

# Edifici in legno

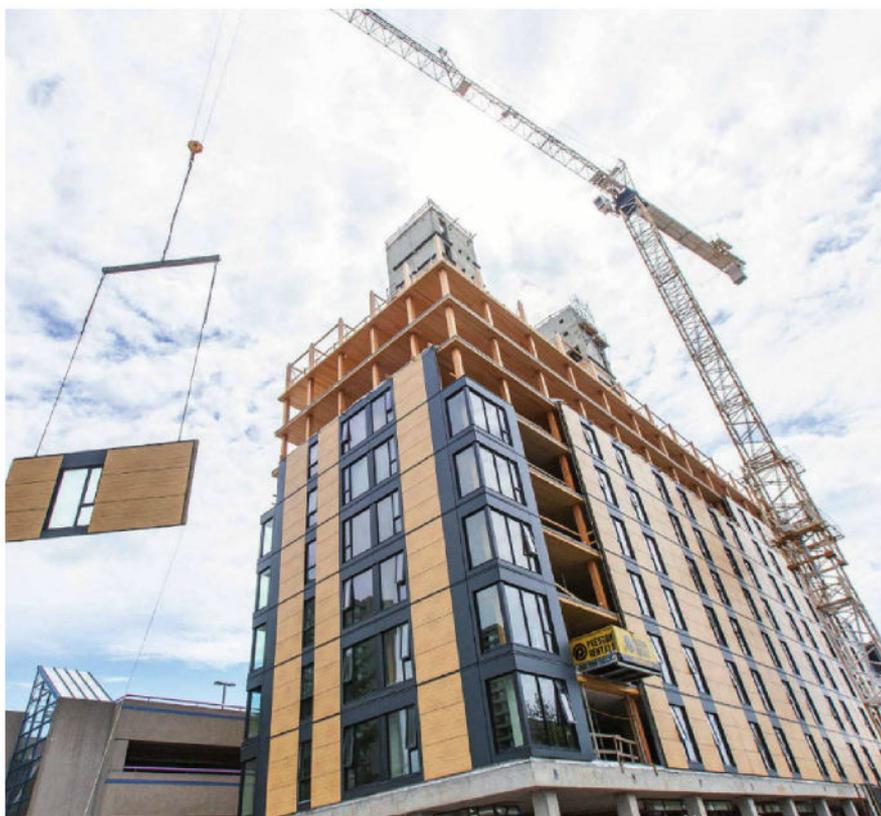
## una via verso processi di costruzione e di gestione del cantiere innovativi

Enrico Sergio Mazzucchelli

Le costruzioni in legno, da sempre presenti sia nel panorama edilizio nazionale sia in quello europeo ed extraeuropeo, ma con impiego circoscritto in genere ad ambiti particolari, oggi, grazie ai notevolissimi progressi fatti nello sviluppo ingegneristico del materiale e nell'evoluzione della sua produzione, si vanno riaffermando a tutto campo e in diretta concorrenza con le costruzioni in laterizio, in calcestruzzo armato e in acciaio, anche per quanto riguarda la realizzazione di edifici multipiano in ambito urbano e metropolitano. Questo ha fatto sì che, nel recente momento di significativa flessione della produzione edilizia, il sub comparto della costruzione in legno si sia invece ampliato, oltre che nei volumi di produzione, anche nel suo raggio d'azione, geografico e tipologico, e sia altresì in grado di proporre e di realizzare interventi di forme,

dimensioni e caratteristiche tecniche un tempo impensabili, caratterizzati da elevato grado di prefabbricazione e da forte ottimizzazione della qualità, della velocità e dei costi di costruzione. Da questo punto di vista, il tema della costruzione in legno, basata sull'impiego di elementi tecnologicamente evoluti ed ottimizzati in termini di caratteristiche e prestazioni, prodotti industrialmente con procedimenti automatizzati di prefabbricazione, secondo criteri di fornitura "taylor-made" senza vincoli di modularità delle dimensioni, prefigura, per la prima volta nella storia dell'edilizia, la possibilità di trasformare questo fondamentale comparto produttivo da prettamente artigianale a fortemente industriale. Le caratteristiche proprie del materiale, quali leggerezza e facile lavorabilità, rendono spesso il legno una scelta vincente tra le diverse opzioni considerabili in fase di definizione

*Brock Commons. L'edificio, di 53 metri di altezza e 18 piani, è caratterizzato da una struttura ibrida in calcestruzzo armato (connettivi verticali) e legno (solai in pannelli CLT e pilastri in legno lamellare).  
Fonte: [www.naturallywood.com](http://www.naturallywood.com)*





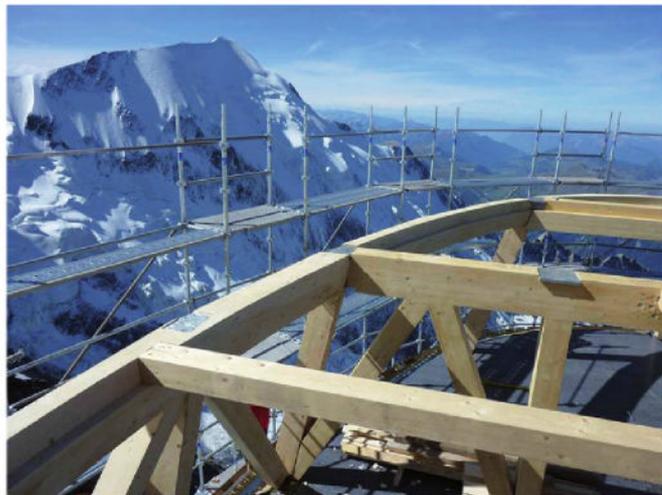
Fortè Tower Melbourne.  
Fonte: [www.victorieharbour.com.au](http://www.victorieharbour.com.au)

preliminare di progetto. I principali vantaggi legati al suo impiego sono: rapidità d'esecuzione, necessità di manodopera contenuta (con conseguente riduzione dei costi di installazione in opera), sicurezza per gli operatori (grazie alla riduzione del numero di lavorazioni da svolgere in cantiere), abbattimento dei rischi dovuti ad imprevisti, maggiore (o totale) riscontro tra progetto e prodotto finito, impiego di mezzi di sollevamento con portata contenuta e quindi con assorbimenti e consumi elettrici ridotti (anche se a tal riguardo occorre considerare la dimensione e il livello di prefabbricazione dei pannelli/elementi da movimentare). La riduzione dei tempi di costruzione è indubbiamente uno dei vantaggi che consente al legno di risultare vincente. La Stadthaus a Londra (UK) e la Fortè Tower a Melbourne (AUS) sono ad esempio due casi di edifici dove, nonostante un costo di costruzione superiore, la realizzazione di una struttura in CLT (Cross Laminated Timber) è stata comunque preferita alla classica struttura in calcestruzzo armato proprio per il vantaggio derivante dal risparmio di tempo in fase costruttiva. Un ulteriore aspetto rilevante che gioca a favore della diffusione delle costruzioni in legno è anche una maggiore "certezza" del costo di costruzione: la rapidità di esecuzione, ad esempio, consente di rispettare i costi preventivati, senza ulteriori aggravii legati ad una eventuale revisione dei prezzi.

Tuttavia, a fronte di una lunga serie di pregi, anche la costruzione di edifici in legno può presentare una serie di criticità che occorre considerare e valutare al fine di prevenire l'insorgere di problemi, anche di una certa entità, nella successiva fase d'uso ed esercizio dell'edificio. Tra queste vanno senza dubbio considerate l'influenza di condizioni climatiche sfavorevoli

(pioggia, neve, vento, umidità di risalita, etc.) in fase di costruzione, la formazione di condensa nei pacchetti di chiusura in fase di esercizio, così come la combinazione di entrambe queste situazioni.

Da quanto sopra, è chiaro come la progettazione di un edificio in legno, specie se multipiano, possa richiedere normalmente uno sforzo superiore a quello necessario per altre tecniche costruttive ormai ampiamente consolidate e caratterizzate da un minor grado di prefabbricazione e che impiegano materiali non sensibili alla pioggia. Tale maggiore onere in fase progettuale è tuttavia bilanciato da una fase costruttiva più "snella" e consente, tra l'altro, di raggiungere livelli di qualità del processo e del prodotto finito elevatissimi. L'approccio più o meno spinto alla prefabbricazione, infatti, fa sì che gli elementi costruttivi arrivino dallo stabilimento al cantiere "just-in-time", ovvero pronti per essere installati in opera direttamente dal cassone dell'autocarro utilizzato per il trasporto. In questo modo viene a mancare la fase, generalmente presente in qualsiasi altro cantiere edile, dello stoccaggio di materiali e semilavorati prima del loro utilizzo. E' opportuno sottolineare che lo stoccaggio dei materiali in un cantiere, se eseguito senza criterio ed in modo casuale o disordinato, può diventare addirittura un ostacolo e motivo di diseconomia. Ciò anche perché, essendo gli elementi caratterizzati da una ben precisa sequenza di posa, un errato stoccaggio potrebbe comportare nuovamente la movimentazione di tutto il materiale prima di poter procedere con l'installazione degli elementi. Risulta pertanto evidente come il coordinamento delle tempistiche interne al sito di costruzione con quelle relative alla fornitura degli elementi da assemblare sia un requisito imprescindibile



in un tale contesto. Sotto tale punto di vista il cantiere deve essere un meccanismo perfetto, ogni singola lavorazione va analizzata e definita in dettaglio, oltre che relazionata a tutte le altre, al fine di poter coordinare nel miglior modo possibile uomini e mezzi per ciascuna attività, evitando sovrapposizioni e interferenze, piuttosto che slittamenti o tempi morti. Il livello di prefabbricazione degli elementi nel processo di costruzione è il risultato di scelte progettuali effettuate sulla base di numerosi fattori dipendenti certamente dal tipo e dalla complessità della costruzione (dimensione, geometria, destinazione d'uso, ecc.) ma, soprattutto, dalle caratteristiche e dai vincoli del sito di costruzione. In casi estremi, come nei rifugi montani ad alta quota, non è raro che interi elementi tridimensionali vengano preassemblati in officina, in modo da essere trasportati ed installati in quota tramite l'ausilio di un elicottero. In quest'ultimo caso l'alto grado di prefabbricazione consente di ridurre notevolmente i tempi di costruzione e di fornire immediata protezione dagli agenti atmosferici alle strutture in legno, sensibili alla presenza d'acqua in un contesto climatico con condizioni meteorologiche spesso sfavorevoli. Tuttavia, pur senza considerare situazioni tanto estreme, elementi prefabbricati in legno possono rivelarsi estremamente interessanti anche in altre applicazioni, basti pensare ad un contesto urbano congestionato quale il centro abitato di una qualsiasi grande città, dove è frequente imbattersi in recinzioni che delimitano aree di cantiere di dimensioni ridottissime. La limitata superficie a disposizione per organizzare l'area di cantiere porta a contrarre ai minimi termini lo spazio dedicato alle aree di stoccaggio dei materiali, ad evitare l'utilizzo di attrezzature, impianti e macchinari ingombranti (silos per accumulo inerti, ecc.). Come diretta conseguenza, il processo costruttivo in questi

contesti diviene altamente industrializzato e le tecnologie impiegate, dal sistema strutturale fino a quello di involucro, prevedono la posa in opera di moduli prefabbricati e installabili tramite un semplice assemblaggio e con un ridotto numero di lavorazioni di completamento.

Inoltre, la preparazione degli elementi in cantiere è normalmente più onerosa che in stabilimento, dove tagli, fresature, incassi, etc., possono essere eseguiti con macchinari appositi ed in condizioni più agevoli e sicure. Ciò significa non lasciare nulla all'improvvisazione in opera ma prevedere e risolvere in fase di progettazione, con sviluppo di dettagli e particolari costruttivi, tutte le situazioni peculiari che si verificheranno nell'ambito della realizzazione dell'opera.

La sicurezza per il montaggio è fondamentale per la prevenzione degli infortuni degli operatori. Già in fase di progettazione occorre considerare le modalità in cui le varie parti (strutturali e non) saranno assemblate tra loro rendendo più agevole il montaggio e studiando particolari costruttivi e procedure che riducano al minimo i rischi per gli operatori. A tal riguardo nulla deve essere lasciato all'improvvisazione, ma devono essere fornite indicazioni precise e chiare corredate da apposite tavole grafiche. Da questo punto di vista la scelta di un sistema prefabbricato, che consente di ridurre le lavorazioni da eseguirsi in opera, può risultare estremamente vantaggiosa. Tuttavia, un elevato livello di prefabbricazione può aprire anche degli scenari completamente nuovi nell'ambito delle costruzioni in legno. Ad esempio, in una normale costruzione in legno, la posa degli strati esterni di isolamento termico e di finitura avviene di norma tramite l'utilizzo di soluzioni di ponteggio tradizionali ed è una delle lavorazioni più dispendiose in termini di tempo. L'impiego di pannelli di facciata in CLT completamente prefabbricati (comprensivi cioè di tutto

*Rifugio del Goûter sul Monte Bianco, caso di cantiere in contesto ambientale estremo.  
Fonte: [www.pavatex.ch](http://www.pavatex.ch)*



*LifeCycle Tower One (Dornbirn, Austria): produzione di pannelli di facciata prefabbricati in stabilimento e movimentazione in cantiere per la posa in opera.  
Fonte: www.wooddays.eu639 x 426*

il pacchetto esterno di isolamento termico e di finitura, spesso anche di serramenti) può avvenire senza l'ausilio di soluzioni di ponteggio tradizionali. Ciò soprattutto in caso di edifici a torre pluripiano, dove la presenza di tale tipologia di opera provvisoria può diventare non più conveniente dal punto di vista operativo ed economico e la differenza tra tempi di costruzione della struttura e tempi di completamento delle facciate diviene più marcata. L'assenza di ponteggi può essere vantaggiosa in termini di risparmi di tempo (progettazione, montaggio e smontaggio) e costi, ma anche in termini di gestione del cantiere, soprattutto laddove gli spazi disponibili sono ridotti.

E' della massima importanza che l'intero processo di costruzione tenga in debita considerazione la problematica dell'umidità degli elementi impiegati, a partire dalla loro produzione in stabilimento, fino alle fasi di trasporto e montaggio in cantiere. In particolare, l'assorbimento d'acqua da parte di elementi lignei in fase di costruzione non deve essere sottovalutato, così come la posa di elementi di completamento e/o finitura (isolante termico, pannelli in cartongesso, etc.), soprattutto se non permeabili al vapore, senza che l'eventuale acqua assorbita sia completamente evaporata, dal momento che da ciò potrebbero derivare notevoli problematiche di degrado in fase di esercizio. E' questo un campo di ricerca in fase di sviluppo soprattutto in quelle regioni dove le condizioni meteo sono spesso sfavorevoli o estremamente variabili (ad esempio Canada e paesi scandinavi).

La protezione degli elementi lignei esposti in caso di precipitazioni atmosferiche di breve durata può essere effettuata con semplici teli facilmente asportabili. Ciò al fine di limitare al minimo, anche in caso di fermo di cantiere, il bagnamento degli elementi. E' evidente come tali protezioni debbano essere immediatamente rimosse non appena le condizioni meteorologiche tornino ad essere ottimali, per consentire la ventilazione e la rievaporazione dell'eventuale acqua assorbita. E' bene considerare che il bagnamento del legno, anche se significativo e prolungato per qualche giorno, non è un fatto "drammatico", a patto che si garantisca il tempo necessario per il suo essiccamento



*Esempio di posa di celle prefabbricate in legno.  
Fonte: cargocollective.com*



prima del completamento della stratigrafia del pacchetto di chiusura e, come si è anticipato, non rimanga dell'umidità residua. L'effetto del bagnamento del legno può tuttavia comportare una modifica del colore delle superfici, che possono diventare grigie ed antiestetiche. Se ciò può essere tollerato per elementi che verranno poi nascosti da uno strato di finitura, ciò non è accettabile per superfici che dovranno rimanere a vista: tali superfici devono essere quindi protette tramite teli o coperture provvisorie nelle fasi transitorie e tale protezione (che deve comunque essere di tipo traspirante) deve rimanere efficace anche dopo il montaggio. Una soluzione semplice e pratica per ridurre il rischio di assorbimento d'acqua in caso di pioggia include l'utilizzo di teli impermeabili all'acqua e di tenuta all'aria accoppiati agli elementi stessi già in fase di produzione in fabbrica, che diventano parti integranti della parete di chiusura finita. In alternativa è possibile utilizzare dei trattamenti idrorepellenti temporanei a basso costo.

Il principale degrado legato ad un assorbimento d'acqua anomalo durante la fase di costruzione è dovuto al successivo sviluppo di muffe. La presenza di muffe è inaccettabile in una abitazione ed evitare il loro sviluppo dopo il bagnamento di elementi lignei è fondamentale: per ottenere questo è fondamentale assicurare un rapido asciugamento degli elementi bagnati. Studi condotti (Mattsson & Stensrød, 2009) hanno appurato che le pareti in legno massiccio sono danneggiate da funghi e muffe dopo 3-4 settimane, mentre le pareti leggere (in costruzioni di tipo timber frame) subiscono danni dopo circa una settimana di condizioni di elevata umidità a causa della presenza di finiture in

cartongesso. Lo sviluppo di muffe dipende dalla quantità di umidità disponibile sulla superficie del materiale. E' perciò di grande importanza riportare le superfici asciutte il più rapidamente possibile, al massimo entro una settimana. Tali studi hanno evidenziato che il migliore comportamento dei pannelli in CLT (anche per tempi di bagnamento più elevati) rispetto a quello dei pannelli a telaio può essere correlato al loro maggiore contenuto di legno. Il legno è un materiale altamente igroscopico ed in grado di veicolare l'acqua in profondità nella sua struttura. Ciò comporta che la presenza di acqua sulla superficie viene mantenuta ad un basso livello e le spore della muffa non sono in grado di svilupparsi con efficacia. Negli elementi a traliccio invece il maggiore sviluppo di muffe è probabilmente causato dalla combinazione del permanere di un livello di umidità elevata e dalla frequente presenza di pannelli di finitura a base gesso, che diventano estremamente soggetti alla crescita di muffe a causa dell'accessibilità della cellulosa dei fogli e della capacità di trattenere l'umidità.

In alternativa all'utilizzo di teli di protezione, è possibile utilizzare delle vere e proprie coperture temporanee che, sebbene più costose, possono garantire la protezione totale dalle precipitazioni atmosferiche dell'edificio in costruzione.

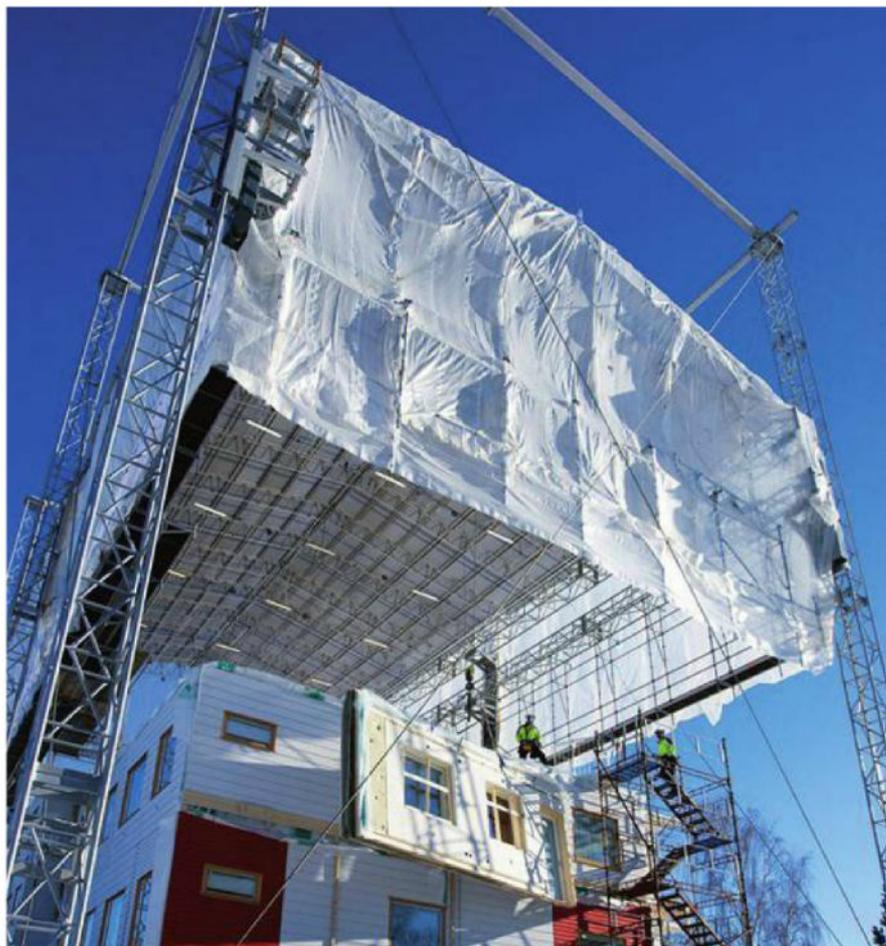
In definitiva, le strade percorribili per la soluzione delle problematiche relative agli agenti atmosferici sembrano essere, ad oggi, due: la protezione totale dell'impronta dell'edificio in fase di costruzione, per mezzo di costose coperture temporanee (ad esempio con tendoni mobili di grandi dimensioni) o la sempre più spinta prefabbricazione delle varie parti costi-



A sinistra: esempio di fase di trasporto di moduli prefabbricati in legno (tecnologia timber frame).  
Fonte: [www.abus-levage.fr](http://www.abus-levage.fr)

Sotto: Brock Commons. La posa dei pannelli di facciata consente di proteggere in tempi rapidi gli elementi lignei strutturali.  
Fonte: [www.naturallywood.com](http://www.naturallywood.com)





*Sopra: esempio di utilizzo di teli impermeabili per la protezione di chiusure verticali da agenti atmosferici.*  
Fonte: Rubner Haus SpA, [www.haus.rubner.com](http://www.haus.rubner.com)

*Sotto: Brock Commons. Installazione dei pannelli di facciata.*  
Fonte: [www.naturallywood.com](http://www.naturallywood.com)

*A destra: esempio di copertura provvisoria in cantiere per la costruzione di un edificio in legno con elementi prefabbricati.*  
Fonte: [www.swedishwood.com](http://www.swedishwood.com)

tuenti l'edificio, al fine di ridurre al minimo le lavorazioni da eseguirsi in opera, minimizzando i tempi d'esecuzione e riducendo pertanto il rischio di esposizione temporanea degli elementi all'azione degli agenti atmosferici. Ma anche il rapido completamento dell'involucro di facciata tramite pannelli prefabbricati può ridurre drasticamente l'esposizione degli elementi lignei agli agenti atmosferici.

All'interno del processo di realizzazione di una costruzione in legno la produzione e il trasporto assumono una rilevanza fondamentale, sia dal punto di vista progettuale che da quello economico. Queste fasi vengono programmate accuratamente nel progetto di produzione, che viene redatto solo dopo che il progetto esecutivo è stato approvato. Il progetto di produzione prevede la redazione di distinte di produzione e/o disegni di officina relativi ai diversi componenti, agli apparecchi e agli elementi di collegamento e agli altri accessori necessari. Per ogni elemento vengono elaborati disegni dettagliati e quotati, che consentono di programmare i tempi e le fasi di montaggio in cantiere. Nel progetto di produzione vengono analizzati gli

aspetti logistici ed economici delle varie fasi, dalla produzione vera e propria dei semilavorati in fabbrica sino all'edificio finito. I programmi di disegno tridimensionali utilizzati per la progettazione di un edificio in legno sono predisposti per trasferire alle macchine a controllo numerico i dati per la produzione degli elementi stessi. La base di lavoro di tali programmi è la definizione precisa delle geometrie di ogni singolo componente della costruzione. Pertanto, variazioni apparentemente anche di poco rilievo, possono comportare la necessità di procedere alla rielaborazione complessiva del disegno iniziale.

Talvolta progettare una struttura con elevata modularità consente di contenere le dimensioni dei singoli elementi che la costituiscono, e di conseguenza i costi di trasporto. Questa soluzione, che spesso risulta ottimale anche ai fini della semplicità di realizzazione, può comunque comportare un costo per il montaggio a piè d'opera maggiore rispetto al caso in cui si prefabbrichino grandi elementi, non necessariamente modulari, che possono costituire la facciata di un piano di un edificio. La scelta delle

dimensioni dei pannelli prefabbricati di facciata è quindi strettamente legata anche al contesto in cui l'edificio dovrà essere realizzato: l'accessibilità dell'area di cantiere, diventa spesso un aspetto critico per il trasporto degli elementi, specie in ambito urbano.

Infatti, se il trasporto degli elementi o dei pannelli prefabbricati in legno non presenta in genere problemi di portata, esso può presentare criticità relative alle dimensioni degli elementi e all'accessibilità del sito di costruzione. Lo scarico può essere effettuato a piè d'opera con i mezzi di sollevamento predisposti sul cantiere ed è prassi comune procedere direttamente al posizionamento in opera degli elementi, senza una fase di stoccaggio, specie dove gli spazi di cantiere sono limitati. Sarà in tal caso indispensabile coordinare perfettamente fase di approvvigionamento e fase di montaggio degli elementi, che dovranno avvenire in stretta sequenza. Lo stoccaggio, solo se necessario, rappresenta una fase breve, ma estremamente importante. In questo lasso di tempo i prodotti a base legno devono "acclimatarsi" senza però subire danni né tantomeno rappresentare fonte di pericolo per gli operatori presenti in cantiere. Tuttavia, in caso di stoccaggio temporaneo, fondamentale è la protezione degli elementi dall'umidità proveniente dal terreno e dall'acqua meteorica e, qualora i tempi si potessero per qualche imprevisto rivelare lunghi, si dovrà prevedere l'impiego di teloni permeabili al vapore (traspiranti) ma impermeabili all'acqua piovana, al fine di evitare la formazione di condensa. E' inoltre preferibile garantire la ventilazione su entrambi i lati degli elementi stoccati al fine di evitare l'insorgere di macchie e di muffe.



Da quanto sopra riportato risulta evidente come una corretta e razionale progettazione e realizzazione di un edificio in legno richieda una perfetta conoscenza delle caratteristiche del materiale che si utilizza e una programmazione attenta ed accurata del cantiere. A tal riguardo è opportuno sottolineare come stia diventando fondamentale, specie in ambito di appalti pubblici e per interventi di grandi dimensioni, una progettazione integrata tramite sistemi BIM (Building Information Modelling) che consentono il coordinamento e il trasferimento di ogni lavorazione in cantiere tramite la realizzazione di un modello dell'edificio.

Tale modello non è tuttavia una semplice rappresentazione tridimensionale, ma è un vero e proprio contenitore di informazioni in quanto

*Esempi di macchinari a controllo numerico permettono l'esecuzione di lavorazioni particolari con precisione di +/- 1 mm*



*Trasporto di elementi in CLT.*

Modello BIM per la costruzione di un edificio pluripiano in CLT senza l'utilizzo di ponteggio esterno. Render: F. Ferrari

Modello BIM per la costruzione di un edificio pluripiano in CLT con ponteggio esterno autosollevante. Render: F. Ferrari

Modello BIM per la costruzione di un edificio pluripiano in CLT con ponteggio tradizionale. Render: F. Ferrari

Modello BIM per la costruzione di un edificio pluripiano in CLT con ponteggio tradizionale. Render: F. Ferrari



ogni oggetto è caratterizzato sia dal punto di vista materico che funzionale. L'output finale è un modello di edificio virtuale in grado anche di considerare quarta e quinta dimensione del progetto, cioè tempi e costi di realizzazione. La progettazione tramite BIM è volta quindi a migliorare l'efficacia di comunicazione tra i soggetti coinvolti nel processo di progettazione, così come il livello di qualità finale dell'edificio e di sicurezza in fase di esecuzione. Essa inoltre consente di esplorare ed approfondire le potenzialità delle nuove possibilità e modalità di costruzione degli edifici in legno, sempre più spinte verso la prefabbricazione e senza l'uso di ponteggi tradizionali.

Da ultimo, come ulteriore spunto, si ricorda come la leggerezza e le proprietà di legno e prodotti derivati possano trovare un ampio campo di applicazione nella realizzazione di sopraele-

vazione di edifici, dal momento che il carico aggiunto gravante sulle strutture esistenti risulta estremamente ridotto rispetto a quello che sarebbe con strutture in acciaio o calcestruzzo armato. Le caratteristiche di leggerezza del legno sono anche alla base della realizzazione di cosiddette "unità parassite", cioè strutture distinte dal punto di vista architettonico dall'edificio principale ma legate a quest'ultimo attraverso la condivisione di suolo e impianti. L'architettura parassita è quindi una sorta di strategia di "riciclo" del tessuto urbano, in cui si sfruttano edifici e infrastrutture già esistenti per integrare, supportare, collegare nuove soluzioni abitative. Si costruisce sul costruito, per sfruttare spazi ormai già urbanizzati ed evitare l'estensione incontrollata dei centri abitati, risparmiando spazio, ma anche parte dell'energia necessaria ad avviare un nuovo cantiere edile.

Esempio di casa parassita (Rucksack House di Stefan Eberstadt). La cella ha una struttura a gabbia in acciaio e un rivestimento interno in pannelli di betulla, in esterno in compensato impregnato con resine per renderlo resistente all'azione degli agenti atmosferici. Fonte: [www.stefaneberstadt.de](http://www.stefaneberstadt.de)

