

Nella pagina di sinistra dall'alto, esempi di connessioni di elementi lignei (foto dell'autore). Vista d'insieme della facciata della nuova sede di LignoAlp. L'edificio, progettato dallo studio "Modus architects" di Bressanone, si presenta come una costruzione interamente realizzata in legno. I prospetti, grazie ad un articolato disegno, mostrano un movimento ondulatorio sotto la luce delle diverse ore del giorno, che conferisce dinamismo all'intera facciata. Fonte: LignoAlp - Damiani-Holz & KO AG. In questa pagina in alto, esempio di costruzione con elementi portanti in CLT (edificio sito in Linguaglossa, Catania, foto dell'autore).

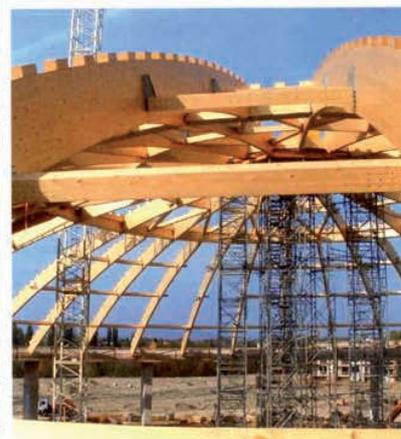
Fase di posa di balcone "appeso" preassemblato.

In basso, esempio di trasporto e montaggio di strutture in legno lamellare (fonte: documentazione tecnica Rubner Holzbau).



LEGNO una crescita in controtendenza: la strategia è nel dettaglio e nel controllo delle prestazioni

EUGENIA GASPARRI, ENRICO SERGIO MAZZUCHELLI



Il costo energetico sostenibile e l'impatto ambientale ridotto sono vantaggi competitivi che altre materie prime non possiedono

Anche sotto gli aspetti del costo energetico del materiale e dell'impatto ambientale dei processi di produzione e smaltimento/riciclaggio, il legno offre considerevoli vantaggi rispetto ad altre materie prime, essendo un materiale abbondante (in Italia 1 miliardo di metri cubi, con una crescita media annua pari a 30 milioni di metri cubi) e interamente rinnovabile, laddove vengano attuate le necessarie pratiche colturali previste da appositi piani di gestione forestale. A tal proposito, un'oculata programmazione di taglio e piantumazione non solo non arreca danni ambientali, ma contribuisce al continuo rinnovamento del parco boschivo esistente e fornisce allo stesso tempo del legno da impiegare in edilizia (il legname viene sottoposto a segagione prima dell'invecchiamento e sono proprio le piante giovani quelle in grado di trasformare più anidride carbonica in ossigeno). La filiera produttiva del legno è poi, come si è anticipato, estremamente meno energivora rispetto a quella di altri materiali potenzialmente concorrenti, quali ad esempio l'acciaio e l'alluminio. La lavorazione del legno richiede infatti una quantità di energia primaria durante il processo di trasformazione inferiore rispetto ai tradizionali materiali edili e, in più, gli scarti della sua lavorazione possono essere recuperati e riutilizzati per la produzione di ulteriori manufatti o per produrre energia termica. Considerando anche la possibilità di riciclo e riuso del materiale stesso alla fine del suo ciclo di vita, il legno può essere considerato praticamente "carbon neutral" (si pensi, tra l'altro, alle numerose problematiche legate alla demolizione e allo smaltimento di strutture in calcestruzzo armato in confronto alla dismissione delle strutture in legno dalle quali, alla peggio, si può recuperare almeno l'energia termica prodotta tramite la sua combustione). Caratteristiche quali l'ottimo rapporto peso/prestazioni, la permeabilità e l'inerzia termica, fanno sì che il legno risulti oggi impiegato come materia prima per la realizzazione di molteplici sistemi costruttivi classificabili in due macrocategorie: sistemi a telaio e sistemi a pannelli. Se, fino a qualche tempo fa, l'impiego principale nel settore delle costruzioni era la realizzazione dell'orditura primaria (e eventualmente secondaria) con elementi-trave in legno massiccio per la costruzione di solai e coperture, oggi le più evolute e tecnologicamente avanzate realizzazioni in legno si ritrovano principalmente nel campo della costruzione di coperture di grandi dimensioni in legno lamellare ed in quello di edifici (generalmente ad uso residenziale), anche pluriplano, ad alta efficienza energetica, realizzati con tecnologie a secco. Costruire con il legno significa quindi doversi interfacciare con una vasta gamma di prodotti (legno massiccio, legno lamellare, compositi di fibre incollate, pannelli multistrato, etc.) di origine comune, ma assai distinti tra loro per struttura, comportamento e campo di applicazione. La fase progettuale diventa la protagonista quando si parla di costruzioni in legno, ed è strettamente connessa a quella di produzione. Questo è dovuto all'alto grado di prefabbricazione degli elementi prodotti in stabilimento, "tagliati su misura" per ciascun progetto e pronti, in uscita dal sito di produzione), alla diretta installazione in opera, abbattendo in questo modo gli oneri di costo e tempo legati all'imprevisto di cantiere. Per assicurare una corretta impostazione del progetto, occorre pertanto un reciproco scambio di informazioni tra le tutte figure coinvolte nel processo: il progettista architettonico, il tecnologo edile, lo strutturista, l'impiantista, il coordinatore della sicurezza e, non ultima, l'impresa produttrice. È di cruciale importanza definire tutti gli aspetti della realizzazione dell'opera, comprese le modalità di trasporto e montaggio in opera. Solo uno studio completo ed esaustivo in fase di progetto permette infatti di evitare l'adozione in cantiere di soluzioni improvvisate, difficilmente sostenibili e spesso destinate ad essere oggetto di onerosi interventi di modifica o manutenzione straordinaria.

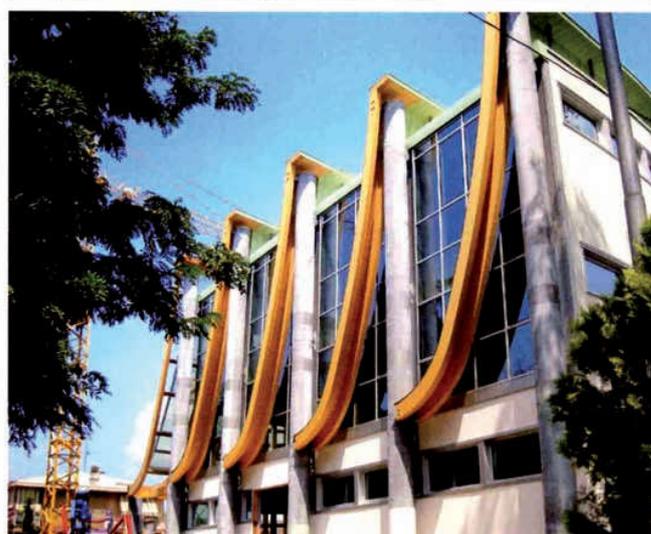
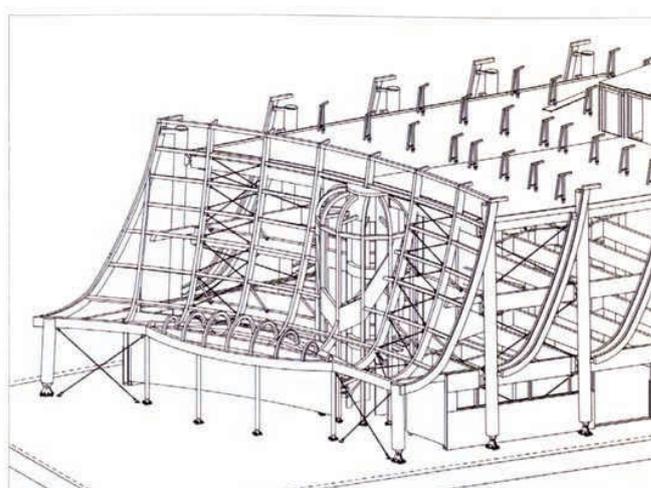
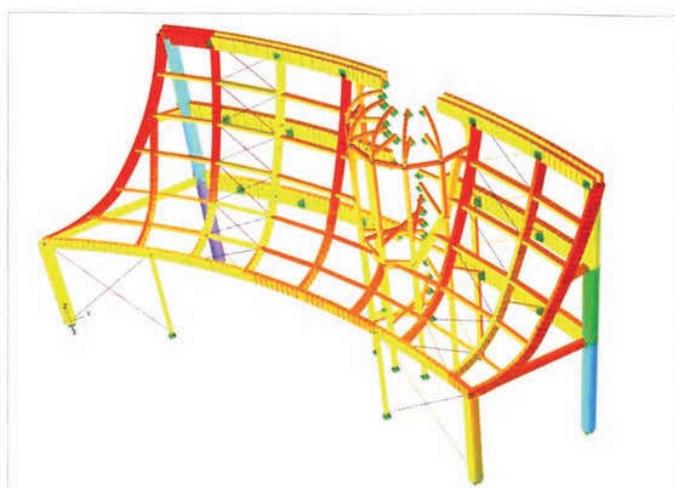
A sinistra, parco acquatico Aquaworld, Budapest. A destra parco Acquaworld a Concorezzo (MB). Progetto architettonico: Sering S.r.l. – arch. Federico Pella. (fonte, documentazione tecnica Rubner Holzbau).



Legno lamellare e coperture di grandi dimensioni

Gli elementi in legno lamellare possono essere considerati come veri e propri prodotti industriali, ottenuti selezionando qualitativamente parti di legname che vengono successivamente ricomposte in sezioni e forme volute, superando i limiti naturali propri del legno massiccio (limiti dimensionali e di curvatura dei manufatti, disomogeneità del materiale, difetti locali, etc.). Le caratteristiche proprie della struttura cellulare del legno non vengono alterate dal processo di produzione del legno lamellare che, al contrario, ne esalta e migliora le prestazioni meccaniche, trovando la sua massima espressione nella realizzazione di strutture di grandi dimensioni con grandi luci libere. Grazie al particolare procedimento produttivo, il legno lamellare può raggiungere una capacità di carico fino all'80% superiore rispetto al legno massiccio: l'ottimo rapporto tra peso e capacità portante permettono la realizzazione senza difficoltà di strutture con campate aventi luci sino a 50 metri. Di fatto, gli elementi strutturali in legno lamellare offrono grande libertà di forma e dimensioni, e ciò è dovuto anche alla possibilità di "modellare" gli elementi con raggi di curvatura intorno ai cinque metri per la normale lavorazione (si può arrivare anche sotto i due metri grazie all'impiego di micro lamelle). In quest'ambito la conoscenza della risposta del materiale ai diversi stati di sollecitazione e alle diverse modalità di posa in opera costituisce il presupposto indispensabile per conciliare al meglio architettura, fattibilità, economia e durata.

Progettazione, modellazione e costruzione. Sede Jointek, Somma Lombardo (VA) (fonte, documentazione tecnica Rubner Holzbau).

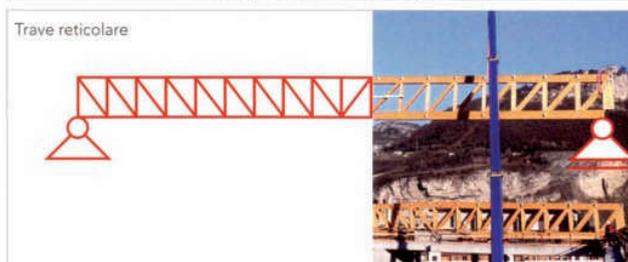


Grazie alla leggerezza e alla duttilità (che, come si è anticipato, nella ristrutturazione di edifici può divenire un elemento fondamentale, in quanto il peso è di 500 kg/m^3 contro i 2.500 kg/m^3 del calcestruzzo, con positivi riflessi su dimensionamento delle strutture in elevazione e di fondazione, risparmi sulle spese di trasporto e messa in opera), le strutture in legno lamellare garantiscono un'ottima risposta all'azione sismica, un'elevata resistenza nei confronti di molte sostanze aggressive, consentono un elevato livello di prefabbricazione e permettono di realizzare campate di grande luce e di notevole pregio estetico.

Le principali problematiche legate all'impiego del legno, e quindi del lamellare, in edilizia sono l'instabilità dimensionale, la deperibilità biologica e la combustibilità, di cui si riferirà in seguito.

I problemi di instabilità dimensionale risultano superati proprio grazie alla particolare tecnologia di produzione del lamellare, mentre per quanto concerne il comportamento e il degrado nel tempo, occorre considerare che il miglior intervento di manutenzione per una struttura in legno è una corretta progettazione esecutiva. E' comunque possibile, quando situazioni particolari lo impongano, sottoporre preventivamente gli elementi lamellari a trattamenti sia ignifughi sia idrorepellenti. Rimane il problema della deperibilità biologica, il degrado dovuto a tarli e muffe. I trattamenti più comuni sono quelli praticati sul lamellare in fase di fabbricazione. La tecnologia del trattamento del legno a scopo conservativo si basa soprattutto sull'impregnazione con sostanze chimiche, la cui efficacia è in relazione con la profondità di penetrazione. Tuttavia, anche il progettista può contribuire alla lunga conservazione delle strutture, attraverso lo studio di dettaglio di ciascun particolare costruttivo e l'adozione di piccoli ma essenziali accorgimenti, come ad esempio evitare di lasciare direttamente esposte agli agenti atmosferici le testate delle travi. L'azione di raggi ultravioletti e precipitazioni mettono infatti a dura prova anche i legni meglio trattati. Ove sia necessario lasciare il legno esposto alle intemperie bisogna comunque prevederne la manutenzione periodica.

Esempio di trasporto e montaggio di strutture in legno lamellare (fonte: documentazione tecnica Rubner Holzbau).



Una fase costruttiva dell'edificio in CLT sito in Linguaglossa, Catania (foto dell'autore).



Edifici in legno: massicci, leggeri, intelaiati, tutti ad alta efficienza energetica. E la prefabbricazione segna la via

Come si è anticipato, l'altro grande settore di punta del settore legno è quello relativo alla costruzione di edifici, anche pluripiano, ad alta efficienza energetica.

Nella letteratura tecnica, considerando che la denominazione è sostanzialmente correlata alla struttura portante delle pareti, spesso si incontrano diverse modalità di suddivisione dei vari tipi di costruzione in legno, ad esempio costruzioni di tipo "leggero" e costruzioni di tipo "massiccio". La differenza fondamentale tra questi due sistemi costruttivi risiede nel fatto che, nelle costruzioni di tipo "massiccio", lo strato isolante è solamente accostato alla struttura portante mentre, nelle costruzioni di legno di tipo "leggero", isolamento e struttura portante si trovano nello stesso piano.

Per la realizzazione della struttura portante vengono utilizzati nei due casi prodotti completamente diversi. Contrariamente alle costruzioni di tipo leggero, nelle quali gli elementi portanti sono prodotti di tipo lineare accoppiati a pannellature sottili, in quelle di tipo massiccio vengono impiegati veri e propri pannelli portanti piani di grandi dimensioni. Inoltre, le costruzioni di legno di tipo massiccio non necessitano (di norma) di alcuna barriera al vapore e possiedono una massa più elevata e quindi anche una maggiore capacità di immagazzinamento di energia termica. Con entrambe le tipologie di sistema costruttivo è comunque possibile concepire liberamente sia le facciate esterne che il rivestimento interno.

Naturalmente i sistemi costruttivi di legno precedentemente descritti possono essere anche combinati l'uno con l'altro. Ad esempio si realizzano frequentemente abitazioni multipiano con pareti perimetrali realizzate con il sistema costruttivo leggero a telaio e solai invece realizzati con elementi di tipo massiccio. Ad oggi la tipologia costruttiva più diffusa è ancora la costruzione intelaiata di legno, composta da elementi piani, risultato dell'assemblaggio di più componenti, formanti solai e pareti. Questo sistema è senz'altro di tipo più tradizionale e presenta caratteristiche tecniche e prestazioni meccaniche limitate rispetto ai sistemi a pannelli sottili e massicci, in particolar modo per quanto concerne la rigidità nel piano dell'elemento. Ciò limita i campi di applicazione di questi sistemi a strutture dalle dimensioni comunque limitate, ad abitazioni di tipo mono o bifamiliare o comunque edifici con altezza ridotta. Di fatto, ogni apertura presente nella parete rappresenta un'interruzione dell'elemento strutturale e deve essere pertanto analizzata e studiata nel dettaglio. I sistemi a traliccio o a telaio (come il "balloon frame" e il "platform frame") garantiscono di norma un maggiore isolamento nella stagione invernale, direttamente proporzionale allo spessore degli isolanti utilizzati, mentre le costruzioni con pareti massicce contribuiscono di certo al miglioramento delle prestazioni estive grazie alla loro maggiore massa che garantisce una notevole inerzia termica e un maggiore sfasamento e smorzamento dell'onda termica.

La costruzione intelaiata, considerata una tipologia strutturale composta da elementi di solaio e parete piani, non può tuttavia entrare a pieno titolo in questa categoria in quanto non è costituita di veri e propri elementi strutturali continui piani.



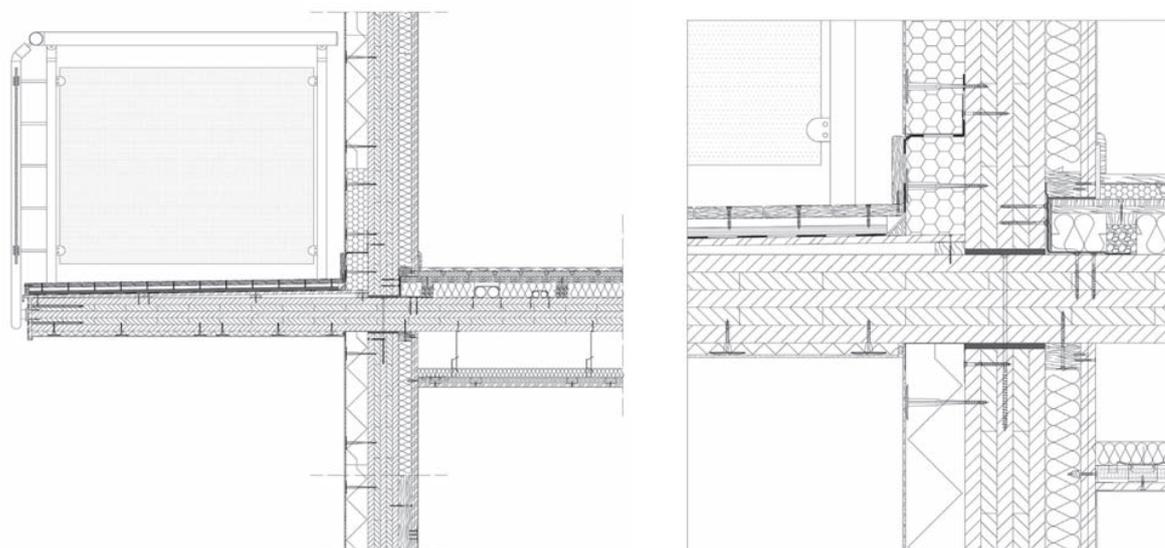
In edifici in legno è possibile integrare le componenti impiantistiche in modo estremamente razionale ed efficace (edificio sito in Linguaglossa, Catania, fonte: foto dell'autore).

Queste caratteristiche sono invece tipiche dei pannelli di legno massiccio a strati incrociati (Cross Laminated Timber). Le costruzioni in legno con elementi in CLT sono di piuttosto recente introduzione e presentano buone prospettive di sviluppo, grazie a diversi fattori tra cui l'eccellente stabilità di forma dei pannelli, il basso costo di produzione, l'avanzato grado di industrializzazione e prefabbricazione, la rapidità di montaggio in opera.

I pannelli CLT sono formati da più strati di tavole, sovrapposti e incollati uno sull'altro in modo che le fibre di ogni singolo strato siano ruotate nel piano del pannello di 90° rispetto agli strati adiacenti. Il numero di strati e il loro spessore può variare in funzione del tipo di pannello e del produttore. Il numero minimo di strati per ottenere un pannello CLT è tre, ma per ottenere un comportamento fisico e meccanico efficace sotto tutti i punti di vista e corrispondente alla definizione di elemento multistrato, il numero minimo di strati dovrebbe essere non inferiore a cinque. I pannelli CLT sono prodotti industrialmente e possono essere finiti superficialmente secondo le esigenze del singolo progetto o forniti allo stato grezzo per la lavorazione finale da parte del cliente, anche se l'uso del CLT quale elemento a vista è senz'altro possibile.

Il CLT è a tutti gli effetti un elemento di legno massiccio, dove la struttura del legno non ha subito alcuna modifica dal punto di vista fisico, chimico o biologico. Facendo quindi le dovute riserve relative ai prodotti adesivi adoperati per l'incollatura dei vari strati l'un l'altro, si può affermare che si tratta di legno massiccio al suo stato naturale, in modo assolutamente simile al legno lamellare incollato, da cui prende a prestito tutte le basi tecniche, tecnologiche e scientifiche legate alla caratterizzazione e al comportamento fisico e meccanico del materiale di base. Tuttavia, i pannelli CLT, contrariamente al legno massiccio naturale, presentano una stabilità dimensionale nel piano praticamente completa e totale. Ciò permette non soltanto l'uso di pannelli di dimensioni considerevoli senza conseguenze o pregiudizi per gli altri elementi costruttivi e strutturali durante la fase di servizio, ma permette una lavorazione di precisione assoluta in fase di produzione, che consente di non dover tener conto di tolleranze o margini di riserva importanti, dettati dalla variazione di dimensione del materiale.

Esempio di dettaglio esecutivo di balcone con struttura a sbalzo.



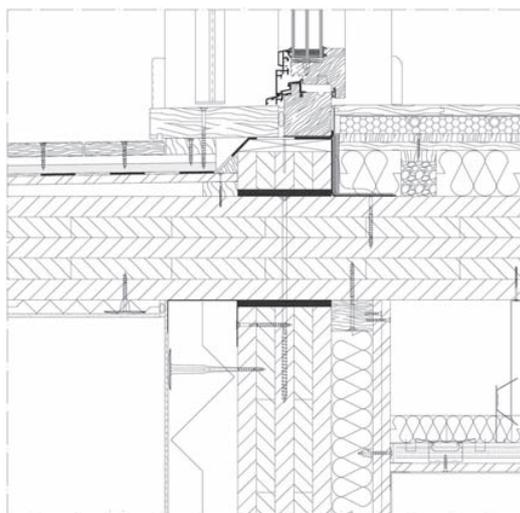
I pannelli per pareti e solai vengono prefabbricati in stabilimento mediante taglio computerizzato con macchine a controllo numerico e arrivano in cantiere pronti per il montaggio, già dotati di aperture per porte e finestre, alloggiamenti per travi ed architravi, lavorazioni per i giunti, forometrie per cavedi e attraversamenti impiantistici. L'unica limitazione sulle dimensioni, come si è visto anche per gli elementi in legno lamellare, è legata alle specifiche esigenze di trasporto (gli elementi hanno normalmente lunghezza inferiore agli 11 m, ma possono arrivare anche fino a 16 m) o di produzione. Elementi di dimensioni maggiori possono essere realizzati mediante l'assemblaggio di più pannelli (normalmente di larghezza uguale o inferiore ai 3 m) uniti fra di loro mediante collegamenti meccanici realizzati con l'utilizzo di strisce di pannello multistrato o con giunti a mezzo legno fra i pannelli e viti o chiodi. I solai di interpiano e di copertura vengono normalmente realizzati mediante l'assemblaggio di più pannelli di larghezza uguale o inferiore ai 3 m, con giunti meccanici realizzati con modalità

simili a quelle utilizzate per il collegamento verticale fra i pannelli costituenti le pareti.

Senza avere la pretesa di illustrare in questa sede tutti gli accorgimenti che è bene adottare quando si progetta un edificio di legno, è opportuno osservare che, come in ogni altra realizzazione, la cura del dettaglio e la scelta di soluzioni in grado di rispondere alle effettive aspettative del committente, è fondamentale.

Si considerino, a titolo esemplificativo, solamente due aspetti che spesso vengono trascurati o messi in secondo piano, cioè l'integrazione di balconi in facciata e la tenuta all'aria dell'involucro.

Nell'edilizia residenziale sono frequentemente presenti, sia per motivi estetico-ornamentali che di vivibilità e fruizione degli spazi, elementi quali balconi, aggetti, bow-windows, etc., che



Esempio di dettaglio esecutivo di balcone con struttura a sbalzo in corrispondenza della soglia di una portafinestra.

rappresentano un fattore di pregio per gli appartamenti e per l'architettura d'insieme degli edifici.

Spesso però, tali elementi, se non adeguatamente progettati, sono tra i primi a manifestare fenomeni di degrado. La mancanza di gocciolatoi ed elementi di scarico, l'errata configurazione delle pendenze, così come la mancata definizione dei dettagli del sistema di impermeabilizzazione (ad esempio dei risvolti verticali sulla facciata, il raccordo con soglie di portafinestre, etc.), sono alcune tra le cause principali di degrado di frontolini e intradossi. Ciò può essere ulteriormente accentuato dall'effetto di prolungati periodi di bagnamento dovuti al funzionamento di sistemi di irrigazione di vasi e fioriere, così come da movimenti di assestamento o cedimento della struttura, che possono risultare critici per il sistema di impermeabilizzazione.

Per i balconi in legno va, tra l'altro, posta particolare attenzione ai trattamenti protettivi che, oltre alla protezione dai parassiti, debbono essere in grado di impedire la formazione di muffe che possono portare rapidamente il legno al degrado, soprattutto in presenza di acqua. I prodotti da utilizzare debbono altresì garantire la necessaria traspirazione del materiale naturale e non contrastare le variazioni dimensionali degli elementi stessi. A livello strutturale, i balconi possono essere classificati in più tipologie. La soletta portante può infatti essere realizzata come prosecuzione del solaio al di fuori dell'appoggio perimetrale (soluzione a sbalzo), come elemento separato agganciato o appeso alla struttura portante dell'edificio (soluzione "appesa"), oppure come elemento del tutto separato in semplice appoggio (in genere con strutture leggere in acciaio o in legno separate e indipendenti dalla struttura portante dell'edificio).

Nella soluzione a sbalzo, lo stesso elemento costruttivo viene a trovarsi in classi di servizio e condizioni di funzionamento differenti, a seconda che si trovi all'interno (solaio) o all'esterno (balcone). In generale, sono consigliabili soluzioni costruttive che consentano una separazione completa tra elementi strutturali esterni all'involucro edilizio e propri dell'edificio. Questo, oltre a ridurre significativamente i ponti termici, garantisce più facilmente, in caso di degrado legato alla più elevata classe di rischio (degli elementi sottoposti agli agenti atmosferici), la completa sostituibilità di tali elementi nel corso della vita della costruzione, senza effettuare interventi sulla struttura dell'edificio.

Per quanto concerne invece l'aspetto della tenuta all'aria dell'involucro, mentre nelle costruzioni tradizionali l'elemento in grado di garantire una certa ermeticità all'aria è spesso costituito da intonaco di finitura, nelle costruzioni in legno tale funzione è demandata a teli di tenuta all'aria, mentre sul lato freddo è di norma previsto uno strato costituito da teli impermeabili ad alta traspirabilità con funzione di barriera al vento. Lo strato di tenuta all'aria è situato normalmente sul lato caldo dell'involucro e può assumere anche la funzione di freno al vapore. I punti critici, cioè più soggetti alle infiltrazioni d'aria, sono quelli di giunzione tra materiali diversi o in prossimità di spiragli aperti e non a tenuta nell'involucro edilizio (ad esempio fori per il passaggio di cavi elettrici e tubazioni di acqua e gas, etc.). Per evitare l'interruzione di questi teli in corrispondenza di attraversamenti impiantistici viene solitamente realizzata una apposita controparete interna attrezzata, la cui funzione è specificatamente quella di integrare reti ed elementi quali tubazioni e passacavi.

La tenuta all'aria dell'involucro è inoltre strettamente legata a potenziali problemi di condensa interstiziale nelle soluzioni di chiusura. Come noto, il vapore acqueo può essere trasportato mediante un flusso d'aria, oppure può diffondere attraverso materiali porosi.

Nel primo caso elevate quantità di vapore possono essere trasportate in un breve tempo: un involucro con elevata tenuta all'aria è quindi il presupposto fondamentale per impedire che grandi quantità di vapore acqueo possano essere trasportate all'interno di un elemento costruttivo. Solo quando si sarà certi che l'umidità dell'aria non possa essere trasportata all'interno dell'elemento costruttivo, avrà senso considerare e controllare la diffusione del vapore. La formazione di condensato all'interno di una soluzione di involucro può comportare infatti, oltre alla riduzione delle prestazioni termoisolanti, anche il degrado di materiali particolarmente sensibili all'acqua, come taluni isolanti di matrice naturale quale ad esempio la lana di legno.

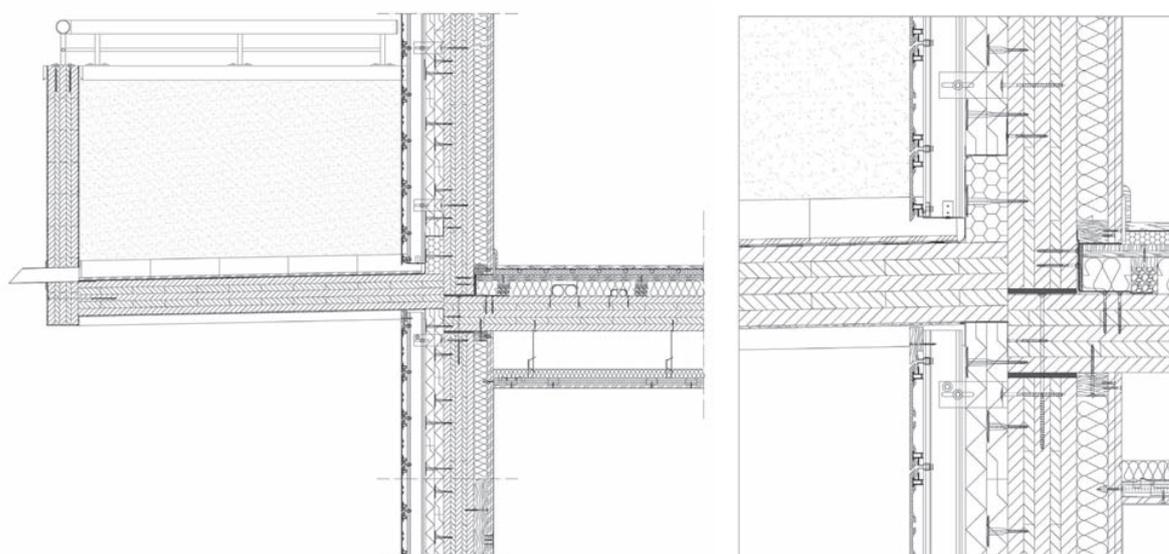
Un involucro in grado di garantire una elevata tenuta all'aria permette quindi di eliminare possibili fenomeni di condensativi all'interno degli elementi costruttivi, strettamente correlati al passaggio d'aria, ridurre le perdite di calore legate all'infiltrazione d'aria, garantire il buon funzionamento dell'impianto di ventilazione e permettere inoltre un buon isolamento acustico.

La quantità d'aria che si "perde" attraverso l'involucro di un edificio con una differenza di pressione predefinita è misurabile con una prova di tenuta all'aria (Blower Door Test, come definito nella norma UNI EN 13829:2002 "Prestazione termica degli edifici - Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici - Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore"). Tale prova è già obbligatoria per ogni casa "passiva". L'esecuzione di questo test durante i lavori di costruzione, consente l'adozione repentina di eventuali misure correttive, prevenendo così eccessive dispersioni termiche, danni agli elementi costruttivi e relativi costi di risanamento.

E' opportuno comunque ricordare che un efficace controllo dell'umidità interna è legato anche al mantenimento delle corrette condizioni igrometriche e di ricambio d'aria degli ambienti.

A tal riguardo è fondamentale il corretto e consapevole utilizzo degli ambienti da parte dell'utenza stessa.

Esempio di dettaglio esecutivo di balcone prefabbricato.



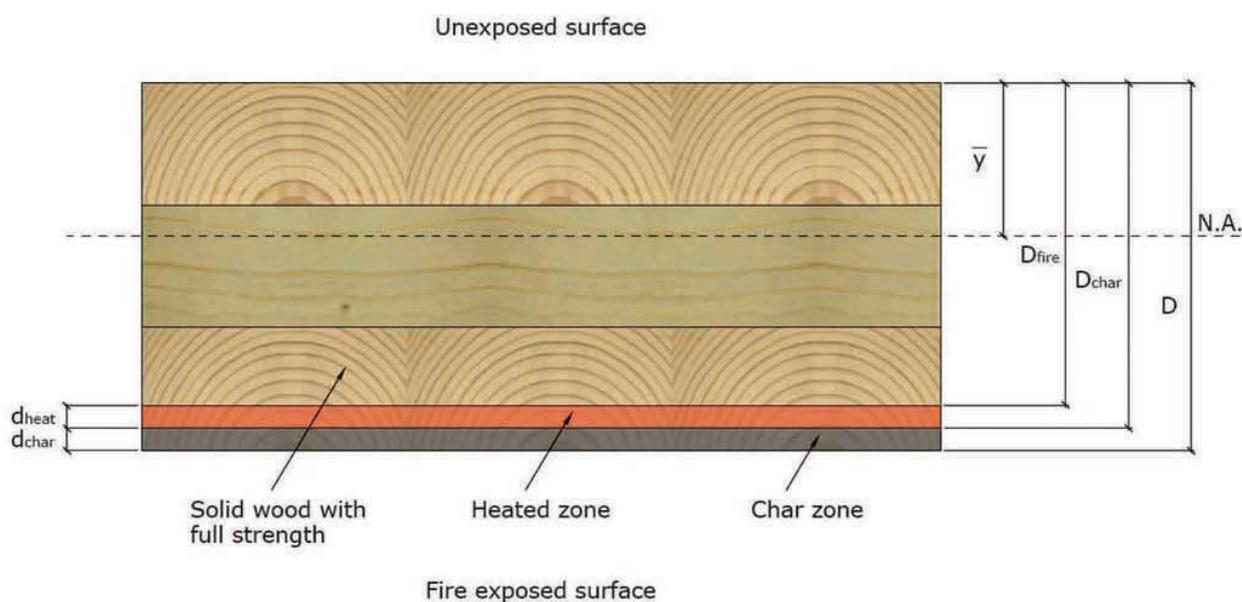


Vista d'insieme e dettaglio della facciata della nuova sede di LignoAlp. L'edificio, progettato dallo studio "Modus architects" di Bressanone, si presenta come una costruzione interamente realizzata in legno. I prospetti, grazie ad un articolato disegno, mostrano un movimento ondulatorio sotto la luce delle diverse ore del giorno, che conferisce dinamismo all'intera facciata (Fonte: LignoAlp - Damiani-Holz & KO AG).

Resistenza al fuoco e valutazione sismica: il legno presenta un ottimo comportamento ed alte prestazioni

La verifica di resistenza al fuoco delle strutture in legno viene eseguita con riferimento agli Eurocodici, in particolare le norme UNI EN 1991-1-2 "Azioni generali – Azioni sulle strutture esposte al fuoco" e UNI EN 1995-1-2 "Progettazione delle strutture di legno – Progettazione strutturale contro l'incendio".

Come è noto, il legno è un materiale combustibile, ma è ormai riconosciuto che esso presenta un buon comportamento al fuoco. Se soggetto ad incendio, infatti, un elemento strutturale di legno brucia lentamente e la carbonizzazione procede dall'esterno verso l'interno della sezione (lo strato carbonizzato riduce, tra l'altro, l'innalzamento della temperatura negli strati più profondi della sezione). Il legno non ancora carbonizzato rimane efficiente dal punto di vista meccanico anche se la sua temperatura aumenta (le ridotte dilatazioni termiche inoltre impediscono il collasso della struttura per deformazione), mentre la rottura meccanica dell'elemento avviene quando la parte della sezione non ancora carbonizzata è tal-



mente ridotta da non riuscire più ad assolvere alla sua funzione portante. Pertanto la perdita di efficienza di una struttura di legno avviene per riduzione della sezione e non per decadimento delle caratteristiche meccaniche.

Essendo la velocità di carbonizzazione costante (da circa 0.7 mm/min per pilastri verticali, fino a 1.1 mm/min per l'intradosso di travi orizzontali), la portata di un elemento strutturale, per una determinata richiesta di resistenza al fuoco, è facilmente calcolabile. Nel caso di legno lamellare il calcolo è maggiormente affidabile rispetto al legno massiccio perché gli elementi, essendo privi di spaccature e fessurazioni, si riducono omogeneamente su tutta la sezione. Particolare attenzione deve tuttavia essere posta alla protezione delle connessioni e dei collegamenti che sono normalmente realizzati tramite elementi metallici quali chiodi, viti da legno, bulloni e perni, caviglie e piastre in acciaio.

Pertanto progettare una struttura in legno lamellare ai fini della sicurezza al fuoco significa determinare la velocità di carbonizzazione a cui corrisponde una sezione ridotta che deve soddisfare la resistenza al fuoco imposta dalla destinazione d'uso della struttura.

Il legno non è quindi svantaggiato rispetto ad altri materiali da costruzione, tradizionalmente utilizzati in Italia, verso i quali normalmente non c'è alcun pregiudizio rispetto alla loro resistenza nei confronti dell'incendio (non essendo materiali combustibili).

Si consideri, ad esempio, che sebbene gli elementi strutturali di acciaio non brucino, essi subiscono (se non adeguatamente protetti) un rapido decadimento delle caratteristiche meccaniche in funzione della temperatura. Nelle costruzioni di calcestruzzo armato la resistenza al fuoco è invece determinata dallo spessore del rivestimento delle armature metalliche (copriferro).

Per quanto concerne in particolare gli edifici in CLT, rimane aperta la discussione se per i pannelli a vista debba essere richiesto anche il requisito di reazione, oltre che di resistenza, al fuoco. Non c'è una indicazione precisa della normativa a riguardo, ma è senz'altro preferibile che i pannelli (pareti e solette) vengano trattati considerando il loro comportamento sia come struttura (resistenza al fuoco) che come rivestimento (reazione al fuoco). Considerando i pacchetti costruttivi comunemente utilizzati per solai e pareti di edifici in legno, un ulteriore grado di protezione al fuoco delle strutture portanti è legato alla protezione fornita dai materiali di rivestimento, interni ed esterni.

Comportamento sismico

La progettazione antisismica, come suggerito dall'Eurocodice 8 e dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, prevede che le strutture debbano essere concepite secondo il "Criterio della gerarchia delle resisten-

Termini utilizzati nel calcolo di resistenza al fuoco di un pannello di legno a strati incrociati esposti al fuoco sulla faccia inferiore. Si notino la sezione carbonizzata, quella a temperatura influenzata dall'incendio e quella con caratteristiche inalterate.

ze”, ossia occorre prevedere che gli elementi strutturali a comportamento plastico raggiungano lo stato post-elastico quando gli elementi a comportamento fragile siano ancora in fase elastica e ben lontani dal raggiungimento della rottura. Questo significa che nelle strutture in acciaio, ad esempio, i giunti saldati vengono progettati per essere molto più resistenti delle aste (avendo le saldature un comportamento fragile). La funzione dissipativa, essendo insita nelle caratteristiche del materiale, verrà svolta dalle parti di struttura non interessate dalle saldature.

Nel calcestruzzo armato invece, tale comportamento si ottiene progettando le sezioni con una opportuna staffatura, in modo tale da evitare la rottura a taglio, che è sempre una rottura fragile. Nel caso delle strutture in legno tale criterio viene perseguito progettando adeguatamente i giunti con connettori meccanici, avendo ovviamente cura nel rendere gli elementi di legno più resistenti dei giunti (esattamente l'opposto quindi del criterio seguito nella progettazione delle strutture in acciaio).

Le strutture in legno lamellare sono molto duttili, cioè hanno la capacità di subire grandi deformazioni senza rompersi e sono perciò in grado di assorbire molta energia.

Questa proprietà rende il materiale estremamente adatto, anche per la sua limitata massa volumica, all'impiego nelle costruzioni in zona sismica. Il legno lamellare è un materiale vantaggioso per la costruzione in zona sismica in virtù della massa volumica ridotta rispetto alla capacità portante, con rapporti massa/resistenza simili a quelli delle strutture di acciaio piuttosto che a quelle in calcestruzzo.

Ciò significa che le sollecitazioni agenti su una costruzione lignea in caso di sisma, essendo proporzionali alla massa della costruzione stessa, risultano molto più basse. Le strutture in legno lamellare inoltre risultano generalmente più flessibili di strutture analoghe, realizzate ad esempio in calcestruzzo armato o in muratura: questo si rivela un ulteriore vantaggio, in quanto una struttura flessibile è meno “sensibile” alle sollecitazioni di origine dinamica derivanti da una eccitazione sismica.

Un edificio in legno lamellare non è mai un corpo monolitico, ma è formato da diversi elementi (travi, pareti, solai), uniti tra di loro attraverso connessioni meccaniche. Tali collegamenti, se ben progettati ed eseguiti,

possono dare un contributo estremamente favorevole al comportamento globale dell'edificio, grazie alle deformazioni plastiche degli elementi metallici ed all'attrito tra le superfici di contatto, consentendo di dissipare notevoli quantità dell'energia sviluppata durante un evento sismico.

Dal punto di vista del comportamento sismico, un edificio in CLT è invece sostanzialmente assimilabile ad una struttura scatolare in cui le pareti e i solai sono formati da diaframmi costituiti da pannelli di legno massiccio molto rigidi e resistenti, collegati fra loro mediante collegamenti meccanici.

Nell'ipotesi di comportamento scatolare, quando l'edificio viene investito dall'azione sismica, questa viene trasferita dagli orizzontamenti, considerati rigidi nel proprio piano, alle pareti di piano in funzione della propria rigidezza e da queste ai piani sottostanti fino ad arrivare alle fondazioni.

Da quanto sopra esposto, è evidente che, in caso di eventi sismici anche di elevata intensità, un edificio in legno è tra i più adatti a resistere alle azioni sismiche e ad essere in seguito facilmente e rapidamente riparato.

Infatti, a differenza di edifici in calcestruzzo armato o acciaio, sostituendo le parti e le connessioni danneggiate è quasi sempre possibile ripristinare le sue caratteristiche strutturali e renderlo nuovamente utilizzabile in tempi ridotti e con costi contenuti.

Definizione di sezione residua e di sezione efficace secondo la norma UNI EN 1995-1-2 (1).
 1. Superficie iniziale dell'elemento;
 2. Limite della sezione residua;
 3. Limite della sezione efficace;
 def profondità effettiva di carbonizzazione;
 $d_{char,n}$ profondità di carbonizzazione dell'elemento in legno.

