



UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA



UNIVERSITA' DELLA CALABRIA
Dipartimento di Ingegneria Civile

Scuola di Dottorato "Pitagora" in *Scienze Ingegneristiche*
Indirizzo *Ingegneria dei materiali e delle strutture*
Ciclo XXVIII

Con il contributo di
Commissione Europea, Fondo Sociale Europeo e della Regione Calabria

Tesi di Dottorato

***Gli aspetti evolutivi della tecnologia del legno nella progettazione
e realizzazione dell'edilizia residenziale***

Settore scientifico-disciplinare ICAR/10 Architettura tecnica

Direttore: ch.mo prof. ing. Renato Sante Olivito

Supervisore: ch.mo prof. ing. Alessandro Campolongo

Dottoranda: dott. ing. Valentina Guagliardi



UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA



UNIVERSITA' DELLA CALABRIA
Dipartimento di Ingegneria Civile

Scuola di Dottorato "Pitagora" in *Scienze Ingegneristiche*
Indirizzo *Ingegneria dei materiali e delle strutture*
Ciclo XXVIII
Con il contributo di
Commissione Europea, Fondo Sociale Europeo e della Regione Calabria

Tesi di Dottorato

***Gli aspetti evolutivi della tecnologia del legno nella progettazione
e realizzazione dell'edilizia residenziale***

Settore scientifico-disciplinare ICAR/10 Architettura tecnica

Direttore: ch.mo prof. ing. Renato Sante Olivito

Supervisore: ch.mo prof. ing. Alessandro Campolongo

Dottoranda: dott. ing. Valentina Guagliardi

La presente tesi è cofinanziata con il sostegno della "Commissione Europea, Fondo Sociale Europeo e della Regione Calabria".

"L'autore è il solo responsabile di questa tesi e la Commissione Europea e la Regione Calabria declinano ogni responsabilità sull'uso che potrà essere fatto delle informazioni in essa contenute".

A

Alessandro e Alessia,

Indice

Introduzione

Capitolo 1. Il legno: mercato; materiale base; tecniche costruttive; produzione nel contesto calabrese.

- 1.1 Il mercato delle costruzioni in legno in Italia
- 1.2 Le tecniche costruttive e la loro evoluzione
- 1.3 L'albero e il materiale base
- 1.4 Il legno e il territorio calabrese

Appendice capitolo 1

Schede dei legnami: Abete rosso; Abete bianco; Pino silvestre; Larice; Douglasia; Faggio; Quercia; Frassino; Robinia; Castagno

Capitolo 2. I procedimenti costruttivi in legno dall'approccio manualistico al progetto all'approccio prestazionale.

- 2.1 L'ambiente e l'arte del costruire
- 2.2 La regola dell'arte e i manuali di progettazione-costruzione, dall'approccio prescrittivo all'approccio prestazionale
- 2.3 I procedimenti costruttivi in legno e la progettazione prestazionale nell'edilizia residenziale
- 2.4 Lo stato dell'arte delle costruzioni in legno

Appendice capitolo 2

Schede dei progetti campione: Casa Montarina; *Murray Groove*; Complesso residenziale E3; Complesso residenziale di Badernerstrasse; Complesso residenziale di Wagramerstrasse; Torre *Forté Living*; Complesso residenziale via Cenni; Palazzinadi Arsago Seprio; Complesso residenziale *Panorama Giustinelli*.

Capitolo 3. Il sistema tecnologico degli edifici con struttura in legno.

- 3.1 Il sistema tecnologico
- 3.2 I sistemi a struttura intelaiata
 - Sistema costruttivo a ossatura portante indipendente
 - Sistema costruttivo a traliccio
 - Sistema costruttivo a intelaiatura tamponata
- 3.3 I sistemi a parete portante

Sistema costruttivo a tronchi o blocchi massicci
Sistema costruttivo a pacchetto di tavole parallele
Sistema costruttivo a pannelli portanti di legno o XLAM

Capitolo 4. **Il sistema costruttivo a pannelli portanti XLAM.**

- 4.1 Il pannello XLAM: produzione; dimensioni; formati; aspetto; finiture
- 4.2 Le caratteristiche fisiche del pannello XLAM
- 4.3 Le caratteristiche strutturali del pannello XLAM
 - Elemento strutturale piastra*
 - Elemento strutturale lastra*
- 4.4 La struttura portante dell'edificio
 - Pareti perimetrali in XLAM*
 - Partizioni interne orizzontali in XLAM*
 - Trave-parete*
- 4.5 I collegamenti
 - Collegamento parete perimetrale - struttura di fondazione*
 - Collegamento parete - solaio - parete*
 - Collegamento parete - struttura di copertura*
 - Collegamento continuo parete-parete*
 - Collegamento parete-parete d'angolo*
 - Collegamento a martello parete-parete*
 - Collegamento solaio-solaio*
 - Altre tipologie di collegamenti*

Capitolo 5. **Due specie lignee calabresi come materiali da costruzione.**

- 5.1 Le proprietà meccaniche del legno
 - Resistenza del legno per sforzi assiali*
 - Resistenza del legno per sollecitazioni taglienti*
 - Resistenza del legno per sollecitazioni di torsione*
 - Resistenza del legno per sollecitazioni di flessione*
- 5.2 Le specie calabresi
 - Pino Laricio*
 - Castagno*
- 5.3 Le determinazioni delle caratteristiche meccaniche del legno
 - Determinazione della resistenza a flessione*
 - Determinazione della resistenza a compressione parallela alla fibratura*
 - Determinazione della resistenza a compressione perpendicolare alla fibratura*
- 5.4 Le prove sperimentali sul pino laricio
 - Prove di compressione parallela*
 - Prove di compressione perpendicolare*

-
- 5.5 *Prove di flessione*
Le prove sperimentali sul castagno
Prove di compressione parallela
Prove di compressione perpendicolare
Prove di flessione
- 5.6 Conclusioni

Bibliografia

Normativa

Sitografia

Fonte delle illustrazioni

Introduzione

La ricerca svolta mira all'inquadramento delle problematiche generali della lavorazione del legno come materiale da costruzione e alla conoscenza degli aspetti significativi dell'innovazione tecnologica in questo campo, dalla trasformazione della materia prima alle diverse possibilità d'impiego del materiale nel settore edilizio, fino alla sua qualificazione nei procedimenti costruttivi tecnologicamente più avanzati, con particolare riferimento alla realizzazione degli edifici per la residenza.

Il connubio legno-edilizia risale all'antichità e trova, nel corso dei secoli, le più diverse applicazioni nella realizzazione di elementi di fabbrica semplici e complessi, capaci di ricoprire ruoli essenziali nel più generale assetto statico-geometrico dell'apparecchiatura costruttiva dell'organismo edilizio. In particolare, tra Ottocento e Novecento, sono importante testimonianza del cospicuo impiego del legno come materiale per l'edilizia i *manuali di costruzione*, espressione all'epoca della *regola dell'arte* in tutte le sue manifestazioni progettuali e tecnico-applicative. Impalcati orizzontali e relative finiture, strutture portanti delle coperture, scale, infissi, architravi e altri elementi integrativi della struttura muraria, sono significative manifestazioni tecniche dell'impiego di questo materiale, prezioso riferimento in quasi tutte le lavorazioni di cantiere, oltre che per la realizzazione dei ponteggi.

Dalla Rivoluzione industriale in poi, con l'avvento dei nuovi materiali – ghisa, acciaio, vetro, laterizio rinnovato nelle sue lavorazioni – e successivamente con l'impiego crescente del cemento armato, il legno perde il suo ruolo centrale nella costruzione degli edifici, rimanendo riferimento prevalente soltanto nelle aree nelle quali la lavorazione del materiale ha tradizioni fortemente radicate – localmente nelle zone di montagna, nel Centro

e Nord Europa, nel Nord America e in Australia – lì dove il suo impiego continua ad avere importanti ricadute anche nella configurazione architettonica degli edifici.

A cominciare dagli ultimi decenni del secolo da poco trascorso, e in particolare negli anni più recenti, la nuova attenzione rivolta alla città storica e al suo patrimonio edilizio ha riproposto la conoscenza del *materiale legno*, e dei procedimenti costruttivi a esso legati, nell'attività per il recupero delle preesistenze. Un importante sviluppo innovativo nel campo della progettazione e della produzione edilizia quello del recupero degli edifici e della riqualificazione urbana, cui è corrisposto per altro verso, nell'attività produttiva per la nuova edificazione, uno spiccato interesse per il legno inteso come il materiale più indicato per un corretto sfruttamento delle risorse ambientali. Tutto ciò senza rinunciare alla qualità funzionale dell'apparecchiatura costruttiva e dello spazio abitativo, permessa dalle nuove possibilità tecnologiche sperimentate in relazione alle capacità prestazionali del materiale, sia sul piano strutturale, sia sul piano fisico-tecnico, sia sul piano dell'innovazione tecnologico-produttiva, come delle specifiche lavorazioni attraverso le quali è possibile elaborare interessanti sviluppi nella ricerca della configurazione architettonica degli edifici. Un approccio alla costruzione che sembra porsi in contrapposizione ideologica all'uso indiscriminato del cemento armato, nella riqualificazione come nella crescita del tessuto edilizio urbano.

Lo sviluppo della ricerca è decisamente sostenuto dalle iniziali osservazioni sulle indagini di mercato che mostrano un consistente aumento delle costruzioni in legno nel territorio nazionale, misurato attraverso l'incremento dei *permessi di costruire*, e del numero degli edifici realizzati, contrapposto al volume di costruito di tipo tradizionale, che vive com'è noto un periodo di forte crisi. Le spinte produttive di settore sono legate a un nuovo approccio culturale che va diffondendosi nel mondo dell'edilizia, alimentato sempre più dalla

convinzione che l'utilizzo di materiali naturali e riciclabili consente una più spiccata efficienza energetica, una maggiore disponibilità al recepimento delle normative europee sul risparmio energetico, senza rinunciare peraltro alla possibilità di affrontare adeguatamente le problematiche legate alla sicurezza delle costruzioni, anche e soprattutto in relazione all'azione sismica.

La resistenza al fuoco è, tra le problematiche sulla sicurezza delle costruzioni, un altro importante aspetto da considerare nella valutazione delle capacità prestazionali di questo materiale. L'attenzione per questo argomento è stata fatta oggetto di questo studio nella parte elaborata durante il periodo di *stage* presso l'*Haute Ecole di Ingegneria et de Gestion du Canton de Vaud*, a Yverdon-les-Bains, in Svizzera. Il legno è un materiale organico combustibile: in caso d'incendio partecipa alla combustione perdendo massa dalla superficie esposta al fuoco verso l'interno, con velocità che dipende dalla specie legnosa e dalle condizioni igrometriche. In caso d'incendio il legno per uso strutturale partecipa alla combustione trasformandosi, negli strati più esposti all'incendio, in strati carbonizzati che, se determinano un assottigliamento delle sezioni resistenti, garantiscono d'altra parte una protezione dall'incendio alle fibre più interne dell'elemento costruttivo investito.

L'acquisizione delle nozioni sulle essenze arboree più idonee per l'impiego del legno nell'edilizia ha costituito la base di studio per le conoscenze specifiche sulle proprietà del materiale, come sulle sue suscettività tecnologiche in relazione ai diversi tipi di lavorazione e all'innovazione produttiva di settore. Da queste valutazioni nascono le necessarie distinzioni prestazionali del materiale, poste in relazione alla differente materia prima di provenienza, per un verso, e ai procedimenti costruttivi necessari per le diverse destinazioni d'uso degli edifici, per altro verso. L'attenzione è rivolta, in particolare, alla promozione di un'utilizzazione diffusa del materiale nell'edilizia residenziale, lì dove

l'approccio progettuale-costruttivo dev'essere in grado di esprimere modelli abitativi adeguati all'attuale domanda di qualità da parte dell'utenza.

Le potenzialità del *materiale legno*, delle sue capacità statico-geometriche, della sua durabilità, della sua resistenza agli agenti esterni ricorrenti e al fuoco, emergono attraverso l'*excursus* storico delineato nel capitolo introduttivo, che mette a confronto le proprietà naturali del materiale, così come sono espresse nella semplicità dei procedimenti costruttivi del passato, con il più evoluto impiego che del materiale si può fare nella prefabbricazione degli elementi costruttivi tecnologicamente più avanzati. Quegli elementi tecnici e quei procedimenti costruttivi che, nel processo edilizio industrializzato, permettono, oltre a una generale evoluzione del processo costruttivo, un deciso abbattimento dei costi nella produzione dell'edilizia.

Interessanti da questo punto di vista sono le tecniche costruttive affermatesi più di recente, nonostante molto lenta si presenti l'evoluzione dell'azione normativa di settore. La tecnica costruttiva incentrata sull'impiego delle pareti portanti realizzate in pannelli prefabbricati del tipo *Cross-Lam*, è certo una delle espressioni più significative in merito. A detto procedimento costruttivo è dedicata una parte consistente dello studio elaborato; vengono infatti presentati elementi costruttivi base, elementi costruttivi funzionali più o meno complessi, elementi integrativi per la realizzazione dei giunti e per la connessione delle parti di fabbrica, in una visione complessiva dell'approccio progettuale-costruttivo mirata a soddisfare le esigenze in continua evoluzione del mercato edilizio.

Il contesto regionale calabrese assume particolare rilevanza per la massiccia presenza sul territorio di vaste aree a bosco, il cui sfruttamento riguarda oggi prevalentemente destinazioni diverse da quella delle costruzioni. Nella consapevolezza delle dette potenzialità del materiale, e nella convinzione dell'opportunità di un suo possibile sfruttamento secondo un corretto rapporto

tra risorse naturali e loro impiego, si è ritenuto di rivolgere l'attenzione a dette risorse approfondendo le conoscenze tecniche relative a due specie arboree particolarmente interessanti nel contesto boschivo regionale: il *pino laricio* e il *castagno*. Le proprietà meccaniche del materiale da dette specie ricavate sono state fatte oggetto di studio mediante prove sperimentali, svolte presso il Laboratorio *Prove materiali* del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università della Calabria. I risultati delle prove danno le prime indicazioni sulla caratterizzazione meccanica del materiale, costituendo la base per un ulteriore sviluppo della ricerca, nel quadro delle prospettive per una diversa e più efficace crescita tecnologica ed economica della regione, che, dalla valorizzazione e dallo sfruttamento del bosco e delle sue specie autoctone, possa portare allo sviluppo aziendale di settore, fino alla produzione di elementi tecnici certificati, siano essi di tipo semplice o complesso, da destinare a un ampio mercato edilizio.

CAPITOLO 1

Il legno: mercato; materiale base; tecniche costruttive; produzione nel contesto calabrese

1.1 Il mercato delle costruzioni in legno in Italia

L'industria delle costruzioni, negli ultimi anni, ha subito un crollo degli investimenti a tutti i livelli a seguito della crisi che ha colpito l'economia mondiale. In controtendenza, alla crisi che attanaglia l'edilizia tradizionale si pone il mercato degli edifici in legno, che vede in continuo aumento le richieste di costruzioni. L'utilizzo del legno come materiale da costruzione, non è una tecnologia particolarmente radicata nella tradizione costruttiva del nostro paese, al contrario di quanto avviene in Europa e in America, dove si è continuato a utilizzare il legno in maniera estensiva per l'edilizia civile. Il fiorente sviluppo di un'edilizia basata sull'impiego di cemento armato nelle residenze e dell'acciaio nelle costruzioni per le attività produttive, ha limitato l'uso del legno ai progetti di restauro, in particolare per il recupero di solai e strutture di copertura in legno, o semplicemente come materiale per realizzare le casseforme. Una condizione aggravata (peggiorata) dalla mancanza di normative di riferimento per le costruzioni in legno, dalla carenza di ricerche nel campo della resistenza al fuoco e al sisma e dai fattori del degrado. In Italia questo ha determinato un fiorente sviluppo di abitazioni realizzate con altre tecniche costruttive.

Una tappa fondamentale per le costruzioni in legno è rappresentata dalla meccanizzazione delle lavorazioni, dalla produzione seriale della componentistica e della normativa di riferimento, che, insieme

all'approfondimento dell'analisi strutturale, agli studi sulla resistenza al fuoco del materiale, all'introduzione di nuovi prodotti preservanti dal degrado e dagli insetti, ha consentito al legno di riappropriarsi delle possibilità architettoniche, della straordinaria natura estetica e della crescente sensibilità manifestata verso l'impiego di materiali ecocompatibili, sulla spinta delle istanze per un uso sostenibile e un'elevata efficienza energetica richiesta alle costruzioni.

Johann Waldner presidente di *Lignius*¹ spiega che "la richiesta di abitazioni in legno in Italia è cresciuta molto, ma soprattutto si è distribuita su tutto il territorio nazionale"; non più solo Trentino Alto Adige e Nord Italia, ma si riscontra grande interesse anche al Centro e al Sud. Sta cambiando il modo di intendere l'abitazione da parte degli utenti, che sempre più spesso cercano soluzioni di qualità, sicure e sostenibili. "Ora deve cambiare anche la cultura del costruire - dice Waldner - che deve tornare ad avere un'etica, mettere al centro le persone, non solo il profitto"².

Ulteriore spinta al settore delle costruzioni in legno è dettata dalla necessità di adeguarsi alle normative europee sul risparmio energetico, e dalla sensibilità verso le tematiche della sicurezza antisismica e dell'efficienza energetica. Costruire in legno presenta innumerevoli vantaggi, primo fra tutti l'utilizzo di un materiale naturale, rinnovabile e riciclabile, a cui si aggiungono i brevi tempi di realizzazione, le proprietà termoisolanti e la resistenza al fuoco unite alle ottime capacità statiche.

L'interesse crescente sul settore legno è manifestato anche dal proliferare di manifestazioni, quali *Legno & Edilizia*³ di Verona, *Klimahouse*⁴ di Bolzano, *MADE Expo*⁵, *SAIE*⁶, *5° Forum internazionale dell'edilizia in legno*⁷ che fa ha fatto tappa a Verona; e delle associazioni che si occupano di promulgazione e di sviluppo della cultura del legno, come *Promo_legno*⁸, *Federlegno*⁹ e l'*Istituto Lazzari-Zenari*¹⁰, mediante l'organizzazione di corsi e convegni rivolti a progettisti e aziende operanti nel settore. Inoltre si registra, in Italia, un aumento delle aziende che si occupano della lavorazione del legno e della

realizzazione di edifici in legno, costituendo queste la loro attività prevalente, altre aziende invece si adeguano alle richieste di mercato con riferimento non solo alle costruzioni di case mono e plurifamiliari, ma anche di edifici a destinazione pubblica come scuole e uffici, nonché di ponti pedonali.

Il successo delle case in legno non è da attribuire solo alla durabilità delle strutture, alle caratteristiche antisismiche e alla resistenza al fuoco, ma, come afferma l'architetto Lorena De Agostini, coordinatrice italiana del *progetto Promo_legno*: "Se a EXPO il legno è stato impiegato per un uso, per così dire, effimero, è vero che nelle nostre città questo materiale si sta imponendo per architetture sempre più alte, per usi residenziali e per interventi di sopraelevazione di condomini esistenti"¹¹.

Il *trend* in aumento delle costruzioni in legno è sottolineato dalla comparazione dei dati provenienti da due indagini di mercato svolte sul numero di costruzioni realizzate nel 2010 e nel 2014. Un primo studio è stato effettuato dal dott. Paolo Gardino, dal titolo "Il mercato italiano delle case in legno del 2010"¹², in collaborazione con Assolegno di *Federlegno Arredo*. Un secondo studio pubblicato nel 2015, dal titolo "Rapporto case ed edifici in legno"¹³, è stato realizzato dal *Centro Studi Federlegno Arredo Eventi SpA*, per Assolegno di *Federlegno Arredo*. Entrambe le ricerche si basano su dati derivanti esclusivamente dalla costruzione di case in legno, ossia case con struttura portante di legno. La prima indagine di mercato, svolta nel 2010 con previsione al 2015, si basa su una serie di interviste e questionari effettuati per regione, interessando un totale di 192 aziende sul territorio nazionale. All'intervista hanno partecipato aziende di lavorazione della materia prima, aziende costruttrici e progettisti, incontrati in occasioni di fiere del settore (Saie 2010 e Fiera di Verona 2011) e riunioni di associati di Assolegno [Gardino, 2011].

Questa ricerca è stata elaborata dopo il terremoto dell'Aquila del 2009, lì dove la ricostruzione post terremoto si è avvalsa della realizzazione di tre progetti:

- il *Piano CASE* (complessi antisismici sostenibili eco-compatibili), che ha portato alla costruzione di 185 edifici a tre piani per un totale di 4.449 abitazioni, delle quali 2.238 in legno;
- il *Piano MAP* (moduli abitativi provvisori), che ha portato alla costruzione di 3.473 edifici in legno "provvisori";
- il *Piano MUSP* (moduli ad uso scolastico provvisorio), che consisteva nella realizzazione di trentuno edifici per uso pubblico, sette dei quali in legno[Gardino, 2011].

Tali dati sono presentati nella ricerca separatamente data l'eccezionalità della domanda di abitazioni.



Fig. 1.1. Interviste effettuate per regione; analisi Gardino, 2011.

La ricerca effettuata nel 2014, presentata in sintesi a Verona dal dott. Marco Spinello (Federlegno Arredo) in occasione del 5° *Forum Internazionale*

dell'Edilizia in Legno, al quale ho partecipato, si è basata su interviste e questionari posti a 225 aziende, divise tra *specialiste, non specialiste, produttrici in senso stretto e assemblatrici*, raggruppate per regione, riferite a edifici a struttura di legno, residenziali e non, costruite nel 2014 [Spinello, 2015].

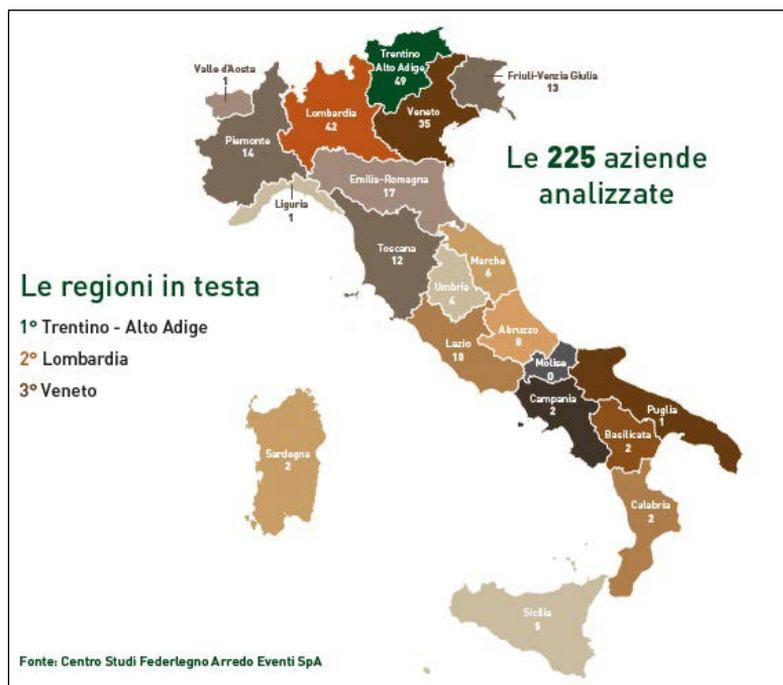


Fig. 1.2. Interviste effettuate per regione; analisi Spinello, 2015.

Delle aziende intervistate il 38%, ossia 85 su 225, hanno l'edilizia in legno come attività prevalente, mentre il 62%, ossia 142 aziende, hanno come attività prevalenti altre produzioni. Gli edifici realizzati sono stati suddivisi in funzione del grado di finitura in *finito chiavi in mano*, in *rustico grezzo* e in *rustico grezzo avanzato*. Il *rustico grezzo* prevede la realizzazione della struttura portante completa di struttura di copertura per un 14% di edifici; il 35% presenta grado di finitura al *rustico grezzo avanzato*, ossia integrazione del rustico grezzo con

alcune finiture, quali cappotto e intonaco per le pareti perimetrali; completamento della stratigrafia della struttura di copertura compresa di lattoneria; realizzazione di partizioni interne verticali, pronte per essere stuccate e dipinte; predisposizione canaline per impianti; realizzazione di infissi e portone d'ingresso; il restante 51% edifici si presenta *chiavi in mano*, ossia un grezzo avanzato completato con impianti, infissi e finiture interne [Spinello, 2015].

Per quanto riguarda gli investimenti nelle costruzioni in Italia (come riportato nei grafici della ricerca 2011) il settore vive un momento di crisi, che secondo l'Ance (Associazione Nazionale Costruttori Edili) perde il 17,8% degli investimenti dal 2008 al 2011, ossia circa 29 miliardi di euro. In particolare il comparto delle nuove abitazioni perde il 34,2% degli investimenti e l'edilizia non residenziale privata il 15,6%. Nel dopoguerra solo un'altra grave crisi aveva interessato il settore con una perdita del 11,7% tra il 1975 e il 1977 [Gardino, 2011].

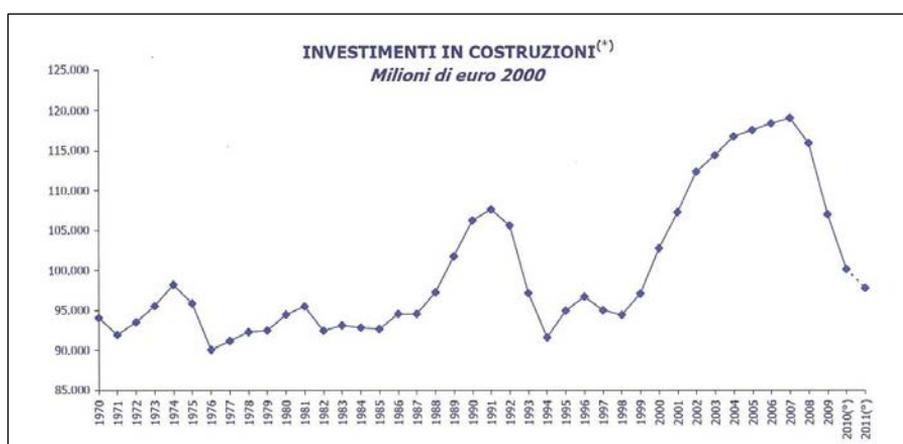


Fig. 1.3. Investimenti in costruzioni in Italia; analisi Gardino, 2011.

INVESTIMENTI IN COSTRUZIONI ^(*)						
	2009	2008	2009	2010 ^(**)	2011 ^(**)	Quadriennio
	Millioni di euro	Variazioni % in quantità				
COSTRUZIONI	142.466	-2,7%	-7,7%	-6,4%	-2,4%	-17,8%
.abitazioni	76.224	-2,1%	-8,9%	-4,9%	-1,2%	-16,2%
- nuove ^(°)	32.152	-3,7%	-18,8%	-12,4%	-4,0%	-34,2%
- manutenzione straordinaria ^(°)	44.072	-0,6%	0,0%	0,5%	0,5%	0,4%
.non residenziali	66.242	-3,3%	-6,3%	-8,0%	-3,7%	-19,7%
- private ^(°)	38.367	-2,0%	-7,0%	-5,4%	-2,1%	-15,6%
- pubbliche ^(°)	27.875	-5,1%	-5,4%	-11,6%	-6,1%	-25,4%

(*) Investimenti in costruzioni al netto dei costi per trasferimento di proprietà
 (°) Stime Ance
 (**) Previsione Ance
 Elaborazione Ance su dati Istat

Fig. 1.4. Investimenti in costruzioni in Italia; analisi Giardino, 2011.

Se confrontiamo i valori degli investimenti nell'industria delle costruzioni dal 2010 in poi (grafico nella Fig. 5), è evidente come le costruzioni in legno siano trainanti del settore, con un fatturato stabile, al contrario del fatturato relativo all'edilizia tradizionale.

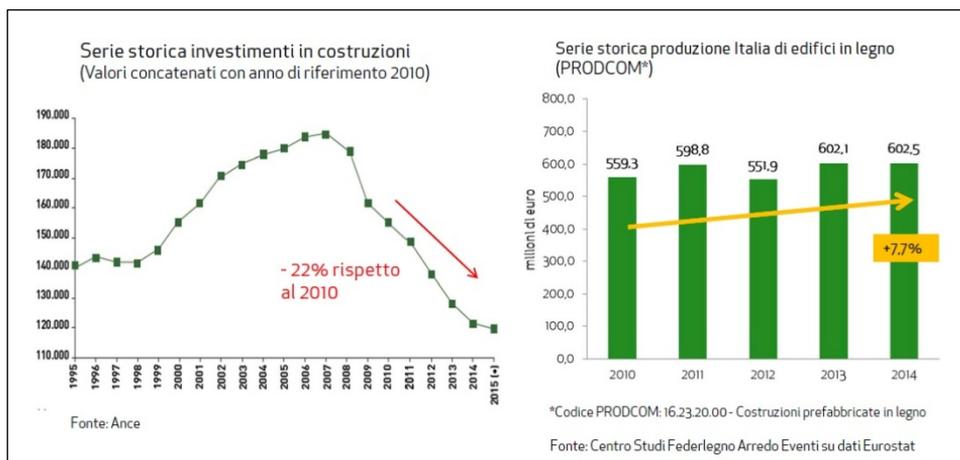


Fig. 1.5. Investimenti in costruzioni in Italia; analisi Spinello, 2015.

Pertanto il fatturato complessivo dell'edilizia in legno e delle altre attività è di 911 milioni di euro, dove l'81% delle aziende ha un fatturato fino a 5 milioni di euro [Spinello, 2015].

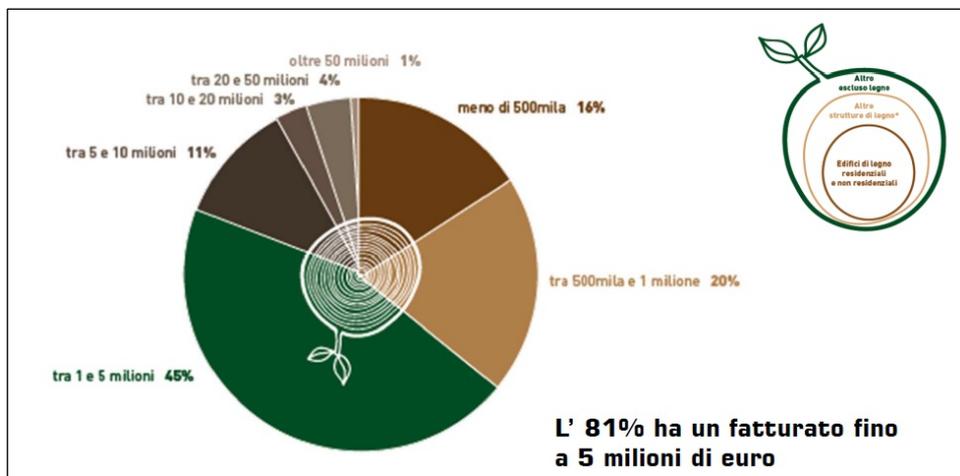


Fig. 1.6. Fatturato complessivo dell'edilizia in legno e di altre attività; analisi Spinello, 2015.

Il grafico che segue mostra come il fatturato derivante dalla costruzioni di case ed edifici in legno generano il 40% del fatturato del settore, considerando le prime 10 imprese, percentuale che sale al 89% considerando le prime 100 aziende. Mentre è differente la distribuzione del fatturato complessivo che, considerando le aziende non specializzate, mantiene il fatturato grazie alle altre produzioni [Spinello, 2015].

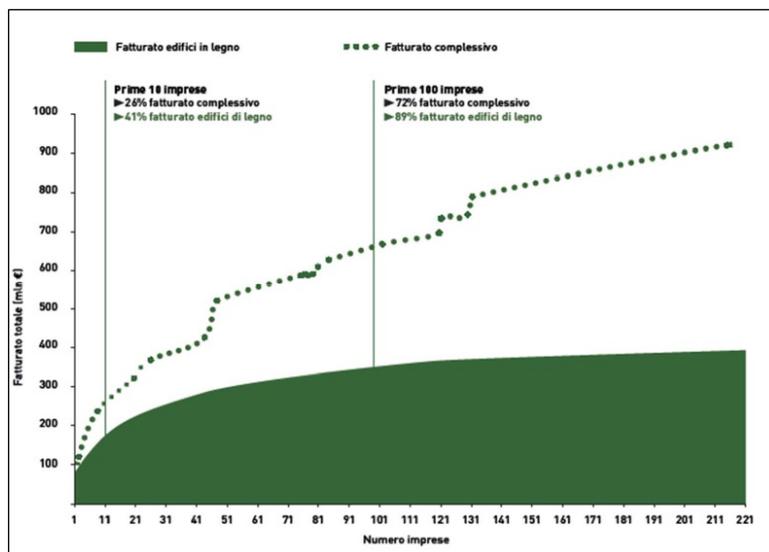


Fig. 1.7. Fatturato complessivo e specifico degli edifici di legno; analisi Spinello, 2015.

Di seguito si riportano i grafici del 2014 con i dati relativi al solo fatturato derivante dalla costruzione di edifici in legno, e delle aziende per numero di edifici costruiti, che mette in evidenza come il 40% di aziende ha costruito tra 3 e 10 abitazioni, del tipo monofamiliare o plurifamiliare, e il 37% ha costruito 1-2 abitazioni, mentre il 3% si riferisce ad aziende che non costruiscono edilizia residenziale e quindi non hanno costruito nessuna abitazione[Spinello, 2015].

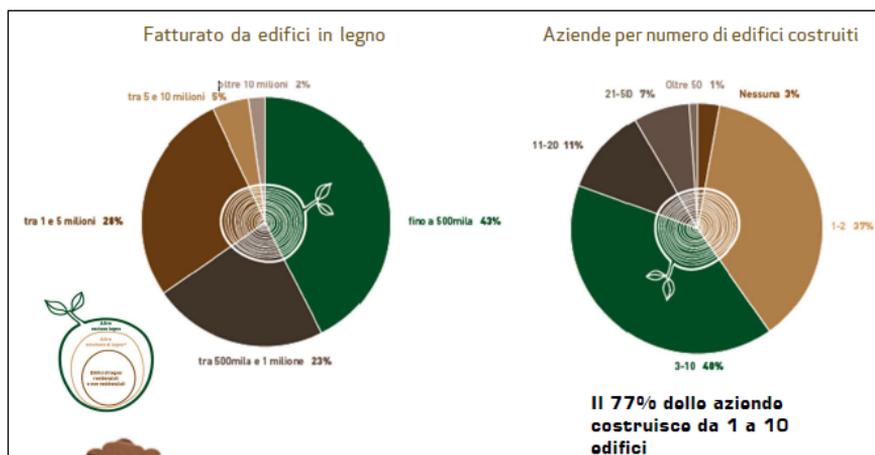
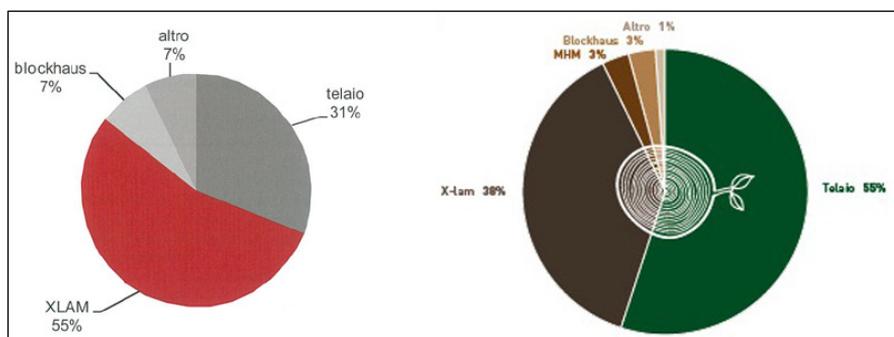


Fig. 1.8. Fatturato specifico e numero di edifici in legno costruiti; analisi Spinello, 2015.

Altro confronto tiene conto della tecnica costruttiva utilizzata per la realizzazione degli edifici; dall'analisi dei grafici si evince:

- una riduzione della tipologia *blockhaus*, che dal 14% del 2010 arriva al 3% nel 2014;
- un aumento delle strutture in *Xlam*, per cui la percentuale sale del 5% rispetto ai dati del 2010;
- un aumento delle strutture a *telaio*, che dal 44% del 2010 aumentano al 55% nel 2014.



Figg. 1.9, 1.10. Edifici in legno distinti per tecnica costruttiva; analisi Gardino, analisi Spinello.

Altro aspetto significativo è la distribuzione geografica del fatturato derivante dalla costruzione di edifici in legno; in particolare, nel 2010 sono stati analizzati i dati regionali suddividendo l'Italia in tre macro-aree, Nord, Centro e Sud (che comprende anche le isole), riportando solo l'indicazione delle prime tre regioni: al primo posto il Trentino-Alto Adige seguito dal Veneto e dalla Lombardia e in coda da tutte le altre regioni [Gardino, 2011].

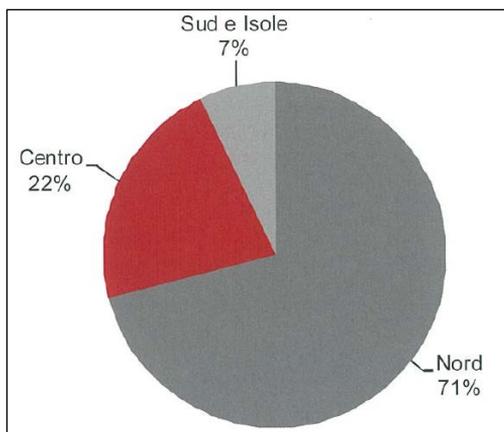


Fig. 1.11. Zone di costruzione delle case in legno in Italia; analisi Giardino, 2011.

Mentre l'analisi svolta nel 2014 mostra in testa il Trentino-Alto Adige con il 58% di edifici realizzati in legno, il 14% la Lombardia e il 9% il Veneto, regioni in cui è più radicata la cultura delle costruzioni in legno, e dove hanno sede le maggiori aziende del settore [Spinello, 2015].

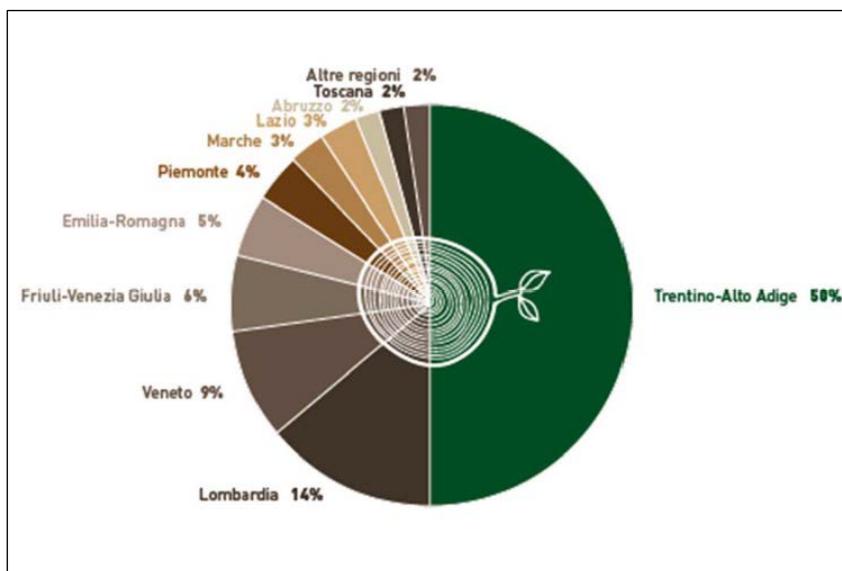


Fig. 1.12. Distribuzione geografica del fatturato da edifici di legno; analisi Spinello, 2015.

Dall'elaborazione dei dati relativi alla ricerca svolta nell'anno 2014, emerge che sono stati realizzati in totale 3.025 edifici, di cui 2.715 destinati al residenziale e 310 edifici al non residenziale, esprimendo questi numeri in termini di percentuale di superficie in mq risulta che il 75% è di tipo residenziale e il 25% di tipo non residenziale, mentre in termini di fatturato in milioni di euro risulta che il 79% riguarda il residenziale e il 21% il non residenziale [Spinello, 2015].

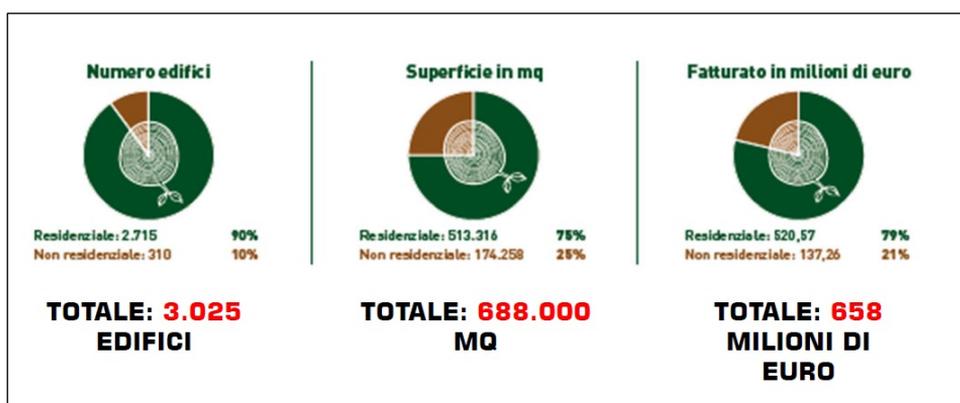


Fig. 1.13. Dati finali del settore *edilizia in legno* nel 2014; analisi Spinello, 2015.

Confrontando infine la serie storica di permessi di costruire, si evince come si abbia una riduzione del 60% delle richieste relativa al periodo 2008-2015, e la richiesta di permessi per la costruzione di abitazioni in legno nel 2014 è del 6,4% del totale; questo vuol dire che una ogni sedici nuove costruzioni, in Italia, è in legno.

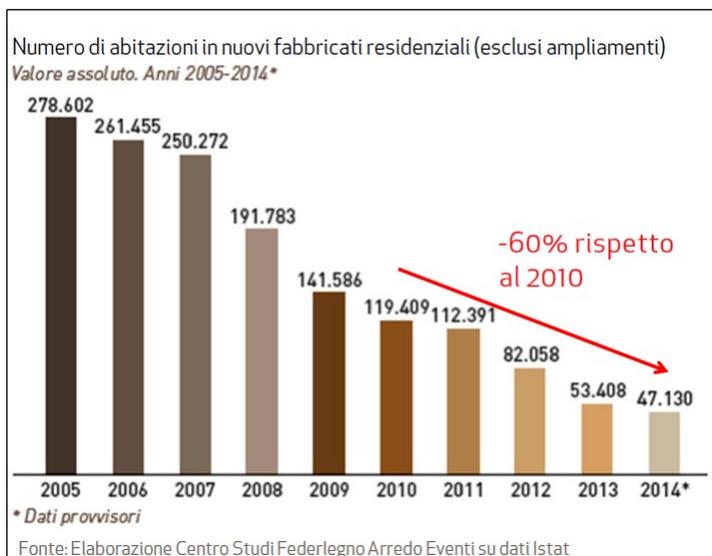


Fig. 1.14. Incidenza delle abitazioni di legno sul totale dei permessi di costruire; analisi Spinello, 2015.

2014	PERMESSI DI COSTRUIRE*	NUOVE ABITAZIONI IN LEGNO	INCIDENZA ABITAZIONI IN LEGNO SUL TOTALE
NUOVE ABITAZIONI	54.000**	3.449	6,4%

*Abitazioni nuove e ampliamenti
** Stime Ance
Fonte: Centro Studi Federlegno Arredo Eventi SpA

Fig. 1.15. Incidenza delle abitazioni di legno sul totale dei permessi di costruire; analisi Spinello, 2015.

Per concludere, si riporta il grafico, elaborato su dati PRODCOM, relativo a un primo confronto internazionale, dal quale si evince come l'Italia sia posizionata al quarto posto della produzione di edifici prefabbricati in legno, con un 8,4% del totale dell'Unione Europea [Spinello, 2015].

PRIMI 10 PAESI PRODUTTORI	2013 (euro)	2014 (euro)	Var. % 2014/13	Quota sul totale UE28 2014
Germania	1.765.288.062	1.820.199.384	3,1%	25,4%
Regno Unito	1.257.156.819	1.374.295.390	9,3%	19,2%
Svezia	1.049.436.514	1.115.546.958	6,3%	15,6%
Italia	602.081.000	602.494.000	0,1%	8,4%
Austria	588.357.900	575.352.100	-2,2%	8,0%
Finlandia	440.149.498	401.194.705	-8,9%	5,6%
Francia	165.642.305	151.457.910	-8,6%	2,1%
Paesi Bassi	103.273.000	136.687.000	32,4%	1,9%
Danimarca	76.976.495	127.276.788	65,3%	1,8%
Spagna	91.085.104	111.880.956	22,8%	1,6%
Belgio	82.414.847	84.890.571	3,0%	1,2%
Altri UE 28	558.138.456	658.724.238	18,0%	9,2%
TOTALE UE 28	6.780.000.000	7.160.000.000	5,6%	100,0%

Fonte: Elaborazioni Centro Studi Federlegno Arredo Eventi SpA su dati Eurostat

Fig. 1.16. Confronto internazionale tra paesi produttori; analisi Spinello, 2015.

1.2 Le tecniche costruttive e la loro evoluzione

L'alta deperibilità del materiale legno, non ci permette di avere testimonianze tangibili del suo impiego nell'antichità come materiale da costruzione; sono i documenti pittorici che ne raffigurano la lavorazione mostrandone gli elementi architettonici con esso realizzati, nonché la trasposizione di elementi, lavorazioni e procedimenti lignei in molte costruzioni lapidee [Frattari, 1980].

I primi esempi di residenza in legno sono le abitazioni dei popoli nomadi, costituite da capanne con ossatura lignea, realizzate con un insieme di pali incurvati infissi nel terreno e coperti da foglie e cortecce, col fine di configurare con un procedimento a cesto, un involucro globale a forma di cupola o cono.

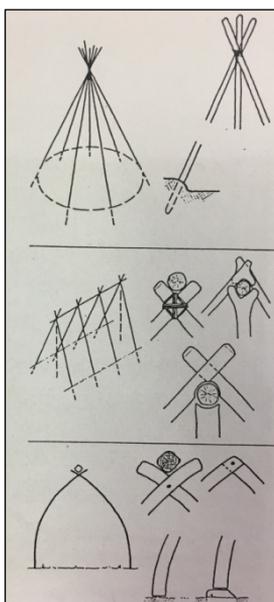


Fig. 1.17. Schemi di capanna con ossatura lignea.

Abitazioni simili sono diffuse presso alcune popolazioni dell'Africa, dove la pianta assumeva per lo più forme circolari con copertura conica o emisferica. Dalla primitiva capanna propriamente detta, costituita da due elementi piani

inclinati, poggiati superiormente uno contro l'altro e inferiormente al suolo, si sviluppa in Indonesia, Polinesia e Nord America un tipo di abitazione a involucro scatolare a pianta quadrangolare, con la copertura a due o quattro spioventi, completata esternamente con foglie, paglie, eretta spesso su palafitta a difesa degli allagamenti e dall'umidità del terreno.

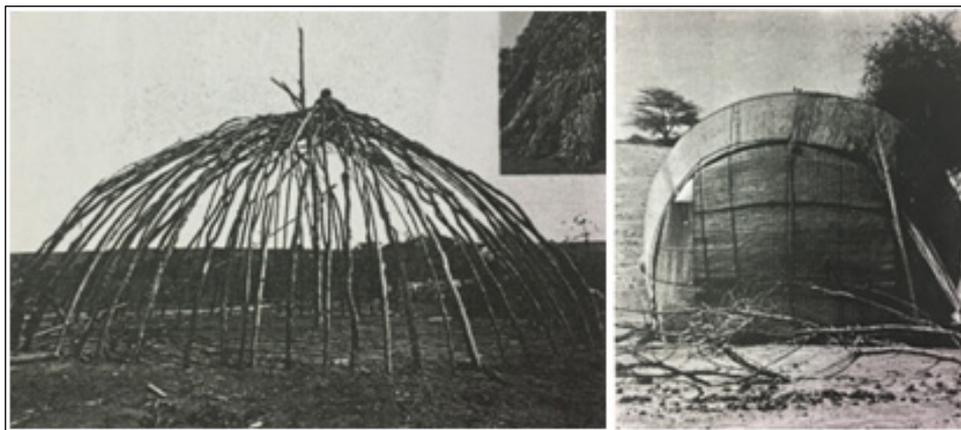


Fig. 1.18. Ricostruzione di capanna con scheletro portante costituito da elementi infissi nel terreno.

Nell'antico Egitto, probabilmente prima della diffusione della pietra, vi era un vasto impiego del legno, ne sono testimonianza alcune case con intelaiatura in legno completata da muri in terracotta, che sono espressione di costruzioni minori e diventano matrice di tutta la produzione monumentale. Le specie legnose locali più diffuse, palme, acacie, carrubo e sicomoro obbligavano all'esecuzione di orditure fitte e connessioni frequenti; per le costruzioni più robuste si ricorreva a legnami importati dal mercato straniero, ad esempio il cedro del Libano. Nelle regioni orientali la specie più diffusa nelle foreste era il bambù, che presentava caratteristiche di flessibilità e maggiore lavorabilità.

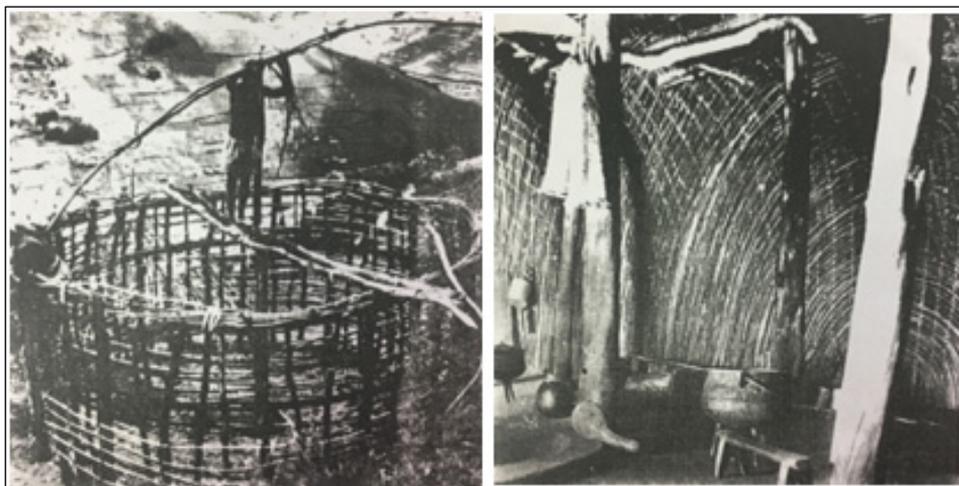


Fig. 1.19. Ricostruzione di una capanna

In Persia le rovine di Persepoli e di Gusa, testimoniano l'uso del legno derivante da querce, cipressi, platani, pini, acacie, cedri del Libano e del Tauro, soprattutto per la realizzazione di strutture di copertura di notevoli dimensioni, che permettevano di coprire spazi con interasse tra le colonne fino a 8 metri. In India, nella regione dell'Himalaya, si utilizzava un sistema di costruzione con elementi lignei incrociati, contenenti pietrame di piccolo taglio e l'imitazione di modelli lignei per la realizzazione di organismi in pietra [Frattari, 1980]. In Cina e in Giappone con il materiale ligneo si realizzavano delle strutture costituite da un insieme di ritti, che sostenevano le strutture di copertura, basate sul principio del telaio, che prevedeva la realizzazione di un incastro mediante elementi angolari che permettevano il collegamento trave pilastro.

Il legno non era molto diffuso come materiale strutturale nell'antico mondo mediterraneo, ma rappresentava un punto di riferimento per le successive costruzioni lapidee; ne sono testimonianza le primitive costruzioni cretesi, per come si evince dai dipinti, dalle sculture, e dai resti di colonne lignee policrome dei palazzi di Cnosso e Festo; altro esempio sono i montanti in legno che

formavano i muri nei palazzi di Tirinto e Troia. Nell'architettura romana il legno veniva utilizzato prevalentemente per realizzare, balconi e pensiline a sbalzo, partizioni interne orizzontali decorate con soffitti a cassettoni, coperture con l'uso della travatura triangolare, tipiche della basilica cristiana. Mentre in Inghilterra e in Francia, dove la lavorazione del legno aveva un'antica tradizione, il legno veniva utilizzato per la realizzazione di impalcati a più ordini di travi e per erigere coperture a crociera. Da questa epoca in poi, fino ai primi del 1800 si realizzano in Europa edifici interamente costruiti in legno sia con sistemi basati sulla realizzazione di pareti massicce che di strutture intelaiate.

Il primo tipo di costruzione in legno di cui abbiamo nota è il Blockbau, le cui testimonianze risalgono all'Età del Bronzo (3000-1200 a.C.), e che consiste in una struttura molto semplice ottenuta dalla sovrapposizione di tronchi orizzontalmente fino a formare le pareti. In origine la lunghezza dei tronchi dell'albero determinava le dimensioni delle case, mentre geometricamente erano concepite come semplice corpo cubico. Nell'architettura giapponese si assiste ad una standardizzazione degli elementi lignei per la costruzione di case di tipo tradizionale, di costruzioni imperiali e di templi. Gli edifici più antichi esistenti risalgono al periodo Asuka¹⁴, ne sono esempi il Kondō, la pagoda a cinque piani e la porta centrale, considerati tra le più vetuste costruzioni in legno esistenti al mondo perfettamente conservate, facenti parte del complesso templare buddista della città di Ikaruga-no-Sato, vicino Nara, in Giappone, chiamato Hōryū-ji, fatto costruire nel 607 d.C. dall'imperatrice Suiko e dal principe Shōtoku¹⁵.



Fig. 1.20, 1.21. Pagoda a cinque piani (a sinistra) e porta centrale (a destra) del complesso *Hōryū-ji*, Nara, Giappone.

Altro esempio di costruzione in legno in Giappone, è il tempio *Todai-ji*, o *grande tempio orientale* a Nara, fu fatto costruire dall'imperatore Shomu e dall'imperatrice Komyo come luogo di preghiera e centro di ricerca di dottrine buddiste, l'attuale edificio risale al 1709, nonostante sia più piccolo dell'originale resta la più grande costruzione in legno al mondo ed è stato dichiarato *patrimonio dell'umanità* dall'UNESCO, insieme ad altri sette siti, compresi templi, santuari e luoghi di Nara¹⁶.



Fig. 1.22. *Todai-ji*, Nara, Giappone.

Nel 756 venne fatto costruire dagli stessi imperatori il Shōsō-in, o *edificio dei tesori*, attualmente salvaguardato e iscritto sul registro UNESCO del Patrimonio Mondiale, conosciuto come tesoro nazionale del Giappone¹⁷. L'edificio è in stile azekura¹⁸ log-cabin, costruito con legname di cipresso, poggia su pilastri in pietra e ha il piano rialzato per consentire la circolazione dell'aria. Le pareti perimetrali sono costituite da tronchi posti uno sull'altro a sezione trasversale triangolare permettendo così all'aria di attraversare la parete quando l'umidità è bassa in autunno e in inverno, e rigonfiarsi per mantenere l'umidità fuori in estate e nella stagione delle piogge.



Fig. 1.23, 1.24. *Shoso-in*, Nara, Giappone. Particolare costruttivo d'angolo.

Nel 1100-1200 si sviluppano le *stavkirke*, chiese medioevali costruite interamente in legno strutturale. La struttura dei muri è costituita da assi verticali, con funzione portante da cui deriva anche il nome della tecnica di costruzione. Scavi archeologici hanno mostrato che le *stavkirke*, oggi rappresentate al meglio dalla *stavkirke* di Borgund, discendono dalle palizzate e dalle successive chiese di pali interrati. La maggior parte di *stavkirke* esistenti, si trovano in Norvegia, ma chiese simili erano comuni in tutta l'Europa nord orientale. Le uniche chiese di questo tipo che troviamo fuori della Norvegia sono una del XV secolo presso Hedared in Svezia e l'altra Norvegese che è stata spostata e ricostruita nel 1842 nella periferia di Krummhübel in Germania, ora Karpacz nelle montagne Karkonosze della Polonia. La tecnica di smontare e

rimontare in un altro posto le chiese, e soprattutto le case di legno, era utilizzata molto in questo periodo. Le *stavkirke* sono state riconosciute dall'UNESCO come *patrimonio dell'umanità*¹⁹.



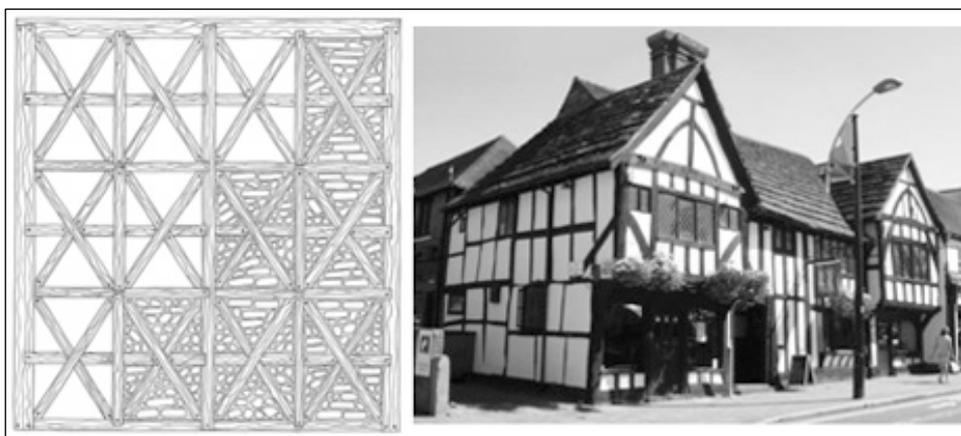
Figg. 1.25, 1.26. *Stavkirke*, Norvegia. *Casa Bethlem*, Canton Svitto, Svizzera.

Nel Canton Svitto, Svizzera, posto tra il Lago di Lucerna a sud ed il Lago di Zurigo a nord, ritroviamo un gruppo di dodici antiche case in legno svittesi, che sono le più vecchie d'Europa, la maggior parte di esse sono tuttora abitate, mantengono intatti alcuni caratteri antichi anche se sono state parzialmente ricostruite o modificate nel corso degli anni.

La casa in legno più vecchia d'Europa è *Casa Bethlem* (*Staatsarchiv Schwyz*); fu fatta costruire nel 1287 da una famiglia del posto, ed è attualmente sede di un museo. Secondo quanto ricostruito dall'archeologo George Descoedres, che ha studiato il gruppo di case, la famiglia facoltosa, che ha costruito *Casa Bethlem*, di cui la storia non ricorda il nome, ha selezionato accuratamente i tronchi nelle foreste dei dintorni e aiutato il carpentiere a costruire la casa. Questa è sopravvissuta a un incendio che nel XVII secolo distrusse parte del villaggio e a un litigio che nel 2001 sfociò nello smantellamento di un edificio

ancora più vecchio, *Casa Niederöst*, del 1176. Secondo Descoedres queste abitazioni sono sopravvissute al degrado e al passare degli anni grazie al fatto che sono sempre state abitate e conservate in buono stato²⁰.

Nel Medioevo, si sviluppa il sistema a traliccio derivato dal più antico apparato a telaio, l'*opus craticium* dei Romani, realizzato con un sistema di montanti e traversi in legno, adeguatamente connessi, a formare un'intelaiatura inserita all'interno di una muratura, prevalentemente eseguita in materiale lapideo o in laterizi. Questa tipologia di costruzioni si diffusero in tutta l'Europa centrale e settentrionale (in Francia nelle strutture a "à colombages" o "à pan de bois", in Germania nel *Frachwerk*, in Turchia nelle costruzioni *Himis*) e prevedeva l'utilizzo di elementi verticali, a cui vengono incastrati o inchiodati le travi orizzontali, e completati con travi diagonali poste alle estremità dell'edificio in modo contrapposto. Il sistema sfrutta un minor quantitativo di legname, permettendo così l'utilizzo di materiale proveniente dalla zona geografica e allo stesso tempo di risolvere i problemi legati al trasporto²¹.



Figg. 1.27, 1.28. Parete in *opus craticium* dei Romani e *Ancient Priors*, Inghilterra.

Altro esempio importante è l'*Ancient Priors*, detta *hall-house medievale a graticcio*, presente in High Street a Crawley, in Inghilterra. L'*Ancient Priors* è

stata costruito circa nel 1450, in parte sostituendo una vecchia struttura del XIV secolo; più volte ampliato, modificato e rinnovato, ha subito diverse variazioni di destinazioni d'uso, ma attualmente ospita un ristorante. La *hall-house* è caratterizzata da una zona centrale aperta a doppia altezza con camino al centro, e spazi privati e pubblici posti rispettivamente alle due estremità. La pianta originaria è a forma di L, completata nel XIX secolo fino ad assumere l'attuale forma a U. L'*English Heritage* ha definito l'edificio al grado II* per la sua importanza architettonica e storica, ed è stato descritto come "più prestigioso edificio medievale" di Crawley, e "la più bella casa a graticcio tra Londra e Brighton"²².

Nel 1494 Leonardo Da Vinci intuendo le potenzialità della prefabbricazione, costruì la *casa mutabile* o *casa mobile*, modulo prefabbricato per il parco della duchessa Isabella Sforza, che rappresenta la prima casa in legno costruita con tecnologie di assemblaggio complesse. La prefabbricazione avrebbe dovuto rendere facile e rapida la costruzione di interi quartieri, ma il progetto del genio toscano, non fu realizzato ma piuttosto dimenticato²³.

Nel 1560 fu costruito a Svendborg, sull'isola danese di Funen, dalla nobile signora Anne Hvides, il complesso chiamato Anne Hvides Gard, il più antico edificio privato, concepito come residenza con annessa azienda. L'edificio a graticcio è tutto di legno su due piani, ed è attualmente parte del Museo di Svendborg²⁴.



Figg. 1.29, 1.30. Museo di Svendborg e Casa a Gaiola, Spagna.

A partire dalla fine del XVII secolo si diffusero rispettivamente in Spagna e in Calabria la *casa a Gaiola* e la *casa baraccata*, derivate sempre dal modello *opus craticium* romano. La *casa a Gaiola* o *a gabbia pombalina*, deriva dal nome del marchese di Pombal, che in seguito al terremoto di Lisbona del 1 novembre 1755, guidò la ricostruzione della città impiegando per la realizzazione degli edifici una struttura lignea, che doveva risultare indipendente, nel comportamento meccanico della costruzioni, nel caso di cedimento della muratura durante il terremoto. La sua struttura è elementare, composta da un insieme di pali (*prunos*) e traverse (*traverssenhos*), queste ultime sono connesse alla muratura tramite dadi (*maos*). Le parti superiori dei pali sono legate tra di loro da travi (*frechais*), e nei vani, da architravi (*vergas*) e da travetti (*pendurais*). Il legno utilizzato era la quercia o il leccio. Questo sistema fu utilizzato per molti anni in Portogallo²⁵.

Al modello spagnolo, somiglia il sistema costruttivo “baraccato”, da cui il nome di “casa baraccata”, che è stato utilizzato in Calabria in seguito al terremoto del 5 febbraio del 1783. Secondo le indicazioni fornite nelle “Istruzioni reali”, emanate da Ferdinando IV di Borbone come norme antisismiche, l’altezza massima delle abitazioni doveva essere di due piani e, all’interno della muratura, e doveva essere inserita una rete lignea, modello illustrato anche nella “*Istoria e teoria de’ tremuoti*” da Giovanni Vivenzio²⁶.

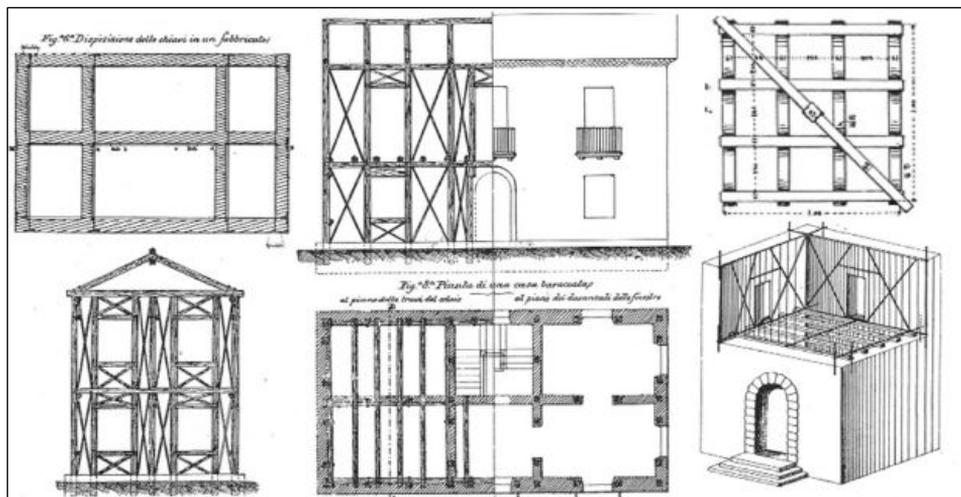


Fig. 1.31. Istruzioni da manuale per *casa borbonica*.

In America, e in particolare negli USA, la tecnologia lignea ha avuto un particolare sviluppo fin dall’800 grazie alle grandi risorse forestali che caratterizzavano e grande nazione. I numerosi gruppi di coloni giunti nel nuovo continente continuarono a costruire edifici, secondo gli stili europei, prodigandosi in un’architettura lignea che venne invece successivamente abbandonata in Europa, a eccezione delle regioni scandinave. Questi edifici con struttura lignea erano rivestiti all’esterno da tavole disposte su una intelaiatura, da qui deriva il nome inglese “timber frame” ossia telaio di legno. Le tavole di quercia e di cedro venivano ricavate dal tronco mediante spacco radiale e avevano una forma della sezione a cuneo; mentre il pino veniva segato. Esse venivano inchiodate o fissate con spinotti di legno all’intelaiatura con il bordo più spesso in vista. Successivamente, lo sviluppo della tecnica di segagione, con appositi macchinari, e la produzione industriale dei chiodi, che ne abbatté drasticamente e irreversibilmente il costo, permise la realizzazione di una struttura portante più leggera di quelle precedenti. La semplice struttura a montanti e travi, disposti in modo molto ravvicinato, era controventata da tavole disposte diagonalmente.

Il primo sistema costruttivo a ossatura lignea, che nasce ai primordi del grande processo di industrializzazione dell'800, è il *balloon frame* ossia struttura a pallone, ed è utilizzato per la realizzazione delle prime urbanizzazioni residenziali di Chigaco e si San Francisco, con le case vittoriane.

Tale sistema, brevettato da G. W. Show nel 1833, consisteva nell'impiego di montanti dell'altezza di due piani, senza interruzioni dal terreno alla struttura di copertura, posti a una distanza di 45 cm l'uno dall'altro; questo permetteva di eliminare le pesanti travi che costituivano l'ossatura portante. Il sistema prevedeva che il legname necessario venisse collegato mediante chiodatura, ciò permetteva di evitare lavorazioni e intagli per realizzare gli incastri durante i lavori di messa in opera. Questo metodo fu sperimentato per la prima volta nel 1833 nella costruzione di una piccola chiesa; ma presto il sistema *ballon frame* si diffuse ampiamente in tutto il Paese. Impiegando montanti lunghi e leggeri per tutta l'altezza del fabbricato, e inchiodando su di essi una tavola a metà altezza, si riusciva, non solo a sostenere il carico del tetto, ma anche a realizzare il piano superiore.

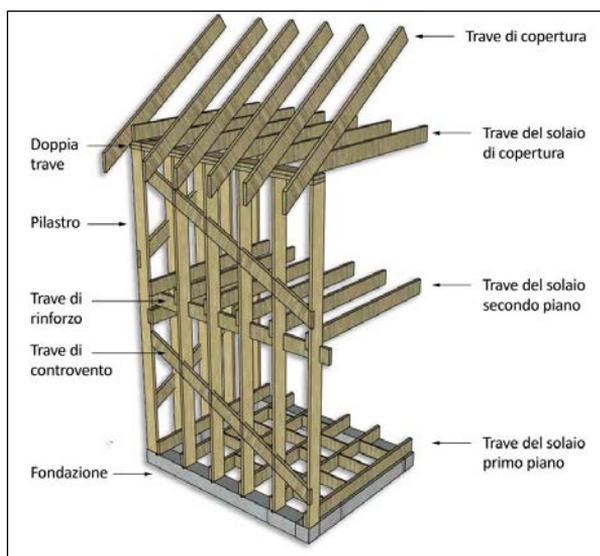


Fig. 1.32. Struttura del tipo *balloon frame*.

Il *balloon frame* segna l'avvento dell'industrializzazione nel campo edilizio e, sulla base delle esperienze acquisite con questo sistema, viene successivamente perfezionato un secondo metodo costruttivo: il "platform frame". Il sistema *platform frame* prevedeva pilastri che si interrompevano alla soletta del primo piano, ogni piano successivo era appoggiato su quello inferiore che fungeva da piattaforma, termine da cui deriva la denominazione del sistema. Entrambi i sistemi richiedevano l'impiego delle tradizionali controventature diagonali, poste agli angoli della costruzione, sostituite in un secondo tempo con il rivestimento esterno formato da tavole inchiodate in diagonale per tutta la lunghezza della parete. Su queste ultime veniva poi applicato un altro strato di tavole con la funzione di rivestimento. Questi sistemi, con lo sviluppo dei processi di razionalizzazione tipici dell'industrialismo, subirono un'ulteriore razionalizzazione e normazione nell'obiettivo di offrire soluzioni alle necessità connesse con il rapido sviluppo insediativo: consentire la realizzazione di edifici a basso costo e rapida costruzione²⁷.

Nel 1900 Otto Lilienthal sviluppò la *Casa Terrast* introducendo importanti innovazioni costruttive, così come nel 1919 Walter Gropius fondò la Bauhaus dove promosse lo sviluppo delle case in legno e il concetto di prefabbricazione; insieme a Konrad Wachsmann svilupparono nuove tecnologie costruttive. Nel 1921, Walter Gropius a Dahlem (Berlino) progettò e costruì un edificio molto particolare per un commerciante di legname, noto come *Casa Sommerfeld*, che desiderava costruirsi la casa con i tavoloni recuperati dalla vecchia nave. Gropius considerava il "Blockbau l'essenza costruttiva di un materiale specifico come il legno, dove funzionalità, struttura e architettura si amalgamano in un'armoniosa simbiosi"²⁸.



Fig. 1.33. *Casa Sommerfeld.*

Nella seconda metà dell'Ottocento, grazie al contributo della teoria delle strutture, nelle costruzioni in legno si raggiungono luci sempre più elevate mediante l'ausilio di capriate reticolari rettilinee, cupole reticolari o strutture rettilinee complesse con connessioni in acciaio. Da queste esperienze, agli inizi del Novecento, si sviluppa in Svizzera e in Austria il legno lamellare. Il legno lamellare permette la realizzazione di edifici con elementi rettilinei unitari fino a 40 m di luce, elementi curvilinei e strutture reticolari spaziali di grandi dimensioni. Le specie utilizzate per la produzione di lamellare sono prevalentemente conifere, abete rosso, abete bianco, pino e larice.

Dal punto di vista storico il legno lamellare nasce col fine di superare i limiti dimensionali del tondame dal quale si ricavano le travature. Da un solo fusto è infatti impossibile ottenere elementi di sezione e lunghezza necessarie a consentire la copertura di luci libere di 20-30 metri. Inoltre il portamento tipico dei fusti non consente di ottenere travi curve, o della curvatura voluta, di sezione sufficiente. Al primo problema si è ovviato storicamente tramite la realizzazione di travi composte più o meno effettivamente collaboranti, ad esempio tramite giunzioni a dente di sega. Quest'ultima soluzione, la cui prima intuizione si fa risalire a Leonardo, è attuabile con semplicità, ed è stata frequentemente utilizzata nel caso di membrature orizzontali, quali ad esempio

le catene, che devono superare ampie luci. Il secondo problema fu affrontato per la prima volta, a memoria, nel XVI secolo, quando si sviluppò nei costruttori l'idea di utilizzare il legno mediante assemblaggio di varie parti per ottenere centine ed archi. Il primo tentativo concreto a cui si sappia dare paternità è stato quello di Philibert Delorme in Francia, il quale riuniva mediante chiodatura più tavole in strati sovrapposti dando approssimativamente la forma dell'arco voluto, quindi profilando con una sega l'estradosso²⁹. Le tavole mantengono la loro planarità e la trasmissione dei carichi è affidata essenzialmente alla tenuta della chiodatura. Il passo successivo è stato compiuto da Emy nel 1823, realizzando archi mediante chiodatura di tavole unite in pacchi con bulloni passanti. In seguito, prima Migneron e poi Wiebeking, misero a punto un sistema che prevedeva un arco con lamelle formate da travi curvate a freddo e tenute a pressione da staffe metalliche, ma a differenza del francese Migneron, nel sistema ideato da Wiebeking, il bloccaggio delle travi era assicurato da biette in legno che assorbivano le possibili tensioni di scorrimento. Infine, nel 1905, con lo sviluppo dei collanti, Hetzer iniziò ad applicare la tecnica che ha portato alle attuali strutture in legno lamellare incollato³⁰.

In Italia, l'introduzione del legno lamellare come sistema costruttivo alternativo è storia recente, e ha avuto inizio nella regione alpina che per tradizione storica possiede una solida cultura del legno, l'Alto Adige. E' soprattutto in Val Pusteria, intorno al 1960, che il lamellare, importato dalla vicina Austria, fa la sua prima comparsa. Viene utilizzato soprattutto nella ricostruzione dei fienili, dove è impiegato per sostituire le grandi travi di colmo, introvabili, sul mercato, in legno massello.

Fu così, che nel 1970, la ditta Holzbau impiantò a Bressanone uno stabilimento, per non dover ricorrere all'importazione, e iniziò per prima la produzione del legno lamellare nel nostro paese³¹.

Questa moderna tecnologia di utilizzo del legno, consiste nella divisione del tronco in tavole, essicate ed assortite in qualità, giuntate di testa a formare le “lamelle” calibrate in spessore. Infine, disposte a pacchi e tra loro incollate a formare le travi, elementi strutturali composti di dimensioni, sezione e caratteristiche geometriche svincolate dalla geometria iniziale del tronco. Le caratteristiche di resistenza meccanica sono superiori a quelle del legno massiccio da cui provengono, grazie alla scelta delle tavole ed alle eliminazioni di tutti quei difetti non compatibili con l’uso strutturale, nonché all’uso di collanti sintetici ad elevata resistenza, sia meccanica che nel tempo.

Affinché si possa parlare di travi in legno lamellare, si deve essere in presenza di più di due tavole incollate tra loro, lo spessore delle lamelle di regola non dovrebbe superare i 40 mm e la larghezza i 220 mm. Nel caso che la larghezza superi tale misura si dovrà procedere ad utilizzare tavole tra loro accostate (procedimento che tuttavia non può essere agevolmente utilizzato nei moderni cicli produttivi automatizzati) oppure snervate tramite fresature longitudinali. La lunghezza degli elementi costruttivi non è limitata, se non da problemi di produzione (predisposizione degli stabilimenti con spazi ed attrezzature idonee), di trasporto e di montaggio. La dimensione in altezza della sezione è condizionata dagli stessi fattori suddetti, in Italia di regola non si supera i 2,20 metri.

Con il sistema costruttivo in legno lamellare, applicato su vasta scala nel secondo dopoguerra, grazie allo sviluppo ed all’affidabilità raggiunta dai collanti, è possibile realizzare travature in legno a sezione piena di diverse misure, di lunghezze notevoli ed anche curvate. Il tutto con crescente automazione degli impianti ed una sempre maggiore filosofia della prefabbricazione. Senza fare violenza al materiale legno e senza snaturarlo è quindi possibile produrre travature nelle dimensioni e forme volute, tali da rendere agevole ed economica la realizzazione dei più svariati sistemi statici.

Alla fine degli anni '90, è nato l'XLAM in Austria, da un progetto di sviluppo e di ricerca, realizzato presso l'Università di Graz, che portasse ad aprire nuove vie per un migliore sfruttamento delle risorse messe a disposizione dalla lavorazione del legno in segheria, realizzando elementi piani di grandi dimensioni. I pannelli di legno massiccio a strati incrociati XLAM (cross laminated timber) sono pannelli di grandi dimensioni, formati da più strati di tavole, sovrapposti e incollati uno sull'altro, in modo che la fibratura di ogni singolo strato sia ruotata nel piano del pannello di 90° rispetto agli strati adiacenti. Il numero di strati per ottenere un pannello XLAM varia da 3 a 9, ma per ottenere un comportamento fisico e meccanico efficace sotto tutti i punti di vista, e corrispondente alla definizione di elemento multistrato, il numero minimo di strati dovrebbe essere uguale a 5. I pannelli XLAM sono prodotti con legno di conifera, come la maggior parte degli elementi di legno per uso strutturale realizzati secondo le tecnologie più moderne. La produzione normale di pannelli XLAM è quindi realizzata con legno di abete (in prevalenza abete rosso). L'uso di altre specie legnose è possibile per principio, ma è allo stato attuale riservato ai prototipi e alla ricerca mirante a sviluppare proprio l'uso di altre specie legnose per la realizzazione di elementi strutturali. La produzione dell'XLAM deve permettere la realizzazione dell'incollatura strutturale degli strati di tavole, in modo da formare un unico elemento monolitico e multistrato, utilizzando i collanti sviluppati per la produzione del legno lamellare incollato, cioè sia gli adesivi più classici a base di formaldeide, sia quelli più recenti a base di poliuretani³².



Fig. 1.34. Render del progetto di Via Cenni, Milano.

L'evoluzione della produzione industriale tedesca, unita alla ricerca avanzata dall'istituto IVALSA-CNR, attraverso il progetto SOFIE ha generato negli utili anni in Italia un'ulteriore evoluzione nella tecnica e nei sistemi costruttivi, ottenuta grazie ai pannelli a strati incrociati X-LAM. Il progetto Sofie ha studiato il comportamento di un edificio di sette piani realizzato in XLAM, posto su pedana vibrante a Kobe, in Giappone, che ha sopportato sette terremoti dati in serie d'intensità distruttiva senza mostrare deformazioni residue apprezzabili. Attraverso il progetto SOFIE sono state definite le prestazioni e le potenzialità di un sistema per la costruzione di edifici a più piani, caratterizzato da elevate prestazioni meccaniche e basso consumo energetico, ottimi livelli di sicurezza al fuoco e al sisma, comfort acustico e durabilità nel tempo³³. Negli ultimi anni i progressi nel campo del legno strutturale sono stati enormi, con nuovi prodotti il Cross-lam è uno di questi e nuovi sistemi di collegamento meccanici. Senza contare il fatto che il legno è un materiale rinnovabile e quindi ecologicamente sostenibile.

Le case in via Cenni, a Milano, rappresentano il più alto complesso residenziale d'Europa realizzato in legno strutturale, costituito da 4 torri di 9 piani. Il sistema costruttivo é a pannelli portanti in legno a strati incrociati, compreso vano scala ed ascensore, scelto per motivi di carattere ecologico-

ambientale, per garantire elevate prestazioni in termini di sicurezza strutturale, di comfort abitativo e per ottenere un edificio in classe energetica A per il risparmio nella conduzione degli edifici. La flessibilità proposta nella distribuzione degli spazi interni dell'alloggio, garantita dallo stesso sistema costruttivo, consente una personalizzazione dell'ambiente della casa secondo una modalità partecipata³⁴.

Alla luce dell'evoluzione dei sistemi costruttivi, non vi è un sistema costruttivo per antonomasia da utilizzare quando si voglia costruire un edificio in legno, bisogna soltanto scegliere il sistema costruttivo migliore per raggiungere le capacità prestazionali migliori.

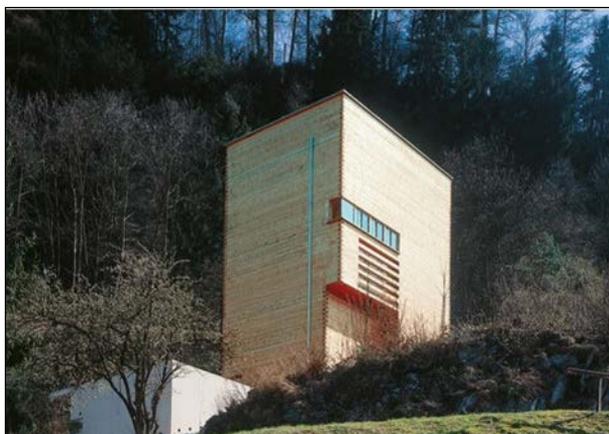


Fig. 1.35. Casa in *blockhaus* dell'architetto Antonius Lanzinger, 2003.

Infatti, uno dei più recenti esempi di architettura contemporanea, è realizzato con la tecnica dei tronchi sovrapposti, che rappresenta una dei primi tipi di costruzioni in legno. L'architetto Antonius Lanzinger, introduce nell'edificio tirolese nuovi elementi di facciata, come l'ampia finestra a nastro d'angolo, pensata come scatola indipendente dal sistema costruttivo³⁵.

1.3 L'albero e il materiale base

Il legno è un materiale da costruzione naturale dalla grandi potenzialità, sia perché è in grado di far fronte alle richieste dei progettisti, sia per l'affermarsi di una sensibilità ecologica che predilige l'uso di materiali naturali. L'alta reperibilità, la versatilità, la rinnovabilità e la naturalezza del legno costituiscono punti di forza, insieme al costo energetico, particolarmente contenuto, sia in fase di trasformazione della materia prima, sia in fase di produzione del materiale da costruzione.

L'architetto Matteo Thun ha affermato, in occasione del salone del mobile di Milano 2010, che "il legno è il materiale del XXI secolo e come unico materiale da costruzione rigenerabile non è più possibile immaginare il *desing* e l'architettura senza di esso". Egli continua dicendo che " Lavorare con il legno mi affascina soprattutto per la primitività, la crudezza e la bellezza del legno stesso, la venatura, il colore, l'irregolarità, il calore e la naturalezza. Il legno permette di scoprire soluzioni sostenibili, di tutelare risorse, di ottenere risultati economicamente competitivi, e, contemporaneamente, di favorire l'estetica e la bellezza. La risorsa naturale legno è sempre stata fondamentale per l'architettura e oggi è essenziale per il mio lavoro. Il legno è un materiale che corrisponde appieno alla mia filosofia triplo zero, che implica l'utilizzo di materiali di origine locale, i quali devono essere presi a distanze non maggiori di ventiquattro ore di trasporto da cantiere e non devono generare anidride carbonica, o CO₂, né rifiuti. Il legno soddisfa questa esigenza: può essere quasi sempre ottenuto nella stessa zona di utilizzo, ha bisogno di carbonio neutro, può essere facilmente riciclato, ha straordinarie caratteristiche statiche, è versatile e sostenibile e offre una vasta gamma di possibilità di impiego"³⁶.

Il legno presenta un peso volumico ridotto, almeno venti volte inferiore a quello dei metalli, e anisotropo, ossia presenta un comportamento diverso a seconda della direzione sollecitata, è resistente in proporzione al peso, ha una

resistenza a compressione superiore all'acciaio, presenta bassa resistenza a trazione e discreta resistenza al taglio. Tali caratteristiche, essendo un materiale biologico, variano in funzione del grado di stagionatura e di umidità. Infine il legno è biodegradabile e non ha bisogno di particolari strutture e/o attrezzature per lo smaltimento, al tempo stesso ha elevata durabilità, in caso di attenta progettazione e di misure di prevenzione e protezione. Il legno è un rinnovabile accumulo di carbonio ai fini del raggiungimento del concetto di sostenibilità³⁷.

E' utile fare qualche richiamo sulla struttura del legno: un albero è costituito da tre organi fondamentali le foglie, il tronco con i rami e le radici, con differenti funzioni biologiche e meccaniche, che si evincono nel grafico seguente. Il legno rappresenta il tessuto del tronco, dei rami e delle radici di un albero e degli arbusti, che viene prodotto da uno strato di forma anulare detto *cambio*. Durante il periodo vegetativo, dal cambio si differenziano, nella parte interna le cellule del legno, note come *xilema*, di cui l'*alburno* rappresenta la parte più esterna, che invecchiando diventa *durame*; e nella parte esterna le cellule del libro, o *floema*, che origina la parte più interna della corteccia, la cui crescita è a quella del legno³⁸.

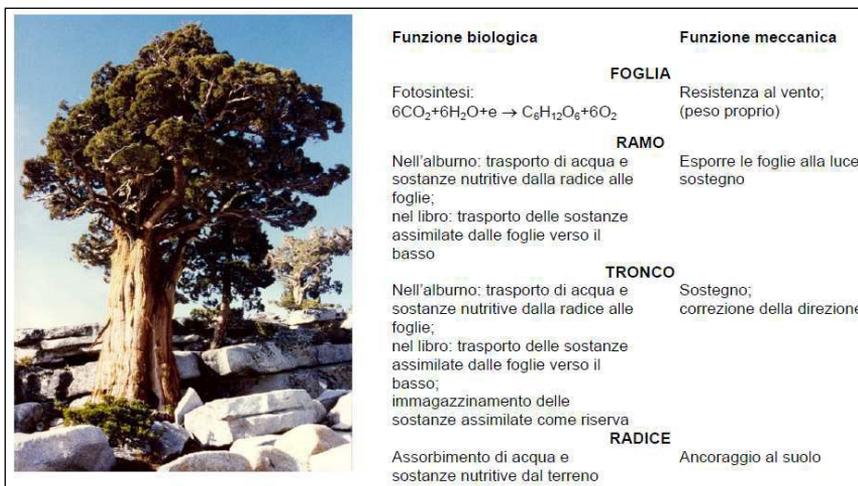


Fig. 1.36 Funzione biologica e meccanica dell'albero.

Il legno del tronco assume tre funzioni: la prima di sostegno; la seconda d'immagazzinamento e l'ultima di trasporto; l'albero può adattare le proprietà del legno alle esigenze legate a queste tre funzioni. La composizione chimica del legno rimane invariata; e le sue proprietà sono influenzate dal modo in cui le sostanze chimiche principali vengono assemblate a formare la struttura micro e macroscopica del legno stesso³⁹.

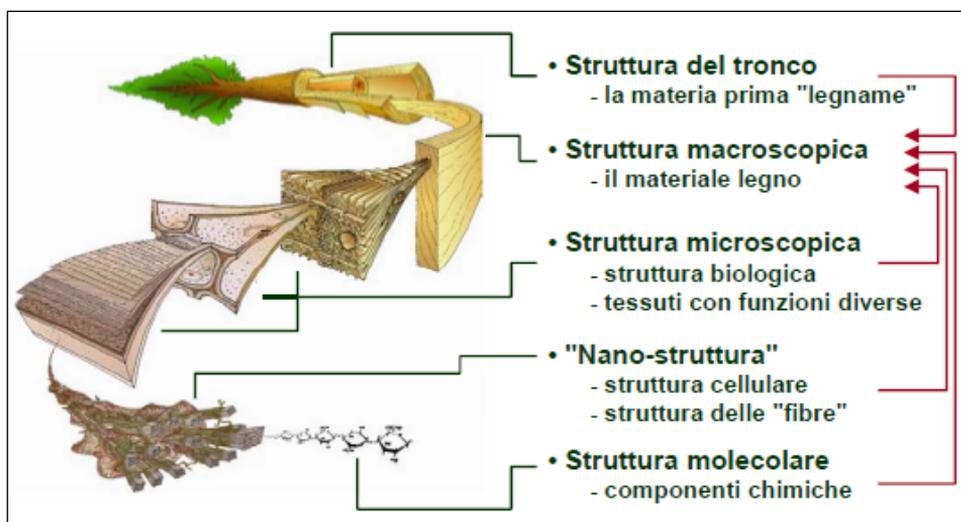


Fig. 1.37. Struttura del tronco.

La struttura del legno può essere esaminata a cinque livelli:

- a livello della struttura del tronco;
- a livello della struttura macroscopica;
- a livello della struttura microscopica;
- a livello della struttura nanoscopica;
- a livello della struttura molecolare⁴⁰.

Il legno può essere definito e caratterizzato soltanto considerando le tre direzioni anatomiche fondamentali, in quanto il tessuto e le cellule, che ne determinano l'aspetto, sono differenti a seconda della sezione considerata. Le tre sezioni individuabili sono:

- la sezione trasversale, perpendicolare all'asse del tronco;
- la sezione radiale, il cui piano della sezione è parallelo all'asse del tronco e parallelo ai raggi midollari;
- la sezione tangenziale, il cui piano della sezione è parallelo all'asse del tronco e perpendicolare ai raggi midollari⁴¹.

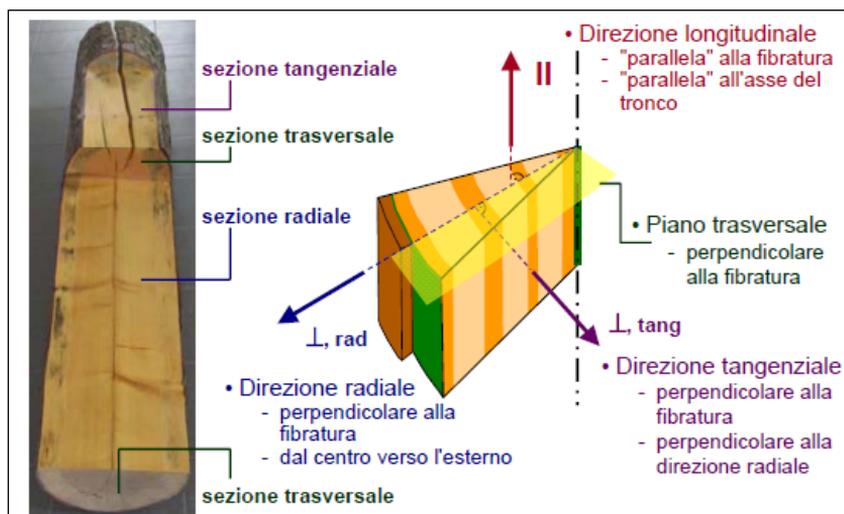


Fig. 1.38. Sezioni del tronco.

Le specie legnose, raggruppate tra conifere e latifoglie sono più di 5.000, tra le più adatte ai fini strutturali vi sono: abete rosso, abete bianco, pino, larice, douglas o duglasia, rovere, faggio, frassino, robinia, castagno, vedi schede appendice capitolo 1⁴².

La materia prima di tutti i prodotti di legno e a base di legno per la costruzione è il cosiddetto *legno tondo*, da cui attraverso la segagione e l'essiccazione si ottengono i *segati*, che possono essere sottoposti ad una ulteriore lavorazione della superficie. I tipi di taglio influenzano la qualità del materiale e il suo comportamento in caso di ritiro e rigonfiamento⁴³.

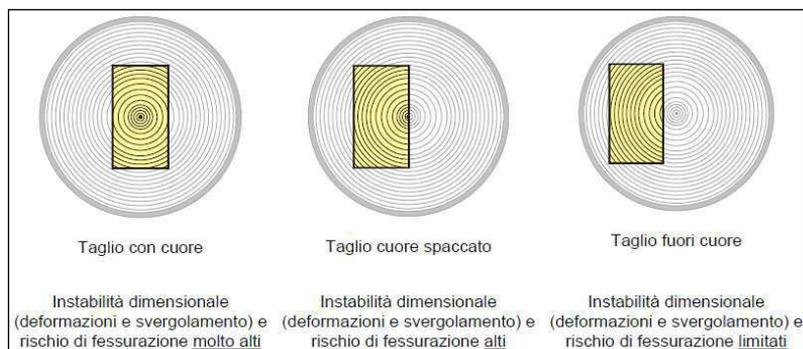


Fig. 1.39. Taglio del tronco.

I segati possono essere classificati secondo la resistenza ed essere usati con funzione strutturale per elementi di tipo lineare di legno massiccio, presentano limiti nelle dimensioni e nelle caratteristiche fisico-meccaniche, derivanti dal fatto che i segati provengano da un unico tronco di legno. Tale limite viene superato attraverso il processo di incollaggio, che permette di realizzare prodotti di tipo lineare, quali legno massiccio da costruzione, travi DUO/TRIO e legno lamellare incollato. I segati sono giuntati in direzione longitudinale mediante un giunto di tipo a pettine, mentre in direzione trasversale sono incollati ottenendo sezioni di dimensioni più grandi, e quando l'incollatura interessa più strati si realizzano elementi piani di legno massiccio e il compensato di tavole. Mediante processi di lavorazione e produzione industriali, si possono realizzare prodotti a base legno con caratteristiche meccaniche definite e con minore spreco rispetto al legno massiccio, di cui fanno parte i prodotti piani, o a forma di trave, ricavati da piallacci, trucioli e fibre di legno. I due grafici seguenti mostrano tutti i prodotti del legno, in funzione della fase di lavorazione che gli stessi subiscono per arrivare all'elemento tecnico di legno per la costruzione⁴⁴.

Il legno lega a se una serie di attività economiche che fanno riferimento alla cosiddetta *filiere bosco-legno*, che rappresenta un sistema complesso

costituito da una serie di processi produttivi, che possono essere riassunti in quattro punti:

- la produzione forestale con tutte le attività a essa collegate;
- la prima lavorazione, ossia la trasformazione della materia prima in "semilavorati", attraverso le lavorazioni di aziende specializzate, come le segherie;
- la seconda trasformazione, ossia la trasformazione dei semilavorati in prodotti destinati al consumo finale;
- la fase di commercializzazione e di distribuzione.

Si vuole analizzare con maggiore attenzione la produzione forestale nazionale; Zanuttini afferma che l'Italia è "ricca di boschi poveri", poiché i boschi italiani hanno rappresentato una tra le principali componenti economiche del nostro paese ma, dalla metà del secolo scorso, la loro storica funzione produttiva si è progressivamente ridotta, a causa dello spopolamento delle aree rurali e montane, e del conseguente abbandono delle attività più intensive legate alla gestione del bosco⁴⁵. Le normali pratiche di gestione del patrimonio forestale nazionale, e le iniziative imprenditoriali, sono diminuite nel tempo a causa di difficili condizioni orografiche, inadeguata viabilità di servizio, alto costo della manodopera, polverizzazione della proprietà terriera, complessità del panorama normativo e vincolistico nazionale e regionale, scarsa organizzazione della filiera, inadeguata remunerazione del prodotto da parte dei mercati.

Nonostante ciò, la filiera produttiva italiana legata alla risorsa legno rappresenta un'importante realtà produttiva e occupazionale per il paese, con ampie possibilità di crescita e sviluppo. Nelle attività connesse alla filiera del legno, dalla produzione alla trasformazione industriale in prodotti semilavorati e finiti, fino alla commercializzazione (mobili, impieghi strutturali, carta, cartone, pasta di cellulosa e legno per fini energetici) sono coinvolte

attualmente molte imprese, con altrettante unità lavorative, istituzioni e professionisti.

La filiera produttiva nazionale risulta però dipendente dall'estero, per l'approvvigionamento della materia prima, e più del suo fabbisogno viene coperto dalle importazioni, nonostante più di un terzo della superficie nazionale sia ricoperta da boschi. Nell'ultimo secolo si è assistito a un aumento della superficie e della provvigione legnosa, al quale non è corrisposto un adeguato incremento della gestione, delle utilizzazioni e degli investimenti produttivi.

La filiera legno italiana presenta numerose opportunità di crescita specialmente a monte della filiera stessa, per imprese, singole e associate, che svolgono attività selvicolturali assicurando, oltre alla produzione di legno, la gestione e la manutenzione continua del territorio. Il miglioramento della qualità delle produzioni forestali nazionali e dell'efficienza della filiera foresta-legno ed energia si colloca all'interno della strategia nazionale del Programma Quadro per il Settore Forestale (PQSF), coerentemente con gli impegni sottoscritti a livello internazionale e dell'Unione Europea dal nostro Paese: cambiamenti climatici, biodiversità, normativa sulla commercializzazione del legno (Regolamento CE n. 2173/2005 sul *Forest Law Enforcement, Governance and Trade*) e sulle importazioni di legname (Regolamento CE n. 995/2010 o *Timber regulation*)⁴⁶. Per aumentare la competitività del settore nel suo insieme si devono attivare interventi specifici miranti a migliorare l'efficienza e il coordinamento di tutta la filiera, la qualità delle produzioni forestali e il ruolo svolto da proprietari e gestori forestali; tutto ciò nell'attuazione di una gestione forestale sostenibile e una valorizzazione del patrimonio forestale nazionale.

Il legno è una risorsa importante per l'economia perché rinnovabile, a tal proposito la maggior parte delle foreste, soprattutto europee, è gestita in modo sostenibile. Il legno può essere ottenuto anche da impianti di arboricoltura appositamente realizzati per una gestione sostenibile; e per

evidenziare quest'aspetto è nata la *certificazione forestale*, dagli anni '90 questa permette di verificare se il sistema di gestione sia conforme o meno a determinati requisiti ambientali, sociali ed economici. In Europa si rilasciano certificati su due piani *Il Programma per l'Adesione agli schemi di certificazione delle foreste*, o PEFC, originariamente sviluppato per rispondere ai bisogni dei proprietari europei; e il *Forest Stewardship Council*, o *FSC* o *Consiglio di Gestione delle Foreste*, avviato in cooperazione col WWF⁴⁷.

1.4 Il legno e il territorio calabrese

La Calabria ricopre un ruolo di primo piano nel panorama forestale dell'area del Mediterraneo con i suoi oltre 600.000 ettari di superficie forestale; dato confermato dall'*Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi di Carbonio*, o *INFC*, che riporta per la Calabria un indice di boscosità del 41%, superiore alla media nazionale⁴⁸. La superficie, seguendo la definizione FAO, si divide in:

- *Bosco*, costituito da boschi alti, impianti di arboricoltura da legno e aree temporaneamente prive di soprassuolo, con un'estensione pari a 468.151 ha (76,4%);
- *Arbusteti e formazioni forestali minori*, costituite da boschi bassi, boschi radi, boscaglie, arbusteti, aree boscate inaccessibili o non classificate e con una superficie pari a 144.781 ha (23,6%)⁴⁹.

Un'intensa opera di ricostituzione e di ampliamento della superficie boscata, con interventi di rimboschimento, a partire dal 1957, hanno interessato una superficie di circa 150.000 ettari. Le specie forestali interessate dai rimboschimenti sono prevalentemente conifere, quali: il *pino laricio*, distribuito sul gruppo montuoso della Sila, sull'Altopiano delle Serre e sull'Aspromonte; e i *pini mediterranei*, ricadenti nel piano basale costiero ionico e tirrenico fino ad un'altitudine di 900 m s.l.m. Mentre per le latifoglie, gli eucalipti sono stati piantati lungo la fascia ionica, in modo da fornire grandi quantitativi di legno

all'industria cartiera; il cerro, il castagno, l'abete bianco e le conifere esotiche (pino insigne e pino strobo) in piccole quantità.

Nei *boschi alti* sono maggiormente presenti boschi di conifere, pinete di pino nero, pino laricio e pino loricato corrispondenti al 15,9% della superficie totale dei boschi della regione. Infine, tra le conifere le pinete di pini mediterranei occupano una superficie pari al 3,3%.

Tra i boschi di latifoglie, le categorie più diffuse sono le faggete, i castagneti, i boschi di rovere, roverella e farnia, le leccete e i boschi di cerro, farnetto, fragno e vallone. I boschi a ceduo costituiscono il 28,4% dei boschi calabresi, mentre quelli a fustaia si estendono su una superficie di 54,3% del totale dei boschi regionali; il restante 2% dei boschi regionali è coperto da colturali speciali, quali castagneti da frutto, noceti e sugherete.

La pianificazione forestale in Calabria può seguire tre tipi approcci:

- le Prescrizioni di Massima e di Polizia Forestale o PMPF, che interessano il 95% dei boschi;
- la pianificazione di orientamento, mediante la predisposizione di piani sovraziendali o interaziendali, di riordino, piani di parco, che interessa solo l'1% delle aree a bosco;
- la pianificazione di dettaglio, mediante la predisposizione di piani aziendali o di assestamento forestale, con una percentuale dello 0,6%.

La Regione Calabria si è dotata del proprio Piano Forestale Regionale 2007-2013, in cui i concetti di gestione forestale sostenibile riassumono i principi fondamentali della selvicoltura sistemica, quali il mantenimento del sistema bosco in equilibrio, la salvaguardia della biodiversità e i criteri d'intervento nell'ambito delle aree protette o Rete Natura 2000.

Le Prescrizioni di Massima e di Polizia Forestale, revisionate recentemente con D.G.R. n. 218 del 20 Maggio 2011, codificano una serie di norme e comportamenti da tenere in aree sottoposte a vincolo idrogeologico,

superfici boschive e non, e rappresentano, ad oggi, l'unico strumento normativo regionale in materia forestale⁵⁰.

Altro aspetto riguarda il prelievo legnoso, infatti il 90% della superficie boscata risulta disponibile al prelievo, in quanto non soggetta a limitazioni delle attività selvicolturali, dovute a norme o vincoli (es. riserve integrali) o a cause di tipo fisico (aree inaccessibili), che sottolineano che la Calabria ha enormi potenzialità in merito alla massa legnosa utilizzabile annualmente.

Il patrimonio boschivo regionale è di proprietà privata, con una percentuale del 57% della superficie a bosco; la percentuale dei boschi pubblici è pari al 40%, di cui la maggiorparte di proprietà di tipo individuale, ossia singoli individui o familiari, la restante parte, del tipo mista, di proprietà di imprese e altri enti privati.

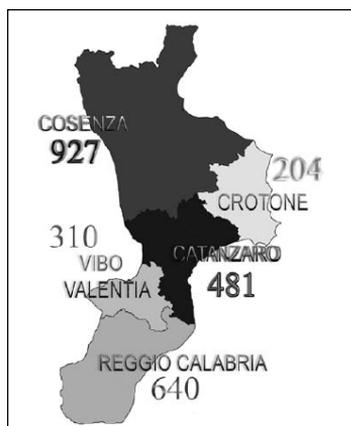


Fig. 1.40. Imprese della filiera bosco-legno in Calabria.

All'interno della filiera bosco-legno calabrese lavorano circa 2.500 imprese, tra boschive e di prima trasformazione, distribuite sulle cinque province: 37% nella provincia di Cosenza; il 26% nella provincia di Reggio Calabria; il restante 37% si divide tra le province di Catanzaro, Vibo Valentia e Crotone⁵¹.

Il grafico mostra un divario tra il numero delle imprese dedite alla silvicoltura e alla utilizzazione di aree forestali, rispetto a quelle impegnate nella lavorazione degli assortimenti legnosi e nella loro trasformazione in prodotti commerciabili; ciò mette in evidenza che in Calabria le imprese boschive non riescono a garantire un costante approvvigionamento di materie prime alle industrie di trasformazione che, spesso, sono obbligate ad acquistare e lavorare legname proveniente principalmente dai paesi dell'Est Europa. A tal proposito, la Regione Calabria ha istituito un albo regionale delle imprese boschive, con lo scopo di avviare corsi specifici con il rilascio di patentini, e per concorrere alle aste e alle gare per l'acquisto dei lotti boschivi posti in vendita dai Comuni e dagli enti nell'ambito regionale.

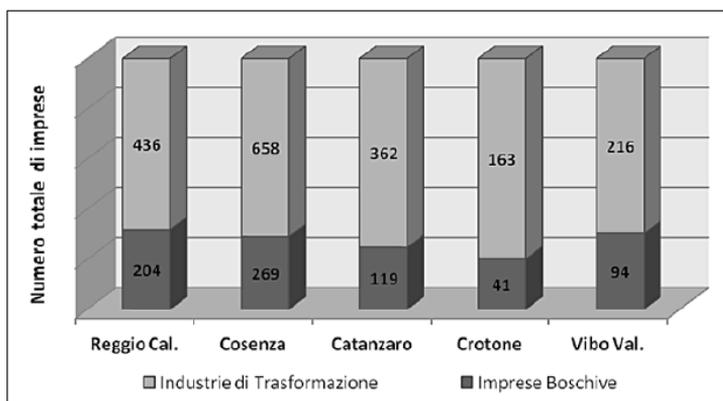


Figura 2 – Numero di imprese della filiera foresta-legno nelle cinque province calabresi - dati 2010.

Fig. 1.41. Dati 2010 sul totale di imprese della Regione Calabria.

I sistemi adottati per le utilizzazioni in bosco, dipendono: dai caratteri stazionali in cui si trovano a operare le imprese boschive in Calabria, il 52% della superficie boscata si trova su terreni con pendenza compresa tra il 20% e il 60%, mentre valori di pendenza inferiori al 20% si riscontrano in circa 88.000 ha di bosco. Rispetto all'accidentalità dei boschi, il 57% delle aree boscate risulta essere non accidentato, mentre il 43% della superficie varia tra l'*accidentato* e il

molto accidentato; in funzione del grado di accessibilità delle aree forestali, ovvero la possibilità di raggiungere fisicamente il bosco e la facilità di accesso (presenza di viabilità), la maggior parte della superficie risulta accessibile; il resto della superficie, con regime a ceduo, presenta una rete di piste forestali a fondo naturale. Le macchine e le attrezzature utilizzate sono in prestito dal settore agricolo, solo poche aziende possiedono gru a cavo e *forwarder*. Il 12% delle imprese boschive eseguono prevalentemente abbattimento, allestimento e esbosco del legname, mentre il restante 88% effettua anche il trasporto, completando così tutto il ciclo produttivo dall'operazione di abbattimento della pianta, fino al trasferimento del legname agli impianti di prima trasformazione, o per la vendita diretta nel caso della legna da ardere. L'abbattimento è eseguito con motoseghe di vari tipi, nel caso di cedui e primi diradamenti di fustaie l'esbosco è fatto con l'ausilio di trattori agricoli. Nei diradamenti le operazioni di sramatura e allestimento sono eseguite con motoseghe, mentre le operazioni di concentramento ed esbosco vengono condotte con trattrici agricole munite di verricello, non sempre adeguate alle dimensioni del legname da esboscare. Il materiale derivante dai diradamenti ha poco valore e viene destinato alla cippatura per scopi energetici.

L'impiego di fonti energetiche alternative ai combustibili fossili ha assunto in Calabria, in questi ultimi anni, un crescente interesse. Il settore delle biomasse provenienti dalla filiera legno risulta essere di fondamentale importanza per il settore delle energie rinnovabili della regione per la particolare vocazione forestale del territorio. Con la finalità di accumulare le biomasse prodotte e raccolte dalle imprese, da fornire alle centrali termoelettriche calabresi, sono nate cooperative e consorzi forestali. Gli impianti esistenti in Calabria per scopi energetici che utilizzano biomasse sono cinque, collocate tra Crotone e Cosenza. Queste centrali hanno un consumo annuo di circa un milione di tonnellate di cippato di origine agro-forestale,

fornito sia dai sistemi di approvvigionamento locali, sia da ingenti importazioni internazionali.

Dalle considerazioni fatte emerge chiaramente l'importanza del ruolo strategico del settore forestale nello sviluppo del comparto bioenergetico e nelle politiche ambientali ed economiche della Calabria. Da tale presupposto deriva la possibilità di promuovere la creazione di iniziative di filiera legno-energia, per il cui sviluppo sarà necessario incrementare la disponibilità di biomassa forestale, incentivare accordi tra i produttori forestali e le imprese di trasformazione presenti sul territorio e infine migliorare la competitività della biomassa in termini di prezzo.

Il settore forestale calabrese sta attraversando una significativa fase evolutiva di sviluppo, e le risorse forestali della Calabria rappresentano un patrimonio che, rispetto ad altre regioni a forte vocazione forestale in cui si sono già avviati processi di integrazione tra i vari segmenti della filiera bosco-legno, in Calabria questo legame tra risorse boschive, imprese boschive e impianti di trasformazione non riesce a decollare. Uno dei punti critici è la difficoltà di mantenere legati i diversi segmenti della catena, oltre a quello di dare valore alla risorsa ambientale, tramite valorizzazione della materia prima e delle sue lavorazioni (Zimbalatti *et al.*, 2005).

Note capitolo 1

¹ Lignus è l'associazione italiana case prefabbricate in legno, che ha all'attivo oltre 7.000 collaboratori. Il suo obiettivo è quello di raggruppare le forze, le idee e le professionalità delle maggiori aziende del settore, per pensare, sviluppare e comunicare caratteristiche che rendono, le scuole e tutte le strutture pubbliche, all'avanguardia per l'efficienza, risparmio energetico e sicurezza;

² http://www.casa24.ilsole24ore.com/art/mercato-immobiliare/2013-10-14/case-legno-conquistano-mercato-171152.php?uuid=Abwu0Bul&refresh_ce=1;

³ Legno & edilizia è una mostra internazionale sull'impiego del legno in edilizia, che si tiene a Verona Fiere con cadenza biennale. La prossima edizione si terrà dal 9 al 12 febbraio 2017. Legno & edilizia nasce dalla collaborazione tra ARCA Casa Legno srl e Piemmeti spa, società partecipata da Veronafiore e organizzatore di Legno&Edilizia, e si conferma come un appuntamento improntato al dinamismo in cui l'organizzazione e la proposta sono pensati per aderire alle esigenze di un mercato costantemente in evoluzione;

⁴ Klimouse di Bolzano è una fiera di riferimento a livello nazionale, e dimostra come nell'edilizia esistano una serie di alternative ed economiche tecniche in grado di garantire un consistente risparmio energetico. Formula vincente della manifestazione è il calibrato mix tra uno spazio espositivo, dedicato alle novità di prodotto proposte da 450 aziende di settore selezionate da una giuria di qualità, e gli articolati programmi di eventi formativi e informativi, quali congressi e visite guidate messi a punto con partner di primo piano. La fiera è organizzata ogni anno, il prossimo incontro sarà dal 26 al 29 gennaio 2017;

⁵ MADE Expo è la piattaforma di incontro privilegiata tra aziende, architetti, progettisti, serramentisti, imprese di costruzione, rivenditori e operatori del settore. La fiera ha cadenza annuale, è un'iniziativa di MADE eventi Srl e Federlegno Arredo Eventi SpA, ed è organizzata da MADE eventi Srl, la prossima si terrà da 8-11 marzo 2017;

⁶ SAIE è una manifestazione fieristica che si conferma riferimento per il settore, per rispondere a un mercato in completa rivoluzione, nel quale innovazione e sostenibilità sono il motore. La 52esima edizione che si terrà a Bologna dal 19 al 22 ottobre, al quale parteciperanno professionisti e industria del mondo delle costruzioni, e rappresenta occasione di informazione e formazione su tutte le novità dell'edilizia, dalla progettazione al cantiere, fino alla manutenzione e gestione delle opere;

⁷ 5° Forum internazionale dell'edilizia in legno Il Forum offre a costruttori, progettisti, ingegneri e architetti la possibilità di dar conto delle loro esperienze e realizzazioni, nonché dei loro obiettivi nel campo delle opere portanti e delle costruzioni in legno e dà allo stesso tempo l'opportunità agli architetti e ai progettisti, ai responsabili degli enti preposti al controllo e alla supervisione delle opere edili, ai costruttori in legno e agli artigiani, agli esperti e agli addetti alla formazione l'opportunità di ottenere e scambiarsi informazioni a tutto campo. Il Forum Internazionale dell'Edilizia in Legno si basa sulla grande esperienza del "Holzbau-Forum" di Garmisch-Partenkirchen (Germania). Con questa manifestazione si vuole promuovere la costruzione in legno e offrire una piattaforma per creare una positiva tendenza verso il legno;

⁸ Promo_legno è un progetto per la promozione della cultura del legno in Italia, nato dall'iniziativa di proHolz Austria in collaborazione con le associazioni di categoria italiane, mediante la realizzazione di convegni e corsi, pubblicazioni e servizi on line;

⁹ Federlegno Arredo è il cuore della filiera italiana del legno-arredo, dal 1945 sostiene lo sviluppo delle nostre imprese, e guardano al futuro con la certezza che questo patrimonio contribuirà ancora alla crescita del nostro Paese. Incontrare gli imprenditori del legno e dell'arredo per sostenere il desiderio di fare impresa.

Crescere in numeri, forza e consapevolezza. Creare opportunità di business. Sviluppare la capacità di rispondere al mercato che cambia;

¹⁰ Lazzari-Zenari è un istituto per la tecnologia del legno che si occupa di certificazione, sopralluoghi tecnici e formazione per quanto concerne tutto il mondo legno;

¹¹ <http://www.ediltecnico.it/35965/avviso-progettisti-nel-2016-boom-delle-case-in-legno/>;

¹² Gardino. P., *Il mercato delle case in legno nel 2010. Analisi del mercato e previsioni fino al 2015*, Promo-legno, Milano 2011. Tale ricerca costituisce costante riferimento nel paragrafo;

¹³ Spinello M., *Rapporto case ed edifici in legno*, Centro studi Federlegno arredo eventi Spa, Ospedaletto di Pescantina 2015. Tale ricerca costituisce costante riferimento nel paragrafo;

¹⁴ Con il termine periodo Asuka si indica il primo periodo buddhista della storia del Giappone, racchiuso convenzionalmente tra il 550 e il 700;

¹⁵ il tempio Horyuji è costituito da 7 edifici, la pagoda, Kondo (l'edificio principale in cui collocare la statua di Buddha), Kodo (l'edificio di lettura), Shorou (il campanile), Kyozo (il magazzino in cui collocare il sutra), Soubou (l'abitazione del monaco), Jikido (la mensa). si veda <http://whc.unesco.org/en/list/660>.

¹⁶ <https://heritageofjapan.wordpress.com/6-nara-period-sees-the-nurturing-of-chinese-culture/tempyo-arts/treasures-of-the-shosoin-the-worlds-oldest-and-most-visited-museum/>.

¹⁷ si veda Murase, M., *L'arte del Giappone*, TEA, Milano 1996.

<http://shosoin.kunaicho.go.jp/en-US>.

¹⁸ il termine *azekura* deriva da *Azekurazukuri*, che è uno stile architettonico giapponese, probabilmente risalente ai primi secoli dopo Cristo, di semplice costruzione in legno di alcuni tipi di edifici utilizzati come magazzini o granai, definiti *Kura*.

¹⁹ si veda per ulteriori approfondimenti, Zamatteo Gerosa A., *Stav-kirke norvegesi: mille anni di vita e non li dimostrano*, <<Tetto & Pareti in legno>>, n. 4, Settembre, 2007, pp. 52-64; Benedetti C., Bacigalupi V., *Legno-Architettura. Il futuro delle tradizioni*, Edizioni Kappa, Roma 1991, pp. 33-46; <<tetto & pareti in legno>>, giugno, 2007, n.4, pag 88;

<http://www.arcacert.com/sites/default/files/STAVKIRKE-CHIESE%20IN%20LEGGNO%20NORVEGESI.pdf>; <http://www.stavkirke.info/wp-content/2009/04/WOODEN-CHURCHES-IN-VIKING-AND-MEDIEVAL-NORWAY.pdf>;

²⁰ si veda per ulteriori approfondimenti <http://www.inlegnocase.it/la-casa-legno-piu-vecchia-deuropa-svizzera/>; <http://www.swissinfo.ch/ita/%C3%A8-solida-la-dimora-in-legno-pi%C3%B9-vecchia-d-europa/1301340>.

²¹ Frattari A., *Evoluzione delle costruzioni in legno per la residenza*, Edizioni Scientifiche Associate, Roma 1980.

²² si veda https://en.wikipedia.org/wiki/Ancient_Priors; <http://www.english-heritage.org.uk/>.

²³ <http://www.dibaio.com/case-di-montagna/cultura/storia-dell-architettura/redazionale/speciale-ville--case-prefabbricate.aspx>.

²⁴ <http://www.svendborgmuseum.dk/svendborg-museum/anne-hvides-gard>.

²⁵ si veda Frattari A., op. cit.

²⁶ Campi M. R. (a cura di), *Le Nouvelles inventions di Philibert De l'Orme*, Aracne editrice, Roma 2009, traduzione integrale dal testo *Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz*, Aracne editrice, Roma 2009; si veda anche Frattari A., op. cit.

²⁷ si veda per ulteriori approfondimenti Frattari A., op. cit.. Barucci C., op. cit. <http://www.edilio.it/media/edilio/news/pdf/Lignee.pdf>.

<http://www.progettoenergiazero.it/case-in-legno-tecniche-costruttive-prima-parte/>

²⁸ <http://www.gizmoweb.org/wp-content/uploads/2009/10/25-01-2013-gropius>.

²⁹ si veda per ulteriori approfondimenti Campi M. R. (a cura di), *Le Nouvelles inventions di Philibert De l'Orme*, Aracne editrice, Roma 2009, traduzione integrale dal testo *Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz*, Aracne editrice, Roma 2009; Davoli P., *Costruire con il legno*, Hoepli, Milano 2001.

http://www.atelierfallacara.it/_download/Articoli/43.pdf.

³⁰ Piazza M., Tomasi R., Modena R., *Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*, Hoepli, Milano, 2005.

<http://www.illegnolamellare.it/cennistorici.htm>

³² Weger S., Bernasconi A., *L'altro massiccio. Progettare e costruire con l'XLAM. L'eleganza dei pannelli di legno massicci a strati incrociati. Prontuario 8*, Pro Holz Austria per Promo-legno, Pro Holz Austria, Vienna 2011.

³³ Stradaroli L., *Sistema X-LAM: con il progetto "Sofie" è indistruttibile*, <<Tetti & pareti in legno>>, dicembre, 2007; <http://www.ivalsa.cnr.it/sofie.html>.

http://www.rilab.eu/images/PDF/Progetto_Sofie_XLAM.pdf

³⁴ <http://www.cennidicambiamento.it/it/un-progetto-innovativo/progetto-architettonico.html>

³⁵ <http://www.m9-architekten.at/einfamilienhaus-l/>.

³⁶ Giachino D. M., *Legno. Manuale per progettare in Italia*, UTET scienze tecniche, Milano 2013.

³⁷ si veda Piazza M., Tomasi R., Modena R., op. cit.

³⁸ Bernasconi A., *Il legno e la sua "materia prima"*, Corso base Promo-legno, Promolegno, Milano 2010.

³⁹ si veda Bernasconi A., op. cit.

⁴⁰ si veda Bernasconi A., op. cit.

⁴¹ si veda Bernasconi A., op. cit.

⁴² si veda Appendice Capitolo 1.

⁴³ Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., I prodotti di legno per la costruzione, materiale corso promo_legno.

⁴⁴ si veda Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., op. cit.

⁴⁵ Zanuttini, *Tradizione e innovazione: pannelli e compositi a base di legno*, in convegno Fiera Legno & Edilizia Verona.

⁴⁶ Regolamento CE n. 2173/2005 sul *Forest Law Enforcement, Governance and Trade* e Regolamento CE n. 995/2010 o *Timber regulation* sulle importazioni di legname

⁴⁷ Giachino D. M., op. cit.

⁴⁸ Zimbalatti G., *Il "legno" di Calabria. Il futuro è già iniziato*, <<Calabria rurale>>, Gennaio-Marzo, 2014.

⁴⁹ Proto A. R., Zimbalatti G., Nazzareno T., *La Calabria e la filiera foresta-legno*, <<L'Italia forestale e montana. Italian journal of forest and mountain

environments>>, n. 66, Giugno 2011, pp. 491-497. Tale ricerca costituisce costante riferimento nel paragrafo.

⁵⁰ Regione Calabria, Prescrizioni di Massima e Polizia Forestale, Dipartimento Agricoltura, Foreste e Forestazione, Catanzaro, 2008, revisionate recentemente con D.G.R. n. 218 del 20 Maggio 2011.

⁵¹, Zimbalatti G., Proto A. R. Abenavoli L., Impianti e cicli produttivi in segherie calabresi, in atti VIII Convegno AIIA, Catania, 27-30 giugno 2005, pp. 217-280. Tale ricerca costituisce costante riferimento nel paragrafo.

Appendice capitolo 1

Schede delle specie legnose impiegate come materiale da costruzione:

Sommario:

- *SCHEDA n. 1: Abete rosso;*
- *SCHEDA n. 2: Abete bianco;*
- *SCHEDA n. 3: Pino silvestre;*
- *SCHEDA n. 4: Larice;*
- *SCHEDA n. 5: Douglasia;*
- *SCHEDA n. 6: Faggio;*
- *SCHEDA n. 7: Quercia;*
- *SCHEDA n. 8: Frassino;*
- *SCHEDA n. 9: Robinia;*
- *SCHEDA n. 10: Castagno.*

Le schede sono state organizzate in modo tale da mettere in evidenza dimensioni, forma, tipologia di frutto e/o fiore di ogni specie attraverso una breve descrizione e una raccolta di immagini. Seguono dei richiami ai caratteri macroscopici della struttura che ci forniscono informazioni utili sui requisiti strutturali e degli accenni sulle caratteristiche tecniche, quali durabilità e lavorazione, fondamentali per l'utilizzo di ogni singola specie come materiale da costruzione; infine si indicano i maggiori settori di impiego delle specie analizzate.

Le immagini poste nella parte alta della schede mostrano l'albero, il ramo e il frutto e/o fiore, mentre quelle nella parte in basso riportano la sezione tangenziale e la sezione trasversale di ogni specie.

SCHEDA n. 1

Abete rosso, *Picea abies* Karst.

Il grande albero raggiunge altezze tra i 30 e 50 metri, raramente 60 metri, con porzioni di fusto prive di rami lunghe fino a 30 metri e diametri fino a un 1,5 metri. La corteccia è bruno rossastra nelle piante giovani (per questo abete rosso), successivamente diviene sottile, grigio-rossa e si sfalda in piccole squame. Gli aghi sono appuntiti, inseriti in corrispondenza di piccole protuberanze. Le pigne pendono dai rami e cadono intere dopo la maturazione dei semi.

Caratteri macroscopici della struttura

Durame chiaro: alburno e durame da biancastri (giallognoli) a giallo paglierino-rossastri; con l'esposizione alla luce cambiamento in giallastro bruno scuro.

L: anelli annuali ben distinti; legno tardivo giallo-rossastro, legno primaverile biancastro; transizione prevalentemente graduale tra zona primaverile e zona tardiva; tenero, canali resiniferi poco numerosi (caratteristica essenziale che lo differenzia dall'abete bianco)

T: le zone tardive formano venature

R: struttura rigata



Durabilità e lavorazione:

- durame poco resistente agli attacchi fungini;
- alburno difficilmente impregnabile, durame da difficilmente a molto difficilmente impregnabile;
- buona essiccazione;
- buon incollaggio;
- abbastanza resistente agli acidi deboli e agli alcali.



Impiego:

- edilizia (come legno da costruzione, strutture di copertura, costruzioni di legno incollato, ecc.) e come materiale per costruzioni ausiliarie (casseri e ponteggi);
- finiture di interni ed esterni (mobili, pannellature, porte, finestre, scale, profilati, ecc.);
- in grandi quantità come legno per la produzione industriale di cellulosa, pasta di legno e pannelli a base legno;
- il legno di abeti delle zone di montagna, con anelli di crescita molto sottili è impiegato per la produzione di strumenti musicali.

SCHEDA n. 2

Abete bianco, *Abies alba* Mill.

L'abete bianco è una specie sciafila (ombrivaga) e raggiunge altezze di 40 m. La corteccia è grigio-argento-bianco e si stacca in squame angolose. Gli aghi sono piatti e con la punta smarginata. Sulla pagina inferiore si trovano due strisce longitudinali ceroso bianche. Le pigne sono erette e si disgregano con la fuoriuscita dei semi, lasciando sui rami solamente le rachidi nude.

Caratteri macroscopici della struttura:

Durame chiaro: albarno e durame di colore uguale biancastro-giallognolo (come nell'abete rosso, ma spesso con un luccichio da grigio a grigio-violetto).

L: anelli annuali ben distinti; legno tardivo giallo-roseo opaco; transizione graduale tra zona primaverile e zona tardiva; senza canali resiniferi e senza sacche di resina (caratteristica essenziale che lo differenzia dall'abete rosso)

T: venature linguiformi

R: struttura rigata

Talvolta durame scuro e "umido" (umid. fino a 160%) con debole odore acidulo.



Durabilità e lavorazione:

- durame poco resistente agli attacchi fungini;
- albarno moderatamente impregnabile, durame da moderatamente a difficilmente impregnabile;
- buona essiccazione (a causa del durame umido l'essiccazione insieme all'abete rosso può essere problematica, e/o richiedere un'essiccazione successiva);
- buon incollaggio;
- abbastanza resistente agli acidi ed agli alcali.



Impiego:

- Generalmente impiegato come l'abete rosso in alcuni casi sono disponibili solo assortimenti misti); preferibile dove non è gradita la presenza di resina dell'abete rosso;
- legno da costruzione per finiture di interni e per costruzioni;
- strumenti musicali (casse armoniche, canne d'organi);
- contenitori di sostanze chimiche;
- industria della carta e della cellulosa.

SCHEDA n. 3

Pino silvestre, *Pinus sylvestris* L.

Pianta di forma colonnare con cima arrotondata, raggiunge nelle stazioni adatte i 25 metri di altezza. La corteccia è in gioventù grigio argento, successivamente bruno grigia e longitudinalmente fessurata. Gli aghi a sezione triangolare sono riuniti a gruppi di 5. Le pigne tozze, ovali, lunghe 5-8 cm contengono semi eduli, non alati e con guscio spesso (pinoli).

Caratteri macroscopici della struttura:

Durame **differentiato**

obbligatoriamente: durame bruno-rossastro distinto nettamente dall'alburno giallo chiaro.

L: anelli annuali ben distinti; transizione da graduale fino a piuttosto brusca tra zona primaverile e zona tardiva; canali resiniferi nettamente riconoscibili (più grandi che nell'abete rosso e nel larice)

T: venature decorative; i canali resiniferi appaiono come linee sottili da gialle a brune

R: fortemente rigato



Durabilità e lavorazione:

- durame da moderatamente a poco resistente agli attacchi fungini;
- alburno ben impregnabile, durame da difficilmente a molto difficilmente impregnabile
- buona essiccazione;
- buon incollaggio (in caso di non eccessiva presenza di resina).



Impiego:

- legno da costruzione per finiture di interni ed esterni, nell'industria mineraria, nelle costruzioni navali e di carrozze.

SCHEDA n. 4

Larice (europeo), *Larix decidua* Mill.

L'albero raggiunge un'altezza di 25 m, la chioma è rada e irregolare. La corteccia è già in gioventù profondamente fessurata longitudinalmente, reticolata e bruno grigia. Le foglie sono imparipennate, con piccole foglioline ovali e a margine intero. I giovani getti hanno spine. Nei baccelli (peduncoli) ci sono da quattro a dieci piccoli semi duri.

Caratteri macroscopici della struttura:

Durame differenziato obbligatoriamente: di regola durame rossastro-bruno intenso, diventa molto scuro; albarno abbastanza sottile, da giallastro a bianco-rossastro.

L: anelli annuali ben distinti; transizione piuttosto netta tra zona primaverile e zona tardiva; nonostante l'elevata presenza di resina i canali resiniferi sono non particolarmente numerosi, molto piccoli e si trovano primariamente nella zona tardiva

T: rilevanti venature decorative

R: struttura ad evidenti rigature²



Durabilità e lavorazione:

- durame da moderatamente a poco resistente agli attacchi fungini;
- albarno moderatamente impregnabile, durame molto difficilmente impregnabile;
- buona essiccazione (in caso di legno più resinoso eventualmente più difficile);
- buon incollaggio.



Impiego:

- legno da costruzione per finiture di interni ed esterni o a contatto con il terreno;
- industria mineraria, imbarcazioni, costruzioni idrauliche e di ponti (a esempio pali infissi), sili e torri di raffreddamento;
- finestre e porte;
- scandole;
- piloni e traversine.

SCHEDA n. 5

Douglasia strutturale, *Pseudotsuga menziesii* Franco

L'albero è slanciato e raggiunge in Europa altezza di 50 metri e diametri di 1 metro. La corteccia presenta da giovane numerose sacche di resina, con gli anni diviene spessa e profondamente fessurata. Gli aghi sono teneri e flessibili, e profumano di arancio se strofinati. Gli strobili sono allungati, pedunculati e facilmente riconoscibili dalle squame munite di brattee triforcute.

Caratteri macroscopici:

Durame differenziato obbligatoriamente: durame giallastro-bruno e rossastro-bruno tendente ad inscurirsi se esposto alla luce (molto simile al legno di larice); albarno chiaro, giallastro e sottile

L: anelli annuali ben distinti da sottili a molto ampi; transizione tra zona primaverile e zona tardiva distinta o non distinta; canali resiniferi distinti

T: con venature decorative

R: fortemente rigato



Durabilità e lavorazione:

- durame da moderatamente a poco resistente agli attacchi fungini;
- albarno da moderatamente a difficilmente impregnabile, durame molto difficilmente impregnabile;
- facile da essiccare (evitare la fuoriuscita di resina);
- buon incollaggio;
- abbastanza resistente agli acidi deboli ed agli alcali.



Impiego:

- legno da costruzione per finiture di interni ed esterni (balconi, portoni, finestre);
- costruzioni idrauliche, di ponti, navali, di carrozze, di imbarcazioni e di aeroplani;
- piallacci sfogliati per legno compensato;
- botti, serbatoi, sili.

SCHEDA n. 6

Faggio, *Fagus sylvatica* L.

In popolamenti chiusi, con chioma posta in alto, fino a 35 metri di altezza. Sulla corteccia liscia e grigio e chiara sono caratteristiche le cicatrici dei rami morti. Per la loro somiglianza con i baffi pendenti, esse vengono chiamate barbe cinesi. Le foglie verde scuro sono ovali e a margine intero. Le faggiole sono contenute in una cupola bruna munita di un delicato peduncolo.

Caratteri macroscopici della struttura:

Durame chiaro: durame ed albarno normalmente ugualmente da bianco-rossastri a bruno-rossastri;

Eventualmente durame differenziato facoltativamente, in età avanzata, ("falso durame"): durame bruno-rosso, per lo più non chiaramente distinto o irregolarmente a stella

L: diffuso-poroso; anelli annuali ben distinti per zone povere di pori (legno tardivo più scuro); vasi riconoscibili solo con una lente d'ingrandimento;

T: grandi raggi midollari chiaramente visibili ad occhio nudo come trattini caratteristici, sottili, di colore bruno

R: grandi raggi midollari chiaramente visibili ad occhio nudo leggermente rigato.



Durabilità e lavorazione:

- durame non resistente agli attacchi fungini;
- albarno e durame chiaro ben impregnabili, eventuale falso durame molto difficilmente impregnabile;
- essiccazione possibile senza problemi, richiede comunque particolare attenzione;
- buon incollaggio.



Impiego:

- piallacci sfogliati per legno compensato e stratificato, piallacci tranciati per mobili;
- mobili e finiture per interni (legno piegato);
- costruzione di aeroplani e di macchine, attrezzi, piccoli apparecchi e giocattoli;
- traversine ferroviarie (non per gli scambi a causa della modesta stabilità dimensionale);
- costruzioni idrauliche;
- prodotti a base legno (soprattutto legno compensato e stratificato, ma anche pannelli truciolari e di fibre), cellulosa e carta;
- carbone.

SCHEDA n. 7 Quercia; o Farnia, *Quercus robur* L. e Rovere, *Quercus petraea* Liebl

Pianta con chioma espansa, alta da 20 a 30 metri. La corteccia delle Querce nostrane inizialmente grigio bianca, successivamente diviene scura e fessurata longitudinalmente. Le foglie tipicamente lobate sono da specie a specie diversamente peduncolate. Le ghiande inserite in una piccola cupola sono una fonte alimentare gradita agli animali selvatici.

Caratteri macroscopici della struttura:

(Farnia e Rovere non distinguibili con sicurezza a livello macroscopico e microscopico)

Durame differenziato obbligatoriamente: durame bruno-rossastro fresco, bruno chiaro asciutto in seguito tendente ad inscurirsi; albarno sottile e bianco-giallastro

L: poroso-zonato, perciò anelli annuali distinti; vasi della zona primaverile e grandi raggi midollari chiaramente visibili ad occhio nudo

T: struttura a venature; evidenti venature da pori

R: grandi raggi vistosi rigature molto evidenti



Durabilità e lavorazione:

- durame resistente agli attacchi fungini;
- albarno ben impregnabile, durame molto difficilmente impregnabile;
- moderatamente buona essiccatura; tende a fessurarsi, a imbarcarsi e a cambiare colore necessaria essiccatura lenta e a bassa temperatura;
- incollaggio per usi strutturali problematico;
 - reazione degli acidi tanninici con il ferro, in caso di contatto con il legno di quercia;
 - "fresco" di metalli a base ferro (macchioline blu scuro);



Impiego:

- mobili e finiture per interni, soprattutto come piallacci tranciati;
- legno per costruzioni edili, sottostrutture e costruzioni idrauliche (a esempio fondazioni su pali di legno di quercia), traversine (scambi);
- costruzioni navali, di macchine e di aeroplani;
- botti.

SCHEDA n. 8

Frassino, *Fraxinus excelsior* L.

Il frassino raggiunge altezze di 30 m e solitamente ha un portamento diritto e slanciato, con chioma regolare. La corteccia è dapprima liscia e grigio verde, successivamente nero bruna, screpolata e con placche romboidali. Le foglie sono impari-pennate (da 9 a 15 foglioline pennate), lungamente picciolate, appuntite e seghettate.

Caratteri macroscopici della struttura:

Durame chiaro o legno intermedio:

alburno e durame, di regola, non sono distinti – alburno giallo chiaro, durame dello stesso colore, esposto alla luce tende leggermente ad inscurirsi; **eventuale durame differenziato facoltativamente**, in età più adulta, (“durame bruno”): alburno da chiaro a bruno scuro, talvolta anche di color oliva (“frassino-oliva”)

L: poroso-zonato, perciò anelli annuali distinti; i vasi nella zona primaverile e la parenchima longitudinale visibili a occhio nudo, i vasi nella zona tardiva ed i raggi midollari visibili solo con una lente d’ingrandimento

T: con venature; evidenti venature da pori nella zona primaverile

R: rigato evidenti rigature nella zona primaverile raggi midollari riconoscibili anche senza una lente d’ingrandimento



Durabilità e lavorazione

- durame non resistente agli attacchi fungini;
- alburno e durame chiaro moderatamente impregnabili, durame facoltativo molto difficilmente impregnabile;

- buona essiccazione;
- buon incollaggio.



Impiego:

- mobili e finiture per interni (anche elementi di forma curva);
- attrezzature sportive (un tempo per produzione di sci), manici di utensili, scale di legno;
- tempo fa: costruzione di apparecchi, macchine, veicoli, vagoni, barche ed aeroplani.

SCHEDA n. 9

Robinia, Robinia pseudoacacia L.

L'albero raggiunge un'altezza di 25 m, la chioma è rada e irregolare. La corteccia è già in gioventù profondamente fessurata longitudinalmente, reticolata e bruno grigia. Le foglie sono imparipennate, con foglioline ovali a margine intero. I giovani getti sono spine. Nei baccelli (peduncoli) ci sono da 4 a 10 piccoli semi duri.

Caratteri macroscopici della struttura:

Durame differenziato obbligatoriamente: durame da giallo-verde a giallo bruno e oro-bruno scuro tendente ad inscurirsi; albarno sottile da giallo a bianco-verdastro

L: grazie alla porosità zonata, anelli annuali distinti e vasi nella zona primaverile visibili ad occhio nudo; raggi midollari e vasi nella zona tardiva riconoscibili solo con una lente d'ingrandimento

T: con venature; evidenti venature da pori

R: anelli annuali decisamente delimitati → evidente formazione di striature, canali porosi evidenti raggi midollari visibili



Durabilità e lavorazione:

- durame da resistente a molto resistente agli attacchi fungini;
- albarno ben impregnabile, durame molto difficilmente impregnabile;
- essiccazione moderatamente buona, lenta e condotta con cautela, altrimenti tende a fessurarsi ed imbarcarsi;



- lavorabilità difficile ma soddisfacente;
- incollaggio moderatamente buono;
- impiego nell'industria mineraria.

Impiego:

- industria mineraria, costruzioni idrauliche e nel suolo, mulini, macchine agricole, veicoli, costruzioni navali e ferroviarie;
- mobili da giardino, palizzate, rivestimenti esterni, giochi e mobili da giardino, pali e piloni;
- botti e botticelle.

Il Castagno è un albero che raggiunge un'altezza di 10-30 metri. La corteccia è nelle giovani piante liscia e color bruno oliva, successivamente diviene grigio bruna e con profonde fessurazioni. Le foglie sono lunghe fino a 25 cm, lungamente lanceolate, coriacee e hanno un colore verde scuro lucente, con la pagina inferiore più chiara. Il margine fogliare presenta denti acuminati. I frutti sono verdi e pungenti. Quando sono maturi, in ottobre, l'involucro si apre e rilascia il suo contenuto, la castagna.

Caratteri macroscopici della struttura:

Durame differenziato obbligatoriamente: durame da bruno pallido a bruno scuro; albarno stretto e da quasi bianco a bianco giallastro.

L: grazie alla porosità zonata, anelli annuali distinti e vasi nella zona primaverile visibili ad occhio nudo; raggi midollari e vasi nella zona tardiva riconoscibili solo con una lente d'ingrandimento;

T: evidenti venature da pori

R: struttura rigata



Durabilità e lavorazione:

- durame resistente agli attacchi fungini;
- albarno moderatamente impregnabile, durame molto difficilmente impregnabile;
- essiccazione difficile e lenta; tendenza marcata al collasso cellulare; leggera tendenza a imbarcarsi;
- incollaggio da soddisfacente a buono;
 - in presenza di elevata umidità del legno possibile corrosione dei metalli e azzurramenti del legno.



Impiego:

- legno da costruzione per finiture interne ed esterne, costruzioni idrauliche e navali;
- legno da arredamento per mobili rustici e rivestimenti (spesso come piallaccio tranciato), parquet;
- in Francia come doghe per le botti.

CAPITOLO 2

I procedimenti costruttivi in legno dall'approccio manualistico al progetto all'approccio prestazionale

2.1 L'ambiente e l'arte del costruire

Il termine ambiente, deriva dal latino *ambiens*, participio presente del verbo *ambire* inteso come andare intorno o circondare, può assumere anche il significato di "luogo, spazio fisico, o condizioni biologiche in cui un organismo (uomo, animale, pianta) si trova, vive: ambiente naturale, artificiale"; o di "stanza, locale, vano"¹. L'ambiente può intendersi anche come ambito fisico nel quale l'uomo quotidianamente svolge le attività, che contribuiscono a definirlo; da questa considerazione si sviluppa il legame tra il concetto di ambiente e il concetto di abitare. L'abitare, a sua volta, pone in relazione l'ambiente naturale e il costruito, dal quale si genera il concetto di ambiente costruito, ossia luogo o ambito fisico nel quale si esplicano le azioni dell'uomo al fine di soddisfare i propri bisogni. Pertanto, l'uomo con le sue azioni modifica l'ambiente naturale, o una porzione di territorio, creando un insediamento mediante una complessa attività edilizia, costituita da segni sul territorio, programmi e trasformazioni, qualificanti o non².

L'edilizia, intesa sia come insieme delle strutture che delle infrastrutture del costruito, rappresenta la concretizzazione, nella struttura fisica del costruito, dell'organizzazione metodica dei procedimenti costruttivi e dell'innovazione tecnica, basati su strumenti primari quali la logica e la razionalità. L'architettura si pone nell'edilizia, ossia nella struttura fisica del costruito, come arte del costruire, basata sulla ricerca della forma dell'oggetto come espressione dell'epoca e della comunità in cui si sviluppa, i cui strumenti

primari sono l'intuizione, l'estro, la creatività. A tal proposito Enrico Mandolesi, scrive che "l'edilizia indica l'ambito in cui l'architettura si manifesta come attività artistica nel suo significato più ampio, comprendendo non solo i valori estetici, ma anche quelli tecnico-scientifici e socio-politici in essa necessariamente impliciti"³.

Questa interpretazione rimanda al concetto classico di arte, dal greco τέχνη, col quale si indica "l'insieme delle norme, dei precetti e delle leggi che regolano lo svolgimento e lo sviluppo di un mestiere o di un'attività, fino a costituire una teoria"⁴. Dalla parola arte, che nel suo significato più antico esprime l'operato umano in contrapposizione a tutto ciò che è presente in natura, si origina il termine tecnica, col quale si intende una capacità pratica di operare, come suo superamento. Il concetto di tecnica è associato a quello di scienza e alle sue accezioni teoriche, ossia applicazione pratica di principi scientifici, anche nella progettazione delle costruzioni civili. Dal concetto di arte come imitazione del creato, si passa ad una concezione idealistica di attività originale e manifestazione dello spirito umano. Da ciò deriva la *regola dell'arte*, codice universalmente riconosciuto (o codice comune) utilizzato per molti secoli, espressione di una metodologia progettuale che si pone come riferimento del progetto e come strumento dell'attività costruttiva (Campolongo, 1996).

Leon Battista Alberti, alla metà del Quattrocento, propone il recupero dell'architettura classica, valorizzando l'impostazione metodologica di Brunelleschi, e basando la sua idea di architettura sulla distinzione tra progetto ed esecuzione. All'improvvisazione e alla pratica, proprie dell'arte medievale, si oppone un metodo che lega i caratteri formali dell'architettura a leggi geometrico-matematiche. L'*ideare*, o attività ideativa-artistica, e il *fare*, o realizzazione tecnico-pratica, diventano fasi distinte dell'approccio alla costruzione, e allo stesso tempo corrispondono a un'entità unica in rapporto al manufatto architettonico, poiché la teoria è indispensabile per l'attuazione

della pratica, e il progetto diventa lo strumento per manifestare l'idea e per guidare il fare.

Nel corso del Cinquecento, attraverso l'originalità della regola di Donato Bramante, basata sulla concezione modulare dei corpi di fabbrica con la ricerca di nuovi effetti cromatici, e l'introduzione di nuovi elementi formali nell'articolazione dei prospetti, si afferma una nuova regola con rilettura degli ordini classici riproposti in forme più elaborate. La nuova regola dell'arte è ispirata dalla costante ricerca dell'equilibrio tra concetto e forma, trova espressione nell'opera di Michelangelo e Raffaello, esponenti del Rinascimento italiano. Questa regola definita l'*arte della Maniera* costituisce il riferimento dell'attività progettuale del Cinquecento, di cui sono esponenti Baldassarre Peruzzi, Sebastiano Serlio, Jacopo Barozzi il Vignola, Andrea di Pietro Mugnaio il Palladio, Vincenzo Scamozzi. In questo periodo nascono le scuole e le accademie che contribuiscono alla diffusione della codifica di teorie e tecniche del costruire, ossia alla trattatistica della regola dell'arte. La *regola della Maniera* termina alla fine del Cinquecento quando il momento ideativo-teorico del progetto prevale sugli aspetti tecnico-applicativi (Campolongo, 1996).

Nel Settecento l'arte diventa estetica e si occupa del bello, ossia delle *arti belle*, distinguendo la bellezza dalla tecnica; da una parte si ha il ritorno alla riproposizione degli schemi formali elementari classici, periodo che prende il nome di Neoclassicismo e si estende fino all'Ottocento; d'altra parte si promuove la razionalità e l'essenzialità funzionale della progettazione architettonica.

Nel secolo dei *lumi*, l'arte si distingue dalla scienza, l'arte del costruire passa in secondo piano, e si sviluppa l'estetica moderna come frutto sia della concezione di *arti belle*, sia dell'avvento della rivoluzione industriale. La fine del settecento è caratterizzata dalla chiusura delle Accademie di Belle Arti e la fondazione delle scuole politecniche, si fa avanti un nuovo atteggiamento scientifico del progetto, che caratterizza il movimento illuminista, con la

creazione di una nuova *arte del costruire*. La sintesi progettuale è caratterizzata da due aspetti: l'*ideare* e il *fare* dello spazio architettonico, nel quale l'*ideare* è alimentato dai nuovi principi dell'estetica moderna, e il *fare* è rappresentato dalla scienza e dalla nuova tecnologia. A fine Settecento si consolida la regola dell'arte, nell'architettura e nelle costruzioni civili, attraverso l'affermazione e l'impiego dei *manuali da costruzione*, che saranno dei veri e propri repertori di rappresentazione della regola costruttiva. Questo tipo di approccio al progetto decade con l'affermazione dell'Eclettismo ottocentesco (ovvero con l'avvento del Romanticismo), e il prevalere dell'*ideare* sul *fare*.

Con il passaggio da un'economia agricola allo sviluppo dell'industria, si incrementa una domanda di qualità dei prodotti disponibili sul mercato, che nel mondo delle costruzioni si riversa con l'impiego di nuovi materiali, quali ferro e vetro, e una crescente attenzione all'organizzazione del processo costruttivo, che si avvale di nuove figure. Nasce la figura dell'ingegnere progettista, in grado di unire la funzionalità dello spazio architettonico con l'impiego delle nuove tecnologie, il controllo della spesa con l'organizzazione del cantiere, a differenza dell'architetto chiuso ancora nel suo approccio ideologico al progetto. Il ritorno alla concretezza e alla cultura basata sull'osservazione, insieme alla necessità di una diffusione della conoscenza mediante rappresentazione grafica degli oggetti, fa sì che il *fare* prevalga sull'*ideare*, ossia la fase esecutiva del processo progettuale prevalga sulla sua rappresentazione. Questo periodo è caratterizzato dalla ricerca della qualità e del rigore nella regola dell'arte, e il manuale da costruzione permette soltanto all'arte di essere ripetibile, come simbolo del progresso sociale.

2.2 La regola dell'arte e i manuali di progettazione-costruzione, dall'approccio prescrittivo all'approccio prestazionale

La conoscenza del costruito, ovvero la conoscenza della strutturazione fisica dell'edilizia nei suoi caratteri distributivi e costruttivi, si basa sulla comprensione della produzione manualistica, strumento su cui si fonda la classificazione *tipologica* degli edifici, coadiuvata anche dall'interpretazione delle modalità distributive dello spazio architettonico. Il bisogno di classificare l'esistente da una parte, e di regolamentare l'attività costruttiva dall'altra, porta alla creazione del repertorio dei *tipi edilizi*, classificando e codificando gli aspetti spaziali-architettonici dell'edilizia, e raggruppando edifici con caratteristiche spaziali e strutturali comuni. Il termine *tipo*, inteso come esemplare, o modello da imitare, nel suo impiego rinascimentale, si evolve, nel periodo dei *manuali da costruzione*, divenendo un concetto concreto, ponendosi, non solo come modello formale del progetto, ma come metodo logico e strumento operativo dell'azione progettuale⁵.

Il *tipo edilizio* rappresentativo del repertorio manualistico, si pone come riferimento per la progettazione edilizia, insieme alla valutazione critica del costruito. Pertanto, la progettazione rischia di diventare un semplice esercizio tipologico, e l'unica garanzia della qualità progettuale e costruttiva, almeno fino all'affermazione del Movimento Moderno è la classificazione dell'esperienza in funzione creativa, di cui il *manuale di costruzione* è rappresentazione.

Un oggetto architettonico descritto nelle sue componenti spaziali e tecnologiche e inserito in un repertorio, può essere considerato non universalmente riconosciuto e per certi versi riduttivo, mentre rimane invariato il metodo che ha portato alla realizzazione di uno spazio architettonico, ossia l'espressione di una guida all'approccio progettuale e alla corretta articolazione del processo costruttivo. Rimane invariato il valore dello studio spaziale-funzionale operato, che si evince dalle tavole di rappresentazione delle parti della fabbrica, ossia quella che chiamiamo *regola dell'arte*. Il valore

metodologico, e non solo descrittivo, permette al manuale di costruzione di sopravvivere alla rivoluzione prodotta dal Movimento Moderno.

La nascita del disegno industriale, che trova nella scuola Bauhaus i suoi principi fondatori, ha modificato una parte del repertorio manualistico nella loro funzione di repertorio spaziale-tipologico-creativo. L'impiego dei *manuali di costruzione* è reso possibile dagli aspetti costruttivi, valorizzando il ruolo di nuovi *vademecum* del processo costruttivo, con teorie di ripetibilità costruttiva dei manufatti nel rispetto della *regola dell'arte* o della qualità artistica del prototipo. L'elemento di continuità tra l'*ideare* e il *fare*, di cui la manualistica è espressione, viene sottolineata in questo tipo di approccio allo studio della tecnologia dell'architettura, che porta alla concezione della ripetibilità dell'arte nel disegno industriale e nell'architettura, posizione condivisa dalla dottrina illuministica ai trattatisti del Cinquecento, fino alla teoria vitruviana; logica opposta all'impostazione neo-barocca, neo-gotica e neo-rinascimentale che riduce un certo tipo di manuali a semplice raccolta di elementi decorativi; ciò in contrapposizione allo scopo del manuale di porsi come guida all'unità del processo idea-realizzazione, progetto-realizzazione.

La concezione dell'unità tra teoria e pratica, alla base della logica della produzione manualistica, come prima fase dell'attività progettuale architettonica resta invariata, nel nostro paese, nonostante le diverse interpretazioni della dottrina architettonica nell'architettura moderna e nel pensiero di Benedetto Croce. L'architettura, nella concezione moderna, distingue la *teoria* dal *fare* superando la componente scientifica, mentre per Croce l'*idea* e la *tecnica* sono un *unicum*: dove la fase ideativa del progetto contiene in sé gli elementi tecnico-operativi per la realizzazione dell'idea.

Alla luce di questo tipo di approccio del fare architettura, alcuni manuali restano depositari di questa concezione, e diventano strumento per il progetto fino alla ricostruzione del secondo dopoguerra. Alcuni manuali possono essere definiti *manuali di progettazione* ponendosi come strumento

logico del progetto in quanto espressione di una metodologia progettuale, non solo con il valore di strumento per la conoscenza tecnica, ma che contiene un sistema concettuale che lega, nella concezione grafica-descrittiva-normativa, l'idea spaziale-formale alle modalità tecniche costruttive.

La metodologia manualistica è portatrice della qualità costruttiva fino a una certa epoca, ponendosi come riferimento sia della razionalità costruttiva che come fonte di spunti e stimolo all'intuizione, all'estro e alla creatività. L'evoluzione della cultura e della società, legato alla necessità di soddisfare nuove esigenze, e l'evoluzione della progettazione architettonica, porta alla complessificazione del processo edilizio-costruttivo, legato ad una serie di fattori, quali :

- il progressivo miglioramento degli strumenti di lavoro e della crescente meccanizzazione prima e informatizzazione dopo;
- il cambiamento qualitativo e quantitativo dei materiali a disposizione;
- le mutazioni dell'organizzazione del lavoro e delle funzioni operative;
- la complessità dell'organismo edilizio, in tutte le sue implicazioni spaziali, strutturali, funzionali e tecnologiche (Campolongo, 1996).

L'approccio prescrittivo al progetto-costruzione dell'edificio, ossia la *regola dell'arte*, perde valore di fronte alla complessità, e il manuale non ha più la sua funzione di strumento. La costruzione dell'edificio è il prodotto finale di un processo sempre meno lineare nella sua articolazione, nel quale intervengono molteplici operatori, che si esprimono in linguaggi diversi; compito del progettista diventa quello di mediare il rapporto tra gli attori del processo edilizio e il committente. La frammentazione delle funzioni porta alla rottura del rapporto di continuità tra progettazione ed esecuzione dell'opera, ossia tra l'*ideare* e il *fare*.

Il concetto di *sistema* da avvio alla ricerca di una nuova metodologia progettuale e gestionale del progetto edilizio. Pertanto, la tecnologia delle

costruzioni civili segue un *approccio sistemico* alla progettazione, che si basa sull'edilizia intesa come *sistema*, ossia come insieme di elementi che interagiscono, unendo sia il concetto di *organismo*, unità complessa formata da più parti, sia il concetto di *organizzazione*, attività in una scala più ampia di riferimento. L'*approccio sistemico*, in opposizione al processo analitico della scomposizione delle parti in oggetti sempre più elementari, fino a perdere la visione d'insieme, mira a cogliere, in una visione globale, l'integrazione tra i singoli elementi che compongono l'insieme. La possibilità di cogliere le singole parti dell'oggetto di studio, non solo in quanto tali e in rapporto alle proprie caratteristiche, ma come facenti parti del funzionamento complessivo, è quello che permette di decodificare la complessità e inserire l'azione-progetto nell'organizzazione del *processo edilizio*⁶.

Organizzare il processo significa seguire la sequenza delle operazioni che porta alla realizzazione dell'organismo edilizio, sia per quanto riguarda l'aspetto organizzativo sia per l'aspetto costruttivo. L'aspetto costruttivo dell'oggetto si articola in quattro fasi:

- *la programmazione* è costituita da una serie di valutazioni fatte a monte del momento progettuale, che fanno riferimento all'inserimento urbanistico dell'edificio, alla funzionalità dello spazio interno, al comfort ambientale e alle esigenze economiche;
- *la progettazione* costituisce la fase creativa del progettista e nella complessità diventa processo, a sua volta è articolato in sub-fasi;
- *l'attuazione* rappresenta la concretizzazione dell'idea progettuale e completa il quadro del processo costruttivo; fa riferimento ai modi di realizzare l'organismo edilizio, con riferimento all'a cosiddetta architettura spontanea, agli elementi costruttivi realizzati in opera, agli elementi costruttivi realizzati fuori opera e portati a un grado di finitura grossolano in cantiere e successivamente assemblati, all'organismo edilizio realizzato completamente fuori opera;

- *la gestione* che costituisce con la programmazione parte della componente organizzativa del processo, fa riferimento alla gestione e all'amministrazione del bene (Campolongo, 1996).

La complessità ha portato all'industrializzazione dell'edilizia, e al concetto di *processo edilizio industrializzato*, che unisce il significato di *industrializzazione*, ossia dare carattere di industria a un'attività economica, e i caratteri propri di un'attività economica industrializzata, quali la standardizzazione del prodotto finale, la ripetitività delle azioni produttive, il controllo della qualità del prodotto, l'organizzazione del processo produttivo e il rapporto costante con il mercato. Il *processo edilizio industrializzato*, per la realizzazione di un bene edilizio con procedimenti di tipo industriale, è anch'esso organizzato come una sequenza di fasi:

- *la programmazione* basata sull'evoluzione dei modelli costruttivi, e può concretizzarsi attraverso tre modalità procedurali differenti: *approccio per modelli, approccio per programmi e approccio per componenti*;
- *la progettazione*, senza modificare il ruolo del progettista, si colloca nell'ambito del diverso approccio programmatico;
- *la produzione* è costituita da tre sotto fasi: *produzione per modelli, produzione per sub-sistemi e produzione per componenti*;
- *la realizzazione* è identificata con il procedimento costruttivo scelto a sua volta legato al tipo di approccio programmatico;
- *il controllo* serve come verifica della conformità del prodotto realizzato con quanto programmato; come verifica della compatibilità con le richieste di prestazioni; e la corrispondenza tra gli esecutivi e l'assemblaggio e l'esecuzione delle opere in cantiere ;

- *la gestione* riguarda l'amministrazione e la conservazione nel tempo dell'organismo edilizio; la scelta del procedimento costruttivo e dei materiali influenza involontariamente anche la durata nel tempo⁷.

Nella fase progettuale, si introduce il concetto di *prestazione*, inteso come prefigurazione funzionale basata sulla "specificazione degli attributi che gli oggetti progettati devono possedere, per essere conformi ai fini e agli obiettivi del costruire"⁸. L'oggetto edilizio non è definito da un disegno, cioè da una preconfigurazione morfologica, ma da una preconfigurazione funzionale, che esprime le sue proprietà e ne indica il suo impiego. Le *proprietà dell'oggetto edilizio*, classificate per categorie, sono definite *caratteristiche*; dette *caratteristiche* presentano un determinato livello di qualità, definito *capacità di prestazione* dell'oggetto. *L'azione-progetto* diventa un *processo*, in cui l'idea e il momento creativo sono il risultato di una serie di *requisiti* richiesti ai vari elementi dell'oggetto. I requisiti sono le *specifiche di prestazione* richieste agli elementi costruttivi dell'organismo edilizio, a queste richieste gli elementi edilizi, ambiti spaziali o elementi costruttivi in progetto, risponderanno con i propri *attributi di prestazione*, ossia con le prestazioni che sono in grado di fornire, indicate come *capacità di prestazione*. Dal confronto tra *requisiti* richiesti e *attributi di prestazione* degli elementi costruttivi e degli ambiti spaziali dell'organismo edilizio, si generano le diverse alternative tecniche, o *soluzioni conformi*, che nella fase progettuale portano alla scelta di una soluzione tra quelle conformi alle richieste e agli obiettivi posti.

Nonostante l'evoluzione tecnologica, la complessificazione dei processi costruttivi, la frammentazione delle competenze, si ha la necessità di avere punti di riferimento come la regola dell'arte lo è stata nell'approccio progettuale di tipo prescrittivo; in questo senso ci è utile il concetto di *prestazione*, o *performance design*, mentre il *processo progettuale* si configura come *processo prestazionale*. Se, in questa logica, il progetto diventa processo, esso può essere articolato nelle seguenti quattro fasi:

1. programmazione generale;
2. normazione tecnica;
3. metaprogetto del sistema ambientale;
4. metaprogetto del sistema tecnologico (Campolongo, 2002).

La *programmazione* si esprime attraverso la normativa procedurale, che è articolata in leggi, decreti e norme emanate dallo Stato, per la programmazione e per la gestione degli interventi, per la realizzazione delle opere e per la progettazione in riferimento al quadro legislativo.

La *normazione tecnica* si esplicita attraverso la *normativa tecnica prestazionale* che raccoglie le indicazioni organizzative della normativa procedurale e le traduce in regole tecniche specifiche.

Il *metaprogetto del sistema ambientale* consiste nella creazione di un modello virtuale, o prestazionale, che porta all'estrapolazione virtuale di un ambito da progettare nella sua articolazione spaziale e funzionale. Il sistema ambientale è costituito dalle azioni, ovvero dalle attività, che sono svolte all'interno dello spazio costruito e quindi dagli ambiti spaziali che contengono e permettono lo svolgimento delle attività.

Allo stesso modo il *metaprogetto del sistema tecnologico* è un modello virtuale, prestazionale, che porta all'estrapolazione virtuale di un oggetto-costruzione. Il sistema tecnologico è costituito dagli oggetti, ossia dagli elementi costruttivi, che compongono l'organismo edilizio, definiti nella loro caratterizzazione funzionale-tecnologica, realizzati con determinati materiali e tecniche costruttive.

Le tre fasi, normazione tecnica, metaprogetto del sistema ambientale e metaprogetto del sistema tecnologico corrispondono al *modello virtuale* di tipo informazionale-prestazionale che ha come elementi le azioni e gli oggetti.

Costruire il modello significa:

- definire le azioni;
- definire le attività;

- definire le relazioni tra le azioni;
- definire le relazioni tra gli oggetti;
- definire le relazioni tra le azioni e gli oggetti (Campolongo, 1996).

La costruzione del modello virtuale sarà riferito alla creazione di un modello informazionale per un organismo edilizio di tipo residenziale, composto da due sub modelli, quello relativo al sistema ambientale e quello relativo al sistema tecnologico. Il modello informazionale è il risultato dello studio e dell'analisi delle azioni e delle attività, dei legami tra le azioni, dei legami tra le attività, e delle relazioni tra le azioni e gli oggetti; col fine di definire spazialmente e morfologicamente l'organismo edilizio.

Un superamento relativamente all'articolazione del processo edilizio è rappresentata dall'architettura *high-tech*, ossia architettura *tecnologicamente avanzata*, che richiama la volontà di interpretare e rappresentare lo spirito del tempo, per l'affermazione di nuove dottrine e di nuove tecniche costruttive. L'architettura *high-tech* propone un approccio progetto-costruzione legato da una continuità ideativo-realizzativa. Il rapporto tra l'ideazione del singolo elemento, l'ideazione delle relazioni funzionali-formali che esso stabilisce con gli altri elementi del sistema, e la sua realizzazione, ovvero fabbricazione in officina è diretto, perciò necessita di un controllo, che da elemento per elemento, si estende a tutto il sistema (Campolongo, 1996). Maggiormente in questo caso l'organizzazione del lavoro assume diversi aspetti e coinvolge grandi gruppi di lavoro. Nella configurazione di un processo costruttivo così organizzato, acquisisce più valore il momento ideativo, che non si esaurisce nell'ideazione della forma, ma si estende fino alla fase costruttiva; sicché il prodotto-prototipo subisce continue modifiche non solo prima di diventare prodotto finito, ma anche nei cicli di lavoro successivi. Il prototipo così viene migliorato con una serie di elementi che sono funzionali al raggiungimento delle esigenze; però, per passare dalla produzione intesa come catena di montaggio a quella a vasta scala, bisogna semplificare, riportando il lavoro del

progettista a quello dell'artigiano, a quello della *regola dell'arte*. La ricerca dell'unicità del prodotto si raggiunge con la personalizzazione del prodotto, mentre l'oggetto resta aperto a ogni nuova *azione-progetto* che voglia modificare forma, materia e funzione.

Protagonisti di questa nuova regola dell'arte sono i nuovi materiali: il vetro lavorato in una vasta gamma di elementi costruttivi; i cavi per le tensostrutture; i teli lavorati come strutture che possono raggiungere grandi luci; l'alluminio utilizzato per realizzare elementi costruttivi; il legno lamellare; e l'XLAM.

L'interesse al legno si riaccende con la nascita del legno lamellare, dettata dalla necessità di superare i limiti dimensionali del tondame, col fine di conferire nuove potenzialità al materiale. L'impiego di elementi strutturali in legno lamellare, offre in campo architettonico nuove possibilità, permettendo così di coprire ambienti con grandi luci senza necessità di inserire appoggi intermedi. Il lamellare si sviluppa dapprima in Paesi dove il materiale è più utilizzato per la costruzione di organismi edilizi, con tecniche costruttive più consolidate, per poi giungere alla fine degli anni Settanta anche in Italia. L'utilizzo del legno lamellare è strettamente legato all'industria della chimica del mondo dei collanti e delle macchine a controllo numerico; poiché la qualità prestazionale del lamellare è determinata dalla qualità delle lamelle, dalla corretta posizione del giunto a dita e dalla posizione delle lamelle all'interno dell'elemento. Le macchine a controllo numerico e la qualità degli impianti di lavorazione influiscono sull'esecuzione del giunto. L'essenza primitiva del legno è stata modificata dalla produzione del lamellare in quanto materiale ingegnerizzato, o artificiale, ma allo stesso tempo ha permesso il suo utilizzo nel settore delle grandi opere.

La crescente automazione degli impianti, una sempre maggiore attenzione alla prefabbricazione, la necessità di utilizzare materiali sostenibili e naturali, porta, alla fine degli anni Novanta, allo nascita di un nuovo prodotto in Austria, realizzato presso l'Università di Graz, che permette di sfruttare al

meglio le risorse messe a disposizione dalla lavorazione del legno in segheria, realizzando elementi piani di grandi dimensioni: i pannelli di XLAM. Questi sono pannelli di grandi dimensioni formati da più strati di tavole incrociati, sovrapposti e incollati che portano alla configurazione di un sistema costruttivo del tipo a parete portante.

Dalla volontà di andare verso la collaborazione tra i progettisti, l'integrazione tra i processi e la sostenibilità, compresa anche l'interoperabilità tra i software nasce il *Building Information Modeling* (BIM), o modello di informazioni di un edificio, che è definito dal National Institutes of Building Science come la "rappresentazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali di un oggetto". Il BIM, non è né un prodotto, né un software, ma un contenitore di informazioni sull'edificio in cui inserire dati grafici (come i disegni), e degli specifici attributi tecnici (come schede tecniche e caratteristiche), anche relativi al ciclo di vita previsto. Il BIM contiene non solo informazioni visive o *rendering*, ma specifica le funzionalità e le prestazioni di un oggetto BIM presente nel progetto o dell'intero edificio elaborato. Il BIM rappresenta un metodo di progettare collaborativo, che permette di integrare in un unico modello le informazioni utili in ogni fase della progettazione, architettonica, strutturale, impiantistica, energetica e gestionale⁹. Vladimir Bazjanac, professore del Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, afferma che "il processo di progettazione e realizzazione delle strutture è cambiato rapidamente. Il cambiamento è dovuto soprattutto all'emergere del metodo BIM e alla sua intrinseca capacità di garantire la validità dei dati inseriti nel manufatto in ogni momento del suo ciclo di vita, permettendo un realizzazione integrata della commessa impossibile fino ad ora"¹⁰.

In Italia il BIM si sta diffondendo, in maniera graduale perché manca sia una metodologia uniforme, sia una legislazione che regoli o favorisca l'utilizzo del BIM, anche se il nuovo codice appalti, contiene il recepimento delle

direttive europee, favorendo l'utilizzo del BIM nella progettazione per lavori pubblici. Il BIM è più utilizzato in realtà in cui vi sono maggiori società d'ingegneria, o studi di progettazione integrata, che hanno un maggiore vantaggio nell'intera gestione del progetto.

2.3 I procedimenti costruttivi in legno e la progettazione prestazionale nell'edilizia residenziale

L'impostazione metodologica che studia l'organismo edilizio visto come sistema consiste nella costruzione di un *modello informazionale*, che ottimizzi l'assetto funzionale-spaziale di un edificio, al di là della ricerca della sua forma architettonica definitiva. Definito *metaprogetto dell'organismo edilizio* esso è composto da due sub-sistemi: *il sistema ambientale e il sistema tecnologico*. Il modello virtuale definito *metaprogetto del sistema ambientale* è organizzato in sub-modelli, a loro volta informazionali: *il metaprogetto delle unità ambientali e il metaprogetto degli ambiti spaziali*.



Fig. 2.1. Il sistema edilizio secondo la UNI 8290.

Il *metaprogetto delle unità ambientali* dell'organismo edilizio per la residenza arriva alla definizione di uno schema asspaziale di alloggio, la cui configurazione avviene attraverso l'aggregazione di più *unità ambientali*; l'alloggio è esso stesso un'*unità ambientale* se visto nel più generale contesto dell'organismo edilizio. "L'unità ambientali si identifica come insieme di attività

compatibili spazialmente, ambientalmente e temporalmente, definite in relazione a determinati comportamenti dell'utenza"¹¹.

Il metaprogetto dell'alloggio si esplicita attraverso la successione di queste fasi:

- l'individuazione delle attività;
- valutazione dei legami tra le attività;
- analisi dei requisiti spaziali delle attività;
- analisi dei requisiti ambientali delle attività;
- analisi dei requisiti temporali delle attività;
- valutazione della compatibilità funzionale delle attività;
- configurazione delle unità ambientali;
- valutazioni delle condizioni di contorno delle unità ambientali;
- composizione delle unità ambientali;
- definizione dello schema alloggio.

Il *metaprogetto degli ambiti spaziali* dell'organismo edilizio costituisce la base per l'ideazione definitiva dell'organismo edilizio e per la sua progettazione, facendo riferimento agli ambiti spaziali, ossia gli ambiti esterni, e agli oggetti che materializzano le parti dell'edificio, per arrivare a prefigurare l'organismo edilizio nella sua spazialità e fisicità. "L'elemento aspsziale si identifica come aggregazione di unità ambientali, ovvero come porzione di spazio fruibile destinata ad accogliere interamente o parzialmente una o più unità ambientali"¹² Le fasi per la configurazione del metaprogetto degli ambiti spaziali sono le seguenti:

- determinazione del volume totale dell'organismo edilizio;
- definizione degli assortimenti degli alloggi;
- configurazione di massima della forma dell'edificio;
- articolazione degli affacciamenti;

- articolazione del connettivo;
- individuazione e definizione degli spazi comuni;
- individuazione e definizione degli spazi privati esterni;
- distribuzione delle unità ambientali dell'organismo edilizio;
- definizione degli spazi di relazione e di circolazione;
- dimensionamento degli alloggi;
- coordinazione modulare e semplificazione dimensionale.

Il metaprogetto del sistema tecnologico dell'organismo edilizio, come il metaprogetto del sistema ambientale, è un modello virtuale informazionale che si compone del *metaprogetto delle unità tecnologiche* e del *metaprogetto degli elementi tecnici*. "L'*unità tecnologica* si identifica in un insieme di funzioni compatibili tecnologicamente, necessarie per l'ottenimento di prestazioni ambientali" e l'*elemento tecnico* si identifica con un prodotto edilizio più o meno complesso, capace di svolgere completamente o parzialmente funzioni proprie di una o più unità tecnologiche¹³.

Il *metaprogetto del sistema tecnologico* prevede:

- l'elenco delle *funzioni* che il sistema tecnologico deve svolgere;
- l'elenco delle *esigenze tecniche* che si ricavano dalle funzioni individuate;
- l'elenco dei *requisiti tecnologici*, sia delle unità tecnologiche che degli elementi tecnici corrispondenti, punto di arrivo alla fase metaprogettuale del processo.

Le *funzioni* si deducono dalla classificazione della Norma UNI 8290, di tipo esigenziale e prestazionale, che contiene la *classificazione delle unità tecnologiche* (UT) e degli *elementi tecnici* (ET), raggruppati in *classi di elementi*

tecnici (CET) dell'organismo edilizio, applicabili all'organismo edilizio per la residenza¹⁴.

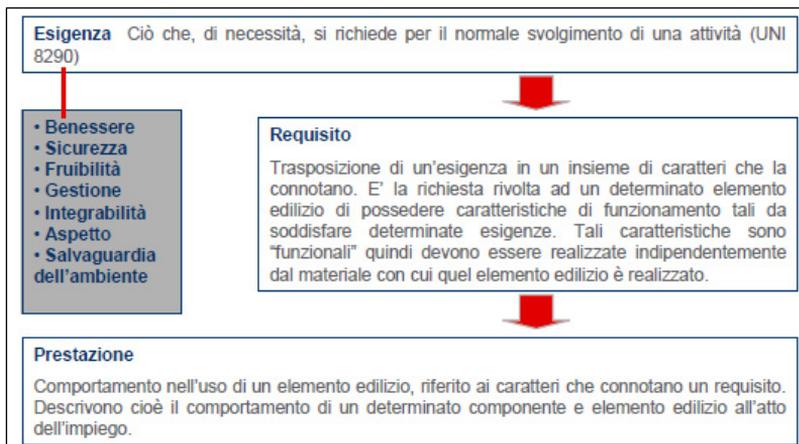


Fig. 2.2. Schema della normativa esigenziale - prestazionale.

Le *esigenze tecniche* relative alle funzioni individuate, chiamate esigenze funzionali sono riconducibili, nel caso della residenza, alle esigenze di sicurezza, alle esigenze di benessere e alle esigenze di fruibilità; a esse si aggiungono per altri ambiti, esigenze di aspetto, esigenze di integrità, esigenze di funzionamento ed esigenze di gestione.

I *requisiti* si deducono dalle esigenze funzionali e si articolano in sottoclassi: classe A, requisiti di sicurezza; classe B, requisiti di benessere; classe C, requisiti di fruibilità; classe D, requisiti di aspetto; classe E, requisiti di integrità; classe F, requisiti di funzionamento; classe G, requisiti di gestione. Nel caso della residenza si fa riferimento solo alle prime tre classi.

Classe di unità tecnologica CUT	Unità tecnologica UT	Classi di elementi tecnici CET
Struttura	Struttura di fondazione	Strutture di fondazioni dirette
		Strutture di fondazioni indirette
	Struttura di elevazione	Strutture di elevazione verticale
		Strutture di elevazione orizzontali e inclinate
		Strutture di elevazione spaziali
	Struttura di contenimento	Strutture di contenimento verticali
Strutture di contenimento orizzontali		
Chiusura	Chiusura verticale	Pareti perimetrali verticali
		Infissi esterni verticali
	Chiusura orizzontale inferiore	Solai a terra
		Infissi orizzontali
	Chiusura orizzontale su spazi esterni	Solai su spazi esterni
Chiusura superiore	Coperture	
	Infissi esterni orizzontali	
Partizione interna	Partizione interna verticale	Pareti interne verticali
		Infissi interni verticali
		Elementi di protezione
	Partizione interna orizzontale	Solai
		Soppalchi
		Infissi interni orizzontali
Partizione interna inclinata	Scale interne	
	Rampe interne	
Partizione esterna	Partizione esterna verticale	Elementi di protezione
		Elementi di separazione
	Partizione esterna orizzontale	Balconi e logge
		Passerelle
	Partizione esterna inclinata	Scale esterne
Rampe esterne		

Fig. 2.3. Norma UNI 8290: classificazione del sistema tecnologico dell'organismo edilizio.

Il *metaprogetto dell'organismo edilizio* per la residenza in legno, è organizzato in due sub modelli: il *metaprogetto del sistema ambientale dell'organismo edilizio*, che segue lo stesso schema presentato in precedenza, e il *metaprogetto del sistema tecnologico*, che subisce invece dei cambiamenti.

L'elaborazione del *metaprogetto del sistema tecnologico*, rispecchia la classificazione prevista dalla *Norma UNI 8290 (per le classi di unità tecnologiche, per le unità tecnologiche e per le classi di elementi tecnici)* e tiene conto delle medesime categorie di *requisiti di sicurezza, di benessere e di fruibilità (validi per la destinazione d'uso residenza)*; mentre sono differenti le prestazioni richieste ai nostri elementi tecnici in legno.

Il *metaprogetto di un elemento tecnico in legno*, è finalizzato alla configurazione di un elemento tecnico, che corrisponde anche a un modello

informativa, ma anche modello funzionale poiché risultato dell'analisi di funzioni tecniche ricavate dalle esigenze tecniche. Sicché una volta definiti i requisiti che l'elemento tecnico deve soddisfare, si ricavano svariati modelli funzionali che rispondono con modalità costruttive differenti alle richieste prestazionali poste. Ogni modello funzionale costituisce una soluzione tecnica alternativa, definita anche soluzione tecnica conforme, o alternativa tecnica; che genererà una o più alternative tecniche valide, ossia in grado di soddisfare le richieste prestazionali iniziali.

Gli elementi tecnici in legno progettati devono soddisfare le esigenze espresse in termini di *requisiti di sicurezza*, tra i quali:

- *resistenza meccanica ai carichi statici*, relativamente alla capacità di sostenere il peso proprio, se portata, ed eventuali carichi derivanti dalle parti di fabbrica sovrastanti, se portante;
- *resistenza meccanica ai carichi sospesi*, relativamente alla capacità di sostenere il peso di oggetti attaccati sulla superficie, come gli arredi leggeri;
- *resistenza meccanica ai carichi dinamici*, quali sisma e vento, in modo da mantenere la funzionalità in caso di sisma e di non deformarsi sotto l'azione del vento;
- *resistenza agli urti*, ovvero capacità di mantenere la stabilità nel caso di azione accidentale di corpi contundenti, soprattutto nella parte bassa dell'edificio e all'interno dell'alloggio;
- *resistenza alle deformazioni*, ovvero capacità di mantenere l'integrità e le funzionalità;
- *sicurezza in caso di incendio*, che riguarda l'azione del fuoco, col fine di evitare la propagazione delle fiamme da un piano all'altro dell'edificio e non liberare vapori e gas tossici;

- *resistenza alle intrusioni*, di animali e persone, soprattutto attraverso gli infissi ;
- *sicurezza alle esplosioni*, problema che non riguarda gli edifici a destinazione residenziale, ma industriali;
- *sicurezza al contatto*, che riguarda lo strato superficiale dell'edificio, esposto agli utenti, sia nel pubblico che nel privato¹⁵.

Tra i requisiti di sicurezza quelli che hanno creato maggiori problemi all'utilizzo e alla diffusione dei sistemi costruttivi in legno sono *la sicurezza in caso di sisma* e *la sicurezza in caso d'incendio*. Numerose ricerche sono state fatte, con prove sperimentali per affermare l'ottima resistenza al sisma che possiedono le strutture in legno. Ne è un esempio il progetto *Sofie*, sviluppato dall'istituto IVALSA-CNR; questo ha studiato il comportamento di un edificio di sette piani realizzato in XLAM, posto su pedana vibrante a Kobe, in Giappone, che ha reagito all'azione sismica impressa con deformazioni residue apprezzabili¹⁶. Per quanto riguarda la sicurezza in caso d'incendio, il legno è un materiale combustibile, ma ha un comportamento migliore rispetto alle strutture in acciaio e in cemento armato, perché: il legno brucia lentamente, dall'esterno verso l'interno; non ancora carbonizzato mantiene inalterate le sue caratteristiche meccaniche; la rottura meccanica avviene solo quando la sezione, non ancora carbonizzata, non riesce più ad assolvere la sua funzione portante. Il comportamento al fuoco del legno e delle strutture in legno verrà ampiamente descritto successivamente¹⁷.

Gli elementi tecnici in legno progettati devono soddisfare le esigenze espresse in termini di *requisiti di benessere*¹⁸, tra i quali:

- *tenuta all'acqua*, ovvero capacità dell'elemento tecnico di impedire l'infiltrazione dell'acqua, ottenuta mediante l'ausilio di uno strato realizzato in materiale idrofilo, o di film protettivi, o di opportuni elementi di protezione ;

- *permeabilità all'aria*, ovvero capacità di filtrare l'aria, impedendo una chiusura verso l'esterno che non consentirebbe la giusta ventilazione, realizzata mediante l'utilizzo di un apposito strato di tenuta all'aria;
- *isolamento termico e controllo della condensa superficiale*, ottenuta con un adeguato spessore dell'elemento tecnico, che consente di evitare i fenomeni di condensazione, in modo che si equilibri la differenza di temperatura tra interno ed esterno;
- *controllo della condensazione interstiziale*, ovvero controllo della formazione di condensa in corrispondenza dell'isolamento termico, dove si ha manifesta la differenza di temperatura, da ottenere mediante l'inserimento di uno strato di tenuta al vapore;
- controllo dell'inerzia termica, in relazione alla capacità di trattenere il calore in funzione dello spessore e della massa dell'elemento;
- isolamento acustico, in relazione alla capacità di proteggere gli ambienti interni da rumori, che possono essere trasmessi attraverso l'aria o i solidi, da ottenere mediante opportuno strato di isolante acustico;
- *non rumorosità*, ovvero capacità di non trasmettere i rumori proveniente dagli agenti esterni, quali pioggia e vento, oppure vibrazioni e scricchiolii;
- *assorbimento acustico*, da parte della parete, delle onde che la investono;
- *non emissione di sostanze nocive* che possono sprigionarsi dal materiale.

La *tenuta all'acqua* per elementi tecnici realizzati in legno è molto importante, perché il legno in natura possiede un determinato quantitativo di acqua, sicché, prima di essere utilizzato, deve essere opportunamente essiccato, in modo che il contenuto d'acqua sia minore o uguale al 20%. Un contenuto d'acqua superiore al 20% può innescare, insieme alla temperatura dell'aria tra i 18°C e i 30°C, attacchi biotici nel materiale. Attacchi di funghi, fessurazioni, fenomeni di ritiro e rigonfiamento si possono manifestare in elementi strutturali portanti, elementi di rivestimento per le facciate e telai per finestre, quando sono sottoposti all'effetto delle azioni dirette delle intemperie e del sole, e quando sono posti a contatto diretto o indiretto col terreno. Ulteriori problemi possono essere causati dall'assorbimento di acqua per capillarità, che quando non è in grado di essere smaltita, si accumula generando fessurazioni e fenomeni di ritiro e rigonfiamento¹⁹.

La *permeabilità all'aria* è fondamentale nelle costruzioni in legno, dove i punti più delicati sono rappresentati dall'infisso, dal cassonetto, dall'attacco a terra, dall'attacco in corrispondenza del tetto e dagli impianti. A costruzione ultimata viene eseguito il *blower door test* (test di tenuta all'aria), che permette di misurare l'ermeticità di un edificio dopo aver imposto una determinata differenza di pressione tra interno ed esterno. Il metodo permette di scoprire "le perdite d'aria" dell'involucro edilizio e di valutare il flusso (o tasso) di ricambio dell'aria²⁰.

E' importante l'*isolamento termico* delle strutture in legno, e il controllo della condensa superficiale e interstiziale, perché l'accumulo di acqua può portare a fenomeni di degrado, con formazione di muffa e conseguente perdita delle caratteristiche prestazionali e della funzione strutturale nel caso di elementi portanti. La formazione di condensa negli strati superficiali o interni di pareti, di strutture di copertura, di partizioni interne orizzontali su ambienti non riscaldati, su esterno o controterra, può essere risolta ponendo opportuni strati di barriera al vapore²¹.

L'*inerzia termica* di una struttura consiste nella sua capacità di opporsi al passaggio del flusso di calore, e di assorbirne una quota, senza rilasciarlo in maniera immediata, e contribuendo al contenimento delle oscillazioni della temperatura interna. Una progettazione attenta deve tener conto dell'*inerzia termica* per sfruttare adeguatamente i benefici che essa può apportare in termini sia di comfort che di risparmio energetico. La soluzione tecnica migliore da adottare per una stratigrafia è, quindi, scegliere un sistema dotato contemporaneamente di sufficiente massa e bassa conduttività. Il legno ha una densità di 600 Kg/mc, e una capacità termica di 726 KJ/mc °K.

Per quanto riguarda l'*isolamento acustico*, la cosa essenziale è effettuare una progettazione attenta e un'esecuzione accurata dei giunti. In generale, l'*acustica* applicata all'edilizia distingue il rumore aereo dal rumore da calpestio. Per quanto riguarda i rumori aerei, le onde sonore che si originano vengono condotte attraverso le pareti ed i solai ai locali attigui, e lì cedute in forma di onde aeree; nel caso del calpestio generato dai passi sul pavimento, il rumore viene propagato ai locali sottostanti. Per contenere la trasmissione del suono aereo, i solai e le pareti devono essere insonorizzate; e prestare particolare attenzione a cavetti di aerazione, e per il passaggio di tubi e cavi. Per impedire la formazione del rumore da calpestio devono essere evitati i ponti acustici; per esempio sganciare il pavimento dalla struttura di legno portante riduce la trasmissione del rumore. Nel caso del rumore da calpestio bisogna osservare la seguente regola: tanto più grande è la massa da sollecitare, tanto minore la frequenza propria, e di conseguenza tanto maggiore è la propagazione delle oscillazioni. Se si riesce a limitare il rumore da calpestio, di norma si riesce a limitare anche quello aereo²².

L'impiego di elementi costruttivi base di più recente produzione, quali elementi lineari in legno lamellare, pannelli in XLAM e in microlamellare, prodotti con il supporto di collanti provenienti dall'industria chimica, pone l'attenzione alle sostanze nocive che possono sprigionarsi in caso di esposizione

al fuoco, o a esposizioni prolungate alle alte temperature, e che possono causare gravi danni alla salute degli utenti. A questo proposito è stato vietato l'uso di collanti a base di formaldeide per uso strutturale, perché la formaldeide è un composto chimico nocivo per l'uomo e cancerogeno²³.

Gli elementi tecnici in legno progettati devono soddisfare le esigenze espresse in termini di *requisiti di fruibilità*, in particolare

- *l'attrezzabilità*, ovvero capacità di reggere carichi sospesi all'interno o all'esterno, fino alla possibilità di integrazione con gli elementi dell'edificio.

2.4 Lo stato dell'arte delle costruzioni in legno

Le numerose e straordinarie proprietà della materia prima, unitamente agli sviluppi tecnologici, negli ultimi anni, hanno consentito la trasformazione del legno segato in prodotti derivati, sempre più performanti e idonei in opere d'ingegneria, anche di notevole interesse strutturale, che hanno fatto del legno uno dei primari materiali da costruzione. La consapevolezza dei vantaggi prestazionali offerti dell'utilizzo di questo materiale è da tempo acquisita nella realizzazione di coperture, sia in legno massiccio che in legno lamellare, che affiorano in edifici a carattere industriale, commerciale, e non solo. Parallelamente all'utilizzo del legno per la carpenteria dei tetti, si sviluppa il suo impiego anche per le strutture di elevazione; tutto ciò ha portato alla diffusione sempre maggiore, negli ultimi decenni, di edifici in legno prefabbricati. Gli edifici prefabbricati in legno, con struttura prevalentemente intelaiata, erano limitati alla costruzione di edifici a uno o a due piani, destinati principalmente all'edilizia residenziale. In Italia grande impulso alla costruzione di edifici in legno è derivato dall'introduzione sul mercato, alla fine degli anni Novanta, del

Compensato di tavole, meglio conosciuto come *Cross Laminated Timber* (XLAM)²⁴.

Il sistema costruttivo basato sull'assemblaggio di pareti e impalcati, costituiti di tavole incrociate, ha permesso di concepire la struttura in legno analogamente alla costruzioni con pareti di muratura portante e solai in laterocemento, assimilando il comportamento di queste strutture a quelle realizzate con metodi costruttivi tradizionali consolidati. Lo sviluppo di questo sistema è stato incrementato dalla rapidità di costruzione, consentito dall'elevato grado di prefabbricazione e dall'assenza di getti in cantiere. La fiducia nel materiale legno, confermata dalle sue prestazioni, ha permesso di volgere lo sguardo in alto. Un interesse sempre maggiore, sia nel pubblico che nel privato, ha spinto alla realizzazione di edifici a più piani, superando il pregiudizio sull'impiego del legno in elevazione, valorizzando i tempi di costruzione estremamente brevi, le prestazioni rispetto al sisma, al fuoco, all'isolamento termico e acustico, e soprattutto esaltando le caratteristiche di sostenibilità del materiale.

Nel Nord Europa sono stati realizzati molti edifici alti, a dimostrazione che l'altezza è la nuova frontiera delle costruzioni in legno. Il panorama edilizio del Centro-nord Europa offre già ottimi esempi di edifici multipiano in legno che hanno fatto da stimolo all'omologo settore nazionale, quali la *Casa Montarina* di Lugano, *Murray Groove* a Londra, il complesso residenziale e3 di Berlino, il complesso residenziale di Badernerstrasse di Zurigo, il complesso residenziale di Wagramerstrasse in Austria, la torre Forte Living di Melbourne, di cui si possono leggere le specifiche nelle schede allegate²⁵.

In Italia, in quest'ultimi venti anni, si è assistito a un incremento nell'uso del legno come materiale strutturale, come sottolineato dalle analisi di mercato analizzate; nonostante la crisi che attanaglia il settore delle costruzioni, l'unico trend in aumento è rappresentato dal settore delle case e degli edifici in legno. Un forte impulso alla diffusione del legno come materiale strutturale è stato dato dalla pubblicazione delle *Norme tecniche sulle costruzioni* il 14 Gennaio

2008, note come NTC 2008²⁶, che hanno colmato un grave vuoto legislativo nazionale; al quale si aggiungono gli Annessi tecnici approvati dal Consiglio Nazionale dei Lavori Pubblici per l'applicazione degli Eurocodici 5 e 8²⁷, che costituiscono un ulteriore valido riferimento normativo; e le norme CNR-DT 206/2007²⁸.

Un'ulteriore svolta all'edilizia residenziale italiana è stata data anche dal *Progetto case* realizzato dalla Protezione civile all'Aquila a seguito dell'evento sismico, con un bando a forte connotazione prestazionale²⁹. I sistemi costruttivi utilizzati per la realizzazione delle opere in Abruzzo spaziano dalla tecnologia XLAM a quella a telaio, manifestando che, anche cambiando sistema costruttivo, si possono raggiungere ugualmente elevati *standard* prestazionali. Anche in Italia, la sfida per i progettisti e i costruttori di edifici in legno è il multipiano, perciò insieme a progetti di edifici a due e tre piani, ritroviamo sempre più spesso costruzioni multipiano, quali il complesso residenziale di via Cenni a Milano, il complesso residenziale *Panorama Giustinelli* a Trieste e la palazzina di Arsago Seprio (VA), di cui si possono leggere le specifiche nelle schede allegate³⁰.

Il complesso di Milano è il primo edificio residenziale in legno più alto costruito in Italia e in Europa, ed è il frutto di un progetto di *social housing*. L'utilizzo della soluzione del *Social Housing* si sta affermando per allentare la pressione abitativa nei grandi centri urbani e contemporaneamente affievolire la crisi del comparto edile. Il termine *housing* deriva dall'inglese *to house*, ossia dare alloggio; mentre *social* è legato alla progettazione e realizzazione di edifici per abitazioni, per dare una risposta politica-economica a un'emergenza o necessità sociale³¹. Il *Social Housing* è un segmento di mercato che si interpone tra l'edilizia residenziale pubblica e quella di libero mercato. L'obiettivo è quello di realizzare opere che risultino essere sostenibili, energeticamente performanti, ma al tempo stesso con costi contenuti in quanto destinate a fasce di utenze deboli. In questa ottica i sistemi costruttivi di legno, grazie alla

sostenibilità del materiale, all'alto grado di prefabbricazione, ai ridotti tempi di cantierizzazione, costituiscono una soluzione privilegiata per la realizzazione di tali complessi offrendo opportunità di rinnovo urbano e sociale alle aree urbane.

Un limite allo sviluppo delle costruzioni in legno è rappresentato dalla presenza di documenti normativi, nel panorama legislativo italiano, che limitano l'applicazione delle NTC e che sottopongono gli organismi edilizi con sistemi costruttivi in legno a procedure speciali di approvazione nel caso di edifici multipiano.

Le costruzioni multipiano in legno, considerate le caratteristiche intrinseche del materiale in termini di sostenibilità, leggerezza, resistenza, isolamento e sicurezza in caso di sisma e incendio, costituiranno sempre più una soluzione vincente. Pertanto la crescita del comparto deve essere coadiuvato da: un'armonizzazione normativa, che renda le norme tecniche per le costruzioni il riferimento univoco per i tecnici e i progettisti del settore; un'elevata qualità del costruito da parte delle imprese costruttrici, che non deluda la domanda; progettisti con grande esperienza nel settore delle grandi costruzioni in legno; un contributo costante dal mondo della ricerca, per portare il settore delle costruzioni in legno in Italia a competere a tutto campo con quelli dei paesi europei più avanzati.

Il crescente interesse verso il concetto di sostenibilità in architettura, ha portato alla creazione di una serie di iniziative per favorire la nascita di sistemi di valutazione della sostenibilità energetico-ambientale degli edifici, come a esempio il Protocollo Itaca a scala nazionale, che nei suoi 34 criteri ne contiene uno relativo al concetto di filiera corta, o di architettura a chilometro zero³². Secondo il Protocollo Itaca nazionale, un punteggio maggiore viene assegnato al materiale da finitura che risulta approvvigionato a una distanza massima di 150 chilometri dal cantiere, ponendo la distanza minima per l'assegnazione di un punteggio a 300 chilometri. Lo stesso criterio è già utilizzato in altri settori

come quello agroalimentare, dove il movimento Slow Food ha promosso la cultura del cibo locale attraverso la costituzione di presidi sul territorio; questi non solo rafforzano l'economia locale ma creano momenti di incontro e collaborazione tra chi produce e chi consuma. Questo concetto può essere ripreso e applicato ai legnami locali, in modo da incentivare il concetto di architettura a chilometro zero, dando vita a filiere del legno. Tra i numerosi progetti attivati negli ultimi anni per incentivare l'utilizzo del legno in edilizia, è importante citare il progetto per la valorizzazione del castagno locale per la realizzazione di pannelli XLAM. Altro lavoro importante è stato svolto dalla Regione Toscana, in collaborazione con il CNR-IVALSA, con l'ARSIA e con l'Università di Firenze per la valorizzazione della filiera legno. Nel 2006 in Toscana sono state redatte le *Linee guida per l'architettura sostenibile in Toscana*, che rappresentano un incentivo all'utilizzo del legno in edilizia da parte dei principali soggetti del processo edilizio. Anche altre regioni, come la Sardegna e la Calabria, hanno attivato progetti che mirano allo sviluppo dell'edilizia sostenibile³³. Questi progetti partono dalla caratterizzazione delle proprietà meccaniche del legno locale, per arrivare alla realizzazione di prototipi e alla redazione di linee guida in grado di seguire l'intera fase del processo edilizio, dalla progettazione alla realizzazione dell'opera. Quanto detto sottolinea il crescente interesse all'utilizzo del materiale legno, non ci resta che attendere sviluppi futuri.

Note capitolo 2

¹ Devoto G., Oli G. C., *Dizionario della lingua italiana*, Le Monnier, Firenze 1982.

² si veda per ulteriori approfondimenti: Campolongo A., *L'ambiente costruito, la regola e il progetto*, Editoriale Bios, Cosenza 1996. Il testo costituisce costante riferimento nello sviluppo degli argomenti trattati nel presente capitolo.

- ³ Mandolesi E., *Edilizia*, Torino, UTET 1978.
- ⁴ si veda La Magna G., Annaratone A., *Vocabolario greco-italiano*, Signorelli, Milano 1967.
- ⁵ Campolongo A., 1996, op. cit.
- ⁶ Campolongo A., *Argomenti di architettura-tecnica*, Centro editoriale e librario, Università della Calabria, Rende 2002, "Collana di Ingegneria Edile e Architettura", vol.5.
- ⁷ Campolongo A., 1996, op. cit.
- ⁸ si veda per approfondimenti: Margani L., *Edilizia, industria, metodologia*, IDAU Università degli studi, Catania 1979. Campolongo A., 1996, op. cit. Campolongo A., 2002, op. cit.
- ⁹ Arlati E., *Modellazione digitale: l'identità contemporanea del progetto di architettura e ingegneria*, <<Costruzioni metalliche>>, Luglio-Agosto, 2013.
- ¹⁰ si veda per approfondimenti: <http://www.bimjournal.com/testimonials/>.
- ¹¹ Zambelli E., *Sistema edilizio residenziale. Industrializzazione per sottosistemi: procedure e concetti di prodotto*, Franco Angeli Editore, Milano 1981.
- ¹² Campolongo A., 2002, op. cit.
- ¹³ Maggi P. N., *Metodi e strumenti di progettazione edilizia*, CLUP, Milano 1984.
- ¹⁴ UNI 8290-1 - Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia; UNI 8290-2 - Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti; UNI 8290-3 - Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi degli agenti; UNI 8290/1 FA 122-83 Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia.
- ¹⁵ Campolongo A., 2002, op. cit.
- ¹⁶ si veda per approfondimenti <http://www.ivalsa.cnr.it/sofie.html>.
- ¹⁷ Caciolai M., Ponticelli L., *Resistenza al fuoco delle costruzioni*, De Angelis C. (a cura di), CNVVF (Corpo Nazionale Vigili del Fuoco), UTET Scienze tecniche, Milano 2008, "Sicurezza e prevenzione antincendio".
- ¹⁸ Campolongo A., 2002, op. cit.
- ¹⁹ Piazza M., Tomasi R., Modena R., *Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*, Hoepli, Milano, 2005.
- ²⁰ AAVV, *Forum Legno Edilizia. Costruzioni in legno: qualità-base per la durabilità, umidità, riqualificazione, benessere*, Atti del 5° Forum Internazionale dell'edilizia in legno, Villa Quaranta, Verona 11 marzo 2016, forum-holzbau, Biel/Bienne 2016.
- ²¹ AAVV., *Forum. Legno. Edilizia*, op. cit.
- ²² Piazza M., Tomasi R., Modena R., op. cit.
- ²³ La formaldeide, o aldeide formica, è un gas incolore dall'odore pungente, altamente solubile in acqua. Il suo nome deriva dall'acido formico, veleno urticante prodotto dalle formiche. La formaldeide in soluzione acquosa è nota col nome di formalina, spesso utilizzata e commercializzata nella sua versione tamponata (a esempio con fosfato) e stabilizzata con metanolo (per inibire la polimerizzazione della formaldeide). Le principali fonti espositive per la popolazione generale sono i processi di combustione (scarico dei veicoli, centrali elettriche, inceneritori, stufe), il fumo di sigaretta, vernici e coloranti, cosmetici, cibi affumicati o fritti.
- ²⁴ Bernasconi A., *Il materiale XLAM. Caratteristiche e prestazioni*, Corso di approfondimento su *Edifici di legno* Promo-legno, Promolegno, Milano 2013.

²⁵ si veda appendice capitolo 2.

²⁶ NTC ossia il D. M. 14 gennaio 2008, Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni, Gazzetta Ufficiale 4 febbraio 2008 n.29.

²⁷ UNI EN 1995-1-2 Eurocodice 5, *Progettazione delle strutture di legno, Parte 1-2, Regole generali, progettazione strutturale contro l'incendio*; UNI EN 1995-1-2 Eurocodice 5, *Progettazione delle strutture di legno, Parte 1-2, Regole generali, progettazione strutturale contro l'incendio*; UNI ENV 1998-1 Eurocodice 8, *Progettazione delle strutture per la resistenza sismica, Parte 1, Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici*.

²⁸ CNR-DT 206/2007 *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il controllo delle strutture di legno*, Revisione 7 ottobre 2008.

²⁹ Gardino. P., *Il mercato delle case in legno nel 2010. Analisi del mercato e previsioni fino al 2015*, Promo-legno, Milano 2011.

³⁰ si veda appendice capitolo 2.

³¹ http://www.internews.biz/old/editoriale/SCENARI_IMMObILIARI-SINTESI_STAMPA.pdf

³² http://www.itaca.org/valutazione_sostenibilita.asp.

³³ AAVV, *Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana*, Edizioni Regione Toscana, s.l. 2009.

Appendice capitolo 2

Schede di edifici residenziali multipiano

Sommario:

- SCHEDA n. 1: *Casa Montarina*, Lugano;
- SCHEDA n. 2: *Murray Groove*, Londra;
- SCHEDA n. 3: Complesso residenziale e3, Berlino;
- SCHEDA n. 4: Complesso residenziale di Badernerstrasse, Zurigo;
- SCHEDA n. 5: Complesso residenziale di Wagramerstrasse, Austria;
- SCHEDA n. 6: Torre Forte Living, Melbourne;
- SCHEDA n. 7: Complesso residenziale in via Cenni, Milano;
- SCHEDA n. 8: Palazzina di Arsago Seprio, Varese;
- SCHEDA n. 9: Complesso residenziale *Panorama Giustinelli*, Trieste.

Le schede sono state elaborate in modo da mettere in evidenza i dati tecnici di alcuni edifici multipiano per residenza, attraverso una breve descrizione del progetto e un sintetico repertorio di disegni e di immagini.

I disegni e le immagini mostrano piante, prospetti, sezioni, viste prospettiche, assonometrie, dettagli costruttivi e foto del cantiere.

SCHEDA n. 1

Casa Montarina, Lugano

Casa Montarina è situata su un pendio della Valle del Tassino nel centro di Lugano. La palazzina di 4 appartamenti, è concepita come sovrapposizione di case unifamiliari con accesso posizionato sul livello intermedio nella parte posteriore. Gli appartamenti del tipo du-triplex sono traversanti nella direzione est e ovest, con accesso indipendente, e organizzati su mezzi livelli; due hanno accesso al giardino e due alla terrazza. Ampie finestre a tutta altezza permettono la vista verso il cielo e verso la valle. I locali abitativi sono disposti attorno agli spazi di servizio.

La struttura portante è intelaiata in legno e poggia su uno zoccolo in cemento. Le pareti parallele alle curve di livello sono le pareti portanti, tutte le pareti perpendicolare sono controventanti. La costruzione risponde agli standard di risparmio energetico grazie alla scelta di materiali *Minirgie Eco*.

Siti internet:

<http://www.promolegno.com>

www.feldersteiger.ch

DATI PROGETTO

Sito

Lugano, Svizzera

Anno di costruzione

Marzo 2008

Committente

Mimi Lepori Bonetti, Lorenzo Felder

Progettista

Arch. Lorenzo Ferlder

Strutturista

Studio Borlini & Zanini SPA

Struttura in legno

Laube SA, Biasca

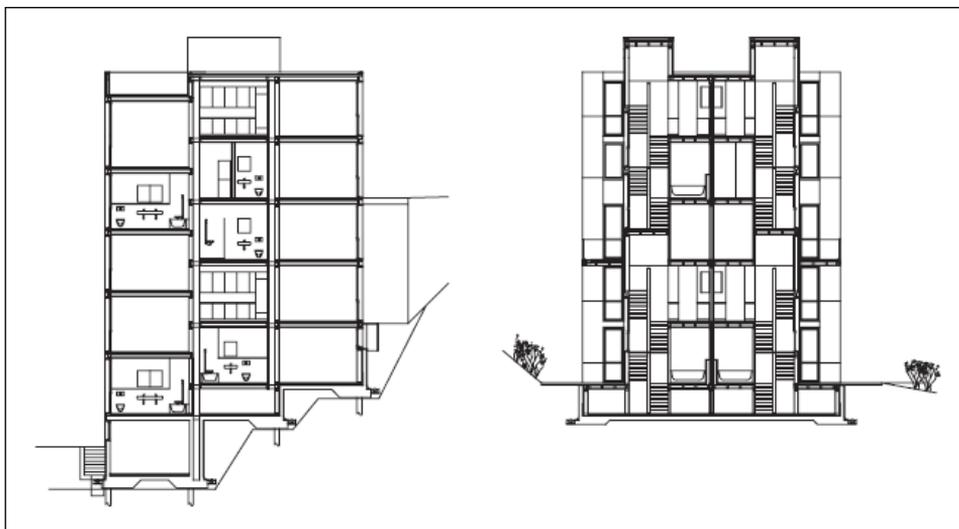
Sistema costruttivo

Telaio in legno

Numero piani

6 (4 appartamenti)

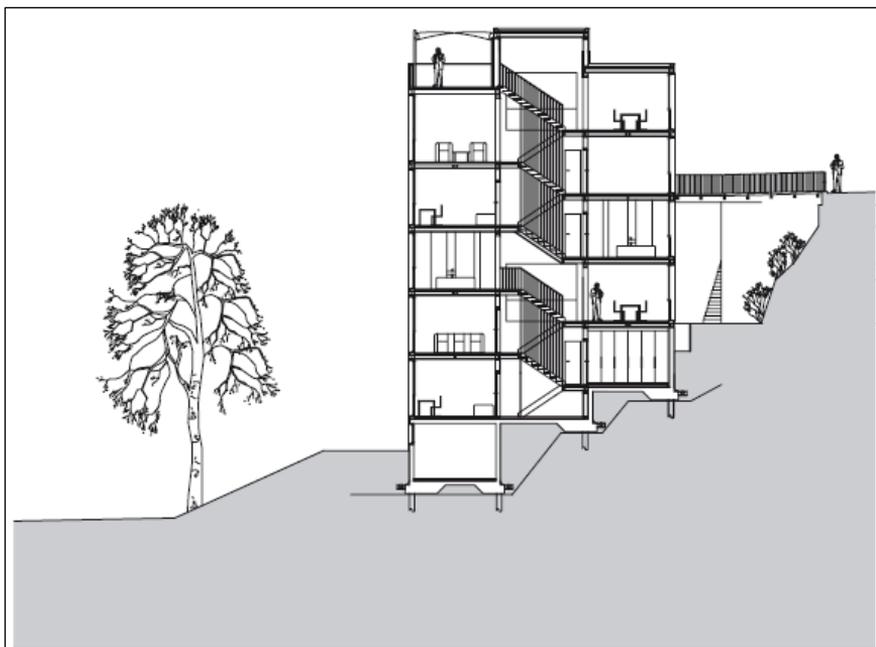
Sezioni.



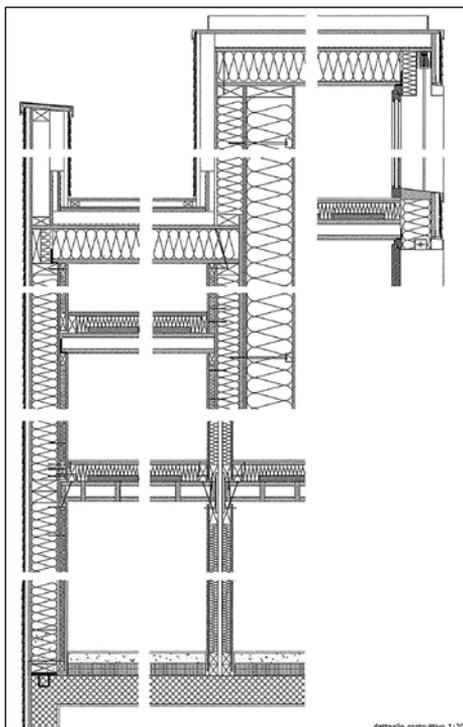


Piante, vista d'insieme e particolare del prospetto.

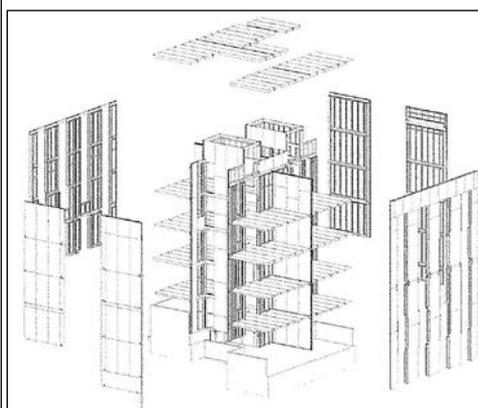




Sezioni, particolare costruttivo, esploso assometrico.



dettaglio costruttivo 1:20



SCHEDA n. 2

Murray Groove, Londra

L'edificio, noto come *Stadthaus*, ha 9 piani di altezza; è stato edificato in nove settimane, definendo il motto "9 storeys in 9 weeks". E' composto da 29 appartamenti, diviso in due sezioni, indipendenti, accessibili e serviti. I livelli 4-8 sono di proprietà privata, e il livello 4 segna il cambiamento nel *layout* del pavimento e dei prospetti esterni.

L'edificio è stato realizzato utilizzando un sistema strutturale unico introdotta da KLH in Austria, utilizzando le strisce di legno incollate tra loro (con adesivi senza formaldeide) in strati perpendicolari per formare dei pannelli. Con questo sistema si ottiene un'edilizia sostenibile, poiché il CLT abbassa l'energia utilizzata nella costruzione, riduce la perdita di calore durante l'occupazione, migliorando isolamento ed ermeticità, ed è anche molto facile da demolire e riciclare a fine vita. Gli infissi esterni e interni sono stati montati in anticipo per impermeabilizzare l'edificio. Anche la facciata, ispirata al lavoro degli artisti Gerhard Richter e Marcus Harvey, impiega il legno.

DATI PROGETTO

Sito

Londra, UK

Anno di costruzione

2009

Committente

Telford Homes PLC e Metropolitan

Progettista

Waugh Thistleton Architects, London/ UK

Strutturista

Techniker

Struttura in legno

KLH UK

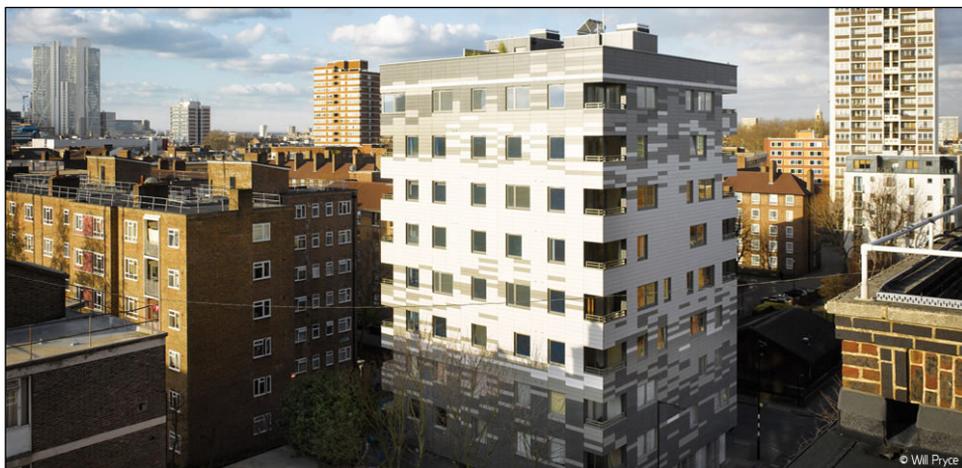
Sistema costruttivo

XLAM

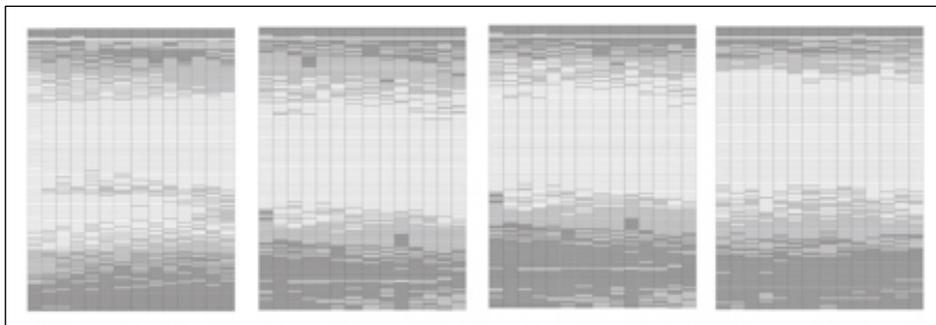
Numero piani

9 (29 appartamenti)

Vista nel contesto urbano.



La facciata è stata progettata registrando il gioco di luci e ombre dato dagli edifici e dagli alberi circostanti, creando un modello ricavato da un'animazione dell'andamento solare. L'immagine risultante è stata computerizzata e adattata alla struttura dell'edificio. Il rivestimento esterno derivante è costituito da oltre 5.000 pannelli attraverso in tre tonalità: bianco, grigio e nero. I pannelli da 1.200 × 230 mm sono stati prodotti dalla Eternit e sono costituiti al 70% da legno riciclato.

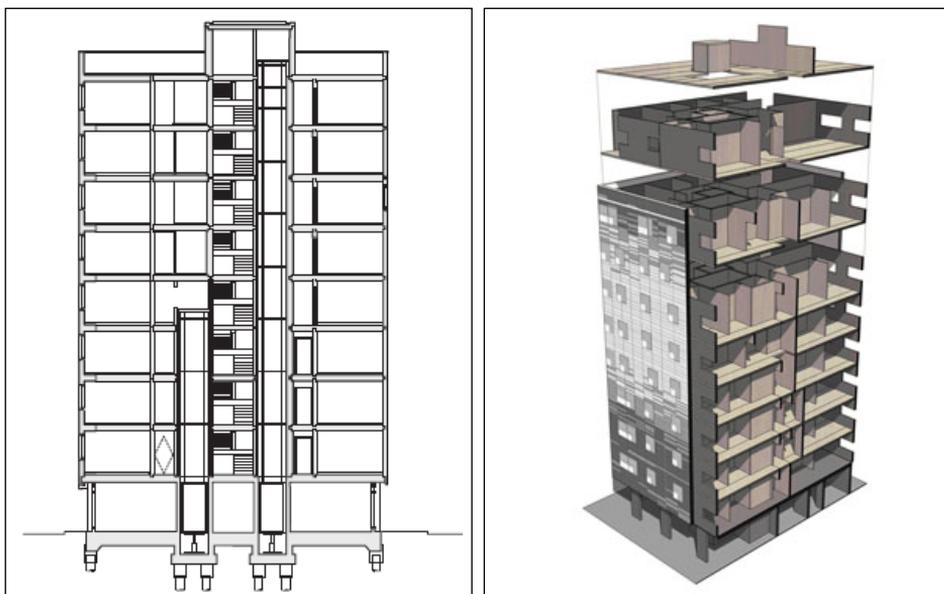


Particolari della colorazione dei prospetti e dei pannelli dei prospetti.

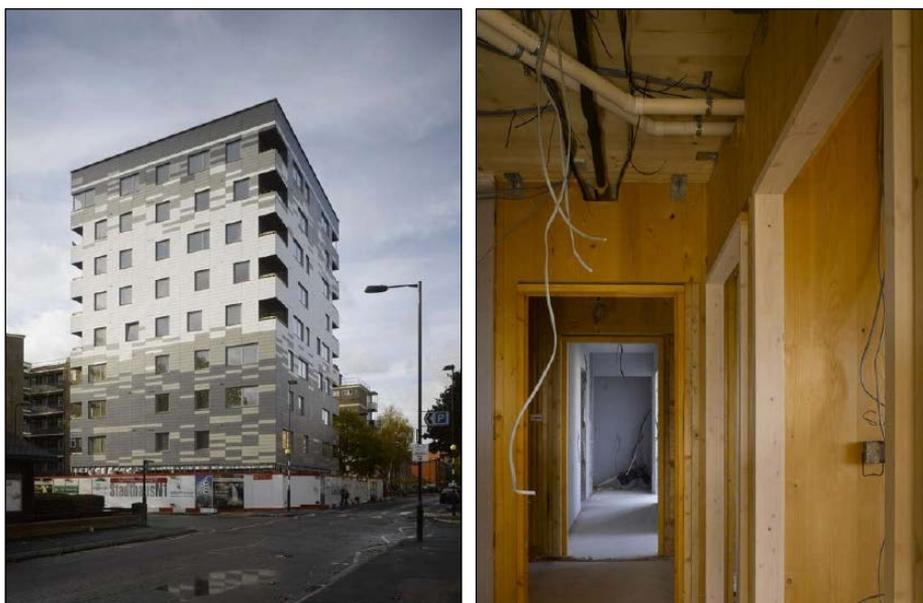


Piante.



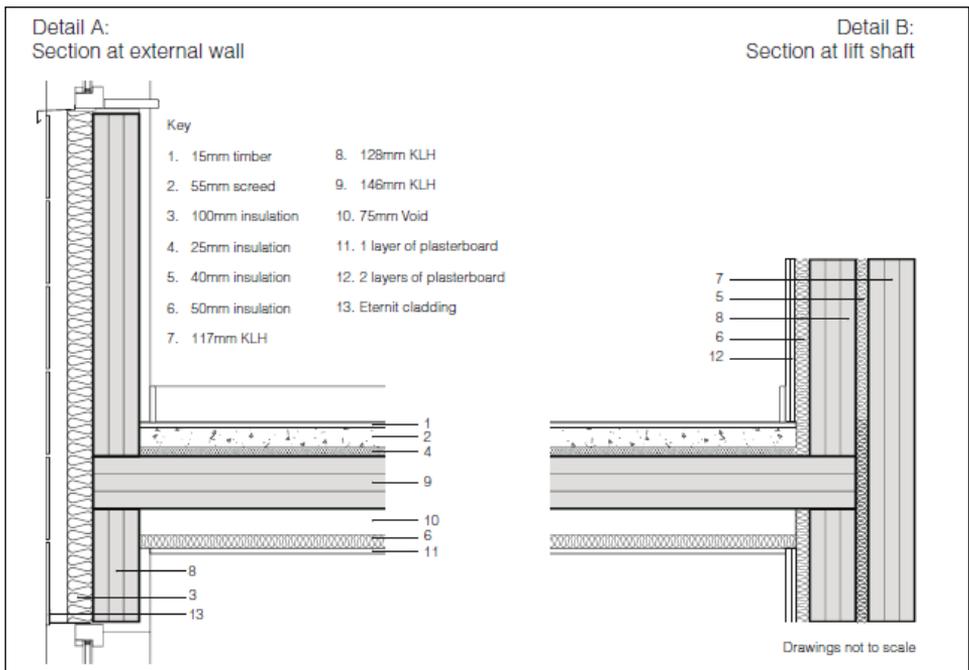


Sezione, esploso assometrico e immagine del cantiere.





Immagini del cantiere e dettagli costruttivi.



SCHEDA n. 3

Complesso residenziale E3, Berlino

Il Complesso residenziale E3, sulla Esmarchstrasse a Berlino, è vincitore del premio Deutschen Holz 2008, e si contraddistingue per la flessibilità del taglio degli alloggi, il contenimento dei consumi energetici e per il superamento delle limitazioni imposte dalla normativa antincendio. La struttura portante dell'edificio è a telaio con tamponature in legno; la chiusura superiore e i solai sono realizzati con sistema misto legno-cemento; le partizioni interne verticali sono in moduli ignifughi; le facciate in legno sono rivestite con intonaco e la protezione dai raggi solari degli infissi avviene mediante un sistema di lamelle in legno.

Siti internet:

<http://www.kaden.klingbeil.de>

<http://www.natterer-bcn.com>

<http://www.promolegno.com>

DATI PROGETTO

Sito

Berlino, Germania

Anno di costruzione

2007-2008

Committente

Baugruppe E3 GBR, Berlino

Progettista

Kaden-Klingbeil Architekten

Strutturista

Natterer J., Linse T.

Struttura in legno

Projekt Holzbau,
Merkle.k.o.m.GmbH

Sistema costruttivo

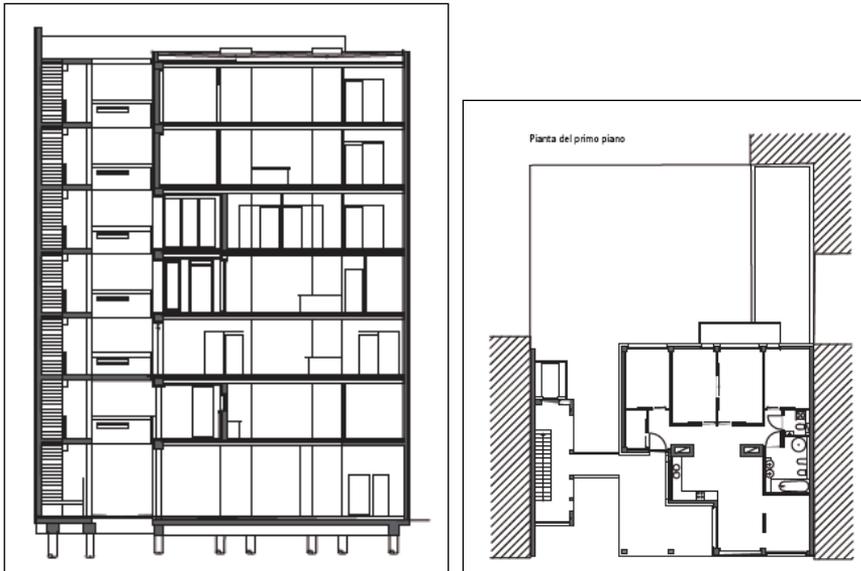
Edificio a telaio con
tamponature in legno
massiccio

Numero piani

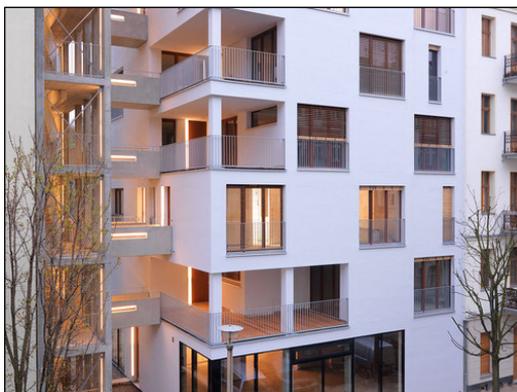
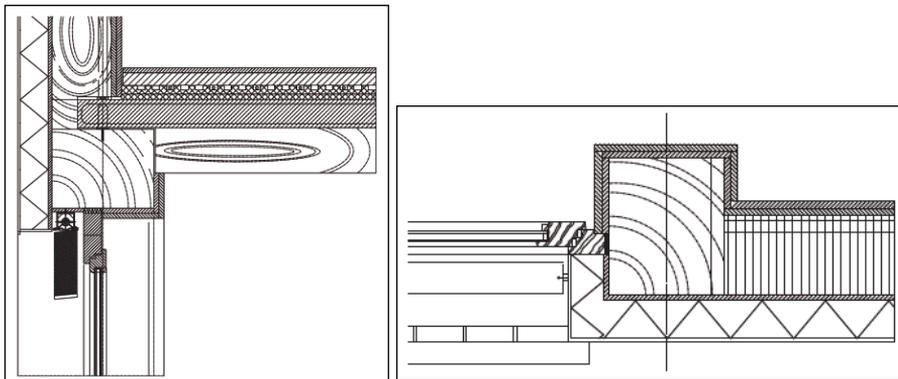
7

Vista nel contesto urbano.





Pianta del primo piano, sezione e dettagli costruttivi.



SCHEDA n. 4

Complesso residenziale Badernerstrasse, Zurigo

L'edificio residenziale-commerciale, a Zurigo sulla Badernerstrasse 380, realizza il primo edificio cittadino che risponde alla cosiddetta *Società 2.000 Watt*, ovvero ridurre gradualmente il proprio consumo di energia per giungere a un massimo di 2.000 watt a persona. Il volume di edificazione con le sue sei case incastrate l'una nell'altra è modellato dal punto di vista volumetrico, ripartito verso l'alto orizzontalmente tramite incastri, e verticalmente ripiegato su se stesso dallo spazio della strada. L'architettura tiene conto delle esigenze di isolamento acustico, dell'illuminazione degli alloggi e dello sfruttamento di tutta la profondità dei lotti.

Vista nel contesto urbano.



DATI PROGETTO

Sito
Badernerstrasse 380, Zurigo

Anno di costruzione
2010

Committente
Baugenossenschaft Zurlinden

Progettista
pool Architekten

Strutturista
Hermann Blumer; SJB
Kempter Fitze AG (legno);
Henauer Gugler AG

Struttura in legno
Zimmereigenossenschaft
Zürich

Sistema costruttivo
Statica: cemento/ legno
Murature: sistema ligneo
TopWall

Numero piani
4-6

Si utilizza per la prima volta l'innovativo sistema *TopWal* di Hermann Blumer; si tratta di un sistema a parete costituito da assi verticali standard di legno di abete rosso, con una sezione di 200 x 100 mm, estratti a due a due dal cuore del tronco in sezione trasversale e inseriti direttamente nella costruzione. Una sorta di costruzione a maglia (*Strickbau*) ma verticale; si evitano gli assestamenti tipici delle costruzioni a maglia, visto l'orientamento. Gli elementi non sono collegati in fabbrica a formare delle pareti, come di solito avviene nelle costruzioni in legno, ma montati in cantiere, fissandoli con perni di faggio (con un diametro di 20 mm) nei fori realizzati appositamente nelle travi, poste a pavimento e a soffitto. Il rivestimento esterno è realizzato con un profilato estruso in fibra di cemento, sviluppato appositamente per il progetto.

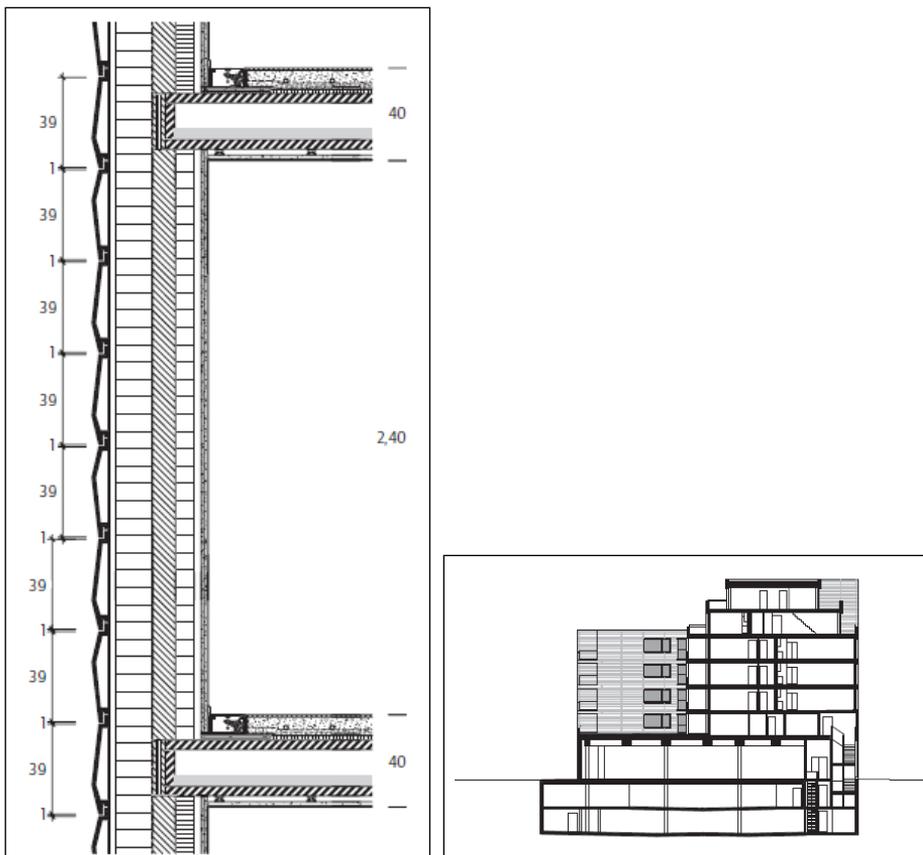
Siti internet:

<http://www.promolegno.com>

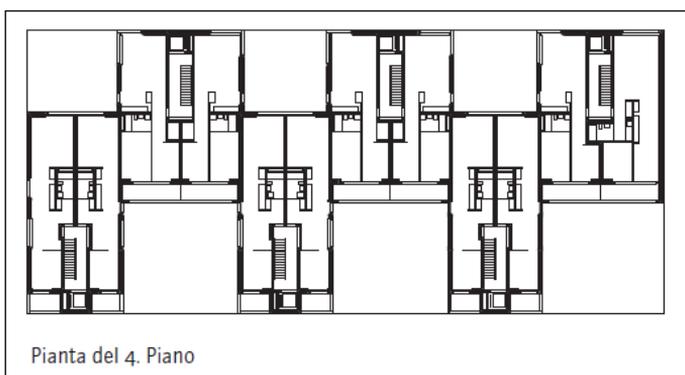


Vista e dettaglio del prospetto.





Dettaglio costruttivo, sezione e pianta del quarto piano sezione.



SCHEDA n. 5

Complesso residenziale di Wagramerstrasse, Austria

Il complesso residenziale della Wagramer Strasse, nel distretto viennese di Donaustadt, è a oggi la più alta struttura abitativa in Austria realizzata in legno. L'edificio comprende 101 appartamenti, è stato realizzato a seguito del bando di concorso "Holzbau in der Stadt" (costruzioni in legno in città) istituito nel 2009 dalla municipalità di Vienna. Il complesso è costituito da un corpo a sette piani (Lotto A, Studio Schluder) e da tre edifici più bassi, ognuno a tre piani (Lotto B, Studio Hagmüller). La struttura del piano terra è in cemento armato, su di essa sono stati costruiti i sei piani in XLAM; per le partizioni interne orizzontali sono stati utilizzati elementi composti in legno-cemento.

Siti internet:

<http://www.promolegno.com>

<http://www.binderholz.com/it/soluzioni-edili/edilizia-residenziale/edilizia-residenziale-di-wagramer-strasse-vienna-austria/>



Foto.



DATI PROGETTO

Sito

Vienna, Austria

Anno di costruzione

2013

Committente

Familie, Gemeinnützige Wohn- e Siedlungsgenossenschaft

Progettista

Arch. Hagmülle (lotto A)
Arch. Schluder (lotto B)

Strutturista

RWT Plus ZT GmbH, Vienna

Struttura in legno

Aichinger Hoch-, Tief- und
Holzbau
GmbH & Co Nfg GK, Regau
(A)

Sistema costruttivo

XLAM (Lotto A e B)

Numero piani

Lotta A - 8 (71 appartamenti)
Lotto B - 3 (30 appartamenti)

Lotto A. Immagini del cantiere.



Lotto B. Piante, sezioni, esploso assometrico, rendering e immagini.



Lotto B. Immagini del cantiere.



SCHEDA n. 6

Torre residenziale Forté Living, Melbourne

La torre residenziale, parte integrante dello sviluppo del nuovo quartiere di Victoria Harbour, con i suoi 32 metri di altezza completati in poco meno di un anno, ha confermato ancora una volta le grandi potenzialità del sistema costruttivo in XLAM. *Forté Tower* rappresenta il primo edificio residenziale multipiano in legno in Australia. Situato sulla passeggiata di Melbourne lunga 2,5 km, il nuovo complesso residenziale ha inoltre un collegamento diretto con la rete di trasporto pubblico e di una buona offerta di negozi. L'obiettivo di *Forté Living* è di raggiungere la certificazione australiana *5 Star Green Star* applicando numerose altre accorgimenti per la massima efficienza energetica dell'edificio, come il recupero delle acque piovane, il verde pensile, il risparmio elettrico e un involucro ad alte prestazioni. La struttura portante è realizzata con pannelli XLAM.

DATI PROGETTO

Sito
Melbourne, Australia

Anno di costruzione
2012

Progettista e Strutturista
Lend Lease (Millers Point, AU)

Struttura in legno
KLH UK Ltd. (London, GB) -
KLH Massivholz GmbH

Sistema costruttivo
Costruzione massiccia di
legno con pannelli XLAM

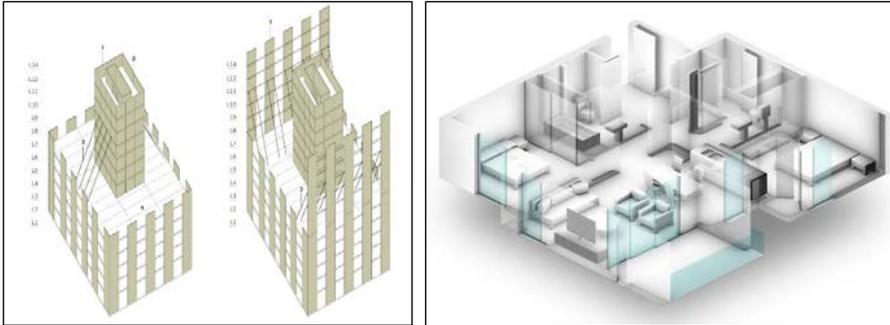
Numero piani
10 (23 appartamenti)

Siti internet:

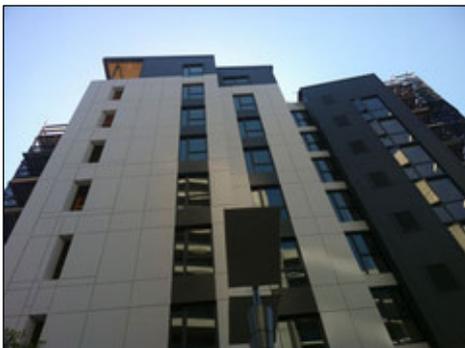
<http://www.promolegno.com>

Vista nel contesto urbano.





Rendering, immagini del cantiere e prospetto.



SCHEDA n. 7

Complesso residenziale in Via Cenni, Milano

Il complesso residenziale si sviluppa in via Cenni a Milano su un'area complessiva di 17.000 metri quadrati, su progetto dell'architetto Fabrizio Rossi Prodi. Il complesso è il primo edificio residenziale in legno più alto costruito in Italia e in Europa, ed è il frutto di un progetto di *social housing*. Realizzato interamente in legno strutturale, è costituito da 4 torri di 9 piani, utilizzando il sistema costruttivo a pannelli portanti in legno a strati incrociati, compreso vano scala ed ascensore. Il legno è stato scelto per motivi di carattere ecologico-ambientale, per garantire elevate prestazioni in termini di sicurezza strutturale, di comfort abitativo e per ottenere un edificio in classe energetica A. La flessibilità proposta nella distribuzione degli spazi interni dell'alloggio, garantita dal sistema costruttivo, consente una personalizzazione dell'ambiente della casa secondo una modalità partecipata.

Siti internet:

<http://www.cennidicambiamento.it>

<http://www.promolegno.com>

DATI PROGETTO

Sito

Via Cenni, Milano, Italia

Anno di costruzione

Marzo 2013

Soggetto attuatore

Polaris Investment sgr SpA

Progettista

Arch. Rossi Prodi F.

Strutturista

Studio Borlini & Zanini SA:

Ing. Prof. Bernasconi A.

Struttura in legno

StoraEnso - Makhholz

Sistema costruttivo

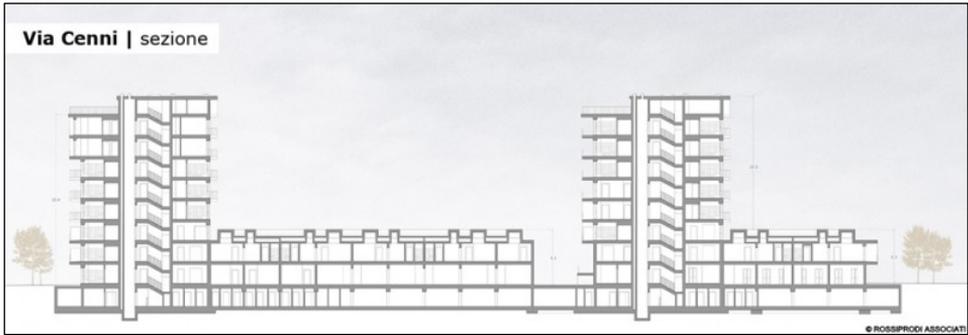
XLAM

Numero piani

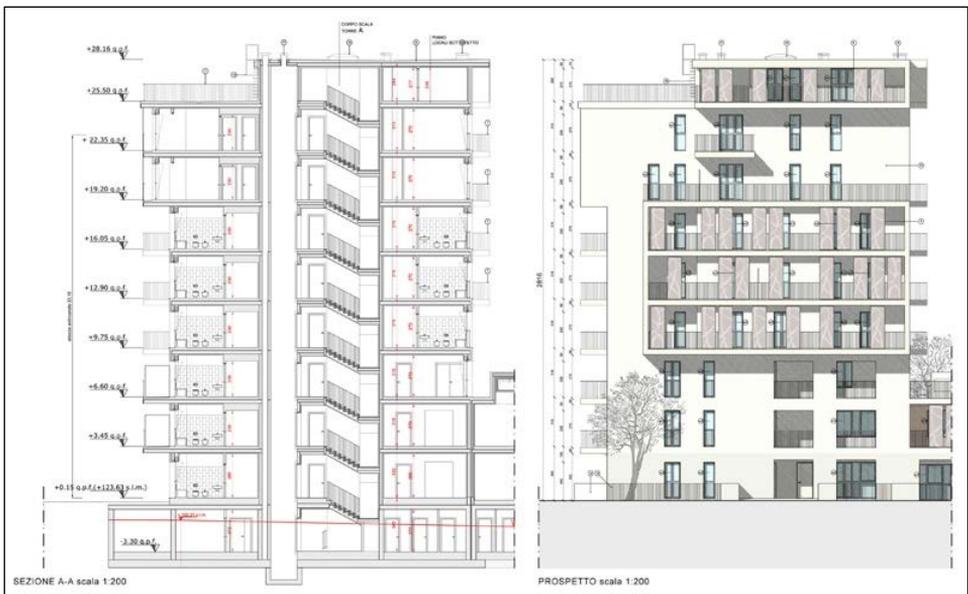
4 edifici di 9 (123 appartamenti)

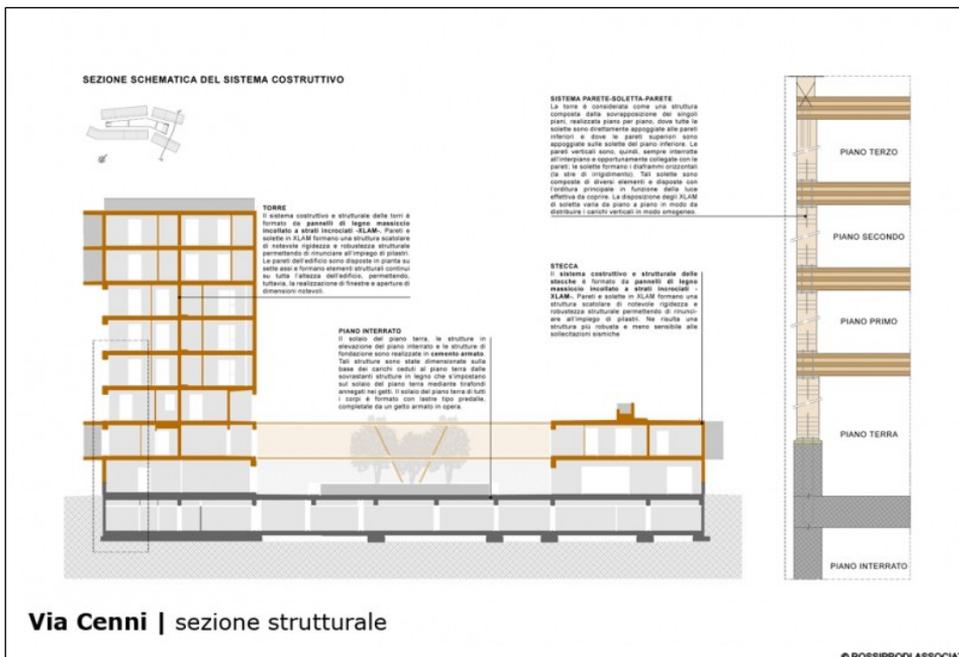
Vista d'insieme.



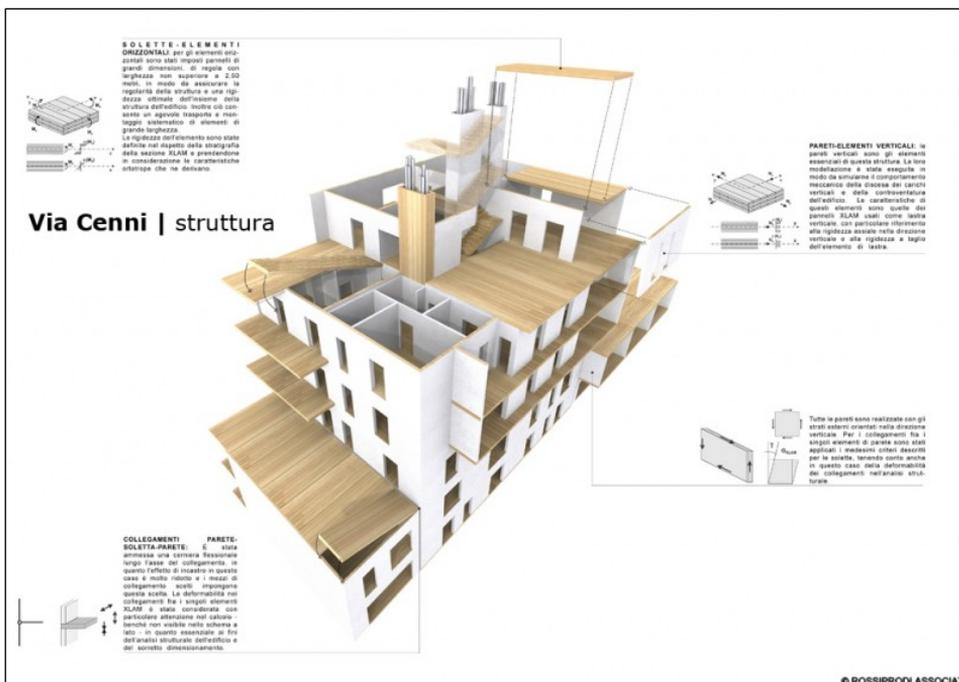


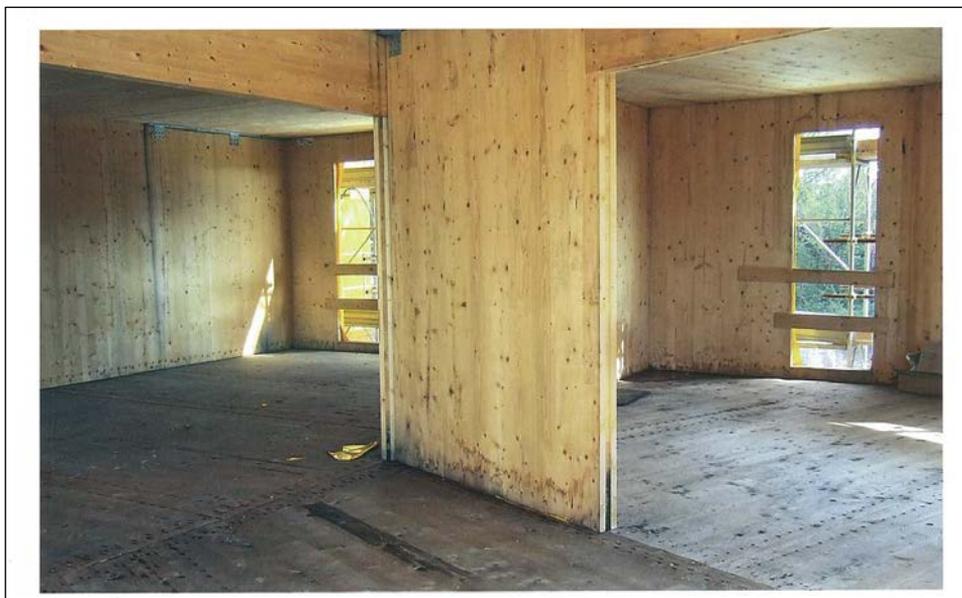
Sezioni e prospetti.



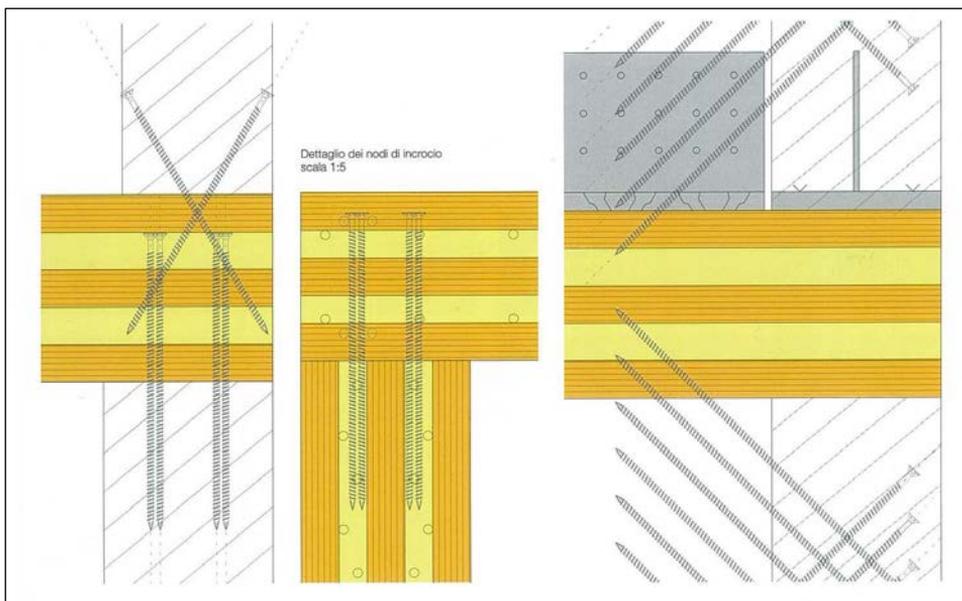


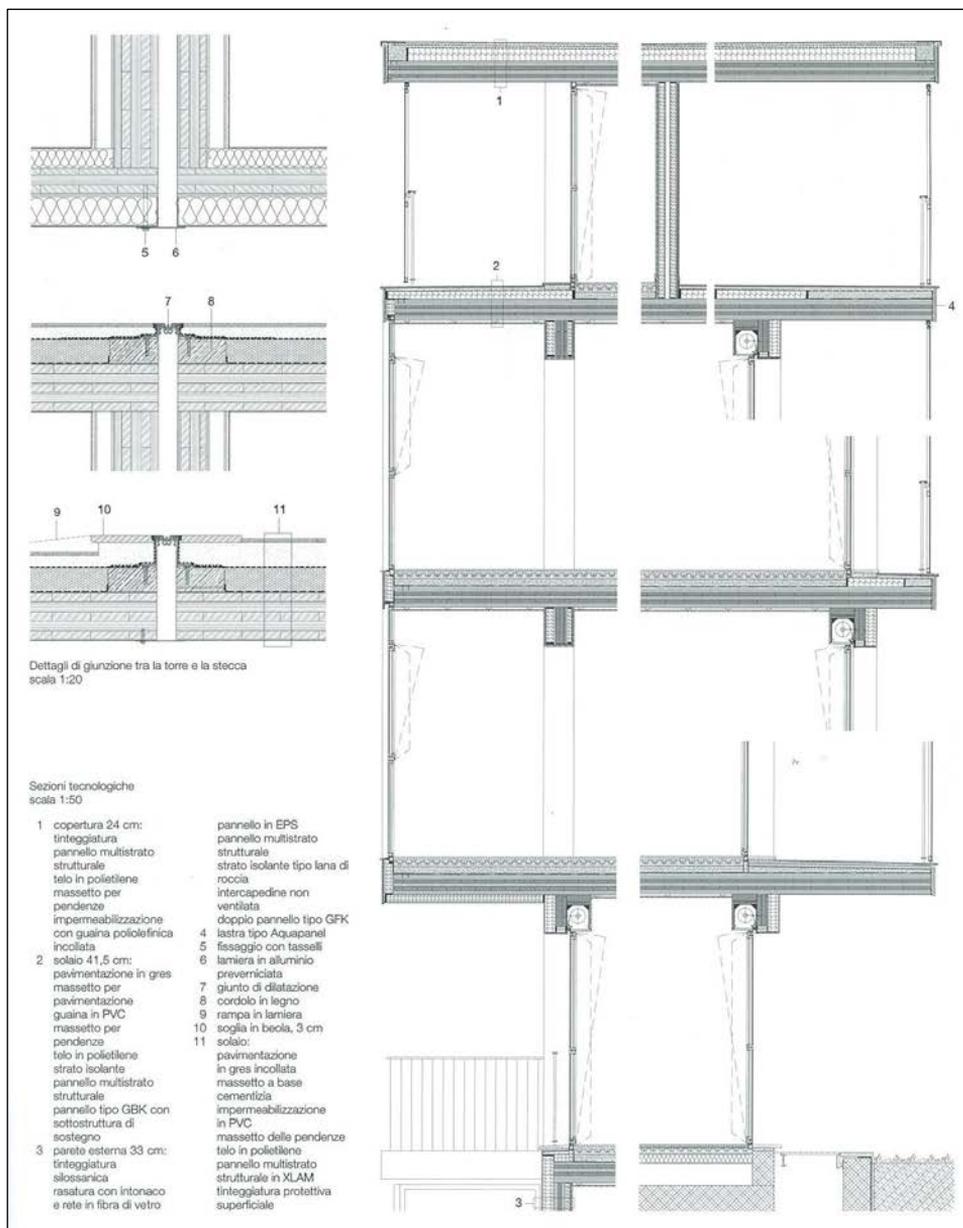
Sezione schematica del sistema costruttivo e spaccato assonometrico della struttura.





Immagini del cantiere e dettagli costruttivi.





Dettagli costruttivi.

SCHEDA n. 8

Palazzina di Arsago Seprio, Varese

La palazzina multipiano in legno composta da sei appartamenti è stata costruita ad Arsago Seprio (Varese) e, utilizzando la tecnologia dei pannelli XLAM, la costruzione della struttura si è sviluppata in un tempo brevissimo: un solo mese di lavoro. L'obiettivo del progetto di realizzare un complesso abitativo in cui l'efficienza energetica si abbinasse a un'altissima qualità dell'ambiente interno e, al contempo, registrasse il più elevato rispetto per l'ambiente esterno. L'obiettivo si è concretizzato grazie all'attenta progettazione e alla collaborazione tra progettista architettonico, progettista strutturale, progettista termotecnico e aziende costruttrici. La struttura necessita di soli 3 kW di fabbisogno per ogni alloggio. La struttura portante è realizzata con pannelli XLAM a 5 strati incrociati, le partizioni interne verticali sono costituite da pareti in cartongesso. Per la struttura di copertura e le partizioni interne orizzontali sono stati usati pannelli XLAM con travi in lamellare; il manto di copertura è realizzato con lamiera in zinco. Adeguati sistemi *rockwool* sono stati usati per l'isolamento e per le facciate.

DATI PROGETTO

Sito
Arsago Seprio, Varese

Anno di costruzione
2014

Committente
Ing. Giorgio Montagnoli

Progettista
Studio Architettura Vanoni -
Induno Olona (VA) - Arch.
Alessandro e Giovanni Vanoni

Strutturista
Studio Deda (FI) - Ing.
Maurizio Follesa e Ing. Davide
Vassallo

Struttura in legno
Montagnoli Evio Srl

Sistema costruttivo
XLAM

Numero piani
3 (6 appartamenti)

Vista nel contesto.





Vista nel contesto e dettaglio del balcone.



Siti internet:

<http://www.montagnolievio.it/>

<http://www.promolegno.com>

SCHEDA n. 9

Complesso residenziale Panorama Giustinelli, Trieste

Il complesso abitativo “Panorama Giustinelli”, sorge a Trieste, in una zona esclusiva della città, vicino al porto, con accesso alle unità immobiliari attraverso un ampio atrio centrale da Via dei Giustinelli. Il progetto prevede il mantenimento dell'antica facciata principale di un antico palazzo in via Giustinelli, dietro la quale è stato creato un complesso architettonico multipiano, interamente costruito in legno lamellare, che risponde ai più elevati standard di risparmio energetico, eco-compatibilità e della qualità con il raggiungimento della certificazione CasaClimaA+. L'edificio, composto da due fabbricati, si presenta a pianta pressoché rettangolare con strutture di copertura differenti, quella del fabbricato A riprende il tipo preesistente a due falde, inserendo in sommità una terrazza praticabile; quella del fabbricato B si presenta curvilinea con una porzione orizzontale per l'alloggiamento di un impianto minieolico. Le coperture sono entrambe in legno lamellare a vista e il manto di copertura è realizzato con laminato in rame.



Il prospetto lato mare è caratterizzato da ampie terrazze che ne consentono la vivibilità e movimentano la facciata creando un'onda.

La finitura delle pareti è composta internamente da lastre in cartongesso mentre esternamente presenta finiture diverse che vanno dalla facciata ristrutturata esistente,

DATI PROGETTO

Sito
via dei Giustinelli, Trieste

Anno di costruzione
2014

Committente
Epoca srl

Progettista
arch. Luciano Lazzari (Ts),
arch. Alessandro Fassi (To),
Epoca S.r.l.

Progetto energetico
Arch. Alessandro Fassi, ing.
Mauro De Col, consulente
CasaClima (BI)

Progetto strutture in c.a.
Ing. Iztok Smotlak (Ts)

Progetto strutture in legno
Ing. Stefano Boranga, Ing.
Stefano Canal, BDL Progetti
(BI)

*Impianti di riscaldamento -
Impianti tecnologici:*
P. I. Andrea Disnan (Ts)

Struttura in legno
Rubner Holzbau S.p.A

Sistema costruttivo
Blockbau

Numero piani
6

alla finitura con pannelli di vetro della parete ventilata e ai rivestimenti in pietra per le zone di ingresso verso l'esterno.

Gli edifici presentano cinque piani interrati realizzati completamente in calcestruzzo armato in struttura scatolare irrigidita con una quota di posa delle fondazioni pari a circa -13.00m rispetto la quota di riferimento dell'architettonico. Il corpo scatolare interrato, costituito da setti, pilastri e solette monolitiche in c.a., realizza di fatto la struttura di fondazione per gli edifici in elevazione.

Per quanto concerne la struttura lignea, la struttura portante principale per i carichi verticali è formata da telai travi-pilastrì in legno lamellare di classe GL28c che sostengono i solai di piano di classe GL24c e la copertura. Le partizioni interne orizzontali sono costituiti da travi sdraiate in legno lamellare che garantiscono un'opportuna rigidità nel piano e trasferiscono le forze orizzontali ai nuclei controventanti posti centralmente ai due edifici e costituiti dai vani scale-ascensore realizzati in calcestruzzo armato. Gli edifici *A* e *B* sono divisi tra di loro da un giunto sismico in modo da evitare durante l'evento sismico l'effetto di martellamento.



Siti internet:

<http://www.haus.rubner.com/>

<http://www.promolegno.com>

CAPITOLO 3

Il sistema tecnologico degli edifici in legno

3.1 Il sistema tecnologico

L'approccio progettuale di tipo prestazionale cerca di superare il riferimento a sistemi tipologici consolidati, e ricerca i fattori che condizionano e definiscono il *tipo edilizio*. Il *tipo edilizio* fa riferimento a un oggetto costruito, nel quale forma, funzione e costruzione concorrono alla configurazione complessiva dell'edificio, ossia della sua architettura. I fattori di definizione del *tipo edilizio* si possono riassumere in due gruppi:

1. *i fattori funzionali e formali alla scala dell'edificio;*
2. *i fattori tecnologico-costruttivi¹.*

I fattori funzionali e formali alla scala dell'edificio si possono raggruppare a loro volta in quattro classi:

- *fattori relativi alla modalità di fruizione dello spazio*, che riguardano la costruzione di un modello virtuale definito metaprogetto, in particolare quello relativo al sistema ambientale, viene sviluppato analizzando le attività che l'utenza svolge all'interno dello spazio abitativo, e che porta a definire lo spazio alloggio. Il modello prodotto è del tipo informazionale importante sia per l'idea progettuale che per la definizione del tipo edilizio;
- *fattori legati all'uso del suolo a scopi edilizi*, che riguardano il rapporto tra organismo edilizio e contesto urbano in cui l'organismo è inserito. Le caratteristiche formali e strutturali dell'edificio derivano dalla pianificazione urbana e dalla redazione del piano, e sono basate su

fattori geometrici relativi: alla forma e alla dimensione del lotto, al rapporto lotto-quartiere; alla superficie coperta, alla superficie utile, all'altezza del fabbricato; al volume dell'edificio, al rapporto volume edificio lotto; al rapporto tra pubblico e privato, ossia destinati al pubblico ma di pertinenza dell'organismo edilizio. Tali fattori si collocano nella fase programmatica del processo edilizio;

- *fattori fisico-ambientali*, che riguardano condizioni legate: alla situazione planimetrica e altimetrica del lotto edificabile, alla situazione geologica, all'esposizione del lotto (al vento e al sole), alla sistemazione climatica e ambientale (neve);
- *fattori formali-espressivi-simbolici*, che guidano il procedimento iterativo che porta all'ideazione dell'edificio nella sua architettura, espressione non solo della tecnica costruttiva, ma di contenuti simbolici e ideali, come l'articolazione della forma e lo spazio fruitivo di sua pertinenza.

I fattori tecnologico-costruttivi sono legati al rapporto tra sistema ambientale e sistema tecnologico, poiché l'articolazione formale-spaziale dell'edificio, ossia dell'architettura, connota la scelta della tecnica costruttiva. Enrico Mandolesi ci fornisce una sintesi dei principi costruttivi fondamentali dell'organismo edilizio, validi a prescindere dalla loro evoluzione nel tempo, che configurano la costruzione della sua essenza fisica:

- *il principio del trilito o dell'architrave;*
- *il principio del telaio;*
- *il principio dell'arco;*
- *il principio del triangolo;*
- *il principio del cavo;*
- *il principio del fungo;*

- *il principio pneumatico* ².

La struttura dell'edificio in funzione dell'impostazione planimetrica principale si distingue in *edifici a planimetria puntiforme*, definiti dalle tracce di elementi verticali monodimensionali, la cui sezione trasversale effettiva ha una sua forma e dimensione; e in *edifici a planimetria lineare*, definita dalle tracce di elementi verticali bidimensionali, di determinate misure; ne segue che le planimetrie che si originano da entrambi i tipi possono seguire due schemi, uno in cui gli interessi coincidono con l'asse dell'elemento strutturale, l'altro basato alle luci nette fra gli elementi strutturali.

La struttura dell'edificio in funzione dell'impostazione spaziale tridimensionale, ossia all'impostazione spaziale della struttura delle costruzioni, unitamente agli elementi portanti di completamento, assume la configurazione geometrica complessiva:

- *a involucro globale;*
- *a involucro scatolare.*

Il principio dell'involucro globale si riferisce a tutti quei procedimenti costruttivi che realizzano forme, capaci di racchiudere e coprire lo spazio senza soluzioni di continuità, e che non determinano una differenziazione tra chiusura verticale e chiusura orizzontale (es. la piramide). I procedimenti in questo caso possono essere: a conci, a guscio, a cesto, a pallone, a tenda e a capanna.

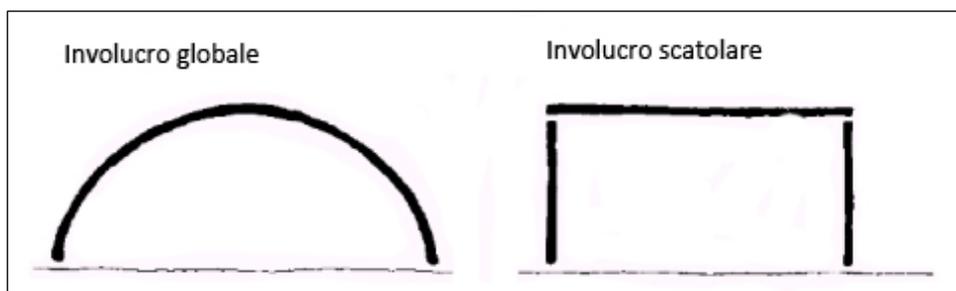


Fig. 3.1. Schemi della configurazione geometrica degli edifici.

Il principio dell'involucro scatolare riguarda i principi costruttivi per definire uno spazio costruito mediante chiusure verticali e chiusure orizzontali che portano alla realizzazione di forme prismatiche, il cosiddetto involucro scatolare³.

In tal modo ai fini della stabilità è possibile fare una differenziazione tra gli elementi verticali e quelli orizzontali. Quelli verticali costituiscono gli elementi costruttivi portanti principali e sopportano le azioni trasmesse dagli orizzontamenti, mentre gli elementi orizzontali sono portati, in quanto sorretti dai principali e portanti secondari, e sopportano oltre al peso proprio anche carichi permanenti e accidentali. L'involucro scatolare può essere basato sia sul principio dell'architrave, sia sul principio del telaio; da ciò si generano organismi a struttura continua e organismi a struttura intelaiata.

Il procedimento a struttura continua è tipico degli organismi edilizi realizzati in muratura portante (a conci o di getto) e solaio piano, solai in legno o in ferro e tavelloni, o solai laterocementizi o in cemento armato. La stabilità dell'insieme è assicurata da una tessitura in senso longitudinale e trasversale dei setti, nonché dalla compartecipazione o meno dei solai⁴.

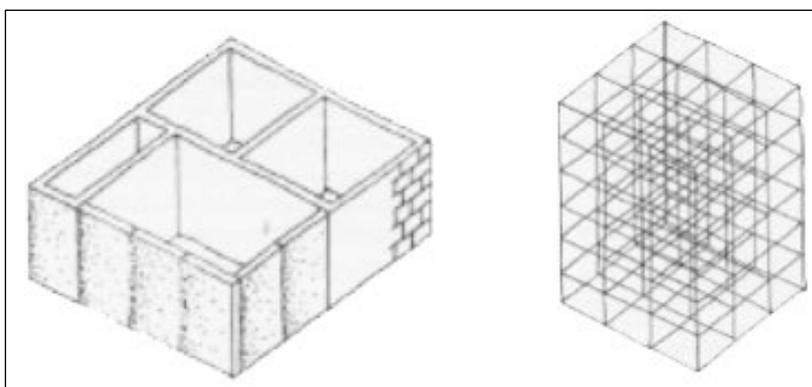


Fig. 3.2. Schemi di edifici a struttura continua e intelaiata.

Uno spazio costruito può essere definito da un semplice ordito tridimensionale di elementi lineari.

Il procedimento a struttura intelaiata è tipico degli organismi edilizi che si basano sulla realizzazione di uno scheletro che garantisce la sicurezza statica dell'insieme (composizione di telai a livello tridimensionale) e sopporta solai piani (elementi portanti secondari, compartecipanti o meno alla stabilità dell'insieme a seconda del vincolo con gli elementi dello scheletro).

Le chiusure verticali e le partizioni interne verticali hanno solo la funzione di delimitare e classificare lo spazio, nonché di assicurare il comfort ambientale.⁵

3.2 I sistemi a struttura intelaiata

Il telaio è un tipo di struttura formato da elementi lineari con spiccate proprietà elastiche, collegati tra loro tramite vincoli più o meno rigidi (da incastri a cerniere). Nella configurazione più semplice il telaio è costituito da due piedritti (o montanti) e da un orizzontamento (traverso)⁶.

Il telaio semplice è un elemento strutturale costituito da due ritti e da un traverso rigidamente connesso a questi, definito portale. L'aggregazione di telai semplici porta a strutture più complesse, costituite da una orditura di travi e pilastri disposta secondo più piani paralleli (telai piani) o pluridirezionata nello spazio (telai spaziali). Nella realtà i telai sono strutture iperstatiche e tridimensionali. Il sistema costruttivo a telaio trasmette i carichi verticali al terreno in modo puntiforme, cioè in punti prestabiliti attraverso i pilastri, che offrono libertà nella composizione architettonica, garantendo alleggerimento del manufatto e trasparenza del volume edilizio.

L'aspetto strutturale complessivo dello scheletro portante è caratterizzato da membrature orizzontali, definite travi, e da membrature verticali, dette pilastri, che definiscono l'intelaiatura.

Una struttura intelaiata è costituita da una successione di telai piani paralleli e collegati nel verso della profondità dell'edificio, formati da una serie di pilastri allineati e connessi ai vari livelli dalle travi. Da quanto detto scaturisce la configurazione geometrica di tipo scatolare con planimetria puntiforme. Il comportamento strutturale delle varie membrature sotto l'azione dei carichi si può assumere simile a quello della trave, e per la sua risoluzione si fa riferimento al solido di De St. Venant soggetto a sforzo normale, flessione, taglio e torsione.

I reticoli strutturali sono riconducibili a tre schemi principali: *a maglia rettangolare*, con travi portanti posti nella direzione di minor lunghezza; *a maglie triangolari*, nei quali i pilastri sono disposti in modo sfalsato da una fila all'altra; *a maglie quadrate*, con travi portanti in entrambe le direzioni, in modo da consentire l'orditura alternata dei solai e migliorare la resistenza al sisma della costruzione.

Fondamentale per la configurazione dell'architettura e dell'organizzazione degli ambiti che compongono lo spazio interno dell'edificio è il rapporto tra il reticolo strutturale e l'articolazione del sistema ambientale dell'organismo edilizio.

La configurazione geometrica di tipo scatolare si completa con la chiusura superiore e le pareti perimetrali, proprio in relazione alla posizione dei pilastri rispetto alle pareti perimetrali si possono avere pilastri: arretrati, accostati alla parete dall'interno, accostati alla parete dall'esterno, integrati alla parete e infine avanzati.

Le strutture a telaio sono state classificate da Mario Losasso rispetto alle tipologie strutturali in:

- *telai a portali*, costituiti da due retti e un trasverso adeguatamente connessi, utilizzati in particolare per edifici a destinazione d'uso industriale e/o commerciale;

- *telai a trama larga*, con interasse tra le pilastrate di 5-6 metri e impalcati in direzione trasversale;
- *telai a trama stretta* con interasse tra le pilastrate di 1,5-2 metri e impalcati con direzione trasversale;
- *telai perimetrali con nucleo di irrigidimento interno*, costituiti da pareti di taglio sistemati come irrigidimento solo in alcune pilastre oppure come nuclei autonomi;

rispetto ai modelli funzionali si distinguono in :

- telai in materiale continuo con collegamenti continui o articolati:
 - telai a nodi rigidi;
 - telai a nodi aricolati;
 - telai con pareti di taglio;
 - telai con nuclei irrigidenti;
- telai in materiale continuo con completamento strutturale.

rispetto alle alternative tecniche in :

- strutture in cemento armato:
 - con getto in opera;
 - prefabbricate;
 - semiprefabbricate;
- strutture in acciaio:
 - in carpenteria metallica;
 - con sistemi industrializzati;
- strutture in legno⁷.

Le strutture in legno possono essere classificate in base a differenti criteri, pertanto, se consideriamo la struttura delle pareti, si distinguono in costruzioni in legno di tipo leggero e costruzioni in legno di tipo massiccio, che generano rispettivamente due sistemi costruttivi: intelaiato e massiccio.

Le costruzioni in legno di tipo leggero appartengono al sistema costruttivo intelaiato, caratterizzato nella stratigrafia funzionale dalla coincidenza nel piano dello strato resistente e dello strato di isolante; mentre le costruzioni in legno di tipo massiccio appartengono al sistema costruttivo a parete portante, e presenta lo strato portante e lo strato di isolante in piani differenti.

La distribuzione dei carichi avviene nelle costruzioni di tipo leggero attraverso elementi portanti di tipo lineare rivestiti con idonee pannellature; mentre nelle costruzioni di tipo massiccio attraverso elementi di tipo piano di grandi dimensioni⁸.

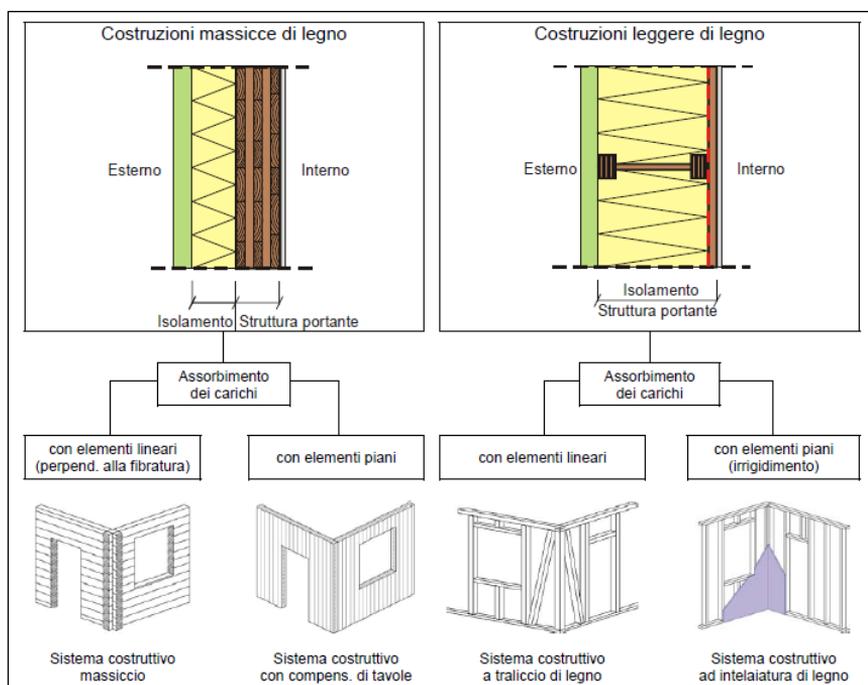


Fig. 3.3. Sistemi costruttivi per edifici in legno.

Per le strutture intelaiate si analizzeranno i seguenti sistemi costruttivi: a ossatura portante, a traliccio e intelaiato; mentre per le strutture a parete portante si analizzeranno il sistema: massiccio, a pacchetto di tavole e Xlam.

Sistema costruttivo a ossatura portante indipendente

Il sistema costruttivo a ossatura portante, ovvero a scheletro portante, di legno appartiene alle costruzioni in legno di tipo leggero, e rappresenta insieme alla costruzioni massicce classiche, uno dei primi metodi costruttivi per la realizzazione di edifici in legno. La tecnica costruttiva tradizionale, utilizzata prevalentemente nel periodo neolitico per costruire palafitte, consisteva nell'interrare pali verticalmente, collegati orizzontalmente uno con l'altro mediante traversi, completata con intrecci e argilla a formare le pareti perimetrali.

Le costruzioni a ossatura portante di tipo moderno sono state introdotte dalla fine degli anni '60 per lo più in Europa, e dall'inizio degli anni '80 in Giappone. Il materiale utilizzato è legno di conifera, sia per la costruzione di edifici a uso residenziale che non, con altezza compresa fra uno e quattro piani.

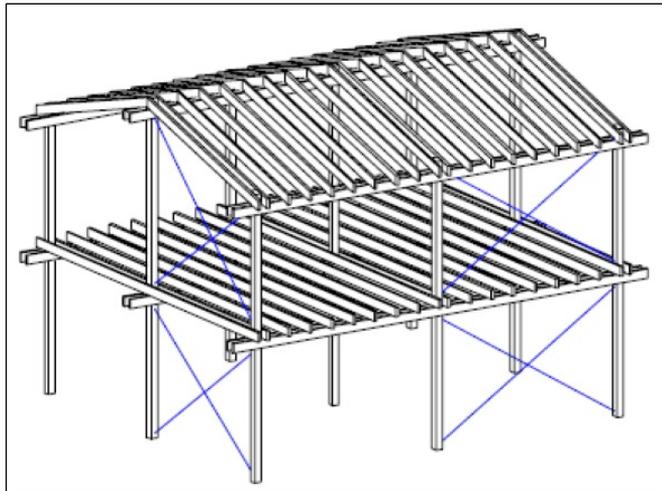


Fig. 3.4. Schema di sistema intelaiato a ossatura indipendente.

Inizialmente lo scheletro portante è costituito da traversi e montanti realizzati con legno massiccio, opportunamente lavorato e sagomato; successivamente

con l'avvento del legno incollato, gli elementi portanti si realizzano in lamellare, capace di offrire vantaggi sia dal punto di vista statico che prestazionale.

La struttura portante principale è completata con elementi secondari, quali travi e puntoni (anche tavoloni, nel caso di piccole luci), oppure elementi di tipo piano di legno, compensato di tavole (anche pannelli a base di legno, per piccole luci), con funzione di controventamento. La maggior parte di edifici a ossatura portante è realizzata seguendo un reticolo orizzontale, e spesso anche uno verticale, che definiscono la posizione dei pilastri, e conseguentemente gli interassi; ovvero la lunghezza delle travi nella direzione principale e in quella secondaria, fino a guidare l'organizzazione formale dei prospetti e la distribuzione degli spazi interni.

Il reticolo viene fissato in relazione alla funzione delle unità ambientali, alle dimensioni dell'edificio, agli ambiti spaziali interni, alla configurazione planimetrica, sfruttando i vantaggi di maggiore flessibilità e libertà organizzativa consentita dall'utilizzo del legno lamellare, che ci permette di aumentare le dimensioni del reticolo in pianta poiché si serve di elementi portanti posti a interasse maggiore. Le dimensioni del reticolo più frequenti per costruzioni a ossatura portante sono 120x120, 120x360, 125x125, 360x360, 480x480 cm, ne consegue che gli interassi delle travi principali e secondarie sono multipli delle dimensioni del reticolo. Solitamente l'interasse delle travi principali varia dai 3 m agli 8 m, in funzione dei carichi che agiscono sulla partizione interna orizzontale; nel caso di edifici a destinazione residenziale e commerciale, le travi principali hanno solitamente una luce di 5 m⁹.

I collegamenti fra gli elementi che compongono il reticolo, definiti nodi, si realizzano mediante giunzioni, che dal punto di vista statico hanno il compito di trasmettere le sollecitazioni; pertanto la configurazione dei nodi nelle costruzioni a ossatura portante genera sistemi a colonna passante o sistemi a trave passante. Nel primo caso il pilastro è continuo e il sistema di travi si

interrompe in corrispondenza dei nodi; nel secondo caso è la trave a essere continua, mentre il telaio si interrompe.

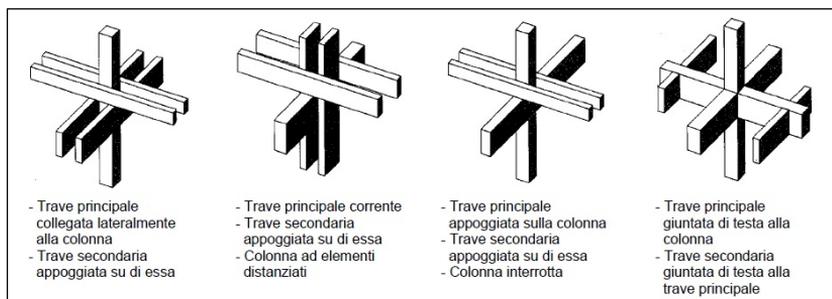


Fig. 3.5. Realizzazione dei nodi nelle costruzioni a ossatura portante di legno.

La struttura portante è completata con pareti perimetrali e partizioni interne verticali che non hanno funzione portante, ma solo di irrigidimento; pertanto possono essere realizzate con tecniche costruttive e materiali differenti, dalle murature al vetro, dagli elementi intelaiati in legno agli elementi di compensato di tavole.

Nelle strutture a ossatura portante di legno i carichi vengono assorbiti da elementi strutturali di tipo lineare, a differenza delle strutture intelaiate, e possono rimanere a vista oppure essere inglobati nella stratigrafia della parete perimetrale, indipendentemente dagli elementi di tamponamento, in relazione all'organizzazione formale dei prospetti.

Le fondazioni, in funzione del terreno su cui insistono, possono essere realizzate a platea, a travi rovesce oppure a plinti isolati; e la struttura di copertura, seguendo lo schema portante e geometrico della pianta, può essere realizzata a una o più falde, con pendenza che varia in relazione alla zona geografica di riferimento.

Sistema costruttivo a traliccio

Il sistema costruttivo *a traliccio* appartiene alle costruzioni in legno di tipo leggero, realizzato con legno di conifere o materiale reperibile in funzione della zona geografica di appartenenza, e si sviluppa prevalentemente nei paesi dell'Europa dell'est e centrale, Inghilterra, Germania settentrionale, Danimarca e Olanda. Questo sistema costruttivo si sviluppa, in contrapposizione al sistema costruttivo massiccio, per il minore quantitativo di legname da utilizzare, permettendo così l'utilizzo del legno, come materiale da costruzione, anche nei paesi con limitata possibilità di trasporto per l'approvvigionamento.



Fig. 3.6. Cortina edilizia connotata da struttura a traliccio.

Nel sistema a traliccio gli elementi portanti hanno sezioni di grandi dimensioni e di forma quadrata o rettangolare, disposti a interassi minori, in modo da consentire la costruzione di edifici a uno o più piani. Dal punto di vista statico per migliorare la distribuzione dei carichi si mantiene costante la posizione degli elementi portanti per tutti i piani, avanzando nella costruzione di piano in piano, in modo da realizzare il miglior ammorsamento possibile tra i vari elementi strutturali. Sul piano architettonico, il sistema a traliccio offre

maggior libertà nell'organizzazione del sistema distributivo delle unità ambientali, inoltre è possibile leggere sui prospetti le caratteristiche giaciture dei tralicci che generano interessanti effetti formali, poiché, in questo tipo di costruzione spesso si lascia a vista la struttura portante, determinando una trama che connota il tipo edilizio; solo in pochi casi il traliccio viene coperto da un opportuno strato di rivestimento esterno.

Il sistema costruttivo a traliccio è formato: da elementi portanti verticali, i montanti, a cui vengono incastrate o collegate meccanicamente le travi; da elementi diagonali, che hanno il compito di stabilizzare la struttura poiché assolvono la funzione statica di controventamento. Al sistema così organizzato vengono collegate a incastro, tra un piano e l'altro, degli elementi perpendicolari alla facciata, che hanno il compito di contribuire all'indipendenza statica tra i diversi piani. Gli elementi portanti presentano, dopo il montaggio, dei vuoti tra un elemento e l'altro, che vengono riempiti con materiali differenti, a seconda della zona in cui si costruisce l'edificio, variando da mattoni, intonacati e non, a misto di limo e legno. I collegamenti tra i vari elementi portanti avvengono mediante giunti a contatto, ossia semplice incastro o sovrapposizione, col compito di trasmettere i carichi verticali¹⁰.

La struttura di copertura viene realizzata, mediante l'ausilio della stessa struttura a traliccio, a doppia falda o a singola falda, con inclinazione variabile in relazione alla zona geografica. La struttura di fondazione viene sopraelevata rispetto alla quota del terreno, mediante l'ausilio di uno zoccolo in muratura, per evitare il contatto diretto del terreno e del materiale, scongiurando così il pericolo di infradiciatura delle travi.

Le strutture intelaiate a traliccio, oltre a garantire un notevole risparmio di materiale, presentano altri vantaggi legati alla facilità e alla rapidità di esecuzione e montaggio in cantiere. Inoltre le innovative metodologie per l'essiccazione del materiale, e le nuove macchine a controllo numerico, rendono il sistema più competitivo rispetto alle altre tecniche costruttive in legno, per la

realizzazione dei collegamenti, che sono economicamente più vantaggiosi, rispetto all'utilizzo di giunzioni meccaniche realizzate con piastre.

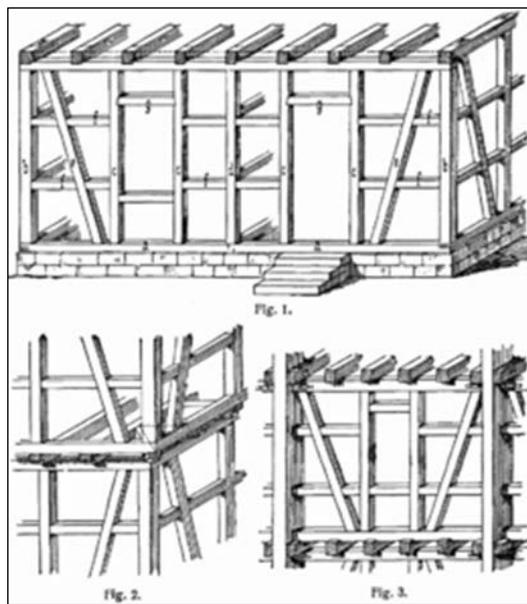


Fig. 3.7. Schema di struttura a traliccio.

Sistema costruttivo a intelaiatura tamponata

Le strutture intelaiate in legno fanno parte delle costruzioni di tipo leggero; il nome di queste strutture deriva dall'inglese *"timber frame"*, ossia telaio di legno, e sono impiegate per la costruzione di edifici mono e multipiano. La struttura è costituita da un'ossatura portante con montanti di legno, prevalentemente di legno di conifera essiccato artificialmente, disposti a distanza piuttosto ravvicinata, da cui deriva appunto il "telaio di legno", rivestito con idonea pannellatura fissata mediante giunzioni meccaniche; il sistema così configurato assume il comportamento a lastra. Dal punto di vista statico le costruzioni intelaiate si comportano come sistema costruttivo a lastra, poiché gli elementi portanti non sono separati dagli elementi di tamponamento

che in questo caso hanno funzione di irrigidimento; a differenza delle strutture a traliccio e a ossatura portante nel quale i carichi sono assorbiti da elementi di tipo lineare¹¹.



Fig. 3.8. Esempio di edificio con struttura intelaiata tamponata.

Gli edifici a struttura intelaiata di legno vengono costruiti normalmente piano per piano, definiti anche *“platform frame”*, oppure con elementi di altezza pari a più piani, tecnica nota come *“balloon frame”*, utilizzata soprattutto in America.

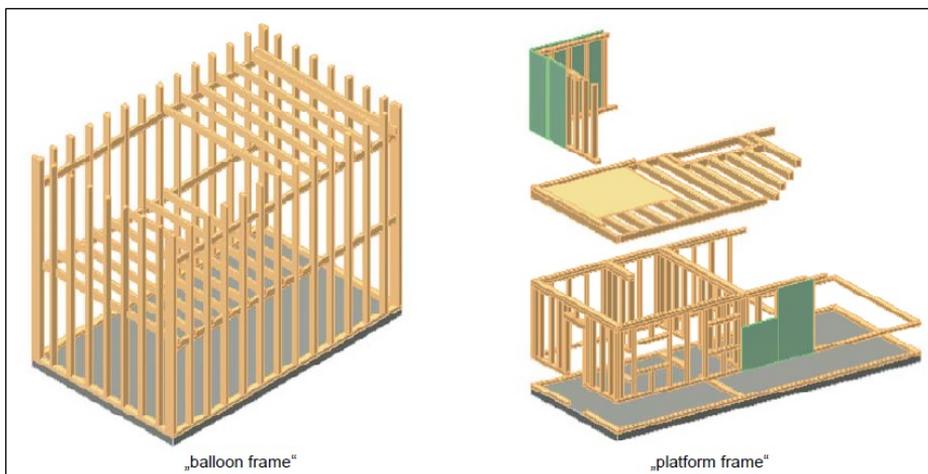


Fig. 3.9. Schemi di sistemi costruttivi intelaiati in legno.

Nel caso di edifici *platform frame* i montanti assorbono i carichi verticali provenienti dalla struttura di copertura e dalle partizioni interne orizzontali; nella struttura i montanti disposti lungo le pareti perimetrali verticali assorbono anche i carichi orizzontali dovuti al vento, agenti sulle pareti stesse. Il rivestimento assorbe essenzialmente i carichi agenti nel piano della lastra (carichi dovuti alla funzione di irrigidimento)¹².

La parete, con la funzione sia di parete perimetrale verticale che di partizione interna verticale, è formata da una intelaiatura di legno, massiccio o lamellare, costituita da elementi tutti della stessa sezione. Gli elementi che compongono la parete, partendo dal basso, sono un corrente inferiore, i montanti, e un corrente superiore; la parete intelaiata così costituita viene completata sul lato esterno da una pannellatura che ha la funzione di rivestimento strutturale. I montanti sono posizionati a distanza ravvicinata, sempre in funzione della dimensione dei pannelli di rivestimento, generalmente ogni 40-60 cm.

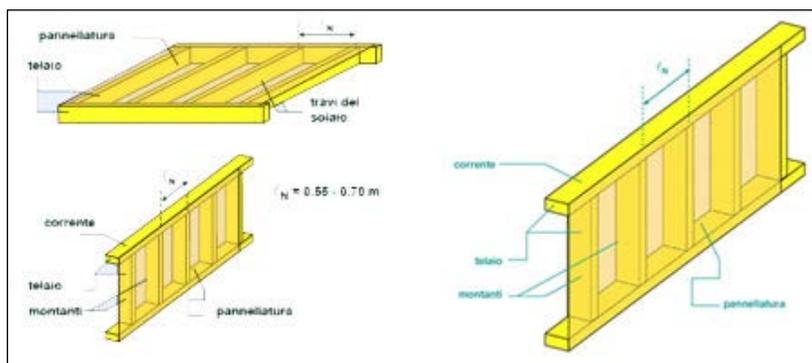


Fig. 3.10. Schema di parete intelaiata.

La pannellatura inizialmente realizzata con tavole di rivestimento strutturale, viene adesso realizzata con pannelli sottili, quali pannelli di compensato di piallacci e sfogliati, pannelli truciolari e pannelli a trucioli allungati noti come OSB, abbreviazione del nome inglese *oriented strands*

board; in Europa si usano maggiormente i pannelli OSB, mentre in America pannelli di compensato sottile. La pannellatura realizzata con pannelli di OSB, di 12 mm di spessore, è collegata ai montanti ogni 62,5 cm, corrispondente al modulo base pannello, tramite connettori di tipo meccanico, quali chiodi, cambrette o bulloni. Solitamente, i pannelli in commercio hanno dimensioni di 122x244 cm o 125x250 cm, pertanto per coprire l'altezza abitabile di 2,70 cm, prevista dalle normativa italiana, bisogna unire due pannelli mediante l'inserimento di elementi intermedi orizzontali nel telaio definiti *blocking*, per il fissaggio degli stessi, e infine chiodati. I chiodi sono del tipo ad aderenza migliorata, di diametro compreso fra i 3 e 3,5 mm, disposti con interasse di 150 mm sui bordi del pannello e 300 mm sui supporti interni. Il collegamento tra pannellatura e telaio di legno non garantisce solo resistenza e rigidità alla struttura, ma anche duttilità in caso di sollecitazioni sismiche¹³.



Fig. 3.11. Struttura della parete intelaiata tamponata.

Nelle strutture intelaiate la parete perimetrale deve assolvere diverse funzioni in relazione al suo comportamento strutturale e ai carichi ai quali è soggetta, ossia:

- resistenza ai carichi verticali;
- resistenza alle azioni orizzontali agenti nel piano della parete (quali sisma e vento);
- resistenza ai carichi orizzontali agenti nel piano perpendicolare alla parete (vento)¹⁴.

La resistenza ai carichi verticali è assorbita dai montanti, per i quali non è necessario prevedere sezioni a base quadrata, ossia sezioni con inerzia uguale nelle due direzioni principali come se si trattasse di pilastri isolati, in quanto l'instabilizzazione per carico di punta, nella direzione del piano della parete, è impedita dal pannello strutturale a base di legno che funge da rivestimento, collegato a questi ultimi mediante giunzioni meccaniche, quali chiodi, cambrette o bulloni.

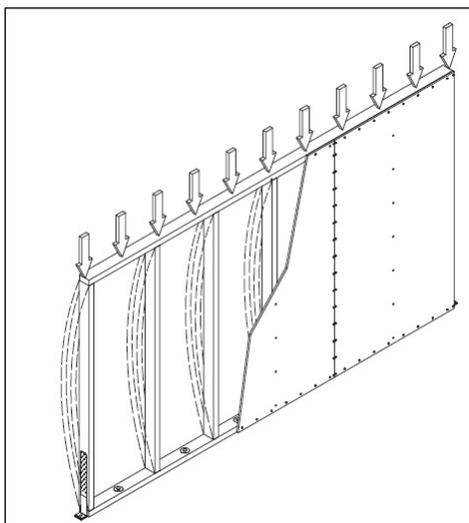


Fig. 3.12. Schema di distribuzione dei carichi verticali nell'intelaiatura di parete.

L'instabilizzazione per carico di punta può avvenire solamente nel piano ortogonale alla parete perimetrale, perciò i montanti delle pareti hanno sezione rettangolare; di solito la stessa sezione viene utilizzata per realizzare il corrente inferiore e il corrente superiore di completamento del telaio, avente il lato minore disposto nella direzione del piano della parete.

La resistenza alle azioni orizzontali agenti nel piano della parete, è garantita dalla resistenza dei chiodi di collegamento dei pannelli all'intelaiatura, sollecitati a taglio. Per valutare la resistenza a taglio nel piano della parete bisogna calcolare la resistenza a taglio del singolo chiodo, secondo i metodi dell'Eurocodice 5¹⁵.

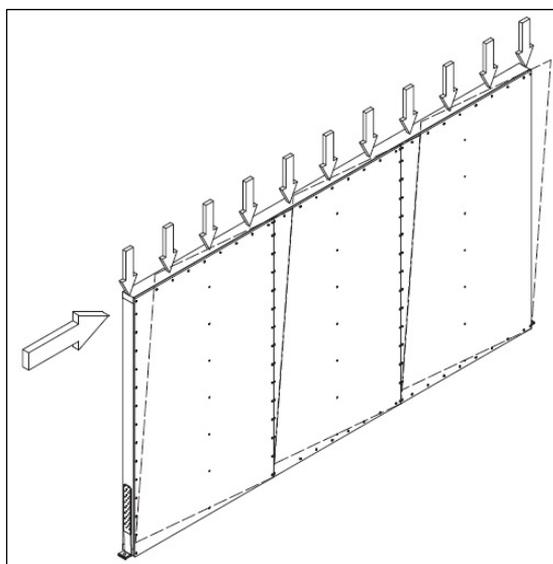


Fig. 3.13. Schema di distribuzione dei carichi orizzontali agenti nel piano della parete.

Per effetto delle azioni orizzontali agenti nel suo piano, la stessa parete è soggetta ad azioni di scorrimento e sollevamento, che sono contrastate dagli elementi di collegamento alle fondazioni. In particolare, il sollevamento è impedito dagli *hold-down*, ossia piastre angolari allungate collegate con chiodi al telaio della parete, oppure da barre in acciaio, o tirafondi, inserite in fori

sigillati con malta epossidica o cementizia alla fondazione, e posizionate alle estremità della parete e in corrispondenza delle aperture; mentre lo scorrimento è impedito da tirafondi di collegamento del cordolo inferiore della parete alla struttura di fondazione.

Le azioni orizzontali ortogonali al piano della parete, come ad esempio il vento agente sulle pareti perimetrali, vengono assorbite dai montanti in relazione all'area di influenza su cui agiscono, che risultano sollecitati a pressoflessione.

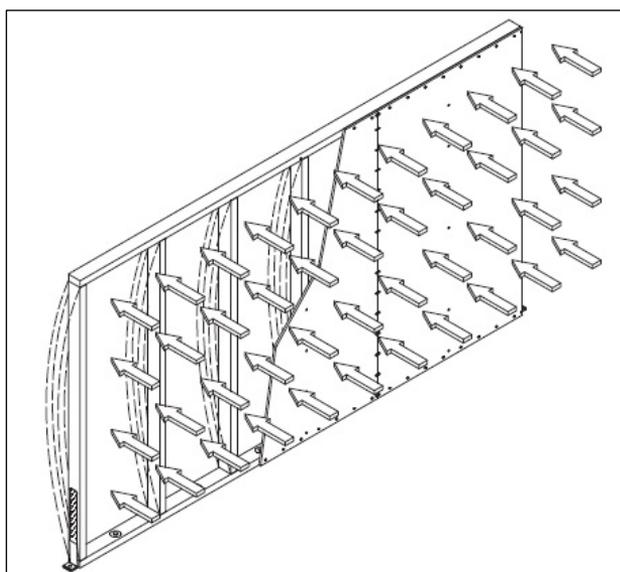


Fig. 3.14. Schema di distribuzione dei carichi orizzontali agenti nel piano perpendicolare della parete.

Nella realizzazione delle pareti perimetrali si deve prestare particolare attenzione alle giunzioni tra due pareti in corrispondenza dell'angolo, che devono essere collegate in modo da ottenere un legame sufficientemente rigido, inserendo lungo i montanti viti autoforanti o chiodi a interasse ravvicinato. Le dimensioni dei montanti in corrispondenza della giunzione d'angolo possono essere della stessa sezione, oppure avere un montante

d'angolo a sezione quadrata e i due montanti del telaio per il fissaggio dei pannelli interni a sezione rettangolare.

Le partizioni verticali interne, realizzate sempre da una struttura intelaiata, vengono fissate con una coppia di *hold-down*, uno collegato alla parete del piano inferiore e uno alla parete superiore, uniti fra loro mediante un bullone passante per le partizioni interne verticali; mentre per le pareti perimetrali può essere utilizzata una banda metallica forata, collegata con chiodi alle pareti perimetrali verticali del piano superiore e del piano inferiore. Il collegamento della parete perimetrale verticale inferiore alla partizione interna orizzontale, come il collegamento della parete perimetrale verticale del piano superiore alla partizione interna orizzontale, può essere effettuato con viti autoforanti¹⁶.

Le aperture rappresentano, nella struttura intelaiata, un punto di interruzione dell'elemento strutturale e devono essere analizzate con attenzione, sicché si ricorre all'utilizzo di un elemento di rinforzo della parete, chiamato architrave, che permette di spostare i carichi che gravano sull'apertura alle parti adiacenti della parete, in modo da consentire la distribuzione dei carichi stessi verso il basso. In corrispondenza dell'apertura si realizza un doppio montante, di cui quello posto interno, realizzato con un elemento di legno lamellare, fa da supporto all'architrave; medesima soluzione viene adottata per la realizzazione dei parapetti delle finestre. Le sollecitazioni non sono più distribuite su tutta la lunghezza dell'elemento, ma concentrate in corrispondenza delle aperture; nel caso di aperture di grandi dimensioni, questo non ha più solo un effetto locale, ma le sollecitazioni si distribuiscono su tutti gli elementi di parete del piano inferiore. Pertanto, l'introduzione di un architrave è da utilizzare maggiormente nel caso in cui sia limitato il numero di piani dell'edificio, la posizione delle aperture sia uguale su tutte le pareti, permettendo così il rinforzo della parete in un numero di punti limitato¹⁷.

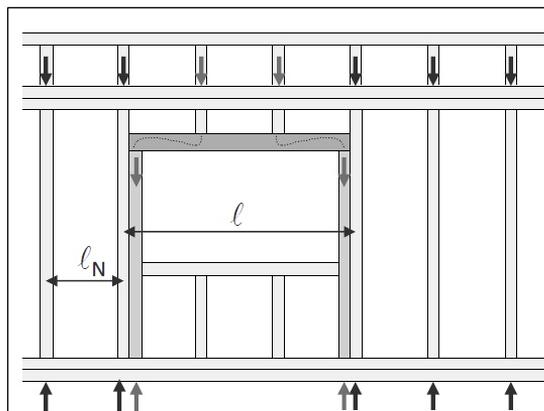


Fig. 3.15. Schema di un architrave in una struttura intelaiata di parete.

Mentre, quando aumentano il numero di piani dell'organismo edilizio, le dimensioni delle aperture, le irregolarità in pianta tra i vari piani e il posizionamento delle finestre nelle pareti, bisogna modificare la struttura portante; ciò è possibile inserendo doppi montanti e rendendo la struttura più simile alla condizione propria della struttura a travi inflesse e pilastri, piuttosto che a quella intelaiata, nella quale la discesa dei carichi verticali è concentrata in una griglia di pilastri sui quali poggiano le travi inflesse, e le partizioni interne orizzontali sono semplicemente appoggiate sulla travatura che forma lo scheletro portante dell'edificio.

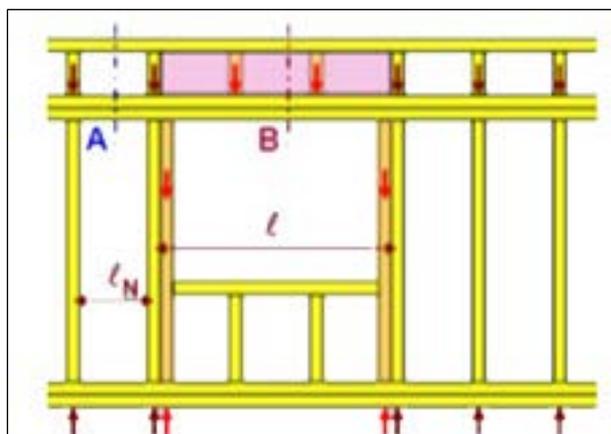


Fig. 3.16. Schema di un architrave in una struttura intelaiata di parete in edifici multipiano.

La partizione interna orizzontale è costituita da travi di legno, massiccio o lamellare, completata con idonei pannelli di rivestimento strutturale a base di legno, compensato o OSB, collegati alle travi del solaio mediante chiodi di 3-3,5 mm di diametro, disposti a 150 mm sui bordi esterni dei pannelli e 300 mm sui supporti interni; e poggiati sulle pareti perimetrali. Per luci fino a 5,50 m la partizione orizzontale interna viene realizzata con semplici travi, che dal punto di vista statico risultano indipendenti una dall'altra; mentre per luci maggiori di 5,50 m, le dimensioni delle travi, nonostante l'interasse ridotto, diventano notevoli. In questo caso si utilizza un solaio a cassone, realizzato inserendo un secondo strato di pannellatura, adeguatamente collegato alle travi. Il collegamento strutturale fra la pannellatura e le travi si realizza mediante incollaggio strutturale, in modo da avere maggiore rigidezza.

Infine per completare la struttura del solaio si realizza un cordolo disposto lungo tutto il perimetro; mentre la stratigrafia funzionale varia in funzione dei requisiti prestazionali che l'elemento tecnico deve soddisfare e alla necessità di attrezzabilità, mediante l'inserimento di impianti.

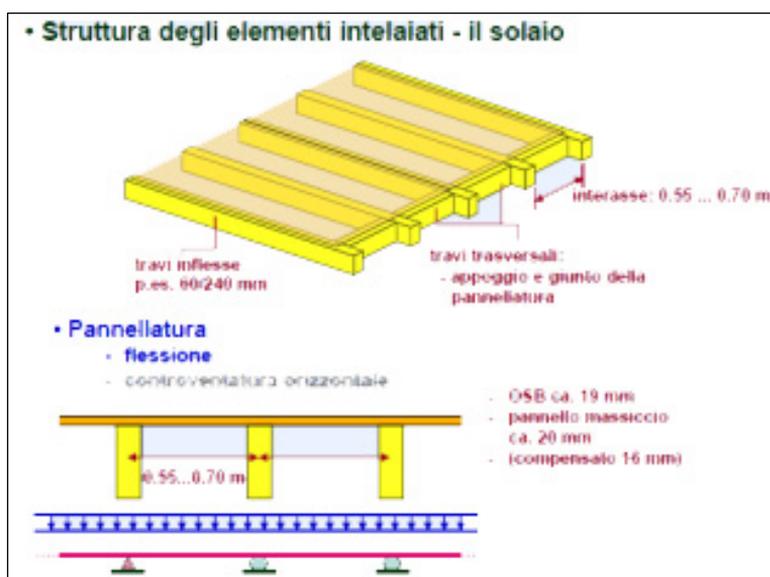


Fig. 3.17. Schema di un solaio in una struttura intelaiata.

La struttura di copertura viene realizzata seguendo uno schema a falde, con trave di colmo e travi secondarie, oppure con capriate che scaricano il peso sul cordolo di collegamento delle pareti perimetrali, su di esse viene posizionato e collegato il rivestimento strutturale, realizzato con compensato, o OSB, o un doppio tavolato incrociato, e il pacchetto di copertura, che avrà stratigrafia differente a seconda dell'alternativa tecnica che si vuole realizzare.

Le strutture di fondazione sono realizzate in cemento armato mediante platea o travi rovesce, per evitare il contatto delle strutture verticali in legno col cemento e ridurre così i fenomeni di degrado legati all'umidità di risalita. Nel caso di realizzazione di platea di fondazione occorre comunque realizzare un cordolo di fondazione in cemento armato sotto le strutture portanti verticali in legno, sul quale deve essere posata una guaina bituminosa, per evitare sia il fenomeno di umidità di risalita che la creazione di una zona ad alta concentrazione di umidità. Sopra il cordolo in cemento armato deve essere posato un ulteriore cordolo di legno di larice, massiccio o lamellare, di sezione quadrata di 10-12 cm; tale cordolo deve essere collegato alla fondazione con tirafondi in acciaio in fori sigillati con malta cementizia o epossidica. Il diametro delle barre e l'interasse variano in funzione del valore del taglio agente sulla parete, generalmente il diametro è variabile dai 12 ai 16 mm¹⁸.

La struttura intelaiata così configurata presenta molti vantaggi, anzitutto la rapidità di montaggio in cantiere, determinata dalla possibilità di produrre in stabilimento alcuni elementi tecnici, a differenti livelli di prefabbricazione, quali le pareti perimetrali, le partizioni interne orizzontali, le partizioni interne verticali e le strutture di copertura; ciò a patto che i progetti esecutivi siano definiti prima dell'inizio del cantiere.

3.3 I sistemi a parete portante

Le strutture a parete portante sono "strutture di elevazione verticale costituite da elementi o parti strutturali di tipo bidimensionale caratterizzate da dimensioni longitudinali e di altezza prevalenti sullo spessore"¹⁹. La struttura dell'edificio ha un comportamento di tipo scatolare, rispetto alle sollecitazioni a cui è sottoposta, grazie alla congruenza statica che si realizza dal collegamento solidale delle membrature bidimensionali. Pertanto, l'edificio a configurazione scatolare, sia nella forma che nel comportamento strutturale, si concepisce come un organismo tridimensionale nel quale le pareti assumono diverse classificazioni:

- in relazione *alla funzione assoluta*, sono definite *pareti portanti* le pareti deputate a sostenere i carichi verticali e *pareti di controventamento, o di taglio*, le pareti deputate a sostenere i carichi orizzontali, ortogonali alle prime;
- in relazione *alla collocazione* nel volume dell'organismo edilizio, sono definite *pareti perimetrali* quelle che costituiscono e delimitano il perimetro dell'edificio; *pareti longitudinali* quelle parallele al lato maggiore dell'edificio; *pareti trasversali* quelle parallele al lato minore dell'edificio; *pareti di spina* quelle parallele alle due pareti perimetrali principali;
- in relazione *ai materiali e ai relativi procedimenti costruttivi*, le pareti portanti si realizzano *a elementi discontinui*, come le pareti in pietrame dell'edilizia premoderna, le pareti in muratura di mattoni, di blocchi in laterizio o altro materiale, le pareti in legno; *continue* realizzate in cemento armato gettato in opera; come quelle *a pannelli prefabbricati*, realizzate sia con pannelli prefabbricati in cemento armato che in legno;
- in relazione *alla forma* (Campolongo, 1996).

Gli edifici a parete portante con procedimenti costruttivi tradizionali limitano la configurazione spaziale-distributiva del sistema ambientale e l'articolazione delle facciate dell'edificio; mentre gli edifici realizzati con recenti tecniche basate sull'industrializzazione e sull'impiego dei pannelli prefabbricati, consentono una maggiore rapidità nella fase di attuazione dell'edificio, che si traduce in una riduzione dei tempi del cantiere e in una riduzione dei costi di costruzione. Gli edifici a parete portante così costituiti presentano caratteristiche, sul piano tecnologico e architettonico, più performanti, di cui si analizzano le caratteristiche fondamentali e i caratteri connotanti i tipi edilizi.

Sistema costruttivo a tronchi o blocchi massicci

Il sistema costruttivo a tronchi massicci appartiene alla categoria di costruzione in legno di tipo massiccio, definito “Blockbau” in tedesco, “Log House” in inglese o “Pseudomuratura in legno massiccio” in italiano; è diffusa prevalentemente in Europa centro-settentrionale e in alcune zone montane in Italia, ed è utilizzato per costruire edifici unifamiliari a uno o due piani. Il sistema costruttivo è realizzato col metodo dei tronchi, elementi lineari di legno di conifera, disposti orizzontalmente e sovrapposti tra di loro a formare una parete in legno; la parete massiccia così assemblata assolve sia funzione portante che d’irrigidimento²⁰.



Fig. 3.18. Esempi di organismi edilizi con struttura a tronchi massicci.

La pianta dell'edificio è generalmente molto semplice a pianta quadrata o rettangolare con partizioni interne orizzontali, che poggiano su due pareti ortogonali. Nel caso di edifici con almeno due piani, le partizioni interne orizzontali, sono realizzate con le stesse tecniche costruttive utilizzate per il sistema *platform frame*, ossia con travi e pannello di irrigidimento a base di legno, oppure con travi, tavolato e pannello di irrigidimento; più recentemente anche con pannelli a strati incrociati. Occorre comunque porre molta attenzione all'irrigidimento dei diaframmi orizzontali, prevedendo un cordolo perimetrale come per il sistema *platform frame* e un manto superiore sufficientemente rigido nel proprio piano; per questo motivo sono assolutamente da evitare irrigidimenti realizzati mediante un semplice tavolato.

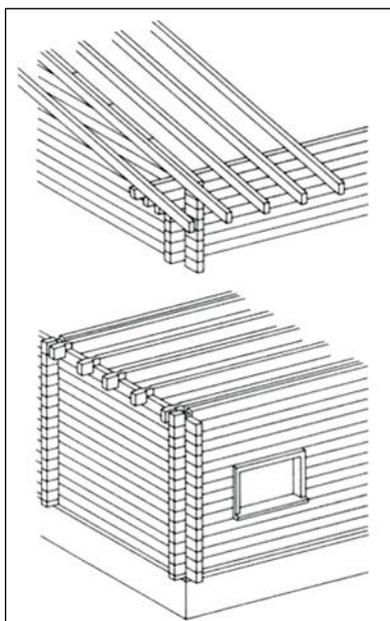


Fig. 3.19. Esempi di strutture a blocchi massicci.

Gli elementi che compongono la parete perimetrale possono essere tronchi di legno massiccio scortecciato oppure elementi squadrati, i quali sono sagomati rispettivamente nella parte inferiore e superiore per aumentare l'attrito e la stabilità laterale lungo la superficie di contatto. L'incastro tra due

pareti ortogonali assume un ruolo strutturale fondamentale ed è realizzato mediante apposite lavorazioni delle teste degli elementi, eseguendo intagli o connessioni di carpenteria classica; a tal scopo sono utilizzati bielle o tasselli di legno di latifoglia, che insieme alla sagomatura degli elementi massicci, permettono sia l'allineamento che l'irrigidimento²¹.

Ulteriore elementi che contribuiscono ad aumentare la resistenza al sollevamento della parete massiccia, soggetta ad azioni orizzontali nel proprio piano, sono appositi tiranti a vite in acciaio posti in prossimità delle estremità delle pareti perimetrali e in corrispondenza delle aperture; questi tiranti hanno una lunghezza pari all'altezza della parete. Le pareti così composte hanno la capacità di realizzare una protezione naturale all'infiltrazione delle acque meteoriche.

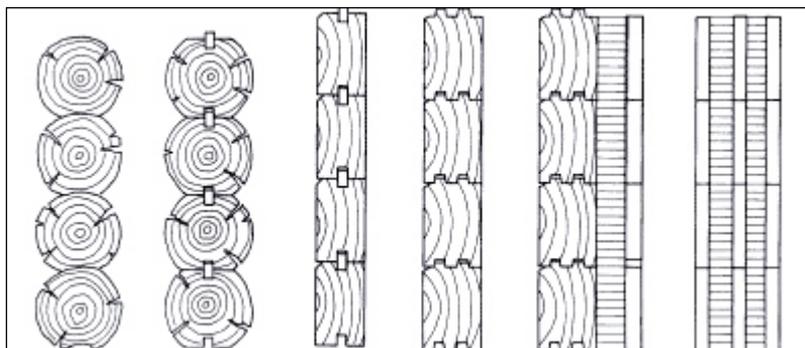


Fig. 3.20. Esempi di pareti perimetrali realizzate con tronchi massicci.

La parete perimetrale può essere completata lasciando il legno a vista all'esterno dell'edificio, quindi inserendo l'isolante dal lato interno e chiudendo internamente con il cartongesso, oppure lasciando il legno a vista internamente e inserendo un cappotto esterno completato dall'intonaco o altro strato di rivestimento.

Nel sistema a blocchi massicci le pareti perimetrali solitamente vengono lasciate a vista all'esterno, in modo che i giunti di sovrapposizione fra i tronchi

delle pareti ortogonali diventano un elemento architettonico caratterizzante. In questo caso quindi l'isolante, solitamente fibra di legno o fibra di canapa, viene posizionato in un'intercapedine interna alla parete, utilizzata anche per attrezzare la parete con impianti, e coperta da un ulteriore strato semplice, o doppio, realizzato con un pannello di cartongesso o fibrogesso. In alternativa, si può prevedere una seconda parete in legno lasciata a vista all'interno, in successione all'intercapedine riempita con materiale isolante, ma questa soluzione è molto rischiosa dal punto di vista del comportamento termigrometrico dell'edificio, sicché bisogna scegliere con particolare cura i materiali e le dimensioni dello spessore di isolante.

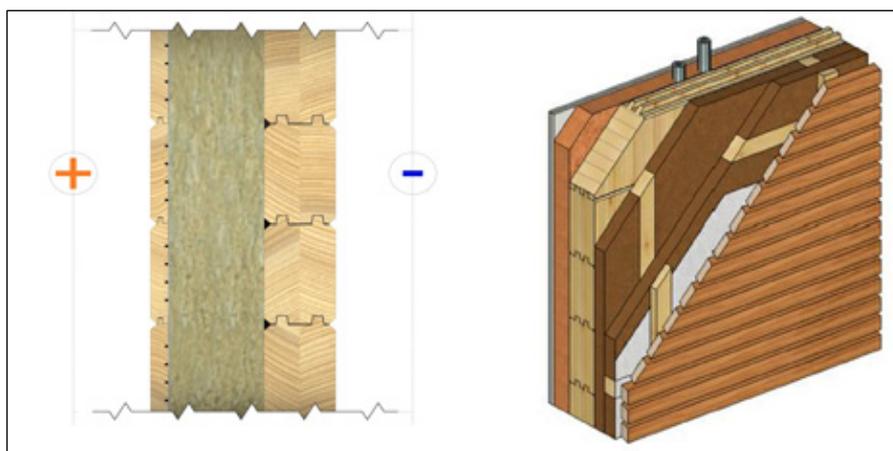


Fig. 3.21. Esempi di stratigrafia di parete perimetrale *blockhaus* a vista e non.

Un'altra alternativa tecnica prevede la realizzazione di una parete isolata dall'esterno con sistema a cappotto, in questo caso i giunti d'angolo fra le pareti non possono fuoriuscire rispetto al perimetro esterno dell'edificio e quindi non è possibile realizzare il giunto di carpenteria; pertanto si ricorre alla realizzazione di un giunto d'angolo solidarizzato mediante l'inserimento di barre d'acciaio passanti e/o di viti autoforanti.

L'elemento resistente fondamentale per le azioni verticali e orizzontali è la parete realizzata a blocchi sovrapposti. Per comprendere meglio il meccanismo di trasmissione delle forze tra gli elementi sovrapposti si fa riferimento alla figura di seguito inserita.

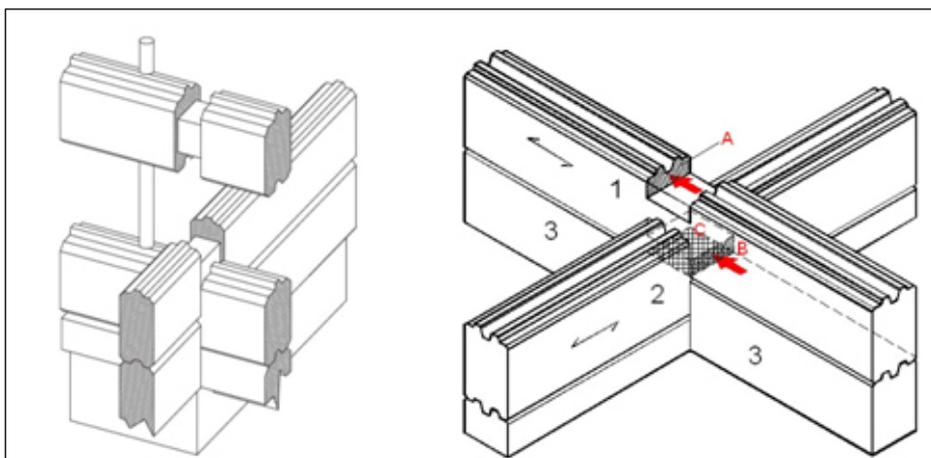


Fig. 3.22. Dettagli del giunto d'angolo fra due pareti e sovrapposizione dei tronchi.

Le forze orizzontali dovute al vento o al sisma, indicate in rosso sulla fig. 3.21 agenti sull'elemento 1, devono trasferirsi dall'elemento 1 all'elemento 3, il quale si suppone vincolato a terra tramite un tirafondo annegato nella struttura di fondazione. Il trasferimento dei carichi avviene tramite la maschiatura con l'elemento 2, il quale viene sollecitato a compressione perpendicolare alle fibre sulla superficie B, e a taglio sulla superficie C; si noti che questo è un caso di *rolling shear*, cioè di sollecitazione a taglio che tende a ruotare le fibre legnose, con valori di resistenza inferiori rispetto al taglio normalmente considerato nella verifica delle travi. Se esistono lungo una parete più incroci con pareti ortogonali, è possibile moltiplicare la resistenza del singolo collegamento per il numero degli incroci tra pareti ortogonali. Nel caso in cui tale verifica per forze orizzontali dell'incrocio maschiato non sia soddisfatta, si può operare anche aumentando il numero degli incroci, aggiungendo spezzoni corti di pareti

ortogonali, anche senza funzione strutturale. Il trasferimento delle forze orizzontali dall'elemento 3 alle fondazioni, tramite tirafondi, non pone problemi, sicché è sufficiente posizionare un certo numero di tirafondi, di opportuno diametro e adeguatamente dimensionati, in accordo con le normative utilizzate, come a esempio la connessione meccanica legno-legno con connettori metallici a gambo cilindrico²².

Nel caso delle azioni verticali il legno viene sollecitato a compressione perpendicolare alla fibratura, questo influenza il calcolo poiché il materiale presenta valori di resistenza inferiori rispetto alla resistenza a compressione parallela alla direzione delle fibre. L'area della superficie resistente, ossia l'impronta delle pareti al piano terra, è sufficientemente adeguata rispetto ai carichi agenti poiché non si superano i due piani; ne consegue che la verifica da effettuare non è particolarmente severa. Anche la verifica di stabilità delle pareti fuori dal piano, ossia la perdita d'equilibrio per effetti del secondo ordine, è positiva per questa tecnica costruttiva, poiché il sistema garantisce, di per sé, un buon comportamento delle pareti; infatti, gli elementi lineari, quali tronchi o segati, vincolati alle estremità dai due nodi d'angolo, sono in grado di lavorare a flessione orizzontale nel caso di azioni agenti fuori dal piano. Nonostante queste considerazioni è opportuno limitare la distanza tra due pareti successive e non superare i 5 m, per evitare la formazione di azioni fuori dal piano. Le pareti saranno sollecitate a compressione ortogonale alla fibratura, direzione nella quale il legno presenta valori di resistenza piuttosto bassi; ossia il valore del modulo E perpendicolare alla fibratura è molto ridotto, e notevolmente inferiore rispetto alle sollecitazioni di compressione parallela alla fibratura. Per questo motivo le pareti degli edifici *blockhaus* hanno solitamente uno spessore piuttosto consistente, non meno di 20 cm, con un conseguente rilevante utilizzo di materia prima.

Nel caso delle azioni orizzontali, per edifici in zona sismica, la resistenza delle pareti non può essere riassunta con un modello semplice poiché

influenzata sia dalla presenza dei nodi di incastro tra due pareti ortogonali, che garantiscono il trasferimento delle forze orizzontali tra un elemento lineare e l'elemento inferiore successivo; sia dal sistema di tirafondi, che ancorano i primi blocchi, e consentono il trasferimento delle forze orizzontali dagli elementi superiori direttamente alle fondazioni. Inoltre, possono contribuire ad assicurare la resistenza al taglio delle pareti sia i cavicchi di legno verticali fra gli elementi massicci, se presenti, sia l'attrito tra i blocchi, anche se quest'ultimo contributo non viene considerato nei modelli di calcolo.

Il dimensionamento di una parete *blockbau* a sollecitazioni di taglio si può ricondurre alla valutazione della resistenza dei nodi d'angolo e dei tirafondi; ossia una verifica di un nodo di carpenteria sollecitato a compressione ortogonale alla fibratura e a taglio per i nodi d'angolo; mentre per i tirafondi la verifica di una connessione meccanica legno-legno, con connettori metallici a gambo cilindrico. Nel dimensionamento si deve inoltre tener conto del fenomeno del ritiro del legno, che è particolarmente sensibile in direzione trasversale, mentre è quasi nullo in direzione assiale; fenomeno che si riscontra nelle pareti realizzate con elementi di legno massiccio, poiché per sezioni della parete di dimensioni superiori ai 20 cm di larghezza difficilmente il tronco può arrivare in cantiere al giusto grado di stagionatura, di conseguenza sarà soggetto a stagionatura durante il carico d'esercizio.

Nel caso si dovesse rendere necessario l'inserimento di pilastri (di legno) con funzione strutturale integrativa, occorre prevedere l'impiego di dispositivi regolabili capaci di recuperare il dislivello che si creerà, inevitabilmente, per effetto del ritiro differenziale fra le pareti e il pilastro stesso. Medesimi dispositivi regolabili andranno previsti in corrispondenza di tutte le aperture che, sempre a causa del fenomeno del ritiro, tenderanno a variare le loro dimensioni iniziali. Le normative attuali non contemplano esplicitamente questa tipologia costruttiva; per il dimensionamento e la verifica della struttura

il progettista deve quindi fare riferimento alle indicazioni generali dati dalla normativa vigente.

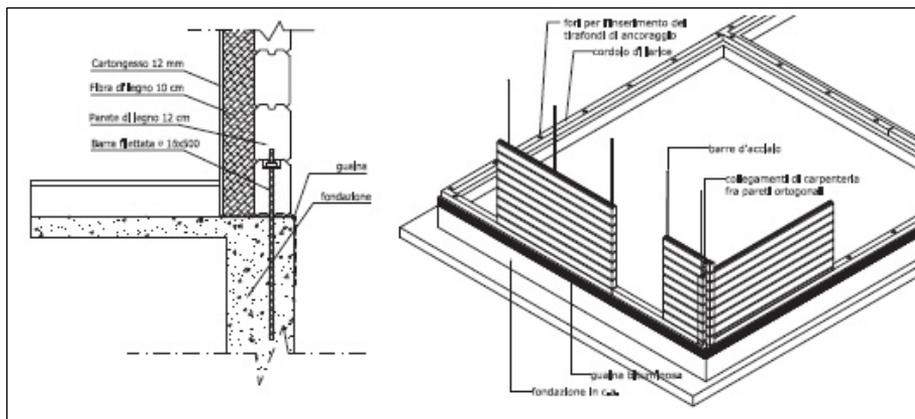


Fig. 3.23. Particolare del collegamento alla struttura di fondazione.

Le fondazioni sono realizzate in cemento armato in modo da creare una netta separazione tra il piano di posa delle strutture verticali in legno e il livello del terreno. Le soluzioni utilizzate sono la platea di fondazione o le travi rovesce. In caso di utilizzo di una platea, si deve realizzare sempre un ulteriore cordolo di fondazione in cemento armato in corrispondenza del punto di posizionamento delle pareti massicce, sopra il quale andrà posata una guaina bituminosa per proteggere la struttura dai problemi di umidità legati alla risalita capillare. Il cordolo può essere evitato solo nel caso in cui le fondazioni fuoriescono dal livello del terreno. L'ancoraggio alle fondazioni può essere realizzato mediante un ulteriore cordolo, di larice o legno lamellare, posto sopra al cordolo di cemento armato, di spessore 10-12 cm, collegato mediante tirafondi in acciaio alle fondazioni in fori sigillati con malta epossidica o cementizia.

La copertura è a due falde, con trave di colmo parallela al lato più lungo dell'edificio, e travetti che poggiano sulla trave di colmo e sulle pareti

longitudinali parallelamente alla linea di falda, con inclinazione variabile in funzione della zona geografica di riferimento²³.

Sistema costruttivo a pacchetto di tavole parallele

Il sistema costruttivo appartiene alla categoria di costruzione in legno di tipo massiccio ed è utilizzato per edifici a due piani, di forma regolare. L'elemento massiccio è ottenuto da tavole o lamelle disposte di costa affiancate. Lo spessore si attesta sui 8-12 cm per le tavole di parete e 12-20 cm per i solai in funzione delle luci e dei carichi. Le tavole, prevalentemente di legno di conifera, sono ricavate dalla porzione esterna del tronco di spessore tra 24-30 mm, essiccate e piallate, prima di essere unite l'una all'altra mediante chiodatura continua, o con spinotti di legno inseriti in appositi fori ricavati nelle tavole stesse. La funzione dei chiodi è quella di trasmettere gli sforzi di taglio e in funzione della larghezza dell'elemento di legno che otteniamo, si possono ripartire parzialmente i carichi che agiscono trasversalmente.

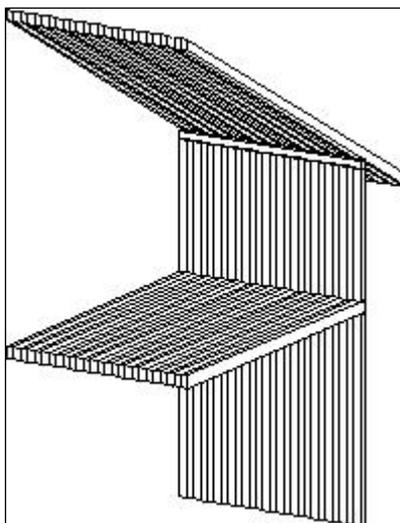


Fig. 3.24. Esempio di struttura realizzata a pacchetto di tavole.

Gli elementi di pacchetti di tavole sono impiegati anche in strutture miste legno-calcestruzzo, per luci maggiori di 6 m e fino a luci di 10 m, ma per motivi di natura statica, e/o fisico-tecnici, si deve realizzare al di sopra dell'elemento pacchetto di tavole una soletta in calcestruzzo; la connessione tra i due sistemi viene realizzata mediante mezzi di collegamento meccanici, quali bulloni, connettori a piolo, piastre dentate. Questo sistema costruttivo è stato utilizzato poco per la realizzazione degli edifici, poiché poco performante e sostituito dal sistema a pannelli portanti²⁴.

Sistema costruttivo a pannelli portanti di legno o XLAM

Il sistema costruttivo a pannelli portanti di legno, o in legno compensato di tavole, definito XLAM, dall'inglese *Cross Laminated Timber*, prevede l'impiego di elementi strutturali massicci, piani e di grandi dimensioni. Gli elementi di legno massicci piani multistrato, con funzione portante, hanno le due dimensioni lungo gli assi principali predominanti rispetto allo spessore e, in funzione dei carichi a cui sono soggetti, assumono comportamento a lastre e/o a piastra. Questo sistema costruttivo viene utilizzato sia per le abitazioni monopiano e multipiano, che per edifici a uso pubblico e industriale.

I pannelli XLAM sono pannelli multistrato, composti da strati di tavole di legno di conifera incrociati l'uno sull'altro, uniti tramite l'incollaggio o la chiodatura di lamelle a formare gli elementi piani massicci. Le lamelle devono essere essiccate e giuntate nella direzione longitudinale tramite giunti incollati a pettine. Il legno utilizzato deve avere umidità controllata del 12 ± 2 %, in modo da avere, nel piano del pannello, una deformazione di 1 mm ogni 10 m di lunghezza dell'elemento per ogni 1% di variazione di umidità, questo conferisce stabilità dimensionale e resistenza alla torsione²⁵.

I pannelli possono essere formati da 3 a 11 strati; nel caso di edifici a uso residenziale si utilizzano pannelli almeno a 5 strati, mentre per quanto riguarda

la lunghezza dei pannelli non si hanno limiti dimensionali, se non quelli dovuti al trasporto.

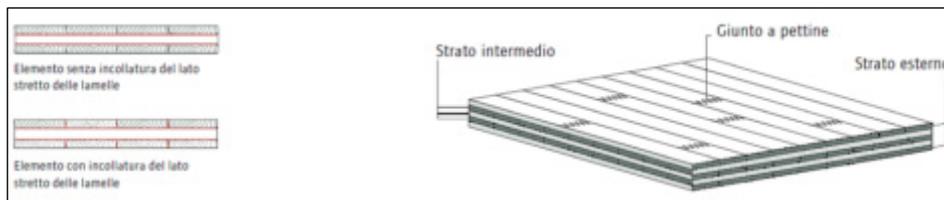


Fig. 3.25. Esempio di pannello XLAM.

Le pareti perimetrali costituite da pannelli interi, con una lunghezza massima di 16 metri e un'altezza pari all'altezza dell'interpiano, ad alto livello di prefabbricazione, sono realizzate in stabilimento con l'ausilio di macchine a controllo numerico, che eseguono i tagli necessari a realizzare i vani per le porte, le aperture e i fori per il passaggio di impianti e canalizzazioni; anche se per facilità di montaggio e trasporto spesso si ricorre all'utilizzo di pannelli di larghezza inferiore. Le pareti perimetrali non subiscono nessuna lavorazione in cantiere, ma vengono solo sollevate con l'ausilio di idonei mezzi meccanici, posizionate in opera e collegate alla struttura di fondazione, e fra loro, attraverso giunti. I collegamenti tra i pannelli-parete sono effettuati mediante giunti verticali con l'interposizione di una striscia di pannello multistrato, a base di legno, inserito internamente alla parete in apposite fresature, o su una faccia; in altri casi si può realizzare un giunto a mezzo legno, a tutta altezza. Il collegamento tra i pannelli è assicurato dall'inserimento di viti auto-foranti. Le pareti realizzate con giunti verticali permettono una maggiore duttilità alla struttura e una maggiore capacità di dissipare l'energia prodotta dal sisma, rispetto a pareti realizzate con un unico pannello.

La parete perimetrale viene completata, in funzione delle scelte progettuali e funzionali, mediante l'inserimento di strati opportunamente dimensionati, a esempio la parete può essere isolata dall'esterno inserendo un cappotto,

realizzato con pannelli in fibra di legno , rete porta intonaco e intonaco, oppure con pannelli di rivestimento di altri materiali; come alternativa tecnica si può scegliere di isolare la parete dall'interno, inserendo nell'intercapedine che accoglie gli impianti uno strato di isolante, quali pannello in lana di legno mineralizzata, fibra di canapa o sughero; lo strato più interno è costituito da pannelli di cartongesso o fibrogesso.

Il collegamento tra le pareti ortogonali, in corrispondenza degli angoli dell'edificio, viene realizzato con l'inserimento di viti autoforanti disposte ad interasse ravvicinato che realizzano un collegamento rigido. Particolare attenzione deve essere posta nel fissaggio delle viti all'interno del pannello; infatti, in riferimento agli strati del pannello, le viti non devono mai essere inserite parallelamente alla fibratura del legno, per evitare fenomeni di sfilamento; ma diagonalmente, generalmente con un angolo di 45°.

La parete così configurata deve assolvere a diverse funzioni in relazione al suo comportamento strutturale e ai carichi ai quali è soggetta:

- resistenza ai carichi verticali;
- resistenza alle azioni orizzontali agenti nel piano della parete (sisma, vento);
- resistenza ai carichi orizzontali agenti nel piano perpendicolare alla parete (vento)²⁶.

La resistenza ai carichi verticali e alle azioni orizzontali ortogonali al piano della parete è attribuita ai pannelli, che sono sollecitati a pressoflessione, mentre la resistenza a taglio per azioni orizzontali agenti nel piano della parete è attribuita ai collegamenti, ossia ai giunti verticali, realizzati con strisce di pannello multistrato e viti, o chiodi, e *hold-down* e angolari (in quanto il pannello è molto più rigido e resistente dei collegamenti deformabili).

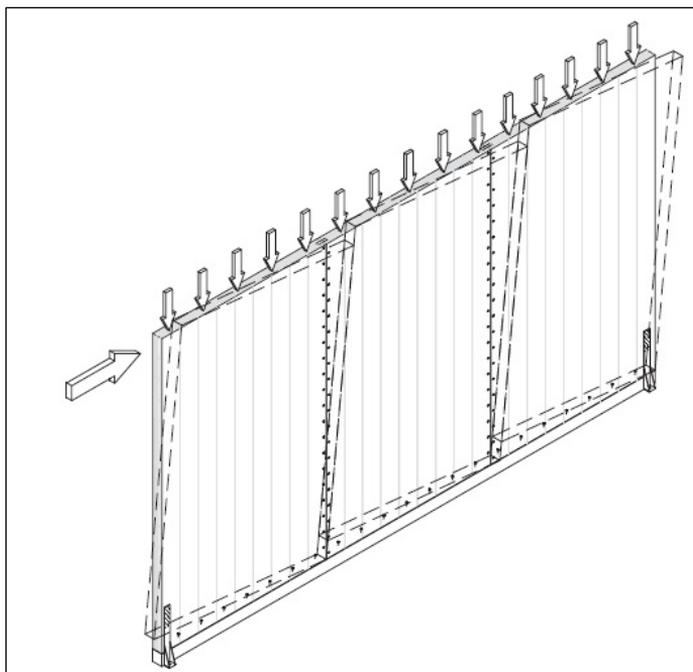


Fig. 3.26. Parete XLAM soggetta ad azioni orizzontali nel piano.

La parete perimetrale, per effetto delle stesse azioni orizzontali agenti nel suo piano, è soggetta ad azioni di scorrimento e sollevamento, che sono contrastate dagli elementi di collegamento alla struttura di fondazione. La resistenza al sollevamento è realizzata dagli *hold-down*, collegati con chiodi alla parete perimetrale e con tirafondi in acciaio, inseriti in fori sigillati con malta epossidica o cementizia, alla struttura di fondazione, e posizionati in corrispondenza delle estremità della parete e delle aperture; mentre la resistenza allo scorrimento è assicurata dalla presenza di angolari in acciaio, o viti e tirafondi in acciaio, che realizzano il collegamento del cordolo inferiore della parete alla struttura di fondazione.

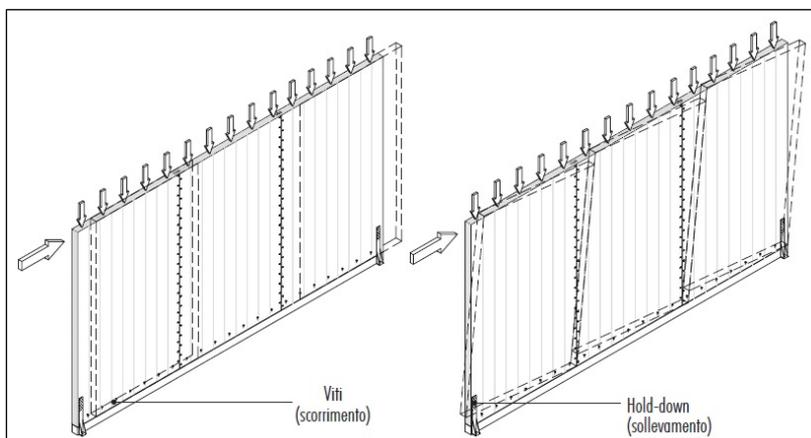


Fig. 3.27. Parete XLAM soggetta ad azioni orizzontali nel piano.

Le aperture possono essere realizzate pre-tagliando direttamente il pannello in stabilimento, se la parete è costituita da un unico pannello; mentre nel caso di unione di pannelli, le aperture sono ricavate tra i pannelli che compongono la parete e l'architrave, oppure il parapetto nel caso di finestre. L'architrave è composto da elementi-pannello, con orditura orizzontale delle tavole, posizionati in appositi spazi ricavati nei pannelli laterali (che hanno orditura verticale) e opportunamente collegati.

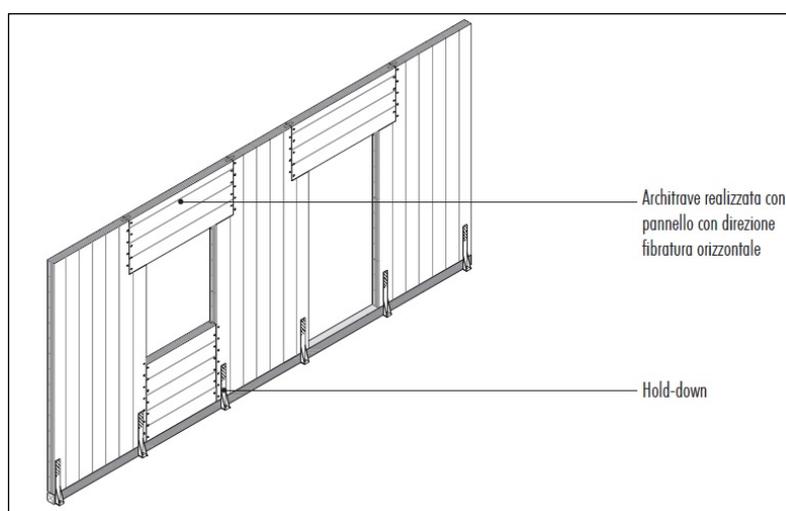


Fig. 3.28. Esempio di realizzazione di un vano nel pannello XLAM.

Il solaio è formato da pannelli a strati incrociati, come la parete perimetrale, dimensionato in funzione della luce e dei carichi, con larghezze massime di 3 metri per esigenze legate al trasporto e al montaggio. Il collegamento tra i pannelli solaio è realizzato mediante giunzioni meccaniche, con le stesse tecniche utilizzate per il collegamento verticale dei pannelli-parete, ossia mediante l'inserimento di viti autoforanti e chiodi disposti ad interasse ravvicinato, in modo da realizzare un collegamento rigido. Il collegamento alle pareti perimetrali del piano inferiore avviene con l'ausilio di viti autoforanti, inclinate rispetto al piano verticale della parete, in modo da interessare più strati possibili; l'interasse è ravvicinato per ottenere un giunto sufficientemente rigido e per garantire il comportamento scatolare dell'edificio.

Le pareti perimetrali del piano superiore sono poggiate sopra la partizione interna orizzontale e collegate con le stesse modalità utilizzate per il collegamento alla struttura di fondazione, ricorrendo però a mezzi di unione diversi. Infatti, per le partizioni interne verticali si utilizzano una coppia di *hold-down*, uno collegato alla parete perimetrale del piano inferiore e uno alla parete perimetrale del piano superiore, uniti fra loro da un bullone passante per le partizioni interne verticali. Per le pareti esterne, invece, può essere utilizzata una banda metallica forata, collegata con chiodi alle pareti superiori e inferiori. Per evitare fenomeni di scorrimento si utilizzano angolari metallici distribuiti lungo lo sviluppo delle pareti, fissati alla parete con chiodi e al solaio con chiodi e viti. La partizione interna orizzontale viene poi completata da una serie di strati funzionali che variano in relazione alle scelte effettuate in fase di progettazione e alle prestazioni che l'elemento tecnico deve avere.

Le fondazioni in una struttura XLAM possono essere realizzate, a seconda del terreno su cui insistono, mediante platea o travi rovesce in cemento armato, al di sopra del quale viene posto un cordolo, di legno o di cemento armato., per evitare il contatto diretto parete - fondazione. Quando si realizza il cordolo in cemento armato. per evitare i problemi di risalita capillare, deve

essere posta una guaina bituminosa prima di posizionare le pareti perimetrali che a loro volta devono essere opportunamente collegate alle fondazioni, mediante angolari metallici distribuiti lungo lo sviluppo della parete interessata, e con *hold-down* posizionati in corrispondenza delle estremità della parete. In alternativa i cordoli possono essere realizzati in legno, lamellare o massiccio di conifera, per esempio larice, collegati alle strutture di fondazione mediante tirafondi in acciaio fissati con resina epossidica o cementizia. Sui cordoli in legno vengono poggiate le pareti perimetrali e collegate mediante viti autoforanti da entrambi i lati. In alcuni casi al contatto fra la parete e la struttura di fondazione, oltre alla guaina bituminosa, viene aggiunto un ulteriore strato di gomma, che ha un duplice vantaggio, impedisce non solo il passaggio d'aria ma funge anche da smorzatore acustico.

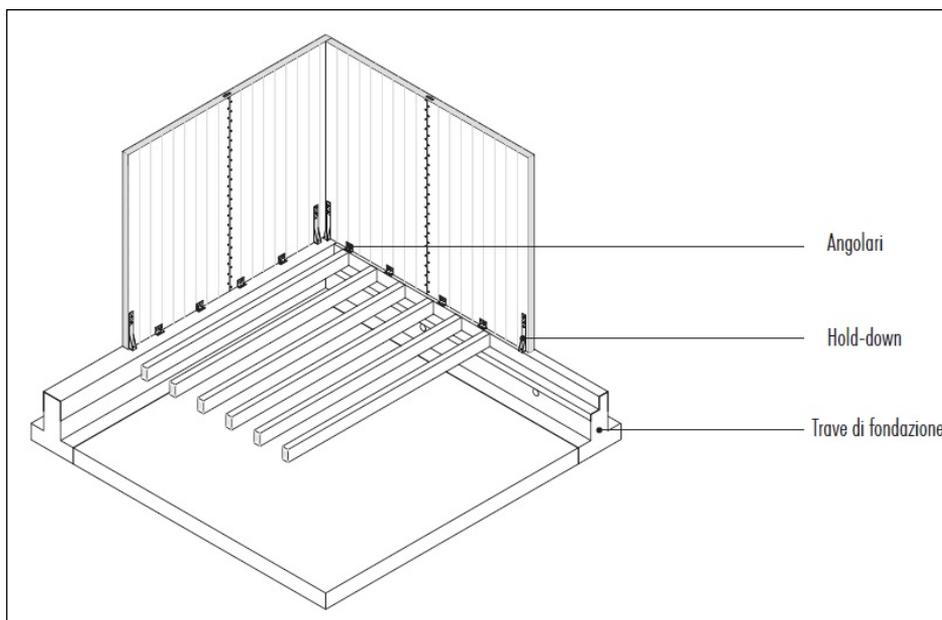


Fig. 3.29. Esempio di collegamento parete XLAM- struttura di fondazione.

Il collegamento parete-fondazione deve assolvere a delle funzioni fondamentali ossia impedire che a causa delle sollecitazioni orizzontali, si possa

verificare il ribaltamento e lo scorrimento delle pareti rispetto alla struttura di fondazione. Il ribaltamento della parete può essere evitato mediante l'ausilio di piastre angolari allungate, collegate alle pareti con chiodi o viti e alle fondazioni con barre filettate in acciaio, inserite in fori sigillati con malta cementizia. Tali angolari devono essere adeguatamente posizionati in corrispondenza delle estremità delle pareti e in prossimità delle aperture. Per quanto attiene allo scorrimento della parete, questo può essere evitato in presenza del cordolo di legno, con un doppio collegamento: un collegamento dal cordolo alle fondazioni mediante l'utilizzo di barre filettate; e un secondo dalla parete al cordolo mediante viti auto-foranti, inserite inclinate sui due lati della parete. Nel caso in cui il cordolo avesse una larghezza minore dello spessore della parete, le pareti si appoggiano in parte sulla struttura di fondazione in modo da inserire orizzontalmente le viti di collegamento.

La struttura di copertura può essere realizzata in funzione delle esigenze con differenti alternative tecniche, una prevede la realizzazione della struttura di copertura con pannelli XLAM, sicché in base alle dimensioni dei pannelli, si inserisce una trave di colmo e dei travetti secondari come rompitratta, collegati mediante giunzioni meccaniche; l'altra prevede la realizzazione di una struttura di copertura del tipo tradizionale, con travi principali e secondarie, con tavolato a doppio strato incrociato posto superiormente, o pannello a base di legno. La stratigrafia della copertura varia in funzione del sistema costruttivo scelto per realizzare la struttura portante, delle condizioni climatiche, dalle tradizioni costruttive e dalle scelte progettuali.

Il sistema costruttivo a parete portante con pannelli XLAM ha molteplici vantaggi, primo fra tutti l'elevato grado di prefabbricazione dei diversi elementi tecnici, che vengono forniti di ogni dettaglio in stabilimento, al quale si aggiunge la velocità di montaggio in cantiere; ciò a patto che vi siano una progettazione integrata che guidi la realizzazione del progetto esecutivo, e

un'adeguata organizzazione e gestione degli spazi per lo stoccaggio del materiale nel cantiere.

Note capitolo 3

¹ Campolongo A., *Argomenti di architettura-tecnica*, Centro editoriale e librario, Università della Calabria, Rende 2002, "Collana di Ingegneria Edile e Architettura", vol.5.

² Mandolesi E., *Edilizia*, UTET, Torino 1978.

³ Nesi A., *L'edificio come sistema. Corso di progettazione dei sistemi costruttivi*, Dipartimento Arte, scienza e tecnica del costruire (DASTEC), Università "Mediterranea" di Reggio Calabria, Reggio Calabria, s.d..

⁴ Campioli A., Lavagna M., *Tecniche e architettura*, CittàStudi Edizioni, Milano 2003.

⁵ Campioli A., Lavagna M., op. cit.

⁶ La struttura a telaio deriva dalla struttura trilitica, che era costituita da due piedritti verticali e da un architrave orizzontale. Il trilitè è uno schema statico che si basa sulla trasmissione di forze verticali, ed è instabile alle azioni orizzontali, quali vento e sisma. Lo schema statico a telaio risolve tale problema di instabilità agendo sui nodi, o giunti strutturali, in modo che siano degli incastri perfetti, o sulla presenza di elementi di controventamento.

⁷ Losasso M., "Struttura di elevazione", in Zaffagnini M. (a cura di), *Manuale di progettazione edilizia*, Hoepli, Milano 1992.

⁸ Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., *Costruzione di edifici di legno*, Corso Promo-legno, Milano, 10 Maggio 2013, s.e., Milano 2013.

. Tale saggio costituisce costante riferimento nel paragrafo.

⁹ Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., op. cit.

¹⁰ Follesa M., Maione F., Palanga G., *Edifici a struttura portante di legno. Progettazione e realizzazione*, Milano, Conlegno 2011. Tale saggio costituisce costante riferimento nel paragrafo.

¹¹ Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., op. cit.

¹² sistema intelaiato libro

¹³ Bernasconi A., *Edifici in legno con struttura moderna. I sistemi costruttivi e le tecniche di prefabbricazione*, Corso Boislab, Promolegno, maggio 2010, Milano, 2010. Tale saggio costituisce costante riferimento nel paragrafo.

¹⁴ Follesa M., Maione F., Palanga G., op. cit.

¹⁵ UNI EN 1995-1-2 Eurocodice 5, *Progettazione delle strutture di legno*, Parte 1-2, *Regole generali, progettazione strutturale contro l'incendio*.

¹⁶ Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., op. cit.

¹⁷ Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., op. cit.

¹⁸ Follesa M., Maione F., Palanga G., op. cit.

¹⁹ Losasso M., op. cit.

²⁰ Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., op. cit.

²¹ Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., op. cit. Follesa M., Maione F., Palanga G., op. cit.

²² Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., op. cit. Follesa M., Maione F., Palanga G., op. cit.

²³ Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., op. cit. Follesa M., Maione F., Palanga G., op. cit.

²⁴ Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., op. cit.

²⁵ Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., op. cit.

²⁶ Follesa M., Maione F., Palanga G., op. cit.

CAPITOLO 4

Il sistema costruttivo a pannelli portanti di legno XLAM

4.1 Il pannello XLAM: produzione; dimensioni; formati; aspetto; finiture

Il pannello di legno massiccio incollato a strati incrociati, nato da un progetto di ricerca sviluppato presso l'Università di Graz alla fine degli anni Novanta, porta alla comparsa sul mercato, austriaco e tedesco, del legno strutturale sottoforma di nuovo materiale. Gli elementi piani di grandi dimensioni derivano da un migliore sfruttamento delle risorse messe a disposizione dalla lavorazione del legno in segheria. Ogni paese, e di conseguenza ogni produttore, ha sviluppato un suo prodotto al quale si associa una denominazione differente: in Italia viene definito *XLAM*, in Germania *BSP* (*Brettspertholz*), a livello internazionale *CLT*, dall'inglese *Cross laminated timber*¹. Grazie ai pannelli XLAM si sviluppa, dal punto di vista della concezione strutturale dell'edificio, una tecnica costruttiva innovativa come alternativa alle tecniche tradizionali a parete portante. L'edilizia in legno prima dell'avvento dei pannelli XLAM si basava su sistemi costruttivi realizzati mediante l'utilizzo di elementi piani, per la realizzazione di pareti perimetrali e di partizioni interne orizzontali, costituite prevalentemente da telai irrigiditi mediante una pannellatura strutturale formata da pannelli sottili e dimensioni ridotte. Questo principio sta alla base del sistema costruttivo intelaiato di legno e rappresenta la tecnica utilizzata per realizzare la maggior parte di edifici, con limitazioni della libertà progettuale e strutturale.

Dal punto di vista strutturale, la possibilità di utilizzare elementi piani di grandi dimensioni e spessori, ci consente di realizzare strutture formate da elementi

piani portanti che riuniscono nel pannello massiccio funzioni di piastra e di lastra. Le potenzialità offerte da questo nuovo materiale strutturale, dalla produzione del primo pannello in XLAM, fanno sì che la nuova tecnica costruttiva si sviluppi non solo nel campo dell'edilizia residenziale, con la realizzazione di organismi edilizi multipiano, ma di interessare anche altri ambiti dell'edilizia e dell'ingegneria strutturale².

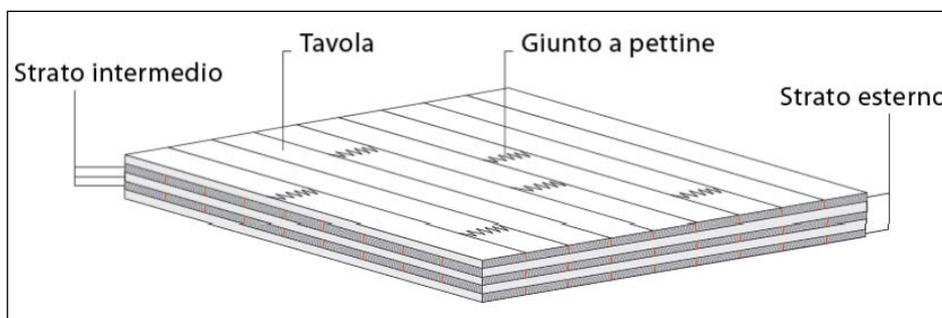
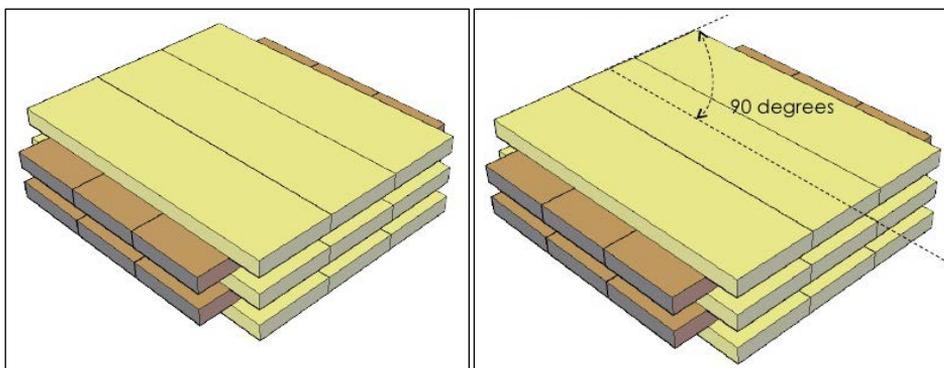


Fig. 4.1.Pannello XLAM.

Il pannello XLAM, di legno massiccio a strati incrociati, è costituito da un elemento base rappresentato dal singolo strato di tavole, composto a sua volta da una serie di tavole affiancate una all'altra, e collegate, tramite incollaggio, a formare un pannello multistrato, in modo tale che la fibratura di ogni singolo strato sia ruotata nel piano del pannello di 90° rispetto agli strati adiacenti. I pannelli XLAM, come già specificato in precedenza, sono realizzati con legno di conifera e composti da un numero variabile da 3 a 11 strati. Per ottenere un elemento multistrato con capacità portante, ossia con un comportamento fisico e meccanico ottimale, il numero minimo di strati del pannello deve essere uguale a cinque, anche se nel caso di strutture semplici, dal punto di vista statico, può essere sufficiente anche un pannello a tre strati³.

Le tavole utilizzate per la produzione dei pannelli XLAM hanno uno spessore variabile fra 15 e 30 mm, e una larghezza fra gli 80 e i 240 mm; bisogna ricordare che sul mercato sono presenti pannelli differenti, poiché ogni

produttore omologa e certifica il proprio prodotto, con dimensioni di tavole differenti in funzione delle proprie strategie di vendita e della materia prima, ossia delle tavole di cui dispone⁴.



Figg. 4.2, 4.3. Schemi di pannello XLAM.

La qualità del prodotto finito (pannello XLAM) è espressione della qualità delle tavole dal punto di vista meccanico e del profilo prestazionale. Le tavole impiegate per la produzione di pannelli XLAM devono rispettare i medesimi criteri delle tavole per la produzione di legno lamellare incollato; perciò si utilizza materiale classificato in funzione della resistenza e appartenente a una specifica classe di resistenza.

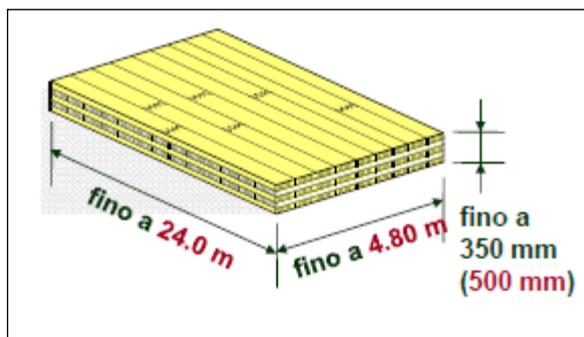


Fig. 4.4. Dimensioni pannello XLAM.

La produzione delle tavole avviene sulla base delle seguenti fasi di lavorazione:

- *taglio delle tavole (o lamelle)*, in stabilimenti altamente industrializzati e specializzati;
- *essiccazione*, una delle fasi più importanti della produzione poiché si deve mantenere il tasso di umidità del legno, pari a $12\% \pm 2$ di tolleranza;
- *classificazione*, sia visiva che meccanica, previo eliminazione di una porzione di materiale qualitativamente scadente mediante processo di troncatura;
- *incollatura*, ottenuta mediante la realizzazione dei giunti longitudinali delle lamelle e dei giunti trasversali delle tavole⁵.

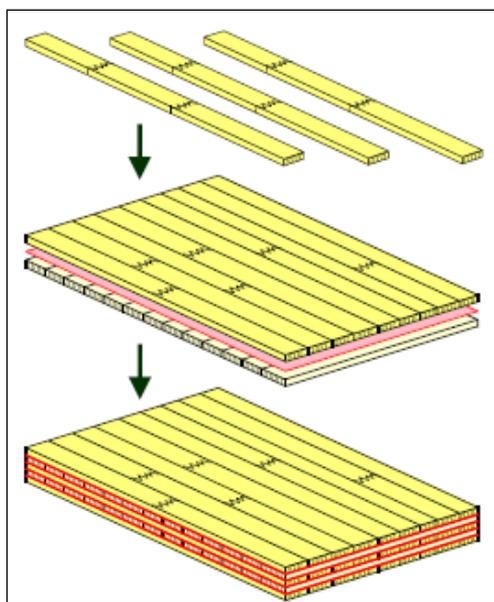


Fig. 4.5. Composizione pannello XLAM.

La classificazione, meccanica o a vista, ci consente di associare a ogni tavola una classe di resistenza, utilizzando come riferimento le seguenti norme: la norma UNI EN 14081, che ci fornisce indicazioni sulla classificazione del legno

massiccio, e la norma UNI EN 388, che ci indica i profili prestazionali delle diverse classi di resistenza⁶.

L'incollaggio richiama la tecnica utilizzata per la produzione del legno lamellare incollato, soprattutto per la realizzazione dei giunti longitudinali (eseguiti mediante giunzione longitudinale incollata) a pettine, delle singole tavole. Le singole lamelle, che formano uno strato di tavole, devono essere continue su tutta la lunghezza del pannello per garantire maggiore continuità strutturale; mentre le caratteristiche fisiche e meccaniche del pannello finito non sono influenzate dall'incollaggio della superficie stretta (ovvero delle fasce degli spessori) delle singole tavole. Le modalità e i procedimenti di produzione dei giunti trasversali fra le tavole variano in relazione alle specifiche tecniche definite dal singolo produttore; sicché le tavole possono essere incollate le une alle altre in direzione trasversale, oppure accostate a creare una superficie omogenea. Nel caso di lamelle accostate si possono generare due configurazioni: una situazione in cui il giunto è visibile e l'altra in cui la superficie di contatto fra le tavole non è curata e genera un'intercapedine visibile fra le due tavole.

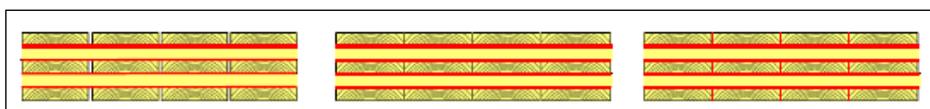


Fig. 4.6. Collegamento trasversale delle tavole in un pannello XLAM.

Le caratteristiche tecniche dell'XLAM, non sono influenzate dalla continuità, o non continuità, fra una tavola e l'altra nella direzione perpendicolare alla fibratura, dato che la resistenza e la rigidezza del singolo strato in questa direzione sono molto ridotte. Le singole tavole inoltre sono soggette alla formazione di fessure trasversali, che possono essere generate da diverse

cause, e che portano alla discontinuità del materiale nella direzione perpendicolare alla fibratura.

La produzione del pannello XLAM non segue specifiche normative di prodotto, ma segue le condizioni di produzione del legno lamellare per uso strutturale, ossia prodotto tramite incollaggio. Pertanto si giunge al pannello XLAM, monolitico e multistrato, mediante procedure di incollaggio strutturale degli strati di tavole, ruotati di 90° uno rispetto all'altro. I collanti utilizzati per la produzione dei pannelli sono sia adesivi a base di formaldeide, in primo tempo, sia a base di poliuretani; con una prevalenza di quest'ultimi per ragioni di tossicità della formaldeide. I pannelli XLAM possono essere prodotti seguendo procedure a una fase o a due fasi; è opportuno sottolineare che le differenti procedure di produzione non influenzano in nessun modo il comportamento meccanico del pannello finito⁷.

La produzione in una fase si realizza quando il pacchetto di tavole incollate, formante il pannello multistrato, è composto a partire dalle tavole della lunghezza desiderata e incollato in un'unica fase di lavoro; si precisa che in questo caso le superfici laterali delle tavole non sono incollate. Nella produzione in due fasi il pacchetto di tavole incollate è composto sempre da tavole della lunghezza desiderata, ma l'incollaggio avviene in due fasi distinte: nella prima fase si producono singoli strati di tavole della dimensione del pannello finito, incollando le tavole una accanto all'altra; nella seconda fase si procede all'incollatura dei singoli strati sovrapponendoli nella sequenza e nella direzione richiesta.

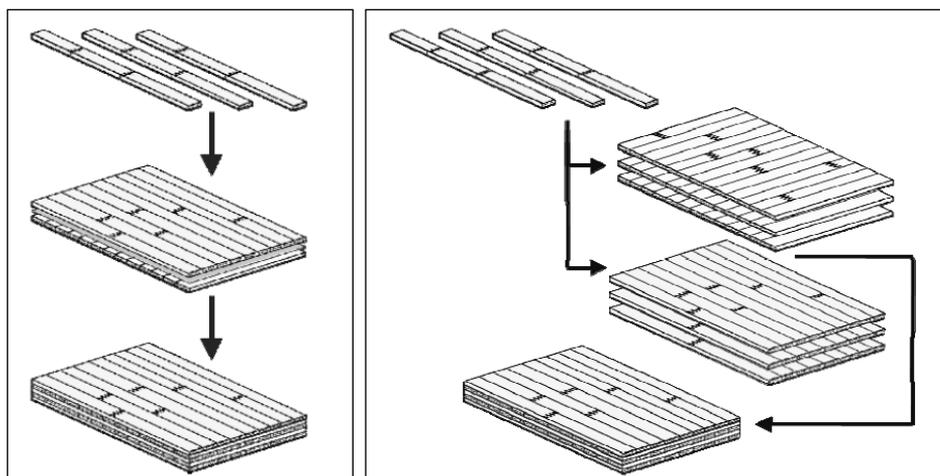


Fig. 4.7, 4.8. Produzione pannelli XLAM in una fase e in due fasi.

I pannelli XLAM che seguono le procedure su specificate, e sono prodotti industrialmente in stabilimenti moderni, possono essere considerati elementi di legno massiccio; pertanto le tecnologie di lavorazione di cui necessitano sono quelle proprie della carpenteria di legno. L'aspetto che assume il pannello varia in funzione delle esigenze specifiche del singolo progetto, sicché possono essere forniti allo stato grezzo, per la lavorazione finale da parte della carpenteria in cantiere, oppure essere finiti con specifici trattamenti in modo da essere lasciati a vista. Durante la realizzazione del pannello si deve prestare particolare attenzione alla produzione e alla qualità delle superfici esterne, che devono risultare prive di fessure e i giunti trasversali non marcati con aperture visibili; le superfici devono poi essere piallate o levigate. La superficie dei pannelli, come tutte le superfici degli elementi di legno, può restare naturale o essere trattata; l'aggiunta di strati supplementari legati a esigenze estetiche, è possibile durante la fase di produzione, bilanciando esigenze progettuali e produzione, ma cercando di rispettare la simmetria del pannello. Quando le esigenze progettuali lo richiedono si producono pannelli con strati doppi, in modo da ottenere caratteristiche meccaniche migliori in una delle due direzioni del piano del pannello.

Gli stabilimenti eseguono la produzione dei pannelli XLAM, grezzi o semilavorati, in funzione delle specifiche richieste del committente, nel quale rientrano il taglio nelle dimensioni esatte e definitive del pannello, il taglio delle aperture all'interno della superficie del pannello, e l'eventuale lavorazione particolare degli spigoli (quali a esempio maschiature, intagli per coprighiunti o altri tipi di connessioni).

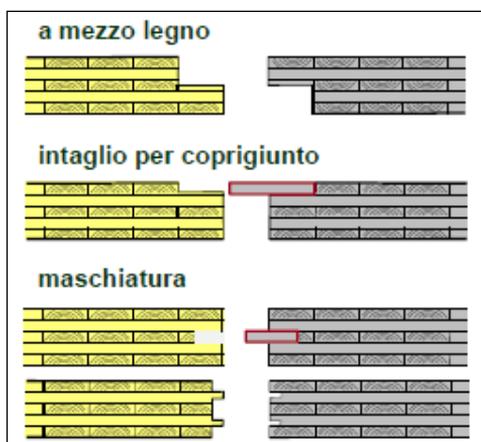


Fig. 4.9. Il taglio e le finiture del pannello XLAM.

Per quanto attiene alle dimensioni dei pannelli XLAM non esiste sul mercato un'unificazione dei metodi di produzione, ma variano tra i produttori, per dimensione e per composizione degli strati, frutto di scelte aziendali che influenzano il comportamento strutturale dei pannelli. Le dimensioni massime dei pannelli XLAM si attestano su 24 m in una direzione, i 4,80 m nell'altra e uno spessore di 0,50 m; entro questi limiti variano in modo notevole le dimensioni massime della produzione del singolo pannello, le dimensioni dello spessore dei singoli strati e la composizione del pannello⁸.

La produzione standard prevede pannelli che di regola non superano, nella dimensione più corta, l'altezza di un piano d'edificio, per ragioni di opportunità progettuale e costruttiva, ma anche per ragioni di trasporto del pannello finito.

Si specifica che anche i pannelli con dimensioni limitate a 1,25 m sono considerati come pannelli di legno massiccio a strati incrociati a tutti gli effetti. La differente larghezza del pannello porta a una gestione accurata della produzione e del montaggio degli elementi costruttivi dell'edificio, che deve essere valutata e analizzata nel dettaglio di volta in volta, configurando soluzioni interessanti sia dal punto di vista tecnico che dal punto di vista economico. Per esigenze strutturali particolari, si considerano le dimensioni dell'elemento strutturale, valutando se è opportuno produrre un solo pannello oppure giuntare più elementi, scegliendo la soluzione conforme tra le varie alternative tecniche valide che rispecchia le esigenze progettuali.

L'XLAM è per principio e per definizione un elemento massiccio di superficie, e di regola piano; ma con tecnologie particolari e impianti di produzione specifici, è possibile realizzare anche pannelli con forme particolari. A esempio dalla forma cilindrica del piano del pannello si originano pannelli curvi, la cui realizzazione e fattibilità deve essere studiata con attenzione sin dalla fase della progettazione preliminare dell'edificio⁹.

4.2 Le caratteristiche fisiche del pannello XLAM

L'XLAM, trattato come elemento di legno massiccio, ha la stessa struttura del legno dal punto di vista fisico, chimico e biologico, a meno degli adesivi utilizzati per l'incollaggio; sicché può essere considerato come il legno massiccio naturale, e classificato secondo la resistenza, tenendo conto della caratterizzazione e del comportamento fisico e meccanico propri del materiale di base.

Il legno è soggetto a ritiro e rigonfiamento in funzione della riduzione o dell'aumento del suo contenuto di acqua, fenomeno influenzato dalla direzione delle fibre del materiale e proporzionale alla variazione di umidità¹⁰. Nel caso di

ritiro il legno si fessura; le fessure che si aprono vengono denominate fessure da ritiro, e sono sempre parallele alla fibratura.

I pannelli XLAM al momento della produzione si trovano in condizioni di umidità pari al 12%, ma subiscono delle variazioni dei valori di umidità in funzione delle condizioni climatiche in cui si trovano; l'incollaggio strutturale dei diversi strati di tavole ci consente di ridurre le deformazioni dovute alle variazioni di umidità del legno.

La variazione dell'umidità del legno provoca nel pannello XLAM una variazione della dimensione del legno differente nei vari strati, in funzione dell'orientamento degli stessi; sicché, se consideriamo il fenomeno in una sola direzione del piano del pannello, si ottiene una variazione trascurabile degli strati longitudinali e una variazione più evidente degli strati trasversali. L'incollaggio fra i diversi strati impone la medesima deformazione, o la medesima variazione della lunghezza di tutti gli strati, dalla quale risultano sollecitazioni interne, causate dall'interazione fra i diversi strati e dal loro diverso comportamento. La differenza di modulo elastico fra gli strati trasversali longitudinali e gli strati trasversali definisce l'ampiezza della deformazione e l'ampiezza delle sollecitazioni in condizioni di equilibrio meccanico fra i diversi strati di tavole¹¹.

E' opportuno precisare che la differenza fra il modulo elastico nella direzione longitudinale e nella direzione trasversale è espressa da un rapporto di almeno 30:1, che sottolinea come la maggiore deformazione degli strati trasversali sia completamente impedita da quelli longitudinali; ne consegue che il comportamento dell'intero pannello, nelle due direzioni del proprio piano, sia simile a quello del legno nella direzione longitudinale¹². Il pannello XLAM presenta la stessa struttura del "pannello compensato", dove al posto dei piallacci troviamo gli strati di tavole di spessore variabile fra 17 e 35 mm.

I pannelli XLAM possono essere utilizzati in condizioni climatiche che non permettano l'aumento del valore di umidità oltre il 20%, ossia nelle classi di

servizio 1 e 2, definiti dalla norma; pertanto l'uso è limitato alle situazioni che non ne compromettono la durabilità, e in condizioni da escludere ogni fenomeno di degrado biologico¹³.

Le variazioni di dimensioni accettabili di un pannello XLAM, nel suo piano, sono dell'ordine dello 0.1 %, cioè di meno di 1 mm per metro lineare; ma nella realtà sono minori, poiché gli strati trasversali all'interno del pannello presentano già fessure da ritiro causate dall'essiccazione iniziale e dalle variazioni di umidità in fase di esercizio.

La stabilità dimensionale dei pannelli XLAM nel loro piano consente sia l'uso di pannelli di dimensioni elevate, senza conseguenze per gli altri elementi costruttivi e strutturali (durante la fase di esercizio), sia la lavorazione di precisione in fase di prefabbricazione; senza considerare, tolleranze dovute alla variazione di dimensione del materiale. Al contrario la stabilità dimensionale varia sul lato dello spessore del pannello, giacché il materiale ha la direzione perpendicolare alla fibratura in tutti gli strati; pertanto le variazioni dell'umidità del legno si traducono in variazioni dello spessore del pannello; mentre sono considerate trascurabili le variazioni da fenomeni di ritiro e rigonfiamento. L'uso dei pannelli XLAM, quale elemento strutturale in condizioni di esposizione diretta alle intemperie, è quindi escluso (poiché limitato alle classi di servizio 1 e 2); in ogni caso l'esposizione alle intemperie comprometterebbe anche la durabilità dei pannelli XLAM derivante dalla fessurazione delle tavole generate dalle infiltrazioni di acqua. E' necessario ancora approfondire il comportamento del pannello in caso di forte e differenziato ritiro o rigonfiamento dei singoli strati, sia dal punto di vista dell'ampiezza delle sollecitazioni, sia dal punto di vista della eventuale deformazione del pannello.

4.3 Le caratteristiche strutturali del pannello XLAM

Le caratteristiche meccaniche dell'XLAM, in funzione del suo uso quale elemento strutturale, possono essere definite sulla base della composizione del pannello, considerando i singoli strati da cui il pannello è composto. Il pannello è formato da una serie di strati di tavole di legno¹⁴ che possono essere definiti come strati unidirezionali, le cui caratteristiche meccaniche dipendono dalla direzione considerata rispetto alla direzione della fibratura; sicché avremo una direzione parallela e una perpendicolare.

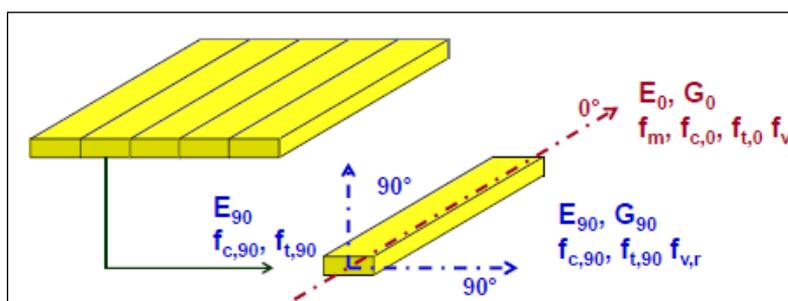


Fig. 4.10. Caratteristiche meccaniche (profilo prestazionale) di uno strato di tavole.

Il pannello XLAM è formato da più strati incrociati, l'unione fra i singoli strati è realizzata tramite incollatura; che non rappresenta un indebolimento del sistema multistrato, ma fa sì che i diversi strati di tavole siano collegati fra loro in modo rigido¹⁵. Lo strato di colla può essere considerato come infinitamente rigido in relazione alla rigidità dei componenti di legno, e trascurato ai fini della descrizione delle caratteristiche meccaniche del materiale. Il comportamento meccanico del pannello può essere analizzato sulla base della considerazione delle due direzioni del piano del pannello; e per descriverne il comportamento meccanico si può considerare come una lastra formata da una griglia di elementi lineari e multistrato, ovvero elementi di trave inflessa.

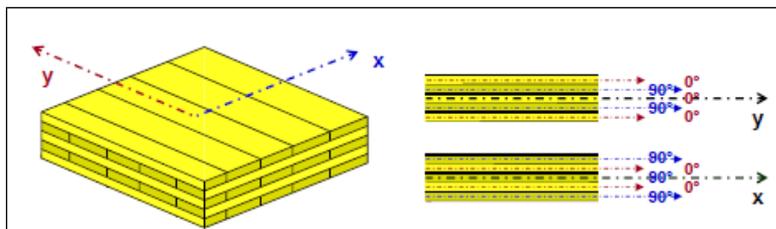


Fig. 4.11. Pannello XLAM multistrato con strati incrociati.

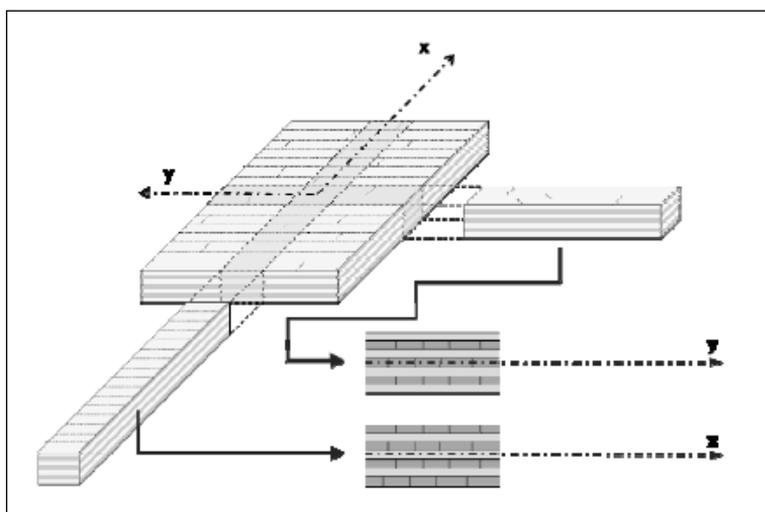


Fig. 4.12. XLAM quale griglia di elementi lineari e multistrato.

Il comportamento dell'elemento inflesso, con la sezione composta da un numero di strati variabili, può essere definito in modo piuttosto semplice, applicando le regole della scienza delle costruzioni, ossia determinando la distribuzione delle tensioni sui singoli strati in funzione delle rispettive caratteristiche meccaniche¹⁶.

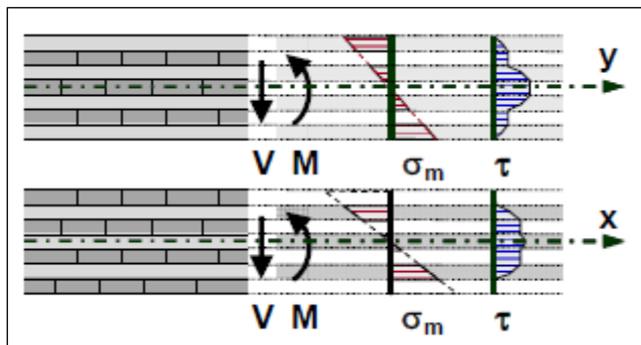


Fig. 4.13. Distribuzione delle tensioni di flessione e di taglio sulla sezione per i due casi.

Gli strati orientati trasversalmente rispetto alla direzione considerata garantiscono il collegamento rigido fra i diversi strati di cui è composto il pannello, pertanto hanno una funzione fondamentale. Questi strati sono caratterizzati da proprietà meccaniche di resistenza e rigidità molto ridotte rispetto agli strati con fibre parallele alla direzione considerata. La distribuzione delle tensioni flessionali e di taglio è quella indicata nel grafico della Fig. 4.11.

L'elemento strutturale piastra

L'analisi della piastra ne prevede la descrizione come se fosse una griglia di elementi inflessi, che presentano caratteristiche meccaniche diverse nelle due direzioni del piano, poiché la geometria degli elementi della piastra fa sì che si consideri l'effetto strutturale in una sola direzione; la rigidità torsionale dell'XLAM è ridotta a causa dei valori del modulo tangenziale G del legno e l'effetto della possibile fessurazione degli strati di tavole ne riduce la continuità nella direzione trasversale.

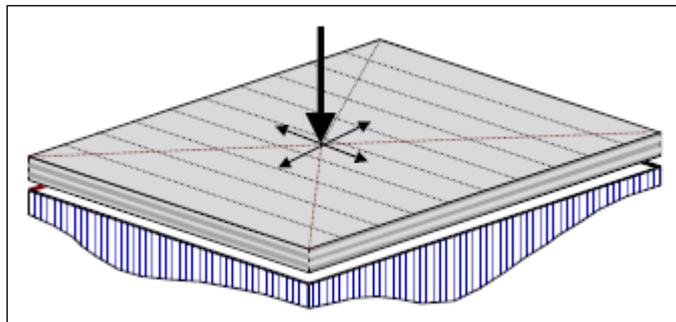
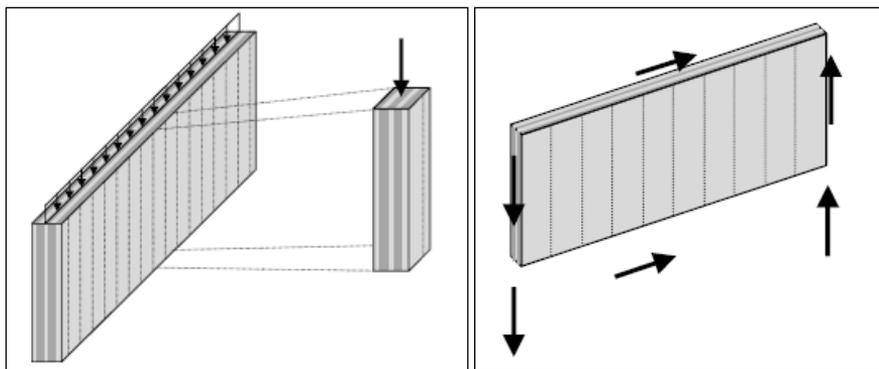


Fig. 4.14. Effetto strutturale dell'elemento piastra.

L'elemento strutturale permette di distribuire i carichi a esso applicati nelle due direzioni del suo piano, sfruttando tutto il materiale; si riducono così le sollecitazioni locali all'interno della piastra e si distribuiscono i carichi su tutto il suo perimetro¹⁷.

L'elemento strutturale lastra

L'elemento base di parete, ossia la parete perimetrale verticale, è formato da una lastra verticale che deve assumere le funzioni di elemento compresso (forza assiale verticale) e di lastra (controventatura, forze orizzontali nel piano della parete); il pannello XLAM le assume entrambe. Anche nel caso di lastra, la rigidità e la resistenza sono definite dalla composizione dei diversi strati del pannello, dove lo spessore del pannello è la dimensione di riferimento, a costituire una parete massiccia. L'effetto lastra con funzione di controventatura strutturale della parete è dato dalla composizione multistrato dell'XLAM e dalle caratteristiche di rigidità e di resistenza alle sollecitazioni a taglio nel piano¹⁸.



Figg. 4.15 , 4.16. Elemento di parete: con funzione di discesa dei carichi verticali e con funzione controventatura.

4.4 La struttura portante dell'edificio

Il pannello XLAM è un elemento di superficie che assume due funzioni strutturali:

- l'effetto di piastra, determinato dalle sollecitazioni perpendicolari al piano del pannello, e dalla resistenza e rigidezza del pannello a flessione e taglio nelle due direzioni del suo piano;
- l'effetto di lastra, determinato dalle sollecitazioni nel piano del pannello, e dalla resistenza e rigidezza agli sforzi normali e di taglio nel suo piano¹⁹.

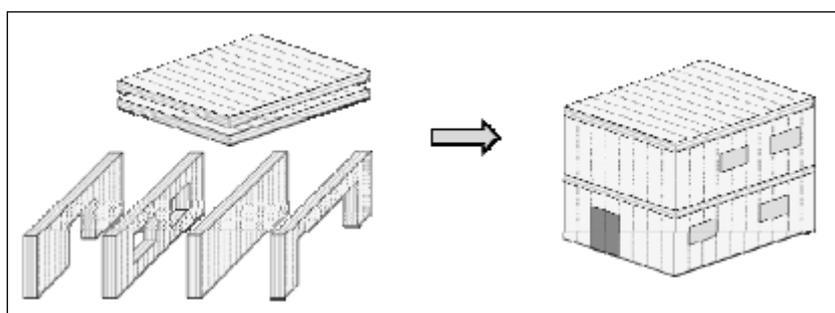


Fig. 4.17. Struttura portante dell'edificio formata da elementi piani.

L'organismo edilizio in legno per sfruttare al meglio tutti gli elementi e tutte le superfici che formano la costruzione è caratterizzato, come il cemento armato, da una distribuzione delle pareti lungo tutto il perimetro che rappresentano la struttura portante. L'elemento piano non assolve solo la funzione di tamponamento e controventatura, ma anche funzione portante a lastra o a piastra. Le forze agenti sono distribuite sulle superfici degli elementi piani, riducendo l'utilizzo di elementi strutturali lineari di grandi dimensioni e la concentrazione di forze su alcuni punti dell'edificio; con conseguente aumento di flessibilità dal punto di vista progettuale. La controventatura, sia verticale che orizzontale, non si considera più come separata dalla struttura portante principale, ma sono gli elementi strutturali piani stessi che assicurano l'azione di controventamento alla struttura (dato che assumono la funzione di lastra strutturale)²⁰.

Il pannello XLAM permette la realizzazione, non solo di strutture complesse, ma anche di strutture più semplici, nelle quali la distribuzione dei carichi alla struttura di fondazione avviene attraverso un semplice flusso di forze verticali; così da ottenere strutture rigide e resistenti con elementi semplici.

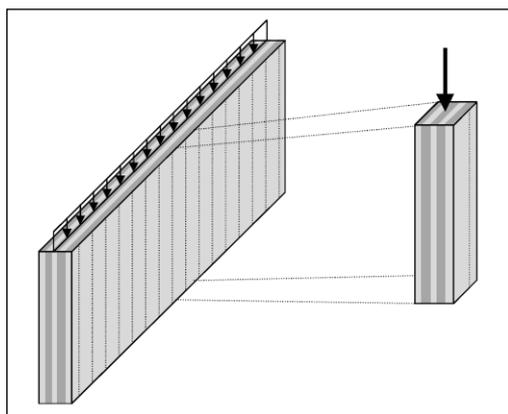


Fig. 4.18. Elemento di parete soggetto a carichi verticali.

La struttura portante di un edificio in XLAM è composta da elementi piani di superficie, orizzontali e verticali, opportunamente collegati in modo da creare strutture portanti tridimensionali, ossia a comportamento scatolare. I collegamenti fra i diversi elementi (che formano la struttura dell'edificio) si comportano come cerniere, che consentono e assicurano la trasmissione delle forze fra un elemento e l'altro.

Per avere configurazione scatolare l'organismo edilizio deve avere un numero sufficiente di pareti perimetrali e di partizioni orizzontali; sicché ogni piano dell'edificio deve avere due partizioni orizzontali e almeno due pareti perimetrali, con la stessa lunghezza, poste alle estremità e perpendicolari fra loro. Una struttura scatolare semplice è formata da due partizioni orizzontali, una corrisponde alla platea di fondazione, l'altra alla struttura di copertura, e da quattro pareti portanti, posizionate sui lati esterni della costruzione, che racchiudono lo spazio abitabile e configurano l'organismo edilizio. Una struttura scatolare multipiano, invece, solo a livello geometrico è il risultato della sovrapposizione di più strutture scatolari semplici, poiché aumentando i piani aumentano di conseguenza anche le sollecitazioni meccaniche.

Sicché un edificio multipiano è formato da una successione di elementi orizzontali, ossia partizioni orizzontali, dalla platea di fondazione alla struttura di copertura, e da elementi verticali, ossia pareti perimetrali esterne e pareti interne; nel caso di strutture realizzate con pannelli XLAM, le partizioni interne verticali possono assolvere funzione portante. Per garantire la continuità strutturale delle pareti e la funzione di elemento di controventatura e stabilizzazione della struttura, si deve mantenere costante per tutta l'altezza dell'edificio la posizione delle pareti portanti. Differente ragionamento si deve seguire per definire la lunghezza delle pareti: esse devono essere ridotte, limitando così il numero di pareti con funzione portante, così da consentire alle pareti non portanti di realizzare gli schemi definiti nel progetto architettonico²¹.

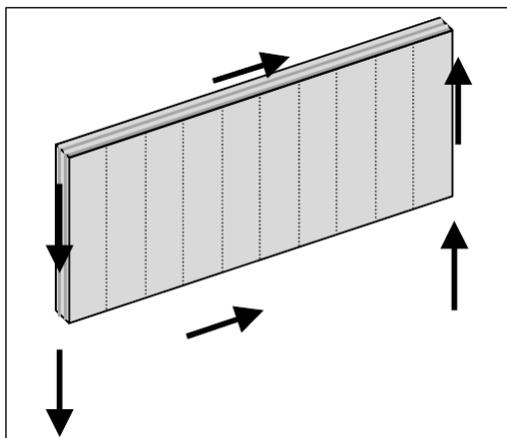


Fig. 4.19. Elemento di parete con funzione di controvento.

Nelle strutture in XLAM le pareti perimetrali verticali non devono essere poste necessariamente in corrispondenza delle estremità dell'edificio, ma possono anche essere arretrate rispetto alla facciata o esternamente a essa, col solo limite di mantenere la posizione, di piano in piano, per conferire maggiore stabilità alla struttura. Per quanto attiene alle partizioni interne verticali non c'è un numero minimo di pareti da inserire, e le stesse, perdendo l'integrità e la funzione di controvento, possono essere interrotte in corrispondenza di infissi esterni e interni; da ciò scaturisce una problematica di stabilità per gli edifici alti che deve essere risolta con una riduzione delle dimensioni in pianta. Un organismo edilizio con spiccata flessibilità nell'organizzazione delle unità ambientali, è il risultato di un'attenta progettazione, da cui scaturisce la scelta del posizionamento delle pareti portanti lungo il perimetro esterno o interno; questa scelta influenza a sua volta le dimensioni della lunghezza d dello spessore della partizione interna orizzontale; senza dire che all'aumentare degli spessori degli elementi tecnici aumentano anche i costi²².

Si può affermare che la realizzazione di una struttura in XLAM è il risultato di un attento processo progettuale, che deve tener conto delle potenzialità del materiale. Infatti l'XLAM non è un prodotto, ma un materiale con stratigrafia,

spessori e dimensioni che variano in funzione del produttore, ma col medesimo comportamento strutturale anche in caso di diversa composizione del pannello; ne consegue che spetta al progettista la scelta del prodotto da utilizzare in funzione dell'impiego e del progetto architettonico. La scelta non è influenzata solo dal comportamento strutturale, ma è legata anche ad altri aspetti, quali la produzione e prefabbricazione degli elementi costruttivi, il trasporto, il montaggio, che a loro volta avranno un effetto sui costi.

L'analisi della struttura tridimensionale composta da pannelli XLAM sembra complessa e impegnativa, ciò a causa dell'effetto strutturale delle superfici che compongono la struttura stessa. Ma detta apparente complessità viene meno giacché la struttura si scompone permettendo di analizzare il comportamento dei singoli elementi separatamente. Ciò è possibile poiché si fa riferimento agli elementi parete e agli elementi solaio che sono collegati fra loro senza giunti rigidi a flessione. Questo metodo è valido per analizzare il comportamento strutturale e la funzione di ogni singolo elemento, ma non può essere applicato per calcolare le deformazioni della struttura e per definirne il comportamento quando è sottoposta a sisma.

Pareti perimetrali in XLAM

La parete strutturale in XLAM può essere considerata come un montante, o un pilastro di lunghezza continua. La realizzazione di un elemento parete può avvenire in differenti modi, solitamente l'altezza del pannello XLAM coincide con l'altezza del piano; nel caso di residenza gli elementi di parete hanno un'altezza di circa 3 m e sono formati da un unico pannello XLAM nella direzione verticale. Anche la lunghezza della parete può essere definita mediante l'utilizzo di un singolo pannello XLAM, ma in questo caso giocano un ruolo determinante i limiti dettati dalle esigenze di produzione, di trasporto e di montaggio; la lunghezza massima si attesta sui 20 m²³.

Per esigenze di trasporto e montaggio spesso si riducono le dimensioni dei pannelli; ciò è reso possibile operando una suddivisione della parete in strisce verticali, col fine di assicurare la continuità strutturale su tutta l'altezza, e l'unione degli stessi mediante la realizzazione di giunti verticali sui pannelli XLAM. Tale collegamento deve assicurare la continuità della parete quale lastra verticale con funzione di controventatura (trasmissione e discesa delle forze orizzontali agenti nel piano della parete), ma non è necessaria la continuità della rigidità flessionale nel giunto, poiché il giunto assume funzione di cerniera su tutta l'altezza della parete. Si deve tener conto dello scorrimento dei giunti dovuto alle connessioni meccaniche fra i diversi elementi, e, nel caso di grandi deformazioni, si deve prevedere l'ancoraggio verticale di tutti gli elementi di parete.

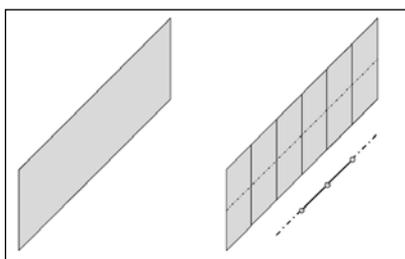


Fig. 4.20. Elemento parete intera e elemento di parete formato da più elementi con giunti verticali.

Il collegamento tra elementi di parete XLAM, a formare pareti strutturali, può avvenire anche tramite giunti orizzontali configurati all'interno della parete, che necessitano di continuità strutturale anche in relazione alla rigidità flessionale dell'elemento; senza la detta rigidità flessionale la parete non può più essere considerata né come una lastra, né come una piastra verticale.

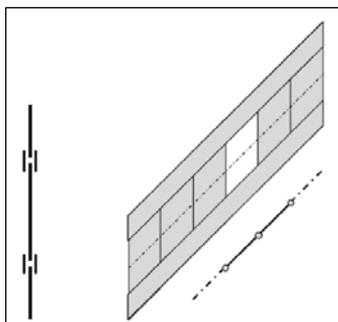


Fig. 4.21. Elemento parete composta da più elementi con giunti orizzontali rigidi

Lo spessore minimo degli elementi di parete è determinato dai carichi verticali agenti sulla parete, ma anche da esigenze di rigidità, dovute all'azione dei carichi orizzontali, e da esigenze di resistenza. Bisogna inoltre tener conto, per la determinazione dello spessore, delle esigenze legate all'isolamento acustico e alla massa della costruzione, in modo da consentire rigidità e resistenza dell'elemento strutturale. Il calcolo strutturale dell'elemento di parete può portare a spessori più ridotti, tuttavia l'esperienza insegna che è opportuno realizzare spessori non inferiori a 110 mm per le pareti perimetrali esterne e spessori di 100 mm per le pareti portanti interne

Gli elementi di parete così configurati hanno una doppia funzione, quella di trasmettere i carichi verticali, e quella di un comportamento assimilabile all'elemento inflesso in caso di carichi perpendicolari al proprio piano (per esempio il vento agente sulle pareti esterne); da ciò consegue che gli strati esterni del pannello devono essere orientati nella direzione verticale.

Il comportamento strutturale delle pareti perimetrali non dipende solo dalla composizione della parete, ma anche dalla presenza di aperture, poiché esse generano un'interruzione della distribuzione delle forze, verso la struttura di fondazione, che deve essere assorbito dalle porzioni di pannello adiacenti alle aperture, dove si concentrano carichi e sollecitazioni. Al di sopra dell'apertura non si realizzano architravi, pertanto bisogna realizzare un

elemento strutturale in grado di garantire una determinata rigidità e una determinata resistenza a flessione. Le pareti realizzate in XLAM hanno un'ottima resistenza poiché la porzione al di sopra del vano è composta da un numero di strati di tavole orizzontali in grado di assolvere alla funzione di architrave; pertanto, se al di sopra del vano l'elemento di parete ha un'altezza rilevante, non è necessario inserire l'architrave di rinforzo. Per eseguire l'analisi strutturale di una parete così composta si considera la parete stessa come un elemento di lastra con forma irregolare, e il procedimento di calcolo prevede la determinazione delle forze interne alla lastra, con la successiva verifica delle sezioni soggette alle sollecitazioni maggiori. In caso di grandi aperture e di interruzioni di pareti su grandi altezze, bisogna far attenzione allo spessore dell'elemento parete, che non può essere troppo ridotto, al fine di garantire adeguate resistenza e rigidità.

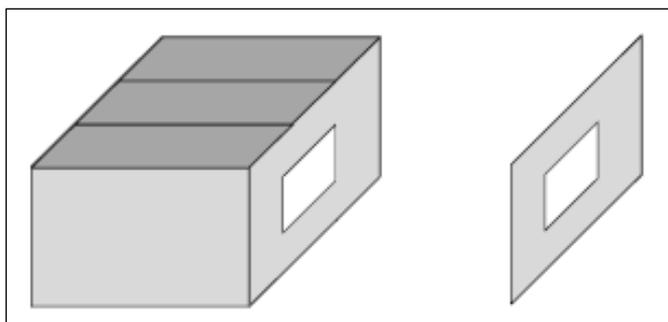


Fig. 4.22. Parete con apertura.

Trave- parete

L'elemento strutturale della trave-parete, o diaframma con funzione strutturale di trave, è poco utilizzato nelle strutture di legno di tipo tradizionale, ma è realizzabile dalle pareti in XLAM, previo adeguato calcolo strutturale dell'elemento di parete e opportuna verifica delle sollecitazioni. Le pareti in XLAM sono considerate come travi verticali appoggiate alle pareti sottostanti; in questo modo si configurano elementi strutturali atti a formare la struttura

tridimensionale dell'edificio. Questo elemento trave-parete consente la realizzazione di strutture a sbalzo, che sono sostenute dalla pareti a esse perpendicolari, con l'aggiunta di nervature o rinforzi tramite incollatura strutturale di elementi lineari²⁴.

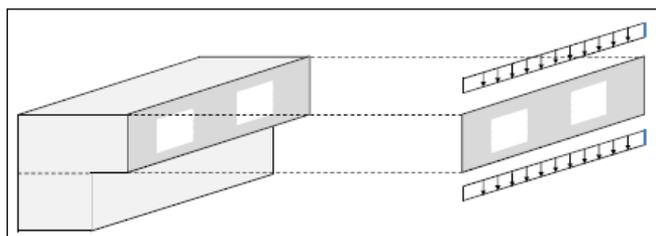


Fig. 4.23. Esempio di trave - parete.

Dal punto di vista strutturale ed economico è interessante combinare differenti elementi e materiali, pertanto si possono inserire elementi in legno lamellare incollato.

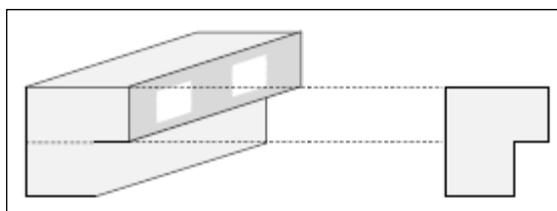


Fig. 4.24. Parete perimetrale laterale con funzione di sostegno dello sbalzo.

Partizioni orizzontali interne in XLAM

Le partizioni interne orizzontali possono essere considerate come elementi strutturali inflessi lineari, poiché gli effetti strutturali della lastra si manifestano in corrispondenza degli angoli e in zone con luci ridotte; sicché si devono evitare i giunti nella direzione di sollecitazione a flessione. Lo spessore delle partizioni orizzontali interne in XLAM deve essere compreso fra 1/35 e 1/40

della luce, che determina la flessione massima della partizione (ossia della luce più piccola dell'elemento considerato); tali valori variano in seguito alla verifica in fase di esercizio²⁵. Dopo la determinazione dello spessore si passa al dimensionamento della larghezza del pannello, sempre limitato da esigenze di produzione, trasporto e montaggio, per la residenza si attesta tra 1,25 m e 3 m. Le partizioni orizzontali in XLAM consentono di coprire luci maggiori rispetto ai sistemi costruttivi tradizionali in legno, così da permettere la realizzazione di edifici residenziali multipiano ed edifici a destinazione terziaria. Per gli edifici di grandi dimensioni sarebbe opportuno limitare al minimo il numero di collegamenti meccanici fra i pannelli XLAM, utilizzando pannelli di dimensioni maggiori.

Il giunto fra i vari elementi di solaio in XLAM, parallelo alla direzione strutturale principale, è realizzato per garantire la continuità strutturale in questa direzione, ma senza realizzare un giunto rigido, cioè senza continuità flessionale, ma formando una cerniera. La continuità dell'elemento strutturale, sia come piastra che come lastra, è garantita senza dover realizzare un complicato giunto rigido alla flessione. I giunti fra i diversi pannelli dovranno essere concepiti e dimensionati in modo da garantire una sufficiente rigidità e resistenza sia a flessione che a taglio. I pannelli devono essere opportunamente collegati anche nella direzione meno sollecitata, in modo da garantire il comportamento a piastra con funzione di controventamento. Si devono limitare inoltre le deformazioni della struttura, il comportamento oscillatorio e quello vibrazionale.

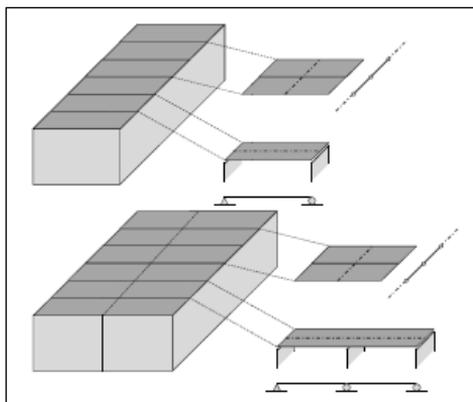


Fig. 4.25. Principio strutturale e giunti della soletta XLAM.

Il sistema strutturale dell'elemento di solaio può quindi essere analizzato in modo semplice, sulla base del modello della trave inflessa, sfruttando la continuità strutturale di questo elemento su più campate, in modo da ottimizzarne il comportamento strutturale.

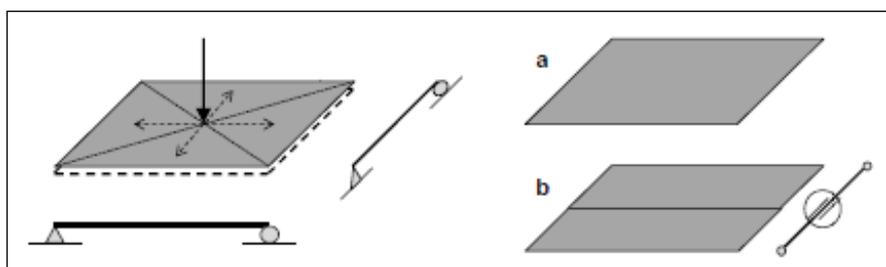


Fig. 4.26. Piastra con funzione portante in due direzioni: a) elemento unico
b) elemento composto da più parti con giunti rigidi.

4.5 I collegamenti

I collegamenti permettono di realizzare l'unione tra i diversi elementi di superficie a formare la struttura portante scatolare, che si considera tale solo dopo l'esecuzione dei giunti; pertanto i collegamenti assumono un ruolo fondamentale quali elementi strutturali. Le giunzioni fra pannelli XLAM sono

realizzabili, lungo le superfici di contatto, attraverso connettori e collegamenti noti alla carpenteria di legno, quali chiodi, viti e spinotti, e mediante l'ausilio di lamiere e staffe metalliche. Nel caso di edifici con struttura semplice e dimensioni ridotte la giunzioni possono essere realizzate in modo puntuale, con angolari metallici forati, e aventi spessore di pochi millimetri; mentre per esigenze particolari si ricorre a collegamenti simmetrici rispetto alla mezzeria del pannello XLAM, collegato mediante viti a tutto filetto inclinate, o lamiere metalliche a scomparsa collegate mediante spinotti o perni²⁶. Per edifici multipiano realizzati con pannelli XLAM caratterizzati da particolare geometria i collegamenti devono essere opportunamente verificati. In particolare i collegamenti che caratterizzano una struttura XLAM, identificati nella figura 4.27, sono i seguenti:

- collegamento del pannello verticale - pannello orizzontale;
- collegamento pannello orizzontale - pannello orizzontale;
- collegamento pannello verticale - pannello verticale²⁷.

I collegamenti generano differenti modelli funzionali e altrettante alternative tecniche in funzione delle esigenze espresse dal committente. Per la descrizione dei tipi di collegamento, di seguito descritti, si ometteranno gli strati funzionali che formano le varie soluzioni conformi (quali rivestimenti, nastri, teli, strati di isolamento e strati di protezione).

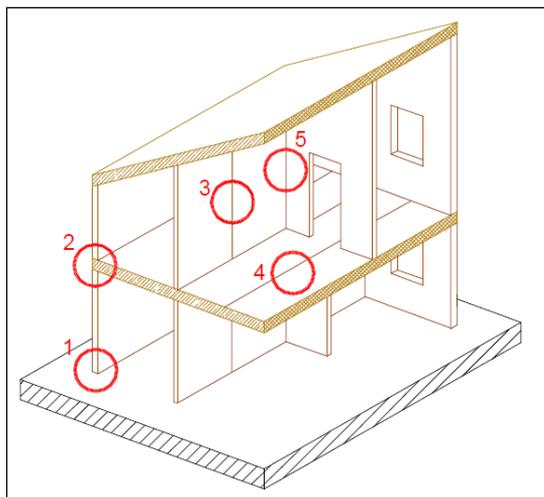


Fig. 4.27. Differenti tipi di collegamenti.

Collegamento parete perimetrale -struttura di fondazione

Nel collegamento fra la parete perimetrale e la struttura di fondazione realizzata in cemento armato si utilizzano delle piastre metalliche in acciaio e degli angolari metallici allungati, denominati *hold-down*. Detti elementi hanno la capacità di contrastare le forze di scorrimento e di sollevamento del pannello rispetto alla struttura di fondazione, forze dovute alle azioni orizzontali quali vento e sisma. In particolare le piastre contrastano gli sforzi di taglio (scorrimento) e gli angolari contrastano il ribaltamento della parete (sollevamento)²⁸.

Le piastre angolari sono collegate alla parete in XLAM per mezzo di chiodi o viti, e alla struttura di fondazione per mezzo di barre filettate, oppure tasselli fissati meccanicamente o chimicamente.

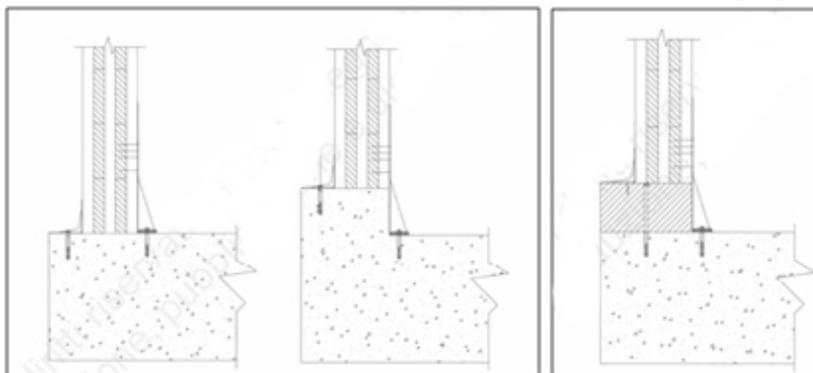


Fig. 4.28. Collegamenti parete perimetrale -struttura di fondazione.

La giunzione può avvenire direttamente sulla partizione interna orizzontale, e per una corretta posa in opera si può prevedere l'utilizzo di *cunei di legno* al fine di uniformare il piano di posa; oppure si può realizzare un cordolo in cemento armato sulla struttura di fondazione; o ancora si può inserire un cordolo di legno di larice o lamellare. Tra la struttura di fondazione e la parete di XLAM si devono inserire nastri per il posizionamento, l'isolamento e l'impermeabilizzazione.

Collegamento parete - solaio - parete

Il collegamento fra la parete perimetrale in XLAM del piano inferiore, la partizione interna orizzontale e la parete perimetrale del piano superiore avviene attraverso sistemi di giunzione che realizzano la continuità strutturale. La giunzione può avvenire in funzione della trasmissione di sforzi di taglio o di sollevamento in due modi differenti: il *collegamento a taglio* serve per trasferire le forze orizzontali dovute al taglio; il *collegamento a trazione* serve per trasferire le forze verticali dovute al momento²⁹.

I collegamenti a taglio si realizzano mediante l'inserimento di angolari a L oppure angolari a L e viti autoforanti, inserite all'estradosso della partizione

orizzontale; mentre i collegamenti a taglio si realizzano mediante l'inserimento di *hold-down* oppure piastre passanti.

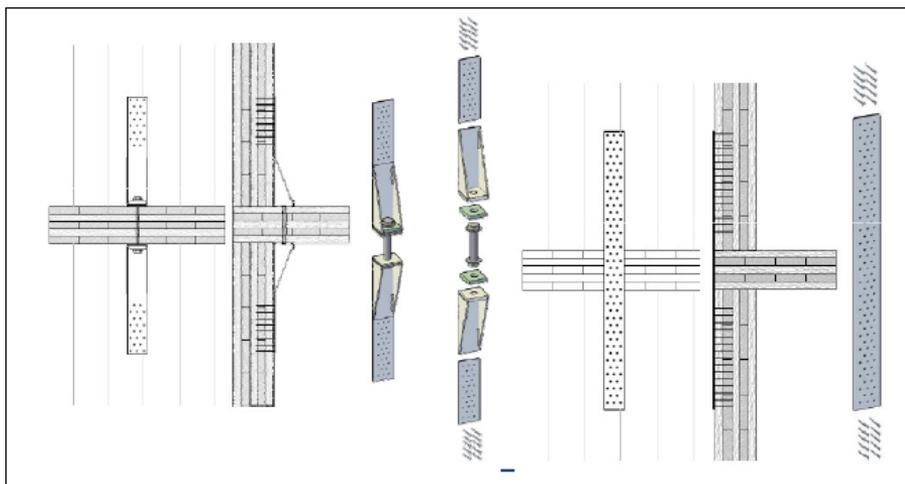


Fig. 4.29. Elementi di collegamento parete-solaio-parete.

Gli *hold-down* sono gli stessi utilizzati per il collegamento parete-fondazione, e sono fissati in opera accoppiandone due, posti uno al di sotto della partizione interna orizzontale e uno al di sopra, e collegati tra loro tramite un bullone; mentre le piastre passanti collegano direttamente i due pannelli parete e sono posti esteriormente³⁰.

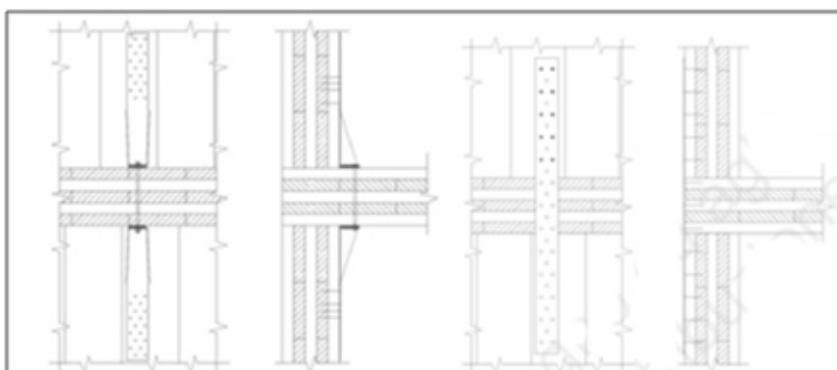


Fig. 4.30. Collegamenti parete-solaio-parete.

Dal punto di vista strutturale l'utilizzo di viti per la trasmissione degli sforzi verticali può creare problemi in quanto le viti se inserite di testa nella superficie del pannello hanno poca resistenza all'aderenza, se inserite parallelamente alla direzione delle fibre creano sollecitazione di trazione ortogonale alle fibre nella partizione interna orizzontale.

Nell'incrocio parete perimetrale verticale-partizione interna orizzontale, se l'elemento di parete è continuo il collegamento dell'elemento solaio viene realizzato mediante l'inserimento di staffa a scomparsa e la tecnica della carpenteria lignea.

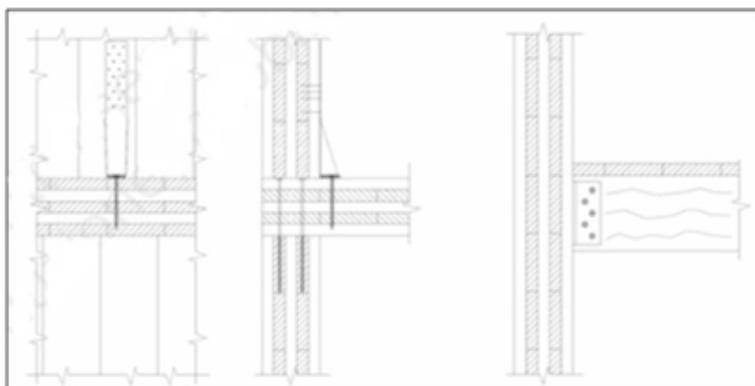


Fig. 4.31. Collegamenti parete continua - solaio.

Collegamento parete - struttura di copertura

Negli edifici con struttura portante in XLAM l'elemento di copertura può essere realizzato sia mediante l'utilizzo di un pannello XLAM, sia con una struttura del tipo tradizionale, con colmo, arcarecci e puntoni.

Nel caso di pannello XLAM il collegamento si realizza mediante angolari metallici e viti autoforanti; inoltre l'intersezione dell'elemento verticale con l'elemento di solaio genera differenti alternative tecniche per l'inserimento dello sbalzo per la gronda. In particolare, si può avere il solaio passante,

sfruttando la partizione interna orizzontale per creare la gronda, oppure la parete passante inserendo dei travetti collegati a mensola alla sommità dell'elemento di parete. Nel caso di solaio passante si deve prestare attenzione, in presenza di un rivestimento del tipo "isolato dall'esterno", alla formazione di ponti termici.

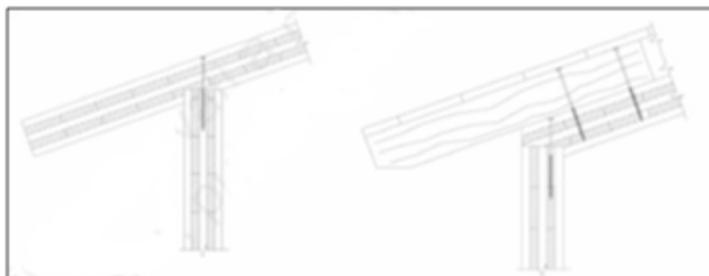


Fig. 4.32. Collegamento parte -copertura.

Se si utilizza un tetto del tipo tradizionale, i pannelli dell'elemento solaio e dell'elemento parete devono essere opportunamente sagomati per creare continuità con la struttura portante del tetto.

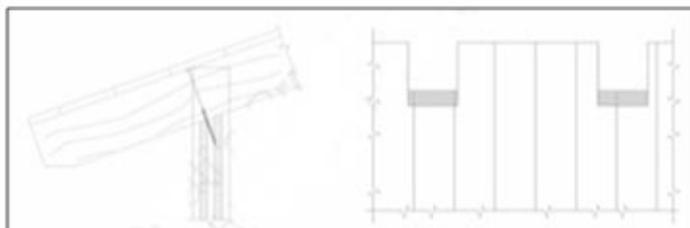


Fig. 4.33. Collegamento parte - copertura del tipo tradizionale.

Collegamento continuo parete - parete

Il collegamento verticale di due elementi di parete, si rende necessario per esigenze progettuali o di trasporto; e realizzato con tavole di giunzione, viti o chiodi, che nel caso di parete sollecitata a carichi orizzontali devono essere

dimensionati in modo da trasmettere le forze di taglio tra un elemento di parete e l'altro³¹.

Le tavole possono essere posizionate o in vista, sulla superficie esterna dei due pannelli, in un'apposita scanalatura realizzata esternamente al pannello, cosa che la rende visibile, oppure nascosta in una scanalatura che rimane definita internamente nell'accostamento di due pannelli contigui giustapposti; nel primo caso il giunto si presenta con una sola sezione resistente, nel secondo caso le sezioni resistenti sono due, allineate da bande opposte alla tavola inserita.

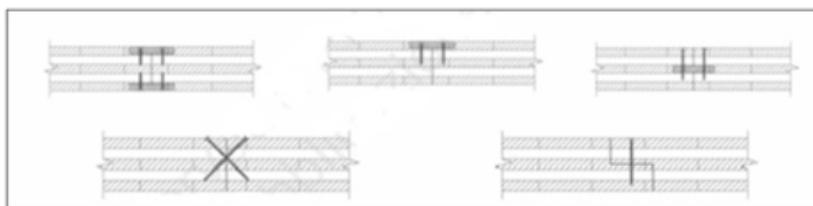


Fig. 4.34. Differenti tipi di collegamenti continui tra parte-parete.

Collegamento parete-parete d'angolo

Il collegamento in corrispondenza dell'angolo tra pareti perimetrali ortogonali, che contribuisce a dare robustezza alla costruzione, può essere realizzato in due modi differenti: con viti autoforanti, oppure con piastre angolari di acciaio.³² Quanto detto giunto riguarda pannelli sagomati, il tipo di collegamento deve tenere conto della necessità di rinforzare adeguatamente i margini dei pannelli a evitare l'ingenerarsi di fessurazioni trasversali dovute a sforzi di trazione.

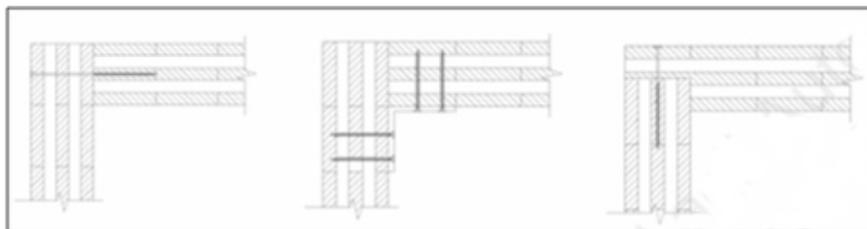


Fig. 4.35. Alcuni particolari costruttivi dei collegamenti parete-parete d'angolo.

Se affidiamo la resistenza del collegamento alla resistenza a estrazione offerta dalle viti autoforanti, assume particolare importanza la modalità di inserimento delle stesse nei pannelli. In particolare se la vite viene inserita con direzione parallela all'andamento delle fibre, dello strato di pannello interessato, il collegamento è inefficace, la resistenza è ridotta e si rischia la fessurazione del materiale; pertanto bisogna aver cura di inserire le viti con direzione inclinata rispetto al piano della parete e tale da attraversare almeno due strati.

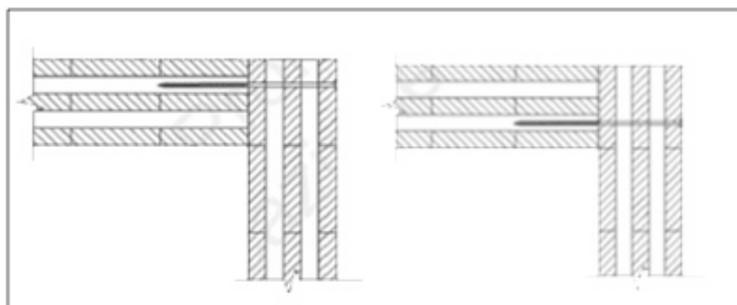


Fig. 4.36. Modalità errate di inserimento delle viti.

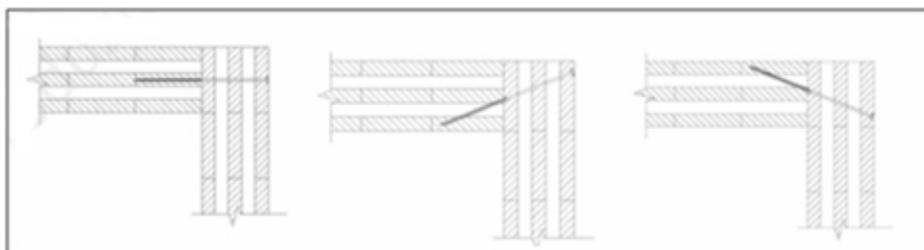


Figura 4.37. Modalità corrette di inserimento delle viti.

Un'alternativa tecnica prevede la realizzazione del nodo mediante un collegamento a forma di gancio, o a forma di coda di rondine, che se fissato correttamente permettono il montaggio centrato delle pareti senza ulteriori accorgimenti³³.

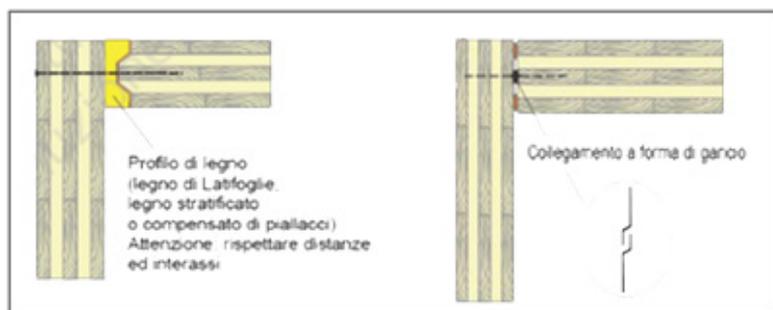


Fig. 4.38. Collegamento parete- parete con coda di rondine, o con gancio.

Collegamento a martello parete-parete

Il collegamento nel caso di intersezione tra parete perimetrale e partizione interna verticale possono essere realizzate con soluzioni simili a quelle adottate per il collegamento di pareti perimetrali ortogonali, ossia con viti autoforanti oppure con piastre angolari di acciaio. La soluzione conforme da utilizzare può essere scelta in funzione delle esigenze progettuali e di cantiere.

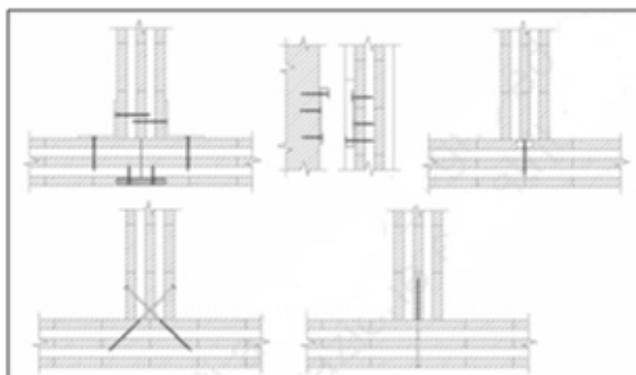


Fig.4.39. Collegamento parete - parete: alcune soluzioni costruttive

Collegamento solaio-solaio

Il collegamento per le partizioni orizzontali interne e per la partizione orizzontale superiore è realizzato mediante un giunto trasversale tra pannello e pannello, a formare un diaframma orizzontale continuo di dimensioni maggiori (comportamento a lastra) e per evitare abbassamenti differenziali (comportamento a piastra). In questo caso i collegamenti sono del tipo "a cerniera", in grado di trasmettere solo sforzo di taglio e non flessione. La direzione del giunto è parallela alla direzione portante principale del solaio (di orditura del solaio) Lo spessore si predimensiona a circa $L/35$ o $L/40$. L'effetto portante è solo in una direzione pertanto si possono calcolare come travi in legno sollecitate a flessione e taglio³⁴.

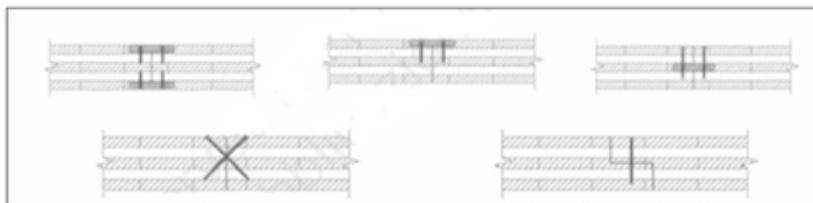


Fig. 4.40. Alcuni particolari costruttivi dei collegamenti solaio-solaio.

Altre tipologie di collegamenti

Altri tipi di collegamento che si possono realizzare nelle strutture XLAM sono quelli che riguardano il collegamento tra la trave principale e la partizione interna orizzontale, la scala e i balconi.

Il collegamento tra la trave principale e la partizione interna orizzontale può avvenire in differenti modi: il solaio può essere appoggiato superiormente all'estradosso della trave (soluzione con trave fuori spessore del solaio), oppure il solaio può rimanere affiancato "nello spessore" della trave principale; quest'ultima soluzione in particolare, permette un minore ingombro, ma può

non essere sempre possibile inserire la trave, con le sue misure nello spessore del solaio. Sono da evitare le soluzioni che prevedono di appendere l'elemento secondario a quello principale, perché si generano stati di sollecitazione di trazione ortogonale alla fibratura nella trave principale; pertanto per non realizzare solo travi a spessore si possono inserire travi in profilati di acciaio. Negli edifici con struttura portante in XLAM quando un elemento verticale come il pilastro interseca un elemento di solaio, la regola costruttiva è quella di interrompere il pilastro. Il collegamento che si crea tra la trave e il solaio è più semplice (trave appoggiata sul solaio), ma bisogna dimensionare opportunamente l'appoggio ed eseguire una verifica di compressione ortogonale alle fibre³⁵.

Generalmente per realizzare le scale in una struttura XLAM si ricorre all'utilizzo del cemento armato, sia per il vano scala che per l'ascensore, a formare un nucleo di irrigidimento interno, che funge anche da controvento, che ha il compito di scaricare sulla struttura di fondazione i carichi orizzontali che agiscono sulla struttura.

Tuttavia, la scala può essere realizzata interamente con pannelli XLAM ricorrendo a due differenti sistemi di montaggio: la prima soluzione costruttiva nel quale gli elementi di pianerottolo sono vincolati alle pareti perimetrali, su di essi si appoggia l'elemento secondario, costituito dalla rampa dei gradini; la seconda soluzione costruttiva nel quale i gradini sono elementi a mensola incastrati alle pareti perimetrali, mentre i pianerottoli vengono vincolati agli elementi di gradino. Per quanto riguarda il vano ascensore, in funzione dell'altezza dell'edificio esso può essere realizzato con quattro pannelli tutta altezza in XLAM, oppure pannelli di altezza pari a un piano opportunamente collegati.

Anche per la realizzazione della struttura dei balconi si possono proporre diverse soluzioni costruttive: la prima configura una soluzione a

sbalzo, e prevede la prosecuzione della partizione interna orizzontale al di fuori dell'appoggio perimetrale; la seconda soluzione realizza una soluzione a sbalzo del balcone. L'esperienza insegna che è preferibile utilizzare soluzioni costruttive che realizzano una separazione degli elementi portanti interni dagli elementi strutturali esterni all'involucro edilizio, in modo da permettere la sostituzione degli elementi stessi senza effettuare interventi sulla struttura interna dell'edificio, e per la protezione dalle infiltrazioni d'acqua e una maggiore resistenza alle intemperie.

Note capitolo 4

¹ Giachino D. M., *Legno. Manuale per progettare in Italia*, UTET Scienze tecniche, Milano 2013. Tale libro costituisce costante riferimento nel capitolo.

² Benedetti C., *Costruire con il legno*, Bolzano University Press, Bolzano 2006.

³ AAVV, *XLAM (CLT) building the future of housing*, Atti dell'*International Conference*, Milano, 11 May 2012, Congress Center – Fiera, s. e., Rho (Milano) 2012.

⁴ Bernasconi A., *Il materiale XLAM. Caratteristiche e prestazioni*, Corso di approfondimento su *Edifici di legno* Promo-legno, Promolegno, Milano 2013. Tale dispensa costituisce costante riferimento nel capitolo.

⁵ Bernasconi A., *XLAM: cos'è e cosa ci si può fare*, Corso di approfondimento su *Edifici di legno* Promo-legno, Promolegno, Febbraio 2010. Tale dispensa costituisce costante riferimento nel capitolo.

⁶ Norma UNI EN 14081 *Legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza, requisiti generale*, norma UNI EN 338 *Legno strutturale. Classi di resistenza*.

⁷ si veda per ulteriori approfondimenti Bernasconi A., 2013, op. cit.

⁸ Per dati e informazioni complete e aggiornate si rimanda alle indicazioni e ai siti internet dei produttori di pannelli XLAM.

⁹ si veda per ulteriori approfondimenti Bernasconi A., 2013, op. cit.

¹⁰ ossia contenuto in acqua del legno, espresso in % della massa.

¹¹ Presutti A., Evangelista P., *Edifici multipiano in legno a pannelli portanti Xlam*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2014.

¹² La stabilità dimensionale nel piano del pannello è valida anche per i pannelli sottili di compensato di piallacci, dal quale deriva la definizione di "compensato", intesa

come la compensazione della direzione debole della struttura del legno - quella trasversale rispetto alla fibratura - dagli strati disposti proprio in questa direzione.

¹³ La classe di servizio 1 corrisponde agli ambienti interni e riscaldati, mentre la classe di servizio 2 corrisponde agli ambienti esterni, escludendo sia il contatto diretto con l'acqua che l'esposizione diretta alle intemperie.

¹⁴ Il comportamento strutturale può essere descritto sulla base delle caratteristiche strutturali del legno massiccio da cui sono composti.

¹⁵ Lo stesso concetto si applica al legno lamellare incollato. Cirillo A., *Legno. Criteri di calcolo e aspetti realizzativi*, Wolters Kluwer Italia, Milano 2014.

¹⁶ per ulteriori approfondimenti si veda Giachino D. M., op. cit.

¹⁷ si veda per ulteriori approfondimenti Bernasconi A., 2013, op. cit.

¹⁸ si veda per ulteriori approfondimenti Bernasconi A., 2013, op. cit.

¹⁹ per ulteriori approfondimenti si veda Giachino D. M., op. cit.

²⁰ Bernasconi A., *Edifici in legno con struttura moderna. I sistemi costruttivi e le tecniche di prefabbricazione*, Corso Boislab, Promolegno, Maggio 2010, Milano, 2010.

²¹ si veda per ulteriori approfondimenti Bernasconi A., 2013, op. cit.

²² Presutti A., Evangelista P., op. cit.

²³ per ulteriori approfondimenti si veda Giachino D. M., op. cit.

²⁴ si veda per ulteriori approfondimenti Bernasconi A., 2010, op. cit.

²⁵ si veda per ulteriori approfondimenti Bernasconi A., 2013, op. cit.

²⁶ per ulteriori approfondimenti si veda Giachino D. M., op. cit.

²⁷ si veda Piazza M., Tomasi R., *Sistemi di connessioni. Connessioni di carpenteria*, Promolegno, Maggio 2010, Milano, 2010.

²⁸ Tomasi R., *Connessioni e collegamenti: principi e applicazioni*, corso Promolegno, Promolegno, 10 Maggio 2010, Milano, 2010. Tale dispensa costituisce costante riferimento nel paragrafo.

²⁹ si veda per ulteriori approfondimenti Tomasi R., op. cit.

³⁰ Follesa M., Maione F., Palanga G., *Edifici a struttura portante di legno. Progettazione e realizzazione*, Studiodeda (a cura di), Conlegno, Milano 2011.

³¹ si veda per ulteriori approfondimenti Tomasi R., op. cit.

³² si veda Piazza M., Tomasi R., op. cit.

³³ si veda Piazza M., Tomasi R., op. cit.

³⁴ si veda per ulteriori approfondimenti Tomasi R., op. cit.

³⁵ Follesa M., Maione F., Palanga G., op. cit.

CAPITOLO 5

Due specie lignee calabresi come materiali da costruzione

5.1 Le proprietà meccaniche del legno

Le proprietà meccaniche del legno sono legate all'origine naturale del materiale e alle funzioni che il materiale ha in natura; infatti si può equiparare il tronco dell'albero a una mensola in grado di resistere ai carichi permanenti, rappresentati dall'apparato fogliare, e le altre azioni variabili, vento e sisma. Nel tronco la produzione delle cellule legnose avviene dal cambio allo xilema, ossia dall'esterno verso l'interno, e quindi possiamo pensare il tronco come un tubo nel quale le pareti hanno funzione portante, mentre il vuoto corrisponde idealmente all'insieme dell'alburno, che trasporta la linfa, del durame e del midollo. Le pareti cellulari, grazie alla conformazione dei tessuti, garantiscono il comportamento strutturale e sono assimilabili a un materiale composito.

L'anisotropia delle proprietà meccaniche del materiale è dovuta all'organizzazione cellulare del legno; ciò porta a valori di resistenza e rigidità che variano in funzione della direzione della fibratura¹. Il legno è più resistente quando è soggetto a sollecitazioni orientate lungo la direzione dell'asse delle fibre; mentre è meno resistente nel caso di sollecitazioni ortogonali alla direzione delle fibre, ossia quando è sollecitato a trazione. Nel caso di carichi orientati lungo la direzione delle fibre il legno è meno resistente a compressione, poiché si generano dei fenomeni di imbozzamento e collasso locale delle pareti cellulari. Il materiale ha un comportamento non elastico, visibile maggiormente quando sottoposto a sollecitazioni di compressione, mentre se soggetto a trazione mostra un comportamento con rotture elasto fragili².

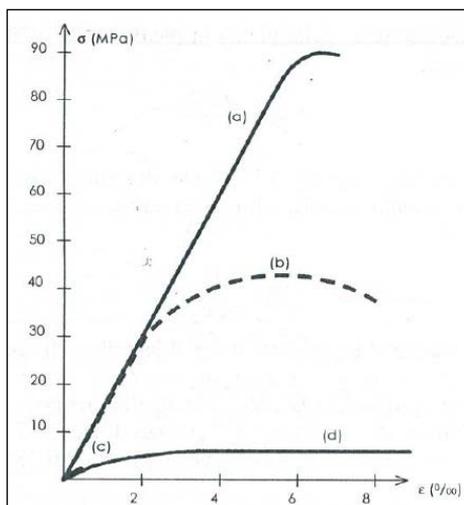


Fig. 5.1. Curve tensione-deformazione per *legno netto* di conifera.

Le curve rappresentano il comportamento del legno inteso come *legno netto*, ossia privo di elementi fisiologici della pianta, quali nodi, fessurazioni e deviazioni di fibratura, che, dal punto di vista strutturale, nell'impiego vengono equiparati a difetti. Tali difetti generano differenti valori di resistenza dell'elemento di legno, soprattutto nel caso di trazione parallela alla fibratura, innescando una rottura di tipo fragile. Se paragonato ad altri materiali da costruzione, il legno ha un'ottima efficienza strutturale, che viene evidenziata dal rapporto tra resistenza f del materiale e massa volumica ρ , con valori simili a quelli dell'acciaio, e cinque volte maggiori dei valori del cemento armato; e viene evidenziata inoltre dal rapporto tra modulo elastico E e la stessa resistenza f , con valori simili a quelli dell'acciaio, e circa un terzo di quelli del cemento armato³.

Le proprietà meccaniche di resistenza e di deformabilità degli elementi lignei possono essere influenzate dall'umidità e dalla durata di applicazione del carico.

Il contenuto di acqua non influenza le proprietà meccaniche del materiale se si trova al di sopra del punto di saturazione, poiché l'acqua occupa i vuoti

capillari e il tessuto; mentre, se il contenuto di acqua è al di sotto del punto di saturazione si ha una modifica delle proprietà dovuta principalmente all'umidità. Il materiale durante le prove sperimentali deve essere portato tutto allo stesso valore di umidità, e le prove meccaniche devono essere fatte in *condizioni normali*. Nella normativa europea questo coincide con un ambiente a temperatura di $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidità relativa di $65\pm 5\%$; sicché per il legname di conifera le condizioni normali equivalgono a un valore di umidità del $12\%^4$. Le resistenze e i moduli elastici variano in funzione dell'umidità, ma dipendono anche dalla specie analizzata e dal parametro meccanico che si vuole analizzare. Pertanto per ottenere un migliore comportamento strutturale è fondamentale una corretta stagionatura del materiale posto in opera.

La durata del carico ha effetti sulla resistenza del legno poiché dipende dal comportamento reologico del materiale, ossia del comportamento viscoso. Il comportamento reologico del legno sotto carico non influenza solo la resistenza, ma anche il comportamento deformativo della struttura di legno. Il legno è caratterizzato da *deformazioni differite*, o *creep*, ciò equivale a dire che un elemento sottoposto a carichi esterni costanti avrà delle deformazioni che aumentano nel tempo; tutto ciò dipende dalla durata delle azioni, dallo stato tensionale e dalle variazioni igrometriche. Solo alcune di queste deformazioni sono reversibili, e vengono definite *deformazioni elastiche differite*, che provocano uno scorrimento visco-elastico delle fibre legnose nel tempo, soprattutto se soggetti a flessione, taglio e compressione ortogonale alla fibratura. Le norme recenti tengono conto del comportamento reologico attraverso opportuni coefficienti, che forniscono un incremento della freccia finale rispetto a quella elastica⁵.

Resistenza del legno per sforzi assiali

L'angolo tra la direzione della fibratura e la direzione degli sforzi applicati influenza il comportamento a rottura del *legno netto* sottoposto a sforzi assiali

di compressione. I valori di resistenza sono massimi quando si ha compressione parallela alla fibratura, di conseguenza valori minimi quando si ha compressione perpendicolare. Bisogna tener conto in questo caso anche delle caratteristiche anatomiche del materiale, poiché quando si ha un elemento sottoposto a compressione parallela alla direzione della fibratura, si osserva un collasso delle fibre con funzione strutturale, che, data la loro forma allungata, si instabilizzano ripiegandosi su sé stesse e mostrando dei corrugamenti locali delle parti cellulari. Al crescere della sollecitazione di compressione non si ha una rottura dovuta a questi corrugamenti, giacché questi una volta formati non aumentano, invece si creano nuovi corrugamenti ben visibili sul provino. Per descrivere il legame costitutivo del legno sollecitato a compressione parallela alla fibratura si fa riferimento a differenti modelli; detti modelli impiegati nel campo post-plastico sono utili a indagare anche il comportamento a flessione.

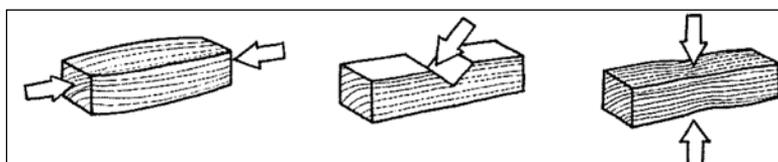


Fig. 5.2. Proprietà meccaniche del legno sottoposto a compressione.

Il comportamento del legno per sforzi assiali di trazione è caratterizzato da una legge tensione-deformazione di tipo elasto-fragile, con carichi di rottura che variano in funzione dell'inclinazione tra la direzione dei carichi e la direzione della fibratura. La resistenza a trazione parallela alla fibratura è elevata se il legno non presenta difetti, poiché le catene di cellulose, che formano lunghi fasci di microfibrille, resistono allungandosi parallelamente all'asse cellulare; mentre la lignina, che costituisce l'elemento debole, ostacola il processo di trasmissione dell'energia di frattura da una fibra all'altra. A livello

anatomico si osserva la rottura delle pareti delle cellule, oppure la separazione dei tessuti a livello della lamella mediana, la degenerazione dei tessuti, ovvero la loro rottura o separazione avviene diversamente secondo che il legno è tardivo o primaverile. Entrambi i tipi di fratture, rottura o separazione dei tessuti avvengono con comportamento fragile dopo una deformazione plastica.

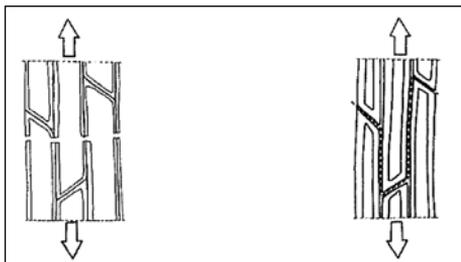


Fig. 5.3. Modalità di rottura del legno per trazione parallela alla fibratura.

Nel caso di sollecitazioni di trazione ortogonali alla fibratura si hanno valori di resistenza molto bassi, con rottura di tipo fragile, che può avvenire a livello interlaminare o interessare le pareti cellulari. A livello macroscopico la modalità di rottura è influenzata anche dall'orientazione degli anelli⁶.

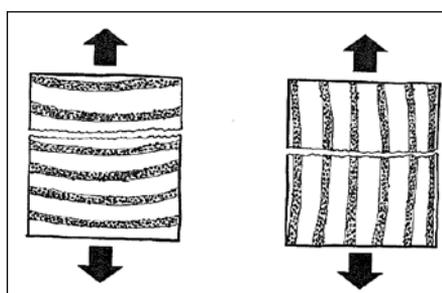


Fig. 5.4. Modalità di rottura per trazione ortogonale alla fibratura.

Resistenza del legno a sollecitazioni taglianti

Le modalità di rottura per taglio sono di tre tipi: *taglio ortogonale*, *taglio parallelo* e *taglio per rolling share*. Nel caso di *taglio ortogonale* le cellule del

legno sono sollecitate perpendicolarmente all'asse, questa modalità di rottura non si raggiunge mai, poiché avviene sempre prima lo schiacciamento in corrispondenza degli appoggi, per collasso da compressione ortogonale alla fibratura.

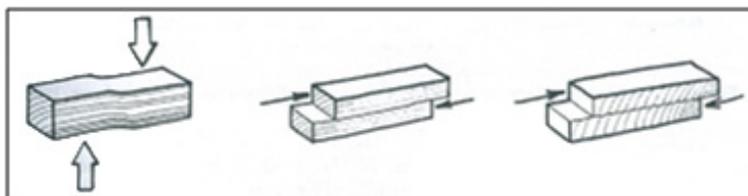


Fig. 5.5. Proprietà meccaniche del legno sottoposto a taglio.

Il *taglio parallelo* è più frequente poiché generato da uno slittamento fra le fibre parallelamente al loro asse longitudinale. Il *rolling share* è associato solitamente a sollecitazioni taglienti che agiscono ortogonalmente alla direzione della fibratura, ma in un piano parallelo a esso; determinando una separazione delle fibre per rotazione di una fibra sull'altra. I valori sono comunque inferiori rispetto a quelli ottenuti per taglio parallelo e ortogonale⁷.

Resistenza del legno per sollecitazioni a torsione

Nelle strutture in legno non è frequente il caso di sollecitazioni di torsione, pertanto si utilizzano valori di resistenza al taglio ottenute tenendo conto della distribuzione delle tensioni tangenziali nella sezione trasversale dell'elemento⁸.

Resistenza del legno per sollecitazioni a flessione

Nel caso di sollecitazioni a flessione su un *legno netto* possono coesistere più meccanismi di rottura tra quelli descritti, quali crisi dovuta a sollecitazione di compressione parallela alla fibratura, o di trazione, o per taglio parallelo alla fibratura. Le modalità di rottura nei provini inflessi di legno sono stati studiati da Bodig&Jayne, e sono indicati nella figura 5.6, e sono le seguenti: tipo a)

avviene nel legno con alta massa volumica; tipo b) avviene in presenza di deviazioni della fibratura; tipo c) detta rottura scheggiata, avviene con bassa umidità; tipo d) rottura fragile del tipo passante, indica struttura molecolare anomala del legno; tipo e) avviene nel legno con bassa massa volumica determinando un comportamento pseudo-duttile; tipo f) si verifica nelle specie in cui la resistenza degli anelli di accrescimento della porzione primaverile è minore di quella della porzione tardiva.

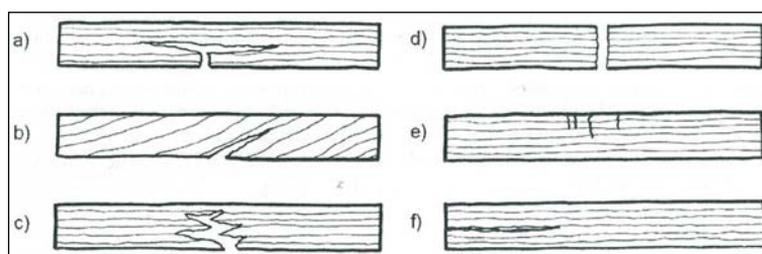


Fig. 5.6. Modalità di rottura per flessione di elementi di *legno netto*.

Nella determinazione della resistenza a flessione si può avere un comportamento denominato di pseudoduttilità, equivalente alla rottura per compressione prima della rottura fragile al lembo teso, dovuto alle proprietà meccaniche a trazione e compressione parallele alla fibratura del *legno netto*; pertanto nel calcolo si deve tener conto anche del modulo di rottura. Il momento di rottura si può ricavare dal comportamento pseudo-plastico facendo riferimento alle caratteristiche di rottura a trazione e compressione⁹.

5.2 Le specie calabresi

Il territorio regionale calabrese presenta una superficie forestale di circa 600.000 ettari e un indice di boscosità del 41% rispetto alla media nazionale, in relazione ai dati dell'INFC (*Istituto Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio*) relativi all'anno 2007¹⁰. Questo è sottolineato anche dal

presidente della Sevifor Calabria Avolio ¹¹ che afferma come *"per aspetti morfologici, geologici, fattori climatici e tradizione storica la Calabria è una regione particolarmente vocata per l'attività forestale e la conservazione di nicchie ecologiche, biotipi arborei d'importanza fitogeografica e botanica, habitata naturali e montani d'alta quota"*¹². Nella regione si registra la presenza di tre parchi nazionali, quali Pollino, Sila e Aspromonte, e uno regionale, Serre; nei parchi ritroviamo differenti specie di conifere e di latifoglie che connotano la vocazione forestale della regione. Tra le conifere ritroviamo il pino laricio, il pino loricato, l'abete bianco, il pino d'Aleppo e il tasso; mentre tra le latifoglie ritroviamo il castagno, il farnetto, il faggio, l'acero del Lobel, l'acero riccio, querceti di rovere, roverella e farnia, l'ontano napoletano, il frassino ossifillo e il platano orientale. Grazie all'eterogeneità del territorio calabrese la distribuzione geografica delle specie e dei popolamenti forestali ricadono su pendici, su altopiani, su valli e su versanti, e si creano delle realtà naturali con peculiarità specifiche.

Nel passato il patrimonio forestale calabrese era di 800.000 ettari, valore che si è ridotto nel tempo a causa di disboscamenti, attuati per recuperare terreni da destinare al pascolo e all'agricoltura, di incendi e di una scorretta gestione dei suoli. Per affrontare il problema negli anni cinquanta del secolo scorso si è attuato un programma di rimboschimento, rivolto anche a fronteggiare il dissesto idrogeologico e la crisi economica e sociale del periodo. Bisogna considerare che il bosco non ha solo la funzione di protezione idrogeologica, contro le catastrofi alluvionali che si verificano sempre più spesso in vari comuni italiani, ma anche altre importanti funzioni relative: agli aspetti ambientali che interessano la tutela e la conservazione della biodiversità; agli aspetti produttivi che prevedono lo sfruttamento di tutti gli elementi presenti nella foresta, non solo legname che potrebbero essere utilizzati per la produzione di alimenti per il fabbisogno giornaliero dell'individuo, oppure l'utilizzo di principi attivi e di sostanze naturali da

utilizzare nell'industria cosmetica, farmaceutica e profumiera¹³. Si ricorda che la Calabria è una regione con un elevato rischio di dissesto idrogeologico; pertanto sono fondamentali le foreste poiché hanno anche il compito di regolazione del clima e dell'atmosfera influenzando sulla qualità e sul benessere della vita.

La Regione Calabria, per effetto della L. R. n. 20 del 19 Ottobre 1992 "*Forestazione, difesa del suolo e foreste regionali della Calabria*", definisce le priorità di intervento che rispecchiano gli aspetti enunciati in precedenza, quali: migliorare le funzioni produttive e sociali dei boschi esistenti; concorrere alla tutela dell'ambiente e della difesa idrogeologica del territorio; concorrere alla valorizzazione delle attività agro-silvo-pastorali e turistiche nelle aree interne collinari e montane; concorrere al miglioramento delle condizioni di vita e di sicurezza delle popolazioni interessate.

Le specie forestali calabresi si caratterizzano per una distribuzione geografica determinata dal fattore umidità e dai fattori termici; pertanto le specie si sviluppano al di sopra dei 900-1000 s.l.m.; l'aumento di altitudine ci consente di apprezzare le conifere e le latifoglie tipiche delle foreste mediterranee calabresi.

Le *faggete*, o *Fagus sylvatica* L., occupano una superficie di 77.237 ettari, distribuiti sui versanti costieri, sull'Altopiano della Sila e sul massiccio del Pollino, con un rapporto disomogeneo dei popolamenti tra fustaie e cedui¹⁴; le fustaie si ritrovano più facilmente sulla catena costiera, mentre i cedui di faggio si ritrovano a quote più alte e su terreni con elevate pendenze. Le faggete migliori sono su versanti medio-acclivi e pianeggianti; i suoli su cui insistono sono acidi e profondi, su substrati geologici costituiti da graniti, scisti e gneiss. Il turno delle fustaie è di 100-120 anni; da ciascun turno si ricavano da 300 a 500 metri cubi di legno per ettaro. L'utilizzo del legname, a causa della crisi che interessa la filiera foresta-legno, è prevalentemente legato alla produzione di imballaggi¹⁵.

I *querceti di farnetto e cerro* occupano una superficie di 42.909 ettari, monospecifici e governati a fustaie. Il farnetto, o *Quercus conferta*, è presente maggiormente sul versante ionico e più precisamente nella Sila Greca, in superfici maggiori rispetto al cerro, ma si ritrova anche in Sila, in Aspromonte e sul Pollino. La chioma delle piante è a profilo piramidale e i popolamenti sono governati ad alto fusto, sia per i cedui che per quelli a fustaia. Lo sviluppo dei querceti è legato al riordino colturale dei soprassuoli esistenti, per la fruizione del bosco come pascolo e come azione di prevenzione nei riguardi del fuoco. Il legno viene impiegato, nel settore edile per costruzioni pesanti, doghe, listelli per pavimenti.

Le *abetine di abete bianco, o Abies alba* Miller, occupano una superficie di 4.851 ettari e i popolamenti naturali sono costituiti da gruppi sparsi situati in Sila nella Foresta Gariglione, nelle Serre su demani comunali o in lotti privati, e in Aspromonte su terreni sparsi in piccole quantità; mentre sulla Catena costiera troviamo pinete di abetine artificiali. Le produzioni legnose nelle abetine naturali sono di 1.200 metri cubi per ettaro in soprassuoli di 100 anni. Il legno ha buone caratteristiche per l'impiego negli interni, per mobili e imballaggi; mentre esternamente è poco durevole.

Il *pioppo tremolo* si distingue dal pioppo nero e dal pioppo bianco per il tronco, e deve il suo nome alle lamine fogliari che sottoposti a movimenti d'aria emettono dei sibili. I pioppeti di pioppo tremolo sono presenti in Calabria con formazioni naturali su ampie superfici. La caratteristica del pioppo tremolo è quella di moltiplicarsi per polloni radiali, ciò consente di coprire velocemente aree senza vegetazione. Le produzioni legnose dei pioppeti sono di 221-478 metri cubi su soprassuoli di 29-36 anni. Il legno di pioppo viene utilizzato per l'industria cartaria.

Pino laricio

Il *pino laricio*, o *Pinus laricio* Poiret, è stato riconosciuto come specie negli anni novanta ed è distribuito principalmente sull'Appennino meridionale. Le pinete nazionali di pino laricio occupano una superficie di 48.000 ettari, di cui 40.000 ettari in Sila, 4.000 ettari in Aspromonte e 4.000 ettari sull'Etna. In Calabria le pinete di laricio sono state introdotte artificialmente e occupano una superficie di 55.000 ettari, di cui il 75% di origine naturale, situati in Sila, in Aspromonte e negli altipiani delle Serre, con prevalenza nelle provincie di Cosenza e Catanzaro. Il pino laricio è il simbolo della *Silva brutia* dei romani e caratterizza fortemente ancora oggi il paesaggio forestale calabrese. La specie dà vita a estese pinete monospecifiche, dalle quali si rinnova facilmente a maturità. La specie ha molti punti di forza: plasticità edafica; buona adattabilità a condizioni stagionali difficili; alta resistenza a lunghi periodi di siccità; elevata capacità colonizzatrice; attitudine a ricostruire aree di bosco distrutte dal fuoco.

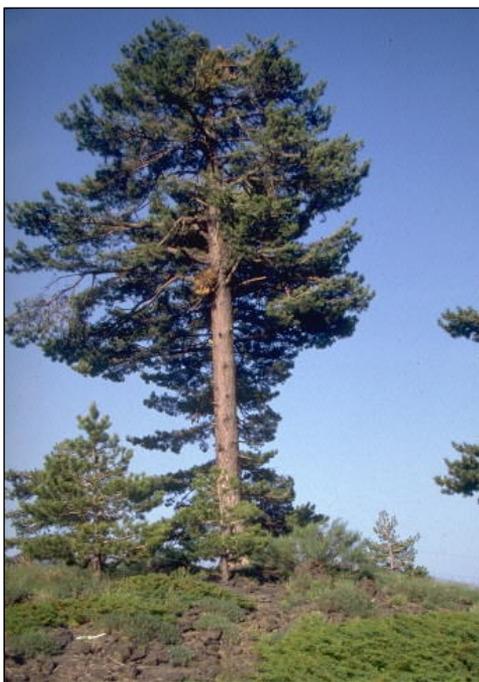


Fig. 5.7. Pino laricio.

Le piante nel bosco si presentano con fusto dritto, slanciato e molto sottile rispetto alle altezze che riesce a raggiungere, e con chioma appuntita e raccolta in alto. Il legno è resinoso, ad alborno chiaro e durame rosso scuro, distinti e ben marcati¹⁶.

Le produzioni legnose dei soprassuoli naturali variano da 450-950 metri cubi a ettaro, su un periodo di 100 anni. L'utilizzo del pino laricio è riservato agli imballaggi.

Castagno

Il castagno, o *Castanea sativa* Miller, è una pianta da frutto e da legno, esteso prevalentemente sulle fasce pedemontane calabresi, quali Sila, Catena costiera, Serre e Aspromonte, con popolamenti cedui/fustaie estesi su una superficie di 69.370 ettari. I boschi cedui di castagno, a differenza di quelli da frutto, si presentano in buone condizioni di vegetazione e di produttività. I castagneti cedui hanno un'elevata capacità di rinnovazione agamica della specie, una maggiore resistenza ai parassiti dei polloni, e infine un tipo di soprassuolo che permette di ottenere produzioni legnose e redditi elevati in turni brevi.



Fig. 5.8. Albero di castagno.

L'estensione di castagneti cedui in Sila è di 22-25.000 ettari, coltivati e utilizzati prevalentemente per produzione di paleria assortita. Il castagno è utilizzato per la produzione di travi uso fiume¹⁷, che sono prodotti con l'alternanza di turni medi, 18-20 anni, turni lunghi, 20-25 anni, e turni molto lunghi, 30-35 anni.

Le produzioni legnose dei soprassuoli nei cedui a turno medio sono di 2.200-3.000 polloni e una massa dendometrica di 160-210 metri cubi.

5.3 La determinazione delle caratteristiche meccaniche del legno

Nelle NTC 2008 al paragrafo 11.7 si fa riferimento ai materiali e ai prodotti a base di legno, le cui prescrizioni si applicano al legno massiccio e ai prodotti a base di legno per usi strutturali. Le NTC 2008 inoltre definisce: "*i valori caratteristici di resistenza di un tipo di legno come "i valori del frattile 5% della distribuzione delle resistenze, ottenuti sulla base dei risultati di prove sperimentali effettuate con una durata di 300 secondi su provini all'umidità di equilibrio del legno corrispondente alla temperatura di $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ed umidità relativa dell'aria del $65 \pm 5 \%$ "; il modulo elastico che" fa riferimento sia ai valori caratteristici di modulo elastico corrispondenti al frattile 5% sia ai valori medi, ottenuti nelle stesse condizioni di prova sopra specificate"; e la massa volumica caratteristica, ossia "il valore del frattile 5% della relativa distribuzione con massa e volume misurati in condizioni di umidità di equilibrio del legno alla temperatura di $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ed umidità relativa dell'aria del $65 \pm 5 \%$ "¹⁸. Per la progettazione e per la verifica di strutture realizzate in legno massiccio, lamellare oppure altri prodotti derivati dal legno per usi strutturali, si deve conoscere il profilo resistente, ossia le proprietà di resistenza, le proprietà di modulo elastico e la massa volumica, vedi grafico seguente ¹⁹.*

Proprietà di resistenza		Proprietà di modulo elastico		Massa volumica	
Flessione	$f_{m,k}$	Modulo elastico parallelo medio **	$E_{0,mean}$	Massa volumica caratteristica	ρ_k
Trazione parallela	$f_{t,0,k}$	Modulo elastico parallelo caratteristico	$E_{0,05}$	Massa volumica media *, **	ρ_{mean}
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	Modulo elastico perpendicolare medio **	$E_{90,mean}$		
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	Modulo elastico tangenziale medio **	G_{mean}		
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$				
Taglio	$f_{v,k}$				

* La massa volumica media può non essere dichiarata.
 ** Il pedice *mean* può essere abbreviato con m

Fig. 5.9. Profilo resistente per elementi in legno, NTC 2008.

Nel caso di legno massiccio, i valori caratteristici di resistenza ricavati da prove sperimentali sono riferiti a dimensioni standardizzate dei provini, secondo norme specifiche. Il campione di prova per la determinazione della resistenza a flessione deve avere un'altezza della sezione trasversale pari a 150 mm, mentre per la determinazione della resistenza a trazione parallela alla fibratura, il lato maggiore della sezione trasversale del campione di prova deve essere pari a 150 mm. Per effettuare sperimentazioni su provini sottoposti a flessione o a trazione parallela alla fibratura, con dimensioni inferiori a 150 mm (altezza o lato maggiore della sezione trasversale, si devono incrementare di un coefficiente moltiplicativo k_h i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$ indicati nei profili resistenti. Il coefficiente k_h è pari a $K_h = \left\{ \min \left(\frac{150}{h} \right)^2 ; 1,3 \right\}$, dove h , misurata in mm, è l'altezza della sezione trasversale dell'elemento inflesso oppure il lato maggiore della sezione trasversale dell'elemento sottoposto a trazione²⁰. Per elementi in legno lamellare nella determinazione dei valori del profilo resistente variano le dimensioni dei provini, in funzione delle specifiche norme di riferimento, le dimensioni dell'altezza della sezione trasversale e le dimensioni del lato maggiore della sezione trasversale.

Il legno massiccio per uso strutturale è un prodotto naturale, selezionato e classificato in dimensioni d'uso secondo la resistenza, elemento per elemento,

sulla base delle normative applicabili. I criteri utilizzati per la classificazione garantiscono all'elemento prestazioni meccaniche minime senza necessità di ulteriori prove sperimentali e verifiche, definendone il profilo resistente, che raggruppa le proprietà fisico-meccaniche, necessarie per la progettazione strutturale.

La classe di resistenza di un elemento è assegnata in funzione del suo profilo di resistente, ossia in funzione delle proprietà di resistenza, delle proprietà di modulo elastico e della massa volumica, per i valori caratteristici si può fare riferimento alla norma UNI EN 338:2004²¹. Pertanto ad ogni tipo di legno si può assegnare una classe di resistenza se i suoi valori caratteristici di resistenza, di valori di modulo elastico, di valore caratteristico di massa volumica, non sono inferiori ai valori corrispondenti a quella classe.

Il profilo resistente di un elemento strutturale può essere definito anche sulla base dei risultati documentati di prove sperimentali, in conformità a quanto indicato nella UNI EN 384:2005²² e nella UNI EN 408: 2004²³.

La norma europea UNI 408, definisce i metodi di laboratorio per la determinazione di alcune proprietà fisiche e meccaniche del legno in dimensioni strutturali. I valori caratteristici ottenuti con la seguente norma sono in conformità ai procedimenti indicati nelle altre norme europee. Per il legno massiccio e il legno lamellare attraverso la UNI 408 si possono determinare: il modulo di elasticità a flessione; il modulo di taglio; la resistenza a flessione; il modulo di elasticità a trazione parallela alla fibratura; la resistenza a trazione parallela alla fibratura; il modulo di elasticità a compressione parallela alla fibratura; la resistenza a compressione parallela alla fibratura; il modulo di elasticità a trazione perpendicolare alla fibratura; la resistenza a trazione perpendicolare alla fibratura; il modulo di elasticità a compressione perpendicolare alla fibratura; la resistenza a compressione perpendicolare alla fibratura e la resistenza a taglio.

Inoltre la norma UNI 408 ci fornisce indicazioni sulle dimensioni del provino che, devono essere misurate con accuratezza all'1%, dopo aver condizionato i provini; per prove perpendicolari alla fibratura si richiede la piallatura dei provini.

L'umidità del provino deve essere determinata, in conformità alla EN 13183-1, su una sezione prelevata dal provino, per il legname strutturale la sezione deve essere priva di nodi e di tasche di resina; nel caso di provini perpendicolari alla fibratura, l'umidità deve essere determinata dal provino intero. La sezione del provino deve essere ricavata vicino alla zona di rottura, nel caso di prove di resistenza a flessione, a trazione parallela alla fibratura e a compressione parallela alla fibratura.

La determinazione della massa volumica dell'intera sezione trasversale del provino deve essere eseguita su una sezione prelevata dal provino stesso, nel caso di legname la sezione coincide con la sezione trasversale completa, priva di nodi e tasche di resina. Per provini perpendicolari alla fibratura, la massa volumica dei provini deve essere determinata prima della prova dopo il condizionamento dalle misurazioni della massa e del volume dal provino intero.

Le prove devono essere eseguite su pezzi condizionati all'ambiente normale di 20 ± 2 °C e 65 ± 5 % di umidità relativa. Un provino è condizionato quando raggiunge una massa costante, ossia quando i risultati di due pesate, eseguite in un intervallo di sei ore, non sono maggiori dello 0,1% rispetto alla massa del provino. Quando il materiale da testare non può essere condizionato, deve essere riportato nel resoconto di prova.

La possibilità di effettuare prove di determinazione di resistenza a flessione, di resistenza a compressione parallela e perpendicolare alla fibratura, fa sì che di seguito, saranno descritti solo i metodi per la determinazione di tali resistenze.

Determinazione della resistenza a flessione²⁴

Il provino deve normalmente avere una lunghezza minima pari a 19 volte l'altezza della sezione trasversale; se non è possibile, si deve riportare nel resoconto di prova la luce della trave.

Il procedimento per la realizzazione della prova prevede che il provino sia caricato simmetricamente a flessione, semplicemente appoggiato su due punti che coprono una luce pari a 18 volte l'altezza.

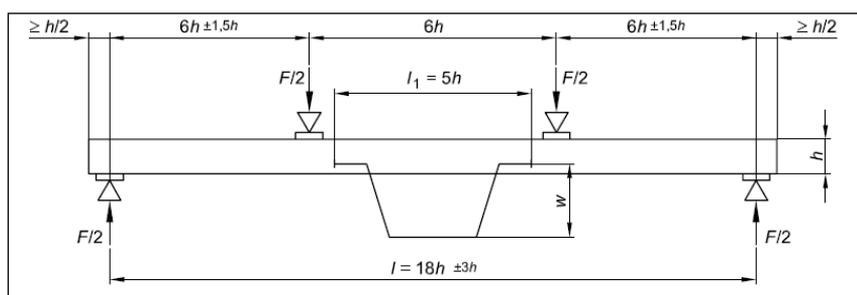


Fig. 5.10. Dimensioni provino per prove a flessione, UNI EN 408.

Se il provino e l'apparecchiatura non consentono di realizzare un provino di queste dimensioni si possono variare: la distanza tra punto di applicazione del carico e appoggi, non maggiore di 1,5 volte l'altezza del provino; la luce e la lunghezza del provino; in ogni caso bisogna mantenere sempre la simmetria della prova. Nel caso sia necessario inserire piastre di acciaio tra il provino e la testa di applicazione del carico, per evitare fenomeni di indentature localizzate, esse non devono essere maggiori della metà dell'altezza del provino. Per evitare imbozzamenti bisogna applicare un vincolo laterale che consenta l'inflessione senza generare attrito.

Il carico deve essere applicato attraverso una testa di applicazione con una velocità costante, tale che il carico massimo sia raggiunto entro (300 ± 120) s. Il tempo impiegato per arrivare alla rottura per ciascun pezzo deve essere registrato e il relativo valore medio deve essere riportato nel resoconto di

prova. Ogni singolo pezzo divergente per più di 120 s dall'obiettivo di 300 s deve essere riportato nel resoconto di prova.

Determinazione della resistenza a compressione parallela alla fibratura²⁵

Il provino deve avere sezione trasversale corrispondente all'intera sezione strutturale e una lunghezza pari a sei volte la dimensione minima della sezione trasversale. Le superfici di estremità devono essere accuratamente piane e parallele tra loro e perpendicolari all'asse del pezzo.

Il procedimento per la realizzazione della prova prevede che il provino sia caricato concentricamente mediante teste di applicazione del carico senza indurre flessione. I dispositivi di afferraggio e le condizioni effettive di carico utilizzati devono essere riportati nel resoconto di prova. Il carico deve essere applicato attraverso una testa di applicazione con una velocità costante, tale che il carico massimo sia raggiunto entro (300 ± 120) s; con accuratezza pari all'1% del carico applicato al provino. Il tempo impiegato per arrivare alla rottura per ciascun pezzo deve essere registrato e il relativo valore medio deve essere riportato nel resoconto di prova. Ogni singolo pezzo divergente per più di 120 s dall'obiettivo di 300 s deve essere riportato nel resoconto di prova.

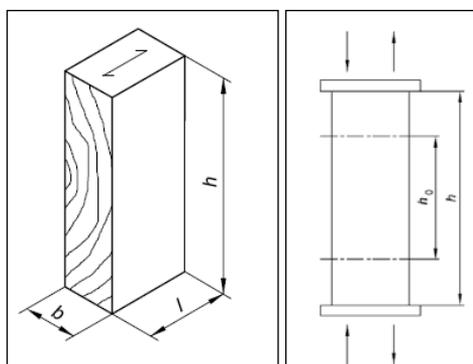
Determinazione delle resistenze a compressione perpendicolare alla fibratura²⁶

Le superfici del provino, dove è applicato il carico, dopo il condizionamento devono essere piane e parallele tra loro e perpendicolari all'asse del provino. Le dimensioni del provino sono riportate nella norma UNI EN 408 sia per il legname strutturale che per quello incollato.

Caratteristiche dei provini						
Legname strutturale			Legno lamellare incollato			
B (mm)	h (mm)	l (mm)	Volume	$b \times l$ (mm ²)	b minimo (mm)	h (mm)
Trazione						
45	180	70	0,01 m ³	25 000	100	400
Compressione						
45	90	70	-	25 000	100	200

Fig. 5.11. Dimensione dei provini, UNI EN 408.

Il provino deve essere montato verticalmente tra le piastre della macchina di prove e si devono applicare i carichi di compressione. La lunghezza di riferimento, h_0 (circa $0,6 h$), deve essere situata all'altezza centrale del provino e non più vicino di $b/3$ dalle estremità caricate del provino.



Figg. 5.12, 5.13. Dimensioni provino e principio della prova, UNI EN 408.

Nella prova di compressione, dopo l'applicazione di un carico iniziale, le teste di applicazione del carico devono essere bloccate per impedire la rotazione o il movimento angolare durante la prova. Il carico F deve essere applicato ad una velocità costante per tutta la durata della prova, tale che il carico massimo sia raggiunto entro (300 ± 120) s; con accuratezza pari all'1% del carico applicato al provino.

5.4 Le prove sperimentali sul pino laricio

Il *Pino laricio* utilizzato nelle prove sperimentali proviene da un taglio approvato della regione Calabria su un bosco situato nella zona di Taverna, del Comune di Catanzaro. Il materiale è stato fornito dalla Maletta Ercole Srl, Industria Legnami, con sede a Figline Vegliaturo (CS) – Z.I. Piano Lago.

Le prove svolte presso il Laboratorio *Prove materiali* del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università della Calabria sono state effettuate con l'ausilio delle apparecchiature di prova presenti.

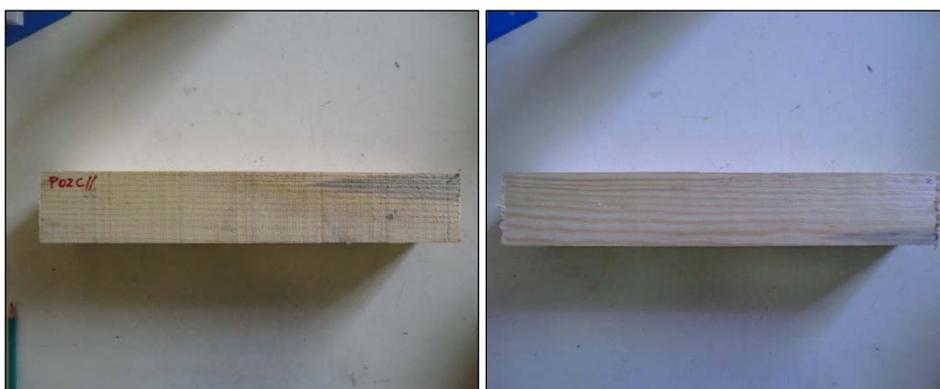
Prove di compressione parallela

La prova è stata effettuata su un numero di 10 campioni, con umidità del 20%, non è stato possibile condizionare i provini. Le dimensioni dei provini sono state valutate in funzione di quanto indicato nella norma UNI 408 e riportate nella tabella seguente.

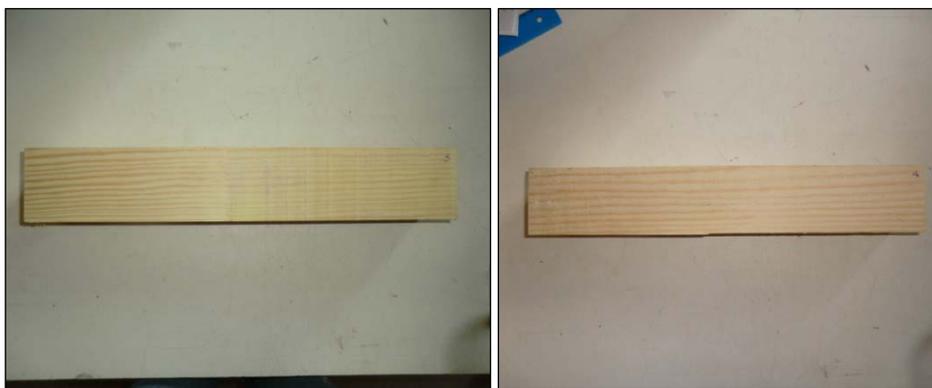
Dimensione provino compressione parallela <i>Pino laricio</i>	
base	70 mm
larghezza	70 mm
lunghezza	420 mm

L'apparecchiatura di prova utilizzata è una Pressa idraulica BPPS 300 del Laboratorio *Prove materiali* del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università della Calabria. Il provino è stato caricato concentricamente utilizzando teste di applicazione del carico, senza indurre flessione. I provini al momento della prova avevano le seguenti dimensioni:

Dimensioni effettive provini <i>Pino laricio</i>				
Provino N.	Massa volumica Kg/m3	base mm	larghezza mm	lunghezza mm
P01	698	70,2	70,2	420
P02	788	70,7	70,7	420
P03	817	70,9	70,9	420
P04	648	70,8	70,8	420
P05	815	71	71	420
P06	655	70,8	70,8	420
P07	650	70,7	70,7	420
P08	720	70,9	70,9	420
P09	619	70,7	70,7	420
P10	634	70,3	70,3	420



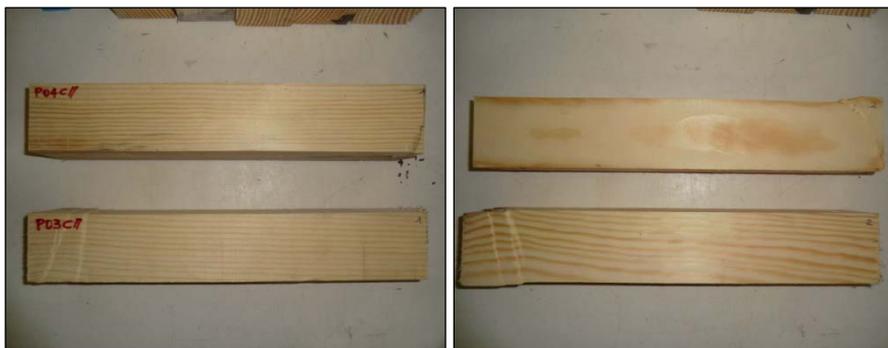
Figg. 5.14, 5.15. Foto provino P02C//, faccia 1 e faccia 2.



Figg. 5.16, 5.17. Foto provino P02C//, faccia 3 e faccia 4.



Fig. 5.18. Provino P03 compressione parallela nell'apparecchiatura di prova.



Figg. 5.19, 5.20. Foto provino P03C//, faccia 1 e faccia 2.



Figg. 5.21, 5.22. Foto provino P03C//, faccia 3 e faccia 4.



Fig. 5.23. Provino P04 a rottura.

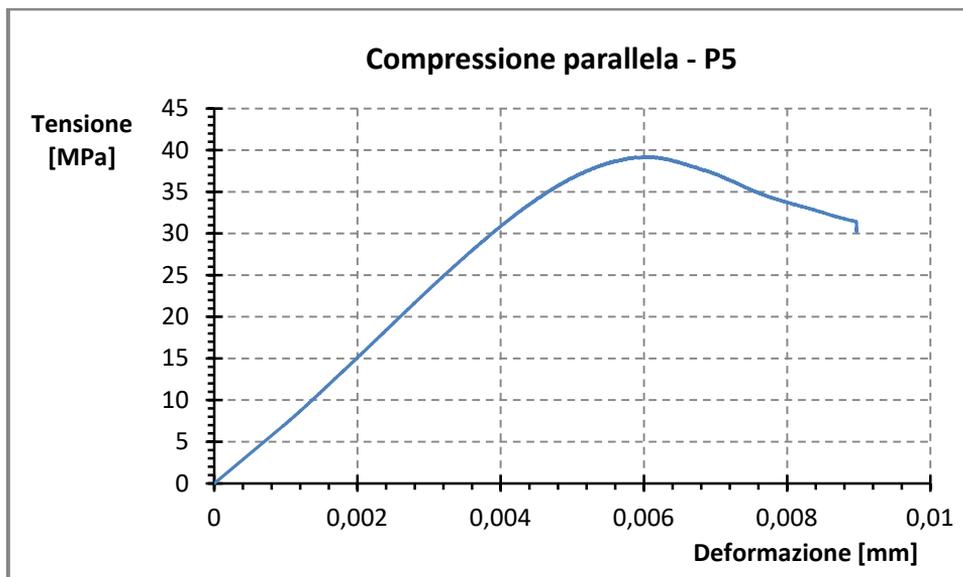


Fig. 5.24. Grafico tensione-deformazione Provino P05.

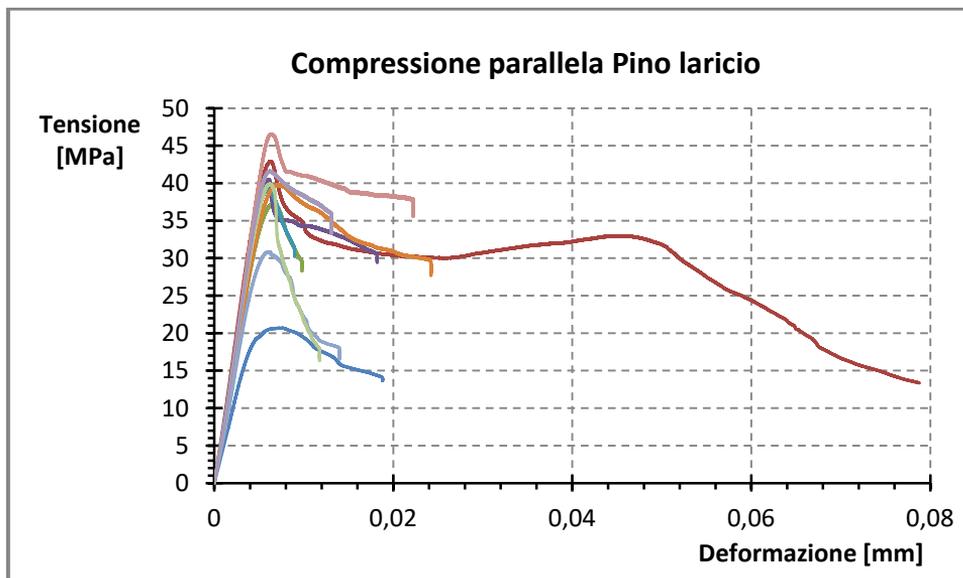


Fig. 5.25. Grafico tensione-deformazione n. 10 provini pino laricio.

La resistenza a compressione è data dalla seguente equazione:

$$f_{c,0} = \frac{F_{max}}{A}$$

dove F_{max} è il carico massimo, misurato in Newton;

A è l'area della sezione trasversale, misurata in millimetri quadrati.

Il modulo di elasticità a compressione è dato dalla seguente equazione:

$$E_{c,0} = \frac{l_1 * (F_2 - F_1)}{A * (w_2 - w_1)}$$

dove A è l'area della sezione trasversale, misurata in millimetri quadrati;

l è la lunghezza, misurata in millimetri;

$F_2 - F_1$ è l'incremento del carico sul tratto rettilineo della curva di carico deformazione, misurato in Newton;

$w_2 - w_1$ è l'incremento di deformazione corrispondente a $F_2 - F_1$, misurato in millimetri.

Risultati prove compressione parallela provini <i>Pino laricio</i>		
Provino N.	Resistenza MPa	Modulo elastico GPa
P01	20,7	4,95
P02	20,3	8,51
P03	18,5	7,24
P04	22,4	7,63
P05	18,2	8,15
P06	21,2	7,44
P07	22,8	6,74
P08	21,2	8,44
P09	24,5	7,98
P10	22,5	7,92

Prove di compressione perpendicolare

La prova è stata effettuata su un numero di 10 campioni, con umidità del 20%, non è stato possibile condizionare i provini. Le dimensioni dei provini sono state valutate in funzione di quanto indicato nella norma UNI 408 riportate nella tabella seguente.

Dimensione campione compressione perpendicolare <i>Pino laricio</i>	
base	45 mm
larghezza	70 mm
lunghezza	90 mm

L'apparecchiatura di prova utilizzata è una Instron del Laboratorio *Prove materiali* del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università della Calabria. Il provino è stato caricato concentricamente utilizzando teste di applicazione del carico, e si deve impedire la rotazione o il movimento angolare durante la prova. I provini al momento della prova avevano le seguenti dimensioni:

Dimensioni effettive provini <i>Pino laricio</i>				
Provino N.	Massa volumica Kg/m ³	base mm	larghezza mm	lunghezza mm
P01	560	46,2	71	95,3
P02	643	45,8	71	95,6
P03	507	43,9	70,4	92,6
P04	521	43,2	69,7	92,5
P05	524	43,8	70,6	92,6
P06	486	44	70,3	93,2
P07	527	43,6	70,7	92,3
P08	538	42,8	70,4	95,6
P09	513	43,3	69,7	93,7
P10	484	43,8	70,9	93,2



Figg. 5.26, 5.27. Foto provino P01, P02 e P03, faccia 1 e faccia 2.



Figg. 5.28, 5.29. Foto provino P01, P02 e P03, faccia 3 e faccia 4.



Fig. 5.30. Foto provino P01 e P02, a rottura.

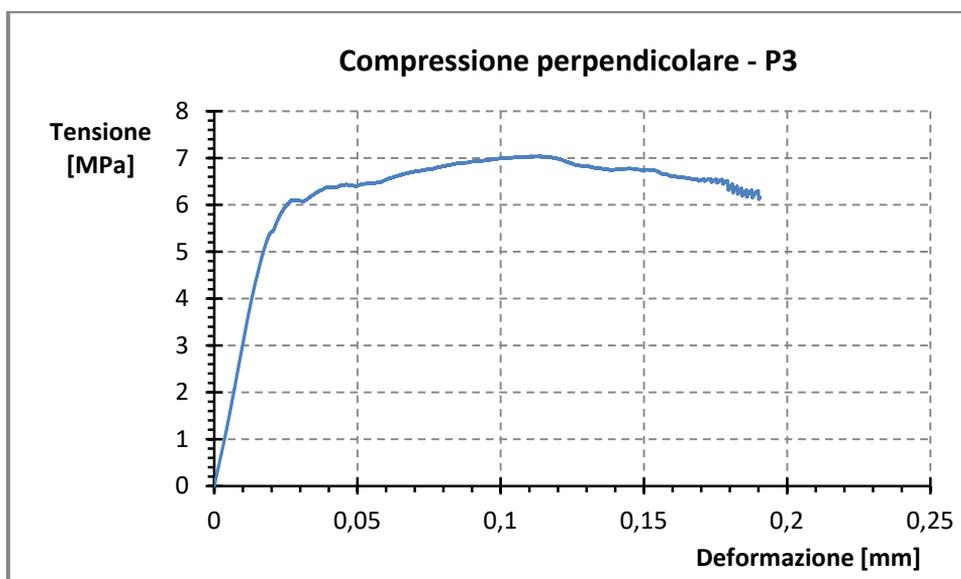


Fig. 5.31. Grafico tensione-deformazione provini P03.

La resistenza a compressione è data dalla seguente equazione:

$$f_{c,90} = \frac{F_{C,90,max}}{b * l}$$

dove F_{max} è il carico massimo, misurato in Newton;

b è la larghezza della sezione trasversale, misurata in millimetri;

l è la luce libera di inflessione, misurata in millimetri.

Il modulo di elasticità a compressione è dato dalla seguente equazione:

$$E_{C,90} = \frac{h_0 * (F_{40} - F_{10})}{b * l * (w_{40} - w_{10})}$$

dove h_0 è lunghezza di riferimento, misurata in millimetri;

b è la larghezza della sezione trasversale, misurata in millimetri;

l è la luce libera di inflessione, misurata in millimetri.

$F_{40} - F_{10}$ è l'incremento del carico sul tratto rettilineo della curva di carico deformazione, misurato in Newton; F_{10} deve essere il 10% e F_{40} deve essere il 40 % di $F_{C,90,max}$.

$w_{40} - w_{10}$ è l'incremento di deformazione corrispondente a $F_{40} - F_{10}$, misurato in millimetri.

Risultati prove compressione perpendicolare provini Pino laricio		
Provino N.	Resistenza MPa	Modulo elastico GPa
P01	29,00	0,02
P02	22,47	0,01
P03	7,04	0,32
P04	8,08	0,30
P05	9,22	0,40
P06	8,04	0,33
P07	10,40	0,31
P08	14,25	0,46
P09	12,01	0,28
P10	8,61	0,33

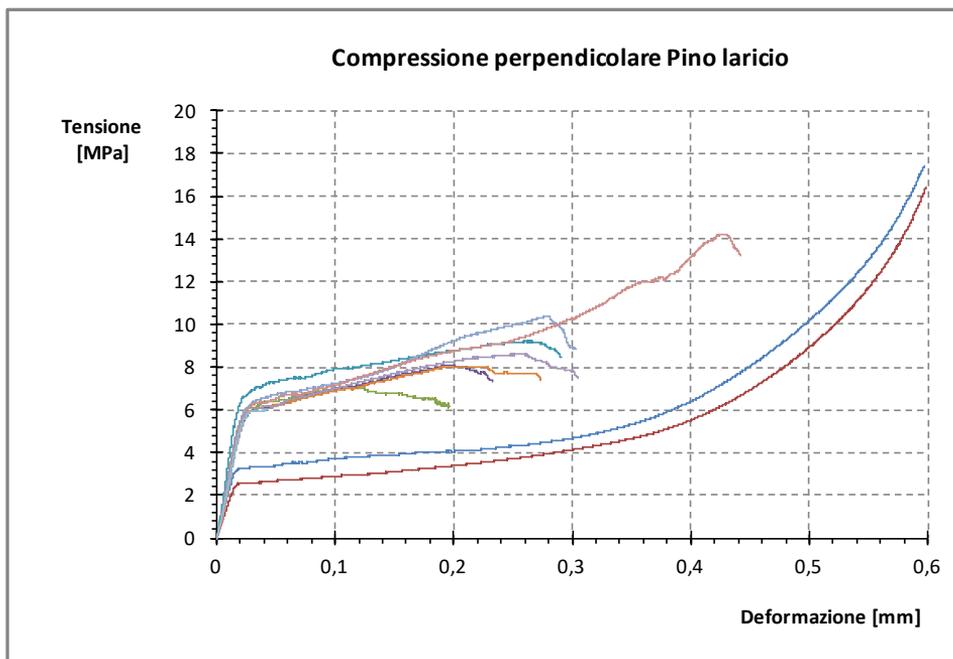


Fig. 5.32. Grafico tensione-deformazione n. 10 provini pino laricio.

Prove di flessione

La prova è stata effettuata su un numero di 3 campioni, con umidità del 20%, non è stato possibile condizionare i provini. Le dimensioni dei provini sono state valutate in funzione di quanto indicato nella norma UNI 408 riportate nella tabella seguente.

Dimensione provino <i>Pino laricio</i>	
base	150 mm
larghezza	150 mm
lunghezza	2400 mm

L'apparecchiatura di prova utilizzata è una Instron del Laboratorio *Prove materiali* del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università della Calabria. Il

provino, semplicemente appoggiato, è stato caricato su 4 punti come richiede la norma UNI 408, e per misurare la w sono stati inseriti due trasduttori alla mezziera della trave in corrispondenza dell'asse neutro.

La resistenza a flessione è data dall'equazione:

$$f_m = \frac{a * F_{max}}{2 * W}$$

dove a è la distanza tra un punto di applicazione del carico e l'appoggio più vicino, misurata in millimetri;

F_{max} è il carico massimo, misurato in Newton;

W è il modulo di resistenza della sezione, misurato in millimetri alla terza.

Il modulo di elasticità a flessione globale è dato dall'equazione:

$$E_{m,g} = \frac{l^3 * (F_2 - F_1)}{b * h * (w_2 - w_1)} * \left[\left(\frac{3 * a}{4 * l} \right) - \left(\frac{a}{l} \right)^3 \right]$$

dove a è la distanza tra un punto di applicazione del carico e l'appoggio più vicino, misurata in millimetri;

b è la larghezza della sezione trasversale, misurata in millimetri;

h è l'altezza della sezione trasversale, misurata in millimetri;

l è la luce libera di inflessione, misurata in millimetri;

$F_2 - F_1$ è l'incremento del carico sul tratto rettilineo della curva di carico deformazione, misurato in Newton;

$w_2 - w_1$ è l'incremento di deformazione corrispondente a $F_2 - F_1$, misurato in millimetri.

Risultati finali <i>Pino laricio</i>		
Provino N.	Fmax N	Modulo elastico GPa
P01	49293,09	8,38
P02	56518,01	8,39
P03	49498,46	6,53

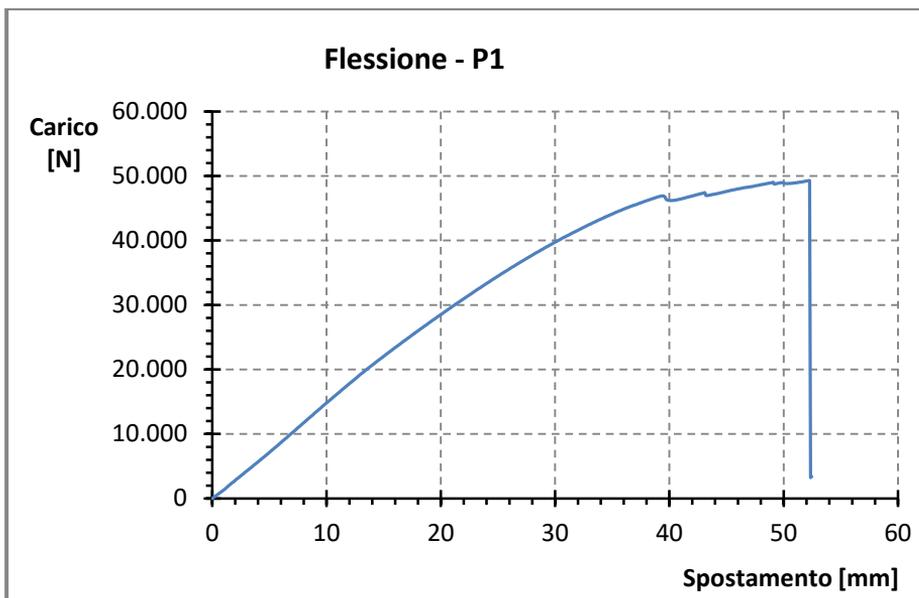


Fig. 5.33. Grafico carico-spostamento provino P01.

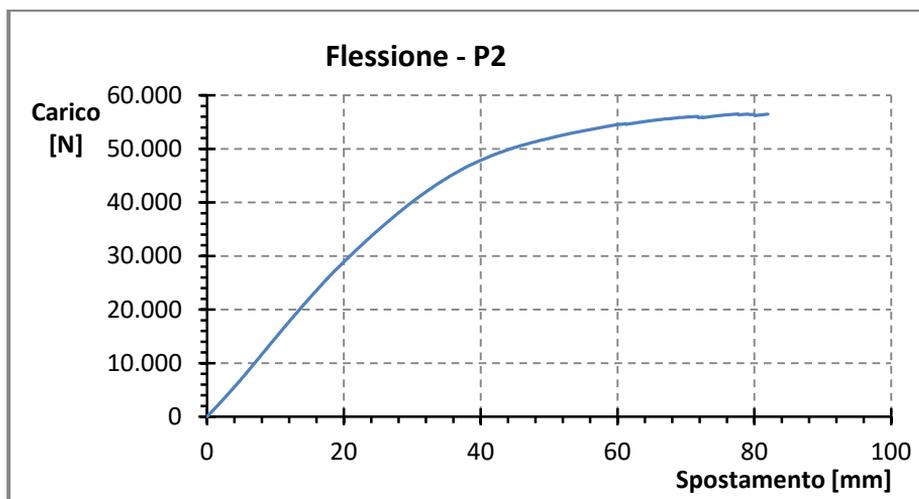


Fig. 5.34. Grafico carico-spostamento provino P02.

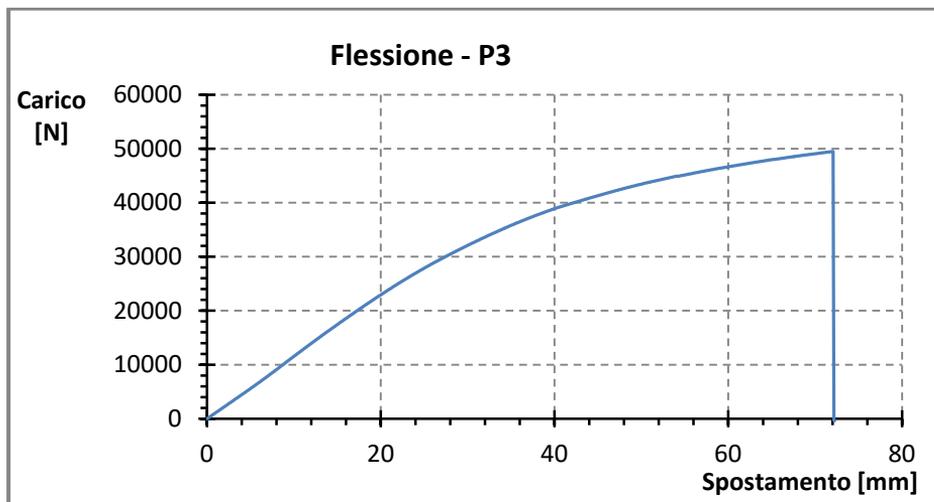


Fig. 5.35. Grafico carico-spostamento provino P03.

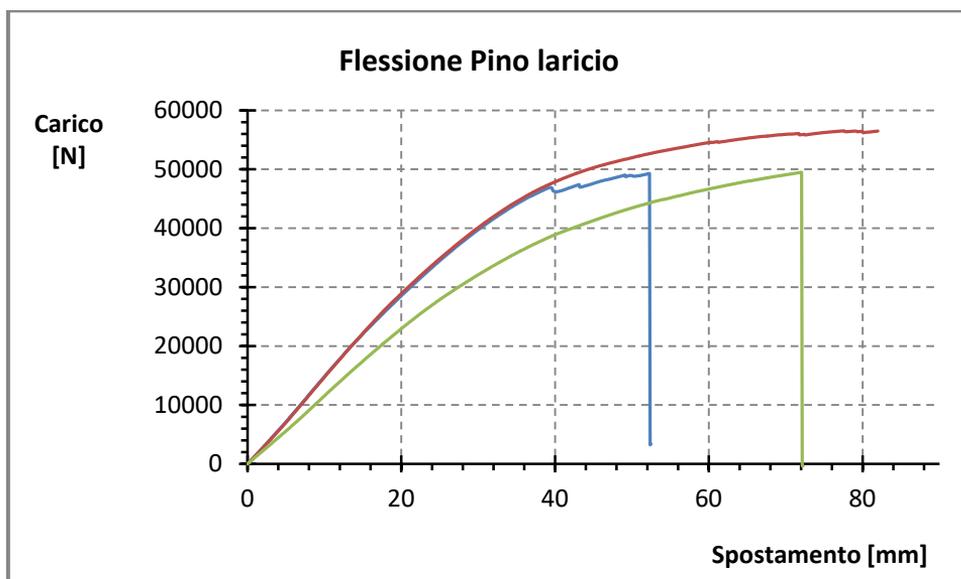


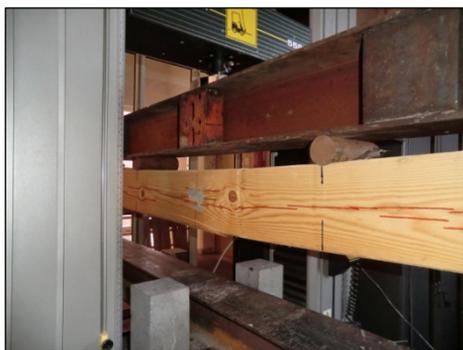
Fig. 5.36. Grafico carico-spostamento n. 3 provini di *Pino laricio*.



Fig. 5.37. Prova P01 a flessione.



Figg. 5.38, 5.39. Prova P01 a flessione.



Figg. 5.40, 5.41. Particolari rottura provino P01.



Figg. 5.42, 5.43, 5.44, 5.45. Particolari rottura provino P01.



Fig. 5.46. Prova P02 a flessione.



Figg. 5.47, 5.48. Particolari rottura provino P02.



Fig. 5.49. Prova provino P03.



Figg. 5.50, 5.51. Particolari rottura provino P03.

5.5 Le prove sperimentali sul castagno

Il *castagno* utilizzato nelle prove sperimentali proviene da un taglio approvato della regione Calabria su un bosco situato nella zona di X, nel Comune di Cosenza. Il materiale è stato fornito dalla Maletta Ercole Srl, Industria Legnami, con sede a Figline Vegliaturo (CS) – Z.I. Piano Lago.

Le prove svolte presso il Laboratorio *Prove materiali* del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università della Calabria sono state effettuate con l'ausilio delle apparecchiature di prova presenti.

Prove di compressione parallela

La prova è stata effettuata su un numero di 10 campioni, con umidità del 18%, non è stato possibile condizionare i provini. Le dimensioni dei provini sono state valutate in funzione di quanto indicato nella norma UNI 408 e riportate nella tabella seguente.

Dimensione provino compressione parallela <i>Pino laricio</i>	
base	70 mm
larghezza	70 mm
lunghezza	420 mm

L'apparecchiatura di prova utilizzata è una Pressa idraulica BPPS 300 del Laboratorio *Prove materiali* del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università della Calabria. Il provino è stato caricato concentricamente utilizzando teste di applicazione del carico, senza indurre flessione.

I provini al momento della prova avevano le seguenti dimensioni effettive:

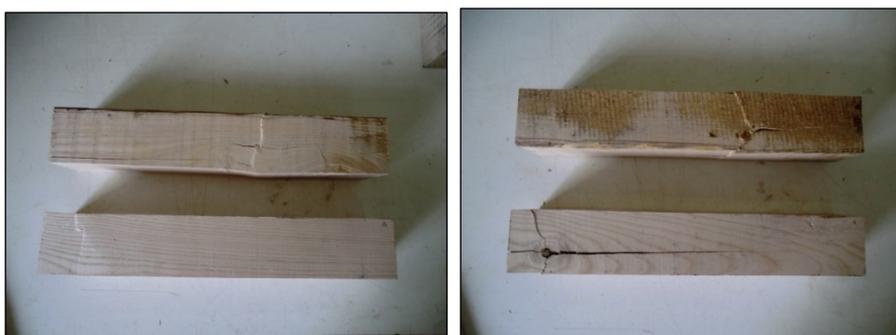
Dimensioni effettive provini <i>Castagno</i>				
Provino N.	Massa volumica Kg/m³	base mm	larghezza mm	lunghezza mm
C01	574	70,4	70,4	420
C02	560	70,8	70,8	420
C03	604	70,6	70,6	420
C04	692	70,5	70,5	420
C05	545	70,4	70,4	420
C06	595	70,7	70,7	420
C07	594	70,8	70,8	420
C08	662	70,7	70,7	420
C09	569	70,7	70,7	420
C10	575	70,8	70,8	420



Fig. 5.52. Provino C01 compressione parallela e nell'apparecchiatura di prova.



Figg. 5.53, 5.54. Foto provini C03C// e C04C//, faccia 1 e faccia 2.



Figg. 5.55, 5.56. Foto provino C03C// e C04C//, faccia 3 e faccia 4.



Fig. 5.57. Provino C07 a rottura.

La resistenza a compressione è data dalla seguente equazione:

$$f_{c,0} = \frac{F_{max}}{A}$$

dove F_{max} è il carico massimo, misurato in Newton;

A è l'area della sezione trasversale, misurata in millimetri quadrati.

Il modulo di elasticità a compressione è dato dalla seguente equazione:

$$E_{c,0} = \frac{l_1 * (F_2 - F_1)}{A * (w_2 - w_1)}$$

dove A è l'area della sezione trasversale, misurata in millimetri quadrati;

l è la lunghezza, misurata in millimetri;

$F_2 - F_1$ è l'incremento del carico sul tratto rettilineo della curva di carico deformazione, misurato in Newton;

$w_2 - w_1$ è l'incremento di deformazione corrispondente a $F_2 - F_1$, misurato in millimetri.

Risultati provini <i>Castagno</i>		
Provino N.	Resistenza	Modulo elastico
	MPa	GPa
C01	44,8	9,05
C02	42,8	8,31
C03	37,6	7,23
C04	40,9	7,60
C05	39,9	8,13
C06	39,9	7,40
C07	30,8	6,70
C08	46,8	8,38
C09	39,9	7,92
C10	41,1	7,86

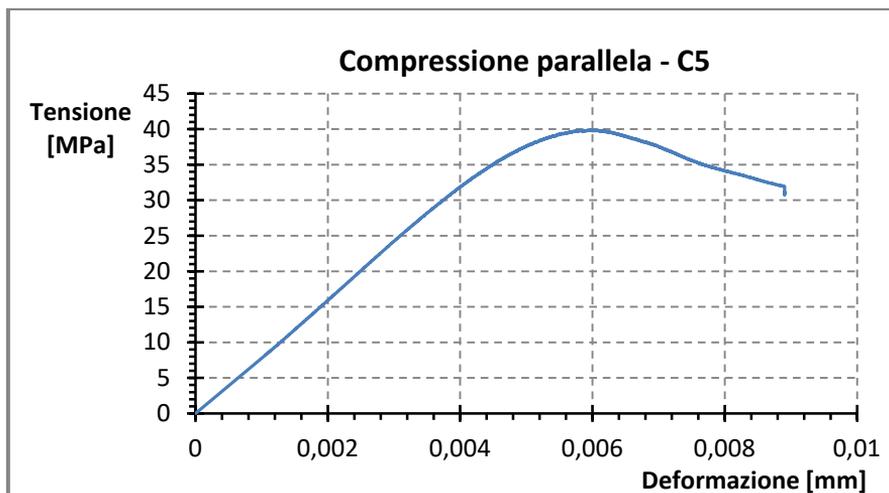


Fig. 5.58. Grafico tensione-deformazione Provino C05.

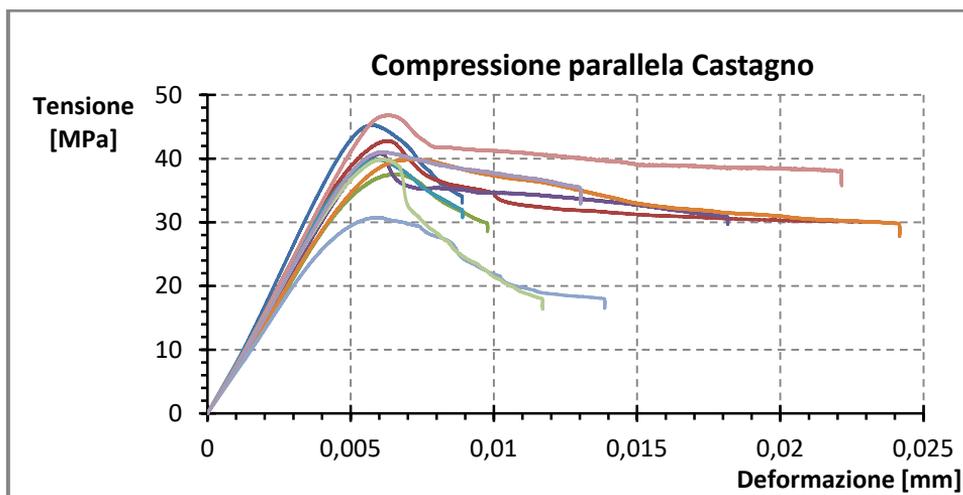


Fig. 5.59. Grafico tensione-deformazione Provini Castagno.

Prove di compressione perpendicolare

La prova è stata effettuata su un numero di 10 campioni, con umidità del 20%, non è stato possibile condizionare i provini. Le dimensioni dei provini sono state valutate in funzione di quanto indicato nella norma UNI 408 riportate nella tabella seguente.

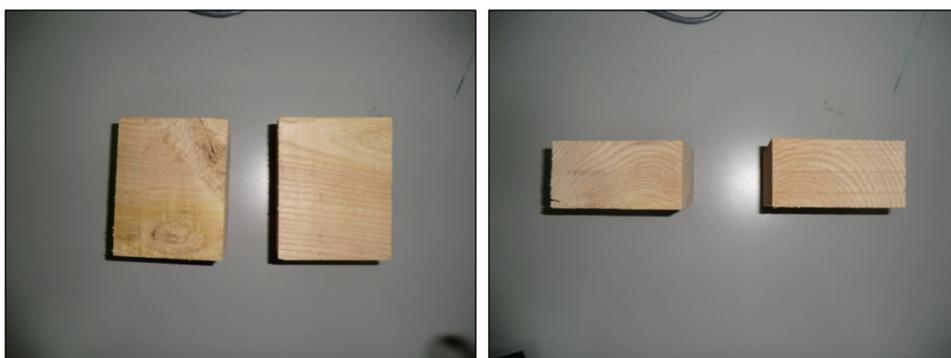
Dimensione campione compressione perpendicolare <i>Castagno</i>	
base	45 mm
larghezza	70 mm
lunghezza	90 mm

L'apparecchiatura di prova utilizzata è una Instron del Laboratorio *Prove materiali* del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università della Calabria. Il provino è stato caricato concentricamente utilizzando teste di applicazione del carico, e si deve impedire la rotazione o il movimento angolare durante la prova. I provini al momento della prova avevano le seguenti dimensioni:

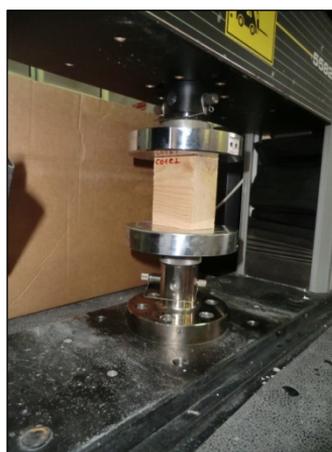
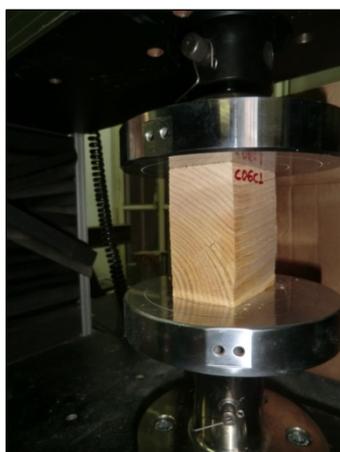
Dimensioni effettive provini <i>Castagno</i>				
Provino N.	Massa volumica Kg/m³	base mm	larghezza mm	lunghezza mm
C01	645	45,3	70,7	89,5
C02	606	45,7	70,6	89,5
C03	626	45,8	71,3	90,5
C04	583	45,8	70,8	90
C05	666	45,9	70,9	90
C06	641	45,2	71	89,9
C07	712	46	70,8	90,5
C08	707	43,3	70,9	89,8
C09	671	45,5	70,6	90,5
C10	654	45,6	71,2	89,5



Figg. 5.60, 5.61. Provini C02 e C05, faccia 1 e 2.



Figg. 5.62, 5.63. Provini C02 e C05, faccia 3 e 4.



Figg. 5.64, 5.65. Provini C06 e C01, in prova.



Figg. 5.66, 5.67. Provini C01 e C02, a rottura.

La resistenza a compressione è data dalla seguente equazione:

$$f_{c,90} = \frac{F_{C,90,max}}{b * l}$$

dove F_{max} è il carico massimo, misurato in Newton;

b è la larghezza della sezione trasversale, misurata in millimetri;

l è la luce libera di inflessione, misurata in millimetri.

Il modulo di elasticità a compressione è dato dalla seguente equazione:

$$E_{C,90} = \frac{h_0 * (F_{40} - F_{10})}{b * l * (w_{40} - w_{10})}$$

dove h_0 è lunghezza di riferimento, misurata in millimetri;

b è la larghezza della sezione trasversale, misurata in millimetri;

l è la luce libera di inflessione, misurata in millimetri.

$F_{40} - F_{10}$ è l'incremento del carico sul tratto rettilineo della curva di carico deformazione, misurato in Newton; F_{10} deve essere il 10% e F_{40} deve essere il 40 % di $F_{C,90,max}$.

$w_{40} - w_{10}$ è l'incremento di deformazione corrispondente a $F_{40} - F_{10}$, misurato in millimetri.

Risultati provini <i>Castagno</i>		
Provino N.	Resistenza	Modulo elastico
	MPa	GPa
C01	5,41	0,43
C02	6,29	0,37
C03	5,22	0,39
C04	5,11	0,39
C05	8,91	0,42
C06	5,08	0,31
C07	6,07	0,44
C08	6,21	0,35
C09	5,19	0,43
C10	5,41	0,40

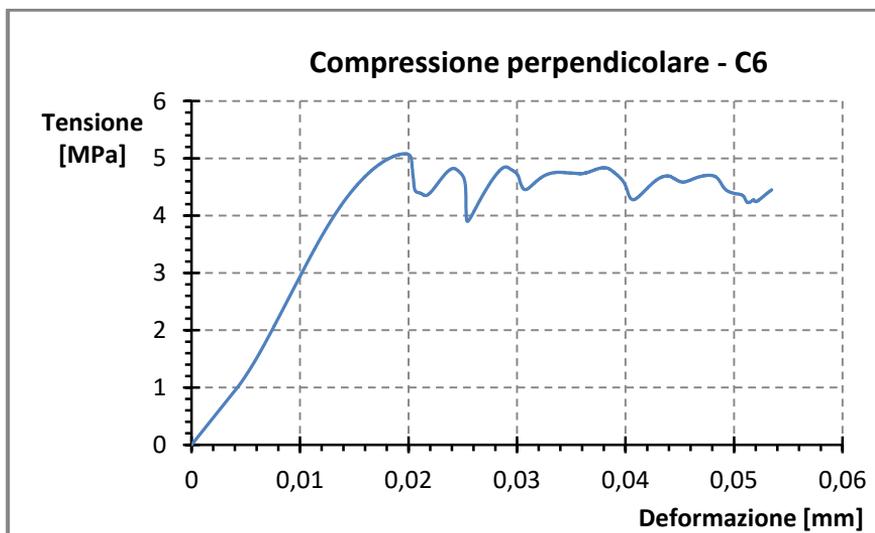


Fig. 5.68. Grafico tensione-deformazione provino C06.



Fig. 5.69. Provino C02, a rottura.

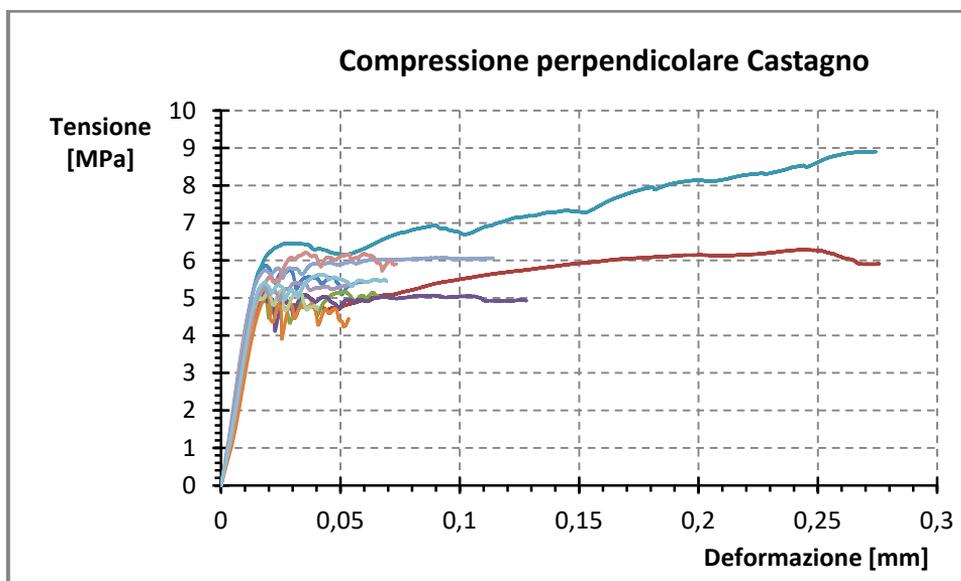


Fig. 5.70. Grafico tensione-deformazione n. 10 provini castagno.

Prove di flessione

La prova è stata effettuata su un numero di 3 campioni, con umidità del 20%, non è stato possibile condizionare i provini. Le dimensioni dei provini sono state valutate in funzione di quanto indicato nella norma UNI 408 riportate nella tabella seguente.

Dimensione provino <i>Castagno</i>	
base	150 mm
larghezza	150 mm
lunghezza	2400 mm

L'apparecchiatura di prova utilizzata è una Instron del Laboratorio *Prove materiali* del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università della Calabria. Il provino, semplicemente appoggiato, è stato caricato su 4 punti come richiede la norma UNI 408, e per misurare la w sono stati inseriti due trasduttori alla mezziera della trave in corrispondenza dell'asse neutro.

La resistenza a flessione è data dall'equazione:

$$f_m = \frac{a * F_{max}}{2 * W}$$

dove a è la distanza tra un punto di applicazione del carico e l'appoggio più vicino, misurata in millimetri;

F_{max} è il carico massimo, misurato in Newton;

W è il modulo di resistenza della sezione, misurato in millimetri alla terza.

Il modulo di elasticità a flessione globale è dato dall'equazione:

$$E_{m,g} = \frac{l^3 * (F_2 - F_1)}{b * h * (w_2 - w_1)} * \left[\left(\frac{3 * a}{4 * l} \right) - \left(\frac{a}{l} \right)^3 \right]$$

dove a è la distanza tra un punto di applicazione del carico e l'appoggio più vicino, misurata in millimetri;

b è la larghezza della sezione trasversale, misurata in millimetri;

h è l'altezza della sezione trasversale, misurata in millimetri;

l è la luce libera di inflessione, misurata in millimetri;

$F_2 - F_1$ è l'incremento del carico sul tratto rettilineo della curva di carico deformazione, misurato in Newton;

$w_2 - w_1$ è l'incremento di deformazione corrispondente a $F_2 - F_1$, misurato in millimetri.

Risultati finali provini <i>Castagno</i>		
Provino N.	Fmax N	Modulo elastico GPa
C01	61183,12	10,06
C02	54252,61	10,06
C03	66065,38	8,96

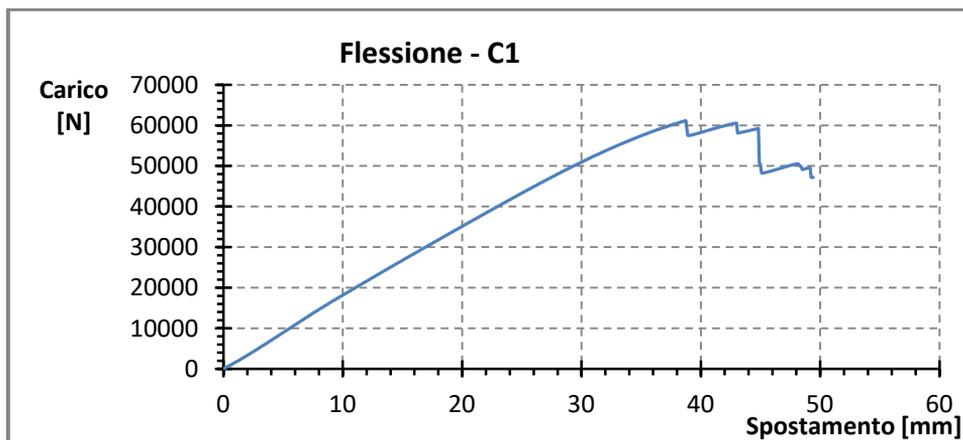


Fig. 5.71. Grafico carico-spostamento provino C01.

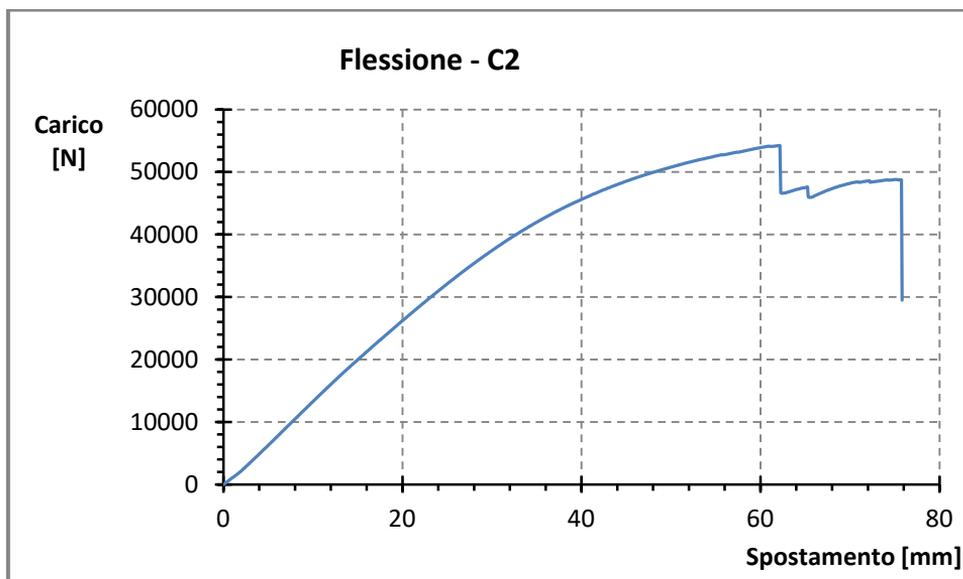


Fig. 5.72. Grafico carico-spostamento provino C02.

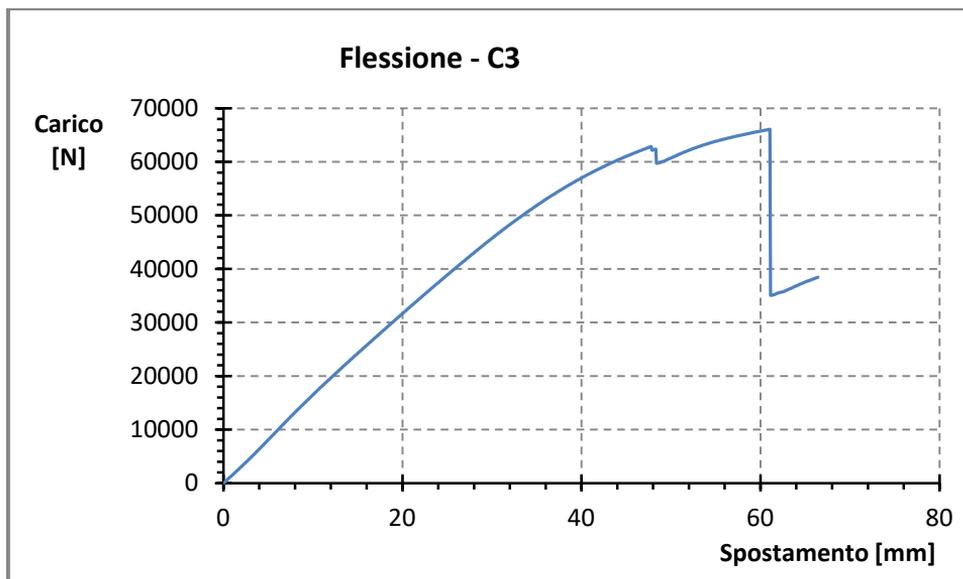


Fig. 5.73. Grafico carico-spostamento provino C03.

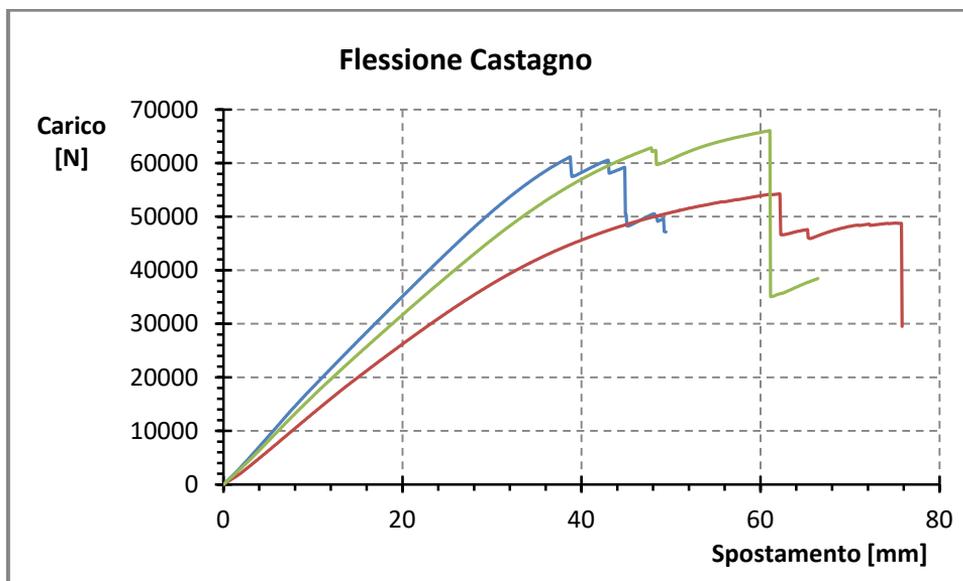


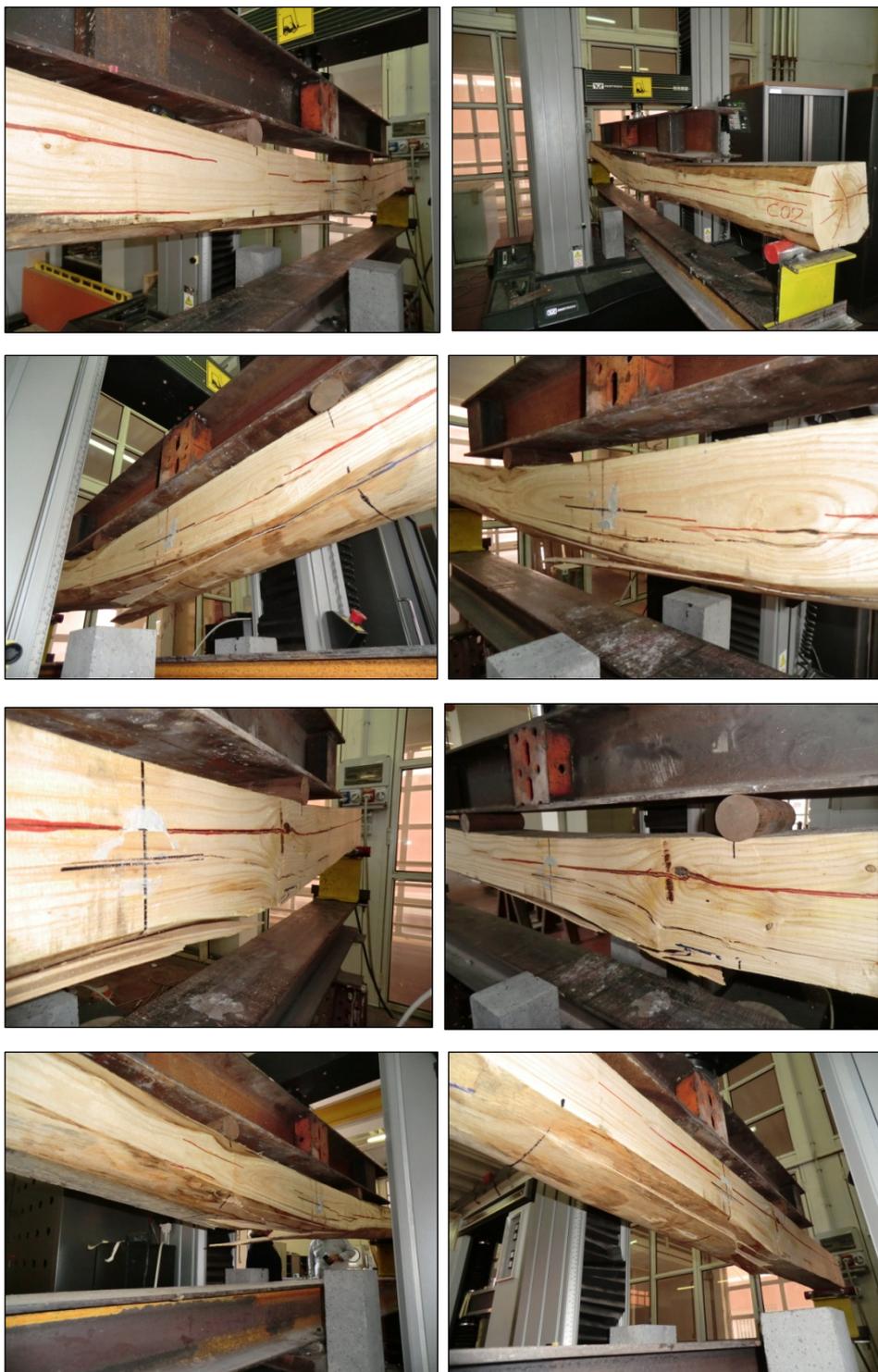
Fig. 5.74. Grafico carico-spostamento n. 3 provini castagno.



Fig. 5.75. Provino C01.



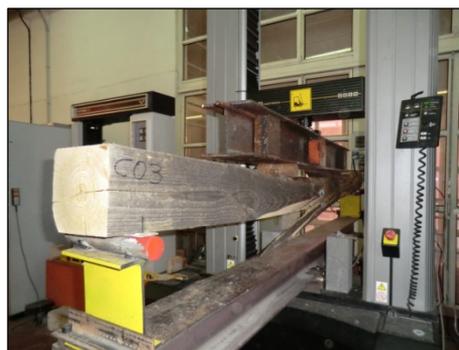
Fig. 5.76. Provino C02.



Figg. 5.77, 5.78, 5.79, 5.80, 5.81, 5.82, 5.83, 5.84. Modalità di rottura provino C02.



Fig. 5.85. Provino C03.



Figg. 5.86, 5.87, 5.88, 5.89. Provino C03, modalità di rottura.

5.6 Conclusioni

Le prove effettuate sui campioni di *Pino laricio* ci permettono di fare alcune considerazioni sul materiale e sulle caratteristiche in funzione dei valori di resistenza a flessione, resistenza a compressione parallela alla fibratura e resistenza a compressione perpendicolare alla fibratura.

La prima considerazione riguarda la valutazione della massa volumica di cui si riportano i valori medi relativi alla compressione parallela e alla compressione perpendicolare, i cui valori ottenuti devono essere confrontati con quelli riportati nella UNI EN 338:2009 per la futura caratterizzazione meccanica del materiale.

Massa volumica media Pino laricio	
Compressione parallela	704,4 Kg/m ³
Compressione perpendicolare	530 Kg/m ³

Tabella 18-1-Classi di resistenza secondo EN 338, per legno di conifere e di pioppo													
Valori di resistenza modulo elastico e massa volumica		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistenze [MPa]													
flessione	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90,k}$	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90,k}$	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2
taglio	$f_{v,k}$	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.8	3.0	3.4	3.8	3.8	3.8
Modulo elastico [GPa]													
modulo elastico medio parallelo alle fibre	$E_{0,mean}$	7	8	9	9.5	10	11	11.5	12	13	14	15	16
modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre	$E_{0,05}$	4.7	5.4	6.0	6.4	6.7	7.4	7.7	8.0	8.7	9.4	10.0	10.7
modulo elastico medio perpendicolare alle fibre	$E_{90,mean}$	0.23	0.27	0.30	0.32	0.33	0.37	0.38	0.40	0.43	0.47	0.50	0.53
modulo di taglio medio	G_{mean}	0.44	0.50	0.56	0.59	0.63	0.69	0.72	0.75	0.81	0.88	0.94	1.00
Massa volumica [kg/m³]													
massa volumica caratteristica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
massa volumica media	ρ_m	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Fig. 5.90. Tabella Clasi di resistenza EN 338, per legno di conifere e di pioppo.

La massa volumica media che risulta dai dieci campioni testati a compressione perpendicolare alla fibratura rientra nel range indicato dalla UNI 338, mentre il valore risultante dalle prove di compressione parallela alla fibratura è maggiore, questo è imputabile al contenuto d'acqua, essendo campioni con umidità del 20% e non condizionati.

La medesima valutazione sulla massa volumica può essere effettuata anche per le prove sui campioni di *Castagno*, i cui valori sono riportati nella tabella seguente.

Massa volumica media Castagno	
Compressione parallela	597 Kg/m ³
Compressione perpendicolare	651 Kg/m ³

Entrambi i valori rientrano nei *range* per l'assegnazione della classe di resistenza, naturalmente l'assegnazione della classe di resistenza a un legname deve essere effettuata previa esecuzione di prove su almeno 40 campioni della stessa specie, con interpolazione dei risultati su valori di resistenza, del modulo elastico e della massa volumica.

Tabella 18-2-Classi di resistenza secondo EN 338, per legno di latifoglie (escluso pioppo)							
Valori di resistenza modulo elastico e massa volumica		D30	D35	D40	D50	D60	D70
Resistenze (MPa)							
flessione	f_{mk}	30	35	40	50	60	70
trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90,k}$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90,k}$	8.0	8.4	8.8	9.7	10.5	13.5
taglio	$f_{v,k}$	3.0	3.4	3.8	4.6	5.3	6.0
Modulo elastico (GPa)							
modulo elastico medio parallelo alle fibre	$E_{0,mean}$	10	10	11	14	17	20
modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre	$E_{0,05}$	8.0	8.7	9.4	11.8	14.3	16.8
modulo elastico medio perpendicolare alle fibre	$E_{90,mean}$	0.64	0.69	0.75	0.93	1.13	1.33
modulo di taglio medio	G_{mean}	0.60	0.65	0.70	0.88	1.06	1.25
Massa volumica (kg/m ³)							
massa volumica caratteristica	ρ_k	530	560	590	650	700	900
massa volumica media	ρ_m	640	670	700	780	840	1080

Fig. 5.91. Tabella Clasi di resistenza EN 338, per legno di latifoglie escluso pioppo.

I valori di resistenza a compressione parallela alla fibratura ottenuti dalle prove sperimentali sui campioni di *Pino laricio* mostrano dei valori nel range indicato dalla norma UNI 338, per come indicato nella Fig. 5.90. Il grafico di inviluppo delle curve tensione-deformazione delle prove effettuate mostra che il campione P01, rappresentato dalla serie blu, ha un modulo elastico minore rispetto a tutti gli altri campioni testati; il provino P02, curva rosso scuro, si è deciso di continuare la prova fino a distruzione del provino; mentre tutti gli altri seguono lo stesso andamento.

Compressione parallela Pino laricio	
Resistenza media [Mpa]	21,23
Modulo elastico [Gpa]	7,5

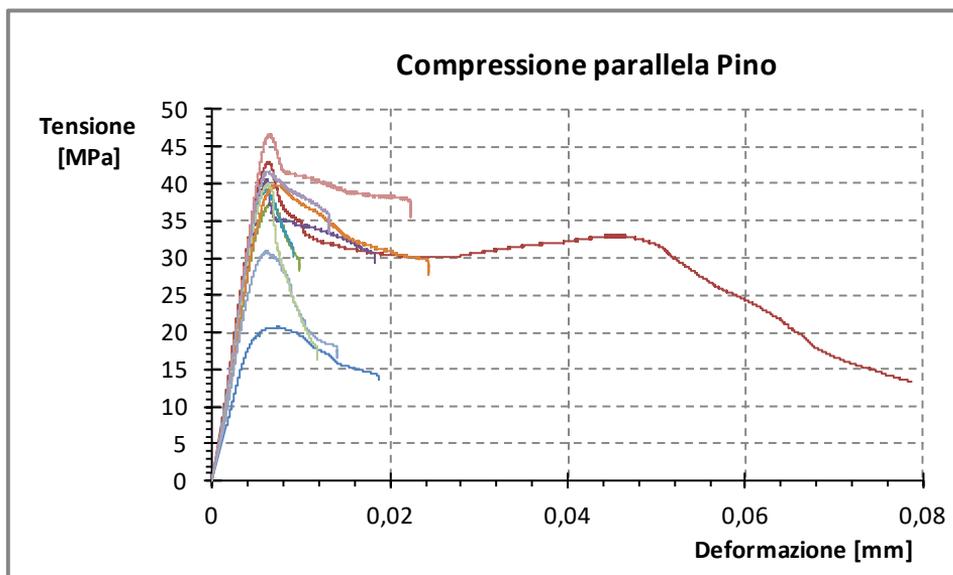


Fig. 5.92. Grafico di inviluppo curva tensione-deformazione n. 10 campioni di pino laricio.

I valori di resistenza a compressione parallela alla fibratura ottenuti dalle prove sperimentali sui campioni di *Castagno* hanno tutti valori prossimi, ma il valore medio di 40 GPa è maggiore rispetto a quelli indicati nelle classi di

resistenza delle latifoglie; anche i valori del modulo elastico sono prossimi a tutti i campioni testati. Il grafico di involuppo delle curve tensione-deformazione, riportato in Fig. 5.93, mostra l'andamento delle curve dei diversi provini.

Compressione parallela Castagno	
Resistenza media [Mpa]	40,45
Modulo elastico [Gpa]	7,9

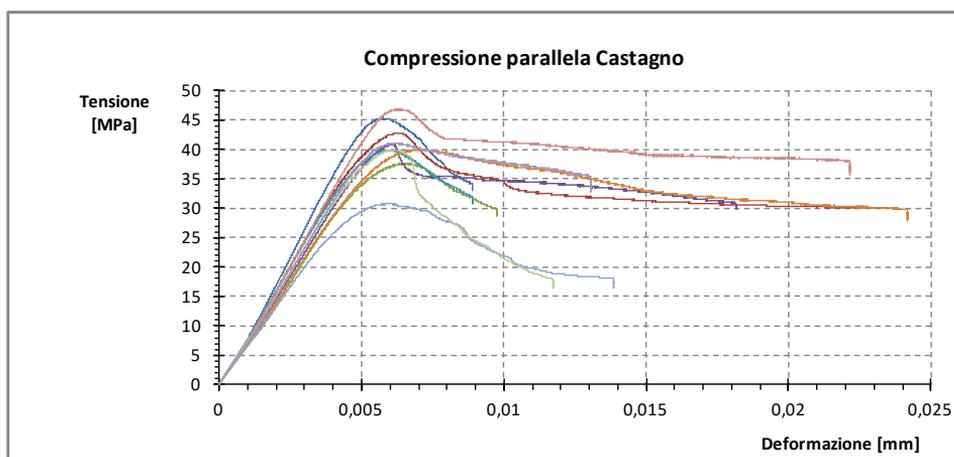


Fig. 5.93. Grafico di involuppo curva tensione-deformazione n. 10 campioni di castagno.

I valori di resistenza a compressione perpendicolare alla fibratura ottenuti dalle prove sperimentali sui campioni di *Pino laricio*, riassunti nella tabella seguente, mostrano dei valori medi nei *range* definiti dalla UNI 338.

Compressione perpendicolare Pino laricio	
Resistenza media [Mpa]	12,9
Modulo elastico [Gpa]	0,34

Il grafico di involuppo delle curve tensione-deformazione, riportato in Fig. 5.94, mostra un andamento delle curve del provino P01 e P02, curva rossa e

blu, differenti rispetto agli altri 8 campioni testati, poiché l'umidità registrata nel provino al momento della prova era maggiore del 20%, mentre le altre curve mantengono un andamento analogo.

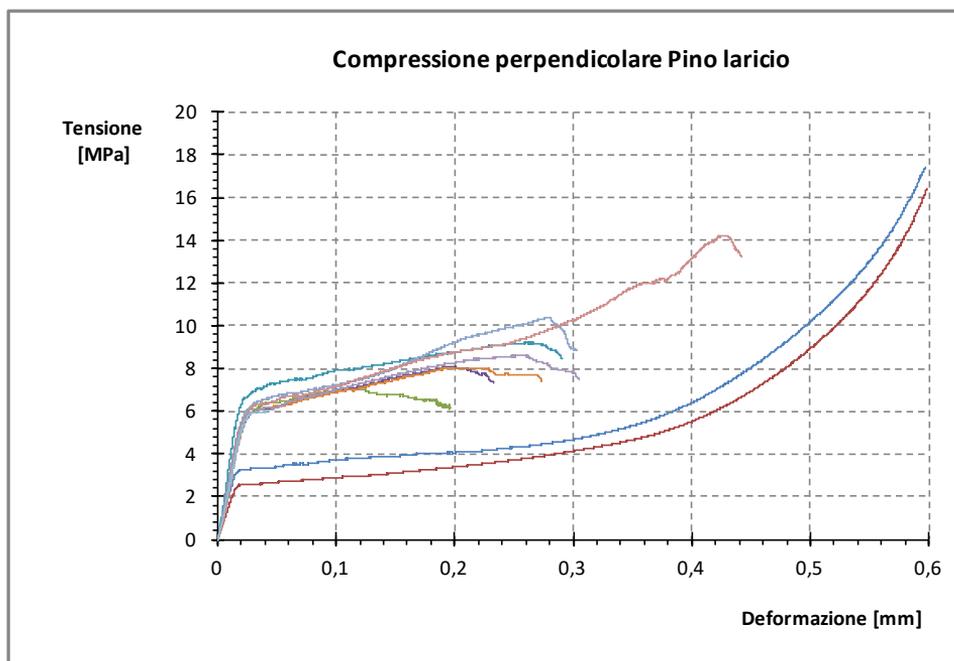


Fig. 5.94. Grafico tensione-deformazione n. 10 provini pino laricio.

I valori di resistenza a compressione perpendicolare alla fibratura ottenuti dalle prove sperimentali sui campioni di *Castagno* mostrano dei valori medi confrontabili con quelli della UNI EN 338 .

Compressione perpendicolare Castagno	
Resistenza media [Mpa]	5,9
Modulo elastico [Gpa]	0,39

Il grafico di involuppo delle curve tensione-deformazione, riportato in Fig. 5.95, mostra un andamento delle curve del provino C02 e C05, curva rossa e blu, differenti rispetto agli altri 8 campioni testati, poiché l'umidità registrata

nel provino al momento della prova era maggiore del 20%, mentre le altre curve mantengono un andamento analogo.

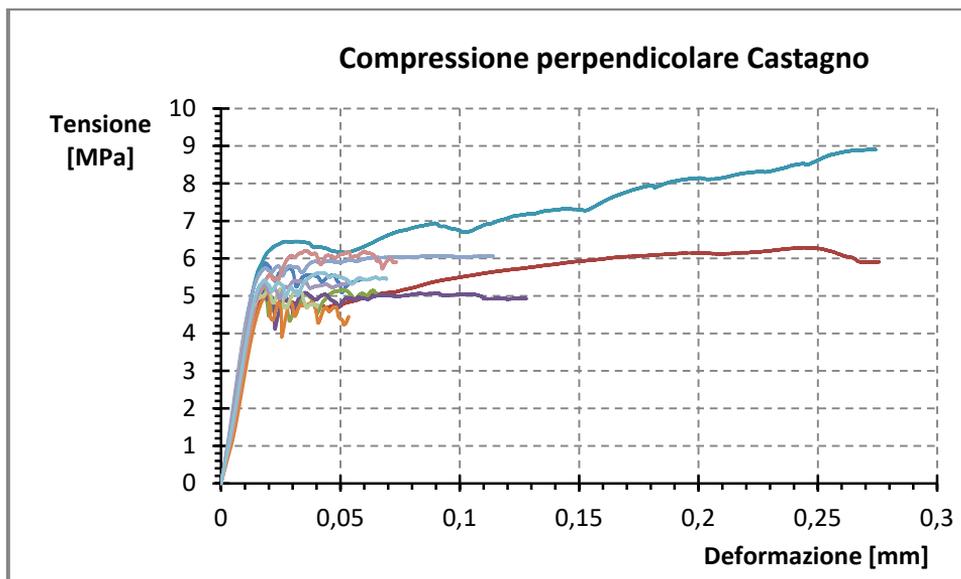


Fig. 5.95. Grafico tensione-deformazione n. 10 provini castagno.

I valori di resistenza a flessione ottenuti dalle prove sperimentali sui campioni di *Pino laricio* mostrano dei valori medi confrontabili con quelli della UNI EN 338.

Il grafico di involuppo delle curve tensione-deformazione, riportato in Fig. 5.96, mostra un andamento della curva del provino P02, curva rossa, differente rispetto agli altri 2 campioni testati, poiché in prova si è manifestato un abbassamento per presenza di difetti in corrispondenza dei due punti di appoggio del sistema di ripartizione dei carichi.

$$f_m = \frac{a * F_{max}}{2 * W}$$

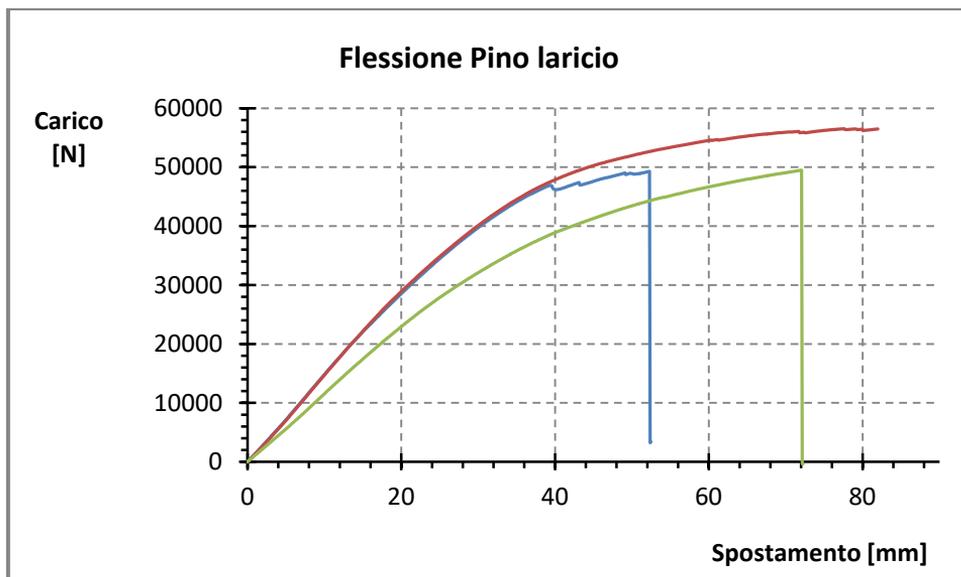


Fig. 5.96. Grafico carico-spostamento n. 3 provini di *Pino laricio*.

I valori di resistenza a flessione ottenuti dalle prove sperimentali sui campioni di *Castagno* mostrano dei valori medi confrontabili con quelli della UNI EN 338.

Il grafico di involuppo delle curve tensione-deformazione, riportato in Fig. 5.97, mostra un andamento delle curve dei provini analoghe e rotture avvenute in corrispondenza del tratto in mezzeria con andamenti tipici del legno e dovuti prevalentemente alla presenza di difetti quali nodi, che alterano la direzione delle fibre.

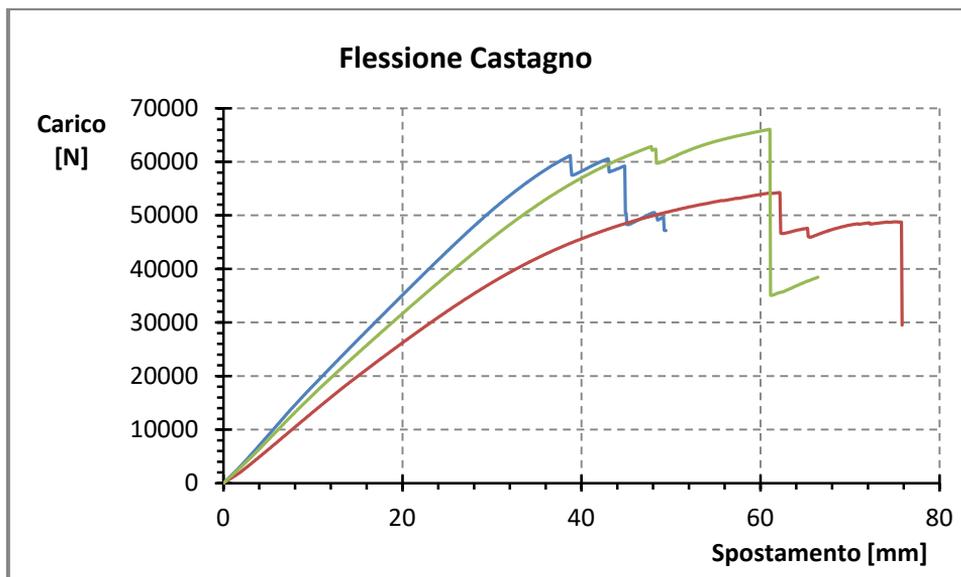


Fig. 5.97. Grafico carico-spostamento n. 3 provini di *Castagno*.

Le prove sperimentali su campioni a dimensioni d'uso, a differenza di quelle su campioni ridotti, sono influenzate della presenza di difetti, quali nodi, e dal quantitativo di acqua; bisogna tener conto che in dimensioni d'uso non si possono utilizzare elementi privi di difetti.

Le prove sperimentali effettuate mostrano degli ottimi valori di resistenza per le due specie calabresi, *pino laricio* e *castagno*, e supportate da altre prove quali resistenza a trazione parallela alla fibratura, resistenza a trazione perpendicolare alla fibratura e resistenza a taglio ci consentono di arrivare alla caratterizzazione meccanica delle due specie.

Note capitolo 5

¹ Giordano G., *Tecnologia del legno*, UTET, Torino 1981-1986, 5 voll.

² Cirillo A., *Legno. Criteri di calcolo e aspetti realizzativi*, Wolters Kluwer Italia, Milano 2014.

³ Piazza M., Tomasi R., Modena R., *Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*, Hoepli, Milano 2005. Tale saggio costituisce costante riferimento nel paragrafo.

⁴ D. M. 14 gennaio 2008, *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni* (Gazzetta Ufficiale 4 febbraio 2008, n. 29).

⁵ Piazza M., Tomasi R., Modena R., *op. cit.*

⁶ Piazza M., Tomasi R., Modena R., *op. cit.*

⁷ Piazza M., Tomasi R., Modena R., *op. cit.*

⁸ Piazza M., Tomasi R., Modena R., *op. cit.*

⁹ Piazza M., Tomasi R., Modena R., *op. cit.*

¹⁰ http://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/regioni_stato.jsp.

¹¹ Avolio Silvano è il presidente dell'associazione regionale onlus "Fondazione silvicoltori forestali della Calabria", già direttore del Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura - Unità di ricerca per la selvicoltura in ambiente mediterraneo e dell'Istituto sperimentale per la silvicoltura - Sezione di Cosenza.

¹² Avolio S., *Foreste e forestazione in Calabria. Importanza e specificità del settore, <<Calabria rurale>>*, Gennaio-Marzo, 2014, pp. 25-37. Tale ricerca costituisce costante riferimento nel paragrafo.

¹³ AAVV, *Il legno. Mostra sulla storia e sulla lavorazione del legno nella provincia di Cosenza*, Cipparrone A. (a cura di), Museo delle Arti e dei mestieri della provincia di Cosenza, 7-26 ottobre 2016, Provincia di Cosenza, Cosenza 2016. Tale saggio costituisce costante riferimento nel paragrafo.

¹⁴ La fustaia indica i soprassuoli derivati da seme, mentre il ceduo indica le piante originate dal ributto vegetativo delle ceppaie.

¹⁵ AAVV, *Il legno. Mostra sulla storia e sulla lavorazione del legno nella provincia di Cosenza*, Cipparrone A. (a cura di), Museo delle Arti e dei mestieri della provincia di Cosenza, 7-26 ottobre 2016, Provincia di Cosenza, Cosenza 2016. Tale saggio costituisce costante riferimento nel paragrafo.

¹⁶ si veda Avolio S., *op. cit.*

¹⁷ La trave *uso fiume* è una trave a sezione quadrata o rettangolare ottenuta da un tronco mediante squadratura meccanica, continua e parallela dal calcio alla punta su quattro facce a spessore costante con smussi e contenente il midollo. Mentre la trave a *uso Trieste* è una 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.

¹⁸ D. M. 14 gennaio 2008, *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni* (Gazzetta Ufficiale 4 febbraio 2008, n. 29).

¹⁹ il grafico è tratto dalle D. M. 14 gennaio 2008, *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni* (Gazzetta Ufficiale 4 febbraio 2008, n. 29), paragrafo 11.7.1.

²⁰ D. M. 14 gennaio 2008, *op. cit.*

²¹ UNI EN 338 *Legno strutturale. Classi di resistenza*.

²² UNI EN 384 *Legno strutturale. Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica*.

²³ UNI EN 408 *Strutture di legno. Legno strutturale e legno lamellare incollato. Determinazione di alcune proprietà fisiche e meccaniche*.

²⁴ si veda per ulteriori approfondimenti UNI EN 408, *op. cit.*

²⁵ si veda per ulteriori approfondimenti UNI EN 408, *op. cit.*

²⁶ si veda per ulteriori approfondimenti UNI EN 408, *op. cit.*

Bibliografia

- AAVV, *Costruire in legno*, <<Archalp. Foglio semestrale dell'IAM (istituto di architettura montana)>>, Politecnico di Torino, Torino, 5 giugno 2013.
- AAVV, *Forum Legno Edilizia. Costruzioni in legno: qualità-base per la durabilità, umidità, riqualificazione, benessere*, Atti del 5° Forum Internazionale dell'edilizia in legno, Villa Quaranta, Verona 11 marzo 2016, forum-holzbau, Biel/Bienne 2016.
- AAVV, *Il legno. Mostra sulla storia e sulla lavorazione del legno nella provincia di Cosenza*, Cipparrone A. (a cura di), Museo delle Arti e dei mestieri della provincia di Cosenza, 7-26 ottobre 2016, Provincia di Cosenza, Cosenza 2016.
- AAVV, *L'abitare intenso. Vivere nel legno, un ambiente adatto a tutte le stagioni*<<Materialelegno>>, Promo-legno, Milano, n. 4, marzo 2012.
- AAVV, *La sostenibile leggerezza del legno*, <<Materialelegno>>, Promo-legno, Milano, n. 2, marzo 2010.
- AAVV, *Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana*, Edizioni Regione Toscana, s.l. 2009.
- AAVV, *Lo spazio ritrovato. Nel legno si rinnovano le storie e le emozioni dell'abitare*, <<Materialelegno>>, Promo-legno, Milano, n. 3, marzo 2011.
- AAVV, *Oltre i cliché. Possibilità e risultati inattesi del legno in architettura*, <<Materialelegno>>, Promo-legno, Milano, n.1, marzo 2009.
- AAVV, *Wood and the City. Intervenire nel tessuto urbano*, <<Materialelegno>>, Promo-legno, Milano, n. 5, maggio 2015.
- AAVV, *Wood Houses*, Logos editore, Modena 2013.
- AAVV, *XLAM (CLT) building the future of housing*, Atti dell'International Conference, Milano, 11 May 2012, Congress Center – Fiera, s. e., Rho (Milano) 2012.
- Arlati E., *Modellazione digitale: l'identità contemporanea del progetto di architettura e ingegneria*, <<Costruzioni metalliche>>, Luglio-Agosto, 2013.
- Avolio S., *Foreste e forestazione in Calabria. Importanza e specificità del settore*, <<Calabria rurale>>, Gennaio-Marzo, 2014, pp. 25-37.
- Barbisan U., Laner F., *Capriate e tetti in legno*, Franco Angeli, Milano 2003.

- Barucci C., *La casa antisismica: prototipi e brevetti. Materiali per una storia delle tecniche e del cantiere*, Gangemi Editore, Roma 1990.
- Benedetti C., Bacigalupi V., *Legno-Architettura. Il futuro delle tradizioni*, Edizioni Kappa, Roma 1991, pp. 33-46.
- Benedetti C., *Costruire con il legno*, Bolzano University Press, Bolzano 2006.
- Bernasconi A., *Edifici in legno con struttura moderna. I sistemi costruttivi e le tecniche di prefabbricazione*, Corso Boislab, Promolegno, maggio 2010, Milano, 2010.
- Bernasconi A., *Il legno e la sua "materia prima"*, Corso base Promo-legno, Promolegno, Milano 2010.
- Bernasconi A., *Il materiale XLAM. Caratteristiche e prestazioni*, Corso di approfondimento su *Edifici di legno* Promo-legno, Promolegno, Milano 2013.
- Bernasconi A., *XLAM: cos'è e cosa ci si può fare*, Corso di approfondimento su *Edifici di legno* Promo-legno, Promolegno, Milano 2013.
- Caciolai M., Ponticelli L., *Resistenza al fuoco delle costruzioni*, De Angelis C. (a cura di), CNVFFF (Corpo Nazionale Vigili del Fuoco), UTET Scienze tecniche, Milano 2008, "Sicurezza e prevenzione antincendio".
- Caleca L., *Architettura tecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2009.
- Campi M. R. (a cura di), *Le Nouvelles inventions di Philibert De l'Orme*, Aracne editrice, Roma 2009, traduzione integrale dal testo *Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz*, Aracne editrice, Roma 2009.
- Campioli A., Lavagna M., *Tecniche e architettura*, Città Studi Edizioni, Milano 2003.
- Campolongo A., *Argomenti di architettura-tecnica*, Centro editoriale e librario, Università della Calabria, Rende (Cosenza) 2002, "Collana di Ingegneria Edile e Architettura", vol. 5.
- Campolongo A., *L'ambiente costruito, la regola e il progetto*, Editoriale Bios, Cosenza 1996, "Difesa del suolo e pianificazione territoriale".
- Cirillo A., *Legno. Criteri di calcolo e aspetti realizzativi*, Wolters Kluwer Italia, Milano 2014.
- Cividini R., *Tecnologia forestale*, Edagricole, Bologna 1983.
- Davoli P., *Costruire con il legno*, Hoepli, Milano 2001.
- Devoto G., Oli G. C., *Dizionario della lingua italiana*, Le Monnier, Firenze 1982.

- Fellner J., Teischinger A., Zschkcke W., *I volti del legno. Aspetti, descrizioni e parametri di confronto. Prontuario 6*, Pro Holz Austria per Promo-legno, Pro Holz Austria, Vienna 2007.
- Follesa M., Maione F., Palanga G., *Durabilità e manutenzione delle strutture in legno*, Studiodeda (a cura di), Conlegno, Milano 2011.
- Follesa M., Maione F., Palanga G., *Edifici a struttura portante di legno. Progettazione e realizzazione*, Studiodeda (a cura di), Conlegno, Milano 2011.
- Frattari A., Erlacher P., *Vivere in mansarda. Il sottotetto diventa abitabile. Prontuario 4*, Pro Holz Austria per Promo-legno, Pro Holz Austria, Vienna 2006.
- Frattari A., *Evoluzione delle costruzioni in legno per la residenza*, Edizioni Scientifiche Associate, Roma 1980.
- Giardino P., *Il mercato delle case in legno nel 2010. Analisi del mercato e previsioni fino al 2015*, Promo-legno, Milano 2011.
- Giachino D. M., *Legno. Manuale per progettare in Italia*, UTET Scienze tecniche, Milano 2013.
- Giordano G., *Tecnica delle costruzioni in legno. Caratteristiche, qualificazione e normazione dei legnami da costruzione. Progettazione e controllo delle strutture lignee*, Hoepli, Milano 1999.
- Giordano G., *Tecnologia del legno*, UTET, Torino 1981-1986, 5 voll.
- Gotz K. H., Hoor D., Mohler K., Natterer J., *Construire en bois. Choisir, concevoir, réaliser*, Press Polytechniques universitaires romande, Lausanne (Suisse) 1994.
http://www.atelierfallacara.it/_download/Articoli/43.pdf.
- La Magna G., Annaratone A., *Vocabolario greco-taliano*, Signorelli, Milano 1967.
- Laner F., *Durabilità e manutenzione delle costruzioni di legno. Prontuario 3*, Pro Holz Austria per Promo-legno, Pro Holz Austria, Vienna 2005.
- Laner F., *Il legno. Materiale e tecnologia per progettare e costruire*, UTET Scienze tecniche, Milano 2012.
- Losasso M., "Struttura di elevazione", in Zaffagnini M. (a cura di), *Manuale di progettazione edilizia*, Hoepli, Milano 1992.
- Maggi P. N., *Metodi e strumenti di progettazione edilizia*, CLUP, Milano 1984.

- Makiol P., Wiederkehr R., *Konstruieren mit Holz 1992-2012*, Lignum, Zurigo 2012.
- Mandolesi E., *Edilizia*, UTET, Torino 1978.
- Margani L., *Edilizia, industria, metodologia*, IDAU Università degli studi, Catania 1979.
- Murase, M., *L'arte del Giappone*, TEA, Milano 1996.
- Natterer J., Herzog T., Volz M., *Construire en bois 2*, Press Polytechniques universitaires romande, Lausanne (Suisse) 1993.
- Natterer J., Herzog T., Volz M., *Grande atlante di architettura. Legno*, UTET Scienze tecniche, Milano 1998.
- Nesi A., *L'edificio come sistema. Corso di progettazione dei sistemi costruttivi*, Dipartimento Arte, scienza e tecnica del costruire (DASTEC), Università "Mediterranea" di Reggio Calabria, Reggio Calabria, s.d..
- Piazza M., Bernasconi A., *Il calcolo delle strutture di legno. Normative di riferimento, basi tecniche, esempi di applicazione. Prontuario 5*, Promolegno, Milano 2010.
- Piazza M., Del Senno M., Bernasconi A., *Il legno e il fuoco. Nozioni di base e introduzione al calcolo. Prontuario 7*, Promolegno, Milano 2012.
- Piazza M., Tomasi R., Modena R., *Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*, Hoepli, Milano 2005.
- Piazza M., Tomasi R., *Sistemi di connessioni. Connessioni di carpenteria*, Corso Promolegno, Promolegno, 10 Maggio 2010, Milano, 2010.
- Praxis, *Legno*, UTET Scienze tecniche, Milano 2007.
- Presutti A., Evangelista P., *Edifici multipiano in legno a pannelli portanti Xlam*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2014.
- Proto A. R., Zimbalatti G., Nazzareno T., *La Calabria e la filiera foresta-legno, <<L'Italia forestale e montana. Italian journal of forest and mountain environments>>*, n. 66, Giugno 2011, pp. 491-497.
- Regione Calabria – Dipartimento Agricoltura, Foreste e Forestazione, *Prescrizioni di massima e polizia forestale*, Regione Calabria, Catanzaro 2008.
- Schickhofer G., Bernasconi A., *Pannelli di legno. Prestazioni, misure, impieghi nell'edilizia. Prontuario 2*, Promo-legno, Milano 2008.
- Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., *Costruzione di edifici di legno*, Corso Promo-legno, Milano, 10 Maggio 2013, s.e., Milano 2013.
- Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., *I prodotti di legno per la costruzione*, Corso Promo-legno, Milano, 10 Maggio 2013, s.e., Milano 2013.

- Schickhofer G., Bernasconi A., *Travi e montanti di legno. Prestazioni, misure, impieghi. Prontuario 1*, Promo-legno, Milano 2006.
- Spinello M., *Rapporto case ed edifici in legno*, Centro studi Federlegno arredo eventi Spa, Ospedaletto di Pescantina 2015.
- Tomasi R., *Connessioni e collegamenti: principi e applicazioni*, corso Promolegno, Promolegno, 10 Maggio 2010, Milano, 2010.
- Vitruvio Pollione M., *De architettura*, Edizione Studio Tesi, Pordenone 2008.
- Weger S., Bernasconi A., *L'altro massiccio. Progettare e costruire con l'XLAM. L'eleganza dei pannelli di legno massicci a strati incrociati. Prontuario 8*, Pro Holz Austria per Promo-legno, Pro Holz Austria, Vienna 2011.
- Zamatteo Gerosa A., *Stav-kirke norvegesi: mille anni di vita e non li dimostrano*, <<Tetto & Pareti in legno>>, n. 4, Settembre, 2007, pp. 52-64.
- Zambelli E., *Sistema edilizio residenziale. Industrializzazione per subsistemi: procedure e concetti di prodotto*, Franco Angeli Editore, Milano 1981.
- Zanuttini, *Tradizione e innovazione: pannelli e compositi a base di legno*, in Convegno Fiera Legno & Edilizia, Verona, 14-17 marzo 2013, s. e.
- Zimbalatti G., *Il "legno" di Calabria. Il futuro è già iniziato*, <<Calabria rurale>>, Gennaio-Marzo, 2014.
- Zimbalatti G., Proto A. R. Abenavoli L., *Impianti e cicli produttivi in segherie calabresi*, in Atti dell'VIII Convegno AIIA, Catania, 27-30 giugno 2005, pp. 217-280.

Normative

- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 61, *Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008* (Gazzetta Ufficiale 26 febbraio 2009, n. 47).
- CNR-DT 206/2007 *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il controllo delle strutture di legno*, Revisione 7 ottobre 2008.
- D. M. 14 gennaio 2008, *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni* (Gazzetta Ufficiale 4 febbraio 2008, n. 29).
- Regolamento CE n. 2173/2005 *Forest Law Enforcement, Governance and Trade*.
- Regolamento CE n. 995/2010 *Timber regulation*, sulle importazioni di legname.
- UNI 8290-1 *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia*; UNI 8290-2 *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti*; UNI 8290-3 *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi degli agenti*; UNI 8290/1 FA 122-83 *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia*.
- UNI EN 13986:2005, *Pannelli a base di legno per l'utilizzo nelle costruzioni. Caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura*.
- UNI EN 1995-1-2 Eurocodice 5, *Progettazione delle strutture di legno, Parte 1-2, Regole generali, progettazione strutturale contro l'incendio*.
- UNI EN 1995-1-2 Eurocodice 5, *Progettazione delle strutture di legno, Parte 1-2, Regole generali, progettazione strutturale contro l'incendio*; UNI ENV 1998-1 Eurocodice 8, *Progettazione delle strutture per la resistenza sismica, Parte 1, Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici*.
- UNI EN 335-1 *Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Definizioni delle classi di utilizzo, Parte 1, Generalità*.
- UNI EN 335-2 *Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Definizioni delle classi di utilizzo, Parte Applicazione al legno massiccio*.
- UNI EN 335-3 *Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Definizioni delle classi di rischio di attacco biologico. Applicazione ai pannelli a base di legno*.
- UNI EN 338 *Legno strutturale. Classi di resistenza*.

- UNI EN 350-1 *Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Definizioni delle classi di utilizzo. Durabilità naturale del legno massiccio. Guida ai principi di prova e di classificazione della durabilità naturale del legno.*
- UNI EN 351-1 *Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Definizioni delle classi di utilizzo. Legno massiccio trattato con preservanti. Classificazione della penetrazione e della ritenzione dei preservanti.*
- UNI EN 384 *Legno strutturale. Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica.*
- UNI EN 408 *Strutture di legno. Legno strutturale e legno lamellare incollato. Determinazione di alcune proprietà fisiche e meccaniche.*
- UNI EN 14081 *Legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza, requisiti generali.*

Sitografia

- <http://www.promolegno.com>
- <http://www.proholz.at>
- <http://www.dataholz.com/it/>
- <http://www.binderholz.com>
- <http://www.ivalsa.cnr.it>
- <http://www.federlegno.it>
- <http://www.lignum.ch>
- [http://www.cennidicambiamento.it/.](http://www.cennidicambiamento.it/)
- <http://www.itaca.org>
- <http://www.bimjournal.com>
- <http://www.m9-architekten.at>
- <http://www.feldersteiger.ch>
- <http://www.kaden.klingbeil.com>
- <http://www.natterer-bcn.com>
- <http://www.montagnolievio.it>
- <http://www.haus.tubner.com>
- <http://www.ediltecnico.it>
- <http://www.edilio.it>
- <http://www.ingenio-web.it>
- <http://www.arcacert.com>
- <http://www.english-heritage.org.uk/>
- <http://www.rilab.eu>
- <http://www.inegnio.it>
- http://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/regioni_stato.jsp
- <http://www.svendborgmuseum.dk>
- <http://www.illegnolamellare.it>

Fonte delle illustrazioni

- Barucci C., *La casa antisismica: prototipi e brevetti. Materiali per una storia delle tecniche e del cantiere*, Gangemi Editore, Roma 1990. Fig. 1.25.
- Bernasconi A., *Edifici in legno con struttura moderna. I sistemi costruttivi e le tecniche di prefabbricazione*, materiale corso boislab promo_legno, maggio 2010, Figg. 1.29, 1.30, 1.31, 1.32, 1.33.
- Fellner J., Teischinger A., Zschkcke W., *I volti del legno. Aspetti, descrizioni e parametri di confronto*, Prontuario 6, ProHolz Austria per promo-Legno, Vienna 2007, immagini Appendice capitolo 1.
- Follesa M., Maione F., Palanga G., *Edifici a struttura portante di legno. Progettazione e realizzazione*, a cura di Studiodeda, Conlegno, Milano 2011. Figg. 3.12, 3.13, 3.14, 3.19, 3.20, 3.22, 3.23, 3.26, 3.27, 3.28, 3.29.
- Frattari A., *Evoluzione delle costruzioni in legno per la residenza*, ESA (Edizioni scinetifiche associate), Roma 1980, Figg. 1.16, 1.17, 1.18.
- Gardino. P., *Il mercato delle case in legno nel 2010. Analisi del mercato e previsioni fino al 2015*, promo_legno, Milano, 2011; Figg. 1.1, 1.3, 1.4, 1.9; 1.10.
- Motori di ricerca internet per immagini, Figg. 1.19, 1.20, 1.21, 1.22, 1.23, 1.24, 1.26, 1.27, 1.28, 3.6, 3.7, 3.9, 3.18, 3.21.
- Proto A. R., Zimbalatti G., Nazzareno T., *La Calabria e la filiera foresta-legno, L'Italia forestale e montana*, 2011, 66 (6), pp. 491-497, Italian journal of forest and mountain environments, Figg. 1.34, 1.35.
- Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., *Costruzione di edifici di legno*, materiale corso promo_legno. Figg. 3.3, 3.4, 3.5, 3.8, 3.10, 3.11, 3.15, 3.16, 3.17, 3.24, 3.2.

- Spinello M., *Rapporto case ed edifici in legno*, Centro studi Federlegno arredo eventi Spa, Ospedaletto di Pescantina, 2015, Figg. 1.2, 1.5, 1.6, 1.7; 1.8, 1.9, 1.11, 1.12, 1.13, 1.14, 1.15.
- Nesi A. *Il sistema tecnologico*, materiale del corso di progettazione dei sistemi costruttivi, Figg 2.1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2.
-
- www.actaplantarium.org.
- www.agraria.org
- www.promolegno.it.