

SISTEMI COSTRUTTIVI INNOVATIVI PER LA SICUREZZA SISMICA, AMBIENTALE E L'EFFICIENZA ENERGETICA



Dottorando: Arch. Domenico Bono
Tutor: Prof. M.Lauria e Prof. M. Milardi
Co-Tutor: Prof. Pablo Guindos
Dottorato di Ricerca in Architettura e Territorio
XXXIII ciclo - a.a. 2017/2018 - 2019/2020



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo




Scuola di Dottorato
Università degli Studi Mediterranea di
Reggio Calabria
Dipartimento di Architettura e Territorio(dArTe)

Dottorato di Ricerca in Architettura e Territorio (Industriale)
s.s.d. ICAR/12
XXXIII ciclo
a.a. 2017/2018–2019/2020


SISTEMI COSTRUTTIVI INNOVATIVI PER LA SICUREZZA SISMICA,
AMBIENTALE E L'EFFICIENZA ENERGETICA


Dottorando: Arch. Domenico Bono

Coordinatore: Prof. Adolfo Alberto Santini

 SANTINI ADOLFO
PROF.
26.07.2021 11:55:06 GMT+00:00

Tutors: Prof. Massimo Lauria e Prof. Martino Milardi

 LAURIA MASSIMO
PROF.
27.07.2021 06:52:26
GMT+01:00

 MILARDI MARTINO
Professore
27.07.2021 10:19:25
UTC

Co-Tutor: Prof. Pablo Guindos

Anno 2020

Il collegio dei Docenti del
Dottorato di Ricerca in Architettura e Territorio
è composto da:

Prof. Ottavio Amaro
Prof.ssa Marinella Arena
Prof.ssa Raffaella Campanella,
Prof. Francesco Cardullo
Prof. Alberto De Capua
Prof. Francesca Fatta
Prof. Gaetano Glnex
Prof. Massimo Lauria
Prof.ssa Maria Teresa Lucarelli
Prof. Martino Milardi
Prof. Francesca Moraci
Prof.ssa Consuelo Nava
Prof.ssa Paola Raffa
Prof. Ettore Rocca
Prof.ssa Alba Sofì
Prof. Adolfo Santini asarlo
Prof. Marcello Sestito
Prof.ssa Rita Simone
Prof. Marina Tornatora
Prof. Corrado Trombetta

Rigranziamenti al Prof. Massimo Lauria, Prof. Martino Milardi
e a tutto il Collegio dei Docenti

A mia Madre

INDICE

INTRODUZIONE

1. Posizione del problema, obiettivi e metodologia

1.1 Sistemi costruttivi in legno	pag. 19
1.2 Obiettivi della ricerca	pag. 27
1.3 Articolazione della ricerca e metodologia	pag. 30

2. Lo stato dell'arte

2.1 Filiera del legno nel settore delle costruzioni	pag. 35
2.2 Materiali e prodotti	pag. 37
2.3 Sistemi antisismici	pag. 81
2.4 Normativa	pag. 89
2.5 Problemi aperti	pag. 101

3. Esperienza all'estero

pag. 103

4. Delimitazione campo d'indagine

pag. 113

5. Sistemi costruttivi proposti

5.1 Genesi sistemi costruttivi proposti	pag. 117
5.2 Sistema di irrigidimento strutturale in Cross-lam	pag. 122
5.3 Analisi resistenza termica sistema di irrigidimento	pag. 135
5.4 Sistema di parete non strutturale antisismica	pag. 138

6. Progetto analisi dinamica all'interno del TC-Lab

pag. 144

7. Conclusioni

pag. 147

Bibliografia

Glossario

Ringraziamenti

“La progettazione in architettura e in urbanistica, è un attività in forte crisi e per molteplici ragioni, non ultima quella dovuta alla perdita del concetto stesso di architettura come organismo o, meglio, come struttura integrata, nella quale debbono fondersi le varie scale della progettazione e le diverse dimensioni, tecnologica, funzionale ed estetica, le quali ultime sembra cerchino da tempo di isolarsi ognuna in una privatissima strada propria”.

Ludovico Quaroni

INTRODUZIONE

Alla base di questo studio vi è l'analisi dei sistemi costruttivi in legno, degli elementi che li compongono delle relative applicazioni e del rapporto con i fattori esterni a cui vengono sottoposti.

I motivi per i quali si è deciso di approfondire tale tema sono di triplice natura. Il TC-Lab struttura alla quale è stata conferito il finanziamento della borsa di dottorato a vocazione industriale, un accordo tra l'Università Mediterranea di Reggio Calabria e la Pontificia Università Cattolica del Cile, ed infine studi progressi nell'ambito dell'Architettura e la relativa tecnologia ecosostenibile.

L'obiettivo del lavoro in oggetto è quello di creare una sintesi dei prodotti a base legno, dei relativi sistemi di connessione, ed infine a sintesi maturata dello stato dell'arte, l'ideazione di nuovi sistemi costruttivi.

La tesi è stata articolata in sette capitoli: nel primo si è introdotta la posizione del problema, gli obiettivi e la metodologia che si è utilizzata al fine del raggiungimento degli obiettivi.

Il secondo capitolo è stato dedicato allo studio e l'analisi della filiera del legno nel settore delle costruzioni, l'analisi dei materiali e prodotti a base legno, alcuni dei sistemi antisismici attualmente in commercio, una panoramica sulla normativa riguardante la materia prima legno ed i prodotti relativi ed in fine il capitolo viene concluso descrivendo quali sono i problemi aperti.

Nel terzo capitolo si è concentrata la parte

fondamentale dello studio momento in cui si è potuto fare sintesi, l'esperienza avuta all'estero, in Cile ed Uruguay, la frequenza del Centro de Innovación en Madera della Pontificia Universidad Católica. Hanno permesso l'approfondimento di studi effettuati precedentemente si potuto confrontare i suddetti con i colleghi ricercatori e con le ricerche in corso all'interno del CIM. In fine partecipando al CLEM ci si è potuti raffrontare con ricercatori di fama internazionale.

Nel quarto capitolo sono state descritte le motivazioni che hanno portato a delimitare il campo d'indagine. È stato esposto il tema nello specifico, ed espresso cosa si è scelto di non approfondire per motivi funzionali alla ricerca .

Nel quinto capitolo si affrontata l'essenza del lavoro e cioè i due sistemi costruttivi proposti focalizzando l'attenzione sulle motivazioni, gli obiettivi ed i successivi sviluppi che si intendono perseguire al fine di una completezza del lavoro. Vengono inoltre affrontate all'interno di questo capitolo le analisi fisico descrittive e le relative analisi computazionali dei prodotti suddetti attraverso l'utilizzo di software di calcolo agli elementi finiti in ambiente BIM.

Nel sesto capitolo vengono esposte le modalità con cui i sistemi costruttivi ideati dovranno essere sottoposti ad analisi dinamiche all'interno del TC-Lab al fine di validare la loro reale resistenza ai fattori sollecitanti quali sisma e variazioni termiche.

Nel settimo capitolo, infine, sono stati com-

mentati i risultati ottenuti esponendo gli elementi più rilevanti del lavoro svolto.

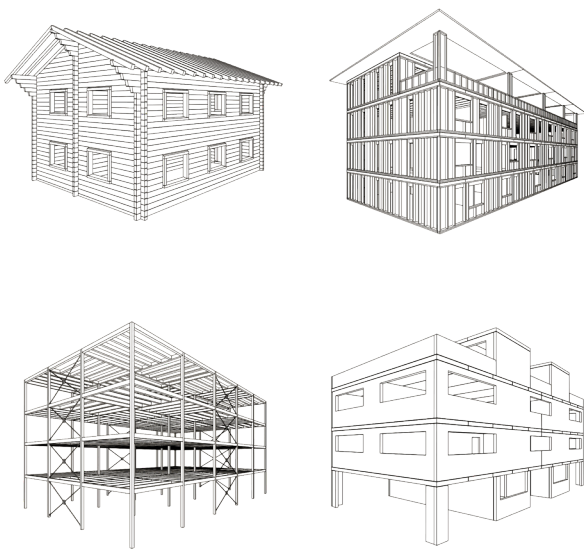
Grazie a questo lavoro di ricerca è stato possibile analizzare studiare e specializzarsi su diversi temi di importanza impellente sul panorama nazionale ed internazionale i risultati verranno esposti dettagliatamente nelle conclusioni finali.

PARTE PRIMA

Posizione del problema, obiettivi e metodologia

1.1 Sistemi costruttivi in legno

Il legno, materiale antichissimo, ha accompagnato l'uomo fin dagli albori della civiltà, dai suoi primi passi al di fuori dalle caverne, per cercar riparo o come strumento di uso quotidiano. Dalle prime tende alle capanne, la tecnica si è evoluta notevolmente. Oggi, con le opportune lavorazioni, è considerato il miglior materiale antisismico, ecologico, leggero e rapido nel costruire. Il legno come materiale strutturale era il protagonista di una prassi consolidata fino alla fine dell'800, quando l'acciaio, ma soprattutto il cemento armato, vennero alla ribalta dello scenario edilizio internazionale. I vantaggi legati all'uso del legno rispetto a materiali come l'acciaio o il c.a. risiedono soprattutto nella sua leggerezza, flessibilità (caratteristica preziosa nella progettazione antisismica), facilità di lavorazione, impatto ambientale.



sistemi costruttivi in legno. Disegni elaborati dall'autore.

È un materiale ecologico, rinnovabile,

durabile (con i dovuti accorgimenti) e resistente al fuoco. Il legno più usato nel campo edilizio è il genere delle conifere, in primis l'abete rosso. Per la loro facilità di lavorazione, di reperimento ed economicità. Oggi, le tecnologie costruttive in legno più utilizzate in Italia sono 4:

- Blockbau,
- Platform frame,
- Telaio
- Xlam o CLT (Cross Laminated Timber)



Casa realizzata con sistema blockbau. <https://lodge-log-home.com/en/log-frame-houses/>

1. Blockbau o Blockhaus : casa di tronchi

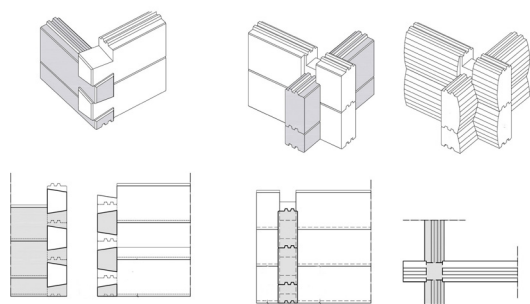
Uno dei più antichi metodi costruttivi in legno. Si sovrappongono tronchi in legno fino a formare delle pareti.

L'incastro viene realizzato negli angoli,

attraverso degli incassi tra le assi che donano rigidità alla struttura. I tipi più diffusi di nodo d'angolo sono due:

nodo "a croce" (o standard)

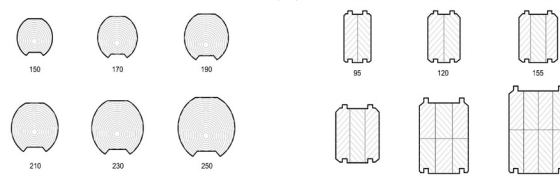
nodo “a coda di rondine”



Incastro a coda di rondine e a croce piatta. Disegni elaborati dall'autore.

Anticamente, i tronchi di legno erano usati così appena tagliati, al loro stato grezzo, senza rifiniture e, poi, venivano accatastati uno sull'altro in modo orizzontale fino a formare una parete, di tronchi appunto. L'incastro, realizzato sempre negli angoli, veniva realizzato o tramite legature con corde o sbazzando in maniera rudimentale il legno, creando delle tacche.¹

Oggi, con le moderne macchine a CNC (Control Numeric Number o Macchine a Controllo Numerico), la semplicità con cui realizzare elaborati e precisi intagli nel legno, ha spianato la strada a sistemi di incastro molto evoluti e raffinati. I tronchi appaiono ormai sbazzati nella forma e fresati su ambo le facce che andranno a contatto ottenendo delle canaline che favoriscono la stabilità dei pezzi. I nodi angolari pure presentano delle rifiniture



Tipologie di sezioni di travi in legno esistenti in commercio per sistemi blockbau. Disegni elaborati dall'autore.

più accurate e varie a favore di sicurezza. Inoltre, ogni tot distanza vengono forati per permettere l'inserimento di barre di acciaio che ancorano la struttura a terra, impedendone il ribaltamento in caso di terremoti (la stessa funzione che ha l'hold down nel sistema xlam).

Gli elementi costruttivi attualmente presenti sul mercato sono tondi o quadrati, con un ampio range di rifiniture.

La struttura può poggiarsi sul terreno in due modi:

solaio a terra (a contatto con il terreno) per mezzo di elementi puntuali (rialzata dal terreno). Nel caso poggia direttamente su un solaio a terra, va creato un vespaio alla base ed i tronchi adiacenti vanno impermeabilizzati. Alcuni usano mettere delle varietà di legname più resistente all'acqua come la quercia o il larice.

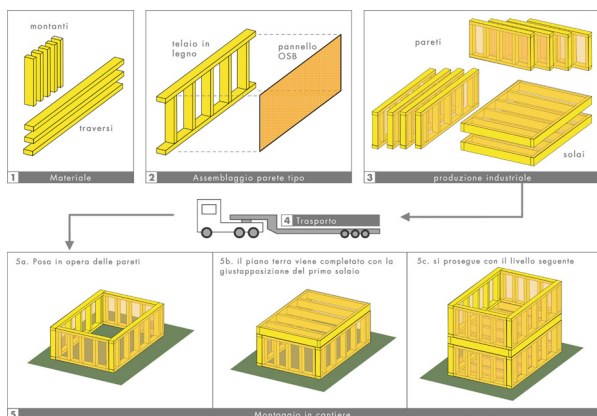
Altrimenti, la costruzione è posta su elementi puntuali come piccoli piedini che la tengono rialzata evitando il contatto con il terreno e quindi i ristagni dell'acqua. Il legno, si sa, il suo più grande e forse unico male deriva proprio dal suo

¹ D. Gioachino, (2013) Legno. Manuale per progettare in Italia, UTET



Edificio in fase di completamento con sistema costruttivo platform frame. <https://www.zuerns.com/lumber-panels-engineered-wood/>

contatto con l'acqua, ed in particolari dai ripetuti stati asciutto umido che ne provocano spacchi, crepe, deformazioni, muffe ed attacchi biologici.



Processo costruttivo edificio realizzato con sistema platform frame. Disegni elaborati dall'autore.

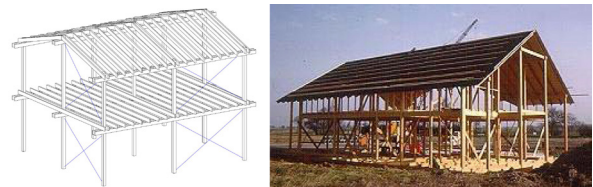
Limiti:

le caratteristiche meccaniche del legno non vengono sfruttate adeguatamente, infatti i tronchi vengono sollecitati a compressione in modo tangenziale alle fibre e non parallelo dove ha mag-

gior resistenza. In passato, o nei casi di autocostruzione, era difficile garantire un'adeguata tenuta stagna ed impedire l'infiltrazione di venti e acqua. Questa è stata ottenuta calafatando le fessure con tessuti intessuti nel colore del legno o, nelle case più umili, con argilla, muschio o terra. Le moderne tecniche di lavorazione del legno ovviano a questo problema.

2. Platform frame : struttura intelaiata (o a traliccio)

E' un metodo costruttivo leggero, che ha la possibilità di essere realizzato direttamente in cantiere o preassemblato in fabbrica comprensivo di infissi, per poi essere posto in opera velocemente.

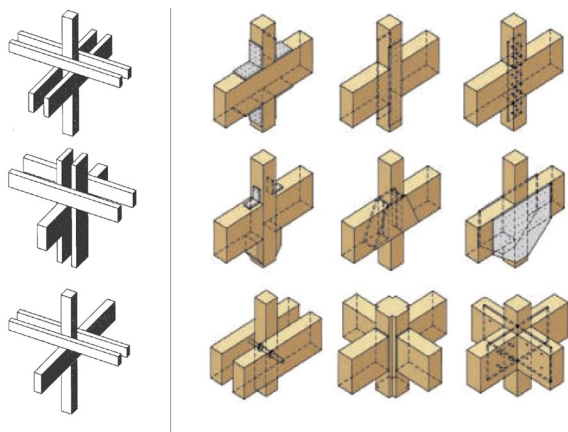


Edificio realizzato con sistema a telaio. Disegno elaborati dall'autore e foto(<https://lynchconc.com/gallery/>).

Elementi costitutivi del sistema Platform Frame, sono una moltitudine di travetti che, a seconda della loro posizione, sono denominati montanti (verticali) e traversi (orizzontali). La loro unione genera lo scheletro di una parete, poi chiusa per mezzo di pannelli OSB chiodati o avvitati al telaio e che hanno la funzione statica di controventamento. Gli interstizi tra i travetti sono ottimi per ospitare materiale isolante ed avere un pacchetto

parete completo.

L'edificio viene realizzato un piano alla volta. Una volta completato il piano e messo il solaio, sullo stesso vengono poste le pareti del piano superiore e così via.



A sinistra connessioni "a tutto legno" e a destra connessioni metalliche <https://www.runet-software.com/WOODexpress.htm>

3. Telaio : struttura travi e pilastri

La struttura in legno a telaio, è realizzata con travature in legno massiccio o lamellare che svolgono la funzione di trave o di pilastro. Fondamentali per questo tipo di struttura sono i sistemi di controventatura, che impediscono alla struttura di cedere sotto il peso delle azioni dei carichi orizzontali.

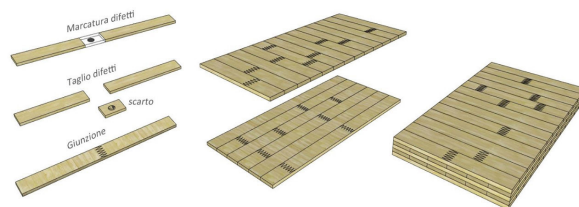
Connessioni/giunzioni

Gli elementi lignei possono essere uniti tra loro in due modi, attraverso connessioni:

– a tutto legno

– metalliche

La normativa impone l'uso dei connettori metallici, sebbene l'architettura cinese antica e le pagode giapponesi siano testimoni eterni di come il legno, se opportunamente lavorato, basta a sé stesso.



Eliminazione imperfezioni Cross-lam. Disegno elaborato dall'autore.

Le moderne Macchine a Controllo Numerico o CNC (Control Numeric Number) permettono la realizzazione di incastri a tutto legno dalle forme sofisticate (vedi Tamedia Office), giunzioni lisce (più naturali e rispettosi della materia legno) e di estrema precisione. 4. Xlam (Cross lam) o CLT (Cross Laminated Timber) : a pannelli portanti.²

L'xlam (Cross-Lam) o CLT (Cross Laminated Timber) è un prodotto ligneo di recente invenzione. La sua origine risale ai primi anni 90 in Germania, per poi essere perfezionato in Italia, nei laboratori del CNR Ivalsa in collaborazione con l'università di Trento ed il Politecnico austriaco di Graz.

² E. Meloni (2020), Tecniche costruttive in legno: le più diffuse, dal Blockbau all'X-lam, InfoBuild

Dopo anni di ricerche sono giunti alla messa a punto di un pannello multistrato in legno, che è la somma di tante lamelle affiancate e unite in modo incrociato a strati alterni. Possono essere da un numero di 3 ad un massimo di 9 stratificazioni.

La logica costruttiva alla base di questo sistema, trae ispirazione dalle fattezze del compensato ma, al posto di sottili sfogliati lignei, qui troviamo tavole di 2-4 cm di spessore ciascuna.

Le lamelle sono tagliate per eliminarne i difetti organici, giuntate a pettine ed incollate tra loro nel piano, poi vengono sovrapposte a strati incrociati alterni (da qui l'appellativo Cross lam).

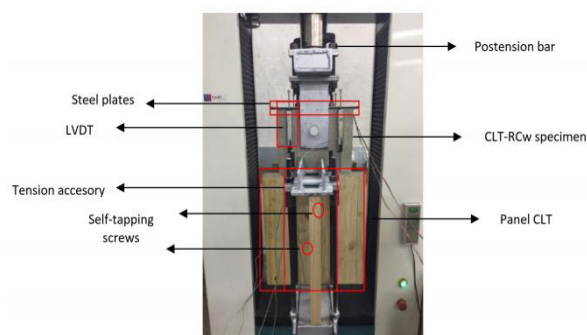


Edificio in fase di completamento, con sistema cross-lam. (<https://docplayer.it/50658050-Le-chiusure-verticali-opache.html>)

Questa alternanza di ortogonalità, crea come è facile immaginare, anche un'alternanza di disposizione delle fibre e quindi della direzione resistente. Il che, è stato provato, dà una maggiore resistenza a tutto il pannello in ambo le di-

rezioni. Il legno, per sua natura, è infatti un materiale anisotropo, caratterizzato cioè da una diversa resistenza secondo le direzioni: il valore massimo si ha nella direzione parallela alle fibre, in maniera molto minore lo si ha se perpendicolare o trasversale.

È un prodotto certificato antisismico. Nei test effettuati in Giappone nel 2007, un edificio di 7 piani in xlam, costruito con abete rosso della Val di Fiemme, e posto su una tavola vibrante, ha resistito molto bene alla simulazione del terribile e distruttivo terremoto di Kobe del 1995, di magnitudo pari a 7.2 della scala Richter, che provocò la morte di oltre seimila persone. L'edificio, alto 24 metri, e progettato dal CNR Ivalsa, rientra nel progetto di edilizia ecocompatibile, denominato "SOFIE" (SISTEMA COSTRUTTIVO FIEMME)³, finanziato dalla Provincia autonoma di Trento e coordinato dal CNR Ivalsa, con la collaborazione di soggetti pubblici e privati.



Prova a compressione su sistema di connessione acciaio legno. Foto realizzata dall'autore all'interno del Laboratorio de Construcción Civil Pontificia Universidad Católica de Chile.

³ CNR – IVALSA(2007) SOFIE – Sistema Costruttivo Fiemme,

Come suggerisce il nome del progetto, il test aveva un duplice scopo: da una parte quello antisismico generale, dall'altra il mettere alla prova il legno trentino della Val di Fiemme, noto per costruire tra gli strumenti musicali migliori al mondo, grazie alle sue fibre elastiche. Sempre dalla mente del CNR Ivalsa, è partorito il test per mettere alla prova l'xlam sul fronte della resistenza al fuoco. La simulazione d'incendio ha dato ottimi risultati: l'edificio, a 3 piani e rivestito con materiali tradizionali, ha resistito per più di un'ora senza perdere la sua capacità meccanica.



Immagine relativa al test condotto per testare resistenza al fuoco. <https://www.cnr.it/it/focus/106-6/progetto-sofie>.

Questo va a sfatare il mito popolare secondo cui il legno brucia più di un altro materiale. Il processo di carbonizzazione del legno infatti è molto lento, con velocità comprese in un intervallo di 0,55–1,0 mm/min a seconda della spe-

cie legnosa, della densità e del tipo di materiale o prodotto a base di legno. tanto da poter definire dei valori costanti normalizzati per conifere e latifoglie (Tabella 1). Il legno mantiene praticamente inalterate le sue caratteristiche meccaniche fino a temperature dell'ordine di 110–120 °C.⁴ Inoltre, è un pessimo conduttore di calore e lo strato di carbone che si forma sulla superficie esposta al fuoco “protegge” dall'attacco termico la massa sottostante. La perdita di efficienza di una struttura in legno avviene quindi non per decadimento delle proprietà meccaniche ma per riduzione della sezione utile fino a quando non riesce più ad assolvere il compito per il quale è stata dimensionata.

	β_0 [mm/min]	β_n [mm/min]
a) Conifere e faggio		
Legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica ≥ 290 kg/m ³	0,65	0,7
Legno massiccio con massa volumica caratteristica ≥ 290 kg/m ³	0,65	0,8
b) Latifoglie		
Legno massiccio o lamellare incollato con massa volumica caratteristica pari a 290 kg/m ³	0,65	0,7
Legno massiccio o lamellare con massa volumica caratteristica ≥ 450 kg/m ³	0,50	0,55
c) LVL con massa volumica caratteristica ≥ 480 kg/m ³	0,65	0,7
d) Pannelli		
Rivestimenti in legno	0,9 ^a	-
Compensato	1,0 ^a	-
Pannelli a base di legno diversi dal compensato	0,9 ^a	-

^a I valori si applicano a una massa volumica caratteristica di 450 kg/m³ e a uno spessore del pannello di 20 mm. Per altri spessori e masse volumiche, vedere punto 3.4.2(9) della norma

Tabella 1 – Velocità di carbonizzazione di progetto β_0 e β_n per legno, LVL, rivestimenti di legno e pannelli a base di legno, in conformità alla norma UNI EN 1995-1-2.

4 G. Alessia, R. Modena, A. Rossano (2016) Strategie di progettazione per la resistenza al fuoco di elementi strutturali in legno, Journal

Per quanto riguarda il problema della resistenza al fuoco degli elementi di legno e della struttura lignea, il metodo da normativa si basa sul calcolo di una sezione efficace ottenuta riducendo la sezione iniziale di una profondità di carbonizzazione "effettiva". La sezione trasversale di un elemento strutturale ligneo, ipotizzato esposto al fuoco su tre lati, può essere schematizzata come riportato in Figura 1(a seguire), nella quale si può distinguere: una zona carbonizzata di larghezza soggetta a temperature superiori a 300 °C, priva di qualsiasi resistenza residua (d_{char}); una zona di transizione, di larghezza (d_0) con temperature comprese fra 120 e 280 °C e proprietà meccaniche assai inferiori, seppur non nulle, rispetto a quelle iniziali. In questa zona, detta zona di pirolisi, l'aumento di temperatura causa la decomposizione del legno; una sezione efficace residua nella quale le temperature sono tali da poter ritenere che il materiale conservi inalterate le proprie caratteristiche di resistenza e di rigidità.

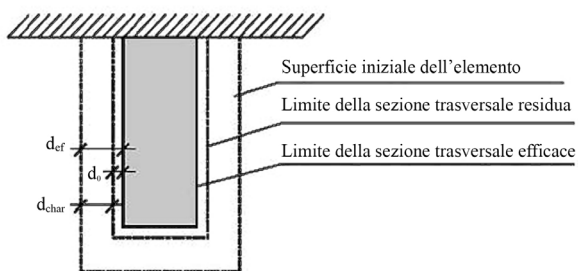
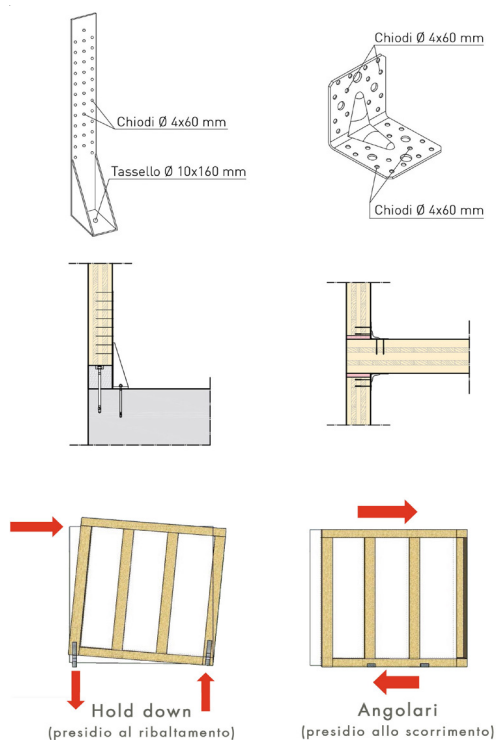


Figura 1 – Schematizzazione degli effetti dell'esposizione al fuoco sulla sezione trasversale di un elemento strutturale in legno.

La carbonizzazione della superficie protegge gli strati interni dei pannelli cosicché la struttura collassa con tempi lunghi. La perdita di efficienza di una parete in legno avviene per riduzione della sezione resistente e non per decadimento delle caratteristiche meccaniche. Il legno non carbonizzato rimane efficiente dal punto di vista meccanico fino a quando la sezione si riduce talmente da non poter più assolvere alla sua funzione portante.



Funzionamento connessioni hold down ed angolari. Immagine realizzata dall'autore.

Connessioni, giunzioni

L'xlam, si distingue per le sue connessioni metalliche, progettate apposta-

mente per resistere alle sollecitazioni sismiche. Sono di due tipi:

Hold Down

Angolari

Gli Hold Down o piastre angolari allungate, hanno il compito di impedire il ribaltamento della struttura, per effetto delle azioni orizzontali (vento o sisma). Sono collegati alle pareti con chiodi o viti (diametro 3–6 mm), e alle fondazioni per mezzo di barre filettate (diametro 6–18 mm). Resistono a sforzi di trazione. Gli angolari hanno la funzione di impedire invece lo scorrimento orizzontale. Resistono a forze di taglio.

Attacco a terra

La struttura in Xlam, come il legno in generale, va protetta dal contatto col terreno e quindi dalle infiltrazioni di umidità. Ciò viene realizzato tradizionalmente, al di sopra della piattaforma del solaio, sovraelevando la struttura per mezzo di un cordolo in c.a. o attraverso una trave in legno di larice (qualità più resistente agli agenti atmosferici).

Sistemi più moderni prevedono cordoli in metallo.

Prefabbricazione

Uno tra i più grandi vantaggi nell'uso di questo sistema costruttivo sta nella possibilità di prefabbricazione, interamente in stabilimento. Lì, le varie pareti vengono tagliate e sagomate a misura, per poi essere trasportate in cantiere e

lì soltanto assemblate. I tempi di lavorazione si riducono a pochi giorni. Con l'ausilio di una gru, e pochi operai, è possibile mettere su una piccola casa in 24h di lavoro.

La produzione standard prevede pannelli che di regola non superano, nella dimensione più corta, l'altezza di un piano d'edificio, per evidenti ragioni di opportunità progettuale e costruttiva, ma anche per evidenti ragioni di trasporto del pannello finito. Le dimensioni massime dei pannelli xlam sono correlate alla dimensione del mezzo di trasporto e possono raggiungere i 24,0 m in una direzione, i 4,80 m nell'altra e uno spessore di 500 mm.

1.2 Obiettivi della ricerca

L'obiettivo della ricerca è stato quello di individuare definire e sviluppare strategie e Sistemi Costruttivi Innovativi per la Sicurezza Sismica, Ambientale e l'efficienza Energetica. Il tema è stato frutto della Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente (SNSI) che ha individuato priorità di investimento di lungo periodo condivise con le Regioni ed i principali stakeholder, assicurando la complementarietà tra le azioni previste a livello centrale e quelle a livello territoriale, così da ridurre i rischi di duplicazione o di sovrapposizione e rafforzarne l'impatto.

La proposta coerente con l'Area Tematica Agenda Digitale, Smart Communities, Sistemi di mobilità intelligente, ed in particolare con la Traiettorie di Sviluppo "Tecnologie per smart building, efficientamento energetico, sostenibilità ambientale" e quella relativa ai "Sistemi per la sicurezza dell'ambiente urbano, il monitoraggio ambientale e la prevenzione di eventi critici o di rischio".

Coerente inoltre con l'S3 Calabria, ed in particolare con l'Area di Innovazione EDILIZIA SOSTENIBILE. Infatti il documento riporta: "Il comparto dell'edilizia sostenibile sembra essersi mosso in questi anni con un trend in netta controtendenza rispetto all'andamento generale del settore delle costruzioni. È quindi possibile affermare come il comparto dell'edilizia sostenibile si propone oggi come il business imperativo a livello globale." E sottolinea: "Il settore delle costruzioni in Calabria è, di fatto, il settore trainante dell'intera economia regiona-

le, con valori di gran lunga superiori alle medie nazionali che testimoniano un'incidenza relativa maggiore della filiera edilizia sull'economia calabrese rispetto a quanto avviene in gran parte delle altre regioni italiane.



Installazione facciata continua da testare all'interno del modulo del TC-Lab. Immagine realizzata dall'autore.

Sostenuto da una consolidata presenza di dipartimenti universitari nei settori dell'ingegneria (strutture, energia), architettura e materiali, il settore presenta, tuttavia, un forte tradizionalismo produttivo correlato ad una prevalenza di aziende di piccole dimensioni, che ne ostacola l'accesso ai mercati extra-

regionali” Inoltre, l’S3 Calabria segnala come Grande Infrastruttura di Riferimento, proprio il Laboratorio del Dipartimento dArTe BUILDING FUTURE Lab, centrale per la proposta Borsa Industriale, ovvero: Due progetti finanziati dal PON R&C 2007–2013 rafforzano il sistema delle infrastrutture di ricerca d’interesse per l’edilizia: BUILDING FUTURE Lab all’Università Mediterranea (8,6MC) per un’infrastruttura di testing per sistemi abitativi mediterranei; Il BUILDING FUTURE Lab. è dunque l’elemento di piena coerenza con l’S3 Calabria, e dunque con la Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente (SNSI).



Interno del Campus della Pontificia Università Cattolica del Cile. Foto realizzata dall'autore.

La tesi ha avuto come obiettivo la realizzazione di due nuovi sistemi costruttivi. Al fine però del raggiungimento dell’obiettivo suddetto si è dovuto necessariamente procedere con un attento studio dello stato dell’arte e quindi fornire un’adeguata sintesi dei sistemi costruttivi esistenti a base legno. Fornendo una panoramica delle modalità costruttive utilizzate a diverse latitudini con i relativi esempi di architettura, realizzando un elenco di alcuni dei maggiori centri di produzione, ed ancora, un quadro generale delle normative a cui sottostanno i vari prodotti, ed i relativi sistemi di ancoraggio siano esse connessioni metalliche o colle. Infine relativo allo stato dell’arte la realizzazione di schede materiale, sintetizzanti i relativi processi produttivi le normative alle quali sottostanno ed esempi di architettura che utilizzano i prodotti in questione.

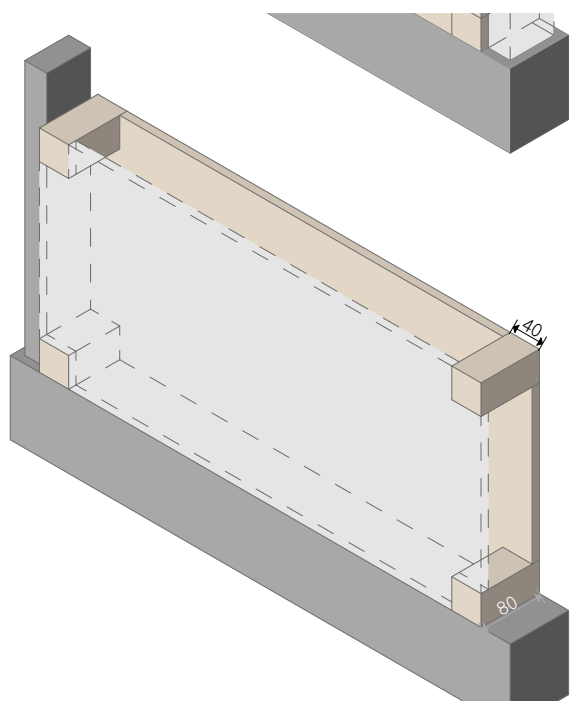


Differenti sistemi costruttivi e relative foto. Immagine realizzata dall'autore.

Ulteriore elemento importante della tesi è stato il capitolo dell’esperienza all’estero dove sono state descritte le ragioni i processi di studio i vari confronti ed i

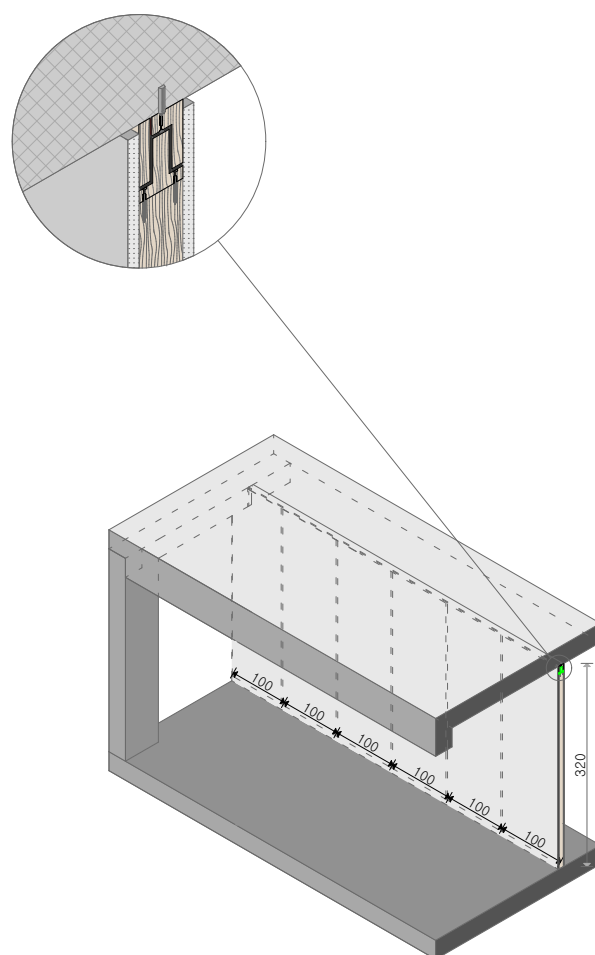
convegni ai quali si è presenziato. Elementi tutti che hanno portato l'autore a fare determinate scelte fino a giungere alla ideazione dei due nuovi sistemi costruttivi oggetto della tesi.

te antisismica in grado di evitare i carichi sismici su uno dei suoi assi e di ridurne notevolmente i carichi ortogonali all'asse suddetto.



Primo sistema costruttivo proposto. Disegno elaborato dall'autore.

La realizzazione quindi di un sistema di irrigidimento strutturale in legno, in grado di aumentare la rigidità di un qualsiasi sistema a telaio strutturale e di aumentare la capacità di inerzia termica unito ai più comuni sistemi di involucro utilizzati per le costruzioni con sistema strutturale in legno. Il secondo sistema proposto è stato una parete non portan-



Secondo sistema costruttivo proposto. Disegno elaborato dall'autore.

1.3 Articolazione della ricerca e metodologia

Mediante "ACUERDO MARCO DE COLABORACIÓN" è stato sancito il reciproco interesse tra la Pontificia Universidad Católica de Chile" e l'Università Mediterranea di Reggio Calabria. La Pontificia Universidad Católica de Chile, ha dimostrato interesse per il "BUILDING FUTURE Lab., operativo presso il dArTe. L'Università Mediterranea di Reggio Calabria, ne ha dimostrato altrettanto per il "Centro de Innovación en Madera de la Universidad Católica de Chile". Durante l'istruttoria, i Ricercatori hanno evidenziato che lo scenario Cileno, necessita di un piano d'innovazione legato a più fattori: il progressivo abbattimento del rischio sismico e ambientale; lo sviluppo di tecnologie per l'architettura che abbattano i consumi energetici; l'implementazione della tecnologia del legno, come scelta sostenibile; la definizione di nuove tipologie e tecnologie per l'architettura "a secco"; la definizione di nuovi sistemi costruttivi, a forte contenuto di prefabbricazione, legata ai precedenti punti; lo sviluppo di nuovi Standard, Test per l'architettura; lo sviluppo di un sistema di Monitoraggio del costruito partecipazione societaria di minoranza.

Il progetto si è posto come obiettivo generale lo sviluppo di metodologie progettuali innovative ovvero realizzare un Catalogo di Soluzioni Tecnologiche e Sistemi Costruttivi Innovativi.

Il cronoprogramma delle attività si è così suddiviso:

Primo anno Università Mediterranea

Sei mesi in azienda

8 all'estero



Logo e foto della Pontificia Università Cattolica del Cile. Foto realizzata dall'autore.

Rimanenti 9 mesi in sede

WF1. Università Mediterranea Metodologie e contenuti: Le attività di Base: Strumenti e Metodi per la Ricerca e l'Innovazione

WP2. Università Mediterranea: Testing avanzato; all'interno del BUILDING FUTURE Lab.

WP3. APS scape SpA. Definizione di Competenze sui modelli progettuali innovativi basati sul testing Avanzato.

WP4. PONTIFICIA UNIVERSIDAD. Progettazione Innovativa Sostenibile all'interno del "Centro de Innovación en Madera". WP5. Università Mediterranea Sviluppo di competenze sui modelli progettuali innovativi basati sul testing avanzato.

WP5. Università Mediterranea Sviluppo di competenze sui modelli progettuali innovativi basati sul testing avanzato.

WP6. Definizione di Strategie e Sistemi Costruttivi Innovativi per la Sicurezza Sismica, Ambientale e l'Efficienza Energetica.

Il Progetto ha puntato a individuare, svi-

luppare soluzioni tecnologiche innovative che consentano ai gruppi di ricerca di sostenere lo sviluppo di processi sostenibili e di ottenere Brevetti e Proprietà Intellettuale con il supporto dell'Azienda Speciale INFORMA della Camera di Commercio di Reggio Calabria.



Dipartimento di Construcción Civil della Pontificia Università Cattolica del Cile. Foto realizzata dall'autore.

L'ambito della proposta è stato quello dell'Area Tematica Digitale, Smart Communities, Sistemi di mobilità intelligente, ed in particolare con la Traiettorie di Sviluppo "Tecnologie per smart building, efficientamento energetico, sostenibilità ambientale" e quella relativa ai "Sistemi per la sicurezza dell'ambiente urbano, il monitoraggio ambientale e la prevenzione di eventi critici o di rischio". Il presupposto da cui la proposta è partita è stato che: essendo l'ambito del costruire sostenibile in forte relazione con lo sviluppo di metodologie progettuali innovative è stato quindi necessario la realizzazione di Cataloghi di Soluzioni Tecnologiche e costruttivi fortemente Innovativi. L'innovazione proposta è

consistita dunque nell'individuare, produrre, un abaco di soluzioni tecnologiche e sistemi costruttivi adattivi, ovvero per scenari definiti. Il progetto di ricerca, ha inteso concentrarsi in particolare sul tema della sostenibilità ambientale Tecnologie per le costruzioni, efficientamento energetico, in contesti definiti, in un'ottica SMART. Sulla base di tali considerazioni la ricerca si è posta come principale obiettivo quello di declinare il concetto di sostenibilità, integrando tecnologie immateriali con quelle materiali, in scenari complessi, ma definiti.

In sintesi nel triennio, l'attività di ricerca si è focalizzata sull'acquisizione di competenze sulla Ricerca industriale applicata, sulle competenze di settore ed esperienze tecnologiche sul testing avanzato e la Progettazione cognitiva. Si è potuto individuare e definire strategie e sistemi costruttivi innovativi per la sicurezza sismica, ambientale l'efficienza energetica. Tutto ciò è avvenuto frequentando il BFL (Building Future Lab), seminari tecnici, studio testi di settore, workshop, fiere. Assistendo alle lezioni di dottorato svoltesi all'interno del dipartimento dArTe, si è avuta la possibilità di mettere in relazione argomenti estremamente tecnici inseriti in un argine definito, per i quali è stata finanziata la borsa, con temi spesso meno tecnici ma necessari alla formazione generale. Essendo stato ed essendo tutt'ora "cultore della materia" all'interno del Laboratorio di Progettazione Esecutiva. Avendo seguito l'APScope spin-off e programmando il periodo di formazione all'estero. Nel periodo di permanenza all'estero frequentando il CIM (centro di innovazione del legno) all'interno dell'U-

niversità Cattolica del Cile,



Foto del modulo TC-Lab del BFL. <https://www.guidafinestra.it/involucro-facciate-e-serramenti-nasce-il-building-future-lab/>

lavorando a stretto contatto con i vari ricercatori studiando lo stato d'avanzamento delle loro ricerche, acquisendo competenze relative alla legislazione cilena sul tema delle costruzioni in zona sismica, sullo stato di traduzione in BIM dei sistemi strutturali in legno, visitato le varie architetture in legno presenti in Cile fra i quali la chiesa Iglesia de Santa María de Loreto patrimonio dell'Unesco analisi autoctone tecniche costruttive, assistendo alle prove di laboratorio su sistemi di connessioni all'interno del laboratorio di costruzione del dipartimento di Construcción Civil de la Pontificia

Universidad Católica, ed ancora partecipando attivamente al laboratorio sperimentale Torre Peñuelas (edificio in legno più alto del latino America) accrescendo le conoscenze e competenze nelle costruzioni in legno in altura. Ed infine, partecipato al CLEM Congresso Latinoamericano de Estructuras de Madera.

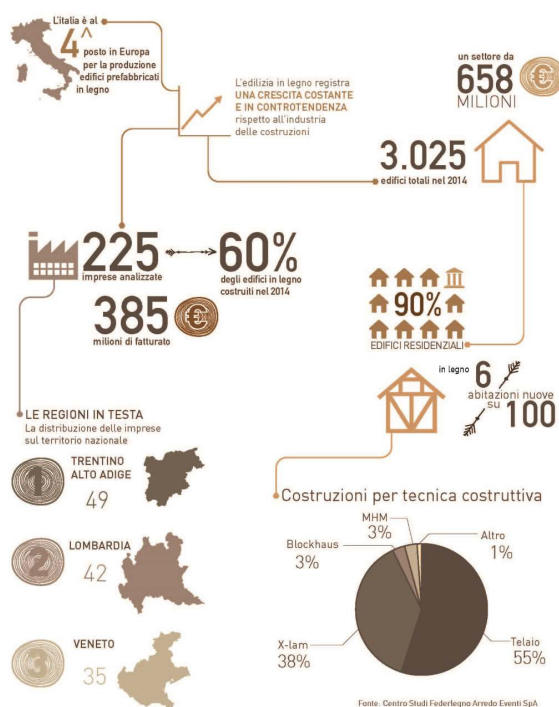
PARTE SECONDA

Lo stato dell'arte

2.1 Filiera del legno nel settore delle costruzioni

Il centro di studi Federlegno Arredo stima che il valore dell'intera filiera legno ammonti a circa 42,3 mld di euro di cui 5,7 mld del settore costruzioni edilizie in legno, si è potuto valutarne inoltre, una crescita costante dal 2014 al 2019, in controtendenza rispetto alla contrazione evidenziata dall'edilizia tradizionale.

RAPPORTO CASE ED EDIFICI IN LEGNO 2015



Infografica con la sintesi dei dati principali del Rapporto Edifici e Case in legno 2015 di Federlegno-Arredo. <https://www.federlegnoarredo.it/it/associazioni/assolegno/attivita-e-servizi-per-i-soci/analisi-di-mercato/5-rapporto-edilizia-in-legno>.

L'edilizia in legno sta rapidamente diventando un'ipotesi concreta da prendere in considerazione per chi decide di costruire una nuova abitazione. Dai rapporti "Case e edifici in legno" commissionati al centro studi di Federlegno

Arredo, si è potuto stimare che la quota delle nuove abitazioni in legno (esclusi ampliamenti) abbia rappresentato nel biennio 2016-2017 circa il 7% del totale costruito (mentre nel 2014 tale percentuale era del 6%): 3.200 nuovi edifici su tutto il territorio nazionale (di cui il 90% a scopo residenziale), con un +9,9% rispetto all'anno precedente.

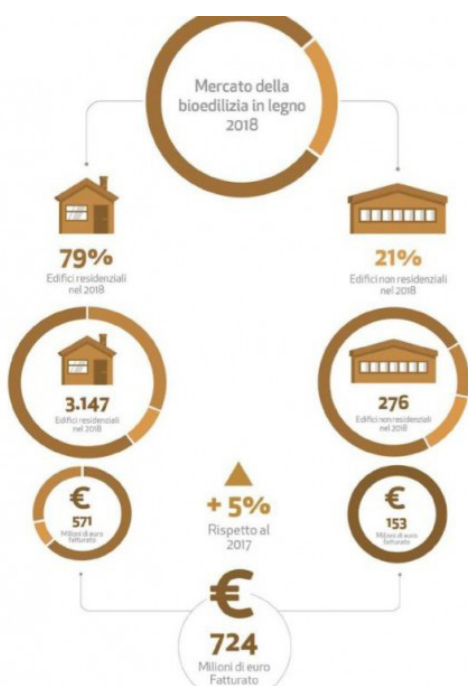


Infografica con le percentuali dei fatturati per regione sul totale nazionale delle società produttrici di case in legno e le percentuali di case realizzate. <https://www.infobuild.it/approfondimenti/edilizia-in-legno-ecologia-diffusione-italia-europa/>

Questa crescita di permessi di costruire per case in legno ha visto collocare l'Italia al quarto posto tra i Paesi europei per la produzione di edifici prefabbricati in legno, dopo Germania, Inghilterra e Svezia: che sono attualmente le nazioni da cui proviene la maggiore fornitura del legname strutturale a livello europeo. In Italia secondo il terzo rapporto Case e edifici in legno di FederlegnoArredo, la regione con più case in legno è la Lombardia, dove si concentra il 22% delle costruzioni residenziali in bioedilizia, seguita dal Veneto con il 19%, dal Trentino-Alto Adige con il 12% e dall'Emilia-Romagna con l'11%. Questo risultato

mostra una netta distribuzione delle case in legno soprattutto nel nord Italia, che si dimostra un territorio particolarmente pronto a recepire i vantaggi degli edifici in legno e ad investire nella bioedilizia: la presenza dell'Emilia-Romagna, inoltre, testimonia come le case in legno stiano cominciando a prendere piede anche nelle zone non prettamente montane. La diffusione delle case in legno nel centro e sud Italia, pur con valori decisamente più contenuti, è in continua crescita: 3% Liguria, 4% Toscana, 6% Marche, 3% Lazio, mentre tutte le altre regioni sommate insieme raggiungono un 8%.

Il predominio del nord Italia emerge anche considerando la distribuzione geografica delle aziende che costruiscono case in legno: il Trentino-Alto Adige, per storia e tradizione, è la regione con la maggiore concentrazione di costruttori di case prefabbricate (24%); Lombardia (22%) e Veneto (15%). L'aumento della domanda a livello territoriale, è sostenuta anche dal settore pubblico con la realizzazione di scuole, uffici comunali e impianti sportivi in bioedilizia, determina la crescita del numero di aziende che si occupano di progettazione e costruzione di edifici in legno.¹



Infografica con le percentuali del mercato della bioedilizia in legno nel 2018 . <https://www.infobuild.it/approfondimenti/edilizia-in-legno-economia-diffusione-italia-europa/>

¹ Federlegno arredo (2019), Centro studi dati e ricerche (<https://www.federlegnoarredo.it/it/servizi/centro-studi-dati-e-ricerche>)

2.2 Materiali e prodotti

E' certo che sistemi strutturali a telaio in legno, hanno origine molto antiche, infatti i primi modi di costruire gli edifici prevedevano la disposizione dei tronchi orizzontalmente l'uno sull'altro (costruzione massiccia) oppure l'interramento di pali verticalmente e il loro collegamento tramite traversi (costruzione leggera) con le pareti tra i pali realizzati con intrecci vegetali o argilla.



Immagine di una segheria. https://www.pinetahotels.it/blog/una-passeggiata-alla-segheria-veneziana-di-coredo/segheria-veneziana-vicina-al-pine-ta-hotels_scorci-del-museo-del-legno/

Strutture moderne ad ossatura portante sono state realizzate fin dagli anni '60 in Europa e hanno trovato una maggior diffusione negli ultimi decenni con lo sviluppo del legno lamellare che consente un aumento degli interassi di travi e pilastri, ottenendo spazi interni ampi adeguabili a più utilizzi. Colonne e travi con grandi interassi consentono l'inserimento di facciate e pareti interne divisorie a piacimento. Gli elementi portanti secondari possono essere travi e pontoni oppure elementi piani in legno. Facciate e pareti divisorie possono svolgere il ruolo di irrigidimento ma di norma non

svolgono un'azione portante e quindi non contribuiscono al trasferimento dei carichi verticali al suolo. I tamponamenti possono essere realizzati a piacimento secondo diversi sistemi costruttivi, ad esempio elementi intelaiati prefabbricati, in vetro oppure in muratura. La struttura in legno trasferisce i carichi gravitazionali alle fondazioni mentre i carichi orizzontali dovuti alle azioni del vento o alle azioni sismiche vengono trasferiti dai solai al nucleo contenente vani scala e ascensori e da lì portati a terra. Il nucleo può essere realizzato con pannelli strutturali in legno ma anche in cemento armato. Le deformazioni dovute alle spinte orizzontali possono essere contrastate anche da sistemi di controvento metallici. Pilastri e travi possono essere realizzati con diversi tipi di legno ingegnerizzato come ad esempio Glulam o LVL. I pilastri possono avere sezione quadrata o rettangolare mentre le travi possono avere sezione quadrata, rettangolare piena o scatolare (formata da due correnti e 2 pannelli di compensato strutturale) o reticolari. I collegamenti tra gli elementi possono essere effettuati maggiormente con bullonatura, con interposizione di rondelle o piastre, meno spesso con chiodature o incastri e collanti. Il collegamento tra pilastri e in legno e fondazione può avvenire in diversi modi, ad esempio con interposizione di materiale metallico, con profili a T o profili a U annegati nella fondazione in calcestruzzo. Trave e pilastro possono essere giunti tramite angolari, f piastre chiodate o saldate, con bulloni o piastre metalliche interne. Pilastri e travi in legno lamellare, rispetto al legno massiccio, hanno caratteristiche meccaniche e durabilità maggiori in quanto difetti ma-

croscopici del legno come nodi grossi, nodi cadenti e fessure vengono eliminati tramite lo scarto delle sezioni difettose. Il ciclo produttivo di questi elementi lineari ha origine con il taglio dei tronchi massicci in tavole che vengono essiccate. Le tavole vengono poi selezionate per eliminare le parti difettose. Le tavole vengono fresate sulle testate per creare i giunti a pettine e in seguito vengono incollate l'una l'altra fino a formare lamelle di lunghezza pari a quella della trave richiesta. Dopo la giuntura le tavole vengono piallate per diventare piane e lisce.



Immagine di sega a cnc. <https://www.falegnameria-dilorenzo.it/cnc-sicilia-controllo-numeric-computerizzato/>

Le lamelle vengono incollate spalmando la colla con sistema “a pioggia” e in seguito pressate in presse idrauliche in modo da distribuire la colla in modo uniforme. In caso di travi curve le presse vengono modificate della sagoma della forma curva da ottenere. Nella pressa le travi rimangono dalle 4 alle 12 ore a seconda della colla utilizzata. I manufatti dopo essere stati fatti riposare vengono

no fatti passare attraverso una pialla che rende uniformi e lisce le superfici laterali. Dopo la piallatura i manufatti possono richiedere ulteriori lavorazioni come forature, intagli, smussature che possono essere effettuate mediante macchine a controllo numerico. Il ciclo di produzione si conclude con l'applicazione di prodotti preservanti avente funzione estetica e protettiva. Possono essere realizzati travi e pilasti di varie dimensioni e spesse volte esigenze di trasporto determinano la lunghezza degli elementi. La fase di trasporto infatti richiede attenzioni particolari e procedure pianificate in quanto non sempre gli elementi possono essere trasportati con normali autoarticolati e a volte richiedono trasporti eccezionali con permessi rilasciati. Una volta giunti in cantiere gli elementi, pronti per essere montati, vengono stoccati in aree apposite dove viene verificata la congruenza tra gli elementi e le condizioni di cantiere. Il montaggio ha inizio con la staffatura a terra dell'orditura principale e il posizionamento in quota degli elementi principali. In seguito, vengono montate le orditure secondarie e gli elementi di controvento. Essendo gli elementi prefabbricati, le lavorazioni in loco sono ridotte e il montaggio rapido.¹

¹ A. Bernasconi (2014) *Strutture in legno per l'edilizia residenziale urbana*, Ingegno Journal

Matrice sistemi costruttivi/involucro

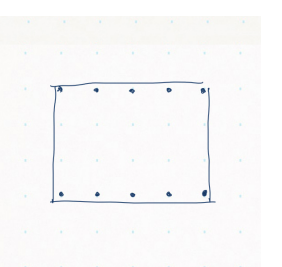
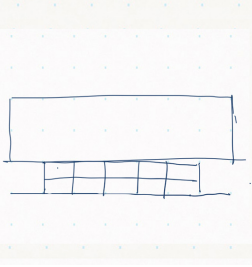
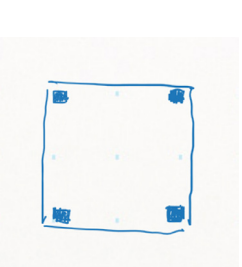

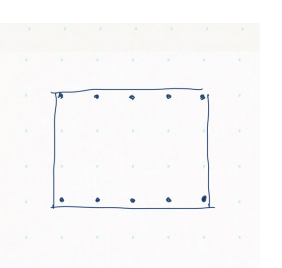
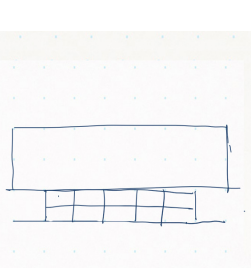
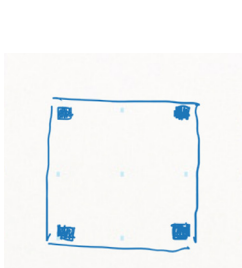

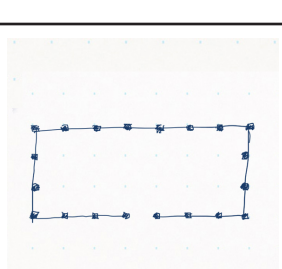
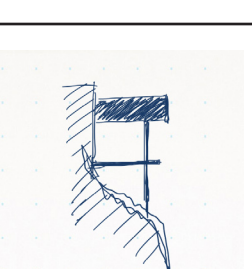
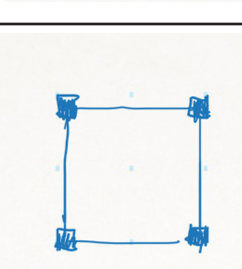

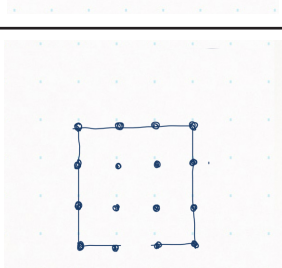
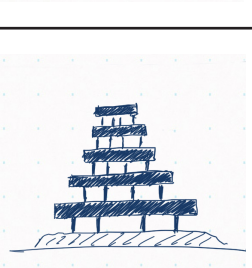
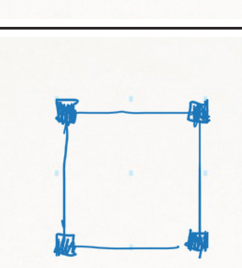

La matrice oggetto di questo capitolo è stata elaborata dall'autore durante gli studi, mettendo in rapporto vari edifici campione scelti perché emblematici di una cultura di popolo e di un modo di costruire le proprie abitazioni, ubicati in regioni del mondo, l'uomo ha ideato. La matrice in oggetto è stata strutturata in righe e colonne al cui interno troviamo:

Nome costruzione in cui viene indicato il nome con cui viene usualmente definita la costruzione, Sistema costruttivo e quindi la modalità costruttiva utilizzata sintetizzabili in telaio, blockbau, ballon frame e telaio; Funzione se civile, pubblica etc., Anno di costruzione se esiste un esempio particolarmente da-

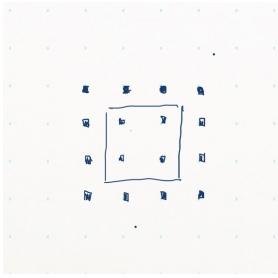

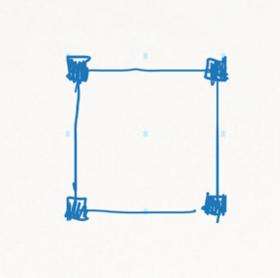

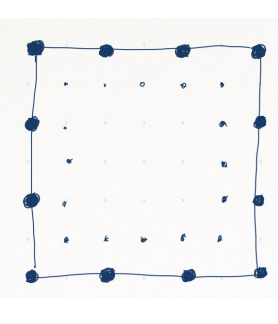

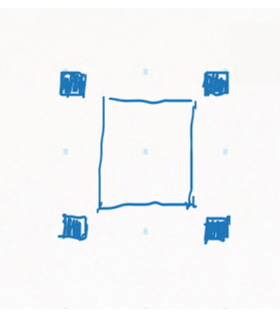

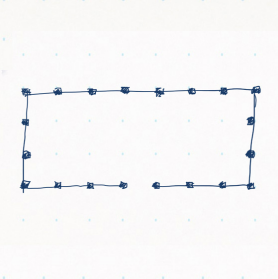
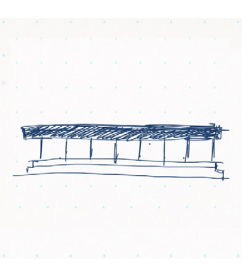
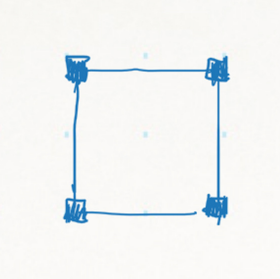

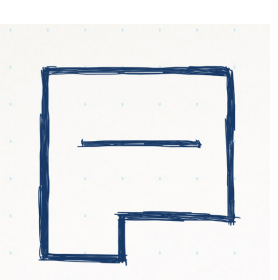
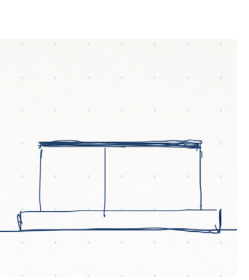
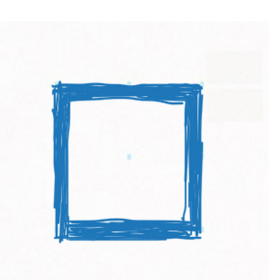

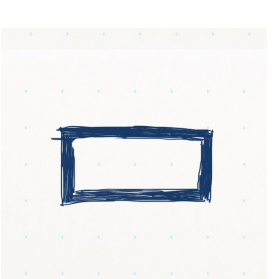
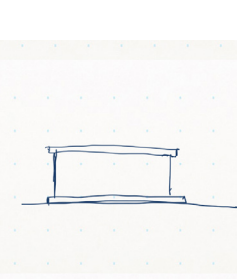
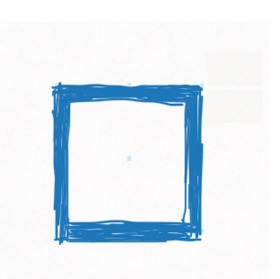

Nome costruzione	Sistema costruttivo	Funzione	Anno	Ubicazione
Toba Batak	Telaio	Civile Abitazione	Primi reperti. 500 a.C.	Indonesia
Karo Batak	Telaio	Civile Abitazione	Primi reperti. 500 a.C.	Indonesia
Hanging Temple (Forse ricostruito)	Telaio	Tempio buddista	500 d.C.	Hunyuan, Datong, Cina
Hōryū-ji	Telaio	Complesso Templare Buddista	607 d.C.	Ikaruga (Prefettura di Nara Giappone)

tato, l'ubicazione quindi il luogo di primigenia costruzione si conclude così la prima parte della matrice. La seconda parte è stata realizzata da studi condotti dall'autore dove viene analizzato il rapporto fra la struttura e l'involucro in pianta ed in alzata e successivamente vengono schematizzate questi rapporti

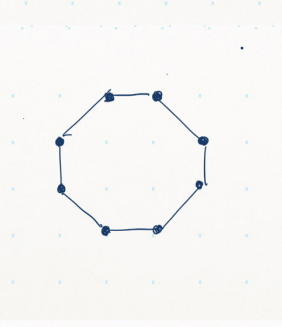

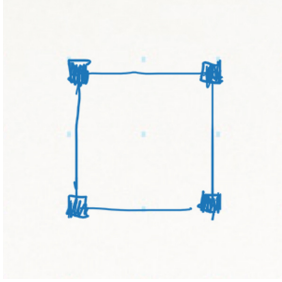

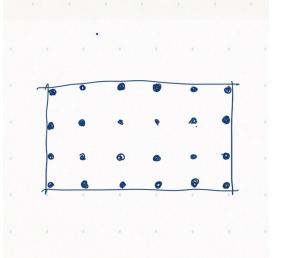
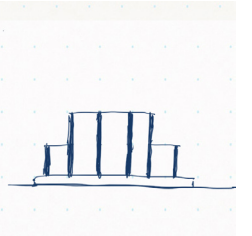
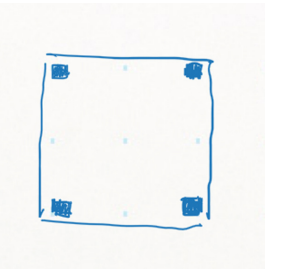

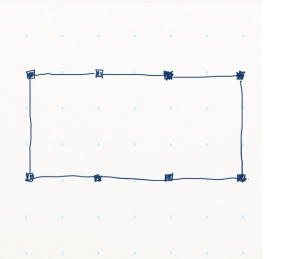
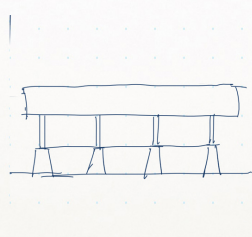
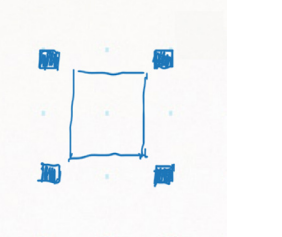

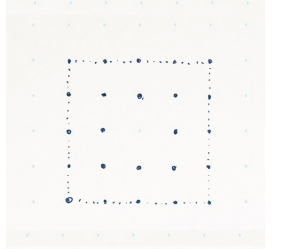



con un unico disegno. In ultimo vengono aggiunte delle immagini che riportano la costruzione per facilitare la comprensione dello studio. L'elaborato in oggetto quindi è stato realizzato al fine di verificare la presenza o meno di sistemi costruttivi ricorrenti alle varie latitudini del pianeta.

Rapporto Struttura involucro pianta	Rapporto Strutt. involucro prosp.	Schematizzazione	IMMAGINI
			
			
			
			

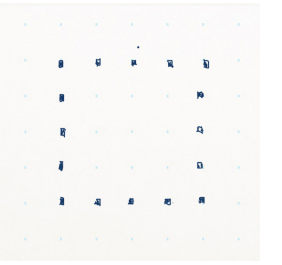
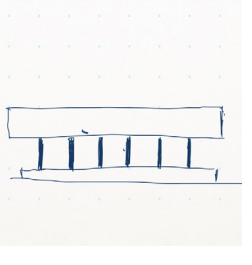
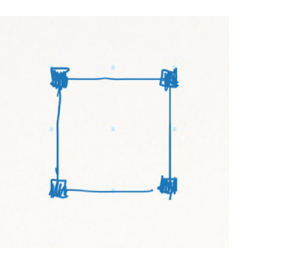

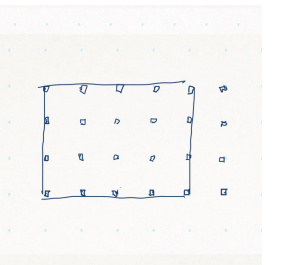

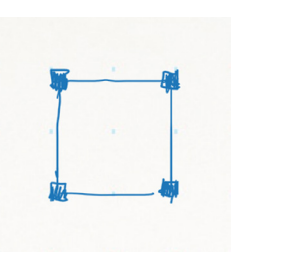

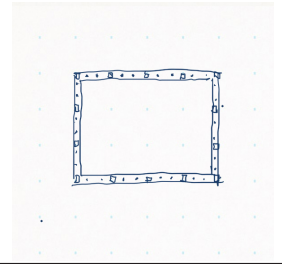
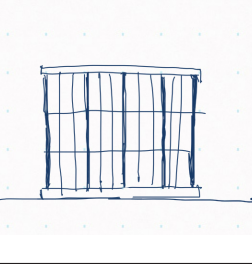
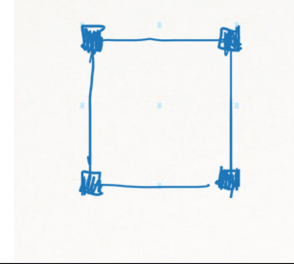

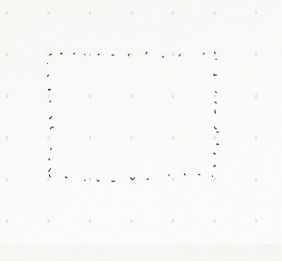



Nome costruzione	Sistema costruttivo	Funzione	Anno	Ubicazione
Tempio di Jokhang	BallonFrame	Parte tempio Buddista	652 d.C.	Barkhor, Lhasa , Tibet , Cina
D Tōdai-ji	Telaio	Tempio buddista	728 d.C.	Zōshi-chō, (Prefettura di Nara Giappone)
Tempio di Nanchan	Telaio	Tempio buddista	782 d.C.	Watai, Cina
Roykstovan a Kirkjubø	Blockbau	Agriturismo	1050 d.C.	Isole Faroe
Chiesa di Greensted	Blockbau	Chiesa	1053 d.C.	Inghilterra

Rapporto Struttura involucro pianta	Rapporto Strutt. involucro prosp.	Schematizzazione	IMMAGINI
			
			
			
			
			

Nome costruzione	Sistema costruttivo	Funzione	Anno	Ubicazione
Huayan Temple (Datong)	Puntuale	Tempio buddista	1056 d.C.	Ying County, Shanxi Cina
La chiesa di legno di Urnes Norvegia	BallonFrame	Chiesa	1150 d.C.	Luster, Norvegia
Stile Hanok	Telaio	Civile Abitazione	1392 d.C.	Corea
Irinjalakuda Koodalmanikyam Temple Thrissur	BallonFrame	Tempio hindu	1400 d.C.	Kerala (India)

Rapporto Struttura involucro pianta	Rapporto Strutt. involucro prosp.	Schematizzazione	IMMAGINI
			
			
			
			

Nome costruzione	Sistema costruttivo	Funzione	Anno	Ubicazione
Padmanabhapuram Palace	Telaio	Palazzo pubblico	1590 d.C.	Kerala (India)
Santa María de Loreto, Chiloé, Chile	BallonFrame	Chiesa	1700 d.C.	Cile
Old Government Buildings	BallonFrame	Palazzo pubblico	1875 d.C.	15 Lambton Quay, Wellington , Nuova Zelanda
Ibuku	Puntuale	Civile Abitazione	1990 d.C.	Indonesia,Bali

Rapporto Struttura involucro pianta	Rapporto Strutt. involucro prosp.	Schematizzazione	IMMAGINI
			
			
			
			

Tutti i disegni contenuti in questo capitolo all'interno delle colonne "Rapporto Struttura Involucro Pianta", "Rapporto Struttura involucro Prospetto e schematizzazione sono stati elaborati dall'autore. Le 17 immagini di questo capitolo contenute all'interno della colonna immagini sono state tutte prese dal sito web wikipedia facilmente riscontrabili inserendo il nome contenuto all'interno della colonna "Nome costruzione".

Principali aziende esistenti operanti nel settore legno

Ai fini della ricerca è stata redatta un'ulteriore matrice oggetto di questo capitolo che ha come obiettivo il raggruppamento e la catalogazione di alcune delle più importanti aziende esistenti operanti nel mercato delle costruzioni in legno. La matrice è stata strutturata in sette colonne principali e tante righe quante

le aziende produttrici. All'interno delle sette colonne cominciando da sinistra è stata inserita company contenente il nome delle aziende, successivamente System open/closed cioè se l'azienda fornisce il manufatto edilizio chiavi in mano o meno, structure dove è stato indicato il tipo di sistema/struttura portante

Company	System open / closed	Structure						Horizontal Partition
		Pillars and Beams	Pannelli intelaiati	Blockbau	NLT	DLT	XLam	
Rubner Holzbau (holzius)	Closed	X	X					X
Okal	Closed	X	X					X
Maison Phenix	Closed	X					X	X
Bicher holz	Open	X						
Lamellare service	Open	X						
PolarlifeHaus	Open			X				X
BIOHAUS								
SISTEM costruzioni	Closed	X	X	X			X	X
SUBISSATI	Closed	X	X	X			X	X
FANTI	Open	X	X	X			X	X

utilizzato per costruire l'edificio, Horizontal Partition e Vertical partition questa due colonne utili nel momento in cui l'azienda non è un sistema chiuso e quindi si occupa nello specifico solo di muri, solai di interpiano o coperture, Curtain wall sistemi di facciata continua con struttura portante in legno e pannelli di tamponamento

in vetro o opachi; Certification viene indicato i tipi di certificazione che l'azienda rilascia con la costruzione; Patents se l'azienda possiede brevetti in corso o meno; Since da quando la società è presente sul mercato; Link pagina web dell'azienda, ed infine country ubicazione dello stabilimento produttivo.

Vertical partition		Curtain Wall		Certification	Patents	Since	Link	Country
Interior	Exterior	G l a s s Window	Opaque					
X	X	X	X			1964	https://www.rubner.com/it/haus/	Italia (BZ)
X	X			D G N B ed altri		1928	https://okal.de/	Germania
X	X	X				1940	https://www.maisons-phenix.com/	Francia
						1836	https://www.bichler-holz.at/	Austria
X	X					2000	https://www.lamellareservice.com/	Italia (VA)
X						1907	http://www.polar-lifehaus.it/	Finlandia
						1998	http://www.biohaus.it/	Italia (UD)
X	X	X	X	PEFC-S.A.L.E.		1978	https://www.sistem.it/sistemi-costruttivi/	Italia (MO)
X	X			S.A.L.E.	X(connes-sione)	1980	https://subissati.it/	Italia (AN)
X	X			PEFC		1956	http://www.fanti-group.it/	Italia (TRENTO)

Kager	Closed	X	X	X			X	X
UrbanGreen	Closed		X					X
Ecospace	Closed		X					X
Barra&Barra	Closed		X				X	X
Wolfhaus	Closed		X					X
SpazioPositivo	Closed		X				X	X
Nuovearchi- tecture	Closed	X	X	X			X	X
Gruppo Forest	Closed		X				X	X
Pagano	Closed	X					X	X
Costantini Le- gno	Closed		X				X	X
Marlegno	Closed		X				X	X
KLH	Open						KLH, BSP, CLT	X
Griffner	Closed		X					X
SchwörerHaus	Closed	/	/	/			/	X
POPUP HOU- SE	Closed	/	/	/			/	
SISTEM	Closed	X (F-L)	X	X			X	X
HASSLACHER	Open	X		X			X	

X	X	X	X			1982	https://www.karger-italia.com/	Slovenia
X	X		X	PEFC-S.A.L.E.		/	http://www.urbangreen.it/	Italia (CH)
X	X		X		Modulo Eco-space	2003	https://www.ecospaceitalia.com/	Italia (CB)
X	X					2002	https://www.barraebarra.com/	Italia (CN)
X	X	X	X	PEFC-S.A.L.E. CasaClima A	Wolf system 30 anni di garanzia	1970	https://www.wolffhaus.it/	Austria
X	X			PEFC-S.A.L.E.		2013	http://www.spaziopositivo.com/	Italia (TN)
X	X	X	X	/	Case in paglia	/	http://www.nuovearchitetture.com/	Italia (BN)
X	X			PEFC-S.A.L.E.	Volumia Forest	1945	http://www.gruppoforest.it/	Italia (RM)
X	X	X	X	/		1950	https://www.paganano.it/	Italia (RM)
X	X	X	X	S.A.L.E.		1988	https://www.constantinilegno.it/	Italia (PG)
X	X	X	X	PEFC-S.A.L.E.	TAVEGO	2000	https://www.marlegno.it/	Italia (BG)
X	X		X	PEFC FSCe		1999	https://www.klh.at/it/	Austria
X	X	X		S.A.L.E.		/	https://www.griffner.com/it/	Austria
X	X	X		QDF-PEFC		1950	https://www.schwoererhaus.com/it-it/it/	Germania
				/	POPUP HOUSE	/	https://www.popup-house.com/it/	Francia
X	X	X	X	PEFC-S.A.L.E.		1979	https://www.system.it/	Italia (MO)
				Certificazioni Austriache	GLT	1901	https://www.haslacher.com	Austria

Prodotti tecnologici in legno esistenti

Il capitolo è stato dedicato ai prodotti a base legno più comunemente utilizzati per la costruzione di manufatti edilizi. Sono state descritte sinteticamente le peculiarità materiche dei prodotti dalle descrizioni materiche ai tipi di utilizzo dei prodotti ai fini della realizzazione di un manufatto edilizio i limiti e le potenzialità. Inoltre sono state indicate le dimensioni comunemente prodotte quindi riscontrabili sul mercato, le normative di riferimento per produzione ed utilizzo, le essenze utilizzate per realizzare il prodotto, le tipologie di lavorazioni potenzialmente riscontrabili sull'oggetto, le modalità di unione del prodotto non assemblato, la classe di resistenza secondo UNI EN, la qualità di finitura usualmente venduta, la modalità di vendita e trasporto ed alcune aziende produttrici. Infine sono stati elencati dei progetti di piccola media e grande scala realizzati con lo stesso prodotto descritto nel relativo paragrafo. Di seguito l'elenco dei materiali che verranno successivamente schedati:

- a. Legno massiccio (Solid timber)
- b. Legno lamellare incollato (Glued laminated timber)
- b. Cross-Lam (Cross Laminated Timber)
- c. LVL "microlamellare" (laminated veneer lumber)
- d. Compensato (plywood)
- e. OSB (Oriented strand board)
- f. Pannello di particelle "truciolato" (Particleboard)
- g. Pannello di fibre ad alta densità HDF (Fibreboards, hard)
- h. Pannello di fibre a media densità MDF (Fibreboards, medium)

Tutti i disegni contenuti in questo capitolo dove non espressamente indicato, sono stati elaborati dall'autore.



Sistemi industriali per produzione del cross lam. (<https://www.pagesjaunes.fr/pros/05600724>)

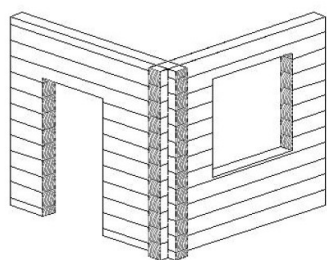
a. Legno massiccio (Solid timber)

Sistema lineare

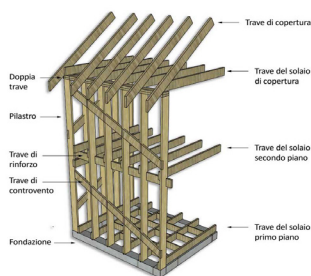
Descrizione dell'elemento:

Per legno strutturale si intende il legno usato per la costruzione di edifici. Esistono vari sistemi di assemblaggio per la costruzione di edifici come ad esempio il blockbau, nel quale si sovrappongono orizzontalmente tronchi o travi fino a formare delle pareti. L'aggancio è ottenuto agli angoli, dove vengono ricavate delle

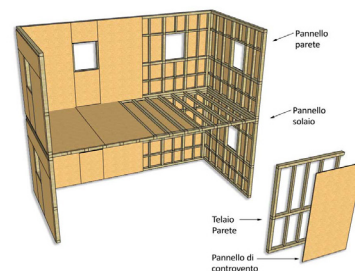
connessioni che permettono l'incasso e, allo stesso momento, un irrigidimento della struttura un ulteriore sistema è il ballon frame costituito da un'ossatura lineare controventata, con pilastri (pilastro) e travetti (travetto), di sezione ridotta, disposti a intervalli ravvicinati e montanti continui dal basamento alla copertura consente di realizzare edifici di un'altezza massima di due piani.



Sistema Blockbau



Sistema Ballon Frame



Sistema Platform Frame

Dimensione dell'elemento

TIPOLOGIE TRAVI:	
Lunghezza trave:	< 13 m
Larghezza:	60, 120, 240, 350, 450 mm
Altezza	60, 120, 240, 350, 450 mm

Caratteristiche tecniche

Norma di riferimento	UNI EN 14081-1:2006, UNI-11035-3
Essenza	abete rosso, abete bianco, larice, castagno.
Lavorazione	parallelo, piallato su tutti i lati, spigoli smussati
Incollaggio	incastro
Classe di Resistenza	dipende dall'essenza utilizzata
Qualità	Vista
Imballaggio	a pezzi singoli o a pacchi protetti da film

Aziende produttrici

DENOMINAZIONE	SEDE	SITO
Pfeifer Group	Fabrikstraße 54 (Austria)	www.pfeifergroup.com
S.I.L.E.A. S.r.l.	Silea (TV)	www.silealegnami.it
Damiani Legnami	Bressanone (BZ)	www.damianilegnami.it
Dg Legnami	Aquasanta Terme (AP)	www.dglegnami.it



b. LEGNO LAMELLARE INCOLLATO (Glue laminated timber)

Travi e pilastri (sistema a telaio)

Descrizione dell'elemento:

Il legno lamellare è un materiale strutturale prodotto incollando delle tavole di legno (a loro volta già classificate per uso strutturale), viene prodotto riducendo il tronco in assicelle (ovvero lamelle) generalmente di larghezza non superiore ai 20 mm (per prevenire eccessive

deformazioni causate dal fenomeno del ritiro) esse vengono ricomposte tramite incollaggio a caldo, sotto pressione e posizionate tra loro con venatura contrapposta per garantire una maggior uniformità nella resistenza dell'elemento strutturale che si andrà a creare.

Dimensione dell'elemento

Legno lamellare

TIPOLOGIE TRAVI:	
Lunghezza trave:	< 40 m
Larghezza:	80 ÷ 280 mm
Altezza	< 4.000 mm

Caratteristiche tecniche

Norma di riferimento	EN 14080 EN 1194 – EN 301 – EN 338 – EN 385 – EN 386 – EN 140
Essenza	Conifere: abete rosso, abete bianco, larice, pino e douglasia. in casi particolari latifoglie: castagno e rovere
Lavorazione	parallelo, piallato su tutti i lati, spigoli smussati
Spessore Lamelle	32 mm ÷ 40 mm
Incollaggio	colla,
Classe di Resistenza	GL20 – GL22 – GL24 – GL26 – GL28 – GL30 – GL32 Altre classi di resistenza su richiesta
Qualità	Industriale o a Vista
Imballaggio	a pezzi singoli o a pacchi protetti da film

Aziende produttrici

DENOMINAZIONE	SEDE	SITO
Costantini Legno	Bettona (PG)	www.costantinilegno.it
Rubner Holzbau S.p.a.	Bressanone (BZ)	www.rubner.com
Weinberger Holz	Austria	www.weinberger-holz.at
The Rollé Group	Paesi Bassi	www.rolle.com

Progetti realizzati con sistema a telaio

Tipologia:	Progettisti:	Fine lavori:	Ubicazione:
Nido D'infanzia Iride	Mario Cucinella Architects, Bologna	2015	Guastalla (RE)
Scuola Professionale Grabnerhof	Planungsbüro Minichshofer, Enns, Austria	2017	Admont (Austria)
Aeroporto Internazionale Di Mactan-Cebu	IDA - Integrated Design Association Ltd., Hong Kong	2018	Lapu-Lapu, Mactan Cebu, Filippine

Descrizione progetto

Legno lamellare di abete qualità a vista per la realizzazione dei telai interni e esterni costituenti l'ossatura della nuova scuola dell'infanzia di Guastalla. Questo è il materiale scelto dallo studio MCA di Bologna per il rifacimento dell'edificio distrutto dal terremoto del 2012. Con il legno sono stati creati i 50 telai che, sagomati e completamente lavorati alle macchine a controllo numerico, realizzano l'ossatura interna della "balena" che ospita i bambini della scuola dell'infanzia. La produzione è stata interessata dal lavoro millimetrico eseguito con le macchine CNC per garantire la perfetta corrispondenza tra il progetto e il realizzato. Con un certosino lavoro di taglio e piallatura le varie sagome sono ricavate da elementi in legno lamellare e successivamente rifinite dai carpentieri presenti nello stabilimento di Bressanone. Per tale motivo sono state impiegate circa 400h

di disegno e oltre 120h di calcolo strutturale. Lo studio dei collegamenti ha permesso, attraverso la scelta di barre incollate, di ridurre al minimo il lavoro in cantiere ottenendo una unione dei vari elementi pressoché perfetta e priva di ferramenta a vista. Attraverso il legno è stato possibile ottenere elementi di grandi dimensioni (fino a 18m di lunghezza) ma estremamente leggeri e maneggevoli che hanno garantito rapidità di posa con piccoli mezzi di sollevamento. Particolarità di questo progetto risiede nelle forme irregolari dei 50 telai che vogliono simulare il ventre di una balena. Tali forme sono eseguite lavorando elementi massicci in legno lamellare attraverso le macchine a controllo numerico. Tale scelta garantisce la massima precisione possibile con elementi privi di asperità con un risultato finale sinuoso e rifinito.

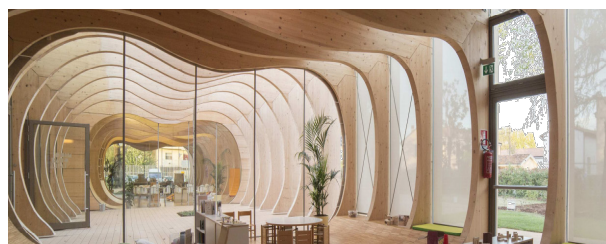


Foto dell'interno e dell'esterno de la "Balena" di Moreno Maggi .(<https://www.mcarchitects.it/project/nido-d-infanzia-la-balena>)

Descrizione progetto

Da 120 anni la scuola professionale agricola e forestale Grabnerhof di Admont, in Austria, fornisce ai propri allievi una preparazione completa sui temi della gestione dei pascoli, della silvicoltura, dell'allevamento di montagna e della vendita diretta dei prodotti agricoli. Su un'area di 3.125 m² è stato realizzato un nuovo complesso di stalle formato da due blocchi distinti, che sostituiscono i sei precedenti e ospitano 170 bovini, 40 pecore e agnelli e 30 capre da latte. A

questi fabbricati sono stati aggiunti un centro visite e un ambulatorio. Le nuove strutture soddisfano i principi più rigorosi della zootecnia biologica. Il rivestimento delle pareti della stalla è in doghe di larice. Nel centro visite sono stati impiegati i classici elementi per pareti prefabbricati in stabilimento. La copertura provvista di tavolato non levigato, membrana, listellatura e controlistellatura è predisposta per l'eventuale applicazione in futuro di un rivestimento in metallo.



Foto dell'interno e dell'esterno del progetto. (<https://www.rubner.com/it/holzbau/referenze/referenza/scuola-professionale-grabnerhof-admont-at/>)

Descrizione progetto

L'edificio, che si sviluppa su tre piani, consiste in un atrio d'ingresso a tre navate con 48 banchi check-in aumentabili a 74, la più grande area duty free degli aeroporti delle Filippine, un centro termale, ristoranti, bar e molto altro ancora. Le altre ali dell'edificio, che si allineano ai lati della prima e forniscono l'accesso ai gate, completano il tetto ondulato, simbolo dei marosi che si frangono sulle coste di Mactan. Il settore arrivi è posto al piano terra e al secondo piano, il settore partenze al primo piano. In tutto il terminal i materiali naturali la fanno da padroni: ad esempio, sulle pareti degli impianti sanitari, oltre a varie essenze legnose, è stato applicato del muschio italiano, mentre il pavimento in pietra lucida con scintillanti inserti in madreperla vuole richiamare la sabbia delle soleggiate spiagge di Cebu. Per garantire l'unità della forma, la struttura è presentata come un gesto strutturale unico nel legno. Le celle della struttura formano una maglia apparentemente arbitraria e si moltiplicano per aumentare il supporto nelle aree in cui la struttura è più sollecitata secondo le linee di forza. Sono le stesse celle - lo stesso materiale - che formano il cantilever dell'ingresso, il tetto del terreno interno e la superficie dei futuri livelli esterni.

Una particolarità della costruzione è che

in tutta l'Asia non c'è nessun altro edificio aeroportuale con struttura portante e copertura completamente in legno. Sono stati necessari 4.500 m³ di legno lamellare per realizzare la struttura portante ondulata del tetto a botte, di grande impatto architettonico sia all'esterno che all'interno, alta 15 m e con una campata di 30 m realizzato mediante due mezze travi ad arco lunghe 23 metri.

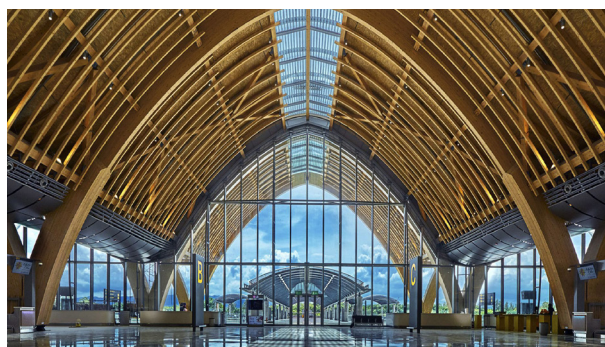


Foto dell'interno e dell'esterno del progetto. <http://www.ida-hk.com/project/mactan-cebu-international-airport-terminal-2/>

b. Cross-lam (Cross Laminated Timber)


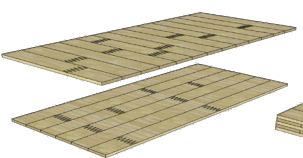

KLH®, BSP, CLT, X-LAM. (Sistema lineare)

Descrizione dell'elemento:

I pannelli X-LAM, in inglese CLT (Cross Laminated Timber), sono pannelli di legno massiccio a strati incrociati, composti da più strati di lamelle (o tavole), sovrapposti e incollati uno sull'altro in modo che la fibratura di ogni singolo strato sia ruotata nel piano di 90° ri-

spetto agli strati adiacenti. I singoli strati sono realizzati in tavole di legno di conifera, essiccate e selezionate, come per la maggior parte degli elementi strutturali in legno dove viene impiegato l'abete, in prevalenza abete rosso.

Dimensione dell'elemento

Assemblaggio pannello:	Prima fase Selezione lamelle	Seconda fase Assemblaggio Strati	Terza fase Assemblaggio Pannello
			
Lunghezza parete:	< 22 m		
Larghezza:	60 ÷ 320 mm		
Altezza:	< 2950 mm		

Caratteristiche tecniche

Norma di riferimento	prEN 16351, 89/106CEE,
Essenza	Conifere: abete-abete rosso.
Lavorazione	parallelo, piallato su tutti i lati, spigoli
Lamelle dimensioni	Spessore 19÷40 mm, larghezza 80 ÷ 260 mm
Incollaggio	colla
Qualità	Industriale o a Vista
Imballaggio	a pezzi singoli o a pacchi protetti da film

Aziende produttrici

DENOMINAZIONE	SEDE	SITO
Binderholz	Bettona (PG)	www.binderholz.com
Abete Project	Bolzano	www.abeteproject.com
X-Lam Dolomiti S.r.l.	Castelnuovo (TN)	www.xlamdolomiti.it
Biolam Italia S.r.l.	Roma	www.xlam-italia.com

Progetti realizzati con sistema lineare Cross-Lam

Tipologia:	Progettisti:	Fine lavori:	Ubicazione:
Store Del Lusso	P+P Studio – Arch. Ermanno Previdi	2015	Reggello (FI)
Edificio Residenziale Multipiano	Waugh Thistleton Architects, Londra	2009	Londra (Re- gno Unito)
HoHo Vienna	Rüdiger Lainer + Partner Architekten ZT GmbH	2018	Vienna (Austria)

Descrizione progetto

Il complesso è costituito da sei fabbricati di forme diverse. Grazie alla progettazione dettagliata di tutti gli elementi e dei giunti rigidi delle travi a ginocchio è stato possibile ottenere ampi spazi liberi senza alcun ingombro di pilastri, un risultato valorizzato dall'illuminazione interna studiata in modo da permettere la massima flessibilità e libertà di allestimento. Le pareti sono state realizzate con pannelli X-Lam, mentre le coperture sono state eseguite in legno lamellare, completate con pannelli universali

di rivestimento.

ELEMENTI PREFABBRICATI: 1650 m² per la copertura (dimensione massima 2,50 m x 16,50 m), ELEMENTI PER PARETI ESTERNE: 1.380 m² (spessore 12 cm), ELEMENTI PER PARETI INTERNE: 500 m² (spessore 8 cm e 12 cm), ELEMENTI DI SOLAIO 90 m² (spessore 14 cm), LEGNO LAMELLARE: circa 90 m³ (dimensione massima: 160/1.659 mm e 240/1.294 mm).



Foto dell'interno e dell'esterno del progetto. <https://www.rubner.com/it/holzbau/referenze/referenza/store-del-lusso-reggello-fi-ita/>



Descrizione progetto

Gli elementi delle pareti e delle solette formano la struttura portante, di cui sono parte integrante anche le pareti longitudinali e trasversali all'interno dei singoli piani. Gli elementi delle solette, con il loro spessore di 14,60 cm, vengono collegati fra loro sul battente perimetrale, formando così, grazie ai giunti con viti inclinate, dei pannelli continui che garantiscono l'irrigidimento orizzontale della struttura. Secondo le norme costruttive britanniche, nel caso di edifici multipiano si deve evitare che, nel caso di collasso di singoli elementi strutturali, più del 10 % del soffitto di un piano crolli. I certificati statici richiesti sono stati stilati sotto forma di calcoli singoli per tutti gli elementi portanti. Ne risulta una serie di dettagli costruttivi, come ad esempio gli angoli d'acciaio che fissano le pareti alla parte inferiore delle solette e, contemporaneamente,

le appendono verso l'alto. Un'ulteriore sfida è data dai vani per gli ascensori, che sono posizionati in maniera libera all'interno della struttura portante della costruzione. Questi elementi di legno massiccio XLAM, alti fino a 11,50 m, creano una struttura autoportante. I giunti delle pareti verticali di questi elementi sono sfasati rispetto alla posizione delle solette, in modo da aumentare la stabilità globale della struttura. Per separare acusticamente l'ascensore ed ammortizzarne le vibrazioni, le pareti sono state realizzate con pannelli di XLAM doppi, separati da un pannello di cartongesso. Pareti e pianerottoli dei vani scala sono a loro volta realizzati con pannelli XLAM. Le rampe delle scale, invece, sono state realizzate con elementi di acciaio cavi che, dopo essere stati montati, sono stati riempiti di calcestruzzo.



Foto di Sissi Slotover-Smutny, Kurt Zweifel raffiguranti l'interno e l'esterno del progetto. <https://www.promolegno.com/materialelegno/materialelegno-02-la-sostenibile-leggerezza-del-legno/legno-in-the-city>



Descrizione progetto

Guardando HoHo Vienna dall'esterno, che ricorda enormi blocchi di legno con una corteccia d'albero come facciata; la naturalezza e, soprattutto, la visibilità delle superfici in legno all'interno, fanno parte dell'idea centrale per i miglioramenti aggiuntivi evidenti e la nuova esperienza tangibile dell'elemento di legno, nella più alta struttura in legno del mondo grattacielo. HoHo Vienna non è solo visivamente accattivante, ma dimostra anche creatività quando si tratta di utilizzare lo spazio. La struttura modulare dell'ufficio consente l'individualità e può essere modificata in qualsiasi momento, trasformandola senza grandi sforzi. I 24 piani e circa 84 metri di altezza, le esigenze di un uso efficiente, la protezione antincendio e una pianificazione intensiva sono particolarmente sensibili al piano. Il

sistema di costruzione volutamente semplice utilizza l'impilamento di quattro componenti seriali prefabbricati: colonne, travi principali, lastre di coperta ed elementi di facciata. La superficie di base dei controsoffitti in legno compositi, che si basano su supporti in legno nello strato di facciata finale, sono fissati alla struttura portante del cemento armato. I supporti di legno, a loro volta, formano un elemento di montaggio comune con i moduli di parete esterna prefabbricati in legno massello, così come la pannellatura esterna isolata in "toni terrosi". HoHo Vienna è in costruzione secondo il sistema di valutazione TQB (Total Quality Building) dell'ÖGNB. In questo modo la qualità della struttura in legno è documentata e certificata in tutte le fasi, dalla pianificazione, alla costruzione, all'uso.



Foto di Sissi Slotover-Smutny, Kurt Zweifel raffiguranti l'interno e l'esterno del progetto. <https://www.promolegno.com/materialelegno/materialelegno-02-la-sostenibile-leggerezza-del-legno/legno-in-the-city>



c. LVL "MICROLAMELLARE" (laminated veneer lumber, kerto, baubuche)

Sistema a telaio e lineare

Descrizione dell'elemento:

Il microlamellare (o LVL) è un legno ricomposto, la lavorazione prevede la produzione di fogli sottili dello spessore di 3 mm dopo la fase di pressatura. Dopo una selezione dei fogli, vengono tagliati in strisce incollate e pressate a caldo., disponibile con larghezze standardizzate variabili tra 80 e

220 mm e lunghezze fino a 30.00 m circa. Per quanto attiene la conformazione superficiale, questa è in gran parte dipendente dall'essenza legnosa utilizzata. Le caratteristiche meccaniche delle travi in micro lamellare sono le stesse degli elementi in legno lamellare ridotti del 20%.

Dimensione dell'elemento

Assemblaggio pannello:	
Lunghezza pannello:	< 30 m
Larghezza:	40 ÷ 250 mm
Altezza:	< 1820 mm

Caratteristiche tecniche

Norma di riferimento produzione	UNI EN14080 :2005 ,UNI EN 14374:2005
Essenza	Conifere: abete, abete rosso, pino radiato. Latifoglie: pioppo.
Lavorazione	parallelo, piallato su tutti i lati, spigoli
Fogli spessore	Spessore 20 ÷ 30 mm
Incollaggio	colla e pressatura a caldo
Qualità	Industriale o a Vista
Imballaggio	A pacchi protetti da film

Aziende produttrici

DENOMINAZIONE	SEDE	SITO
Pollmeier	Creuzburg(Germania)	www.pollmeier.com
Marlegno	Bergamo (BG) Italia	www.marlegno.it
Nordtex	Chiusa (BZ) Italia	www.nordtex.it
Wood Beton	Iseo (BS) Italia	www.woodbeton.it

Progetti realizzati con sistema lineare Cross-Lam

Tipologia:	Progettisti:	Fine lavori:	Ubicazione:
Scuola di Scii	Plan Checrouit, 1709 m,	2015	Courmayeur, (AO)
Falegnameria Anton Mohr	Andreas Mohr Studio, Vienna	2015	Joinery Mohr, Andelsbuch (Austria)
Ampliamento Scuola Europea	NKBAK, Francoforte sul Meno	2012	Francoforte sul Meno

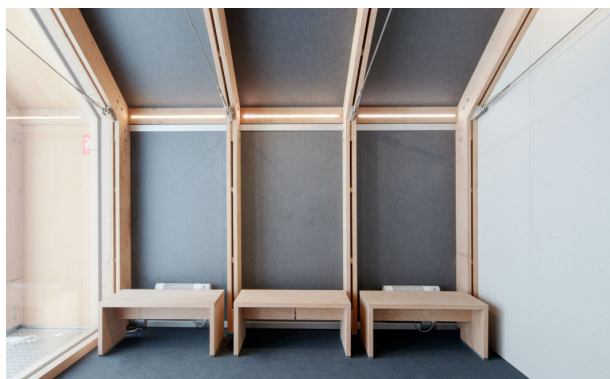
Descrizione progetto

Nel comprensorio sciistico di Courmayeur, situato sulle Alpi italiane, la ditta LEAPfactory ha realizzato la nuova sede della scuola di sci e snowboard. I requisiti richiesti all'edificio erano elevati: doveva essere facile da installare, realizzato in materiali riciclabili e soddisfare tuttavia anche esigenze di ordine architettonico. E il risultato è ben riuscito. Grazie al sistema costruttivo LEAPs3 e al suo elevato grado di prefabbricazione, la realizzazione della scuola di sci ha richiesto una sola settimana lavorativa. Per la costruzione dell'elegante struttura in legno. Non è stata quindi solo la qualità estetica dei colori e delle superfici a essere decisiva, ma anche e soprattutto

l'elevata capacità di carico del materiale, che ha consentito l'uso di sezioni di materiale notevolmente inferiori rispetto al tradizionale legno lamellare. Un risparmio di materiale particolarmente vantaggioso, considerando che esso doveva essere trasportato a 1700 m di quota. Mentre la facciata in vetro ha dovuto essere trasportata per elicottero, gli altri componenti hanno potuto essere trasferiti a Plan Checrouit con un camion a quattro ruote motrici. La struttura poggia su fondazioni ridotte al minimo: un telaio di legno riempito con ghiaia. In tal modo tutti gli elementi del progetto sono scomponibili e possono essere nuovamente rimontati in un'altra ubicazione in qualsiasi momento.



Foto di Francesco Mattuzzi raffiguranti l'interno e l'esterno del progetto. <https://divisare.com/projects/281018-stefano-girodo-luca-gentilcore-leapfactory-corrado-curti-leaps3-scuola-sci-e-snowboard-courmayeur>



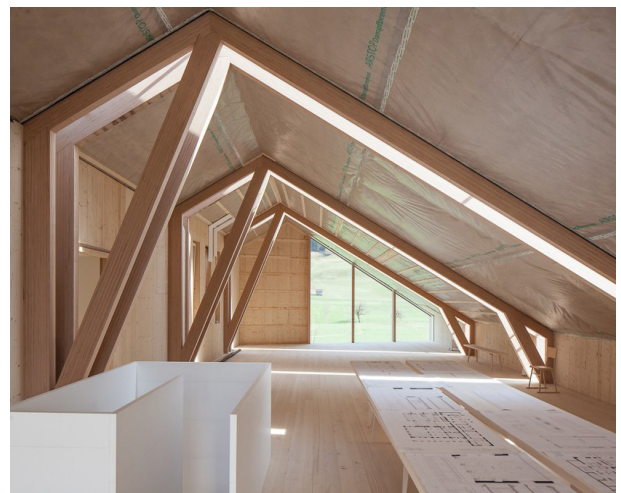
Descrizione progetto

Essendo un piccolo edificio commerciale il nuovo edificio si confonde con l'edificio esistente. Il linguaggio formale modellato nella forma di base del corpo esistente, il tetto dell'edificio è un timpano. Gli slot di vetro continue corrono sulla parete e le capriate del tetto con una doppia fenditura, così da consentire un'illuminazione sia al piano terra, che al piano superiore. Con questa struttura in legno di nuova costruzione, la falegnameria ha realizzato un ampliamento di 200 m² agli edifici già esistenti della sua attività. Il piccolo fabbricato aziendale comprende un'officina e una sala espositiva. Le forme sono pulite e slanciate, ma esaltate dal caratteristico rivestimento delle pareti e del tetto con assicelle di legno. Le fessure in vetro che attraversano il tetto

e le pareti tra le doppie capriate da un lato sottolineano la volontà creativa del progettista e dall'altro consentono un'illuminazione neutra e di ottima qualità sia al piano terra della zona officina, sia della sala espositiva del sottotetto. All'esterno la nuova costruzione è protetta da una copertura in legno grezzo, mentre all'interno la pannellatura in legno rivestito, ma soprattutto la struttura portante in travi LVL GL70, donano all'oggetto un carattere moderno e raffinato, creando un ambiente tranquillo per l'esposizione delle opere in legno fabbricate dalla falegnameria. Grazie alla raffinata e leggerissima struttura in legno, il progetto ha vinto il premio per le costruzioni in legno Vorarlberger holzbau_kunst nella categoria "Edifici commerciali".



Foto raffiguranti l'interno e l'esterno del progetto. <http://www.andreamohrstudio.com/>



Descrizione progetto

L'ampliamento costruito con struttura modulare in legno si distingue per l'elevato grado di prefabbricazione e i brevi tempi di costruzione, minore inquinamento acustico e da polveri, nonché il perfetto adattamento alle esigenze di spazio. Grazie a stanze modulari senza pareti longitudinali è stato possibile configurare la pianta molto liberamente. Le travi lasciate a vista, i pilastri e le pareti in compensato multistrato in combinazione con i lati frontali occupati da superfici a vetro fino a terra danno vita alle classi dall'ambiente luminoso e accogliente. Rispetto alle tradizionali costruzioni in legno lamellare. Grazie anche al bilancio positivo di CO₂ dei moduli in legno, la Scuola Europea si qualifica come prototipo esemplare per i sistemi di costruzione modulare. L'ampliamento della scuola ha vinto nel 2015 il primo premio al Concorso dell'Edilizia in

Legno della regione di Hessen e gli architetti stanno lavorando già all'ordine successivo – naturalmente ancora con legno modulare. L'edificio temporaneo della Scuola Europea è stato realizzato riunendo insieme moduli di diverse grandezze. Con 3 m di larghezza, i moduli sono ottimizzati nelle dimensioni ideali per il trasporto e possono essere combinati per ottenere aule scolastiche di ca. 80 m² o bagni o locali attigui di dimensioni più piccole. La costruzione di base è in compensato multistrato di legno di abete ed è racchiusa da un'intelaiatura in LVL (travi e pilastri). Grazie alla portata elevata delle travi di soli 560 mm di altezza, è stato possibile realizzare campate fino a 9 m di ampiezza senza l'impiego di pilastri. E grazie all'estetica peculiare di BauBuche non è stato necessario nascondere costruttivamente le travi, ma sono rimaste a vista.



Foto raffiguranti l'interno e l'esterno del progetto. <https://ita.architecturaldesignschool.com/european-school-frankfurt-53721>





d . COMPENSATO (plywood)

Sistema lineare

Descrizione dell'elemento:

Il compensato è un semilavorato a strati di legno sfogliato dal tronco dell'albero. Appartiene alla grande classe dei pannelli stratificati o multistrati (i pannelli che hanno più di 3 strati). Il procedimento per ottenere pannelli di legno compensato consiste infatti nello "sfogliare" il tronco d'albero con un apposito tornio in grado di tagliare uno strato molto sottile di legno (1-3 mm), incollando poi i fogli fra loro in modo da "incrociare le venature".

L'incrocio delle venature fa sì che le caratteristiche meccaniche del legno, tipicamente unidirezionali, vengano "compensate" in una direzione ortogonale, da cui il nome. Questo incrocio fa sì che la resistenza del materiale sia uniforme in tutte le direzioni. spessori standard per il compensato a uso strutturale sono compresi tra 12 e 24 mm. La larghezza dei pannelli può variare indicativamente da 125 a 185 cm, mentre la lunghezza può variare da 185 a 254 cm.

Dimensione dell'elemento

Assemblaggio pannello:	
Lunghezza pannello:	1850 ÷ 2540 mm
Spessore:	12 ÷ 24 mm
Larghezza:	1250 ÷ 1850 mm

Caratteristiche tecniche

Norma di riferimento produzione	EN 314:2005, EN 635-2:1996, UNI EN 636:2015, UNI EN 12369-2:2011, UNI EN 313-1:1997, UNI EN 313-2:2000, UNI EN 13986.
Essenza	Abete, betulla, pioppo. Comp. marino: Faggio, Teak, Okoume.
Lavorazione	esfoliato e pressato a caldo
Fogli spessore	Spessore 3 mm
Incollaggio	Resine sintetiche (per interni), Resine fenoliche (per esterni resistenti all'acqua).
Qualità	Industriale o a Vista
Imballaggio	A pacchi protetti da film

Aziende produttrici

DENOMINAZIONE	SEDE	SITO
OBI	Latina (Italia)	www.obi-italia.it
Leroymerlin	Lilla (Francia)	www.leroymerlin.it
Villadefendente	Lissone (MB) Italia	www.villadefendente.it
San Giorgio s.p.a.	Villanterio (PV) Italia	www.sangiorgiospa.com

Progetti realizzati con sistema lineare Cross-Lam

Tipologia:	Progettisti:	Fine lavori:	Ubicazione:
Casa in compensato	Herzog & de Meuron	1985	Bottmingen, Svizzera

Descrizione progetto

Dopo la sua fondazione, nel 1975, lo studio fatto da architetti svizzeri Jacques Herzog (1950-) e Pierre de Meuron (1950-) ha visto il suo lavoro si è evoluto in diverse discipline e tipologie di progetti ottenendo numerosi premi e riconoscimenti per diventare una delle più potenti élite dell'architettura nel panorama architettonico attuale. Combinare opinioni e critiche professionali soprattutto nei lavori che hanno avuto luogo nei loro primi due decenni di lavoro comune; progetti come il magazzino di Ricola AG a Laufen o l'attuale casa di legno a Basilea sono stati alcuni dei primi scorcii del binomio degli architetti svizzeri. Prendendo come ordine l'ampliamento di un edificio residenziale nella città di Bottmingen, trama in cui dovrebbero essere rispettati per quanto possibile la riserva del parco e del giardino intorno ad essa e la posizione di un vecchio albero di paulownia; la soluzione proposta mira rapporto visivo diretto dell'edificio esistente e il nuovo volume realizza-

to seguendo un leggero sistema costruttivo ballon telaio può essere integrato nel solare, evitando la necessità di nuove fondazioni e richiamare costruzione tradizionale giapponese. La situazione della scatola luminosa, realizzata in compensato su doppie travi di legno per risolvere e separare la consegna con il terreno, è il più vicino possibile all'albero unico in modo che la geometria della facciata sud sia piegata, rendendo evidente la relazione tra l'estensione stessa e gli elementi preesistenti. Risolvendo articolazioni strutturali tra gli elementi in modo articolato, sia gli spazi interni che quelli esterni sono risolti in pannelli di compensato, sia in legno di betulla, all'interno; o legno tropicale okume, sulle pareti esterne. La disposizione a un'estremità delle aree di servizio e la definizione di una prima area di accesso precedente consentono all'ampio spazio unico di essere l'ambiente principale e in relazione al giardino esterno dell'intero intervento.

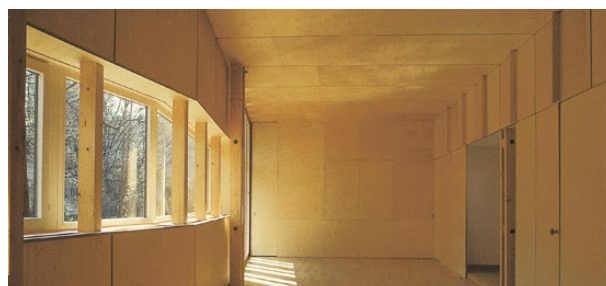


Foto raffiguranti l'interno e l'esterno del progetto. <https://www.floornature.it/herzog-de-meuron-78/>



e. OSB(oriented strand board), LSL (Laminated Strand Lumber: Intrallam, Parallam...)

Sistema lineare

Descrizione dell'elemento:

Oriented strand board (in italiano: “Pannello di scaglie orientate”) abbreviato OSB, è una tipologia di pannello realizzato a partire da legno vergine, ottenuto mediante incollaggio e compressione di scaglie/lamelle di legno di forma irregolare. Fu inventato da Armin Elmendorf in California nel 1963. L'OSB può avere una superficie ruvida e variegata con le singole strisce di circa 2,5 cm × 15 cm, disposte in modo irregolare l'una dall'altra e di diverse tipologie e spessori. Si tratta di

pannelli con una densità piuttosto elevata di circa 600 ÷ 660 kg/m³. Esistono 4 tipi di OSB:

OSB 1, sono pannelli per uso generale, non strutturale e per allestimento di interni (mobili inclusi) ambiente privo di umidità. OSB 2, pannelli portanti, adatti ad un ambiente secco (di solito si usano per imballi, pedane, espositori fieristici). OSB 3, adatti all'uso strutturale in ambienti umidi grazie all'impiego di un collante apposito. OSB 4, sono pannelli portanti per uso strutturale, resistenti e adatti agli ambienti umidi.

Dimensione dell'elemento

Assemblaggio pannello:	
Altezza pannello:	2500 ÷ 5000 mm
Spessore:	9 ÷ 40 mm
Larghezza:	1250 ÷ 2500 mm

Caratteristiche tecniche

Norma di riferimento produzione	UNI EN 300:2006.
Essenza	abete, pino.
Lavorazione	parallelo, piallato su tutti i lati,
Fogli spessore	Spessore 3 mm
Incollaggio	Resine sintetiche (per interni), Resine fenoliche (per esterni resistenti all'acqua).
Qualità	Industriale o a Vista
Imballaggio	A pacchi protetti da film

Aziende produttrici

DENOMINAZIONE	SEDE	SITO
Berardengo Legnami	Torino (Italia)	www.berardengolegnami.it
Kronospan	Tagliamento (PN) Italia	www.kronospan-express.com
Egger	Sankt Johann in Tirol (Austria)	www.egger.com
Swisskrono	Menzna (Svizzera)	www.swisskrono.de

Prevalentemente usati per irrigidire le strutture finiture intere e mobilio



f. PANNELLO DI PARTICELLE (truciolato, Particleboard)

Sistema lineare

Descrizione dell'elemento:

Truciolato, o truciolare, pannelli in fibra di legno composti di trucioli risultanti dallo scarto delle normali lavorazioni del legno. I trucioli vengono impastati con materiali leganti e quindi pressati per produrre i pannelli; i pannelli ottenuti possono essere di diversi tipi a seconda del tipo di truciolo. Alle colle possono inoltre essere addizionati agenti idrofobizzanti, fungicidi, ignifughi, ecc. Sono caratterizzati da una struttura a più strati oppure da quella che si definisce "a granulometria variabile continua". In genere, i trucioli più fini sono disposti preferibilmente nella parte esterna del pannello mentre quelli più grossi nella parte interna, senza un orientamento preciso. Vengono fabbricati

tramite pressatura a caldo in processi continui. LDF (Low density Fiberboard): questa fibra di legno è a bassa densità e ha molti vuoti d'aria all'interno. Solitamente chiamato anche truciolare o panforte questa fibra è la meno pregiata e anche la più veloce e facile da produrre. In questo caso le materie prime non sono raffinate e i granuli utilizzati sono di spessore fino a 0,8mm. Utilizzo di collanti maggiori per riempire riempire le porosità. La densità del materiale è indicativamente intorno ai 550-650kg/m³, in base alla tipologia di legno utilizzato. La densità va a determinare la resistenza del materiale alla compressione, all'umidità, all'applicazione dei carichi e alla conduzione termica.

Dimensione dell'elemento

Assemblaggio pannello:	
Altezza pannello:	< 2070 mm
Spessore:	5 ÷ 50 mm
Larghezza:	2800 ÷ 5610 mm

Caratteristiche tecniche

Norma di riferimento produzione	EN 622-4, EN 316, EN 13986, EN 1058, EN 1995-1-1/2, ÖNORM B 1995-1-1/2, EN 13171, EN 13501-1
Essenza	Conifere
Lavorazione	triturato ed estruso
Fogli spessore	granuli da 0,8 mm
Incollaggio	Colle e pressaggio a caldo
Qualità	Industriale a vista o rivestito
Imballaggio	A pacchi protetti da film

Aziende produttrici

DENOMINAZIONE	SEDE	SITO
Berardengo Legnami	Torino (Italia)	www.berardengolegnami.it
Kronospan	Tagliamento (PN) Italia	www.kronospan-express.com
Villadefendente	Lissone (MB) Italia	www.villadefendente.it
Gruppo Mario Saviola	Viadana (MN) Italia	www.grupposaviola.com

Prevalentemente usati per irrigidire le strutture finiture intere e mobilio

g. HDF - PANNELLO DI FIBRE AD ALTA DENSITA' (Fibreboards,hard)

Sistema lineare

Descrizione dell'elemento:

Pannelli di fibra ad alta densità (LDF,MDF,HDF), sono ottenuti dalla ricomposizione di materiale particolato di legno miscelato con colle ureiche, melamminiche o fenoliche, indurenti, pressati a caldo e rivestiti in piallaccio o laminato plastico. Si utilizzano soprattutto gli scarti di legno di conifera, perchè meno pregiato e con presenza maggiore di resina naturale. Grazie al loro comportamento visco-elastico, le tavole possono essere modellate durante la lavorazione e sono possibili piegature con un raggio inferiore a 25 cm. Vengono prodotti pannelli lineari di diverso spessore, formato e qualità della fibra. Tale materiale ha molteplici proprietà, tra cui isolanti, acustiche e termiche.

HDF (High density Fiberboard): questa fibra di legno è ad alta densità e non ha alcuni vuoti d'aria all'interno. Solitamente utilizzato per fare pavimenti in laminato, mobili di alta qualità, pannelli isolanti. Questa fibra è la miglior qualità che si può raggiungere con una fibra di legno, ma un po' più lenta da produrre. A differenza dell'MDF questa fibra è molto più raffinata e i granuli hanno spessore bassissimo, cioè fino 0,1mm. Utilizzo di collanti minore dell'MDF. La densità del materiale è indicativamente intorno ai 800-1050kg/m³, in base alla tipologia di legno utilizzato. La densità va a determinare la resistenza del materiale alla compressione, all'umidità, all'applicazione dei carichi e alla conduzione termica. La masonite è un particolare pannello di HDF.

Dimensione dell'elemento

Assemblaggio pannello:	
Altezza pannello:	2800 mm
Spessore:	3,2 ÷ 8 mm
Larghezza:	2070 mm

Caratteristiche tecniche

Norma di riferimento produzione	EN 622-2, EN 316, EN 13986, EN 1058, EN 1995-1-1/2, ÖNORM B 1995-1-1/2, EN 12369-1, EN 13501-1
Essenza	Conifere
Lavorazione	triturato ed estruso
Fogli spessore	granuli da 0,1 mm
Incollaggio	Colle e pressaggio a caldo
Qualità	Industriale a vista o rivestito
Imballaggio	A pacchi protetti da film

Aziende produttrici

DENOMINAZIONE	SEDE	SITO
Costantia Industry	Wien, Austria	www.fundermax.at
Kronospan	Tagliamento (PN) Italia	www.kronospan-express.com
Berardengo Legnami	Torino (Italia)	www.berardengolegnami.it
EFM Legno	Castellalto (TE)	www.efmlegno.it

Prevalentemente usati per irrigidire le strutture finiture intere e mobili

h. MDF - PANNELLO DI FIBRE A MEDIA DENSITA (Fibreboards,medium)

Sistema lineare

Descrizione dell'elemento:

MDF (Medium density Fiberboard): questa fibra di legno è a media densità e ha alcuni vuoti d'aria all'interno. A differenza del truciolare questa fibra è più raffinata e i granuli hanno spessore minore, cioè fino 0,4mm. Utilizzo di collanti minore del truciolare. La densità del materiale è indicativamente intorno ai 650-800kg/m³, in base alla tipologia di legno utilizzato. Detto anche feltratura per via umida, differisce dal precedente in quanto

viene utilizzata l'acqua come mezzo di distribuzione delle fibre nel materasso (rendendo il processo come "estensione" del processo tecnologico della carta), e non vengono di solito impiegati leganti aggiuntivi: se le fibre lignocellulosiche contengono sufficiente lignina e se questa non si altera durante le operazioni di sfibratura (per idrolisi), la lignina stessa viene impiegata come legante, trasformandosi, sotto l'azione del calore e della pressione, in adesivo termoplastico.

Dimensione dell'elemento

Assemblaggio pannello:	
Altezza pannello:	2440 mm
Spessore:	5 ÷ 16 mm
Larghezza:	1220 mm

Caratteristiche tecniche

Norma di riferimento produzione	EN 622-4, EN 316, EN 13986, EN 1058, EN 1995-1-1/2, ÖNORM B 1995-1-1/2, EN 13171, EN 13501-1
Essenza	Conifere
Lavorazione	triturato ed estruso
Fogli spessore	granuli da 0,4 mm
Incollaggio	Colle e pressaggio a caldo
Qualità	Industriale a vista o rivestito
Imballaggio	A pacchi protetti da film

Aziende produttrici

DENOMINAZIONE	SEDE	SITO
Steico	Czarna Woda Polonia	www.steico.com
Kronospan	Tagliamento (PN) Italia	www.kronospan-express.com
Villadefendente	Lissone (MB) Italia	www.villadefendente.it
Gruppo Mario Saviola	Castellalto (TE)	www.efmlegno.it

Prevalentemente usati per irrigidire le strutture finiture intere e mobilio

Sistemi di ancoraggio

Oggetto di questo capitolo sono stati i sistemi di connessione metallici, esistenti in commercio, per strutture in legno. Le connessioni sono state ordinate in prima analisi a seconda che vengano utilizzate per ancorare elementi orizzontali o verticali. Successivamente per quanto riguarda i pilastri sono state create delle matrici righe-colonne in cui nelle righe vengono indicati gli sforzi meccanici ai quali rispondono: a compressione, trazione, taglio, momento e se hanno necessità di un'eventuale controventatura, sulle colonne invece è stato indicato se il tipo di ancoraggio ha delle cerniere regolabili, cerniere doppie, cerniere fisse o incastro a croce.



Sistema di ancoraggio a scomparsa per pilastro in legno. <https://risponde.promolegno.com/domanda/data/come-si-puo-realizzare-il-collegamento-a-terra-di-un-pilastro-in-legno-evitando-accumuli-di-umidita/index.html>

La seconda parte del capitolo è stata dedicata ai sistemi di connessioni per travi, suddivise inizialmente in sistemi a scarpa con ali esterne, con ali interne ed a scomparsa, sono state indicate le principali configurazioni possibili, e le possibili combinazioni ed ancora, indicato il tipo di supporto con combinazione legno/legno, legno/cemento, le-

gno/acciaio, legno/osb ed infine i tipo di ancoraggi fra connessione e supporto portante.



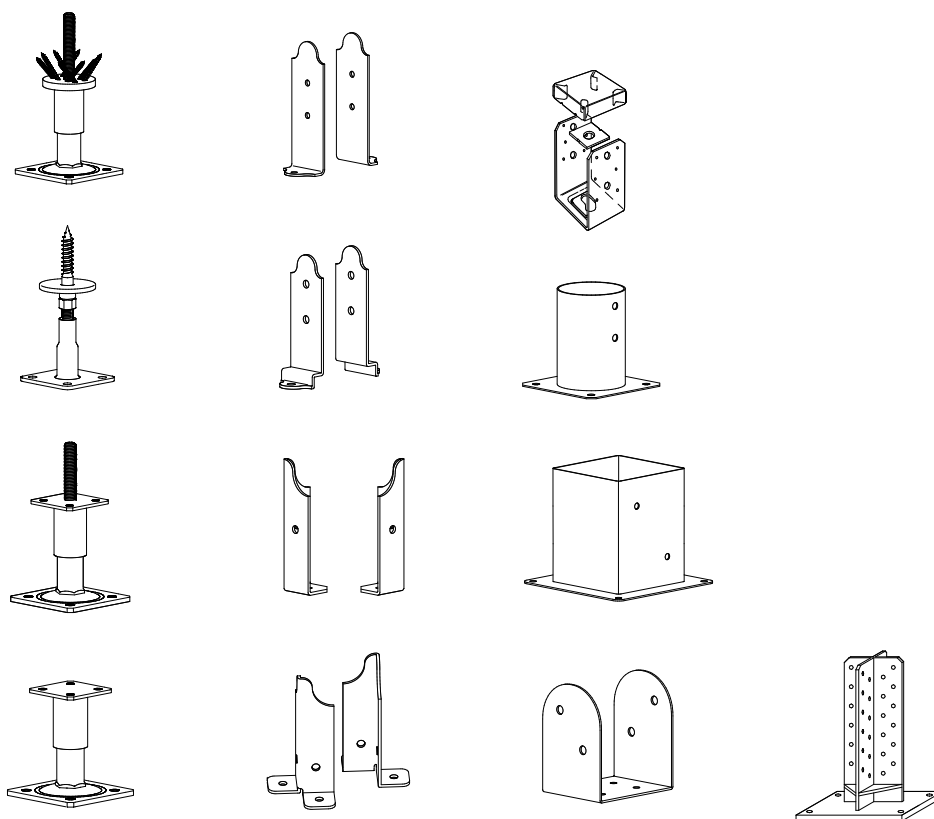
Sistema di ancoraggio a scomparsa per travi in legno. <http://www.punto-legno.it/tetti-strutture-solai/unioni-travi-portante-secondario/>

L'ultima parte del capitolo è stata dedicata ai sistemi di connessione per costruzioni in crosslam, attraverso uno schema viene descritto dove dovranno essere installati i vari sistemi di connessione contestualmente vengono descritte le varie funzioni che essi assolvono e quindi alle varie inerzie meccaniche. Nelle due pagine successive i sistemi esistenti vengono impilati in colonne e a margine è stata descritta la loro funzione. Tutti i disegni contenuti in questo capitolo quando non espressamente indicato, sono stati elaborati dall'autore.



Costruzione in cross-lam <http://www.bioediliziasardegna.com/tecniche.php?page=1>

Sistemi di connessioni per pilastri



	Montante caricato su cerniere regolabili	Montante caricato su cerniere doppie	Montante caricato su cerniere fisse	Montante caricato su incastro a croce
Compressione	X	X	X	X
Trazione	X	X	X	X
Taglio		X	X	X
Momento				X
Controventatura	X	X	X	

VINCOLO DI CERNIERA

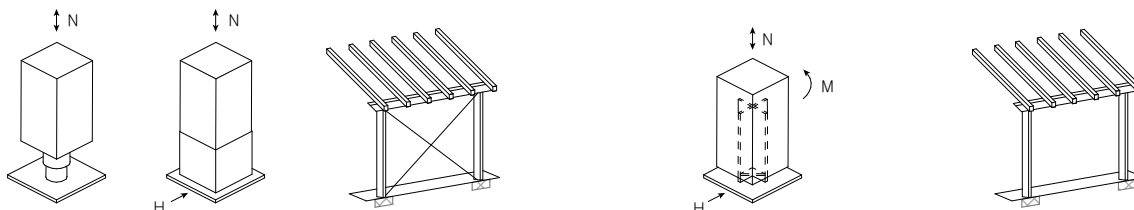
Trasferimento di sollecitazioni assiali di compressione e trazione (N) e di taglio alla base (H).

CONTROVENTATURA NON NECESSARIA

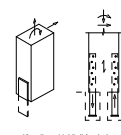
VINCOLO DI INCASTRO

Trasferimento di momento flettente (M), sollecitazioni assiali di compressione e trazione (N) e di taglio alla base (H).

CONTROVENTATURA NON NECESSARIA

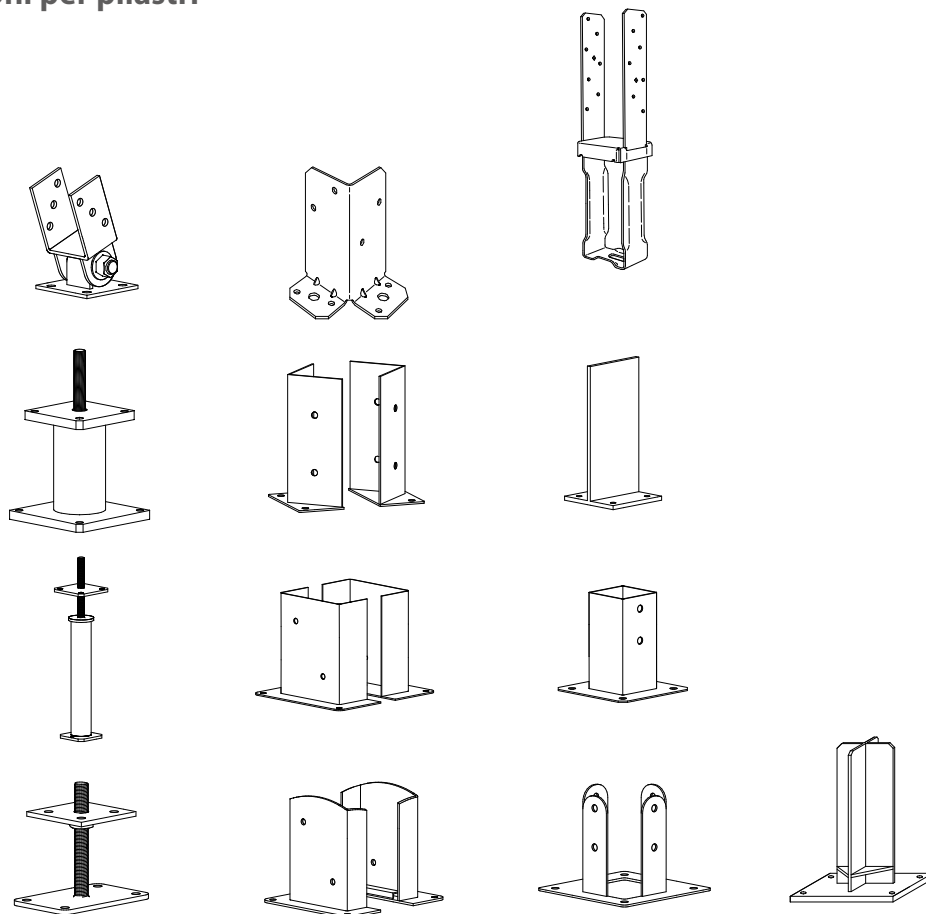


Il vincolo a terra può essere schematizzato a cerniera: al fine di permettere la rotazione le piastre dovranno essere poste il più vicino possibile all'asse del pilastro, in modo da ridurre il braccio della coppia di forze agenti. Al contrario, nel caso in cui si vogliono realizzare dei collegamenti rigidi, ossia in grado di trasmettere azioni di tipo flessionale, al fine di contrastare il più possibile la rotazione della sezione di base, le piastre metalliche dovranno essere fissate il più lontano possibile dall'asse dell'elemento. (Si veda figura al lato)



Vincoli semirigidi di fondazione

Sistemi di connessioni per pilastri

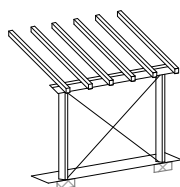
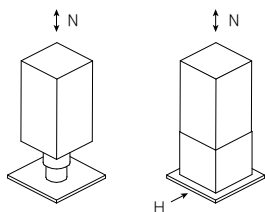


	Montante caricato su cerniere regolabili	Montante caricato su cerniere doppie	Montante caricato su cerniere fisse	Montante caricato su incastro a croce
Compressione	X	X	X	X
Trazione	X	X	X	X
Taglio		X	X	X
Momento				X
Controventatura	X	X	X	

VINCOLO DI CERNIERA

Trasferimento di sollecitazioni assiali di compressione e trazione (N) e di taglio alla base (H).

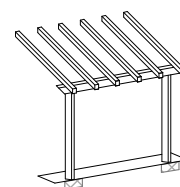
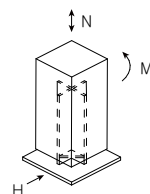
CONTROVENTATURA
NON NECESSARIA



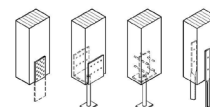
VINCOLO DI INCASTRO

Trasferimento di momento flettente (M), sollecitazioni assiali di compressione e trazione (N) e di taglio alla base (H).

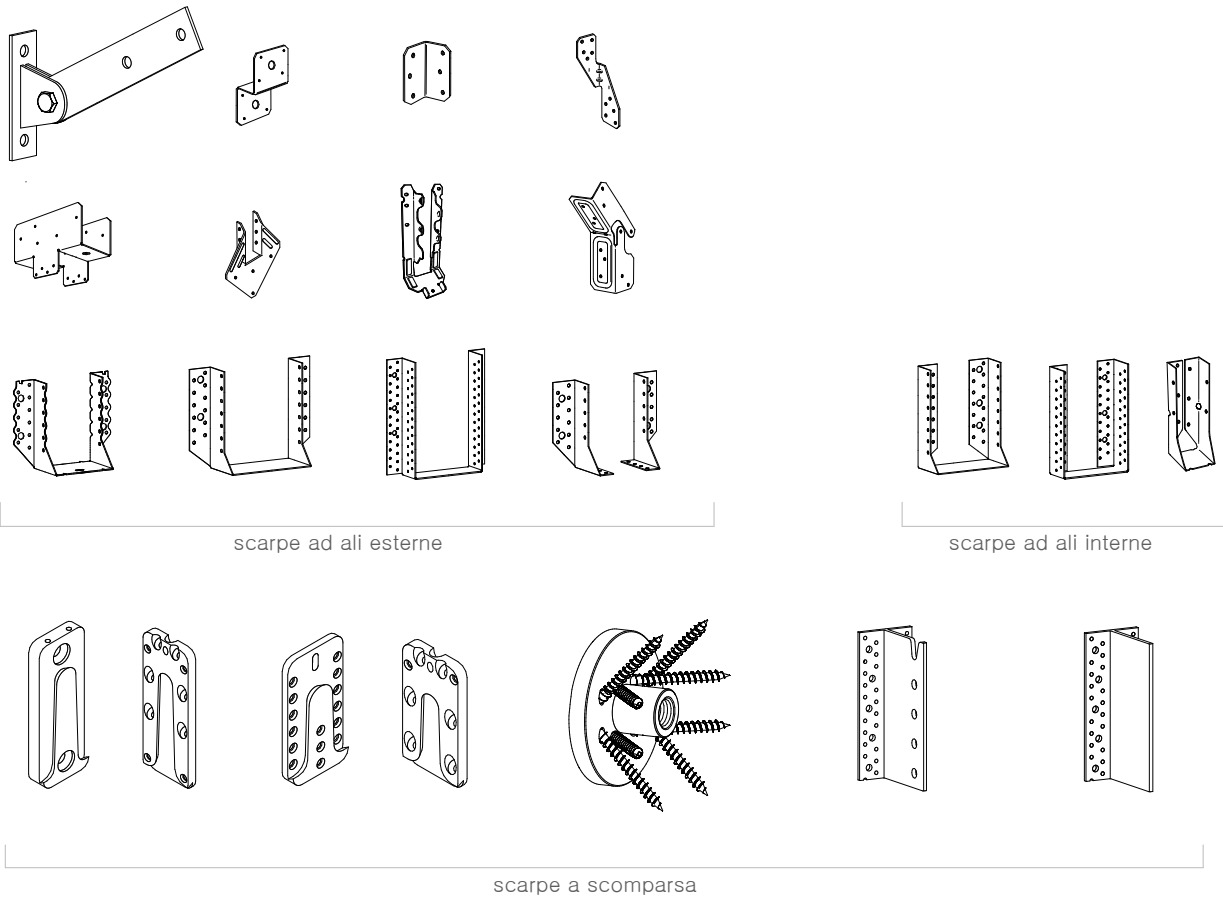
CONTROVENTATURA
NON NECESSARIA



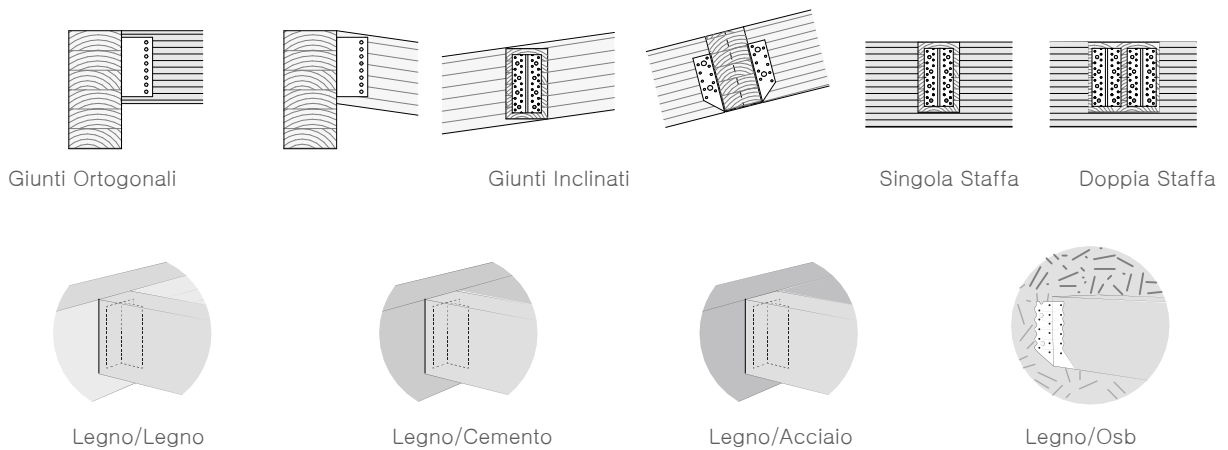
Per quanto riguarda i pilastri, il collegamento a terra è in genere realizzato mediante piastre metalliche esterne fissate alla base del pilastro ligneo tramite viti, chiodi, perni o bulloni (si veda la figura a lato). Nel caso in cui sia richiesta una resistenza al fuoco maggiore o per ragioni estetiche, si possono utilizzare piastre a scomparsa, alloggiare in fresature nel legno.



Sistemi di connessioni per travi



I valori di resistenza dipendono dalla messa in opera e dal tipo di supporto.
Le principali configurazioni sono:



Descrizione	d[mm]
chiodo anker	4
vite per piastre	5
spinotto autoforante	7
spinotto liscio	12
ancorante avvitabile	10
ancorante chimico	M8

ANGOLARI A TRAZIONE

1 PARETE – PARETE

2 PARETE – FONDAZIONE

Tali angolari vanno impiegati laddove esiste una forza puntuale di trazione, tipicamente in corrispondenza degli angoli e delle aperture, sia a terra che all'interpiano.

PIASTRE FORATE A (TAGLIO O A TRAZIONE)

5 PARETE – FONDAZIONE (TRAZIONE)

6 PARETE – PARETE (TRAZIONE)

7 PARETE – FONDAZIONE (TAGLIO)

Le piastre metalliche forate permettono di trasferire sia forze di trazione che di taglio per connessioni legno-legno e legno-cemento in funzione della tipologia impiegata.

ANGOLARI A TAGLIO

3 PARETE – SOLAIO/PARETE – PARETE

4 PARETE – FONDAZIONE

Per ogni tipologia di azione sollecitante esiste, all'interno della gamma di connettori autoforanti, la soluzione ideale per soddisfare le esigenze progettuali.

VITI AUTOFORANTI

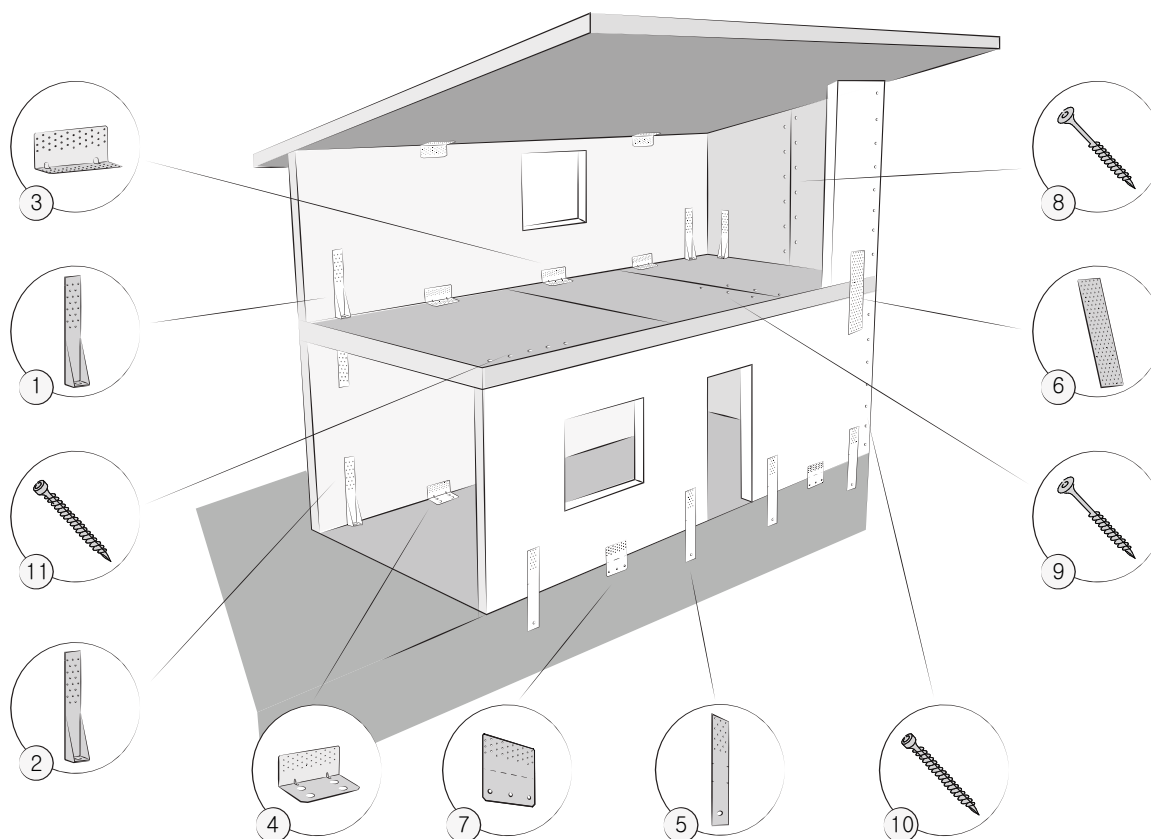
8 PARETE – PARETE

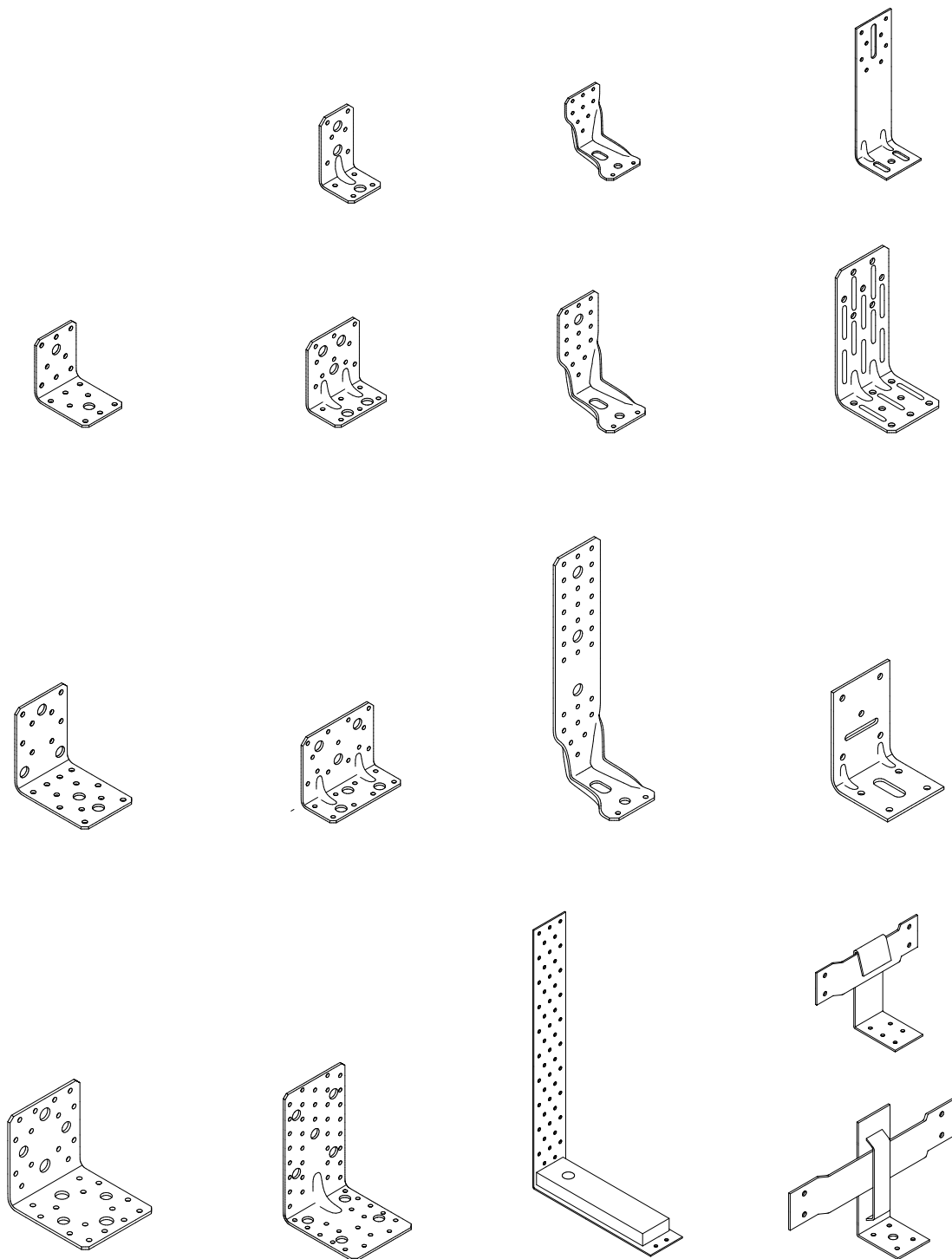
9 SOLAIO – SOLAIO

10 PARETE – PARETE D'ANGOLO

11 SOLAIO – PARETE

Per ogni tipologia di azione sollecitante esiste, all'interno della gamma di connettori autoforanti, la soluzione ideale per soddisfare le esigenze progettuali.

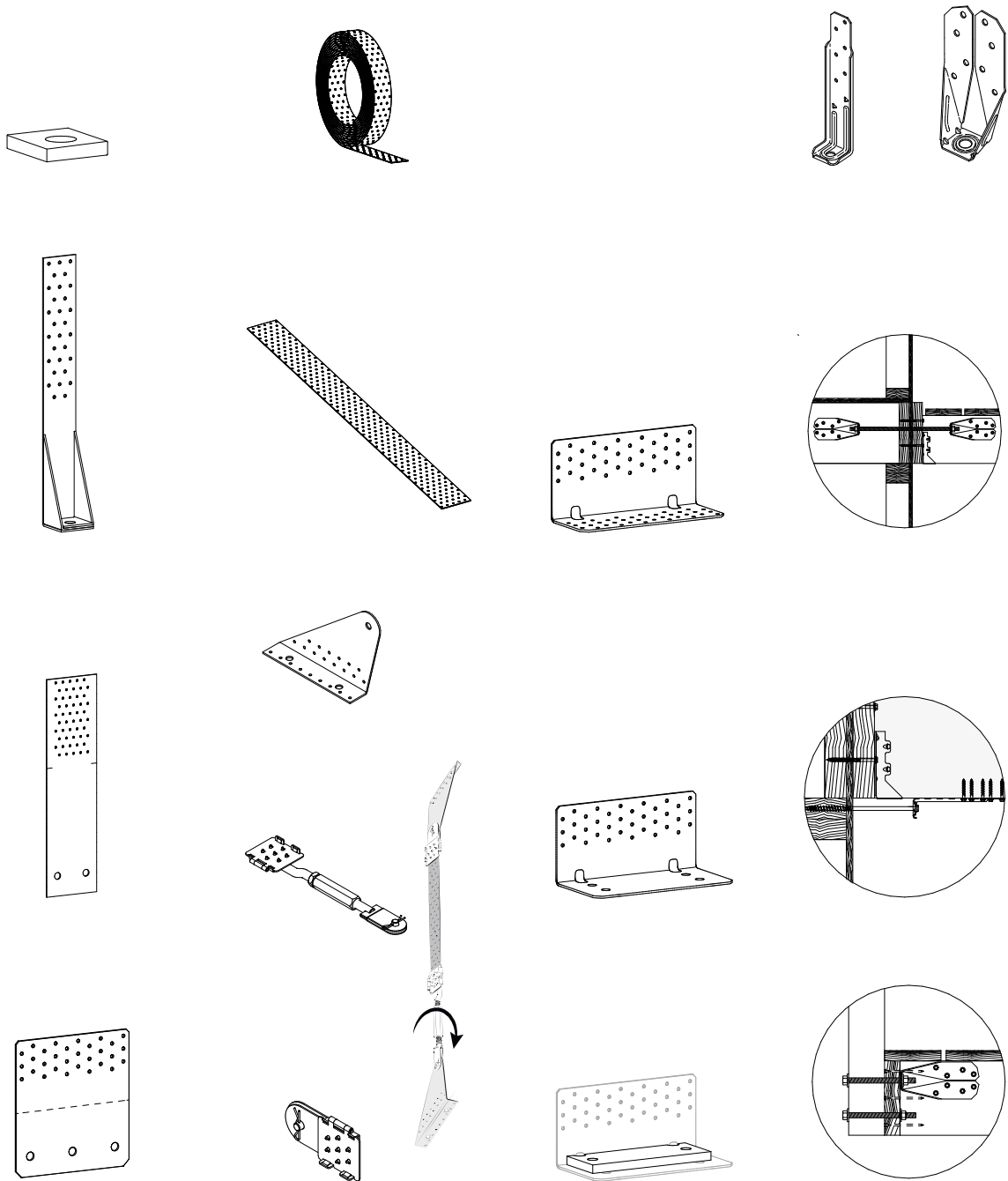




angolari senza rinforzo

angolari rinforzati

angolari per sistemi di involucro esterno



giunzioni per forze di trazione	tensori	giunzioni per forze di taglio	tensori per sistemi ballom frame e platform frame
---------------------------------	---------	-------------------------------	---

Sistemi di incollaggio

Le Colle:

usate per la produzione di legno lamellare, di XLAM e di tutti li altri materiali di legno massiccio per uso strutturale in commercio ne esistono di due tipi: quelle poliuretatiche (PUR) e quelle a base di formaldeide, che a loro volta si dividono in resine melaminiche (MUF) e resorciniche (RF). Le resine RF si presentano di colore scuro, vengono usate sempre meno, sono state sviluppate per la produzione di lamellare. Le resine MUF e PUR creano uno strato bianco-trasparente, che a occhio nudo non è facilmente visibile. Le resine non adatte, dal punto di vista rigorosamente tecnico, per la classe di servizio 3, erano le resine a base di urea e formaldeide (UF), attualmente in disuso. Ogni tipo di colla deve essere omologata per la classe di servizio in cui si userà. È necessario specificare questa esigenza in fase di ordinazione e ottenere i corrispettivi certificati da parte del produttore o del fornitore, in modo da poterli esibire in caso di necessità. I pannelli XLAM, per esempio, non sono utilizzabili in classe di servizio 3, in quanto non sono omologati e certificati per questo impiego; ciò è giustificato dal fatto che in caso di molto elevata umidità, o di molto elevato gradiente igroscopico, nel pannello si creano stati tensionali ancora poco conosciuti; inoltre la durabilità dei pannelli in classe 3 è tutt'altro che assicurata.

Nel caso del lamellare ed altri prodotti incollati utilizzati all'interno è vero che possono essere incollate con sistemi contenenti aminoplastici, e che quindi potenzialmente possono emettere formaldeide, tuttavia la possibilità di emissione attraverso le linee di incollaggio è talmente limitata non rappresentare un

problema significativo per la salubrità dell'ambiente.

I requisiti dei materiali sono fissati dalle norme tecniche al capitolo 11. Per il lamellare gli elementi strutturali debbono essere conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 14080, la quale, a proposito dell'incollaggio prevede:

“4.5 Resistenza dell'incollaggio dei giunti di testa e delle linee di colla”¹



Fronte del pannello in cross-lam incollato. <https://www.ingegno-web.it/26089-cosa-manca-ancora-al-settore-del-legno-alcune-riflessioni-sui-pannelli-di-xlam---clt>

4.5.1 Generalità

L'adesivo deve essere in grado di produrre giunti forti e durevoli così che l'integrità dell'incollaggio sia mantenuta per tutta la vita attesa della struttura per la classe di servizio definita.

Una resistenza e durabilità accettabili possono essere ottenute con l'uso di:

- un adesivo a policondensazione del tipo fenolico o aminoplastico come definito nella EN 301;
- un adesivo poliuretano sottoposto a prova e valutato conformemente ai requisiti

¹ A. Bernasconi, (2010) colle utilizzate nella produzione di legno lamellare e pannelli X-lam

Gli adesivi di tipo I conformemente alla EN 301 possono essere impiegati per elementi strutturali da utilizzarsi in tutte le classi di servizio.

Gli adesivi di tipo II conformemente alla EN 301 possono essere impiegati soltanto per le classi di servizio 1 e 2 a condizione che la temperatura dell'elemento nella struttura si mantenga sempre al di sotto di 50 °C."

Con l'espressione "colla di tipo A e colla di tipo B" si fa con tutta probabilità riferimento alle certificazioni relative all'incollaggio previste dalle vecchie norme DIN 1052: il certificato A riguarda le ditte qualificate alla produzione di elementi in lamellare di ogni dimensione, il certificato B riguarda le ditte qualificate alla produzione di elementi incollati di dimensioni limitate.

Va osservato inoltre che i prodotti di legno ad uso strutturale devono presentare una certificazione dichiarante la classe di emissione di tali sostanze: le normative fissano due possibili classi di emissioni (E1, E2), per ognuna delle quali dà dei requisiti minimi di emissione di formaldeide: non esiste quindi una "classe di emissione 0", la classe che garantisce la più bassa emissione possibile è la E1, che fissa un limite di 0,1 ppm.

Le alifatiche

Cugine della vinilica sono molto diffuse soprattutto negli Stati Uniti, molto meno in Europa.

Di colore giallo, è una colla che ha una essiccazione più rapida rispetto alla vi-

nilica (tempo di serraggio) e permette tempi di posizionamento con i morsetti abbastanza lunghi.

Titebond è il marchio più conosciuto e produce colle di ottima qualità e caratteristiche diverse.

Le poliuretaniche

La colla poliuretanica (con classificazione D4 per la sua stessa composizione) è anch'essa di origine sintetica, e si trova con relativa facilità anche nei vari brico.

Ha la caratteristica, rispetto alla colla vinilica, di espandersi leggermente, quindi va a riempire eventuali fessure qualora le superfici da incollare non siano perfettamente combacianti.



Incollaggio pannelli multistrato. <https://resin-expert.com/it/guida/colla-per-legno>

Questo aspetto tuttavia non è un vantaggio: le superfici da incollare dovrebbero essere quanto più lisce e combacianti possibile.

colla-epossidicaLe epossidiche

I collanti epossidici, generalmente bi-componente, sono costituite da un

legante e un indurente che devono essere mescolati insieme.

Sono molto resistenti e non temono l'acqua, il tempo di essiccazione è abbastanza lungo.

Queste colle sono utilizzate con buoni risultati per incollare legno a metallo e quasi tutte le pastiche.

Vengono impiegate, addizionate ad altre polveri, anche per ricostruire parti mancanti di legno, soprattutto nel settore nautico dove l'umidità è un elemento caratteristico.

Le neopreniche

Dette anche "a contatto", tipo mastice, di cui quella della Bostik è fra le più conosciute.

Non emana buon odore a causa dei solventi in essa contenuta e bisogna saperla utilizzare per ottenere incollaggi forti e resistenti. L'utilizzo corretto prevede l'applicazione su entrambe le superfici da incollare, aspettare 10-20 minuti (a seconda della marca) per far evaporare i solventi in essa contenuta, e poi unire applicando molta pressione, anche utilizzando un martello, i due pezzi. L'incollaggio è immediato.

Le colle di origine vegetale / animale

Esistono anche colle di origine vegetale o animale, che possono essere trovate solo in negozi specializzati, solitamente di belle arti, e sono utilizzate quasi esclusivamente in ambito restauro per preservare lo stato originale di un manufatto antico poiché erano gli unici collanti utilizzati in passato.

Ricavate generalmente da ossa o cartilagine animale, vanno preparate prima di essere utilizzate, non è possibile conservarle a lungo inoltre emanano un odore poco gradevole.²

² M. Mutri (2015) *Le Colle, Artamin*

2.3 Sistemi antisismici

In fase di progettazione di un edificio è necessario tenere in considerazione il comportamento dello stesso sia per azioni di tipo verticale che per azioni di tipo orizzontale quali il vento ed il sisma. Queste ultime possono essere schematizzate in maniera semplificata come agenti a livello degli orizzontamenti degli edifici. Per garantire un'ottimale performance sismica di un edificio di legno, tenendo conto di tutte le modalità di rottura, risulta quindi fondamentale una corretta progettazione di tutti i sistemi di connessione.



Sistema di ancoraggio innovativo. <http://www.norahs.it/tetti-in-legno/>

Le azioni orizzontali in corrispondenza dei solai generano all'interno dell'edificio forze di taglio e di trazione tra i vari elementi strutturali; tali forze dovranno essere assorbite da idonee connessioni opportunamente dimensionate e poste in opera. Per realizzare un'adeguata progettazione strutturale è importante che il progettista sia a conoscenza del reale comportamento sperimentale sia in termini di rigidità (per la valutazione della deformabilità dell'edificio che in termini di duttilità per una corretta scelta del fattore di struttura. Gli edifici con

strutture in legno ingegnerizzato come legno lamellare, CLT, LVL, ect. possiedono caratteristiche che li rendono adatti a resistere alle azioni sismiche. Le forze sismiche sono riconducibili alla legge di Newton secondo la quale forza = massa x accelerazione. Le strutture in legno sono molto leggere e quindi avendo una massa ridotta subiranno forze sismiche minori. Inoltre, le strutture in legno sono flessibili e deformabili e proprio per questo sono interessate da forze sismiche minori rispetto strutture rigide. Sono duttili e hanno la capacità di dissipare l'energia del sisma grazie all'utilizzo di connessioni meccaniche metalliche che collegano i vari elementi della struttura. L'Eurocodice 8 prevede, per la progettazione antisismica delle strutture, il criterio della gerarchia delle resistenze, secondo il quale gli elementi strutturali a comportamento plastico devono raggiungere lo stato post-elastico quando gli elementi a comportamento fragile sono ancora in fase elastica e lontani dalla rottura. Le strutture in legno devono rispondere a tale criterio, quindi con gli elementi in legno più resistenti dei giunti. La duttilità viene presa in considerazione durante la progettazione con l'introduzione del fattore di resistenza q che è il rapporto tra l'accelerazione di picco del terremoto che porta al crollo della struttura (a_u) e l'accelerazione di picco che porta al raggiungimento del limite elastico della struttura (a_y). Il fattore di resistenza q tiene conto della capacità di dissipare l'energia da parte della struttura, attraverso un comportamento duttile, consentendo al progettista di realizzare la struttura tenendo conto del comportamento non lineare della stessa.

Il valore del fattore cambia a seconda del materiale utilizzato, dalle caratteristiche dei giunti e dal tipo di struttura. Inoltre, grazie ad esso si possono calcolare le forze sismiche di progetto agenti sull'intero sistema strutturale. Tanto maggiore è il fattore di struttura, tanto inferiore è il valore delle forze sismiche da considerare.¹



Test ciclico di comportamento al taglio di un muro in cross lam, Università di Trento. (<https://www.dicam.unitn.it/217/timber-structures>)

Numerosi sono i test effettuati per validare l'effettiva capacità delle strutture in legno alcuni esempi sono il progetto Sofie è un progetto di ricerca scientifica finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento e coordinato dal CNR-IVALSA, ovvero l'Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree, in collaborazione con team giapponesi dell'Università di Shizuoka e dell'Istituto di Ricerca delle Costruzioni,

¹ NTC18 (2018) *Progettazione per azioni sismiche*, Capitolo 7

dell'Istituto Nazionale per le Scienze della Terra e la Prevenzione delle Catastrofi.

Lo scopo di questa ricerca è l'analisi del comportamento a sisma di edifici multipiano realizzati in XLAM e determinare parametri come il fattore di struttura, necessario per sviluppare progetti in zone altamente sismiche.

Come scritto nell'Eurocodice 8, il fattore di struttura q è "il fattore da utilizzare nella progettazione per ridurre le forze ottenute da un'analisi lineare, per tenere conto della risposta non lineare della struttura in funzione del materiale, del sistema strutturale e del procedimento di progettazione adottato." Il progetto è stato suddiviso per fasi, partendo dallo studio a livello di materiale e di connessioni, fino a giungere all'analisi del comportamento a sisma di un edificio in scala 1:1. Per la prima volta è stato testato su una tavola vibrante 3D un edificio di 7 piani, indipendentemente dal suo materiale.

Le fasi sono state così divise:

- Prove monotone e cicliche delle connessioni dei pannelli.
- Prove cicliche dei pannelli con diversi tipi di connessione e di aperture nei pannelli.
- Prove pseudo-dinamiche su un edificio in scala 1:1 di tre piani, con diverse configurazioni di aperture nei prospetti.
- Prove su tavola vibrante 3D di un edificio di sette piani.

Le prove monotone e cicliche sui pan-

nelli sono state fatte per studiare il comportamento ciclico delle pareti in XLAM valutandone la capacità di dissipare l'energia e calibrare le connessioni metalliche per ottenere un collasso duttile e per ottenere parametri da utilizzare come input nella modellazione numerica della struttura a carico sismico. I risultati di queste prove hanno dimostrato l'importanza dei collegamenti e di come questi vengono progettati e disposti. Inoltre, i pannelli rimasti illesi, senza deformazioni, hanno dimostrato l'elevata rigidità e la buona duttilità e dissipazione dell'energia del sistema XLAM.

I pannelli degli edifici di 3 e 7 piani sono realizzati in Trentino da abete rosso proveniente dalle foreste della Val di Fiemme. Una volta realizzati, lavorati e tagliati con macchine a controllo numerico sono stati spediti in Giappone. Lì sono stati montati direttamente sopra la tavola vibrante. Sopra la tavola è posto un telaio d'acciaio fissato ad essa tramite bulloni. I pannelli vengono posti sopra al telaio e sono fissati ad esso mediante hold-down collocati agli angoli delle pareti e piastre angolari d'acciaio lungo le pareti. Per l'edificio di 3 piani sono stati utilizzati pannelli con spessori di 85mm per le pareti e 142mm per i solai. Lo spessore del solaio è rimasto invariato per l'edificio di 7 piani, mentre per le pareti sono stati utilizzati pannelli di 142mm per il pian terreno e il primo piano, 125mm per secondo e terzo e 85mm per i piani superiori. Non vi sono distinzioni di spessore tra pareti esterne e pareti interne. Gli edifici testati non sono finiti, non presentano stratigrafie (isolamenti,

pavimentazioni ecc.) e sono state applicate zavorre d'acciaio per tener conto del carico completo di un pacchetto di solaio dotato di tutte le stratigrafie e della percentuale di carico accidentale previsto dall'Eurocodice 8 nella combinazione di carico sismico. L'edificio di 3 piani è stato caricato con 15 tonnellate per piano, per un peso totale della struttura di 465 kN di cui 300 kN di carico aggiunto. Invece l'edificio di 7 piani è stato caricato con 30 tonnellate per piano, ottenendo un peso totale complessivo di 2840 kN, di cui 1500kN di carico aggiunto. L'edificio di 3 piani è stato realizzato e studiato sulla tavola vibrante 1D del NIED a Tsukuba a 3 terremoti storici: Kobe, El Centro e il terremoto avvenuto a Nocera Umbra. Invece l'edificio di 7 piani è stato testato a terremoti 1D, 2D e 3D sulla tavola vibrante del NIED a Miki. Tramite strumentazioni complesse sono state misurate: le deformazioni interpiano, misurate da solaio a solaio, il sollevamento dei pannelli in corrispondenza dei hold-down, la deformazioni delle connessioni tra pareti e l'accelerazione dei diversi piani. In più, per l'edificio di 7 piani sono stati misurati anche lo scorrimento tra i pannelli del solaio e le deformazione delle connessioni tra solaio e pareti inferiori. Dopo ogni prova è stato controllato lo stato degli edifici per verificare eventuali danni e sono stati fatti piccoli lavori di riparazione per ripristinare la rigidità originale. Tuttavia, i danni evidenziati, anche dopo le prove ai terremoti più violenti, sono stati minimi. Lo stato limite "nearcollapse" per entrambe le prove sulle tavole vibranti è stato definito come la rottura di uno o più hold-down. Stato limite che è stato raggiunto dall'edificio di 3 piani dopo la

prova del terremoto Nocera Umbra con PGA di 1,20, ma dove l'edificio ha mantenuto la sua forma, senza il bisogno di riparazioni importanti. Con le prove è stato calcolato che il fattore di comportamento sismico per edifici in XLAM è $q=3$ ed è stato dimostrato che questo sistema costruttivo risulta essere molto promettente per edifici multipiano collocati in zone sismiche poiché capace di resistere a una sequenza di terremoti successivi mantenendo la sua operatività. Secondo l'immaginario collettivo vi è il timore che un edificio in legno sia più vulnerabile al fuoco di strutture realizzate con tecniche convenzionali, ma in verità, offrono garanzie di tenuta maggiori, in quanto il legno brucia lentamente e con velocità note. Inoltre, sono facilmente recuperabili sostituendo le parti carbonizzate. È necessario distinguere tra "resistenza al fuoco" e "reazione al fuoco". La prima indica la capacità di un elemento di adempiere alla propria funzione quando è soggetto ad un incendio, mentre la seconda è la capacità di un materiale di contribuire allo sviluppo dell'incendio e alla sua propagazione. La reazione al fuoco di un materiale o un elemento è identificata da un codice che rimanda a una classificazione, mentre la resistenza al fuoco è espressa in tempo. Mentre la reazione è una proprietà fisica del materiale, la reazione non dipende solo dalle proprietà del materiale ma anche dal tipo di sistema costruttivo utilizzato e dalle modalità di realizzazione. Ad esempio, la resistenza a fuoco di una struttura multipiano in XLAM non coincide con la resistenza dei pannelli XLAM ma dipende anche dagli elementi metallici delle connessioni. Il legno quando è soggetto ad un incen-

dio, brucia molto lentamente (circa 0,7 mm/minuto) con la carbonizzazione che procede dall'esterno verso l'interno della sezione. Il legno non ancora carbonizzato aumenta di temperatura ma mantiene le proprietà meccaniche finché la sezione non diventa troppo piccola per mantenere la funzione portante e si ha la rottura dell'elemento. Pertanto, la rottura dell'elemento è dovuta alla riduzione della sezione e non al decadimento delle caratteristiche meccaniche del legno. Il tempo che il processo di carbonizzazione impiega per arrivare alla rottura dell'elemento può variare da alcuni minuti ad alcune ore a seconda del tipo di legno e dallo spessore dell'elemento.



Questi calcoli permettono di determinare se la dimensione della sezione è in grado di mantenere la stabilità anche dopo l'esposizione al fuoco. Maggiore è la dimensione della sezione, maggiore è la resistenza al fuoco dell'elemento. Inoltre, gli elementi in legno possono essere incapsulati da cartongesso non combustibile per essere protetti dal riscaldamento e dalla combustione e aumentare la resistenza al fuoco del sistema strutturale. Nelle strutture in legno soggette ad incendio, i punti più deboli sono le giunzioni metalliche che, in quanto otti-

mi conduttori di calore, se non protette possono causare instabilità. Se esposte al fuoco trasmettono il calore all'interno della sezione dove le membrature lignee non sono esposte. Pertanto, dove possibile bisogna proteggere le giunture con materiali protettivi di legno o cartongesso, mentre le connessioni lasciate a vista dovranno avere una classe di resistenza maggiore. La sperimentazione ha contribuito a dimostrare l'efficienza del sistema costruttivo XLAM quando sottoposto a fenomeni di incendio. Questo perché il comportamento delle strutture è scientificamente prevedibile. Il progetto Sofie, coordinato dal CNR-IVALSA, oltre a preoccuparsi delle prove sismiche di edifici su tavole vibranti, si è occupato di effettuare prove sperimentali al fuoco in Giappone, presso il Building Research Institute.



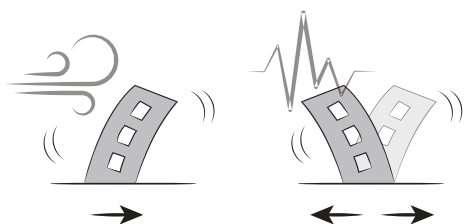
Test ciclico di comportamento di una connessione ad un muro in OSB, Università di Trento. <https://www.dicam.unitn.it/217/timber-structures>

È stato realizzato un edificio di 3 piani interamente in cross-lam con posa in opera tradizionale, ed è stato simulato un incendio per dimostrare la sua

resistenza per oltre un'ora senza danni irreversibili alla struttura. L'incendio è stato innescato in una stanza al primo piano e tramite materiali combustibili è stato simulato un incendio accidentale per combustione interna. Il fuoco si è sviluppato, come è stato previsto con fiamme che sono fuoriuscite dalle finestre interessando i pannelli del piano superiore. Dopo 60 minuti, il fuoco è stato estinto rapidamente con normali idranti. Il risultato dell'esperimento è stato che le strutture sono state interessate dall'incendio solo in minima parte e che il fuoco e il fumo non si sono propagati negli altri ambienti dell'edificio, superando positivamente le attese dei modelli previsionali effettuati preventivamente dall'istituto IVALSA-CNR.²

2 A. Ceccotti (2013) Comportamento sismico di edifici in x-lam: il progetto SOFIE- CNR-IVALSA, Ingegno Jornal

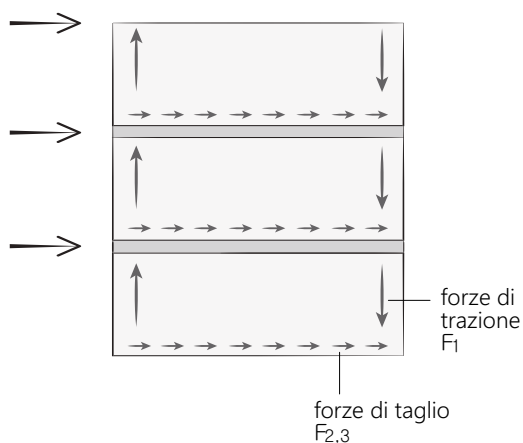
Effetti del sisma sulle strutture in legno



Bisogna sempre tenere in considerazione nella fase progettuale di un edificio il suo comportamento quando è soggetto alle azioni di tipo verticale e di tipo orizzontale come il vento ed il sisma. Schematizzando queste ultime le potremmo considerare come agenti sugli orizzontamenti delle strutture.

Per raggiungere ottime performance sismiche in un edificio in legno, tenendo conto di tutte le modalità di rottura, è di fondamentale importanza una corretta progettazione di tutti gli elementi di connessione.

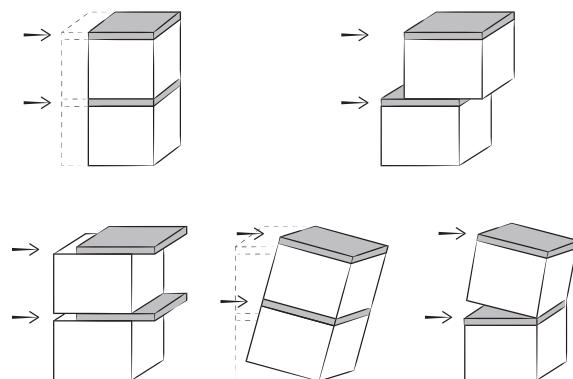
DISTRIBUZIONE DELLE SOLLECITAZIONI EDIFICI CON STRUTTURA PORTANTE IN CROSS LAM



All'altezza dei solai gli sforzi orizzontali creano forze di taglio e di trazione tra gli elementi strutturali; tali forze dovranno essere assorbite da idonee connessioni opportunamente dimensionate e poste in opera.

Al fine di ottenere una corretta progettazione strutturale è necessario che il progettista conosca il reale comportamento della struttura sia in termini di rigidezza (per la valutazione della deformabilità dell'edificio) che in termini di duttilità per una corretta scelta del fattore di struttura.

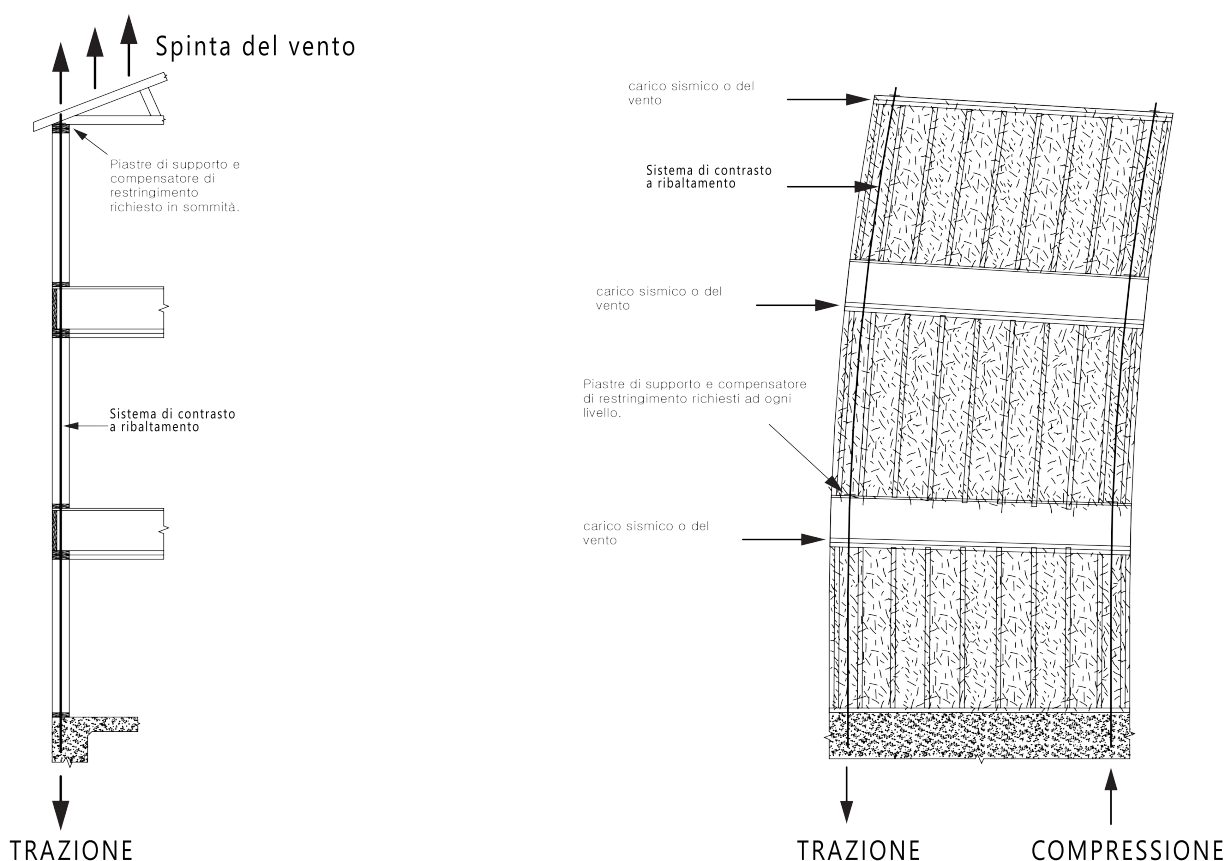
POSSIBILI MODALITÀ DI ROTTURA



Tutti i disegni all'interno del capitolo sono stati elaborati dall'autore.

Sistemi antisismici per strutture in legno (Balloon frame e Platform frame)

Per resistere a due tipi di forze di tensione sollevamento e ribaltamento, vengono utilizzati due diversi sistemi:



Sistema di contrasto al sisma brevettato da Simpson. Disegno elaborato dall'autore

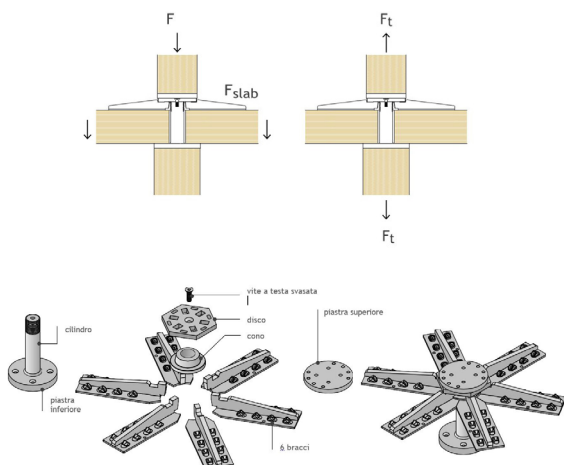
Sistemi per i tetti

Si tratta di un tipo di sistema che si oppone alle forze di tensione verticali dovute al vento e che causano il sollevamento del tetto o relativi punti portanti come capriate o travi. In situazione di vento moderato, queste forze sono generalmente contrastate da connessioni a piastra in combinazione con altri sistemi di vincolo posizionati ad una distanza uniforme lungo la parete esterna ed all'interno delle pareti portanti.

Sistema anti-ribaltamento

(Sistema di contrasto a ribaltamento) che agisce in caso di evento sismico o in presenza di forte vento. Questa sistema agisce alla sommità dell'edificio e la sua potenza aumenta ai livelli inferiori poiché accumula forza di tensione ad ogni livello.

SOLLECITAZIONI



Sistema di connessione pilastro al solaio in cross-lam brevettato da Rothoblaas.

Disegno elaborato dall'autore

Sistema di connessione e rinforzo per pilastri e solai edifici multipiano

Consente di realizzare edifici multipiano con struttura pilastro-solaio. Certificato, calcolato e ottimizzato per pilastri in legno lamellare, LVL, acciaio e calcestruzzo armato. nuovi orizzonti architettonici e strutturali.

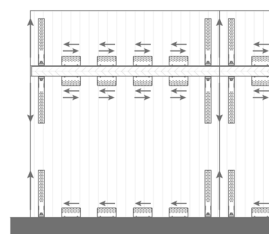
pilastro-pilastro

il nucleo centrale in acciaio del sistema evita lo schiacciamento dei pannelli in cross-lam e consente il trasferimento di oltre 5000 kn di forza verticale tra pilastro e pilastro.

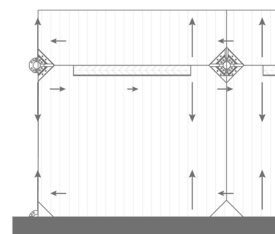
sistema di rinforzo per Cross-lam

i bracci del sistema garantiscono il rinforzo a punzonamento dei pannelli in cross-lam, consentendo eccezionali valori di resistenza a taglio, distanza delle colonne superiore a 7,0 x 7,0 m di maglia strutturale.

SISTEMA TRADIZIONALE

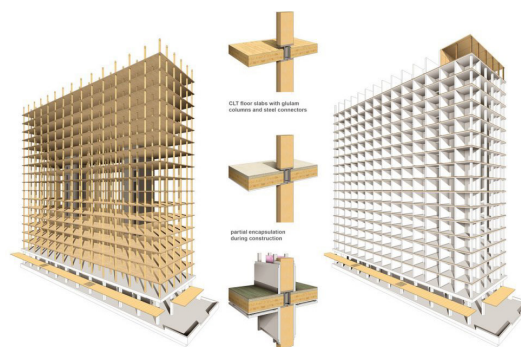


SISTEMA X-RAD



Sistema di connessione tra pareti cross-lam brevettato da Rothoblaas. Disegno elaborato dall'autore

Ulteriore sistema di ancoraggio per edifici realizzati in CLT è il prodotto x-rad il quale è composto da un unico elemento che permette di trasferire le sollecitazioni di taglio e di trazione, utilizzato inoltre per sollevare, movimentare, posizionare e fissare pannelli in CLT. A seconda della posizione in cui viene messo va abbinato ad ulteriore elemento specifico x-one, x-plate e x-seal. Il listema così configurato ha una rigidezza pari a $k=25\text{kN/mm}$.



Sistema di connessione tra pilastri e solai in cross-lam brevettato da Rothoblaas. Disegno elaborato dall'autore

Ulteriore sistema di ancoraggio è quello ideato da studi canadesi della Acton Ostry Architects che ha permesso la realizzazione di un edificio, di 18 piani, alto 53 metri contenente 272 aule studio e 33 camere quaduple per ospitare 404 studenti, per l'Università British Columbia.

2.4 La Normativa

LA NORMATIVA SUGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Negli ultimi 50 anni, l'introduzione nel settore delle costruzioni di nuovi materiali, l'evoluzione tecnologica di prodotti, nuove metodologie, l'utilizzo sempre maggiore dei computer e software di calcolo capaci di elaborazioni sempre più precise ha richiesto necessariamente un adeguamento delle normative di molti Paesi. In particolar modo si è assistito al passaggio da un approccio prescrittivo, nel quale le norme chiedevano di rispettare i livelli di sicurezza mediante l'utilizzo di misure specificatamente prescritte, ad un approccio prestazionale nel quale le norme non forniscono indicazioni o prescrizioni ma l'obiettivo da raggiungere. Risulta quindi compito del progettista scegliere il metodo più consono al caso specifico per soddisfare le prestazioni minime richieste.

Un esempio sono i metodi di analisi per la valutazione della risposta strutturale all'azione sismica utilizzando infatti 4 metodi differenti di analisi.

- analisi statica lineare (LSA – Linear Static Analysis);
- analisi dinamica lineare (LDA – Linear Dynamic Analysis);
- analisi statica non lineare (NLSA – Non Linear Static Analysis–PUSHOVER);
- analisi dinamica non lineare (NLDA non Linear Dynamic Analysis),

Le tipologie di analisi lineare, LSA e LDA, prevedono un'analisi elastica per la determinazione delle deformazioni e delle

sollecitazioni di ogni componente strutturale. In questo caso, le non linearità vengono, convenzionalmente considerate tramite opportuni parametri.

Le procedure lineari, però, offrono risultati poco realistici nel caso in cui il comportamento della struttura si discosti da quello elastico; ciò è particolarmente importante nel caso di edifici irregolari, nel caso in cui vi siano richieste localizzate di duttilità, oppure nel caso di edifici alti che, generalmente, sono caratterizzati da un marcato comportamento elasto-plastico. Le tipologie di analisi non lineari, NLSA e NLDA, prevedono analisi dinamiche al passo, con l'integrazione diretta dell'equazione del moto, o statiche (pushover), applicando alla struttura forze orizzontali monotone crescenti fino ad un limite prestabilito. Queste procedure consentono una modellazione elasto-plastica della struttura con la possibilità di mettere in conto, durante l'analisi stessa, tutte le capacità dissipative che la struttura è in grado di esprimere e che non possono essere considerate in una procedura lineare.

Pertanto, le analisi non lineari consentono una valutazione più rigorosa della risposta strutturale nei confronti dell'azione sismica, e di conseguenza rappresentano per il Progettista un indispensabile strumento nel caso della verifica di edifici esistenti.¹

¹ *Ingegno Journal*, (2018) *Metodi di analisi per la valutazione della risposta strutturale all'azione sismica.* <https://www.ingegno-web.it/18452-metodi-di-analisi-per-la-valutazione-della-risposta-strutturale-all'azione-sismica>

EVOLUZIONE NORMATIVA ITALIANA SUGLI EDIFICI IN LEGNO

Il quadro normativo italiano relativo alle costruzioni in legno nel passato si è rilevato spesso frammentato, lacunoso e ne ha spesso limitato la costruzione. Ecco un elenco delle norme edilizie del passato:

– Regio Decreto 18/04/1909 n.193. Viene citato il legno in riferimento a costruzioni intelaiate e baraccate.

– Legge 25 novembre 1962 n.1684. “Provvedimenti per l’edilizi, con particolari prescrizioni per le zone sismiche.” Secondo l’articolo 9 sono consentite costruzioni in legno solo in via eccezionale, ricevendo il consenso dell’ufficio del genio civile.

– Legge n.1086 del 5 novembre 1971. “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”. Vengono citati solo elementi la cui statica è assicurata da elementi metallici. Nessun riferimento al legno.

– Legge n.64 del 2 febbraio 1974. “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche. Questa legge impone un limite di altezza alle strutture in legno affermando “Che qualora vengano usati sistemi costruttivi diversi da quelli in muratura o con ossatura portante in cemento armato normale e precompresso, acciaio o sistemi combinati dei predetti materiali, per edifici con quattro o più piani entro e fuori terra, tali sistemi deve essere com-

provata da una dichiarazione rilasciata dal presidente del consiglio superiore dei lavori pubblici su conforme parere dello stesso consiglio” D.M. 16/1/1996. “Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica appare un approccio di prudenza nei confronti delle strutture in legno in zona sismica, determinando limiti di altezze molto severe in relazione al tipo di zona sismica Zone molto sismiche (S=12, S=9) limitate ai 2 piani, zona a minore sismicità (S=6) 3 piani. Le strutture in zone non sismiche devono tenere come riferimento la Legge n 64. D.M. 14/09/2005 “Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC05) Furono di scarsa efficacia rispetto al D.M. 96 in quanto di facoltativa applicazione. Norme UNI EN armonizzate i cui rilevamenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell’Unione Europea Norme per prove, materiali e prodotti pubblicate da UNI. Possono essere utilizzati anche altri codici internazionali purché sia dimostrato che garantiscano livelli di sicurezza non inferiori a quelli delle presenti Norme tecniche pertanto non esiste una gerarchia tra le norme coerenti ai principi delle NTC e viene data al progettista la libertà di scegliere anche altri codici se questi dimostrano avere livelli di sicurezza uguali. Inoltre, nelle NTC08 veniva fissata l’altezza massima degli edifici in legno con struttura non anelastica, e quindi non in grado di dissipare l’energia sismica “Per le tipologie strutturali costruzioni di legno e di muratura non armata che non accedono alle riserve anelastiche delle strutture ricadenti in zona 1, veniva fissata una altezza massima pari a due piani dal piano di campagna, ovvero dal ciglio della strada. Il solaio di copertura del secondo piano non poteva essere di

calpestio di volume abitabile. Per le altre zone l'altezza massima degli edifici doveva essere opportunamente limitata, in funzione delle loro capacità deformative e dissipative e della classificazione sismica del territorio. Erano norme di tipo prestazionale, ovvero non prescrivevano formule o procedure di dettaglio, ma ne demandavano la scelta al progettista, fissando le azioni esterne da considerare, le prestazioni minime attese e i livelli di sicurezza da raggiungere. Le NTC08 fornivano informazioni sul calcolo delle strutture in campo statico e sismico, trattano la qualificazione dei materiali da costruzioni imponendo il marchio CE e rimandano ad altri riferimenti tecnici per i calcoli. Infatti, al Capitolo 12 del D.M. venivano elencati i riferimenti tecnici da seguire "Per quanto non diversamente specificato nella norma, si intendevano coerenti con i principi alla base della stessa, le indicazioni riportate negli Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali o, in mancanza di esse, nella norma internazionale EN;

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18), affermano che per quello che non viene specificato nella medesima norma, bisogna far affidamento ad altri documenti tecnici di comprovata validità, come gli Eurocodici importante riferimento per l'applicazione delle norme tecniche. Gli Eurocodici sono norme europee per la progettazione strutturale che si allineano alle norme nazionali tramite le appendici contenenti i parametri nazionali. Lo scopo di tali codici europei è quello di armonizzare i servizi di mercato nel settore delle costruzioni, fornire un quadro comune come base per la ricerca e lo sviluppo nel campo dell'ingegneria civile, fornire ausili di progettazione comuni (manuali, software di calcolo, ecc.), ottenere maggior trasparenza nei metodi di progettazione e un livello di sicurezza uniforme nei vari paesi europei. Per quanto concerne gli edifici in legno i riferimenti sono: – Eurocodice 5: "progettazione delle strutture in legno, Eurocodice 8: "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica." breve panoramica di quelle che possono

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

Tab. 1 – Coefficienti parziali di sicurezza: da tabella 4.4.III (semplificata)

Tabella 4.4.III all'interno delle NTC18.

essere considerate le principali novità del DM 17.01.18.”

La Tab. 4.4.III all’interno delle NTC18, rispetto a quella delle NTC 2008, introduce accanto alla colonna “A” (che conferma gli i valori del DM 14.01.08) una colonna “B” più favorevole (che prevede una parziale armonizzazione con quanto previsto in EC5). La possibilità di utilizzare i valori di r_M della colonna “B” dipende dall’uniformità dei valori di resistenza propri del materiale in questione. Inoltre per la prima volta viene esplicitato un coefficiente dedicato al CLT (“Pannello di tavole incollate a strati incrociati”).

Al fine di utilizzare i valori riportati nella colonna “B” è necessario dimostrare che, per gli elementi derivanti da produzioni soggette a controllo continuativo, il Coefficiente di Variazione (rapporto tra scarto quadratico medio e valor medio) della resistenza non sia superiore al

15%. Senza entrare in merito ai contenuti proposti dal nuovo Decreto Ministeriale, si ricorda che i modelli probabilistici di riferimento e le opportune sperimentazioni per la determinazione del CoV (Coefficiente di Variazione) per i materiali a base legno (oggetto di una specifica tecnica come PR 305/11e s.m.i.) sono già stati definiti dalla JCSS (Joint Committee on Structural Safety) a cui naturalmente il produttore di elementi strutturali in legno può far riferimento nel predisporre la relativa documentazione accompagnatoria.

Infine per quanto riguarda i valori di k_{mod} (questi sono forniti nella Tab. 4.4.IV dell’NTC18), anch’essa modificata favorevolmente rispetto a quella contenuta nelle NTC 2008 per le condizioni di carico istantanee: nell’ultima colonna, quella appunto relativa alla classe di carico istantanea, i valori sono stati incrementati del 10%. Con l’uscita delle prossime

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

Tabella dedicata ai fattori di comportamento e alle relative tipologie strutturali all’interno delle NTC18.

Norme Tecniche tale parametro è quindi armonizzato con quanto previsto in sede di codice di calcolo europeo (EC5).

Il paragrafo 7.7 apporta parecchie novità e tende in senso positivo a sensibilizzare lo strutturista incaricato a giustificare le scelte adottate negli aspetti concettuali l'opera di ingegneria. Insieme ad una più puntuale definizione dei coefficienti di sovrarresistenza, si assiste ad una maggior chiarezza espositiva all'interno della tabella 7.3.11 dedicata ai fattori di comportamento e alle relative tipologie strutturali.

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

Il nuovo testo del par. 11.7 riprende, aggiornando le Norme con quanto previsto dal Reg. 305/2011 e s.m.i., quanto precedentemente proposto dal DM 2008 in merito alle modalità di qualificazione ed identificazione dei materiali e prodotti. Per quanto riguarda l'industria di settore (considerando i produttori e centri di lavorazione) e i professionisti interessati, le principali novità possono essere così riassunte:

Validità degli attestati di qualificazione: gli attestati di qualificazione (e di denuncia di attività) rilasciati cessano la loro validità dopo cinque anni a seguito del rilascio ("dopo l'entrata in vigore della presente versione delle Norme tecniche per le Costruzioni");

Direttore tecnico di Produzione (DTP): per la figura del Direttore Tecnico di Produzione si prevede una fase di formazione e aggiornamento a cadenza triennale.

Documentazione accompagnatoria: viene definita con precisione la documentazione minima da allegare al materiale nel momento in cui lo stesso transita in cantiere. Per i prodotti di maggiormente diffusi a livello commerciale si riporta tabella esemplificativa (a destra)

Si ricorda che qualora si voglia applicare la colonna "B" di cui alla Tab. 4.4.111 del par. 4.4 (come precedentemente accennato) è necessario che il produttore espliciti il CoV (Coefficiente di Variazione) del prodotto in una ulteriore dichiarazione che può fare riferimento ai modelli probabilistici applicabili in sede internazionale (JCSS).

– Controlli di accettazione in cantiere: il presente ambito avrebbe bisogno di una trattazione articolata, non sicuramente possibile in questa sede. Si accenna solo che le nuove NTC prevedono per la prima volta e in analogia con molti concetti già espressi nella UNI TR 11499 ("Legno strutturale

– Linee guida per i controlli di accettazione in cantiere"), una serie di controlli di carattere per lo più "non distruttivo" al fine di verificare la corrispondenza e

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

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

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

Tabella dedicata ai nuovi prodotti in legno come KVH e CLT/Xlam all'interno delle NTC18.

veridicità delle prestazioni dei materiali con quanto indicato all'interno delle rispettive DoP (o documentazione accompagnatoria in senso lato). In senso altrettanto semplicistico e rimandando a successivi approfondimenti per quanto riguarda il presente argomento, si può affermare che, solo qualora il Direttore Lavori abbia dubbi e necessità di chiarimento circa la documentazione fornita, la stessa DL può richiedere ulteriori informazioni a carico del costruttore e eseguire nuovi controlli di tipo distruttivo o non distruttivo sulla merce in ingresso. Una nota infine merita anche il cap.8 che può e deve essere (una volta che i processi legislativi in seno al CSLP saranno

terminati) per il materiale "legno" occasione di dialogo con l'esistente all'interno di possibili interventi di miglioramento e adeguamento sismico e che, nel prossimo futuro, potrà sicuramente divenire motivo di interesse sia industriale che professionale.²

² Ing. M.Lauriola, ing. M. De Beni, dott. M. Luchetti, (2019) *La figura del Direttore Tecnico di Produzione*

Il documento CNR-DT R1/2018 pubblicato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, dal titolo “Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione ed il controllo delle strutture di legno”, ha lo scopo di fornire un contributo tecnico di supporto agli operatori impegnati nelle varie fasi della costruzione di strutture di legno, in linea con le conoscenze più avanzate del settore.

Legno, istruzioni per l’uso in edilizia

Il contenuto del documento è frutto della sintesi nata dalla collaborazione di un gruppo aperto di specialisti e di operatori del settore basata sul comune patrimonio di conoscenze della ricerca scientifica ed esperienze dei produttori, dei costruttori e dei Professionisti. Il documento si riferisce alle opere da realizzare con elementi di legno strutturale (massiccio) ovvero, con elementi strutturali, a base di legno, assemblati mediante adesivi o sistemi meccanici (legno lamellare, ecc.). Il documento è diviso in una prima parte in cui si inquadrano le diverse tipologie di materiali e prodotti riguardanti legno, prodotti derivati dal legno, adesivi ed elementi di collegamento. Una seconda parte riguardante criteri e regole di progettazione sia in zona sismica che per il comportamento al fuoco. Ed infine una terza parte riguardante in controlli e regole di esecuzione con un approfondimento alle costruzioni esistenti ed esempi di calcolo. In particolare si prendono in esame i requisiti di resistenza meccanica, comportamento in esercizio e durabilità delle strutture. Gli aspetti esecutivi sono trattati nella misura atta a garantire che la qualità dei materiali da costruzione e

dei prodotti e il livello della lavorazione in cantiere siano conformi alle ipotesi di progettazione.

Le istruzioni contenute nel documento possono essere utilizzate, per quanto applicabili, anche per le verifiche di strutture esistenti purché si provveda alla corretta valutazione delle caratteristiche del legno e, in particolare, degli eventuali stati di degrado.

Pertanto il documento diviene un utile strumento per il progettista strutturale in una campo, quello del legno, in continua evoluzione ma ancora molto settoriale e di nicchia. Infatti proprio la norma NTC 2018 al capitolo 12 prevede che le istruzioni del CNR, tra i documenti di comprovata validità cui il progettista può attingere per tutto quanto non riportato nel testo normativo di legge.³

³ Salomone P., (2019), *Strutture in legno: istruzioni e regole tecniche dal CNR*, Teknoring Journal

PANORAMA ESTERO

Il Canada è stato il primo a introdurre il CLT in Nord America. Lo studio del CLT è iniziato nel 2005 quando la società canadese FPInnovations ha lanciato un programma di ricerca sulla trasformazione tecnologica delle risorse naturali. L'introduzione del National Building Code nel 1941 aveva fissato l'altezza massima degli edifici in legno a 4 piani. Nel 2009 il governo della British Columbia ha aumentato l'altezza massima degli edifici portando il limite delle strutture in legno da 4 a 6 piani. Nel 2013 nel campus della University of British Columbia (UBC) venne creata la prima struttura multipiano in CLT. Dopo l'iniziativa della British Columbia, le costruzioni in legno di 6 piani sono state approvate anche da Québec, Ontario e Alberta. Di recente è stato approvato in Québec un progetto di 12 piani in legno massiccio in attesa della modifica del Building code. Negli Stati Uniti il codice edilizio consente la realizzazione di case in legno fino a 6 piani solo in alcuni stati, mentre in altri fissa il limite dei 4 piani. La proposta di modificare l'International Building Code per aumentare l'altezza massima degli edifici con strutture in legno fino ai 9 piani è stata rifiutata anche grazie all'intervento delle lobby del cemento e dell'acciaio che hanno accusato gli edifici alti in legno di avere una scarsa resistenza agli incendi, portando ad ulteriori analisi prima della modifica della normativa. Nonostante la grande tradizione dell'edilizia in legno, negli Stati Uniti non vi è un grande impiego del CLT, a causa di una generale mancanza di familiarità con il prodotto. Tuttavia, negli ultimi anni le cose stanno cambiando, tanto che

nel 2015 è stato bandito un concorso, promosso dal US Department of Agriculture per la realizzazione di 2 edifici alti in legno. I progetti vincitori che hanno ottenuto un finanziamento sono di 10 e 12 piani, da realizzare rispettivamente a New York e Portland.

Molti Paesi Scandinavi fino al 1990 era vietata la costruzione di edifici in legno con più di 2 piani fatta eccezione per la Norvegia che ne consentiva 3. Verso la metà degli anni 90, le normative sono state modificate e indirizzate verso requisiti prestazionali. La prima a cambiare la propria normativa fu la Svezia nel 1994, consentendo la realizzazione di edifici in legno con un numero infinito di piani, purché fossero soddisfatti i requisiti funzionali. Nel 1997 la Norvegia modificò la propria legislazione in modo analogo alla Svezia, aggiungendo che gli edifici alti in legno devono resistere al fuoco. Sempre nel 1997 anche la Finlandia modificò il proprio codice edilizio permettendo la realizzazione di edifici residenziali in legno di 4 piani con la restrizione di utilizzare impianti antincendio. In Danimarca, edifici in legno di 4 piani furono consentiti nel 1999 e dal 2004 non vi sono più vincoli in altezza. In Germania, in seguito al rinnovo della normativa quadro avvenuto nel 2002 (approvata da Berlino nel 2006) viene reso possibile costruire edifici in legno all'interno delle città con la limitazione che l'ultimo piano non sia posto a più di 13 metri dal livello del suolo stradale. Tuttavia, eccezioni sono state approvate in casi dove alle spalle vi era un accurato progetto antincendio come, ad esempio, per l'edificio E3 di Berlino dotato di 7 piani, realizzato nel 2008, per il qua-

le era stato fatto un accurato progetto antincendio, già sviluppato nella fase di progetto preliminare.

LA NORMATIVA SUGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI

la corretta progettazione degli elementi “non strutturali”, tra cui le tamponature esterne ed i divisori interni degli edifici, riveste un ruolo di primaria importanza nell’adeguata risposta del fabbricato all’azione sismica. Infatti, i suddetti elementi, se non progettati correttamente, possono generare collassi fragili e prematuri, tali da ridurre significativamente la sicurezza delle persone. ⁴

CRITERI DI PROGETTAZIONE DEGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI

I “criteri di progettazione degli elementi non strutturali”, secondo il § 7.2.3 delle NTC 2008, prescrivono che, con l’esclusione dei soli tamponamenti interni di spessore non superiore a 100 mm, gli elementi costruttivi senza funzione strutturale, il cui danneggiamento può provocare danni a persone, devono essere verificati, insieme alle loro connessioni alla struttura, per l’azione sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite considerati. Gli effetti dell’azione sismica sugli elementi costruttivi senza funzione strutturale possono essere determinati applicando a tali elementi una forza orizzontale F_a definita come segue:

$$F_a = \frac{S_a W_a}{q_a}$$

dove:

F_a è la forza sismica orizzontale agente al centro di massa dell’elemento non strutturale nella direzione più sfavorevole;

W_a è il peso dell’elemento;

S_a è l’accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l’elemento strutturale subisce durante il sisma e corrisponde allo stato limite in esame (§ 3.2.1);

q_a è il fattore di struttura dell’elemento;

$$S_a = \alpha \cdot S \left[\frac{3 \cdot \left(1 + \frac{Z}{H}\right)}{2a1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0,5 \right]$$

dove:

α è il rapporto tra l’accelerazione massima del terreno a_g su sottosuolo di tipo A da considerare nello stato limite in esame (§ 3.2.1) e l’accelerazione di gravità g ;

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche (§ 3.2.3.2.1);

T_a è il periodo fondamentale dell’elemento non strutturale;

T_1 è il periodo fondamentale della costruzione nella direzione considerata;

⁴ L. Petrini, et al., (2004) *Criteri di Progettazione Antisismica degli Edifici*, IUSS Press, Pavia

Z è la quota del baricentro del pannello rispetto al piano delle fondazioni;

H è l'altezza dell'edificio rispetto al piano delle fondazioni.

Infine, in assenza di specifiche determinazioni, per q_a si possono assumere i valori riportati in Tab. 7.2.1:

Secondo quanto indicato al § 7.2.3 delle NTC 2018, “Per elementi costruttivi non strutturali s'intendono quelli con rigidezza, resistenza e massa tali da influenzare in maniera significativa la risposta strutturale e quelli che, pur non influenzando la risposta strutturale, sono ugualmente significativi ai fini della sicurezza e/o dell'incolumità delle persone. La capacità degli elementi non strutturali, compresi gli eventuali elementi strutturali che li sostengono e collegano, tra loro e alla struttura principale, deve essere maggiore della domanda sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite da considerare (v. § 7.3.6). Quando l'elemento non strutturale è costruito in cantiere, è compito del progettista della struttura individuare la domanda e progettare la capacità in accordo a formulazioni di comprovata validità ed è compito del direttore dei lavori verificarne la corretta esecuzione; quando invece l'elemento non strutturale è assemblato in cantiere, è compito del progettista della struttura individuare la domanda, è compito del fornitore e/o dell'installatore fornire elementi e sistemi di collegamento di capacità adeguata ed è compito del direttore dei lavori verificarne il corretto assemblaggio. (omissis)”.

La domanda sismica sugli elementi non strutturali può essere determinata appli-

cando loro una forza orizzontale F_a definita come segue:

$$F_a = \frac{S_a W_a}{q_a}$$

dove:

F_a è la forza sismica orizzontale distribuita o agente nel centro di massa dell'elemento non strutturale, nella direzione più sfavorevole, risultante delle forze distribuite proporzionali alla massa;

S_a è l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento non strutturale subisce durante il sisma e corrisponde allo stato limite in esame (v. § 3.2.1);

W_a è il peso dell'elemento;

q_a è il fattore di comportamento dell'elemento.

In assenza di specifiche determinazioni, per S_a e q_a può farsi utile riferimento a documenti di comprovata validità”.

Si osserva inoltre, che nell'NTC18 non vi è più menzione dell'esclusione nelle verifiche dei “tamponamenti interni di spessore non superiore a 100 mm”, quindi a rigore, le verifiche di sicurezza dovrebbero essere estese anche agli elementi divisorii interni, a meno di diverse future indicazioni presenti nella Circolare Esplicativa di prossima pubblicazione.

Infine, viene introdotta una parte, ambigua ma interessante, per quel che riguarda i compiti e le responsabilità delle

diverse figure professionali interessate, a seconda che l'elemento strutturale venga "costruito" o "assemblato" in cantiere. L'ambiguità risiede nella definizione di ciò che può ritenersi "costruito" e ciò che può ritenersi "assemblato". Ad esempio, il caso di un tamponamento esterno costituito da blocchi prefabbricati in laterizio o calcestruzzo, nei cui giunti viene inserita un'armatura al fine di evitarne l'espulsione fuori dal piano, può essere considerato "costruito" o "assemblato"? Si spera in un chiarimento nella Circolare Esplicativa.

RISPETTO DEI REQUISITI NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE

Il § 7.3.6 delle NTC 2018 che tratta il "Rispetto dei requisiti nei confronti degli stati limite", riporta che "Per tutti gli elementi strutturali primari e secondari, gli elementi non strutturali e gli impianti si deve verificare che il valore di ciascuna domanda di progetto, definito dalla tabella 7.3.III per ciascuno degli stati limite richiesti, sia inferiore al corrispondente valore della capacità di progetto (omissis)". Le nuove norme introducono quindi una esplicita "verifica di stabilità (STA)", come meglio specificato poi nel seguente § 7.3.6.2 "Elementi non strutturali (NS)", in cui si riporta che "Per gli elementi non strutturali devono essere adottati magisteri atti ad evitare la possibile espulsione sotto l'azione della Fa (v. § 7.2.3) corrispondente allo SL e alla CU considerati". Quindi, per ciò che concerne le verifiche da effettuare sugli elementi secondari si dovranno sempre eseguire le verifiche per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV). L'NTC18 specifica che la verifica da effettuare è

una verifica di stabilità e che essa debba essere eseguita per le sole Classi d'uso II, III e IV, sebbene il requisito prestazionale richiesto risulti invariato.⁵

VERIFICHE DI RIGIDEZZA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI IN TERMINI DI CONTENIMENTO DEL DANNO AGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI

Per quel che riguarda le "verifiche degli elementi strutturali in termini di contenimento del danno agli elementi non strutturali", il § 7.3.6.1 delle NTC 2018 afferma che, "la condizione in termini di rigidezza sulla struttura si ritiene soddisfatta qualora la conseguente deformazione degli elementi strutturali non produca sugli elementi non strutturali danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile. Nel caso delle costruzioni civili e industriali, qualora la temporanea inagibilità sia dovuta a spostamenti di interpiano eccessivi, questa condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti di interpiano ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto corrispondente allo SL e alla CU considerati siano inferiori, per l'edificio in oggetto, al limite indicato nel seguito:

a) per tamponature collegate rigidamente alla struttura, che interferiscono con la deformabilità della stessa:

$qdr \leq 0,0050$ h per tamponature fragili

$qdr \leq 0,0075$ h per tamponature duttili

⁵ NTC 18 (2018) *Progettazione per azioni sismiche*, Capitolo 7

b) per tamponamenti progettate in modo da non subire danni a seguito di spostamenti di

interpiano d_{rp} , per effetto della loro deformabilità intrinseca ovvero dei collegamenti alla

struttura:

$$q_{dr} \leq d_{rp} \leq 0,0100 h$$

(omissis)

dove:

d_r è lo spostamento interpiano, ovvero la differenza tra gli spostamenti al solaio superiore ed inferiore, calcolati secondo i §§ 7.3.3 o 7.3.4; h è l'altezza del piano.

Per le CU III e IV ci si riferisce allo SLO (v. Tab. 7.3.III) e gli spostamenti d'interpiano devono essere

inferiori ai 2/3 dei limiti in precedenza indicati. Una distinzione importante è quella fra "fragili" e tamponature "duttili". Un tamponamento può essere considerato fragile quando presenta una rottura repentina e priva di deformazioni prima del collasso, come avviene per i normali tamponamenti non armati, mentre può essere considerato duttile quando, prima di giungere al collasso, esplica una certa deformazione, come avviene per i pannelli di tamponamento armati. Tale aspetto è di fondamentale importanza, non solo per l'elemento di tamponamento in sé, che se armato è molto più performante e consente il rispetto dei requisiti richiesti al §7.3.6, ma anche per la struttura nel suo complesso. Infatti,

se si progettano tamponamenti duttili, le NTC 18 consentono uno "sconto" sulle restrizioni imposte alle deformazioni per lo SLD della struttura, il che si traduce in una struttura "più leggera" e di conseguenza meno onerosa.⁶

⁶ *Norme Tecniche delle Costruzioni (2018)*

2.5 Problemi aperti

Attraverso gli studi condotti, l'esperienza all'estero i diversi convegni, i confronti con i tutor ed i vari esperti del campo si è giunti a diverse conclusioni che rimangono in attesa di essere risolte: come evidenziato inoltre, dai dati raccolti dall'ISTAT sullo stato prestazionale del patrimonio edilizio italiano è chiaro un necessario adeguamento sismico ed energetico per tutti quegli immobili costruiti prima del 1974 (data della prima legge che ha a tema l'anti-sismico in Italia L.64/1974) e 1976 (prima legge in Italia a trattare la questione del risparmio energetico L.373/1976) è importante inoltre ricordare, come negli anni siano state emanate nuove leggi ed ognuna delle quali ha sempre fatto crescere gli standard sia di sicurezza sismica che di efficienza energetica degli edifici fino ad arrivare al 2020 dove viene richiesto agli edifici di pubblica fruizione ed a quelli di nuova costruzione di essere nZEB^{1,2}

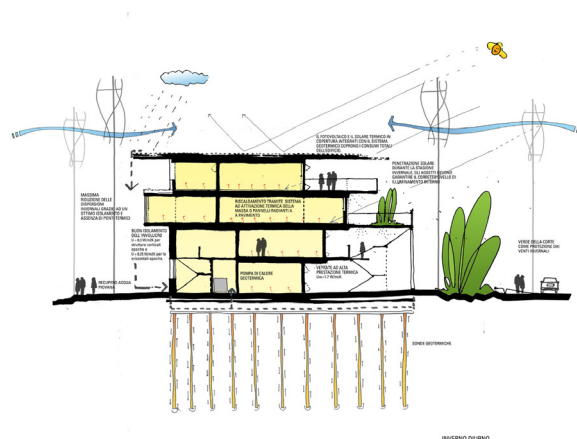
Per quanto riguarda il tema sismico abbiamo assistito all'introduzione degli stati limite di esercizio e stati limite ultimi³ arrivando finalmente ad una sicurezza

1 Near Zero Energy Building E Cioè Net Zero Energy Building (N-Zeb). Un Edificio Che Connesso Ad Una Infrastruttura Energetica Territoriale (Rete Elettrica, Rete Gas, Teleriscaldamento...), Nell'arco Temporale Di Un Anno Solare, Presenti Una Somma Algebrica Dei Flussi Energetici In Ingresso E In Uscita Di Valore Quasi Pari A Zero

2 2010/31/UE

3 Stati limite di esercizio: lo Stato limite di operatività (SLO)_ A seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi; lo Stato limite di danno (SLD)_ A seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali e verticali mantenendosi im-

za completa con lo stato limite di operatività dove ogni elemento anche quello non portante dovrà essere progettato in modo tale che a seguito di un evento sismico tutti gli elementi di cui l'edificio è composto ne consentano comunque l'uso senza che i fruitori siano messi in condizioni di rischio. Facendo un'estrema sintesi possiamo affermare che allo stato attuale rimangono tutt'ora aperti i macro temi della sicurezza statica degli edifici e della loro efficienza energetica.



Casa 100k Mario Cucinella.

<https://www.mcarchitects.it/project/casa-100k>

mediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature. Stati limite ultimi: lo Stato limite di salvaguardia della vita (SLV)_ A seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali. Lo Stato limite di collasso (SLU)_ A seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Come si è potuto constatare dalle analisi svolte, esistono vari sistemi capaci di soddisfare in varia misura ogni problema specifico riguardante sia l'ambito sismico strutturale che quello energetico, quello che evince però è una mancanza di un sistema capace di sviluppare una risposta soddisfacente ad entrambi i macro campi energetico e antisismico e trascurando a volte anche la parte inerente il consumo di risorse non rinnovabili.

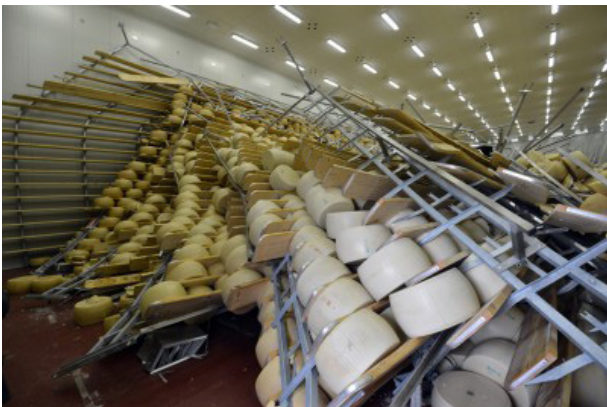


Foto di G. Cacace <https://www.ilpost.it/2012/05/21/gli-effetti-del-terremoto-su-una-fabbrica-di-parmigiano/shelves-with-parmigiano-cheese-felt-down/>

In ultimo inerente al tema della salvaguardia dell'operatività di un sistema ci si è accorti del problema ripristino⁴ e cioè che sul totale del costo per il ripristino di un edificio danneggiato a seguito di un evento sismico il 90% sia riconducibile a tutti gli elementi non strutturali che compongono il sistema edilizio.

⁴ T. Carrero, F. Ureta-Céspedes, T. Cabrera, S. Cárcamo, H. Santa María, P. Guindos, (2018) *Global analysis of light-framed timber construction detailing and its performance during major contemporary earthquakes*, *Latin American Journal of Solids and Structures*

3. Esperienza all'estero

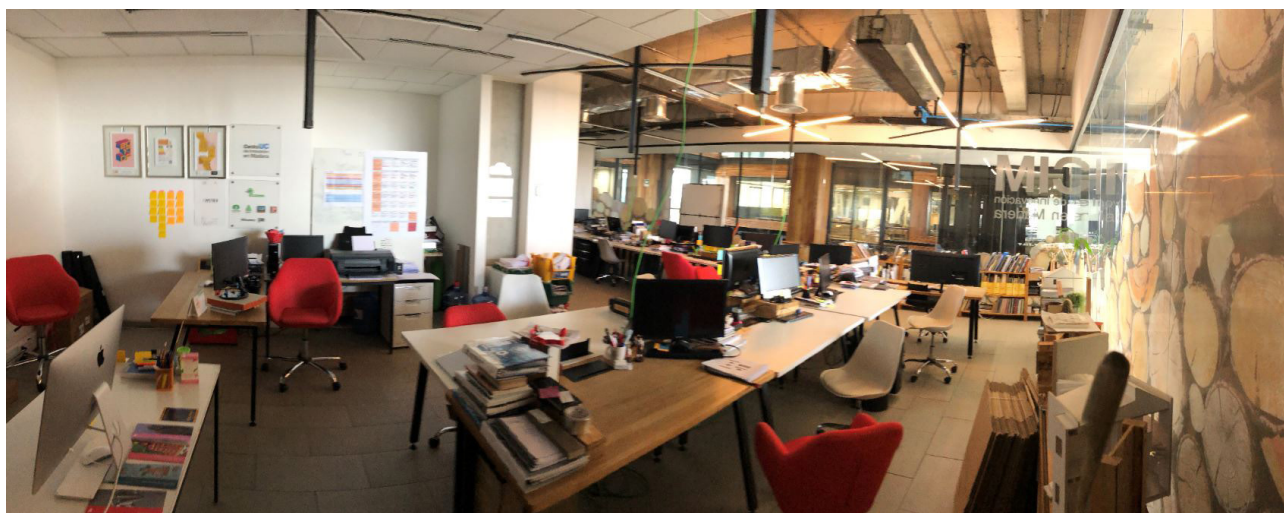


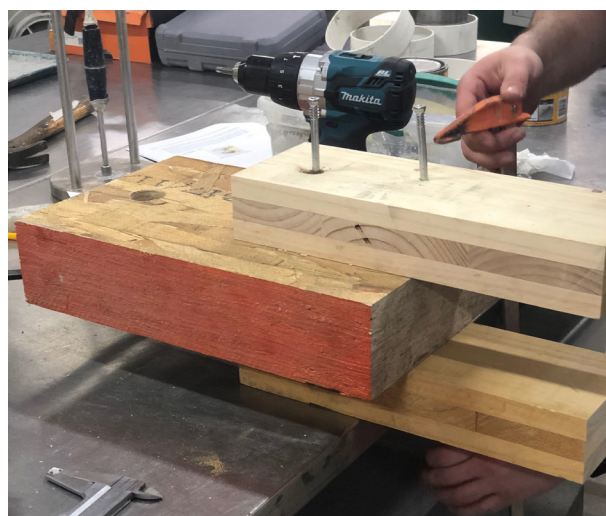
Foto dell'ufficio all'interno del Centro de Innovación en Madera. Realizzata dall'autore.

La prima esperienza è stata all'interno del CIM (centro di innovazione del legno) ubicato Università Cattolica del Cile, si è potuto lavorare a stretto contatto con vari ricercatori verificando lo stato d'avanzamento delle ricerche a cui stavano lavorando:

Il primo studio condotto è stato: sulle connessioni in edifici ibridi a più piani. In questa ricerca sono state sperimentate la resistenza statiche e dinamiche e successivamente modellate le connessioni meccaniche per materiali ibridi che vengono tipicamente utilizzate nelle diverse tipologie di edifici in legno a sviluppo medio e alto, tra cui combinazioni di legno lamellare incrociato (CLT) con calcestruzzo armato post-teso e non teso (RC), profilati d'acciaio strutturale e legname laminato (LSL). Nello specifico è stata realizzata una giunzione diretta di materiali diversi attraverso elementi di fissaggio meccanici. I risultati hanno indicato che questi tipi di connessioni ibride dirette possono essere accuratamente progettate utilizzando le correnti

pratiche per le connessioni in legno comune, il raggiungimento delle capacità meccaniche e del carico di rottura, hanno, dimostrando spostamenti anelastici molto più grandi di circa il 200% rispetto alle connessioni convenzionali.

Inoltre, per i collegamenti CLT-Acciaio, la rigidità elastica ha duplicato i valori dei comuni collegamenti legno-legno.



Fase preparativa di un provino in Osb connesso a degli elementi in cross-lam mediante viti. All'interno del laboratorio de Construcción Civil. Foto realizzata dall'autore.

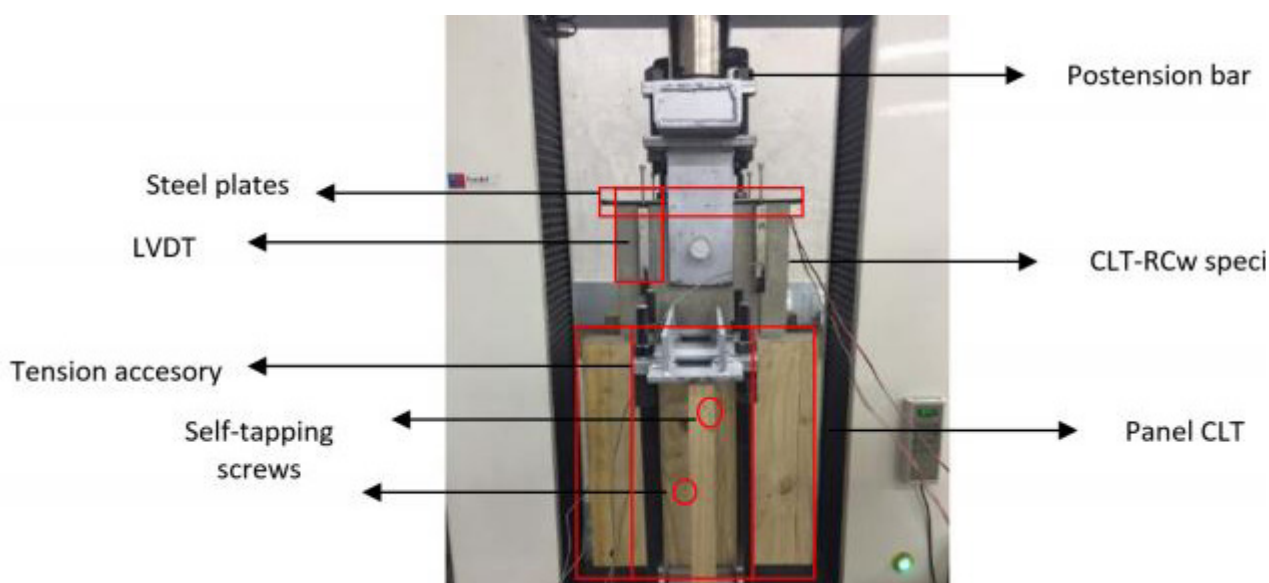
Questi risultati hanno suggerito che le giunzioni dirette di collegamenti ibridi sono una valida alternativa per la costruzione in cantiere di edifici compositi, ma soprattutto per assemblaggi prefabbricati, perché la giunzione diretta è in genere più veloce e più economica della giunzione indiretta negli impianti di prefabbricazione.

Inoltre, la maggior parte delle connessioni studiate sono raccomandate non solo per i carichi statici ma anche dinamici dovuti ad alta duttilità con capacità di dissipazione ad alta energia e smorzamento viscoso equivalente.

Tuttavia, è importante notare che può essere necessario in caso di eventi di carico estremo un lavoro di riparazione, soprattutto in caso di grandi terremoti (a causa di grande stress infatti è stato osservato che la degradazione della rigidità è maggiore quando si è in pre-

senza di grandi spostamenti).

Inizialmente si è previsto un comportamento di tipo duttile per la maggior parte delle connessioni, tuttavia ci si è accorti che non era così per le connessioni CLT-RC. È stato potuto notare infatti un cedimento del calcestruzzo dovuto al taglio. Pertanto, le connessioni ibride-RC sono raccomandate solo per le connessioni che non sono sottoposte a grandi carichi dinamici come il terremoto o il carico di vento. Un altro aspetto importante della connessione ibrida-RC è che la risposta dinamica è altamente dipendente dalla direzione del carico, che può essere evidenziato dall'asimmetria della risposta isterica. L'asimmetria è prodotta principalmente perché si verifica un alto attrito al piano di taglio solo nella prima direzione di carico. I modelli esistenti di isteresi come il modello di MSTEW sono stati usati per predire esattamente il monotono così come



Test ciclico di comportamento al taglio del provino. Immagine tratta da T. Carrero, J. Montano, H. Santa-Maria, P. Guindos, (2020) "Static and dynamic performance of direct hybrid connections of cross-laminated timber with steel, concrete and laminated strand lumber composites", Latin American Journal of Solids and Structures

risposta ciclica delle connessioni ibride. In generale quando si produce la curva di carico si prevedono errori inferiori al 10%. Tuttavia, si possono prevedere errori maggiori per i collegamenti sottoposti ad un elevato carico assiale degli elementi di fissaggio a causa dell'asimmetria prodotta dagli effetti di attrito. Tale imprecisione dovuta all'asimmetria è diventata più evidente per le connessioni RC, per le quali gli errori possono essere superiori al 50%. Ciò rende evidente che la ricerca futura è necessaria per consentire la realizzazione di modelli di carico capaci di catturare il comportamento carico asimmetrico.¹

Ulteriore analisi condotta è stata sulla ricerca realizzata anch'essa all'interno del CIM sulle prestazioni sismiche di centinaia di edifici in legno a struttura leggera nel corso dei maggiori terremoti contemporanei, al fine di mettere in relazione lo stato precedente delle strutture in legno con il livello di danno dopo lo shock. L'indagine è stata volta ad identificare e correlare i parametri più rilevanti che dettano il livello di danno sugli edifici in legno a struttura leggera; analizzando le prestazioni attuali e la resilienza dell'edificio in legno in caso di terremoti, con potenziale distruttivo crescente. L'indagine si basa su centinaia di rapporti forensi post-scossa, inclusi i dati di alcuni dei terremoti più distruttivi di Stati Uniti, Cile e Nuova Zelanda registrati negli ultimi due decenni. Per l'analisi numerica è stata utilizzata la scala internazionale del

¹ T. Carrero, J. Montano, H. Santa-Maria, P. Guindos, (2020) "Static and dynamic performance of direct hybrid connections of cross-laminated timber with steel, concrete and laminated strand lumber composites", *Latin American Journal of Solids and Structures*

danno Hazus.

Dove i risultati indicano che le strutture leggere in legno di altezza bassa (1 piano fuori terra) fino a media (2/3 piani fuori terra) hanno reagito molto bene prevenendo il collasso nella maggior parte dei casi. Tuttavia, i costi di riparazione significativi – fino al 90% dei costi totali – sono stati sugli elementi non strutturali, in particolare con incapsulamento del gesso, stucchi e altre finiture.

Property type	Cost as percentage of total [%=100 (item cost/total repair cost)]							Satellite Student Union Center
	Multi-family dwellings		Single family dwellings					
case study #	10	11	12	13	14	15	16	17
Non Structural damage	93 %	84 %	55 %	46 %	76 %	73 %	70 %	73%
Structural damage	7 %	16 %	45 %	54 %	24 %	27 %	30 %	27%
Vacancy cost	3 %	19 %	14 %	3 %	19 %	5 %	0 %	

Tabella di comparazione costo riparazione/elementi da riparare. Estratta dal paper . Carrero, F. Ureta-Céspedes, T. Cabrera, S. Cárcamo, H. Santa María, P. Guindos, (2018) *Global analysis of light-framed timber construction detailing and its performance during major contemporary earthquakes*, *Latin American Journal of Solids and Structures*.

In termini di danno strutturale, i parametri più rilevanti sono stati la rigidità del primo piano, il piano irregolare e la percentuale della parete di taglio con correlazioni del danno rispettivamente di R2 = 0,4, 0,5 e 0,6 indicando così la necessità di sviluppare ulteriormente le tecno-

logie di protezione sismica per edifici in legno di media altezza.²



Terrazzo Torre Peñuelas. Foto realizzata dall'autore con l'ausilio di un drone.

Nei mesi successivi si è potuto visitare e prender parte ad analisi effettuate alla Torre Peñuelas (l'edificio in legno più alto del latino America) accrescendo conoscenze e competenze nelle costruzioni in legno in altura. La Torre, è costruita con una struttura interamente in legno, ha sei piani di altezza ognuno dei quali di 25 mq di area, ubicata vicino alla Route 68 nella Riserva Nazionale del Lago Peñuelas.

Il progetto, ha comportato un investimento di circa \$ 200 milioni di pesos cileni (circa 213 mila euro), realizzata con pareti ventilate, tecnologia che consente la circolazione dell'aria e risparmi nel riscaldamento fino al 40%.

2 T. Carrero, F. Ureta-Céspedes, T. Cabrera, S. Cárcamo, H. Santa María, P. Guindos, (2018) Global analysis of light-framed timber construction detailing and its performance during major contemporary earthquakes, Latin American Journal of Solids and Structures

La torre soddisfa tutti i requisiti normativi cileni per l'abitabilità, anche per quanto riguarda la resistenza al fuoco.

All'interno sono presenti sensori che misurano umidità, temperatura, correnti d'aria, livello di luce e comportamento sismico. Ognuno dei piani è dedicato ad una ricerca differenziale, in particolare: il primo è una sala espositiva in cui vengono spiegati gli obiettivi della torre, con disegni e video che parlano del processo di costruzione; il secondo, terzo e quarto piano sono utilizzati per analisi sul comfort igrotermico infatti ognuno di questi piani a tipologie di rivestimenti differenti, consentendo così di adeguare le tecnologie applicate nella torre alle costruzioni che saranno sviluppate in futuro.

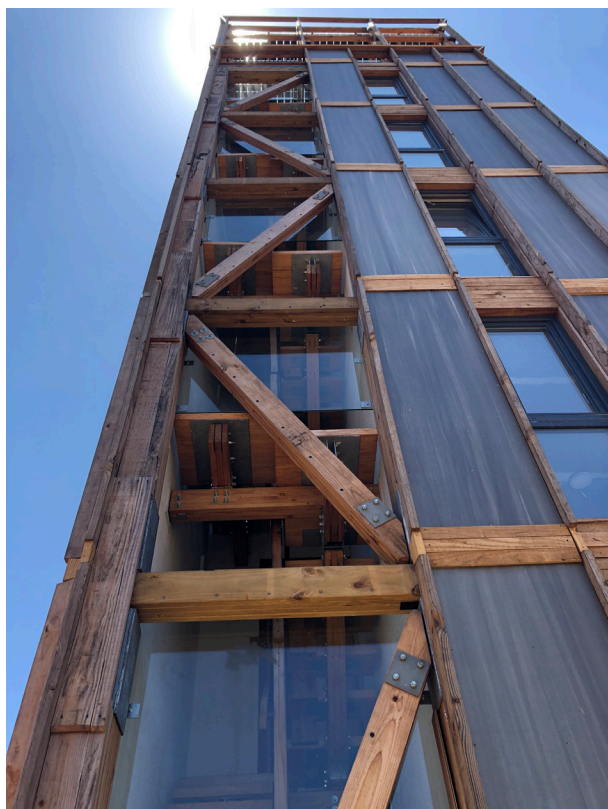


Piano pilota Torre Peñuelas. Foto realizzata dall'autore.

Al quinto piano viene mostrata al pubblico una sala pilota che mostra com'è abitare un edificio in legno, in fine al sesto è presente una terrazza e una pensilina con pannelli solari per alimentare e riscaldare l'intera struttura.

È un progetto iconico, che punta a mettere in evidenza i grandi vantaggi che il legno ha in termini di prestazioni fisiche, performance di alta qualità acustiche, climatiche ed igrotermiche.

"È un progetto chiave poiché, da un lato, consente l'implementazione – nel campo strutturale (di tutto ciò che è stato studiato nella costruzione di grattacieli), e dall'altro a modificare i concetti normativi nelle strutture in legno attualmente esistenti in Cile.

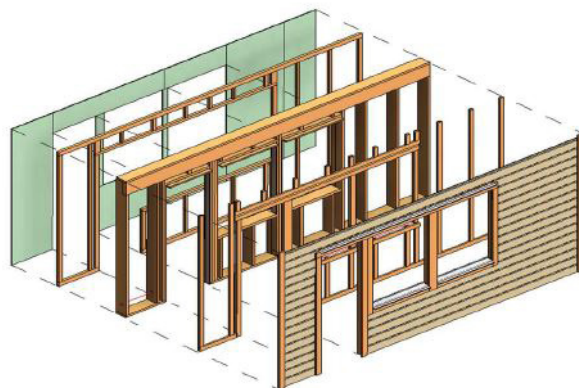


Torre Peñuelas dal basso. Foto realizzata dall'autore.

La torre è stata costruita in meno di tre settimane dalla società TecnoFast dimostra che gli edifici in legno hanno un grande potenziale per ridurre significativamente i tempi di costruzione e assemblaggio.

Elaborazione librerie sistemi tecnologici di legno in BIM (<https://www.madera21.cl/informacion-tecnica/>)

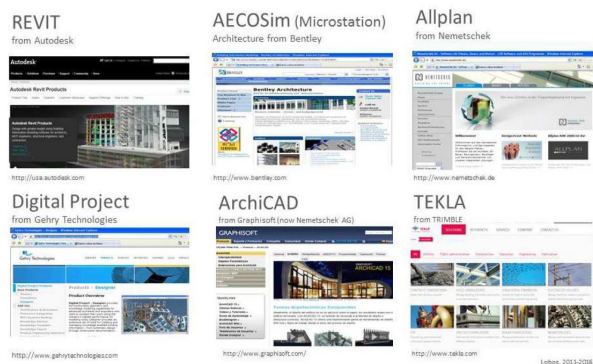
Ed ancora all'interno del CIM si è potuto visionare lo stato di sviluppo del BIM sugli edifici in legno, in America Latina. Infatti attualmente, gli strumenti BIM utilizzati per supportare la progettazione e costruzione in legno (come Agacad e Archiframe) sono rari. Sebbene consentano la creazione di pacchetti costrutti parametrici, librerie di materiali, veloce documentazione, aiuti alla produzione, sono complessi da usare, nessuno ha supporto tecnico in Cile. Altri, come quelli forniti da Tekla e Autodesk, hanno ancora pochissima documentazione e casi studio noti, essendo il lavoro necessario per aumentare il loro sviluppo e copertura.



Esploso di un Modello informatico di una parete in legno. Disegno elaborato dall'autore.

Sia nelle Università che nei piani di governo, non esiste un serio e chiaro dibattito sul tema BIM/costruzioni in legno. Alcuni nodi critici nello sviluppo dei sistemi BIM-Wood per il Cile ed in parte anche del il sistema italiano sono:

- Utilizzo del software BIM e dei plugin in spagnolo. O migliorare livello di inglese degli attori (questo migliorerebbe la competitività nei mercati internazionali).
- Introduzione di metodologie e plugin BIM in corsi di studio dedicati all'AEC (Architettura Ingegneria e costruzione).
- Creazione di standard di utilizzo BIM nazionali che considera l'utilizzo del legno.
- Creare corsi per professionisti nell'area AEC, digitare seminari, corsi o diplomi.
- Alleanze con produttori di legno per l'edilizia dove vengono discusse le standardizzazioni dei tuoi prodotti per piattaforme BIM
- Seminari di divulgazione sostenuti dai sindacati coinvolgendo: Ordine degli architetti, costruttori ed ordine degli ingegneri.³



Software di progettazione architettonica con metodologie BIM.

Ulteriore importante studio è stato quello effettuato in Chiloé la più grande isola dell'arcipelago di Guaitecas. L'abbondanza di alberi infatti ha portato a una alla realizzazione di una fiorente architettura in legno. Sedici delle chiese in legno di Chiloé sono patrimonio dell'umanità: Castro, Dalcahue, Rilán, Nercón, Chonchi, Vilipulli, Tenaún, Colo, San Juan, Chelín, Caguach, Ichuac, Al-dachildo, Detif, Achao e Quinchao.



Chiesa di Achao Patrimonio dell'umanità. Foto realizzata dall'autore.

³ D. Lobos, F. de la Cruz, Cl. Codron Lechuga, V. Nunez Bustos, (2017) *BIM y Madera. Nuevos desafíos para el Diseño y Construcción*, SIGraDi 2017, XXI Congreso de la Sociedad Ibero-americana

Attualmente ci sono più di 60 chiese appartenenti alla scuola di architettura religiosa Cilotà. Gli evangelizzatori scrissero che volevano assicurarsi che la dottrina cristiana fosse presente nelle faccende quotidiane della gente.

Dato che i ciloti sono da sempre stati marinai, i missionari non potevano pensare a un modo migliore che costruire più di 400 chiese sparse su isole diverse, solitamente situate in luoghi visibili dal mare tutte interamente in legno come le barche.



Chiesa dell'apostolo Giacomo. Foto Realizzata dall'autore

Inoltre, volevano coinvolgere gli indigeni nella costruzione delle chiese, in modo da sentirle proprie. Le chiese furono costruite da falegnami ciloti guidati dai progetti portati dai gesuiti, progetti che seguivano i canoni delle chiese europee progettate in pietra. Delle 16 chiese in

legno di Chiloé, patrimonio dell'umanità, si è avuta l'opportunità di visitarne solo alcune poiché molte rimangono chiuse, aperte solo in determinate occasioni.

In ultimo si è potuto visitare la chiesa di San Francisco de Castro è una delle 16 chiese in legno di Chiloé che riconosciute Patrimonio dell'Umanità.



Epigrafe all'interno della Chiesa dell'apostolo Giacomo. Foto Realizzata dall'autore.

dove si è avuto il piacere di constatare che i progetti per la realizzazione della stessa sono stati opera di un architetto italiano don Eduardo Provasoli Pozzoli, Il suo aspetto neogotico è facilmente riconoscibile per via della diversità dal resto delle chiese rudimentali Chilote, inoltre altro aspetto caratteristico è

il giallo del prospetto frontale in grado di renderla riconoscibile già dalla costa dell'isola. Le chiese sopraccitate sono di particolare importanza poiché al netto dei rivestimenti, sono state realizzate interamente attraverso incastri questo fa sì che in caso di terremoto gli elementi portanti hanno un certo grado di labilità, tale da consentire alla struttura di assorbire le sollecitazioni sismiche senza rompersi.⁴

Altra esperienza altamente formativa è stata la presenza alla IV edizione del Congresso latino americano delle strutture in legno (CLEM 2019) svoltosi dal 18 al 20 novembre 2019 a Montevideo, in Uruguay. La prima edizione fù a Concepción, in Cile permettendo la riunione di accademici, professionisti, tecnici e aziende del settore forestale-legname, dando la possibilità ai vari professionisti di potersi confrontare sui vari problemi e permettendo nel corso degli anni produttivi scambi.



Congresso latino americano dell strutture in legno. Foto Realizzata dall'autore.

⁴ <https://www.rutaschile.com/Destino-Detalle-Descripcion.php?N=Iglesia-de-achao-chiloe.php> (2020)

Le successive edizioni del 2017 a Junín (Argentina) e del 2018 a San Carlos (Brasile) hanno consolidato la storia di questo evento, arrivando al CLEM 2019 combinando anche nel 2019 contributi scientifici in sessioni plenarie presentate da professionisti e accademici di fama internazionale avendo quindi l'opportunità di vedere lo stato di ricerca e sviluppo dei vari stati del latino america nel settore legno. Un fra i tanti dati emersi durante il convegno sono stati i 200 ettari di bosco a disposizione per ogni ricercatore latino americano.



Logo del World Conference on Timber Engineering.

Ed infine si è avuta l'opportunità di stare a stretto contatto con i vari organizzatori del WTCE Conferenza mondiale sull'ingegneria del legno che si terra in Cile nell'agosto del 2021 Gli argomenti principali a tema della conferenza saranno:

- Foreste sostenibili per la produzione di legname
- Prodotti in legno e connessioni
- Ingegneria del legname
- Architettura in legno
- Politiche, attuazione e gestione

- Implementazione e gestione
- Istruzione, promozione e tendenze future

Queste sono state alcune delle esperienze altamente formative che si ha avuto la possibilità di avere durante i nove mesi di permanenza all'estero.

PARTE TERZA

Delimitazione campo d'indagine

4. Delimitazione campo d'indagine

Sulla base delle analisi condotte si evince come sia necessario affrontare la questione sismica e energetica italiana [vedasi paragrafo 2.5], si è potuto notare inoltre come il legno e soprattutto il legno ingegnerizzato sia diventato a pieno titolo un materiale rispondente a molte delle sfide del XXI secolo, essendo quindi in grado di fornire notevoli performance sia: in ambito sismico ed energetico, che di impronta ecologia. Si ritiene inoltre che possa rispondere bene alle sfide poste dall'NTC18 ed alle direttive europee [vedasi paragrafo 2.4]. Gli ulteriori studi condotti all'interno del Centro de Innovación en Madera in Cile hanno evidenziato la necessità dei sistemi costruttivi non strutturali a rispondere in maniera sempre più performante alle sollecitazioni sismiche [vedasi capitolo 3], l'analisi dello stato dell'arte dei sistemi costruttivi esistenti ha evidenziato l'esigenza di un nuovo prodotto in grado di rispondere in maniera adeguata alle principali sollecitazioni causate dal sisma: il drift d'interpiano e la deformabilità torsionale. ¹ Tutti gli argomenti, i studi e le varie analisi sopracitate hanno indirizzato la ricerca a focalizzarsi sullo studio e sulla realizzazione di due sistemi tecnologici in grado di rispondere in maniera adeguata ai punti critici evidenziati quali sollecitazioni sismiche ed efficientamento energetico, ed in particolar modo il primo si concentra sulla tematica del rischio sismico all'interno di sistemi strutturali esistenti, restringendo il campo alla sperimentazione di un elemento in legno in grado di aumentare la rigidità di un telaio strutturale in calcestruzzo armato progettato e costruito prima dell'avvento della Legge 64/1974.

1 L. Petrini, R. Pinho, G.M. Calvi, (2004) Criteri di Progettazione Antisismica degli Edifici, CAPITOLO 4, IUSS Press, Pavia

Intervenendo inoltre sull'aspetto prestazionale energetico. Il secondo sistema costruttivo proposto è un elemento non strutturale in grado di ridurre su di un asse ed evitare sull'asse ortogonale le sollecitazioni sismiche evitando l'effetto espulsione [vedasi paragrafo 2.4] causa principale dell'alto costo di ristrutturazione intervento necessario a seguito dei danneggiamenti dovuti agli eventi sismici.



Pierini Christian - Ingenio web <https://www.ingenio-web.it/20985-elementi-costruttivi-non-strutturali-negli-edifici-in-ca-in-zona-sismica-cosa-cambia-con-le-ntc-2018> (28/08/2018)

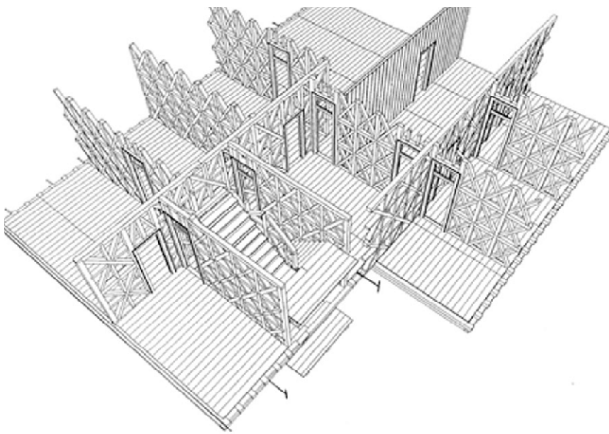
PARTE QUARTA

Sistemi Costruttivi Proposti

5. Sistemi costruttivi proposti

5.1 Genesi sistemi costruttivi proposti

Alla base del primo sistema costruttivo proposto vi è un'intuizione, avuta durante gli studi ed in particolare analizzando gli edifici Pompalino costruiti in legno e muratura realizzati dal sec. XVIII nel centro di Lisbona.¹ Questo sistema infatti ibrida il legno con la muratura e fa in modo che la struttura in legno assorba i carichi sismici.



In-plane shear behaviour of traditional timber walls – Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/The-Gaiola-system-in-the-Pombalino-buildings-a-typical-layout-of-the-gaiola-17-b_fig16_274036722 [accessed 29 Jul, 2021]

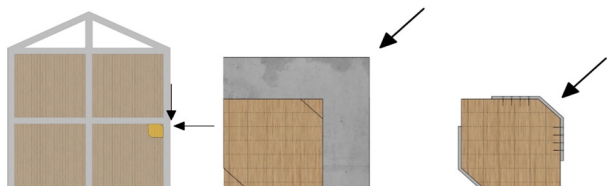
¹ Meireles, H., Bento, R., Cattari, S., & Lagomarsino, S. (2014). *Seismic assessment and retrofitting of Pombalino buildings by pushover analyses. Earthquakes and Structures, 7(1)*,

A supporto dell'intuizione avuto esistono abbastanza studi condotti da vari ricercatori in differenti Università e/o strutture di ricerca. Di particolare interesse sono gli studi condotti dai ricercatori Iztok Sustersic, Bruno Dujic, in cui in un articolo del 2012 affrontano il problema del retrofit sismico e del risanamento energetico di edifici esistenti. Evidenziano la possibilità di risolvere contemporaneamente entrambi i problemi applicando un nuovo guscio esterno in legno lamellare incrociato (crosslam o XL) con l'aggiunta di un isolamento in aerogel. struttura con struttura in cemento armato. Vengono presentate le proprietà di isolamento termico dei pannelli coibentati. Inoltre viene esplicitata la possibilità che i carichi vengano in parte assorbiti dal cappotto però chiariscono che questa parte non è ancora stata affrontata.²

Lo studio del prof. F. Stazi, presenta uno studio sperimentale e numerico preliminare focalizzato sul comportamento meccanico dei pannelli CLT utilizzati come sistema di controventatura. In particolare sono state eseguite prove di compressione diagonale su pannelli a 3 strati, anche riproducendo una trasmissione diretta del carico dal telaio in ca al tamponamento in CLT. Il confronto con i risultati di test simili su pannelli CLT (con un diverso numero di strati e spessore) e con muratura non rinforzati e rinforzati tamponature è stato fornito. Inoltre, sono state effettuate simulazioni numeriche, al fine di valutare i cambiamenti nella risposta laterale del telaio in ca quando

² Sustersic I e Dujic B. *Consolidamento sismico di edifici esistenti con pannelli in legno lamellare incrociato. In: Conferenza mondiale sull'ingegneria del legno. Auckland, Nuova Zelanda, 16-19 luglio: 2012.*

vengono aggiunti tamponamenti in CLT.



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061819306853>

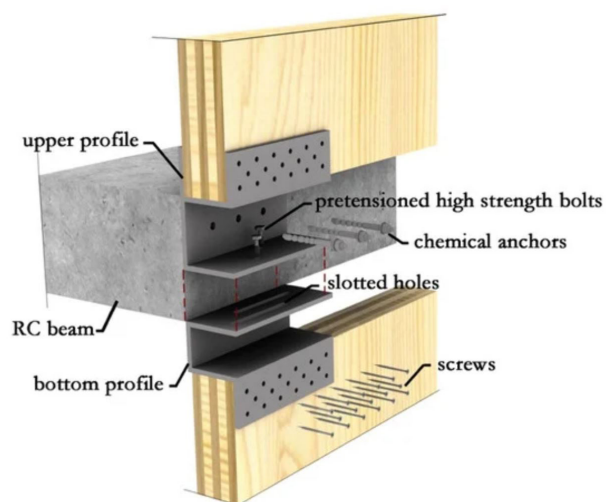
I risultati hanno dimostrato che i tamponamenti in CLT possono essere utilizzati come soluzione di rinforzo, consentendo al telaio in ca di raggiungere valori di rigidità laterale e di carico di picco più elevati rispetto ai tamponamenti in muratura.³

Ed ancora lo studio condotto dal Prof. Edoardo M. Marino dove propone una soluzione innovativa di ristrutturazione energetica, sismica e architettonica per edifici con struttura in cemento armato (RC), basata sull'aggiunta di pannelli in legno lamellare incrociato (CLT) alle pareti esterne, in combinazione con pannelli in legno. I due pannelli integrano materiali isolanti e di rivestimento al fine di migliorare le prestazioni energetiche e l'immagine architettonica dell'edificio ristrutturato. Inoltre, i pannelli CLT sono collegati al telaio RC esistente tramite innovativi dispositivi di dissipazione dell'energia sismica.

In particolare, viene indagata la fattibilità tecnica, l'efficienza energetica e il miglioramento architettonico del sistema di retrofit proposto. A tal fine, sono state condotte simulazioni termiche dinami-

3 F. Stazi, M. Serpilli, G. Maracchini, A. Pavone, (2019) An experimental and numerical study on CLT panels used as infill shear walls for RC buildings retrofit, Construction and Building Materials, Volume 211,

che su un tipico edificio residenziale a più piani degli anni '60, situato a Catania, in Italia. I risultati hanno indicato che questa tecnica di retrofit ha migliorato notevolmente le prestazioni energetiche dell'edificio selezionato, con una riduzione del fabbisogno energetico globale fino a quasi il 60%.



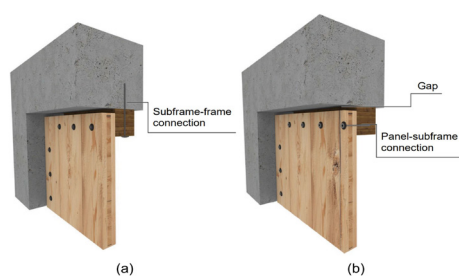
<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/12/4845>

Lo studio presentato fa parte di un più ampio progetto di ricerca volto ad indagare anche, in una fase successiva, le prestazioni sismiche ottenibili dalla suddetta soluzione di ristrutturazione.⁴

Ulteriore studio a sostegno è quello del Prof. Maurizio Piazza in cui discute un metodo di retrofit sismico delle strutture a telaio in cemento armato (RC) e che prevede la sostituzione dei tamponamenti in muratura esistenti con pannelli strutturali in legno. L'intervento è finalizzato a migliorare il comportamento complessivo degli edifici senza modificare il

4 G. Margani, G. Evola, C. Tardo, E. M Marino (2020) Energy, Seismic, and Architectural Renovation of RC Framed Buildings with Prefabricated Timber Panels. Univesità di Catania

sistema strutturale originario in calcestruzzo. Nella ricerca presentata sono stati sottoposti ad analisi statiche non lineari oltre 200 modelli ad elementi finiti comprendenti telai a un solo piano nudi, tamponati in muratura e riadattati. Successivamente, l'efficacia della soluzione proposta è stata ulteriormente studiata applicando il retrofit a base di legno a un intero edificio di caso studio modellato tramite elementi finiti e sottoposto ad analisi pushover statica non lineare. Il confronto dei risultati ottenuti per l'edificio nelle configurazioni originale e retrofit indica che il sistema proposto può favorire lo sviluppo di comportamenti duttili e migliorare significativamente la risposta sismica delle strutture a telaio in ca. Si è potuto notare come i telai retrofittati presentavano caratteristiche superiori rispetto a quelli dei telai originali tamponati in muratura. Nei casi più performanti, l'intervento ha aumentato la resistenza ultima del $\approx 200\%$ e ha portato a spostamenti finali quasi 30 volte superiori a quelli delle configurazioni originali.



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029621009470>

Il sistema proposto è stato applicato anche ad una struttura esistente, ed è stata analizzata prima e dopo l'intervento di retrofit. Rispetto alla configurazione originale tamponata in muratura, la struttu-

ra retrofittata ha mostrato una capacità di deformazione 8 volte superiore e un taglio base aumentato del 26%. Inoltre, la struttura ristrutturata ha mostrato un comportamento duttile in cui non è stata osservata alcuna perdita di capacità laterale fino al crollo dell'edificio.⁵

Questi sono solo alcuni degli studi che hanno influenzato il lavoro svolto, ed in particolare evidenziano come il legno possa essere un'ottima soluzione sia di retrofit energetico che sismico, evidenziano inoltre come i problemi principali siano nei sistemi di unione fra legno e calcestruzzo, molti studi infatti si concentrano sul come connettere le pareti in cross-lam agli elementi strutturali, proprio da questo punto intente partire la tesi, proponendo un sistema analogo capace però di superare e/o comunque limitare i problemi di connessione e di ponte termico.

In riferimento al secondo sistema costruttivo proposto si è riuscito ad individuare solo sistemi costruttivi realizzati con struttura metallica, dimostrando l'ampio margine di sviluppo futuro per il legno in questo ambito. All'interno dello studio individuato vengono eseguite una serie di esperimenti a livello di componente di una parete mobile in cartongesso con montanti in acciaio, con l'obiettivo di studiare il comportamento sia monotono che ciclico dei componenti della parete divisoria, comprese le connessioni gesso-montante, montante-vite e binario-parete.⁶ I dati

5 F. Smirolto, I. Giongo, M. Piazza, (2021) Use of timber panels to reduce the seismic vulnerability of concrete frame structures, Engineering Structures, Università di Trento (Volume 244, Elsevier)
6 E. Rahmanishamsi, S. Soroushian, EM Maragakis (2015) Analytical Model for the Seismic Performan-

sperimentali sono stati quindi utilizzati per proporre e convalidare una serie di modelli di cerniera.



<https://www.mangini.it/product/planika/>

Il sistema proposto invece ha lo scopo di verificare se è possibile utilizzare il legno come sistema portante delle pareti divisorie, che attraverso un sistema costruttivo innovativo permetta alla parete di evitare alcuni sforzi sismici e quindi essere meno soggetta al fenomeno di drift ed espulsione.

ce of Cold-Formed Steel-Framed Gypsum Partition Walls, Università del Nevada (Structures Congress 2015)

5.2 Sistema di irrigidimento in CLT

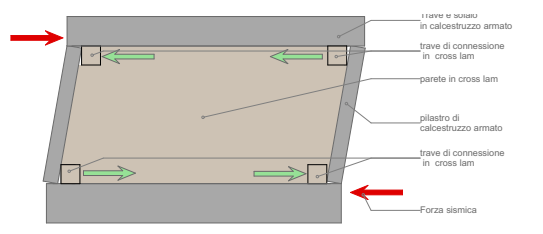
A seguito del lavoro di analisi dello stato dell'arte documentato nei capitoli precedenti, verranno di seguito esposte le due proposte di sistema costruttivo quali sintesi del lavoro di ricerca svolto negli anni di dottorato e della collaborazione con il direttore ed i vari ricercatori del Centro UC de Innovación en Madera.

Il primo sistema proposto è un elemento in legno irrigidente da utilizzare in sistemi costruttivi a telaio: calcestruzzo, acciaio, legno etc., il processo di sviluppo di questo sistema ha visto molti rimaneggiamenti in quanto si è cercato di avere come punti cardine, la facilità di realizzazione, di posa, di adattabilità, di risparmio energetico.

Gli obiettivi del sistema sono:

Migliorare la rigidezza di un telaio in calcestruzzo (acciaio, legno etc.) per aumentare la sua risposta, ad un eventuale sforzo sismico. Utilizzare il sistema di irrigidimento come rivestimento del telaio struttura così da aumentare l'efficienza energetica dell'intero edificio.

Requisiti



(Figura 1)

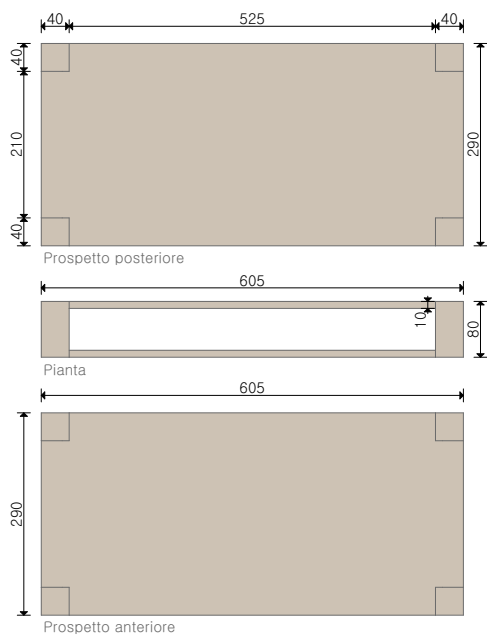
Affinché il sistema suddetto possa essere installato correttamente sarà necessario poter disporre le quattro travi di connessione nei quattro vertici dell'ipotetico rettangolo inscritto in un telaio

(Fig. 1) e le successive pareti in cross lam nel lato interno ed esterno dell'abitazione. Le pareti verranno consolidate alle travi evitando il fenomeno espulsione mediante lamelle lignee inserite in delle asole precedentemente predisposte sia sulle pareti che sulle travi inoltre le lamelle in questione andranno a consolidare qualora fossero previsti anche dei sistemi adiacenti.

Programma funzionale

Per poter utilizzare il dispositivo è necessario anzitutto fare un calcolo preventivo della rigidezza del sistema esistente, constatata la necessità di un rinforzo strutturale in punti specifici si procederà con il dimensionamento degli elementi che compongono il sistema costruttivo proposto, quindi si procederà svuoterà il telaio dalla muratura esistente, ed al suo posto verrà inserito il sistema di irrigidimento a maggior efficienza energetica.

Di seguito verranno mostrate le analisi tecniche effettuate attraverso il software agli elementi finiti RFEM atte a verificare che il sistema di irrigidimento sia effettivamente efficace e quindi in grado di aumentare la rigidezza di un sistema statico già esistente. Per l'analisi si utilizzerà un pannello in Cross Lam con le caratteristiche prestazionali indicate nella tabella 1 e la seguente geometria:

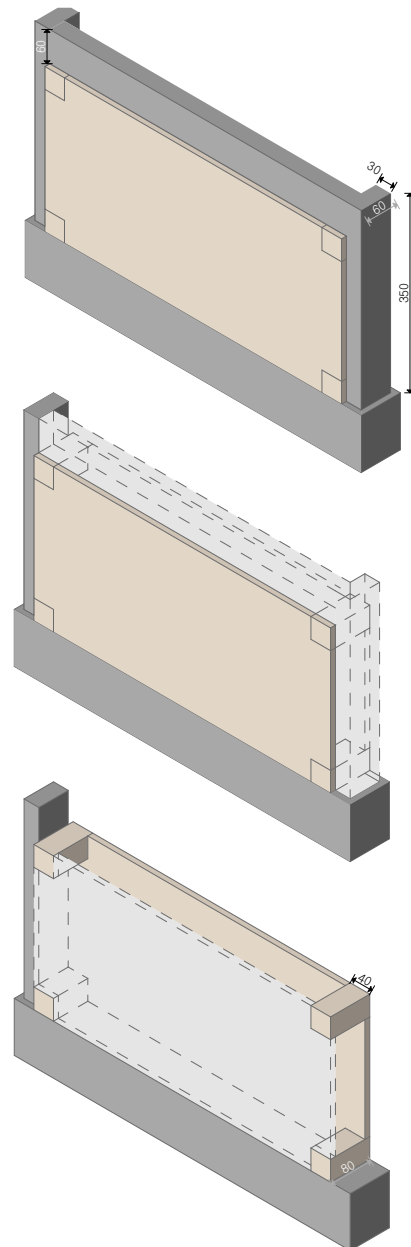


(Figura 2)

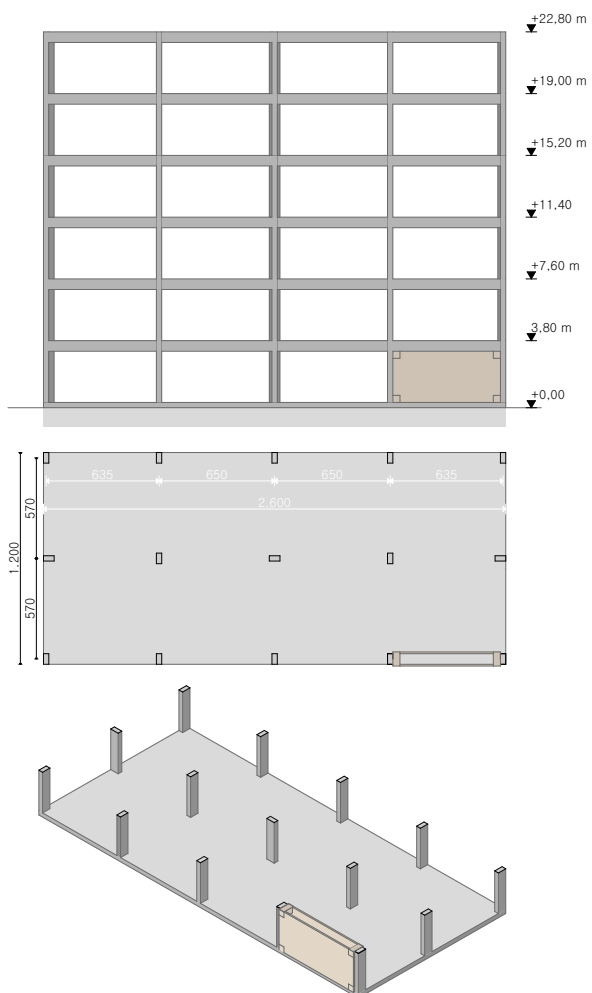
il sistema verrà inserito all'interno di una struttura in calcestruzzo armato avente resistenza pari a:

$$f'_c \cong 25 \text{ MPa} \cong 250 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

con le seguenti caratteristiche geometriche:



(Figura 3)



(Figura 4)

(Ai fini dell'analisi non è stato necessario inserire i dati geometrici dell'armatura e e relativa resistenza caratteristica poiché i dati che entreranno in gioco saranno il modulo elastico e il momento d'inerzia dei vari elementi)

Di seguito verranno riportate le modalità ed i relativi risultati delle analisi effettuate.

Tutti i disegni contenuti in questo capitolo, sono stati elaborati dall'autore.

Modellazione e analisi Sistema a telaio con muro “Compreso” in CLT

1. Descrizione

Nel presente rapporto si studia il comportamento laterale di un sistema a telaio soggetto a sforzo sismico che potrebbe essere potenzialmente rinforzato da un muro di CLT. Il sistema è costituito da un telaio in cemento armato, considerando un Rck del calcestruzzo pari a:

$$f'_c \cong 25 \text{ MPa} \cong 250 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

2. Ipotesi

Per realizzare il modello computazionale è stato necessario assumere alcune ipotesi che verranno di seguito riportate:

- Si è ritenuto che i muri di CLT siano al centro rispetto il sistema telaio, anche se nelle analisi successive si darà un'eccentricità ai muri suddetti. Poiché si desidera studiare il comportamento laterale del sistema, l'eccentricità non avrà rilevanza.
- Siccome le pareti saranno incastrate al telaio in calcestruzzo si è ipotizzato un comportamento di aderenza perfetta tra i due materiali.¹
- Nella configurazione finale le due pareti in CLT verranno connesse da quattro travi, cosa che conferirà rigidità al sistema nella sua componente gravitazionale. Però siccome questo studio punta a analizzare le proprietà laterali, questa configurazione non sarà influente ai fini dell'analisi.

Inoltre, il muro è stato assunto come semplicemente incastrato, e senza la presenza di hold-down o altro.

- Si è deciso di utilizzare un muro in CLT a 5 strati (layer) di 20 mm ciascuno, ottenendo così un muro di CLT di 100 mm di spessore. Il tipo di legno considerato è stato ETA06/0138, le cui proprietà sono presentate di seguito:

Proprietà	Segno	Valor (MPa = N/mm ²)
Resistenza a flessione parallela alla fibra	F _{b,0}	24
Resistenza a flessione perpendicolare alla fibra	F _{b,90}	0
Resistenza a trazione parallela alla fibra	F _{t,0}	16.5
Resistenza a trazione perpendicolare alla fibra	F _{t,90}	0.1
Resistenza a compressione parallela alla fibra	F _{c,0}	24
Resistenza a compressione perpendicolare alla fibra	F _{c,90}	2.7
Resistenza a taglio XY	F _{xy}	8.2
Resistenza a taglio V	F _v	2.7
Resistenza a taglio S	F _s	1.2

Tabella 1: Proprietà legno ETA06/0138.

3. Modello informatico

Per realizzare il modello computazionale, è stato utilizzato il software agli elementi finiti RFEM, in cui sono stati creati due modelli semplici: uno di un sistema trilitico incastrato a terra (Figura 5), con le proprietà geometriche precedentemente descritte (Figura 4), e il secondo, lo stesso sistema con un muro “compreso” di CLT (Figura 2).

¹ F. Stazi, et al., (2019), An experimental and numerical study on CLT panels used as infill shear walls for RC buildings retrofit, Elsevier Construction and Building Materials journal

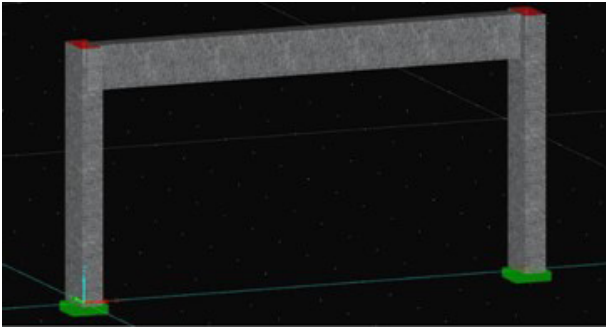


Figura 5. Sistema pilastro-trave. Elaborata dall'autore.

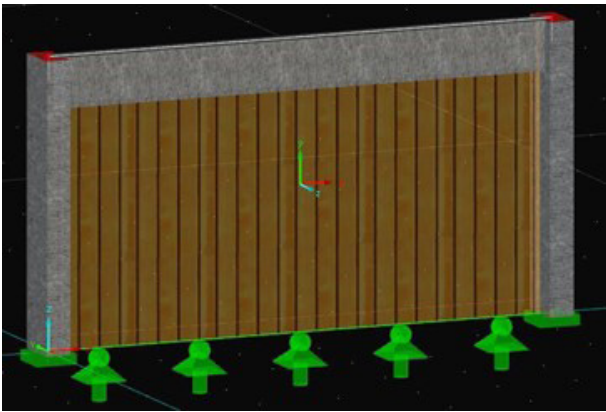


Figura 6. Sistema pilastro-trave con muro in CLT compreso. Elaborata dall'autore

Si può vedere dal modello che il muro è effettivamente collegato al sistema di pilastro-trave di calcestruzzo.

Per calcolare i carichi agenti sulla trave è stata considerata la geometria di un intero sistema, presentato nella Figura 6 (le cui caratteristiche geometriche sono state precedentemente elencate), dove è possibile vedere l'area di carico che ogni trave supporterà.

Dalla (Figura 7) si può inoltre notare che la porzione di area che ogni trave sopporta corrisponde alla metà del solaio superiore, la cui lunghezza è

uguale alla lunghezza della trave (solai quadrati). Detto questo, si considera un carico di progetto pari a $Q_L = 2 \text{ kN/m}^2$. Il carico lineare che supporta ogni trave è quindi pari a:

$$Q_{\text{trave}} = Q_L \times L = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 6.35 \text{ m} = 12.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \approx 13 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

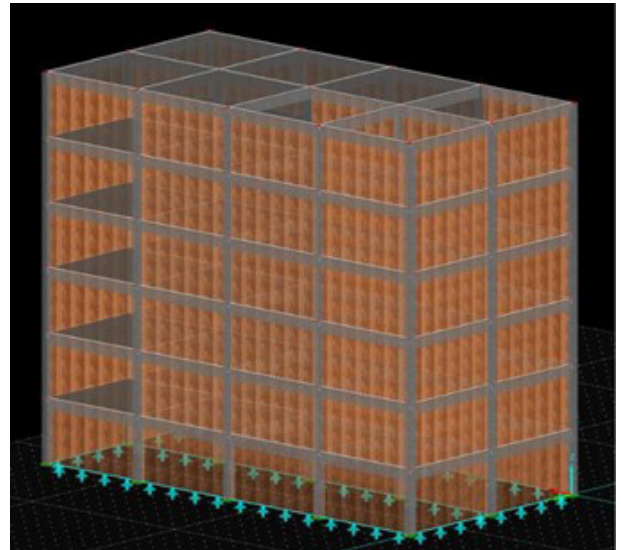


Figura 7. Edificio completo. Elaborata dall'autore

Il carico permanente invece (settate le dovute geometrie) viene calcolato automaticamente dal software RFEM. Per realizzare l'analisi è stato utilizzato un sistema statico Pushover, in cui è stato considerato il carico necessario per ottenere uno spostamento laterale di 1 mm nel sistema, assicurando un comportamento lineare. A seguire sono presentati i carichi imposti ad entrambi i sistemi.

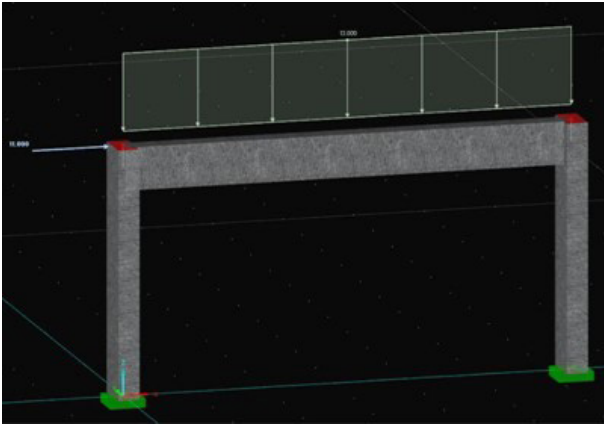


Figura 8. Combinazione D+L+Pushover. Elaborata dall'autore

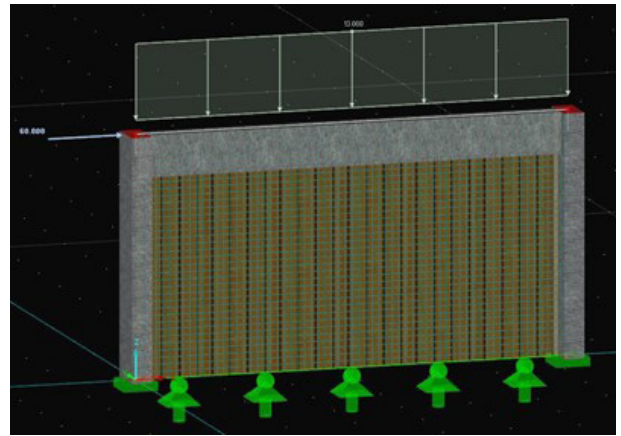


Figura 9. Combinazione D+L+Pushover. Elaborata dall'autore.

Per eseguire il primo modello (sul telaio semplice) è stato necessario considerare solo il caso di carico CO1

Nudo núm.	Desplazamientos [mm]			Gros [mrad]		
	ux	uy	uz	φx	φy	φz
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	1.0	1.0	0.0	0.0	0.9	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.5	0.5	0.0	-0.1	-0.8	0.0
Max	1.0	1.0	0.0	0.0	0.9	0.0
Min	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.8	0.0

– D+L+Pushover e quindi premendo sul pulsante “Visualizza Risultati” si è ottenuto il seguente risultato.

Figura 10. Risultato sistema telaio soggetto a combinazione di carico D+L+Pushover.

Per visualizzare il modello che comprendente il muro in CLT, è stato necessario cliccare sulla sezione “Moduli aggiuntivi” “Altro” “RF-LAMINATE”. All’interno di questa sezione viene infatti visualizzata la finestra della Figura 11, in cui si premendo su “Calcolo”,

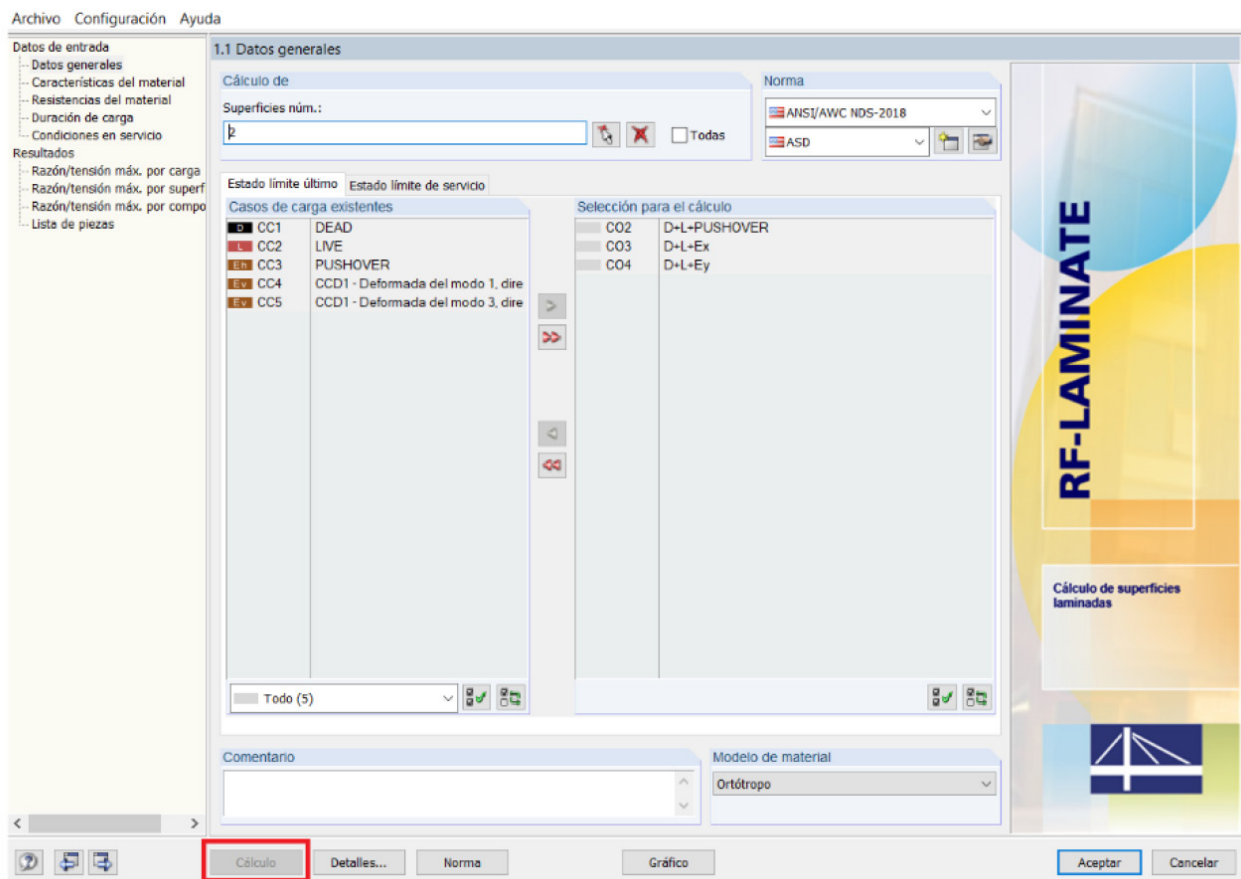
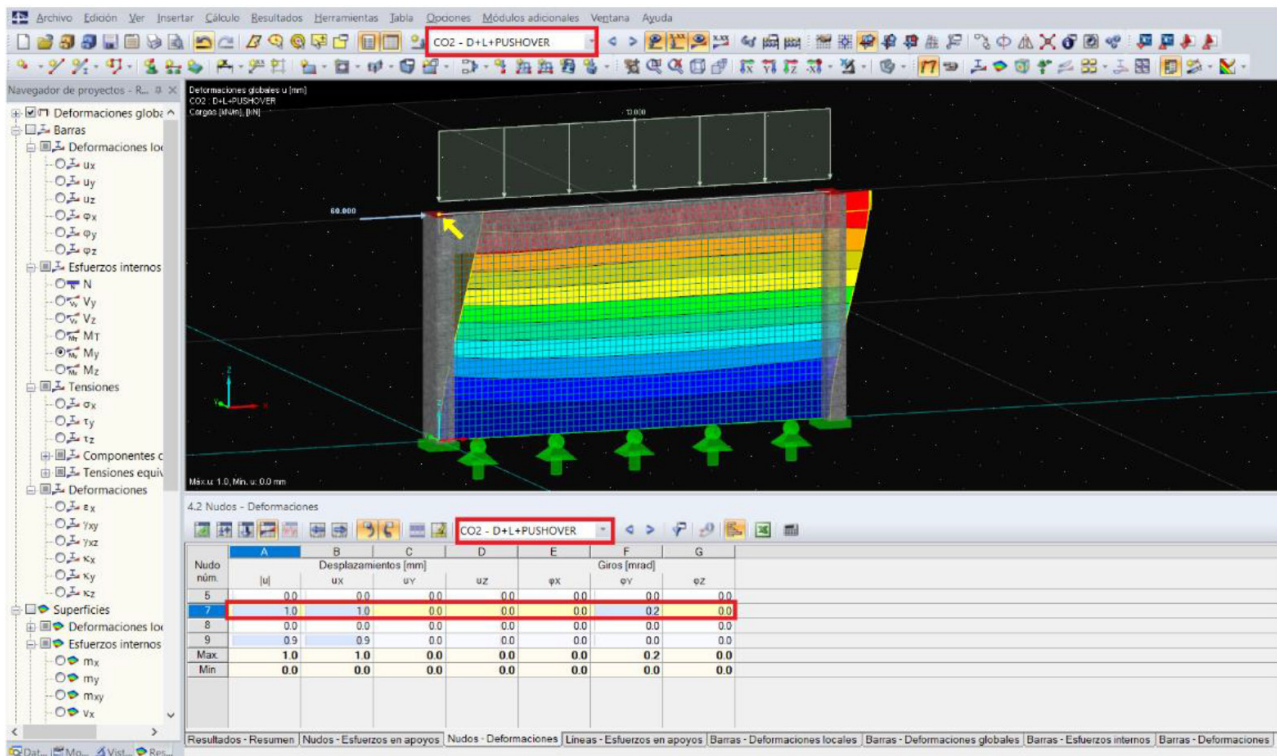


Figura 11. Ventana de RF-LAMINATE. Elaborata dall'autore.

(Se si desiderasse modificare le proprietà, la quantità di layer, o qualsiasi proprietà relativa al muro CLT, si bisognerebbe accedere alla stessa finestra di Figura 11, ed entrando nelle schede “Caratteristiche del materiale” e “Resistenza del materiale” modificarne i relativi dati.)

si otterranno i risultati associati alla combinazione di carico D+L+Pushover, presentati nella figura 12.



(Figura 12.) Elaborata dall'autore.

$$F_{lat} = K_{lat} \times \delta_{lat} \rightarrow K_{lat} = \frac{F_{lat}}{\delta_{lat}}$$

Inoltre, se si vuole confermare che il muro CLT si trova in condizioni di carico che non producono il suo danneggiamento, si può utilizzare la scheda "Risultati" Figura 11, dove verrà evidenziata la regione del muro in CLT maggiormente sollecitata.

questa equazione e quindi con i risultati ottenuti da RFEM, si può concludere che la rigidità laterale del sistema a telaio semplice è di

$$K_{lat} = \frac{11 \text{ kN}}{1 \text{ mm}} = 11 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

4. Analisi

Poiché il metodo utilizzato per conoscere la rigidità laterale del sistema è stato il Pushover, la rigidità laterale del sistema completo è stato ottenuto attraverso:

Considerando sempre un comportamento lineare. Quindi, inserendo il muro di CLT al modello, in condizione elastica risulta la seguente rigidità laterale.

$$K_{lat,CLT} = \frac{60 \text{ kN}}{1 \text{ mm}} = 60 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

Con ciò si può concludere che la rigidità laterale del sistema con un un muro in CLT a 5 strati è superiore di quasi 6 volte rispetto un sistema a telaio semplice. Questo risultato è confermato da (Stazi nel 2019), che è arrivato ad un aumento della rigidità laterale di quasi 7 volte sopra un sistema trave-pilastro semplice.²

5. Test su un edificio

Inoltre, di seguito verranno presentati due modelli di edificio con e senza rinforzo in CLT, ai quali è stato imposto uno sforzo sismico di progettazione, al fine di ottenere gli spostamenti teorici dei due modelli. In primo luogo, è stato modellato un edificio di 6 piani con le medesime proprietà del sistema descritto precedentemente, (Figura 13) i cui carichi vivi corrispondono a quelli utilizzati in precedenza. In secondo luogo, è stato modellato lo stesso edificio, ma questa volta considerando il sistema di irrigidimento in pareti in CLT inserito in ogni foro perimetrale (Figura 14),

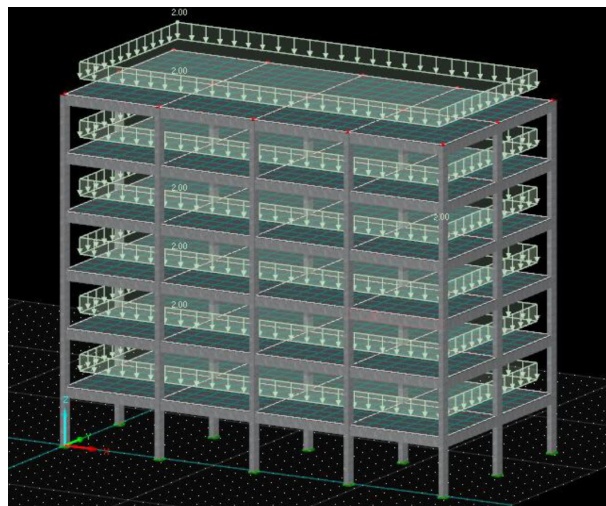


Figura 13. Edificio Telaio semplice. Elaborata dall'autore.

per l'analisi verranno utilizzati i medesimi carichi del modello analizzato in precedenza.

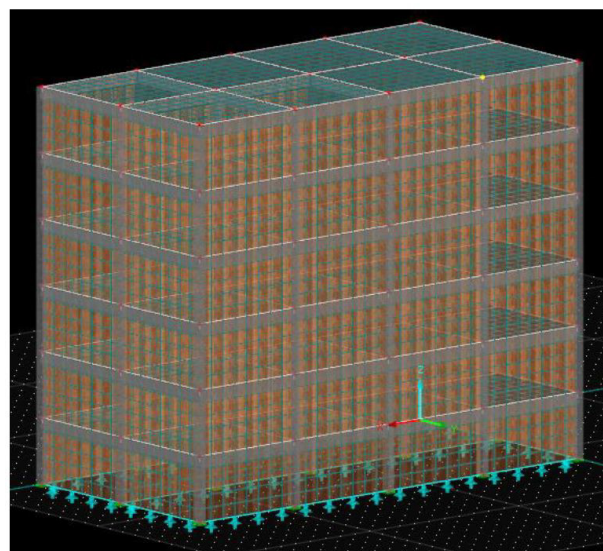


Figura 14. Edificio con sistema di rinforzo in CLT. Elaborata dall'autore.

². Stazi, F, et.al. (2019). An experimental and numerical study on CLT panels used as infill shear walls for RC buildings retrofit. ELSEVIER, Base de datos.

Inoltre anche le varie caratteristiche tecniche dei materiali uguali ai modelli

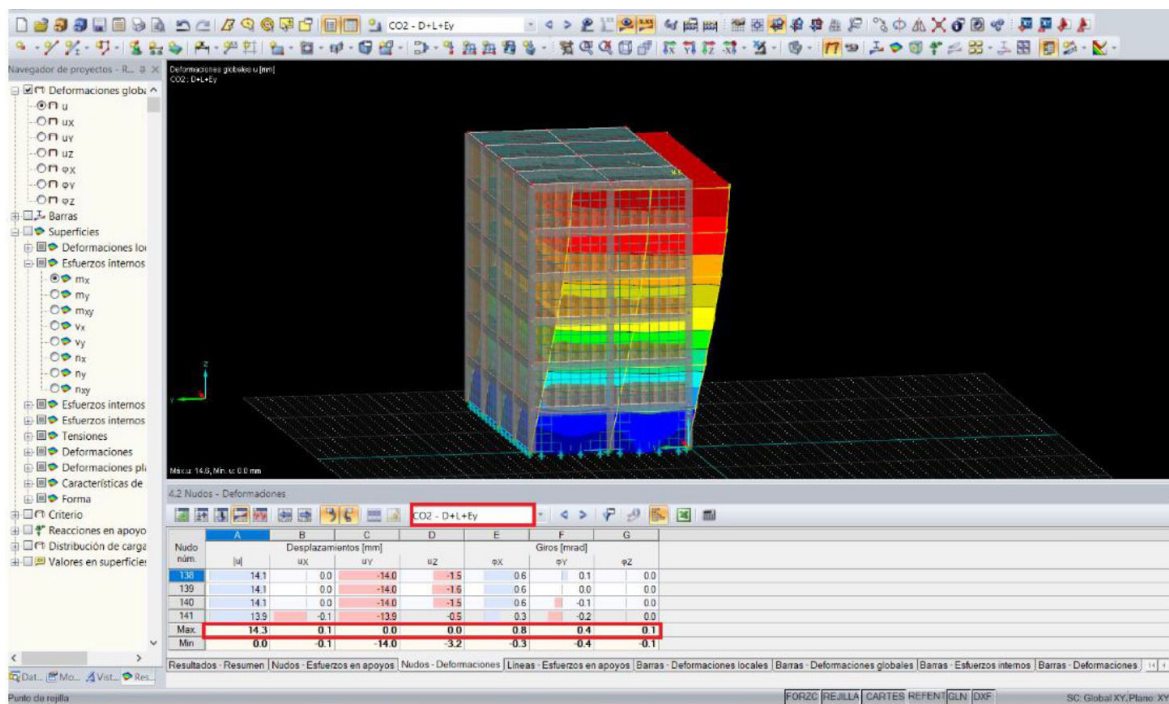
precedenti.

Nella Tabella 2 vengono presentati i risultati e quindi gli spostamenti massimi relativi alle due tipologie di modello, considerando gli spostamenti dovuti allo sforzo sismico nelle direzioni X e Y.

Tabella 2: Spostamenti massimi.

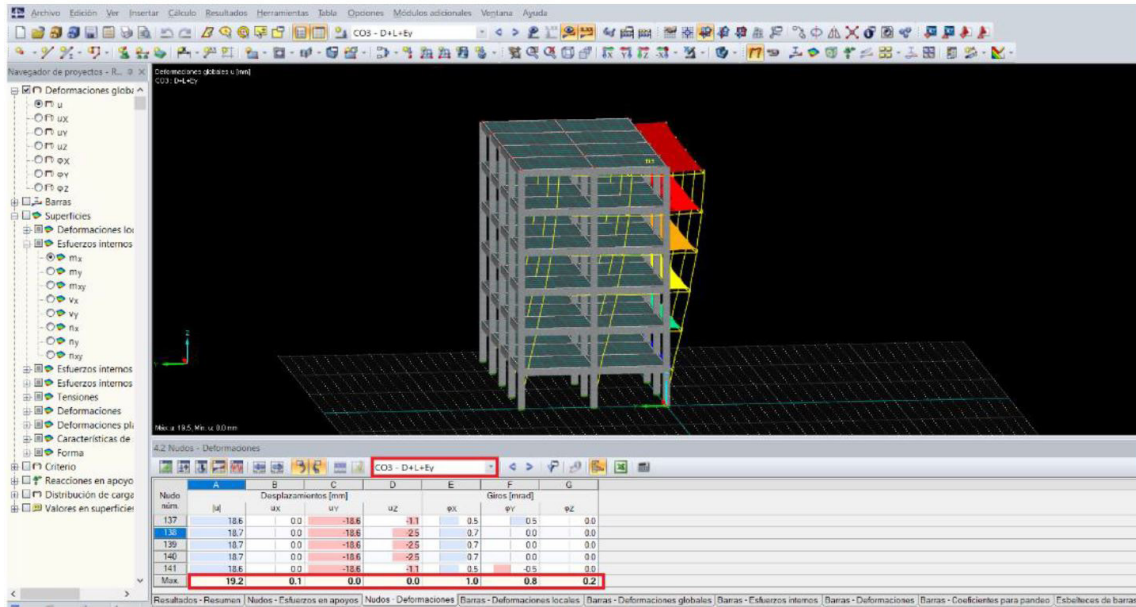
	Sisma in X	Sisma in Y
Spostam.to telaio semplice (mm)	29.2	19.5
Spostam.to telaio rinforzato (mm)	10.9	14.3

Ciò conferma ancora una volta che i sistemi di rinforzo in CLT apportano una maggiore rigidità laterale all'intero sistema. Si noti che, per questo edificio in particolare, l'apporto di rigidità laterale nella direzione X è maggiore a causa della maggiore densità di pareti in questa direzione.



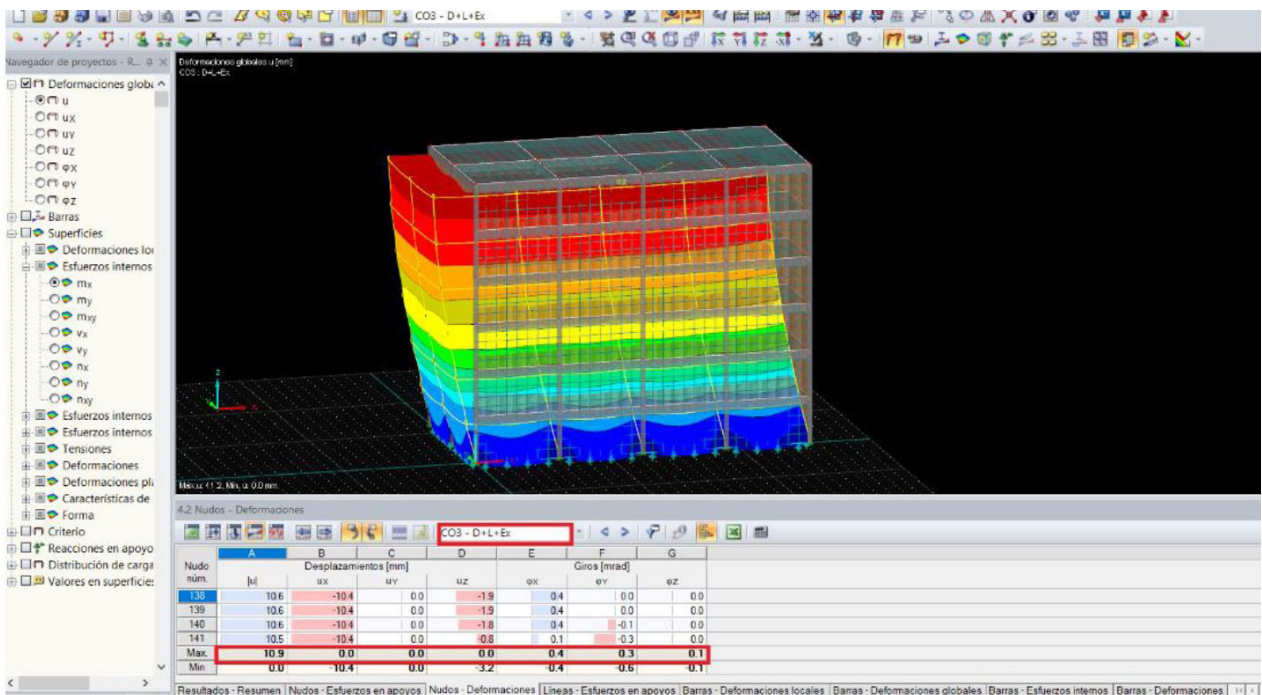
(Figura 15.)

Spostamento massimo telaio rinforzato con parete in CLT in caso di sforzo sismico in direzione Y.



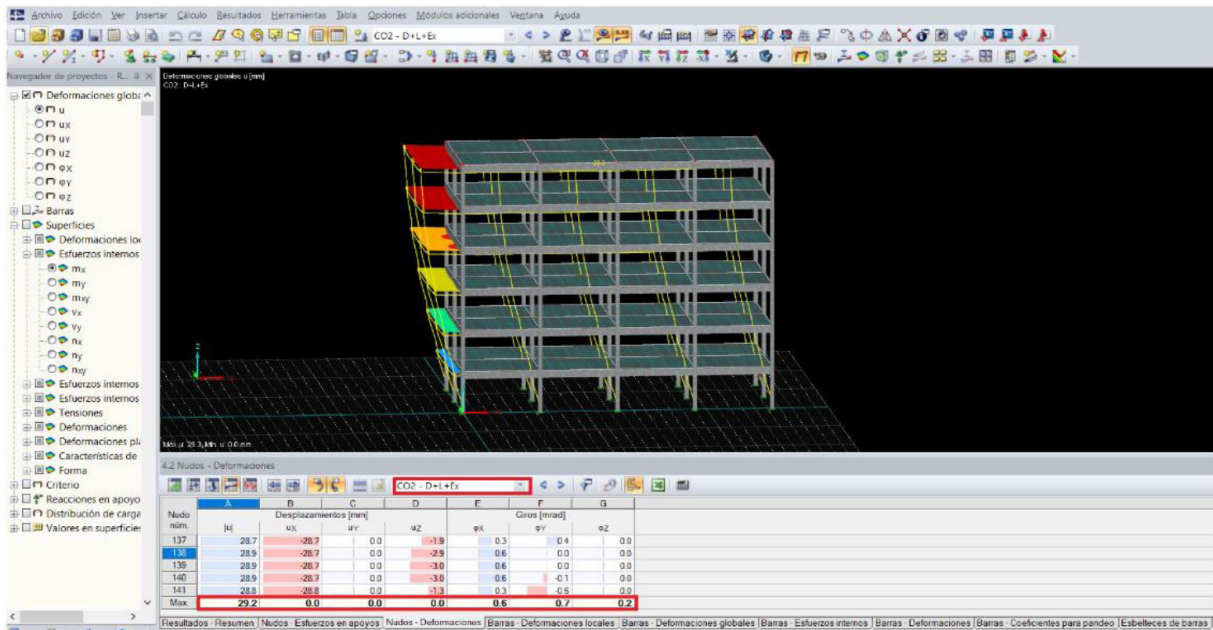
(Figura 16)

Spostamento massimo telaio senza rinforzo con sforzo sismico in direzione Y.



(Figura 17)

Spostamento massimo Telaio rinforzato con parete in CLT in caso di sforzo sismico in direzione x.



(Figura 18) Elaborata dall'autore.

Spostamento massimo telaio senza rinforzo con sforzo sismico in direzione X.
6. Modello considerando 2 muri CLT,

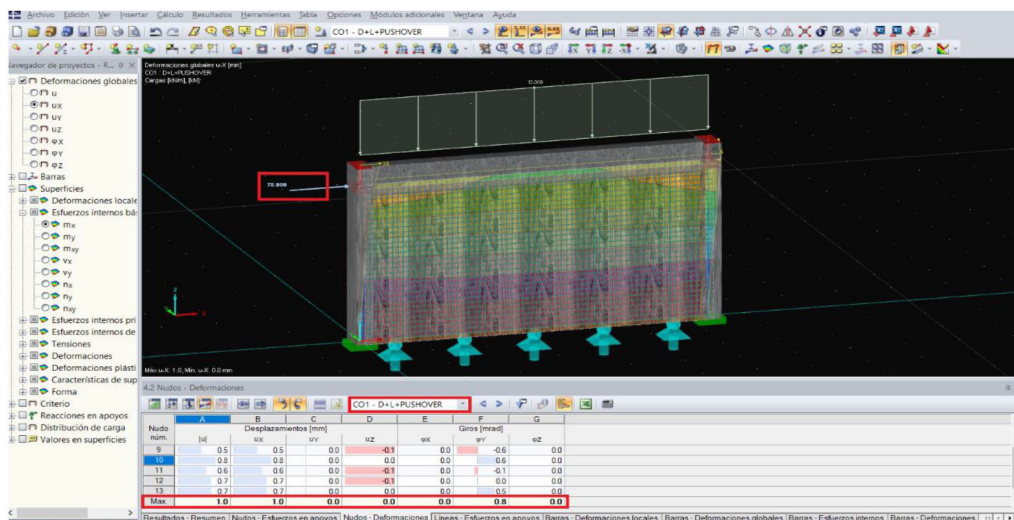


Figura 21. Risultato di rigidità laterale considerando due pareti di CLT incastrate.

Al fine di analizzare il sistema di irrigidimento proposto è stato modellato un telaio semplice con due pareti in CLT con le stesse caratteristiche di quello usato in precedenza, disponendo questa volta le pareti ai bordi del sistema, dando quindi un'eccentricità di 30 cm rispetto l'asse centrale. Il modello in questione può essere visto in Figura 19 e 20.

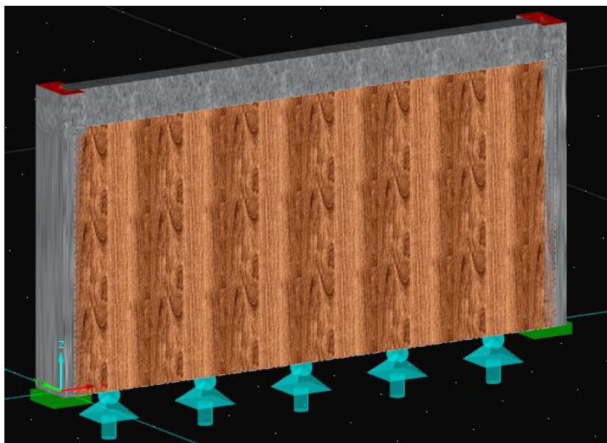


Figura 19. Vista isometrica del sistema con parete in CLT. Elaborata dall'autore.



Figura 20. Vista dall'alto del sistema. Vengono facilmente visualizzate entrambe le pareti. Elaborata dall'autore.

Utilizzando questa nuova configurazione di sistema, si è rilevato un aumento di rigidità rispetto al sistema a telaio semplice di 11 kN/mm:

$$K_{lat,2CLT} = \frac{78 \text{ kN}}{1 \text{ mm}} = 78 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

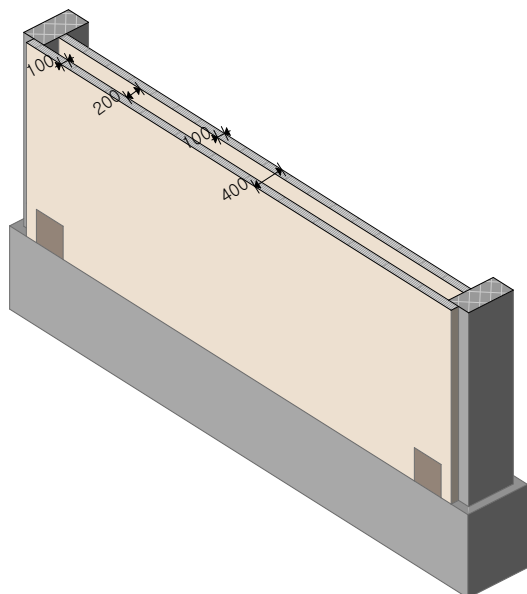
Il che comporta un notevole aumento della rigidità laterale rispetto al sistema a telaio ad una sola parete in CLT.

In conclusione si può notare, prendendo come riferimento la tabella 2, un aumento della rigidezza pari al 62,7% sull'asse X e al 26,6% sull'asse Y, interponendo fra il telaio un solo pannello in cross-lam. Inoltre nella configurazione finale con il sistema a due pannelli con eccentricità di 30 cm rispetto all'asse centrale, si è calcolato un aumento totale all'apporto di rigidezza pari al 23%.

5.3 Analisi resistenza termica

1. Descrizione

Nel presente rapporto si studia l'inerzia energetica del prototipo del sistema di rinforzo strutturale, considerando una stratigrafia composta da un primo strato di CLT in abete rosso di 100 mm di spessore, un secondo strato di 200 mm di intercapedine di aria e un finale di CLT sempre in abete rosso con uno spessore pari a 100 mm. Da notare la particolare geometria proposta, e cioè capace di avvolgere metà del sistema strutturale al fine di fungere da cappotto termico per l'intera struttura quando associato ad altri sistemi simili.



2. Ipotesi. Immagine elaborata dall'autore.

Per realizzare una corretta analisi termica è stato necessario assumere alcune ipotesi che verranno di seguito riportate:

- Poiché le prove sperimentali verranno effettuate all'interno del BFL si è scelto di utilizzare la medesima zona climatica in cui il TC-Lab è ubicato cioè Reggio di Calabria nell'omonima

provincia, 772 gradi giorno quindi Zona B,

- il calcolo dei parametri termici dinamici e della prestazione igrotermica dei componenti edilizi verrà calcolato secondo le norme UNI EN ISO 13786 e UNI EN ISO 13788
- Si è deciso di analizzare una parete di rinforzo inserita all'interno di un telaio in calcestruzzo armato di dimensioni pari a (vedasi Figura 3, capitolo 5).
- Al momento non verranno presi in considerazione i ponti termici generati dalle quattro travi che connettono il sistema,
- Si è deciso di utilizzare un muro in CLT a 5 strati (layer) di 20 mm ciascuno, ottenendo così un muro di CLT di 100 mm di spessore. Il tipo di legno considerato è stato ETA-12/0347, le cui proprietà sono presentate di seguito:

Proprietà	Segno	Valor (MPa = N/mm ²)
Conducibilità termica	λ	0,12 W/(mK)
Calore specifico C_p	C_p	1600 J/(kgK)
Velocità di carbonizzazione consigliata per il calcolo		0,7 mm/min

Tabella 1: Proprietà legno ETA-12/0347.

3. Calcolo

Al fine di ottenere i valori di:

- Conducibilità termica " λ "
- Sfasamento Termico " h "
- Resistenza di diffusione al vapore " μ "

dati fondamentali per definire la reale inerzia termica della partimentazione. Al fine di ottenere questi dati è stato

utilizzato un foglio di calcolo excel, di seguito verranno elencati i passaggi e le formule utilizzate.

Il primo valore oggetto di studio è stata la Conducibilità termica “λ” calcolata attraverso l’inverso della resistenza totale R_t per cui il valore di U ovvero il valore della trasmittanza termica sarà uguale:

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{si} + \frac{S_i}{\lambda_i} + \frac{S_n}{\lambda_n} + R_n + R_a + R_{se}}$$

R_{si} è la resistenza liminare della superficie interna della struttura, [m²K/W];

S/λ è la resistenza termica di uno o più strati di materiale omogeneo, [m²K/W]

$R_n = 1/C$ è la resistenza termica di strati di materiale non omogeneo, [m²K/W]

R_a è la resistenza termica di eventuali intercapedini, [m²K/W];

R_{se} è la resistenza liminare della superficie esterna della struttura, [m²K/W]

Resistenza superficiale m²K/W	Direzione del flusso termico		
	ascendente	orizzontale	discendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Resistenze superficiali convenzionali, da UNI EN ISO 6946:2008

perciò:

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{si} + \frac{S_i}{\lambda_i} + \frac{S_n}{\lambda_n} + R_n + R_a + R_{se}} = 0,477 \frac{W}{m^2K}$$

successivamente si è proceduto calcolando lo sfasamento Termico, secondo la UNI EN 13786:

Massa Superficiale

$$(m) = 90 \text{ Kg/m}^2$$

Trasmittanza termica periodica

$$(Yie) = 0.096 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Capacità termica areica interna

$$(Ki) = 41.5 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

Capacità termica areica esterna

$$(Ke) = 52.6 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

Fattore di attenuazione

$$(fa) = 0.196$$

Sfasamento

$$(\phi) = 12.27 \text{ h}$$

Ammetenza Termica interna

$$(Yii) = 2.939 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Ammetenza Termica esterna

$$(Yee) = 3.757 \text{ W/m}^2\text{K}$$

In fine per ottenere la Resistenza di diffusione al vapore “μ” ovvero quantificare la permeabilità al vapore di un materiale è stato utilizzato il fattore di resistenza alla diffusione del vapore (μ) che è una grandezza adimensionale. Dato che il valore μ è una caratteristi-

ca propria del materiale, per valutare la permeabilità al vapore di un elemento costruttivo è stato utilizzato come parametro lo spessore equivalente di aria per la diffusione al vapore (s_d), espresso in metri, che si definisce come il valore μ del materiale moltiplicato per il suo spessore in metri:

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{si} + \frac{S_i}{\lambda_i} + \frac{S_n}{\lambda_n} + R_n + R_a + R_{se}}$$

d è lo spessore del materiale espresso in metri, Il vapore è come se dovesse attraversare uno strato d'aria di spessore equivalente al prodotto impiegato.

$$S_d = \mu \times d = 16$$

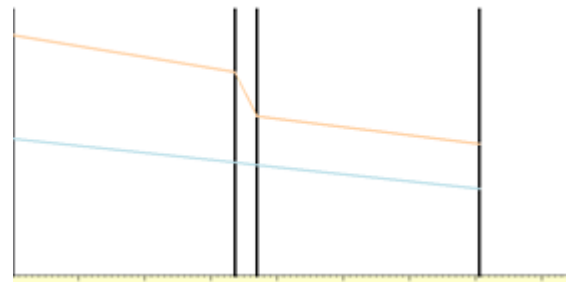
Utilizzando il metodo di Glaser si è giunti alla conclusione che la parete non è soggetta a fenomeni di condensazione interstiziale che superficiale.

Verifica igrotermica della parete				
Mese	Ti (°C)	Pi (Pa)	Te (°C)	Pe (Pa)
Gennaio	20.00	1376.50	11.10	980.00
Febbraio	20.00	1392.68	11.50	1014.00
Marzo	20.00	1372.76	12.80	1052.00
Aprile	20.00	1466.39	15.30	1257.00
Maggio	20.00	1553.92	18.70	1496.00
Giugno	23.00	1965.00	23.00	1965.00
Luglio	25.70	2108.00	25.70	2108.00
Agosto	26.10	2145.00	26.10	2145.00
Settembre	23.80	2100.00	23.80	2100.00
Ottobre	20.00	1662.00	20.00	1662.00
Novembre	20.00	1532.93	16.50	1377.00
Dicembre	20.00	1410.22	12.70	1085.00

Legenda

Ti	Temperatura interna	Pi	Pressione vapore interna
Te	Temperatura esterna	Pe	Pressione vapore esterna

Come si evince dalla tabella il mese critico è gennaio.



Conclusioni

Dai dati ottenuti si può notare come il valore della trasmittanza $U = 0.47 \text{ W/m}^2\text{K}$ sia molto vicino al limite di legge (DM 26/6/2015 successiva modifica D.M.06/08/2020) imposto a $U = 0.38 \text{ W/m}^2\text{K}$ per pareti realizzati in zona B con 772 gradi giorno, mentre il fattore di attenuazione $fa=0.196$ e lo sfasamento $\phi=12.27 \text{ h}$ attestandosi il primo fra $0.15 \leq fa \leq 0.30$ ed il secondo $\phi > 12\text{h}$ dimostrano buone risposte prestazionali alle sollecitazioni estive. Si può affermare che interponendo uno strato di isolante all'interno dell'intercapedine si potrà agevolmente adeguare il livello di trasmittanza della parete anche alle situazioni più critiche quali possono essere le zone con gradi giorno pari o superiori a 3000.

5.4 Sistema di parete non strutturale antisismica

Il secondo modello proposto è un sistema per parete divisoria non strutturale per edifici in zona sismica in legno da utilizzare in qualsiasi sistema costruttivo che preveda l'utilizzo di pareti divisorie non portanti, il processo di sviluppo di questo sistema è stato notevolmente rimaneggiato in quanto si è cercato di avere come punti cardine, la facilità di realizzazione, di posa, di adattabilità, di risparmio delle risorse.

Obiettivi

Creare una parete in grado di resistere alle sollecitazioni sismiche evitando l'effetto espulsione, affinché sia soddisfatta l'esigenza della nuova NTC18 e cioè progettare in maniera tale che venga salvaguardato lo stato di operatività.

Requisiti

non esistono particolari requisiti per il suo utilizzo, infatti, il tipo di connessione è comune a tutte le pareti non strutturali esistenti in commercio e cioè è necessario che si possa ancorare al solaio superiore ed a quello inferiore.

Programma funzionale

Per poter utilizzare il sistema è necessario poter tassellare i binari sui "quali scorrerà la parete" ad elementi strutturali, Si procederà quindi col fissaggio della struttura "binario" al solaio di primo piano con un filo a piombo si segnerà il punto su cui si dovrà fissare la struttura al pavimento, fatto questo si procederà con l'inserimento dei vari montanti e dell'incastro al sistema "binario" infine si procederà con l'inserimento della lana

di roccia e dei pannelli di finitura (cartongesso osb ecc,)

Struttura

Il sistema progettato è costituito da un telaio strutturale in legno, con un sistema tassellato nella parte inferiore ed uno a 'binario' nella superiore avente tre "cuscinetti" due nelle pareti laterali che consentono uno spostamento nell'asse ortogonale alla parete pari a 20 mm e uno di 10 mm nella parte superiore al fine di mitigare il problema della flessione torsionale. Quindi il sistema a binario sopracitato permette alla parete di scorrere in senso parallelo alla parete in caso di sisma, evitando la rottura del pannello di finitura e dell'intero sistema. Nella Figura 1 viene mostrata la geometria del muro, mentre nella Figura 2 viene mostrato un dettaglio del collegamento che permette lo scorrimento della parte superiore del muro.

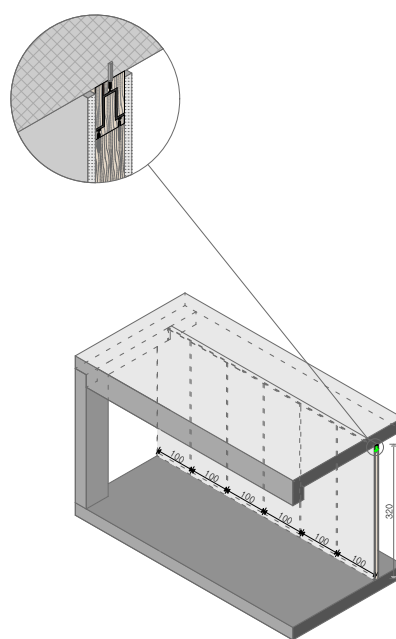


Figura 1: Geometria del muro a graticcio. Immagine elaborata dall'autore.

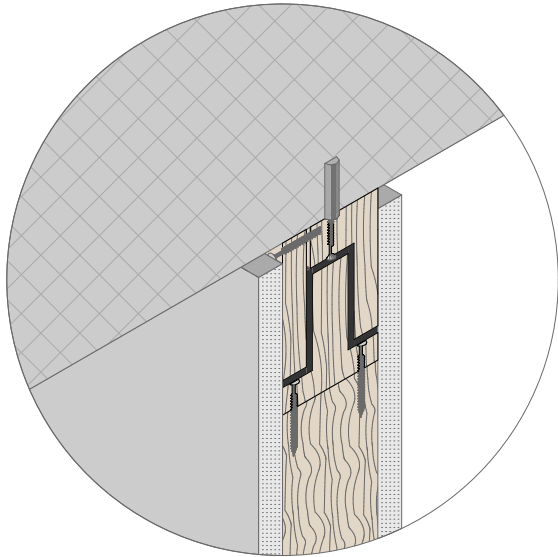


Figura 2: Particolare del sistema tipo 'Rotaia'. Immagine elaborata dall'autore.

1.1. Materiali

Il materiale utilizzato, ai fini del calcolo, è Abete Rosso (*Picea Abies*). Appartiene alla specie delle conifere. Per quanto concerne le sue proprietà meccaniche: possiede un peso specifico allo stato fresco di circa 860 kg/m^3 , tuttavia, dopo la stagionatura normale, si riduce a circa 450 kg/m^3 . La sua resistenza alla compressione assiale è di circa 38 N/mm^2 , mentre la sua resistenza a flessione è di circa 73 N/mm^2 . Tra le altre caratteristiche, questa specie possiede una moderata durezza, bassa resistenza all'urto e modulo di elasticità pari a $E=15 \text{ kN/mm}^2$.

1.2. Carichi

Le sollecitazioni alle quali è stata sottoposta la parete, sono basati sui dati precedente calcolati [Cap 5.1], corri-

spondenti a uno stato di carico permanente pari a $wD = 6,57 \text{ kN/m}^2$, mentre il carico variabile viene considerato pari a $wL = 2 \text{ kN/m}^2$. Infine, nella figura 3 viene mostrato il movimento direzionale della struttura.

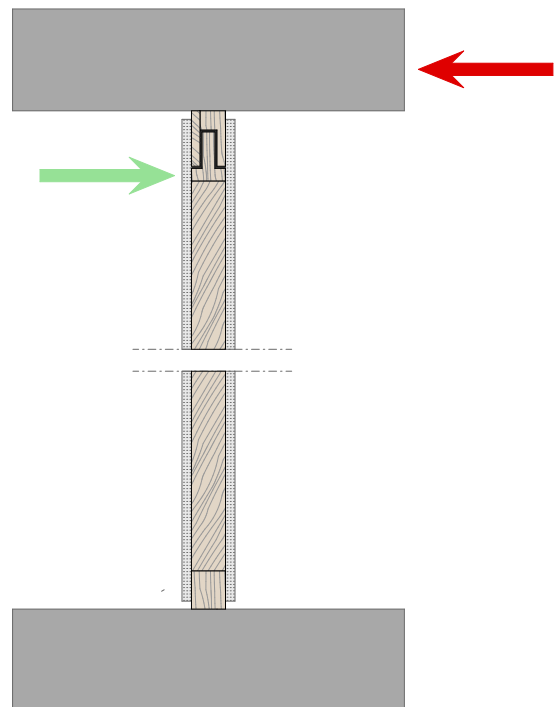


Figura 3: Forze che agiscono sulla struttura. Immagine elaborata dall'autore.

2. Modello in RFEM

RFEM è un software agli elementi finiti, che possiede un'interfaccia BIM. La scelta è ricaduta su questo software perché include applicativi per la modellazione di elementi costruttivi non portanti in legno e le relative normative, e per le caratteristiche sopra citate a differenza di altri come SAP2000. In particolare, è stata utilizzata la versione 5.23.02, sotto una licenza universitaria gratuita per gli

studenti.

2.1. Procedura

In primo luogo, è stata impostata la normativa europea per la progettazione in legno, con particolare focalizzandosi su quella italiana, il che genera automaticamente le combinazioni di carico da verificare ai fini di un corretto calcolo. Mostrato nella Figura 4.

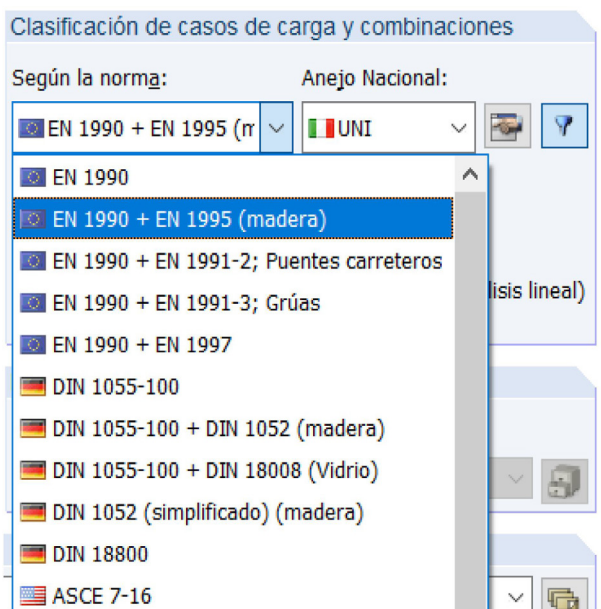


Figura 4: Norma utilizzata nel progetto. Immagine elaborata dall'autore.

Attraverso la modellazione in RFEM si è potuto realizzare un modello tridimensionale con tutti i relativi dettagli tecnici.

Si è ipotizzata una sezione pari a 150x50 mm, essendo questa una misura standard facilmente reperibile in commercio, vengono successivamente modificate le proprietà meccaniche rendendole coerenti con quelle indicate precedentemente. Nella figura 5 viene mostrata la sezione e le proprietà del legno scelte.

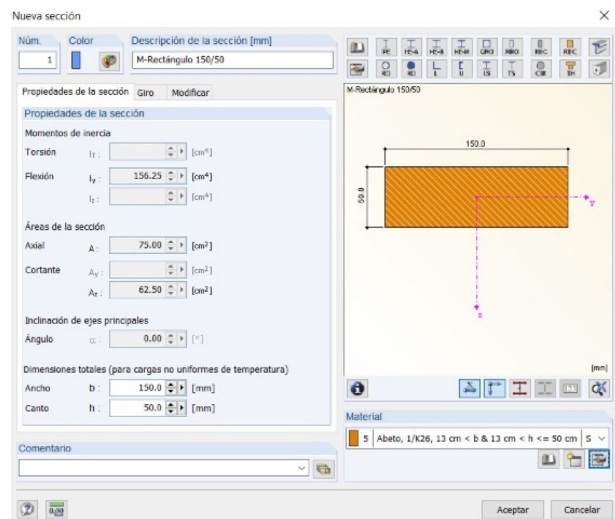


Figura 5: Sezione di legno. Immagine elaborata dall'autore.

Successivamente, tutti gli elementi che compongono il sistema sono state configurati come un unico insieme: al fine di rendere i risultati delle analisi omogenei, a seguire, sono state impostate le piastre in OSB. Per il calcolo è stato utilizzato il pacchetto Laminare incluso nell'interfaccia RFEM. Come mostrato nella figura 6.

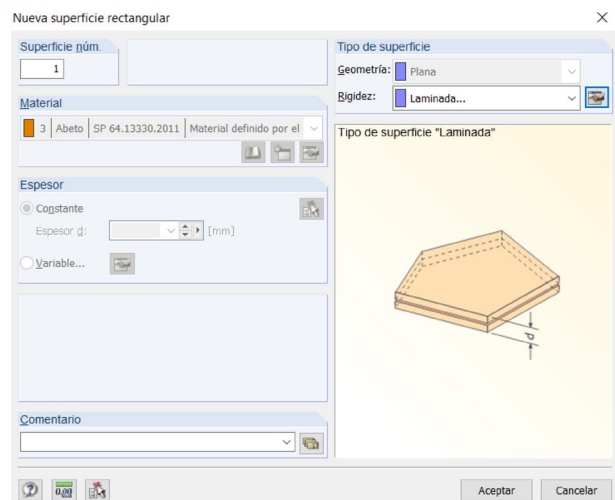


Figura 6: Dettagli specifici dell'OSB nel pacchetto Laminare.

Selezionata anche per il calcolo del pannello la normativa europea, e in particolare quella italiana, come illustrato nella figura 7.

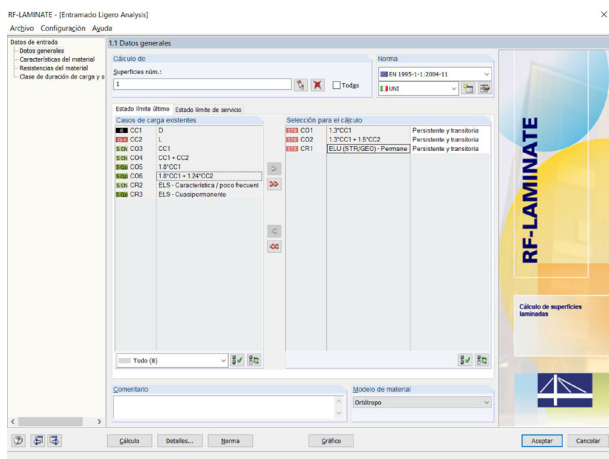


Figura 7: Normativa utilizzata per il progetto dell'OSB. Immagine elaborata dall'autore.

Il passaggio successivo, è stato la scelta di un pannello standard in OSB, con spessore 10 mm, come mostrato nella figura 8.

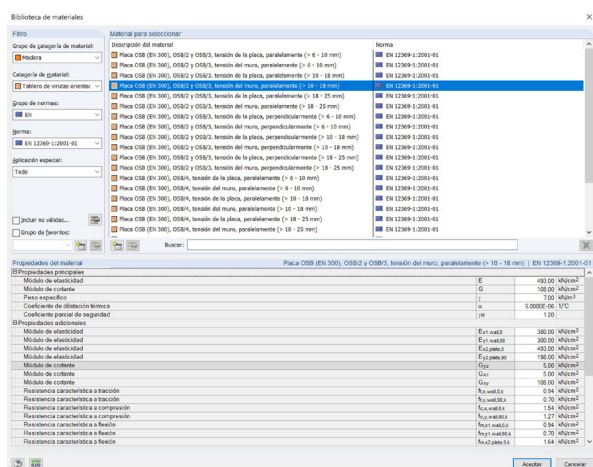


Figura 8: Targhetta OSB scelta nel mercato europeo.

A questo punto, si è calcolato il muro con la teoria agli elementi finiti, al fine di ottenere risultati più precisi, come mostrato nella Figura 9.

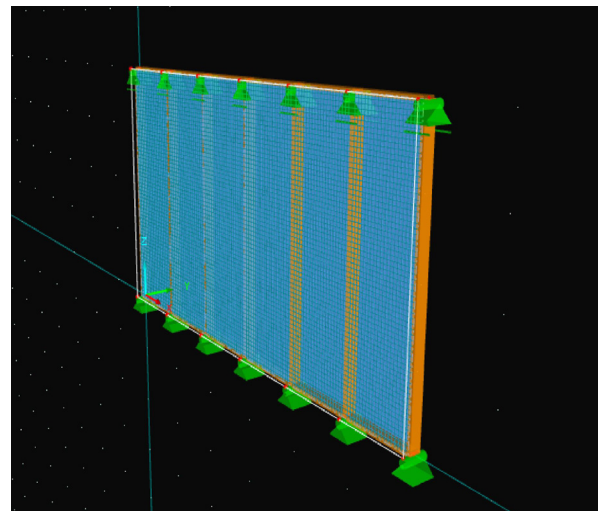


Figura 9: Discretizzazione di elementi finiti per piastra OSB. Immagine elaborata dall'autore.

Infine la prima analisi è stata la simulazione il carico laterale, è stato assegnato un carico statico equivalente, che rappresenta la forza necessaria affinché il cartongesso (componente non strutturale) si rompa e la struttura perda la sua utilità. A tal fine è stato utilizzato un catalogo commerciale, in cui il cartongesso selezionato ha una resistenza massima di 64,3 kgf per un peso massimo di 10 mm, equivalente ad un carico orizzontale di 0,64 kN, secondo specifiche tecniche. È importante sottolineare che, come con le sezioni di definite per la struttura, questo spessore è facilmente modificabile se si desidera un particolare tipo di cartongesso o elemento di finitura.

Notate che si può eseguire un'analisi si-

smica di tipo pushover. Questa analisi, anche chiamato analisi di spinta, è un calcolo statico non lineare per l'analisi sistema delle strutture, in cui vengono applicati carichi puntuali agli angoli delle strutture, e questi carichi aumentano gradatamente fino al verificarsi del collasso globale della struttura, generando la loro capacità di carico e deformazione finale (i., fino al collasso della struttura) di fronte a questa struttura di carico, in questo caso, sismiche. Il comportamento non lineare è solitamente rappresentato utilizzando cerniere plastiche. Inoltre, questa analisi è in grado di incorporare la norma italiana, insieme ai suoi tipi di suolo esistenti nella sua geografia. A tal fine, si utilizza l'interfaccia Dynamic Pro del programma.

In particolare, RFEM fornisce questa analisi, generando inoltre un file esportabile di Excel, nel caso in cui sia richiesto un post-elaborazione dei dati nel corso del tempo (curve tension - deformazione).

2.2. Risultati

Per i casi di carico descritti nella normativa italiana, si ottiene una deformazione attuale massima di 2,1 mm, cioè considerando i carichi attuali. Questo risultato dimostra che la struttura si deforma in modo impercettibile quando viene messa in servizio. I risultati in RFEM, insieme alla struttura deformata sono riportati nella figura 10.

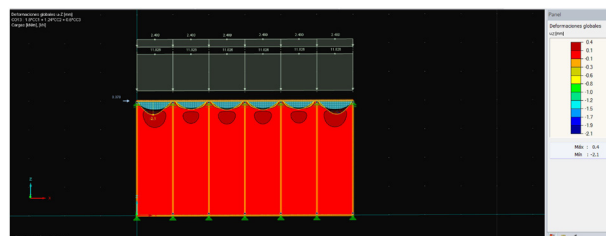


Figura 10: Deformazione massima per le combinazioni di carico italiane. Immagine elaborata dall'autore.

D'altro canto, il carico massimo che il muro può sopportare, calcolato mediante un'analisi pushover, è 1389,95 kN, che genera una deformazione massima di 40,3 mm. L'analisi effettuata mediante un aumento iterativo della carica fino al collasso del muro è mostrato nella Figura 11.

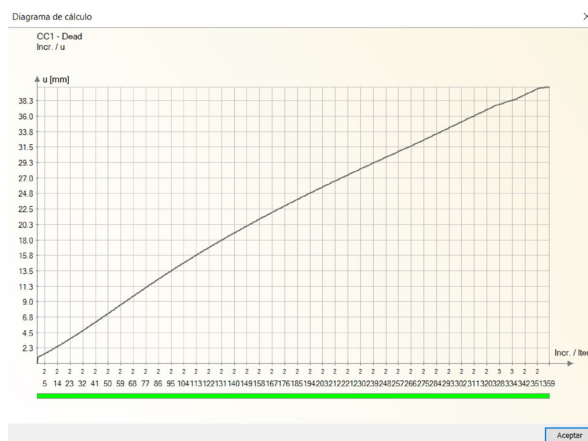


Figura 11: Analisi del pushover. Immagine elaborata dall'autore.

Questo comportamento può essere migliorato aumentando la squadratura o la qualità del legno, lo spessore delle piastre in OSB o disponendo giunture laterali.

Infine, il comportamento della componente non strutturale data dal pannello di cartongesso è mostrato nella Figura

12, la cui deformazione perpendicolare al piano del sismo è generata da una torsione accidentale.

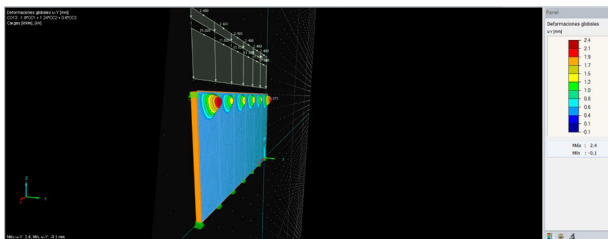


Figura 12: Deformazione del muro dovuta a torsione accidentale. Immagine elaborata dall'autore.

Notare che questo in realtà non è rappresentativo, perché il pannello in cartongesso è una componente non strutturale e quindi non prende carichi.

In conclusione possiamo notare come il sistema costruttivo ideato supporta una deformazione massima 4 volte superiore alla deformazione massima di un comune pannello in cartongesso.

6. Progetto analisi dinamica all'interno del TC-Lab del Sistema di Irrigidimento Strutturale

In questo capitolo verrà affrontato il progetto della prova dinamica da effettuare su un mockup del sistema di irrigidimento sismico all'interno della sezione TClab del Building Future Lab (quest'ultimo è un laboratorio di ricerca applicata, permanente e interdisciplinare, che si articola in diverse "sezioni" che svolge ed offre servizi di certificazione e sperimentazione nel Settore delle Costruzioni, basati su attività di Prova e Testing che vengono attuati secondo protocolli normati (es: UNI/EN, ASTM, AAMA, ecc...) o sperimentali. In particolare all'interno del laboratorio si potrà avere la possibilità di Prototipare, Modellare ed Analizzare (in maniera invasiva e non) il sistema ideato, verificandone la resistenza strutturale agli sforzi sismici e la capacità di inerzia termica alle differenti sollecitazioni climatiche.



Modulo TC-Lab del Building Future Lab. Foto realizzata dall'autore.

La prova si svolgerà in 5 fasi:

La prima sarà dedicata alla creazione del prototipo del sistema di parete irrigidente, che avrà le dimensioni:

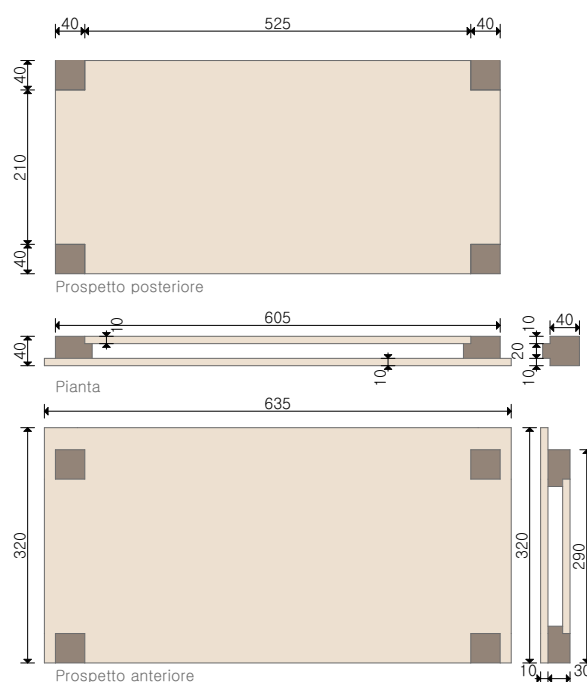
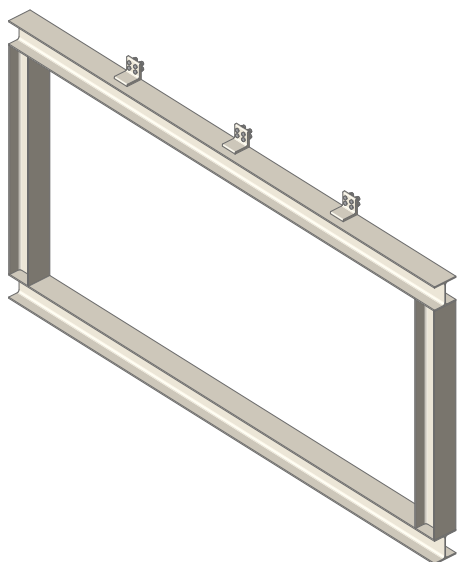


Immagine elaborata dall'autore.

verranno quindi, usati due pannelli in CLT a 3 strati in abete rosso e 4 travi in legno lamellare a completamento del sistema.

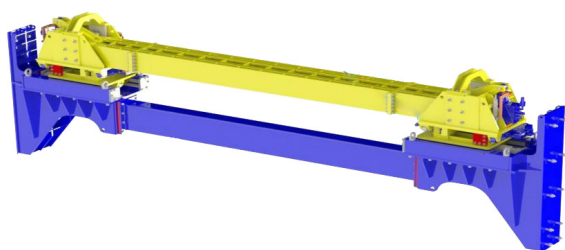
La seconda fase avrà come focus la creazione di due telai di confinamento in acciaio con rigidità identica ad un telaio in calcestruzzo armato affinché sia più semplice procedere con il testing del prototipo¹.

¹ M. Serpilli, G. Maracchini, F. Stazi, *Seismic solution based on the use of crosslaminated timber (CLT) panels with sliding joints as infilled earthquake bracing system for RC framed architectures*, in: *ReUSO 2018. L'intreccio Dei Saperi per Rispettare Passato, Interpret. Present.*



Telaio di confinamento in acciaio. Immagine elaborata dall'autore.

Nella terza fase si procederà con l'installazione di uno dei telai in acciaio al laboratorio di testing e quindi alla trave sismica (la quale possiede una forza di spinta massima pari a 35kN), al fine di analizzarne la rigidità della struttura al netto della parete irrigidente.

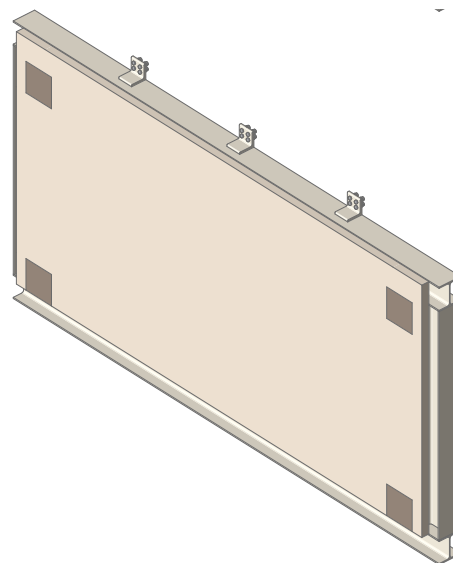


Ricostruzione digitale della trave sismica all'interno del TC-Lab. Immagine elaborata dal Bosch Rexroth.

Quindi nella quarta fase si procederà sostituendo il telaio in acciaio precedentemente testato con il suo gemello ed ad esso verrà ancorato il sistema irrigidente.

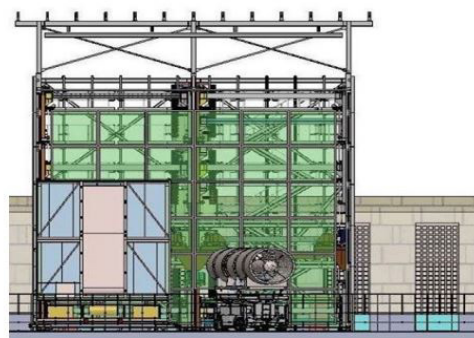
*Salvaguardare Futur.,
Gangemi editore international, Roma, Italy, 2018: pp. 2251-2260.*

Per poter procedere successivamente con le altre prove, la prima sull'inerzia termica e la seconda sulla rigidità.



Telaio di confinamento in acciaio con pannello in cross-lam. Immagine elaborata dall'autore.

Nella quinta fase si sottoporrà il sistema a sforzi di tipo termoigrometrico per verificarne l'inerzia termica.



Ricostruzione digitale del modulo TC-Lab. Immagine elaborata dal Bosch Rexroth.

Utilizzando il modulo mobile del TC-Lab.

In fine nella sesta fase il sistema verrà

sottoposto a sforzo sismico azionando la trave sismica avendo così la possibilità di confrontare la rigidità ottenuta nella quarta fase e quella nella fase attuale.

A questo punto le prove saranno concluse, se il sistema di irrigidimento comporterà un adeguato miglioramento del sistema tale da uguagliare i costi dei sistemi attualmente in commercio considerati ibridati poiché come enucleato precedentemente non esistono ancora sistemi che migliorino contemporaneamente sia il lato statico che quello termico, si potrà dire che il sistema è una vera innovazione capace di avere un margine di mercato entro il quale potrà inserirsi ed essere considerato una possibile scelta nel momento in cui si decide di adeguare sismicamente e termicamente un immobile.

7. Conclusioni

Gli studi condotti sull'interno ecosistema legno e la frequenza dei relativi istituti di ricerca hanno permesso di rispondere all'obiettivo della tesi: Sistemi costruttivi Innovativi per la Sicurezza Sismica Ambientale e l'Efficienza Energetica. A tal fine è stata condotta un'indagine sull'intera filiera del legno nel settore delle costruzioni, analizzando i materiali e i prodotti, i sistemi antisismici esistenti sul mercato e le normative che regolamentano produzione dei prodotti e statica degli edifici realizzati utilizzando il legno e i suoi prodotti derivati.

L'esperienza in Cile e gli studi condotti hanno dimostrato come questo materiale abbia ancora tantissimo da esprimere soprattutto rispetto alle sfide che l'attuale realtà pone. Questo risultato è coerente con l'obiettivo inizialmente espresso secondo il quale mediante l'utilizzo del legno sarebbe stato possibile realizzare sistemi costruttivi innovativi, le nuove tecnologie infatti attraverso l'utilizzo di collanti e legno hanno permesso di avere nuove tipologie di materiali in grado di sopportare sollecitazioni sia di tipo statico che di tipo igrotermico precedentemente impensabili.

Società come Simpson Wood e Rothoblaas da anni ormai cercano di spingere la ricerca in questo senso creando nuovi sistemi capaci di rispondere alle sfide delle costruzioni in altura, a quella della risposta agli sforzi sismici ed ancora a quella della pianta libera cercando di eliminare il vincolo del setto del pannello in CLT.

I prototipi oggetto di tesi chiaramente non mirano a sostituire quelli esistenti ma ad integrarli ed in alcuni casi a migliorarli, cercando di offrire nuovo respiro alla riqualificazione degli

immobili sia sul tema dell'antisismico che del consumo energetico puntando a realizzare prodotti che abbiano basso impatto ambientale, in grado quindi di essere facilmente rigenerati e sostituiti.

E' importante tenere presente che questa ricerca si è concentrata principalmente sull'utilizzo dei sistemi all'interno di un ambiente costruito con telaio strutturale in calcestruzzo armato, questo può aver fatto sì che in alcuni casi si trascurassero gli approcci al costruito ex novo e ai manufatti edilizi realizzati con materiali differenti al calcestruzzo, è chiaro però che entrambi i prototipi ben si presterebbero al loro utilizzo anche in questi ambiti. La suddetta potrebbe essere spunto per ulteriori studi ed ancora altre ricerche future potrebbero essere dedicate agli studi sul comportamento dei prototipi in oggetto ibridando ad essi prodotti di nuova generazione come le nanotecnologie al fine di migliorare alcune caratteristiche come la resistenza agli agenti logoranti.

Come si è potuto notare tutto l'ecosistema legno rimane un campo aperto in continuo movimento in grado di dare sempre nuovi spunti e nuove soddisfazioni a chiunque abbia la voglia ed il tempo di immergersi nell'organicità di questa viva e mutevole materia.

Bibliografia

- Nesi Attilio, Progettare con l'informazione. Quaderni di didattica. (2000)
- Sinopoli Nicola, Sulle tracce dell'innovazione. Serie di architettura e design. (2002–2009)
- Pryce Will, L'architettura del legno. Una storia mondiale. Bolis. (2013)
- SINOPOLI Nicola, La Tecnologia Invisibile. Il processo di produzione dell'architettura e le sue regole. Milano: Franco Angeli, Collana Serie di Architettura. (2002–2008)
- Lauria M. Trombetta C., Building Future Lab. Maggioli Editore. (2016)
- Meyhöfer Dirk, Legno. Materiali per l'architettura contemporanea. Motta Architettura. (2009)
- Engineered Wood Products: .1(ande for Specifiers. Designers and Users, Stephen Smulski Editor, PFS Research Foundation, Madison, 1997
- A A.VV., Lucchini A.(a cura di), Le pareti ventilate, I manuali del saie, Edizioni Tipografia Nettuno, Bologna, 1999
- AAVV., Wood handbook – Wood as an engineering material, Madison, WI, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999
- AA.VV., "Materiali compositi per l'innovazione nell'industria delle costruzioni", in Atti della conferenza AICO, Bologna, 2005
- A.A.V.V., Manuale di progettazione edilizia, 6 volumi, in 7 tomi, Hoepli, Milano.
- AA.W., Nuovo Gasparrelli. Manuale del geometra, Hoepli, 1994, Milano.
- AA.W, Construction a ossature bois, Ey-rolles, Parigi, 1994.
- AA.W, Nuovo Colombo. Manuale dell'ingegnere, Hoepli, Milano, 1997.
- Aydin I., Colakolu G., "The effects of steaming and veneer drying temperature on the weathering reactions", Wood based materials – Wood composites and chemistry international symposium, Vienna, (Austria), 2002
- American Society for Testing and Materials (ASTM), Standard test methods for structural panels in tension.
- ASTORE A., Al di là di ciò che vedi. Le strutture in legno ad incastro in Cina e Giappone, 2018
- Test method A, tensile test for small specimens. ASTM D 3500–90. ASTM, West Conshohocken, 2003 Arringa F., "Estructuras de madera: el futuro de la construcción con madera", Tectonica, n°13, Madrid, 2001

Attinok M., The effects of layer symmetry in laminated wood on the bending strength, J. of Natural Sciences 15(2), Gazi Univ., Ankara (Turchia), 2002

Auch H., Rosenkranz S.F., Atlante dei materiali, Utet, Torino, 2006

Bainbridge R.J., Mettem C.J., Harvey K., Ansell M.P., Bonded-in rod connections for timber structures- development of design methods and test observations, Int J Adhesion Adhes 2001; 47-59

Baldi C., Sanvito M., La gestione della quality nel processo edilizio, IlSole24ore, Milano, 2007

Ballard Bell V, Rand P., Materials for architectural design, Laurence King Publishing, London, 2006

Benedetti C., Bacigalupi V., Legno architettura. Il futuro della tradizione, Edizioni Kappa, Roma, 1991

Bengtsson C., Johansson C.J., "Test methods for glued-in rods for timber structures", in Proceedings of CIB-W18, Meeting 33, Delft, 2000

Berta L, Bovati M., Progettare con il legno, Maggioli editore, Rimini, 2007

Berti S., Piazza M., Zanuttini R., Strutture di legno per un'edilizia sostenibile, IlSole24ore, Milano, 2002

Berruti G., Ratti C, Il compensato curvato. I progetti e i progettisti italiani, Milano 1988.

Bramwell M., Il libro internazionale del legno, PEG, Milano 1989.

Bianchi W, "L'albero delle novità" in Costruire, n°122, Abitare Segesta, Milano, 1993

Bondielli G.G., "La facciata ventilata" in Materia, n°31, Federico Motta Editore, Milano, 2000

Brandstatter M., "I nuovi prodotti in legno per le strutture di copertura" in Area Legno, n°5, 2002

Brusati G., "Sperimentazioni con il legno strutturale" in Nardi G., (a cura di), Aspettando progetto, Franco Angel, Milano, 1996

Canadian Wood Council, Technical Bulletin n°2, Environmental effects of building materials, 1994-2000

Canadian Wood Council, Technical Bulletin n°4 Comparing the environmental effects of building systems, 1994-2000

Ceccotti A., (a cura di), Proceedings of the International Symposium on advanced

timber and Timber –composite elements for buildings. Design, construction, manufacturing and fire safety, Firenze, 2004

Cei-Bois European confederation of woodworking industries – Belgium Tackle climate change: use wood, 2006

Cenci, G., "Solai in legno e cemento", in Area Legno, n°12, Gennaio 2004

Cnel- Ohm, L'utilizzo del legno nell'industria edile, Edilegno, 2004

Colabella S., "Dossier: Risorsa Legno", in Costruire, n°261, Abitare Segesta, Milano, 2005

Centro studi Cosmit-Federlegno Arredo, Profilo economico del sistema Legno-Arredamento. Doti 2006-2007,2007

Centro studi Cosmit-Federlegno Arredo, Una nuova economia del legno-Arredo era industria, energia e cambiamento climatico, Franco Angeli, Milano, 2007

Centro studi Cosmit-Federlegno Arredo, Rapporto import/export. Consumativi 2006, ed. Federlegno Arredo, Maggio 2007

CIRILLO A., Legno: materiali e tecnologia, Hoepli, 2020

CIRILLO A., Legno: calcolo degli elementi strutturali, Hoepli, 2019

Carbonara R, 1984-92, Architettura pratica, 6voli, in 10 tomi più 2 voli, di aggiornamento,Utet, Torino.

Caterina G., Tecnologia del recupero edilizio, Utet, Torino 1989.

Cenci G.,Strutture in legno, Meta, Milano 1980.

Cenci G.,Strutture in legno. Calcolo e costruzione con riferimento alla DIN 1052, Palutan, Varese 1987.

Collura M., Architettura del legno, Lo Mnaco, Palermo 1968.

Dattomi A., "I compositi a base di legno di nuova generazione" in Adrastea, n.8, Habitat Legno, 1997

Davoli P.M., Costruire con il legno, Hoepli, Milano,2001

Deam B.L., Fragiacomò M., Gross L.S., Experimental behavior of prestressed LVL-concrete composite beams, .Accepted for publication on Journal of Structural Engineering, ASCE, 2007

Deam B.L., Fragiacomò M., Buchanan A.H., Connections for composite concrete slab

and LVL flooring systems, Published online, Materials and Structures, RILEM, 2007

Daguzé D., Progettazione delle strutture in legno lamellare, PEG, Milano 1994.

De Angelis A., Progettazione e calcolo delle strutture in legno lamellare, DEI-Tipografia del Genio civile, Roma 1993.

E. Rahmanishamsi, S. Soroushian, EM Maragakis (2015) Analytical Model for the Seismic Performance of Cold-Formed Steel-Framed Gypsum Partition Walls, Università del Nevada (Structures Congress 2015)

European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research, Cost, Memorandum of understandings for the implementation of a European concerted research action designated as COST Action E31 Management of recovered wood, Bruxelles, 8 Marzo 2002

European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research, Cost, Memorandum of understandings for the implementation of a European concerted research action designated as COST Action E34 Bonding of timber, Bruxelles, 19 Dicembre 2002

European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research, Cost, Memorandum of understandings for the implementation of a European concerted research action designated as COST Action E49 Processes and performances of wood based panels, Bruxelles, 19 Dicembre 2002

Fassi A., Maina L., L'isolamento ecoefficiente, Edizioni Ambiente, Milano, 2006

F. Stazi, M. Serpilli, G. Maracchini, A. Pavone, (2019) An experimental and numerical study on CLT panels used as infill shear walls for RC buildings retrofit, Construction and Building Materials,

F. Smiroldo, I. Giongo, M. Piazza, (2021) Use of timber panels to reduce the seismic vulnerability of concrete frame structures,

FORRESTER P., Enciclopedia delle tecniche di lavorazione del legno, Il Castello, 2015

Frattari A., Evoluzione delle costruzioni in legno per la residenza, ESA, Milano 1980.

Frattari A., Garofolo I., Architettura e tecnica degli edifici in legno. Procedimenti e settipportanti, Saturnia, Roncafot (TN) 1996.

G. Margani, G. Evola, C. Tardo, E. M Marino (2020) Energy, Seismic, and Architectural Renovation of RC Framed Buildings with Prefabricated Timber Panels. Univesità di Catania

Gambetta A., Biodegradamento e trattamento dei manufatti in legno, CNR, Roma, s.d.

Gauzin–Muller D., *Le bois dans la construction*, Le Moniteur, Parigi 1990.

Giordano G., *La moderna tecnica delle costruzioni in legno*, Hoepli, Milano 1964.

Giordano G., *Tecnologia del legno*, 3voli, in 5 tomi, Utet, Torino 1981–88.

Giordano G., *Antologia del legno*, 2 voli., Consorzio Legno–Legno, Reggio Emilia 1997.

GIBBS N., *Enciclopedia del legno. Una guida per scegliere ed utilizzare 100 legni*, Il Castello, 2020

GIORDANO G., *Tecnica delle costruzioni in legno*, Milano, Hoepli, 1999

HILL A. S., *Wood modification. Chemical, thermal and other processes*, Wiley, 2006

LANER F., *Il legno. Materiale e tecnologia per progettare e costruire*, Utet, 2012

LANER F., *Idee costruttive per solai e tetti in legno*, Flap edizioni, Verona, 2008

MEROTTO A., *Danni e difetti delle costruzioni in legno*, Maggioli editore, 2017

Mancia M., *Il benessere climatico negli edifici*, NIS, Roma 1993.

Marano A., *Legno e metallo. Soluzioni costruttive nell'uso combinato di materiali diversi*, Angeli, Milano 1994.

Marchegiani S., Roda R., *Edilizia residenziale a basso consumo energetico*, Alinea, Firenze 1991.

Marchi N., *Tecnologia del legno*, Marsilio, Venezia 1985.

Moruzzi Arch Legno SpA, s.d., *Architettura del legno*, Lavis (Trento).

Meireles, H., Bento, R., Cattari, S., & Lagomarsino, S. (2014). *Seismic assessment and retrofitting of Pombalino buildings by pushover analyses*.

Munafò R., *Recupero dei solai in legno*, Flaccovio, Palermo 1990,.

NOLL T., *Il libro degli incastri*, Il Castello, 2003

NUTSCH W., *Il legno da opera. Tipi di legno, materiali complementari, Sistemi Editoriali*, 2010

NUTSCH W., *Guida pratica alla lavorazione del legno*, Sistemi Editoriali, 2010

PIAZZA M., TOMASI, *Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto*, Milano, Hoepli, 2005

PIVA F., *Manuale delle costruzioni di legno, Legislazione Tecnica*, 2019

Torricelli M. C., Del Nord R., Felli P., Materiali e tecnologie dell'architettura, Bari, Laterza, 2001

WALKER A., Atlante del legno. Guida ai legnami del mondo, Hoepli 2019

UTET, Architettura Cinese: il trattato di Li Chieh, 1998

Benedetti C, Bacigalupi V, Legno architettura: il futuro della tradizione, Kappa, Roma 1991.

Küttinger, Esempi di costruzioni in legno. Strutture di copertura, padiglioni a grandi luci, ponti, Palutan. Varese 1986.

Offenstein F, Compatibilità dei materiali. Come associare i materiali da costruzione, Utet, Torino 1995.

Palutan E., Le costruzioni in legno lamellare incollato, Meta, Milano 1977.

Palutan E, Monografie dei legni, Meta, Milano s.d.

Picone M., Tecnologia della produzione edilizia, Utet, Torino 1984.

Ruffino M., Musso L, Il legno lamellare incollato: guida alla progettazione, Torino 1982.

Sacchi A., Cagliaris G., Fisica tecnica, 2voli., Utet, Torino 1996.

Scott E., Lavorare il legno, Zanichelli, Bologna 1980.

Signorato A. e D., Strutture in legno. Tetti, scale, serramenti, Maggioli, Rimini 1994.

SNCCBLC, Charpentes en bois lamellé- collé, Eyrolles, Parigi 1990.

Sustersic I e Dujic B. Consolidamento sismico di edifici esistenti con pannelli in legno lamellare incrociato. Conferenza mondiale sull'ingegneria del legno. Auckland, Nuova Zelanda, 2012.

Tampone G. restauro del legno, Nardini, Firenze 1989.

Toni M., E isolamento acustico nell'edilizia. EdilStampa, Roma 1996.

Turco T.A., Coloritura, verniciatura e laccatura del legno, Hoepli, Milano 1969.

Wachsmann K., Holzhausbau. Costruzioni in legno: tecnica e forma, Guerini e Associati, Milano 1992.

Glossario

A

- **Alburno** – Legno alla periferia dei tronchi, composto da cellule ancora funzionanti e nelle quali non è ancora avvenuto alcun fenomeno di duramificazione.
- **Anisotropo** – Materiale le cui caratteristiche fisiche differiscono, se misurate lungo diversi assi di riferimento. Il legno, come tutti i materiali fibrosi, è fortemente anisotropo. Un materiale isotropo presenta invece proprietà omogenee in tutte le direzioni.
- **Arcareccio** – Con questo termine si indicano spesso le travi secondarie nelle strutture lamellari ed anche le travi di modesta sezione.
- **Assito** – Tavolato o perlinato posto sopra gli arcarecci, atto a sostenere il manto di copertura, ed eventualmente a garantire un certo grado di finitura all'intradosso.

B

- **Bietta** – E' generalmente composta da due cunei contrapposti o anche da semplici tasselli di legno duro, è usata per impedire lo scorrimento nelle travi composte.
- **Bullone** – Organo mobile metallico di collegamento fra due elementi; formato da una vite a testa generalmente esagonale, dado pure esagonale ed eventuale rondella.

C

- **Capriata** – Struttura reticolare che costituisce l'ossatura del tetto. Può essere semplice, composta, polonceau, all'inglese, ecc.
- **Catena** – Nella capriata è la trave orizzontale che assorbe lo sforzo di trazione trasmesso dai puntoni.
- **CEN (Comitato Europeo di Normazione)** – Il CEN, (per il settore elettrico CENELEC e per quello delle telecomunicazioni ETSI), è stato fondato nel 1961 e conta sull'adesione degli enti di normazione di 18 paesi membri della CEE e dell'EFTA (Associazione Europea del Libero Scambio). Ha lo scopo di promuovere l'armonizzazione tra le normative tecniche nazionali esistenti in Europa favorendo l'impiego delle norme internazionali (ISO), per facilitare lo sviluppo degli scambi dei prodotti e di servizi, mediante l'eliminazione degli ostacoli creati da requisiti di natura tecnica.
- **Cerniera** – Vincolo che impedisce traslazioni reciproche e permette solo rotazioni tra le parti collegate.
- **Certificato di conformità** – E' un documento emesso secondo le regole di un sistema di certificazione, il quale indica che, con sufficiente certezza, un determinato prodotto, processo o servizio è conforme a una specifica norma od ad un altro docu-

mento normativo.

- **Chiodo** – Piccola asta metallica con testa e punta all'estremità e gambo liscio.
- Chiodo ad aderenza migliorata – Chiodo con gambo, interamente o in parte, a superficie lavorata per aumentare l'aderenza al legno.
- **Colmo** – Trave, arcareccio o terza posta alla sommità del tetto.
- **Compensato** – Prodotto composto da tre strati di sfogliato o di tranciato essiccati e incollati a caldo sotto pressione uno sull'altro. Nel sovrapporre i fogli è necessario che le fibre delle facce aderenti siano sempre perpendicolari a quelle del foglio adiacente.
- **Compluvio** – Linea di convergenza di due falde inclinate.
- **Conformita'** – Rispondenza di un prodotto, processo o servizio a tutti i requisiti specificati in una determinata norma, legge o specifica contrattuale.
- **Connessione con spinotti** – Connessione realizzata con una barra cilindrica, solitamente di acciaio, provvista o meno di testa, che si inserisce a forza in fori predisposti e utilizzata per trasferire carichi perpendicolari all'asse dello spinotto.
- **Cretto** – In botanica indica una fenditura, crepa, in senso radiale, che si riscontra in alcuni alberi, piuttosto vecchi, in piedi o dopo l'abbattimento. Quando la fenditura parte dal midollo si ha un cretto centrale o radiatura.
- **Croce di Sant' Andrea** – Coppia di tiranti normalmente metallici e con tenditore, disposti a croce e in diagonale rispetto a una maglia delimitata da travi in legno lamellare e di forma quadrata o rettangolare di cui connette i quattro vertici. Serve a costituire irrigidimenti.

D

- **Dado** – Madrevite mobile con non meno di due facce parallele e foro filettato utilizzata per fissare le viti dalla parte opposta della testa.
- **Dendrocronologia** – Lo studio delle correlazioni fra il clima di un dato territorio e lo spessore degli anelli di accrescimento degli alberi.
- **Dilavabilita'** – Attitudine di un trattamento preservante ad essere asportato dall'azione dell'acqua, oppure a fissarsi in maniera definitiva nel legno (trattamento non dilavabile).
- **Dormiente** – Trave posta al piede dei puntoni atta a sostenere il puntone stesso ed assorbire la spinta laterale trasmessa dai carichi.

– **Durabilita'** – Capacità di un legno o prodotto derivato di resistere alla degradazione indotta da sollecitazioni ambientali (di natura fisico-chimica) e biologiche (causate da batteri, funghi, insetti o organismi marini) nelle previste condizioni di esercizio. Non ha niente a che vedere con la durezza: un legno può essere duro ma non durabile, o viceversa.

– **Durame** – Parte interna del fusto degli alberi di una certa età, nella quale le cellule sono morte e non svolgono più funzioni biologiche essenziali. Le sostanze depositate nel durame contribuiscono per la loro natura chimica ad aumentare la resistenza del legno agli attacchi dei funghi e degli insetti.

– **Durezza** – La durezza è la resistenza superficiale del legno alla penetrazione di corpi estranei. E' maggiore nel senso assiale, che perpendicolarmente alle fibre. La durezza è correlabile con il peso specifico del legno, che a sua volta è in relazione alla resistenza meccanica.

E

– **Essiccazione** – Asciugatura del legname, eseguita in genere in appositi forni.

F

– **Falda** – Ciascuna delle superfici piane o inclinate del tetto.

– **Fibratura** – Si riferisce alla disposizione dei vari elementi nella struttura del legno (diritta, contorta, intrecciata).

– **Flessione deviata** – Quando il piano di posa degli arcarecci o delle terzere di copertura sulle travi principali è inclinato di un angolo α .

– **Formaldeide** – Composto organico utilizzato quale componente di gran parte dei collanti per legno.

– **Freccia** – Deformazione di un elemento strutturale dovuta ai carichi.

– **Fusto curvato** – E' un difetto del legno, la cui causa deriva dalla stazione di nascita. Spesso infatti le piante radicate su pendii, a causa della spinta della neve, subiscono curvature più o meno accentuate alla base.

G

– **Gattello** – Nella carpenteria in legno, si intende ogni elemento corto che blocca scorrimenti o altri movimenti di puntoni o aste.

– **Gerber** – Collegamento che serve a dare continuità ad una trave, lasciando però li-

bertà di rotazione tra le due parti nel piano verticale.

– **Giunto a pettine** – Giunto che realizza l'unione tra due tavole contigue in una lamella; è un'unione incollata sotto pressione e avviene automaticamente nella linea di produzione.

– **Giunzione** – E' un collegamento, nella carpenteria lignea, atto a consentire spostamenti senza trasmettere sollecitazioni.

– **Grappa** – Elemento metallico, tondino o barra, ripiegato ed appuntito alle estremità, impiegato per tenere uniti singoli elementi, assi e travi, delle strutture lignee.

I

– **Igroscopticita'** – Proprietà di un materiale di assorbire facilmente l'umidità dall'ambiente in cui viene messo a contatto. Il legno e i prodotti derivati sono materiali igroscopici.

– **Imbarcamento** – Curvatura del segato in direzione della larghezza.

– **impalcato di legno lamellare** – Una piastra realizzata mediante lamelle parallele e in un solo pezzo provviste di incastro laterale e connesse con chiodi, o con viti, oppure mediante pretensionamento o incollaggio.

– **Induritore** – Sostanza utilizzata nella formulazione di una miscela collante, aggiunta con lo scopo di promuovere o controllare la reazione di polimerizzazione della colla

– **Interasse** – Distanza tra i baricentri di due elementi ripetitivi di una struttura.

– **ISO (International Organization for Standardization)** – Fondata a Londra nel 1947, può contare, ad oggi, sull'adesione degli enti normatori di 110 paesi (l'UNI per l'Italia). Ha lo scopo di promuovere la normazione nel mondo, al fine di facilitare gli scambi di beni e di servizi e di sviluppare a livello mondiale la collaborazione nei campi intellettuale, scientifico, tecnico ed economico. L'attività dell'ISO si estende a tutti i settori ad eccezione di quelli elettronico ed elettrotecnico, che fanno capo all'IEC (International Electrotechnical Commission).

– **ISO 9000** – Norme per il sistema di qualità aziendale di un fornitore. Si tratta di una famiglia di norme di cui tre di esse (9001, 9002, 9003) riguardano le condizioni contrattuali nel rapporto tra fornitore e acquirente ed una (9004) concerne i criteri di conduzione dell'azienda e la sua organizzazione interna per operare nell'ottica della qualità. Recepite dalla CEE come norme EN ISO 9000 e dall'Italia come norme UNI EN ISO 9000.

L

- **Legno dolce** – Termine botanico che designa il legno con struttura cellulare larga, tipico delle conifere; tale legno può avere anche notevole durezza.
- **Legno duro** – Termine botanico che designa il legno con struttura cellulare stretta; non sempre a ciò corrisponde un'effettiva durezza.
- **Listelli** – Per listelli si intendono segati l'area della cui sezione non supera 24 cm² e dove il rapporto dei lati della sezione è compreso fra 1:2 e 1:3.
- **Luce teorica o di calcolo** – E' la lunghezza assunta per il calcolo di un elemento strutturale e coincide con la distanza fra i nodi o fra i centri degli appoggi.
- **Lunatura** – Si verifica negli alberi che hanno sofferto il gelo. Rimane colpita la parte interna dell'alburno, i cui strati, per la morte delle cellule, non si trasformano in durame.
- **LVL** – Laminated veneer lumber, definito in conformità alle EN 14279 e FN 14374.
- **Midollo** – E' il centro del tronco; può assumere forme e dimensioni diverse a seconda dell'essenza, mediamente dagli 8 ai 10 mm.

M

- **modulo di scorrimento** – Una proprietà utilizzata nel calcolo della deformazione fra due elementi portanti di una struttura.
- **Monaco** – In una capriata, elemento verticale fissato ai puntoni nella parte superiore e lasciata mobile in quella inferiore in corrispondenza della catena.
- **Montante** – Pezzo verticale di un telaio.
- **Morali** – Legname segato di sezione quadrata o rettangolare di cui nessun lato supera i 10 cm.
- **Multistrato** – E' un prodotto simile al compensato, con la sola differenza nel numero degli strati che è superiore a tre.

N

- **Nodo strutturale** – Punto in cui convergono due o più aste; termine generalmente usato per strutture reticolari.–
- **Norma EN** – E' una norma tecnica europea emessa dall'apposito organismo europeo CEN. Quando viene emessa una norma tecnica europea questa deve essere recepita come norma nazionale e le norme nazionali sulla stessa materia devono essere ritirate.

Sono individuate dalla sigla EN seguita da un numero progressivo.

- **Norma ISO** – E' una norma tecnica emessa dall'Ente Mondiale ISO.
- **Norma UNI** – E' una norma tecnica italiana emessa dall'UNI. Le norme UNI sono documenti volontari messi a punto consensualmente dalle parti interessate (produttori, venditori, laboratori di prova, utilizzatori, pubblica amministrazione e consumatori) che definiscono lo "stato dell'arte" di prodotti, processi e servizi per migliorare l'economicità di produzione ed utilizzo, la commerciabilità, la sicurezza d'uso e di rapporto con l'ambiente e, quindi, la qualità.
- **Norma UNI EN** – E' una norma EN recepita dall'UNI, quindi valida in Italia. La stessa norma con lo stesso numero è stata recepita dagli altri paesi europei aderenti al CEN (es. DIN EN in Germania).
- **Norma UNI ENV** – Norme di natura "sperimentale" pubblicate nei casi di urgenza.
- **Norma UNI EN ISO** – Versione italiana delle norme europee EN che recepiscono, senza varianti, il testo delle omonime norme internazionali ISO. Possono essere tradotte in lingua italiana oppure adottate nella lingua d'origine.

P

- **Pannello sandwich** – Pannello composto da superfici esterne realizzate con pannelli compensati o multistrati e da uno strato interno di materiale isolante, generalmente polistirene espanso, lana di roccia o sughero. Lo spessore del pannello può variare fra 30 e 150 mm.
- **Pendenza** – Inclinazione della falda, misurata in gradi o in percentuale, rispetto al piano orizzontale.
- **Perlina** – Elemento di forma parallelepipedica, molto sottile, stretto e lungo, utilizzata come rivestimento interno per pareti o piani inclinati. Le teste dei lati maggiori sono sagomate per consentire l'accostamento degli elementi tramite incastro a maschio e femmina.
- **Perno** – Barra liscia o bullone con gambo non filettato nella zona di contatto con il legno.
- **Proprietà di rigidità** – Una proprietà utilizzata nel calcolo della deformazione della struttura, quale per esempio il modulo di elasticità, il modulo di taglio, il modulo di scorrimento.
- **Punto di saturazione** – L'umidità in corrispondenza della quale le cellule del legno hanno la parete completamente saturata.

– **Puntone** – Elemento inclinato in una capriata o trave posta tra il colmo ed i muri perimetrali.

R

– **Resina** – Sostanza vegetale naturale presente nelle foglie, corteccia e legno di molte piante, specialmente delle conifere.

– **Resistenza** – Nella caratterizzazione di un materiale tramite prove statiche, indica il valore della tensione corrispondente al carico di rottura di un provino ridotta alla sua superficie unitaria. Si esprime in N/mm².

– **Resistenza a taglio** – Carico che un materiale è in grado di sopportare quando soggetto ad una sollecitazione di taglio (scorrimento).

– **Resistenza al fuoco** – Tempo in cui un materiale o una struttura è in grado di determinare un certo livello di protezione nei confronti del fuoco sotto specifiche condizioni di prova, continuando a garantire la propria funzionalità e prestazioni di vario tipo per quanto riguarda la resistenza, l'emissione dei fumi di combustione e l'isolamento termico.

– **Rigonfiamento** – Variazione dimensionale del legno causata da un assorbimento di umidità.

– **Ritiro** – Variazione dimensionale del legno causata da una riduzione di umidità.

– **Rondella** – Elemento in acciaio, generalmente a forma di corona circolare, da disporre tra il legno e il dado o la testa del bullone; servono a distribuire uniformemente la pressione trasmessa dal dado o dalla testa di una vite.

S

– **Saetta** – In una capriata, elemento sollecitato a compressione.

– **Scarpa** – Elemento metallico applicato mediante chiodi o viti a una trave principale per il supporto di una trave secondaria, anch'essa da bloccare alla scarpa in modo analogo.

– **Soqqadro** – Effetto causato da azioni orizzontali nel piano di una parete.

– **Spaccatura** – Indica una lesione traumatica, di solito longitudinale, dovuta più frequentemente a gelate o a piogge abbondanti dopo un periodo di aridità nel legno del tronco o dei grossi rami.

– **Svergolamento** – Deformazione elicoidale del segato in direzione della lunghezza.

T

- **Tallone** – In carpenteria si indica con questo nome la parte finale della catena di una capriata che ha il compito di opporsi allo spacco dovuto alla componente orizzontale della forza di compressione trasmessa dal puntone.
- **Tasca di resina** – E' un difetto del legno che consiste in una cavità lenticolare che si riforma fra due cerchi annuali, riempita di resina. E' tipica delle resinose (larice, abete, pino) e rappresenta un'anomalia dei tessuti.
- **Tavola** – E' un prodotto a sezione rettangolare, generalmente il suo spessore varia fra 12 e 80 mm., può avere una lunghezza fino a 4 metri e una larghezza di oltre 16 cm.
- Tensioni ammissibili – Valori di proprietà meccaniche generalmente utilizzati per la progettazione e verifica strutturale.
- **Terzere** – Travi poste orizzontalmente sui puntoni.
- **Tessitura** – Riguarda le dimensioni degli elementi costitutivi del legno. Può essere grossolana, ruvida, fine, liscia, ecc.
- **Tirafondo** – Vite da legno costituita da una testa esagonale, un tratto di gambo cilindrico, un tratto di gambo filettato a passo grosso, una punta.
- **Torsione** – E' un difetto del legno per il quale le fibre assumono un andamento a spirale lungo il tronco, rispetto all'asse longitudinale.
- **Trave** – Elemento impiegato nelle strutture portanti delle costruzioni. La lunghezza e la sezione variano a seconda delle necessità e dall'elemento da cui si ottiene; in ogni caso la sezione rettangolare ha il lato più lungo maggiore di 20 cm.
- **Traverso** – Un pezzo orizzontale in un telaio o in una struttura.

U

- **Umidita'** – La massa di acqua nel legno, espressa come proporzione della sua massa anidra.
- **Umidita' di equilibrio** – L'umidità alla quale il legno non cede né acquista umidità nei confronti dell'aria circostante.
- **UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione)** – Fondato nel 1921, è l'organismo preposto allo studio, alla pubblicazione ed alla diffusione delle norme tecniche nazionali relative a tutti i settori industriali, con esclusione di quello elettronico ed elettrotecnico di competenza del CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano).

– **Unione** – E' un collegamento fra le parti strutturali atto a trasmettere sollecitazioni. A rigore alcune unioni, pur realizzando la continuità fisica fra gli elementi strutturali non consentono la trasmissione di alcune sollecitazioni, come è il caso della cerniera, che annulla il momento flettente.

V

– **Venatura** – Deriva dal contrasto tra le zone tardive e quelle primaverili degli anelli annuali.

– **Viscoelasticità** – Caratteristica reologica di materiali come il legno che mostrano, contemporaneamente, un comportamento di tipo viscoso ed uno di tipo elastico, in funzione della durata del carico.

– **Vite** – Elemento di collegamento realizzato da un perno cilindrico avente gambo con sporgenza elicoidale a sezione costante (filetto) praticata sulla superficie del corpo cilindrico pieno (gambo).

Ringraziamenti

Un doveroso ringraziamento va al mio tutor e mentore Prof. M. Lauria simbolo di onestà che da parecchi anni, ancor prima di questa esperienza mi ha consigliato e mi consiglia senza mai stancarsi, su quali sono le strade che permettono di costruire un professionista.

Ringrazio il mio tutor Prof. M. Milardi per la sua disponibilità a dispensare sempre ottimi consigli.

Doy las gracias al equipo del CIM en particular F. Veliz y S. Celis y aún más mi co-Tutor prof. P. Guindos personas fundamentales para la redacción de mi trabajo y agradeciéndole aún más porque me acogió como un amigo y me permitió crecer profesionalmente y humanamente.

Ringrazio di vero cuore Lolly amica d'una vita, per la sua presenza costante e per la sua capacità di risvegliare sempre il mio cuore.

Ringrazio la mia collega prima, amica ora, Francesca, incontrata all'inizio di questa splendida esperienza, sempre capace di risvegliare in me la voglia di dare nuovo vigore e slancio ad argomenti sopiti, certo che continueremo ad averli, per il resto della nostra amicizia e quindi delle nostre vite.

Ringrazio gli amici Andrea, Ciccio, Demetrio, Marco, Tiziano (stimato ingegnere fonte per me di stimolo continuo sia per la tesi che in ambito professionale) e Don Pietro, che in questi anni mi sono sempre stati accanto, mi hanno sostenuto nei momenti più difficili, aiutandomi a guardare tutto con una prospettiva sempre nuova, capace di rendere le difficoltà, dei punti di svolta e crescita.

Ringrazio Giovanni compagno della tesi di laurea prima e di dottorato ora, sempre pronto a costruttivi confronti sia in ambito lavorativo che umano.

Ringrazio Rosario e Valentina amici di una vita che hanno sempre del tempo da dedicarmi, compagni di bevute, degustazioni e viaggi, certo dei tantissimi a venire.

Ringrazio nonno Angelo e nonna Angela reduci di un'altra epoca in grado di darmi spunti sempre nuovi per guardare la realtà, gli zii ed i cugini, sempre pronti ad una parola di conforto e a dimostrarmi il loro affetto.

Ringrazio mio cognato ed ancor di più mia Sorella che mi è sempre stata accanto e sostenuto in tutte le mie esperienze in casa e fuori casa, nazionali ed internazionali esempio della sorella che tutti vorrebbero avere, di un'intelligenza unica capace di dare la stessa importanza a le piccole ed alle grandi cose.

Ringrazio tutte le persone che ho conosciuto in questi miei anni di vita e di viaggi e (che non cito per paura che i ringraziamenti diventino infinitamente lunghi), che mi hanno voluto un bene sincero, disinteressato, che hanno fatto venir fuori il mio lato più bello, che hanno fatto parte della mia vita per brevi e lunghi periodi, senza i quali nulla di tutto quello che ho fatto e che sono, sarebbe stato possibile, auguro a tutti loro una vita piena, grande, colma di gioia, almeno tanto quanto loro hanno donato a me.

ed ancora ringrazio Vanessa che con la forza del suo amore, la sua spensieratezza e la forza della sua fede mi ha permesso di affrontare il periodo della stesura della tesi a cuor leggero, ricordandomi sempre l'importanza di questo traguardo ed ancor di più dei traguardi che ver-

ranno.

Ringrazio mio padre che a suo modo ha sempre cercato di starmi accanto provocandomi, spingendomi a diventare ogni giorno più umano.

Ed infine ringrazio mia madre a cui dedico questa tesi culmine del suo amore e dei sacrifici fatti in questi anni per permettermi di avere un'istruzione di eccellente livello ed esperienze tali da affrontare la vita a cuor leggero sicuro che ogni cosa che accade, è sempre per un mio bene. La dedico a lei ed in un certo senso a tutte le persone care che in un modo o nell'altro sono sempre state riverbero del suo e del Suo amore.

Termino facendo un monito a me stesso affinché ricordi sempre che con la forza di volontà, con dei sì detti, con il sostegno delle persone che hanno a cuore il proprio Destino, nulla è impossibile, ricordando che fintanto che sono in vita nulla sarà mai un traguardo ma solo un punto di partenza.

In ultimo ringrazio la Comunità Europea e quindi lo Stato italiano o meglio gli italiani che hanno permesso in questi anni, investendo sulla mia formazione, di accrescere le mie conoscenze e competenze.

Si laurea con lode in Architettura (LM-4 c.u.) presso l'Università degli Studi "Mediterranea" di Reggio Calabria, nel Dicembre 2016, con la tesi di Laurea dal titolo "Progetto di rigenerazione urbana nel quartiere Modena di Reggio Calabria. Applicazione sperimentale del Building Information Modeling (BIM)", relatori Arch. Prof. Gianfranco Neri, Arch. Prof. Massimo Lauria. Nel Settembre 2017 consegue l'abilitazione alla professione di Architetto e si iscrive al relativo ordine (OAPPC) matr. 3247.

Attualmente svolge attività di ricerca presso il "Dipartimento di Architettura e Territorio" ed in particolare i nuovi sistemi di progettazione con l'utilizzo delle metodologie BIM.

Dottorato di Ricerca in
Architettura e Territorio
Curriculum in
Tecnologia dell'Architettura

s.s.d. ICAR/12
XXXIII ciclo

Tutor:
Prof. M.Lauria e Prof. M. Milardi
Co-Tutor:
Prof. Pablo Guindos
Coordinatore:
Prof. Adolfo Alberto Santini

Il legno ingegnerizzato sta ottenendo ogni giorno maggiore interesse nella comunità internazionale, grazie alle sue virtù, la sua versatilità e conseguente sostenibilità nelle costruzioni edilizie. La necessità di realizzare sistemi edilizi sempre più performanti dal punto di vista statico, termico ed ecosostenibile spinge la ricerca a realizzare edifici ibridi contenenti i più disparati sistemi costruttivi, irrigidimento ed involucro mettendo in simbiosi materiali che inizialmente erano relegati a svolgere solo alcune funzioni del sistema edilizio. Al fine di indagare queste potenzialità questa tesi presenta uno stato dell'arte dei sistemi costruttivi esistenti a base legno e dei relativi sistemi di connessione, presenta, inoltre, l'ideazione di due studi preliminari sperimentali e numerici incentrati sui comportamenti meccanici di due sistemi, il primo è elemento di rinforzo strutturale che possiede inoltre capacità di efficientamento energetico ed il secondo è una parete non strutturale antisismica. I risultati hanno dimostrato che il sistema di rinforzo possono essere utilizzati come soluzione di rafforzamento, permettendo ad un telaio di calcestruzzo armato di raggiungere valori di rigidità laterale e di carico massimo più elevati rispetto a dei semplici tamponamenti in muratura. Anche il sistema di parete non strutturale ha dato ottimi risultati dimostrando la capacità di evitare gli sforzi laterali dovuti al sisma rispetto all'asse X, ed una maggiore rigidità sull'asse Y rispetto ai divisori in laterizio e cartongesso esistenti.

The engineered wood is getting more and more interest in the international community every day, thanks to its virtues, its versatility and consequent sustainability in construction. The need to create increasingly performing building systems from a static, thermal and eco-sustainable point of view pushes the research to create hybrid buildings containing the most disparate construction systems, Stiffening and casing by putting in symbiosis materials that were initially relegated to perform only some functions of the building system. In order to investigate these potentialities, this thesis presents a state of the art of the existing wood-based construction systems and their connection systems, also presents the design of two experimental and numerical preliminary studies focusing on the mechanical behaviour of two systems, The first is a structural reinforcement element that also has energy efficiency and the second is a non-structural wall seismic. The results have shown that the reinforcement system can be used as a strengthening solution, allowing a reinforced concrete frame to reach higher lateral stiffness and maximum load values than simple masonry infilling. Even the non-structural wall system gave excellent results demonstrating the ability to avoid lateral forces due to the earthquake compared to the X axis, and a greater rigidity on the Y axis compared to the existing brick and plasterboard dividers.

