c	GL24c	GL26c	GL28c	GL30c	GL32c
Flessione	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Trazione	$f_{t,0,g,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Compressione	$f_{c,0,g,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Taglio	$f_{v,g,k}$	3,5						
Rototaglio	$f_{r,g,k}$	1,2						
Modulo di elasticità	$E_{0,g,mean}$	10400	10400	11000	12000	12500	13000	13500
	$E_{0,g,05}$	8600	8600	9100	10000	10400	10800	11200
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Modulo a taglio	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	540						
Modulo a rototaglio	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Densità	g_k	355	355	365	385	390	390	400
	g_{mean}	390	390	400	420	420	430	440

Tabella 3.12. Valori caratteristici per resistenza, rigidezza (N/mm²) e massa volumica (kg/m³): lamellare composito

Infine, come si può facilmente intuire, il corpo normativo della prossima revisione della norma armonizzata dedicata al legno lamellare ed elementi bi/trilama risulterà assai più complesso del precedente, visti i numerosi aggiornamenti inclusi entro tale corpo normativo. Tali elementi di innovazione dovranno essere rapidamente recepiti dai produttori nazionali al fine di non perdere competitività con aziende estere, continuando così ad immettere sul mercato elementi con alto valore tecnologico, in linea con gli standard europei di prodotto.

3.2.5 ELEMENTI BILAMA / TRILAMA

Alla luce della normativa precedente normativa, venivano considerato elementi bilama/trilama (chiamati anche DUO/TRIO) quegli assortimenti costituiti da tavoloni (2 nel caso del bilama o 3 nel caso del trilama) classificati secondo la resistenza e successivamente incollati sia di testa che sul fianco.

Con l'introduzione UNI EN 14080:2013, si include all'interno della definizione di DUO/TRIO (definiti come al § 5.2 della stessa UNI EN 14080:2013 come "glued solid timber") elementi costituiti da da 2 / 5 lamelle (aventi la stessa classe di resistenza) con andamento della fibratura pressoché parallelo e uno spessore delle tavole compreso tra 45 mm fino a 85 mm (incluso).

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

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

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

- ▶ Modalità di produzione del giunto: per cui valgono le medesime considerazioni riportate nel § 3.3.4.2 relativamente al legno lamellare.

A tal proposito, a titolo di completezza, si riporta le seguenti specifiche di produzione:

- ▶ Le tavole devono avere un'umidità compresa tra l'8% e il 18%
Nota: alcuni adesivi permettono un'umidità massima pari al 25%
- ▶ Al momento della realizzazione del giunto, la temperatura del legno non deve essere minore di 15 °C
- ▶ L'adesivo deve essere applicato alle entrambe le estremità dell'elemento per una lunghezza minima pari a $\frac{3}{4}$ della lunghezza del dito.
Nota: l'adesivo può essere applicato ad una sola estremità dell'elemento. A tal proposito si deve verificare che l'adesivo fuoriesca da tutte e quattro le facce al momento dell'applicazione della pressione finale.

- ▶ I giunti devono essere incollati entro e non oltre 24 h dopo il taglio. Al momento dell'incollaggio, l'operatore deve assicurare la pulizia delle superfici.
- ▶ Nella realizzazione del giunto devono essere rispettate le prescrizioni in merito a: miscelatura, applicazione, tempo aperto e tempo chiuso, tempo di indurimento...
- ▶ Non deve essere eseguita nessuna ulteriore lavorazione prima dell'avvenuta reticolazione dell'adesivo. La pressione finale deve essere applicata al giunto per almeno 2 s.
Nota: per la maggior parte delle conifere, una pressione finale compresa tra 2 N/mm² a 5 N/mm² è sufficiente per giunti a dita di lunghezza maggiore di 25 mm; per giunti a dita di lunghezza inferiore è necessaria una pressione compresa tra 5 e 10 N/mm²

- ▶ Adesivi: come per il legno lamellare incollato, questi devono risultare conformi a:
 - ▶ UNI EN 301: relativamente ad adesivi fenolici e amminoplastici
 - ▶ UNI EN 15425: relativamente ad adesivi poliuretanicici o isocianatici

- ▶ Controlli di produzione in fabbrica: si prevedono i controlli così come descritto all'interno dei § 3.4.2.1 (classificazione delle tavole) e § 3.4.2.2 (incollaggio)

3.2.6 ELEMENTI IN LEGNO MASSICCIO CON GIUNTI A TUTTA SEZIONE (KVH)

Per quanto riguarda la definizione della conformità di tale assortimenti, le vigenti NTC 2008 prevedono al § 11.7.3 quanto riportato di seguito:

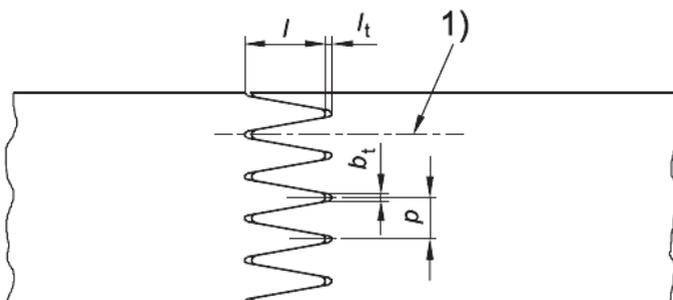
“In aggiunta a quanto prescritto per il legno massiccio, gli elementi di legno strutturale con giunti a dita devono essere conformi alla norma UNI EN 385:2003, e laddove pertinente alla norma UNI EN 387:2003”

In particolare, in accordo alla UNI EN 387 per giunto a tutta sezione si intende:

“Giunto a dita attraversante l'intera della sezione trasversale (...) incollati insieme secondo qualsiasi angolazione (...)”

Nota: A tal proposito, sebbene il KVH non entri del campo di applicazione della EN 14080: 2013, in questa sede si vuol precisare quanto segue:

- la EN 14080: 2013 include la EN 387 per la produzione di legno lamellare a tutta sezione, introducendo allo stesso restrizioni in merito all'angolo con il quale può avvenire la giunzione stessa (angolo β compreso tra 45° e 90°).



Legenda:

l : lunghezza del dito

p : passo

b_t : larghezza in punta

l_t : gioco in punta

Figura 3.6. Profilo tipico del giunto a dita a tutta sezione

1) Asse di simmetria del giunto

Di seguito è in via sintetica si riportano le principali caratteristiche:

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

Inoltre relativamente le condizioni di produzione si riporta quanto segue:

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

Contestualmente si fa presente come a livello CEN si stia procedendo a finalizzare una specifica norma armonizzata inerente tali elementi strutturali (prEN 15497). Tale standard di prodotto dovrebbe essere pubblicato entro il 2014.

3.2.7 COMPENSATO DI TAVOLE (XLAM)

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

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

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

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

A fianco degli iter di certificazione descritti precedentemente, specifico gruppo di lavoro CEN (WG3/TC124), ha ultimato recentemente la redazione di norma armonizzata (prEN 16351) dedicata all'ottenimento della marcatura CE. Tale standard di prodotto andrà sicuramente a sostituirsi in un prossimo futuro alle approvazioni tecniche rilasciate sia a livello italiano che europeo, quali CIT o ETA.

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

All'interno della sopra menzionata prEN 16351 è previsto inoltre l'iter certificativo dedicato a pannelli XLAM giuntati a tutta sezione (come mostrato in Figura 3.7).



Figura 3.7. Pannello giuntato a tutta sezione

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

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

3.2.7.1 LA CARATTERIZZAZIONE FISICO MECCANICA DEL COMPENSATO DI TAVOLE

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

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

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

Giova in ultimo riportare quanto previsto dalle Linee Guida dedicate ai prodotti innovativi in legno pubblicate dal CSLP (e scaricabili gratuitamente dal sito www.cslp.it) in merito all'ottenimento del Certificato di Idoneità Tecnica dedicato ai pannelli XLAM. Sempre a tal proposito, si riportano in forma tabellare le prove iniziali di tipo da eseguire:

Metodo di prova	Numero di provini	Criterio di verifica
UNI EN 408 (flessione di piatto)	30	Come da Allegato A della UNI EN 14080
UNI EN 391 (metodo C)	20	<p>A) su ogni piano di incollaggio, la percentuale minima di rottura sul legno non dovrà essere minore del 50%;</p> <p>B) considerando la somma delle superfici di tutti i piani di incollaggio, la percentuale minima di rottura sul legno non dovrà essere minore del 70%.</p> <p>L'ispezione e il controllo delle tolleranze di cui sopra dovrà svolgersi rompendo opportunamente il provino lungo la linea di colla.</p>

Tabella 3.13. Verifica conformità giunto / linea di colla

Configurazione di prova (flessione)	Orientamento del carico	Combinazioni / numero dei provini (minimo)		
		Minimo numero di strati	Minimo numero di strati	Massimo numero di strati ¹⁾
EN 408: La lunghezza dei provini dovrà essere almeno 19 volte l'altezza del campione per una luce di prova di 18 volte l'altezza. La larghezza di ogni provino dovrà essere almeno due volte la larghezza delle singole tavole in direzione longitudinale		Minimo spessore degli strati longitudinali	Massimo spessore degli strati longitudinali	Massimo spessore del pannello ¹⁾
	Perpendicolare al piano del pannello	5	5	5
	Parallela al piano del pannello	5	5	5

¹⁾ La definizione dell'insieme di prove per questa specifica configurazione può essere decisa dal Laboratorio Notificato dove si svolgono le prove iniziali di tipo, ma tale definizione dovrà essere approvata dal Servizio Tecnico Centrale.

Tabella 3.14. Caratterizzazione del prodotto finito (I)

Configurazione di prova (taglio)	Orientamento del carico	Combinazioni / numero dei provini (minimo)		
		Minimo numero di strati	Minimo numero di strati	Massimo numero di strati
La lunghezza dei provini sarà 10 volte l'altezza del campione per una luce di prova pari a 9 volte l'altezza. La larghezza di ogni provino dovrà essere almeno due volte la larghezza delle singole tavole in direzione longitudinale		Minimo spessore degli strati longitudinali	Massimo spessore degli strati longitudinali	Massimo spessore del pannello
	Perpendicolare al piano del pannello	5	5	5
	Parallela al piano del pannello	5	5	5

¹⁾ La definizione dell'insieme di prove per questa specifica configurazione può essere decisa dal Laboratorio Notificato dove si svolgono le prove iniziali di tipo, ma tale definizione dovrà essere approvata dal Servizio Tecnico Centrale.

Tabella 3.15. Caratterizzazione del prodotto finito (II)

Generalmente, a seguito della campionatura sopra descritta, si affida al pannello il profilo meccanico della classe di resistenza delle tavole (EN 338) con cui lo stesso elemento risulta essere realizzato, integrando tale profilo con i valori a rototaglio ($f_{R,k}$) modulo di elasticità a rototaglio ($G_{R,mean}$).

Di seguito e per completezza si riportano le voci del profilo meccanico così come individuato dalle linee guida pubblicate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Caratteristica	Norma di riferimento
Azioni meccaniche perpendicolari al piano del pannello	
Flessione $f_{m,k}$	EN 338
Compressione perpendicolare $f_{c,90,k}$	EN 338
Trazione perpendicolare $f_{t,90,k}$	EN 338
Rototaglio $f_{R,k}$	CUAP03.04/06
Taglio $f_{v,k}$	EN 338
Modulo di elasticità parallelo medio $E_{0,mean}$	EN 338
Modulo di elasticità perpendicolare medio $E_{90,mean}$	EN 338
Modulo di taglio medio G_{mean}	EN 338
Modulo di elasticità a rototaglio $G_{R,mean}$	CUAP03.04/06
Azioni meccaniche nel piano del pannello	
Flessione $f_{m,k}$	EN 338
Compressione parallela $f_{c,0,k}$	EN 338
Trazione parallela $f_{t,0,k}$	EN 338
Taglio $f_{v,k}$ calcolato sulla sezione netta	EN 338
Modulo di elasticità parallelo medio $E_{0,mean}$	EN 338
Modulo di taglio medio G_{mean}	EN 338
Modulo di elasticità parallelo 5% $E_{0,05}$	EN 338
3. Densità	
Densità caratteristica 5% k	EN 338
Densità media $mean$	EN 338

Nota: si ricorda solo che le procedure dedicate all'ottenimento del Benessere Tecnico Europeo saranno oggetto di revisione al fine di renderle in linea con quanto previsto dal Regolamento Prodotti da Costruzione (Reg.

Tabella 3.16. Valori caratteristici pannello XLAM secondo Certificato Idoneità Tecnica

3.2.8 I SISTEMI COSTRUTTIVI E BENESTARE TECNICO / VALUTAZIONE TECNICA

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

Conseguentemente, più che di obbligatorietà è meglio parlare di opportunità desumibili dall'ETA. Ancor di più per quanto relativo alle NTC 2008. Tali norme al p.to C del § 11.1 prevedono il ricorso alla definizione della conformità secondo Benestare Tecnico Europeo/Valutazione Tecnica Europea (in alternativa alla Certificazione di Idoneità Tecnica all'Impiego) qualora non siano applicabili le disposizioni contenute nei punti A) e B) del medesimo paragrafo.

Un ulteriore piccolo approfondimento deve essere fatto in considerazione dell'entrata in vigore del CPR (Regolamento 305/2011). In particolare nella parte in cui è dato leggere espressamente che assumono natura e funzione di "documenti per la valutazione europea" i Benestari Tecnici Europei pubblicati prima del 1° luglio 2013 e laddove si riconosce, per tutta la loro durata, natura e funzione di "valutazioni tecniche europee" ai benestare tecnici rilasciati prima del 1° luglio 2013.

Questo significa che un eventuale Benestare Tecnico Europeo (rilasciato secondo le precedenti procedure così come descritto all'interno della Direttiva Prodotti da Costruzione) ottenuto a Giugno 2013 avrà la sua validità per cinque anni come valutazione tecnica europea del nuovo CPR e non dovrà essere annullata, rivista o rimessa in discussione. Peraltro, data la sua attivazione a richiesta, la valutazione tecnica europea, che dovrebbe corrispondere all'attuale Benestare Tecnico Europeo, anche nel nuovo CPR risulta espressamente conseguire "su richiesta del fabbricante".

Solo a titolo di completezza si precisa che in questo nuovo contesto legislativo dovuto all'entrata in vigore del Reg. 305/2011, gli attuali ETAG dedicati ai sistemi costruttivi (quali ad es. ETAG 007 "Timber frame building kits"; l'ETAG 012 "Log building kits") dovranno essere ricondotti ad una nuova procedura così come disposto dallo stesso regolamento sopra menzionato (Documenti Europei di Valutazione Tecnica – EAD).

3.3 I CONTROLLI DI ACCETTAZIONE

Nel presente paragrafo vengono riportati a titolo esemplificativo utili indicazioni a cui il Direttore lavori può attenersi al fine di controllare la conformità degli elementi in legno ad uso strutturali (ossia che soddisfano il Requisito 1 "Resistenza meccanica

e stabilità” così come definito nella attuale Direttiva Prodotti da Costruzione 89/106 e relativo Regolamento 305/2011).

A tal proposito si evidenzia sin da subito come il Direttore Lavori, al fine di predisporre tali controlli, deve avere adeguata conoscenza dei processi di controllo della produzione in fabbrica dedicata agli assortimenti legnosi descritti nei paragrafi precedenti. Sulla base di quanto avviene in stabilimento sarà infatti possibile (in fase di accettazione) definire quali parametri controllare e le tolleranze ammesse per poter considerare il materiale conforme alla specificazione tecnica applicabile (così come definito dal § 11.1 delle NTC 2008). Di seguito, per completezza e per una migliore comprensione, si riporta apposita tabella riassuntiva con indicato i principali riferimenti normativi e relativi periodi di coesistenza:

Prodotto	Norma di riferimento	Fine periodo di coesistenza	Obblighi di conformità
Legno massiccio a sezione rettangolare (§ 3.3.2)	EN 14081-1	31 Dicembre 2011	Obbligo marcatura CE
Legno massiccio a sezione irregolare (ad es. Uso Fiume e Trieste – § 3.3.3)	DM 14.01.08	-	Conformità secondo iter di qualificazione nazionale – punto B del § 11.1 del DM 14.01.08; oppure (solo per Uso Fiume e Uso Trieste di Abete e Uso Fiume di Castagno) Conformità secondo Benestare Tecnico Europeo – CUAP 03.04/22 “Strength graded structural timber – square edged logs with wane”)
Legno Lamellare incollato (§ 3.3.4)	EN 14080	1 Dicembre 2012	Obbligo di marcatura CE
DUO / TRIO (§ 3.3.5)	DM 14.01.08	-	Conformità secondo § 11.7.3 del DM 14.01.08
KVH (§ 3.3.6)	DM 14.01.08	-	Conformità secondo § 11.7.3 del DM14.01.08
XLAM (§ 3.3.7)	Benestare Tecnico Europeo Oppure Certificato di Idoneità Tecnica all'impiego	-	Conformità secondo p.to C del § 11.1 del DM 14.01.08

Tabella 3.17. Principali riferimenti normativi; periodo di coesistenza

3.3.1 I CONTROLLI IN INGRESSO IN CANTIERE E LA DOCUMENTAZIONE ACCOMPAGNATORIA

Il Direttore Lavori, nel predisporre i relativi controlli obbligatori in fase di accettazione del materiale, deve prendere coscienza delle peculiarità del materiale e dei relativi controlli di produzione effettuati in stabilimento al fine di identificare possibili casistiche entro le quali è possibile parlare di una mancata completezza della documentazione accompagnatoria.

Inoltre a livello UNI, il Gruppo di Lavoro “Legno Strutturale” ha recentemente ultimato specifico Rapporto Tecnico (UNI TR 11499 “Legno strutturale - Linee Guida per i controlli di accettazione in cantiere”) dedicato ai controlli di accettazione di cantiere, riportando casi esemplificativi circa gli assortimenti di maggior impiego commerciale.

Di seguito, in via sintetica, si riportano nella Tabella 3.18 i controlli di accettazione e la relativa documentazione accompagnatoria, ipotizzando che le lavorazioni vengano eseguite all’interno dello stabilimento. Solo a titolo di completezza si ricorda che qualora le lavorazioni vengano ad essere eseguite a piè d’opera, l’azienda non necessita di attestato di denuncia di attività (la responsabilità delle lavorazioni eseguite in cantiere rientrano sotto la responsabilità della Direzione Lavori).

Assortimento	Documentazione accompagnatoria		Controlli di accettazione
	Produzione	Lavorazione	
Legno massiccio a spigolo vivo classificato a vista (1)	Certificato CE e Dichiarazione di conformità resa dal Legale Rappresentante		Ripetizione della classificazione con metodi a vista con la stessa norma utilizzata dal produttore.
Legno massiccio a spigolo vivo classificato a macchina(1)	Certificato CE e Dichiarazione di conformità resa dal Legale Rappresentante		Classificazione del materiale secondo i principi del "Visual Override requirements" (tabella 1 – § 5.3 della UNI EN 14081-1)
Legno lamellare incollato	Certificato CE e Dichiarazione di conformità resa dal Legale Rappresentante	Attestato di Denuncia di Attività (Circ. Espl. 2.2.2009 - C11.7.10) e Dichiarazione resa dal Legale Rappresentante	Controllo della documentazione accompagnatoria al fine di verificare la corretta esecuzione in stabilimento di tutti i controlli necessari (comprese le prove distruttive previste nel manuale di controllo della produzione). Il controllo può prendere in considerazione: - Disposizione e coerenza dell'orientamento delle tavole nella sezione trasversale (Figura .3.5) - Distanza minima tra giunto e noto (Figura.3.3)
Compensato di tavole (XLAM) (2)	Certificato CE e Dichiarazione di conformità resa dal Legale Rappresentante		Controllare la documentazione accompagnatoria al fine di verificare l'esecuzione dei controlli di produzione così come disposto dal relativo Benestare Tecnico Europeo. Il controllo può consentire nel: - Distanza minima tra giunto e noto (Figura. 3.5)

Tabella 3.18. Documentazione accompagnatoria e criteri di controllo della completezza della documentazione accompagnatoria

(1) Le stesse considerazioni circa i controlli di accettazione possono essere estese a legname a sezione irregolare (ad es. "Usò Fiume" e "Usò Trieste"). Per tali assortimenti, salvo casistiche legate all'applicazione di specifico benessere tecnico europeo, la documentazione accompagnatoria sarà costituita dai seguenti documenti:

- Attestato di qualificazione ministeriale come produttore ; Dichiarazione resa dal legale rappresentante dello stabilimento di produzione.
- Attestato come centro di lavorazione; Dichiarazione resa dal legale rappresentante dello stabilimento centro di lavorazione.

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

- Certificato di idoneità tecnica all'impiego
- Dichiarazione resa dal Legale Rappresentante dello stabilimento di produzione
- Attestato di qualificazione come centro di lavorazione
- Dichiarazione resa dal legale rappresentante del centro di lavorazione

In linea generale è possibile affermare come, per i prodotti a base di legno, la presenza di una opportuna documentazione accompagnatoria risulti essere condizione necessaria e sufficiente al fine di definire la conformità alla specifica tecnica applicabile.

Una ulteriore precisazione circa la stessa documentazione accompagnatoria può essere fatta qualora una stessa azienda si configuri come “impresa costruttrice” (oltre che “fornitrice” di materiale ad uso strutturale). Nel caso specifico infatti la stessa documentazione accompagnatoria, in accordo con la Direzione Lavori, potrà essere fornita riferendosi all’opera (ossia all’insieme degli elementi forniti). In questo ultimo caso, tale documentazione potrà avere tempistiche differenti in quanto la dichiarazione di conformità resa dal legale rappresentante andrà a riferirsi all’interno costruito e non ai singoli elementi delle singole forniture.

Qualora il Direttore Lavori avesse dubbi circa la completezza e autenticità della documentazione accompagnatoria potrà richiedere l’esecuzione di prove sperimentali al fine di verificare le prestazioni degli elementi strutturali forniti. Di seguito si riporta tabella circa possibili esempi che possono essere presi come riferimento relativi ai metodi sperimentali da adottare.

Assortimento	Metodo sperimentale	Note
Legno massiccio (classificati con metodi a macchina o vista)	Criteri di accettazione secondo la EN 384	I criteri di accettazione definiti dalla EN 384 prevedono l'esecuzione di prove distruttive (EN 408) su quantità notevoli di elementi in dimensioni d'uso. Si ricorda, qualora le quantità di fornitura non sia compatibile con il metodo richiamato, la possibilità del Direttore Lavori di rifiutare il materiale in ingresso
Legno Lamellare	<p>Prove sui giunti a dita (<i>*finger joint*</i>) in conformità alla UNI EN 408;</p> <p>Prove di delaminazione per classe di servizio 3 in conformità alla UNI EN 391;</p> <p>Prove a taglio per classe di servizio 1 e 2, in conformità alla UNI EN 392</p>	I provini dovrebbero pervenire da elementi derivanti dallo stesso lotto di produzione oppure provenire dal più vicino controllo di produzione effettuato in stabilimento in conformità con le procedure definite all'interno della UNI EN 14080.
Compensato di tavole (XLAM)	Potrà essere fatto riferimento a quei metodi di prova dedicati al controllo di produzione così come richiamato dai rispetti Benestare Tecnico Europeo.	I provini dovrebbero pervenire da elementi derivanti dallo stesso lotto di produzione oppure provenire dal più vicino controllo di produzione effettuato in stabilimento in accordo con le procedure definite all'interno di Benestare Tecnico Europeo o Certificato di Idoneità Tecnica

Tabella 3.19. Metodi sperimentali e Direzione Lavori

In conclusione si vuol evidenziare come la qualità del costruito dipende da molteplici fattori che vedono coinvolte competenze diverse in differenti settori, che vanno dalla progettazione strutturale, ai controlli di produzione, per finire alle verifiche della direzione dei lavori sul materiale in ingresso in cantiere e a quelle finali del collaudatore.

È quindi necessario prendere coscienza che il concetto di “pubblica incolumità” è strettamente connesso, al concetto di filiera, a prescindere dal materiale utilizzato. Solo attraverso una crescita congiunta dei produttori, centri di lavorazione e professionisti (sia operanti nel settore legno strutturale che in altri comparti edili) potranno essere prese tutte le misure atte a scongiurare la perdita di vite umane ed evitare tragedie dovute ad eventi sismici.

In questa “catena di custodia” della qualità, il Direttore Lavori svolge una funzione fondamentale non solo nel controllo della conformità del materiale, ma anche per quanto riguarda la corrispondenza tra il costruito e progetto, le lavorazioni eseguite a piè d’opera e il corretto stoccaggio del materiale in cantiere.

4. ELABORATI PROGETTUALI

Gli elaborati prodotti durante tutto l'iter progettuale che riguarda la realizzazione di un'opera dovrebbero essere raccolti e presentati in forma chiara e completa. Le stesse Norme Tecniche per le Costruzioni in vigore (NTC 2008) richiamano l'attenzione sugli elaborati richiesti in sede progettuale. Al § 10 delle NTC 2008 e relativa circolare esplicativa è richiamata l'attenzione anche sull'uso degli strumenti di calcolo automatico, nonché sulle responsabilità del progettista. Nel seguito sono riportate tutte le indicazioni ritenute indispensabili nella redazione degli elaborati tecnici.

4.1 INDICAZIONI PER LA REDAZIONE

Gli elaborati relativi al progetto di un'opera dovrebbero includere almeno:

- A) Relazione tecnica generale, contenente una descrizione dell'opera;
- B) Una relazione tecnica di calcolo strutturale comprensiva di una descrizione generale della struttura e dei criteri di analisi e verifica adottati;
- C) Una relazione sui materiali impiegati;
- D) Una serie di elaborati grafici;
- E) Particolari costruttivi qualora necessari per illustrare le modalità di realizzazione e montaggio dei componenti strutturali ritenuti più significativi per il comportamento dell'opera (per esempio i collegamenti nelle zone dissipative);
- F) Una relazione sul montaggio e la manutenzione dell'opera;
- G) Certificato di prevenzioni incendi, se l'opera è soggetta al controllo del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.

Nel caso in cui i modelli di calcolo utilizzati non siano direttamente riconducibili a regole di progettazione esplicitate all'interno di documenti normativi riconosciuti in ambito nazionale o europeo (Norme Tecniche per le Costruzioni; Eurocodici), la documentazione di cui sopra dovrà essere integrata con: risultati riportati nella letteratura tecnico scientifica; riferimenti normativi di comprovata affidabilità diversi da quelli elencati; relazione sui dati sperimentali ottenuti da indagini finalizzate a validare i modelli di comportamento proposti.

Tali prove sperimentali possono essere sostituite dai valori riportati nei certificati o nei documenti di benessere tecnici nel caso in cui nel sistema costruttivo si utilizzino prodotti da costruzione certificati.

4.1.1 A. RELAZIONE TECNICA GENERALE

La relazione dovrebbe contenere tra l'altro, oltre ad una descrizione generale dell'opera, una valutazione in ordine ai seguenti elementi:

- ▶ rischio di degrado dei manufatti lignei in relazione alla definita vita nominale (p.es. valutazione di condense interstiziali, perdite degli impianti o infiltrazione di acque meteoriche), nonché agli accorgimenti progettuali assunti al fine di garantire la durabilità degli elementi strutturali;
- ▶ resistenza alla corrosione degli elementi metallici di collegamento in funzione della classe di servizio prevista;
- ▶ piano della campagna di prove eventualmente previste, atte a garantire e/o controllare la qualità del materiale ligneo fornito in cantiere, anche in funzione delle certificazioni richieste su ciascun specifico materiale impiegato, al fine di dimostrare la congruenza con quanto richiesto nelle NTC 2008;
- ▶ criteri utilizzati nella progettazione dei vari impianti (con particolare riguardo alle caratteristiche tecniche generali degli impianti di adduzione e di scarico), in relazione alle interferenze tra le varie componenti impiantistiche e gli elementi in legno strutturale;
- ▶ comportamento al fuoco del sistema costruttivo, con indicazione delle specifiche soluzioni tecniche necessarie ad assolvere tutte le prescrizioni normative e tecniche relative alla prevenzioni incendi. Dovranno anche essere fornite indicazioni sulla realizzazione degli impianti elettrici in relazione alle caratteristiche REI degli elementi portanti in legno.

4.1.2 B. RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE

La relazione tecnica di calcolo strutturale dovrebbe contenere:

- ▶ analisi dei carichi, verticali e orizzontali, compresa valutazione delle azioni da vento e degli effetti del sisma. Con particolare riferimento alla valutazione degli effetti del sisma, dovrà essere indicata la classe di duttilità assunta per la struttura sismo resistente, ed il corrispondente valore per il fattore di struttura q , con una chiara giustificazione di tale assunzione (Norme Tecniche sulle Costruzioni, Eurocodice);
- ▶ modello di calcolo, analitico o numerico, piano o spaziale, con l'indicazione chiara dello schema statico adottato, delle condizioni di vincolo esterno (con le fondazioni) ed interno (connessioni, rigide, semirigide o a cerniera, tra i diversi elementi resistenti), della schematizzazione degli elementi resistenti (mediante elementi mono, bi o tridimensionali), delle ipotesi sui solai di piano (infinitamente rigidi o flessibili nel loro piano), e dell'interazione o meno della struttura con elementi non strutturali quali pareti di tamponamento;

- ▶ proprietà geometriche (dimensioni) degli elementi strutturali e proprietà meccaniche (rigidezza) delle connessioni utilizzate nel modello di calcolo;
- ▶ tipo di analisi effettuata (statica lineare, dinamica lineare, push-over, non lineare al passo, con o senza valutazione degli effetti del secondo ordine) con l'indicazione del programma di calcolo utilizzato e del tipo di elementi/vincoli cinematici usati, nonché la descrizione degli elementi a comportamento plastico;
- ▶ combinazioni di carico, agli stati limite ultimi e di esercizio, utilizzate nelle analisi. Le combinazioni dovranno essere indicate chiaramente sia come distribuzione spazio-temporale, che come intensità (valore) risultante dalle analisi dei carichi;
- ▶ valori di calcolo delle tensioni del legno strutturale e/o materiali a base di legno, nonché degli altri materiali utilizzati per scopo strutturale, calcolati per le diverse combinazioni di carico in funzione della classe di servizio (umidità del materiale) e della classe di durata del carico;
- ▶ risultati delle analisi, in termini di diagrammi delle caratteristiche delle sollecitazioni nei diversi elementi strutturali in corrispondenza delle diverse combinazioni di carico, con il corrispondente inviluppo e l'indicazione delle sollecitazioni e tensioni massime agli stati limite ultimi, nonché la valutazione degli spostamenti (verticali ed orizzontali) agli stati limite di esercizio;
- ▶ evidenziazione della gerarchia delle resistenze per i sistemi sismo-resistenti di tipo dissipativo;
- ▶ verifiche agli stati limite ultimi e di esercizio dei principali elementi strutturali (travi, colonne, pareti, elementi di controvento, solai);
- ▶ relazione sui provvedimenti atti ad incrementare la robustezza strutturale, ovvero la capacità della struttura di evitare danni sproporzionati (p.es. crollo) rispetto ad azioni eccezionali (p.es. incendio, sisma, esplosioni, urti o conseguenze di errori umani ecc.) con particolare riferimento al cosiddetto “progressive collapse”. A tal fine si dovranno adottare idonee scelte progettuali che dovranno essere chiaramente indicate ed esplicitate nel progetto;
- ▶ dovrà essere prodotta una relazione geotecnica a livello progettuale definitivo sulle opere di fondazione.

4.1.3 C. RELAZIONE SUI MATERIALI IMPIEGATI

La relazione sui materiali impiegati dovrebbe contenere chiare indicazioni circa il tipo e la classe di resistenza del legno strutturale e/o materiali a base di legno, nonché su tutti gli eventuali altri materiali utilizzati per scopo strutturale, in particolare i connettori metallici.

I materiali ed i prodotti per uso strutturale, di cui è prevista in progetto l'utilizzazione devono rispettare le previsioni di identificazione e qualificazione contenute nel Cap.11 delle NTC 2008. Essi devono essere altresì sottoposti alle procedure ed alle eventuali prove sperimentali di accettazione, prescritte nelle NTC 2008; dette prove devono essere dettagliatamente richiamate nella relazione sui materiali.

4.1.4 D. ELABORATI GRAFICI

Gli elaborati grafici dovranno essere composti da:

- ▶ tutti i disegni che definiscono il progetto architettonico e d'insieme (piante di ciascun piano, almeno due sezioni e quattro prospetti dell'edificio in scala adeguata) sui quali va resa evidente l'esatta posizione delle strutture e del loro ingombro (indicazione della maglia strutturale e dei controventi), e da cui risulti anche la posizione degli elementi non strutturali quali le tramezzature;
- ▶ pacchetti costruttivi dei solai e delle pareti, con l'indicazione degli spessori utili all'analisi dei carichi.

4.1.5 E. PARTICOLARI COSTRUTTIVI STRUTTURALI

Andranno riportati i particolari costruttivi strutturali più significativi. Essi devono essere illustrativi della sezione e del nodo analizzato, con indicazione dei sistemi di connessione, da cui sia chiaramente visibile il tipo di connessione e gli elementi utilizzati per la sua formazione.

4.1.6 F. RELAZIONE SUL MONTAGGIO, DURABILITÀ E MANUTENZIONE

Detta relazione dovrebbe contenere:

- ▶ la sequenza di montaggio della struttura in modo da garantire la stabilità, anche nei riguardi di azioni del vento e del sisma calcolate per un ridotto periodo di ritorno, durante le diverse fasi di costruzione;
- ▶ i provvedimenti da adottare in fase di trasporto e di montaggio per la protezione degli elementi lignei dall'acqua e dall'umidità in genere;
- ▶ i provvedimenti da adottare in sede di cantiere per ridurre il rischio di incendio in fase di costruzione e limitarne le conseguenze;
- ▶ indicazioni generali sul progetto di durabilità dell'opera, evidenziando i metodi di protezione costruttiva adottati o gli eventuali trattamenti previsti;

- ▶ indicazioni per ridurre il rischio associato a eventuale “corrosione” dei materiali metallici al fine di preservare le loro caratteristiche meccaniche a seguito di fenomeni di condensa. In relazione alla effettiva posizione dei mezzi di unione metallici all’interno dei pacchetti costruttivi, dovranno essere valutate le possibilità di formazione di condense interstiziali , ed il loro possibile effetto sui meccanismi di degrado del materiale, al fine di stabilire il livello di protezione minima contro la corrosione, secondo quanto previsto dai documenti normativi europei;
- ▶ gli interventi di manutenzione programmata durante la vita di esercizio dell’opera per garantirne la durabilità;
- ▶ i possibili interventi di manutenzione straordinaria che potrebbero rendersi necessari qualora in corso d’opera si verificassero dei problemi non previsti in sede di progettazione;
- ▶ la valutazione del rischio per l’integrità strutturale degli elementi strutturali lignei legato a possibili percolazioni d’acqua non visibili all’interno della costruzione.

4.1.7 G. CERTIFICATO DI PREVENZIONI INCENDI

Nel caso sussista a norma di legge l’obbligo di un rilascio del certificato di prevenzione incendi per la categoria di edificio oggetto della richiesta, sarà obbligo allegare la valutazione preventiva da parte del comando provinciale dei vigili del fuoco di pertinenza.



BIBLIOGRAFIA

Acler, E. [2012]. “Indagine numerico-sperimentale del comportamento di collegamenti per sistemi costruttivi multipiano in xlam,” PhD Thesis, Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering, Trento, Italia.

Acler, E., Piazza, M., Tomasi, R., Webber, M. [2011] “Experimental investigation of the behaviour of different types of connections between the XLAM panels and the concrete slab,” Proceedings of the Structural Engineering World Conference, Cernobbio, Como, Italy.

Ashraf, A. [2007] “Seismic analysis of wood building structures,” Engineering Structures, Vol. 29, No. 2, pp. 213-223.

Bernasconi, A., Piazza, M. [2010] Prontuario 5 – Il calcolo delle strutture di legno. Basi tecniche e esempi di applicazione, Promo_legno, Milano, Italia.

CEN [2004a] Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-1: General-Common rules and rules for buildings, European Committee for Standardization, Bruxelles, Belgium.

CEN [2004b] Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1-1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee for Standardization, Bruxelles, Belgium.

CEN [2005a] EN 1993-1-1. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings, European Committee for Standardization, Bruxelles, Belgium.

CEN [2005b] EN 1993-1-8. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-8: Design of joints, European Committee for Standardization, Bruxelles, Belgium.

CS.LL.PP. [2008] DM 14 Gennaio 2008, Norme Tecniche per le Costruzioni, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 29, Italia.

Dolan, J. D. [1994] “Timber structures in seismic regions RILEM State-of-the-art Report,” Materials and Structures, Vol. 27, pp. 157-184.

Foliente, G. C. [1997] “Modeling and Analysis of Timber Structures Under Seismic Loads: State-of-the-Art,” In Earthquake Performance and Safety of Timber Structures, edited by. Foliente, G. C., Forest Products Society, The USA.

Giordano, G. [1997] Wood anthology – Vol. I (in Italian), Consorzio LEGNOLEGNO, Reggio Emilia, Italia.

Loss, C. [2011]. “Displacement-Based Seismic Design of Timber Structures,” PhD Thesis, Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering, Trento, Italia.

Brunetti, M., Cerullo, S., Luchetti, M., Nocetti, M., Togni, M. [2011] “Il legno strutturale italiano entra in Europa. Situazione tecnico-normativa per gli assortimenti a sezione rettangolare,” AL. AREALEGNO, Vol. 56, pp. 52-55.

Nocetti, M.; Bacher, M.; Brunetti, M.; Crivellaro, A.; Van de Kuilen, J.W. G. [2010]: “Machine grading of Italian structural timber: preliminary results on different wood species,” Proceedings of the 11th World Conference on Timber Engineering (11WCTE), Riva del Garda, Italy.

Brunetti, M., Luchetti, M., Nocetti, M., Togni, M. [2011] 2Impiego del legno in edilizia. Nuove regole e nuove opportunità,” SHERWOOD. FORESTE ED ALBERI OGGI, Vol. 175, No. 7, pp. 42-45.

Piazza, M., Del Senno, M., Bernasconi, A. [2012], Prontuario 7 – Il legno e il fuoco. Nozioni di base e introduzione al calcolo, Promo_legno, Milano, Italia.

Piazza, M., Tomasi, R., Modena, R. [2005] Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee, Hoepli, Milano, Italia.

Popovski, M., Karacabeyli, E. [2012] “Seismic behaviour of cross-laminated timber structures,” Proceedings of the 12th World Conference on Timber Engineering (12WCTE), Auckland, New Zealand.

Racher, P. [1995] “Mechanical timber joints – General,” In Timber Engineering Lecture C1, STEP/EUROFORTECH, Centrum Hout, Almere, The Netherlands.

Schickofer, G., Bernasconi, A. [2009] Prontuario 1 – Travi e montanti di legno. Prestazioni, misure, impieghi, Promo_legno, Milano, Italia.

Schickofer, G., Jöbstl, R. A. [2008] Prontuario 2 – Pannelli di legno, Prestazioni, misure, impieghi per l’edilizia, Promo_legno, Milano, Italia.

APPENDICE

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si riportano nel seguito le principali normative di riferimento per questo manuale:

- EN 10147 Specification for continuously hot-dip zinc coated structural steel sheet and strip – Technical delivery conditions
- EN 1075 Timber structures – Test methods – Testing of joints made with punched metal plate fasteners
- EN 13271 Timber fasteners – Characteristic load-carrying capacities and slip moduli for connector joints
- EN 1380 Timber structures – Test methods – Load bearing nailed joints
- EN 1381 Timber structures – Test methods – Load bearing stapled joints
- EN 1382 Timber structures – Test methods – Withdrawal capacity of timber fasteners
- EN 1383 Timber structures – Test methods – Pull through testing of timber fasteners
- EN 13986 Wood-based panels for use in construction – Characteristics, evaluation of conformity and marking
- EN 336 Structural timber - Sizes, permitted deviations
- EN 385 Finger jointed structural timber – Performance requirements and minimum production requirements
- EN 14080 Timber structures – Glued laminated timber – 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 26891	Timber structures – Joints made with mechanical fasteners – General principles for the determination of strength and deformation characteristics
EN 28970	Timber structures – Testing of joints made with mechanical fasteners; Requirements for wood density (ISO 8970:1989)
EN 300	Oriented Strand Board (OSB) – Definition, classification and specifications
EN 301	Adhesives, phenolic and aminoplastic for load-bearing timber structures; Classification and performance requirements
EN 312	Particleboards – Specifications
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 351-1	Durability of wood and wood-based products – Preservative treated solid wood – Part 1: Classification of preservative penetration and retention
EN 383	Timber structures – Test methods – Determination of embedding strength and foundation values for dowel type fasteners
EN 384	Structural timber - Determination of characteristic values of mechanical properties and density
EN 386	Glued laminated timber - Performance requirements and minimum production requirements.
EN 387	Glued laminated timber – Large finger joints – Performance requirements and minimum production requirements
EN 409	Timber structures – Test methods. Determination of the yield moment of dowel type fasteners – Nails
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

EN 622-2	Fibreboards – Specifications. Part 2: Requirements for hardboards
EN 622-3	Fibreboards – Specifications. Part 3: Requirements for medium boards
EN 622-4	Fibreboards – Specifications. Part 4: Requirements for softboards
EN 622-5	Fibreboards – Specifications. Part 5: Requirements for dry process boards (MDF)
EN 636	Plywood – Specifications
EN 912	Timber fasteners – Specifications for connectors for timber
prEN 16351	Timber structures – Cross laminated timber requirements
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



Cristiano Loss, Ingegnere civile, assegnista di ricerca presso il DICAM, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell'Università di Trento, docente di Riabilitazione Strutturale nel corso di laurea in Ingegneria Edile e Architettura. www.ing.unitn.it

Marco Luchetti, Dottore Forestale, responsabile ufficio normativa area legno di FederlegnoArredo. Delegato italiano ai principali Gruppi Europei di Normazione. www.federlegnoarredo.it

Maurizio Piazza, Ingegnere civile, professore ordinario presso il DICAM, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell'Università di Trento. Docente di Costruzioni in Legno nei corsi di laurea di Ingegneria civile e Ingegneria Edile e Architettura. www.ing.unitn.it

Mauro Andreolli, Ingegnere civile, collaboratore di ricerca all'Università di Trento, redattore del servizio di informazione tecnica "promo_legno risponde". Fondatore di Timber Tech, start up universitaria che si occupa di sviluppo software e consulenze strutturali nel campo delle costruzioni in legno. www.timbertech.it



Assolegno - FederlegnoArredo

Foro Buonaparte, 65 - 20121 Milano

Tel. 02.806041 - Fax 02.80604392

www.assolegno.it