
Materiali per la transizione del costruito

Traiettorie di innovazione



Materiali per la transizione del costruito

Traiettorie di innovazione

Colophon

Questo volume e gli esiti di ricerca in esso pubblicati sono stati finanziati dall'Unione europea - NextGenerationEU attraverso il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) Missione 4 "Istruzione e ricerca" Componente 2 "Dalla ricerca all'impresa" Investimento 1.5 - Ecosistema ECS_00000043 "iNEST - Interconnected Nord-Est Innovation Ecosystem" (CUP F43C22000200006) - Spoke 4.

Materiali per la transizione del costruito. Traiettorie di innovazione

a cura di
Elisa Zatta
Rosaria Revellini

ISBN (cartaceo)
979-12-5953-173-5
ISBN (digitale)
979-12-5953-244-2
DOI
10.57623/979-12-5953-244-2



Il presente volume è pubblicato in modalità Open Access Gold. Il file è scaricabile dalla piattaforma Anteferma Open Books www.anteferma.it/aob/

editore
Anteferma Edizioni
via Asolo 12, Conegliano, TV
edizioni@anteferma.it

progetto grafico
Giulia Ciliberto
Luca Coppola
Pietro Costa
Giacomo Dal Prà

copyright



Quest'opera è distribuita con Licenza Creative Commons Attribuzione – Non commerciale – Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale

iNEST

Spoke 4
Città, Architettura
e Design Sostenibile

Coordinatore

Lorenzo Fabian

Coordinamento
scientifico

Massimiliano Condotta (Iuav)
Lorenzo Fabian (Iuav)
Luciano Gamberini (UniPD)
Elena Marchigiani (UniTS)
Alberto Sdegno (UniUD)
Lorenzo Bellicini (CRESME)
Pierpaolo Campostrini (CORILA)

Disclaimer

L'apparato iconografico presente è volto a supportare la comprensione dei prodotti della ricerca illustrati nel volume. Tutte le fonti delle figure sono state opportunamente segnalate dalle curatrici e dagli autori.

GRUPPO DI LAVORO

Università Iuav di Venezia (Spoke leader)

Massimiliano Condotta (coordinatore task 2.1), Martino Dereani, Giuseppe Emmi, Alice Rampazzo, Rosaria Revellini, Valeria Tatano, Elisa Zatta.

Università degli Studi di Udine

Giovanni Comi, Vincenzo d'Abramo, Anna Frangipane, Giada Frappa, Margherita Pauletta, Claudia Pirina, Alberto Sdegno.

Università degli Studi di Trieste

Thomas Bisiani, Gianfranco Guaragna, Paola Limoncin, Carlo Antonio Stival.

Indice

	Introduzione Massimiliano Condotta	p. 7
	Circolare e low-carbon: soluzioni progettuali e costruttive per il territorio del Nord-Est Elisa Zatta, Rosaria Revellini	p. 11
<hr/>		
CAPITOLO 1 Esperienze sul campo	Progettare con il compensato strutturale Lorena Alessio	p. 18
<hr/>		
CAPITOLO 2 Traiettorie di innovazione	Design di transizione: adattabilità, flessibilità, trasformazione Thomas Bisiani, Gianfranco Guaragna, Paola Limoncin, Carlo Antonio Stival	p. 44
	Ripensare la dismissione. Riutilizzo dei materiali e pratiche innovative di intervento Giovanni Comi, Vincenzo d'Abramo, Anna Frangipane, Claudia Pirina, Alberto Sdegno	p. 60
	Calcestruzzo riciclato con elevate percentuali di aggregato riciclato: aspetti applicativi e casi studio Alice Rampazzo, Massimiliano Condotta	p. 78
	Malte innovative con fibre di origine naturale per il rinforzo delle strutture tramite TRC Margherita Pauletta, Giada Frappa	p. 92
	Componenti strutturali in legno per ridurre l'impronta ambientale delle costruzioni: analisi di applicazioni in LVL e multistrato Elisa Zatta, Martino Dereani	p. 104
	Architettura rice-based: dalla filiera risicola ai materiali e prodotti per l'edilizia Rosaria Revellini, Valeria Tatano	p. 120
	Materiali a cambiamento di fase: proprietà e applicazioni in edilizia Giuseppe Emmi	p. 134
<hr/>		
	Conclusioni Valeria Tatano	p. 148

Autori

Elisa Zatta
Martino Dereani

Affiliazione

Università Iuav di
Venezia



Università di Aarhus, mediateca della facoltà di
Architettura. Metsa Group, 2021.

Componenti strutturali in legno per ridurre l'impronta ambientale delle costruzioni: analisi di applicazioni in LVL e multistrato

Introduzione

Rinnovabile per definizione, circolare per progetto, in grado di stoccare carbonio per natura: Il legno - ingegnerizzato - è una materia "prima" che si è imposta nel recente dibattito volto all'uso efficiente e sostenibile delle risorse materiali in architettura. Seppur collocati all'interno di una nicchia del mercato delle costruzioni, ancora strettamente legato alle tecniche edilizie convenzionali, i sistemi costruttivi in *mass timber* (soprattutto *Cross-Laminated Timber*, CLT) e, in misura minore, a telaio, sono ormai diffusi nel territorio italiano - Nord-Est incluso (Zatta, 2024). Perché quindi indagare ancora un insieme di soluzioni tecnologiche che rappresenta ormai una conoscenza condivisa nel settore e "come" farlo per individuarne il carattere innovativo?

La risposta alla prima domanda è duplice. Da un lato, se l'adozione di sistemi costruttivi più sostenibili dei tradizionali a livello ambientale non è ancora così ampia - per ragioni culturali, economiche o produttive - la ricerca può trovare soluzioni alle condizioni che frenano l'impatto di queste tecnologie sul mercato. Dall'altro, alcuni prodotti a base legno poco diffusi nel territorio nazionale possono sostituire quelli più noti nella realizzazione di componenti strutturali e, rispetto a questi ultimi, presentano un'ulteriore condizione favorevole nell'ottica della ricerca: consentono di preservare maggiormente la risorsa foresta attivando strategie di riduzione o di sostituzione della materia prima (Pomponi *et al.*, 2020). La risposta alla seconda domanda è connessa al carattere di novità o di sperimentazione propria di tali prodotti, ancora poco noti nella pratica architettonica italiana: il modo più adatto per comprenderne e valutarne il potenziale applicativo è analizzare come siano stati impiegati in altri contesti, secondo una ipotesi di replicabilità di *best practice*.

Perimetro della ricerca

L'ambito dell'indagine si colloca sul solco della necessità di ridurre l'impronta di carbonio della componente strutturale degli edifici, comunemente realizzata con materiali dalla produzione energivora e dal fine vita di difficile gestione in termini circolari. Ciò riguarda in particolar modo il calcestruzzo, armato e non, e la muratura portante. Tali tecnologie sono impiegate nella quasi totalità degli interventi per edifici nuovi ed esistenti in virtù della facilità di esecuzione e dei costi contenuti - in tutta Italia quanto nel Nord-Est. Tuttavia, è necessario individuare alternative strutturali più efficaci per ridurre la frazione inerte dei rifiuti da Costruzione e Demolizione (C&D) e la cui produzione non solo eviti il consumo di risorse non rinnovabili (aggregati naturali), ma limiti energia e carbonio

incorporati nei prodotti edilizi. A partire da queste premesse, la ricerca si è concentrata sui sistemi costruttivi in *Laminated Veneer Lumber* (LVL) e multistrato strutturale (*structural plywood*), per due specifiche ragioni di seguito illustrate in dettaglio: riduzione del materiale utilizzato e sostituzione della risorsa da cui viene prelevato.

Per le loro caratteristiche intrinseche, i sistemi costruttivi in legno ingegnerizzato ottimizzano sia le risorse impiegate che il cantiere, grazie a prefabbricazione *off-site* e lavorazione CNC degli elementi, insieme al facile disassemblaggio e potenziale riuso degli stessi con l'utilizzo di connessioni meccaniche reversibili. Tuttavia, possono essere compiuti ulteriori passi in ottica di sostenibilità indagando le possibilità consentite da elementi strutturali con inferiori sezioni, e dunque minor utilizzo di materiale, a parità di resistenza meccanica. L'LVL, più leggero dei prodotti in *mass timber*, si dimostra particolarmente adeguato in interventi sull'esistente (ristrutturazioni, sopraelevazioni, ampliamenti), comportando – in virtù del peso inferiore – minori emissioni nella fase di trasporto.

Riflettere sulla riduzione delle emissioni di carbonio prodotte all'interno di un preciso perimetro geografico induce a indagare il potenziale di una filiera locale e coerente con le specificità del territorio, concentrandosi sugli elementi a base legno derivati da specie arboree che lo caratterizzano e la cui coltivazione è legata al tessuto produttivo esistente. Il multistrato è realizzato con l'incollaggio di piallacci (*veneer*) e la sua produzione non incide in modo rilevante sulle foreste di conifere, le sole da cui derivano le tavole impiegate per comporre CLT e legno lamellare. Questi ultimi sono oggi prevalentemente importati da altre nazioni, in particolare dall'Austria (Cesaro e Romano, 2019), mentre diverse specie a rapido accrescimento sono storicamente compatibili con il territorio di pianura del Nord-Est, già diffuse nello stesso e presentano una buona resa se lavorate per sfogliatura. Promuoverne la coltivazione in regime di arboricoltura per poi impiegare a corto raggio i prodotti che ne derivano limiterebbe anche i trasporti e i relativi impatti ambientali.

Stato dell'arte

Nel quadro dei prodotti a base legno, l'LVL afferisce alla categoria dello *structural composite lumber*, mentre il multistrato – la cui applicazione strutturale, seppur ammessa dalla normativa, è studiata quasi solo in via sperimentale – è inquadrato come *wood based panel*. Entrambi i prodotti sono ottenuti attraverso l'incollaggio di sfogliati di legno (piallacci) e differiscono quindi sia dagli elementi in *mass timber*, ottenuti incollando tavole di segato, che da quelli prodotti con la ricomposizione di scaglie di legno rese solidali tra loro con sostanze adesive. Dal punto di vista del comportamento meccanico, l'orientamento delle fibre dei piallacci determina i diversi potenziali impieghi degli elementi finiti (Ramage *et al.*, 2017). Nel caso del LVL gli sfogliati sono disposti con le fibre prevalentemente nella stessa direzione, anche se alcuni di essi possono essere orientati perpendicolarmente ad essa in base alle proprietà che si intende conferire agli elementi. Da questo derivano buone proprietà di resistenza a compressione e flessione che indicano come l'uso strutturale più adeguato per questi elementi sia l'impiego come pilastri o travi in un sistema a telaio. I pannelli multistrato presentano invece un numero dispari di *layer*, ciascuno dei quali con le fibre orientate in modo ortogonale a quelli adiacenti, e sono dunque caratterizzati da resistenze simili in entrambe le direzioni del piano. In questo senso, hanno un comportamento meccanico simile a quello del *cross-lam*, ma la sezione molto più sottile richiede molte accortezze nel loro dimensionamento

per strutture di elevazione verticale (Alessio, 2021) e ne impedisce l'impiego come strutture di elevazione orizzontale - quantomeno nella forma di singolo pannello.

Notevoli differenze tra i due prodotti si riscontrano esaminando le specie legnose utilizzate per ottenere gli sfogliati. Come anticipato, l'LVL è ottenuto lavorando legno di conifera e non sfrutta dunque risorse alternative alle foreste convenzionalmente usate per l'approvvigionamento del legno da carpenteria. Tuttavia, la lavorazione a sfogliati consente di impiegare anche il toname inadatto alla produzione di segato per la presenza di difetti minori. Il multistrato può invece provenire anche da specie legnose a rapido accrescimento, con cicli notevolmente inferiori rispetto a quelli delle conifere. Tra queste essenze, che includono paulownia, salice e betulla, nella Pianura padana ha particolare rilevanza il pioppo (Corona *et al.*, 2018), risorsa fondamentale per il settore del mobile proprio per la produzione di piallacci e pannelli, la cui diffusione è per questo promossa dagli enti locali (Regione del Veneto, 2015). Ulteriori potenzialità di questa coltivazione sono relative al suo uso in impianti policiclici da arboricoltura (Buresti-Lattes *et al.*, 2017) e nelle operazioni di mitigazione del rischio e rigenerazione dei suoli contaminati (Oladoye *et al.*, 2022).

La cornice normativa di riferimento per l'uso di questi prodotti in Italia include l'Eurocodice 5 (UNI EN 1995:2014) e le NTC del 2018 (Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti, 2018). Parametri fondamentali da considerare nell'impiego strutturale di prodotti a base legno sono le classi di resistenza, le classi di servizio (in base all'ambiente in cui l'elemento sarà posto in opera), il calcolo delle resistenze di progetto (che prevede coefficienti specifici per LVL e compensato), il progetto delle connessioni e le caratteristiche specifiche in relazione alle azioni sismiche. Alcuni aspetti rappresentano criticità cui porre attenzione in sede progettuale: la durabilità (in relazione alle condizioni ambientali e agli attacchi biologici) e il comportamento al fuoco, come per tutti i prodotti a base legno, ma anche gli adesivi utilizzati per l'incollaggio degli sfogliati, che devono consentire l'uso strutturale dell'elemento e rispettare i limiti di formaldeide ammessi (in particolare per gli ambienti interni). Come per tutti i prodotti in legno ingegnerizzato, il tema degli incollaggi solleva qualche perplessità in ottica di gestione ambientale del fine vita, dato che la termovalorizzazione e il conferimento in discarica di questi materiali comportano il rilascio di sostanze chimiche nocive - rispettivamente nell'aria e nel suolo. Ciò nonostante, l'attuale attenzione della ricerca verso il perfezionamento di collanti *bio-based* o completamente riciclabili consente di assumere una prospettiva ottimistica. Per garantire un approvvigionamento sostenibile delle risorse naturali, i prodotti a base legno devono essere certificati da organismi che ne attestano la provenienza e la catena di custodia e riportare il relativo marchio (es. FSC, PEFC).

Obiettivi e metodi adottati

I sistemi costruttivi illustrati, circolari e derivanti da risorse rinnovabili, rappresentano valide alternative a quelli convenzionalmente impiegati per le parti strutturali degli edifici. Dato lo scarso utilizzo (LVL) o l'impiego quasi esclusivamente sperimentale (multistrato) nel contesto italiano, obiettivo della ricerca è stato approfondire le possibili concrete applicazioni di queste tecnologie a nuovi edifici e al costruito esistente del Nord-Est. Le indagini sono state condotte in tre fasi diverse: (i) identificazione e schedatura di casi studio realizzati; (ii) analisi delle loro caratteristiche tecnologiche; (iii) identificazione di possibili pattern di implementazione.

Identificazione e schedatura di casi studio

È stato raccolto materiale su 24 realizzazioni per ciascuno dei due sistemi costruttivi e le informazioni sono state catalogate secondo tre livelli differenti. Il primo di questi riguarda dati di base della costruzione (destinazione d'uso, nuova costruzione o intervento su esistente, numero piani in multistrato/LVL), il secondo si concentra sulle caratteristiche del sistema costruttivo anche in relazione all'involucro (sistema omogeneo o misto, schema strutturale, commercializzazione, tipo di connessioni, uso multistrato/LVL negli elementi tecnici, dimensione degli elementi strutturali, finiture/protezioni interne ed esterne, posizionamento e tipo di *layer* isolante), mentre il terzo indaga le caratteristiche specifiche dell'elemento a base legno impiegato nel progetto (specie legnosa, fornitore, certificazioni).

TABELLA 01 – P. 112, TABELLA 02 – P. 113

I casi studio esaminati per il multistrato strutturale sono stati realizzati tra il 2005 e il 2023. Sei di essi hanno un uso pubblico, per ragioni emergenziali [1] [4] [21] o espositive [3] [6] [23], otto hanno funzione residenziale, [2] [5] [8] [10] [13] [18] [19] [23], cinque commerciale [7] [9] [11] [12] [14], tre di ufficio [15] [16] [17], uno culturale [20] e uno di servizi alla comunità [22]. Tra di essi, diciotto sono nuove costruzioni e sei interventi sull'esistente [7] [10] [13] [15] [17] [22]. Solo in due casi la struttura propone più di un piano [10] [22].

I progetti in LVL sono stati realizzati tra 2001 e 2024. dieci hanno destinazione residenziale, di cui cinque di tipo convenzionale [25] [26] [29] [31] [32], due per contesti emergenziali [35] [36], due per studenti [45] [46] e uno per vacanze [27]. Tre edifici ospitano attività connesse all'istruzione [28] [33] [37], due spazi per uffici privati [30] [48], due attività relative alla sicurezza pubblica [43] [44], quattro attività pubbliche [38] [47] o aperte al pubblico [34] [42]. Un edificio possiede destinazione sanitaria [39], uno è multifunzionale [40], uno sperimentale [41]. Tra di essi, diciassette sono nuove costruzioni e sette interventi sull'esistente [26] [29] [30] [31] [34] [37] [43]. I sistemi costruttivi in LVL consentono edifici con un numero di piani molto elevato, che arriva fino ai sedici [29] o ai diciotto [40].

Il range di possibili destinazioni d'uso di queste strutture si dimostra ampio in entrambi i casi e suggerisce un buon grado di adattabilità nel loro impiego, inoltre ambedue i sistemi possono essere utilizzati sia in nuove realizzazioni che in interventi sull'esistente. Tuttavia, come ci si poteva attendere, emerge una sostanziale differenza tra multistrato e LVL, derivante dalle caratteristiche di resistenza meccanica che sono proprie degli elementi: se le strutture in LVL possono essere impiegate per coprire grandi luci e realizzare edifici alti, quelle in multistrato sono inevitabilmente limitate a realizzazioni contenute. In particolare, solo due casi studio tra quelli in multistrato presentano due livelli e in entrambi i casi il sistema costruttivo utilizzato per realizzare il solaio intermedio è stato sviluppato *ad hoc*, assemblando i pannelli mediante giunti di legno per comporre moduli scatolari dalla sufficiente resistenza. Tali soluzioni, ingegnose nel superare i limiti intrinseci del materiale utilizzato, rappresentano un primo passo nel lungo percorso di ricerca necessario per realizzare le condizioni necessarie all'ingresso nel mercato de multistrato strutturale.

FIGURA 03 – P. 114, FIGURA 04 – P. 115

Identificazione delle caratteristiche tecnologiche

Le caratteristiche tecnologiche indagate evidenziano notevoli differenze, in particolare per i dati relativi ai sistemi costruttivi: (a) omogeneo o misto,

e (b) schema strutturale. Nel caso del multistrato sono inoltre stati identificati sia i diversi tipi di connessione (c) che di specie legnosa (d). Considerando che gli elementi in LVL sono realizzati in legno di conifera e vedono il solo impiego di connessioni meccaniche, dei relativi casi studio sono stati evidenziati il numero di piani realizzati (e) e i diversi elementi edilizi realizzati con questi sistemi (f). Due casi studio in multistrato sono stati esclusi da ulteriori analisi perché realizzati con tecnologie non compatibili con applicazioni al comune costruito del N-E [20] o realizzazioni molto sperimentali e che fanno uso di incollaggi strutturali [12], dunque non disassemblabili. Un caso studio in LVL che usa questi ultimi [29] è invece stato esaminato per l'elevato grado di prefabbricazione e il potenziale applicativo nel N-E.

FIGURA 01 – P. 112, FIGURA 02 – P. 113

È stato possibile ricondurre tutti i casi studio esaminati, indipendentemente dalla tecnologia, a tre tipi di schemi strutturali (a portale [P], a telaio [T], a elementi/pannelli portanti [E]) e le connessioni impiegate nei quarantotto progetti sono state suddivise in cinque macro-categorie, in base alla natura degli elementi utilizzati e al numero degli stessi.

FIGURA 05 – P. 116

Tra le connessioni meccaniche figurano i connettori meccanici a gambo cilindrico [M₁], le cinghie o fasce [M₂], gli elementi metallici di connessione [M₃], mentre è possibile suddividere i giunti in legno tra i giunti semplici tra due pannelli [W₁] e i giunti con uno o più elementi di connessione [W₂]. Da questa categorizzazione emerge in modo chiaro la differente natura dei due sistemi costruttivi. Nel caso del multistrato, sedici casi studio su ventidue fanno uso di giunti in legno. Di questi, due non impiegano connessioni meccaniche in alcun nodo del sistema costruttivo perché allestimenti interni [15] o prototipi [19], mentre quattro le utilizzano solo nei nodi che trasferiscono i carichi alle fondazioni [2] [4] [11] o alle strutture di elevazione verticale sulle quali poggiano [10]. Al contrario, per l'LVL l'uso di elementi metallici è imprescindibile, come confermano i casi studio esaminati.

Riguardo i trattamenti superficiali degli elementi che compongono i due sistemi costruttivi, si osserva una preferenza nel lasciare internamente a vista le strutture in multistrato (tutti e ventidue i casi), mentre per l'LVL è presente una divisione più bilanciata (quattordici casi in cui è faccia a vista e dieci in cui è rivestito). Questo è rilevante in termini di protezione dal fuoco, per multistrato e LVL regolata principalmente dalle UNI EN 1995-1-2 e UNI EN 13986; entrambi possono essere trattati per migliorare la resistenza al fuoco (es. con ritardanti di fiamma o rivestimenti protettivi) e devono garantire un comportamento conforme agli stati limite di esercizio e sicurezza in caso di incendio, con particolare attenzione alla carbonizzazione controllata delle superfici. Il trattamento superficiale interno deve considerare anche i limiti di emissione di VOC per soddisfare i requisiti di sicurezza e salute, soprattutto nel caso del compensato per cui è richiesta la Classe E₁ (rilascio $\leq 0,124$ mg/m³). Relativamente alla protezione delle strutture all'estradosso, solamente nel caso di un intervento temporaneo [24] o di realizzazioni interne [7] [10] [22] il multistrato non viene rivestito per garantire la durabilità della costruzione. Analogo approccio si riscontra per i telai in LVL, dato che i soli non rivestiti sono protetti da vernici poliuretaniche applicate sugli elementi soggetti a intemperie [38] oppure sono realizzazioni interne [37]. Ove sia richiesta la coibentazione dell'involucro,

a seconda del sistema costruttivo questo viene posto all'estradosso della struttura o interposto ai suoi elementi sia nei casi studio in multistrato che di quelli in LVL.

Per quanto riguarda il materiale impiegato, si riscontra una netta differenza in termini di approvvigionamento, dovuta alla diversa quantità di aziende produttrici dei due mercati e alla loro distribuzione sul territorio. Mentre la manifattura di compensati è distribuita in modo capillare sia in Europa che in altre aree del mondo, la produzione di LVL è in mano a poche ditte di grande dimensione, in area comunitaria meno di una decina di aziende. Esaminando in parallelo i diversi schemi strutturali e l'impiego delle connessioni meccaniche o dei giunti in legno in ciascuno di essi, è stato possibile identificare la funzione di volta in volta ricoperta dalle connessioni all'interno del relativo sistema costruttivo. Tale classificazione è stata necessaria per categorizzare l'ampia casistica riscontrata esaminando i casi studio in compensato strutturale. Infatti, tutti i progetti in LVL fanno uso esclusivo di connessioni meccaniche [M] e per molte di queste non sono state reperite informazioni - probabilmente proprio perché il loro uso non è così infrequente né diverso da quello convenzionale. La FIGURA 06 - P. 117 esemplifica le cinque diverse funzioni riscontrate:

- CN1, Connessione tra diverse parti di uno stesso elemento strutturale (sia orizzontale che verticale);
 - CN2, Connessione tra due diversi elementi strutturali verticali;
 - CN3, Connessione tra un elemento strutturale verticale e uno orizzontale;
 - CN4, Connessioni tra un elemento strutturale primario e uno secondario (generalmente orizzontale);
 - CN5, Connessione della struttura agli elementi di fondazione o base.
- Strumenti per la replicabilità

L'analisi dei casi studio non solo ha confermato come i sistemi costruttivi in LVL e multistrato rispettino i tre criteri a guida delle indagini, ma, indagando nel dettaglio le diverse forme che può acquisire la loro applicazione, ha delineato un quadro organico di impieghi con funzione strutturale sia per il costruito esistente che quello di nuova edificazione. Queste strutture sono realizzate con elementi derivanti da risorse rinnovabili e modalità di messa in opera che ne favoriscono la gestione circolare, in ottica di ciclo di vita richiedono lavorazioni sensibilmente meno energivore rispetto alle strutture convenzionali e consentono di ridurre in modo significativo l'impronta del settore delle costruzioni e della filiera. Tuttavia, se nel caso delle strutture in LVL sono impiegate tecnologie costruttive che non divergono da quelle già note per CLT e lamellare le strutture in multistrato sono ancora scarsamente diffuse e caratterizzate da elementi e logiche non convenzionali nella prassi costruttiva italiana.

FIGURA 07 - P. 118, FIGURA 08 - P. 118

Da queste considerazioni emerge l'importanza di agevolare la comprensione del funzionamento delle strutture in compensato strutturale, così da promuoverne la potenziale replicabilità. L'esame di queste realizzazioni ha consentito di attuare un'analisi interpretativa dei modelli costruttivi riscontrati, che mette a sistema tre livelli integrati di dati - sistema costruttivo, tipo di connessioni e funzione delle connessioni - restituendo un abaco delle soluzioni tecnologiche.

FIGURA 09 - P. 119

Strutturando le informazioni derivanti dall'analisi dei casi studio e, dunque, sistematizzando soluzioni costruttive già validate, l'abaco si propone come uno strumento di supporto alla progettazione tecnologica dei sistemi costruttivi in multistrato strutturale. La distribuzione delle soluzioni che vi è rappresentata evidenzia le specificità proprie di ciascuno degli schemi strutturali, nonché la propensione delle relative connessioni all'impiego di incastri legno-legno, elementi metallici, o fissaggi di tipo misto.

La diffusione di LVL e multistrato di pioppo a uso strutturale nel contesto della ricerca è dunque auspicabile, ma si confronta con circostanze molto differenti. Nel primo caso l'integrazione di questi sistemi costruttivi nel settore edilizio italiano potrà essere graduale, ma priva di ostacoli tecnici e culturali. Date le potenzialità nella realizzazione di edifici di grande dimensione, saranno probabilmente le strutture multipiano o con luci significative le prime ad accoglierne l'impiego ricorrente. Nel secondo caso, come dimostrano alcune esperienze già in corso, è necessaria la stretta collaborazione tra mondo della ricerca e tessuto produttivo locale per individuare le potenzialità dei prodotti sul mercato e sperimentare soluzioni che dimostrino la sicurezza, la fattibilità tecnico-economica, la durabilità di queste strutture – integrando il know-how delle aziende e quello della pratica progettuale e costruttiva.

Riferimenti bibliografici

- Alessio, L. (2021) *Progettare con il compensato strutturale: da Acupoli a Poplyhouse*. Macerata: Quodlibet.
- Buresti Lattes, E., Mori, P. e Pelleri, F. (2017) *Cenni di progettazione e linee guida per il collaudo delle piantagioni policicliche*. Roma: Rete Rurale Nazionale, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria.
- Cesaro, L., Romano, R., (a cura di) (2019) *RaF ITALIA 2017-2018. Rapporto sullo stato delle foreste e del settore forestale in Italia*. Arezzo: Compagnia delle Foreste.
- Corona, P., Bergante, S., Castro, G., et al. (2018) *Linee di indirizzo per una pioppicoltura sostenibile*. Roma: Rete Rurale Nazionale, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2018) 'Decreto 17 gennaio 2018. Norme tecniche per le costruzioni', in *Suppl. Ord. 8 G.U. S.G. 42*, pp. 3-368.
- Oladoye, P. O., Olowe, O. M., e Asemoloye, M. D. (2022) 'Phytoremediation technology and food security impacts of heavy metal contaminated soils: A review of literature', in *Chemosphere* 288, 132555. Disponibile su <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132555>.
- Pomponi F., Hart J., Arehart J., e D'Amico B. (2020) 'Buildings as a Global Carbon Sink? A Reality Check on Feasibility Limits', in *One Earth* 3, pp. 157-161. Disponibile su <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.07.018>.
- Ramage, M., Burridge, H., Busse-Wicher, M., et al. (2016) 'The wood from the trees: The use of timber in construction', in *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68, pp. 333-359. Disponibile su <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.107>.
- Regione Veneto (2015) *Allegato A alla Dgr n. 149 del 10 febbraio 2015. Intesa per lo sviluppo della filiera del pioppo*. Venezia: Italia. UNI EN 1995:2014, Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno.
- Zatta, E., (2024) 'Strutture in legno ingegnerizzato: potenzialità e traiettorie di ricerca nel quadro della neutralità climatica', in: Bertin, M., Piscicella, S., Revellini, R., et al. (a cura di), *Verso la neutralità climatica: progettare una transizione sostenibile ed equa - Primo volume dello Spoke 4 Città, Architettura e Design Sostenibile*. Conegliano: Anteferma, pp. 178-181.

n.	Progetto	Progettista	Anno	Paese
1	Accupoli	H.E.L.P.6.5., L. Alessio, Kobayashi	2018	Italia
2	Arthur's Cave	Miller Kendrick Architects	2017	UK
3	BURST*008	Gauthier architects	2008	USA
4	Cogon Day School	H. Kobayashi	2014	Filippine
5	Furniture House 5	Shigeru Ban	2006	Giappone
6	Furniture Pavilion S	Rooi Design and Research	2019	Cina
7	Loft Library	Arboreal Architecture	2018	UK
8	Nest House	Studio Bark	2022	UK
9	PFS Digital Mortise and Tenon	Partyfriendship	2023	Cina
10	Plywood House	Feina studio	2016	Spagna
11	Poplyhouse	L. Alessio	2019	Italia
12	Sauna Suzae	Kengo Kuma	2022	Giappone
13	Scale of PLY	NOJI Architects	2014	Irlanda
14	Sidewalk Citizen Solarium	Studio North	2019	Canada
15	The Arches	Boano Prišmontas	2017	UK
16	The Barn	Boano Prišmontas	2022	UK
17	The Gantry at Here East	Hawkins/Brown, Architecture 00	2018	UK
18	The Indigo Pine House - sim[PLY]	Clemson University	2017	USA
19	The Instant House	Lawrence Sass	2005	USA
20	The Landesgartenschau Exhibition Hall	Oliver David Krieg	2014	Germania
21	The Minamisanriku Veneer House	H. Kobayashi	2012	Giappone
22	The Squirrel & Mountain Community	Partyfriendship	2023	Cina
23	Villa Asserbo	Eentileen	2012	Danimarca
24	WDC Pavilion	Aalto University Wood Studio	2012	Finlandia

TABELLA 01

Casi studio in multistrato strutturale.
E. Zatta e M. Dereani, 2024.

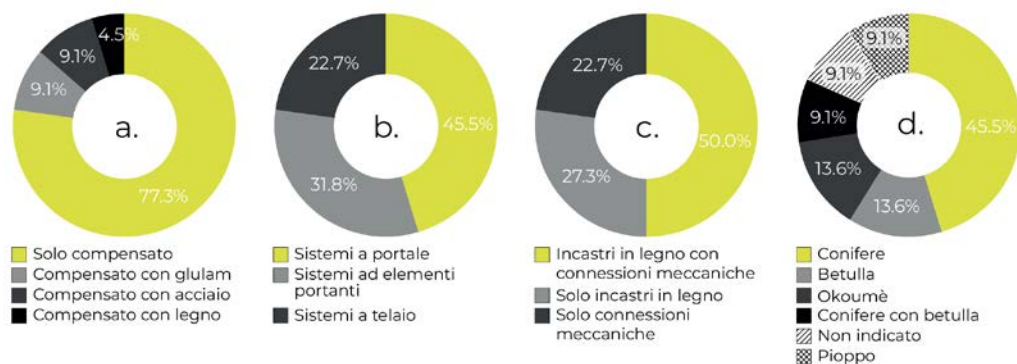


FIGURA 01

Schedatura casi studio in multistrato strutturale (22): caratteristiche tecnologiche.
M. Dereani, 2024.

n.	Progetto	Progettista	Anno	Paese
25	Athletes' village - Paris 2024	Petitdidierprioux Architectes	2024	Francia
26	Brunswick Bush Shack	Sarah Kahn Architect	2021	Australia
27	Center Parcs Waterside Lodges	Jackson Design Associates	2018	UK
28	College of Creative Arts Massey University	Athfield Architects	2012	New Zealand
29	De Karel Doorman	Ibelings van Tilburg architecten	2012	Olanda
30	Expansion of the JLPA offices	Jodoin Lamarre Pratte Architectes	2019	Canada
31	Henry Street House	Cheah Saw Architecture	2017	Australia
32	House of Light and Shadow	Shigeru Ban	2016	Giappone
33	Imai Hospital Daycare Center	Shigeru Ban	2001	Giappone
34	Kaifu Solebad	MRLV	2016	Germania
35	Kokoon modular housing	Wood Program Aalto University	2016	Finlandia
36	Liina Transitional Shelter	Aalto University Wood Program	2011	Finlandia
37	Mediateket - Århus School of Architecture	Praksis	2021	Danimarca
38	Metropol Parasol	J. Mayer, Arup	2011	Spagna
39	Miyamura Veterinary Clinic	ATELIER OPA	2015	Giappone
40	Mjøstårnet	Voll Arkitekter	2019	Norvegia
41	Neighborhub	Solar Decathlon Swiss team	2017	USA
42	Östermalm's Temporary Market	Tengbom	2016	Svezia
43	Paris police department extension	Fabienne Bulle	2016	Francia
44	Prince George Fire Hall No.1	hcma	2021	Canada
45	RMIT Student Accommodation	Richard Middleton Architects	2016	Australia
46	University of Tasmania Inveresk Student Residences	Morrison and Breytenbach Architects	2016	Tasmania
47	Wellington Zoo Ampitheatre	Jasmax	2007	New Zealand
48	Wood City Supercell	Anttinen Oiva Architects	2019	Finlandia

TABELLA 02

Casi studio in LVL.
E. Zatta e M. Dereani, 2024.

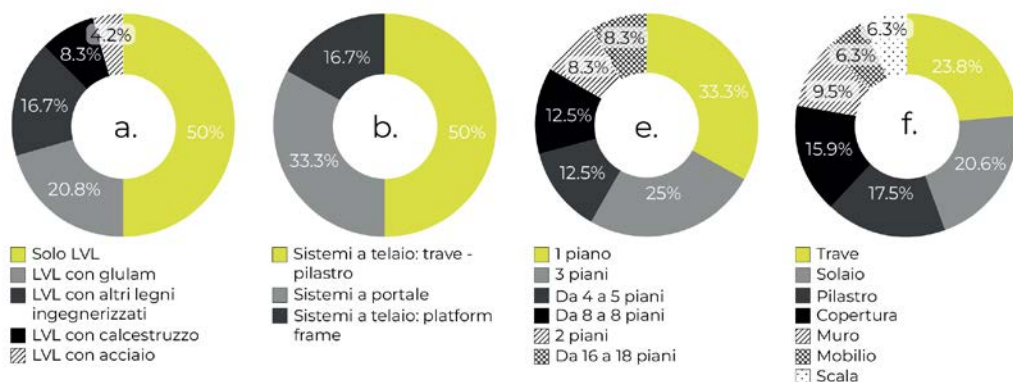


FIGURA 02

Schedatura casi studio in LVL (24): caratteristiche tecnologiche.
M. Dereani, 2024.



FIGURA 03

De Karel Doorman: sopraelevazione di 16 piani in LVL progettata da Ibelings van Tilburg Architecten. F. Romero, 2015.



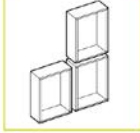
FIGURA 04

Plywood House, progetto di Feina Studio, vista del sistema modulare in multistrato del solaio interpiano. Elaborazione da L. Diaz Diaz, 2016.

CLASSIFICAZIONE DEL SISTEMA COSTRUTTIVO



[P] Sistema a portale



[E] Sistema a elementi portanti



Trave - pilastro



Platform frame

[T] Sistema a telaio

TASSONOMIA DEI VARI TIPI DI CONNESSIONI

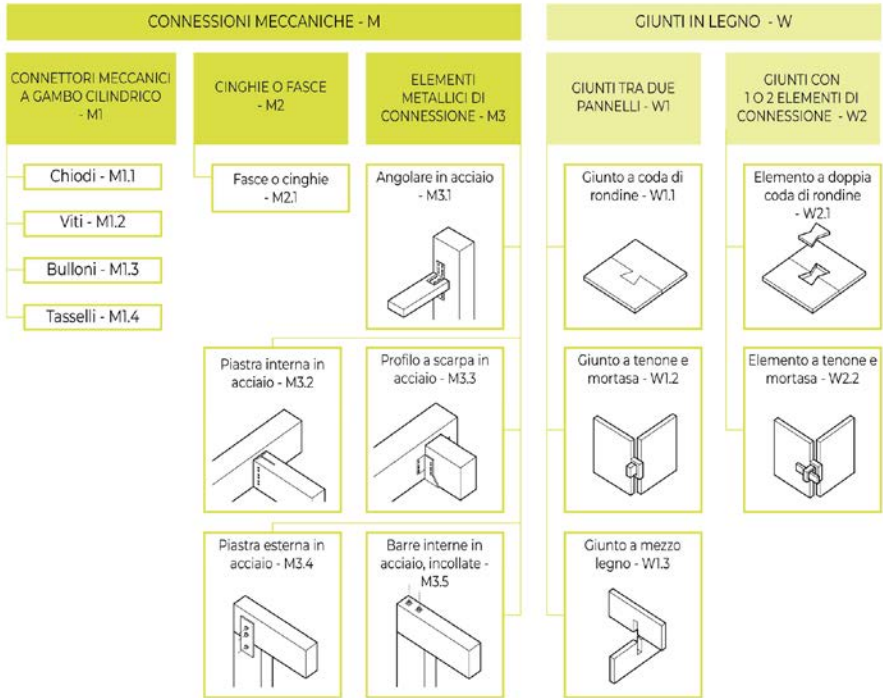


FIGURA 05

Schedatura casi studio: schemi strutturali e tassonomia delle connessioni individuate.
M. Dereani, 2024.

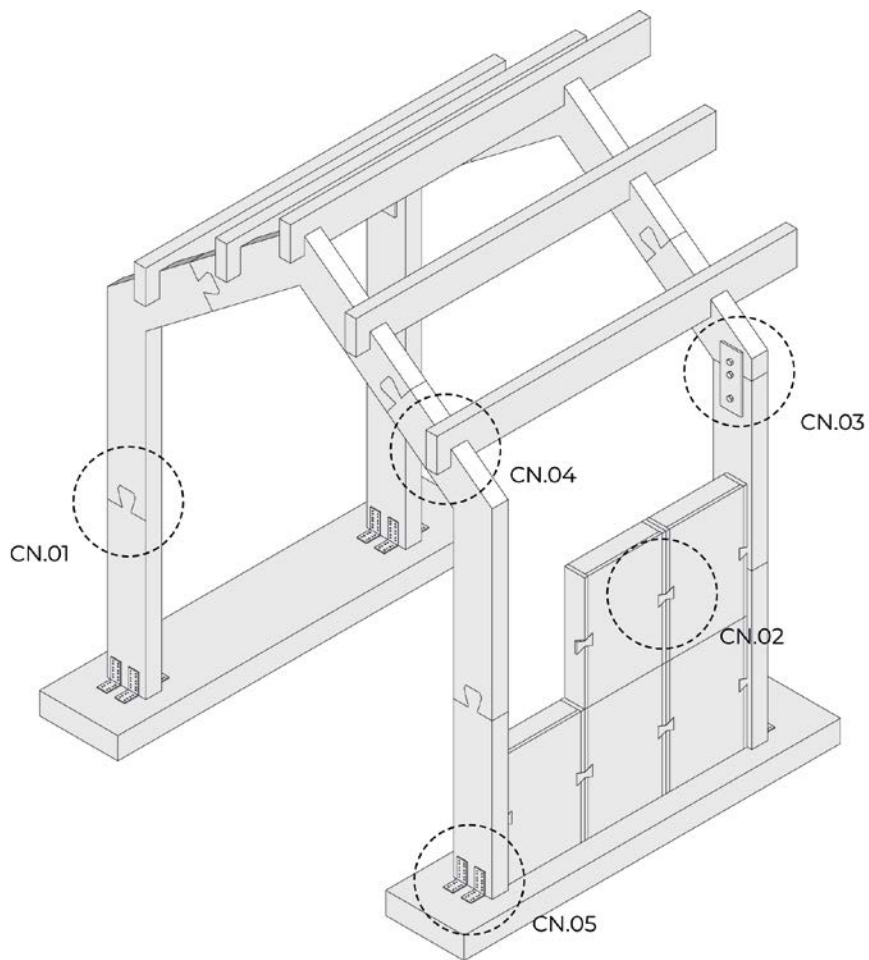


FIGURA 06

Esemplificazione grafica della funzione rivestita dalle diverse connessioni nei sistemi costruttivi esaminati. M. Dereani, 2024.

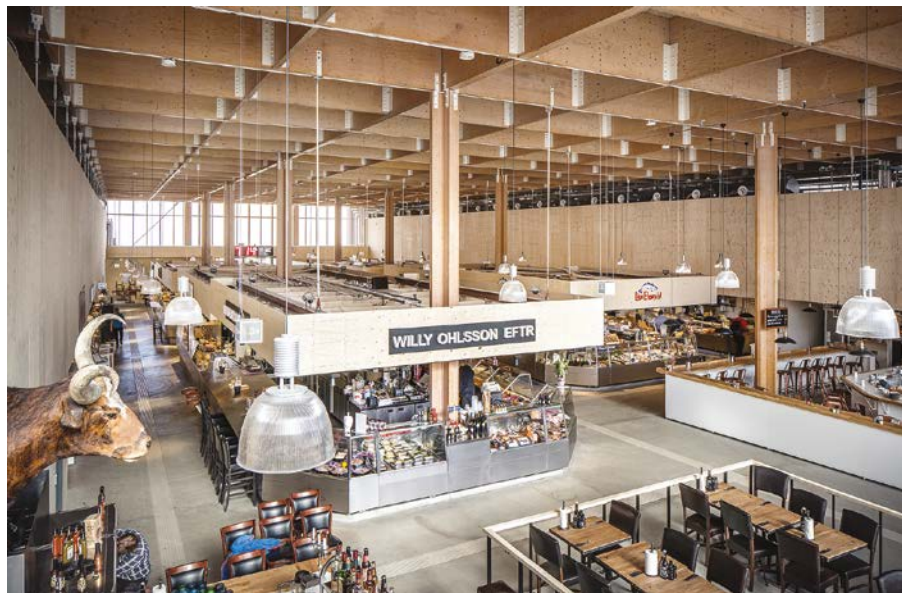


FIGURA 07

Östermalms temporary market, progetto di Tengbom Architecture Studio, struttura in LVL smontata sei anni dopo la realizzazione e ricostruita come sede di attività sportive. F. Gerlach, 2016.

FIGURA 08

The Squirrel & Mountain Nurturing Community, progetto di Partyfriendship, solaio in multistrato del volume realizzato all'interno del Centro per la comunità. Partyfriendship, 2023.

CASO STUDIO	[P]	[E]	[T]	CN1		CN2		CN3		CN4		CN5
				M	W	M	W	M	W	M	W	M
[1]	■			M1.3	W1.3					M1.3 M3.1		M1.3 M3.1
[2]	■				W1.1						W1.3	M1.3
[3]	■			M1.3 M3.4						M1.3 M3.2		
[4]	■				W2.2 W1.1						W1.2	M1.3 M3.1
[5]		■		M1.2	W1.1	M1.2		M1.2 M3.1				M1.2 M3.1
[6]		■		M1.2 M3.1		M1.2 M3.1						
[7]	■			M1.2								
[8]		■		M1.2	W1.1 W1.2	M1.3		M1.3				M1.2 M3.1
[9]	■			M1.1 M1.4	W1.2 W2.1					M1.4	W1.2	M1.2 M3.1
[10]		■			W1.1 W1.2		W2.2					
[11]	■				W1.1 W1.2							M1.2 M3.1
[13]			■							M1.2 M3.1		
[14]			■	M1.3 M1.4							W1.3	
[15]		■			W1.1 W1.2		W2.2		W2.2			
[16]	■			M1.3	W1.2 W2.1				W1.2			M1.2 M3.4
[17]		■		M1.1	W1.1 W1.2		W2.1					M1.3 M3.1
[18]			■	M2.1	W1.2 W1.1					M2.1	W1.2 W1.3	M1.2 M3.4
[19]			■		W1.1 W1.2 W1.3 W2.1				W1.3			
[21]	■			M1.2	W1.3				W1.3	M1.3		M1.3 M3.1
[22]	■			M1.1 M1.4	W1.2 W2.1					M1.4	W1.2	M1.2 M3.1
[23]		■		M1.1 M1.2	W1.1 W1.2	M1.4				M1.2 M3.1		M1.2 M3.1
[24]			■	M1.2						M1.2 M3.1		M1.2 M3.1

FIGURA 09

Abaco delle soluzioni tecnologiche in multistrato strutturale ottenuto intersecando gli esiti derivanti dall'esame dei sistemi costruttivi e dalla tassonomia delle connessioni riscontrate. M. Dereani, 2024.