

RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1867
A&RT



**GIORNATE DI STUDIO
SULLA TECNOLOGIA
E SULL'ARCHITETTURA
DI LEGNO**

NOVEMBRE • DICEMBRE 2009

ATTI E RASSEGNA TECNICA
DELLA SOCIETA' DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

Anno 143

LXIV-1-2
NUOVA SERIE

MARZO-APRILE 2010

ATTI E RASSEGNA TECNICA

DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1867

NUOVA SERIE - ANNO LXIV - Numero 1-2 - MARZO-APRILE 2010

Direttore: Vittorio Neirotti
Segretario: Davide Rolfo
Tesoriere: Claudio Vaglio Bernè
Art Director: Riccardo Franzero
Comitato di redazione: Domenico Bagliani, Alessandro De Magistris, Guglielmo Demichelis, Marco Filippi, Alessandro Martini, Franco Mellano, Paolo Picco, Costanza Roggero, Valerio Rosa, Paolo Rosani, Mauro Sudano, Marco Trisciuglio
Sede: **Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino**
Corso Massimo d'Azeglio 42, 10123 Torino, telefono 011 - 6508511 - www.siat.torino.it



ISSN 0004-7287

Periodico inviato gratuitamente ai Soci della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino.

SOMMARIO / SUMMARY

Vittorio Neirotti, <i>Editoriale / Editorial</i>	pag.	9
Claudio Perino, <i>Presentazione. Legno architettura e tecnologia. Le giornate di studio di novembre e dicembre: note sulla struttura, sui contenuti e sugli scopi di questo numero / Introduction. Wood Architecture and Technology: November and December meeting - workshop: notes about structure, contents and goals of this number</i> . . .	pag.	10
Marco Filippi, <i>Saluto / Greetings</i>	pag.	18
Marco Balagna, <i>Prefazione / Preface</i>	pag.	19
Sebastiano Cerullo, <i>Assolegno per il legno strutturale / Assolegno for structural timber</i>	pag.	20
Elena di Bella, <i>Il progetto Interreg BOIS LAB - Valorizzazione della filiera foresta legno / Interreg BOIS LAB Project - Enhancement of chain forest-wood technology</i>	pag.	22

PARTE PRIMA. CHIAVI DI LETTURA ED ARGOMENTI GENERALI**PART ONE. INTERPRETATION AND GENERAL TOPICS**

Franco Laner, <i>Innovazione e problematiche nel progetto con il legno. Ma quanta sapienza ed ancor utili magisteri dal passato! / Innovation and problems of wood design. «Ma quanta sapienza ed ancor utili magisteri dal passato!»</i>	pag.	24
Vittorio Nascè, <i>Evoluzione delle strutture di legno. Integrazione tra tecnologia, progetto e struttura / Evolution of wood structures. Integration of technology, project and construction</i>	pag.	30
Peter Erlacher, <i>Qualità nella costruzioni di case di legno / Quality of timber houses construction</i>	pag.	34
Marco Filippi, Valeria Marta Rocco, <i>Considerazioni sulla sostenibilità ambientale/energetica delle costruzioni in legno / Consideration on environmental/energetic sustainability of timber constructions</i>	pag.	40
Clara Bertolini Cestari, <i>Per il recupero, restauro e la manutenzione delle costruzioni di legno: dalla diagnosi ai programmi di intervento con tecnologie tradizionali e/o innovative / For the recovery, renovation and maintenance of wood buildings: from diagnosis to intervention programs with traditional and/or innovative technologies</i>	pag.	48

PARTE SECONDA. ARCHITETTURE DI LEGNO**PART TWO. WOODEN ARCHITECTURE**

Stefano Vellano, <i>Le architetture di legno nei viaggi SLAT / Wood architectures in SLAT</i>	pag.	56
Robert Friedrichs, <i>Le costruzioni di legno di un grande studio internazionale: gmp/ Wood constructions of an important international firm:gmp</i>	pag.	63
Laurent Saurer, Manuel Bieler, <i>Architettura locale in legno: la cappella e la stalla/ Local Wood Architecture: the chapel and the stable</i>	pag.	69
Yoshiaki Amino, <i>Edifici in serie fatti a mano / «Hand-Fabricated» building system</i>	pag.	74
Claudio Perino, <i>Tre costruzioni di legno di diversa tipologia a Torino / Three wood buildings in Turin of different typology</i>	pag.	79
Edoardo Astegiano, <i>Mondovicino a Mondovì: l'utilizzo del legno in un grande centro commerciale / Mondovicino in Mondovì: using wood for a big shopping mall</i>	pag.	85
Stefano Dotta, <i>Il nuovo Centro Servizi dell'Environment Park: si monta come un Lego / The new Environment Park's Service Centre: you assemble it as Lego</i>	pag.	90

Luca Malavolta, <i>Il castagno e la robinia: una nuova sostenibilità del costruire attraverso l'utilizzo di specie legnose locali / Chestnut and black locust: a new sustainability using local wood</i>	pag. 98
--	---------

APPENDICE ALLA PARTE SECONDA. SISTEMI E PROGETTI DI AZIENDE
APPENDIX TO THE PART TWO. SYSTEMS AND PROJECTS OF COMPANIES

Habitat Legno, <i>Il rispetto della tradizione, moltissima ricerca e sperimentazione sui materiali e sulle connessioni sono la base per prodotti innovativi per ogni tipologia di costruzione in legno / Respect for tradition, a lot of research and experimentation on materials and joints are the bases for innovative products for every kind of wood-constructions</i>	pag. 106
Albcase, <i>Case tradizionali, case unifamiliari, case aggregate, condomini, grandi complessi, case sostenibili: case di legno. Ricerca, sperimentazione e realizzazioni / Traditional houses, single-family, multi family homes, multi-storey homes, sustainable homes: wood homes. Research, experimentation and realisations</i>	pag. 112
Guercio Legnami - Alessandro Panichi, <i>Nuove tecnologie e impieghi del legno: il Crosslam come opportunità strutturale e architettonica / New technologies and uses of wood: Cross Laminated Timber in mediterrean housing architecture</i>	pag. 116
Ille Case in legno - Elia Terzi, <i>Studio sperimentale e teorico del comportamento sismico di un sistema costruttivo intelaiato in legno / Experimental and theoretical report of the seismic behaviour of a wood framed construction system</i>	pag. 122
Holzbau - Gianluca Endrizzi, <i>La nuova sede Jointek srl, Somma Lombardo, Varese / New Jointek srl Headquarters, Somma Lombardo, Varese</i>	pag. 133
Rubner House - Norbert Rauch, <i>Costruire in legno fa bene all'ambiente / Building with wood helps the environment</i>	pag. 136
La Foca Group - Matteo Robiglio, <i>Costruire con ossatura leggera di legno: la scuola materna ecologica di Vinovo / Building with light wooden frame: the green children school in Vinovo</i>	pag. 143
Costruttori CasaClima, <i>CMeno di 1.700 euro al m² per una casa in Provincia di Bolzano che mostra i suoi pregi solo agli intenditori / Less than 1.700 euro/sqm. for a house in Bolzano that shows its advantages only to connoisseurs</i>	pag. 150

PARTE TERZA. RECUPERO, RESTAURO E MANUTENZIONE
PART THREE. RECOVERY, RESTORATION AND MAINTENANCE

Gennaro Tampone, <i>Restauro e consolidamento delle strutture lignee antiche/ Consolidation techniques of ancient wooden structures. Critical scrutiny and scope</i>	pag. 156
Claudio Menichelli, <i>Le strutture lignee dell'Arsenale di Venezia. Studi e restauri/ Timber Structure of Venice Arsenal. Studies and renovation</i>	pag. 164
Lorenzo Jurina, <i>L'acciaio nel rinforzo delle strutture in legno / Steel to reinforce timber structures</i>	pag. 171
Giuseppe Pistone, <i>Consolidamento delle strutture in legno / Strenghtening of timber structures</i>	pag. 176
Tanja Marzi, <i>Nanotecnologie nel recupero delle strutture di legno degli edifici storici / Nanotechnologies in recovery of timber structures of historic buildings</i>	pag. 182
Olivia Pignatelli, <i>Datazione dendrocronologica delle strutture lignee / Dendrochronological dating of historic buildings</i>	pag. 186
Alan Crivellaro, <i>Caratterizzazione meccanica in situ. L'aiuto al progettista della normativa italiana / In situ mechanical characterization. The help of Italian law for the designer</i>	pag. 190

PARTE QUARTA. TECNOLOGIA E NORMATIVA**PART FOUR. THE TECHNOLOGY AND THE NORM**

Roberto Zanuttini, <i>Prodotti a base di legno. Tradizione e nuove tecnologie / Wood-based products. Tradition and new technologies</i>	pag.	194
Ario Ceccotti, <i>Strutture antisismiche di legno: dall'esperienza del passato alle tecnologie del futuro / Earthquake-resistant structures of wood: from past to future technologies</i>	pag.	205
Paolo Lavischi, <i>Connessioni nelle strutture di legno / Wood structures joints</i> . . .	pag.	211
Attilio Marchetti Rossi, <i>Strutture di legno: normativa e calcolo strutturale / Wood structures: laws and structural calculations</i>	pag.	215
Irene Caltabiano, <i>Gli usi del bambù in edilizia tra tradizione e innovazione / Uses of bamboo within construction between tradition and innovation</i>	pag.	220
Marco Corgnati, <i>La valorizzazione tecnologica dei legnami piemontesi e lo sviluppo della filiera foresta-legno / Technological exploitation of Piedmonts wood and the development of forest-wood system</i>	pag.	227
Antonio Brunori, <i>Usa il legno certificato per la sua origine sostenibile e legale, aiuterai l'ambiente! / Use certificated timber for its sustainable and legal origin, you will help environment!</i>	pag.	230
Cadwork - Gianluca Bresciani, <i>Lo stato attuale del software per le costruzioni in legno e la sua evoluzione / Present situation of software for wooden constructions and its evolution</i>	pag.	235
Hundegger - Walter Wilfried, <i>Tecnologia innovativa per la costruzione di legno macchine a controllo numerico / New technologies for wood buildings: CNC machines</i>	pag.	239
<i>Ringraziamenti / Personal thanks</i>	pag.	245



LE NUOVE COSTRUZIONI DI LEGNO

LEGGI

LEGGI

LEGNO

ARCHITETTURA e TECNOLOGIA

GIORNATE DI STUDIO

NOVEMBRE e DICEMBRE 2009

**SALONE D'ONORE DEL CASTELLO DEL VALENTINO
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA • POLITECNICO DI TORINO**

giovedì **19** novembre 2009
LE NUOVE COSTRUZIONI DI LEGNO
 Novità di prodotto, vantaggi economici e tecnici, casi studio significativi.

giovedì **26** novembre 2009
COSTRUZIONI DI LEGNO STRUTTURE MULTIPIANO E GRANDI OPERE
 Ossature multipiano, elementi tipologici innovativi, edifici di notevole dimensione, (aspetti normativi), casi studio significativi.

mercoledì **9** dicembre 2009
COSTRUZIONI DI LEGNO RECUPERO RESTAURO E MANUTENZIONE
 Tecnologie innovative di recupero, fenomeni di degrado e comportamento nel tempo, casi studio significativi.

giovedì **10** dicembre 2009
COSTRUZIONI DI LEGNO - SPAZI PER ABITARE
 Edifici uni, bi e plurifamiliari, aspetti energetici ed ecosostenibili, facciate e rivestimenti in legno, casi studio significativi.



SOCIETÀ
DEGLI INGEGNERI E
DEGLI ARCHITETTI
IN TORINO
FORNITORE S.p.A.

SIAT
CORSO M. D'AZEGLIO 42, 10125 TORINO
TEL +39 011 6508511
siat@siat.torino.it
www.siat.torino.it

CON IL PATROCINIO DI:









Questo numero di «A&RT» pubblica gli atti del Convegno «Legno architettura e tecnologia» svoltosi presso il Salone d'Onore del Castello del Valentino, Facoltà di Architettura – Politecnico di Torino (19 e 26 novembre, 9 e 10 dicembre 2009).

Le giornate di studio hanno ottenuto il patrocinio di:

- Regione Piemonte
- Provincia di Torino
- Ordine degli architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Torino
- Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino
- Politecnico di Torino
- Federlegno Arredo
- Made Expo
- Urban Center Metropolitan

Il numero è pubblicato grazie ai contributi di:

- Provincia di Torino
- Politecnico di Torino
- Federlegno Arredo
- Made Expo
- Habitat Legno
- Albe Case
- Holzbau
- Rubner
- Costruttori Casa Clima
- Ille
- Guercio legnami
- LaFoca
- CadWork
- Hundegger

Tutte le traduzioni da e in inglese, ad eccezione degli articoli di Edoardo Astegiano, Antonio Brunori, Marco Filippi e Valeria Marta Rocco, Lorenzo Jurina, Paolo Lavisci, Luca Malavolta, Tanja Marzi, Claudio Menichelli, Alessandro Panichi, Olivia Pignatelli, Giuseppe Pistone, Matteo Robiglio, Elia Terzi, Stefano Vellano sono di Anna Perino.

Curatore del numero: Claudio Perino.

Editoriale

Editorial

Questo numero di «Atti e Rassegna Tecnica» raccoglie in modo ragionato ed organico gli interventi dei relatori delle quattro giornate di studio dedicate a Legno Architettura e Tecnologia svoltesi tra novembre e dicembre 2009 alla Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino, e organizzate dalla Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino. Le quattro giornate sono state l'occasione per conoscere e far conoscere a tutti i numerosi partecipanti, professionisti, docenti e studenti il materiale "legno" nei suoi multiformi aspetti, usi e applicazioni.

Il grande successo dell'iniziativa, che anche da questa pagine della rivista è mio desiderio sottolineare, e che ha avuto in Claudio Perino l'instancabile e indefesso organizzatore, sarà sicuramente replicato con questo numero della rivista, sia per la ricchezza delle informazioni tecniche contenute, sia per la varietà delle visuali dalle quali il legno è stato esaminato.

Risulta di grande interessere rileggere gli interventi di Franco Laner sulla sapienza e sugli utili magisteri ricevuti dal passato, o quello di Vittorio Nascè sullo sviluppo nella storia della costruzione in legno: per mezzo degli interventi di entrambi la cultura politecnica, ma anche l'amore per lo studio e la ricerca del nuovo, con un occhio sempre rivolto al passato per riceverne luce e coraggio, hanno entusiasmato l'uditorio attentissimo, e sicuramente con entusiasmo saranno riletti i loro articoli.

L'interesse di questo numero sta anche e soprattutto nell'avere approfondito il tema "legno" come materiale da costruzione in tutti i suoi aspetti ed applicazioni: dalle nuove costruzioni in genere a quelle multipiano e alle grandi opere e agli spazi per abitare, alle problematiche connesse al recupero, al restauro e alla manutenzione ed anche con considerazioni sulla sostenibilità ambientale ed energetica evidenziata da Marco Filippi.

Queste pagine hanno lo scopo di raccogliere notizie sullo sviluppo tecnologico e sulle più recenti tecniche costruttive, sui nuovi prodotti in legno, sulle problematiche del restauro e del risanamento delle strutture in legno, sui metodi e sui criteri di approvvigionamento del materiale, sulle tecniche per il recupero, sul risparmio energetico ma anche sui recenti esempi di architettura del legno raccontati direttamente dai protagonisti e ancora sui nuovi prodotti appena usciti sul mercato descritti dai produttori stessi: ne esce fuori un quadro vivace e ricco di stimoli per chi con il foglio bianco e una matita si appresta a iniziare il suo sogno di progettista.

Vittorio Neirotti

Presentazione. Legno architettura e tecnologia. Le giornate di studio di novembre e dicembre: note sulla struttura, sui contenuti e sugli scopi di questo numero. *Introduction. Wood Architecture and Technology. November and December meeting/workshop: notes about structure, contents and goals of this number*

CLAUDIO PERINO

Nelle quattro giornate tematiche, che si sono svolte a novembre e a dicembre del 2009, la Siat ha inteso affrontare i temi delle costruzioni di legno sia dal punto di vista architettonico sia dal punto di vista della attualità tecnologica

Le giornate che abbiamo organizzato hanno avuto ognuna un tema dominante, come si può vedere dal programma stampato alle pagine 16 e 17; in sintesi tutti gli interventi sono raggruppabili quattro parti:

1. una prima parte di interventi generali dedicata a dare chiavi di lettura generali al tema delle costruzioni in legno;
2. una seconda parte dedicata alle Architetture di legno di qualità, qualsiasi fosse la loro dimensione. In questa sezione, dopo una rassegna di quanto abbiamo visto nei viaggi della Siat, hanno trovato spazio relazioni di progettisti di costruzioni in legno che hanno raccontato i loro progetti. Una importante parte di questa sezione è costituita dagli interventi delle Aziende scelte come partner per il convegno o di professionisti da loro designati che hanno portato le loro costruzioni più rappresentative ed i loro sistemi costruttivi;
3. una terza parte dedicata al recupero ed alle varie e più raffinate tecniche di restauro e di mantenimento delle costruzioni di legno del passato remoto e recente;
4. una quarta parte dedicata ad esporre lo stato dell'arte della Tecnologia delle costruzioni di legno, relativamente ai materiali, alle tecniche per la sostenibilità, alle tecnologie costruttive più innovative.

1. Chiavi di lettura

Per primo ha presentato le sue idee il professor Franco Laner, ordinario di tecnologia dell'architettura allo IUAV di Venezia, che con la sua grande esperienza ci ha raccontato quanto l'innovazione nella cultura delle costruzioni di legno sia ancora debitrice alla tradizione, di quanto sia necessario



fare per adattare il progetto al *genius loci*, alle caratteristiche igro-termo-climatiche del luogo ma anche alla sua cultura architettonica. In Italia relativamente al legno siamo un po' austriaco-dipendenti e dice che siamo anche un po' troppo dipendenti dal legno di abete che peraltro è un legno eccezionale.

Tutta la sua ricerca è fondata sulla sperimentazione orientata verso le capacità strutturali, le possibilità tecnologiche, sull'individuare le soluzioni ai problemi di durabilità e di progettazione sostenibile, tenendo sempre presente di quanto si debba ancora imparare dal passato. Illuminanti i suoi continui esempi, sugli edifici-scatoles di legno senza protezione, sugli elementi di sacrificio e, in fase di progetto, sulla doverosa attenzione nel prevedere la possibilità di sostituire le parti ammalorate.

Ha infine posto la questione del restauro delle parti in legno degli edifici storici come un problema primario, affermando che anche nel progetto di restauro è necessaria un'attenzione non solo da conservatori, ma da veri progettisti, capaci quando serve di trovare le necessarie soluzioni creative.

Il professor Vittorio Nascè, ordinario di Tecnica delle Costruzioni al Politecnico di Torino, con la sua proverbiale e lucidissima chiarezza "politecnica" ha portato esempi (anche del recente passato) di correttezza dell'uso del legno nelle grandi costruzioni e nelle costruzioni a grande luce, mettendone in evidenza anche l'uso non appropriato ed i suoi limiti, come ad esempio la sua fragilità e la sua anisotropia.

Ci ha spiegato come la stessa tecnica delle costruzioni in acciaio e calcestruzzo sia partita dalle teorie elaborate per il legno ancora prima del 1700 e che quindi l'uso strutturale del legno non sia che un ritorno, un ritorno adeguato e reso appropriato dalle tecnologie e dalle norme attuali.

Ci ha spiegato poi la necessità di tre punti fondamentali: quello di una normativa chiara, della necessità di fare sempre riferimento alle caratteristiche peculiari del materiale, di fare sempre attenzione alla risoluzione ed all'eleganza dei dettagli.

Nascè poi non ha risparmiato al legno lucide critiche sui suoi limiti nel campo delle costruzioni.

Una cosa secondo me molto interessante l'hanno detta sia Laner sia Nascè (che mi scuseranno se, per essere conciso, semplifico un po'): la iperstaticità delle costruzioni in legno, che è quasi normale nelle costruzioni del passato non è da vedere come un fatto negativo a priori, ma fa parte della cultura architettonica: le singole parti collabo-

rano tra loro, se è il caso una aiuta l'altra, è sarà più facile fare riparazioni.

Il professor Marco Filippi, vicerettore del Politecnico di Torino ed ordinario di Fisica Tecnica Ambientale, ha svolto una serie di considerazioni sulla sostenibilità ambientale e di bilancio energetico delle costruzioni di legno dimostrando come esse consumino meno energia sia per essere prodotte sia durante il loro funzionamento e come il materiale da solo faccia la differenza. Ha pure raccontato come il montaggio a secco, tipico delle costruzioni in legno, permetta il contenimento dell'impatto ambientale, permetta di ridurre l'energia incorporata nella costruzione, ottimizzi la quantità di materiale e limiti gli scarti di cantiere.

Ha trattato del ciclo di vita dell'edificio e di come il legno sia il materiale maggiormente riciclabile.

La professoressa Clara Bertolini Cestari, docente di costruzioni del Politecnico di Torino, ha parlato dell'innovazione tecnologica nel restauro e nella manutenzione delle costruzioni di legno, dai nuovi materiali sino alle nanotecnologie.

2. Architetture di Legno

Hanno caratterizzato questa sezione tre interventi di progettisti stranieri che hanno illustrato interventi diversi e tra loro complementari.

Robert Friedrichs di GMP (Von Gerkan, Marg und Partners) di Amburgo, ci ha fatto vedere le costruzioni in legno realizzate da un grande studio internazionale, lavori diversi, di diversa dimensione, tutti di grande qualità progettuale ed architettonica

Laurent Saurer di LocalArchitecture di Losanna, un giovane studio di architetti di grande sensibilità progettuale, ci ha descritto con delicatezza due piccoli progetti: una piccola cappella in compensato strutturale di un convento di suore ed una Stalla nel Jura progetto nel contempo rivoluzionario e tradizionale.

Amino Yosiaki, professore di Strutture in legno all'University of Technology di Vienna ci ha fatto vedere le sue esperienze relative a quelli che lui chiama «Hand Fabricated» building system: edifici in serie fatti a mano, con alcune innovazioni tecnologiche interessanti, per esempio giunzioni strutturali tra cristallo e legno.

Abbiamo poi raccontato alcune esperienze sull'architettura di legno nella nostra regione

Edoardo Astegiano, socio di uno dei maggiori studi torinesi, ha raccontato un intervento relativo ad un grosso centro commerciale, portato a termine a Mondovì, che tenta di recuperare la tradizione vernacolare ed in questa



A&RT

operazione il legno ha una parte di grande protagonista Stefano Dotta, dell'Environment Park di Torino, un'organizzazione a capitale misto che si occupa di innovazione sostenibile ed energie alternative, ha illustrato il progetto del nuovo Centro Servizi, nel quale, su questi temi, il legno – e soprattutto il legno locale – gioca un ruolo fondamentale.

Io ho portato gli esempi degli edifici che abbiamo realizzato con il nostro studio, tre costruzioni di diversa natura, di diversa tipologia e di diverso costo unitario ma anche qui, edifici che hanno come protagonista assoluto il legno: un maneggio per ippoterapia che fa parte di un villaggio per attività socio assistenziali, una casa famiglia sulla collina con solai portanti a cassettonato di legno realizzati con macchine a controllo numerico. Sempre a Torino un grosso intervento di riqualificazione di un sito industriale militare dismesso, trasformato con i contributi della Comunità Europea in attività di servizio alle persone ed alle imprese, che ha come fulcro una grande piazza coperta di legno e acciaio: il cortile del Maglio (progettato insieme agli architetti PL. Brusasco e A. Comoglio).

Moltissimi sono stati ancora i contributi sui progetti architettonici illustrati dalle Aziende, tutte italiane, alcune di mercato internazionale come HabitatLegno o Holzbau specializzate in strutture di grande respiro e di grande luce. Queste Aziende hanno realizzato anche interventi molto famosi: HabitatLegno ad esempio ha lavorato per architetti come Santiago Calatrava, Richard Rogers o Renzo Piano.

Altre aziende già molto specializzate nella costruzione di case come Ille e Rubner Haus e Costruttori CasaClima, ci hanno illustrato i loro sistemi e le loro realizzazioni ed alcune aziende di dimensione locale, che si stanno trasformando da fornitori di parti della costruzione in general contractor di costruzioni in legno finite hanno, con grande impegno, portato i loro contributi: è il caso di Guercio Forma e di LaFoca Group

CadWork, specializzata in software Cad-Cam ci ha presentato lo stato dell'arte in questo campo per le carpenterie in legno

Hundegger ci ha presentato lo stato dell'arte delle possibilità di lavorazione con macchine a controllo numerico: abbiamo visto filmati che farebbero la gioia di qualsiasi carpentiere

3. Recupero, restauro e manutenzione

Nella terza parte un'ampia serie di interventi sul restauro, organizzati e strutturati dalla professoressa Bertolini,



hanno dato un panorama dello stato dell'arte sulle diverse tecniche e sono stati illustrati diversi progetti e casi di studio, come ad esempio gli interventi sulle coperture dello storico Arsenale di Venezia.

Gli interventi di Tanja Marzi, di Olivia Pignatelli e di Alan Crivellaro hanno portato aggiornati contributi rispettivamente sulle nano-tecnologie, sulle possibilità di datazione (dendrocronologia) e sul confronto della normativa relativa al restauro.

4. Tecnologia e normativa

Nel campo specifico della Tecnologia delle costruzioni di legno, relativamente ai materiali, alle tecniche per la sostenibilità, alle tecnologie costruttive più innovative, alle varie e più raffinate tecniche di restauro e di mantenimento delle costruzioni di legno del passato remoto e recente gli interventi da parte del mondo accademico e professionale sono stati molteplici e diversi. Questo al fine di dare un panorama vasto ed il più completo possibile di quanto è necessario sapere quando si vuole costruire con il legno.

Non sono qui in grado di sintetizzare tutti gli intervenuti, ne accennerò qualcuno.

Roberto Zanuttini, del Dipartimento di Agronomia e Selvicoltura dell'Università di Torino, ha illustrato l'evoluzione tecnologica dei prodotti e dei semilavorati di legno od a base legnosa sia i prodotti il legno massiccio o lamellare sia i pannelli compositi di varia natura da più tradizionali ai più innovativi. Ha poi presentato una carrellata delle principali innovazioni in atto sia di prodotto (ad esempio l'acetilazione) sia di metodologie costruttive (ad esempio le lavorazioni a controllo numerico ed i sistemi integrati multifunzione e base legno).

Ario Ceccotti, direttore dell'Istituto di Ricerca sul Legno del Consiglio Nazionale delle Ricerche, ha illustrato, partendo da analisi storiche, quanto il legno sia stato usato anche nel remoto passato come materiale per stabilizzare le costruzioni per le forze orizzontali e come le costruzioni di legno tipo ballon-frame abbiano buone prestazioni in tal senso. Ha illustrato le sue avanzate ricerche in merito alle costruzioni antisismiche in legno con particolare riguardo all'utilizzo ed alla verifica sismica dell'X-Lam.

Paolo Lavisci, della società Legnopiù, che principalmente ha illustrato lo stato dell'arte nel mondo delle connessioni, argomento fondamentale nel campo delle costruzioni di legno, ci ha portato un ottimo esempio di raffronto in termini energetici tra una costruzione in legno ed una costruzione tradizionale, (un grosso intervento per

l'Aquila):

- molte meno tonnellate di materiale impiegate;
- moltissima energia risparmiata;
- molta meno anidride carbonica immessa in atmosfera.

Conclusioni

Sempre, nella storia umana, il legno degli alberi ha avuto un ruolo da protagonista, anzi, dai primordi è stato il primo ed insostituibile materiale da costruzione.

Recentemente ho letto un libro di William Bryant Logan, imprenditore del legno e scrittore americano, un libro intitolato *Oak, the frame of Civilisation*, letteralmente *Quercia, la struttura della civiltà*, purtroppo tradotto in italiano in *La Quercia, storia sociale di un albero*.

È una lettura piacevole per tutti coloro che amano il legno: sostiene come l'evoluzione umana sia addirittura stata possibile dall'uso di questo materiale, in tutti i campi, dalla produzione di qualsiasi attrezzo, alla costruzione delle navi che hanno permesso la scoperta del mondo, dalla produzione di macchine, alle costruzioni edilizie.

Nel mondo delle costruzioni, da alcune centinaia di anni si è andato affermando un progressivo ed esponenziale fenomeno di "mineralizzazione" che ha penalizzato i materiali organici. Inoltre, le tecnologie nate dalla rivolu-

zione industriale in poi hanno trovato nuovi materiali che hanno declassato il legno.

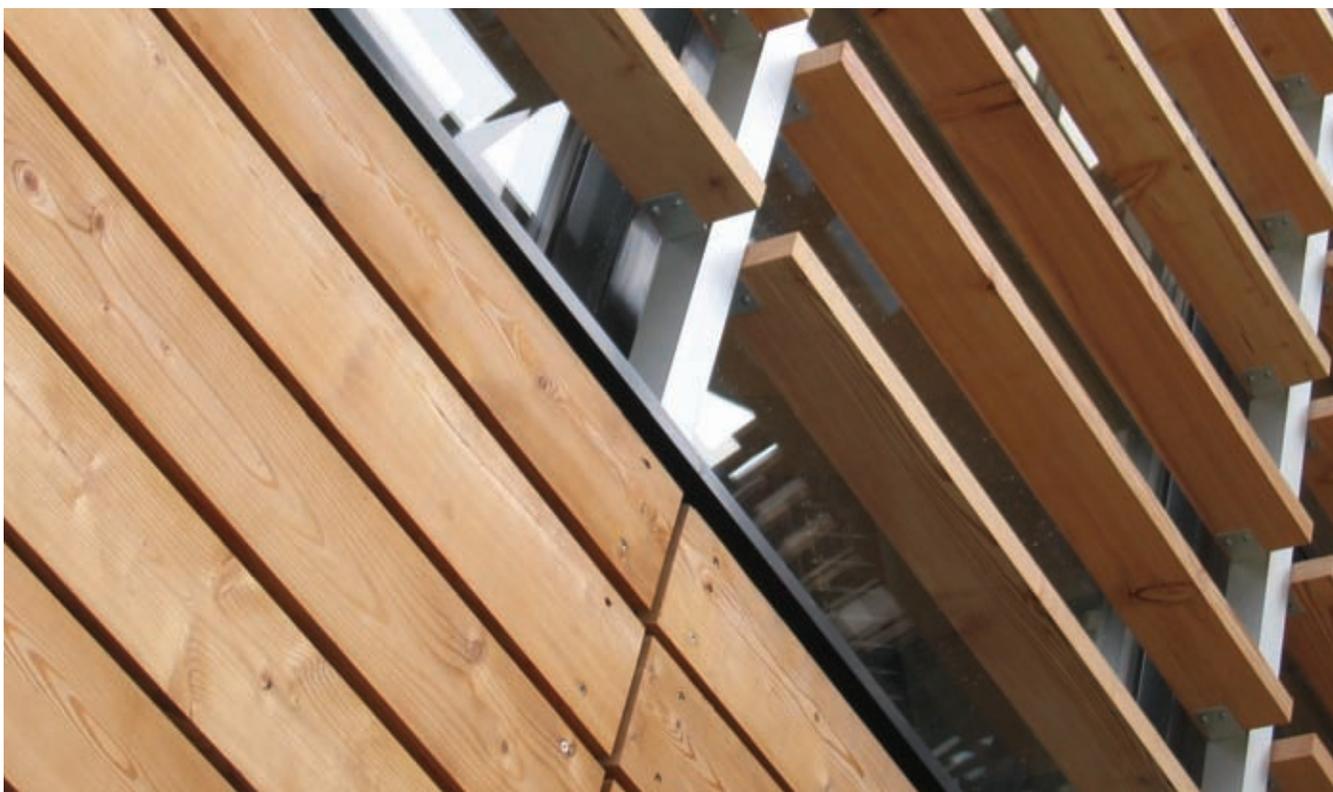
Anche la stessa cultura dell'ingegneria, che ha richiesto materiali totalmente controllabili, ha penalizzato il legno che come sappiamo non è un materiale omogeneo.

Oggi i rischi del passato si sono in gran parte ridotti ed il legno, grazie ad utilizzi innovativi come ad esempio quelli introdotti per la produzione del lamellare o da ultimo quella del cross-lam o X-lam (pannelli a tavole incrociate) o per merito di ulteriori nuove tecnologie, è da tempo uscito da questo oblio.

Per dare al legno la piena dignità che merita come moderno e sostenibile materiale da costruzione molto si sta facendo e tanto è ancora da fare.

Con queste giornate pensiamo di aver dato un contributo in questa direzione ben sapendo che la ricerca della qualità nelle costruzioni sostenibili e di legno è solo uno degli aspetti di quello che l'uomo deve fare per un problema più grande: la sostenibilità della Natura, quella cioè del nostro Mondo.

Claudio Perino, architetto, Consigliere SLAT, curatore delle Giornate di studio.





PERCHÉ IL LEGNO

“Abbiamo la Terra in prestito dai nostri figli, non in eredità dai nostri genitori.”
(proverbio Lakota)

Il primo e principale accorgimento per una costruzione sostenibile, oltre a quello del controllo dei flussi termici, è quello dell'utilizzo di materiali rinnovabili e biocompatibili. Non vi è dubbio che il principale materiale da costruzione che risponde a questi requisiti sia il LEGNO. È il materiale rinnovabile per definizione, che richiede il minor dispendio di energia per essere prodotto. Imparare o re-imparare a costruire strutture ed edifici con largo utilizzo del legno, adoperando le moderne regole e la moderna tecnologia, dovrebbe essere uno dei principali obiettivi per Architetti e Ingegneri consapevoli.



SIAT

Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino

COMITATO SCIENTIFICO

arch. Claudio Perino *coordinatore Società Ingegneri e Architetti in Torino*

prof.arch. Clara Bertolini Cestari *Dipartimento di Progettazione Architettonica e Disegno Industriale, Politecnico di Torino*

arch. Guido Callegari *Dipartimento di Progettazione Architettonica e Disegno Industriale, Politecnico di Torino*

prof. ing. Ario Ceccotti *Direttore Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree, IVALSA-CNR*

prof. ing. Marco Filippi *Coordinatore del dottorato in Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito Società Ingegneri e Architetti in Torino*

ing. Vittorio Neirotti *Società Ingegneri e Architetti in Torino*

prof. dott. Roberto Zanuttini *Dipartimento Agroselviter Università di Torino*

COMITATO ORGANIZZATORE

arch. Claudio Perino *Società Ingegneri e Architetti in Torino*

ing. Francesco Brossa *Ordine degli Ingegneri Provincia Torino*

arch. Luca Malavolta *Società Ingegneri e Architetti in Torino*

arch. Tanja Marzi *Dipartimento di Progettazione Architettonica e Disegno Industriale, Politecnico di Torino*

arch. Davide Rolfo *Società Ingegneri e Architetti in Torino rivista A&RT*

arch. Stefano Vellano *Società Ingegneri e Architetti in Torino*

SEGRETERIA ORGANIZZATIVA

arch. Giulia Balsamo

arch. Valeria Marta Rocco

sig.ra Sara Tota

UFFICIO STAMPA

dott.ssa Marina Emprin Gilardini
Studio RGE



MODALITÀ DI ISCRIZIONE

Non soci SIAT:

- Ingegneri e Architetti: iscrizione alla società SIAT per il 2010 con una quota ridotta (€60)
- Altri Professionisti e Tecnici: sottoscrizione all'abbonamento della rivista A&RT (€60) con diritto di partecipazione alle attività SIAT per il 2010

Soci SIAT e Dottorandi Politecnico: iscrizione gratuita

PREISCRIZIONI

È opportuna la preiscrizione per partecipare sia a una, sia a tutte le giornate. Si prega di prendere contatto con la Segreteria Organizzativa specificando i propri dati e le giornate di interesse entro il 10 novembre.

Segreteria SIAT, corso M. D'Azeglio 42, 10125 Torino
orario L-M-M-G-V dalle 14.30 alle 19.00

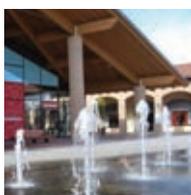
Sara Tota tel +39 011 6508511

e-mail: siat@siat.torino.it

Giulia Balsamo +39 3206959537

LUOGO

Salone d'Onore del Castello del Valentino Facoltà di Architettura Politecnico di Torino Viale Mattioli 39, 10125 Torino. La sede della Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino è il Castello del Valentino, antica residenza sabauda a poche centinaia di metri dal nodo ferroviario di Porta Nuova ed è immersa nel Parco del Valentino.



1^a giornata

giovedì **19** novembre 2009

LE NUOVE COSTRUZIONI DI LEGNO

Nuovi prodotti,
aspetti economici e tecnici, casi studio.

14.00 Registrazione e Iscrizioni

14.20 Presentazioni e Argomenti

Claudio Perino *Consigliere SIAT, curatore giornate di studio*

Saluti

Vittorio Neirotti *Presidente SIAT*

Marco Filippi *Vice Rettore del Politecnico di Torino*

Sebastiano Cerullo *Responsabile Assolegno, FederlegnoArredo*

Marco Balagna *Assessore Agricoltura, Montagna, Prov. di Torino*

Innovazione e problematiche nel progetto con il legno. Ma quanta sapienza ed ancor utili magisteri dal passato!

Franco Laner *Ordinario di Tecnologia dell'Architettura IUAV Venezia (Habitat Legno spa)*

Prodotti a base di legno. Tradizione e nuove tecnologie.

Roberto Zanuttini *Docente di Tecnologia del legno, Università di Torino, Dipartimento Agroselvitèr*

Strutture antisismiche di legno. Tecnologie attuali e prospettive future.

Ario Ceccotti *Direttore IVALSA CNR*

Nuove tecnologie e impieghi del legno: il Crosslam come opportunità strutturale e architettonica.

Alessandra Panichi *Guercio spa*

17.00 Pausa

Le costruzioni di legno di un grande studio internazionale.

Robert Friedrichs *GMP Architekten Amburgo*

Costruire in legno con sistemi innovativi: progetto, produzione e montaggio.

Elia Terzi *Ille prefabbricati spa*

Tecnologia innovativa per la costruzione di legno.

Walter Wilfried *Hundegger srl*

Le architetture di legno nei viaggi SIAT.

Stefano Vellano *Studio Kha, Torino*

19.10 Conclusioni

2^a giornata

giovedì **26** novembre 2009

COSTRUZIONI DI LEGNO

STRUTTURE MULTIPIANO E GRANDI OPERE

Ossature multipiano, elementi tipologici innovativi, edifici di notevole dimensione, aspetti normativi, casi studio.

14.00 Registrazione e iscrizioni

14.20 Presentazioni e Argomenti

Stefano Vellano *Consigliere SIAT*

Integrazione fra Tecnologia, Struttura e Progetto.

Vittorio Nascè *Ordinario di Tecnica delle Costruzioni, Politecnico di Torino*

Connessioni nelle Strutture di legno

Paolo Lavisci *Legnopiù srl*

Legno e vetro per l'architettura contemporanea - aspetti tecnici e dettagli costruttivi.

Gianluca Endrizzi *Holzbau spa*

Costruire con ossatura leggera di legno: la scuola ecologica di Vinovo.

Mauro Oggero *La Foca Group srl*

Matteo Robiglio *Avventura Urbana, Torino*

Franco Piva *Casa Clima, Bolzano*

Architettura locale di legno.

Laurent Saurer *Localarchitecture, Losanna*

17.00 Pausa

La normativa sulle costruzioni di legno viste dalla parte di un professionista.

Attilio Marchetti Rossi *Timber Academy*

Tre costruzioni di legno di diversa tipologia a Torino.

Claudio Perino *TORPEGO Architetti, Torino*

Lo stato attuale del software per le costruzioni di legno e la sua evoluzione.

Gianluca Bresciani *Cadwork spa*

Mondovicino, utilizzo del legno in un centro commerciale.

Edoardo Astegiano *Studio AS, Torino*

19.10 Conclusioni



3^a giornata

mercoledì 9 dicembre 2009

COSTRUZIONI DI LEGNO RECUPERO RESTAURO E MANUTENZIONE

Tecnologie innovative di recupero, soluzioni per il degrado e per la durabilità, casi studio.

14.00 Registrazione e iscrizioni

14.20 Presentazioni e Argomenti
Clara Bertolini Cestari *Politecnico di Torino*

Innovazione tecnologica nel recupero e manutenzione delle costruzioni di legno.
Clara Bertolini Cestari *Docente di Costruzioni dell'Architettura, Politecnico di Torino DIPRADI*

Restauro e consolidamento delle strutture lignee antiche.
Gennaro Tampone *Presidente Collegio Ingegneri Toscana e ICOMOS International Wood Committee*

Le strutture lignee dell'Arsenale di Venezia. Studi e restauri.
Claudio Menichelli *Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici di Venezia e Laguna*

L'acciaio nel rinforzo delle strutture di legno.
Lorenzo Jurina *Docente di Tecnica delle Costruzioni, Politecnico di Milano*

Consolidamento delle strutture in legno.
Giuseppe Pistone *Docente di Tecnica delle Costruzioni, Politecnico di Torino DISTR- SIAT*

17.00 Pausa

Caratterizzazione meccanica in situ. L'aiuto al progettista della normativa italiana.
Alan Crivellaro *Università di Padova*

Datazione dendrocronologica delle strutture lignee.
Olivia Pignatelli *Dendrodata, Verona*

Il nuovo Centro Servizi dell'Environment Park: si monta come un Lego.
Stefano Dotta *Responsabile Osservatorio Bioedilizia Environment Park Torino*

18.30 Conclusioni

4^a giornata

giovedì 10 dicembre 2009

COSTRUZIONI DI LEGNO SPAZI PER ABITARE

Edifici uni, bi e plurifamiliari, aspetti energetici ed ecosostenibili, facciate e rivestimenti di legno, casi studio.

14.00 Registrazione e iscrizioni

14.20 Presentazioni e Argomenti
Giovanni Torretta *Past President SIAT*

Filiera Legno.
Elena Di Bella *Dirig. sett. Sviluppo Filiera Legno Provincia di TO*
Antonio Brunori *PEFC Italia*

Considerazione sulla sostenibilità ambientale/energetica nelle costruzioni di legno.
Marco Filippi *Ordinario di Fisica Tecnica Ambientale, Politecnico di Torino*

Qualità nelle costruzioni di case di legno.
Peter Erlacher *Docente Università di Bolzano (Albe Case spa)*

Case di legno ad alta efficienza energetica. Aspetti progettuali e costruttivi.
Barry van Eldijk *Costruttori Casa Clima Südtirol*

Case di legno di qualità - Efficienza energetica. Sistemi di pareti: Residenz, Blockhause e Soligno.
Norbert Rauch *Rubner spa*

17.00 Pausa

"Hand-Fabricated" building system. Edifici in serie fatti a mano.
Amino Yoshiaki *Docente di Strutture di legno, University of Technology, Vienna*

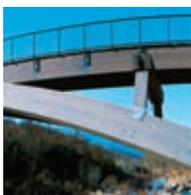
Costruire con il legno in condizioni estreme: l'evoluzione dei sistemi di prefabbricazione per i rifugi alpini.
Guido Callegari *Docente di Tecnologia dell'Architettura, Politecnico di Torino*

Gli usi del bambù in edilizia tra tradizione e innovazione.
Irene Caltabiano *Centro PVS Politecnico di Torino*

Frontiere applicative per le costruzioni di legno. Sperimentazione e ricerca in atto.
Franco Laner *Ordinario di Tecnologia dell'Architettura IUAV, Venezia (Peter Cox srl)*

18.50 Conclusioni

19.15 *Rinfresco offerto da Costruttori CasaClima*



Saluto

Greetings

MARCO FILIPPI

In qualità di vice-rettore, porgo a tutti i presenti un caloroso saluto ed un augurio di buon lavoro da parte del rettore del Politecnico di Torino, prof. Francesco Profumo.

Questo convegno è ospitato nell'Aula Magna del Castello del Valentino che attualmente è sede della I e della II Facoltà di Architettura e di quattro dei diciotto Dipartimenti in cui è organizzato l'Ateneo. Il Castello del Valentino, che già nel Settecento aveva perso il ruolo aulico di residenza sabauda extraurbana, fu ricostruito e ampliato nelle maniche di collegamento tra le torri per ospitare nel 1858 l'Esposizione dell'Industria e nel 1859 fu ceduto alla Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri.

La sede degli organi di governo, amministrativi e di segreteria dell'Ateneo, nonché della I, III e IV Facoltà di Ingegneria, è oggi in corso Duca degli Abruzzi 24, in un complesso edilizio realizzato negli anni cinquanta del Novecento ed oggi nucleo centrale di un esteso campus universitario urbano denominato «Cittadella Politecnica».

Quale research university di rilievo nazionale e internazionale il Politecnico di Torino è sede di una importante Scuola di Dottorato, che privilegia una forte preparazione di base ed una cultura generale ampia e multidisciplinare, con una forte sensibilità nei confronti degli aspetti più avanzati della ricerca e dell'innovazione tecnologica. La Scuola di Dottorato del Politecnico di Torino gestisce 30 dottorati suddivisi in quattro grandi aree culturali e sono oltre 600 i dottorandi che la frequentano e quasi 1.400 coloro che hanno brillantemente conseguito il titolo di Dottore di ricerca. Il Dottorato di ricerca in Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito, che mi vede quale coordinatore, ha volentieri aderito alla proposta di patrocinare questo Convegno organizzato dalla Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino. La partecipazione ad un Convegno dedicato all'architettura e alla tecnologia delle costruzioni in legno è del tutto coerente con il programma culturale di un Dottorato di ricerca come il nostro, che ha per obiettivo la formazione di figure scientifiche e professionali capaci di operare nell'ambito dell'edilizia sia esistente che di nuova realizzazione, di affrontare e risolvere i problemi progettuali e tecnologici, di sviluppare soluzioni tecniche e processi di costruzione, gestione e manutenzione, di concepire, progettare e sperimentare prodotti e servizi innovativi, di gestire processi di innovazione tecnologica. Ben vengano dunque iniziative come questa e ringrazio quindi l'ing. Vittorio Neirotti, presidente della SIAT, per la proposta che ci è pervenuta e, in particolare, l'arch. Claudio Perino, infaticabile organizzatore di questa iniziativa.

A tutti i presenti auguro un proficuo lavoro e un buon pomeriggio.

Marco Filippi, ingegnere, vice-rettore del Politecnico di Torino e coordinatore del Dottorato di ricerca in Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito.

Prefazione

Preface

MARCO BALAGNA

Da oltre un decennio la Provincia di Torino ha riconosciuto al settore forestale un ruolo strategico nello sviluppo sostenibile dei territori montani. Con circa 220.000 ettari di boschi e oltre 14.000 ettari di arboricoltura da legno, infatti, il nostro territorio dispone di risorse forestali di tutto rispetto che ancora oggi non hanno trovato una valorizzazione adeguata.

La crescente attenzione dei consumatori per strutture abitative ad elevata efficienza energetica e sostenibili sul piano dei materiali impiegati – che si preferiscono naturali e “locali” – costituisce un’opportunità straordinaria per i nostri legnami e per le nostre imprese, che può essere colta intervenendo sia sulla domanda sia sull’offerta. In un quadro di difficoltà competitiva delle nostre produzioni rispetto alle economie forestali più forti, ciò che riteniamo prioritario è dunque valorizzare le produzioni forestali locali, a partire dalle specie più diffuse nel nostro territorio, larice e castagno, evidenziandone la preferibilità in termini di caratteristiche tecnologiche, saper fare delle imprese di trasformazione, provenienza e sostenibilità sociale ed ambientale della produzione.

L’impegno della Provincia di Torino nel settore ha trovato un’ulteriore legittimazione con la nuova legge forestale regionale, approvata lo scorso anno, che assegna alle Province piemontesi compiti di programmazione dello sviluppo economico del settore forestale e di pianificazione forestale dei territori collinari e pianiziali.

Condividendo il valore della cooperazione e dello scambio di esperienze in questa materia, la Provincia di Torino ed il Conseil General de la Savoie hanno avviato il progetto Bois Lab, cofinanziato dal programma di cooperazione Italia-Francia ALCOTRA 2007-2013.

Per sostenere e qualificare la domanda di prodotti legnosi locali, il progetto Bois Lab investe in modo particolare sull’aggiornamento professionale di tecnici, progettisti e imprese, finalizzato all’impiego del legno di provenienza locale nelle costruzioni e nell’arredo interno ed esterno.

Le giornate di formazione impeccabilmente organizzate dalla SIAT rappresentano la prima significativa occasione di approfondimento tecnico-professionale sull’impiego del legno che sia stata organizzata nel nostro territorio negli ultimi anni, e ci è sembrato particolarmente significativo poter concorrere, con il progetto Bois Lab, alla loro realizzazione.

Auspico che questa iniziativa rappresenti il segnale di un rinnovato interesse dei progettisti per il legno, un materiale antico che ha tutte le carte in regola per giocare un ruolo da protagonista nell’architettura contemporanea.

Marco Balagna, Assessore all’Agricoltura, Montagna, Tutela fauna e flora, Parchi e aree protette della Provincia di Torino.

Assolegno per il legno strutturale

Assolegno for structural timber

SEBASTIANO CERULLO

Assolegno (Associazione di FederlegnoArredo «Federazione italiana delle industrie del legno, del sughero, del mobile e dell'arredamento») è l'Associazione delle industrie di prima lavorazione e delle costruzioni in legno. Con circa 260 aziende associate, è l'associazione italiana che rappresenta le imprese italiane appartenenti al settore del «legno per uso strutturale».

Assolegno è organizzata in quattro gruppi di aziende:

- Gruppo Prime Lavorazioni Legno;
- Gruppo Costruttori in Legno;
- Gruppo Grandi Strutture e Produttori Legno Lamellare;
- Gruppo Case ed Edifici a Struttura di Legno.

L'Associazione organizza e promuove diverse attività per il mondo del legno strutturale fra le quali spiccano:

- il Corso per «Direttore Tecnico della Produzione» ai sensi del D.M. 14/01/08, Norme Tecniche per le Costruzioni;
- la partecipazione a MADEexpo, la fiera internazionale su architettura, design ed edilizia che si tiene ogni anno a Milano.

Corso per Direttore Tecnico di Produzione ai sensi del D.M. 14/01/08

Assolegno, in collaborazione con ConLegno (Consorzio Servizi Legno-Sughero: è l'Ente di diritto privato che nasce al fine di favorire i molteplici utilizzi del legno, dall'edilizia all'imballaggio prodotto finito. ConLegno è promosso da CNA Unione Produzione Legno Arredo, Confartigianato Legno Arredo, FederlegnoArredo, I.F.A. Imprese Fumigatrici Associate e UNITAL/Confapi) organizza uno specifico percorso formativo per «Direttore Tecnico di Produzione ai sensi del D.M. 14/01/08» riconosciuto dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Il corso nasce con lo scopo non solo di formare la figura del Direttore Tecnico di Produzione ma anche di indicare alle imprese quelli che sono gli obblighi derivanti dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/08: a partire dal 1° luglio del 2009 sono infatti cogenti le Norme Tecniche delle Costruzioni ed è finito il periodo di coesistenza con il DM 16 Gennaio 1996 e il DM 14 Settembre 2005. Il D.M. 14/01/08 è, ad oggi, l'unico documento tecnico di riferimento per il settore delle costruzioni.

Lo stesso documento legislativo (DM 14.01.08) definisce una par condicio tra i materiali da costruzioni, provvedendo a definire specifiche procedure di qualificazione e certificazione di prodotto.

I paragrafi che risultano interessante il settore del legno strutturale sono i

seguenti:

- Paragrafo 4.4. Costruzioni di legno;
- Paragrafo 7.7. Sismica – Costruzioni di legno;
- Paragrafo 11.7. Materiali a base di legno – Qualificazione.

In particolare, sembra opportuno sottolineare come il paragrafo 4.4 espliciti quanto segue:

- «...Tutto il legno per impieghi strutturali deve essere classificato secondo la resistenza...»;
- «... I materiali e i prodotti devono rispondere ai requisiti indicati ai requisiti essenziali indicati nel 11.7...» (§11.7. Procedure di qualificazione: materiali e prodotti a base di legno).

A tal proposito la Circolare esplicativa del 2.2.2009 n. 617 sancisce in modo ufficiale (similmente a quanto stabilito per la figura dei produttori), l'obbligatorietà della qualificazione dei prodotti lavorati dai Centri di Lavorazione. Si riporta a titolo di completezza quanto definito dalla stessa Circolare esplicativa: «Gli stabilimenti nei quali viene effettuata la lavorazione degli elementi base per dare la loro configurazione finale in opera (tagli, forature...) sia di legno massiccio che di legno lamellare sono da considerarsi a tutti gli effetti come centri di lavorazione. Come tali devono documentare la loro attività al Servizio Tecnico Centrale, il quale ultimata favorevolmente l'istruttoria rilascia un Attestato di Denuncia di Attività...»

Quindi, tali centri di lavorazione, in modo affine alla figura dei produttori («... Il soggetto legalmente responsabile della classificazione secondo la resistenza meccanica del materiale o del prodotto a base di legno...»), devono in linea di massima compiere i seguenti passi al fine di essere in linea con i principi legislativi:

- aver individuato la figura di un Direttore Tecnico di Produzione;
- aver ottenuto l'Attestato di qualificazione come centro di lavorazione da parte del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- essere in possesso di un proprio marchio (in cui devono essere determinate informazioni minime).

Secondo le stesse disposizioni del DM 14.01.08, la figura del Direttore Tecnico di Produzione è quella dotata di abilitazione tramite apposito corso di formazione che assumerà le responsabilità relative alla rispondenza tra quanto prodotto in azienda e la documentazione depositata presso gli uffici del Servizio Tecnico Centrale, come riportato anche nel § 11.7.10.1.

Lo scopo di tali prescrizioni è quello di assicurare lungo la filiera delle imprese che operano nel settore del legno strutturale una certa tracciabilità di prodotto e che si

apportino esclusivamente lavorazioni che non compromettano la resistenza meccanica dichiarata dal produttore. Formare quindi la figura del Direttore Tecnico di Produzione risulta essere quindi indispensabile al fine di dare avvio all'iter di qualificazione.

Per ulteriori informazioni è possibile visitare il sito www.conlegno.org

Per conoscere le date dei prossimi corsi per Direttore Tecnico di Produzione scrivere a: legnosughero@federlegnoarredo.it o telefonare allo 02 80604372.

MADE expo

La terza edizione di MADE expo ha chiuso con segno positivo e entusiasmo con 242.152 presenze con un incremento del 21%, di cui 23.810 stranieri (+24%).

La manifestazione internazionale dedicata al mondo del progetto e delle costruzioni, tenutasi dal 3 al 6 febbraio a Fiera Milano Rho, si conferma evento leader del settore, un appuntamento commerciale imprescindibile nel calendario fieristico e insieme un momento di confronto per gli operatori e di rilancio del settore, con un'offerta qualificata e ad alto contenuto di innovazione.

«Siamo pienamente soddisfatti del risultato ottenuto – affermano gli organizzatori della manifestazione – non solo in termini di dati, ma anche e soprattutto per il clima positivo respirato nei padiglioni in questi giorni. Presenti oltre 1.700 aziende, di cui 254 estere, su una superficie espositiva di oltre 90.000 m² netti, che hanno mostrato grande tenacia e voglia di reagire al difficile momento economico. MADE expo si è rivelato ancora una volta uno strumento efficace per le aziende, che hanno trovato nella manifestazione importanti occasioni di business, servizi e approfondimenti. Unanime il positivo riscontro da parte dei visitatori rispetto all'alto contenuto di innovazione e ricerca presentato sia negli stand che nelle iniziative culturali e tecniche». Sono stati infatti oltre 180 gli appuntamenti e le iniziative che hanno scandito i quattro giorni di manifestazione, mettendo in luce i temi più rilevanti del costruire contemporaneo.

«Con il suo format innovativo che unisce l'offerta commerciale con un momento tecnico-culturale – proseguono gli organizzatori – MADE expo non chiude con l'appuntamento fieristico ma prosegue la sua attività in vista della quarta edizione, che si terrà dal 5 all'8 ottobre 2011. In questi mesi MADE expo continuerà a lavorare proponendo appuntamenti e iniziative internazionali che scandiranno i mesi di attesa alla prossima edizione. Impegno prioritario di MADE expo sarà accompagnare le aziende verso la grande sfida di Expo 2015, che ha scelto la manifestazione come punto di riferimento per il sistema costruzioni, un settore protagonista nello sviluppo del pianeta in una nuova prospettiva di sostenibilità e rispetto per l'ambiente e l'uomo».

Sebastiano Cerullo, Responsabile Assolegno, Federlegno Arredo.

A&RT

Il progetto Interreg BOIS LAB - Valorizzazione della filiera foresta legno / *Interreg BOIS LAB Project - Enhancement of chain forest-wood technology*

ELENA DI BELLA

Motivazioni e obiettivi → Azioni

Il progetto Interreg «Bois Lab» per la valorizzazione della filiera foresta legno avviato dalla Provincia di Torino nel 2009 insieme al Dipartimento della Savoia e con durata biennale nasce con i seguenti obiettivi:

1. Obiettivo strategico: accrescere la capacità del sistema territoriale transfrontaliero foresta-legno di impostare e realizzare strategie condivise di sviluppo locale;
2. Obiettivo relativo all'*offerta*: migliorare l'organizzazione dell'offerta di legno locale e accrescerne la competitività;
3. Obiettivo relativo alla *domanda*: qualificare e promuovere le produzioni legnose locali;
4. Diffusione dei risultati del progetto.

Tali obiettivi rientrano nelle strategie di sviluppo locale e «durevole» della Provincia di Torino, improntato alla valorizzazione di un modello «a km 0» che intende valorizzare le risorse locali (anche le risorse legnose) per valorizzarne tutti gli usi, in particolare quelli edilizi, legati ad un modello sostenibile non solo da un punto di vista della rinnovabilità delle risorse ma anche del risparmio energetico (legno come coibente e non solo come materiale portante) e innovativi (legno per abitazioni/edifici moderni in area urbana e non solo baite di montagna o abitazioni tradizionali, per mobili di design e non solo per paleria). Questo significa anche ripensare in chiave innovativa:

- a. ai modelli costruttivi;
- b. alla versatilità e straordinarie doti del materiale «legno»;
- c. al modello sostenibile che vogliamo perseguire nel costruire in città con materiali che arrivano dalla montagna (vicina).

Gli obiettivi saranno perseguiti attraverso alcune azioni chiave:

- azioni legate all'obiettivo strategico 1: confronto di modelli di pianificazione: le *chartes forestières* in Francia e i piani di programmazione provinciali e di Comunità Montana *ex lege* 4/2009 (legge forestale regionale); la certificazione d'origine (certificazione PEFC di catena di custodia che permetta di «dare voce» anche al territorio di origine del legno – ad es. «Castagno del Canavese» – e di scriverlo – ad es. targhetta sul mobile);
- azioni dell'obiettivo 2 (offerta): censimento particelle e animazione dei proprietari privati per dimensionare e contrattualizzare l'offerta privata in vista della creazione di Consorzi forestali pubblico-privati; localizzare e dimensionare infrastrutture necessarie (viabilità), piazzali

e centri di essiccazione (progetti definitivi/esecutivi);

- azioni legate all'obiettivo 3 (domanda): formazione (corso mirato che coinvolga gruppi di progetto e lavoro dal progettista all'impresa realizzatrice) per la realizzazione di un modulo abitativo dimostrativo («*Bois mobile*»), concorso per architetti per edilizia abitativa pubblica, stimolo alla domanda pubblica (modifica del prezzario regionale Opere Pubbliche con l'inserimento di voci specifiche legate al legno locale), certificazione con ultrasuoni, prototipi (lamellare/X Lam).

Il nostro sarà un «lavoro di gruppo», sempre secondo le tradizionali «buone pratiche» della Provincia di Torino. Le azioni infatti coinvolgeranno a vario titolo il tavolo provinciale di filiera legno:

- coordinamento Provincia di Torino;
- per coordinare le azioni del progetto Interreg e oltre il progetto per «sincronizzare» domanda e offerta di legno (a livello provinciale);
- composto da Ordini (architetti, ingegneri, geometri...), categorie professionali (costruttori, artigiani), cooperative edilizie (Lega e Conf), istituzioni (Regione, Provincia, Comunità Montane, istituzioni scientifiche (Politecnico e Università).

Il progetto sarà l'innescò di un processo che non si fermerà mai, come speriamo, e che vedrà impegnati nei prossimi anni proprietari forestali, architetti, ingegneri, geometri, costruttori, artigiani, falegnami, mobilieri, segherie, ditte boschive, imprese di seconda lavorazione e consumatori e cittadini in un progetto per vivere più felicemente ed abitare «a km 0».

Elena Di Bella, Dirigente Servizio Sviluppo Montano e Rurale, Provincia di Torino.

Progetto BOIS LAB

Capofila: Provincia di Torino. Assessorato all'agricoltura, montagna, fauna, flora, parchi e aree protette. Servizio Sviluppo montano, rurale e valorizzazione produzioni tipiche.

Dirigente del Servizio: Elena di Bella

Coordinamento del progetto: Alberto Pierbattisti

www.bois-lab.org, bois-lab@provincia.torino.it

Corso Inghilterra 7, 10138 Torino (I). tel. +39 011.8616301 fax +39 011.8616481

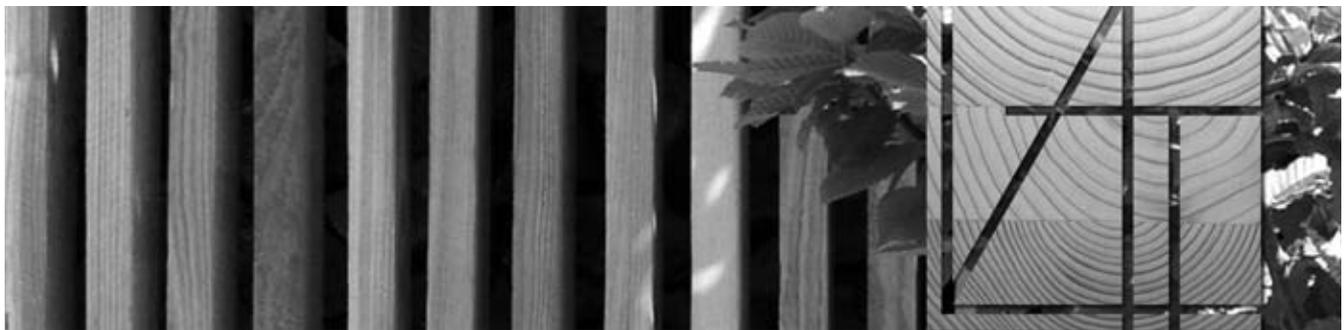
Partner: Conseil général de la Savoie. Unité Forêt Filière Bois.

Referente: Marc Jean Robert

Hôtel du Département, 73000 Chambéry (F)

Tel. +33 04 79 96 74 59 fax +33 04 79 96 74 93. marc-jean.robert@cg73.fr

Parte prima. Chiavi di lettura ed argomenti generali
Part one. Interpretation and general topics

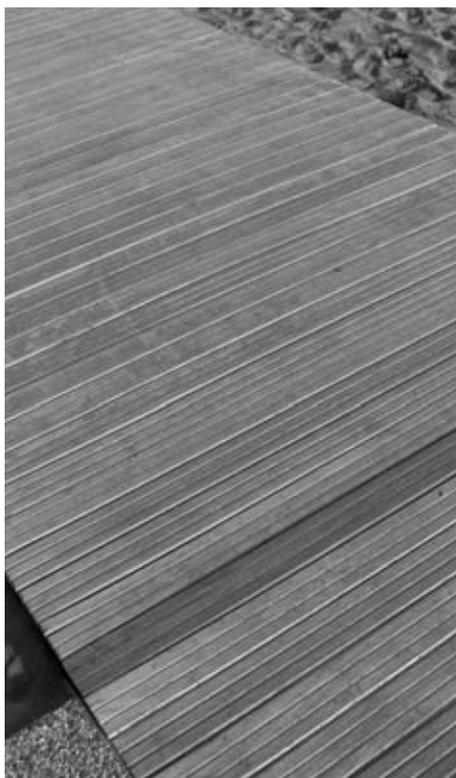


Innovazione e problematiche nel progetto con il legno. Ma quanta sapienza ed ancor utili magisteri dal passato!

Innovation and problems of wood design. "Ma quanta sapienza ed ancor utili magisteri dal passato!"

Figura 1. Corsia di legno al mare. Se una dogia di iroko va fuori servizio, è facilmente sostituibile perché questa evenienza è stata progettata. Questa attenzione deve diventare una prerogativa del progetto col legno.

Figura 2. Protezione di una testa di trave sporgente con una scandola di sacrificio. In questo semplicissimo gesto è sottesa l'attenzione alla durabilità.



FRANCO LANER

Abstract

Magisteri e codici della tradizione costruttiva col legno sono ancora indispensabili per costruire correttamente con questo materiale. Certamente è necessaria una loro reinterpretazione. Grazie infatti alle nuove tipologie di prodotto – accanto al massiccio convivono elementi e componenti derivati dal legno, come il lamellare, i pannelli e altri ricomposti – alle nuove tecnologie di produzione e lavorazione, come le macchine a controllo numerico (CNC), fino ai moderni e potenti strumenti informatici per il calcolo ed il disegno, il mondo delle costruzioni di legno è in continua evoluzione. Per il loro favorevole esito non si possono però trasgredire regole sedimentate nella grande tradizione del passato, in relazione soprattutto alla durabilità, alle caratteristiche ambientali e morfologiche dei luoghi (genius loci), alle specie legnose impiegate. Più di altri materiali il legno reclama armonia fra regole tecniche, semantiche e formali, o se si vuole, fra razionalità e bellezza, fra ingegneria ed architettura.

Skills and codes of the timber traditional building system are still essential to build correctly with this material. It is indeed necessary a modern interpretation.

The world of wood construction is evolving thanks to the new types of products – beside hardwood there are elements and components that comes from wood, such as glued laminated timber, panels and others – and the new productive technologies, as CNC and modern CAD systems. To have good results we shouldn't overstep traditional rules from the past, especially relating to degradation, to environmental and morphological conditions, to the kind of wood used. More than other materials timber requires balance between technical, semantics and formal rules, or between rationality and beauty, between engineering and architecture.

Premessa: un osservatorio privilegiato

Godo di un osservatorio privilegiato per quanto riguarda il settore delle costruzioni di legno. Non solo perché ho chiesto alla mia Università di istituire un insegnamento ad hoc, unico nel nostro Paese, «Tecnologia delle costruzioni di legno»: nell'insegnamento, proprio grazie agli studenti che «vedono» con i miei occhi, ho la situazione del territorio.

Poi mi piace scrivere e per avere qualcosa da scrivere è necessario essere aggiornati, anche se più che leggere bisogna fare.

Partecipo a molti convegni, ho collaboratori entusiasti e riusciamo, specie con le tesi di laurea, fra cui molte sperimentali, a fare ricerca, specie con colleghi di progettazione e di tecnologia. Quotidianamente arrivano sul mio computer e-mail di richieste di informazione, quesiti, consigli.

Obtorto collo, assunto incarichi di Consulente tecnico, anche perché il

ricorso al Giudice è diventato oggi lo «sport» nazionale: si contesta la qualità del legno, la posa, l'esito, pretestuosamente, per dilazionare sine die i pagamenti pattuiti. La crisi economica si abbatte con insospettabili modalità sul mondo delle costruzioni e del legno in particolare. Tutte queste cose assieme forse non bastano a giustificare la mia appartenenza al legno e a legittimare alcune asserzioni che sinteticamente vorrei esporre.

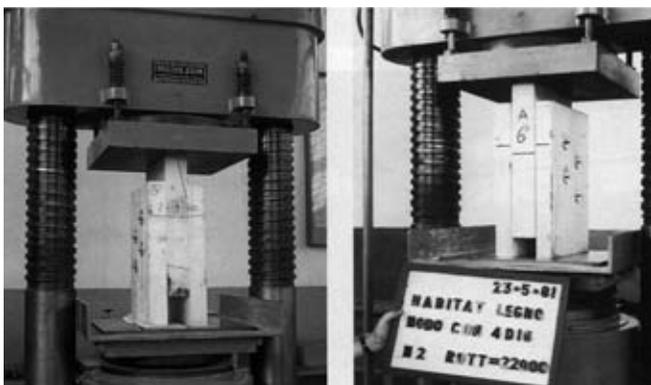
Aggiungo allora che intervengo perché amo il legno che mi ha dato moltissime soddisfazioni accademiche, professionali e culturali! Sono cresciuto – e invecchiato – con l'Habitat Legno, ed assieme a Lino Albertani abbiamo affrontato e superato molti ostacoli.

Passati gli anni del pionierismo – pionieri furono alcuni

imprenditori che negli anni settanta scommisero sul legno strutturale, lamellare in particolare, assecondati da alcuni progettisti, pubblicitari e, perché no, anche da una coscienza collettiva sull'impiego, razionale e sostenibile delle risorse naturali – si avviò quel processo, difficile e duro, che in un paio di decenni ha fatto decollare il legno strutturale nel nostro Paese. Non c'è stato nessun aiuto da parte delle Associazioni di categoria. Abbiamo affrontato ostacoli di ogni specie, soprattutto la mancanza di normativa. Fuoco e sismica – sì, proprio la sicurezza sismica – per mancanza di normativa, sono stati gli ostacoli più difficili. Insomma, grazie ad uno sforzo di pochi, così pochi che potrei farne l'elenco, alla fine del 2000 si poteva parlare di una nuova realtà industriale e di una

Figura 3. Nodo ritto-travi nell'architettura giapponese. Le sollecitazioni orizzontali, vento e sisma, sono assorbite anche grazie all'attrito fra gli elementi dei nodi così interconnessi da conferire grande duttilità strutturale (foto G. Parise, Clik legno 2007).

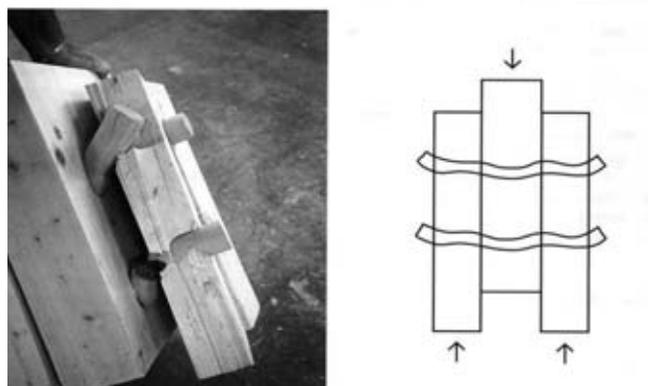
Figura 4. La capacità di assorbire energia da parte delle unioni del legno è notevole.



Purtroppo siamo ancora molto distanti da una attendibile quantificazione. Nelle foto si vede un provino a compressione all'inizio e durante le prove con l'abbassamento dell'elemento centrale prima di rompersi.

Figura 5. Prova di resistenza di unioni con cavicchi di faggio.

Figura 6 (in basso).



A&RT

alternativa da prendere in considerazione, soprattutto per le realizzazioni di coperture industriali e civili di grande luce. Il legno impiegato, l'abete rosso, si è imposto come materiale per le costruzioni di legno sia massiccio, sia ricomposto, dando luogo ad una «monocultura dell'abete», con vantaggi, ma anche molti svantaggi.

Da questo punto di vista possiamo affermare di essere austriaco-dipendenti e quindi abete-dipendenti. Possiamo competere – sfida comunque non facile! – sul piano del progetto, del design, della conoscenza intima e scientifica, dei luoghi del progetto, quello che definisco *genius loci*, caratterizzato da tante variabili, atmosferiche, umidità e temperatura, essenziali per il legno, dalla tradizione, dalle aspettative, dalla particolare mano d'opera e uso dei materiali... è mai possibile che una casa prefabbricata e standardizzata vada bene a Bolzano, Rovigo, Nuoro o Matera? I caldi soli estivi, l'aria umida e afosa, le repentine escursioni igrotermiche, sono patrimonio nostro, purtroppo! Ad esso va adattato, con sapienza, il progetto!

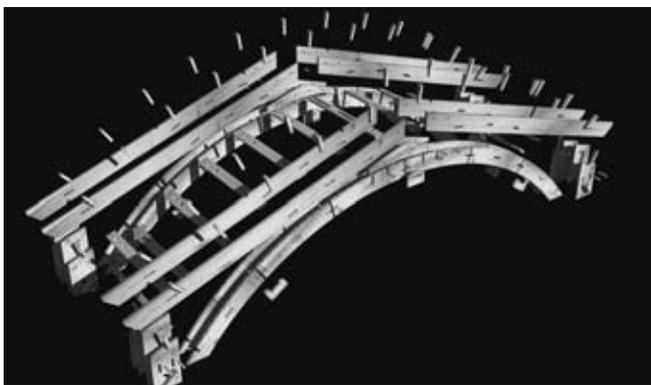
Romperci con questa monocultura – attenzione, non voglio assolutamente sminuire l'abete rosso e comunque non ci riuscirei mai! – significa allargare il ventaglio delle opportunità costruttive, economiche e di esiti formal-architettonici. Ma anche un più generale discorso di migliore sfruttamento delle risorse, della biodiversità e compatibilità ecologica.

Sostenibilità e risparmio energetico

Questo sintetico resoconto non può fermarsi con tutta l'attenzione necessaria ai due temi del titolo. Pure queste due cruciali questioni ormai occupano un posto focale nell'azione di ogni progettista e permeano tutta l'attività professionale. Le problematiche legate alla sostenibilità e risparmio energetico non sono più solo evocate, bensì vissute e perseguite.

La sostenibilità per il mondo delle costruzioni è oggi un imperativo, non un auspicio e ognuno ne conosce le motivazioni, locali e planetarie! La sostenibilità rappresenta un cambio di paradigma epocale, che non solo condiziona il mondo delle costruzioni, ma se ben recepito è occasione per nuove invenzioni, innovazione di prodotto e soprattutto di progetto. L'idea che non sia più possibi-

Figura 7.



le il saccheggio delle risorse naturali e ambientali, il dovere di salvaguardare il Pianeta da accelerazioni degradanti e irreversibili, fa ormai parte del comune sentire. Passare a questa consapevolezza significa operare nel settore delle costruzioni, settore energivoro di vasta proporzione, con la consapevolezza che ogni scelta ha ripercussioni più generali e che tutto va contemplato in una visione ecologica che va al di là di ambiti circoscritti.

Ad esempio, la scelta del legno come materiale sostenibile per eccellenza, considerato che fra i materiali da costruzione è l'unico organico e rinnovabile, di basso consumo energetico, non è da sola sufficiente.

Sostenibili devono essere le scelte d'uso, dei materiali di interfaccia, la riduzione degli sprechi, fino a consumi energetici vicini allo zero o comunque provenienti da fonti rinnovabili. Insomma è necessaria una visione di filiera che si deve concludere con la restituzione all'ambiente, in caso di fine del ciclo di vita, di materiale eco-compatibile! Questa mentalità da «filiera» sostenibile e virtuosa deve essere rigorosa e costante!

Faccio un esempio. Fino a poco tempo fa, parlo degli ultimi 20-40 anni, i nostri boschi erano una risorsa, specie in montagna. L'abete rosso della magnifica Comunità della Valle di Fiemme offriva ai suoi abitanti utili annui. A Natale in ogni famiglia arrivavano dei graditissimi dividendi della gestione del bosco comune! Ed in ogni Comunità montana chi possedeva un bosco, aveva un piccolo patrimonio. Oggi, avere un bosco, equivale ad una disgrazia! Non c'è più convenienza a tagliare gli alberi maturi. I costi di esbosco equivalgono al prezzo del legno già tagliato, piallato e verniciato, pronto per essere posto in opera offerto dagli Austriaci!

E, ritornando alla Valle di Fiemme, per utilizzare l'ottimo abete rosso, si è pensato di costruire case. Buona idea.

Il sistema scelto è quello a pannelli di assi compensate (KLH). Peccato però che in Val di Fiemme non ci sia un impianto per confezionare i pannelli. Allora si portano le assi in Germania, lì si confezionano i pannelli che vengono poi ritrasportati in Italia per lavorarli e finirli.

Forse funziona dal punto di vista economico, ma dal punto di vista della sostenibilità, ma anche della sicurezza, scorazzare il legno per un migliaio di chilometri,

Figura 8.



impedendo l'ambiente di gas di scarico dei camion, non è il massimo della sostenibilità!

È l'equivalente dell'immane cretinata dell'importazione di susine o pesche dal Sud America! Economicamente funziona, anche perché è azzerata la domanda di primizie e tardizie, ma dal punto di vista della sostenibilità e limitazione dei trasporti, è un disastro!

Il principio di usare materiali locali deve essere tenuto presente. Se così fosse stato sarebbe stato opportuno studiare un sistema costruttivo, o un modo di confezionare i pannelli, che non imponesse la trasferta del legno dal Trentino alla Germania e ritorno!

Un'altra questione legata alla sostenibilità. Si è capito che è vitale cambiare mentalità, specie nell'utilizzo delle risorse, emissioni, rispetto dell'ambiente. Viviamo però male questo cambiamento e soprattutto con paura, sicuramente enfatizzata da chi ormai cavalca strumentalmente questo cambio di paradigma.

C'è un catastrofismo di moda su tanti fronti. Giustamente l'epistemologo Paolo Rossi («Il Sole 24 Ore» del 17/10/08) ci ricorda che le democrazie crescono nel mondo, che molti stati aboliscono la pena di morte... e che forse si vive meglio senza profeti di sventure e disperazione!

Il catastrofismo è esteso ad altri aspetti della vita sociale. La campagna sul risparmio d'acqua mi fa sentire in colpa se nel lavarmi i denti lascio un po' di più il rubinetto aperto. Mi consolo però vedendo fiumi d'acqua potabile che comunque scorrono verso il mare!

Se nelle aule universitarie c'è troppo, caldo subito telefono all'ufficio tecnico, lamentandomi dello spreco. Uso la bicicletta, con rischi enormi, perché nella città comanda le auto. Rimprovero i miei se lasciano un attimo la luce accesa. Vedo che pochissimi fanno la raccolta differenziata, ma ho anche l'atroce dubbio che poi i servizi rifiuti buttino tutto sullo stesso mucchio e soffro... E via discorrendo, ma vivo male!

Con ciò non intendo indurre a mollare la presa della sostenibilità, ma lavorare con fiducia e positività a questo cambio di paradigma, quasi una sorta di Rinascimento culturale. La riscoperta del legno come materiale da costruzione e strutturale è una grande opportunità.

Figura 9.



Eppure molte sono le voci che si alzano contro l'uso di questa risorsa che depaupererebbe il patrimonio verde del pianeta. A questi ecologisti della domenica basti l'invito a guardare a quei Paesi che vivono di legno, che lo esportano, come il Nord Europa e il Nord America. Lì il consumo del legno aumenta e però nel contempo aumenta anche la massa verde. Chissà perché! O qualcuno pensa che sia razionale e furbo ammazzare la gallina dalle uova d'oro? Più il legno viene consumato, più aumenta la coscienza ecologica ed aumenta, paradossalmente, l'attenzione agli alberi e al bosco!

Per il nuovo costruito – che rappresenta una piccolissima percentuale dell'edilizia – l'atteggiamento è sicuramente cambiato e molto si può ancora fare.

Ricordiamoci però che il grande tema rimane il patrimonio costruito esistente, inadeguato, energivoro, insostenibile. Su di esso andrebbero poste maggiori attenzioni ed un piccolo miglioramento della sua efficienza, sarebbe molto, molto più significativo di una grande innovazione di sostenibilità nell'infima percentuale del nuovo costruito.

Sul risparmio energetico, strettamente correlato al tema generale della sostenibilità, dobbiamo privilegiare il raffrescamento estivo. Sul risparmio per il riscaldamento lo stato dell'arte è tale che non è facile aggiungere innovazione, considerato anche il successo crescente della certificazione Casa Clima. Ma sul raffrescamento – ricordiamoci che il nostro è pur sempre un Paese mediterraneo e non nordico! – penso che nuovi studi e ricerche possano offrire qualche soluzione interessante. Sicuramente la massa dell'involucro gioca un ruolo positivo per il raffrescamento.

Le case di legno, diversamente da quelle tradizionali di muratura, hanno pareti e tetti leggeri. Dobbiamo sopperire, con nuove tecnologie, al raffrescamento estivo, senza ricorrere ai devastanti condizionatori. Questo è davvero un bel tema e qui si gioca la credibilità delle costruzioni di legno.

Durabilità

Uno degli argomenti che le recenti esperienze dell'impiego del legno nel nostro Paese ha messo in evidenza e a

Figura 10.



A&RT

cui è necessario porre la massima attenzione è la durabilità. L'attesa di vita di un manufatto ligneo non può essere inferiore ai 50 anni (Norme tecniche per le costruzioni, DM 14 genn. 2008). Pertanto si impongono nuovi concetti di prodotto e di manutenzione programmata. Questo è comunque l'argomento di maggior ritardo ed anche di maggior difficoltàolutiva, considerate le particolari condizioni climatiche del territorio nazionale, in particolare le forti escursioni igrometriche e di temperatura. In merito alla durabilità occorrerà parlare di classi di rischio, classi di servizio, specie legnose. Ma soprattutto occorrerà parlare di progetto: di progetto architettonico appropriato. Fare in modo che l'acqua non ristagni: mai come per il legno e l'acqua vale il motto «Toccata e fuga!». La durabilità, più che al ricorso alla chimica, che trasforma la natura organica del legno, può essere garantita ricorrendo ai nuovi concetti di facile sostituibilità degli elementi che possono andare fuori servizio ed al concetto di sacrificio – proteggere le parti più vulnerabili con elementi che appunto si sacrificano fino alla loro fine – nonché alla redazione di manuali di manutenzione e programmazione delle operazioni manutentive.

Normativa e opportunità

L'innovazione costruttiva con il legno trova grandi opportunità nelle nuove Norme tecniche per le costruzioni che legittimano il legno e i suoi ricomposti dal punto di vista strutturale. Le NTC sono entrate in vigore all'inizio del mese di luglio 2009. Una sezione è dedicata alla durabilità delle costruzioni di legno, tema molto attuale e di non facile soluzione. Alcune ricerche in atto dimostrano come l'impiego del legno accoppiato con il legno, senza ricorrere alle protesi e connessioni metalliche, possa eliminare cause di patologie e migliorare l'attesa di vita del legno anche in un Paese climaticamente difficile come il nostro.

Il testo normativo riguarda sia importanti prescrizioni – cogenti – per le strutture di legno (qualità, certificazione, durabilità, verifiche agli stati limite ultimi e di esercizio),

Figura 11. Solaio Montesel/Barel. Bellissimo decoro del solaio di legno a vista, realizzato per una villa nel trevigiano da Barel Legnami (Archivio Laner).



sia attenzioni prestazionali, che aprono a nuove opportunità di ricerca ed innovazione. Introduce nuovi concetti, come la robustezza (fare in modo che se c'è un cedimento locale, esso non si ripercuota sull'intero organismo. Ad esempio sono da evitare i crolli a domino), premia la duttilità delle strutture di legno con un coefficiente di struttura q nelle verifiche sismiche calibrato a seconda dei mezzi di unione, ma soprattutto legittima il legno come materiale strutturale! Pone attenzione alla verifica al vento. Sinteticamente posso affermare che qualora una struttura di legno sia verificata al vento, è verificata anche nei confronti dell'azione sismica.

Detta le modalità di resistenza al fuoco e ad altre azioni eccezionali. Agevola l'impiego di nuovi prodotti; incentiva la sperimentazione e la ricerca.

Come esempio di sperimentazione in atto nella nostra Università posso citare il significativo esito di alcune ricerche che prevedono l'impiego di connettori lignei (cavicchi), di stati di coazione e soprattutto le nuove frontiere progettuali che si aprono per il legno grazie alle avanzate tecnologie del controllo numerico (CNC). Altre norme sono il DM 192 e allegato 311 sul risparmio energetico. All'innovazione tecnologica e ai sempre più attuali concetti di prodotto – si spera – faranno da interfaccia progetti originali, nuove concezioni strutturali e maggiori attenzioni al risparmio energetico, non solo per il riscaldamento invernale, ma soprattutto per il raffrescamento estivo.

Figura 12. Fattoria nel Worcestershire. Protagonista è il rovere con cavicchi di bosso.



Centri di lavoro a controllo numerico

Un'altra grande opportunità di impiego del legno nelle costruzioni è oggi offerta dai centri di lavoro a controllo numerico. Tali tecnologie, veramente sofisticate e raffinate, di cui ci si può rendere sorprendentemente conto osservando l'eccellenza delle proposte fieristiche, proiettano il progetto con il legno verso scenari finora nemmeno immaginabili. Con tali macchine la lavorazione del legno supera il condizionamento del tempo – la lavorazione di taluni particolari costruttivi difficili e complicati viene eseguita in pochi secondi – e si potrà sempre più eliminare la presenza dell'acciaio, spesso fonte di patologie in molti componenti lignei.

Nuove tecnologie, accanto ad una vastissima tipologia di nuovi prodotti a base di legno, specie pannelli con prestazioni diversificate, influenzeranno il futuro prossimo dell'edilizia, anche se sarà necessaria una forte azione promozionale ed informativa soprattutto nei confronti dei progettisti.

Stati di coazione

È una sezione già legittimata nella normativa UNI per il consolidamento e restauro. È pochissimo coltivata, anche perché ancora di difficile modellazione, ma potrebbe costituire una alternativa ricca di inferenze sul piano del progetto.

Si tratta, come è già avvenuto per il cemento armato precompresso, di imparare a sfruttare energia preindotta negli elementi strutturali o a sfruttare l'incessante azione della forza di gravità.

Nella Guida 5 della Peter Cox (Flap, 2008) ho raccolto diverse applicazioni di stati di coazione nel legno, dedicando un capitolo alla macchina principe – il cuneo – di questa tecnologia.

Case di legno e mansarde

Perché costruire una casa di legno se i risultati formali, distributivi e di confort sono simili a quelli delle case di muratura? Quali potrebbero essere i plus, i vantaggi competitivi, di una casa di legno?

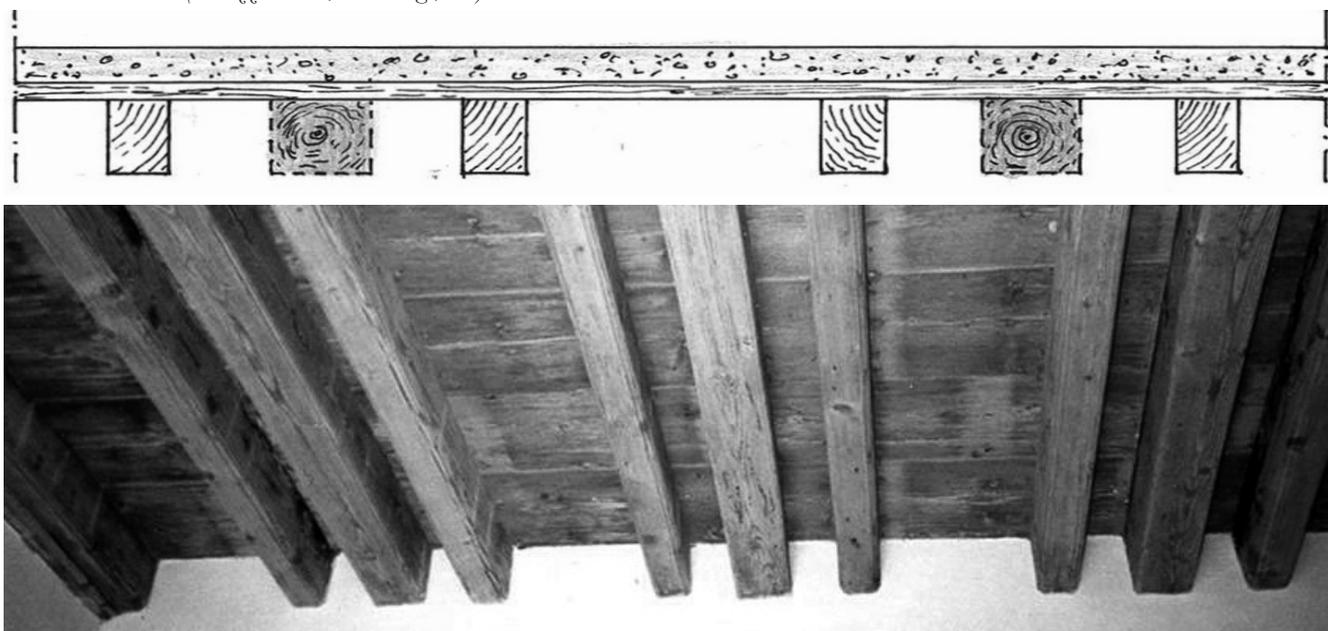
Un esempio può essere dato della percezione multisensoriale a cui il progetto può decisamente puntare: il tatto, l'odore, la vista, l'udito. Il confort del vivere nel legno. Si deve tendere a un progetto che pieghi le necessità strutturali all'interno, all'arredo, allo spazio. Ma forse la vera innovazione è la capacità di togliere la coltre di oblio che si è depositata sui secoli. L'innovazione del legno è infatti spesso la riscoperta tecnica e culturale del passato, quando il legno era protagonista nelle costruzioni.

Nel settore del restauro del patrimonio edilizio storico, grande risorsa che il nostro Paese possiede e che deve anche economicamente sfruttare, il legno potrà svolgere un ruolo da protagonista e di eccellenza, a patto di saper cogliere, con studi mirati, il formidabile magistero costruttivo e formale congelato nella tradizione, conservandolo, ma anche reinterpretandolo ed innovarlo.

La conoscenza, in altre parole, e lo studio delle applicazioni strutturali del legno del passato, consentirà di conservare, valorizzare, ma anche innovare l'azione restaurativa del nostro patrimonio costruito. Il nuovo millennio offre dunque al legno nelle costruzioni formidabili chance. La condizione è una sola. Che tale azione sia fondata sulla cultura costruttiva che da sempre ha contraddistinto l'impiego del legno nel passato, tale che è stato capace di perforare la coltre dei secoli ed arrivare fino a noi. Come dire che il futuro è il passato e la tradizione

Franco Laner, professore ordinario di Tecnologia dell'Architettura IUAV Venezia.

Figure 13-14. Splendido esempio di intervento di consolidamento. L'aggiunta di nuove travi "quadrate" non solo consolida il solaio, ma conferisce nuovo ritmo all'intradosso (Palazzo Bovini, Grottolengo, BS).



Evoluzione delle strutture di legno. Integrazione fra tecnologia, struttura e progetto

Evolution of wooden structures. Integration of technology, project and construction

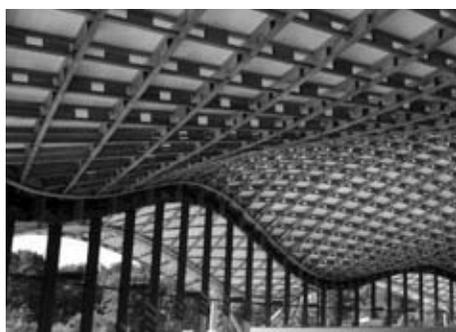
VITTORIO NASCÈ

Abstract

Sintesi redazionale dell'intervento del Prof. Ing. Vittorio Nascè, ordinario di Tecnica delle Costruzioni nella Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino. Tale sintesi è basata sulla trascrizione del Suo intervento eseguita da Giulia Balsamo. Sono richiamati i principali argomenti trattati, nella giornata del 26 novembre 2009, insieme ad alcune immagini, proiettate dallo stesso relatore ad illustrazione dell'intervento.

Editorial summary of Prof. Ing. Vittorio Nascè's speech, Structural Constructions Engineering professor in Architecture Faculty at Politecnico of Turin, on 26th November 2009. This summary is based on the transcription of his speech made by Giulia Balsamo. Here are mentioned the main topics of the day, together with some relevant pictures, showed by the Professor during his speech.

Figure 1, 2, 3, 4 (dall'alto in basso)



Il successo attuale delle costruzioni di legno in settori di speciale interesse strutturale, quali le coperture di media e grande luce e le passerelle pedonali

Vi contribuisce in generale una nuova attenzione verso i temi dell'ecologia e della sostenibilità ambientale, ma in modo specifico lo sviluppo che si è avuto nella ingegnerizzazione del legno quale materiale strutturale.

Espressione di tale sviluppo, più ancora dell'ampiezza di luce raggiunta da molte costruzioni (figura 1), è soprattutto la flessibilità dimostrata dal legno nell'affrontare nuove forme e nuovi schemi statici, estranei alla tradizione tipologica del materiale (figure 2-3-4). I procedimenti a controllo numerico che sono stati introdotti nella progettazione e nella costruzione delle strutture di legno consentono oggi, anche a questo materiale, di corrispondere alle nuove tendenze dell'architettura e di svincolarsi dalla soggezione alla morfologia strutturale classica, patrimonio sedimentato dalla cultura degli ingegneri nell'arco di quasi due secoli e composto di forme e schemi statici definiti.

L'ingresso delle strutture di legno nella normativa tecnica unificata sulle strutture delle costruzioni

Il legno gode oggi anche in Italia, parallelamente agli altri materiali strutturali quali acciaio e calcestruzzo, di una normativa tecnica autorevole, ampiamente condivisa, cogente e sicura. Dopo aver fatto ricorso per decenni a norme straniere (DIN 1052, SIA 164 o BS 5268) anche i tecnici italiani possono ora progettare e costruire strutture di legno secondo norme riconosciute per legge: a livello europeo l'Eurocodice EC5 e a livello nazionale Le Norme Tecniche NTC 14.01.2008 (figura 5).

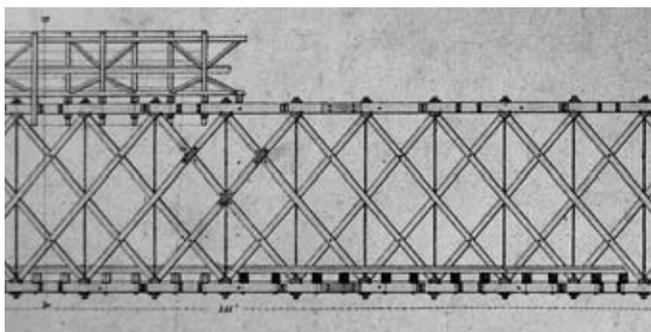
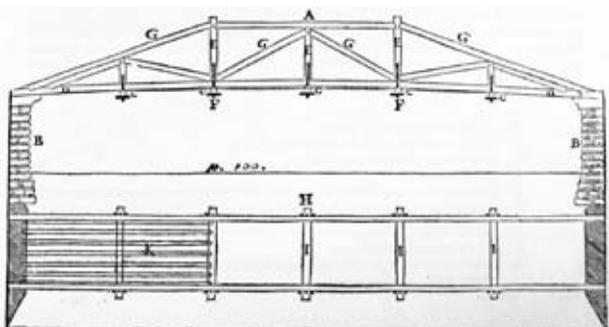
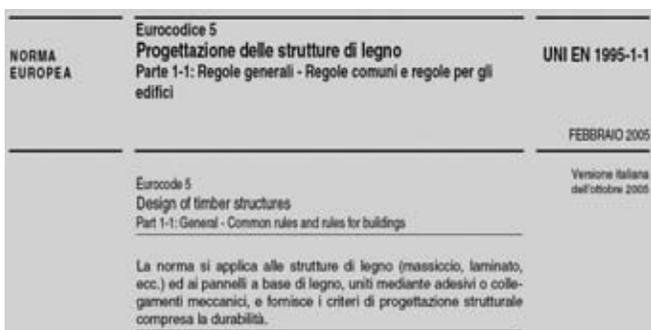
I vari attori della costruzione (progettista, costruttore, direttore dei lavori, collaudatore) dispongono oggi di indicazioni chiare in merito ai rispettivi

compiti e responsabilità e di una documentazione tecnica ampia e affidabile a supporto delle loro attività. È ora auspicabile che anche le Università facciano la loro parte rimediando alla mancanza quasi generalizzata dell'insegnamento delle costruzioni in legno nei programmi didattici delle facoltà sia di ingegneria sia di architettura. A questo ingresso delle costruzioni di legno nella normativa tecnica unificata, a fianco delle costruzioni di acciaio e di calcestruzzo armato, si è anche accompagnato uno sviluppo notevole del settore sul piano della cultura tecnica che ha interessato in particolare i criteri di sicurezza delle strutture di legno, il loro comportamento reologico e a rottura, la loro resistenza al sisma e all'incendio.

Il contributo culturale del legno alla fase iniziale di sviluppo dell'ingegneria strutturale

Nella meccanica dei materiali la trave di legno ha rappresentato, per oltre un secolo a partire dai primi decenni del '700, il corpo sperimentale per eccellenza sul quale si sono sviluppati i primi studi sulla resistenza dei materiali ed in particolare sulla teoria della flessione. Mantenne questo ruolo, favorita dalla sua deformabilità, fino alla metà dell'800 quando fu soppiantata dalla trave di ferro

Figure 5, 6, 7 (dall'alto in basso).

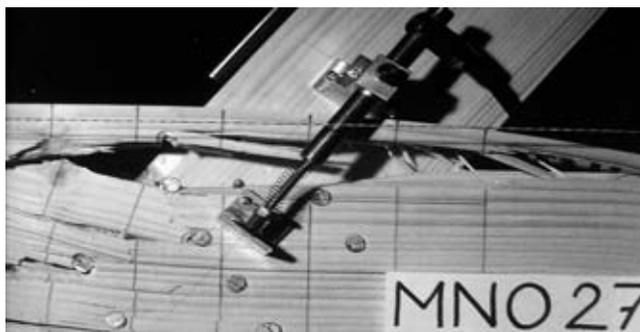
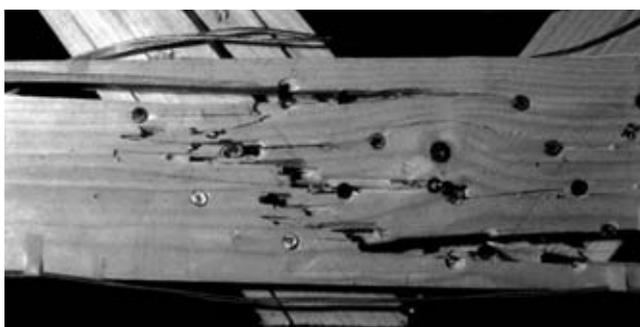
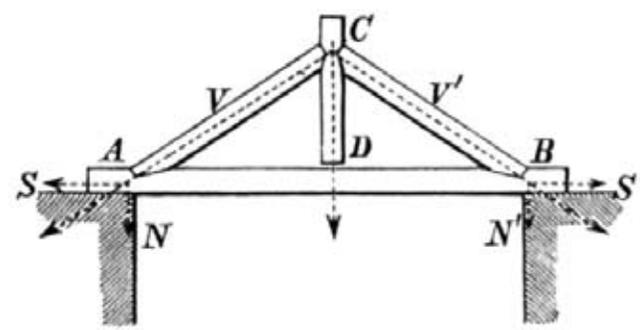


materiale preferito per la sperimentazione soprattutto in virtù della sua omogeneità e isotropia. Nella teoria e nel progetto delle strutture il contributo più rilevante del legno è rappresentato dalla struttura reticolare (figure 6-7), concetto e forma fondamentale dell'ingegneria strutturale che si è sviluppata a partire dalla capriata a tre e a quattro aste (*king post truss* e *queen post truss*) (figura 8), si è poi affermata nelle grandi travate di legno americane della prima metà dell'800 e si è infine diffusa in Europa nella seconda metà del secolo supportata dalla nuova statica grafica, da un nuovo materiale, il ferro agglomerato, e dalla enorme espansione che ebbe in quegli anni la costruzione ferroviaria.

Il problema generale dei collegamenti e la concezione progettuale delle strutture di legno quali strutture composte di legno e acciaio

Così vengono compensati due limiti caratteristici del legno, cioè la anisotropia del materiale e la fragilità a trazione. A differenza di ferro, acciaio e calcestruzzo, che sono prodotti industrialmente, il legno è materiale naturale: la sua struttura – come fu osservato da Paul Jaccard, professore di botanica nel Politecnico di Zurigo – è fatta

Figure 8, 9, 10 (dall'alto in basso).



A&RT

anzitutto per le esigenze della vita della pianta, non per quelle delle costruzioni.

In particolare, alle funzioni del trasporto delle linfe nutritive e della resistenza flessionale all'azione del vento corrisponde una struttura fortemente anisotropa con resistenze a compressione e a trazione in direzione perpendicolare alla fibratura che sono circa 1/8 ed 1/30 delle corrispondenti resistenze in direzione parallela.

Il problema interessa direttamente la realizzazione dei collegamenti fra i diversi elementi che compongono la struttura.

I collegamenti tradizionali del legno massiccio (a intaglio, a tenone e mortasa, a mezzo legno ecc.) sebbene siano ancora apprezzati da molti architetti per la loro eleganza, comportano in linea generale una grave riduzione di resistenza degli elementi interessati, sia per riduzione diretta della sezione resistente, sia per lo stato di sollecitazione locale dei collegamenti che quasi sempre coinvolge componenti di sollecitazione ortogonali alle fibre.

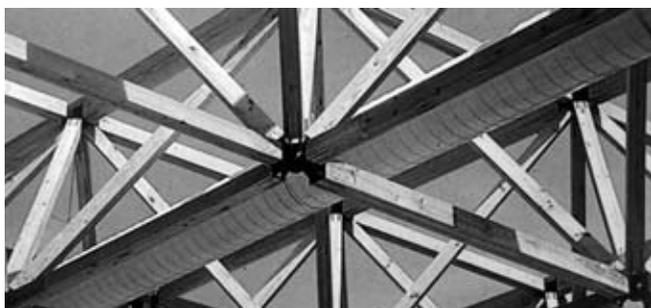
Per questa ragione l'impiego di piastre, di tiranti e staffe metalliche, assicurate con chiodi, perni e bulloni ha sempre accompagnato con poche eccezioni la realizzazioni delle strutture di legno.

A partire da metà '800 la barra metallica a sezione circolare ha spesso sostituito il legno anche nelle aste tese delle strutture reticolari, ad iniziare dalle catene delle capriate, contribuendo anche ad una maggiore leggerezza della loro immagine architettonica.

Oggi il requisito di un comportamento duttile a rottura, particolarmente per le costruzioni in zona sismica, rappresenta un ulteriore motivo per concepire il progetto della struttura di legno quale struttura sostanzialmente composta, dove ai componenti metallici sia affidato il compito di assicurare la necessaria duttilità.

La struttura di legno, per i bassi valori di resistenza già

Figure 11, 12 (dall'alto in basso).



richiamati, il comportamento fragile in trazione e la grande deformabilità anelastica in compressione ortogonale alle fibre, non risponde in modo favorevole all'azione sismica se i suoi collegamenti non sono integrati da elementi metallici in grado di evitare la formazione di giochi a corsa libera e di accrescere la dissipazione di energia senza degrado dei cicli di isteresi del materiale (figure 9-10).

La coerenza fra forma architettonica, materiale e tecnica costruttiva nelle moderne costruzioni in legno lamellare incollato

La coerenza fra forma, materiale e tecnica costruttiva è aspetto prioritario della qualità di una struttura.

Così è stato, ad esempio, per la volta in muratura di pietra o di mattoni, per il guscio di calcestruzzo armato, per la piastra reticolare di acciaio.

Le strutture di legno lamellare incollato, materiale nuovo e diverso dal legno massiccio, naturalmente candidato per realizzare strutture a parete piena o reticolari su media e grande luce in competizione con l'acciaio, non appaiono sempre coerenti alla precisa identità del materiale.

È quindi giustificata la perplessità di molti, ingegneri ed architetti, di fronte a strutture di legno lamellare incollato progettate come se fossero di legno massiccio.

O ancora peggio, come se fossero strutture di acciaio (figura 11). Ripetizioni dirette di schemi strutturali propri della costruzione metallica, quali ad esempio le piastre reticolari a doppio strato, costruite sostituendo il legno all'acciaio nel solo corpo delle aste nodi esclusi.

Tecnica costruttiva coerente al legno lamellare incollato, per grandi strutture, è certamente la connessione di elementi complanari a mezzo di piastre multiple di acciaio inserite in tagli paralleli alla fibratura degli elementi confluenti sul nodo (figura 12).

Strutture di grande qualità sono state ripetutamente rea-

Figure 13, 14 (dall'alto in basso).



lizzate con questa tecnica (figure 13-14-15).

La deformabilità delle strutture di legno

La deformabilità delle strutture di legno risulta, in linea generale, nettamente superiore a quella delle strutture di acciaio o di calcestruzzo armato.

Esprimendo ad esempio la deformabilità di una trave inflessa attraverso il rapporto fra freccia f e luce L della trave si ottiene (in ipotesi di viscosità lineare del materiale):

$$f / L = K (\sigma/E) (L/b) (1 + k_{def})$$

dove:

(σ/E) è il rapporto fra la tensione di flessione ed il modulo elastico,

(L/b) è il rapporto fra luce ed altezza della trave,

K, k_{def} sono coefficienti il primo dei quali tiene conto della condizione di vincolo, il secondo dell'aumento di deformazione nel tempo per effetto combinato della viscosità e, nel caso del legno, dell'umidità del materiale.

A parità di condizioni di vincolo e di altezza della trave si rileva, al confronto con l'acciaio, il valore non nullo del coefficiente k_{def} ed un rapporto (σ/E) generalmente superiore; al confronto col calcestruzzo, un rapporto (σ/E) mediamente triplo (figura 16).

La trave inflessa a parete piena di legno lamellare incollato ha quindi, frequentemente, una sezione di altezza rilevante rispetto alla luce, che ne penalizza l'immagine architettonica.

Da qui il ricorso a schemi di tipo iperstatico o la preferenza, appena possibile, per le strutture ad arco o per quelle reticolari. Altro settore che in prospettiva potrebbe essere penalizzato dalla deformabilità del materiale è quello degli edifici multipiano per l'importanza che potrebbe assumere, nel tempo, l'accorciamento differenziale delle strutture verticali (figura 17).

Vittorio Nascè, ingegnere, Professore ordinario di Tecnica delle Costruzioni nella Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino.

Figure 15 (in alto), 16, 17.



EFFETTI DELLA VISCOSITÀ (IPOTESI DI VISCOSITÀ LINEARE)

- effetto geometrico (G): aumento delle deformazioni
- effetto statico (S): alterazione del regime delle sollecitazioni

	Schema isostatico	Schema iperstatico
Struttura omogenea	G	G
Struttura non omogenea (materiale, umidità)	G	G + S



Qualità nella costruzione di case di legno

Quality of timber houses construction

PETER ERLACHER

Abstract

La crescita esponenziale del settore delle costruzioni di legno in Alto Adige è legata al successo del progetto lungimirante attivato una decina di anni or sono chiamato *Südtiroler Holzhaus*.

Il progetto, nato con l'obiettivo di realizzare edifici di legno di qualità, è maturato attraverso la definizione dei criteri base che caratterizzano la casa di legno e grazie alla formazione delle maestranze coinvolte nella realizzazione degli edifici.

Alcuni dei criteri fissati riguardano la struttura portante, l'isolamento termico e acustico, la permeabilità all'aria, la scelta del materiale opportuno e non per ultimo la durabilità del manufatto. Il messaggio che si è voluto far passare riguarda l'importanza della corretta progettazione e realizzazione dell'opera a partire dalle sorprendenti proprietà e caratteristiche del materiale utilizzato nella totale consapevolezza che costruire con il legno significa costruire un futuro sostenibile.

Exponential growth of the field of timber construction in Alto Adige is linked to the success of the project Südtiroler Holzhaus, started about ten years ago. The project was born to create high quality timber buildings.

It accrued through the definition of the basic criteria that characterize the wood house and thanks to the skills of the workers involved in constructing buildings. Some of the fixed criteria are about bearing structure, thermal and acoustic insulation, air permeability, the choice of the right material and degradation. The message is about the importance of a correct design and production of the building, starting from the special properties and characteristic of the material that should be used being aware that building with wood means building a sustainable future.

Figura 1. Tipico maso in Val Senales (BZ).



La tipologia costruttiva ricorrente nelle montagne dell'Alto Adige, sino alla metà del secolo scorso, prevedeva l'utilizzo del legno con sistema a blocchi (*blockhaus*); in particolare, le pareti erano realizzate mediante la sovrapposizione di tronchi, preventivamente lavorati, a formare la struttura portante e il tamponamento esterno. Tale sistema costruttivo oggi non è più applicabile, in quanto non compatibile con le prestazioni richieste all'involucro (isolamento termico, tenuta all'aria, isolamento acustico, resistenza all'incendio ecc.).

Per sopperire a tale carenza «tecnologica» e per incentivare la ripresa del settore costruttivo legato al legno, dieci anni fa si è dato vita a un progetto sostenuto da un gruppo di lavoro di carpentieri e professionisti dell'Alto Adige sul tema della casa di legno, chiamato *Südtiroler Holzhaus*, con l'obiettivo di:

- definire alcuni criteri per la casa di legno costruita a regola d'arte;
- formare le figure preposte alla costruzione, ovvero i carpentieri;
- realizzare costruzioni di qualità.

Attraverso la definizione dei criteri costruttivi è possibile,

grazie all'ausilio di una checklist, valutare la buona riuscita e la qualità della costruzione di legno. Le caratteristiche principali della *Südtiroler Holzhaus* interessano soprattutto la struttura portante, l'isolamento termico e acustico, la permeabilità all'aria, i materiali e la durabilità. Entrando nel merito della struttura portante, abbandonati i tradizionali sistemi costruttivi tra cui il sistema a blocchi (*blockbau*) e il sistema a ossatura (*fachwerk*), non più rispondenti alle mutate esigenze tecnologiche, si è intrapresa la strada del sistema a telaio (*baloon frame*), tipico della cultura costruttiva americana, e del sistema realizzato mediante pannelli (*cross-lam*).

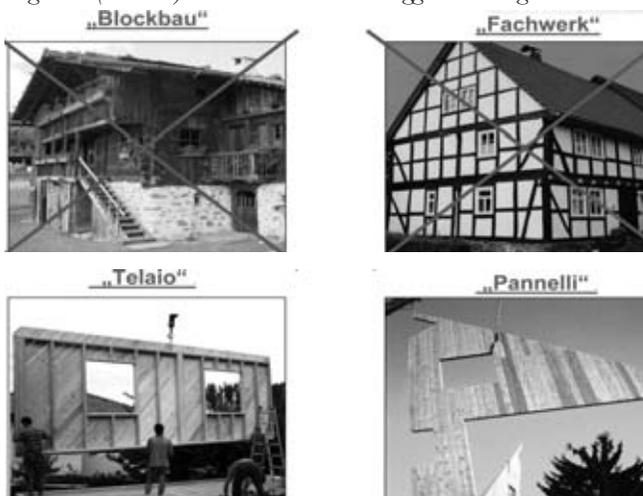
La maggior parte delle strutture di legno è messa in opera mediante questi due ultimi sistemi. In particolare, la *struttura a telaio*, realizzata mediante elementi puntuali (pilastri e travi), prevede un montaggio molto semplice, non richiede macchinari costosi, è montata da personale qualificato, è leggera e di veloce costruzione. La *struttura a pannelli* prevede l'ausilio di elementi strutturali di dimensioni 15 x 3 m circa, lavorati con macchinari a controllo numerico. Anche tale struttura è veloce e leggera a confronto dei sistemi costruttivi tradizionali (muratura,

Figura 2. *Blockhaus* (XVIII secolo).



Figura 3. I sistemi strutturali più importanti.

Figura 4 (in basso). Sistema a telaio: montaggio con autogrù.



A&RT

metallo ecc.).

Entrando nel merito della questione legata all'*isolamento termico*, due sono gli aspetti rilevanti: la protezione dal freddo invernale – alle nostre latitudini – e la protezione dal caldo estivo.

Se il primo aspetto è facilmente risolvibile mediante il corretto isolamento dell'involucro (al fine di mantenere una temperatura interna di 20°C), il secondo è più complesso, tenuto conto dei rigidi parametri fissati dalla normativa odierna (decreto 59/2009: temperatura massima interna inferiore a 26°C).

Le case di oggi sono dotate di macchinari necessari per garantire il comfort invernale ed estivo: caldaie, caminetti, pompe di calore, condizionatori ecc. Queste non sono tuttavia soluzioni lungimiranti, poiché richiedono una quantità significativa di energia, a fronte di costi economici e ambientali rilevanti.

Se nel campo automobilistico il progresso tecnologico ha portato a soluzioni a basso consumo energetico ed è in continuo avanzamento (oggi un'auto ha un consumo di 5-7 litri/100 km quando venti anni fa un'auto consumava 20 litri/100 km), questo non vale per gli edifici che

consumano ancora come dei «camion»!

Il parametro che permette di valutare il consumo energetico è il fabbisogno termico per riscaldamento (quantità di energia necessaria per mantenere la temperatura interna di riferimento), riferito all'unità di superficie calpestabile; tale parametro espresso in kWh/m²a può, in alternativa, essere espresso in litri (di gasolio)/m²a tenuto conto che 1 litro di gasolio produce circa 10 kWh di energia.

Gli edifici realizzati sino a qualche anno fa in regola con la normativa vigente sono da 150-170 kWh/m²a, pari a 15-17 litri circa, mentre a Bolzano dal 2007 i nuovi edifici hanno un fabbisogno inferiore a 5 litri/m²a. Un caso esemplare è rappresentato dalla nuova sede della Naturalia Bau recentemente realizzata nei pressi di Merano.

L'edificio in struttura di legno ha un fabbisogno energetico per riscaldamento di 1 litro, prodotto interamente sul tetto con un impianto fotovoltaico associato a un impianto geotermico; è un edificio a bilancio energetico nullo, zero emissioni per l'appunto!

Tale struttura consuma 17 volte in meno di un edificio

Figura 5. Pannelli a tavole sovrapposte incollate.

Figura 6. Comfort termico inverno/estate



Figura 7. Pannelli a tavole sovrapposte incollate (sistema KLH).

Figura 8. Il consumo di energia degli edifici costituisce il 45% del fabbisogno energetico nazionale.



standard e rappresenta il futuro degli edifici; non edifici a basso consumo ma edifici che producono energia, edifici attivi. Per raggiungere tali obiettivi il primo passo è realizzare un involucro completamente isolato, partendo dall'analisi dei singoli componenti che lo caratterizzano: solaio contro terra o su autorimessa, pareti esterne, serramenti e copertura.

Nella progettazione delle singole stratigrafie i ponti termici generati dalla struttura o insiti nella geometria condizionano molto il risultato finale. Il legno come materiale da costruzione, rispetto ai materiali alternativi (laterizio, metallo, cls armato), aiuta molto il raggiungimento di prestazioni elevate, tenuto conto della bassa conducibilità termica insita nel materiale e delle soluzioni costruttive adottate: ad esempio, nella struttura a telaio, l'intercapedine tra un pilastro e l'altro è colmata di isolante, riducendo di molto lo spessore complessivo della parete.

Se a riguardo del riscaldamento invernale la normativa vigente ha fissato dei limiti relativi al fabbisogno energetico e alle trasmittanze dei singoli componenti, in merito al problema della *protezione dal surriscaldamento estivo* sono stati introdotti dei parametri di riferimento, non sempre

chiari ed esaustivi. Si parla di massa superficiale, di trasmittanza dinamica e di sfasamento. Prendendo a confronto tre soluzioni alternative di parete è possibile fare le seguenti considerazioni: presa una parete di calcestruzzo armato di spessore 10 cm, il parametro di massa superficiale richiesto dalla normativa vigente è soddisfatto ($233 \text{ kg/m}^2 > 230 \text{ kg/m}^2$), ma non quello relativo alla trasmittanza dinamica e soprattutto quello inerente lo sfasamento ($2 \text{ ore} < 9 \text{ ore}$). La massa superficiale non è quindi un parametro rappresentativo della problematica del surriscaldamento estivo.

Preso invece una parete in laterizio forato porizzato, per ottenere una massa superficiale nel rispetto della norma sono necessari 30 cm di materiale; tale soluzione garantisce una trasmittanza dinamica pari a $U_{\text{din}} = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K} > U_{\text{din}} = 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$ (trasmittanza limite imposta dalla normativa per le pareti), al cospetto di uno sfasamento ideale ottenuto di 11 ore maggiore dello sfasamento limite di 9 ore.

Anche in questo caso è chiaro che il parametro di riferimento, la trasmittanza dinamica, non esaurisce la questione legata al surriscaldamento estivo. Preso infine una

Figura 9. Edificio in legno a zero emissioni.

Figura 10. Involucro termico.

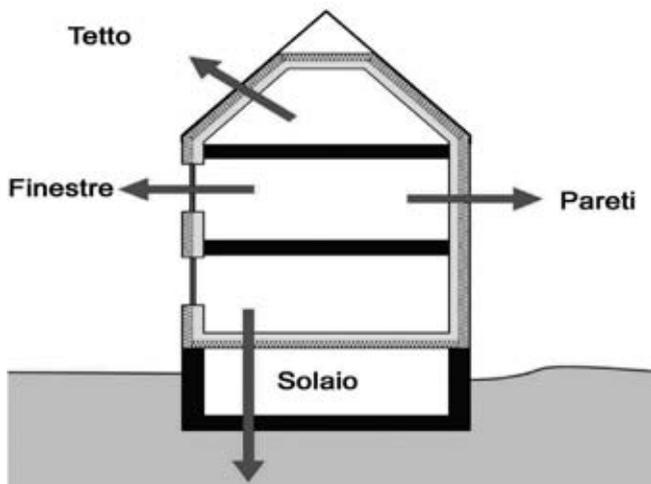


Figura 11. Isolamento termico.

Figura 12. Parametri per l'estate.



Parametri per l'estate

Obiettivi	
-min. 230 kg/m ²	oppure
-U _{din} < 0,12 pareti	
-U _{din} < 0,20 tetti	
Sfasamento min. 9 ore	

Struttura	kg/m ²	Spessore	U _{din}	Sfasamento
Calcestruzzo	230	10 cm	3,58	2 ore
Laterizio forato	230	30 cm	0,30	11 ore
Parete X-LAM 10cm + Cappotto termico 10 cm	65	20 cm	0,07	14 ore

A&RT

parete in cross-lam di spessore 10 cm con abbinato un cappotto da 10 cm, non risulta soddisfatto il parametro di massa superficiale (il legislatore in merito alle strutture di legno ha fornito l'alternativa della trasmittanza dinamica), ma risulta ampiamente raggiunto il parametro di trasmittanza dinamica e di sfasamento. Questa è una prova ulteriore delle ottime caratteristiche del materiale legno, valutato sia nelle condizioni invernali che in quelle estive.

Tenuto inoltre conto della eterogeneità climatica del nostro territorio (in Italia sono presenti zone climatiche A con meno di 600GG e zone F con più di 3000GG) il legno come materiale da costruzione, se ben progettato e utilizzato, si adatta perfettamente alle differenti condizioni locali.

Ritornando ai criteri fissati per la *Südtiroler Holzhaus* la buona riuscita della costruzione non può prescindere dall'utilizzo di *materiali naturali*; affinché sia completamente rispettato il ciclo di vita chiuso del legno, «dalla culla alla tomba», è importante l'utilizzo di materiale non trattato chimicamente, sano per l'uomo e per l'ambiente. Tale condizione non vale solo per la struttura ma, tendenzialmente, per tutti i componenti: sarebbe poco coerente realizzare una costruzione di legno e isolarla con un cappotto in polistirene!

Il mercato offre soluzioni alternative naturali (ad esempio fibra di legno, pannelli di sughero, fibra di lino ecc.), totalmente rinnovabili.

Tale questione è strettamente legata al tema della *durabilità della costruzione*: come sottolineato in precedenza, il legno è un materiale sorprendente dal punto di vista delle proprie caratteristiche ma altrettanto sorprendente è la

sua biodegradabilità totale.

Siamo quindi noi a dover decidere quanto debba durare la nostra costruzione; non si può parlare di durabilità naturale, tralasciando la questione della manutenzione e, tanto meno, della scelta della specie opportuna in funzione dell'esposizione del materiale.

La corretta progettazione e realizzazione, abbinata a una manutenzione periodica (necessaria in tutte le costruzioni), non potrà che garantire la durata illimitata dell'edificio indipendentemente dalle condizioni climatiche esterne.

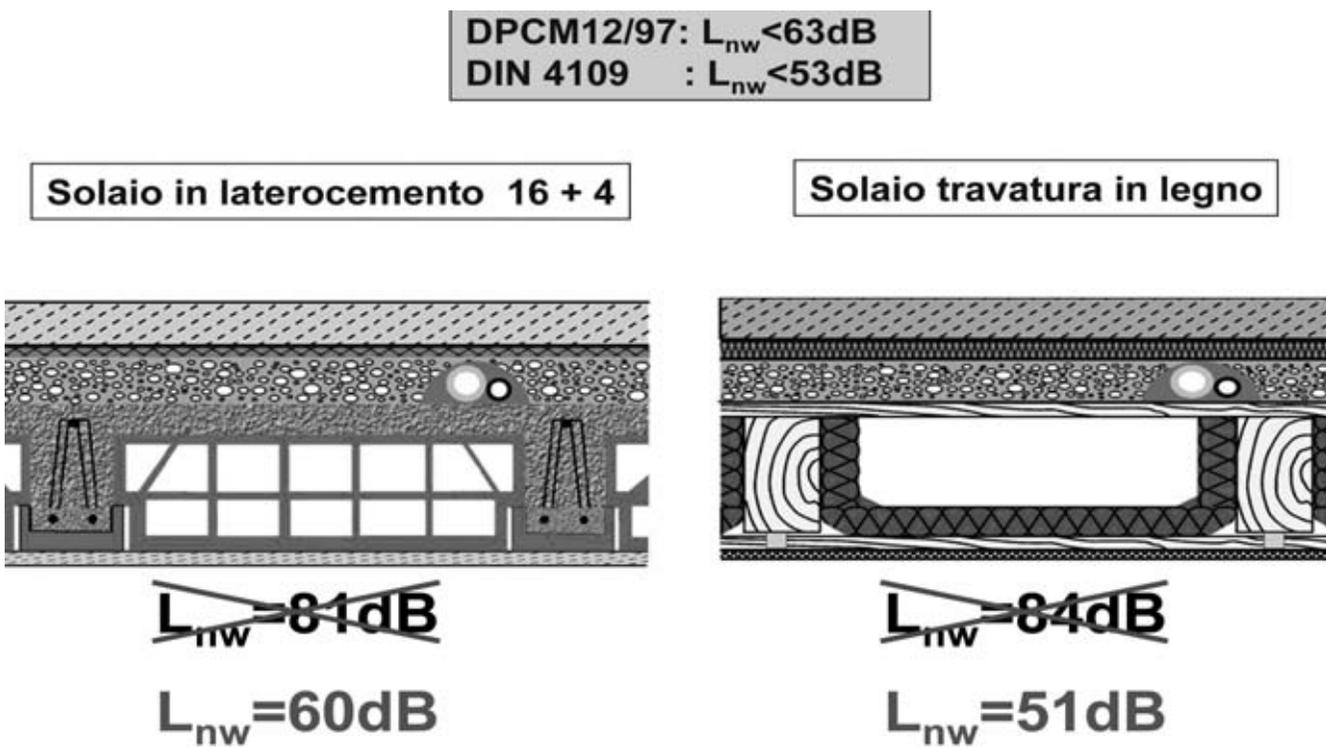
Altro criterio importante riguarda l'*isolamento acustico* delle strutture. In particolare, la normativa vigente in materia prescrive livelli di riferimento per tutti i componenti dell'involucro edilizio.

Presi a confronto un solaio con struttura di laterizio e un solaio con struttura di legno e come parametri di riferimento quelli imposti per i solai dalla normativa italiana (DPCM 12/97) e da quella tedesca (DIN 4109), è possibile fare le seguenti considerazioni: entrambe le strutture al rustico garantiscono livelli di rumore di calpestio assolutamente non compatibili con i livelli fissati dalle normative.

Se correttamente realizzato e isolato, il solaio in laterocemento, abbinato a un materassino acustico adeguato e alle stratigrafie tradizionali, garantisce un livello $L_{nw}=60dB$ inferiore al limite imposto dalla normativa italiana ed è quindi adeguato.

Il solaio di legno, a differenza, garantisce livelli di isolamento superiori $L_{nw}=51dB$, rispettando anche la normativa tedesca, molto più rigida della corrispettiva italiana.

Figura 13. Isolamento acustico nei solai: confronto.



Anche in questo caso, la soluzione con struttura di legno garantisce ottime prestazioni: è importante sottolineare che piccoli errori costruttivi possono compromettere la riuscita dell'intero progetto.

Altro fattore non meno rilevante riguarda la questione della *permeabilità all'aria* o tenuta all'aria.

Più l'edificio è isolato, più tale parametro influisce sulla prestazione complessiva dell'edificio.

Realizzare un involucro a tenuta non vuol dire realizzare una struttura stagna, che non traspira: è importante che non ci siano spifferi e passaggi d'aria libera che possono limitare le prestazioni dell'isolamento e portare alla formazione di condensa all'interno del pacchetto.

Partendo da tali criteri, il successo del progetto menzio-

nato ha indotto negli ultimi anni un incremento delle costruzioni di legno nella provincia di Bolzano, passando da una percentuale di nuove costruzioni di 01% nel '97 a un valore di 15% nel 2008.

Tale incremento denota una nuova sensibilità nei confronti degli edifici di legno, sostenuta senz'altro dalla qualità costruttiva e dalla consapevolezza che costruire con il legno è costruire un futuro sostenibile.

Peter Erlacher (Naturno), insegnante di Fisica tecnica, Materiali ed Ecologia presso i Corsi per Maestro artigiano alla Scuola Professionale per l'Artigianato a Bolzano, socio fondatore del progetto «Casa di legno del Sud Tirolo» dell'APA, docente nel Master CasaClima presso l'Università di Bolzano.

Figura 14. Accorgimenti per una buona tenuta all'aria..



Figura 15. Ciclo di vita...

Figura 16 (in basso). Durabilità delle costruzioni in legno.



Considerazioni sulla sostenibilità ambientale/energetica delle costruzioni in legno

Consideration on environmental/energetic sustainability of timber constructions

MARCO FILIPPI, VALERIA MARTA ROCCO

Abstract

Negli ultimi anni la crescente attenzione verso i problemi ambientali ed energetici ha portato ad una rivalutazione dell'uso del legno in architettura. Aspetti ecologici e tecnologici del "materiale legno" dimostrano che un suo maggiore impiego in edilizia è possibile e consigliabile non solo dal punto di vista delle prestazioni fisico-meccaniche, ma anche rispetto agli equilibri eco-sistemici (attualmente in Europa il suo tasso di utilizzazione è inferiore a quello di rigenerazione). È importante però essere consapevoli che l'uso del legno, come materiale per il sistema costruttivo o di finitura delle costruzioni, non deve essere promosso "ad ogni costo" e forzatamente. Il legno va adottato solo nei casi in cui si verificano le condizioni favorevoli alla sua preferenza rispetto a materiali concorrenti e richiede specifiche competenze a livello progettuale e costruttivo per ottenere una corretta realizzazione.

The current attention to the environment and energy problems led up to revalue the use of wood in architecture. Environmental, ecological, biological and technological features of this resource show that a further utilization of wood in architecture is not only possible but also recommended from the point of view of the physical and mechanical performances and from the world ecosystem equilibrium (nowadays the wood utilization rate is far lesser than the rate of its re-establishment in Europe). However it's important to be aware that the use of wood, as a building material for constructive system or finishings, must not be promoted at any cost and forcedly.

The wood must be adopted only in the cases in which the favorable conditions to choose it are verified in comparison to competing materials. The wood asks design and constructive specific responsibilities to get a correct building product.

Figure 1a, 1b. La «Fairmule House» di Londra è un edificio in legno alto 5 piani costruito impiegando pannelli di compensato di tavole lunghi fino a 12,5 m, larghi 2,9 m e spessi 170 mm (Fonte: CEI-BOIS).



La risorsa legno come materiale per la costruzione sostenibile

Il concetto della sostenibilità energetica e ambientale è entrato con forza nell'ambito edilizio veicolato da due importanti motivazioni: da un lato il settore delle costruzioni risulta essere uno dei principali protagonisti della questione ambientale, a causa dello sfruttamento di risorse naturali non rinnovabili, dell'uso del territorio, del consumo energetico relativo a tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto edilizio e della produzione di rifiuti da demolizione; dall'altro coloro che abitano e lavorano negli ambienti costruiti si aspettano di trovare in essi condizioni di comfort e salubrità.

La realizzazione di un'opera secondo i principi dell'edilizia sostenibile deve

- rendere minimo l'impatto negativo sugli ecosistemi locali;
- rendere minimo il consumo di risorse naturali;
- rendere minime le emissioni che impattano negativamente sugli ambienti confinati in cui viviamo e sull'atmosfera del pianeta;
- rendere minimo lo scarico di rifiuti solidi ed effluenti liquidi e contenere

le infrastrutture necessarie per la loro rimozione;

- rendere massima la qualità degli ambienti confinati: qualità dell'aria, comfort termico, visivo ed acustico.

Per verificare gli esiti delle strategie progettuali adottate si possono impiegare due diversi approcci:

- un primo approccio che contempla un'analisi integrale del problema - impatto energetico-ambientale - attraverso la quantificazione dei flussi di materia ed energia durante l'intero ciclo di vita, dall'acquisizione delle materie prime al fine vita della costruzione (*«from cradle to grave»*);
- un secondo approccio che contempla un'analisi parziale del problema, poiché focalizza l'attenzione sull'uso dell'energia in fase di esercizio e stima il fabbisogno energetico annuo del sistema edificio-impianti.

Il primo approccio utilizza metodi quantitativi che consentono di prendere in esame l'energia inglobata nella costruzione, l'energia utilizzata in esercizio e le emissioni prodotte lungo tutta la vita del prodotto edilizio. Ciò comporta una scelta consapevole dei materiali da costruzione (in termini di durabilità, flessibilità, riciclo e riuso, quantità di energia utilizzata nella produzione, nel trasporto e nella messa in opera), l'adozione di strategie progettuali per contenere i consumi energetici e l'attenzione al reimpiego di parti di edificio in fase di decostruzione. Esso è alla base dei metodi a punteggio (come i protocolli BREEAM, LEED, ITACA ed altri) mediante i quali si effettuano oggi le valutazioni dei progetti e delle costruzioni dichiarate sostenibili.

Il secondo approccio è invece tipico delle normative che hanno per obiettivo il contenimento del consumo energetico degli edifici attraverso la cosiddetta «certificazione energetica». Il legno viene considerato il materiale ecologico per eccellenza, in quanto è una risorsa naturale, rinnovabile e biologicamente degradabile. Lo sviluppo dell'albero sfrutta la sola energia solare e la sua crescita avviene anche senza apporto di fertilizzanti.

Il legno è composto, per il 50 % della sua massa anidra, da carbonio che è fissato dall'atmosfera durante il processo di fotosintesi clorofilliana. Un metro cubo di legname «in piedi», per effetto della fotosintesi, assorbe nella fase di crescita 1 t di CO₂ e rilascia 0,7 t di O₂¹. Il quantitativo di ossigeno liberato è dunque considerevole, tanto che si attribuisce alle foreste il titolo di «polmoni verdi» e «purificatori del globo terrestre». La sua rinnovabilità ne garantisce un costante e durevole uso se l'approvvigionamento avviene secondo un prelievo compatibile con i cicli biologici della rigenerazione; non deve infatti essere alterato il capitale iniziale né gli equilibri dell'ecosistema. Al fine di garantire ciò sono stati messi in atto strumenti idonei per intervenire sulla pianificazione, sull'attività gestionale e sul mercato del legname e in tale ambito si inserisce la certificazione forestale che a scala

mondiale vede tra i marchi più diffusi l'FSC (Forest Stewardship Council) e il PEFC (Programme for Endorsement of Forest Certification).

Poiché il legno è un materiale che richiede una limitata quantità di energia per la lavorazione (la produzione di 1 m³ di cemento richiede un apporto energetico 9 volte superiore a quello di un identico volume di legno massiccio, mentre quella di 1 m³ di acciaio ne richiede uno di 431 volte superiore²), il suo impiego nelle costruzioni consente di fatto una riduzione dell'anidride carbonica: la quantità sottratta di CO₂ dall'atmosfera nella fase di crescita è superiore a quella emessa nella fase di lavorazione. Nelle valutazioni delle emissioni effettive di CO₂, che prendono in considerazione la fase di realizzazione di un prodotto, si trovano dati che indicano per le latifoglie un'emissione «negativa» pari a circa -1,5 t di CO₂ per m³ di prodotto e per le conifere pari a circa -0,5; nel caso di laterizi e calcestruzzi standard i suddetti valori variano da +0,2 a +0,5 t di CO₂ per m³ e per i metalli superano 4 t di CO₂ per m³³. Sostituire con un metro cubo di legno altri materiali da costruzione si tramuta quindi in una riduzione media di emissioni di CO₂ compresa tra 0,75 e 1t. Nel caso di un combustibile fossile la combustione produce, come è noto, anidride carbonica a causa della presenza in esso di carbonio; mentre il legno bruciando non fa che restituire il carbonio «fissato» durante la crescita e dunque può essere considerato come un «serbatoio» a lungo termine di carbonio⁴.

Per esempio si è calcolato che per la costruzione della «Fairmule House» di Londra, costruita in pannelli di compensato di tavole, sono stati utilizzati 360 m³ di legno, che corrispondono al trattenimento di 300 t di CO₂ dall'atmosfera. Se fossero stati utilizzati calcestruzzo o acciaio al posto del legno ci sarebbero stati circa 720 t di emissioni⁵.

Un ulteriore esempio dei benefici derivanti dall'utilizzo del legno nella costruzione di abitazioni si ha con la verifica dell'energia necessaria all'edificazione e gestione di una casa monofamiliare, che realizzata con materiali tradizionali (contabilizzando la loro produzione, trasporto, escavazione, realizzazione di impianti) varia da 250.000 a 400.000 kWh mentre con l'impiego del legno tale valore può ridursi del 30%⁶. Confrontando diverse analisi e valutazioni che considerano il ciclo di vita di edifici in legno, in acciaio e calcestruzzo si evince che⁷:

- i prodotti in legno risultano nettamente più sostenibili di quelli in acciaio o in calcestruzzo; i miglioramenti in termini di impatti ambientali sono dell'ordine del 60%;
- la fase di prima trasformazione del legno (taglio, esbosco e trasporto in azienda), nei confronti delle fasi di estrazione delle materie prime per la realizzazione dei prodotti in acciaio e calcestruzzo, apporta vantaggi non significativi;
- la fase di trasporto è quella che nel complesso causa i maggiori impatti all'ambiente, seguita da quella di produ-

A&RT

zione;

- i maggiori vantaggi ambientali nell'uso di prodotti in legno si ottengono in fase di lavorazione; i miglioramenti in termini di impatti ambientali sono superiori al 50% e possono raggiungere quasi il 100%;
- i prodotti di legno sono meno facilmente riciclabili di quelli in acciaio; i prodotti in acciaio risultano però essere assai dannosi per le emissioni tossiche in acqua;
- i prodotti di legno maggiormente lavorati, quali quelli composti da particelle orientate ed incollate (*Oriented Strand Lumber e Parallel Strand Lumber*), apportano danni all'ambiente maggiori.

Altro aspetto da non sottovalutare, nella scelta del legno come materiale da costruzione, è la sua riciclabilità e riutilizzabilità come materia prima seconda. Al termine del primo ciclo di vita il legno e i suoi derivati possono infatti essere riutilizzati, riciclati o usati come fonte energetica contenente carbonio «neutro» (quello fissato in fase di crescita dell'albero). In questo quadro il riciclaggio dei materiali da costruzione non costituisce solo una soluzione al problema, ma permette anche un notevole risparmio di materie prime e di energia di produzione. Si potrebbe così pensare ad una «casa interamente riciclabile» costruita con materiali e prodotti con un ciclo di vita chiuso: non solo riciclaggio e riutilizzo del materiale, ma anche di tutti i relativi scarti. In questo senso gli elementi lignei potrebbero rivestire un ruolo dominante: nella

progettazione e costruzione il legno potrebbe trovare spazio nelle murature perimetrali e pareti interne (telaio in legno o pareti in legno massiccio), nei rivestimenti esterni, nei serramenti, nei solai, nelle scale, nelle coperture (scandole), nei pavimenti, nelle finiture, nei materiali isolanti (fibra di legno, sughero).

Ovviamente il discorso della riciclabilità dei materiali è strettamente legato a quello della raccolta differenziata degli scarti e dei rifiuti; grazie alla raccolta differenziata del legno è possibile, ad esempio, produrre pannelli di compensato che possono essere impiegati nel settore arredo. Una particolare attenzione riservata agli scarti legnosi, può generare nuovi materiali ecocompatibili portando ad un aumento del mercato dei prodotti a base di legno senza determinare una maggior pressione sulle fonti di legno vergine. Qualora le caratteristiche di durabilità del legno e dei prodotti derivati non risultino sufficienti a garantire i requisiti di impiego previsti, è possibile ricorrere a metodi di conservazione e protezione. Alcuni trattamenti a base chimica possono però rendere i prodotti a base di legno non più sostenibili a causa dell'impatto sull'ambiente o della tossicità dei prodotti preservanti o protettivi impiegati.

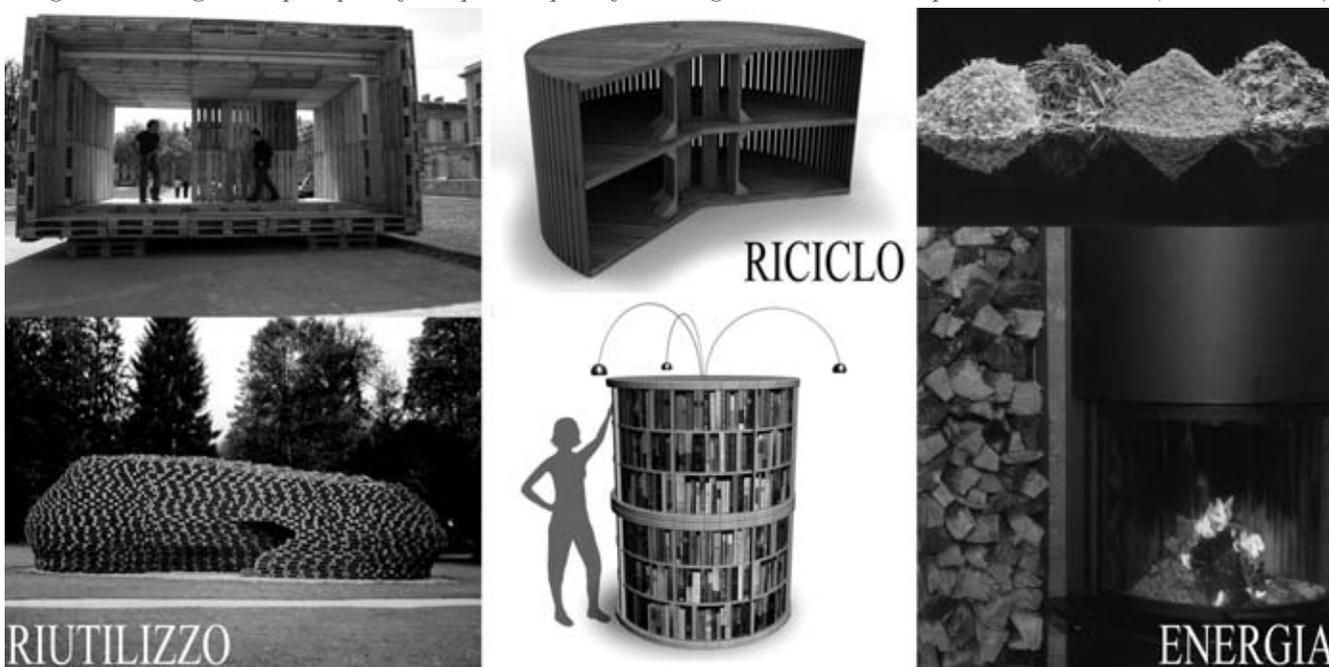
Le implicazioni energetico ambientali connesse alla scelta di un materiale da costruzione piuttosto che un altro si ripercuotono anche nella fase di cantierizzazione dell'edificio. Poiché i sistemi costruttivi in legno sono del tipo a

Figura 2.

Riutilizzo. Impiego di materiali di recupero in architettura. Esempi di costruzioni coi pallets. Dall'alto: Pallets House, Claus Schnetzer e Gregor Pils (Fonte: <http://www.palettenbaus.com/#>) e Pallet pavilion, studenti dell'università di Biberach (Fonte: <http://www.aml-partner.de/palettenpavillon.htm>).

Riciclo. Lo scaffale multiuso Rokket (sotto) e il negozio Roll'n'shop (sopra), primo e secondo classificato al concorso internazionale «Legno d'Ingegno» promosso dal consorzio Rilegno, utilizzano bobine in legno recuperate in modo originale ed eco-compatibile (Fonte: <http://designandstyle.blogosfere.it/2009/05/riciclo-e-design-la-bobina-in-legno-e-una-vera-star.html>).

Energia. Residui di legno adatti per la produzione di pannelli o produzione di energia da biomassa e un esempio di caminetto moderno (Fonte: CEI-BOIS).



secco, non impiegano acqua né malte per la loro messa in opera, si può affermare che l'adozione di tali sistemi costruttivi porta anche ad un uso più oculato della risorsa acqua.

Si hanno inoltre altre rilevanti implicazioni date da un edificio costruito a secco in legno:

- contenimento dell'impatto ambientale del cantiere e contenimento dei rifiuti prodotti;
- riduzione dell'energia incorporata nell'edificio rispetto alla costruzione basata su tecnologie a umido o in laterocemento, che per le loro caratteristiche intrinseche richiedono più lavorazioni e tempistiche di assemblaggio più lunghe;
- ottimizzazione delle quantità di materiale utilizzato e limitazione degli scarti, anche nel caso di costruzioni ibride, con solai gettati in opera completati da tamponamenti in legno leggeri, prefabbricati e assemblati a secco.

Un esempio interessante di edifici residenziali costruiti in legno si ha nel progetto «Oxley Wood» a Milton Keynes, progetto architettonico di Rogers Stirk Harbour Partners, vincitore di un concorso bandito dal governo britannico nel 2005. Scopo del concorso era incoraggiare l'industria edile a realizzare abitazioni di dimensioni contenute, con sistemi costruttivi innovativi e costi inferiori alla media. La superficie lorda era di 30.000 m² per un costo totale di 16,1 milioni di euro. All'interno del progetto almeno il 30% delle abitazioni doveva avere una superficie di circa 76 m² con un costo di costruzione totale inferiore a 60.000 sterline (circa 73.000 Euro al cambio attuale; circa 96.000 euro al cambio del 30 dicembre 2005), compreso l'utile del costruttore e gli oneri di progettazione.

La soddisfazione dei requisiti richiesti avvenne adottando un sistema costruttivo in legno ad elevato grado di pre-

fabbricazione. Il cantiere non richiese né gru né ponteggi riducendo al minimo la durata e il numero delle attività in cantiere. La struttura venne prodotta in stabilimento in una settimana e poi trasportata in cantiere disassemblata. Il legno impiegato derivava da foreste certificate e si adottò una progettazione tale da ridurre gli scarti di produzione al minimo e prevederne il reimpiego. Oltre ad una progettazione architettonica attenta al comfort termico, acustico e visivo, tale intervento è caratterizzato da dotazioni impiantistiche evolute attente al risparmio di energia e di acqua.

L'edificio in legno, l'uso dell'energia e la qualità dell'ambiente costruito

Gli edifici, siano essi costruiti in legno o con altri tipi di materiali, devono rispondere a normative cogenti per quanto riguarda il contenimento dei consumi energetici. Non è sufficiente avere un edificio che ha richiesto poca energia per la sua realizzazione, in quanto la fase d'uso incide grandemente sul consumo energetico dell'intero ciclo di vita di un edificio. In Italia, nel caso di edifici di nuova costruzione e di ristrutturazioni il progetto deve rispettare i regolamenti nazionali (DLgs 311/06 Disposizioni correttive ed integrative al DLgs 192/05; DPR 59/09 attuativo al DLgs 192/05), regionali (LR13-28/05/2007) e locali (per la città di Torino: Allegato Energetico-Ambientale al Regolamento Edilizio).

Il valore del coefficiente di conducibilità termica del legno è pari a 0,13 W/mK e si ottengono ottimi valori di trasmittanza termica, pari a $U=0,15$ W/m²K (valori consigliati nella progettazione di edifici passivi) con pareti dello spessore di circa 38 cm, contro gli oltre 50 cm che richiederebbe l'impiego di sistemi più affini alla nostra

Figura 3a. Eco-residenze nel nuovo quartiere Oxley Woods a Milton Keynes (UK). Vista d'insieme di un'aggregazione dei moduli e fasi di montaggio del modulo abitativo (24h) (Fonte: Pappalettere Silvio).



A&RT

consuetudine costruttiva, quali le pareti in blocchi di laterizio porizzati o composte da blocchi cassero in fibra di legno e cemento isolate a cappotto con materiale isolante in fibra di legno⁸.

I sistemi costruttivi in legno sono dunque in grado di offrire buone prestazioni termiche nel caso del comportamento invernale. Per quanto riguarda il comportamento estivo impiegando una corretta sequenza di diversi materiali isolanti a base legnosa, a diversa densità, alle volte in accoppiamento con altri materiali isolanti si possono ottenere soddisfacenti valori di sfasamento, attenuazione e trasmittanza termica periodica. Si trovano in commercio pannelli in fibra/lana di legno ad elevata densità, intorno ai 450 kg/m^3 , che permettono di ottenere prestazioni estive migliori rispetto all'impiego di materiali isolanti di sintesi, quali il polistirene, che presentano masse volumiche dell'ordine di 15 kg/m^3 .

Ad esempio un tetto ventilato sottotegola, con orditura primaria e tavolato di legno, presenterà diversi valori di trasmittanza in regime stazionario e periodico in base al materiale isolante scelto:

- impiegando 12 cm di polistirene ($\lambda=0,05 \text{ W/mK}$) si ottengono una trasmittanza termica in regime stazionario pari a $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$, uno smorzamento pari a 0,84, uno sfasamento pari a 3,92 ore e una trasmittanza termica periodica pari a $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- nel caso in cui si impiegassero diversi pannelli isolanti a base di legno per un totale di 15 cm si otterrebbe una tra-

smittanza termica in regime stazionario pari a $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ e una trasmittanza termica periodica pari a $0,105 \text{ W/m}^2\text{K}$, con smorzamento 0,40 e ritardo di 10,35 ore⁹. Tutti i suddetti valori soddisfano la normativa vigente in una regione come il Piemonte e si può quindi affermare che la combinazione di sistema costruttivo in legno e isolamento in pannelli a base di fibra di legno è in grado di offrire involucri opachi di buone prestazioni termiche sia per quanto riguarda il comportamento invernale che quello estivo.

Per quanto concerne la progettazione degli impianti negli edifici in legno non sono necessari approcci differenti rispetto a edifici costruiti con altri sistemi e materiali.

Un'attenzione che dovrebbe riguardare tutti gli edifici, e che viene rispettata in quelli in legno, è quella di progettare in modo integrato gli impianti con l'involucro senza lasciare alla fase di cantierizzazione la scelta di dove farli passare.

In alcuni casi infatti non è possibile ricavare in fase di costruzione gli spazi per la collocazione di tubi e cavi in quanto determinerebbe la fresatura delle pareti in legno o la necessità di pensare all'aggiunta di contropareti inizialmente non progettate.

La scelta e la realizzazione dell'involucro edilizio deve soddisfare, oltre a determinati requisiti per l'isolamento termico, anche determinati requisiti per l'isolamento acustico. In fase di progettazione e realizzazione si devono rispettare la legge 447/95 e i relativi decreti collegati (in

Figura 3b. Eco-residenze nel nuovo quartiere Oxley Woods a Milton Keynes (UK). Vista d'insieme di un'aggregazione dei moduli e fasi di montaggio del modulo abitativo (24h) (Fonte: Pappalettere Silvio).



particolare il DPCM 5/12/1997) sui requisiti acustici passivi. Si devono garantire buone prestazioni acustiche sia nei confronti della trasmissione del suono per via aerea e dei rumori di impatto, che rispetto a sorgenti sonore interne ed esterne all'edificio. Inoltre negli edifici con più unità immobiliari deve essere garantito l'isolamento acustico tra le diverse unità al fine di ottenere ambienti di buona qualità e con il necessario livello di privacy.

Nel caso delle costruzioni di legno la progettazione acustica risulta critica a causa della bassa densità del materiale e della bassa massa superficiale delle strutture. Occorre dunque utilizzare pareti multistrato, alternando materiale massiccio e materiali leggeri aventi funzione smorzante, quali

- sistemi a doppia parete in cui due elementi massicci sono separati da un'intercapedine vuota o riempita con materiale fonoassorbente;
- pannello strutturale in legno associato a un elemento interno leggero, ad esempio in cartongesso, con una intercapedine riempita con materiale fonoassorbente.

Tra i vari strati vengono realizzate connessioni con materiali in grado di smorzare le vibrazioni ed evitare i ponti acustici e non si adottano avvitature dirette sulla parte strutturale.

La fase più delicata e critica risulta essere quella di posa in opera della parete: è infatti importante eseguire un

controllo scrupoloso dei giunti laterali che connettono la parete stessa con le altre strutture (solaio, soffitto, altre pareti) per intervenire e correggere eventuali ponti acustici.

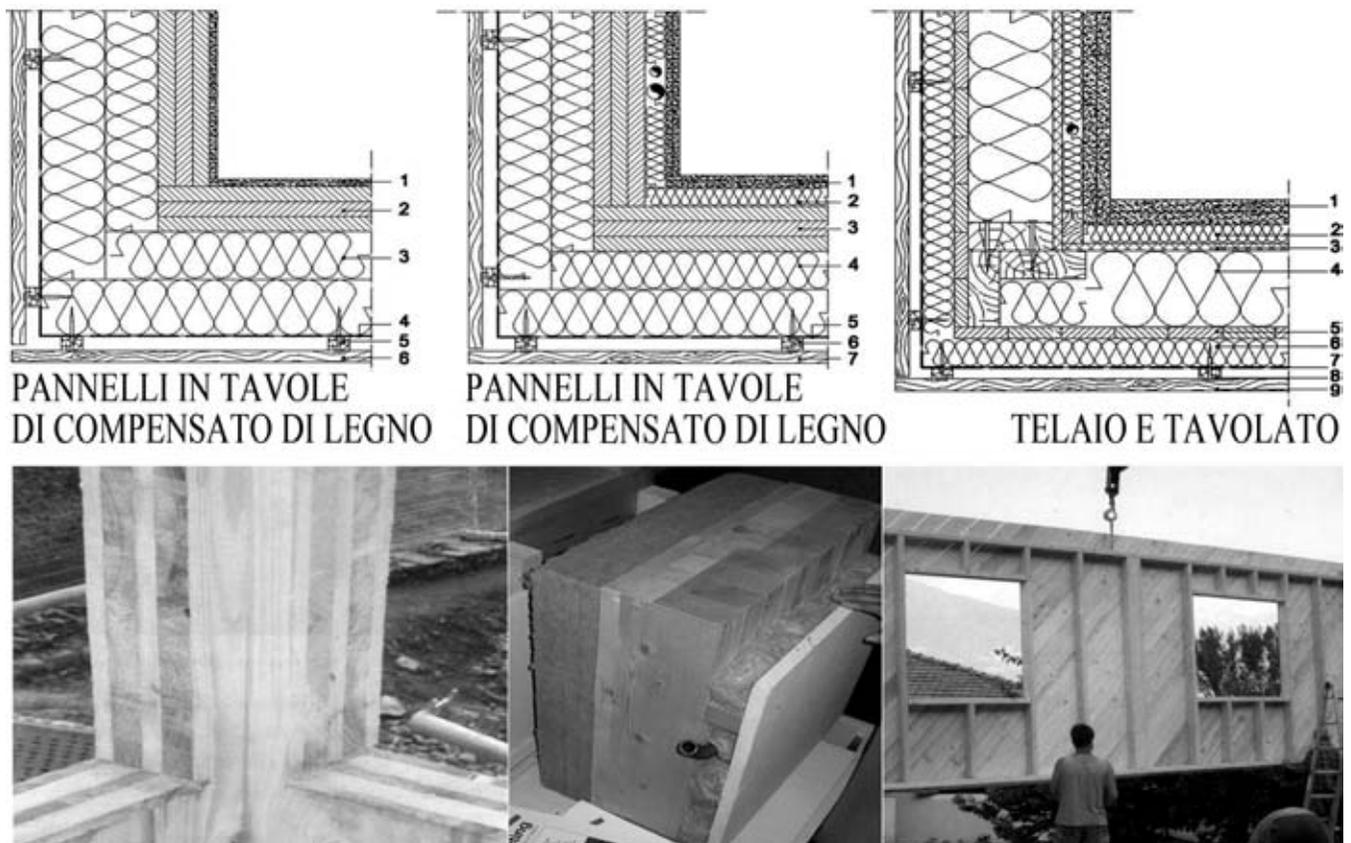
Il legno è un materiale che contiene composti organici volatili (VOC), alcuni dei quali, per esposizioni prolungate e per concentrazioni significative, possono essere dannosi per la salute degli occupanti. Ai composti prodotti naturalmente dal legno si aggiungono altre sostanze, quali benzolo, toluene, formaldeide ecc. che sono presenti nelle colle, nei solventi e nelle cere.

In particolare la formaldeide è classificata come cancerogena e sono reperibili valori limite da intendersi come valori soglia per la sicurezza delle persone. In Italia il DM 10/10/2008 ha reso obbligatorio l'impiego esclusivo di pannelli a bassa emissione di formaldeide (classe E1) per qualsiasi prodotto fabbricato o importato nel territorio nazionale, mobili compresi.

I pannelli a base di legno e manufatti con essi realizzati, sia semilavorati che prodotti finiti contenenti formaldeide, non possono essere immessi in commercio se la concentrazione di equilibrio di formaldeide, che essi provocano nell'aria dell'ambiente di prova, come indicato da normativa, supera il valore di 0,1ppm (0,124 mg/m³).

La limitazione dei valori di concentrazione degli inquinanti dell'aria interna implica un adeguato ricambio d'aria per la diluizione di quelli prodotti in ambiente e ciò

Figura 4. Pareti realizzate secondo i due sistemi costruttivi in legno maggiormente impiegati al giorno d'oggi nel residenziale. Lo spessore raggiunto da tali pareti, per ottenere una trasmittanza di $U=15 \text{ W/m}^2\text{K}$, è dell'ordine dei 39 cm (Fonte: disegni e foto centrale in basso: autori; immagini: AA.VV., *La nuova casa in legno dell'Alto Adige*, LVH APA, Bolzano, 2000).



A&RT

deve costituire oggetto di attenzione da parte del progettista. In molti casi per garantire tale ricambio si ricorre a impianti di ventilazione meccanica controllata a semplice o a doppio flusso.

La gestione del costruito

Il legno è resistente al calore, al gelo, alla corrosione e all'inquinamento; l'unico fenomeno che deve essere tenuto sotto controllo è l'umidità, per questo è molto importante curare il distacco dal terreno. Se si vuole fare una stima sulla durabilità degli edifici in legno si arriva, grazie alle nuove tecnologie, ad affermare che oggi la vita media di una casa in legno varia tra gli 80 e i 100 anni, anche se alcuni costruttori garantiscono una vita dalla durata di 125 anni ¹⁰.

Il relativamente lungo ciclo di vita dell'edificio implica che, inevitabilmente, esso passi attraverso operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria atte a preservarne le prestazioni, ma anche ad adattarlo a funzioni differenti o a nuovi disposti normativi. L'adozione di soluzioni costruttive complesse e stratificate porta con sé problematiche di asincronia nella manutenzione fra elementi con cicli di obsolescenza diversi (tensioni che sono acuite dalla presenza di componenti impiantistici). È fondamentale la scelta di specie legnose adeguate e di materiali che prima della posa in opera abbia raggiunto un sufficiente grado di stagionatura.

Un obiettivo progettuale deve poi essere la ricerca della facilità dell'intervento manutentivo, ottenibile progettando un opportuno assemblaggio di materiali e componenti, che hanno cicli di vita diversi, e garantendone la sostituibilità degli elementi costruttivi, individualmente e senza danno per gli elementi di più lunga durata.

Tra le varie forme di protezione del legno quella preventiva, caratterizzata dalla presenza di parti ed elementi deperibili («elementi di sacrificio») facilmente sostituibili, è la più frequente.

È importante individuare soluzioni tecnologiche atte a proteggere le strutture portanti dall'acqua (le facciate di legno non sono portanti e pertanto non richiedono alcun particolare trattamento) e a garantirne la durata.

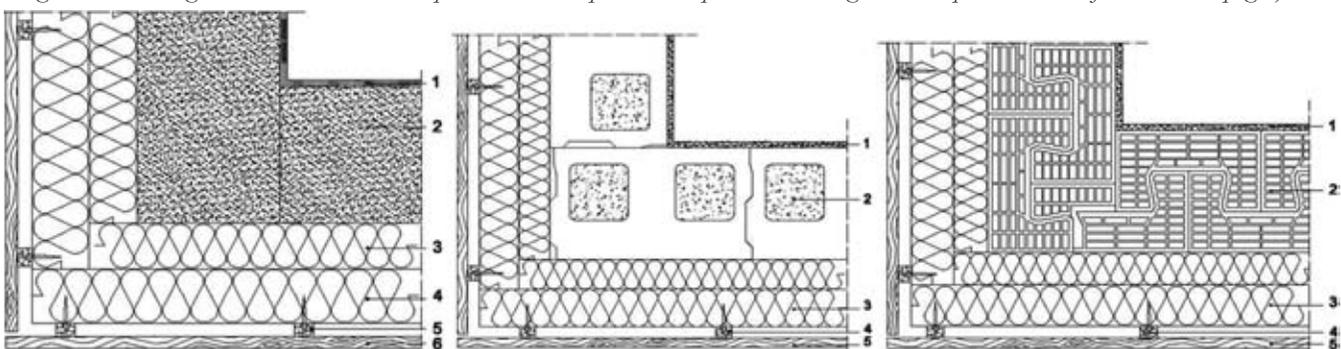
Un'adeguata progettazione può rendere superflua la protezione chimica contribuendo a limitare e rendere meno gravosi i successivi interventi di manutenzione.

Infine va ricordato che la durabilità delle costruzioni in legno viene garantita da una corretta manutenzione programmata ed occorre dunque dotare l'edificio, già in sede di progettazione, di un dettagliato piano di manutenzione.

Marco Filippi, ingegnere, Dipartimento di Energetica, Politecnico di Torino.

Valeria Marta Rocco, architetto, dottorato in Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito, Politecnico di Torino.

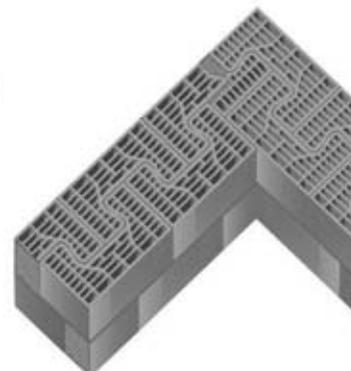
Figura 4. Pareti realizzate secondo sistemi costruttivi affini alla nostra tradizione: impiego di cemento aggregato con altri materiali o contenuto in casseri a perdere e blocchi in laterizio. Lo spessore raggiunto da tali pareti, per ottenere una trasmittanza di $U=15 \text{ W/m}^2\text{K}$, è dell'ordine dei 55 cm (Fonte: disegni autori; immagini da sinistra a destra: <http://www.bonellispa.com/>; <http://www.bionergies.eu/>; <http://www.termofon.com/home-page/>).



PANNELLI IN PLS
composto da legno e cemento

BLOCCHI CASSERO IN
LEGNO E CEMENTO

BLOCCHI
LATERIZIO PORIZZATO



Riferimenti bibliografici

AA.VV., *Vademecum case di legno. Sostenibilità, durabilità, comfort*, edito da Piemmetispa, Padova 2008

BENEDETTI CRISTINA (a cura di), *Costruire in legno: edifici a basso consumo energetico*, Bolzano University Press, Bolzano 2009

BERTI STEFANO, PIAZZA MAURIZIO, ZANUTTINI ROBERTO, *Strutture di legno per un'edilizia sostenibile*, Il Sole 24 Ore, Milano 2002

CEI-BOIS, *Affronta il cambiamento climatico: Usa il legno*, Brussels 2006

LAVAGNA MONICA, *Efficienza energetica degli edifici. Prestazioni termiche, comportamento ambientale*, edito da Rockwool, Milano 2005

MARITANO COMOGLIO NUCCIA, ROCCO VALERIA MARTA, *Legno e sostenibilità*, in ALESSANDRO GRECO, ENRICO QUAGLIARINI (a cura di), «L'involucro edilizio: Una progettazione complessa (Ar.Tec 2007)», Alinea Editrice, Firenze 2007, pp. 471-478

MASERA GABRIELE, *Progettare il ciclo di vita*, in AA.VV., «Low cost, low energy, quality architecture. Una nuova stagione dell'housing», BeMa Editrice, Milano 2009, pp. 110-113

PAPPALETTERE SILVIO, *Regno Unito. Eco-residenze a Oxley Woods*, in A.VV., «Low cost, low energy, quality architecture. Una nuova stagione dell'housing», BeMa Editrice, Milano 2009, pp. 192-195

SCHARAI-RAD MOHAMMAD, WELLING JOHANNES, *Environmental and energy balances of wood products and substitute*, FAO, Roma 2002 (articolo reperibile on line <http://www.fao.org/DOCREP/004/Y3609E/y3609e00.htm#TopOfPage>)

TOFFOLETTI G., *Structural wood products: environmental impacts and green marketing instruments*, Tesi di laurea, Università degli studi di Padova, relatore: Pettenella D., Kozak A., AA. 2000-2001

ZANUTTINI ROBERTO, *La valorizzazione del legno nel contesto di Torino 2006*, www.federlegno.it, Grugliasco 30 gennaio 2001. (articolo reperibile on line: <http://www.federlegno.it/tool/home.php?s=0,1,29,35,2188,2193,2198>)

Note

¹ CEI-BOIS, p. 13.

² Berti, p. 18.

³ CEI-BOIS, p. 38.

⁴ Zanuttini, 2001.

⁵ CEI-BOIS, p. 39.

⁶ Zanuttini, 2001.

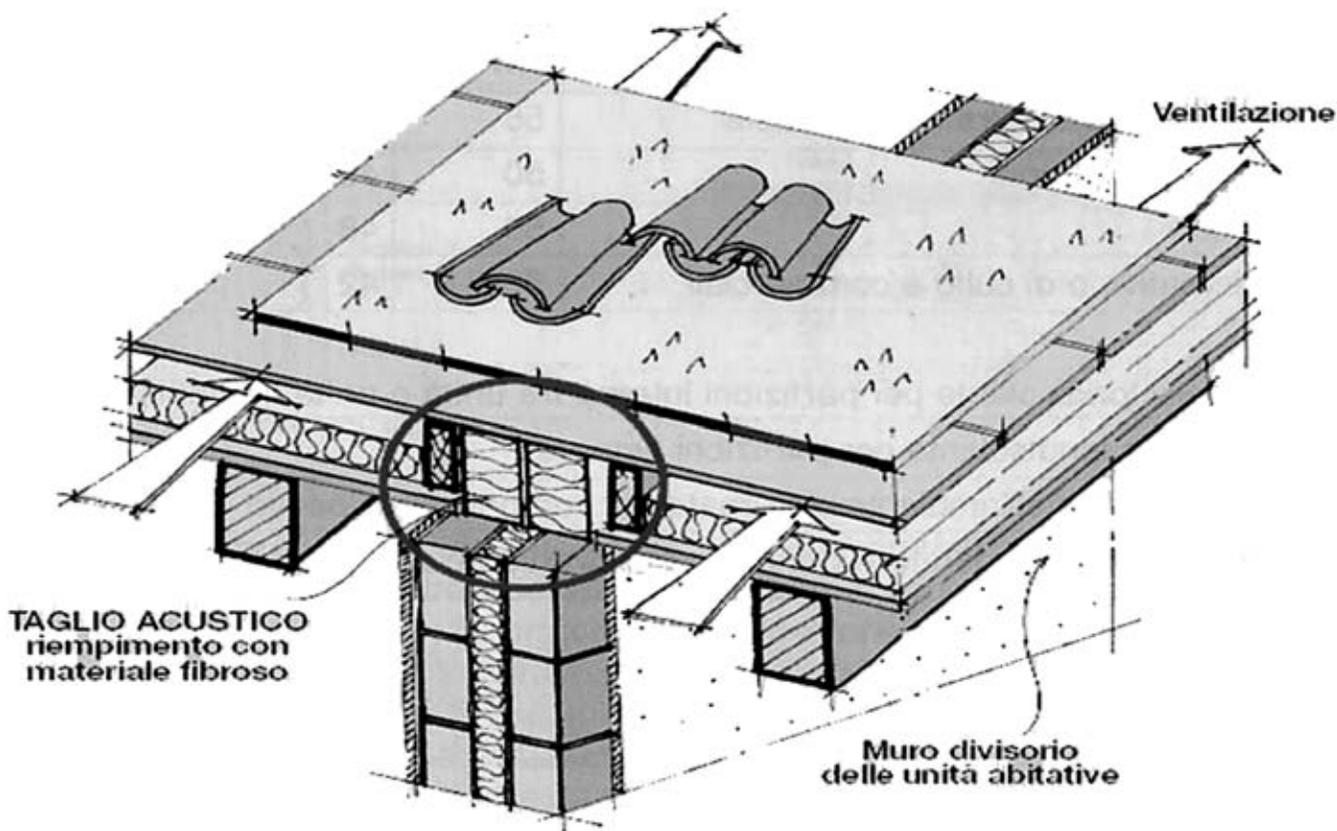
⁷ Toffoletti, 2000.

⁸ Maritano, p. 476.

⁹ Calcoli eseguiti secondo la UNI EN ISO 13786:2008, utilizzando il software MC4.

¹⁰ CEI-BOIS, p. 64.

Figura 6. Taglio acustico tra alloggi confinanti (Fonte: documentazione INDEX in «Vademecum case di legno»).



Per il recupero, restauro e la manutenzione delle costruzioni di legno: dalla diagnosi ai programmi di intervento con tecnologie tradizionali e/o innovative

For the recovery, renovation and maintenance of wooden buildings: from diagnosis to intervention programs with traditional and/or innovative technologies

CLARA BERTOLINI CESTARI

Abstract

La memoria parte da alcune riflessioni sul tema della diagnosi delle antiche strutture lignee in previsione degli interventi di recupero, restauro e manutenzione, rilevando come – ancora oggi e nonostante i recenti apparati normativi a disposizione dei professionisti – molti interventi non siano riconducibili all’idea di un restauro conservativo. Sono questi i casi in cui manca una delle tappe tipiche del progetto: la diagnosi.

Si richiamano pertanto i contributi al tema offerti, nella giornata di studio, da importanti specialisti nazionali che presentano – attraverso casi studio – una visione complessiva di grande rigore e primario interesse sui criteri di approccio al restauro conservativo e sulle tecniche di intervento.

The paper starts from some reflections about the diagnosis of ancient timber structures, with a view to restoration, renovation and maintenance operations, pointing out how nowadays many works, despite the recent regulatory apparatus available for professionals, have not reference to the idea of a conservative restoration yet. In this cases one of the typical design steps is missing: the diagnosis.

Therefore here are recalled the contribution to the topic given by important Italian specialists presenting with some case studies an interesting overview regarding approach criteria to conservative restoration and intervention techniques.

Considerazioni generali

Nell’ambito del patrimonio edilizio edificato, il complesso delle strutture lignee costruite in epoche passate rappresenta una specifica classe di manufatti che riveste, nel ricco patrimonio dei beni culturali riferiti all’edilizia storica o della tradizione, un particolare rilievo e un riconosciuto interesse: per diffusione territoriale, articolazione tipologica, caratteristiche tecnologiche, valore artistico-formale.

I tipi costruttivi in legno ricorrenti nell’edilizia storica sono: solai, centine di sostegno per volte in incannicciato, grosse orditure di tetti, capriate e incavallature. A questi si aggiungono le architetture vernacolari con i *rascard*, le architetture Walser.

Ma in via prioritaria, va rilevato che tali manufatti sono *innanzitutto strutture* e, in quanto tali, specie in passato e nel nostro Paese, non hanno ricevuto – nella maggior parte dei casi – la stessa attenzione o considerazione degli edifici cui appartengono inscindibilmente e pertanto non sono state trattate con lo stesso rispetto: numerosissime le manomissioni, le sostitui-

zioni e, ancor peggio, le demolizioni.

Solo recentemente, sul tema della loro conservazione si è diffusa e radicata la convinzione che tali strutture debbano – per quanto possibile – essere mantenute, risanate e conservate nel ruolo statico che assolvono, con interventi rispettosi e coerenti non solo alla loro concezione originaria, ma anche alla loro materia: il *legno*.

E tuttavia, nella pratica realizzativa, molti interventi di restauro strutturale, eseguiti ancora in tempi recenti, hanno tradito l'idea della conservazione: in casi estremi abbiamo assistito ancora alla demolizione ingiustificata di solai, cassettonati e tetti secolari.

Interventi, quindi, arbitrari o quantomeno “*pesanti*”, indotti, il più delle volte, da una difficoltà di valutazione dello stato di conservazione del materiale e delle sue reali capacità portanti, o da una errata valutazione dei comportamenti strutturali di questi organismi, o dalla *scelta di procedimenti sommari e redditizi piuttosto che di procedimenti guidati dalle effettive necessità dei manufatti lignei*.

E sono proprio le loro capacità portanti ad essere messe continuamente in discussione ancora oggi, nonostante il rinato interesse e il rifiorire di studi sul legno, da parte di operatori che, evidentemente sprovvisti di adeguate conoscenze, dimostrano attraverso i loro interventi su strutture lignee esistenti una totale sfiducia verso di esse. Tale sfiducia si è espressa e concretizzata con lo sviluppo di quelle tecniche di consolidamento che prevedono una estesa introduzione di protesi di ogni tipo, realizzate con materiali “nuovi” che, proprio in quanto nuovi, vengono considerati vincenti in un'ottica miope che non tiene conto degli effetti degli interventi a medio e lungo termine.

Nella recente letteratura tecnica certi interventi – anche a carattere innovativo – appaiono in forte ritardo rispetto ad un criterio conservativo che si va imponendo non solo nel restauro monumentale, ma anche in ambiti di recupero dell'edilizia storica o semplicemente della tradizione. Troppo spesso assistiamo ad una prassi operativa rivolta prevalentemente verso interventi radicali non giustificati: solai lignei consolidati con strutture in acciaio e cappe in cemento armato, ricostruzioni parziali o totali di coperture con elementi in acciaio o in legno lamellare.

Per tali tipi di interventi, che riflettono la sfiducia verso questo materiale, verso la tradizione costruttiva e gli antichi magisteri, spesso si è potuto riscontrare la carenza di una delle tappe tipiche nella gestione del progetto di recupero: l'*indagine diagnostica*.

L'indagine diagnostica per gli interventi di recupero/ consolidamento e la manutenzione

Agli specialisti è noto che debba esistere uno stretto rapporto tra l'esecuzione degli interventi per il recupero delle antiche strutture lignee e le indagini analitiche che “*istruiscono*” l'intervento stesso. In tale rapporto si può chiarire il senso di alcune scelte tecniche e – indiretta-

mente – possono assumere credibilità persino indirizzi metodologici più generali dell'operare: una corretta base conoscitiva deve essere l'insostituibile presupposto del progetto di consolidamento strutturale. Ma ancora oggi nella pratica, la nostra cultura, di architetti e ingegneri di formazione politecnica, è in larga misura inadeguata ad interpretare concezione e materia delle antiche costruzioni in legno poiché esse *non furono fatte con la nostra scienza e tecnica delle costruzioni*: furono fatte con metodo empirico, ossia con l'intuito, l'esperienza personale dei mastri carpentieri e col rispetto delle regole dell'arte del costruire con questo materiale. E ciò valse per tutte le costruzioni, dai tempi più remoti fino alla metà del secolo scorso.

L'altra difficoltà quindi per chi oggi interviene è quella di superare il contrasto fra le due culture richiamate, contrasto che è inevitabile ed è continuamente riaffiorante nel corso del *programma di restauro strutturale, dalla fase diagnostica a quella esecutiva*.

In questo quadro, quali indicazioni si possono fornire per orientare un programma di indagini sia sul piano metodologico, sia sul piano pratico per un corretto restauro strutturale? Quali indagini diagnostiche (non distruttive o quasi non distruttive) sono più consigliabili per elementi in opera, perché efficaci e affidabili? E con quali tecniche e tecnologie?

Il contribuente certo non intende certo trattare compiutamente la complessa e delicata tematica della diagnostica strutturale di manufatti lignei, né tantomeno pensa di offrire soluzioni definitive a problemi che hanno subito evoluzioni travagliate, talvolta contraddittorie e che peraltro pare si stiano finalmente avviando verso più maturi ed equilibrati inserimenti nel quadro della più ampia economia della gestione del restauro strutturale in generale. Esso parte tuttavia dalla constatazione di molte carenze che ancora sussistono e dalla convinzione che molto debba essere fatto per eliminarle sia sul piano del metodo che della pratica.

Per il primo aspetto, un programma di indagini finalizzate al restauro delle strutture in legno dovrà prevedere la collaborazione sistematica di esperti nei diversi settori: del rilievo, della storia, della tecnologia del legno, dell'analisi strutturale e della dendrocronologia. Per questo ultimo tema si veda il prezioso contributo di Pignatelli, O.: *Datazione dendrocronologia delle strutture lignee* che illustra l'importanza della datazione nel progetto di conoscenza necessaria al programma di intervento.

Nel seguito si richiamano altri parametri conoscitivi-diagnostici che entrano in gioco nelle scelte del progetto di indagine.

Solo negli ultimi due lustri paiono emergere nuovi atteggiamenti riguardanti le indagini sulle strutture lignee oggetto di recupero o manutenzione. Ciò che oggi viene proposto è frutto di numerose attività di ricerca, svolte nel tempo e in diversi ambiti disciplinari, che hanno

A&RT

messo a punto un nuovo approccio metodologico sempre più consono ed aderente alle caratteristiche peculiari di queste costruzioni, di questo materiale.

Scopo quindi della fase diagnostica è la determinazione quantitativa delle caratteristiche della struttura lignea – considerata nel suo complesso e interagente con le altre parti dell'edificio e con l'ambiente – attraverso un processo di scomposizione delle sue parti costitutive e del corrispondente schema statico-strutturale.

Nelle costruzioni in legno, condizione indispensabile per una corretta verifica strutturale ed ancor più per la progettazione di appropriati interventi di restauro, che in parte dipendono dalla verifica stessa, è l'esecuzione di una accurata indagine diagnostica, finalizzata ad una precisa conoscenza dello stato di conservazione e funzionalità degli elementi lignei (e delle unioni fra membrature), nonché delle condizioni ambientali e di rischio di degrado.

Tale indagine è tanto più necessaria se si vuole giungere alla formulazione di un corretto restauro, evitando pesanti interventi quali sostituzioni, integrazioni o addirittura demolizioni e ricostruzioni che annullano materiale, funzione strutturale e concezione originaria.

L'esperienza insegna anche che l'intensità o la pesantezza dell'intervento, nonché i relativi costi di esecuzione, risultano inversamente proporzionali alle risorse e alle energie dedicate all'approfondimento preliminare delle conoscenze sulla struttura e sui materiali che la compongono. Ciò è particolarmente vero quando un materiale è biodegradabile, non omogeneo, igroscopico, anisotropo e provvisto di difetti naturali come il legno da costruzione. Da ciò emerge l'assoluta importanza della fase diagnostica ed analitica, la quale deve essere condotta per passi successivi di sempre maggiore raffinatezza fino a raggiungere una ottimale rispondenza alla realtà.

Questo obiettivo si può efficacemente raggiungere solamente a patto di un coinvolgimento a carattere multidisciplinare in cui figure professionali diverse e complementari, quali l'architetto, l'ingegnere, il restauratore ed il tecnologo del legno, il dendrocronologo, che, con le loro specifiche competenze, possano giudicare lo stato del manufatto in base a dati oggettivi *scientificamente validi e di provata applicabilità* e quindi indirizzare il progetto *alla soluzione migliore*.

La scelta delle modalità esecutive dell'indagine, delle tecniche di diagnosi complementari e dei contributi delle diverse discipline non sono mai unici, ma devono essere calibrati e valutati con pazienza e prudenza, e soprattutto con attenzione al singolo caso. Ovviamente è necessaria la conoscenza approfondita delle caratteristiche fisiche, meccaniche, tecnologiche e biologiche del legno, poiché da questa dipendono sia la scelta delle analisi, sia la corretta interpretazione dei risultati.

La valutazione tecnologica dello stato di conservazione e funzionalità delle strutture lignee è uno strumento indicato sia per la programmazione e controllo dei lavori, in base alle effettive necessità e priorità di intervento, sia per la progettazione e dimensionamento ottimale degli eventuali interventi di recupero/restauro conservativo.

Eventuali perché non è raro il caso in cui un'accurata diagnostica, abbinata a una classificazione – secondo la resistenza – degli elementi strutturali calibrata sulle effettive modalità di esercizio della struttura, permetta di concludere con ragionevole attendibilità che la struttura stessa è affidabile e sicura senza bisogno di alcun rinforzo. Talvolta, nonostante la previsione, la struttura originaria presenta prestazioni di esercizio addirittura maggiori di quelle richieste.

La valutazione tecnologica è indispensabile in sede di manutenzione ordinaria perché consente di adottare contromisure specifiche per ogni tipo di alterazione, anomalia o danno rilevati, allo scopo di arrestare o almeno rallentare le cause di deperimento del materiale ligneo.

Il monitoraggio e l'ispezione periodica (a cadenza pluriennale) della struttura restaurata saranno poi molto utili per verificare la risposta della costruzione agli interventi eseguiti, permettendo di rilevare eventuali stati di sofferenza, danni, anomalie di comportamento o, viceversa, di confermare nel tempo il perdurante stato di buona efficienza.

Indagini dirette e rilievo costruttivo

Il primo passo per l'analisi della consistenza strutturale dell'opera prende l'avvio dalla conoscenza della materia e della sua forma geometrica, e quindi va condotto nella disciplina del rilievo, e diretto principalmente alla realtà costruttiva.

Il rilievo deve essere programmato e progettato di volta in volta, in base alle finalità del rilievo stesso, all'accessibilità del manufatto ed alle tecniche e strumenti di misurazione che possono essere impiegati. Si utilizzano così sia le tecniche di misurazione tradizionali, sia quelle, molto più precise, della fotogrammetria.

Il rilievo da utilizzare per l'indagine diagnostica, sviluppato in piante e sezioni, può differenziarsi notevolmente dal rilievo architettonico.

Vengono evidenziate, ad esempio, le lesioni, le sconnesioni, le reintegrazioni del materiale, le deformazioni dei vari elementi costruttivi, è dunque importante una buona conoscenza da parte del rilevatore delle tecniche utilizzate dai carpentieri del passato, al fine di riconoscere gli elementi modificati o sostituiti nel corso dei secoli.

L'elaborazione grafica del rilievo costituisce la base delle indagini diagnostiche strumentali, relative alla determinazione dei dissesti e dei degradi: prima dell'ispezione vera e propria, permette di identificare qualità e caratteri di ogni elemento e dell'intera struttura. In questo modo risulta più facile per il rilevatore concentrarsi sulle carat-

teristiche qualitative e geometriche di tali elementi, ipotizzare ed interpretare eventuali cause di degrado, riportare graficamente ciò che va man mano osservando.

Il rilievo è il risultato di valutazioni soggettive da parte di chi lo effettua, ma, se viene eseguito con attenzione e competenza, offre una serie di informazioni non meno importanti di quelle fornite dagli strumenti scientifici.

Attività necessaria per la conoscenza degli aspetti meccanici e quindi per il giudizio di stabilità.

In prima approssimazione, il programma di rilievo definirà i seguenti elementi:

- lo scopo dell'indagine geometrica, definito da un sistema logico che orienti la raccolta delle misure per la configurazione strutturale;
- le tecniche da impiegare, riferite alla finalità delle indagini, alla complessità strutturale, alla accessibilità e praticabilità dell'opera;
- la integrazione con metodi strumentali, quali indagini non distruttive o parzialmente distruttive, di cui si riferisce ai punti successivi;
- il sistema di raccolta dei dati, siano essi di cantiere che di laboratorio, con la stesura per esempio di carte tematiche.

Interessano quindi le dimensioni delle travi dei solai lignei o delle membrature delle capriate, ma anche la realizzazione del loro appoggio sulle murature perimetrali. Il tavolato di falda di una copertura può esercitare un ruolo di diaframma ed è utile sapere come sono fatte le sue connessioni; va chiaramente precisata l'orditura dei tetti sia nelle parti che la compongono, sia nei collegamenti mutui per la realizzazione di strutture che a volte si presentano complesse e di difficile interpretazione strutturale.

Le metodologie per eseguire un rilievo siffatto sono un po' diverse da quelle usuali: il rilevatore deve ampliare la sua cultura disciplinare, arricchendola con la conoscenza delle tecniche costruttive in uso all'epoca della costruzione da esaminare, per distinguerne, laddove possibile, parti originarie e parti aggiunte o sostituite in epoche successive.

Rilevare e catalogare i criteri costruttivi che sottendono le opere di architettura è un nuovo compito, oggi indifferibile, che sta avviandosi in campo internazionale: i settori disciplinari più propri per assumerlo sono quelli del rilievo, della storia e della tecnologia dell'architettura.

L'osservazione deve essere indirizzata verso i punti nodali della struttura, anche se non appaiono in superficie, quali collegamenti a tenone e mortasa, a mezzo legno a coda di rondine, e la consistenza del materiale in rapporto agli eventuali attacchi subiti, per determinarne la effettiva sezione resistente.

Per questi aspetti saranno necessarie indagini strumentali – non tanto la camera termografica – quanto strumentazioni tipo penetrometri, cui si accennerà più oltre. Il rilievo metrico sopra descritto sarà opportunamente corredata-

to da schede analitiche, per gli elementi strutturali indagati, nelle quali siano poste in evidenza: caratteristiche geometriche delle membrature (sezioni parzializzate per attacco pregresso), specie legnose, difettosità originarie del materiale (nodosità, fibratura inclinata e conseguenti svergolamenti) e, per quanto riguarda i collegamenti, le sconnessioni, le rotture delle caviglie, le imperfezioni delle superfici a contatto ecc., e completato dalla stesura di mappe di sintesi (carte tematiche) che costituiscono una documentazione di grande chiarezza ed efficacia agli effetti degli interventi di recupero progettati, permettendo di formulare ipotesi per un modello analitico di indagine strutturale.

Per questo aspetto, si ritiene opportuno richiamare le recenti normative licenziate dall'UNI (GL20), con le indicazioni per una corretta caratterizzazione meccanica dei materiali "legno". Tali raccomandazioni provengono dal settore disciplinare della tecnologia del legno: si veda in particolare il contributo di Alan Crivellaro, *Caratterizzazione meccanica in situ. L'aiuto al progettista della normativa italiana*.

Recupero/manutenzione: temi progettuali

In generale i settori del recupero e della manutenzione rappresentano due ambiti strategici di grande rilievo, non solo nel nostro Paese ricco di beni culturali, ma anche in Europa: per il loro alto impatto sociale ed economico.

È noto, ad esempio, che solai sufficientemente rigidi nel proprio piano favoriscono il comportamento scatolare delle strutture ed il formarsi di più efficaci meccanismi resistenti dell'edificio nei confronti delle azioni orizzontali.

Negli edifici esistenti, in gran parte realizzati con strutture portanti in muratura e solai lignei, i solai con travi ed impalcato lignei presentano spesso una rigidità insufficiente a garantire un valido comportamento a "diaframma" (sia esso rigido o deformabile) tra i diversi maschi murari.

Un altro problema che si riscontra nelle strutture storiche è costituito dalla presenza delle connessioni di carpenteria (anche dette "ad incastro") tipiche delle tecnologie costruttive tradizionali: tali unioni devono essere adeguatamente rinforzate nei confronti delle sollecitazioni cicliche con inversione al fine di evitare la disconnessione degli elementi.

Nonostante la citata fragilità del legno (soprattutto per sollecitazioni di trazione) è possibile realizzare elementi strutturali o dettagli costruttivi dotati di duttilità. La duttilità è da ricercarsi non nel materiale ma nei collegamenti meccanici, principalmente di quelli realizzati con elementi metallici a gambo cilindrico (chiodi, viti, perni e bulloni), favorendo la formazione di cerniere plastiche negli elementi di acciaio e di plasticizzazioni localizzate del legno.

Le tecniche di consolidamento e/o miglioramento che si

A&RT

intendono sviluppare sono caratterizzate da bassa invasività delle strutture lignee esistenti e da completa ritrattabilità dell'intervento; tali caratteristiche risultano di fondamentale importanza non appena si consideri la sempre più pressante richiesta da parte degli enti di tutela preposti di soluzioni che non compromettano i caratteri strutturali ed architettonici originari.

Per quanto riguarda i sistemi strutturali, si devono progettare tecniche di miglioramento del comportamento a lastra (ovvero sistemi di irrigidimento) di solai e di coperture in legno. Tali tecniche fanno uso di soluzioni a secco (legno-legno o legno-acciaio).

Programma di intervento di recupero

Per la pianificazione di un intervento si indicano nel seguito i principali requisiti per redigere un progetto definitivo, e precisamente:

- redazione di carte tematiche dettagliate che descrivono accuratamente l'applicazione dell'indagine condotta attraverso: disegni geometrici che descrivono singoli elementi, una mappa di decadimento e di danno;
- stesura dettagliata del progetto grafici e disegni che descrivono accuratamente tutte le prevedibili interventi e materiali da utilizzare: una descrizione precisa delle fasi di lavoro per ogni intervento;
- specifiche relazioni tecniche per gli interventi su strutture in legno, tra cui la statica calcoli effettuati per ogni tipo di intervento; documenti che descrivono elementi tecnici e le loro prestazioni.

Tecniche di intervento su complessi portanti lignei: casi studio

In questa sezione i contributi avrebbero potuto estendersi enormemente per la grande varietà dei casi che quotidianamente si presentano nei cantieri.

La selezione degli Estensori delle memorie presentate alla giornata di studio è stata effettuata in rapporto all'eccellenza dei lavori proposti e dei progettisti: architetti, ingegneri, soprintendenti.

L'intervento di Tampone, G. su *Restauro e consolidamento delle strutture lignee antiche*, prende in considerazione una vasta gamma di tecniche di intervento tradizionali che possono adattarsi a molti contesti diversi, presentando soluzioni facilmente adattabili a molte tipologie: dai solai alle coperture. Menichelli, C. con *Le strutture lignee dell'Arsenale di Venezia, Studi e Restauri*, offre un caso studio d'eccellenza di grande complessità, ma che tiene sempre presente un approccio storico-critico che concilia recupero e conservazione in una visione armonica.

Jurina, L. presenta *L'acciaio nel rinforzo delle strutture di legno*, illustrando tecniche di rinforzo delle strutture lignee mediante l'ausilio di sovrastrutture leggere ed eleganti in acciaio.

Si tratta di sistemi con una elevata reversibilità. Pistone, G. con *Consolidamento delle strutture in legno* affronta temi

ingegneristici, presentando ipotesi di soluzioni che possono adattarsi a molti contesti e molte tipologie di rinforzo e/o degradamento. Marzi, T. con *Impiego di nanotecnologie nel rinforzo dei beni culturali a base di legno* presenta la sperimentazione dell'innovazione tecnologica nelle tecniche di intervento: il futuro.

Clara Bertolini Cestari, architetto, Professore di Costruzioni dell'Architettura, Dipartimento di Progettazione Architettonica e di Disegno Industriale, Politecnico di Torino.

Riferimenti bibliografici

BERTOLINI CESTARI CLARA (2010), *Prefazione – Foreword*, in P.G. BAGATIN, *Il legno che rivive. L'opera di Tarcisio Scandiuizzi e il Museo del Legno d'epoca*, Vianello Libri, Ponzano Veneto, pp. 5-10

BERTOLINI CESTARI CLARA (2009), *Benvenuto X-Lam*, in «Il Giornale dell'Architettura», vol. 70. pp. 34-35

BERTOLINI CESTARI CLARA (2009), *Inspection, diagnosis methodologies and maintenance of ancient timber structures: case-studies in Italy*, in *Structures en bois dans le patrimoine bâti*. Metz (France), 29-31 May 2008, Icomos, Paris, pp. 14-17

BERTOLINI CESTARI CLARA (2009), *The activity of Politecnico di Torino in the field of nanotechnologies applied to cultural heritage*, in *Nanotech for Architecture*. Palermo, 26-28 Marzo 2009, Luciano Editore, Napoli, pp. 301-304

BERTOLINI CESTARI CLARA (2009), *Wooden handiwork/wooden carpentry*, in M. CHAPUIS, A. LYDON, A. BRANDT-GRAU, *Preserving our heritage, improving our environment. Cultural heritage research: FP5, FP6 and related projects*. vol. II, European Union Publication Office, Luxembourg, pp. 242-243

BERTOLINI CESTARI CLARA, BIGLIONE GIANORESTE, CESTARI LUCIANA, CRIVELLARO ALAN, DE LUCA DANIELE, MARZI TANJA, PASQUINO RICCARDO (2009), *Per la conservazione delle grandi coperture lignee del Duomo di Vercelli*, in *Conservare e restaurare il legno. Conoscenze, Esperienze. Prospettive*. Bressanone, 23 – 26 Giugno 2009, Edizioni Arcadia Ricerche, Marghera-Venezia, pp. 689-698

BERTOLINI CESTARI CLARA, MARZI TANJA (2009), *Nanotechnologies for the conservation of timber construction belonging to Cultural Heritage*, in *Nanotech for Architecture*. Palermo, 26-28 Marzo 2009, Luciano Editore, Napoli, pp. 305-314

BERTOLINI CESTARI CLARA, MARZI TANJA (2009), *Nanotechnologies for the conservation of timber construction belonging to cultural heritage*, in «Nanotec2009.it» *Nanotechnology – Competitiveness & innovation for industrial growth*. CNR, Roma, 31 Marzo 2009 - 3 Aprile 2009, Das Print, Roma, pp. 269-270

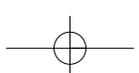
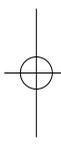
BERTOLINI CESTARI CLARA, MARZI TANJA, INVERNIZZI STEFANO, TULLIANI JEAN-MARC (2009), *Use of nanotechnologies and nanosciences in cultural heritage for the efficiency of maintenance systems in wooden built heritage: restoration, conser-*

vation, maintenance, monitoring of interventions. In: *Structures en bois dans le patrimoine bâti*. Metz (France), 29-31 May 2008, Icomos, Paris, pp. 87-91

BERTOLINI CESTARI CLARA, TOULIATOS PANOS, MILTIADOU NIKI, DELINIKOLAS NIKOS, MENICHELLI CLAUDIO, CRIVELLARO ALAN, MARZI TANJA, TSAKANIK A ELEFThERIA, PIGNATELLI OLIVIA, BIGLIONE

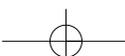
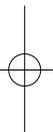
GIANORESTE (2009), *The timber roof of Hagia Paraskevi basilica in Chalkida, Greece: multi-disciplinary methodological approaches for the understanding of the structural behaviour. analysis and diagnosis*, in *Conservare e restaurare il legno. Conoscenze, Esperienze. Prospettive*. Bressanone, 23 - 26 Giugno 2009, Edizioni Arcadia Ricerche, Marghera-Venezia, pp. 415-424







Parte seconda. Architetture di legno
Part two. Wooden architecture



Le architetture di legno nei viaggi SIAT

Wooden architectures in SIAT study travels

STEFANO VELLANO

Abstract

L'organizzazione di viaggi di aggiornamento architettonico-culturale costituisce parte integrante dell'attività della SIAT. Nel corso degli ultimi anni sono state toccate mete particolari in giro per il mondo, selezionando con attenzione gli obiettivi da visitare. Numerose ed interessanti le architetture di legno, alcune realizzate da architetti di fama internazionale, altre da piccoli studi locali, ma sempre caratterizzate dall'espressività tecnica ed estetica che questo materiale è in grado di dare. Partendo dal viaggio nella Ruhr con la visita all'Accademia dell'Emscher Park, passiamo alle affascinanti e poetiche architetture svizzere di Peter Zumthor, architetto-artigiano figlio di un ebanista, proseguendo con il quartiere ecosostenibile Vauban di Friburgo, con l'azienda Tobias Grau di Amburgo, fino ai fabbricati residenziali di Carabanchel-Madrid, interamente rivestito di bambù, e di Muhlweg-Vienna dove trovano largo uso i pannelli ad assi incrociati in chiave strutturale.

The organisation of architectural-cultural update trips is an integral part of SIAT's activities. In recent years, these trips have touched on particular destinations all around the world, carefully selecting the sites to be visited. The main feature of the many interesting examples of architectures in wood, some constructed by internationally-renowned architects, others by small local studios, is the technical and aesthetic expressiveness of this type of material. Starting from the trip to the Ruhr with a visit to the Emscher Park Academy, we move to the fascinating, poetic Swiss architectures of Peter Zumthor, architect-craftsman, son of a cabinet maker, continuing to the eco-sustainable Vauban quarter of Freiburg, to the Tobias Grau firm of Hamburg, as far as the apartment buildings of Carabanchel-Madrid, completely lined with bamboo, and of Muhlweg - Vienna characterised by wide-scale use of cross-laminated wood panels as structural elements.

L'organizzazione di viaggi di aggiornamento architettonico-culturale costituisce parte integrante dell'attività della nostra Società. Nel corso degli ultimi anni sono state toccate mete interessantissime in giro per il mondo, scelte con criterio non turistico e, solitamente, mete non usuali di vacanze. Le visite ai vari obiettivi hanno talvolta coinvolto gli stessi progettisti delle opere, i quali, sempre con grande entusiasmo, hanno illustrato sia gli aspetti tecnico-funzionali, che i risvolti dei rapporti con le committenze e con le amministrazioni locali. I comuni interessi culturali dei partecipanti, corroborati hanno spesso dato vita ad interessanti dibattiti e riflessioni. Rivedendo le varie tappe dei nostri viaggi europei, sono numerose ed interessanti le architetture di legno visitate, alcune realizzate da architetti di fama internazionale, altre da piccoli studi locali, ma sempre caratterizzate dall'espressività tecnica ed estetica che questo materiale è in grado di dare.

Durante il viaggio nella Ruhr svoltosi nell'ottobre del 2003, tappa molto interessante è stata quella all'Accademia dell'Emscher Park a Herne-Sodingen, intervento realizzato dall'architetto francese Françoise Helene Jourda. Il complesso fa parte di un ampio programma di interventi coordinati, una nuova IBA, estesa a scala territoriale che interessa un parco lineare di 70 km lungo il canale Reno-Herne, che prevede la rivitalizzazione e il recupero delle aree industriali dismesse.

Questo progetto si pone come esempio per una rivalutazione dell'area, non solo socio-economica, ma anche ambientale, riscattando le miniere, bonificando il terreno con una rete di canali e terrapieni, usando fonti energetiche rinnovabili e sistemi di riscaldamento-raffrescamento passivo. L'idea è quella di un grande involucro vetrato con struttura portante lignea a forma di parallelepipedo di 13.000 m² di superficie, che copre un campus tecnologico, proteggendolo dalle aggressioni climatiche esterne. Al suo interno trova posto un meraviglioso giardino d'inverno con fabbricati di legno, giochi d'acqua e rigogliosa vegetazione.

Il viaggio in Svizzera e Austria, svoltosi nel giugno 2005, ci ha regalato momenti di emozione di fronte ad alcune opere di Peter Zumthor; l'architetto svizzero ha sempre fatto scelte professionali precise rimanendone fedele progetto dopo progetto. La copertura dei resti romani a Coira è una delle sue prime opere.

Avvicinandosi si scopre piacevolmente la matericità del

manufatto, cogliendo le particolarità che restituiscono la visione d'insieme. L'interno è molto più simile ad un allestimento, ed ha il sapore di un'architettura effimera; questo carattere d'instabilità lo rende particolarmente affascinante. Le assi in legno, assemblate in orizzontale, sono leggermente distaccate tra di loro, lasciando una lama d'aria tra l'una e l'altra. Solo una visione ravvicinata permette una simile constatazione, mentre nella visione d'insieme la pelle esterna ostenta la propria compattezza. I tre corpi che costituiscono la copertura si distinguono nettamente, giocati su proporzioni rigorose e perfette.

Inerpicandosi tra le montagne della Surselva, troviamo la testimonianza di una nuova architettura svizzera, fatta di forme semplici, di materiali antichi, di particolari costruttivi raffinati e soprattutto di paziente lavoro.

La chiesa, progettata nel 1988, sorge su un colle, sopra le case del villaggio Sogn Benedetg. La nuova cappella adotta una forma architettonica particolare che la distingue dagli edifici secolari. Sorge in un luogo privilegiato dalla topografia locale, ma in particolare si distacca dalla tradizione delle chiese locali perchè è costruita in legno. Il campanile, affiancato alla chiesa, è una costruzione simile a una scala a pioli che, piano piano, si stacca dal fondo e si staglia sul cielo.

Zumthor crea un oggetto architettonico contemporaneo, costruito in modo atipico, tuttavia radicato profondamente nella storia dell'architettura e che, nonostante la sua estraneità, innesca ricordi che sembrano essere più

Figura 1. Accademia di Mont Cenis - Emscher Park. Arch. Melene Jourda + Architekten BDA.



A&RT

preziosi di qualsiasi citazione diretta di una forma antica. La chiesa è un edificio a un solo ambiente a forma di foglia o di goccia, orientata da est a ovest. Esterno e interno si corrispondono perfettamente. Questa corrispondenza è al contempo semplice e complessa, perché all'esterno la sagoma dell'edificio è slanciata, mentre l'interno è arrotondato e introverso. L'epidermide argentea della parete è rivestita all'esterno da scandole. È il trionfo dell'architetto-artigiano, la vittoria della professione intesa come missione (qualcosa in bilico tra filosofia, didattica ed ebanisteria) sull'universo delle archistar.

Peter Zumthor, figlio di un ebanista, ha infatti imparato fin da piccolo il mestiere di falegname nel laboratorio del

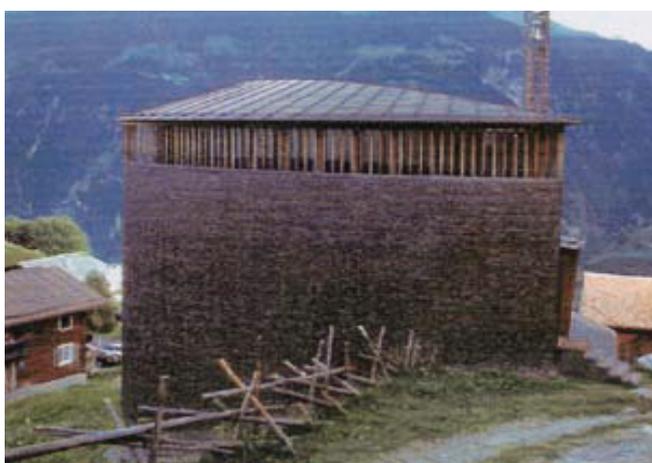
padre. La sua conoscenza e l'amore per questo materiale si trasforma in poesia nell'espressione formale delle sue architetture.

Sempre nel corso dello stesso viaggio, nella zona del Voralberg a Lustenau il nostro gruppo è stato ospitato in una vera fattoria, progettata con maestria dall'architetto austriaco Roland Gnaiger e realizzata interamente in legno; il rivestimento esterno in doghe orizzontali della struttura, ricorda in qualche modo la copertura dei resti romani a Coira. Utilizzata in chiave contemporanea e autoregolante dal punto di vista del consumo energetico con utilizzo di fonti alternative, offre un magnifico esem-

Figura 2. Coira, Copertura dei resti romani. Arch. Peter Zumthor.

Figura 3. Cappella Sogn Benedekt, esterno. Arch. Peter Zumthor.

Figura 4. Cappella Sogn Benedekt, interno. Arch. Peter Zumthor.



pio di connubio di funzionalità tecnico-estetica e organizzazione operativa, con tanto di spaccio di vendita degli alimentari autoprodotti.

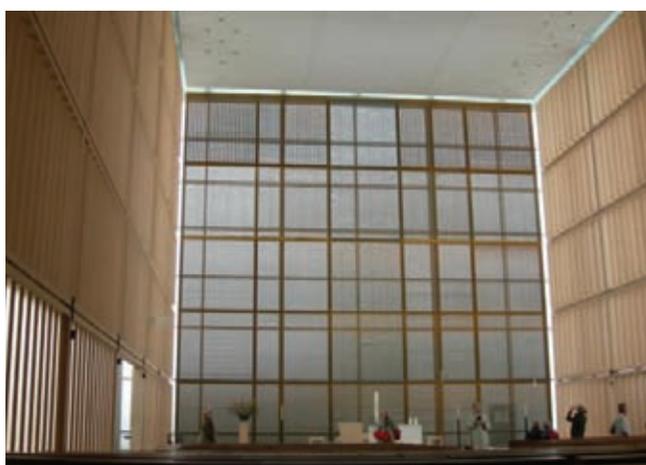
Nell'ottobre dell'anno successivo la società ha visitato il quartiere di edilizia sostenibile Vauban della Friburgo tedesca. Il quartiere è nato su iniziativa di un comitato spontaneo di privati che inizialmente occuparono l'area dopo le dismissioni delle strutture militari preesistenti; successivamente è stato fatto oggetto di una regolamentazione edilizia molto rigorosa che ha inciso in modo determinante sullo sviluppo del quartiere e sulle caratteristiche tipologiche dei fabbricati. Spiccano, infatti, il

corretto impianto urbanistico, la variegata sperimentazione architettonica, l'utilizzo disinvolto di alcuni materiali, quali legno e vetro e calcestruzzo, e l'esasperata attenzione al risparmio energetico. Gli edifici sono dei veri e propri organismi quasi autosufficienti, che, grazie ad una strategica progettazione tecnologica facente uso di pannelli solari, fotovoltaici, materiale naturale per la realizzazione e sistemi per un corretto isolamento termico, attuano un vero e proprio risparmio energetico e rispetto dell'ambiente circostante. Punto di forza del quartiere è un aggregato di edifici denominato Schlieberg, progettato dall'architetto Rolf Disch: 50 case a schiera immerse nel verde, delle quali 40 sono case passive, mentre le

Figura 5. Lustenau, Vetter Farm.

Figura 6. Friburgo, Quartiere Vauban.

Figura 7. Monaco, Chiesa del Gesù.



A&RT

restanti 10 sono definite «*Plusenergiehauser*». Le costruzioni sono totalmente di legno, dalla struttura intelaiata portante, ai tamponamenti e al rivestimento esterno a doghe, tinteggiate con colori vivaci che contribuiscono a rendere estremamente vivibile e gradevole l'isolato.

Nel maggio del 2006 il programma di viaggio ha riguardato la città di Monaco di Baviera. Di particolare interesse la Chiesa del Gesù progettata dallo studio locale Allmann Sattler Wappner. Il concept innovativo, spiegato dallo stesso architetto Sattler, è stato quello di realizzare una chiesa aperta, luminosa, vivace con transizione fluida e modulare della luce dall'entrata attraverso il vestibolo, fino alla navata: una stanza senza il rigido simbolismo di una pesante chiusura. Al centro dello spazio liturgico è posizionato l'altare; le zone intorno sono modificabili e possono essere adattate alle varie celebrazioni religiose.

Le coperture esterne di vetro trasportano nella stanza la luce in continua mutazione per intensità, colore e rifrazione. La conchiglia interna è costituita da una struttura in acero lamellare. Quindi all'interno, predomina la presenza di questo involucro di legno chiarissimo che riflette la luce in modo morbido e vellutato e infonde serenità. Le forme delle coperture sono chiuse alla loro testa da due portali opposti. Il portale d'ingresso è fisicamente pesante, con colori intensi e dotato di sofisticato meccanismo automatico di rotazione per l'apertura delle ante.

Un anno dopo, nel corso di un viaggio ad Amburgo e Copenaghen, il gruppo ha fatto visita alla sede della ditta Tobias Grau di Amburgo, progettata dallo studio locale BRT. Gli spazi interni comprendono, oltre agli uffici amministrativo, commerciale e tecnico, anche un magazzino con una zona di montaggio finale ed un'area dedicata al movimento merci. La prima parte realizzata è costituita da un lungo corpo affusolato, a cui si è affiancato successivamente il secondo corpo di fabbrica, ottenendo così una particolare forma ad H a due piani fuori terra. La struttura portante è realizzata con travi in legno lamellare di luce superiore ai 20 metri che avvolgono completamente le maniche delle zone operative e sono

sostenute da puntoni in legno, in posizione inclinata. Ne risulta un ambiente interno nelle zone di lavoro caldo ed accogliente, dove la struttura portante diventa elemento architettonico-decorativo, accompagnata da pavimenti in legno industriale ed arredi in multistrato di betulla; il tutto conferendo agli un'estetica hi-tech sapientemente ammorbidita. Parte integrante del concetto costruttivo dell'edificio è anche un efficace sistema di protezione solare, in grado di preservare l'intera costruzione dal surriscaldamento durante i mesi estivi. Ciò è garantito dal sistema di lamelle orientabili in vetro curvo posizionate esternamente, realizzate in vetro serigrafato resistente ai raggi solari. Durante l'estate, in caso di temperature elevate, il sistema di riscaldamento a pavimento viene convertito in impianto di raffrescamento e garantisce un microclima piacevole.

Durante il soggiorno a Copenaghen il gruppo ha visitato la biblioteca civica di quartiere dello studio Dorte Mandrup Architetti. Il principale obiettivo del progetto era connettere le diverse attività presenti all'interno della costruzione e allo stesso tempo creare collegamenti e facilitare l'accessibilità con l'esterno. La biblioteca è ricavata all'interno di un edificio industriale del 1880, a cui è stato aggiunto un volume destinato a sala conferenza. La ristrutturazione ha previsto il massiccio inserimento di elementi in legno sia di finitura, sia strutturali. Un'interessante sistema di pannelli mobili permette di collegare o separare gli spazi tra loro, a secondo dell'utilizzo.

A Lione, sempre nel 2007, visitiamo un edificio molto particolare, la Scuola di Architettura degli architetti Françoise Helène Jourda e Gilles Perraudin. Si tratta di un edificio con struttura in cemento e legno lamellare. Il volume è distribuito lungo una via interna protetta da una vetrata che sbocca sulla hall semicircolare degli uffici amministrativi ed è attraversata da passerelle che collegano i laboratori posti al primo piano. I laboratori sono caratterizzati da una struttura in legno molto articolata e

Figura 8. Amburgo, Ditta Tobias Grau.

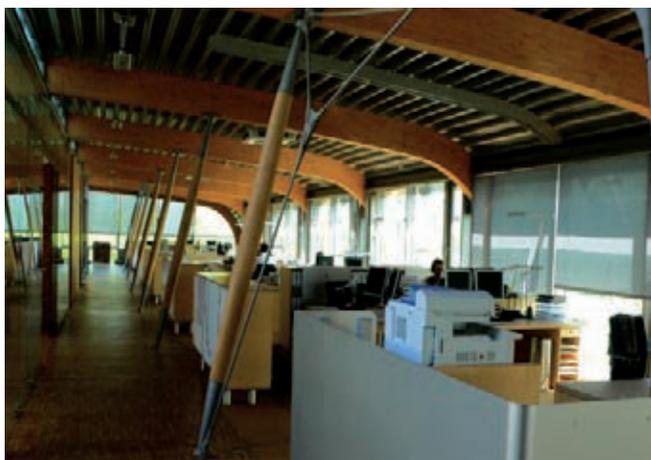


Figura 9. Copenaghen, Biblioteca.



dalla doppia facciata che ne garantisce la trasparenza. Al piano terra, i volumi in cemento delle aule si oppongono alla leggerezza dei laboratori, rappresentando la necessaria contraddizione tra l'apprendimento teorico e l'autonomia della creazione.

Nel giugno del 2008 il viaggio ha come meta Madrid. Di particolare rilievo è l'Aeroporto Barajas, realizzato da Richard Rogers e dai madrileni Estudio Lamela.

Per quanto riguarda l'utilizzo del legno come materiale da rivestimento, la copertura interna merita grande attenzione. Il nuovo terminal, lungo più di un chilometro, ha la capacità di ospitare 70 milioni di passeggeri l'anno. Il progetto è risultato vincitore per le quattro caratteristiche principali: integrazione paesaggistica, risparmio energetico, leggibilità dello spazio e flessibilità.

La flessibilità e la modularità della costruzione potrà permettere in futuro una crescita in entrambe le direzioni, longitudinale e trasversale. In questi spazi i movimenti verticali avvengono tramite blocchi scale, rampe o ascensori. Segno caratterizzante dell'edificio è la linea sinuosa della copertura che poggia su colonne in acciaio inclinate, con una base di cemento armato lasciato in vista. La copertura è l'elemento che unifica tutto il progetto; lastre di acciaio formano una sequenza di onde che coprono

tutte le parti dell'edificio. All'interno queste onde sono sempre visibili, ma qui le troviamo rivestite in strisce di bambù, e riescono a dare un tono caldo all'ambiente. Anche da fuori l'aspetto esprime leggerezza e trasparenza, e si crea una forte connessione visuale fra interno ed esterno; proprio questo legame interno-esterno ha costituito una delle scelte vincenti in fase di concorso.

Sempre a Madrid, nel quartiere Carabanchel, è stato visitato un altro edificio interessante dal punto di vista dell'utilizzo del legno come involucro esterno: un progetto di edilizia sovvenzionata dei britannici Foreign Office Architects. Il sito fa parte di un nuovo quartiere d'espansione a sud di Madrid ed ha la forma di un rettangolo in legno confinante a ovest con un nuovo parco urbano e verso nord, est e sud con fabbricati della stessa tipologia. Il parallelepipedo contiene unità abitative diverse per forma e dimensione, ma tutte godono di un doppio affaccio est-ovest e di un accesso ad un giardino privato realizzato a copertura dei parcheggi sul lato est dell'edificio. Le facciate non presentano sporgenze di nessun genere; tutta la superficie delle facciate è rivestita da persiane in bambù montato su telaio metallico, comprese le logge esterne. Dal punto di vista funzionale, viene garantita la giusta privacy agli appartamenti, e, al tempo stesso esse forniscono un'efficace schermatura contro l'irrag-

Figura 10. Lione, Scuola di Architettura.

Figura 11. Madrid, Aeroporto Barajas.

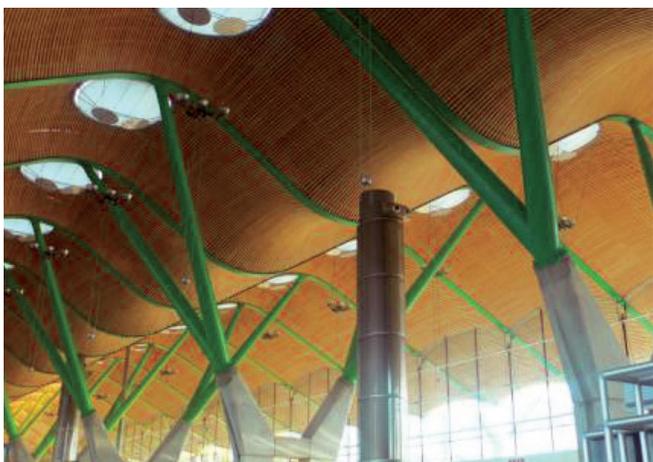


Figura 12. Madrid, Aeroporto Barajas.

Figura 13. Madrid, Edilizia sovvenzionata Carabanchel.



A&RT

giamento solare dei mesi estivi, pur potendo essere totalmente aperte per godere del panorama circostante. L'effetto estetico unitario è affascinante e molto caratterizzante per il fabbricato di tipologia e caratteristiche altrimenti assolutamente ordinarie.

Infine nel 2009 il programma del viaggio a Vienna ha incluso la visita al Complesso residenziale Muhlweg, degli architetti Untertrifaller, Rieb, Kaufmann, realizzato nel 2005. In questo caso spicca l'utilizzo dei pannelli di legno ad assi incrociati utilizzati come elementi strutturali di pareti e solai, abbinati a basamenti e blocchi scala e ascensori in cemento armato.

Il complesso comprende tre blocchi di edifici per un totale di 84 appartamenti con uno standard a basso consumo energetico (30 kWh/m²/a). Le tre unità nel Muhlweg riescono a combinare facilmente le strutture in cemento,

che sono essenziali per la protezione dal fuoco e per garantire la staticità della struttura ed un ampio utilizzo di legno per la struttura del design interno ed il rivestimento in facciata.

I progettisti provengono dalla zona austriaca del Voralberg dove, la diffusione dell'utilizzo del legno nell'architettura conta numerosissimi e significativi esempi. Purtroppo, tra quanto trattato di seguito non sono presenti esempi sul nostro territorio nazionale; questo ci conferma il divario tra il nostro paese ed il resto dell'Europa sull'utilizzo di questo materiale. È auspicabile che iniziative come quelle delle Giornate Legno contribuiscano a diffondere la cultura del suo utilizzo nel nostro paese.

Stefano Vellano, architetto libero professionista, Consigliere SLAT.

Figure 14, 15. Vienna, Complesso residenziale Muhlweg.



Le costruzioni di legno di un grande studio internazionale: gmp

Wooden constructions of an important International firm: gmp

ROBERT FRIEDRICHS

Abstract

Lo Studio d'architettura gmp, fondato nel 1965 dagli architetti Meinhard von Gerkan e Volkwin Marg, a cui oggi appartengono altri quattro partner e sette partner associati, con più di 600 collaboratori distribuiti in dieci uffici, opera sia a livello nazionale che internazionale.

Gmp è tra i pochi studi d'architettura che hanno una visione globale della disciplina, sentendosi responsabili del progetto dall'idea progettuale fino alla realizzazione e al disegno degli interni. Il punto di vista di gmp sull'architettura è influenzato dai criteri di Vitruvio che si manifestano nella stabilità, durevolezza e bellezza. L'architettura si percepisce come durevole se tiene conto da una parte delle condizioni climatiche e della costruzione con materiali adeguati e d'altra parte se vede la casa come espressione della varietà dell'esistenza umana, sottolineando una struttura naturale. Di comune accordo con i proprietari delle costruzioni e naturalmente certificati secondo le norme, lo studio gmp costruisce in diversi ambiti culturali. Negli ultimi 45 anni, Meinhard von Gerkan, Volkwin Marg ed i loro partner hanno progettato e costruito in quasi tutte le grandi città nella Repubblica Federale Tedesca. I diversi progetti vanno da case unifamiliari, hotel, musei, teatri e sale da concerto, uffici, centri commerciali ed ospedali fino ad istituzioni per la ricerca, lo sport e l'istruzione nonché costruzioni commerciali ed industriali, fabbricati per il traffico e progetti master. Non solo i progetti come la Nuova Fiera di Lipsia, la Fiera di Rimini o la chiesa Christus Pavillon, realizzata per l'Expo di Hannover dell'anno 2000, suscitano grande attenzione in tutto il mondo, ma anche quelli per la

Figura 1.



A&RT

ristrutturazione dello Stadio Olimpico a Berlino (Figura 1) con la sua nuova costruzione dell'impressionante tetto, lo Stadio RheinEnergie a Colonia oppure per la stazione ferroviaria «Berlino Stazione Centrale – Lehrter Bahnhof», terminata nel 2006 (Figura 2).

In concorsi nazionali ed internazionali, gmp ha ottenuto oltre 440 premi, tra cui più di 240 primi posti nonché numerosi premi per un'architettura esemplare. Fino ad oggi sono stati costruiti più di 280 fabbricati.

In Cina sono già stati realizzati i progetti come i quartieri fieristici e congressuali a Nan-ning e Shenzhen, il Museo a Shanghai-Pudong, il Centro Culturale Zhongguancun a Pechino nonché lo Stadio di Foshan. Altri progetti si trovano nelle fasi finali di costruzione, tra cui l'Opera di Chongqing e Qingdao ed il Museo Nazionale Cinese a Pechino. Nell'anno 2006, è stata terminata la costruzione del Centro di Congresso Nazionale a Hanoi, la capitale del Vietnam, ed attualmente sono in costruzione il Museo di Storia Urbana ed il Ministero dell'Interno vietnamita. In Sudafrica, nel 2009, entreranno in funzione tre stadi per il Campionato del Mondo di Calcio a Città del Capo, Durban ed a Port Elisabeth.

Con i loro studi urbanistici per la ferrovia tedesca «Stoccarda 21», la «HafenCity» di Amburgo e la riforma urbana di «Bucarest 2000», nonché un gran numero di progetti urbanistici in Cina, tra cui la nuova città «Lingang New City», per 800.000 abitanti, von Gerkan, Marg e Partner hanno messo alla prova la loro competenza anche in questo ambito.

Al momento, gmp si sta impegnando con progetti tra l'altro in Cina, India, Vietnam, Sudafrica, Brasile, Italia, Spagna, Turchia, Romania, Polonia e Lettonia.

La filosofia gmp

«Le premesse per la ricerca di risposte e soluzioni adatte ed accettabili riguardanti i problemi della rappresentazione ambientale sono la disponibilità al dialogo e l'adattamento del proprio punto di vista al cambiare delle condizioni. La decisione di cosa e come verrà costruito, incon-

tra la società sotto complicati meccanismi politici ed economici. Noi architetti dobbiamo assumere la responsabilità di partecipare con convinzione a questo dialogo». È nostro ideale progettare le cose in modo così semplice da poter permanere nel loro significato al trascorrere del tempo. Il ritegno formale e l'uniformità dei materiali vengono motivati da questa dichiarazione, perché per noi l'evidenza è un imperativo categorico.

Siamo intenzionati a progettare una casa solo in modo naturale, ad eseguirla possibilmente per una lunga durata, come involucro per la varietà dell'esistenza umana.

Per mezzo di una distanza critica dalle attuali immagini architettoniche, cerchiamo di evitare forme espressionistiche che derivano solo da capricci artistici senza riferimento all'uso, alla struttura ed alla funzionalità.

Dai mass-media questa semplicità tramandata viene riclassificata nella «nuova» semplicità. È a noi sconosciuto però il purismo esasperato che si esprime nei disegni con il rifiuto di informazioni e nelle costruzioni con la scarnificazione troppo cruda. Intendiamo una riduzione riferita alla plausibilità e alla naturalezza, che deve integrare presunte fratture stilistiche provocate dalla funzione e dall'ubicazione.

Per la progettazione di fabbricati e design d'interni valgono le posizioni della progettazione dialogica come linea guida del nostro concetto architettonico:

- semplicità;
- uniformità nella molteplicità;
- identità con il luogo;
- ordine strutturale.

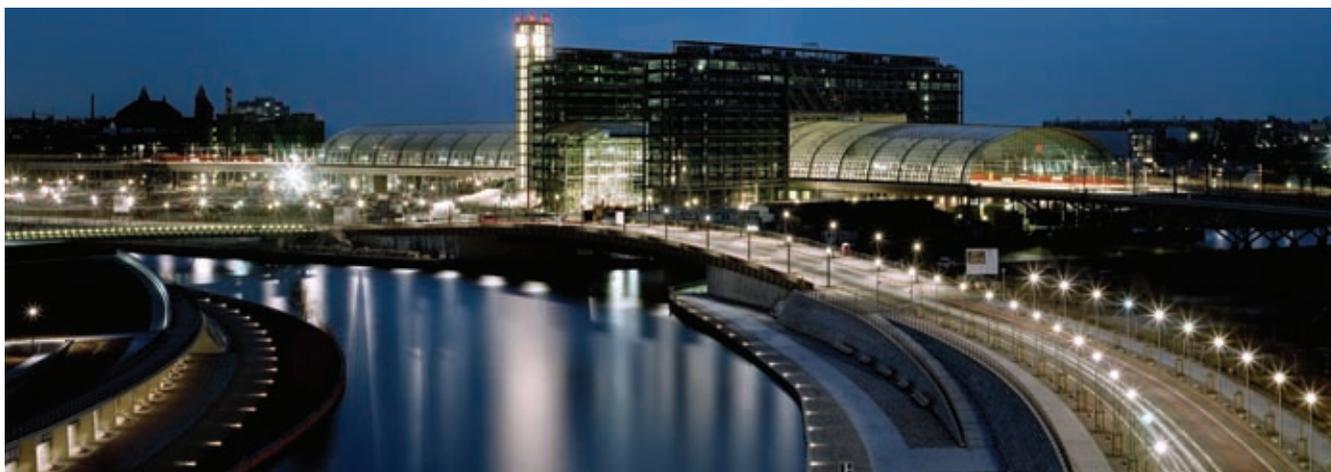
Semplicità: nei tuoi progetti cerca sempre la soluzione più evidente. Dal semplice mira al migliore (Figura 3).

Uniformità e molteplicità: crea l'uniformità nella molteplicità. Produci molteplicità nell'uniformità (Figura 4).

Inconfondibilità: sviluppa l'identità del progetto dallo specifico della situazione e dal compito (Figura 5).

Ordine strutturale: impartisci un ordine strutturale ai progetti. Organizza le funzioni in chiare forme di costruzione (Figura 6).

Figura 2.



Costruire con il legno

Le caratteristiche dei materiali da costruzione e il confronto con il luogo sono i presupposti per la scelta e l'utilizzo di determinati materiali. In questo dialogo sono determinanti per la scelta criteri come la durevolezza, la disponibilità sul luogo, i costi, le possibilità di premontaggio o anche semplicemente l'atmosfera desiderata.

Il luogo, la sua impronta culturale, le dimensioni e le esigenze funzionali sono alcuni tra i fattori determinanti, che con differenti risposte e caratteristiche possono portare alla scelta di un materiale come il legno.

Lo studio gmp conta tra i progetti realizzati una serie di edifici caratterizzati dal legno, che possono essere per sommi capi così suddivisi:

1. arredi;
2. coperture in legno strutturale;
3. facciate rivestite in legno;
4. strutture completamente in legno.

1. Arredi

Oltre ai progetti di singoli mobili, il legno gioca un ruolo importante nei grossi edifici pubblici, in particolare in contrasto con la sensazione di distacco che trasmettono le strutture portanti e le grosse costruzioni.

Il legno con i suoi colori caldi e con le sue gradevoli qualità tattili evidenzia i punti in cui si sviluppa il contatto tra gli utenti l'architettura (Figura 7).

2. Coperture in legno strutturale

La nuova Fiera di Rimini si sviluppa lungo una spina dor-

sale di 16 padiglioni espositivi tra loro collegati (Figure 8, 9, 10). La piazza all'ingresso con i suoi tetrapilo e la galleria coperta dal colonnato citano l'architettura regionale. L'elemento strutturale più significativo è senz'altro costituito dalla particolare struttura in legno lamellare utilizzata, con dimensioni e forme diverse, sia per la copertura dei padiglioni, con una luce di 60 metri, e del foyer d'ingresso, con una luce di 18 metri, sia per la cupola con un diametro di 30 metri.

Il sistema è stato sviluppato dall'ingegnere tedesco Friedrich Zollinger (1881-1945) che già negli anni venti del secolo scorso aveva adottato una tipologia di questo tipo per co-perture in legno.

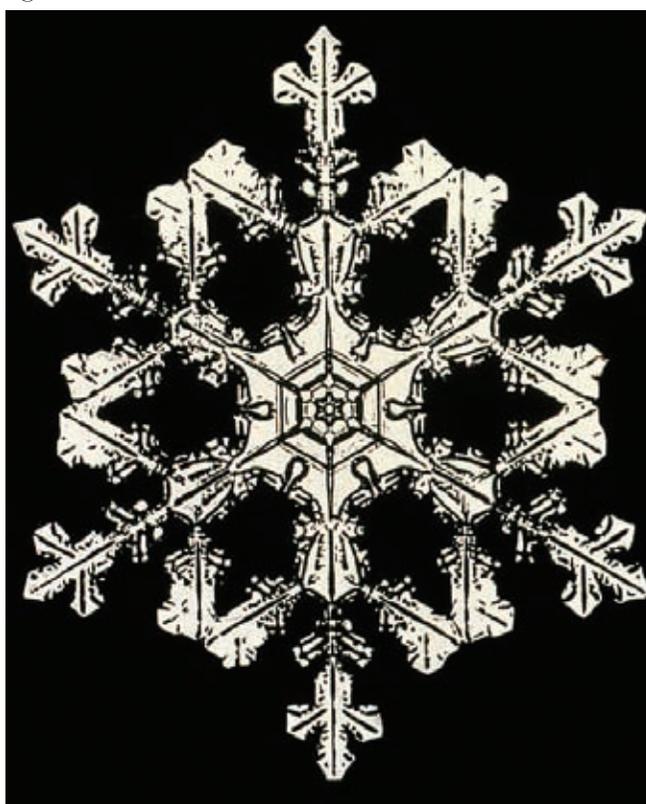
Successivamente, in particolare da parte di Pier Luigi Nervi, la geometria a rombi è stata applicata per grandi coperture, come nel caso del Palazzetto dello Sport a Roma e per un'aviorimessa a Orvieto, in questi casi realizzati con cemento armato. La moderna tecnologia del legno lamellare ha permesso solo recentemente di arrivare a luci di considerevole ampiezza anche con il legno, e i padiglioni di Rimini rappresentano uno dei primi esempi in questo senso. La tecnologia risulta particolarmente adatta a una realizzazione in serie anche per luci grandi essendo il sistema composto da elementi identici ripetuti di dimensioni ridotte e quindi facilmente trasportabili.

A Rimini, la forma architettonica, il calore dei materiali, l'ordine strutturale in contrasto con la caotica attività della Fiera e anche semplicemente la bellezza della costruzione stessa, danno una efficace risposta a varie esigenze.

Figure 3, 4, 5 (dall'alto in basso, in senso antiorario)



Figura 6.



A&RT

3. Facciate rivestite in legno

I rivestimenti in legno non rappresentano solo una possibilità per la strutturazione delle facciate, ma possono anche rispondere a diverse richieste e intenzioni progettuali.

Il dialogo tra materiali diversi è efficacemente adottato nell'archivio minerario di Clausthal-Zellerfeld (Figura 11).

Qui in particolare l'ubicazione nella zona dell'Harz e l'utilizzo consapevole del piombo nel rivestimento sono la risposta concreta al compito progettuale.

Anche nella casa d'abitazione Von Gerkan il dialogo tra la costruzione portante in acciaio e il rivestimento in lamelle di legno si articola come un discorso architettonico.

Se la costruzione è eseguita correttamente, le caratteristiche di invecchiamento del rivestimento in legno portano, in particolare con il larice, ad una pregiata colorazione argentata e conferiscono all'edificio un aspetto di immortalità senza tempo.

Questo è evidente ad esempio nelle residenze del Dr.

Manke o von Gerkan (Figure 12, 13).

La bellezza strutturale nell'unione con le lamiere tra il rivestimento verticale e orizzontale, può creare, se eseguita accuratamente e con soluzioni di dettaglio esatte, possibilità di strutturazione.

Il gioco di luci ed ombre, creato ad esempio tra le lamelle in legno dal taglio romboidale del rivestimento della residenza von Gerkan, porta ad avere differenti visuali e differenti situazioni luminose sia verso l'interno che verso l'esterno (Figura 14).

4. Strutture completamente in legno

Per la residenza a Jurmala vicino alla spiaggia di Riga è stata scelta la tradizione locale per l'edificazione di costruzioni in legno utilizzata in modo moderno (Figure 15, 16).

Il piano è strettamente simmetrico e assiale.

La parte centrale nell'asse è formata da una sequenza dall'ingresso, fino a un atrio sottostante un soffitto in vetro e infine una grande sala da pranzo, che termina in un cortile-giardino, abbracciato da edifici laterali con un

Figure 7, 8 (dall'alto in basso).

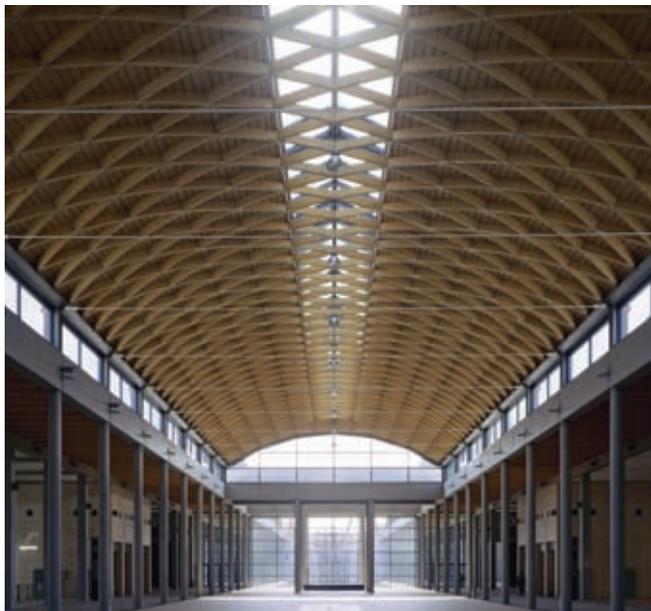


Figure 9, 10 (dall'alto in basso).



decorativo laghetto centrale.

Due edifici fiancheggiano la parte centrale, accogliendo l'area per le mostre, una sala da biliardo così come due appartamenti per gli ospiti con aggiunti, al livello superiore, le camere di servizio e dello staff.

L'intero edificio è realizzato, secondo la tradizione locale, in legno di larice canadese; la superficie del soffitto è rivestita di puro zinco.

Un esempio di struttura completamente in legno si trova sulla penisola Graswarder, che fa parte della località balneare del Baltico di Heiligenhafen, dove c'è una estesa riserva naturale per uccelli, sito preferito non solo dagli ornitologi ma anche da vacanzieri e viaggiatori.

Allo scopo di osservare gli uccelli in questo ambiente incontaminato senza che vengano disturbati, i direttori della riserva desideravano erigere una torretta per l'osservazione che si adattasse al luogo e che, grazie alla sua posizione sopraelevata, potesse anche fornire una eccezionale visuale dell'intera area e consentisse ai visitatori di studiare i dettagli con l'aiuto di un telescopio (Figure

17, 18).

La risultante costruzione in legno, fatta di larice siberiano, ben si integra nell'ambiente naturale circostante. Come una scultura fatta di travi e assi poste in diagonale, riproduce la forma di un uccello appollaiato.

Una scala a due rampe consente l'accesso alla torre alta 15 metri, che, con la sua stazione di osservazione vetrata, può comodamente ospitare gruppi numerosi di visitatori.

Il principio della dialogica progettuale significa per gmp non solo il confronto con il luogo, il committente e i requisiti funzionali, ma comprende anche in senso più lato i quattro principi precedentemente enunciati, validi anche per l'impiego del legno, il cui utilizzo non è fine a se stesso.

Secondo la nostra opinione, per uno studio che agisce in ambito internazionale come gmp, la risposta progettuale non si può trovare in una architettura sempre uguale a se stessa, bensì nel risultato di una continua ricerca di soluzioni uniche per ogni incarico progettuale.

Figure 11, 12 (dal basso in alto).



Figura 13.



A&RT

Robert Friedrichs, è chief architect presso la sede di Amburgo dello studio Von Gerkan, Marg und Partner. Compie studi alla IUAV di Venezia e alla ETH Zurigo e si laurea in architettura alla TU di Braunschweig (con il Prof. M. von Gerkan). Svolge un Master in Pianificazione Territoriale presso la ETH di Zurigo (con il Prof. Kees Christiaanse). Presso la HCU di Amburgo è stato assistente del Prof. Paolo Fusi, titolare della cattedra di urbanistica.

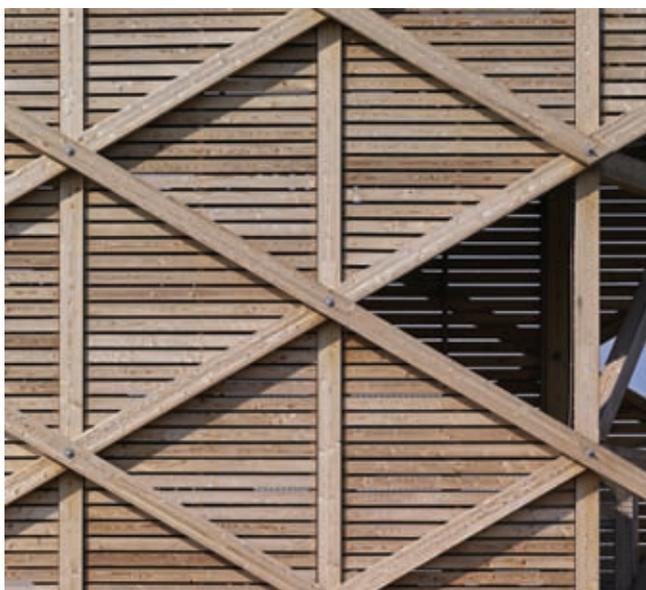
Crediti fotografici

Figure 1, 2: Marcus Bredt; Figure 3, 4, 5, 6: gmp Archiv; Figure 7, 11, 14: Jürgen Schmidt; Figure 8, 9, 10, 15, 16: Klaus Frahm; Figura 12: Kai Abresch; Figura 13: Guna Eglite; Figure 17, 18: Heiner Leiska.

Figure 14, 15 (dall'alto in basso).



Figure 16, 17, 18 (dall'alto in basso).



Architettura locale in legno: la cappella e la stalla

Local wooden architecture: the chapel and the stable

LAURENT SAURER, MANUEL BIELER

Abstract

Localarchitecture è stato fondato a Losanna dai soci Manuel Bieler, Antoine Robert-Grandpierre e Laurent Saurer nel 2002.

Il nostro lavoro si focalizza sullo sviluppo di una architettura fresca e responsabile che contribuisca a ridefinire la storia e l'armonia del contesto. L'obiettivo di Localarchitecture è quello di realizzare un impatto positivo con l'ambiente attraverso l'integrazione di tempo, suono e stagioni nel processo progettuale.

Localarchitecture ha ottenuto riconoscimenti a livello nazionale ed internazionale in pubblicazioni e concorsi. I più recenti riconoscimenti includono il premio Distinction Romande d'Architecture, il premio Federal Bois21 per il nuovo utilizzo del legno nello sviluppo sostenibile, il nuovo Museo nazionale Estone e il nuovo Museo di Arti Decorative a Losanna.

Localarchitecture was founded in Lausanne by partners Manuel Bieler, Antoine Robert-Grandpierre and Laurent Saurer in 2002.

Our work focuses on developing a responsive and fresh architecture that contributes in redefining a context's harmony and history. Localarchitecture's goal is to achieve a positive impact on the environment by integrating time, sounds and seasons in the design process.

Localarchitecture has been recognized nationally and internationally in publications and competitions. Recent awards include Distinction Romande d'Architecture Award, Federal Bois21 Award for new wood utilization in Sustainable Development, New Estonian National Museum, and New Fine-Arts Museum in Lausanne.

Stalla nella Jura

Nel recente passato hanno avuto luogo una serie di importanti negoziazioni di livello internazionale finalizzati a riscrivere la normativa che regola il settore agricolo. Un passo significativo in tale direzione avvenne durante la sesta Conferenza Ministeriale del WTO tenutasi ad Hong Kong tra il 13 ed il 18 dicembre 2005. Al termine di tale incontro, i paesi membri annunciarono che ogni forma di sussidio all'esportazione sarebbe stata

Figura 1. Stalla nella Jura: sezione.



A&RT

chiusa entro la fine del 2013.

Dal momento che il settore agricolo svizzero è il più tutelato al mondo (nel 2004, il 68% degli introiti derivarono da sussidi statali), tale liberalizzazione ne metteva in serio pericolo la sussistenza. In risposta, in Svizzera, ci si prese pertanto l'impegno di definire e consolidare quelle caratteristiche che avrebbero potuto dare al proprio prodotto un vantaggio competitivo. In quanto paese associato nell'immaginario collettivo, all'aria aperta, a paesaggi magnifici e placide mucche, la Svizzera, comprensibilmente, ha dunque scelto di focalizzare l'attenzione delle proprie strategie produttive sulle nozioni di autenticità, qualità e rispetto per la natura.

In questo contesto, l'agricoltore svizzero diviene, come non mai, un «paesaggista» che abbia avuto come commessa, la conservazione del tanto magnifico quanto fragile ambiente nel quale lavora. Come conseguenza di tali indirizzi, agricoltura e conservazione del paesaggio sono divenuti complementari, in mutua sinergia, verso un impegno comune. Sebbene l'architettura sia uno dei primi elementi che possono compromettere od accrescere la qualità dei luoghi, paradossalmente si parlò ben poco di un suo eventuale ruolo in questo processo. La spinta alla minimizzazione dei costi insieme all'indifferenza per il potenziale contributo dell'architettura hanno

portato allo svilupparsi di un catalogo di edifici standardizzati progettati esclusivamente come spazio funzionale all'attività che contengono.

Nel 2003 due agricoltori hanno commissionato a Localarchitecture la progettazione di un edificio da destinarsi a fienile e stalla per trenta mucche. Il committente aveva in mente un edificio contemporaneo ma che comunque rientrasse nel budget che le autorità federali assegnano a edifici di quella tipologia. A ciò si aggiungeva anche la richiesta di aderire agli standard stabiliti per le produzioni di tipo biologico.

La stalla avrebbe dovuto essere l'elemento terminale dell'infrastruttura del «Cerisier», un'ampia tenuta agricola nella Jura, posizionata nel cuore di un idilliaco paesaggio costituito da campi, pascoli, foreste, valli e montagne. Le direttive del progetto richiedevano di ridurre gli scavi al minimo e provvedere un adeguato bilanciamento tra vuoti e pieni. La stalla avrebbe dovuto essere posizionata vicino alla cascina esistente, delineando uno spazio esterno ad uso del bestiame ospitato.

Subito appassionati all'idea di un progetto rispettoso dello sviluppo dell'architettura locale, i progettisti avviarono una dettagliata analisi delle tipologie delle cascine presenti nella regione. Identificarono due tipi principali. Il più antico è caratterizzato da un colmo del tetto per-

Figure 2, 3, 4 (dall'alto in basso, in senso orario). Stalla nello Jura: cantiere.



pendicolare alle facciate, dando forma a facciate generosamente aperte alla valle. Tuttavia lo svantaggio di tale tipologia è il rendere problematico qualsiasi ampliamento. Con l'avvento della meccanizzazione in agricoltura, pertanto, questo schema fu gradualmente abbandonato a favore di una tipologia più flessibile, con il colmo del tetto parallelo alla facciata ed i timpani laterali, pensati per agevolare gli ampliamenti. Combinando questi sistemi, i progettisti hanno creato una sintesi delle due diverse tradizioni, conferendo loro una forma contemporanea in una nuova identità.

Nella sua ambivalenza, l'edificio progettato da Localarchitecture diviene un elemento unificatore delle costruzioni che lo circondano. Ad una scala differente, questa dinamica unificante è ripetuta attraverso il bilanciamento tra la leggera inclinazione del suo tetto e delle cornici e le creste montagnose intorno.

Entrambi, cliente ed architetti, condividono un comune interesse per lo sviluppo sostenibile che si riflette nella stretta collaborazione per la scelta e l'applicazione dei materiali.

Le dimensioni dell'edificio, dal punto di vista strutturale, sono state pertanto calcolate tenendo in conto la quantità di legni disponibile nelle foreste vicine. I dettagli costruttivi sono stati progettati in maniera che lo stesso cliente

avesse la possibilità di portare a termine in prima persona le fasi finali della costruzione diventando quindi in grado di procedere a qualsiasi futura manutenzione. In aggiunta ai vantaggi di natura ecologica, l'uso del legno ha reso possibile lo sviluppo di una struttura portante in grado di armonizzarsi con la tradizione locale del «ramée» – un'ampia area costituita da listelli di legno distanziati che garantiscono la ventilazione naturale – e di migliorare semplici dettagli per risolvere il complesso problema della geometria dell'edificio. Mentre è vero che la Svizzera va naturalmente a braccetto con le mucche, non si dovrebbe dimenticare che è anche un paese di orologiai, una tradizione che si riflette nella precisione delle risposte che questo progetto ha dato alle domande da questo presentate.

Laurent Saurer, Localarchitecture, Losanna.

Cappella temporanea per le Diaconesse di St. Loup

Premessa

Nell'estate del 2007, il gruppo di progettazione Localarchitecture e l'architetto Danilo Mondada furono incaricati di curare il restauro della casa madre della Comunità delle Diaconesse di St. Loup. L'incarico comprendeva il completo restauro dell'edificio storico, com-

Figure 5. Stalla nello Jura: interni.



Figure 6. Stalla nello Jura: interni.



A&RT

presa la principale cappella della comunità. Fu subito chiaro che la casa madre avrebbe dovuto rimanere chiusa per l'intera durata dei lavori, in altre parole, per diciotto mesi a partire dall'estate del 2008.

Invece di optare per una soluzione tradizionale, quale l'affitto di un tendone o di container, gli architetti suggerirono di costruire una cappella temporanea nella quale potessero svolgersi le funzioni religiose per l'intera durata del cantiere.

Collaborazioni

Localarchitecture, che è specializzata in costruzioni in legno e soluzioni strutturali innovative, è nota per numerosi lavori che esplorano le tecniche costruttive in legno, sia tradizionali che contemporanee.

In questo caso, gli architetti proposero di lavorare in collaborazione con Hani Buri e Yves Weinand del laboratorio IBOIS dell'EPFL (Scuola Politecnica Federale di Losanna), le cui ricerche hanno attualmente ad oggetto quelle strutture piegate che sembravano particolarmente interessanti ed appropriate per il progetto in questione.

Il gruppo di progettazione ha quindi sviluppato una struttura che utilizza pannelli in legno in grado di coprire grande aree con sezioni molto ridotte.

La forma è stata generata utilizzando un software che calcola le strutture portanti, ne determina le dimensioni e trasmette i dati direttamente alla macchina che taglia i pannelli in legno, spessi 6 centimetri.

Progetto

Costruita direttamente sul terreno, la nuova cappella si armonizza in modo delicato ed immediato con il paesag-

gio. La struttura, che si allinea sull'asse est-ovest della valle ed è aperta su entrambi i lati, lascia entrare completamente la luce naturale.

Interpretando la morfologia caratteristica delle chiese protestanti ricche di mutamenti in altezza e larghezza, tra navata e transetti, il progetto, crea uno spazio le cui dimensioni orizzontali e verticali si alterano seguendo una serie di pieghe mutate dall'origami che danno ritmo sia all'interno che all'esterno dell'edificio.

Il volume piegato genera un ampio spazio orizzontale all'ingresso, prima di chiudersi salendo verso l'alto sino a divenire verticale nel centro della cappella.

Ciascuna piega della facciata riflette diversamente la luce e ciò enfatizza, nell'allungarsi, la progressione del volume. La struttura scandisce lo spazio interno creando al contempo un'atmosfera che conduce alla riflessione.

Nei timpani delle facciate laterali, pannelli in materiale plastico trasparente ricoperti di tessuto, permettono alla luce naturale di entrare nella cappella.

Il telaio costituito da colonne e diagonali ripete la struttura dei vetri cattedrale.

La cappella in legno di St. Loup è la prima struttura, a scala naturale, che incorpora il progetto ed il calcolo strutturale basati sul metodo computazionale di generazione di nuove forme geometriche, ma è anche un brillante esempio della reinterpretazione spaziale di uno spazio religioso tradizionale in armonia con il suo contesto.

Manuel Bieler, Localarchitecture, Losanna.

Le foto riprodotte nelle Figure 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13 sono di Milo Keller.

Figure 7. Stalla nello Jura: esterni e inserimento nel contesto.



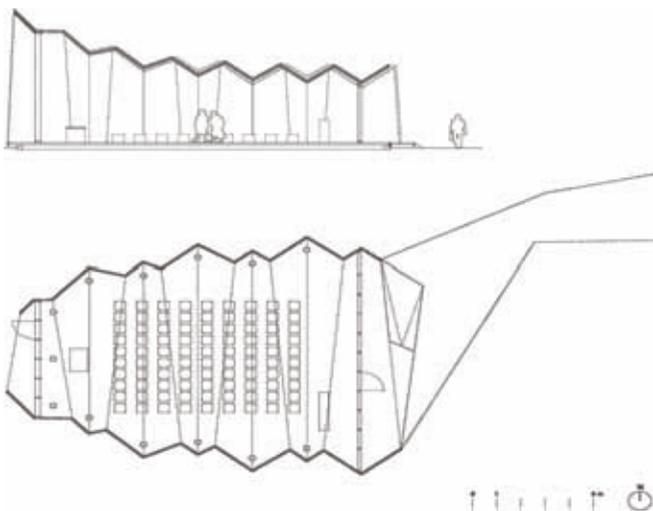


Figure 8, 9 (in alto). Stalla nello Jura: esterni e inserimento nel contesto.

Figura 10 (a sinistra). Cappella a St.Loup: pianta e sezione.

Figure 11, 12 (in basso) . Cappella a St.Loup: esterni.

Figura 13 (in fondo a destra). Cappella a St.Loup: interni.



Edifici in serie fatti a mano

“Hand-fabricated” building system

YOSHIAKI AMINO

Introduction

Character of wood architecture is not always given by the quality of timber itself but mostly subject to the composition of timbers. Good processing property of wood allowed carpenters anytime and anywhere to develop their own joint details by simple tools. As consequence the history of wooden architecture demonstrates «arts of assemblage».

In the middle of 19th century, beginning of mass production of nails brought a big change to wood buildings. Low-priced nails enabled a new wood frame construction, namely 2x4 system, that met the housing rush in the new continents. This system is a revolutionary panel-type structure composed of planks nailed together. Apparition of this new method faded the traditional notion of wood architecture and changed the meaning of the prefabrication of wooden buildings to mass production.

Another important change of wood architecture was caused by the dawn of glued laminated timber with large cross sections able to bear unprecedented high loads. This invention involved inevitably the development of accurate joints with high load-bearing capacity. Connections with metal dowel-type fasteners are one of the most extended kinds of joints applied to such large scale structures.

In the stream of technical evolution, wood architecture shows a decline in richness with construction types consisting of interdigitated timbers. Are

Figure 1, 2 (dall'alto in basso).



Figura 3.



such «arts of assemblage» no more impossible in our industrial society in which elaborate carpentries require excessive wages? It is indeed possible if we don't stick at exact revival of traditional ways.

For example, Japanese «pre-cut» processing—application of CNC to woodwork joints—shows a possible re-positioning of traditional arts in the present day. Japanese builders decreased successfully the workload and building cost by leaving traditional woodworking to robots. Even if the processing has been replaced by hands of machines, the pre-cut frames maintain the essential characteristics of traditional woodwork.

At present the «pre-cut» is restrictively applied to the joins of conventional frames. This partial modification seems to be nothing but an alternative measure for conventional framers against increasing wages caused by the lack of skilled carpenters. However the «pre-cut» processing is not often exploited for creative development of frames, this example shows compatibility between «arts of assemblage» and «present industrial rationalization». This fusion suggests a potential diversification of wood building systems that is one of my main interests.

With the experience of having studied both architecture and structure engineering, I am engaged in various applications of handy lumbers to wooden buildings, especially to small-sized buildings. Small objects like detached houses are apt to reflect personality and locality, and not necessary subject to the structural rationality due to its load exigencies more moderate than large buildings. For this reason, the construction of small buildings leaves yet room for «incubation of diversity». It is evident that the diversity is indispensable for creative criticism in our age of globalization.

This presentation deals with some small building projects to which I applied different ideas of «arts of assemblage». These are all realizable only with our standard materials and techniques. This design approach is considered a modern extension of traditional hand-fabricated timber architecture or an interpretation of practice.

Project presentation

Skeleton house of nailed planks – Diversion of 2x4 planks for skeleton structure, Shizuoka (Japan)

By assembling the standard planks with nails, a post-beam structure was realized. An abundance of planks are found in the market as 2x4 building materials. Unlike the common usage, these low price planks were employed in this project to compose an economical post-beam structure.

The post section consists of four planks, while the beam section is made up of paired planks. Adjoining planks were staggered and assembled only with nails. Crossing planks overlap each other at the post-beam joints to realize a continuous frame. This structure can attain a tenacious behavior by such simple assemblage.

Additional to the frame system, a new glazing technique reducing the dimensions of glass supporting frames, named timber-glass structural glazing system, was conceived and applied to this project with the help of IBOIS and Asahi Glass Co., Ltd. The glass sheets were glued directly onto the timber frames with a high-modulus silicone adhesive. By this combination, not only the timber frames but also the glass sheets contribute to the stiffness of the glazed surfaces (Architect–Engineer: Y. Amino; Structure Engineer: L. Caspescha; Photos: T. Narita).

Figure 4, 5, 6 (dall'alto in basso, in senso orario).



A&RT

Self build project «PARA City» – Applications of wood planks to curvy forms, Vienna (Austria)

«PARA City» is a self-build project co-organized by local communities and students of architecture. The building was planned as an elevated platform covered with inflated membranes.

Self-build projects give the highest priority on the production feasibility. All the requirements for the realization, for example, choice of material, handling of elements, assembly methods, must be carefully studied and integrated into the building design. Moreover, our pavilion was expected to be recyclable. The pavilion should be rapidly demolished with less waste and labor force. Wood planks are one of materials satisfying all these requirements.

Thin wood planks, manually bendable, can easily compose continuous curves with simple fasteners like nails and screws. This advantage was applied to the curvy form of pavilion. The planks were bent one by one and eventually layered. The number of plunks varied in accordance with their structural role.

The layered planks were also advantageous in the joint design. At the nodes of post-beam and beam-beam, the planks overlap and cross over each other without special fasteners (Design and construction: Students of Faculty of Architecture, TU Vienna; Supervisors: M. Berthold, W. Winter and Y. Amino).

Tea pavilion of semi-rigid timber framing – Contemporary interpretation of traditional semi-rigid frame system, La Tour-de-Peilz (Switzerland)

This small construction for Japanese tea ceremony appeared at the beginning of 2004 on the shore of the Lake of Geneva.

In order to integrate the inner space with the surroundings, a type of timber filter was conceived and applied as walls. 54 timber posts (in traditional dimension 90/90

mm) were aligned at regular interval. These timber filters, very often seen in Japanese architecture, created a subtle sequence between the inner and outer spaces.

Besides the esthetical aspect of this pavilion, its structural system was conceived referring to a Japanese traditional building technique – stabilizing structure without diagonal braces. On the basis of the traditional joints, a rigid timber-timber assemblage system was developed and applied to the base of the 34 posts surrounding the inner space.

These post feet were fit into the timber sill and their rotation due to horizontal load was blocked. Owing to the number of posts, the whole structure gained the enough horizontal loading capacity (Architect-Engineer: Y. Amino; Assistant: M. Inoue; Photos: C. Cuendet).

Restaurant at the Naschmarkt – Bidirectional semi-rigid timber skeleton, Vienna (Austria)

This is a restaurant built in the historic market Naschmarkt in the center of Vienna. All buildings in Naschmarkt must be made of wood and follow the design code controlled by the heritage council of Vienna. The roof types, spans, facade layout and the dimensions of visible structural elements are defined in this code.

The design theme of our building was to develop a single-bay wood structure without any bearing wall or brace in order to realize an open and bright inner space.

We have applied «2-directional semi-rigid joint system» to this structure, being inspired by Japanese traditional building systems.

Each column top, roof frame and continuous girder interdigitate tightly each other. The column feet were bound between a pair of U-steel profiles and immersed into concrete foundation. All the pieces were accurately prepared by CNC to realize a short lead-time as well as tight joints (Architect: Driendl Architects; Structure Design: Y. Amino; Photos: M. Kaufmann).

Figura 7.

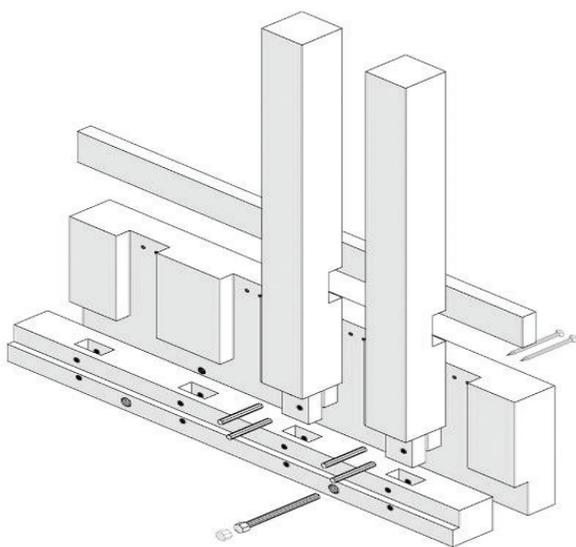


Figura 8.



Introduzione

Il carattere dell'architettura in legno non è sempre dato dalla qualità del legno stesso ma è soprattutto soggetto alla composizione di legni. Buone caratteristiche di trattamento del legno consentono ai falegnami di sviluppare, in qualunque momento ed in qualunque luogo, i loro stessi dettagli di incastro con l'uso di attrezzi semplici. Come conseguenza la storia dell'architettura in legno dimostra l'«arte dell'assemblaggio».

Nella metà del diciannovesimo secolo la produzione di massa di chiodi portò un grande cambiamento nell'ambito degli edifici in legno. Chiodi a basso costo permisero una nuova costruzione di strutture lignee, cioè il sistema 2x4, che andò incontro alla fretta di avere abitazioni nei nuovi continenti. Questo sistema è un tipo di struttura a pannelli rivoluzionario, composto di assi inchiodate insieme. L'apparizione di questo nuovo metodo fece svanire la tradizionale nozione di architettura in legno e cambiò il significato di prefabbricazione degli edifici lignei a produzione di massa.

Un altro importante cambiamento dell'architettura in legno fu causato dalla nascita del legno laminato incollato con ampie sezioni, in grado di sopportare grandi carichi senza precedenti. Questa invenzione implicò inevitabilmente lo sviluppo di accurate connessioni con la capacità di sopportare grandi carichi.

Le connessioni con chiusure *dowel-type* metalliche sono uno dei tipi più diffusi di giunti applicati alle costruzioni di grande scala.

Nel flusso dell'evoluzione tecnica, l'architettura in legno mostra un declino nella ricchezza con i tipi costruttivi che consistono nel legname intrecciato. Sono queste «arti dell'assemblaggio» non più impossibili nella nostra società industriale in cui una carpenteria elaborata richiede spese eccessive? È sicuramente impossibile se non ci si attiene ad un esatto recupero dei modi tradizionali.

Per esempio, il trattamento del «pre-tagliato» giapponese

– applicazione del CNC alle connessioni in legno – mostra un possibile riposizionamento dell'arte tradizionale ai giorni nostri. I costruttori giapponesi hanno diminuito con successo il carico di lavoro e i costi di costruzione lasciando la tradizionale lavorazione del legno ai macchinari. Anche se il processo è stato sostituito dalle macchine, il telaio pre-tagliato mantiene le caratteristiche essenziali della tradizionale lavorazione del legno.

Attualmente il pre-tagliato è applicato esclusivamente alle connessioni di strutture convenzionali. Questa parziale modifica sembra non essere altro che una misura alternativa per i costruttori convenzionali contro le spese eccessive causate dalla mancanza di falegnami capaci. Anche se il processo del pre-tagliato non è spesso sfruttato per sviluppi creativi della struttura, questo esempio mostra la compatibilità tra l'«arte dell'assemblaggio» e la «razionalizzazione industriale attuale». Questa fusione suggerisce una potenziale diversificazione dei sistemi edilizi in legno che è uno dei miei interessi principali.

Con l'esperienza di aver studiato sia architettura che ingegneria strutturale, sono impegnato in diverse applicazioni di legname a portata di mano per gli edifici in legno, specialmente per edifici di piccola taglia. I piccoli oggetti come le case isolate sono adatte per riflettere la personalità e la località, e non sono strettamente soggette alla razionalità strutturale date le loro esigenze di carico più moderate rispetto ai grandi edifici. Per questo motivo la costruzione di piccoli edifici lascia ancora spazio per l'«incubazione di diversità». È evidente che la diversità è indispensabile per la critica creativa nella nostra epoca di globalizzazione.

Questa presentazione si occupa di alcuni piccoli progetti ai quali ho applicato diverse idee di «arte di assemblaggio». Queste sono realizzabili solo con i nostri materiali e tecniche standard. L'approccio progettuale è considerato un'estensione moderna della tradizionale architettura in legno fatta a mano o un'interpretazione della pratica.

Figura 9.



Figure 10, 11 (dall'alto in basso).



A&RT

Presentazione dei progetti

Casa scheletro di assi inchiodate – Deviazione di assi 2x4 per una struttura a scheletro, Shizuoka (Giappone)

Assemblando assi standard con chiodi è stata realizzata una struttura trave-pilastro. Sul mercato si trova un'abbondanza di assi 2x4 come materiale da costruzione. Diversamente dall'uso comune, queste assi a basso costo sono state usate in questo progetto per comporre una struttura trave-pilastro economica.

La sezione del pilastro consiste di quattro assi, mentre la sezione della trave è fatta da assi appaiate. Assi adiacenti sono state sfalsate e assemblate soltanto con chiodi. Assi incrociate si sovrappongono a vicenda nei giunti trave-pilastro per realizzare un telaio continuo. Questa struttura può raggiungere un comportamento tenace attraverso il semplice assemblaggio.

Oltre al sistema di telaio, è stata applicata al progetto una nuova tecnica di vetratura che riduca le dimensioni delle cornici di supporto del vetro, chiamata sistema strutturale di vetratura vetro-legno, con l'aiuto di IBOIS e Asahi Glass Co., Ltd. Le lastre di vetro sono state incollate direttamente sulle cornici lignee con un silicone adesivo ad alto modulo. Grazie a questa combinazione, non solo il telaio in legno ma anche la lastra di vetro contribuisce alla rigidità della struttura vetrata (Architetto-Ingegnere: Y. Amino; ingegnere strutturista: L. Caspescha; foto: T. Narita).

Progetto autocostruito "PARA City" – Applicazione di assi in legno a forme curve, Vienna (Austria)

PARA City è un progetto autocostruito organizzato con la cooperazione delle comunità locali e degli studenti di architettura. L'edificio era stato pensato come una piattaforma elevata coperta da membrane gonfiabili.

I progetti autocostruiti danno la più alta priorità alla fattibilità produttiva. Tutti i requisiti per la realizzazione, per esempio la scelta dei materiali, la manipolazione degli elementi, i metodi di assemblaggio, devono essere studiati attentamente ed integrati nel progetto dell'edificio. Inoltre il nostro padiglione doveva essere riciclabile. Doveva poter essere demolito rapidamente con poco spreco e forza lavoro. Le assi in legno sono uno dei materiali che soddisfa tutti questi requisiti. Assi di legno sottili, curvabili manualmente, possono facilmente comporre curve continue con semplici chiusure come chiodi e viti. Questo vantaggio è stato applicato alla forma curva del padiglione.

Le assi sono state curvate una per una e infine stratificate. Il numero di assi variava in base al loro ruolo strutturale. Le assi stratificate sono state anche un vantaggio per la progettazione delle connessioni. Nei nodi trave-pilastro e trave-trave le assi si sovrappongono e si incrociano tra loro senza l'ausilio di particolari chiusure (Progetto e costruzione: studenti della Facoltà di Architettura, TU Vienna; supervisori: M. Berthold, W. Winter e Y. Amino).

Casa da tè con struttura in legno semirigido – Interpretazione contemporanea del tradizionale sistema strutturale semirigido, La Tour-de-Peilz (Svizzera)

Questa piccola costruzione per la cerimonia del tè giapponese è apparsa all'inizio del 2004 sulla riva del lago di Ginevra. In modo da integrare lo spazio interno con ciò che lo circondava, è stato concepito un tipo di filtro in legno e applicato come muro. 54 pilastri in legno (nelle tradizionali dimensioni di 90/90 mm) sono stati allineati ad intervalli regolari. Questi filtri lignei, che spesso si vedono nell'architettura giapponese, creano una delicata sequenza tra lo spazio interno ed esterno.

Oltre l'aspetto estetico di questo padiglione, il suo sistema strutturale è stato pensato in riferimento alla tecnica costruttiva tradizionale giapponese – stabilizzando la struttura senza supporti diagonali. Sulla base delle connessioni tradizionali, è stato sviluppato e applicato un rigido sistema di assemblaggio legno-legno alla base dei 34 pilastri che circondano lo spazio interno. I piedi dei pilastri sono stati incastrati nel davanzale di legno e la loro rotazione dovuta al carico orizzontale bloccata.

A causa del numero di pilastri, l'intera struttura garantisce una sufficiente capacità di carico orizzontale (Architetto/Ingegnere: Y. Amino; assistente: M. Inoue; foto: C. Cuendet).

Ristorante al Naschmarkt – Scheletro ligneo semirigido bidirezionale. Vienna (Austria)

Questo è un ristorante costruito nello storico mercato Naschmarkt nel centro di Vienna.

Tutti gli edifici nel Naschmarkt devono essere fatti in legno e seguire il codice progettuale controllato dal consiglio del patrimonio di Vienna.

I tipi di tetto, le aperture, il layout di facciata e le dimensioni degli elementi strutturali visibili sono definiti in questo codice.

Il tema di progetto del nostro edificio è stato quello di sviluppare una struttura lignea ad un vano solo, senza alcun muro portante o supporto, in modo da realizzare uno spazio interno aperto e luminoso. Abbiamo applicato un «sistema a giunto semirigido bidirezionale» per questa struttura, ispirati dalla tradizione costruttiva giapponese.

La cima di ogni colonna, il telaio del tetto e una trave continua sono strettamente intrecciati fra di loro. I piedi della colonna sono stati legati tra un paio di profili metallici a U e immersi nella fondazione in cemento.

Tutti i pezzi sono stati accuratamente preparati da CNC per realizzare giunti robusti e di rapida esecuzione (architetto: Driendl; progetto architettonico/strutturale: Y. Amino; foto: M. Kaufmann).

Yoshiaki Amino, Docente di Strutture di legno, Vienna University of Technology.

Tre costruzioni di legno di diversa tipologia a Torino

Three different kind of wood constructions in Turin

CLAUDIO PERINO

Abstract

Negli ultimi anni abbiamo realizzato a Torino tre lavori che hanno il legno come protagonista tra i materiali da costruzione utilizzati.

Sono tre costruzioni molto diverse tra loro come dimensione, livello di costo unitario, destinazioni d'uso e tipo di Committenza; hanno in comune la progettazione, la direzione lavori, sono tutte e tre a Torino, ed il fatto che in tutti gli interventi il legno è parte integrante delle scelte architettoniche e strutturali, anzi, se ci penso ora, è stato scelto come se non si potesse fare altrimenti.

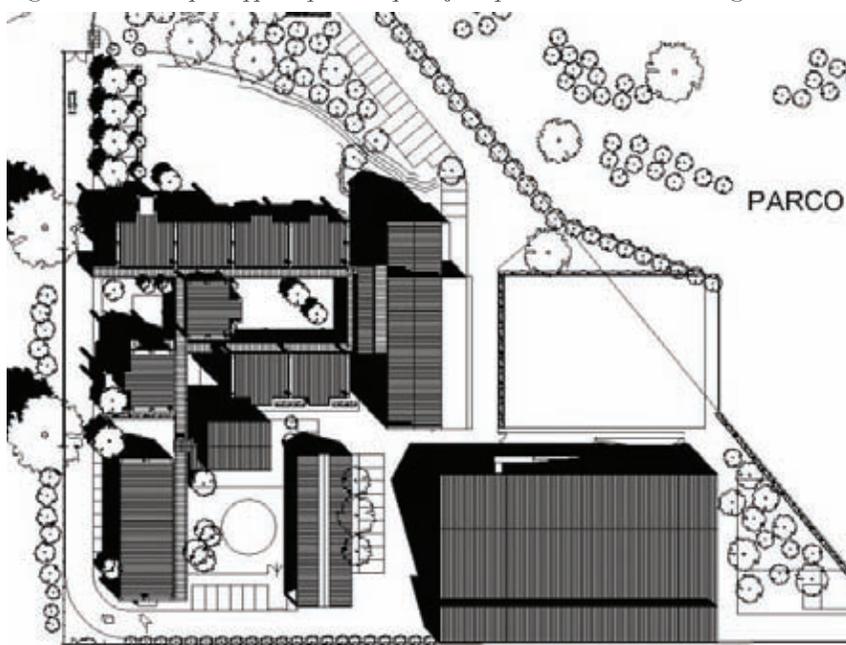
Three recent works in Turin that make wood the protagonist between the other building materials.

These are three different constructions due to them dimensions, unit cost, uses and kind of clients. They have in common the design, work direction, the city and wood as fundamental part of architectural and structural choices.

Il Centro per l'Ippoterapia ed Equitazione sportiva di via Onorato Vigliani

Il centro per l'Ippoterapia ed Equitazione sportiva di via Onorato Vigliani appartiene ad un complesso più vasto contenente anche un centro di Accoglienza per famiglie ed una Comunità Alloggio Socio Assistenziale (C.A.S.A.) per adolescenti con problemi di tossicodipendenza, che Gianni

Figura 1. Il Centro per l'Ippoterapia ed Equitazione sportiva di via Onorato Vigliani.



A&RT

Torretta ed io prima e con Alessio Gotta dal 2004 poi, abbiamo progettato e diretto nella sua realizzazione.

Il Centro è stato realizzato per offrire le migliori opportunità per lo svolgimento delle attività di riabilitazione psicofisica con l'uso del cavallo; naturalmente tutto è a norma handicapati, ed è costituito da un grande fabbricato che contiene un maneggio coperto e riscaldato di 800 m², una Club House con spogliatoi, sala per fisioterapia e preriscaldamento ed uffici amministrativi, un grande salone al piano primo dotato di una balconata verso l'interno del maneggio da cui i genitori ed i parenti possono vedere chi fa pratica. Ci sono poi due serie di box per i cavalli di 3 x 4 metri, dotati di abbeveratoio automatico e sistema di drenaggio liquami, ed i magazzini.

All'esterno, oltre ad altri servizi c'è un grande maneggio

coperto di 1300 m², anche qui con una balconata sopraelevata da cui si vede l'interno del campo.

Sono state fatte scelte di tipo architettonico e costruttivo coerenti al suo inserimento nel parco Colonnati, ed abbiamo potuto costruirlo in legno perché la tecnologia adottata ha portato a costi sufficientemente bassi da poterla mettere in concorrenza con i capannoni in cemento prefabbricato di cui purtroppo siamo pervasi sia nei bordi delle nostre città sia ed è peggio, nelle campagne e nei fondovalle.

Anche in questo settore in effetti, con il legno si potrebbe fare molto (come un po' ci ha fatto vedere Laurent Saurer di Local Architecture); permettetemi un accenno polemico: cosa ci impedirebbe di essere in armonia con l'ambiente come ad esempio nel Jura o nelle colline austriache, (io dico, anche a parità di m² costruiti), se fos-

Figure 2 - 6 (dall'alto in basso, in senso orario). Il Centro per l'Ippoterapia ed Equitazione sportiva di via O. Vigliani.



simo capaci di maggiore uniformità, migliore e più semplice qualità e magari un uso più diffuso di capannoni in legno?

Ma torniamo al maneggio. La struttura è costituita da portali modulari con ritti in acciaio e falde il legno lamellare, con interasse di 6 metri costituiti da ritti in metallo e falde in travi di legno lamellare, l'orditura secondaria di copertura è costituita da arcarecci modulari in legno massiccio di maggior lunghezza dell'interasse e disposti sfalsati e connessi tra loro per diminuirne la sezione con effetto trave continua. I solai sono travi in legno massiccio e tavolati stratificati.

Il solaio sella Club House e in travi di legno massiccio, calcolato per folla compatta, i muri interni del piano terra della Club House sono in blocchi di calcestruzzo a giunti verdi, come il resto del villaggio, tutti i tamponamenti perimetrali sono in legno o rivestiti in tavole di legno massiccio. In particolare la facciata di testata della Club House è trattata con tavolati verticali e modulata sulle varie parti che la compongono: ingresso, scala esterna di accesso al piano superiore, terrazzo e montapersona.

Villasole - Comunità Educativa Residenziale per minori

La Comunità Educativa Residenziale per minori Villasole è un lavoro che abbiamo recentemente terminato. L'edificio ristrutturato è attualmente destinato a casa-famiglia per bambini e ragazzi non accompagnati ed è accreditato come struttura socio assistenziale del Comune di Torino.

È una costruzione in posizione bellissima sulla collina di Torino che i suoi attuali proprietari hanno affidato in comodato d'uso gratuito alla comunità educativa. Come edificio la sua storia comincia da lontano: nei primissimi anni sessanta del novecento, demolita una preesistenza dell'inizio del secolo in posizione dominante, l'architetto Amedeo Albertini aveva ricavato appena più in basso, in luogo meno esposto, un bellissimo padiglione in linea con le migliori realizzazioni di tipo californiano di quegli anni. In seguito l'edificio ha subito integrazioni e modifiche che ne hanno snaturato in modo irreparabile la forma e la matrice colta, ed è stato sopraelevato con un

tetto con grande sporgenza.

I regolamenti vigenti imponevano, per poterne conservare la consistenza condonata, di mantenere rigorosamente il tetto e le altezze nel rispetto nella sagoma che avevano assunto durante tali modifiche.

L'attuale intervento ha comportato la demolizione di tutte le parti aggiunte ammalorate ed i monconi dell'edificio originario. Sono stati mantenuti per essere valorizzati i grandi maschi murari e le murature in pietra al contorno. Un portico di colonne in cemento martellinato avviluppa la costruzione su tutti i lati liberi.

L'edificio è organizzato su due piani fuori terra ed un piano interrato, al piano terra vi è il soggiorno, la cucina, il pranzo, al piano superiore le due zone notte divise tra maschi e femmine con i servizi, all'interrato la lavanderia, altri servizi, la centrale termica ed i magazzini.

La pianta è stata impostata su una maglia modulare che corrisponde al tracciato dei cassettonati in legno e che ingloba la distribuzione libera dei maschi murari esistenti. Le divisioni interne sono state riportate in gran parte al gioco ed alla ricorrenza del modulo della griglia.

I solai sono a struttura di legno lamellare con getto di completamento in calcestruzzo reso solidale da connettori disposti secondo il diagramma degli sforzi di taglio, ed hanno la forma di un grande cassettonato impostato su una maglia di 3,7x3,7 m con travi primarie di sezione 20x50 cm e travetti secondari di sezione 12x20 cm. All'intradosso questi solai sono in vista e sostenuti al contorno, nella parte porticata, da colonne del diametro di 30 cm in cemento rosa martellinato ottenute usando come inerte il marmo rosso di Verona.

Tutta la struttura in legno ed acciaio è naturalmente prefabbricata e montata a secco. Le parti in legno sono state lavorate con una macchina a controllo numerico che ha permesso la progettazione di giunti molto raffinati con tutti i connettori e le piastre metalliche all'interno delle strutture. Tutte le connessioni tra orditura primarie e travetti secondari sono a coda di rondine.

La successione dei moduli della parte esterna del cassettonato costituisce il portico delimitato dal colonnato. Il solaio di copertura del secondo piano ha la parte piana a cassettonato identica a quella sottostante. La parte incli-

Figure 7, 8. Villasole - Comunità Educativa Residenziale per minori.



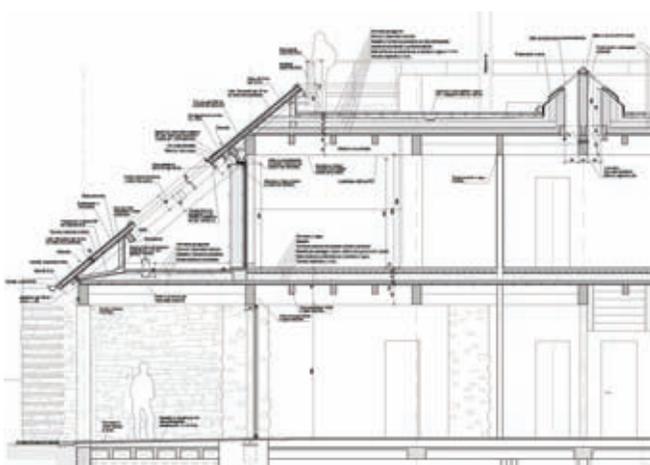
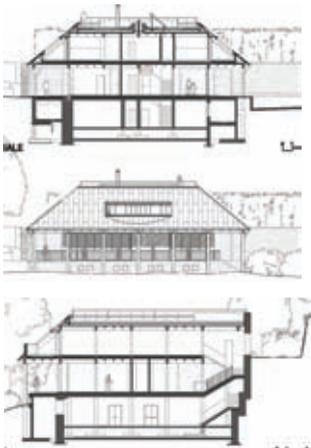


Figure 9-14. Villasole - Comunità Educativa Residenziale per minori.



nata ha una struttura in legno che continua il tracciato modulare nei puntoni e nei passafuori. Il manto di copertura è in lamiera di rame ossidata. Tutta la struttura in legno e acciaio è prefabbricata e montata a secco.

La bio-compatibilità dell'edificio, costituita principalmente dal largo utilizzo di struttura portante in legno, si integra con le scelte di sostenibilità energetiche dell'edificio.

Tenendo conto delle specificità costruttive, funzionali e di linguaggio architettonico questo edificio è caratterizzato dal minore consumo energetico possibile.

Tutti i nuovi elementi di involucro opaco sono stati realizzati con uno spessore della coibentazione molto superiore ai limiti di legge. Le grandi vetrate che delimitano il piano terra sono a tutta altezza: dal pavimento al cassettonato in legno.

La rilevante superficie trasparente è realizzata con un vetro camera basso-emissivo molto performante, che è caratterizzato da una trasmittanza termica ridotta del 50% rispetto ai limiti di legge, oltre a possedere il migliore fattore di protezione all'irraggiamento possibile.

L'impianto di riscaldamento è basato su un sistema radiante a pavimento, Il calore è prodotto da una caldaia primaria a pellets integrata con un impianto a collettori solari termici che producono acqua calda per l'uso sanitario.

L'insieme dei due impianti è in grado di fornire l'80% del fabbisogno, l'integrazione eventualmente necessaria è data da una piccola caldaia a gpl a condensazione. Tutte le acque bianche sono raccolte in due grandi cisterne preesistenti e riutilizzate per l'irrigazione del grande giardino.

Il Cortile del Maglio

Il Cortile del Maglio, per la verità, è solo la parte più appariscente dell'intero progetto di rifunzionalizzazione dell'area dell'ex Arsenale Militare di Borgo Dora a Torino, che abbiamo portato a termine prima come progetto di trasformazione urbana e poi come intervento edilizio nella sua parte dominante e comunque quella aperta al pubblico. Il gruppo che ha progettato e diretto

Figure 15-16. Villasole - Comunità Educativa Residenziale per minori.



i lavori era composto da Pio Luigi Brusasco, Adriana Comoglio, Giovanni Torretta ed il sottoscritto, che ne ha curato con Adriana la Direzione Lavori.

Il lavoro fatto ha consentito la trasformazione di parte degli immobili in un complesso adatto ad ospitare botteghe artigianali e commerciali, che, anche attraverso la realizzazione di un nuovo tratto di strada urbana, funzioni da fulcro del mercato del «Balon».

La struttura più importante è costituita dalla trasformazione di uno dei quattro grandi cortili dell'Arsenale in una piazza coperta circondata dalle vetrine delle botteghe. La copertura della piazza quadrata è costituita da una piramide tronca in legno lamellare sostenuta nei displuvi da quattro pennoni in acciaio che, ramificandosi, raggiungono i nodi di convergenza dei reticoli che compongono la quattro falde.

Il Cortile del Maglio, di circa 40 metri di lato è scandito ai suoi lati da 9 arcate intervallate da maschi murari con interasse quasi esatto di 435 cm; in questo senso abbiamo beneficiato della precisione degli ingegneri militari della metà dell'800. Unendo gli assi dei maschi murari tra i lati opposti si ottiene una griglia modulare di base in pianta a maglia quadrata il cui perimetro risulta poggiante sull'asse del muro perimetrale dei quattro corpi di fabbrica che formano l'invaso del cortile.

Questa maglia ortogonale quadrata è stata assunta come base per l'individuazione delle geometrie della struttura della copertura principalmente per due ragioni: la prima per adattare l'elemento nuovo all'esistente risolvendo da subito la correttezza dei piani di appoggio, la seconda perché genera aste in legno o acciaio sufficientemente snelle.

Il quadrato centrale della griglia aperto verso il cielo dà alla copertura una forma a tronco di piramide: copiando il passato abbiamo messo a norma l'evacuazione dei fumi per l'intero ombrello senza dispositivi o tecnologie complesse. Dai quattro punti centrali della griglia a terra partono quattro piloni inclinati sulle diagonali del quadrato che vanno ad intersecare le falde in corrispondenza di un'altri punti della griglia. Da ognuno di questi piloni inclinati, a $2/3$ della loro altezza, si dipartono altri due puntoni con altre inclinazioni, sempre sugli assi diagonali, e vanno a toccare altri punti di intersezione della griglia, sul bordo delle falde. La struttura degli appoggi intermedi è quindi costituita da quattro «alberi» (in carpenteria metallica), composti ognuno da un «tronco» e da tre «rami»; ogni albero è disposto sulla diagonale e tutte le sue estremità, la base a terra e la punta di ognuno dei tre rami tocca un punto della griglia. L'asse di ogni tronco principale è inclinato ed ortogonale alla pendenza dei displuvi.

Figura 17. Il cortile del Maglio.



A&RT

Le travi di falda sono travi reticolari alte tre metri.

Le falde di copertura hanno una struttura a cassettonato in legno lamellare, perciò le travi primarie e quelle secondarie hanno la stessa sezione quadrata di 40 x 40 cm composti da due profili 20x40 cm, i contraffissi di 3 m delle travi reticolari sono anch'essi di legno e quadrati.

Tutte le altre aste delle travi reticolari, prevalentemente sottoposte a trazione sono composte da tubi metallici di sezioni variabili, secondo le forze che devono sopportare.

La progettazione esecutiva delle connessioni in piastre saldate ed imbullonate sulle aste è stata fatta attraverso un lavoro di continuo affinamento tra architetti ed ingegneri. Tutte le falde di copertura sono coperte da un tavolato a vista nella parte interna e da un pacchetto composto da listelli, isolante acustico e lamiera grecata verso l'esterno. I moduli perimetrali, quelli prossimi ai muri delle maniche in cui si trovano le botteghe, sono coperti da

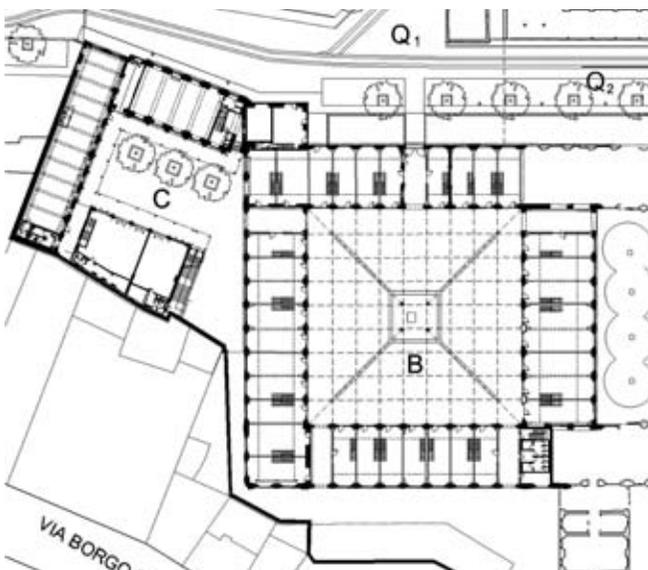
lastre di polycarbonato alveolare trasparente in modo da dare luce al perimetro del grande cortile, il modulo centrale, come si è detto è aperto e scoperto.

In questo lavoro il legno è stato fornito e lavorato da Habitat Legno ed è stato in quell'occasione, ormai più di dieci anni fa, che ho conosciuto Natale «Lino» Albertani che – parlo ora in qualità di organizzatore di queste giornate – voglio ringraziare pubblicamente per il grande aiuto che ha dato soprattutto con la sua esperienza e le sue preziosissime indicazioni e conoscenze nel campo delle Aziende che operano nel settore delle costruzioni in legno.

Claudio Perino, architetto, Consigliere SLAT, curatore delle Giornate di studio.

Tutte le foto sono degli autori ad eccezione di alcune foto del Cortile del Maglio finito, di Daniele Regis.

Figure 18-20 (dall'alto in basso, in senso orario). Il cortile del Maglio.



Mondovicino a Mondovì: l'utilizzo del legno in un grande centro commerciale

Mondovicino in Mondovì: using wood for a big shopping mall

EDOARDO ASTEGIANO

Abstract

Il Parco Commerciale «Mondovicino» si estende nel comune di Mondovì, su un'area di 390.000 m² (aree verdi e parcheggio esterni compresi) adiacente l'autostrada Torino-Savona.

Il progetto ha previsto la ristrutturazione di due cascine esistenti, e la conservazione di un percorso alberato che attraversa l'area.

Le cascine, oggi dedicate alla promozione del turismo, dell'artigianato e del cibo dell'area, sono diventate, insieme alle nuove piazze che le circondano, i poli di accesso pedonale e di distribuzione del Parco Commerciale.

A «Mondovicino» l'elemento più significativo è il Factory Outlet, che si estende, con 120 negozi, su entrambi i lati della Piazza Viotto.

La costruzione del Factory Outlet, in conformità con i regolamenti locali di pianificazione, è stata effettuata utilizzando materiali tradizionali e locali come il legno, mattoni e tegole in laterizio.

L'architettura del Factory Outlet si ispira alle cascine del luogo, utilizzando elementi tipici delle medesime, quali, per esempio, tettoie, portici, portoni in legno, pavimentazioni esterne in pietra.

Una scelta significativa è stata fatta decidendo di non creare un'architettura scenografica per mascherare delle strutture prefabbricate, come di solito accade nei parchi commerciali, ma preferendo costruire veri pilastri, porticati, tetti in legno, al fine di migliorare la qualità e la durata delle costruzioni.

«Mondovicino» Leisure and Retail Park, in Mondovì municipality, extends on a 390.000 m² area (included green areas and external parkings) adjacent the Torino-Savona highway.

The project involved the renovation of two existing farmhouses and the preservation of a treelined pathway across the area.

The farmhouses, now dedicated to the promotion of tourism and local craft and food, have become, along with the new squares surrounding them, the poles of pedestrian access and distribution of the retail park.

At «Mondovicino» the most significant element is the factory outlet park extending, with 120 stores, on both the sides of «Viotto square».

The construction of the factory outlet, in accordance with local planning regulations, was made by using traditional and local materials such as wood, bricks and clay roof tiles.

The factory outlet architecture inspires to the local farmhouses by using typical elements of them, like, for instance, canopies, porches, big wood gates, external stone pavings.

A significant choice was made deciding not to create a scenographic architecture masking prefabricated structures, as usually happens in retail parks, but preferring to build true pillars, porches, wood roofs, to enhance the quality and time life of the buildings.

A&RT

Il Parco Commerciale «Mondovicino», sito nel territorio comunale di Mondovì, si sviluppa su un'area di circa 390.000 m², in prossimità del casello autostradale sulla direttrice Torino-Savona, e risulta caratterizzato dalla preesistenza di due cascine e da un lungo viale alberato che taglia trasversalmente l'area interessata dal progetto.

Da un punto di vista architettonico il progetto ha previsto la salvaguardia e la valorizzazione delle due cascine, Cerrea e Viotto, che sono state ristrutturare e destinate alla promozione dei prodotti artigianali, enogastronomici e turistici del Piemonte. Intorno a questi due edifici, individuati come poli attrattivi, sono state realizzate due piazze con funzione di accesso e distribuzione dei percorsi pedonali all'interno del parco.

In generale l'area è stata organizzata in modo da creare una grande area centrale, destinata a parcheggio, della superficie di circa di 75.000 m², attraversata dal viale alberato che svolge funzione di collegamento pedonale tra i vari settori dei parcheggi e gli edifici che, con diverse destinazioni commerciali, si dispongono a ferro di cavallo. Altri parcheggi si sviluppano su due livelli interrati per una superficie complessiva di 40.000 m².

Il fulcro del Parco Commerciale è costituito dal Factory

Outlet, che si svilupperà per circa 30.000 m² suddivisi in 120 esercizi commerciali, di cui circa 80 già realizzati. Posto a cavallo della grande piazza, che circonda la cascina Viotto, in posizione baricentrica, il complesso è suddiviso in due comparti in cui i negozi si affacciano su percorsi pedonali all'aperto, per larga parte porticati.

L'area commerciale, sviluppata in prossimità dell'autostrada, evoca un vecchio insediamento rurale piemontese caratterizzato da porticati, tettoie, arcate, portoni ispirati alla tradizione locale e realizzati con materiali e tecniche tradizionali (laterizio a vista, coperture in struttura lignea e manto in coppi, pavimentazioni parzialmente in pietra, schermature in legno ecc).

I dettagli costruttivi sono stati ripresi, nelle dimensioni e nella foggia, da un repertorio tipologico presente negli insediamenti agricoli e nei borghi del territorio circostante.

L'area a sud della piazza Viotto è caratterizzata dalla maggiore incidenza di facciate vetrate anche al fine di rendere più graduale il passaggio alle restanti grandi strutture commerciali realizzate con facciate in alluminio e vetro.

I due blocchi commerciali si affacciano verso la piazza con due corpi di fabbrica a doppia altezza che svolgono

Figure 1, 2 (dall'alto in basso).

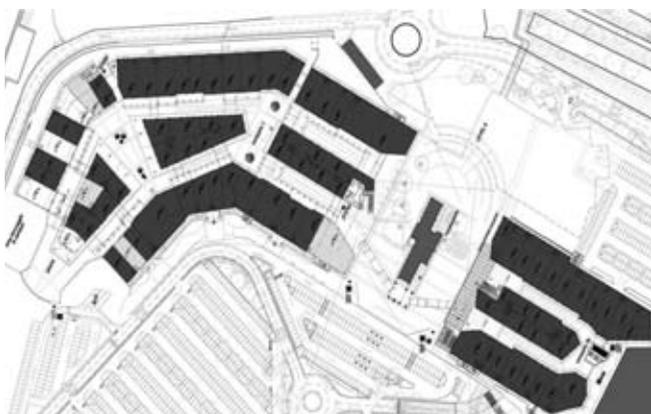


Figure 3, 4 (dall'alto in basso).



funzione di grande atrio distributivo provvisto di scale mobili e ascensori che collegano il livello dei negozi alle autorimesse interrata e, a livello superiore, ai vari locali pubblici destinati ad attività espositive, alla ristorazione ed al tempo libero, per una superficie totale di circa 2.300 m².

La progettazione del Villaggio Commerciale è stata guidata dalle prescrizioni/indicazioni dello Strumento Urbanistico Esecutivo (variante strutturale del P.R.G. di Mondovì del settembre 2002).

Lo Strumento Urbanistico forniva indicazioni in merito all'uso dei materiali (materiali e tecniche tradizionali, quali laterizio a vista, legno e coppi) ed in particolare alle tipologie della copertura (tetti a falde sugli edifici di dimensioni più ridotte per una certa percentuale di superficie). La prescrizione urbanistica ha favorito un'impostazione generale del progetto, condivisa dalla committenza, basata sulla ricerca della qualità e affidabilità nel tempo dei manufatti.

Quindi, a differenza di altre situazioni analoghe, si è scelto di non creare un'architettura scenografica di facciata, ricca nel disegno ma povera nei materiali, a mascherare strutture prefabbricate, ma si sono costruiti veri pilastri in

laterizio, veri porticati, vere coperture, di fattura semplice e tradizionale, realizzati con materiali di qualità.

In questo contesto si è fatto largo uso di legno, sia di tipo lamellare, impiegato nei pilastri e nelle travi delle grandi strutture, sia in forma tradizionale per i puntoni dei porticati, i tavolati e le varie schermature, realizzati in abete.

Nel complesso spiccano i corpi di fabbrica, porticati a doppia altezza, che costituiscono le porte di ingresso dei due blocchi di esercizi commerciali.

Queste due grandi maniche parallele di dimensioni simili, si sviluppano per una lunghezza di circa 90 metri una profondità di 20/25 metri e un'altezza di 10 alla gronda e di 14 al colmo.

La struttura è realizzata in gran parte in legno lamellare, con pilastri di 9 metri di altezza posti ad un interasse di 10 e travi con una luce da 10 a 15 metri circa.

Questi alti porticati, pur essendo realizzati con tecniche moderne, riprendono le proporzioni delle tradizionali tettoie degli insediamenti rurali, che ospitavano i fienili e le rimesse delle macchine agricole. Per aumentare l'effetto di leggerezza e, nel contempo, favorire la flessibilità d'uso nel tempo, la gran parte dei tamponamenti è costituita da serramenti vetrati.

Figura 5, 6, 7 (dall'alto in basso).



A&RT

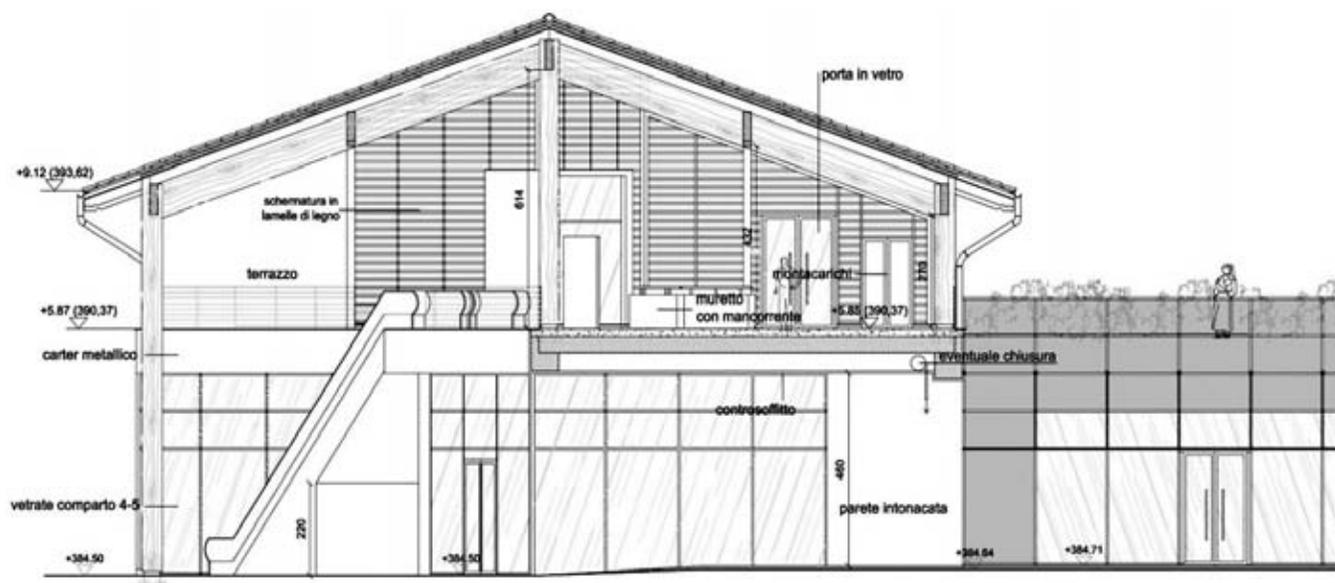
All'interno del blocco ovest, in posizione centrale, si apre una piazzetta con funzione di luogo di sosta e relax caratterizzata da giochi d'acqua a raso della pavimentazione. Su questo spazio si affacciano due grandi edifici a pianta trapezoidale con copertura in struttura lignea, che sul fronte principale sono caratterizzati da una grande capriata di 36 metri di luce. Queste coperture lignee appoggiate su pilastri in laterizio,

in parte tondi, evocano le grandi strutture (le «ali»), che tradizionalmente ospitavano i mercati piemontesi. In tutto l'intervento, infine, un ampio uso del legno nella realizzazione di schermature di volumi tecnici, di scale di sicurezza e di gran parte degli elementi di arredo (pali per l'illuminazione, sedute, supporti per cartelli segnaletici e standardi), ha contribuito a creare un'immagine unitaria ed evocativa della tradizione costruttiva locale.

Figure 8 - 11 (dall'alto in basso, in senso orario).



Figura 12 (in basso).



Periodo di realizzazione: gennaio 2007 – aprile 2008

Committente: Società Tavolera S.r.l – Gruppo Filea

Progetto architettonico: Studio A.S. Architetti Associati (Arch. Edoardo Astegiano, Arch. Renzo Conti, Arch. Federico Morgando); Giugiaro Architettura; Arch. M. Golinelli

Progetto strutturale: Studio IGES (Ing. P. Turbiglio, Ing. G. Cuniberti); Prof. G. Garzino

Coordinamento generale e Direzione Lavori: Ing. P.

Turbiglio

Impresa esecutrice: Effezeeta S.p.a., Mondovì

Strutture in legno: Holzbau S.p.a.

Schermature e brise-soleil: Gufler Holzwerkstatt Ohg

Pali per illuminazione e segnaletica: Aubrilam

Arredi in legno: Metalco S.p.a.

Edoardo Astegiano, architetto, Studio A.S., Torino.

Figure 13 - 16 (dall'alto in basso, in senso orario).



Figura 17 (in basso).



Il nuovo Centro Servizi dell'Environment Park: si monta come un Lego

*The new Environment Park's Service Centre:
you assemble it as Lego*

STEFANO DOTTA

Nel mese di dicembre a Torino presso l'area dell'Environment Park - Parco Scientifico Tecnologico per l'Ambiente si è conclusa la realizzazione del Centro Servizi, ultimo intervento in un'area occupata da una serie di edifici costruiti a partire dal 1997 e disposti con disegno regolare e orientamento sud-nord su un piano di percorsi pubblici, al di sotto del quale si sviluppa il sistema continuo dei parcheggi pubblici e pertinenziali (Figura 1). Il fabbricato si affaccia su una piazza giardino nelle immediate vicinanze del «Totem Fotovoltaico», vela di circa 200 m² dalla potenza di 16,5 kw, dal grande valore simbolico ed evocativo e dalla forte valenza architettonica (Figura 2).

Il centro servizi risponde principalmente alla funzione di sede della società Environment Park S.p.A. ma allo stesso tempo ospita gli uffici di altre società attive nel campo ambientale, centri di documentazione e un'area congressuale comprendente una sala convegni da circa 250 posti e tre sale più piccole da 40 posti ciascuno. Uno dei vincoli principali del progetto consisteva nell'integrare tutte queste funzioni in un edificio che fosse contenuto in un altro, o meglio in uno scheletro fatto di acciaio, lo scheletro della tettoia 18 delle acciaierie Teksid. Sull'area di circa 30.000 mq che attualmente ospita le strutture dell'Environment Park un tempo erano insediate le strutture produttive della Teksid, l'obiettivo di preservare la memoria storica del luogo si è potuto attuare mantenendo la struttura di uno degli innumerevoli capannoni industriali che un tempo occupavano l'area, la tettoia 18. Il nuovo edificio è quindi realizzato all'interno di questo capannone oramai liberato da tutti i suoi componenti di involucro (copertura, pareti), ne è tuttavia strutturalmente completamente svincolato, ma allo stesso tempo fortemente legato dagli spazi che entrambi racchiudono e delimitano. Numerosi sono infatti i momenti in cui i due oggetti si compenetrano e si scambiano il ruolo di «contenitore e contenuto»

Figura 1.



Figura 2.



(Figura 3).

Visivamente l'edificio si caratterizza dall'essere completamente rivestito di tavole di legno di larice e dalla presenza di alcuni corpi e strutture aggettanti al di fuori del perimetro delimitato dallo scheletro metallico. L'entrata principale dell'edificio ad esempio è stata evidenziata attraverso la realizzazione di una pensilina in legno lamellare coperta in parte, elemento scultoreo che è in grado di svolgere la doppia funzione di protezione dalle intemperie e di richiamo visivo segnalando l'ingresso.

Sempre sul fronte principale la presenza di tre bow window, la cui geometria è dettata da esigenze «solari» dichiara la destinazione d'uso dell'edificio stesso ponendo in evidenza la presenza di uffici al proprio interno (Figura 4). Sul lato est un secondo corpo di fabbrica collegato al principale attraverso passerelle vetrate (Figura 5) è caratterizzato dalla presenza tra una trave reticolare e l'altra della tettoia Teksid di otto «box»; la teoria di questi elementi parallelepipedi tagliati dal susseguirsi modulare dello scheletro in metallo esalta il rapporto tra il nuovo edificio e la vecchia struttura (Figura 6).

Un secondo ingresso è stato realizzato sulla facciata nord; la sua funzione principale è quella di essere utilizzato dagli utenti degli uffici durante l'apertura del centro congressi, inoltre è posto al di sotto di una sala ellittica destinata ad ospitare le riunioni del consiglio di amministra-

zione dell'Environment Park S.p.A. (Figura 7).

All'interno un atrio a doppia altezza accoglie i visitatori e gli utenti del centro congressi; sulla sinistra una reception permetterà di svolgere le attività di registrazione e di guardaroba, mentre a destra un «cristallo d'acqua», elemento visivo del sistema di recupero dell'acqua piovana consentirà di regolare le condizioni igrometriche degli spazi comuni.

Al secondo livello, in corrispondenza degli uffici di Environment Park è stato realizzato un grande pozzo di luce che attraverso un lucernario in copertura di circa 60 mq ed un taglio ellittico sulla soletta che divide i due livelli di uffici, permette di illuminare naturalmente locali altrimenti molto bui (Figura 8).

Il progetto di completamento del centro servizi dell'Environment Park è stato realizzato secondo i principi dell'architettura sostenibile ed è quindi caratterizzato dal minimo impatto ambientale in tutto il suo ciclo di vita.

Gli obiettivi sono da un lato di limitare consumi energetici, idrici e di materie prime non rinnovabili e dall'altro di garantire la salvaguardia della salute degli utenti attraverso elevati livelli di comfort indoor (termo-igrometrico, visivo ed acustico); tali obiettivi sono stati raggiunti applicando le strategie progettuali tipiche dell'architettura bioclimatica e della bioedilizia. La bioedilizia nasce dalla con-

Figure 3, 4 (dall'alto il basso)



Figure 5, 6 (dall'alto in basso).



A&RT

statazione nel tempo che le costruzioni hanno un effetto più o meno dannoso nei confronti di chi le abita o le utilizza; e questo avviene soprattutto in relazione ai materiali ed alle tecniche costruttive.

È stato rilevato che, soprattutto nel mondo industrializzato, spesso l'aria degli ambienti confinati giunge ad essere più inquinata di quella esterna: dall'osservazione di questo fenomeno si è sviluppata un'attenzione particolare alla salute delle persone ed alla correlazione della permanenza in certi ambienti con il prodursi di certe patologie. Si è giunti così ad identificare problematiche generate dalle moderne tecniche costruttive e dai materiali utilizzati in edilizia e nell'arredo interno. Si è visto inoltre che quasi sempre esiste una stretta correlazione tra materiale sano e materiale con notevole impatto ambientale. Questi sono in definitiva i due cardini su cui verte la scelta e la classificazione dei materiali delle tecniche costruttive approvate e consigliate in bioedilizia: salute ed ambiente.

Nel progetto di completamento dell'Environment Park sono stati applicati numerosi principi della bioedilizia ponendo particolare attenzione alla scelta dei materiali e delle tecniche costruttive infatti tutti i materiali utilizzati sono di origine naturale provenienti da risorse rinnovabili o riciclate, hanno elevati valori di igroscopicità e traspirabilità e ridotta conducibilità elettrica sono privi di emis-

sioni nocive, non emettono fumi nocivi e tossici in caso di incendio, sono stabili nel tempo, ed inattaccabili da muffe ed insetti, non sono radioattivi, sono biodegradabili o riciclabili

Le essenze dei legni utilizzati sono locali (abete, larice, rovere e castagno): questa scelta limita i consumi energetici dovuti al trasporto di materiali, inoltre la loro provenienza da coltivazioni controllate permette di contribuire ad evitare fenomeni di disboscamento incontrollato. Particolare attenzione è stata data alla scelta del sistema costruttivo per la realizzazione delle pareti di involucro; è stato adottato infatti un sistema strutturale a secco costituito da mattoni di legno di abete, il legno non è trattato ed ogni singolo mattone ha al suo interno colle viniliche prive di formaldeide

Il sistema costruttivo è molto interessante in quanto molto leggero, dal contenuto energetico interno molto basso e dalla facilità costruttiva dovuta alla modularità ed alla facile assemblabilità in cantiere; questo è dovuto al fatto che ogni singolo mattone si sovrappone su quello successivo semplicemente attraverso un incastro maschio femmina. Il peso di soli 6 kg/m² per mattone evidenzia la leggerezza e la facilità nel sollevamento e nella posa. La sequenza costruttiva avviene attraverso la realizzazione in una prima fase di un cordolo di base in calcestruzzo armato con la superficie, su cui verrà fissato il sistema di

Figure 7, 8 (dall'alto in basso).



Figure 9, 10 (dall'alto in basso).



legno, il più possibile piana avente una tolleranza di +/- 3mm (Figura 9), successivamente viene posata la struttura di pilastri in legno lamellare sempre di abete e fissata al cordolo attraverso piastre e viti (Figura 10).

I mattoni di legno sono stati posati in una terza fase e comunque soltanto dopo aver collocato sul cordolo dei pezzi speciali dette basi (Figura 11). Il posizionamento ogni circa tre metri di altezza di parete di travi in legno lamellare fissate ai pilastri delimita in campiture rettangolari i tamponamenti costituiti dai mattoni di legno (Figura 12).

Il mattone, essendo realizzato con una intercapedine di 8/10 cm, è in grado di ospitare al proprio interno il materiale isolante che necessariamente deve essere sfuso; nel caso del centro servizi il materiale utilizzato per isolamento delle pareti è la fibra di cellulosa in fiocchi. Il materiale proviene dal riciclo della carta da giornali ed ha un valore di conduttività termica ad una densità di 60 kg/m³ di circa 0,4 W/mk.

L'isolante viene insufflato attraverso l'utilizzo di un apposito strumento che per mezzo di un tubo flessibile e di un becco viene infilato all'interno della parete già realizzata, da qui viene immesso il materiale fino al raggiungimento della densità voluta (Figura 13).

La parete è stata poi completata verso l'esterno con un telo traspirante di protezione al vento ed all'acqua, e con

un rivestimento di tavole di larice distanziate l'una dall'altra da circa 1 cm e sagomate nel loro spessore con tagli a 45 gradi, in modo da convogliare l'acqua piovana sempre verso l'esterno (Figure 14 e 15).

Il sistema non presenta quindi possibilità di ristagno d'acqua e quindi di innescare fenomeni di marcescenza.

Il legno del rivestimento esterno inoltre non è stato trattato, coscienti del fatto che essendo un materiale organico e naturale tenderà nel corso del tempo a deteriorarsi nel suo aspetto – da marrone tenderà a diventare grigio – ma non nelle sue caratteristiche strutturali. L'economicità del materiale legno e la facilità di esecuzione ha permesso di realizzare una parete ventilata dall'elevato valore di isolamento termico con una cifra relativamente contenuta, circa 150 Euro/m².

Nel tentativo di massimizzare l'apporto di luce naturale all'interno di alcuni uffici del primo livello del corpo centrale il cui ingresso di luce è in parte impedito dalla vicinanza del secondo corpo di fabbrica, la parete esterna di fronte alle aperture vetrate è stata intonacata e colorata con pittura bianca ai silosani. L'aderenza dell'intonaco alla parete di legno si è resa possibile attraverso l'applicazione dell'intonaco su dei pannelli in fibra di legno di spessore 2 cm (Figure 16, 17).

La composizione delle malte degli intonaci utilizzati all'interno in corrispondenza dei blocchi bagni è priva di

Figure 11, 12 (dall'alto in basso).



Figure 13, 14 (dall'alto in basso).



A&RT

cemento, mentre sono soltanto a base di calce idraulica naturale o artificiale e grassello di calce.

Le pareti interne sia quelle intonacate che quelle in cartongesso sono state decorate con pitture di finitura a base di olio di resine naturali, non derivante da sintesi chimica, composte da leganti e solventi di pura origine vegetale, generati fitochimicamente; senza esalazioni tossiche, prive di idrocarburi clorurati o altre sostanze inquinanti persistenti, analogamente il trattamento di velatura a cui sono state sottoposte le pareti interne in legno sono a base di oli e cere naturali e sono privi di sostanze di derivazione del petrolio.

I pavimenti interni sono in parte in rovere (in listoni, come pavimento industriale e come quadrotte 60x60 cm per pavimento tecnico sopraelevato) ed in parte in linoleum naturale. Le porte e gli infissi interni sono realizzati in legno massello di abete.

I solai degli avancorpi e della sala riunioni del consiglio di amministrazione (Figura 18) sono stati realizzati con un sistema strutturale costituito da tavole in legno di abete assemblate a secco.

Questo sistema permette di realizzare una soletta piena lamellare ma con il vantaggio di essere priva di colle e conseguentemente l'evitare emissioni di sostanze nocive. Il sistema – anch'esso come le pareti è da considerarsi «a secco» – giunge in cantiere pre-assemblato in moduli lar-

ghi dai 50 ai 100 cm, in quanto in falegnameria le singole tavole sono affiancate le une alle altre attraverso spine di legno e da barre filettate serrate in modo tale da rendere collaboranti le tavole tra di loro (Figura 19).

Il sistema così pre-assemblato riduce notevolmente i tempi realizzativi e la produzione di rifiuti durante le fasi di cantiere.

Le solette in legno lamellare a secco sono state appoggiate su travi strutturali in legno od in acciaio le quali sono realizzate con giunti a secco, in modo da facilitarne la disassemblabilità ed il successivo riciclo in un'eventuale fase di demolizione.

Oltre che all'attenzione verso la scelta dei materiali e dei sistemi costruttivi relativamente alla sostenibilità ambientale, il centro servizi è stato realizzato utilizzando sistemi solari passivi per lo sfruttamento dell'irraggiamento solare ed adottando sistemi e tecniche finalizzate alla riduzione dei consumi di energia acqua e materiali.

Sebbene l'orientamento dell'edificio lungo l'asse nord-sud definito a priori, a causa della preesistenza dello scheletro strutturale del vecchio capannone industriale, non sia ottimale ai fini dello sfruttamento della radiazione solare nel periodo invernale e del raffrescamento passivo nel periodo estivo, tuttavia nel caso dei bow windows è stato possibile «correggerlo» attraverso la rotazione delle facciate vetrate fino a giungere ad un orientamento pres-

Figure 15, 16 (dall'alto in basso).



Figure 17, 18 (dall'alto in basso).



soché ottimale verso sud, creando delle vere e proprie serre solari passive (Figura 20).

Le facciate esposte ad est ed ovest sono dotate di schermi solari, costituiti da lamelle di legno opportunamente distanziate al fine di rendere permeabile l'edificio ai raggi solari nel periodo invernale e limitando al contempo gli effetti del surriscaldamento nel periodo estivo.

In fase di progettazione è stato condotto uno studio dell'illuminazione naturale al fine di garantire ottimi livelli di comfort visivo all'interno di ogni locale.

Negli uffici particolarmente bui sono stati inseriti dei camini di luce naturale (tipo Solar-spot) (Figura 21) mentre un cavedio di luce all'interno del corpo centrale del Centro Servizi permette l'illuminazione naturale dei corridoi interni e di numerosi uffici. Le pareti sono previste tinteggiate in colori chiari al fine di favorire la riflessione della luce naturale.

La stratigrafia di involucro è stata dimensionata in modo da ottenere valori di bassa trasmittanza termica, al fine di contenere le dispersioni termiche. Il valore ottenuto è di circa $0,32 \text{ w/m}^2\text{k}$.

La presenza di un sistema costruttivo composto da mattoni assemblati ad incastro e quindi a giunto aperto permette alla parete di essere permeabile al vapore impedendo la formazione di muffe.

La scelta di utilizzare sistemi costruttivi a secco garanti-

sce da un lato una facile ed economica realizzazione (ciò è dovuto al limitato peso dei vari componenti) e dall'altro durante la fase di dismissione e demolizione dell'edificio ne permette il completo riciclaggio di ogni sua parte.

Le partizioni interne hanno un'elevata capacità termica per lo sfruttamento degli apporti termici gratuiti indoor ed elevata capacità di isolamento acustico, i tramezzi dello spessore di 12 cm sono completamente riempiti di pannelli in fibra di cellulosa.

Al fine di limitare i consumi di acqua potabile è stato realizzato un impianto di recupero delle acque piovane captate dalla copertura, costituito da una vasca di raccolta di circa 60 m^3 , un locale di sedimentazione, una pompa ed un'elettrovalvola che permette l'immissione nelle condotte di acqua potabile nel caso la vasca sia vuota. L'acqua recuperata è utilizzata negli sciacquoni dei WC e per le pulizie dei pavimenti.

Un ulteriore risparmio di acqua potabile avviene attraverso l'utilizzo di rubinetti con miscelatori ad aria e vaschette di cacciata dei WC a doppio tasto.

La produzione di energia avviene attraverso due caldaie a cippato già esistenti dalla potenza di 1 MW, le quali sono sufficienti a soddisfare i fabbisogni termici dell'intero complesso dell'Environment Park compresa quella della nuova struttura del centro servizi.

L'acqua calda sanitaria è prodotta con l'ausilio di circa 20

Figura 19.

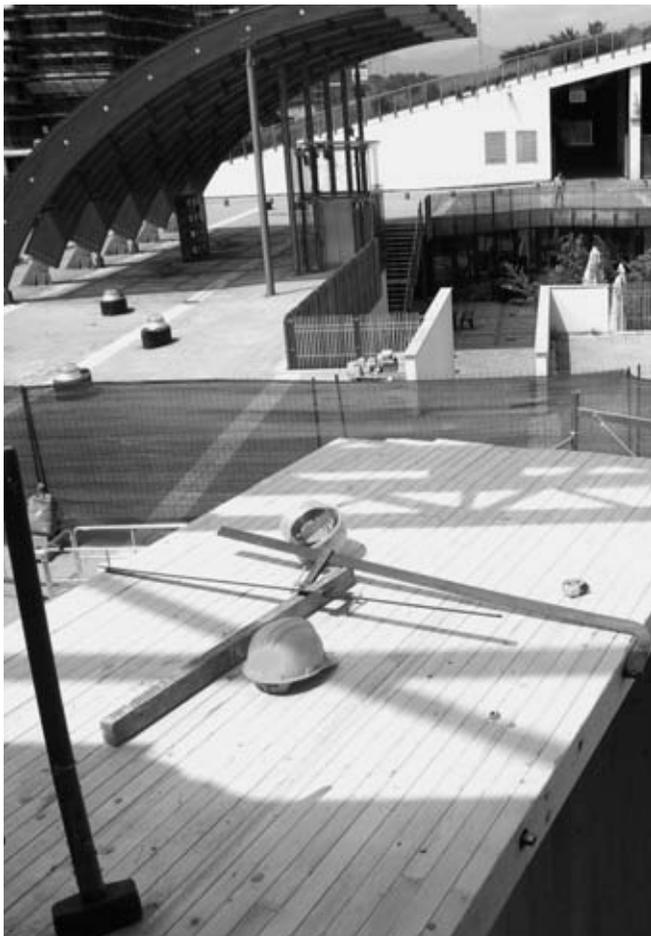


Figura 20.



A&RT

m² di pannelli solari piani mentre un solarwall permette il preriscaldamento dell'aria primaria (Figura 22).

Elevati livelli di comfort termico degli ambienti interni sono raggiunti con l'adozione, quale Impianto di condizionamento, di un controsoffitto radiante a bassa temperatura e ove le strutture preesistenti non lo permettono a pavimento.

Applicando i criteri per la certificazione del livello di sostenibilità secondo il sistema di certificazione della qualità ambientale degli edifici GBC sviluppato nell'ambito delle attività del Green Building Challenge, si ottiene un punteggio pari a 2, relativo al valore di «Good Practice», tenendo in considerazione che il consumo energetico annuale degli impianti è di 79,4 kWh/m² a, che l'energia primaria consumata è di 99,4 kWh/m² a, che la quantità di energia utilizzata proveniente da fonti rinnovabili è di

329,3 kWh/m² a, che l'energia primaria inglobata nei materiali utilizzati per la costruzione è di 2500 kWh/m² e che la quantità di CO² emessa per le operazioni di gestione dell'edificio, 40573,4 m³/m².

Progetto definitivo architettonico, strutturale:
Environment Park S.p.A., Arch. Stefano Dotta,
Alessandro Fassi.

Progetto definitivo impianti meccanici ed elettrici:
Environment Park S.p.A., Arch. Stefano Dotta, Andrea
Moro.

Direzione dei Lavori: Environment Park S.p.A., Arch.
Stefano Dotta.

*Stefano Dotta, architetto, responsabile dell'Osservatorio
Bioedilizia, Environment Park, Torino.*

Figura 21.



Figura 22.





Figure 23, 24, 25 (dall'alto in basso).



Il castagno e la robinia: una nuova sostenibilità del costruire attraverso l'utilizzo di specie legnose locali

Chestnut and black locust: a new sustainability using local wood

LUCA MALAVOLTA

Abstract

Negli ultimi anni il legno è stato impiegato sempre più di frequente nelle costruzioni, grazie alla sostenibilità della risorsa, ossia alla buona disponibilità, al costo energetico e all'impatto ambientale nei processi di produzione, trasformazione e smaltimento relativamente contenuti. L'impiego del legno in edilizia è oggi prevalentemente orientato all'uso di conifera che, a seconda delle classi di utilizzo e quindi di esposizione, viene impregnato chimicamente per garantire una durabilità artificiale non propria del materiale; inoltre, per sopperire alla carenza di durabilità di questa famiglia, si scelgono in alternativa legni tropicali, con tutte le problematiche che tale scelta si porta dietro. Considerando i costi del trasporto del materiale, generalmente lavorato all'estero, e i costi legati all'inquinamento indotto dal trattamento chimico, appare evidente che una costruzione di legno così concepita non sia più totalmente sostenibile. Di contro, la ricchezza di legni di latifoglie nel territorio piemontese, con ottime caratteristiche tecnologiche e con durabilità elevate, apre la strada all'impiego in architettura di legno locale (castagno e robinia): tale scelta garantirebbe la completa sostenibilità del processo costruttivo, valorizzando una risorsa reperibile a «Km 0». Le conoscenze selvicolturali maturate attraverso il Piano Forestale Territoriale, unite alle esperienze condotte all'estero nell'uso del legno di castagno e robinia, garantiscono il pieno successo nel raggiungimento di tali obiettivi.

Over the last decade wood has been often used in buildings, thanks to its sustainability, in terms of good availability, low energy cost and reduced environmental impact during production, processing and final disposal. Wooden construction are currently oriented to conifer that, according to the destination of use and consequently to the exposure, is chemically processed to enhance durability; due to this lack of durability, tropical wood is often preferred, despite all the related environmental issues. Given the cost of transports and the high environmental impact due to chemical processing, such a construction cannot be considered fully sustainable. Therefore the abundance of broadleaves in Piedmont region, with their excellent technological proprieties and high durability, paves the way to use local woods (chestnut, black locust) in buildings; this choice would ensure the sustainability of the whole construction process, while enhancing a local resource. Forestry knowledge gained through forest plans (Piano Forestale Territoriale or PTF) and combined with know-how from foreign countries on the use of broadleaves, will be the key of success.

La sostenibilità nell'uso del legno, tenuto conto della sua «naturalità», della sua completa biodegradabilità e delle emissioni, in fase di lavorazione, relativamente poco inquinanti rispetto ad altri materiali, non può prescindere dalla provenienza del materiale stesso. Parlare di processi sostenibili a

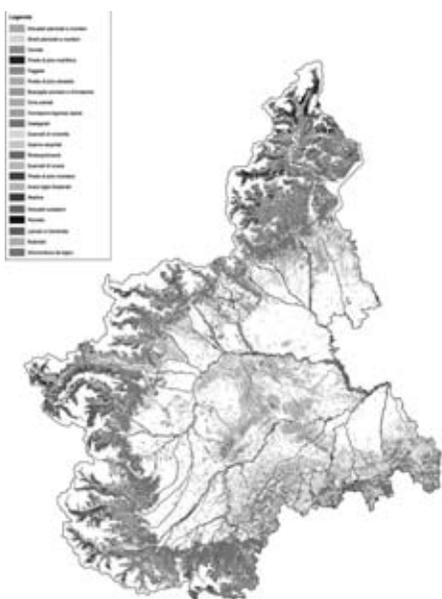
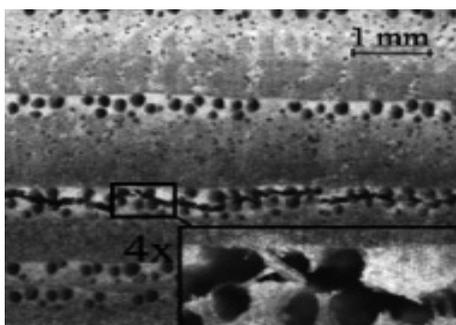


Figura 1 (in alto). Carta delle categorie forestali. Fonte IPLA

Figura 2. Esempio di rotella fortemente cipollata. Tratto da: Fonti, Giudici, Conedera 2002

Figura 3. Dettaglio di cipollatura del tipo a frattura. Tratto da: Fonti, Giudici, Conedera 2002



riguardo di un materiale che ha percorso centinaia, se non migliaia, di chilometri con trasporto generalmente su ruota pare poco saggio, se non forzato. Tale è lo stato del mercato ai nostri giorni: si realizzano costruzioni, edifici, coperture di legno, arredo urbano, utilizzando travatura e componenti specialmente di abete segato e lavorato oltre Alpe, proveniente da foreste non italiane. Se la costruzione lignea ha ridotto sensibilmente il consumo di risorse primarie rispetto a strutture di acciaio, calcestruzzo o laterizio, un passo ulteriore potrebbe essere quello di utilizzare la risorsa legnosa locale, verificandone preventivamente *disponibilità e qualità*. Si potrebbe parlare di «costruzione a Km zero», adottando uno slogan di moda nel settore alimentare. Data per certa la verifica delle potenzialità «tecnologiche» e dell'efficienza strutturale del materiale rispetto a soluzioni costruttive alternative, entrando nel merito della disponibilità del prodotto è noto che «nei paesi industrializzati cresce più legno di quanto se ne usi e la maggior parte degli scarti delle lavorazioni industriali e del legname di recupero viene riciclato o utilizzato per produrre energia»¹. Anche a livello locale, le recenti analisi, che hanno portato alla stesura del PFT (Piano Forestale Territoriale), riportano dati sorprendenti in merito alla produzione legnosa potenziale dai boschi piemontesi.

Prima di entrare nel merito del dato numerico occorre fare un passo indietro e fissare un importante concetto legato alla gestione e all'utilizzo della risorsa forestale: «Le funzioni dei boschi [...] sono oggi molteplici e prevaricano gli aspetti puramente produttivi e protettivi, un tempo prevalenti; hanno dunque assunto sempre maggiore importanza le funzioni più propriamente sociali e ambientali, tra le quali il valore estetico-paesaggistico, la funzione climatica (igienico-ossigenante e di riduzione dell'effetto serra), la fruizione turistica, per escursionismo e ricreazione, senza dimenticare gli aspetti naturalistici di conservazione delle biodiversità e scientifici, essendo i boschi tra gli ecosistemi più complessi e naturali presenti sul territorio. L'approccio alla pianificazione

e alla gestione forestale nella realtà attuale non può quindi che essere quello multifunzionale per tutti i boschi»². L'indirizzo gestionale portato avanti a livello regionale risulta essere totalmente coerente con le direttive emesse a livello comunitario: la commissione europea, nella comunicazione al consiglio e al parlamento europeo attraverso la *Relazione sull'attuazione della strategia forestale dell'Unione europea*³, riconosce il ruolo decisivo delle foreste ai fini dello sviluppo sostenibile, rilanciando l'importanza della corretta gestione del patrimonio boschivo e promuovendo l'utilizzo del legno. Sottolineare tale aspetto è importante per superare la convinzione generalizzata, emersa anche recentemente in occasione dell'emanazione della nuova norma forestale regionale, che utilizzare la risorsa legno significhi radere al suolo interi boschi, distruggendo il patrimonio selvicolturale e faunistico che caratterizza il nostro territorio. Semmai lo stato di abbandono in cui versano i nostri boschi dovrebbe far riflettere sulla necessità di curare e gestire correttamente la risorsa e, perché no, di sfruttarla, portando a una valorizzazione del territorio, limitando lo spreco e l'abuso di risorse alternative non rinnovabili e aprendo le porte a un nuovo settore e, quindi, a nuovi posti di lavoro.

Tornando all'analisi sul territorio piemontese, l'estensione forestale è superiore a un terzo della superficie regionale. Il 60% è coperto da quattro categorie delle ventuno individuate del PFT: Castagneti (23%), Faggete (16%), Robinieti (12%), Larici-cembrete (9%). Sulla base delle indicazioni fornite dal PFT è possibile individuare, partendo dall'estensione forestale e dai dati dell'inventario forestale, la provvigione in termini volumetrici, riferita ai differenti assortimenti ritraibili. Il prelievo potenziale stimato in un lasso temporale pari a quindici anni di gestione forestale attiva ammonta a 2,6 milioni di m³ annui. Il valore stimato corrisponde, all'incirca, all'incremento medio del volume forestale riferito all'intera superficie: *questo significa che prelevando tutta la massa possibile non s'intacca il patrimonio originario*. Le potenzialità dei boschi piemontesi, in termine di disponibilità e produttività di

Figura 4. Sezioni di picchetto infisso nel terreno dopo 28 anni. Fonte: www.acasol.ch

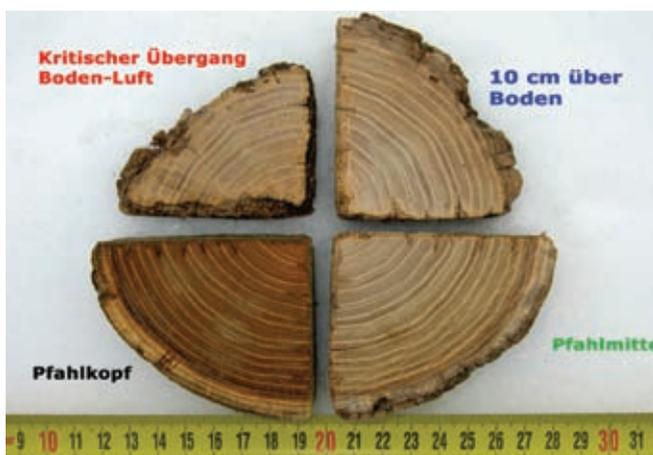


Figura 5. Parco giochi nel comune di Cerrione (BI): elemento costruttivo di conifera.



A&RT

materiale legnoso, sono quindi molto alte. I fattori positivi in grado di garantire la sostenibilità economica della filiera foresta-legno riguardano l'elevata disponibilità di legname (come in precedenza sottolineato), le conoscenze acquisite nel campo della selvicoltura e della gestione forestale (possibilità di disporre di un PFT aggiornato), la crisi attuale del mercato dei carburanti e del settore energetico (l'incremento del costo del petrolio e la sensibilità verso le problematiche ambientali hanno favorito un interessamento maggiore nell'utilizzo delle biomasse e nel ricorso al legno come materiale da costruzione). D'altro canto, la morfologia sfavorevole e la difficile accessibilità per l'esbosco, che comportano costi elevati d'intervento, la frammentazione delle proprietà boschive, unita alla reticenza nell'affrontare una gestione associata e lo scarso valore corrisposto ai prodotti del legno, diventano criticità nell'affrontare tale tematica.

Entrando nel merito delle categorie forestali, alcune delle specie maggiormente presenti nel territorio che potreb-

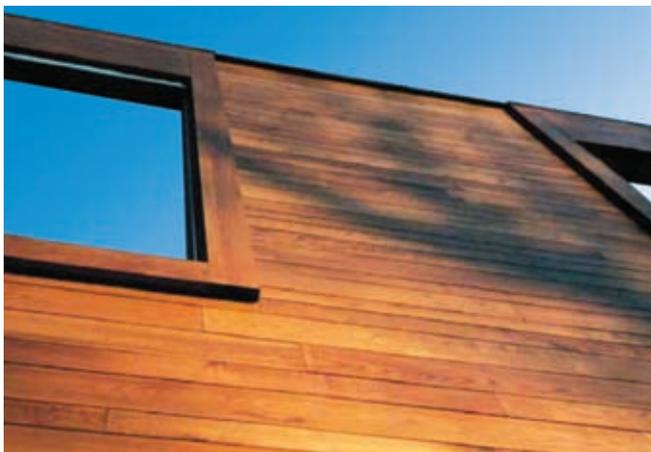
bero avere un ruolo decisivo nello sviluppo del settore delle costruzioni e, in particolare, nelle applicazioni esterne, tenuto conto dell'ottima durabilità, sono il castagno e la robinia.

Il castagno (*Castanea sativa Miller*) è un legno a durame differenziato, con sottile alburno di colore bianco-giallastro o citrino e durame di color marrone chiaro-bruno, più o meno intenso; è un legno pregiato per le sue caratteristiche tecnologiche, per la sua durabilità naturale e, anche, per le sue qualità estetiche. Tale specie ha suscitato sempre un forte interesse per l'uomo, essendo un'ottima fonte di cibo (i marroni ricchi di amido venivano essiccati, ricavandone farina e, quindi, il pane), di energia, di materiale per l'utensileria, per la carpenteria e la paleteria; basti pensare che già alla fine dell'Ottocento ci si poneva il problema della durabilità del castagno, confrontato con la robinia per usi viticoli. La durabilità del legno è legata alla presenza di composti chimici accumulati nella pianta, dapprima come sostanze di riserva, trasformate poi come scarti e sostanze tossiche all'interno del durame, chiamati estrattivi: la loro funzione è di preservare l'integrità strutturale della pianta. Il termine deriva dal fatto che tali composti possono essere rimossi dalla matrice legnosa con l'azione di solventi, giacché non sussistono legami chimici. Si distinguono per composizione chimica in oli volatili, terpeni, fenoli e tannini. Tali prodotti generalmente «contribuiscono ad alcune proprietà del legno come colore (colorazione più scura), odore (legni profumati), densità (aumento del peso), igroscopicità (diminuzione della permeabilità) e infiammabilità. Sono sostanze composite, spesso a forte azione antisettica, caratterizzate da strutture molecolari molto stabili. [...] La diversa durabilità naturale delle specie legnose è attribuibile proprio al diverso corredo di estrattivi che è tipico di ogni specie»⁴. Il castagno, legno ricco di tannini, rientra quindi nelle specie con legno a lunga durata. «La durabilità naturale è scarsa nell'alburno, che è attaccato da funghi e insetti, ma è elevata nel durame tale da renderlo adatto a molti impieghi che prevedono un'esposizione alle più elevate classi di rischio di attacco bio-



Figura 6. Sede IPLA Torino: panca realizzata in legno di robinia.

Figura 7. Ristorante e yacht club del comune di Zugo, rivestimento di castagno. Tratto da: www.segheriacoletta.ch

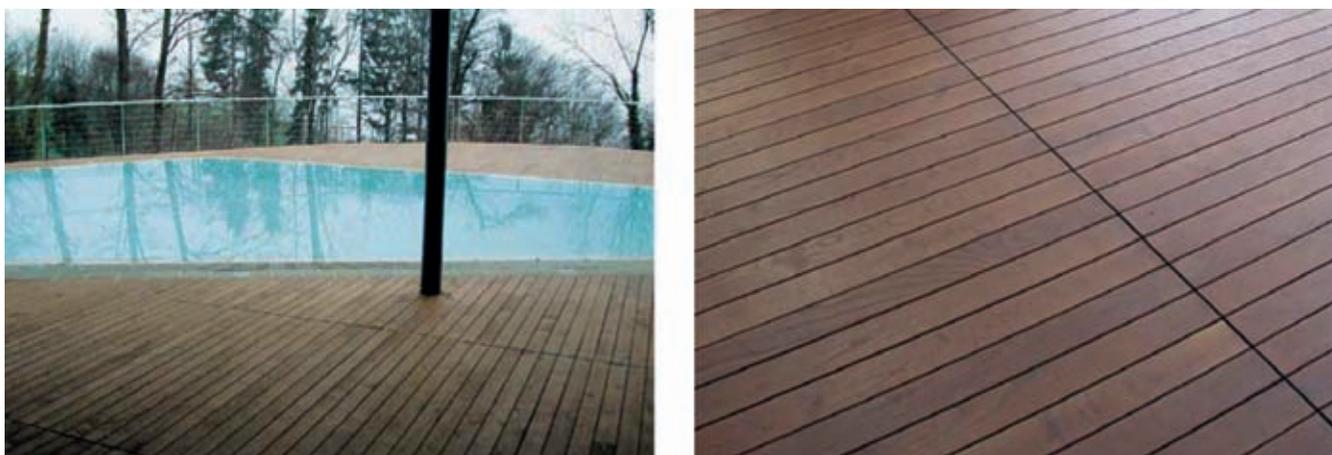


logico. L'impregnabilità con antisettici non risulta invece agevole: essa tuttavia è ritenuta superflua per il durame e non necessaria per l'alburno, che è facilmente trattabile ma generalmente assente nei segati»⁵. La normativa di riferimento UNI EN 350-1 / UNI EN 350-2 riporta le classi di durabilità naturale nei confronti degli attacchi di funghi basidiomiceti, nei confronti degli insetti e nei confronti delle termiti; definisce, inoltre, la classe d'impregnabilità del legname. In particolare, la durabilità naturale nei confronti dei funghi è buona (classe 2), l'alburno è facile da impregnare mentre il durame non è impregnabile. Il castagno presenta per contro alcune criticità che ne limitano gli utilizzi: «elevata difettosità di forma dei tronchi, alta presenza percentuale della cipollatura, cretti da tensioni di accrescimento nei fusti»⁶. In particolare le cipollature rappresentano delle separazioni nette tra due anelli di accrescimento: «la loro influenza sulla resistenza è notevole, perché combinandosi con le fessure da ritiro possono dividere in più parti la sezione della trave e ridurne significativamente le caratteristiche di resistenza e rigidezza»⁷. Le prospettive legate a tale difetto sono comunque buone: «una scelta adeguata delle stazioni su cui praticare una selvicoltura di qualità nei cedui castanili abbinata a interventi selvicolturali volti a favorire una crescita regolare e sostenuta dei polloni dovrebbero contribuire a diminuire il rischio di cipollatura, aumentando da una parte la coesione radiale e riducendo nel contempo le tensioni di accrescimento all'interno del legno. Questi risultati sono particolarmente incoraggianti in quanto perfettamente compatibili con i principi di una selvicoltura basata sull'adozione di diradamenti selettivi»⁸. Altro difetto del castagno riguarda la sua elevata acidità che, in presenza di umidità, tende a corrodere i metalli; l'elevato contenuto di tannini, inoltre, se da un lato migliora la durabilità del prodotto, d'altro canto comporta la formazione di macchie nero-bluastre sulla superficie lignea a contatto con materiali ferrosi. La lavorabilità del legname è generalmente buona, mentre la stagionatura artificiale può essere difficoltosa e richiede temperature basse. Il genere «robinia», appartenente alla famiglia delle *papilio-*

nacee, racchiude numerose specie differenti, prevalentemente arbustive, originarie del Centro e Nord America: nel nostro paese è chiamata robinia (*Robinia Pseudoacacia*), impropriamente acacia per le spine che ricordano specie appartenenti al genere acacia e in particolare nella regione Piemonte è chiamata *gaggia* (dal dialetto *gasia*). Importata dapprima come pianta ornamentale, assunse presto funzione di specie consolidatrice di frane e terreni incoerenti e, grazie al rapido accrescimento e alle buone proprietà di resistenza, venne destinata a molteplici usi: in particolare in Piemonte fu utilizzata nelle opere di rimboschimento della collina torinese nella metà del '700, a seguito delle eccezionali piogge e conseguenti frane che interessarono tale area. Tra le proprietà vanno annoverate la funzione ecologica e paesaggistica specialmente nelle fasce a ridosso degli insediamenti abitativi, nelle aree industriali e nelle zone caratterizzate da forte inquinamento atmosferico, le proprietà medicinali e gli usi alimentari dei fiori e delle foglie, l'attitudine mellifera e l'ottima resa energetica nel caso di combustione. Punto a sfavore della specie riguarda «la vigoria della robinia nel colonizzare, partendo dalle formazioni esistenti, prati e coltivi adiacenti, contribuendo a modificare l'alternanza bilanciata di coltivi e boschi»⁹. La robinia presenta ottime caratteristiche tecnologiche: «appartiene ai legni più pesanti (massa volumica secca di 730 kg/m³) ed è il più duro tra quelli nostrani (durezza di Brinell di 48 N/mm²). È tenace, flessibile, elastico e per molte caratteristiche tecniche migliore dello stesso legno di quercia»¹⁰. Da una ricerca condotta negli anni '80 dal Politecnico di Torino, proprio sull'uso delle specie legnose in edilizia, appare interessante riportare le conclusioni emerse dalla campagna di prove fisico-meccaniche condotte, relative al legno di robinia:

- «la rottura non ha mai dato luogo a improvvisi cedimenti di resistenza [...]: ciò garantisce sicurezza nell'impiego; le rotture sono precedute e denunciate da notevoli deformazioni;
- nella rottura [...] il legno di robinia non dà origine al distacco di schegge e non si separa in parti;

Figura 8. Complesso balneare, Walchwill, pavimento di castagno. Tratto da: www.segheriacoletta.ch



A&RT

- la robinia risulta presentare valori medi [caratteristiche fisico-meccaniche] non solo paragonabili ma superiori a quelli della farnia, del rovere, del castagno, come noto latifoglie nostrane, di diffusa utilizzazione, che presentano ottime qualità meccaniche;
- oltre alle caratteristiche di resistenza meccanica alla compressione, trazione, taglio e flessione, questo legno presenta un modulo elastico in flessione elevato [...]: ottime possibilità di utilizzo della robinia nelle costruzioni edili;
- notevole resistenza all'urto messa in evidenza dalle prove di resilienza»¹¹.

Il legno è di tipo differenziato, con duramificazione che inizia tra il terzo e il quinto anno; l'alburno, generalmente molto ridotto, presenta un colore variabile tra il giallo e il bianco-verde, mentre il durame varia da giallo-verde a giallo-bruno e con l'essiccazione diventa bruno-dorato scuro. Dal punto di vista della durabilità, ottime sono le proprietà del materiale: «possiede elevate caratteristiche di durata, potendo rimanere in opera nel terreno per più di 20 anni. Buon comportamento presentano anche i tronchetti di giovani piante, poco duramificati e perciò più soggetti ad alterazioni»¹². Ricerche condotte in ambito internazionale su manufatti lignei di robinia forniscono i seguenti parametri: esposto alle intemperie e a contatto con il terreno il legno può resistere per un lasso temporale di 25-40 anni. Utilizzato in ambiente asciutto senza il contatto con il suolo la resistenza aumenta a 80-100 anni; completamente immerso nell'acqua quest'ultima ammonta a 500 anni. Ad esempio, l'immagine riportata mostra quattro differenti sezioni fatte su di un picchetto di robinia dopo ventotto anni d'infissione nel terreno. È interessante notare il buono stato di conservazione del legno in tutti i piani di taglio: la sezione fatta nella parte infissa nel terreno a livello del suolo (in alto a sinistra) è quella che ha subito il maggior degrado. In merito alla classe di durabilità riportata nella normativa di riferimento UNI EN 350/2, la robinia è l'unica specie

«naturalizzata» in Europa a rientrare in classe di durabilità 1 nei confronti dell'attacco dei funghi. Anche tale specie di contro presenta difetti: problemi legati alla curvatura e non perfetta rettilineità del fusto, forte deviazione della fibratura (fibratura spiralata) ed elevate tensioni interne che, in fase di essiccazione e di lavorazione, possono comportare deformazioni e fessurazioni. Per quanto concerne la progettazione di manufatti di legno e, quindi, il possibile utilizzo del legname locale, il corretto approccio inizia con l'individuazione della classe di utilizzo, ossia delle condizioni ambientali specifiche a cui il manufatto sarà esposto. La norma UNI EN 335 definisce cinque classi di utilizzo differenziate in funzione dell'esposizione (all'interno, al coperto, all'esterno non protetto ecc.) e della esposizione all'umidificazione; a ogni classe individuata corrisponde la presenza o meno degli agenti biologici in grado di degradare il legno. Scelta la classe di utilizzo, la possibilità del manufatto di sopravvivere alle condizioni prestabilite dipende dalla specie legnosa individuata.

Seppur la scelta della corretta specie legnosa condizioni altamente la durabilità del manufatto, la prassi consolidata di utilizzare in qualsiasi situazione il legno di conifera contraddice tale aspetto. «La tendenza a utilizzare in particolare l'Abete rosso, dettata dalla ragionevole presunzione di conoscere con sufficiente approssimazione le caratteristiche di questa specie [...] contrasta con le generalmente scarse capacità di resistere agli attacchi biologici, da parte delle conifere, e con la difficoltà (specifica dell'Abete rosso) di compensare l'insufficiente durabilità naturale ricorrendo a procedimenti basati sull'impregnazione»¹³.

Allo stato attuale la maggior parte dei manufatti di legno prodotti per esposizione all'esterno sono trattati con prodotti chimici; tale azione comporta interessanti vantaggi legati alla durabilità ma anche rilevanti svantaggi a riguardo dell'inquinamento nei confronti dell'ambiente e dell'uomo. Si annoverano, a titolo esemplificativo, le problematiche inerenti l'inquinamento in fase di lavorazione

Figura 9. Pavimentazione esterna in legno di robinia. Tratto da: www.acasolv.ch



(emissione di VOC a cui sono esposti i lavoratori), le problematiche d'inquinamento del suolo e delle falde acquifere durante l'invecchiamento del manufatto (tralasciando i composti cancerogeni, che a norma di legge non dovrebbero più essere presenti sul mercato, gli altri prodotti chimici utilizzati possono comunque nel tempo essere dilavati e contribuire a inquinare l'ambiente) e, non per ultimo, le problematiche relative alla dismissione.

In merito a quest'ultima occorre sottolineare che il legno trattato non può essere smaltito come il legno naturale! Un altro punto che occorre evidenziare interessa la durata in opera dei manufatti di legno, progettati per essere esposti all'esterno e trattati chimicamente a pressione per poter rientrare nella classe di utilizzo considerata; la garanzia temporale fornita dal venditore copre generalmente dieci anni di vita.

Si riporta, a riguardo, una fotografia di un elemento del parco giochi del comune di Cerrione (BI): la struttura di legno di conifera trattato chimicamente, dopo un'esposizione di dodici anni agli agenti atmosferici, risulta essere totalmente degradata dai funghi e non più funzionale; l'elemento presto verrà rimosso a conferma della limitata durabilità della specie utilizzata.

L'immagine seguente, posta a confronto, mostra una panca realizzata in legno di robinia, esposta per più di venti anni all'esterno: il legno ha subito un degrado superficiale per effetto dell'esposizione agli agenti atmosferici (radiazioni ultraviolette, pioggia, variazioni di umidità); non ha però perso la sua funzionalità originale. Inoltre, occorre evidenziare che, specialmente nel campo dell'architettura e della falegnameria, per sopperire a tale carenza nella durabilità del legno, generalmente utilizzato, si opta per la scelta di specie tropicali, che certo assolvono a tale funzione ma si portano dietro costi «ambientali» molto rilevanti.

Tenuto conto di tali aspetti, sorgono spontanee alcune questioni:

- perché non utilizzare specie a durabilità naturale com-

provata, in grado di resistere a classi di utilizzo estreme?

- perché non utilizzare, ad esempio, robinia o castagno, aventi durabilità nettamente superiore rispetto al pino silvestre trattato in autoclave e garantito dieci anni?
- perché non offrire una valida alternativa ai legni tropicali (teak, ipè ecc.), molto costosi sia dal punto di vista ambientale che da quello economico, con mercati difficilmente controllabili e trasparenti?

La risposta alle domande esposte è già scritta nelle realizzazioni riportate nelle seguenti immagini, riguardanti costruzioni, facciate, arredo urbano ecc. Specialmente in Svizzera emerge una cultura consolidata nell'uso del castagno e una continua volontà, da parte di enti preposti alla tutela e valorizzazione del patrimonio forestale, a sensibilizzare e informare gli utenti sulle potenzialità della risorsa locale.

Traendo le conclusioni, la strada della valorizzazione del castagno e della robinia permette di:

- sfruttare una risorsa locale, valorizzando il proprio patrimonio forestale, limitando i costi ambientali ed economici legati alla lavorazione e attivando la filiera legata al legno (nuovi posti di lavoro nel settore, crescita economica del territorio). Utilizzando legno locale si mette in pratica il concetto di sviluppo sostenibile; si favorisce inoltre lo sviluppo dei settori legati alla produzione del miele e all'utilizzo in campo alimentare dei frutti;
- fornire una valida alternativa ai legni tropicali, grazie alle ottime proprietà di durabilità e resistenza delle due specie; tale soluzione permette di limitare i costi «ambientali» ed economici legati all'esbosco «selvaggio» delle foreste esotiche e al trasporto del legname (basti pensare che a oggi il legno di teak viene venduto a un prezzo quattro volte superiore al prezzo di mercato della robinia);
- fornire una valida alternativa al legno preservato chimicamente, limitando le eventuali problematiche di inquinamento arrecato all'ambiente, al suolo e all'uomo e ridu-

Figura 10. Parco giochi realizzato in legno di robinia. Tratto da: www.acasolv.ch.



Figura 11. Parco giochi realizzato in legno di castagno. Tratto da: www.acasolv.ch.



A&RT

cendo le problematiche legate alla dismissione dei prodotti trattati. Tale scelta permette inoltre di «allungare» il ciclo di vita dei manufatti esposti all'esterno, limitando i costi di manutenzione e di sostituzione delle parti danneggiate: «mentre un palo o un gioco di abete impregnato dura al massimo 8-10 anni, quelli in castagno o robinia, se ben costruiti e mantenuti, durano anche venti e più anni»¹⁴;

- sensibilizzare gli utenti all'utilizzo di risorse locali; ad esempio, nel caso delle oasi di svago riportate nelle immagini precedenti, costruite in legno autoctono di castagno, i progettisti hanno optato per un approccio di tipo partecipativo, coinvolgendo gli utenti finali, in particolare bambini e ragazzi.

L'utilizzo di specie legnose autoctone favorisce lo sviluppo, da parte dei destinatari finali, di una propria identità territoriale.

Tali obiettivi saranno perseguiti nella piena consapevolezza che «Ogni specie legnosa ha caratteristiche e proprietà che la rende insostituibile e unica per il tipo d'impiego e per la sua originale bellezza e utilità»¹⁵.

Luca Malavolta, architetto, libero professionista. Specializzato sul tema delle costruzioni a basso consumo energetico e nella progettazione di strutture di legno al master di II livello CasaClima dell'Università di Bolzano. Certificatore e consulente per conto dell'Agenzia CasaClima di Bolzano. Collabora con studi professionali e imprese con l'obiettivo di realizzare edifici di qualità e ad alta prestazione energetica.

Riferimenti bibliografici

ARSIA (AGENZIA REGIONALE PER LO SVILUPPO E L'INNOVAZIONE NEL SETTORE AGRICOLO-FORESTALE), *Il legno di castagno e di douglasia della Toscana. Qualità del legno e selvicoltura. Classificazione e valori caratteristici del legname strutturale*, Firenze 1999, pp. 1-60

M. DE LOS ANGELES GRAS, *Robinia pseudoacacia L. Annotazioni da una rassegna bibliografica*, SAF-Centro di sperimentazione agricola e forestale, Roma 1991

P.G. BARDELLI, C. MORTARINO, R. NELVA, F. ZAMPICININI, *Il legno di robinia nell'edilizia*, in «Quaderno di dipartimento», Politecnico di Torino - Dipartimento di ingegneria dei sistemi edilizi e territoriali, n. 11, 1987

FEDERLEGNO, *Oasi di svago (parchi gioco), Manuale tecnico promozionale per un prodotto indigeno innovativo*, cd-rom, 2005

P. FONTI, F. GIUDICI, M. CONEDERA, *La cipollatura nel legno di castagno: un problema centrale per il rilancio della castanicoltura da legno di qualità*, in www.federlegno.ch, 2002

F. GOTTERO, A. EBONE, P. TERZUOLO, P. CAMERANO, *I boschi del Piemonte, conoscenze e indirizzi gestionali*, Regione

Piemonte-Blu Edizioni, Torino 2007

F. LANER, *Diagnostica delle strutture lignee*, Le Guide Peter Cox-Flap Edizioni, Verona 2005

N. MACCHIONI, M. PIVIDORI, *Qualità del legno del ceduo di castagno: gestione dei popolamenti*, in «Silvae Pedemontis», Semestrale della Associazione forestale del Piemonte, 1, 1996, pp. 23-30

G. NOTARANGELI, *Durabilità naturale del legno, trattamenti innovativi*, in E. RACHELLO, O. DELMARCO, M. PIAZZA (a cura di), *Progettare la durabilità. Il legno dalla materia prima al manufatto*, Atti del convegno Lignomec 01, CNR-Istituto per la Tecnologia del Legno, S.Michele all'Adige (Tn) 2001, pp. 41-49

M. PIAZZA, M. DEL SENNO, *I particolari costruttivi nel progetto della durabilità*, in E. RACHELLO, O. DELMARCO, M. PIAZZA (a cura di), *Progettare la durabilità. Il legno dalla materia prima al manufatto*, Atti del convegno Lignomec 01, CNR-Istituto per la Tecnologia del Legno, S.Michele all'Adige (Tn) 2001, pp. 27-40

PROMOLEGNO, *I volti del legno. Aspetti, descrizioni e parametri di confronto*, proHolz Austria, Prontuario n. 6, 2007

REGIONE PIEMONTE, ASSESSORATO ECONOMIA MONTANA E FORESTE, *La robinia, indirizzi per la gestione e la valorizzazione*, ISTITUTO PER LE PIANTE DA LEGNO E L'AMBIENTE (a cura di), Blu Edizioni, Peveragno (CN) 2000, pp. 1-47

R. ZANUTTINI, P. CIELO, *Caratteristiche tecnologiche ed impieghi del legno di castagno*, in «Silvae Pedemontis», Semestrale della Associazione forestale del Piemonte, 1, 1996, pp.13-22

R. ZANUTTINI, *La filiera foresta-legno*, in FEDERLEGNO-ARREDO SRL, *Il legno massiccio in edilizia - Idee, materiali e tecniche per costruire in armonia con l'ambiente*, Milano 2003, pp. 1-2

Note

¹ Zanuttini 2003, p.1.

² Gottero, Ebone, Terzuolo, Camerano 2007, p. 31.

³ [Http://Europa.Eu/Scadplus/Leg/It/Lvb/L60040.Htm](http://Europa.Eu/Scadplus/Leg/It/Lvb/L60040.Htm)

⁴ Notarangeli 2001, p. 46.

⁵ Zanuttini, Cielo 1996, p. 22.

⁶ Macchioni, Pividori 1996, p. 24.

⁷ ARSIA 1999, p. 44.

⁸ Fonti, Giudici, Conedera, 2002.

⁹ IPLA 2000, p. 41.

¹⁰ PromoLegno 2007, p. 70.

¹¹ Bardelli, Mortarino, Nelva, Zampicinini 1987.

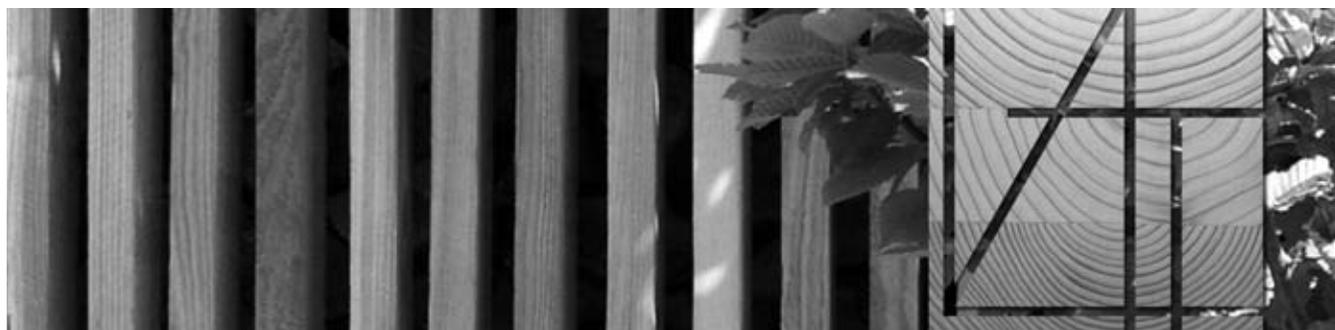
¹² SAF 1991, p. 32.

¹³ Piazza, Del Senno 2001, p. 31.

¹⁴ Federlegno 2005.

¹⁵ Laner 2005, p. 54.

Appendice alla parte seconda
Sistemi e progetti di aziende
*Appendix to the part two
Systems and projects of companies*



Il rispetto della tradizione, moltissima ricerca e sperimentazione sui materiali e sulle connessioni sono la base per prodotti innovativi per ogni tipologia di costruzione in legno

Respect for tradition, a lot of research and experimentation on materials and joints are the bases for innovative products for every kind of wooden constructions

A CURA DELL' UFFICIO STAMPA DI HABITAT LEGNO S.P.A.

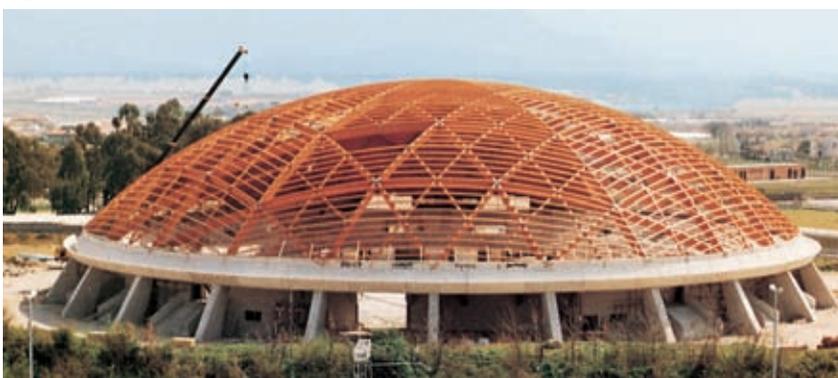
La «storia» ci porta alla Segheria «Albertani Pietro» nella frazione di Lombro di Corteno Golgi, provincia di Brescia, che da tempo immemorabile tagliava tronchi per formare tavole da lavoro, rivestimento e pavimenti. Orgoglio della piccola ditta era quello di fornire segati per l'arredo, pavimenti e rivestimenti delle chiese della zona. Oggi, conservato il diritto di derivazione dell'acqua dell'Oglio, al posto della segheria c'è una modernissima centrale idraulica per la produzione di energia elettrica per gli impianti delle Industrie Albertani.

Nel 1969, papà Albertani, con i figli Giacomo, Martino, Battista, Guido e Natale, fonda la Wood Plastic Albertani S.p.A. avventurandosi nell'edilizia residenziale prefabbricata di legno. L'idea di fabbricare case – a onor del vero – è propria del quarto dei giovanotti Albertani, Gian Pietro, prima non menzionato, anche perché emigra all'inizio degli anni settanta in Francia, senza partecipare alla nuova avventura, affermandosi in quel Paese come docente universitario. Come in ogni storia, i primi anni sono difficili, ma più le difficoltà aumentavano, più si opponeva l'ostinata perseveranza dei Fratelli.

Era un viaggio solitario, ma per le grandi avventure basta sempre un manipolo d'uomini unito dalla medesima fede. Il legno possiede proprio questa caratteristica: ricompensa sempre chi gli dimostra fiducia e simpatia!

Dal 1969 le industrie Albertani sono strutturate in due società principali: Habitat Legno S.p.A. e Wood Albertani; Albe Case è una divisione di Wood Albertani.

Figura 1.



Habitat Legno

L'Habitat legno S.p.A è la principale società delle Industrie Albertani. L'atto di nascita risale al 1975, quando i fratelli Albertani l'affiancano alla Wood Plastic Albertani, costruendo a Braone lo stabilimento per la realizzazione del legno lamellare.

Si realizzarono, nel 1975, le prime travi lamellari, proprio quelle della copertura del reparto finitura dello stabilimento di Braone, che diventarono anche il primo biglietto da visita per convincere che col legno si può osare ed andare oltre la normalità. L'impegno non fu solo quello di convincere progettisti ed utenti, bensì quello di ottenere riconoscimento normativo, come nei confronti della resistenza al fuoco, sismica e durabilità.

L'Habitat Legno, specie nella persona di Lino Albertani, il minore dei Fratelli – questa è la chiave di lettura del successo – si fa carico di sperimentare, di sottoporre a prova elementi strutturali, nodi e strutture e di dimostrare coi fatti le grandi caratteristiche del materiale.

Fa eseguire prove al fuoco, prove statiche sia in stabilimento, sia su strutture in opera, dotandosi di un ricco patrimonio di conoscenze tecnico-scientifiche, che mette anche a disposizione di progettisti, prescrittori e centri normativi.

L'informazione tecnico-scientifica è stata promossa anche con numerose pubblicazioni redatte da professori universitari, come i libri di F. Laner, M. Caironi e L. Bonera, F. Zago e dalla prestigiosa rivista «Adrastea», pubblicata per oltre un decennio.

È fondamentale la collaborazione con l'Istituto del legno del CNR di S. Michele all'Adige e soprattutto con il

Laboratorio Prove Materiali dell'Istituto Universitario di Architettura di Venezia, dove opera il prof. Franco Laner che unirà il suo nome alla storia dell'Habitat Legno. Altro partner di grande valore è l'Otto Graf Institut di Stoccarda, che certifica già dai primi anni, la qualità della produzione Habitat Legno. La strada della certificazione da parte di un Istituto accreditato sarà successivamente seguita da tutti gli altri Produttori nazionali.

L'attività di ricerca e sperimentazione è tutt'ora praticata con forza e perseveranza, portando all'Habitat quegli elementi di conoscenza che le consentono di osare da una parte e dall'altra di darsi dei limiti, nel rispetto della sicurezza, affidabilità e durabilità delle strutture che realizza, anticipando le norme sul legno e legno lamellare, che solo dal primo luglio del 2009 sono operanti (D.M. 14 gennaio 2008, *Norme tecniche per le costruzioni*) e che finalmente legittimano le strutture di legno anche nel nostro Paese. Sperimentazione dunque non solo per dimostrare la qualità della propria produzione, ma anche per verificare la bontà delle intuizioni e degli innovativi prodotti e tecnologie, a cui spesso le altre aziende fanno riferimento.

Allo stabilimento di Braone si affiancarono nel tempo altre realtà produttive e non solo in Italia. Varcati dapprima i limiti provinciali, fondando sia stabilimenti di produzione sia centri di distribuzione in altre regioni nazionali, ci sono realtà produttive, o consociate Habitat Legno in altre nazioni.

L'Habitat è oggi una grande azienda, con diversificazioni produttive, ma sempre con il legno, assoluto protagonista. Se la sperimentazione e la ricerca sono le chiavi di lettura che caratterizzano Habitat Legno, sarebbe riduttivo

Figure 2, 3 (dall'alto in basso).



Figure 4, 5 (dall'alto in basso).



A&RT

dimenticare come la variegata personalità dei Fratelli abbia concorso a raggiungere obiettivi molto impegnativi e quindi a differenziare, con la seconda generazione, gestione e dislocazione sul territorio nazionale di nuovi centri produttivi.

Il cuore pulsante dell'Azienda è però ben radicato nella sede di Edolo, al fondo della val Camonica, incastonata nell'ambiente naturale in cui trentacinque anni fa ha cominciato a pulsare! Un forte riconoscimento va dato alle maestranze, di produzione e di cantiere. Per tutti e senza con ciò voler mettere in ombra alcuno, non si può tacere la figura del responsabile di produzione Franco Pè, infaticabile per oltre trent'anni e il mitico carpentiere Giacomo Sgabussi, che sapeva unire abilità manuale alla razionale conduzione dei difficili cantieri.

L'ufficio tecnico si avvale di tecnici estremamente preparati, il cui patrimonio, frutto di esperienza e studio, è sempre stato messo a disposizione di Progettisti ed Imprese. Ma è, parlando di uomini che hanno fatto l'Azienda, la figura di Lino Albertani che emerge, onnipresente, nel calibrare e ordinare processi di produzione – quante notti passate a sincronizzare passaggi produttivi fino ad avere il prodotto desiderato – o a trovare la giusta soluzione ai progetti proposti e da realizzare. Spesso la soluzione ha coinciso con brevetti o comunque ad innovazione che presto diventava routine, come i nodi di confluenza delle aste nelle cupole geodetiche (Figura 1), oppure componenti come il maneggevole SteK, il connettore H.S.B. per

i solai misti, o il duttile e flessibile Lignum K.

Lino Albertani riesce a tenere direttamente anche i rapporti con prestigiosi progettisti. È ben nota la sua stretta collaborazione con Renzo Piano, per il quale ha realizzato il padiglione IBM per l'expo di Parigi del 1984 (Figura 2) e poi lo stesso studio dell'Architetto a Vesima in provincia di Genova (Figure 3, 4) e recentemente anche l'intera copertura della Fondazione Renzo Piano, sempre a Vesima. Per Massimo Scolari ha realizzato diverse opere, come l'Aliante ora simbolo dell'Università di Architettura di Venezia e la Torre di Babele per la Biennale del 2004 di Venezia (Figura 5) e il nodo del ponte di Giulio Cesare (Figure 6, 7) in occasione delle giornate palladiane del 2002 a Vicenza. E così ancora è lui che interviene in realizzazioni di famosi Maestri dell'architettura, come Calatrava e Rogers, con cui ha costruito due magnifiche cantine in Spagna (Figure 8, 9, 10, 11), Cucinella e altri. Ormai il portfolio delle realizzazioni Habitat spazia in tutti i settori dell'edilizia civile ed industriale. Moltissime sono le coperture di chiese, palazzetti per lo sport, per la cultura ed il tempo libero e lo svago, ma anche ponti e passerelle (Figura 12) o strutture fuori da qualsiasi tipologia (Figura 13). In ogni opera c'è un po' di innovazione rispetto alle realizzazioni precedenti, tal che nell'evoluzione tecnico-scientifica dell'Habitat si può leggere spesso l'evoluzione tecnico-scientifica dell'intero comparto della giovane industria del legno lamellare nel nostro Paese.

Figure 6, 7 (dall'alto in basso).



Realizzazioni, viste da un punto di vista cronologico

Nelle opere realizzate c'è scritta la storia dell'Habitat Legno: l'impegno, il passato, il futuro. Scegliere fra i tanti lavori eseguiti in trent'anni di lavoro non è impresa facile e dipende dal punto di stazione che si vuol privilegiare: si potrebbe farsi condizionare dalla grandezza dell'opera, oppure dalla fama del progettista o dalla risonanza che i media le hanno attribuito, oppure dalla semplicità o dall'arditezza della concezione strutturale.

Ma anche da una scelta affettiva oppure, al contrario, escludere una realizzazione perché ricorda un difficile rapporto con la Committenza o per le difficoltà realizzative o un'opera può essere scelta per l'innovazione delle soluzioni tecnologiche che ha comportato. Pertanto per gli esempi di seguito riportati si è seguito un ordine cronologico scegliendo le realizzazioni che in qualche modo hanno segnato il processo di affermazione della ditta, specie dal punto di vista costruttivo ed architettonico.

La scelta dovrebbe consentire di leggere l'evoluzione, che non è solo dettata dall'innovazione tecnologica, ma anche dal punto di vista dei cambiamenti di stili, qualche volta solo moda, che comunque però fanno integralmente parte dell'epoca in cui sono stati concepiti.

Dai primi timidi approcci, segue subito una fase di straordinaria temerità, con cui si voleva meravigliare per legittimare l'uso del lamellare.

Chiaro esempio è il Palasport di Cesena ed alcune cupole geodetiche di grande luce.

Dimostrato come il legno non abbia soverchi limiti, è seguito un periodo di lavoro febbrile. Dall'inizio degli anni '80 fino ai primi dei '90, con il legno si realizzarono coperture di media e grande luce, per destinazioni di varia natura e impiego, per lo sport, il culto, ma anche depositi per materiali aggressivi, passerelle e ponti, anche in zona sismica e in zone limitate. Anni di esperienze nuove, di rafforzamento e consolidamento. Alle pochissime ed iniziali ditte per il lamellare, anche nel nostro Paese fioriscono nuove realtà, il mercato austriaco e nordico «scopre» il mercato italiano, che diventa sempre più concorrenziale e difficile. Tenere le posizioni raggiunte per l'Habitat significa differenziare e confrontarsi fuori confine. Le realizzazioni cubane sono un esempio dell'audacia e capacità dell'Habitat.

Una delle ultime tappe sono le realizzazioni dopo il terremoto de L'Aquila: costruisce nei tempi ristretti i 625 alloggi assegnateli ed ora il Governo canadese l'ha scelta come esecutrice delle opere pubbliche finanziate proprio dalla Stato che più impiega il legno al mondo.

In trentacinque anni di attività ha realizzato opere in Italia e nel mondo. In Spagna con la consociata Holza è ormai partner dei maestri dell'architettura

In sintonia con l'Eurocodice 5 e le nuove norme tecniche nazionali, come il D.M. 14 gennaio 2008, che ha finalmente legittimato il legno ed i suoi derivati come materiale strutturale, è attualmente impegnata sul fronte della qualità certificata e all'impiego di risorse sostenibili.

Agli elevati standard qualitativi e prestazionali dei componenti che produce coniuga l'esperienza progettuale e specialistica maturata nelle strutture tecniche ed operative.

Tale esperienza viene offerta come collaborazione in fase d'impostazione progettuale, preliminare e definitiva, con soluzioni aderenti e congrue, risultando di fondamentale

importanza anche sul piano economico, specie nella fase realizzativa, di gestione ed assistenza in cantiere. Nel difficile, competitivo e sempre più complesso mercato edilizio, dove si scontrano esigenze contrapposte, dalla qualità al prezzo, alle impegnative richieste di sicurezza, durabilità, conformità e sostenibilità, ma anche di bellezza e prestigio, l'Habitat Legno è punto di riferimento. Habitat legno costruisce opere architettoniche chiavi in mano oppure realizza la parte in legno di esse in ogni dettaglio. Ha elaborato e brevettato alcuni componenti industrializzati in legno che si descrivono brevemente qui di seguito

H.S.B.

H.S.B. (Habitat System Beton) è il nuovo concetto di prodotto brevettato dall'Habitat Legno SpA per realizzare solai misti legno-calcestruzzo.

Fa parte della famiglia dei connettori a secco, di semplice e veloce posa, grazie anche alla speciale vite mordente che assicura il forte aggrappaggio al legno, mentre la conformazione del connettore, realizzato in lega, assicura la solidarizzazione al calcestruzzo della soletta.

Il connettore è stato testato presso l'FMPA dell'Otto Graf Institut di Stoccarda ed è conforme alle norme di calcolo DIN 1052.

Può essere impiegato sia per i nuovi solai, sia per il recupero o il consolidamento dell'esistente, garantendo sicure prestazioni, in particolare la grande rigidità della sezione a T, legno-calcestruzzo.

L'interposto a vista fra i travetti può essere di laterizio, di legno o di altro materiale, considerato che l'interposto non concorre alla statica dell'insieme.

STEK

Nell'intento di velocizzare la posa di elementi prefabbricati per partizioni di legno a vista di solai e tetti, l'Habitat Legno SpA di Edolo ha aggiunto alla sua gamma di prodotti lo STEK (è l'acronimo di STrutturale Element ad

Figure 8, 9 (dall'alto in basso).



A&RT

alto coefficiente di isolamento termico K).

L'elemento strutturale viene fornito con larghezza standard di 20,5 cm delle doghe di abete rosso a vista, con tre tipologie di altezza (STEK 80, STEK 125, STEK 155) e lunghezza fino a 12 m.

L'interposto fra le due tavole è di polistirene per le applicazioni usuali, di sughero per partizioni verticali e di fibre di legno per particolari esigenze del pacchetto isolante.

A seconda delle necessità e delle condizioni di progetto termo-igrometrico, le partizioni realizzate con STEK, possono essere integrate con la ventilazione, prima del manto impermeabilizzante.

Oltre alla velocità esecutiva, il pregio dello STEK è la notevole autoportanza statica, tal che gli appoggi intermedi possono avere notevoli interassi (fino a 3,5 m), mentre la limitata larghezza dell'elemento consente una grande flessibilità di posa, senza sfridi, facilitata dalla leggerezza dell'elemento.

Lignum K

Lignum K è un pannello isolante autoportante realizzato in legno. Si tratta di un elemento costruttivo ideale per le coperture, solai e pareti proprio perché presenta una capacità portante elevata che consente di eliminare le partizioni secondarie. Le due facce esterne sono a scelta in abete listellare o OSB e unite ad un'anima di materiale coibentante ecosostenibile. L'innovativa combinazione,

Figure 10, 11 (dall'alto in basso).



new entry delle Industrie Albertani ed evoluzione della linea Lignum K, rende questo prodotto unico nel suo genere: è ecologico e presenta prestazioni fisico-meccaniche che consentono una versatilità applicativa per realizzare efficaci coperture, solai e pareti.

Spessori ridotti in rapporto alle prestazioni: costruire una casa in legno con Lignum K è semplice, veloce ed economico. Con un'adeguata progettazione è possibile realizzare edifici multipiano, poiché il montaggio dei singoli pannelli si effettua facilmente, totalmente a secco ed utilizzando i normali utensili per legno.

Semplice da posare: oltre che per realizzazioni integrali in legno, Lignum K è utile anche per realizzare ristrutturazioni parziali. Solai o pareti divisorie interne con un'ampia scelta di finiture per il progettista, costituiscono una soluzione economica ed essenziale, che può prevedere di mantenere a vista entrambi i lati.

Garanzia di resistenza e qualità: com'è la prassi abituale di Habitat Legno S.p.A., anche questo nuovo prodotto è stato sottoposto a numerose prove che hanno dimostrato che Lignum K garantisce: ottimo isolamento termico e acustico; peso contenuto; ampia gamma di soluzioni per lo spessore del legno e per la lunghezza dei pannelli; diverse soluzioni statiche ed architettoniche; varie possibilità di scelta per le finiture (intonaco o cartongesso, pittura ecc.). La tipologia costruttiva ad ossatura portante in legno lamellare inoltre, rende la struttura stabile senza fenomeni di assestamento.

Conclusione

Dietro il successo c'è sempre fatica sostenuta da fiducia, sia nelle tante virtù del legno, sia e soprattutto negli uomini che partecipano all'avventura del rinnovato interesse per questo materiale. La storia del bosco proprio questo insegna. Non tutti gli alberi da tagliare sono sopra strada: a volte sono sotto strada e la fatica per tirarli su qualche volta è improba. Alla fine però li si tira su, con quella tenacia e determinazione, un po' camuna, un po' boscaiola e montanara, che continuamente riaffiora nei momenti di difficoltà.

Ancora il bosco, luogo in cui «tutto comincia» è stato l'e-

Figura 12.



lemento ispiratore del nuovo stand delle industrie Albertani, progettato da Torpego architetti di Torino (Figure 14, 15).

Ma più che nelle parole, la storia dell'Habitat legno è scritta nelle opere. Nella loro concreta realizzazione sta scritto il passato ed il futuro.

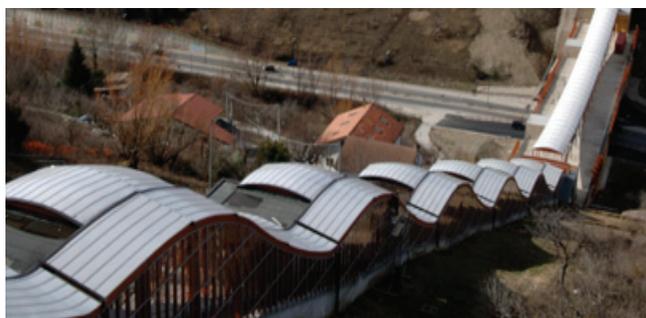
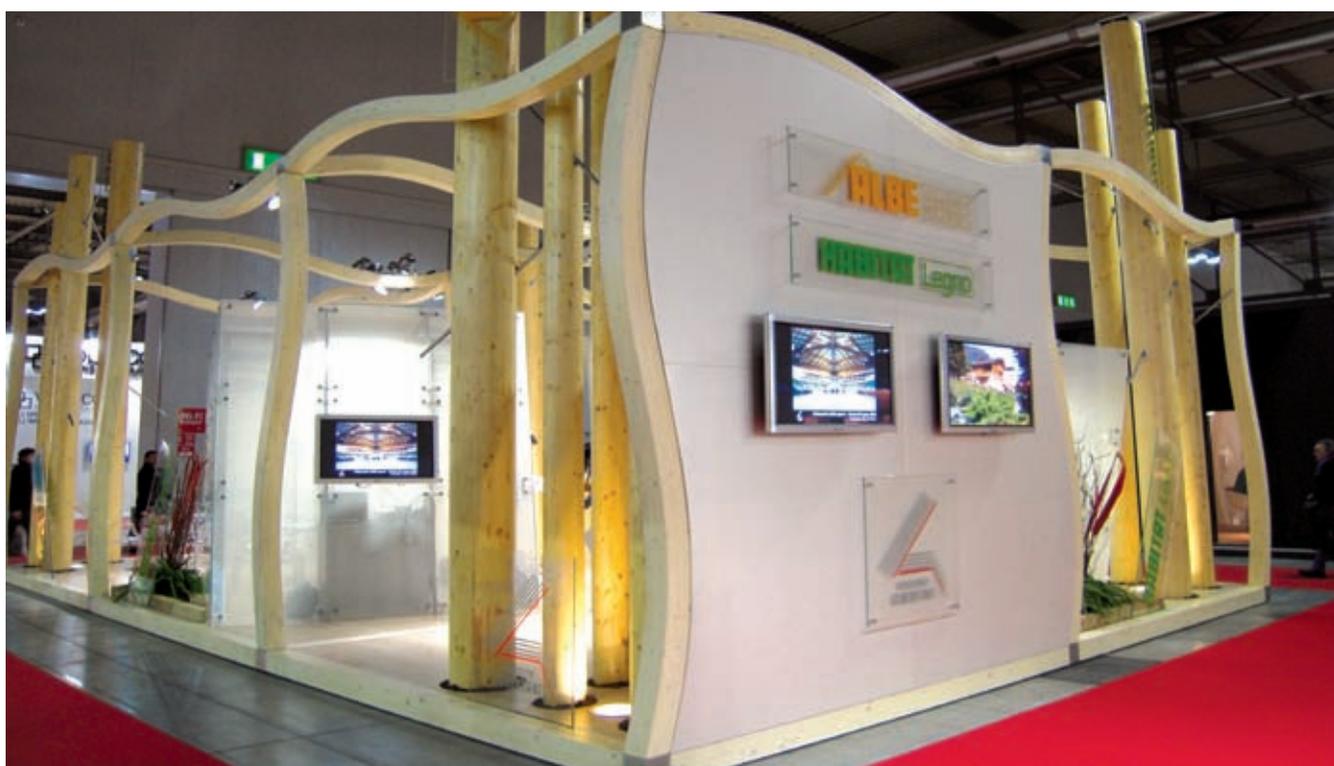


Figura 13 (a destra).
Figure 14, 15.



Case tradizionali, case unifamiliari, case aggregate, condomini, grandi complessi, case sostenibili: case di legno. Ricerca, sperimentazione e realizzazioni

Traditional houses, uni-family, multi family homes, multi-storey homes, sustainable homes: wooden homes. Research, experimentation and realisations

A CURA DELL' UFFICIO STAMPA DI ALBE CASE

Albe Case, divisione della Wood Albertani S.p.A. realizza dal 1969 case prefabbricate in legno, una produzione che spazia dallo chalet di montagna (Figura 1), prime o seconde abitazioni (Figure 2, 3, 4, 5) a qualsiasi latitudine, uffici, ristoranti, bar, stabilimenti balneari (Figura 6), chioschi, bungalow, rifugi (Figura 7), cabine, agriturismi, il tutto fornito e posato completo di serramenti, isolamenti, pavimenti in legno, pacchetti di copertura con manto impermeabile in tegole di cotto o cemento, lamiera in rame, acciaio o alluminio ecc; vengono realizzate inoltre le predisposizioni necessarie per gli impianti elettrico, idraulico e di riscaldamento, che normalmente vengono gestiti dal cliente con specialisti sul posto.

Albe Case utilizza vari sistemi strutturali per le sue costruzioni, dal tradizionale blockbau, a sistemi a telaio o a pannelli prefabbricati utilizzando i brevetti Lignum K oppure STEK. I solai possono essere eseguiti con solaio in legno e getto collaborante utilizzando il brevetto HSB (questi prodotti sono descritti nell'articolo di Habitat Legno).

Il sistema strutturale a pareti portanti con incastro tipo *blockbau* si impiega maggiormente nella costruzione di fabbricati di una certa importanza strutturale ed estetica. Questo sistema prevede essenzialmente l'impiego di

Figura 1.



sezioni in legno massiccio o lamellare di varie specie e dimensioni, squadrati o stoncati, con doppia o tripla lavorazione a maschio e femmina, i quali vengono sovrapposti verticalmente tra loro fino a formare la parete divisoria o portante. Grazie alla prefabbricazione si sono potute aumentare le lavorazioni in stabilimento per ridurre al minimo le operazioni di cantiere (molto più impegnative e costose) e per tenere sotto controllo tutti i costi riducendo al minimo gli imprevisti. La possibilità di pianificare e realizzare la produzione in stabilimento ha come vantaggi oltre ad una diminuzione dei costi, la certezza per quanto riguarda la tempistica di realizzazione dell'opera e un maggior grado di finitura del prodotto.

Un ulteriore pregio di questi sistemi è la possibilità di avere a priori una analisi completa di tutti i costi per la realizzazione completa dell'opera riuscendo così a redigere preliminari di spesa perfettamente coincidenti con le situazioni reali; prima ancora dell'inizio del cantiere si sa a quanto ammonta il costo complessivo dell'opera evitando le spiacevoli sorprese tipiche delle opere edili.

Una delle ultime tappe sono le realizzazioni dopo il terremoto de L'Aquila: costruisce nei tempi ristretti i 625 alloggi assegnateli (Figure 8, 9) ed ora il Governo canadese l'ha scelta come esecutrice delle opere pubbliche finanziate proprio dalla Stato che più impiega il legno al mondo.

Gli uffici di Albe Case, sia quello tecnico, sia quello commerciale operano a stretto contatto con Habitat legno e sono a disposizione per valutare progetti o esigenze particolari, adattandole secondo l'esperienza e proponendo

quelle che ritengono le soluzioni ottimali per le varie situazioni. Partendo quindi da un progetto architettonico, preliminare o definitivo, realizzato dal cliente tramite un suo tecnico, vengono stesi preventivi di spesa relativi a parte della struttura o alla realizzazione completa.

Progetto sperimentale «Casa domani»

È un modulo prefabbricato di legno progettato da Albe Case del Gruppo Industrie Albertani, di forti caratteristiche sartoriali, risparmio energetico e tecnologie sostenibili e compatibili. La crescente richiesta di case a basso consumo energetico e realizzate con materiali e tecnologie sostenibili ha prodotto nuovi concetti di prodotto, nuove tipologie e stili abitativi anche nel nostro paese. Il legno, sia massiccio sia ricomposto per usi strutturali, assente fino poco tempo fa nel panorama abitativo italiano, è sempre più protagonista per le sue indiscusse caratteristiche fisico-meccaniche, per la sostenibilità e per le aggiuntive prestazioni per il confort abitativo e di intrinseca bellezza. Anche le tecnologie di lavorazione del legno si sono fortemente innovate, grazie soprattutto alle innovative tecnologie a controllo numerico (CNC) e molti sono i nuovi concetti di prodotto.

Frutto di tutte queste sinergie è la proposta progettuale del modulo «Casa domani», che Albe Case di Industrie Albertani ha studiato per cogliere una serie di obiettivi:

- consumi contenuti sia per il riscaldamento, ma soprattutto per il raffrescamento. La fonte di energia è data dal fotovoltaico sufficiente per l'autonomia energetica del modulo, ma anche capace di surplus di produzio-

Figure 2, 3 (dall'alto in basso).



Figure 4, 5 (dall'alto in basso).



A&RT

ne;

- sfruttamento della tecnologia del lamellare e della sua possibilità di curvatura per avvolgere il volume del modulo, realizzando il principio dell' «ombrello» per ombreggiare e ventilare (estate), mentre durante l'inverno la ventilazione verrà bloccata per sfruttare lo strato d'aria come materiale coibente;
- riduzione, fino alla negazione, di impiego di connessioni metalliche, per eliminare fonti di patologia nel legno, condense e ponti termici;
- grande attenzione alla durabilità, che significa evitare in ogni punto dell'edificio qualsiasi ristagno d'acqua, micidiale per il legno. Quindi estrema cura nel dettaglio costruttivo;
- scelta dei colori dell'involucro esterno teso a diminuire le temperature superficiali ed evitare escursioni deformative del legno;
- abbassamento del rapporto superficie/volume (S/V), ovvero tendere a forme essenziali, con la chiara consapevolezza che la forma dell'edificio condiziona le perdite termiche e la resa energetica;
- redazione di un programma di manutenzione e di un libretto di manutenzione per garantire una durata di vita del manufatto di almeno 50 anni;
- adottare tutte le misure di sicurezza, specie passive, che una casa leggera e di legno presuppone, come la resistenza al vento e al fuoco. Ovviamente anche al sisma, come ben sa ogni strutturista: se una struttura di legno resiste al vento, non ci sono problemi per la resistenza sismica;
- redigere criteri di certificazione, non solo dei materiali e

Figure 6, 7 (dall'alto in basso).



componenti, ma dell'intero manufatto;

- un altro requisito, tema di attualità, anche normativa, è la difesa sia dai rumori di calpestio, sia dai rumori aerei con lo studio di innovative unioni dissipative dell'energia sonora;
- ancora, l'obiettivo è di contenere i costi, senza diminuire la qualità.

Ma la vera innovazione è proprio di natura progettuale del manufatto che, eleggendo il legno massiccio e ricomposto a protagonista, porta ad originalità compositiva, distributiva, superando gli archetipi edilizi di manufatti in muratura o cemento armato, o a struttura mista, puntando al totale sfruttamento anche delle caratteristiche sensoriali (vista, tatto, olfatto, vista...) che appunto il legno, più di altri materiali, è in grado di soddisfare.

Il modulo, che può essere proposto anche isolato, oltre che in linea, usufruisce di alcuni componenti di originale creazione di Industrie Albertani, come la reticolare curva preassemblata e il componente Lignum K.

L'innovazione è dunque sul piano del progetto, oltre che sui dettagli o elementi della costruzione, così da esaltare le caratteristiche prestazionali del legno e soprattutto l'impiego di un materiale organico, ovvero rinnovabile e sostenibile, quale per eccellenza è il legno.

Il progetto è frutto di una collaborazione fra alcuni docenti di Tecnologia dell'architettura della Facoltà di architettura di Venezia e dello staff tecnico di Industrie Albertani e rientra nella più generale strategia di opposizione alla prepotenza commerciale di altri Paesi europei, di lunga tradizione col legno, alla quale ci si può contrap-

Figura 8, 9 (dall'alto in basso).

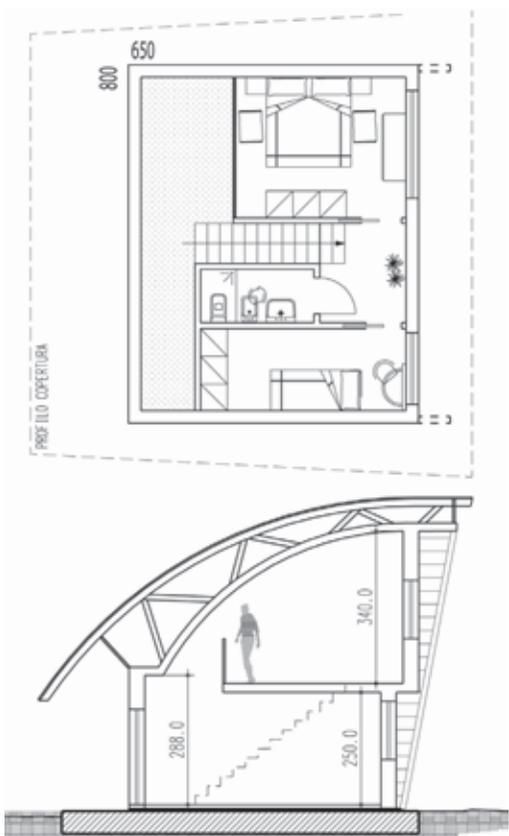


porre solo con la qualità e l'eccellenza del progetto (Figure 10, 11, 12, 13, 14, 15).

Altri progetti sperimentali

Sono avviati alcuni altri progetti sperimentali tra cui una casa prefabbricata progettata da Giugiario Design (Figure

Figure 10, 11, 12, 13 (dall'alto in basso).



16, 17) ed una linea di Case Mobili è in fase di studio. Caratteristica di Albe Case è quella di avviare alla produzione solo progetti verificati certamente dal punto di vista costruttivo e normativo ma anche attentamente valutati e vagliati nei loro aspetti finanziari, di commercializzazione e secondo precise analisi di mercato.

Figure 14, 15.

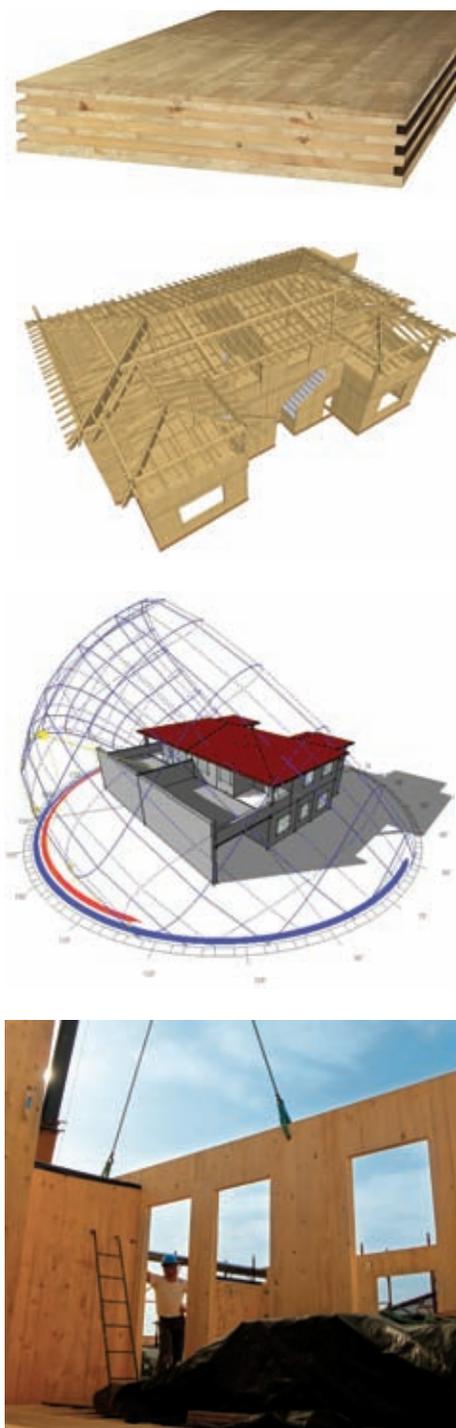
Figure 16, 17 (ultime due in basso).



Nuove tecnologie e impieghi del legno: il Crosslam come opportunità strutturale ed architettonica

New technologies and uses of wood: Cross Laminated Timber in mediterranean housing architecture

Figure 1 - 4 (dall'alto in basso).



ALESSANDRO PANICHI - GUERCIO LEGNAMI

Abstract

La tecnologia costruttiva a secco in Cross Laminated Timber, ovvero pannelli di legno massiccio multistrato ottenuti utilizzando differenti tipologie di incollaggio e chiodature, è oggi il più innovativo sistema costruttivo, caratterizzato da un'elevata affidabilità, leggerezza ed efficienza dal punto di vista energetico, sismico e di resistenza al fuoco. Con questo articolo si illustrano tutte le soluzioni progettuali, le tecniche costruttive, la logistica di cantiere, le valutazioni di orientamenti e ombreggiature e tutti quei materiali che combinati con tale tipologia permettono di ottenere edifici dall'elevata efficienza energetica conseguendo anche l'importante obiettivo dell'ecosostenibilità e del comfort abitativo. Tutto ciò non penalizza il lato compositivo poiché gli edifici possono essere realizzati completamente in X-Lam pur mantenendo visivamente le caratteristiche tipiche di costruzioni tradizionali in muratura e quindi integrandosi tipologicamente con ogni sistema urbanizzato.

The Cross Laminated Timber building technology, i.e. solid laminated timber panels made by joining, nailing and glueing timber boards, is the most recent building system, characterized by being highly reliable and lightweight, together with showing an excellent energetic efficiency and strong seismic and fire performance. This paper describes those design solutions, building techniques, construction site logistics, orientation and shading analysis and all those materials which, combined with this typology, allow us to build energy-saving buildings, reaching the goals of ecosustainability and housing comfort as well. All this doesn't penalize the composition because buildings can be completely built up using X-Lam though still perfectly resembling typical traditional masonry in every single part thus typologically integrating themselves into every urbanized system.

Quando vengono nominate le costruzioni in legno tendiamo quasi tutti a pensare all'architettura tradizionale delle nazioni nord e centroeuropee e, limitatamente al nostro paese, alle regioni pedemontane del nord Italia. Il notevole sviluppo che in tempi recenti hanno avuto le tecnologie costruttive a secco ha coinvolto anche il settore del legno rivoluzionandolo completamente e permettendo la realizzazione di edifici interamente costruiti in legno ma con due caratteristiche degne di nota: l'estrema efficienza energetica anche a latitudini a clima prevalentemente mediterraneo e un aspetto esteriore in tutto e per tutto identico a quello delle tradizionali strutture in muratura, fattore non certo trascurabile in un territorio in cui l'applicazione dei concetti di tutela del paesaggio e delle tipologie edilizie da parte del legislatore e dei soggetti preposti all'applicazione della normativa è stata fino ad oggi deleteria per la realizzazione di edifici con spiccata vocazione

di ecosostenibilità.

A partire dallo stesso concetto che sottendono i pannelli di multistrato normalmente utilizzati per impieghi non strutturali si è pensato di trasferire le conoscenze ormai acquisite allo sviluppo di una tecnologia che impiegasse come elementi strutturali portanti dei pannelli massicci di legno a strati incrociati, il Cross Laminated Timber, appunto (Figura 1).

Si tratta del sistema costruttivo più giovane, in termini temporali, ma di certo non dimostra né l'ingenuità né la scarsa affidabilità tipiche delle innovazioni. I pannelli sono ottenuti utilizzando differenti tipologie di incollaggio e chiodature che non influenzano le caratteristiche del prodotto finito; disponendo le fibre che compongono i vari strati in direzioni incrociate si ottiene con estrema semplicità un pannello che oltre a mantenere tutte le caratteristiche del legno massiccio ne moltiplica enormemente le caratteristiche di resistenza agli sforzi tensionali e ne permette quindi l'impiego come materiale portante anche con ridotti spessori e a prescindere dalla presenza di telai strutturali.

Le essenze impiegate per la fabbricazione dell'X-Lam – come viene comunemente chiamato questo tipo di pannello – sono le conifere come l'abete, la douglasia, il larice e il cembro, delle resinose con buone caratteristiche di resistenza agli agenti atmosferici e caratterizzate dalla piccola dimensione dei nodi e la buona uniformità ed elasticità delle fibre.

Si possono ottenere elementi di spessore variabile incrociando tre, cinque o anche sette strati e virtualmente le dimensioni massime sono illimitate poiché la possibilità di unire le tavole con giunti a pettine permette di porre come limite soltanto quello dei mezzi che dovranno trasportare il pezzo finito.

Ma in cosa consiste effettivamente l'innovazione e quali possono essere i vantaggi dell'impiego di X-Lam in sistemi stratificati a secco?

È presto detto; il comportamento strutturale, quello di reazione al fuoco e quello di reazione ai sismi sono eccellenti e surclassano sotto molti aspetti gli analoghi comportamenti di materiali alternativi o li equivalgono intro-

ducendo però dei vantaggi collaterali che lo fanno preferire comunque. Analizziamoli con un po' più di dettaglio. Dal punto di vista strutturale è sufficiente uno spessore ridotto di X-Lam per realizzare sezioni portanti che progettate in laterizio porotizzato avrebbero uno spessore più che doppio per non includere poi la differenza di peso; si raggiunge anche un apprezzabile scarto rispetto ad analoghe strutture a telaio in acciaio (Figura 2).

La leggerezza d'altro canto gioca un ruolo importante dal punto di vista della reazione sismica visto che è ormai universalmente noto come le strutture leggere riescano a sopportare le sollecitazioni di un terremoto molto meglio di quelle pesanti, in cui magari l'eccentricità di carichi consistenti – dotati quindi di un'inerzia differente dal resto dell'edificio – si rivela principale responsabile di crolli improvvisi.

A questa caratteristica si abbina oltretutto la rigidità complessiva della struttura, in termini statici, data dall'interconnessione delle parti e dalla collaborazione tra tutti gli elementi costitutivi, unitamente a una prestazione elastica e quindi a una tolleranza dei giunti che le strutture tradizionali non riusciranno mai a garantire. Infine occorre puntualizzare che una delle principali e più diffuse preoccupazioni ovvero la reazione al fuoco si rivela essere in realtà una caratteristica vantaggiosa.

Infatti, a differenza delle strutture metalliche che raggiunto il punto di plasticizzazione collassano istantaneamente e senza alcun preavviso, le strutture lignee, tramite il processo di carbonizzazione, si autoprotettono dagli effetti del fuoco mantenendo la portanza del nucleo della struttura per tutto il tempo necessario all'evacuazione degli ambienti e permettendo così le operazioni di spegnimento dell'incendio in condizioni di sicurezza per gli occupanti.

Le caratteristiche di combustione delle varie specie legnose, infatti, sono note ed è pertanto estremamente semplice determinare l'entità del sovrappessore necessario per garantire la desiderata classe di resistenza.

Per la validazione di queste caratteristiche è fondamentale accennare alla sperimentazione condotta in Giappone dal CNR-IVALSA in collaborazione con la Provincia

Figura 5.



Figura 6.



A&RT

Autonoma di Trento denominata Progetto Sofie, dove si è verificata la resistenza a tutto questo genere di sollecitazioni sui modelli in scala reale di edifici in X-Lam di tre e sette piani, sottoponendoli nel caso del sisma a carichi che sono giunti a simulare il terremoto che distrusse la città di Kobe nel 1996.

Ma al di là delle considerazioni puramente fisico-strutturali le costruzioni in legno dimostrano una serie di pregi impliciti che ne rendono ancor più conveniente l'applicazione (Figura 3).

La normativa vigente relativa alle prestazioni energetiche degli edifici, passata solo in periodi relativamente recenti da leggi di tipo prescrittivo a norme prestazionali, richiede dei requisiti che gli edifici con struttura portante in X-Lam riescono a soddisfare facilmente grazie ad una corretta e intelligente disposizione dei pacchetti stratigrafici che compongono la parete finita; il legno possiede caratteristiche di traspirabilità ma anche una densità tale da garantire la presenza di un discreto volano termico che, come in tutte le applicazioni di isolamento a cappotto, può essere pilotato con semplicità perché lavori a nostro favore sia in regime invernale che in regime estivo. L'obbligatorietà delle verifiche di sfasamento e di massa

superficiale introdotte dal D.L. 311/2006 e recentemente integrate dal D.P.R. 59/2009 unitamente alle linee guida per la certificazione energetica degli edifici mettono il progettista nella condizione di dover verificare e ottimizzare l'efficienza energetica dei componenti in regime estivo allo scopo di minimizzare i consumi di energia per la climatizzazione degli ambienti. La versatilità delle costruzioni stratificate in legno è tale da permettere un'ampia gamma di soluzioni da adattare alle diverse zone climatiche che va dall'isolamento a cappotto fino alla parete ventilata.

In termini di salubrità degli ambienti e di sostenibilità delle costruzioni, poi, non c'è alcun modo di competere; il legno, specialmente se proveniente da filiera corta, è una risorsa rinnovabile e del tutto naturale; l'impiego dei nuovi collanti poliuretanici formaldeide-esenti oltre a minimizzarne gli spessori in virtù della migliorata adesività rende i pannelli X-Lam totalmente privi di emissioni nocive; ogni elemento inoltre è dotato di un'etichettatura (Figura 4) che ne permette la tracciabilità fino all'origine togliendo ogni dubbio sulle caratteristiche e la provenienza del legname utilizzato, favorendo e diffondendo anche localmente la silvicoltura e garantendo in maniera

Figura 7.
Figura 8.



Figura 9.
Figura 10.



semplice ed efficace l'utente finale. Un utente che certamente sarà soddisfatto anche da una caratteristica non immediatamente percepibile ma evidente: il drastico accorciamento dei tempi di realizzazione.

Al costo di una progettazione attenta e soprattutto definitiva (cosa che peraltro garantisce il cliente contro la pratica tristemente diffusa delle imprese che effettuano unilateralmente delle modifiche in fase esecutiva per la scarsa reperibilità di certi materiali o per esigenze logistiche proprie) una volta definita la costruzione nelle sue componenti ogni singola parete viene realizzata per intero e trasportata sul cantiere (Figura 5) preforata e pronta per essere assemblata dai montatori i quali non hanno altro da fare che preoccuparsi del posizionamento e della realizzazione dei giunti.

Il processo costruttivo in questo modo esula completamente, per esempio, da tutte le esigenze derivanti dai tempi di presa e maturazione delle malte cementizie riducendo enormemente i tempi.

La natura stessa dei nodi strutturali, dei sistemi di fissaggio, dei giunti e delle interconnessioni è tale da poter prescindere perfino da molti altri componenti (Figura 6); le sigillature, per esempio, vengono fatte tramite delle nastre specifiche con nastri certificati e dalle caratteristiche costanti invece che con le tradizionali schiume poliuretatiche garantendo quella uniformità di prestazione che con le schiume era impossibile ottenere, vista la stretta dipendenza dalle quantità utilizzate e dalla metodologia di posa.

Altrettanta cura andrà posta nella scelta di componenti dalle caratteristiche di adeguata rispondenza agli attacchi da parte degli agenti atmosferici e organici per rendere più pratiche e veloci le necessarie operazioni di manutenzione ordinaria che in definitiva garantiscono più di qualsiasi altra caratteristica intrinseca la durabilità dell'intero manufatto edilizio.

Da non tralasciare, infine, il comfort visivo che può dare il legno in tutte quelle zone in cui si sceglie di lasciarlo a vista, fattore che gioca un ruolo importante nella deter-

minazione della qualità dell'abitare.

Riepilogando, quindi, le fasi che attraversa un edificio in legno dallo sbancamento al completamento vedono il getto delle fondazioni che ovviamente non possono essere in legno anch'esse, operazione che nell'intero processo costruttivo sarà la sola a richiedere tempi lunghi per la presa e la maturazione del calcestruzzo armato. Sulle fondazioni viene quindi riportata la pianta dell'edificio posizionandovi le guarnizioni, isolanti sia da un punto di vista igrotermico che acustico, e i travicelli pieni in legno, in essenze che, come il larice ad esempio, dimostrano spiccate caratteristiche di resistenza e durabilità, su cui vengono poi fissate le pareti. Il ruolo di questi elementi, di fatto, è quello di mantenere l'X-Lam fisicamente distaccato e completamente al di sopra del piano finito fuori terra, sia esternamente che internamente. A questo punto i pannelli precostituiti, già dotati delle forature per porte e finestre, vengono trasportati in cantiere, posizionati e fissati sia a terra che tra di loro (Figure 7, 8, 9). La costruzione procede poi, nel caso si tratti di un edificio multipiano, con la posa ed il fissaggio dei solai e via via delle pareti portanti superiori realizzando di fatto una struttura autoportante e stabile in ogni singolo momento del processo edificatorio, fino al completamento della copertura.

In un esempio di recente realizzazione a Montopoli (Figura 10), in Toscana, dove sono stati messi in pratica tutti gli accorgimenti teorici atti a garantire una performance ottimale, particolare attenzione è stata posta nella realizzazione delle guarnizioni e delle sigillature, garantendo al contempo il ricambio dell'aria all'interno degli spazi abitabili tramite un adeguato impianto di ventilazione con capacità di filtraggio, data anche la vicinanza con la SGC che collega Firenze con la costa; l'impianto, per minimizzare le dispersioni, è dotato anche di recuperatore di calore; lo studio degli orientamenti ha permesso di ottimizzare la forma e la disposizione delle aperture finestrate in modo da soddisfare i criteri di illuminazione e di protezione dall'irraggiamento tramite il calcolo del

Figura 11.

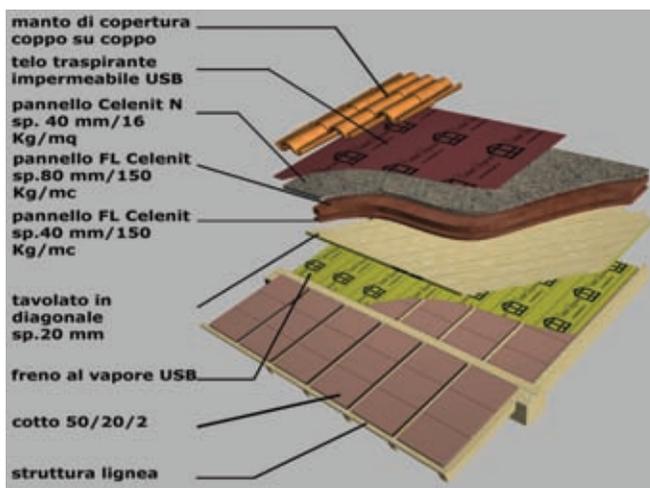


Figura 12.



A&RT

fattore medio di luce diurna; lo stesso genere di considerazioni avrebbe quasi certamente portato a conclusioni diverse nel caso in cui fosse stato necessario effettuare la ventilazione naturale; in questo caso infatti per il corretto funzionamento dei camini di ventilazione e delle bocchette di presa ci saremmo trovati nelle condizioni di dover valutare la posizione, l'esposizione e la presenza di eventuali correnti preferenziali – come quelle che si riscontrano nei pressi del mare, per esempio – in modo da sfruttare il riscaldamento delle superfici e la convezione naturale.

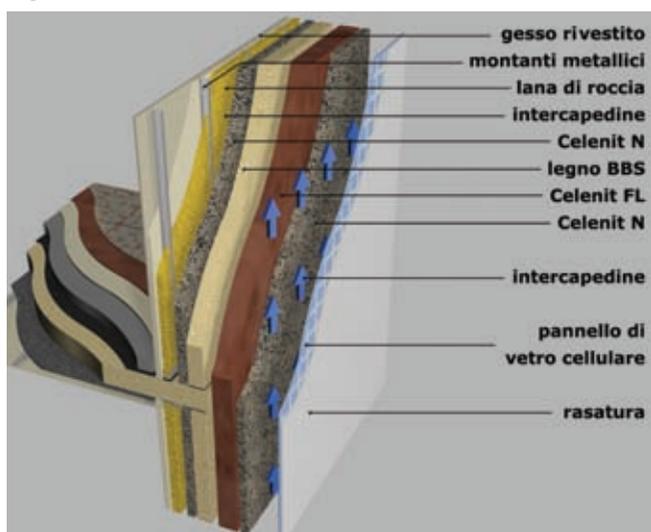
Tutto questo per dire che i fattori al contorno non sono mai standardizzabili ma dipendono essenzialmente da come decidiamo di farli interagire con le tecnologie impiegate, cosa che nel caso delle costruzioni a secco in legno risulta particolarmente importante conoscere.

Negli esempi applicativi proposti si illustrano alcune soluzioni stratigrafiche che si sono rivelate particolarmente efficienti alle nostre latitudini sia dal punto di vista dell'isolamento invernale sia da quello delle prestazioni in regime estivo.

La tipologia di copertura in Figura 11 è costituita da un tetto ventilato che, nelle varie configurazioni può raggiungere una trasmittanza pari a $0,241 \text{ W/m}^2\text{K}$ che si pone ben al di sotto dei limiti normativi imposti alla data del primo gennaio 2010.

Il calcolo della trasmittanza periodica, obbligatorio data la leggerezza del pacchetto stratigrafico, ha restituito un valore di $0,075 \text{ W/m}^2\text{K}$ e uno sfasamento superiore alle dieci ore pur raggiungendo appena il peso di 102 kg/m^2 . Questo ci dimostra come, nonostante i pesi ridottissimi, le prestazioni di un sistema composito in legno ben progettato possano essere altrettanto valide se non superiori ad un analogo componente edilizio di massa consistente ma allo stesso tempo ben più efficaci nei confronti di altre sollecitazioni come ad esempio quelle sismiche. Analoghe caratteristiche si riscontrano nelle pareti perimetrali dove la trasmittanza raggiunge valori inferiori alla

Figura 13.

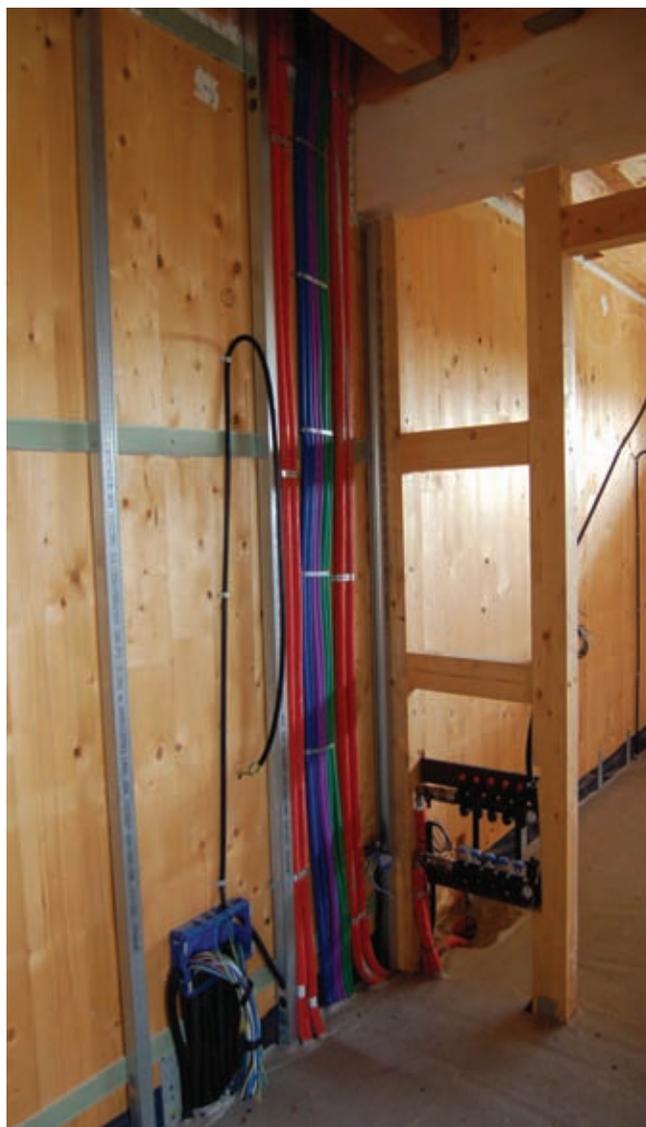


metà rispetto ai limiti imposti, una trasmittanza periodica di gran lunga inferiore e uno sfasamento superiore alle tredici ore.

Edifici di dimensioni comuni come quelli rappresentati dalle residenze private costruite in località Grancia a Grosseto (Figura 12) ci illustrano invece come possano essere sufficienti dei pannelli di meno di quindici centimetri di spessore per realizzare, una volta posto in opera tutto il pacchetto costituito da isolanti, tappetini antivibranti, controsoffitto e pavimento, un solaio interpiano di circa 30 cm di spessore totale con caratteristiche prestazionali termiche e acustiche impensabili per solai tradizionali in laterocemento o solai a secco in lamiera grecata autoportante e collaborante di analogo spessore.

Si è passati poi a mettere in pratica le considerazioni fatte poc'anzi riguardo allo sfruttamento a nostro favore delle condizioni al contorno proponendo e realizzando una parete ventilata (Figura 13) in pannelli di vetro cellulare la cui trasmittanza fa registrare il valore di $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ con uno sfasamento superiore alle quindici ore, cifra che ci

Figura 14.



garantisce in maniera assoluta la linearità prestazionale del componente opaco.

Degno di nota è anche il fatto che effettuando il calcolo in regime dinamico gli effettivi benefici della ventilazione sullo sfasamento restituirebbero valori anche migliori e più vicini alla realtà.

L'impiego del vetro cellulare, oltre a garantire una durabilità eccellente in quanto totalmente inerte e immune agli attacchi organici, permette anche una estrema facilità di posa e si presta a utilizzi espressivi e compositivi molto piacevoli come ad esempio nel recente intervento di Richard Meier per il complesso museale dell'Ara Pacis.

La possibilità di realizzare i cassonetti degli ombreggianti esterni in maniera solidale ed integrata al pacchetto di parete, la possibilità di giocare con le finiture dei solai, di utilizzare comuni tavolati, di adattare ad ogni singola situazione la giusta combinazione di tipologia, spessore e posizione dei pacchetti isolanti danno agli edifici costruiti con questo genere di tecnologia un'incredibile flessibilità dal punto di vista progettuale (Figura 14); gli impianti vengono fatti passare all'interno delle contropareti in gesso rivestito così che non c'è alcuna necessità di fare tracce ed il posizionamento può essere tranquillamente rivisto per esigenze dell'ultimo minuto; certo, tutto questo come già accennato presuppone una progettazione precisa e puntuale e una definizione attenta di ogni particolare ma si tratta comunque di un compromesso più che accettabile al fronte di una libertà progettuale e una soste-

nibilità in termini ecologici che ad oggi non trova rivali. Sarà forse per questo che oggi temi come questi trovano spazio in importanti riviste sulla cultura del territorio, fanno da volano per la ricerca e la sperimentazione come nel caso esemplare del Progetto Abitare Mediterraneo, teso a individuare le tecnologie costruttive ideali per i nostri climi, o fanno la parte del leone in manifestazioni a carattere ecologico come i Green Days di Firenze e che la Regione Toscana ha deciso di pubblicare le Linee Guida per l'Edilizia in Legno, un vero e proprio manuale distribuito ai progettisti intenzionati ad applicare questa tecnologia e contribuire allo sviluppo di tutto quel background commerciale e industriale necessario all'applicazione dei concetti legati alla filiera corta, fattore che contribuirebbe enormemente a proiettarci verso una prospettiva di ecosostenibilità in edilizia dalla quale purtroppo siamo stati finora troppo distanti.

Alessandro Panichi, architetto, si occupa della progettazione di edifici a basso consumo energetico. Svolge attività di consulenza e formazione sulle strutture in legno. È autore di articoli su riviste specializzate e responsabile della Commissione Architettura Sostenibile della Federazione degli Architetti della Toscana. È docente a contratto del laboratorio di progettazione tecnologica e ambientale presso la Facoltà di Architettura di Firenze

L'articolo è stato redatto in collaborazione con l'architetto Alessandro Melillo.

Studio sperimentale e teorico del comportamento sismico di un sistema costruttivo in telaiato in legno

Experimental and theoretical report of the seismic behaviour of a wood framed construction system

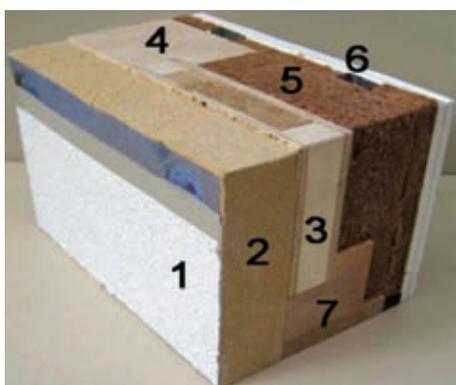


Figura 1 (in alto). Stratigrafia della parete esterna: 1) intonaco 8 mm; 2) fibra di legno 100 mm; 3) pannello Plus 60 mm; 4) struttura portante 160 mm; 5) fibra di legno 120 mm; 6) cartongesso 25 mm; struttura portante 160 mm.

Figura 2. a) progetto delle strutture portanti; b) progetto dell'edificio. c) telaio del pannello su banco di produzione; d) strutture portanti.



ELIA TERZI - ILLE CASE IN LEGNO

Abstract

Il lavoro di ricerca ha come oggetto lo studio del comportamento sismico di un sistema costruttivo innovativo, ottenuto dalla sintesi di varie tecnologie. La fase sperimentale ha previsto il montaggio di un prototipo di parete di 2,95 x 2,95 m presso i laboratori del CNR-Ivalsa di San Michele (TN), il quale è stato sottoposto ad un serie di prove di carico (monotona e ciclica) dalle quale si sono ricavati i dati per operare la calibrazione del modello matematico (Drain2DX) utilizzato per descriverne il comportamento. Una volta verificata l'adeguata affidabilità del modello, confrontando spostamenti ed energia dissipata, si è potuto fissare un criterio di collasso da applicare alle successive elaborazioni. Si è infatti modellato un edificio su tre piani e sottoposto a sei differenti terremoti modulati secondo i valori di accelerazione di picco prevista per il territorio nazionale italiano. L'edificio è risultato estremamente sicuro nei confronti dei più devastanti terremoti verificatisi in Italia (Brienza 1980, Tolmezzo 1976, Nocera Umbra 1998) per i quali anche nella situazione più sfavorevole di 0,35g si è rimasti abbondantemente al di sotto del criterio di collasso. Inoltre si sono simulati gli effetti di altri tre terribili eventi sismici verificatisi in altre parti del mondo, Kobe 1995 (Giappone), Izmit (Turchia), El Centro (USA). Anche per questi eventi, l'edificio ha presentato un ottimo comportamento. Si vorrà inoltre presentare la recente applicazione di tale sistema costruttivo nell'importante progetto del Governo Italiano per la ricostruzione dopo il terremoto in Abruzzo (Progetto C.A.S.E.), grazie all'aggiudicazione da parte dell'azienda produttrice dell'appalto per la realizzazione di vari edifici di 3 piani per un totale di oltre 200 alloggi.

The research work aims to study the seismic behaviour of an innovative construction system, achieved by the use of combined technologies. The experimental stage entailed the assembly of a prototype wall dim. 2,95 x 2,95 m. care of the laboratory of CNR-IVALSA in San Michele (TN). The aforementioned prototype was previously load tested (monotonic and cyclic load) in order to obtain the data needed to operate the mathematical graduation/calibration (Drain2DX) for the description of the behaviour.

Once verified the adequate reliability of the template, comparing load displacements and waste of energy, a collapse criterion applicable to the subsequent elaborations was defined. A three-storey building was designed and subsequently put before six different kind of modular earthquakes following the peak speed values estimated on the Italian National Ground. The building turned out to be extremely safe compared to the most devastating earthquakes occurred on the Italian National Ground (such as Brienza 1980, Tolmezzo 1976, Nocera Umbra 1998), and even in the most unfavourable circumstance of 0,35g, the building was deeply under the collapse criterion. Moreover three

additional devastating earthquakes verified in other Countries were simulated, Kobe 1995 (Japan), İzmit (Turkey) and El Centro (USA). Also in this case the building showed an excellent behaviour. Furthermore it will be presented the recent application of such a construction system in the important project of the Italian Government for the reconstruction after the earthquake occurred in Abruzzo, (Progetto C.A.S.E.) thanks to the awarding of the contract for the construction of a number of three-storey buildings up to an amount of 200 accommodations.

1. Introduzione

Il sistema analizzato è un sistema innovativo a telaio in legno, che concentra e sintetizza più tecnologie costruttive cercando di ottimizzarne i vari aspetti caratterizzanti. Questo studio vuole essere un primo passo per determinarne il comportamento nei confronti delle azioni sismiche.

2. Descrizione del sistema costruttivo

Il sistema costruttivo oggetto di questo studio, denominato Dolomiti Plus, è il frutto di anni di esperienza e di applicazione. La tecnologia adottata risulta essere una sintesi dei vari sistemi costruttivi con il legno. Le strutture del telaio portante principale sono costituite da travi e pilastri in legno lamellare.

Il sistema costruttivo presenta una grande flessibilità progettuale, grazie alla capacità di adattarsi alle differenti soluzioni architettoniche. I pannelli che costituiscono le pareti esterne ed interne non hanno infatti funzione por-

tante e quindi permettono una totale libertà nel concepire gli spazi ed i volumi degli edifici.

Il pannello parete invece ha principalmente funzione di irrigidimento e stabilizzazione dell'intero telaio nei confronti delle forze orizzontali (taglio e trazione) oltre che di partizione verticale, rimanendo quindi svincolato dalle funzioni statiche nei confronti delle forze verticali che, vengono invece svolte dal telaio a travi e pilastri in legno lamellare.

La struttura del pannello parete richiama in parte i concetti del sistema "platform frame" grazie all'utilizzo di sezioni rettangolari standard di dimensioni ridotte e la tamponatura con un pannello strutturale (LVL) in multistrato di abete.

I vari pacchetti vengono progettati per garantire le massime prestazioni termiche ed acustiche richieste a seconda della normativa e della zona in cui si deve realizzare la costruzione. Ad esempio il pacchetto parete di Figura 1 garantisce dei valori U [W/m^2K] che, affiancati ad una corretta progettazione integrata, permettono di realizzare edifici con un concetto energetico elevatissimo, come ad esempio edifici in classe A^+ ($< 30 kWh/m^2a$ secondo standard CasaClima - LEED) o addirittura edifici passivi. Il pannello parete viene progettato contestualmente alle strutture dell'edificio, quindi con tutti i fori per i serramenti e completo di tutte le lavorazioni per una corretta messa in opera. Il processo di produzione prevede l'assemblaggio su banco degli elementi del telaio tramite graffatura, successivamente avviene il fissaggio del pan-

Figura 3. a), b), c). Diverse fasi di montaggio di edifici di 3 piani situati a L'Aquila.



Figura 3. d), e), f). Edifici completi - Progetto C.A.S.E. (Foto ILLE Prefabbricati S.p.A.).



A&RT

nello LVL sul primo lato ed interposto il materiale isolante scelto. Il processo di assemblaggio avviene tramite incollaggio e pressatura a temperatura e pressione controllata.

Tale procedimento garantisce le dovute caratteristiche di rigidità e di stabilità del pannello. I materiali isolanti scelti sono di vario tipo a seconda del pacchetto che si andrà a realizzare. La produzione standard prevede tre tipologie di pannello Plus: *PlusEPS60* (polistirene), *PlusRW60* (fibra minerale), *PlusWF60* (fibra di legno).

Il processo di incollaggio prevede la stesura dell'adesivo su entrambe le facce sia delle strutture dei telai, che del pannello LVL.

Ultimato questo processo si procede con la disposizione nelle presse dove vengono lasciati per un tempo ed una temperatura prestabilita.

3. Prove di laboratorio

In questo capitolo si analizzano le modalità e i settaggi delle prove di laboratorio condotte sulla parete prodotta dalla ditta ILLE Prefabbricati S.p.A.

Si descrivono le tipologie e gli standard utilizzati passando poi all'analisi dei dati ottenuti. Si sono condotte due tipologie di prove; una prova monotona con e senza carico verticale e successivamente una prova ciclica con carico verticale.

3.1. Norme di riferimento

Le prove sono state condotte secondo quanto proposto dalle normative europee in materia di strutture di legno e di giunti realizzati con elementi meccanici di collegamento (*EN 26891:1993, EN 12512:2003*).

Si è proceduto testando un campione di parete, fatto questo che risulta essere un limite di tale procedura.

Per ottenere risultati statisticamente attendibili infatti, si

dovrebbero eseguire un numero superiore di prove in modo da dare maggiore significatività ai valori ottenuti. Per il caso studiato si sono utilizzati invece dei valori medi accettando un grado di approssimazione che permettesse comunque di rimanere in condizioni di sicurezza.

Le prove si sono condotte secondo gli standard contenuti nelle norme citate, seguendo per la prova monotona il processo di carico di Figura 4 che prevede una fase di precarico seguita poi da un procedimento crescente fino a rottura o al raggiungimento del collasso.

Per la prova ciclica si procede secondo quanto riportato in Figura 5 imponendo scorrimenti crescenti a cicli successivi incrementati dopo il raggiungimento di tre picchi per ogni ciclo. In questo caso il prototipo viene sottoposto a spostamenti in due direzioni.

3.2. Configurazione del provino e dei settaggi della prova

3.2.1. Configurazione del banco di prova

Le prove si sono condotte presso il laboratori dell'istituto CNR-IVALSA. La parete è stata ancorata rigidamente alle guide del banco di prova tramite appositi ancoraggi. Le dimensioni della parete sono 2,95 m di larghezza e

Figura 4. Prova monotona [5].

Figura 5. Prova ciclica [6].

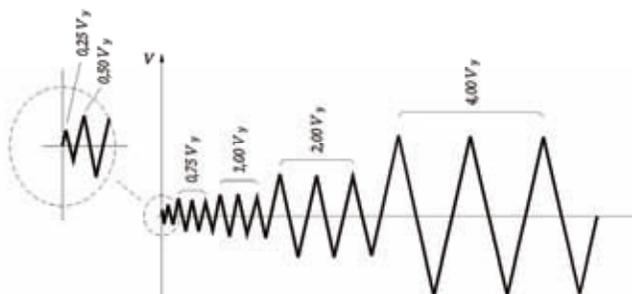
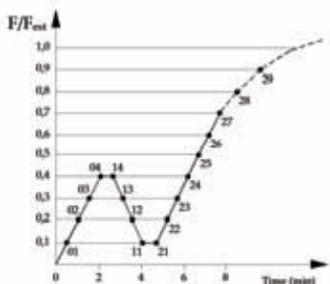
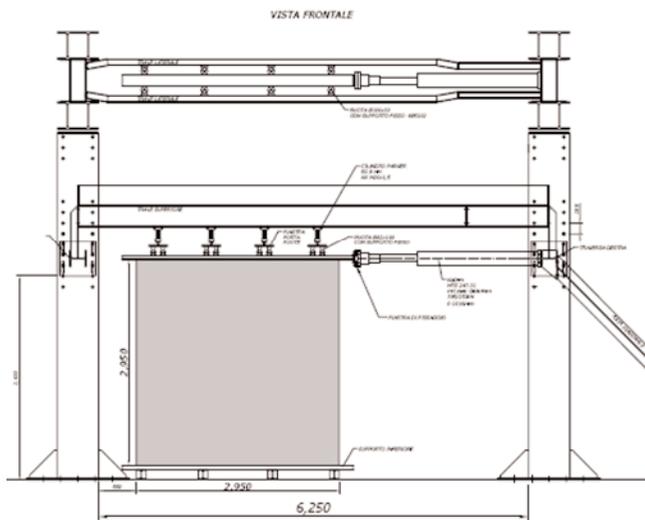


Figura 6. Configurazione del banco di prova.

Tabella 1. Numero dei canali di misurazione.



Canale	Misurazione
CH 0	Spostamento orizzontale
CH 1	LWDT spostamento attuatore
CH 4	Spostamento orizzontale
CH 5	Load cell
CH 6	Spostamento orizzontale
CH 7	Spostamento verticale

2,95 m di lunghezza.

Il banco di prova è costituito da un attuatore orizzontale e un sistema di attuatori verticali che impongono il carico prestabilito. Le prove sono condotte in controllo di spostamento, viene cioè imposto uno scorrimento e contemporaneamente si registra la lettura del valore di forza applicata.

Le varie misurazioni degli spostamenti sono registrate ed associate al rispettivo canale, dal quale poi si estraggono i dati per le varie elaborazioni. Il canale CH1 e CH5 registra i dati di forza [kN] e spostamento [mm] riferiti all'attuatore. I canali CH7 e CH0 registrano gli spostamenti verticali ed canali CH4 e CH6 quelli orizzontali nelle varie posizioni come indicate dallo schema riportato in Figura 5.

3.2.2. Specifiche costruttive del prototipo di parete

La parete è costituita da un portale in legno lamellare al quale viene vincolato il pannello denominato PLUSEPS60. Le connessioni tra i vari elementi sono realizzate con viti. I pilastri verticali e la trave di base sono fissati alla piattaforma tramite angolari in acciaio.

Le connessioni legno-legno si sono realizzate tramite l'unione meccanica con viti di diametri e lunghezze diffe-

renti. Il collegamento tra la trave superiore ed i pilastri viene eseguito tramite un giunto a tenone e mortasa bloccato con vite HBS 10x400 completa di rondella. L'elemento di cordolo a terra è invece realizzato tramite una trave composta in legno larice. Tale elemento viene sagomato in modo da creare la sede adeguata per ricevere il pannello che viene vincolato alla struttura mediante n°28 viti del tipo HBS 6x120 con passo di 40 cm inserite con preforo inclinato. I collegamenti a terra vengono realizzati tramite angolari di acciaio FeB430 ottenuti da profili normalizzati di spessore 10 mm. In questo caso il fissaggio a terra viene predisposto ad un corrente orizzontale di acciaio tramite bullone M14 mentre, nel caso di solette di calcestruzzo, tramite tasselli ad espansione. I due pilastri sono vincolati con angolari di tipo H150 collegati con n°9 viti HBS 6X120, mentre il cordolo di base tramite 3 angolari H120 e n°6 viti HBS 6x120.

Per la produzione del telaio del pannello PlusEPS60 si utilizza legno strutturale di abete C14 di sezione 55x35 mm. Il pannello LVL di legno di abete di spessore 12,5 mm ha densità di 600 kg/m³ e dimensioni dei fogli 1,22 x 2,44 m. Per l'incollaggio si sono utilizzati 0.88 l/m² di adesivo strutturale classe D3. Il processo di pressatura è stato condotto con una temperatura T= 65° C ad una

Figura 7. Loads and displacement controls position.

Figura 8. Provino di parete Dolomiti Plus su banco di prova

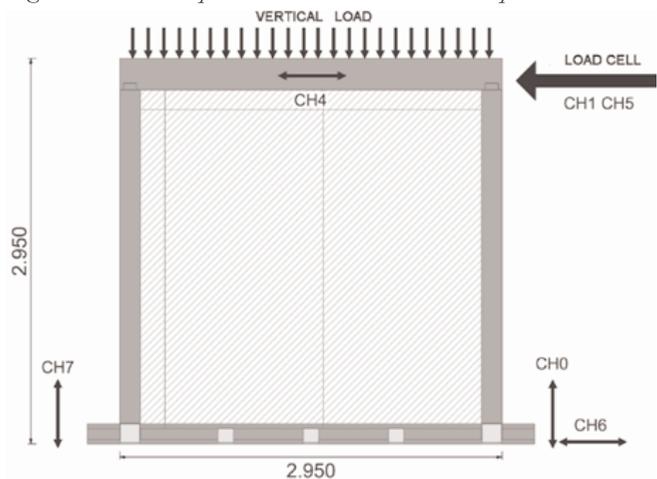
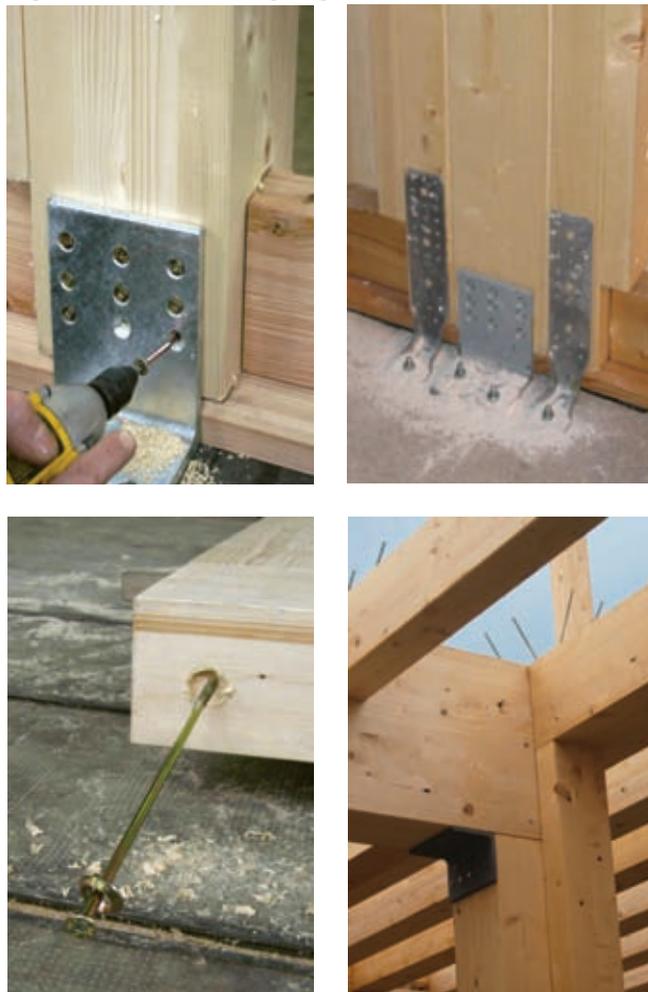


Figure 9a, 9b. Tipologia di connessione alla base

Figure 9c, 9d. Connessioni legno-legno.



A&RT

pressione $p=350$ bar per un tempo $t=20'$. Le strutture del telaio principale sono realizzate con legno lamellare di abete GL24c per i pilastri 16×16 cm e per la trave superiore 16×24 cm. Il cordolo di base è invece realizzato con una sezione composta di trilama di larice di sezione 12×12 cm.

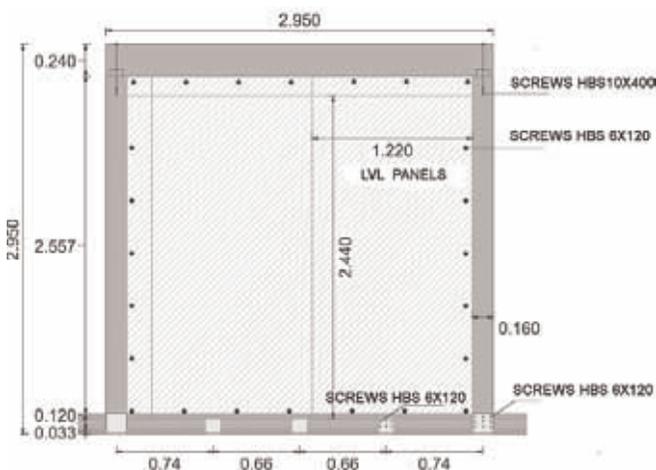
3.3. Prove di laboratorio

3.3.1. Prova monotona

I dati da elaborare vengono raccolti da misurazioni fatte in più punti del prototipo, il canale CH1 restituisce i valori di spostamento orizzontale dell'attuatore e il canale CH5 il relativo valore di forza misurata. Questi rappresentano le misurazioni più significative ai fini delle elaborazioni e della successiva modellazione. La misurazione del canale CH4 posto in prossimità del corrente superiore, registra gli eventuali scorrimenti orizzontali dovuti alla deformazione della trave. Alla base del prototipo si misurano con i canali CH7 e CH0 gli scorrimenti verticali alle due estremità e con il canale CH6 quelli orizzontali in prossimità dell'estremo posto perpendicolarmente all'attuatore. Inizialmente si è proceduto a una prova a controllo manuale che è stata interrotta al raggiungimento di un carico massimo di 10 kN in corrispondenza del quale si è

Figura 10. Geometria del prototipo e posizione delle connessioni.

Figura 11. Connessioni alla base tramite differenti tipologie di angolari H150 e H120.



misurato uno spostamento orizzontale massimo dell'attuatore di 7,38 mm. Tale prova è stata condotta in assenza di carico verticale. Questo tipo di prova iniziale viene fatta per testare il prototipo, per assicurarsi quindi che non ci siano funzionamenti anomali dei giunti, degli assemblaggi e delle varie apparecchiature. La seconda prova è stata invece condotta sempre in assenza di carico verticale e si è interrotta in prossimità del cedimento di n° 7 viti dell'angolare H150. Tale rottura si è verificata in prossimità di un carico di 43,82 kN e di uno spostamento di 44,16 mm. Analizzando gli spostamenti alla base, si nota come in senso orizzontale nel punto misurato dal canale CH6, si sia raggiunto il valore di spostamento di 3,88 mm in prossimità della forza massima raggiunta. In senso verticale si sono registrati dei sollevamenti in prossimità della base come indicato dai canali CH0 e CH7. Nel primo caso si raggiunge un sollevamento di 20,60 mm in corrispondenza del carico massimo.

Il punto più sollecitato quindi risulta essere quello disposto perpendicolarmente sotto il punto di applicazione dell'attuatore nel quale si sono verificati i cedimenti delle viti. La trave superiore invece non ha subito deformazioni come indicato dalle misure riportate dal canale CH4 che hanno rilevato valori al di sotto del millimetro.

Gli spostamenti orizzontali della trave di base invece sono dovuti alla flessione a cui è stata sottoposta a causa del sollevamento e della presenza degli angolari H120 che ne garantiscono un forte bloccaggio.

La terza prova è stata condotta posizionando un carico verticale di 21,3 kN/m ottenuto tramite una serie di attuatori impostati con una pressione di 80 bar.

L'inserimento di tale carico porta il sistema in condizioni di maggiore stabilità aumentando l'effetto dovuto all'attrito legno-legno e andando a contrastare il sollevamento verticale. Nello stesso tempo permette di simulare la presenza di più piani gravanti sulla parete riproducendo la situazione reale di un edificio con i rispettivi carichi permanenti e variabili.

Dopo una prima fase di precarico si è proceduto con una fase di scarico per poi ritornare a ricaricare. Le due curve non si sovrappongono in quanto, la struttura mantiene delle deformazioni e dissipa energia. Questa prova è stata fermata al raggiungimento di un valore di deformazione di 67,16 mm per un carico di 72,74 kN.

Evidentemente questo tipo di procedura sarà poi causa delle lievi discrepanze con l'andamento previsto nella sovrapposizione con il grafico della prova ciclica, ma fornisce dei risultati a favore di sicurezza.

3.3.2. Prova ciclica

La prova ciclica è stata condotta in controllo di spostamento, cioè impostando gli scorrimenti e registrando il carico ottenuto. Dopo i primi cicli di assestamento si procede aumentando la forza e ripetendo un ciclo completo per tre volte prima di procedere con nuovi valori di cari-

co. Una delle particolarità delle strutture di legno è la capacità di poter ripristinare gli eventuali danni dovuti ad eventi esterni. In questo caso per poter proseguire la campagna di prove si è optato di sostituire la piastra H150 con una nuova piastra H200 cambiando la posizione dei fori ma mantenendo il numero e la tipologia delle viti (n° 9 HBS 6x100). Gli altri giunti non hanno subito rotture o danni evidenti anche se si può ipotizzare che ci siano stati parziali fenomeni di rifollamento in prossimità delle varie connessioni influenzando i valori di rigidezza del sistema. Le variazioni apportate possono spiegare la non sovrapposizione dei diagrammi della prova monotona con quella ciclica.

Generalmente la prima risulta essere la *curva di involuppo* del ciclo di isteresi della prova ciclica.

Lo spostamento massimo raggiunto è stato di 80,16 mm e la forza massima di 89,12 kN. Tale spostamento è stato assunto come limite per fissare il *criterio di rottura* da applicare alle simulazioni con i diversi accelerogrammi.

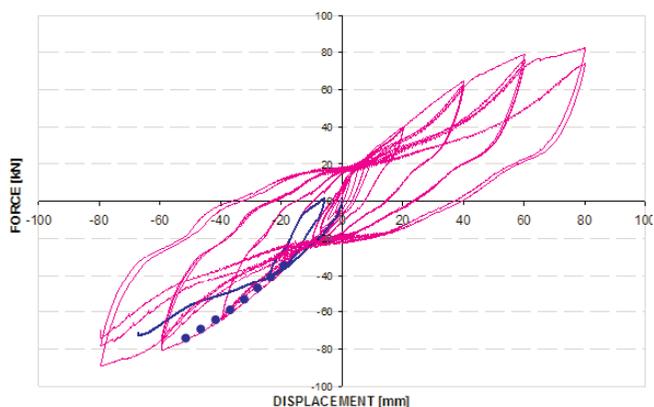
La non perfetta simmetria delle curve rappresentate in Figura 1 può essere dovuta proprio al fatto che le parti ripristinate assorbono il carico in maniera differente.

Il fatto invece che vi sia sovrapposizione nei percorsi di isteresi di carico e scarico indica che la struttura assorbe bene i carichi e che non si sono innescati meccanismi di degradamento. Prima di interrompere la prova si è verificata la rottura di n°3 viti HBS 6x100 su piastra H150. A tre rotture si sono verificate in prossimità del giunto tenone mortasa, tra il pilastro e la trave superiore, con una rottura a taglio nel legno della parte esterna.

Tale rottura era prevista ma, non rispecchia la situazione reale, nella quale la trave risulta essere continua e quindi si ha la stessa condizione in entrambi i lati della tasca con la presenza di un'adeguata quantità di materiale. Altri fenomeni che si sono potuti riscontrare sono stati l'inserimento delle teste delle viti di fissaggio del pannello alla struttura e la rottura di alcune di queste.

La vite di bloccaggio del giunto tenone mortasa si è deformata, la rottura è avvenuta nella fase di estrazione.

Figura 12. Prova ciclica (linea rosa), prova monotona (linea blu) e curva di involuppo (punti blu).



Sono ben visibili inoltre pesanti deformazioni dovute al rifollamento.

4. Modellazione plastica non lineare

Dai dati ottenuti dalle prove di laboratorio si ricavano i parametri per poter eseguire la taratura del modello che si utilizzerà per simulare il comportamento sismico della singola parete. Si tratta di un'analisi dinamica plastica non lineare che prevede l'utilizzo di un software specifico, il Drain2Dx, con il quale poi si studierà e si modellerà anche il comportamento rispetto a differenti eventi sismici di un edificio di tre piani.

4.1. Drain2Dx

Il comportamento sismico degli edifici di legno è dovuto soprattutto al tipo di connessione ed al tipo di giunti semi rigidi e dal loro comportamento *plastico non lineare*. Lo strumento di analisi utilizzato Drain2Dx sfrutta come input i diagrammi di momento e rotazione ricavati dalle prove cicliche sul prototipo di parete. Il ciclo di isteresi utilizzato per calibrare il modello è quello rappresentato in Figura 5 che rappresenta un ciclo a quattro pendenze che si adatta con approssimazione lineare, ai risultati ottenuti dalla prova ciclica eseguita. Per rappresentare il comportamento dei vari giunti si devono calcolare i diversi valori di pendenza delle rette che rappresentano i valori delle diverse rigidità. Il calcolo viene fatto approssimando la curva di involuppo e successivamente con un metodo grafico per tentativi si prosegue cercando i valori che, con adeguati aggiustamenti, forniscono il migliore adattamento.

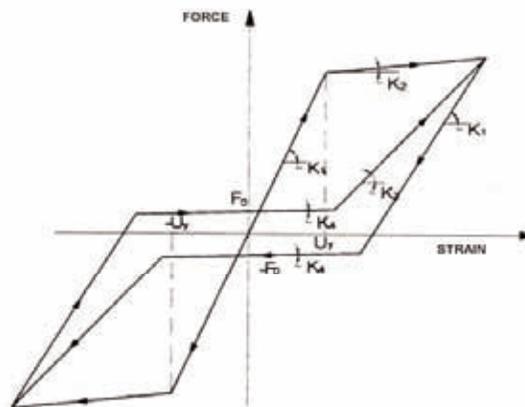
I valori delle rigidità K_1, K_2 derivano dalla seguente:

$$M = \Theta \times K \quad (1)$$

dove: M= momento, K=rigidità, Θ =rotazione.

La calibrazione del modello si ottiene per iterazione scalando i valori di rigidità e controllando la sovrapposi-

Figura 13. Ciclo di isteresi a 4 pendenze con curva di scarico costante [2].



A&RT

zione delle curve ottenute con Drain2Dx con quelle ottenute dalla prova ciclica di laboratorio.

Il grado di approssimazione viene valutato tramite il calcolo dell'energia dissipata.

Tale valore risulta essere l'integrale delle curve di isteresi sia per il grafico ottenuto dalla prova di laboratorio che per quello ottenuto con Drain2Dx. Un ulteriore parametro che va stimato ed inserito nel modello in quanto rappresenta la capacità di assorbire energia per attrito, per tipo di assemblaggio e per i materiali utilizzati, è il coefficiente di smorzamento viscoso dato dalla seguente:

$$\beta = (T \times \alpha) / \pi \quad (2)$$

dove β = smorzamento viscoso, T = periodo proprio di vibrazione α = coeff. di smorzamento della struttura.

Nel caso di strutture di legno il valore α può assumere dei valori da 2-10 %, nel caso del telaio in oggetto è stato assunto $\alpha = 5\%$.

4.2. Descrizione del modello

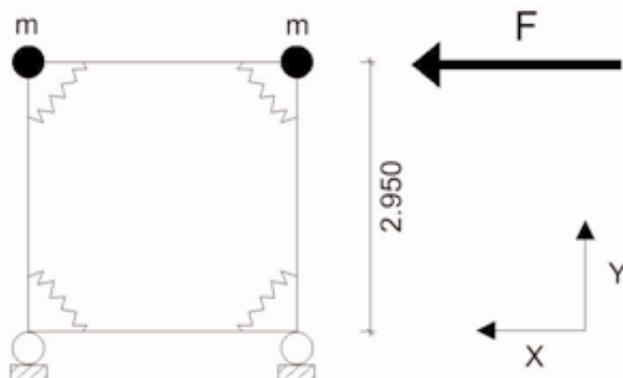
Il tipo di parete analizzata viene schematizzata con un telaio costituito da due elementi verticali (pilastri) e due elementi orizzontali (travi) ipotizzati infinitamente rigidi e quindi non soggetti a deformazioni. I vincoli sono rappresentati da delle cerniere con molle rotazionali che simulano il comportamento dell'intera parete. Trattandosi di spostamenti infinitesimi si approssimano gli scorrimenti in direzione dell'asse X in funzione della forza applicata e della rotazione.

Tabella 2. Valori di rigidità.

Figura 14. Schematizzazione del modello.

Tabella 3. Confronto tra valori di spostamento, forza, momento e rotazione tra test e modello

K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	U ₁	F ₀
7,1E+09	1,8E+09	2,8E+09	- 1	0,0028	1,3E+09



TEST				MODEL	
Displ. [mm]	Force [kN]	Rotation [rad]	Moment [Nmm]	Rotation [rad]	Moment [Nmm]
79,56	82,5	0,027	6,45E+07	0,026	6,35E+07

Vengono fatte delle semplificazioni a livello di simmetria e di comportamento lineare, ipotizzando che le molle siano identiche e che la forza si distribuisca in parti uguali nei vari nodi. In base ai valori numerici letti sui canali CH1 e CH5 della prova, tutti gli spostamenti si trasformano in funzione di momento e rotazione. Il carico di 21,3 kN/m (80 bar) inserito per simulare la presenza dei piani di edificio viene trasformato in un valore di massa applicato ai rispettivi nodi e punto di applicazione della forza sismica. Infine si ipotizza la struttura saldamente vincolata a terra e quindi si trascurano gli spostamenti in direzione Y.

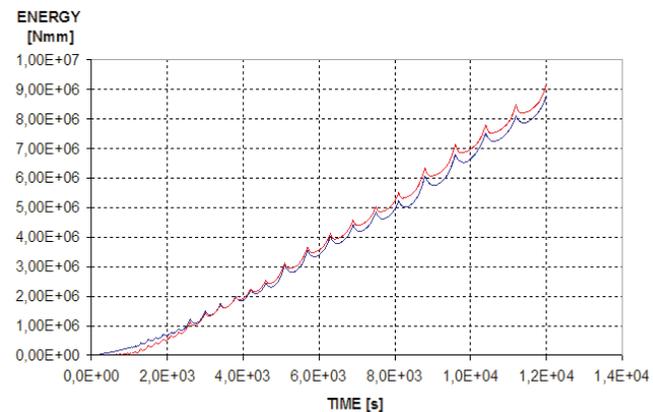
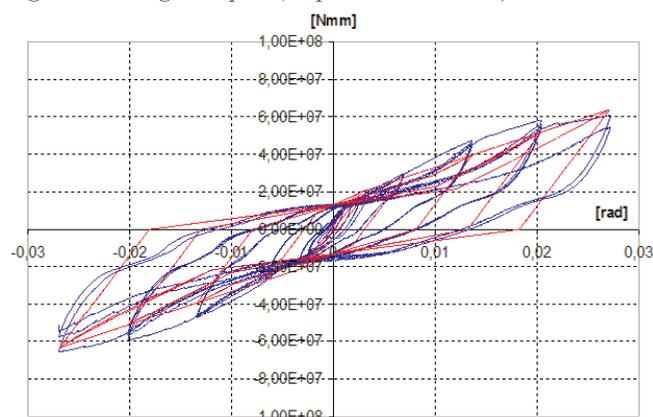
4.3. Calibrazione e risultati

Dopo il processo di calibrazione e di taratura dei parametri, si passa all'elaborazione numerica che permette di ottimizzare il modello matematico che rappresenta il comportamento della singola parete per poi poterlo applicare allo studio dell'intero edificio.

Un primo confronto tra i dati ottenuti con la modellazione ed i risultati della prova, si riferisce ai parametri di spostamento e di forza massima raggiunta che indicano il livello di calibrazione del modello. Dall'analisi dei valori riassunti in Tabella 3 si nota come anche a livello di rotazione e di momento, i valori del modello presentino un ele-

Figura 15. Risultati del modello (curva rossa) e risultati della prova (curva blu).

Figura 16. Energia dissipata (blu:prova, rosso: modello).



vato grado di adattamento a quanto ottenuto dalle prove di laboratorio.

Questo permetterà di simulare con un altrettanto elevato grado di accuratezza il comportamento della parete alle diverse sollecitazioni sismiche.

In Figura 16 è rappresentato l'andamento del valore di energia dissipata nel tempo. Il valore totale di energia dissipata ottenuto dalla prova differisce del 2,8 % rispetto a quanto ottenuto con il modello. Tale differenza si mantiene su livelli accettabili anche nel tempo, raggiungendo al massimo una differenza del 6%.

La differenza in termini di energia dissipata, rientra quindi sempre al di sotto del 10%, valore limite accettato per definire la buona accuratezza del modello. Dall'analisi dei valori ottenuti con la prova si ricava il *criterio di collasso* che indica il raggiungimento di un livello di danno non ripristinabile in condizioni di quasi collasso. Generalmente viene accettato un valore di spostamento massimo in corrispondenza di $0,8 F_{max}$ sulla curva di involucro successiva al raggiungimento dello spostamento corrispondente a F_{max} . Dall'analisi della prova ed a favore di sicurezza, si è scelto di indicare come criterio di collasso lo spostamento ottenuto in prossimità di F_{max} .

Per le successive simulazioni si considera infatti che la nostra struttura non sia più in grado di sopportare carichi esterni dopo aver raggiunto una deformazione massima di 80 mm. A livello costruttivo il primo piano degli edifici costruiti con il sistema a telaio, risulta essere quello più sensibile ai collassi e quindi tale spostamento si riferirà proprio ai nodi in prossimità del primo solaio. Successivamente si controlleranno gli spostamenti relativi tra i vari piani per i quali viene richiesto lo stesso valore limite.

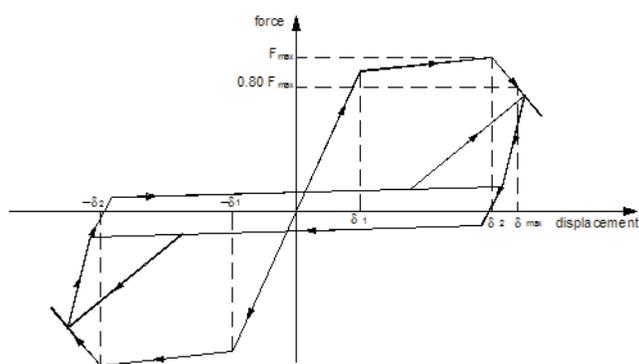
5. Simulazione sismica

Tramite l'ausilio del modello calibrato si procede alla simulazione del comportamento e della risposta ai diffe-

Tabella 4. Confronto tra energia dissipata.

Figura 17. Criterio di collasso [1].

DISSIPATED ENERGY [Nmm]		
Cyclic test	Model Drain2DX	Range [%]
8064445,4	8295668,8	2,8



renti eventi sismici di una struttura su più piani realizzata con il sistema costruttivo oggetto di studio. Anche in questo caso si sono introdotte delle opportune ipotesi per semplificare il calcolo senza però andare ad intaccare il grado di sicurezza ed attendibilità dei risultati.

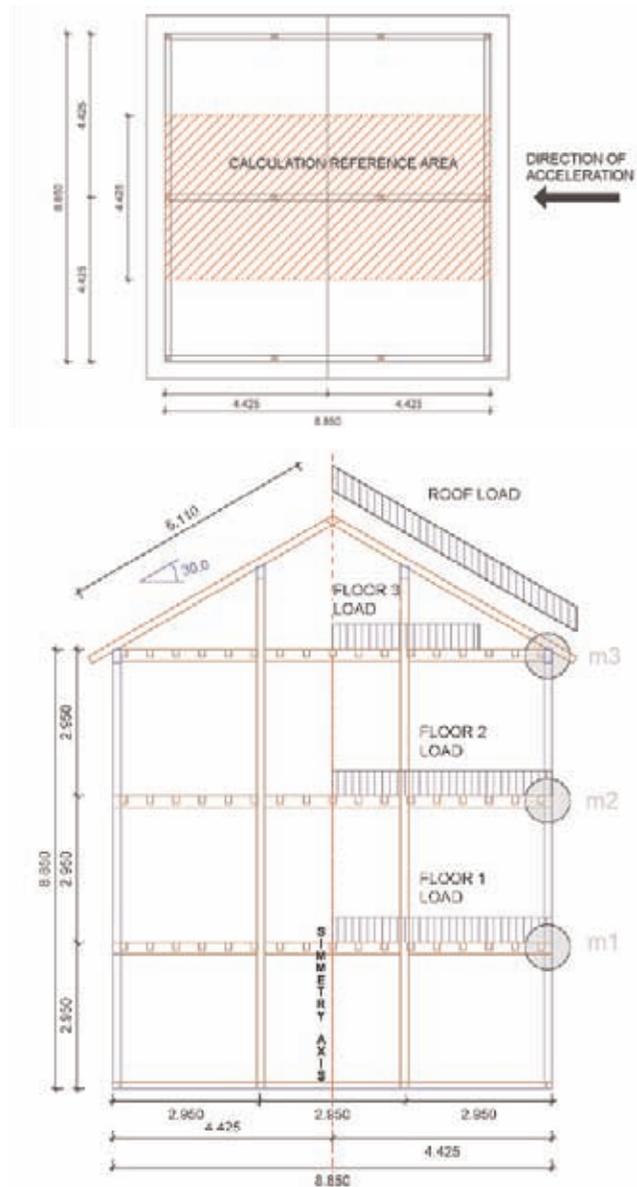
5.1. Progetto e specifiche dell'edificio

L'edificio sottoposto a simulazione è costituito da un modulo costruttivo base definito dal modello di parete studiato. In pianta si prevede lo sviluppo di tre moduli da 2,95 m mentre in altezza si considerano tre piani anch'essi di 2,95 m ciascuno. Inoltre si considera una copertura inclinata di 30° a due falde.

La progettazione viene condotta secondo quanto proposto dagli Eurocodici di riferimento. Per il calcolo delle combinazioni dei carichi si considera $\gamma_m = 1$ per i carichi permanenti, mentre i carichi variabili sono considerati solo per una frazione del 30%. Inoltre non sono consi-

Figura 18. Pianta dell'edificio modello.

Figura 19. Sezione dell'edificio modello.



A&RT

derati i carichi accidentali dovuti alla neve e al vento. Si assume cioè che durante l'evento sismico, già di per sé eccezionale, non coincidano, con ulteriore aggravio sulle strutture, altri eventi particolari.

I solai sono considerati rigidi nel piano ed inoltre si è semplificato l'edificio considerando una perfetta simmetria e una distribuzione uniforme delle masse. Dall'insieme di ipotesi fatte e dalle caratteristiche del sistema costruttivo, si può quindi considerare che la rigidità della parete ottenuta dalle prove possa essere linearmente estesa a quella delle pareti dell'edificio da modellare e cioè $K_1=3K$ dove K_1 = rigidità parete intera dell'edificio e K = rigidità parete $2,95 \times 2,95$ m. Come area di influenza per il calcolo dei carichi si sono considerate quindi le dimensioni di 4,425 m di larghezza e 8,85 m di lunghezza.

Le falde inclinate della copertura sono state inserite solo nei valori dei pesi propri gravanti sull'ultimo solaio del quale è stato considerato solo 1/3 della superficie totale abitabile. Sui solai sono stati aggiunti oltre ai pesi propri delle strutture anche il peso degli elementi di parete esterna.

$$F_d = G_k + \sum \psi_{2i} Q_{ki} = G_k + 0.3 Q_k \quad (3)$$

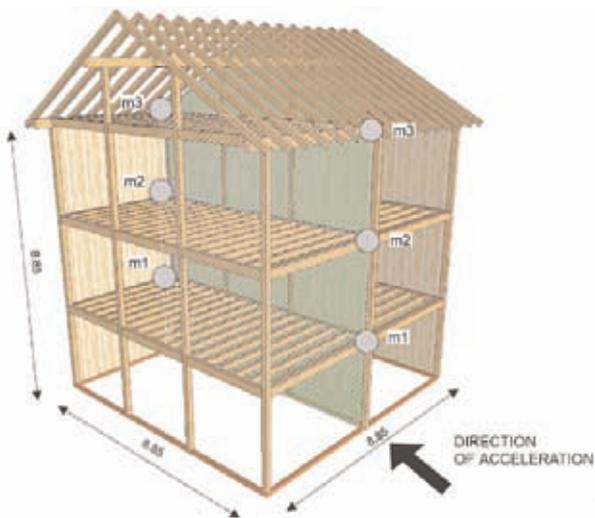
dove

G_k = carichi permanenti (copertura, solaio, pareti)

Q_k = carichi variabili ($q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$)

Figura 20. Vista assonometrica delle strutture e della parete modellata (verde).

Tabella 5. Valori dei carichi e delle masse inserite in Drain.



	permanent	variable	total	masses
Total loads	[kN]	[kN]	[kN]	[Ns ² /mm]
roof	65,70	-	-	-
floor 3rd	109,59	23,5	198,79	m_3+m_3 20,38
floor 2nd	109,59	23,5	200,88	m_2+m_2 20,50
floor 1st	109,59	23,5	200,88	m_1+m_1 20,50
external wall	67,79	-	-	-

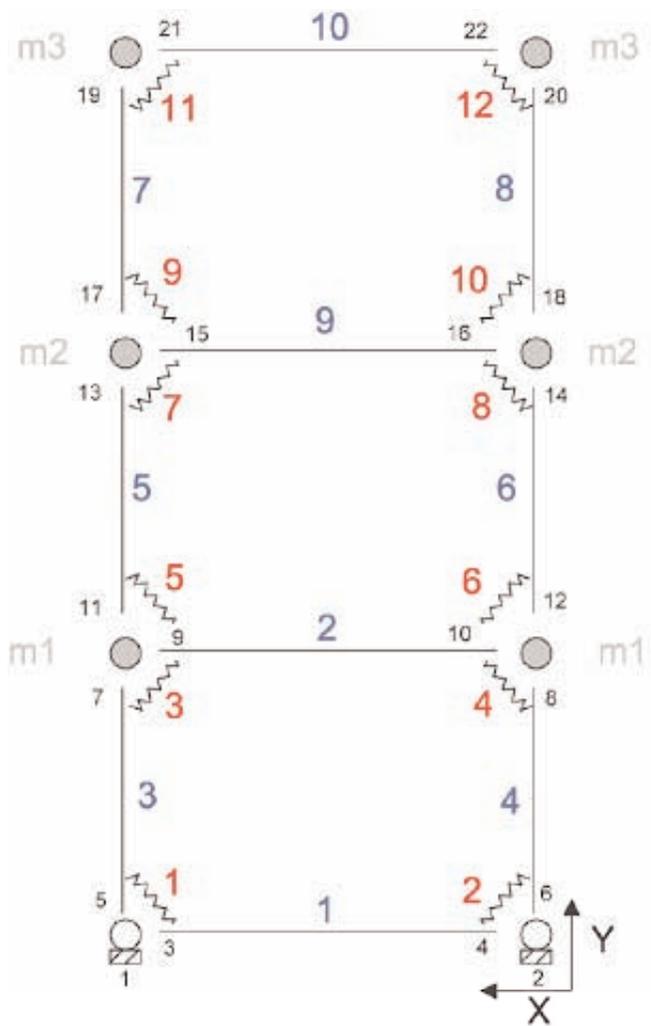
Dalla (3) si ottengono i carichi agenti sulla struttura che vengono poi trasformati in masse per rappresentare l'azione della forza sismica riassunti in Tabella 5.

Per poter proseguire con la modellazione si deve calcolare il primo periodo proprio di vibrazione della struttura. Anche questo calcolo viene eseguito con il Drain2Dx nelle ipotesi di fare assorbire l'accelerazione sismica totalmente alle strutture di legno senza considerare gli effetti di trasferimento dovuti alla presenza delle opere di fondazione. Le equazioni del moto utilizzate sono quelle dell'oscillatore smorzato dalle quali si ricava la relazione per calcolare il valore di smorzamento viscoso da utilizzare nel modello.

Tabella 6. Terremoti utilizzati per la simulazione sismica.

Figura 21. Schema del modello inserito in Drain2DX.

Earthquake	Magnitude	Duration [s]
Brianza 23/11/1980 (Italy)	6.9	20.014
El Centro 19/05/1940 (USA)	7.1	29.000
Izmit 17/08/1999 (Turkey)	7.6	85.795
Kobe 16/01/1995 (Japan)	7.2	20.010
Nocera Umbra 26/09/1997 (Italy)	5.8	13.720
Tolmezzo 6/5/1976 (Italy)	6.5	21.029
L'Aquila 6/04/2009 (Italy)	6.3	30.000



$$m\ddot{x} + k\dot{x} = 0 \quad (4)$$

Inserendo nella (2) il valore $T=0,6$ s si ricava un valore di smorzamento viscoso pari a $\beta = 0,00957$.

Nella Figura 21 infine è rappresentata la schematizzazione geometrica inserita nel modello matematico, che come risultato di un'analisi bidimensionale fornisce gli spostamenti per tutti i nodi per ogni istante di tempo considerato. Le simulazioni vengono fatte utilizzando gli accelerogrammi di diversi terremoti, scalandone l'intensità in base ai valori limiti indicati dalla normativa validi per il territorio nazionale italiano.

6. Risultati

6.1. Risultati della simulazione

I risultati ottenuti dall'elaborazione ci forniscono dei valori di spostamento per ogni nodo secondo lo schema di Figura 9. La ipotesi fatta sulla non deformabilità delle aste viene rispecchiata nel fatto che si ottengono gli stessi spostamenti per i nodi da 7 a 12 da 13 a 18 e da 19 a 22. Inoltre, per l'ipotesi di non scorrimento del vincolo a terra, per i nodi da 1 a 6 si sono ottenuti spostamenti nulli. Per livelli di accelerazione di picco pari a 0,35 g l'edificio risulta in grado di assorbire le deformazioni al piano primo per tutti i terremoti. Solo per il terremoto di Kobe si ottengono, anche se di poco, dei valori oltre il livello di limite ammesso di 8,0 cm. Con i terremoti verificatisi sul territorio italiano, invece si sono registrate deformazioni molto al di sotto del limite previsto.

Questo risultato rimane inoltre a favore di sicurezza avendo considerato un elemento di parete bidimensionale che non risente dell'apporto dell'intera struttura tridimensionale. Riferendosi al grado di sismicità del territorio italiano e tenendo in considerazione un valore massimo di $PGA_{u,code}=0,35g$ si è portato l'edificio in condizioni estreme, trovando per quale valore di accelerazione si sarebbe verificato il collasso della struttura.

Dai risultati ottenuti emerge che per avere il collasso di un edificio realizzato con il sistema costruttivo in oggetto si sarebbe dovuto verificare un evento sismico con accelerazioni al suolo di molto superiori ai massimi previsti. Solo nel caso del catastrofico evento di Kobe si rimane al di sotto di tale valore ($PGA_{u,eff}=0,33g$).

Tabella 7. Valore di spostamento massimo al primo piano con $PGA_{u,code}=0,35 g$.

Earthquake	Max. displacement [cm]
Brianza 23/11/1980 (Italy)	2.00
El Centro 19/05/1940 (USA)	3.94
Izmit 17/08/1999 (Turkey)	4.89
Kobe 16/01/1995 (Japan)	8.68
Nocera Umbra 26/09/1997 (Italy)	1.04
Tolmezzo 6/5/1976 (Italy)	1.70
L'Aquila 6/04/2009 (Italy)	1.79

La conferma del comportamento positivo della struttura alle varie sollecitazioni simulate è dato dalla misura dello scorrimento relativo tra i piani che per tutti i terremoti analizzati rimane al di sotto del limite di collasso stabilito. I collassi negli edifici di legno a struttura intelaiata avvengono infatti nella maggior parte dei casi per il raggiungimento di spostamenti massimi a livello del piano primo, sul quale poi risulta collassare il resto della struttura. Per quanto riguarda gli spostamenti relativi tra i piani si sono considerati i valori ottenuti allo stesso istante di tempo. Anche in questo caso il limite di collasso di 8 cm è stato raggiunto solo nel caso del terremoto di Kobe scalati a 0,35 g. Per tutti gli altri terremoti scalati a 0,35 g si è rimasti al di sotto di tale valore. Per 0,25 g e 0,15 g il grado di sicurezza risulta essere molto più marcato ottenendo valori di spostamento relativo tra i piani abbondantemente inferiori al valore limite.

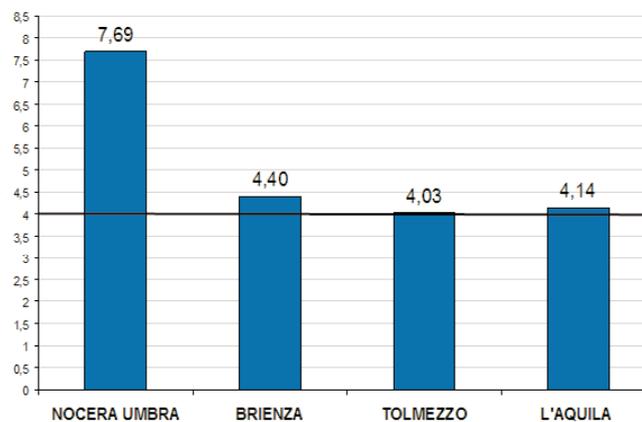
6.2. Calcolo del fattore di struttura q

Nella maggior parte delle normative sismiche è inserito un fattore ARF (Action Reduction Factor) che permette di ridurre le azioni di progetto riconducendosi ad un'analisi elastica globale [1]. Nell'Enrocodice 8 tale approccio è definito dal fattore di struttura q, che permette di ridurre le forze ottenute dall'analisi lineare tenendo conto invece, della risposta non lineare a seconda del diverso materiale, sistema strutturale e tipo di progettazione adottati. Dopo aver modellato il comportamento dell'edificio grazie alle prove di laboratorio e dopo aver scelto il criterio di collasso, il fattore q viene ricavato dal rapporto tra l'accelerazione di picco $PGA_{u,eff}$ che causa il collasso dell'edificio e ed il valore di accelerazione di picco di progetto $PGA_{u,code}$, determinata dalla normativa.

Tabella 8. $PGA_{u,eff}$ e fattore q calcolato.

Figura 22. Risultati del calcolo del fattore q.

Earthquake	$PGA_{u,eff}(g)$	Calculated q factor
Brianza (Italy)	1.54	4.40
Nocera Umbra (Italy)	2.69	7.69
Tolmezzo (Italy)	1.41	4.03
L'Aquila (Italy)	1.45	4.14



A&RT

In relazione al criterio di collasso adottato (massimo spostamento interpiano pari a 8 cm), dai risultati elencati Tabella 8 ed in Figura 10, si ricava che per tutti i terremoti italiani utilizzati e per il modello di edificio analizzato si ottiene un valore del fattore di struttura q superiore a 4.

7. Conclusioni

Le analisi condotte pur necessitando di ulteriori prove utilizzando differenti elementi di parete, di prototipi di edifici a scala reale ed un numero maggiore di accelerogrammi, forniscono comunque promettenti indicazioni. Infatti, alla luce dei risultati ottenuti e delle ipotesi fatte a favore di sicurezza, si può quindi sostenere che il sistema costruttivo a telaio in legno Dolomiti Plus, se adeguatamente progettato, presenta un ottimo comportamento nei confronti delle azioni sismiche.

Per quanto riguarda il valore del fattore di struttura q , le analisi fino a qui condotte danno una prima indicazione che autorizza a considerare questa tipologia costruttiva come altamente dissipativa.

In virtù delle semplificazioni e delle ipotesi di lavoro fatte, è opinione dell'autore che il sistema costruttivo in oggetto meriti quindi di essere approfondito con ulteriori studi e che, al momento sia giustificato l'utilizzo di un fattore di struttura comunque non inferiore a 3.

Ringraziamenti

Questo articolo è frutto del lavoro svolto dall'autore nell'ambito di una tesi di ricerca per il master specialistico Casaclima tenuto presso la Libera Università di Bolzano (Italia).

È stato inoltre spunto per avviare le attività di un progetto di ricerca nel campo dell'edilizia sostenibile (Dolomiti Pro) finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento.

Un caloroso ringraziamento va alla Prof.ssa. Cristina Benedetti ed al Prof. Ario Ceccotti per il loro prezioso supporto. Un grazie anche all'ing. Carmen Sandhass, a tutto lo staff del CNR – Ivalsa di Trento e di ILLE Prefabbricati per il loro fondamentale supporto.

Elia Terzi, ingegnere, M. Sc., ILLE Prefabbricati s.p.a., fraz. Fisto 16, 38088 Spiazzo, Trento, Italia.

Riferimenti bibliografici

- [1] Ceccotti, Follesa, Lauriola, *Le strutture di legno in zona sismica*, CLUT, 2007
- [2] C. Sandhaas, *Seismic Behaviour of historic timber – frame buildings in the Italian Dolomites*, Tesi di Laurea, Universitat Karlsruhe (TH), CNR-Ivalsa, Firenze 2004
- [3] Prakash, Powell, Campell, *DRAIN2DX Base program description and user guide v 1.10*, Department of civil Engineering University of California, Berkeley 1993
- [4] Powell, *DRAIN2DX Element description and user guide for element type 01,02,04,06,09 and 05 v 1.10*, Department of civil Engineering University of California, Berkeley 1993
- [5] *Uni en 26891:1991: Strutture di legno. Assemblaggi realizzati tramite elementi meccanici di collegamento. Principi generali per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità*, CEN, Brussels 1991
- [6] *Uni en 12512:2006: Strutture di legno. Metodi di prova. Prove cicliche di giunti realizzati con elementi meccanici di collegamento*, CEN, Brussels 2005
- [7] G. Giordano, *Tecnica delle Costruzioni in Legno*, 5° ed., Hoepli, Milano 1999
- [8] Ceccotti, Lauriola, Pinna, Sandhass, *SOFIE Project Cyclic Tests on Cross Laminated Wooden Panels*, CNR- Ivalsa, Trento 2005

Legno e vetro per l'architettura contemporanea: aspetti tecnici e dettagli costruttivi

New Jointek srl Headquarters, Somma Lombardo, Varese

GIANLUCA ENDRIZZI - HOLZBAU SPA

Abstract

La nuova sede della Jointek srl, azienda che fornisce componenti aerospaziali e per applicazioni sportive, ha visto Holzbau coinvolta in una nuova entusiasmante e complessa sfida progettuale ed esecutiva.

L'obiettivo del progetto consisteva nel realizzare una sede prestigiosa di rappresentanza, dotata di uffici, aree di accoglienza per la clientela e laboratorio per le attività produttive; un luogo che esprimesse un forte carattere architettonico anche per valorizzare in termini qualitativi il contesto in cui si inserisce.

In aggiunta, il programma prevedeva la costruzione di un edificio multipiano interamente in legno e vetro impiegando solo tecniche «a secco» per pareti e solai interni e dove il legno doveva rimanere il più possibile in vista. La sfida iniziale, per Holzbau, consisteva nel riuscire con elementi in legno lamellare e acciaio a soddisfare le scelte architettoniche di assoluta irregolarità geometrica garantendo un piacevole effetto estetico; a sviluppare un progetto che garantisse l'adeguata flessibilità nelle aree adibite ad open space e trovare appropriate soluzioni tecniche per la facciata principale in vetro e legno e per la controventatura dell'intero edificio.

La struttura portante dell'edificio è interamente in legno lamellare con la sola eccezione dei pilastri esterni laterali che sono in acciaio zincato a fuoco.

Sulla copertura le strutture sono dimensionate per un carico permanente di 0,75 kN/m² oltre il peso proprio degli elementi principali e per un carico di neve al suolo di 1,60 kN/m². In due zone della copertura sono stati disposti gli impianti di trattamento dell'aria e il locale caldaia, che, sviluppando carichi maggiori, hanno richiesto sottostrutture rinforzate.

Figura 1. Vista laterale dell'edificio interamente costruito in legno lamellare, eccetto per i pilastri esterni in acciaio che sostengono la struttura.

Figura 2. Montaggio delle vetrate sulla facciata a doppia curvatura.



A&RT

Il pacchetto della copertura è composto da:

esterno

- manto impermeabile in acciaio inox;
- membrana impermeabile e traspirante Delta Foxx nastrata;
- tavolato grezzo, spessore 23 mm;
- isolante in polistirene estruso, spessore 10 cm con listoni interposti per creare la pendenza;
- guaina saldata a caldo, spessore 3mm;
- pannello strutturale in legno lamellare sdraiato, spessore 47 mm;

interno.

Oltre al pannello strutturale, l'orditura è composta da arcarecci con interasse variabile da 1 m a 1,60 m sorretti da travi rompitratte e travi principali curve fuori dal piano, le quali lateralmente sono collegate ai pilastri esterni mediante una cerniera in acciaio mentre al centro dell'edificio scaricano le loro sollecitazioni su pilastri circolari in legno lamellare di diametro 48 cm.

Il piano della copertura, grazie al pannello in legno lamellare sdraiato, è assimilabile ad una lastra rigida che ripartisce i carichi orizzontali sugli elementi controventanti. Per quanto riguarda i due solai intermedi si è considerato un carico permanente pari a $3,00 \text{ kN/m}^2$ e un carico accidentale di $4,00 \text{ kN/m}^2$, oltre il peso proprio degli ele-

menti principali.

Il pacchetto dei solai è composto da:

estradosso

- pannello in fibra di gesso predisposto per posa rivestimento;
- riscaldamento a pavimento integrato con pannello in fibra di legno e alluminio;
- pannello in fibra di gesso;
- pannello in fibra di legno ad alta densità antirumore;
- strato di pietrisco «Calipan»;
- pannello strutturale in legno lamellare spessore 77 mm;

intradosso.

Il pannello in legno lamellare sdraiato risulta essere strutturale con luci di circa 2,4 m e garantisce allo stesso tempo la rigidezza del solaio nel proprio piano, riuscendo a distribuire le varie sollecitazioni orizzontali sugli elementi controventanti.

Il pacchetto dei solai è sorretto da una orditura di travi principali poste ad interasse di 2,4 m che, esternamente, si agganciano ai pilastri in acciaio e internamente sono vincolate ai pilastri a sezione circolare in legno lamellare. A completamento della struttura riguardante il corpo dell'edificio sono stati progettati gli elementi portanti della facciata principale in vetro, non particolarmente estesa come superficie, ma davvero complicata per via della

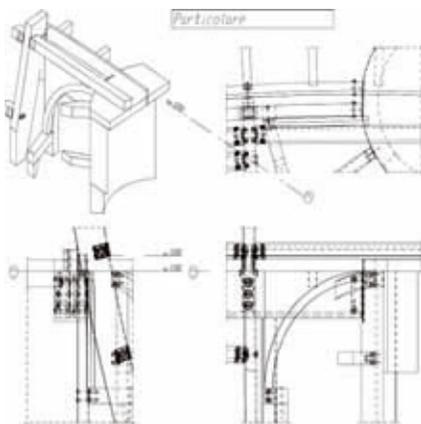
Figure 3, 4 (dall'alto in basso, in senso orario). Il sistema strutturale della facciata, a doppia curvatura, prevede travi principali lungo le linee di massima pendenza e secondarie ortogonali alla falda atta a sopportare il peso delle vetrate.

Figura 5. Particolare dei pilastri laterali esterni in acciaio zincato a fuoco.

Figura 6. Vista laterale: i pilastri in acciaio sostengono le travi curve in legno lamellare.

Figura 7. Il soffitto interamente in legno e le ampie vetrate incorniciano la vista sull'esterno.

Figura 8. Dettagli degli elementi di connessione.



doppia curvatura. Tale sistema strutturale è stato sviluppato creando una serie di travi principali lungo le linee di massima pendenza e disponendo una orditura secondaria ortogonale alla falda atta a sopportare il peso delle vetrate. Il tutto è controventato da croci in acciaio che ne garantiscono la stabilità. La controventatura dell'intero edificio è garantita da una serie di croci in acciaio disposte lungo le pareti perimetrali, dalla parete sul lato posteriore interamente in legno e dal vano ascensore in cemento armato. La parete posteriore, costruita interamente con tecnica «a secco», è composta da:

interno

- lastra in cartongesso;
- lastra in fibrogesso Fermacell;
- camera d'aria per passaggio impianti;
- pannello OSB;
- barriera al vapore in PE prenastrato;
- 16 cm di lana di roccia densità 70 kg/m³ con interposta la araccatura in legno;
- pannello OSB;
- membrana impermeabile e traspirante Delta Foxx;
- pannello Fermacell HD, spessore 15 mm;

esterno.

La fornitura di Holzbau ha riguardato anche tutti gli elementi di decoro dell'edificio quali le velette della copertura e le velette curve disposte lungo le facciate perimetrali, sfruttate anche per eseguire la calata dei pluviali.

Un importante valore aggiunto alla progettazione è stato sicuramente offerto dal servizio di consulenza dell'Ufficio Tecnico Holzbau, che ha messo a disposizione competenze, esperienza e capacità di problem solving durante tutta la fase progettuale ed esecutiva.

Non limitandosi alla sola parte di propria competenza ma interagendo con impiantisti e fornitori delle facciate in vetro, i tecnici e gli ingegneri di Holzbau hanno coordinato le varie fasi di realizzazione e gli interventi in cantiere.

Tale approccio ha permesso di inserire gli impianti di condizionamento dell'aria e le parti in vetro nella struttu-

ra senza ulteriori lavorazioni in cantiere. È stata inoltre l'elevata precisione nelle fasi di produzione presso la sede produttiva di Holzbau a permettere di ottenere elementi prefabbricati che rientrassero nella ristretta tolleranza concessa dalla struttura.

Il montaggio delle strutture di competenza Holzbau è stato svolto partendo dal posizionamento dei pilastri laterali esterni in acciaio e successivamente si è passato al montaggio di ogni singolo piano dando di volta in volta il fuorì acqua con una guaina autoadesiva.

La copertura è stata ultimata con lamiera in acciaio inox mentre l'ultima fase ha riguardato il montaggio delle pareti perimetrali, delle velette laterali e della struttura per la facciata anteriore. Holzbau ha fornito inoltre il manto di copertura metallico e tutte le scossaline di finitura. Per quanto riguarda le prossime fasi di cantiere Holzbau si occuperà di fornire e posare gli elementi divisorii interni e di eseguire i pacchetti dei due solai (isolamento, riscaldamento a pavimento e piano di calpestio).

I dati del progetto

Committente: Jointek srl

Luogo: Somma Lombardo, Varese

Progettista: Arch. Gianni Roncaglia

PL Holzbau: Ing. Oswald Groeminger

Ing. Holzbau: Ing. Gianluca Endrizzi

Disegnatore: Geom. Guenther Sullmann

Inizio cantiere: novembre 2008

Fine cantiere: dicembre 2009

I numeri del progetto

221 m³ di legno lamellare impiegato (diritto, curvo e curvo fuori dal piano); 1.450 ore di lavorazioni eseguite presso lo stabilimento Holzbau; 38.600 kg di acciaio progettato da Holzbau; 1.250 ore di ufficio tecnico Holzbau; 8 trasporti; 340 m² di copertura; 680 m² di solai; 600 m² di pareti verticali.

Gianluca Endrizzi, Holzbau S.p.A.

Figura 9. Il soffitto interamente in legno e le ampie vetrate incorniciano la vista sull'esterno.

Figura 10. Rendering della struttura. Sono evidenti gli elementi costitutivi del progetto, in blu i pilastri in acciaio, le travi in legno lamellare curve, i pacchetti dei solai.

Figura 11. Particolare della pensilina di ingresso. La complessità della forma curva a foglia richiama le linee della facciata e crea uno spazio di accesso interessante.



Costruire in legno fa bene all'ambiente

Building with wood helps the environment

NORBERT RAUCH - RUBNER HAUS

Abstract

I dati sull'inquinamento del pianeta hanno portato sul banco degli imputati l'edilizia, ritenuta responsabile del 42% dei consumi totali di energia, in prevalenza fossile, e delle sue emissioni. L'edilizia in legno si sta imponendo per le sue doti di ecologicità e perché consente la costruzione a costi inferiori di edifici a forte risparmio energetico.

Ciononostante ancora molti pregiudizi ostacolano in Italia il notevole diffondersi degli edifici interamente realizzati in legno.

Un'attenta valutazione di questi pregiudizi ne permette la confutazione sottolineando l'unicità dei pregi dell'edilizia in legno (dall'isolamento termico all'antisismicità, alla rapidità dei tempi di costruzione) nel pieno rispetto dell'ambiente in tutto il suo ciclo vitale.

Data regarding the planet pollution attribute the fact to construction, thought to be responsible for the 42% of total energy consumption, especially fossil fuels, and its emission. Timber construction is being successful due to its characteristic and because it allows low cost construction of energy saving buildings. Nonetheless there are still many prejudices in Italy against wood construction. A careful valuation of these prejudices allows to disagree with them, underlying wood construction's merits (thermal insulation, earthquake proof, realisation time), respecting environment in its whole life cycle.

L'allarme crescente per lo stato di malessere in cui versa il nostro pianeta a seguito dell'incontrollata emissione di inquinanti, primi fra tutti i gas serra, ha portato ad un ripensamento generale dei criteri costruttivi dell'edilizia, ritenuta responsabile di ben il 42% dei consumi totali di energia. Normative sempre più vincolanti sono state approvate nel mondo industrializzato e recentemente anche nel nostro paese per cercare di limitare il consumo di energia degli edifici attraverso il miglioramento dell'isolamento e l'utilizzo di materiali da costruzione più idonei.

Un posto di primo piano nel perseguimento di questi obiettivi spetta all'edilizia in legno che ha conosciuto in Italia un notevole incremento negli ultimi anni.

Secondo i dati di Promo_Legno, un'iniziativa comune fra le associazioni Assolegno, Fedecomlegno, EdilegnoArredo e Assopannelli di FederlegnoArredo, Agelegno, Swedish Forest Industries Federation e proHolz Austria, infatti, il trend costruttivo delle case realizzate interamente in legno nel nostro paese è aumentato del 50% dal 2000 al 2005 e si prevede un aumento analogo dal 2005 al 2010.

In particolare, il settore dei tetti in legno è quello che ha registrato i migliori risultati con un incremento dal 2000 al 2005 del 40%.



A&RT

Pregiudizi sull'utilizzo del legno in edilizia

In Italia esistono tuttavia ancora molte resistenze all'utilizzo del legno in edilizia dovute a diversi fattori: dai condizionamenti culturali alla scarsità di materia prima, ad alcuni pregiudizi fortemente diffusi anche tra i progettisti. Questi pregiudizi riguardano prevalentemente la stabilità, l'isolamento, la presunta serialità dei prodotti costruttivi in legno e la bassa affidabilità in caso di incendio.

Vedremo però, analizzando le caratteristiche principali delle costruzioni in legno, come tali pregiudizi siano in realtà privi di fondamento e come, anzi, quelli che sono considerati i punti di debolezza dell'edilizia in legno siano in realtà i suoi punti di forza.

Stabilità strutturale

Il legno presenta un ottimo rapporto tra peso e resistenza il che consente di progettare e costruire strutture più leggere a parità di resistenza, tanto che questa caratteristica, unita all'elasticità di questa materia, consente alle abitazioni con struttura portante in legno di sopportare scosse sismiche molto forti senza subire gravi deformazioni. Il fatto, poi, che non esistano pilastri portanti su cui si concentri l'intero peso dell'abitazione, fa sì che non sussista il rischio di crolli strutturali.

Nemmeno l'acqua o gli insetti rappresentano un pericolo per la solidità dell'abitazione, dato che il legno essiccato utilizzato nelle costruzioni è duraturo e solido al punto tale da impedire persino il formarsi di tassi di umidità elevata durante i mesi di utilizzo del riscaldamento. Senza contare che, anche in caso di condizioni ambientali particolarmente avverse, il legno può essere reso altamente resistente attraverso specifici trattamenti.

Isolamento

Le case in legno offrono la possibilità di un ottimo isolamento termico in quanto il legno è di per sé un isolante naturale (conducibilità termica intorno a 0.15 W/mK) e, mantenendosi «vivo» nel tempo al contrario di altri materiali da costruzione, consente un'ottima termoregolazione naturale. Il comfort abitativo interno, infatti, è strettamente legato alla temperatura dell'aria ambientale che, a sua volta, è strettamente legata alla temperatura superficiale dell'edificio. Nell'edilizia tradizionale con serramenti scarsamente isolati e una bassa temperatura superficiale bisognerà ricorrere, attraverso il riscaldamento, ad un'alta temperatura dell'aria per ottenere il comfort abitativo. Nell'edilizia in legno con serramenti isolanti, invece, si potrà mantenere il comfort interno anche con temperature dell'aria più basse a fronte di temperature superficiali alte (estate) o basse (inverno). In particolare, una parete isolata in legno consente di limitare le differenze di temperatura tra superficie e ambiente che nelle pareti in muratura possono arrivare fino a 5 o più gradi. Considerando che ad ogni grado di aumento della tem-

peratura interna corrisponde un aumento del 6% dei costi di riscaldamento, questa particolarità del legno è sicuramente molto apprezzabile. Confrontando una parete perimetrale in legno realizzata con pannelli multistrato incrociati ed un muro tradizionale in laterizio alveolato si nota che con la prima si può ottenere, con circa metà dello spazio occupato dalla seconda, un valore di trasmissione decisamente inferiore rispetto alla parete in laterizio il che rende possibile, come vedremo, notevoli guadagni nella cubatura. Anche le dispersioni dovute ai ponti termici per edifici in legno in generale sono molto basse anche grazie al fatto che la gran parte delle strutture hanno un isolamento a cappotto che evita che si creino discontinuità di materiale isolante.

Per quanto riguarda l'isolamento acustico delle pareti e dei solai (calpestio) valgono le stesse accortezze da utilizzare per le pareti in muratura, con la differenza che nell'edilizia in legno raggiungere standard elevati di isolamento acustico è reso più semplice dall'utilizzo di pareti multistrato costituite da più strati di materiali diversi o di sistemi a doppia parete in cui due elementi massicci sono separati da un'intercapedine vuota o riempita con materiale fonoassorbente.

Serialità

L'idea di una casa in legno sul tipo del classico chalet di montagna è oggi soltanto una delle infinite possibilità costruttive a disposizione del committente. I moderni sviluppi della tecnologia di prefabbricazione consente, infatti, di realizzare pressoché qualsiasi progetto utilizzando strutture in legno, anche multipiano, il cui aspetto esterno può adattarsi a qualsiasi situazione abitativa o ambientale con l'intonacatura delle pareti, esattamente come nell'edilizia tradizionale.

Sicurezza contro il fuoco

Per anni è stata diffusa l'erronea convinzione che le costruzioni in legno siano poco affidabili in caso di incendio. Rubner Haus ha recentemente ottenuto la certificazione CSI (Centro di Certificazione e Analisi Comportamentale) di resistenza al fuoco per pareti portanti a fronte degli eccellenti risultati ai test conseguiti dalle abitazioni in legno di tipo Blockhaus e Residenz. Le prove sperimentali effettuate sui due sistemi costruttivi hanno confermato che, grazie alla bassa capacità di conduzione termica e al processo di carbonizzazione della superficie, il legno brucia lentamente mantenendo inalterate le proprie caratteristiche strutturali e proprietà meccaniche anche ad alte temperature. Questo dimostra come il legno sia altamente affidabile e in grado di garantire livelli di sicurezza molto elevati e superiori a quelli di molti altri materiali da costruzione, come ad esempio l'acciaio, che hanno un alto tasso di conduttività termica e di conseguenza, in caso di incendio, perdono velocemente la propria capacità resistente. I test realizzati da



A&RT

CSI sulle pareti portanti delle abitazioni Rubner Haus hanno verificato il REI, valore che indica il tempo in cui sono rispettati tutti i parametri considerati nella certificazione: - R - indica la resistenza meccanica della parete, - E - la tenuta alle fiamme, - I - l'isolamento termico della parete. La parete Residenz (a telaio - standard) ha ottenuto risultati eccezionali resistendo per 103 minuti all'esposizione a piena fiamma ossidrica mentre la parete Blockhaus (blockbau - standard) ben 145 minuti prima di subire danni strutturali. I risultati dimostrano quindi che entrambe le strutture sono tranquillamente in grado di raggiungere la classe di resistenza REI 60.

Gli altri vantaggi dell'edilizia in legno

Sfatati così i principali pregiudizi relativi all'edilizia in legno, veniamo dunque ai vantaggi che solo un edificio in legno può offrire e cioè: la prefabbricazione elevata, il risparmio economico e di cubatura e la continua evoluzione delle soluzioni costruttive.

Elevata prefabbricazione

L'edilizia in legno consente di disegnare l'edificio e di prefabbricarlo tutti i componenti che verranno poi montati in loco. Prendiamo ad esempio il sistema costruttivo Residenz di Rubner Haus: la struttura portante è costituita da una costruzione in legno a traliccio. Gli elementi sono coibentati con materiali organici di alta qualità. Le pareti, rivestite all'interno da un doppio strato, sono coibentate con una resina naturale a base di sughero.

La finitura è un intonaco minerale o un rivestimento in legno profilato. L'impiego di elementi preassemblati a traliccio, incluse tutte le tracce elettriche e le condutture sanitarie, rende possibile la realizzazione di progetti di qualunque dimensione nel più breve tempo possibile. Il metodo costruttivo si distingue, accanto alla maggiore efficienza, per la stabilità e per le ottimali caratteristiche statiche.

In questo modo si possono realizzare senza problemi anche costruzioni con più di quattro piani.

L'uso della prefabbricazione non significa, tuttavia, che si tratti di una casa prefabbricata (altro pregiudizio spesso legato alle costruzioni in legno); il sistema a struttura portante a traliccio permette anche ai clienti più esigenti una libertà creativa praticamente illimitata in termini di progettazione e di realizzazione. Il processo costruttivo in sé è semplice e veloce come per una casa prefabbricata ma senza i limiti e le restrizioni date da una casa scelta da un catalogo.

Un ottimo esempio dell'alto livello di qualità estetica e di flessibilità realizzativa di questo sistema è dato dalla CasaClima «Heidis» progettata per Rubner Haus dall'architetto di fama mondiale Matteo Thun che costituisce a tutti gli effetti un moderno esempio di architettura bioclimatica in cui il legno è sapientemente combinato con

la leggerezza del vetro, e «Flora», definita la «blockhaus del III millennio» che coniuga tradizione, innovazione ed estetica.

Risparmio economico

Conseguenza diretta dell'estrema prefabbricabilità delle costruzioni in legno è il risparmio economico che si concretizza nell'assenza di spreco del materiale che viene preventivamente calcolato, nella razionalizzazione e nel risparmio dei tempi di trasporto dei materiali e nella rapidità di montaggio in loco dell'edificio. Una casa Rubner di 100 metri quadrati viene montata e consegnata finita, compresa degli impianti, in quindici giorni: si tratta di tempi neanche immaginabili per l'edilizia tradizionale con costi di manodopera fortemente ridotti. Se si considera che proprio i costi di manodopera nell'edilizia sono cresciuti in maniera esponenziale passando dal 20% del prodotto del 1950 al 60% del 2000, risulta evidente il risparmio economico ottenuto. A tutto ciò si deve aggiungere la praticità di avere un unico interlocutore cui fare riferimento che con il suo personale specializzato si occupa di tutto dalla progettazione alla realizzazione, al montaggio finale dell'edificio.

Continua evoluzione delle soluzioni costruttive

L'edilizia in legno è caratterizzata dalla continua evoluzione delle soluzioni costruttive che non riguardano solo l'aspetto estetico dell'edificio quanto anche quello strutturale e ambientale. Citiamo ad esempio Soligno, un innovativo sistema costruttivo che si compone di tavole in legno massiccio di forma rettangolare, affiancate verticalmente e giuntate a pettine. I singoli strati possono essere realizzati con legnami diversi, per cui l'aspetto del lato esterno può essere scelto a piacere.

Gli elementi per pareti, compresi i vani delle porte e delle finestre, vengono prefabbricati nello stabilimento di produzione con grandi pannelli in legno massiccio. Vantano un'ottima coibentazione termica. La parete esterna è ulteriormente munita di una lastra di isolamento termico e di intonaco minerale oppure di un rivestimento in legno profilato. All'interno vengono rivestiti in gesso oppure in legno.

Soligno rappresenta la riuscita evoluzione di un sistema ben collaudato di laminazione del legno che fu già in uso a partire dal XII secolo nella costruzione delle «chiese a palizzata» dei pionieri scandinavi dell'edilizia in legno. Gli elementi per pareti, tetti e solai per case in legno si compongono di tavole in legno massiccio di forma rettangolare, affiancate verticalmente e giuntate a pettine.

Con questa tecnica, è possibile costruire case in legno massiccio senza utilizzare chiodi o colle. Essa consente così la realizzazione di edifici assolutamente ecologici. Gli elementi in legno massiccio Soligno sono privi di sostanze inquinanti e dispongono di ottime proprietà statiche ed eccellenti proprietà insonorizzanti e termo equi-



A&RT

libranti. Creano così una qualità abitativa particolarmente elevata.

Per i prodotti Soligno si impiegano esclusivamente legnami provenienti da foreste montane coltivate secondo criteri di sostenibilità. Esso è meno soggetto alle crepe ed è naturalmente resistente ai parassiti del legno. Inoltre si distingue per la sua particolare indeformabilità.

Ecologia delle costruzioni in legno

Fin qui abbiamo descritto i principali vantaggi dell'edilizia in legno rispetto a quella tradizionale lasciando volutamente per ultimo l'aspetto più importante: l'ecologia delle costruzioni in legno.

L'utilizzo del legno nel settore edile non comporta né danni ecologici, dal momento che il legno è biodegradabile, né danni forestali, visto che vengono utilizzati solo alberi provenienti da appositi piani di rimboschimento destinati a utilizzi nel campo edilizio. Nel momento in cui la casa cessa di essere utile, il legno che la compone può essere facilmente riutilizzato per altri usi.

Rubner Haus è impegnata nella realizzazione di un'architettura sostenibile, con una produzione di case prefabbricate a basso consumo energetico, costruite con materiali naturali come il legno, materia prima per eccellenza che cresce a ciclo continuo, di lunga durata e provvista di eccezionali qualità termoisolanti, fino a sughero, canapa e gesso e a prodotti ecologici privi di additivi chimici e con l'adozione di sistemi e materiali ecologici e naturali come la parete Alaska, il rivoluzionario sistema costruttivo che garantisce livelli ottimali di isolamento termico (0,18 W/m²K) ed acustico a bassissimo consumo energetico. Tutte le case Rubner vengono infatti realizzate secondo i criteri del risparmio energetico e della sostenibilità ambientale, caratteristiche per le quali l'azienda può vantare la certificazione CasaClima rilasciata dall'Agenzia CasaClima di Bolzano, che prevede varie classi di efficienza energetica in funzione del consumo di calore annuo degli edifici.

Dal 1° dicembre 2006, l'Agenzia CasaClima di Bolzano ha infatti dato il via a questa nuova attestazione indirizzata alle aziende che prevede una serie di criteri di valutazione della qualità di tutte le fasi del ciclo produttivo e commerciale, dal primo contatto con il Cliente alla realizzazione del progetto.

L'Agenzia CasaClima concede questo ambito riconoscimento esclusivamente alle aziende che, oltre ad una grande competenza nella propria attività primaria (rappresen-

tata per Rubner dalla costruzione di case in legno) dimostrano lungimiranza e costante impegno nella difesa dell'ambiente. Può fregiarsi del titolo di «Azienda CasaClima» solo chi sa offrire alla propria clientela un'assoluta sicurezza per quanto riguarda la costruzione di una CasaClima, in tutti i suoi aspetti.

Il legno è oggi la materia prima rinnovabile maggiormente disponibile, l'unica a necessitare soltanto di acqua, aria e sole per crescere. Rubner utilizza esclusivamente legno proveniente dai boschi alpini a riforestazione controllata. La lavorazione del legno richiede un consumo limitato di energia primaria, non rilascia emissioni e, al momento dello smaltimento, se utilizzato in processi di termovalorizzazione, restituisce il CO₂ accumulato durante la crescita dell'albero, con un bilancio di CO₂ neutrale, o meglio, pari a 0.

Inoltre, per il trasporto dei materiali di costruzione di una casa Rubner di circa 100 metri quadri bastano 3 camion, invece dei 20 di una casa in muratura, con un risparmio di carburante e una forte riduzione delle emissioni di CO₂.

Il riscaldamento e l'essiccazione del legno negli stabilimenti di produzione Rubner, infine, avviene esclusivamente con il cippato di risulta, dunque senza energie fossili.

Le case Rubner, poi, sono riciclabili al 100%. Questo significa non alterare assolutamente il ciclo naturale, non lasciare ruderi, quindi ridurre sensibilmente l'impronta che l'uomo lascia sul territorio. Le case Rubner sono realizzate con materiali ecologicamente pregiati, fra cui il legno, ma anche i pannelli di fibragesso e di cellulosa e gli isolanti canapa e sughero.

Nelle case Blockhaus, nei sistemi a grandi pannelli o a lastre in legno massiccio di Rubner molti di questi materiali conducono una vita invisibile ma efficace: tutte le case Rubner rispondono ai requisiti previsti dall'Agenzia CasaClima e possono pertanto essere certificate in classe B, A oppure Oro.

Grazie all'impiego di materiali totalmente ecologici ed esenti da componenti nocive oltre che ad un ciclo produttivo condotto in ogni fase nel rispetto di severe norme ambientali, le case Rubner sono in linea anche con i requisiti fissati da Natureplus®, Associazione internazionale per l'edilizia e l'arredamento sostenibile, che garantiscono un drastico contenimento delle emissioni di CO₂ nell'ambiente.

Costruire con ossatura leggera di legno: la scuola materna ecologica di Vinovo

Building with light wooden frame: the green children school in Vinovo

MATTEO ROBIGLIO - INTERVENTO ORGANIZZATO DA LA FOCA GROUP

Abstract

Il caso studio proposto riguarda la sperimentazione in un edificio pubblico di medie dimensioni del sistema costruttivo «Platform Frame», tecnica corrente in Nord America e oggi di crescente applicazione in Europa, che consente di precostruire la struttura portante in legno impiegando elementi fitti di piccole dimensioni, in modo da limitare i costi ed i tempi di costruzione. La nuova scuola materna di Vinovo è il frutto di un processo virtuoso di innovazione finanziaria, progettuale, tecnica e comunicativa. Un processo a regia pubblica che ha visto l'Amministrazione Comunale protagonista attraverso l'impostazione di un brief di progetto ambizioso sotto il profilo fruitivo – con la scelta di dotazioni e spazi sopra gli standard di legge – costruttivo – con la scelta di un sistema costruttivo in legno – e finanziario – con la scelta del leasing in costruendo come strumento operativo. Avventura Urbana ha elaborato i progetti definitivo ed esecutivo della struttura scolastica, degli esterni e degli arredi, basandoli sulla sostenibilità non solo economica ma anche ambientale dell'intervento.

La strategia progettuale ha permesso alla scuola – di 3.000 m² e 9 sezioni per 270 bambini – di raggiungere un punteggio ITACA elevato: 4,21 punti su 5, grazie all'impiego di materiali riciclabili, il controllo bioclimatico e dei consumi energetici con un involucro compatto, ad alto isolamento e con una accresciuta inerzia termica nonostante l'intrinseca leggerezza, ombreggiamento e illuminazione naturale, solare fotovoltaico, sonde geotermiche e tetto verde.

The following study case depicts the experimentation of the «Platform Frame» system in a medium-sized public building. This building technique, dominant in North America and nowadays increasingly used in Europe, allows the pre-construction of the bearing wooden frame by using small-sized structural materials, in short periods of time and with minimal costs. The brand new green nursery in Vinovo is the result of a virtuous process of innovation in finance, planning, technique and communication.

The process has been entirely directed by the municipal administration, through the definition of a brief, containing an ambitious project from various viewpoints: fruitationally, with the selection of tools and spaces upon the law standards, structurally, with the choice of a building system in wood and financially, with the choice of the building leasing procedure as operational tool. Avventura Urbana developed the definitive and executive projects of the school building, the exteriors and the furniture, with special consideration to economical and environmental sustainability. The design strategy allows the school – 3.000 square meters, 9 courses for 270 children in total - to reach a high ITACA (an Italian Rating System for buildings' sustainability) score, 4.21 on a scale of 5, due to the use of recyclable materials, of bioclimatic control and compact shell energetic consumes with high insulation and increasing heat inertia besides the inherent lightness, of shadowing and natural light, solar photovoltaic, geothermal augers and green roof.

A&RT

Costruzione in legno leggera: il legno «povero» e la sua efficacia

La costruzione in legno ha una secolare nobile tradizione nell'architettura. È la tradizione delle grandi travature lignee unitarie o composite, della sperimentazione dei primi schemi reticolari, perfino delle prime sperimentazioni scientifiche sul comportamento delle travi – momento di passaggio dalla statica delle “regole dell'arte” alla statica del calcolo come modernamente la intendiamo. È una tradizione di strutture che, nelle diverse configurazioni, vedono il legno impiegato nel suo sviluppo longitudinale in grandi elementi direttamente derivati o assemblati dalla lavorazione dei fusti arborei, dedicato al superamento delle luci orizzontali: con una chiara distinzione di compiti tra struttura lignea orizzontale, struttura portante verticale ed elementi di involucro.

Esiste però, a fianco di questa storia maggiore, una storia minore di un legno povero, fatto di piccoli pezzi leggeri – quasi gli «scarti» della lavorazione dei grandi fusti – impiegato nell'edilizia ordinaria in Europa fin dall'epoca romana e intensamente dal Medioevo al Settecento: le *Fachwerkhäuser*, case graticcio – l'*opus craticium* romano – le *maison à colombages* o *maison à pans de bois*. Un legno che

si presta, grazie all'impiego di elementi leggeri e iterati nell'assemblaggio in schemi fitti, ad un duttile impiego nella costruzione soprattutto di case, senza richiedere una particolare qualità del materiale né sotto il profilo meccanico, né sotto quello estetico, spesso nascosto per decoro sotto uno strato di intonaco.

La tradizione costruttiva canadese e nordamericana conosce, a partire dalla metà dell'Ottocento, la tecnica del *balloon-frame* – il primo esempio documentato è del 1832 a Chicago – anch'essa basata sull'impiego di legname di piccola dimensione, in questo caso tavole lunghe ma sottili. Qui, come nella costruzione a graticcio, involucro e struttura si fondono in un insieme unitario: l'ossatura leggera può essere «intasata» di materiale isolante e quindi «rivestita» di doghe lignee, con eventuale sovrapposizione di intonaco o di altri materiali.

Questa tecnica evolverà nel Novecento nel *platform frame*, che consente di considerare la parete già in fase di assemblaggio come un elemento rigido, grazie alla realizzazione di un elemento unico di telaio e parete doppia con funzione di controvento.

Il procedimento costruttivo si semplifica ulteriormente, permettendo di ridurre la costruzione ad un vero e pro-

Figura 1. Planimetria generale.

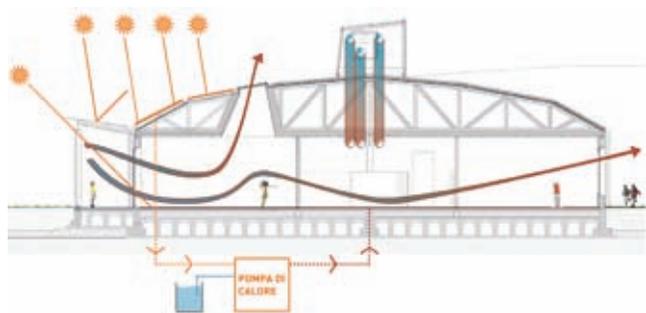
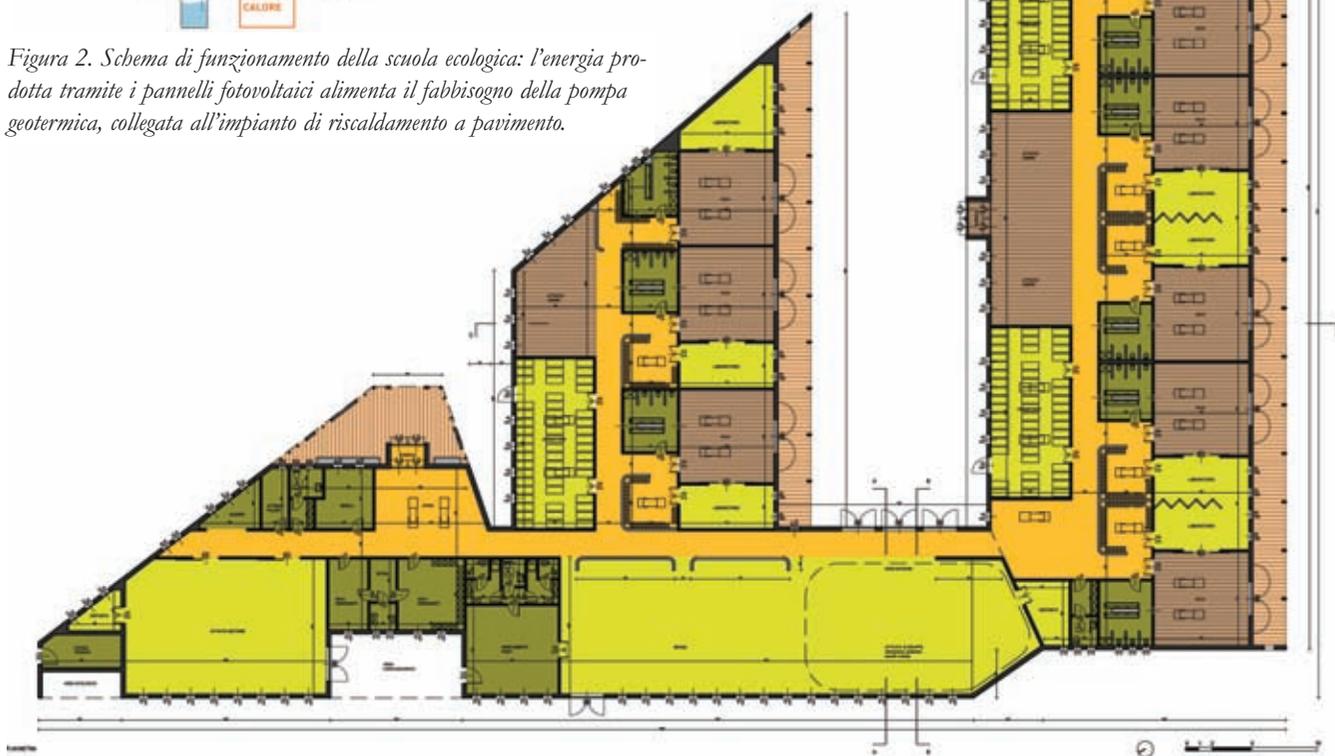


Figura 2. Schema di funzionamento della scuola ecologica: l'energia prodotta tramite i pannelli fotovoltaici alimenta il fabbisogno della pompa geotermica, collegata all'impianto di riscaldamento a pavimento.



prio assemblaggio di elementi-parete, in un procedimento semplificato e perciò industrializzabile, simile a quello di altre forme di prefabbricazione con componenti bidimensionali.

Queste caratteristiche ne fanno tuttora il sistema costruttivo più diffuso per l'edilizia residenziale unifamiliare, suburbana o rurale, in Nord America, ma anche in Scandinavia e sempre più in Germania, dove il settore della costruzione in legno ha quasi raddoppiato la propria importanza nell'ultimo decennio arrivando a costituire il 14,2% del mercato residenziale e il 18,7% del non residenziale ¹.

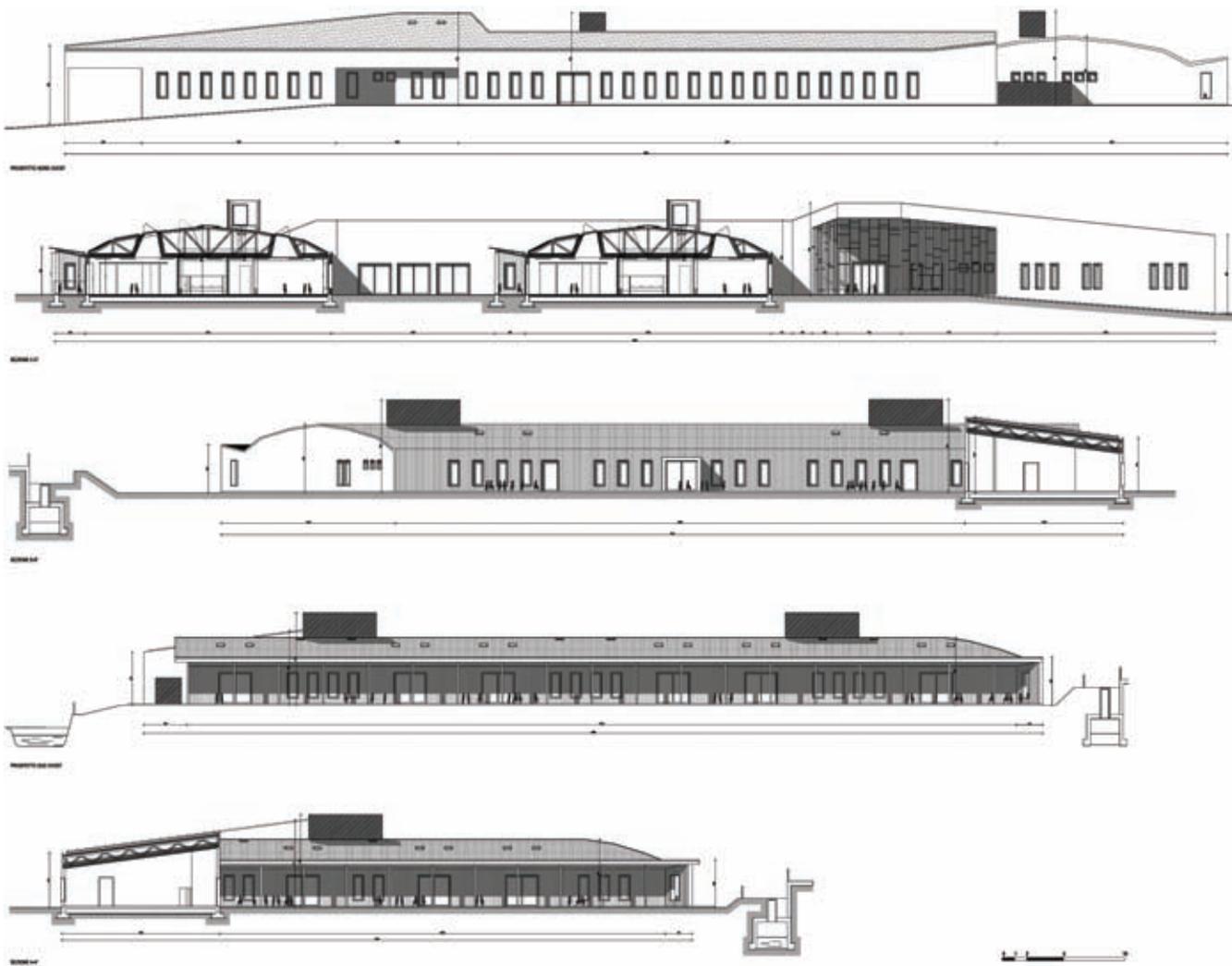
Si tratta in sostanza di un legno «laico» che si presta a realizzare i più diversi tipi di costruzione, meglio se di modesta altezza, senza richiedere di apparire nell'edificio finito. Con questa tecnica è stata realizzata la nuova Scuola Materna di Vinovo, applicando un procedimento costruttivo consolidato – diffuso ad esempio anche in Piemonte negli anni '60 per le residenze secondarie in contesto montano, in particolare fino a quando Programmi di Fabbricazione e Piani Regolatori hanno considerato questo tipo di costruzioni come «non-edifici» in qualche

modo reversibili, consentendone la realizzazione anche fuori dalle aree edificabili – ma ad una scala dimensionale e ad un tema di progetto ancora inediti almeno nel nostro contesto e tuttavia in rapida diffusione ormai in tutta Italia (la consacrazione definitiva è stato l'intervento d'emergenza seguito al terremoto del 2008 in Abruzzo) superando il pregiudizio culturale verso un sistema costruttivo di matrice nordica.

Una nuova scuola materna a Vinovo

Nel 2008 l'Amministrazione Comunale di Vinovo decide di dare risposta a un bisogno emerso nella piccolo centro: una nuova scuola materna per accogliere le domande di iscrizione provenienti dalla città e dai comuni contermini, in costante crescita, rilocalizzando la struttura oggi ospitata in un complesso degli anni '70 condiviso con elementari e medie inferiori. Le esigenze di partenza, riassunte nel progetto preliminare posto a base di gara ², sono quelle tipiche di un investimento pubblico: una realizzazione rapida e poco onerosa e costi di gestione contenuti. L'Amministrazione Comunale decide però di utilizzare il suo investimento per promuovere anche la

Figura 3. Dall'alto: prospetto nord-ovest verso il Castello Della Rovere; sezione sulle aule ed i laboratori; sezioni sulla mensa e vista dei giardini interni; prospetto sud-ovest.



A&RT

sostenibilità ambientale. La nuova scuola vuole essere un esempio di qualità dell'intervento edilizio sotto il profilo energetico e bioclimatico, al passo con il quadro normativo delle più recenti politiche energetiche dell'Unione Europea – che prevedono per gli edifici di nuova realizzazione l'obbligo di essere energeticamente autosufficienti a partire dal 2018, con un anticipo al 2015 per gli edifici pubblici – caratterizzato da una costruzione lignea, prestazioni termiche e scelte impiantistiche finalizzate alla massima efficienza ed impiego di tecnologie basate su fonti di energia rinnovabili.

Nel progetto preliminare vengono definite le caratteristiche fondamentali destinate ad essere sviluppate architettonicamente e tecnicamente nelle fasi successive di progettazione: realizzazione di una struttura prefabbricata prevalentemente in legno ad un piano fuori terra destinata ad accogliere, su una superficie di 3.000 m², spazi per la didattica rivolta a 270 bambini e relativi spazi di servizio (tra i quali mensa, dormitori, palestra, sala spettacoli e feste).

Il luogo scelto per la costruzione dell'asilo è vicino al centro storico (via Garibaldi), accessibile facilmente e, soprattutto, direttamente affacciato e collegato allo storico parco del Castello Della Rovere. Per la realizzazione dell'edificio l'Amministrazione Comunale bandisce una gara caratterizzata da una procedura innovativa che prevede la progettazione e la realizzazione «chiavi in mano» dell'opera da parte di un soggetto privato che riunisca capacità progettuale, capacità realizzativa, e capacità di finanziamento: il «Leasing Immobiliare in Costruendo»³. Elevate prestazioni ambientali, realizzazione in tempi brevi (sistema prefabbricato) e sistema di finanziamento innovativo (leasing immobiliare) sono i tre concetti chiave di questo intervento, che si propone dunque di conseguire un obiettivo ambizioso seppure in un quadro generale di crescente difficoltà dei conti pubblici e della capacità di investimento delle Pubbliche Amministrazioni.

Figura 4. Il basamento in calcestruzzo.



Il progetto

Nel dicembre 2008 Avventura Urbana in partenariato con le imprese di costruzione S.E.C.A.P. (opere edili), La Foca (strutture e pareti in legno), Tecnelit (impianti) e con il gruppo finanziario ING-Lease (leasing immobiliare) risulta vincitrice della gara per la progettazione e realizzazione della scuola. Nello stesso mese si avvia la redazione del progetto definitivo e quindi dell'esecutivo approvato nel maggio 2009. La possibilità di collaborare direttamente con le imprese di costruzione – contrariamente a quanto avviene con le procedure di appalto ordinarie, basate sulla totale separazione di tempi e ruoli tra progettista ed esecutore – consente di ottimizzare in fase di progetto le procedure di realizzazione e messa in opera, valorizzando la capacità tecnica, le specificità e l'esperienza di chi materialmente realizzerà l'architettura, valutando preventivamente costi e tempi comportati da diverse possibili soluzioni progettuali per uno stesso compito.

La scuola occupa un lotto di risulta acquisito come cessione di area a servizi da un piano esecutivo residenziale contiguo.

È un lotto triangolare, in leggera depressione, ma con la positiva vicinanza con il parco del Castello, che consente di ipotizzare un uso integrato della Scuola – che grazie alla dotazione di spazi accessori sopra i requisiti degli standard di legge e ad una gestione estesa nell'arco della giornata potrà ospitare attività associative, culturali e ludiche rivolte alla cittadinanza e non solo ai bambini – e del parco, che già costituisce una rilevante infrastruttura sociale del Comune.

L'impianto planimetrico è praticamente obbligato, e si è quindi mantenuto quanto già prefigurato nel preliminare a base di gara: forma del lotto e forma dell'edificio coincidono nell'articolazione in due maniche destinate ad ospitare le sezioni scolastiche – ognuna delle quali è costituita da aula, laboratorio e servizi igienici – e le

Figure 5. Il montaggio di una parete, realizzata con un sistema costruttivo a telaio formato da montanti 4.5x14,5 riempito con isolante e controventato su entrambi i lati da pannelli strutturali in legno (Durelis).



attrezzature comuni a coppie di sezioni – spazio di gioco e stanza per dormire – sono perpendicolari alla lunga manica che ospita i servizi comuni: mensa, sala spettacoli, palestra, spazi per i docenti e la segreteria, deposito.

La distinzione tra le maniche didattiche e la manica di servizio è stata posta in evidenza nello sviluppo del progetto con un diverso trattamento architettonico: le prime hanno copertura curvilinea in lamiera metallica colorata, tagliata da grandi lucernari destinati a omogeneizzare la distribuzione della luce naturale nella profonda manica doppia e risvoltata sulla facciata nord fino a terra, mentre la facciata a mezzogiorno si apre in un porticato ligneo continuo; la seconda ha falda a unica pendenza con tetto verde leggero, orientata verso il parco in modo da fare emergere dal muro di cinta settecentesco la sola vista del tappeto vegetale di *sedum*, ed è resa penetrabile dalla corrispondenza delle finestrate maggiori, che permette in periodo estivo la continuità tra giardini interni e parco; nel punto di massima elevazione la falda unica sporge a coprire una «piazza» di ingresso destinata all'attesa dei genitori al termine dell'orario di scuola.

Il legno appare come materiale di rivestimento nei porticati e nell'ingresso con un *bardage* orizzontale continuo in lamelle di pino, nei luoghi cioè dove diventa materiale tattile, da toccare e guardare perché avvicinabile.

Nel resto dell'edificio assolve alla propria funzione statica e di involucro restando coperto dallo spesso cappotto isolante esterno o dal risvolto della copertura di lamiera, e verso l'interno dalla finitura con lastre in gessosilicati – materiale necessario a garantire la protezione al fuoco degli elementi lignei di parete e copertura.

Il passo tra le listellature e le travature di copertura varia tra i 60 e gli 80 cm. La grande luce richiesta è interrotta dall'appoggio intermedio formato da portali in legno lamellare, lasciati a vista.

Fa eccezione il trattamento degli appoggi dello sbalzo a copertura dell'ingresso principale, che mostrano «il truc-

co» di un edificio altrimenti non distinguibile da una costruzione tradizionale, rivelando a vista l'ossatura leggera del *platform frame*.

Dal progetto alla realizzazione

Nel maggio 2009 iniziano i lavori di fondazione, e a luglio parte l'assemblaggio in sito delle pareti lignee prefabbricate negli stabilimenti lettoni di La Foca. A ottobre l'edificio è «chiuso» e il cantiere procede all'interno, consentendo ai lavoratori di affrontare i mesi invernali con un comfort ben diverso dal quello di un cantiere tradizionale. La chiusura del cantiere è stata fissata per il giugno 2010 – benché tecnicamente avrebbe potuto essere compiuta già in febbraio, a soli otto mesi dall'avvio dei lavori – per consentire con una variante migliorativa di rafforzare la dotazione di fotovoltaico prevista inizialmente in progetto, rendendo la scuola autosufficiente dal punto di vista energetico.

La scuola entrerà in esercizio per il nuovo anno scolastico nel settembre 2010. Oltre ai tempi di realizzazione, che sono circa la metà di un edificio tradizionale grazie alla rapidità di assemblaggio, il sistema *platform-frame* consente di ridurre i costi di costruzione del 30% circa rispetto alle strutture tradizionali.

Il costo complessivo finale della scuola è di circa 3.000.000,00 €, pari a circa 1.000 €/m², nonostante le eccellenti dotazioni di tecnologie impiantistiche, superiori agli standard di legge attuali su cui si misura il mercato privato e pubblico.

Inoltre la leggerezza dei materiali e la preparazione in officina permettono di risparmiare energia sul cantiere, che necessita per le lavorazioni una potenza di soli 6kW/h, poco più di un'utenza domestica. Il lavoro a secco, la leggerezza dei componenti, il tipo di utensileria impiegata, le condizioni di lavoro prevalentemente in interno concorrono nel loro insieme a migliorare la sicurezza dei lavoratori in cantiere.

Figure 6. Il montaggio di una parete, realizzata con un sistema costruttivo a telaio formato da montanti 4,5x14,5 riempito con isolante e controventato su entrambi i lati da pannelli strutturali in legno (Durelis).

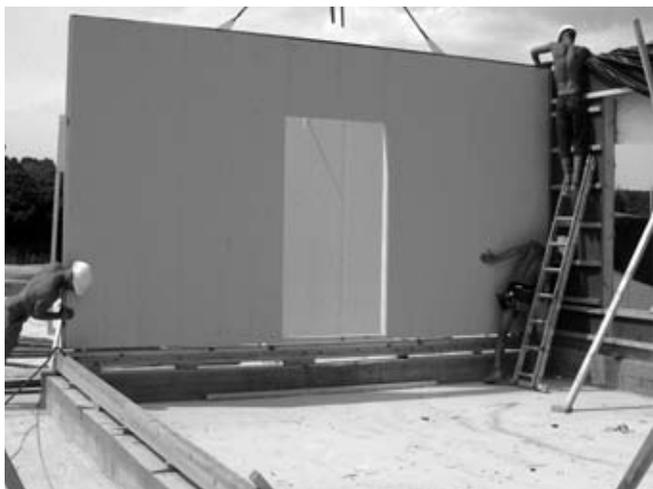


Figure 7. La copertura dei due blocchi dedicati ad aule, laboratori e dormitori prima della posa in opera dell'isolamento e delle lastre copertura e controsoffitto.



A&RT

Una scuola materna nuova

La scuola ecologica di Vinovo sarà il primo edificio pubblico in Piemonte a non impiegare nel proprio ciclo energetico combustibili fossili: non consuma neppure un litro di gasolio o un metro cubo di gas per il riscaldamento e necessita di un quarto di energia rispetto ad un edificio tradizionale grazie alla trasmittanza termica media dell'involucro di $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$, all'uso di pavimenti radianti integrato dalla distribuzione di aria calda con recupero di calore dell'aria primaria di ventilazione in espulsione, con un consumo energetico previsto di $28 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$ – (pari ad una classe energetica A secondo il metodo Casaclima).

I pannelli fotovoltaici sul tetto, infatti, alimentano il fabbisogno delle pompe geotermiche che estraggono calore dall'acqua di falda, risorsa qui molto ricca, disponibile in quantità in tutta la pianura irrigua a sud di Torino. Gli impianti sono progettati per settori al fine di poter utilizzare l'edificio per parti, senza sprechi, sono dotati in tutti gli ambienti di rilevatori di presenza per lo spegnimento automatico in caso di assenza di persone, e sono predisposti per il collegamento alla centrale comunale di comando remoto con possibilità di ottimizzare i consumi a seconda dei flussi di utilizzo. La scuola, dovrebbe così a regime azzerare i propri consumi energetici, portandosi in linea con gli obiettivi futuri delineati dalla normativa europea, e contribuire al controllo del cambiamento climatico con il conseguente azzeramento delle proprie emissioni di CO_2 .

Non meno importante è la natura dei componenti edilizi, in un'ottica di sostenibilità di lungo periodo che consideri anche ciò che accade delle costruzioni a fine esercizio: una scuola tradizionale, costruita con materiali non riciclabili, al termine del proprio ciclo di vita deve essere demolita, la nuova scuola invece se necessario potrà essere smontata per riciclare l'80% dei suoi materiali strutturali. Allo stesso tempo, se la scuola dovesse essere modificata o integrata in futuro la struttura lignea ad ossatura leggera consente di intervenire ex post riconnettendosi

Figure 8. La copertura dei due blocchi dedicati ad aule, laboratori e dormitori prima della posa in opera dell'isolamento e delle lastre copertura e controsoffitto.



alle strutture preesistenti, in uno degli infiniti punti di ancoraggio offerti dalla successione fitta dei telai, senza demolizioni e riciclando i materiali già in opera.

Arredi ed esterni per una scuola accogliente

I bambini si rapportano con l'ambiente con fervida immaginazione e questo deve essere capace di stimolare la loro curiosità e di divenire solidale con la loro grande avventura del crescere. Molti di noi ricorderanno la difficoltà di iniziare il proprio ciclo formativo, cambiando abitudini e ritmi all'improvviso. Per questa ragione la rampa di ingresso alla scuola è stata trasformata in un grande gioco all'aperto, prendendo spunto dai disegni dei bambini e diventando, così, più rassicurante e fantasiosa: si scenderà dal livello di via Garibaldi, l'ingresso pedonale principale perché più diretto dal centro storico, lungo una rampa pedonale e ciclabile attrezzata sul fianco verso la scuola con elementi tattili, figurativi e ludici i cui motivi e forme derivano dall'interazione svolta nell'autunno del 2009 nelle classi dell'attuale scuola materna. Si risolverà in questo modo uno dei principali elementi negativi del sito, il lungo muro controterra in cemento armato che segna il lato lungo del lotto triangolare, a sostegno di una lottizzazione privata preesistente. Il processo partecipativo ha voluto integrare in itinere le preferenze degli operatori della scuola e dei suoi piccoli "abitanti" in un progetto già definito attraverso meccanismi consueti di decisione, intervenendo sulla forma degli spazi aperti e sulla dotazione di arredi interni. Ogni classe uscirà così direttamente, attraverso il filtro del portico ligneo, in un giardino di classe, sorta di aula a cielo aperto per il gioco e le attività didattiche *en plein air*, mentre dagli spazi comuni un belvedere verrà aperto sul parco, consentendo anche l'accesso ai bambini alle attrezzature del verde urbano. Nel perimetro della scuola saranno realizzati piccoli orti destinati ad essere coltivati dai bambini, ed aree di lettura con sedute circolari in legno sotto gli alberi più grandi. La scelta degli arredi e dei giochi interni si è basata sull'esperienza delle scuole materne di Reggio Emilia, punto di

Figura 9. Il rivestimento in legno della facciata a sud prima della posa in opera del porticato esterno.



riferimento di eccellenza nella sperimentazione pedagogica per la prima infanzia, selezionando materiali colorati e forme in grado di stimolare la fantasia e di attivare le energie dei bambini.

Dati del progetto

Progetto preliminare a base di gara

Ufficio Tecnico Comunale con la consulenza di Studio Associato IN.AR di Ruffino & C. e Agenzia Energia Ambiente Torino

Nuovo progetto preliminare, preliminare in fase di gara, progetto definitivo ed esecutivo

Avventura Urbana www.avventuraurbana.it

Responsabili

Matteo Robiglio, Isabelle Toussaint

Collaboratori

Roberta Minola, Francesco De Giorgi, Stefano Foscarin, Luciano Laffranchini, Sonia Montaldo, Paolo Porporato, Giovanni Santachiara

Imprese

Secap, La Foca, Tecnelit

Banca

ING Lease

Direzione lavori

Studio Associato IN.AR di Ruffino & C.

Responsabile del procedimento

geom. Luigi Miniace

Committente

Comune di Vinovo

Matteo Robiglio, architetto, è professore associato di progettazione architettonica e urbana al Politecnico di Torino. È responsabile dell'area architettura e urbanistica di Avventura Urbana.

Matteo Robiglio, architect and Professor in Architectural and Urban design at the Department of Architectural and Industrial Design of Turin Polytechnic. He leads the design branch of Avventura Urbana.

Note

¹ Dati dal rapporto annuale 2010 del Bund Deutscher Zimmermeister.

² Sviluppato dall'Ufficio Tecnico Comunale con la consulenza dell'arch. Elio Ruffino e dell'Agenzia Energia Ambiente di Torino.

³ Il leasing in costruendo è una forma di finanziamento privato delle opere pubbliche, inizialmente disciplinata dalla legge finanziaria 2007 e recepita dal codice degli appalti pubblici (Decreto legge numero 163/06 e articolo 160-bis). Si tratta di una forma di realizzazione di opere per mezzo della quale un soggetto finanziario anticipa all'appaltatore (impresa costruttrice) i fondi per eseguire l'opera pubblica e, successivamente all'avvenuta esecuzione, viene riscattato dal soggetto appaltante (la Pubblica Amministrazione) attraverso la corresponsione di canoni periodici.



Figura 10. Particolare della "piazza coperta" all'ingresso della scuola materna.

Figura 11. Il rivestimento in lamiera grecata colorata della facciata esposta a nord.



Meno di 1.700 euro al m² per una casa in Provincia di Bolzano che mostra i suoi pregi solo agli intenditori

Less than 1.700 euro/sqm. for a house in Bolzano that shows its advantages only to connoisseurs

COSTRUTTORI CASA CLIMA

(articolo tratto da "Casa&clima" n.17, gennaio 2009)

Una famiglia come ce ne sono tante: due figli, un impiego a tempo pieno nell'amministrazione pubblica e uno part-time per seguire l'educazione dei ragazzi. Come capita a tutte le coppie, con l'aumentare del numero dei componenti della famiglia aumentano anche le necessità di spazio. Il cambio di abitazione era obbligato e potendo contare su un budget contenuto, la «nostra» famiglia ha scelto di farsi costruire una porzione di villetta a schiera, come ce ne sono tante, con un investimento nella media del mercato, circa 1.700 euro al m², incluso terreno e oneri.

Ma gli elementi in comune con le villette circostanti finiscono qui. Il confronto, effettuato attraverso la termografia, mostra le caratteristiche fuori dal comune di questa villetta, una CasaClima A⁺ con fabbisogno energetico di appena 16 kWh/m²a (parametrato alla città di Bolzano) e un contrassegno Plus rilasciato in Alto Adige agli edifici abitativi che si contraddistinguono non solo per l'alto risparmio energetico, ma anche per l'adozione di una tecnica costruttiva ecocompatibile e l'utilizzo di fonti rinnovabili. C'è da osservare che la nostra famiglia ha fatto scelte piuttosto esigenti per la propria casa: pareti in telaio tradizionale in legno, isolamento in fibra di legno, infissi con telaio legno-alluminio-XPS e tripli vetri, caldaia a pellet, pannelli radianti a pavimento, impianto di ventilazione meccanica e aspirapolvere centralizzato. Tecnologie un tempo di nicchia, oggi non

Figura 1. Vista dell'esterno.



ancora a buon mercato, ma non irraggiungibili da una famiglia tipo, a dimostrazione che una costruzione di qualità con una progettazione energeticamente attenta e una buona organizzazione del cantiere consentono di ridurre gli sprechi a vantaggio del prodotto finito.

Pareti a telaio tradizionale in legno

La struttura di questo sistema costruttivo è costituita da un telaio in legno a più parti che forma l'impalcatura della parete e da tavole trasversali per renderla sufficientemente rigida. Le nervature del telaio si basano sugli standard americani, equivalenti a 6/14, 6/16, 8/14 o 8/16 cm.

La distanza tra gli assi varia da 62,5 cm a 81,5 cm, mentre per porte e finestre sono stati utilizzati i cosiddetti architravi nel telaio. I materiali per l'isolamento sono posti negli spazi vuoti tra i telai. Un freno al vapore all'interno e un telo frangivento all'esterno impediscono la formazione della condensa e l'ingresso di aria fredda nell'edificio.

Il rivestimento interno si effettua con pannelli a fibra di gesso o con tavolato a vista in legno e lo stesso vale per il rivestimento esterno. Le strutture a telai in legno si combinano con il sistema a solaio americano platform frame, composto da montanti alti un piano.

Tempi stretti

La scelta di una costruzione in legno è dovuta sia alla tradizione della zona, la Val Sarentino, sia alla necessità di fare in fretta. In una località con oltre 4000 gradi-giorno il lavoro deve procedere velocemente per non restare bloccato dalle nevicate invernali. Il progettista ha scelto di utilizzare, per l'interrato, moduli prefabbricati in CA da gettare in opera, riducendo notevolmente i tempi per la cassetatura e il disarmo. La struttura leggera in legno ha consentito inoltre una riduzione delle fondamenta (e dei relativi costi), mentre le pareti a telaio tradizionale sono giunte in cantiere già preassemblate. Tutto ciò ha permesso di completare l'edificio nell'arco di pochi mesi.



Figura 2. Vista dell'esterno.

Figura 3. Solaio a tavole impilate.

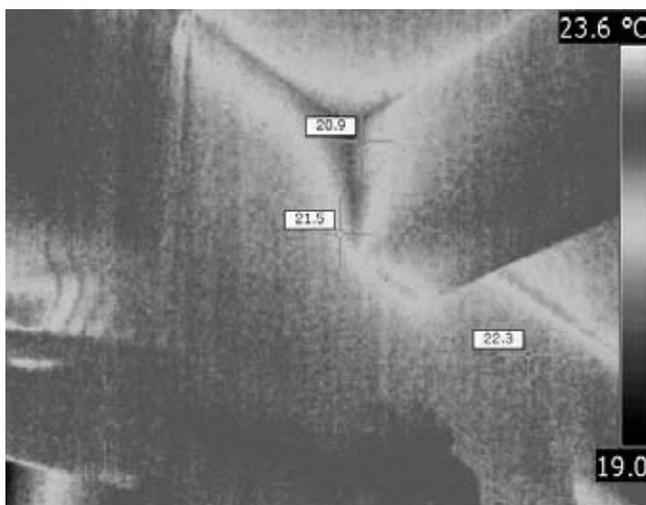
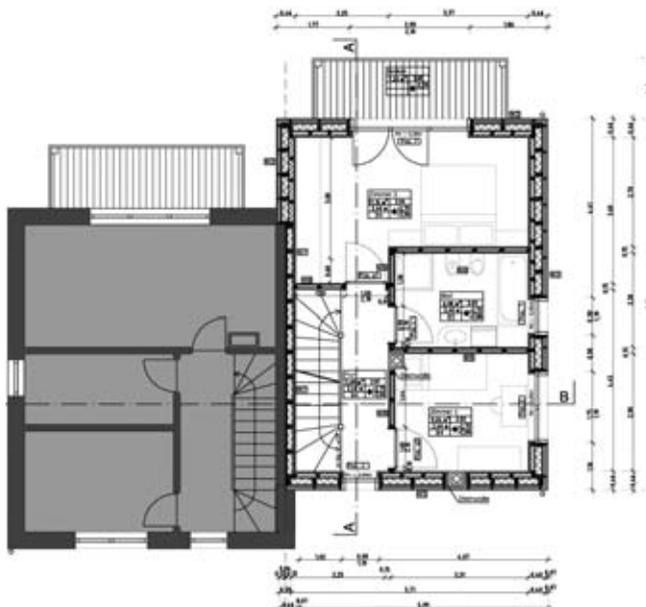


Figura 4. Termografia della trave appoggiata sul telaio portante della parete esterna.

Figura 5. Pianta.



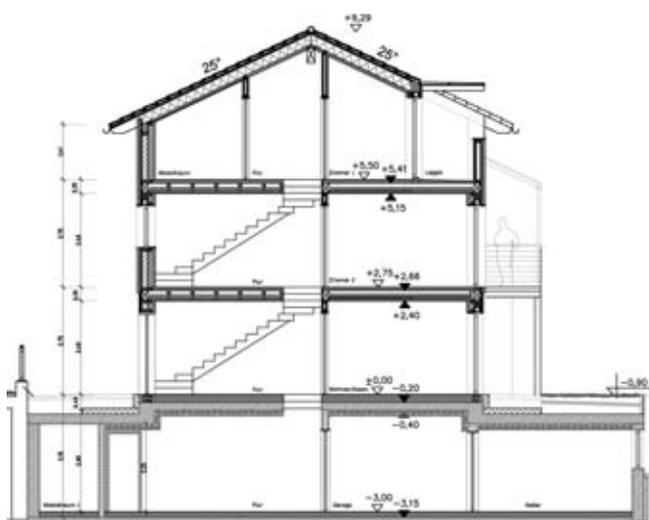
Pareti sottili

Per ridurre l'impronta sul terreno e sfruttare al massimo la cubatura edificabile, il progettista ha impostato il progetto su uno sviluppo verticale. La casa si compone di un ampio interrato destinato ad autorimessa e ai vani tecnici, un piano terra utilizzato come zona giorno, e due piani destinati alla zona notte. L'adozione di una struttura in legno ha permesso di limitare lo sviluppo verticale dei 3 piani fuori terra – i solai in legno pieno sono alti 18 cm –, ma anche orizzontale: le pareti perimetrali sono infatti spesse non più di 24 cm, a vantaggio dell'abitabilità interna.

Consumi sotto controllo

L'edificio è stato progettato per ottenere la certificazione in Classe A, e per questo era sufficiente un fabbisogno di energia per il riscaldamento inferiore a 30kWh/m²a. Il progettista, per perseguire questo obiettivo e contenere i costi, ha lavorato su una costruzione molto compatta, ma perfettamente in linea con gli edifici di tipo tradizionale presenti nella zona. Importanti sono state anche le scelte impiantistiche: l'adozione di un sistema di ventilazione meccanica per far fronte a ricambi d'aria energeticamente onerosi, considerando le rigide temperature invernali e la bassa inerzia termica dell'edificio in legno; pannelli radianti specifici per sistemi costruttivi a secco; una canna fumaria in laterizio posizionata al centro dell'edificio per recuperare maggior calore possibile dai fumi. In corso d'opera, il committente ha optato per infissi maggiormente performanti (triplo vetro con telaio in legno a taglio termico) e ha preferito aumentare lo spessore dell'isolamento per garantirsi un maggiore comfort interno. Ciò ha consentito di ridurre gli spessori degli isolamenti

Figura 6. Sezione trasversale.



dove non strettamente necessari, ad esempio sulle coperture orizzontali e verticali verso i locali non riscaldati, compensando parzialmente la maggiore spesa. Il risultato è un fabbisogno energetico per il riscaldamento di appena 16kWh/m²a.

Solaio a tavole impilate

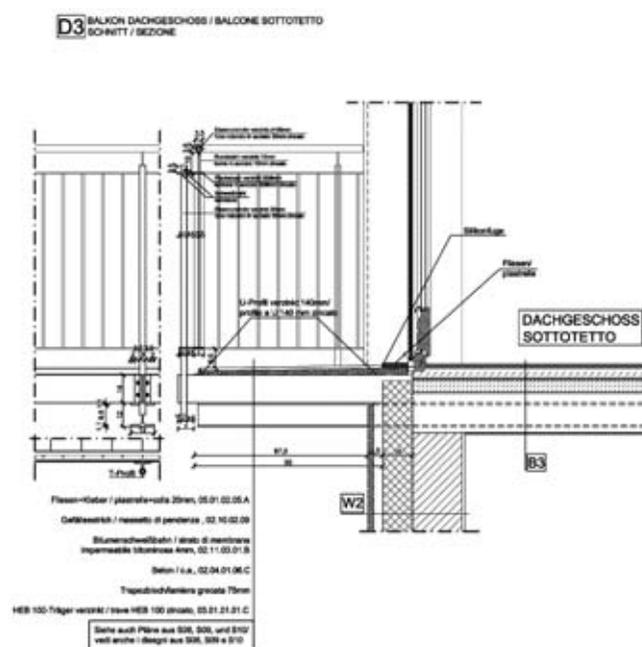
Il solaio a tavole impilate è semplice da gestire perché tutti gli elementi si trovano all'interno dell'involucro edilizio e non vi sono quindi ulteriori esigenze di tenuta all'aria.

Spesso si combinano con i sistemi di costruzione a telaio tradizionale in legno, dove la pila di tavole funge da solaio massiccio a differenza dei classici solai a travi. Il materiale di partenza per questo tipo di solaio è la tavola o i tavoloni. Elementi a tavole impilate incollate sono in realtà travi in legno lamellare posate in piano e realizzate con tavole giuntate a pettine. In genere, si collegano attraverso il fissaggio con chiodi di acciaio o alluminio. Questo tipo di solaio è anche caratterizzato da un'altezza di sezione molto ridotta rispetto a quelli a travi convenzionali e quindi influenza l'altezza dell'edificio. Essendo gli elementi a tavole impilate sistemi portanti monodirezionali con rigidità trasversale scarsa, è importante che corrano il più possibile paralleli alle aperture delle scale o alle pareti con grandi finestre. Comunemente vengono realizzati con altezze tra i 12 e i 24 cm, poiché al di sotto dei 10 cm aumenta la suscettibilità alle vibrazioni, mentre oltre i 26 cm diventa difficile reperire il materiale.

Rinnovabili per riscaldare

In Alto Adige sta acquisendo particolare valore, anche sotto il profilo immobiliare, la certificazione di sostenibilità ambientale «+» (Plus). Rispetto al protocollo sempli-

Figura 9. Particolari costruttivi.



ficato Itaca, adottato da molte Regioni italiane, che prevede 19 parametri di ecocompatibilità per i quali si riceve un punteggio, la certificazione di sostenibilità ambientale Plus adottata in Provincia di Bolzano richiede il rispetto di 5 parametri, uno dei quali riguarda l'utilizzo di fonti rinnovabili. La scelta più ovvia, anche in relazione alle tradizioni locali, era l'adozione di un generatore di calore a biomassa.

Il basso fabbisogno dell'edificio, la ridotta potenza necessaria (appena 3,86 kW), la bassa temperatura di esercizio dell'impianto radiante a parete e a pavimento, avrebbe reso in passato molto difficile reperire sul mercato un generatore di calore adatto. Per fortuna, l'industria impiantistica non è rimasta indietro rispetto alle tecnologie costruttive. Recentemente, infatti, sono state introdotte caldaie a pellet, anche a condensazione, con potenze termiche da 2 a 8 kW.

Caratteristiche

- Indice termico dell'edificio (rapportato alla città di Bolzano): 16 kWh/(m²a)
- Indice termico dell'edificio (riferito al comune di appartenenza): 27 kWh/(m²a)
- Gradi-giorno comune di appartenenza: 4024
- Superficie di dispersione termica dell'involucro dell'edificio: 311 m

- Rapporto s/v: 0,65 1/m
- Perdite di calore per trasmissione Q_t : 8528 kWh/a
- Perdite di calore per ventilazione Q_v : 1752 kWh/a
- Guadagni termici per carichi interni Q_i : 2913 kWh/a
- Guadagni termici solari Q_s : 4659 kWh/a
- Rapporto tra guadagni termici e perdite di calore: 74%
- Fabbisogno di calore per riscaldamento nel periodo invernale: 3877 kWh/a
- Valori di trasmittanza termica
- Coefficiente medio di trasmittanza globale dell'involucro U : 0,27 W/(m²k)
- Coperture verticali U : 0,17 W/(m²k)
- Coperture orizzontali verso locali non riscaldati U : 0,30 W/(m²k)
- Coperture orizzontali tetto U : 0,17 W/(m²k)
- Coperture trasparenti (triplo vetro) U_w : 0,8 W/(m²k)
- Progettazione architettonica: Arch. Barry van Eldijk, Bolzano (BZ)
- Progettazione strutturale: Ing. Sebastian Vigl, Bolzano (BZ)
- Direzione lavori: Ing. Thomas Schrentewein, Bolzano (BZ)
- Calcolo energetico: Ing. Manuel Schieder, Bolzano (BZ)
- Carpenteria in legno: Plattner Bernhard, Campolasta (BZ)
- Impresa edile: Treuer S.r.L., Sarentino (BZ)

Figura 7. Particolari costruttivi.

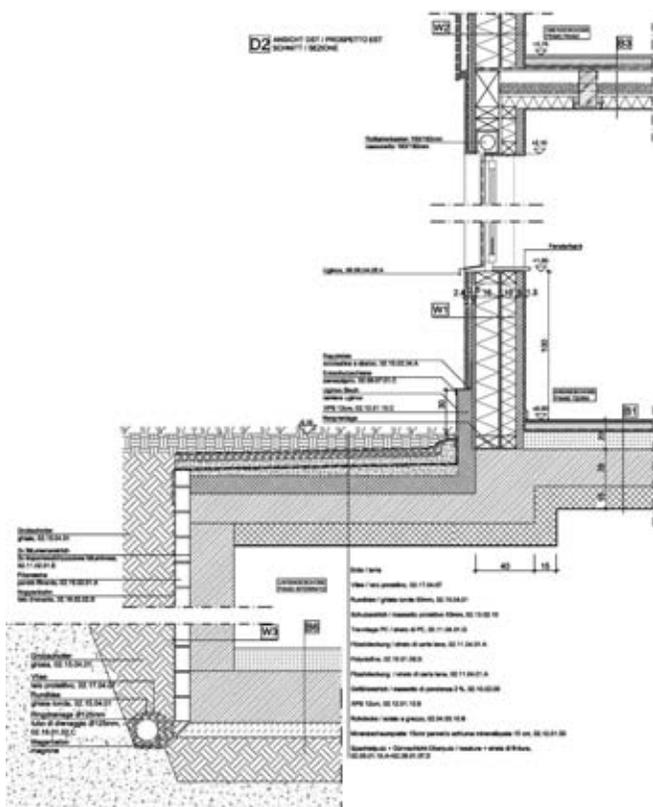
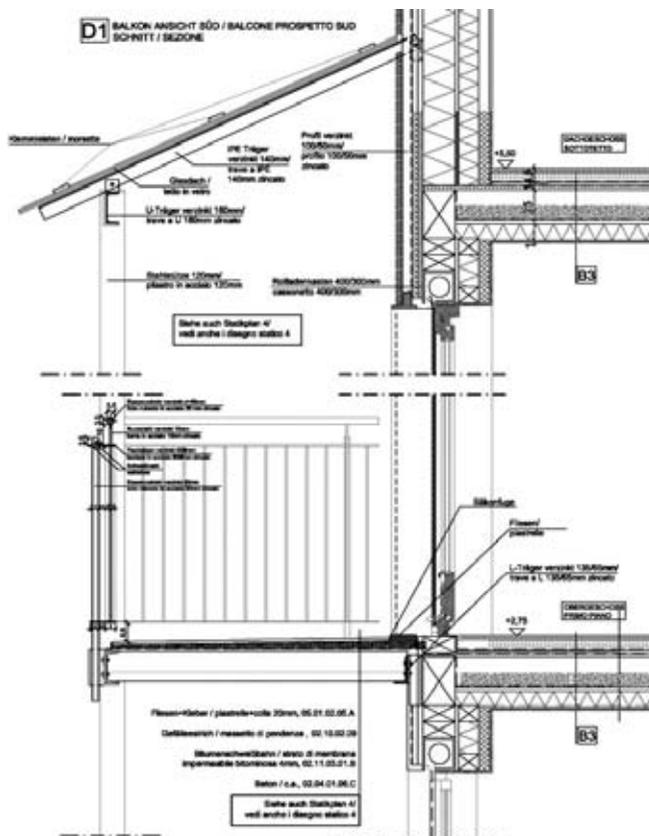
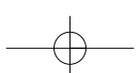
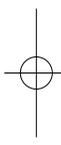
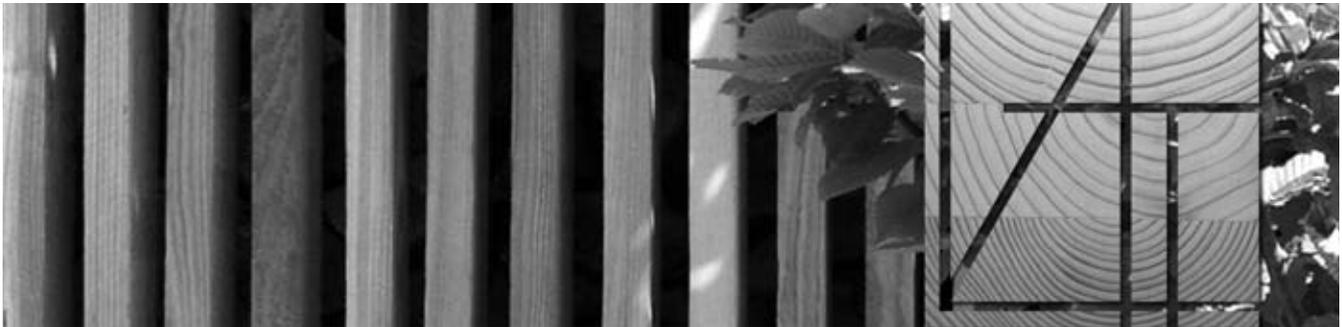


Figura 8. Particolari costruttivi.





Parte terza. Recupero, restauro e manutenzione
Part three. Recovery, restoration and maintenance



Restauro e consolidamento delle strutture lignee antiche

Consolidation techniques of ancient wooden structures. Critical scrutiny and scope

GENNARO TAMPONE

Le più interessanti strutture lignee, realizzate o semplicemente progettate, che costituiscono il patrimonio architettonico italiano sono caratterizzate da concezione spaziale, quindi, in genere, organizzazione tridimensionale; si osservano in questi sistemi ricerca di razionalità nelle dimensioni delle membrature, nella configurazione delle unità strutturali in rapporto alla geometria, nella entità delle campate fra diverse unità strutturali facenti parte di un sistema. La scelta di collegamenti e vincoli è appropriata.

Una costante del patrimonio italiano è il ricorso alla tradizione classica i cui capostipiti sono, per le coperture degli edifici, la capriata con monaco e saette (la capriata di tipo mediterraneo) e la capriata con falsa catena (quelle adoperate in area veneta e da Palladio in particolare) nelle varianti con monaco centrale o monaci laterali.

L'evoluzione nel tempo delle strutture elementari e, al contrario, il permanere di determinati tipi come le capriate di tipo mediterraneo, dimostrano che i progettisti hanno saputo riconoscere i pregi che ogni tipo presentava e, se necessario, hanno apportato varianti e proposto nuove tipologie, spesso con notevole inventiva, per mitigare, contrastare o eliminare i difetti.

La problematica della conservazione deve dunque tener conto di tali caratteri, ciascuno specifico della propria temperie culturale, per preservarli quali valori essenziali dell'architettura e delle strutture portanti, oltre che testimonianza di raziocinio, creatività, esperienza, magistero.

Per ogni struttura antica gli elementi che devono essere salvaguardati e conservati sono la funzionalità, la configurazione generale e quella di ogni elemento del sistema, i materiali antichi, autentici, nel proprio apparecchio; anche le trasformazioni e le alterazioni storicizzate, purché congrue e non lesive, devono essere conservate. La conservazione delle manifestazioni dei dissesti occorsi, quali connotazioni tecniche che documentano il comportamento delle strutture e giustificano gli interventi di consolidamento, richiedono accurata documentazione e conservazione *in corpore monumenti* oltre che negli altri modi possibili, quali audio visivi, informatici ecc.

L'accanimento terapeutico non è consigliabile; ma vi sono modi per evitarlo lasciando integre le strutture.

Condizione indispensabile per attuare interventi che non siano inutili se non addirittura dannosi, che non apportino alterazioni e al tempo stesso siano efficaci, è la conoscenza approfondita del complesso strutturale in studio nella sua concezione e configurazione, tenendo conto delle caratteristiche dei materiali costituenti, e soprattutto traendo ispirazione dai comportamenti che il sistema ha tenuto in opera. È cioè indispensabile conoscere il sistema strutturale danneggiato determinandone la configurazione strutturale, la condizione degli elementi, l'anamnesi.

Ciò è però argomento di altra comunicazione.

I criteri da perseguire per il consolidamento delle strutture lignee antiche sono: compatibilità funzionale, fisico-chimica, estetica, congruenza filologica e funzionale, reversibilità. I modi tecnici che in generale si rivelano appropriati sono aggiungere dispositivi di consolidamento di preferenza piuttosto che togliere parti di ridotta o perduta funzionalità, operare in sito senza effettuare smontaggi, per preservare i materiali originari e l'apparecchio che altrimenti sarebbero danneggiati o distrutti. In generale è preferibile, al fine di ottenere una totale reversibilità, apporre dispositivi esterni alle membrature piuttosto che posizionarli, con operazioni cruente, all'interno. I consolidamenti devono essere percepibili in modo da poter essere messi con facilità in relazione alle manifestazioni dei dissesti; ciò consente di comprendere la funzionalità e di compierne l'esame critico.

La progressione operativa che si rivela in generale più opportuna, in considerazione della organizzazione gerarchica delle strutture portanti, specialmente di quelle appartenenti al dominio del discreto come appunto quelle lignee e di acciaio, è di puntellare e, salvo eccezioni determinate da esigenze particolari, far precedere la riparazione delle membrature ad ogni altra operazione. A questa seguiranno, nell'ordine, la riparazione dei collegamenti tra membrature, la riparazione delle unità strutturali, quella delle membrature ausiliarie e quella dei collegamenti delle membrature ausiliarie con le unità. Il recu-

pero integrale del funzionamento a sistema della carpenteria nel suo complesso, che già si compie, almeno parzialmente, con l'ultima operazione ora descritta, è di importanza fondamentale per assicurare la stabilità oltre alla resistenza.

Completano l'intervento la regolazione degli organi di tensione, il controllo che l'intervento sia stato efficace nel funzionamento senza che si siano verificati effetti secondari indesiderati e la manutenzione.

Ciascuna tecnica di riparazione ha evidentemente dei limiti di applicabilità e delle restrizioni. Peraltro ogni tipologia di possibili applicazioni deve essere scelta in rapporto ad una disamina di vantaggi-svantaggi e comunque adattata ai singoli casi particolari che si presentano.

Ogni soluzione è generalmente passibile di pre- o più spesso post-tensionamento che rende il provvedimento e lo stesso dispositivo attivo, cioè già in funzione prima che intervengano ulteriori deformazioni; tale condizione imposta introduce sicuramente effetti benefici nel comportamento dell'elemento o dell'unità strutturale riparata.

Membrature

Il consolidamento delle membrature si compie con il conferimento di resistenze supplementari, direttamente con specifici dispositivi aggiunti (in genere armature o elementi che aumentano la sezione resistente) oppure,

Figura 1. Un esempio di architettura di legno (Fachwerkbau): il *Templum Pacis*, Swidnica, Polonia (foto Tampone, 2009).



Figura 2. Aumento della sezione di un pilastro ligneo con guance lignee, *Templum Pacis*, Swidnica, Polonia. È evidente la rotazione della parete contrastata dal tirante (foto Tampone, 2009).



A&RT

indirettamente, con l'aumento della rigidezza, con l'aumento del grado di vincolo, con l'aggiunta di membrature supplementari nel sistema.

Le riparazioni possibili sono quelle topiche, limitate ad una ridotta parte della membratura, quella affetta da danno o lesione, che però devono essere ben radicati nel legno ancora sano delle sezioni a monte e a valle, e quelle di carattere generale. Tra le prime si segnalano le applicazioni ed il fissaggio di guance laterali, per esempio di legno, le *fettonature* secondo la terminologia in linguaggio Veneto adoperata da Franco Laner.

Ad un altro ordine di idee appartengono le applicazioni all'intradosso di membrature inflesse di cavi inseriti in appositi incavi e recuperati, mediante fori, nelle regioni estradossali alle estremità dei cavi e delle stesse membrature; i cavi sono post-tesi prima del disarmo dei puntelli. Tale provvedimento è spesso da integrare con altri provvedimenti di riparazione nelle regioni dell'estradosso dove la membratura è eventualmente affetta da lesioni causate dalla compressione.

Ma i cavi possono essere applicati all'esterno, realizzando in tal modo delle centinature, e ciò produce notevoli vantaggi quali maggiore semplicità operativa, ridottissima invasività, maggiore facilità di regolazione (per esempio, mediante comuni tenditori a manicotto), rassicurante percepibilità del dispositivo nel suo complesso non

disgiunta dalla scarsa invasività visiva, totale reversibilità. Si può fruire anche di un braccio maggiore per il momento resistente. Hanno il vantaggio fondamentale di avere azione limitata esclusivamente alla parte di membratura consolidata, con nullo effetto sulle altre membrature eventualmente collegate.

Si applicano male alle membrature costituite da tondame o non rettilinee. Sono delle deduzioni della capriata inventata da Camille Polonceau nel 1839; se ne trovano sporadici, rudimentali esempi nella prima metà del '900. Sono riportati alcuni tipi che, da una prima applicazione innovativa in una capriata del teatro di Sarteano in provincia di Siena, sono stati particolarmente sviluppati in seguito con cavi molto flessibili di acciaio inossidabile. Alcune soluzioni sono di carattere speditivo.

I casi di estremità di membratura danneggiata (sono gli attacchi fungini in maggior misura e eventualmente anche entomatici (di insetti) che generalmente hanno la responsabilità del degrado, che è debilitante anche in senso strutturale) si possono talvolta risolvere con l'apposizione, in acollo agli appoggi murari o lignei, di mensola che sostiene la membratura o il nodo strutturale in regioni di legno sano, generalmente più interne rispetto al nodo. L'asta o il nodo non devono essere fissati al supporto; in zona sismica, ove il collegamento è opportuno anzi richiesto, è preferibile interporre delle molle.

Figura 3. Consolidamento di parte di puntone di capriata con centina di barre d'acciaio, Teatro di Sarteano, (Tampone, 1989).

Figura 4. Aumento della sezione di un puntone ligneo con guance lignee, Templum Pacis, Swidnica, Polonia (foto Tampone, 2009).

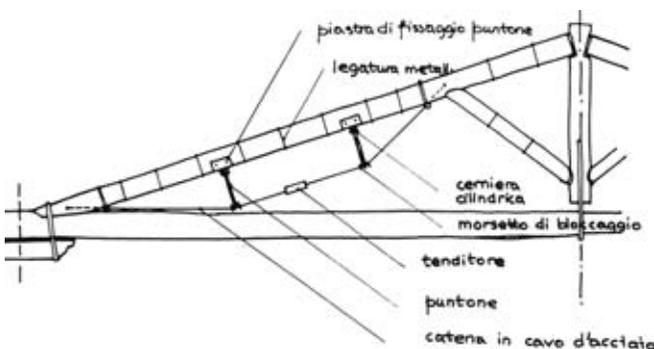
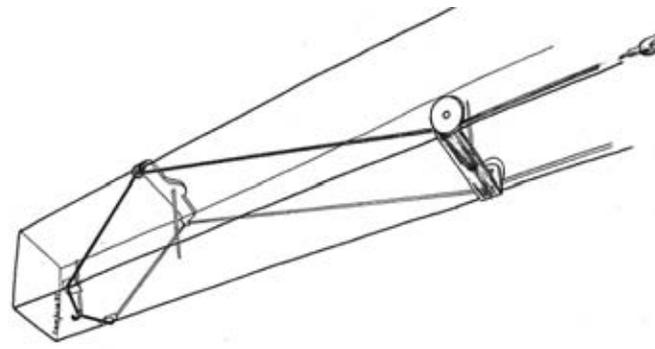


Figura 5. Centina speditiva di cavo d'acciaio (Tampone, 2002).

Figura 6. Realizzazione di una centinatura secondo lo schema dell'autore (Follesa, Lauriola, 2005).



Confinatori, piuttosto che collegamenti rigidamente vincolanti ai supporti murari, sono in generale indicati per evitare dislocazioni del nodo perpendicolari alla parete.

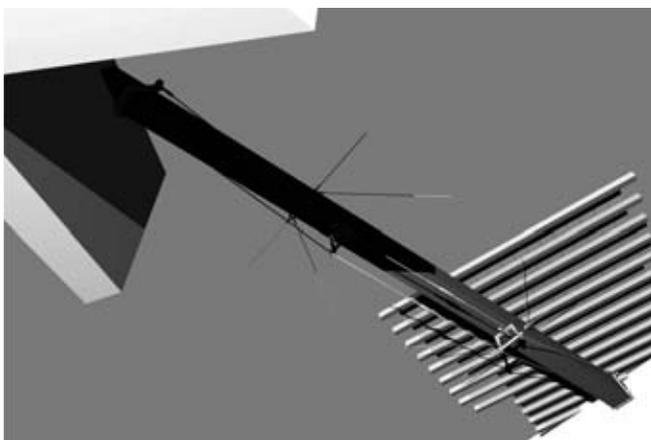
Sono provvedimenti generalmente reversibili anche se invasivi e visibili; si adattano molto bene nei sottotetti.

Una tipologia di intervento, di cui l'autore è inventore (vedi riferimenti bibliografici), è costituita dall'inserimento di una o più lamine resistenti (pannelli di legno per usi strutturali, semplici o armate, lamine di acciaio, lamine di FRP ecc.) all'interno di membratura inflessa insufficientemente dimensionata o eccessivamente inflessa oppure lesionata a trazione e a compressione; si tratta dell'estensione dell'inserimento di cavi sopra indicato nei casi di danno grave.

Le lamine sono collegate alla membratura lignea con spinotti trasversali e si estendono, salvo che non siano adottate per riparare rotture molto localizzate, a tutta la lunghezza e per quasi l'altezza della membratura il che garantisce una ottimale distribuzione delle tensioni di reazione all'interno del legno antico e una efficace misura nei confronti delle rotture a compressione. L'inserimento avviene dopo aver praticato, dall'estradosso o dall'intradosso a seconda delle circostanze e delle possibilità, delle fessure verticali nella membratura lignea, lasciando uno spessore ligneo integro, utilizzando una sega a lamina che, per sicurezza degli operatori, è montata su apposita slitta che scorre su guide. Il dispositivo ha analogie con le caviglie di acciaio dei montanti di legno lamellare disegnate successivamente da Renzo Piano per il Centro comunitario di Noumea in Nuova Caledonia, di cui una parte comprendente il dispositivo in questione è stata ricostruita a Genova. È provvedimento potenzialmente reversibile, discreto, efficace e duraturo; l'acciaio all'interno del legno è protetto dagli sbalzi termici, dal calore eccessivo di eventuale incendio e dalla corrosione.

Il provvedimento è applicabile a qualsiasi membratura inflessa (trave, colmo e arcarecci, puntoni ecc.) purché diritta, preferibilmente a sezione costante.

Figura 7. Centina per il consolidamento di trave di solaio danneggiata e controventi di stabilizzazione (Tamponi con la collaborazione di Pier Paolo Derinaldis, 2009).



Le protesi di conglomerato di resina epossidica collegate, in genere, con barre di fibra di vetro al legno residuo, sono da evitare perché aliene al legno, tanto più se applicate a collegamenti di aste con un getto unico che distrugge la duttilità del nodo, cioè la possibilità di sia pur modeste rotazioni relative delle membrature concorrenti. I problemi di instabilità delle aste snelle si affrontano aumentando il grado di vincolo alle estremità oppure riducendo la lunghezza libera di inflessione con vincoli posti nella parte centrale dell'asta.

La sostituzione di membratura irreparabilmente danneggiata è talvolta inevitabile ancorché incresciosa. Questa operazione, che sembrerebbe la più facile da eseguire, è tuttavia problematica perché distruttiva di collegamenti e di legno in un largo intorno; per queste ragioni è la soluzione preferita dagli imprenditori. È sempre preferibile, a parere dell'autore, lasciare la membratura in opera aggiungendo però elementi e dispositivi coadiuvanti.

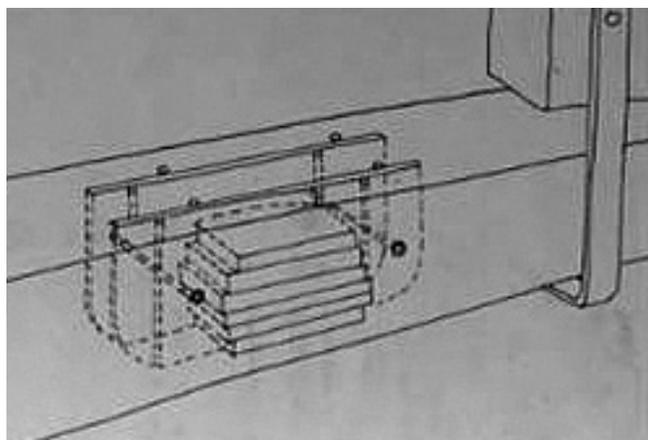
Collegamenti

A proposito degli interventi sui nodi di telai e incavallature assumono pertanto interesse le protesi di legno lamellare in opera attuate anni fa dal compianto Claudio Messina, per esempio alle testate delle capriate del teatro di San Casciano, Firenze, in cui le estremità della catena e del puntone mantengono la propria identità e autonomia, ancorché quest'ultima sia modesta.

Gli interventi sui collegamenti, dei cui criteri si è detto, sono sempre assai problematici; il blocco dei collegamenti, cioè la privazione dei gradi di libertà consentiti, deve sempre essere evitato. Sono preferibili interventi localizzati, semplicistici e minimali purché efficaci e duraturi.

Il problema ricorrente nelle capriate e incavallature relativi ai puntoni che, per cattivo disegno del nodo oppure per rottura del franco della catena o per rottura a compressione deviata della estremità inferiore del puntone o per altre cause, scorrono sulla estremità della catena

Figura 8. Consolidamento di catena di capriata con lamine di acciaio inserite all'interno e collegate con spinotti (Tamponi, Firenze, 1989).



A&RT

costringendo il monaco o i monaci a premere sulla catena trasformandola da tirante in membratura inflessa, si può opportunamente risolvere applicando al nodo tra le due membrature una cerchiatura regolabile, posizionata con angolo diverso da 90° rispetto allo spigolo del puntone, leggermente inclinata quindi nella direzione del movimento, per essere «attiva».

Le cerchiature devono essere ancorate con l'apposizione di gattelli o con perni o chiodature. Si realizzano preferibilmente in acciaio inossidabile. Devono essere distanziate dal legno antico con l'inserimento di spessori di legno di sacrificio e regolabili; possono essere dotate di occhietti per l'aggancio di cavi per il controventamento di falda e la stabilizzazione longitudinale.

Sono dispositivi assolutamente reversibili, regolabili, poco visibili, efficaci, duraturi; hanno il grande pregio di mantenere la duttilità del nodo, un requisito di grande importanza in aree sismiche. I provvedimenti descritti devono essere completati con la riparazione del collegamento tra puntone e monaco, tra arcarecci e puntoni.

Unità strutturali

È vano pensare di raddrizzare direttamente in opera, con azioni localizzate, una incavallatura o una capriata distor-

ta; smontaggio e rimontaggio sono le operazioni più idonee che in taluni casi possono essere eseguite per parti, in opera. In caso di lieve svergolamento – per esempio, rotazione del monaco nel piano verticale passante per il colmo – la stabilità della intera unità strutturale può essere recuperata con ancoraggi o controventature che impediscono l'ulteriore rotazione della membratura. La rotazione del monaco nel piano della incavallatura, cioè verso uno dei due puntoni, un caso molto frequente causato, prevalentemente, da asimmetria del collegamento, può essere contrastata migliorando il collegamento con le saette esistenti (una delle due è generalmente affetta da instabilità per carico di punta) o con l'apposizione di saette supplementari.

Lo stesso dicasi per l'accatastamento, più frequente nelle coperture a capanna prive di controventamento trasversale di cui sono invece dotate le coperture a padiglione, che produce inefficienza e pericoli di instabilità; quando il fenomeno è molto lieve gli effetti negativi si possono correggere apponendo controventature, che possono anche avere scopo preventivo; nei casi di severa deformazione si deve operare con veri e propri raddrizzamenti attuati sciogliendo prima e migliorando successivamente i collegamenti con le membrature ausiliarie (colmo,

Figura 9. Brevetti d'invenzione (Tampone) per il consolidamento delle travi con lamine resistenti e per il consolidamento dei solai con pannelli di legno per usi strutturali.

Figura 10. Claudio Messina, tipo di imbragatura reversibile per capriata danneggiata.

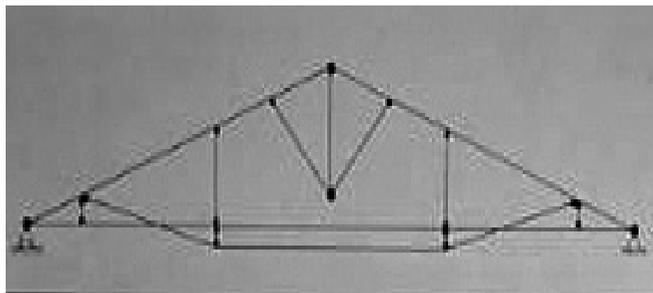
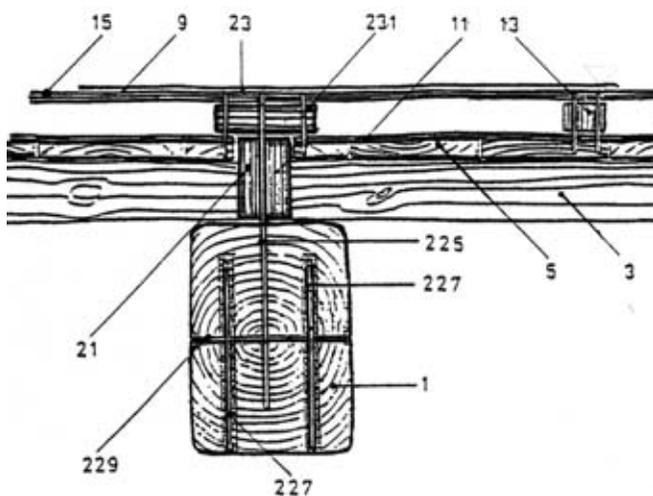


Figura 11. Claudio Messina, protesi articolata di legno lamellare incollato nel Teatro di San Casciano.

Figura 12. Cerchiatura del nodo di una capriata e barre metalliche inserite nella muratura d'appoggio della capriata per consolidare la parete e diffondere la pressione indotta dalla capriata (Tampone con la collaborazione di Pier Paolo Derinaldis, 2009).



arcarecci e travicelli, eventuale tavolato).

Per quanto concerne i solai, il consolidamento, l'irrigidimento o il confinamento delle travi principali e secondarie costituenti l'unità, secondo quanto indicato per le membrature, isolatamente o in combinazione, è già un passo importante per il recupero dell'efficienza (resistenza, rigidezza, stabilità) del solaio stesso.

È spesso però necessario operare anche con il conferimento delle resistenze e delle rigidezze mancanti ovvero perdute rispettando e conservando la configurazione originaria. Si persegue anche con la riduzione del grado di libertà che i vincoli consentono alle membrature ma soltanto se ciò fosse indispensabile, cioè se non sono possibili soluzioni alternative.

L'intento si persegue, allorché è possibile rimuovere temporaneamente o definitivamente il pavimento posato sul solaio, con la sovrapposizione di nuove unità piane supplementari di ridotto spessore, poste a occupare la posizione prima occupata dal sottofondo che, insieme al massetto ed al pavimento, è rimosso e allontanato (il pavimento può essere recuperato); le nuove unità sono rese solidali con le travi principali del solaio mediante connettori quindi con esso collaboranti.

Tali unità sono solette di calcestruzzo armato, in genere alleggerito, oppure lastre composte da pannelli di legno per usi strutturali (o ancora tavolato supplementare in doppio strato).

Le unità di nuovo apporto sono poi ancorate, con barre sigillate, anche alle pareti dell'edificio per migliorarne la stabilità alla rotazione verso l'esterno.

Le solette troppo rigide sono pericolose specialmente in aree sismiche perché potrebbero strappare il solaio dalle pareti di supporto, specialmente se queste sono deboli, com'è documentato che talvolta sia avvenuto. È essenziale la continuità della soletta e della relativa armatura con la struttura del solaio, che si realizza con appositi connettori funzionanti a taglio, ancorati alla trave e annegati nel getto.

L'apposizione di tavolati irrigiditi e resistenti, connessi alla struttura del solaio, è pratica che l'autore non condiziona.

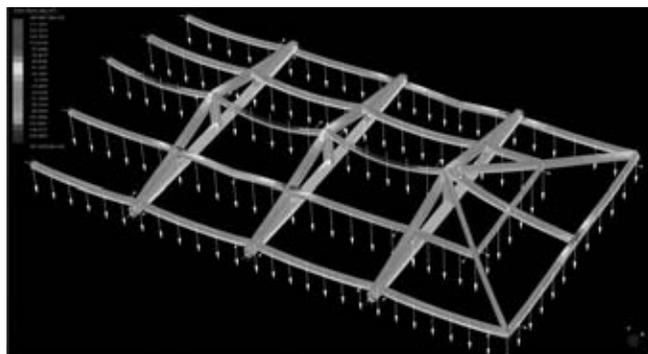
È possibile (riporto da Tampone, 2009, cit.) nella maggior parte dei casi, secondo una tendenza denominata "timber to timber", adoperare, secondo alcuni brevetti dell'autore (brevetti di invenzione n° 1278708 del 27 11.1997 e n° 1278709 del 27 11.1997 con molteplici varianti; descrizione in Tampone, 1996, 2002, cit.), pannelli di legno in alternativa al calcestruzzo armato, per realizzare piastre resistenti e rigide quanto necessario ma leggere. Smontato o eliminato il pavimento, la malta di allettamento e il sottofondo, si realizzano in opera dei macro-tamburati di pannelli di legno per usi strutturali posti parallelamente alle travi principali e resi solidali tra loro e alla struttura lignea antica mediante connettori; le piastre così formate hanno altezza compatibile con le quote originarie degli ambienti quindi occupano il posto del sottofondo e sono rese collaboranti alla ossatura della unità strutturale esistente (travi principali e secondarie, tavolato ecc.) mediante connettori verticali distribuiti anche in tal caso con i criteri già indicati per gli spinotti nelle applicazioni del consolidamento delle membrature con lamine resistenti.

I pannelli di legno sono reperibili sul mercato anche in grandi dimensioni, fino a 3 o 4 m, anche più lunghi su ordinazione (un limite è costituito dalle difficoltà che si possono incontrare per introdurli all'interno di ambienti), anche per specie legnose che assicurano particolari prestazioni come robinia, frassino, betulla e sono realizzati



Figura 13. Sostegno di nodo di capriata, la cui catena è gravemente danneggiata e deformata, con contraffisso ligneo (Tampone con la collaborazione di P. Derinaldis, Certaldo, 2009).

Figura 14. Carichi e calcolo delle deformazioni di tettoia lignea (Derinaldis, Tampone, 2009).



A&RT

con colle strutturalmente efficienti ed ecologiche. Se il tavolato originario è affidabile lo si può utilizzare in luogo dello strato inferiore di pannelli posando i distanziatori e lo strato superiore di pannelli direttamente su di esso.

I controsoffitti lignei si sono per tradizione costruiti, almeno sino alla fine del Settecento, sospesi alle catene delle capriate e delle incavallature dei tetti. Ciò trasforma la catena da tirante in trave inflessa che, non essendo in generale proporzionata a deformazione (una condizione più impegnativa della resistenza) si deforma con conseguenze indesiderate non trascurabili; il funzionamento delle unità strutturali interessate ne è affetto.

Nel caso che le capriate o incavallature siano ben dimensionate per sopportare anche il peso del soffitto la soluzione filologicamente migliore è di riportare il peso del controsoffitto, o almeno una parte significativa di esso, ai puntoni.

Le soluzioni più radicali ma al tempo stesso rispettose che si sono già in passato adottate per tali situazioni (per esempio, Giraldi, 1855, per il soffitto vasariano della Sala Nova, cioè il Salone dei Cinquecento, a Palazzo Vecchio a Firenze) consistono nell'inserimento, tra una unità strutturale (capriata o incavallatura) e l'altra, di altre unità deputate a sostenere una parte consistente del peso del

controsoffitto, sgravando alquanto ma non del tutto le unità originali.

Sistemi

Il recupero del funzionamento globale di un sistema strutturale è essenzialmente un problema di istituzione o di verifica dei collegamenti tra le componenti dello stesso sistema, al fine di recuperare le sinergie progettate con la configurazione adottata. Ciò è particolarmente importante in ambiente caratterizzato da eventi sismici.

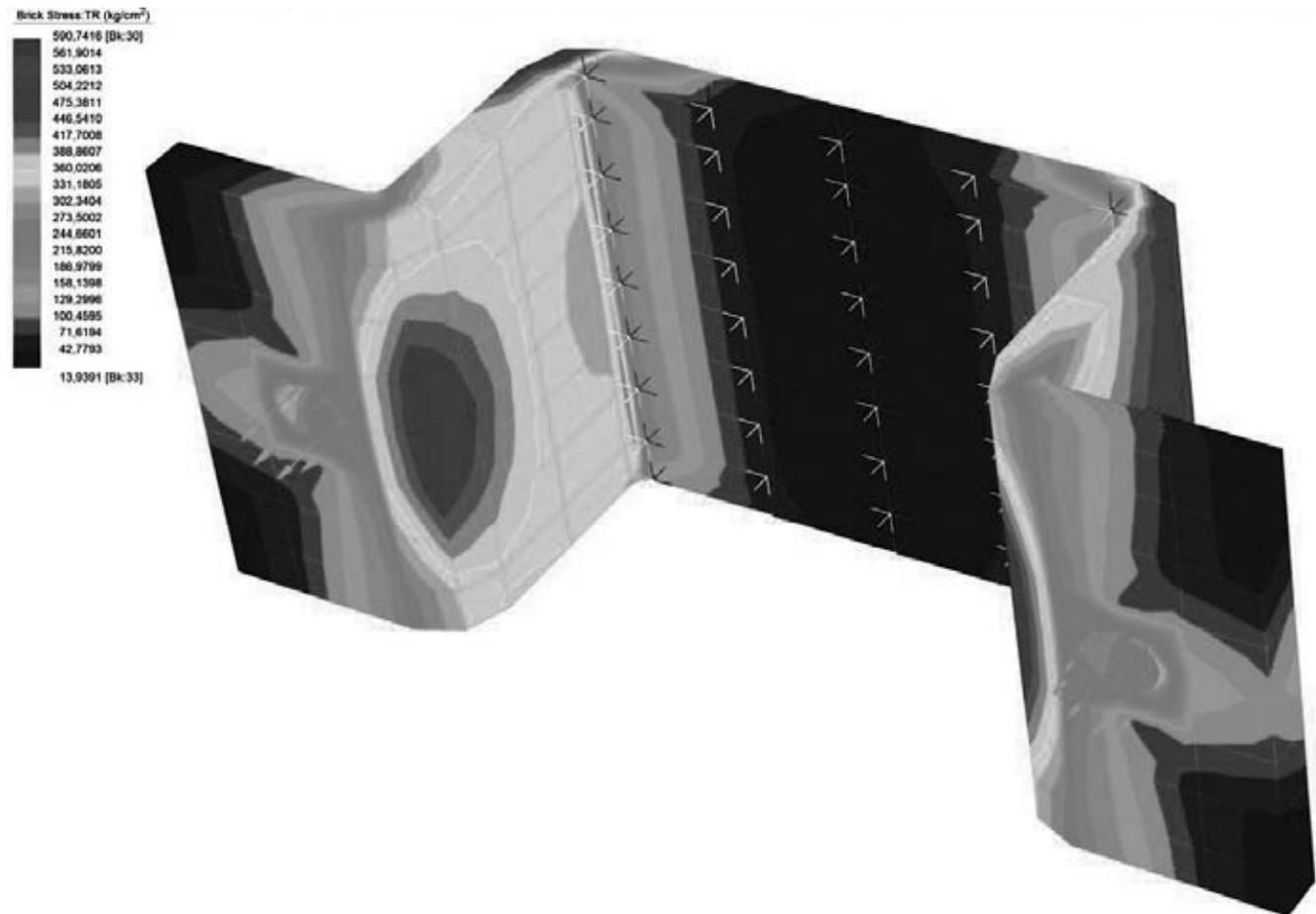
Il tavolato dei tetti e dei solai, insieme alle membrature principali e secondarie nonché a quelle ausiliarie, svolge generalmente questa funzione; i mutui collegamenti però possono essere carenti o deteriorati.

Il consolidamento consiste nel migliorare tali collegamenti e, se non sufficienti, nell'istituirne di nuovi; inoltre aumentando, se necessario, la rigidezza delle unità strutturali.

In genere ciò si attua con controventature che nella forma più semplice sono a loro volta costituite da cavi di acciaio disposti a croci di Sant'Andrea nel piano del solaio o di falda; è opportuno interporre molle e regolatori per realizzare una legatura elastica delle unità che è particolarmente opportuna in area sismica.

Altre disposizioni sono possibili.

Figura 15. Calcolo di collare per tirante (Tampono, Derinaldis)



Conclusioni

Sono dunque molteplici le soluzioni possibili a disposizione del progettista per ogni problema di consolidamento di strutture lignee antiche, ciascuna con una propria individualità e un campo ristretto di applicabilità; soluzioni combinate sono talvolta realizzabili.

È quindi possibile operare scelte oculate riducendo al minimo, con opportuni compromessi comunque inevitabili, le alterazioni del sistema strutturale e il sacrificio del materiale antico.

Gennaro Tampone, Collegio degli Ingegneri della Toscana, Università di Firenze.

Riferimenti bibliografici e normativi essenziali

TAMPONE G., 1996, *Il restauro delle strutture di legno*, Milano, Hoepli

TAMPONE G., 2003, *Il restauro delle strutture di legno*, in *Trattato sul Consolidamento*, a cura di Paolo Rocchi, Milano: Mancosu

GIORDANO G., 1981, *Tecnologia del legno*, Torino: UTET

GIORDANO G., CECCOTTI A., UZIELLI L., 1993, *Tecnologia delle costruzioni in legno*, Milano: Hoepli

CECCOTTI A., 1983, *Rafforzamento antisismico delle strutture di legno di antichi edifici: problemi progettuali ed esecutivi*, in Atti del Congresso "Legno nel Restauro e Restauro del Legno", a cura di TAMPONE G., Firenze, 1983, I vol., Milano: Palutan ed.

DEZZI BARDESCHI M., 2002, *Conservare, non restaurare (Hugo, Ruskin, Boito, Debio e dintorni)*, in *Ananke*, 35 -36, Firenze: Alinea

TAMPONE G., MANNUCCI M., MACCHIONI N., 2002, *Le strutture di legno. Cultura, Conservazione, Restauro*, Milano: De Lettera

TAMPONE G., 2002, *Istanze ideologiche e innovazione tecnologica nella conservazione delle strutture di legno*, in *Restauro*, Napoli: E.S.I.

TAMPONE G., MESSERI B., 2006, *Compliance of the Practice of Strengthening Ancient Timber Structures in Seismic areas with the Official Documents on Conservation*, 15th International Symposium and Conference (18th to 23rd September

2006, Istanbul): *Why Save Historic Timber Structures?*, in *Proceedings of the Symposium*

TAMPONE G., 2007, *Semiological Values of the Consolidation Works in the Monumental Buildings*, in *Proceedings of the Int. Conf. of ICOMOS (Theory Committee)*, ICCROM and Fondaz. Del Bianco, Firenze: Polistampa, 2008

TAMPONE G., 2009, *Riparazione, consolidamento e conservazione dei sistemi strutturali lignei antichi*, in *Manuale del Geometra e del Laureato junior*, a cura di P. Rocchi, Bologna: Proctor Edizioni

TAMPONE G., 2010, *Istanze culturali e ideologiche di conservazione delle testimonianze materiali*, Giornata di studi su "Cultura umanistica e tecnica per la conservazione degli edifici storici e monumentali", Firenze 2009, in *Bollettino Ingegneri*, n° 1-2 del 2010, Firenze: Collegio degli Ingegneri della Toscana

MESSINA C., PAOLINI L., 1986, *Savona. Teatro Gabriello Chiabrera*, in *Principi e rassegna di interventi*, Collana "Acciaio e riuso edilizio", Genova: Italsider

TAMPONE G., Campa L., 1987, *Rinforzo e consolidamento di travi lignee con inserimento di lamine dall'estradosso o dall'intradosso*, brevetto di invenzione n. 122590

TAMPONE G., 1997, *Struttura lignea composta da pannelli e da travetti distanziatori, sovrapposta al solaio ligneo esistente per aumentare resistenza e rigidità*, brevetto di invenzione n. 1278708 del 27.11.1997

TAMPONE G., 1997, *Membratura lignea composta per il rinforzo o il consolidamento delle travi principali dei solai lignei esistenti, con intervento dall'estradosso*, brevetto di invenzione n. 1278709 del 27. 11.1997

LANER F., MENEGATTO A., 2001, *Incalmi e fettoni, indicazioni per la riparazione degli elementi degradati*, in *Adrastea*, 17, Edolo (BS): Habitat legno

ICOMOS WOOD INTERNATIONAL COMMITTEE, 1999, *Principles of Conservation of the Historic Timber Structures*, Assemblea Generale ICOMOS, Mexico City

CNR-DT 201/2005, *Studi preliminari finalizzati alla redazione di Istruzioni per Interventi di Consolidamento Statico di Strutture Lignee mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati* Ministero dei Beni e delle Attività Culturali, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni*, 2006

Le strutture lignee dell'Arsenale di Venezia. Studi e restauri

Timber Structure of Venice Arsenal. Studies and renovation

CLAUDIO MENICHELLI

Abstract

Da oltre venticinque anni la Soprintendenza di Venezia è impegnata con un programma di studio e di restauro dell'Arsenale, particolarmente per quanto riguarda le strutture di copertura. Un'occasione per riordinare i risultati degli studi condotti è stata colta con i recenti restauri delle trecentesche tesse dell'Isolotto. Lo scritto riporta brevemente le metodologie adottate nei lavori condotti sulle strutture lignee dell'edificio e accenna ai temi di studio che hanno caratterizzato l'attività della Soprintendenza, particolarmente nell'ultimo periodo, quali la classificazione dei sistemi di copertura, la campagna di indagini dendrocronologiche, gli studi sul comportamento strutturale dei sistemi di copertura dell'Arsenale.

From over twenty-five years the Venice Superintendency has been working on a program of study and restoration of the Arsenal, concentrating particularly on the roof's structures. An opportunity of testing the results of the studies has been given by the restoration works on the wooden structures of the 14th century «Tese dell'Isolotto». The paper is a brief summary of the methodologies adopted in the works carried out on the wooden structures of the building and mentions to themes of study that have characterized the activity of the Superintendency, particularly in the last period, such as classification covering systems, the dendrochronology surveys, the studies on the structural behaviour of the roofing systems of the Arsenal.

L'Arsenale è situato all'estremo orientale della città di Venezia e ha un'estensione complessiva di circa quarantotto ettari. Nel vastissimo compendio le architetture conservano testimonianze materiali di quasi settecento anni di storia, che costituiscono uno straordinario terreno di studio per le tecniche costruttive e per il restauro.

A partire dal 1983 la Soprintendenza di Venezia è stata impegnata in una sistematica attività di ricerca nell'Arsenale che ha prodotto risultati di una certa consistenza, soprattutto nel campo della conoscenza e del restauro delle strutture lignee. In particolare è stata condotta una campagna di studi che ha interessato circa 110.000 m² di coperture, di cui oltre 60.000 nell'ambito di cantieri di restauro, 20.000 dei quali progettati e diretti dalla Soprintendenza ¹. Di recente, in occasione dei restauri delle strutture di copertura del tesone ² dell'Isolotto, l'edificio più antico dell'intero Arsenale, è stata avviata una fase di riordino e di sintesi dei dati raccolti ed è stata messa a punto una metodica di analisi e di intervento sulle strutture lignee che costituisce l'ultimo sviluppo delle conoscenze maturate dalla Soprintendenza nel corso della sua lunga attività di cantiere. Riguardo a tali aspetti è stato dato un primo resoconto nell'ambito dei lavori del convegno di Bressanone "Conservare e restaurare il legno", agli atti del quale si rimanda per una più ampia e articolata trattazione dell'argomento ³.

Il complesso che comunemente viene definito dell'Isolotto è costituito da due fabbricati contigui. Uno di essi è l'unico edificio superstite di una serie di diciassette squeri che costituivano il lato settentrionale dell'espansione trecentesca dell'*Arsenale nuovo* ⁴. L'altro è il frutto di un intervento di copertura di uno spazio a pianta triangolare tra l'edificio anzidetto e il contiguo muro di cinta dell'*Arsenale*.

Il primo dei due edifici è di straordinario interesse storico-architettonico. Esso infatti costituisce la più antica testimonianza materiale tra le costruzioni attualmente presenti in *Arsenale* e mantiene della fabbrica originaria, realizzata nella prima metà del Trecento, sia le murature in elevazione, quasi interamente in «altinelle» ⁵, sia le capriate di copertura, come confermato anche dalla dendrocronologia. Queste ultime sono probabilmente da considerarsi il prototipo delle strutture di copertura degli squeri, che, come sembra, fino a quel periodo erano scoperti ⁶. Si tratta di capriate del tipo semplice con saette, l'unico con tale geometria in *Arsenale*. Nel corso dei restauri è stato possibile rilevare che esse hanno mantenuto sostanzialmente la configurazione originaria, anche nell'assetto dei nodi e nei ferramenti, che appaiono per lo più intatti, ad eccezione di una parte di quelli di testa che mostrano interventi di manutenzione e restauro.

L'osservazione di tali strutture ha evidenziato una serie di

aspetti peculiari, alcuni appariscenti, altri nascosti, quali l'inarcamento pronunciato della catena verso, con una freccia compresa tra i 15 e i 20 cm, la chiusura del nodo tra monaco e catena e i collegamenti a tenone e mortasa tra puntoni e monaco e tra saette e monaco.

Tali aspetti rivelano una particolare connotazione di iperstaticità delle incavallature che, abbinata alle generose sezioni delle aste lignee e alle reggiature a caldo, tipiche delle realizzazioni arsenalizie preottocentesche, conduce a far ritenere che, sin dalle primissime realizzazioni, le strutture di copertura degli squeri dell'*Arsenale* fossero sviluppate non solamente in funzione del sostegno delle coperture, ma anche della movimentazione dei carichi necessaria per le attività di costruzione navale. Carichi che, in virtù della particolare costruzione delle capriate, comunque fossero applicati venivano ad essere ripartiti sull'intera struttura. Riguardo a tale ultimo aspetto, un contributo significativo all'efficienza delle strutture discendeva sia dall'assenza di qualsiasi grado di libertà del nodo monaco-catena, sia dall'inarcamento verso l'alto della catena stessa. Soluzioni che fanno assimilare le capriate dell'Isolotto a strutture reticolari, capaci di reagire efficacemente alle sollecitazioni, e che utilizzano principi in qualche misura riconducibili a quelli della precompressione del calcestruzzo armato ⁷.

La configurazione geometrica delle capriate dell'Isolotto

Figura 1. Planimetria dell'*Arsenale* di Venezia con riportata la mappatura dei sistemi di copertura che sono stati oggetto di studio e classificazione (G. Bettiol, C. Menicbelli).



A&RT

non si ritrova nelle costruzioni successive dell'Arsenale, tutte sviluppate, con numerose varianti, sulla base del cosiddetto tipo palladiano, caratterizzato dalla presenza della controcattena, di due monaci e dei puntoni in due elementi. Tale tipo di configurazione consentiva di raggiungere luci di maggiore ampiezza, rispetto ai 18 m dell'Isolotto, funzionali a rendere più agevoli le lavorazioni negli squeri e, soprattutto, a ospitare contemporaneamente e agevolmente due galee per ciascuno di essi. È questo il caso dei primi squeri acquatici dell'Arsenale nuovo, della metà del Quattrocento, che raggiungono la ragguardevole luce di 23 m. Riguardo ai caratteri costruttivi, anche per i quali si trova scarso riscontro nell'assetto attuale delle altre capriate dell'Arsenale, si è invece portati a ritenere che le realizzazioni successive all'Isolotto originariamente riprendessero in gran parte le soluzioni dell'esempio trecentesco, anche se con una serie di modifiche che semplificavano le connessioni, ma che non eliminavano né il nodo chiuso tra monaco e catena, né la precarica del sistema. Tale convinzione discende dall'osservazione condotta sulla quasi totalità delle capriate arsenalizie che mostra con evidenza che l'apertura del nodo che oggi si può osservare è il frutto della resezione in opera del monaco. Una conferma dell'ipotesi vi è nelle

Corderie, dove nella prima porzione del fabbricato, verso l'ingresso, sono ancora presenti capriate a nodo chiuso e con la catena inarcata verso l'alto. La modifica dello schema strutturale delle capriate arsenalizie è avvenuta sostanzialmente nella seconda metà dell'Ottocento, con i lavori di ampliamento del complesso avvenuti dopo l'annessione di Venezia al Regno d'Italia. In quell'occasione intervennero sulle capriate dell'intero Arsenale, per complessivi 117.000 m² di coperture. Le soluzioni allora adottate dipendevano sia dalla necessità di dover risanare una quantità enorme di coperture in brevissimo tempo, sia dalla scelta di semplificare il comportamento strutturale delle capriate, riconducendo le sollecitazioni sulle aste ai soli sforzi di compressione e di trazione. In quella circostanza vennero anche introdotti i controventamenti longitudinali, fino ad allora erano assenti nelle strutture di copertura arsenalizie, che affidavano la stabilità nel piano ortogonale a quello delle capriate esclusivamente alla particolare configurazione padiglionata della struttura del manto di copertura. Sempre per motivi di speditezza, furono allora abbandonate le chiusure delle giunzioni a dardo di Giove con le regge chiodate a più giri, serrate a caldo, a favore di staffature a U, con terminazioni filettate, chiuse con dadi. Le staffe avevano il vantaggio di con-

Figura 2. Particolare di una delle capriate trecentesche del tesone dell'Isolotto. Si può notare l'inarcamento della catena, il nodo chiuso monaco-catena e le reggiature a caldo della connessione a dardo di giove della catena (foto impresa Dal Carlo).



sentire una rapidità di intervento straordinariamente maggiore rispetto alle regge e di evitare i rischi di incendio, connessi della lavorazione a caldo, mentre per contro riducevano l'efficienza delle connessioni, che non venivano più ad essere serrate radialmente, ma semplicemente secondo una sola direzione.

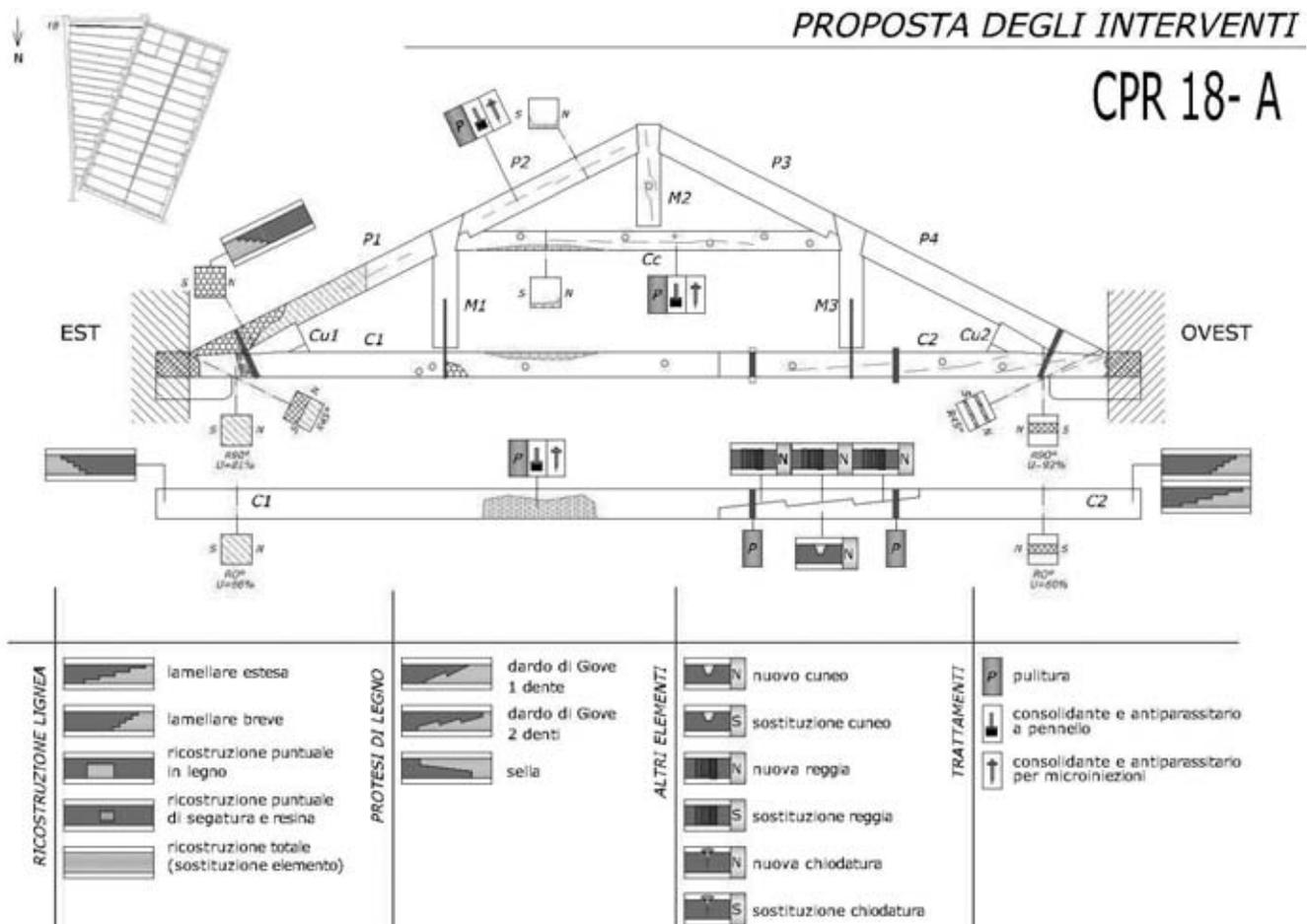
Il secondo edificio, pur caratterizzato da diverse peculiarità non riveste un interesse storico-architettonico-costruttivo, confrontabile con quello del tesone principale. L'aspetto di maggiore singolarità relativo alle strutture del tetto discende dalla pianta triangolare del fabbricato ed è costituito dalle capriate, tutte realizzate con materiale di recupero da precedenti costruzioni, che hanno una dimensione variabile da 1m a 15m, con soluzioni che vanno dalla capriata semplice senza monaco, alla capriata semplice con monaco, alla capriata palladiana, con il crescere della luce tra gli appoggi.

Nel cantiere dell'Isolotto, avviato nel 2002⁸, il programma di conoscenza si è sviluppato con indagini macroscopiche e approfondimenti strumentali. Gli elementi rilevati attraverso l'osservazione diretta, sono stati raccolti e ordinati in quattro raggruppamenti, rappresentativi delle famiglie di anomalie riscontrabili sui legnami: il primo dedicato ai difetti e gli altri tre alle forme di degrado, sud-

divise in: biotico, abiotico e meccanico. Due ulteriori sottogruppi sono stati individuati per il degrado biotico, distinguendo quello attivo da quello pregresso. Le indagini strumentali sono state condotte con un programma sistematico di prove penetrometriche, abbinate alla misurazione dell'umidità, che hanno consentito per ogni testa di definire con buona approssimazione la geometria delle sezioni resistenti e l'estensione delle forme di degrado degenerativo dei legni.

Sulla base dei puntuali elementi di conoscenza ottenuti è stato definito un abaco delle possibilità di intervento per la realizzazione delle protesi, individuando otto tipi di lavorazioni, in relazione all'estensione del degrado e al comportamento strutturale della parte lignea in esame e sulla base del panorama delle tecniche di intervento disponibili. L'obiettivo era da una parte quello di ridurre la perdita di materia originaria, dall'altra quello di non introdurre significative alterazioni al comportamento statico-strutturale delle strutture. Gli otto tipi di interventi dovevano trovare risposte e soluzioni per forme di degrado che interessavano parti estese, limitate o puntuali delle aste lignee, per elementi sollecitati a trazione, a compressione, a flessione e a taglio, adottando consolidate tecniche di integrazione e protesi a legno intero, a elementi

Figura 3. Scheda di progetto della capriata n. 18 (Schedatura sviluppata da C. Brito de Carvalho con la guida di C. Menicelli e di Clara Berolini Cestari, sulla base di un'attività di studio condotta all'interno del Master di Restauro strutturale diretto da C. Modena dell'Università degli studi di Padova, relatore M. R. Valluzzi A.A 2003-2004).



A&RT

lamellari, a impasto.

Nella realizzazione degli interventi è stata reintrodotta la tecnica della reggiatura a caldo per le protesi a legno intero a dardo di Giove e a sella, che come si è accennato era stata abbandonata alla fine dell'Ottocento e mai più ripresa. Tale tecnica consiste nell'applicare una sottile striscia di ferro riscaldata, avvolta per almeno tre giri e fittamente chiodata intorno ai legni. Il successivo raffreddamento del ferro determina una contrazione del materiale che serra in maniera estremamente efficace la connessione radialmente. Nel cantiere dell'Isolotto le regge dello spessore di 2 mm, sono state applicate con l'ausilio di termoriscaldatori ad aria che hanno consentito di evitare ogni rischio di incendio, assicurando comunque una pur minima azione di contrazione per raffreddamento del ferro, utile ad accrescere l'efficienza del collegamento.

Le fasi della conoscenza e dell'intervento, in fase sia di progetto che di realizzazione, sono state ordinate con uno specifico sistema di schedatura sviluppato all'interno di una collaborazione che da tempo è stata avviata tra la Soprintendenza di Venezia, il Politecnico di Torino e l'Università di Padova, nell'ambito dei lavori di restauro nell'Arsenale di Venezia, che ha come obiettivo la costruzione di un approccio scientifico alla conservazione delle carpenterie lignee e metalliche. L'attività di ricerca ha interessato, per le strutture lignee, oltre al cantiere di restauro dell'Isolotto anche quello delle sale d'Armi e, per le carpenterie metalliche, quello dell'ottocentesca Gru

idraulica Armstrong.

Altri approfondimenti sulle tematiche della conoscenza sono state sviluppate nel cantiere dell'isolotto sul fronte della rilevazione geometrica. In particolare sono state testate le potenzialità delle tecniche laser-scanning nel fornire informazioni metriche su strutture tridimensionali ad elementi astiformi. La sperimentazione effettuata sull'Isolotto fa parte di un programma di studio nato dalla collaborazione tra l'Università IUAV di Venezia e la Soprintendenza, dapprima sulle strutture di copertura del salone del Maggior Consiglio di Palazzo Ducale, quindi nei cantieri dell'Arsenale, con le strutture lignee dell'Isolotto e con la carpenteria metallica della Gru Armstrong. Tale tecnica, nel caso dell'Isolotto, integrando le operazioni di rilevazione topografica, fotogrammetrica e diretta, ha consentito di ottenere una lettura del dato geometrico delle coperture dell'Isolotto più aderente al reale carattere spaziale e strutturale tridimensionale delle stesse.

Sempre nell'ambito della rilevazione rientra l'applicazione delle tecniche penetrometriche, oltre ai campi di applicazione già noti per la valutazione della consistenza materiale del legname in opera, anche alla conoscenza geometrica delle strutture lignee. Aspetto di grande interesse per i manufatti lignei, perché consente di determinare la morfologia dei nodi nelle parti nascoste, e contribuisce così al perseguimento di uno dei principali obiettivi della conservazione delle strutture lignee, quello di un ricorso

Figura 4. Definizione della morfologia del nodo sommitale di una capriata del tesone dell'Isolotto attraverso una rilevazione integrata, diretta e con l'uso del penetrometro (rilevazione e restituzione grafica eseguita da G. Biglione).

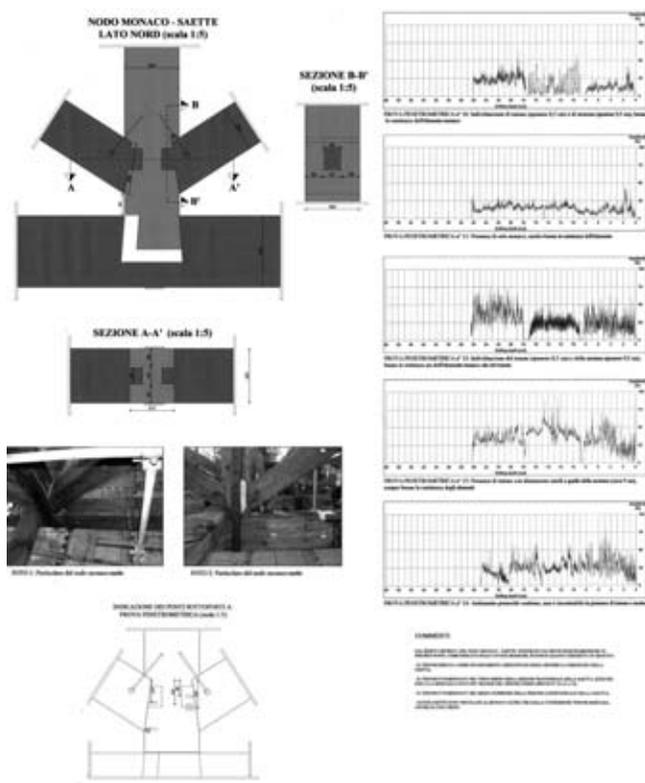


Figura 5. Protesi a dardo di Giove con reggiatura a caldo (foto C. Menichelli).



sempre minore alla pratica dello smontaggio degli elementi. Oltre agli studi di cui si è detto, in occasione della conclusione dei restauri dell'Isolotto si è deciso di dar conto di alcuni aspetti salienti dello stato della conoscenza sulle coperture dell'Arsenale, maturato negli ultimi quindici anni dell'attività di studio condotta dalla Soprintendenza nei cantieri del complesso. In particolare per quanto riguarda la catalogazione dei sistemi di copertura, le campagne di indagini dendrocronologiche e gli studi sul comportamento strutturale dei tetti. Riguardo al primo è ormai giunta quasi al termine la catalogazione delle capriate dei tesoni, con circa l'85% classificato (110.000 m² su 130.000), mentre per la dendrocronologia i dati raccolti riguardano sedici fabbricati per complessivi 243 campioni. Gli studi del comportamento strutturale dei sistemi di copertura fin ora stati condotti sulle capriate a nodo chiuso con catena inarcata, mentre attualmente stanno affrontando i sistemi seriali e le falde. Per un resoconto su tali aspetti della conoscenza si rimanda ai già citati atti del convegno di Bressanone.

Riferimenti bibliografici

- C. MENICHELLI, *Le strutture di copertura dell'Arsenale di Venezia: aspetti storici, caratteri costruttivi e orientamenti nel restauro*, in V. VOLPE (a cura di), *Recupero e restauro dell'Arsenale nord a cura del Magistrato alle Acque*, Venezia 2009, pp. 54-65
- C. MENICHELLI (A CURA DI), A. ADAMI, C. BALLETTI, C. BERTOLINI CESTARI, G. BETTIOL, G. BIGLIONE, C. BRITO DE CARVALHO, E. GARBIN, F. GERBAUDI, F. GUERRA, S. MANDER, C. MENICHELLI, G. PAGLIARINO, F. PASTERIS, M. PIANA, O. PIGNATELLI, L. PILOT, M. R. VALLUZZI, P. VERNIER, *Le strutture lignee dell'Arsenale di Venezia. Studi e restauri*, in G. BISCONTIN, G. DRIUSSI (a cura di), *Atti del XXV convegno di studi Scienza e beni culturali, Conservare e restaurare il legno: conoscenze, esperienze, prospettive*, Bressanone 23-26 giugno 2009, Venezia 2009, pp. 1163-1216
- C. MENICHELLI, *Le trasformazioni dell'Arsenale di Venezia tra il 1866 e la prima guerra mondiale*, in G. ROSSINI (a cura di), *Venezia fra arte e guerra 1866-1918*, Milano 2003, pp. 64-73
- R. ZABEO, *Il muro in altinelle della Campanella e le vicende dell'Isolotto*, Tesi di laurea in Storia e conservazione dei beni culturali, Università IUAV di Venezia, a.a. 2006-2007, relatore C. MENICHELLI
- E. CONCINA, *L'Arsenale della Repubblica di Venezia*, Venezia 2006, pp. 25-43
- C. MENICHELLI, C. MODENA, M.R. VALLUZZI, E. GARBIN, F. DA PORTO, *Timber roof structures of the "Arsenale" of Venice* (in collaborazione con), in C. MODENA, P. B. LAURENCO, P. ROCA, *Structural analysis of historical constructions*, London 2004, pp. 967-975
- G. Bettiol, C. MODENA, M.R. VALLUZZI, E. GARBIN, C. MODENA, *Structural analysis of the timber roofs of the "Arsenale" of Venice*, atti del WCTE 2008, 10th World

Figura 6. Fase di precarica della catena della capriata n. 15 del Tesone dell'Isolotto. Si tratta dell'unica capriata dell'edificio che è stato necessario smontare e ricomporre a terra per l'intervento, a causa della totale irrecoverabilità della catena. Per tutte le altre si è intervenuto in opera senza aprire i nodi in assetto originario (foto impresa Dal Carlo).



A&RT

Conference on Timber Engineering, Miyazaky, Japan, June 2-5 2008

C. MENICHELLI, A. LIONELLO, A. BOVOLENTA, *La gru idraulica Armstrong dell'Arsenale di Venezia*, in Atti del XIII International Congress TICCIH 2006 – Industrial Heritage and Urban Transformation – Productive Territories and Industrial Landscape – Terni 14-18 settembre 2006 – Papers Workshop 13

C. BERTOLINI CESTARI, T. MARZI, E. SEIP, P. TOULIATOS, *Interaction between Science, Technology and Architecture in Timber Construction*, Paris 2006

C. BERTOLINI CESTARI, *Manutenzione e Mestieri Reali: le coperture del castello del Valentino in Torino. Aspetti di attualità del tema*, in M. VOLPIANO (a cura di), *Le residenze sabaude come cantieri di conoscenza. Progetto di Conservazione, tecniche di intervento e nuove professionalità*, vol. 2, Torino 2006, pp. 153-172

C. BERTOLINI CESTARI *Tecniche diagnostiche per la valutazione dello stato di conservazione delle strutture lignee e tecnologie di intervento. Casi Studio*, in *Mestieri Reali*, in corso di stampa
F. GERBAUDI, *La copertura della Sala del Maggiore Consiglio di Palazzo Ducale di Venezia*, relatore E. Vassallo, AA 2002-2003

F. GUERRA, C. BALLETTI, *Rilievo con laser scanner 3D: applicazioni per la conoscenza dei beni culturali*, in «Laser Scanner Terrestre», a cura di F. Crosilla, S. Dequal, Udine 2006

C. MENICHELLI, M. PIANA, O. PIGNATELLI, *La dendrocronologia e l'edilizia storica: primi risultati di una ricerca sugli edifici gotici veneziani*, in *L'architettura gotica veneziana*, Atti del Convegno Internazionale di studio Venezia 2000, pp. 83-92

C. MENICHELLI, O. PIGNATELLI, *Dendrocronologia e architettura*, in «Kermes. La rivista del restauro», anno XV, Firenze 2002, pp. 33-43

Claudio Menicelli, architetto direttore coordinatore della Soprintendenza per i beni architettonici e paesaggistici di Venezia e Laguna, responsabile per l'Area marciata, l'Arsenale, le Isole e per il territorio comunale di Chioggia.

Note

¹ I lavori di restauro condotti dalla Soprintendenza dal 1983 a oggi sono stati progettati e diretti da Eugenio Vassallo, Mario Piana e Claudio Menicelli. La Soprintendenza si è inoltre occupata, nell'ambito dell'attività istituzionale di alta sorveglianza, anche di tutti gli interventi realizzati da altri soggetti in Arsenale. In particolare del grande recupero effettuato di recente dal Magistrato alle Acque della Novissima e delle Galeazze e, in anni precedenti degli Squadratori e di altri fabbricati dell'Arsenale vecchio e nuovo. Lavori seguiti per la Soprintendenza da Claudio Menicelli.

² Il termine Tesa, o Teza o Tezza, è sinonimo, a Venezia, di tettoia e sta a indicare, in generale, i capannoni e, in particolare

nell'Arsenale, i cantieri per la costruzione di imbarcazioni. Spesso, date le dimensioni generalmente grandi degli edifici, è comune utilizzare i termini Tesone, Tezone o Tezzone.

³ C. MENICHELLI (a cura di), A. ADAMI, C. BALLETTI, C. BERTOLINI CESTARI, G. BETTIOL, G. BIGLIONE, C. BRITO DE CARVALHO, E. GARBIN, F. GERBAUDI, F. GUERRA, S. MANDER, C. MENICHELLI, G. PAGLIARINO, F. PASTERIS, M. PIANA, O. PIGNATELLI, L. PILOT, M. R. VALLUZZI, P. VERNIER, *Le strutture lignee dell'Arsenale di Venezia. Studi e restauri*, in: G. BISCONTIN, G. DRIUSSI (a cura di), Atti del XXV convegno di studi Scienza e beni culturali, Conservare e restaurare il legno: conoscenze, esperienze, prospettive, Bressanone 23-26 giugno 2009, Venezia, 2009, pp. 1163-1216

⁴ Riguardo alle vicende della trasformazione ottocentesca che hanno portato alla demolizione della gran parte delle tesse dell'Isolotto, demolizione proseguita poi negli anni '30 del secolo scorso, si vedano F. MARTINI, *Progetti e lavori per riordinamento ed ingrandimento dell'Arsenale marittimo di Venezia – Parte prima e Parte seconda*, Venezia, 1877; C. MENICHELLI, *Le trasformazioni dell'Arsenale di Venezia tra il 1866 e la prima guerra mondiale*, in: G. ROSSINI (a cura di), *Venezia fra arte e guerra 1866-1918*, Milano, 2003, pp. 64-73; C. MENICHELLI, *L'Arsenale Moderno, dalle occupazioni straniere alla prima guerra mondiale, parte II (1866-1918)* in: A. DINA (a cura di), *La rinascita dell'Arsenale, la fabbrica che si trasforma*, Venezia, 2004, G. BELLAVITIS, *L'Arsenale di Venezia, storia di una grande struttura urbana*, Venezia, 1983; R. ZABEO, *Il muro in altinelle della Campanella e le vicende dell'Isolotto*; Tesi di laurea in Storia e conservazione dei beni culturali, Università IUAV di Venezia, a.a. 2006-2007, Relatore C. MENICHELLI.

⁵ Mattone di piccola ma variabile dimensione (mediamente circa 4.5x7.5x17cm) utilizzato a Venezia fino alla metà del Trecento.

⁶ Per le vicende e i caratteri dell'Arsenale trecentesco si veda E. CONCINA, *L'Arsenale della Repubblica di Venezia*, Venezia, 2006, pp. 25-43.

⁷ Per i caratteri costruttivi e il comportamento statico strutturale delle capriate dell'Isolotto si rimanda anche a: C. MENICHELLI, C. MODENA, M.R. VALLUZZI, E. GARBIN, F. DA PORTO, *Timber roof structures of the "Arsenale" of Venice* (in collaborazione con), in: *Structural analysis of historical constructions*, C. MODENA, P. B. LAURENCO, P. ROCA, London, 2004, pp. 967-975; G. BETTIOL, C. MENICHELLI, M.R. VALLUZZI, E. GARBIN, C. MODENA, *Structural analysis of the timber roofs of the "Arsenale" of Venice*, atti del WCTE 2008, 10th World Conference on Timber Engineering, Miyazaky, Japan, June 2-5 2008.

⁸ I restauri dell'Isolotto sono stati progettati e diretti da Claudio Menicelli, con finanziamenti del Ministero per i Beni e le Attività Culturali. La Soprintendenza si è avvalsa del contributo scientifico dell'Università di Padova, del Politecnico di Torino e dell'Università IUAV di Venezia.

L'acciaio nel rinforzo delle strutture in legno

Steel to reinforce timber structures

LORENZO JURINA

Abstract

Nella tradizione italiana, con frequenza, le strutture del tetto e dei solai sono costruite facendo uso di elementi in legno. La conservazione di questa tipologia, non solo negli edifici monumentali, ma anche nell'edilizia corrente, è oggi percepita come un valore e, in molti casi, si preferisce rinforzare le strutture esistenti piuttosto che sostituirle con nuovi elementi e materiali. In questo contributo, attraverso alcuni esempi, si descrive l'impiego di elementi in acciaio come rinforzo di travi di legno.

Questa tecnica appartiene alla tradizione e può rappresentare una efficace possibilità di incrementare sia la resistenza sia la rigidità. L'uso del moderno acciaio inossidabile e di speciali dispositivi di pensionamento permette soluzioni di facile adozione, efficaci, leggere, reversibili e, in alcuni casi, eleganti.

In the Italian tradition, frequently, roof and slab structures were built making use of timber elements. The conservation of this typology not only in monumental building but even in common residential houses is nowadays perceived as a value and, in many cases, it is preferred to strengthen the existing structures than to substitute them with new elements and materials. In this paper the use of steel elements as reinforcement of timber beams is described, throughout some examples. This technique belongs to the tradition and it may provide an effective way to increase both strength and stiffness. The use of modern stainless steel and of special tensioning devices permits solutions easy to be adopted, effective, light, removable and, in some cases, elegant.

Figura 1. Casa Ex Masciadri, Arcere, Bergamo: dettagli del progetto di consolidamento delle capriatelle mediante l'impiego di tirante metallico "sagomato".

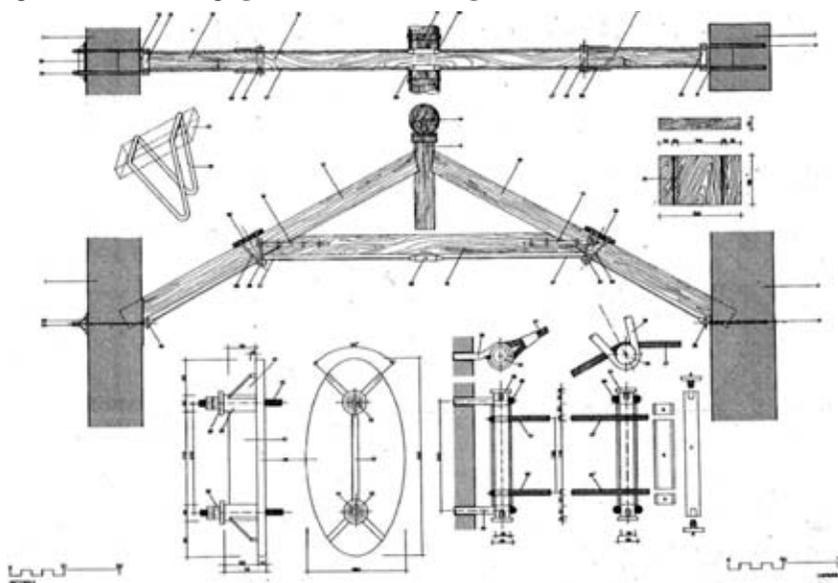


Figura 2a. Casa Ex Masciadri, Arcere, Bergamo: dettagli del consolidamento con utilizzo di un cavo sagomato post-tesato, in posizione intradossale, per consolidare i puntoni a sbalzo, fortemente inflessi.



A&RT

Introduzione

In passato le strutture realizzate in legno venivano spesso concepite come elementi di sacrificio, da mantenere in vita fin che era possibile e da sostituire all'occorrenza. Ciò valeva principalmente per quelle più esposte e di minori dimensioni ma anche per travi principali o capriate. Gli attuali criteri del restauro conservativo ci propongono invece di mantenere in vita ed in funzione tali strutture, nella consapevolezza che tra i materiali da costruzione dell'edilizia storica il legno è quello che, più di altri, ci racconta la sua età e la sua provenienza, quale testimonianza di una storia e di una autenticità da non cancellare. Le caratteristiche materiche e geometriche di questi elementi permettono di determinare la sicurezza attuale della struttura a fronte delle sollecitazioni previste, o prevedibili, così che è possibile decidere sulla effettiva necessità, o meno, di una integrazione con elementi compatibili. L'uso dell'acciaio nel consolidamento delle strutture lignee, oggetto specifico della memoria, è una pratica adottata sovente nel passato. Elementi metallici venivano chiamati in causa a sopperire l'inefficienza strutturale di componenti lignei, e quindi venivano proposte catene, cerchiature, grappe ed elementi metallici di connessione per assorbire gli sforzi di trazione, oppure per migliorare collegamenti difettosi o per ripristinare quelli mancanti. I nuovi elementi venivano affiancati per «collaborazione» o «in sostituzione» con la struttura originaria.

Verranno illustrati nel seguito alcuni esempi dove è possibile evidenziare come l'acciaio (e in particolare l'acciaio inox) sia un materiale idoneo a risolvere, con efficienza e talora con eleganza, gran parte dei problemi statici delle strutture lignee, soprattutto con l'adozione di sistemi a barre o a cavo posti in contatto e «forzati» ad agire in parallelo alla struttura esistente, in modo da garantire obiettivi molteplici che sono il minimo intervento, la specificità della soluzione rispetto all'unicità dell'oggetto su cui operare, l'adattabilità nel tempo, la manutenibilità, la reversibilità, la riconoscibilità a fronte del valore documentario dell'esistente, così da minimizzare l'impatto del-

l'intervento, scegliendo la soluzione maggiormente compatibile e rispettosa dello stato di fatto. L'acciaio, e in particolare l'acciaio inox, consente interventi in linea con la pratica del restauro «conservativo», come parte di un processo più ampio che coinvolga il manufatto storico. Permette infatti soluzioni che si affiancano all'esistente, senza alcuna sostituzione e sottrazione, come aggiunta riconoscibile, caratterizzante e facilmente rimovibile e quindi reversibile.

Dal punto di vista statico l'aggiunta di nuovi elementi metallici di connessione porta a rendere iperstatica la struttura. Ne consegue la possibilità di operare con strutture che passino dal mono-dimensionale al bi- e al tri-dimensionale, implicando grandi vantaggi in termini di incremento del carico limite a collasso e crescita della capacità di dissipare energia in zona sismica. Vengono forniti alcuni esempi ad illustrazione di quanto esposto.

La copertura di casa ex-Masciadri, Arcene, Bergamo

L'edificio rurale di casa ex Masciadri presentava una situazione di degrado molto avanzata: lesioni in facciata, cedimenti localizzati di fondazione, profonde fessure tra il muro di spina ed i muri trasversali, tetto non più impermeabile e forti flessioni delle capriate sotto peso proprio. La copertura, in parte, era costituita da numerose capriate a due puntoni, con una catena lignea posta ad una quota più alta dell'usuale, a circa metà puntone, in modo da consentire il transito degli utenti nella zona sottostante. In questo modo i puntoni, nella loro parte inferiore, lavorano «a sbalzo» e sono sottoposti ad una forte azione flettente che li ha deformati. La capriata tendeva ad abbassarsi sotto carichi accidentali trasmettendo una forte spinta orizzontale alla parete. La situazione risultava pericolosa sia per la parete, che presentava una evidente fessura continua da rotazione verso l'esterno a livello del pavimento, sia soprattutto per le capriate che, soggette a carichi meteorici eccezionali, potevano arrivare al collasso.

Figure 2b, 2c. Casa Ex Masciadri, Arcene, Bergamo: dettagli del consolidamento con utilizzo di un cavo sagomato post-tesato, in posizione intradosale, per consolidare i puntoni a sbalzo, fortemente inflessi.



La soluzione realizzata è consistita nella posa di due *tiranti metallici «sagomati»* che lambiscono inferiormente la porzione a sbalzo dei puntoni e la catena, inducendo una sollecitazione flessionale di verso opposto a quella provocata dai carichi verticali. Mettendo in trazione i cavi mediante un tenditore centrale si ottiene un avvicinamento delle estremità della capriata (consentita della cerniera presente alla base della parete) e contemporaneamente una loro inflessione in senso contrario a quella indotta dai carichi su di essa gravanti. Per incrementare la sicurezza del giunto catena-puntone si è sovrapposta a quest'ultimo una piastra metallica chiodata, in grado di ripristinare la sezione dello stesso in corrispondenza dell'incalmo ligneo presente. Particolarmente curati sono stati i dettagli di ancoraggio dei cavi alla muratura e nello snodo intermedio, realizzato con un giunto legno-acciaio semplicemente appoggiato sulla capriata.

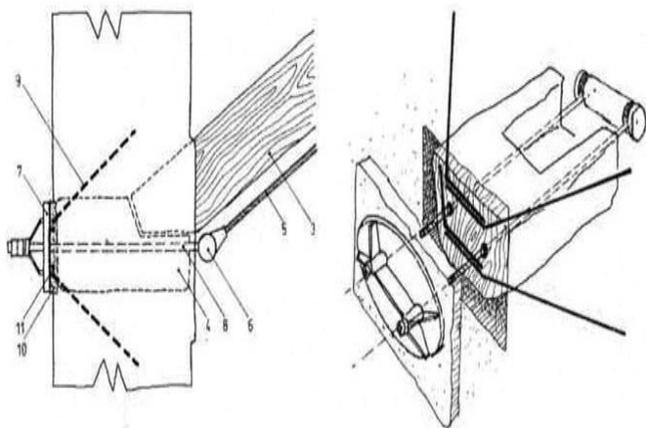
Tali dettagli, lasciati a vista, intendono affermare la continuità della logica strutturale tra la soluzione precedente e quella attuale, con un accostamento dichiarato tra tecnologie e materiali che risultano complementari anche se caratteristici di epoche diverse (Figure 1, 2a, 2b, 2c, 2d).

La copertura del «Baco da seta» nella Villa della Porta Bozzolo, Casalzuigno, Varese

Gli interventi su questo edificio di proprietà del FAI, denominato «Baco da seta», sito in adiacenza alla Villa della Porta Bozzolo, hanno riguardato principalmente la copertura che mostrava una difettosità molto accentuata del legno, sottoposto a rilevanti carichi permanenti dovuti alla presenza di «medoni» in cotto.

In primo luogo sono state aggiunte nuove saette, dove erano mancanti o rimosse, e si è proceduto alla sostituzione degli elementi maggiormente degradati, con ricostruzione mediante protesi lignee delle parti irrecuperabili. I nodi degradati sono stati riportati strutturalmente in pristino attraverso l'inserimento di barre passanti in acciaio inox.

Figura 2d. Casa Ex Masciadri, Arcere, Bergamo: dettagli del consolidamento con utilizzo di un cavo sagomato post-tesato, in posizione intradosale, per consolidare i puntoni a sbalzo, fortemente inflessi.



Alcuni tra i puntoni e i falsi puntoni delle capriate risultavano tuttavia particolarmente sollecitati e sono stati consolidati mediante la creazione di una trave reticolare mista il cui corrente superiore (compressivo) è rappresentato da due piatti metallici paralleli, collocati tra i medoni ed i coppi, e il cui corrente inferiore (teso) è costituito dal puntone stesso che verrà così impegnato prevalentemente a trazione, e non più a flessione.

Si ottiene un elemento strutturale composto legno-acciaio in cui le sollecitazioni di taglio vengono sopportate da connettori diagonali in acciaio a vista, che sono saldati alle piastre metalliche superiori ed inghisati ai puntoni lignei inferiori con resina epossidica. Tale struttura mista legno-acciaio incrementa la capacità flessionale del puntone, modificandone notevolmente l'inerzia.

A verifica dell'efficacia del sistema adottato è stata effettuata una *prova di carico* su un «puntone tipo» rinforzato secondo le modalità esposte. La trave è stata caricata applicando una zavorra nella parte centrale, di entità tale da superare le sollecitazioni dello stato di esercizio.

Le prove sperimentali condotte hanno evidenziato un buon comportamento lineare della trave a «sezione mista» legno-acciaio, con limitati residui anelastici. La struttura reale è risultata decisamente più rigida di quella simulata mediante una modellazione numerica ad elementi finiti in campo lineare (Figure 3 e 4).

La copertura lignea della ex chiesa di San Carpofo, Milano

Simile al precedente è l'intervento adottato per consolidare le capriate esistenti nella chiesa di San Carpofo a Milano. I sintomi di degrado interessavano i giunti tra gli elementi strutturali (ed in particolare il giunto puntone-catena, il giunto puntone-monaco ed il giunto centrale a dardo di Giove tra le due metà della catena).

A rinforzo dei giunti puntone-catena negli anni '50 erano

Figura 3. Villa Della Porta Bozzolo, Casalzuigno, Varese: consolidamento della capriata mediante realizzazione di struttura reticolare mista.



A&RT

stati introdotti elementi di «cuffia» metallica decisamente invasivi da un punto di vista formale ed ampiamente ossidati, che in alcune posizioni avevano causato fenomeni locali di marcescenza. Geometricamente alcune capriate risultavano leggermente coricate su un fianco e presentavano il monaco disassato rispetto ai puntoni. Da ultimo erano rilevabili segni di divaricamento dei puntoni a seguito dello scorrimento rispetto alla catena e segnali di sofferenza in quest'ultima in corrispondenza del nodo centrale.

L'intervento si è articolato in una prima fase, di tipo locale, che ha riguardato il ripristino dei giunti mediante zeppe in legno e barre filettate passanti e la integrazione con tradizionali fettonature in legno di alcune zone delle capriate che presentavano lacune; una seconda fase, di tipo globale, ha mirato a fornire un nuovo meccanismo resistente, parallelo a quello originario, mediante l'uso di un puntone ligneo e di tre funi in acciaio inox, a supporto della catena e dei puntoni. La prima fune, parallela alla catena in legno, agisce in collaborazione con questa. Le altre due funi, simmetriche rispetto alla mezzeria, svolgono tre funzioni statiche:

- 1) legano tra loro il puntone inclinato e la catena lignea nel giunto di appoggio a terra;
- 2) legano tra loro i due puntoni ed il monaco nel giunto al colmo della capriata, stringendoli l'uno contro l'altro;
- 3) forniscono un sostegno ai puntoni inflessi proprio nel punto intermedio, al di sotto delle pesanti terzere, mediante l'introduzione di due nuovi puntelli verticali in legno forzati dal basso verso l'alto.

I tre tiranti sono costituiti ciascuno da un anello chiuso regolabile in lunghezza e tesabile con due tenditori. Ciò consente di risolvere, senza elementi invasivi, le connessioni con la struttura esistente. Per stabilizzare le capriate leggermente inclinate rispetto alla verticale si è adottato un cavo orizzontale che le ha attraversate, inanellandole, per poi essere fissato ai timpani murari di estremità. Per completare l'opera, le cuffie metalliche in corrispondenza dei nodi puntone-catena sono state rimosse e sostituite

Figura 4. Villa Della Porta Bozzolo, Casalzuino, Varese: prove di carico: fase di carico su trave campione.



te con perni metallici passanti (Figura 5).

Ex Filanda Meroni, Soncino, Cremona

Nel progetto di trasformazione di un edificio rustico e di una adiacente filanda, in prossimità del Castello di Soncino (Cremona), uno dei grandi volumi necessitava di intervento di consolidamento in quanto veniva parzialmente svuotato del solaio esistente e destinato ad ospitare la nuova biblioteca.

Nella *nuova biblioteca* la configurazione planimetrica allungata e la contemporanea totale assenza di pareti intermedie in grado di irrigidire quelle longitudinali ha comportato la necessità di progettare un efficace sistema di irrigidimento a livello dell'imposta della copertura. Tale sistema è costituito da un profilo metallico a C perimetrale fittamente collegato al coronamento murario da una serie di tiranti incrociati fissati ad esso ed alle capriate lignee esistenti. Queste ultime saranno chiamate a svolgere la funzione di traversi compressi in una struttura reticolare, dopo essere state debitamente irrigidite attraverso la realizzazione di collegamenti reticolari in estradosso ai puntoni. Si realizza così una grande trave reticolare, con giacitura orizzontale, vincolata ai due setti murari di estremità e capace di offrire un vincolo sufficientemente rigido nei confronti dello spostamento delle pareti longitudinali, soggette a carichi laterali da vento o sisma, lungo tutto il loro sviluppo (Figura 6).

Le capriate dell'ex Monastero di S. Clara, Pavia

Gli interventi sulle strutture lignee dell'ex Monastero di S. Clara a Pavia hanno previsto una prima fase generale di pulitura e disinfestazione della piccola e grande orditura da insetti e funghi, nonché la rimozione puntuale degli elementi fortemente ammalorati e la loro sostituzione con elementi di eguale essenza. Successivamente si è provveduto alla messa in sicurezza degli appoggi tra puntone e catene delle capriate di copertura mediante l'impiego di carpenteria metallica.

L'intervento è stato realizzato su quindici capriate, con

Figura 5. Ex Chiesa di S. Carpoforo, Milano: consolidamento degli appoggi e delle capriate mediante cavi esterni post tesati, con inserimento di un nuovo puntello ligneo di contrasto della falda.



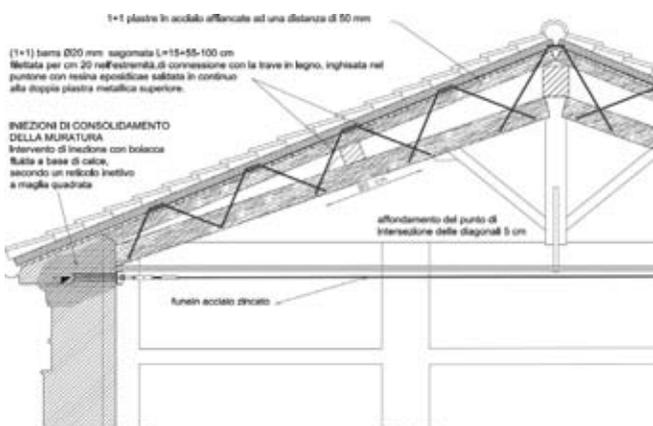
luce di otto metri ed appoggi molto degradati, poste a sostegno del tetto, in cui il livello di marcescenza degli appoggi non era avanzato al punto da far propendere per una sostituzione completa della capriata o per una proteggi locale del giunto. Si è optato, in questi casi, per una soluzione composita che consente un «trasferimento» della zona di appoggio. In pratica si realizza una sorta di nuova capriata leggera, composta da elementi tesi, parallela a quella in opera.

Occorre notare che le catene lignee delle attuali capriate risultano a vista dai locali sottostanti, in quanto costituiscono il supporto dell'assito di sottotetto, e pertanto non sono rimovibili. Si dovevano quindi realizzare i nuovi appoggi tra la capriata e la muratura a una quota superiore a quella degli appoggi esistenti, giudicati inaffidabili. Per ottenere questo risultato si sono utilizzati segmenti di trave in legno lamellare (bilancini), a sbalzo rispetto alla capriata, vincolati ai puntoni mediante perni. Il tutto è ubicato nel sottotetto, al di sopra dell'assito esistente. I bilancini poggiano sulla muratura a fianco della capriata scaricando le risultanti verticali in una posizione diversa da quella di origine. Poiché i bilancini sono soggetti a rotazione, sono stati inseriti due tiranti inox che convergono verso il colmo della capriata ed un tirante orizzontale, sempre inox, che collega in orizzontale i due bilancini. I particolari di collegamento della struttura nuova a quella esistente sono stati progettati cercando di favorire una operatività di cantiere che tenesse conto delle inevitabili tolleranze e delle differenze geometriche tra le varie capriate (Figura 7).

Conclusione

Gli esempi descritti mostrano le possibilità e la grande flessibilità di uso degli elementi leggeri in acciaio, ed in particolare dei tiranti, nelle applicazioni del consolidamento strutturale di solai e capriate lignee. Molte sono le soluzioni rese possibili dall'apporto di materiali ed elementi strutturali leggeri, soprattutto quando si adotti una modalità di funzionamento «attivo», ma va sottolineato

Figura 6. Ex filanda Meroni. Soncino, Cremona: interventi previsti per l'area destinata a biblioteca.



che la soluzione migliore, tra tutte le possibili, va ricercata tra quelle che riconoscono la assoluta singolarità ed irripetibilità dell'opera monumentale.

Questa priorità deve spingere il professionista alla individuazione della più adeguata scelta progettuale, capace di sfruttare in modo ottimale le risorse tecnologiche, gli strumenti di calcolo e di diagnostica ed i materiali disponibili.

Lorenzo Jurina, Docente di Tecnica delle Costruzioni, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Milano.

Riferimenti bibliografici

DI BIASE C., JURINA L., *Un grandioso caseggiato ad uso colonico*, TeMa, 2000

JURINA L., *Consolidacion estatica de edificios monumentales por medio de tirantes metalicos*, III Congr. Int. Rehabilitacion, Granada, 1996

JURINA L., *Tecniche ed esperienze nel consolidamento "attivo" di edifici monumentali*, Atti del Seminario "Evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni", Dubrovnik, Croatia, 28 aprile-5 maggio 2001

JURINA L., *La possibilità dell'approccio reversibile negli interventi di consolidamento strutturale*, Atti del XIX Convegno Scienza e Beni Culturali "La reversibilità nel restauro. Riflessioni, Esperienze, percorsi di ricerche", Bressanone, 1-4 luglio 2003

JURINA L., *Strutture in legno: Soluzioni leggere per il consolidamento in «Recupero e conservazione»*, n. 50, 2003, pp. 65-68

TAMPONE G. (a cura di), *Legno nel restauro e restauro del legno*, Atti del Congresso nazionale, Firenze, 30 novembre-3 dicembre 1983.

TAMPONE G., *Il restauro delle strutture di legno: il legname da costruzione, le strutture lignee e il loro studio, restauro, tecniche di esecuzione del restauro*, Hoepli, Milano 1996

TAMPONE G., MANNUCCI M., MACCHIONI N., *Strutture in legno. Cultura, conservazione, restauro*, de Lettera Editore, Milano 2002

LANER F., *Legno e stati di coazione*, Flap Edizioni, 2008

Figura 7. Ex monastero di S. Clara, Pavia: consolidamento mediante cavi esterni post tesi e "bilancini" in legno lamellare appoggiati sulla muratura.



Consolidamento delle strutture in legno

Strenghtening of timber structures

GIUSEPPE PISTONE

Abstract

Il testo verte su alcuni aspetti della conservazione delle strutture in legno esistenti:

- la riparazione con tecniche tradizionali;
- il ripristino delle condizioni di efficienza con tecniche parzialmente innovative;
- il miglioramento delle prestazioni statiche con tecniche innovative.

Per quanto riguarda il primo aspetto vengono presi in esame interventi ottenuti di recente con poche modifiche rispetto a quelli tradizionali, soprattutto per sfruttare dispositivi di collegamento facilmente reperibili nel mercato odierno.

La seconda tipologia di interventi viene individuata in quelle soluzioni che si servono di una tecnica antica, ma che la mutano, generalmente con sensibili miglioramenti, a mezzo di materiali un tempo non noti.

Come esempio si porta il consolidamento di antiche travi composte realizzato per mezzo di fasciature in tessuto di fibra di carbonio (FRP).

Per quanto riguarda la terza famiglia di interventi, dopo aver discusso i vincoli imposti dalle normative attuali sui carichi, vengono prese in esame alcune soluzioni ampiamente utilizzate negli ultimi anni, non sempre con sufficienti garanzie circa l'efficacia nel tempo dell'intervento. Viene poi illustrata una variante che, a giudizio dell'autore, supera i punti deboli evidenziati per le altre soluzioni sottoposte a disanima critica.

The texts concerns some aspects of preservation of existing wooden structures:

- *reparation with traditional techniques;*
- *rehabilitation of efficiency conditions with partially innovative techniques;*
- *improvement of static performances with innovative techniques.*

Concerning the firs aspect there will be examined recent interventions obtained with different modifications compared to traditional ones, especially to exploit joint devices easily available in the present market.

The second aspect concerns solutions that uses old techniques changing them with important improvements, using materials not well known in the past. For example the strenghtening of old composed beams by tying up with carbon fiber fabric (FRP).

As far as the third aspect is concerned, after discussing regulatory constraints on loads, there will be examined some solutions widely used in the last few years, though not always guaranteed regarding efficiency in long time period.

A new solution will then be illustrated that, according to the author opinion, can overtake the weaknesses of the other examined solutions.

Introduzione

Il testo verte su alcuni aspetti della conservazione delle strutture in legno esistenti:

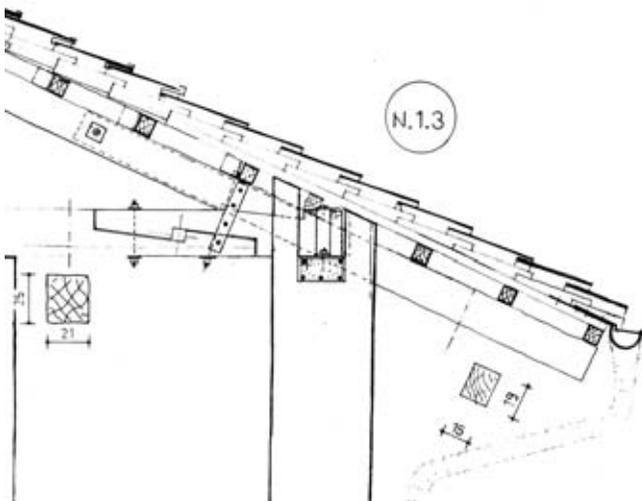
- la riparazione con tecniche tradizionali;
- il ripristino delle condizioni di efficienza con tecniche parzialmente innovative;
- il miglioramento delle prestazioni statiche con tecniche innovative.

La considerazione da cui occorre partire è che le strutture esistenti vennero concepite con prestazioni adeguate alla funzione loro assegnata al tempo della loro posa in opera; questa funzione dovrebbe di norma essere rispettata e mantenuta anche negli interventi di recupero e restauro, senza forzature che le stravolgano e le impegnino in modo improprio. Purtroppo di questi aspetti si tiene conto raramente.

Le normative attuali assegnano agli antichi elementi strutturali le stesse prestazioni assegnate agli elementi odierni; per esempio, per quanto riguarda i carichi di esercizio, essi risultano inutilmente elevati per dei comuni solai di civile abitazione che hanno assolto per secoli il loro compito in modo egregio. Oppure sono gli stessi committenti che cambiano la destinazione d'uso degli edifici, ad esempio passandoli da uso privato ad uso pubblico, aumentando con ciò i carichi di esercizio, e rendendo di conseguenza estremamente difficile l'adeguamento degli elementi strutturali lignei.

I tre aspetti sopra ricordati fanno fronte in qualche modo alle problematiche attuali del recupero strutturale: dalla semplice conservazione dell'efficienza strutturale originaria fino all'aumento della capacità portante con tecniche sconosciute all'epoca in cui l'elemento nasceva; è naturale che, oltre questi filoni principali, esista tutta una serie di soluzioni intermedie, ibride, o che addirittura mutano in modo radicale il materiale originario e le sue prestazioni: le tecniche illustrate sono state scelte perché intese a rispettare il materiale e a migliorarne le prestazioni, valorizzando quanto strutturalmente può tuttora esprimere,

Figura 1. Schema di progetto per la sostituzione dell'estremità deteriorata di una catena di capriata.



anche se con qualche aiuto «estraneo».

Tecniche tradizionali

Occorre partire dalle tecniche tradizionali, perché il loro uso secolare ed il successo ottenuto in passato le hanno collaudate ed esse garantiscono tuttora un risultato almeno soddisfacente; le tecniche ed i materiali nuovi invece si sono spesso rivelati nel lungo periodo dannosi. Se si intende utilizzarli, questi devono essere stati sufficientemente provati ed, in ogni caso, occorre impiegarli con grande prudenza.

Le tecniche tradizionali rispettano la struttura, che deve essere restaurata e reintegrata nella sua piena funzione, e non tenuta come un soprammobile: la stessa perdurante vitalità sta a testimoniare l'efficienza.

Oltre alla tradizione manuale, tuttora sopravvissuta, sia pure in casi limitati, esiste una cospicua bibliografia storica che illustra interventi di riparazione e rinforzo di strutture in legno accanto ad una ben più consistente trattazione relativa a nuove strutture, spesso presentate come prototipo, creazione dell'autore del testo. In bibliografia sono riportati gli estremi di alcune opere sull'argomento.

Gli interventi tradizionali fino agli inizi del Novecento operavano con le seguenti gradualità:

- sostituire le parti danneggiate con altre sane in legno massiccio forte; il collegamento era assicurato da dispositivi in ferro forgiato e, più anticamente, in legno di specie forte;
- affiancare nuovi elementi sani a quelli esistenti deteriorati;
- sostituire l'intero elemento compromesso con uno nuovo.

Anche oggi questa impostazione conserva una sua validità, anche se l'uso di elementi aggiuntivi è ormai limitato quasi solo all'orditura dei tetti.

I dispositivi di collegamento sono oggi costituiti da viti o bulloni in acciaio. Le viti attuali sono dispositivi partico-

Figura 2. Intervento per la sostituzione dell'estremità deteriorata di una catena di capriata.



A&RT

larmente efficienti, per la grande resistenza degli acciai adoperati, che consente l'impiego di diametri piccoli, in grado attenuare notevolmente l'effetto cuneo del ferro contro il legno; la larga filettatura di cui sono dotate assicura poi la tenacità del collegamento, cioè di consentire le necessarie deformazioni senza allentare la presa.

Le bullonature, impiegate come alternativa alle viti nei casi in cui queste ultime non possano essere utilizzate, provoca un marcato effetto cuneo, e può causare la scissione degli elementi in senso longitudinale, a motivo delle concentrazioni di sforzi che comporta l'uso di pochi elementi di grosso diametro; occorre pertanto valutare i rischi di scissione del legno parallelamente alle fibre e cercare in ogni caso di evitare l'allineamento di bulloni ravvicinati.

La chiodatura può essere un'alternativa all'uso di viti, ma la modesta efficacia ne limita l'uso a casi poco impegnativi.

La sostituzione di parti deteriorate con materiale sano e con collegamento a secco si dimostra adatta quando la zona di giunzione è sottoposta a momento flettente di entità modesta: in questi casi le tecniche tradizionali hanno pieno successo, aiutate da qualche adattamento dovuto all'uso di soluzioni messe a disposizione dalla tecnologia contemporanea.

È questo il caso tipico dei nodi delle capriate. Le Figure 1, 2, 3 illustrano l'intervento di sostituzione dell'estremità di una catena di capriata: in un caso come questo l'estremità è sottoposta a deboli sollecitazioni di taglio e momento flettente, dovuti al peso proprio, e a sollecitazioni di trazione dovuta al ruolo dell'elemento nella capriata; anche quest'ultima tuttavia non è elevata. La giunzione impegna dunque i dispositivi metallici per assorbire la trazione e parte del momento flettente, mentre affida al contrasto legno contro legno l'assorbimento del taglio e della componente di compressione del momento flettente. La nuova parte lignea aggiunta in

Figura 3. Posa in opera del puntone di una capriata dopo aver sostituito l'estremità deteriorata della catena.



sostituzione della zona degradata ha perciò lo scopo essenziale di riconfigurare la geometria della capriata là dove è venuta a mancare, integrando la funzione di continuità con pochi elementi metallici debolmente sollecitati e tali da provocare tensioni di contatto legno-ferro di valore contenuto. Il caso illustrato si riferisce al nodo inferiore di una capriata, ma può essere esteso senza difficoltà anche alle estremità delle travi di solaio.

Ragionamenti analoghi possono ripetersi per i nodi superiori delle capriate (Figure 4, 5) o per le estremità dei passa-fuori (Figura 6): nei primi la giunzione supporta il peso del monaco, mentre per le seconde la sollecitazione si riferisce al debole momento flettente delle estremità.

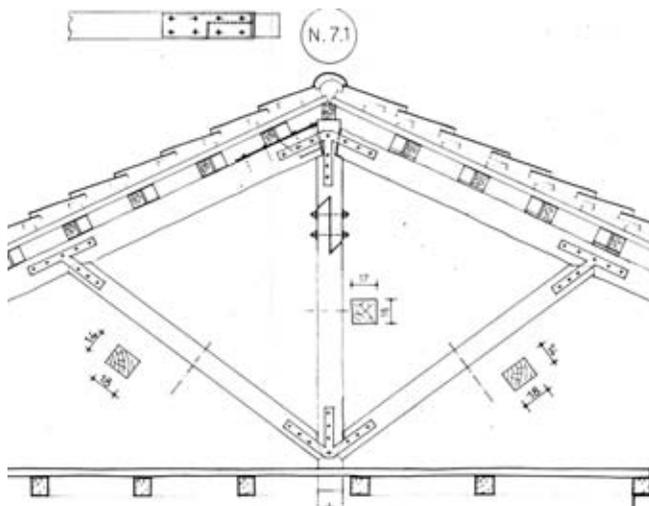
In tutti i casi illustrati la sostituzione parziale della struttura originaria deteriorata, più che dover far fronte a sollecitazioni impegnative, ha lo scopo di ricomporre la geometria originaria della struttura: per esempio nel caso del nodo inferiore di capriata, oltre a ricostituire la continuità della catena, si ricompono la sede per l'appoggio del puntone, mentre, nel caso del nodo superiore, l'integrazione della parte terminale del monaco ha la funzione essenziale di permettere l'attacco delle due travi inclinate, creando un'ideale articolazione a cerniera, aspetto questo molto più importante che riproporre il monaco in tutta la sua interezza.

Tecniche parzialmente innovative

Possono essere definiti in questo modo gli interventi che, pur utilizzando un'idea che ha le radici nel passato, operano delle correzioni con tecnologia e materiali attuali in grado di migliorare in modo sostanziale le prestazioni.

L'esempio riportato si riferisce al solaio di copertura del salone d'onore nell'antico palazzo comunale di Saluzzo (Figura 7). Le travi in legno che lo ricoprono e che sostengono l'ultimo piano abitato sono travi composte (Figura 8), realizzate con una suola inferiore giustapposta mediante dentellatura a due sopratravi connesse con bol-

Figura 4. Nodo superiore di capriata. Schema di progetto per la sostituzione dell'estremità deteriorata del monaco.



zoni in ferro alla parte inferiore. L'elemento complessivo ha sezione 26 x 47/49 cm ed è tuttora idoneo a fungere da struttura portante come solaio di civile abitazione; l'uso e l'età hanno però provocato l'allontanamento della dentellatura, oltre ad innesco di fenditure in corrispondenza di alcuni bolzoni. L'intervento è consistito semplicemente nel riportare all'efficienza originale la trave composta, ripulendo la superficie di contatto degli elementi e riportando questi ultimi ad aderire con continuità. Il collegamento con pioli della struttura originaria è stato sostituito da una fasciatura con nastro unidirezionale in fibra di carbonio, debitamente forzato fino a far aderire completamente le varie parti componenti la trave (Figura 9). Il nastro FRP non è stato incollato alla superficie lignea sottostante per consentire eventuali movimenti reciproci tra i due materiali; per non deturpare l'aspetto delle travi si è inoltre provveduto a collocare le fascette sotto una sottile striscia di legno superficiale decorato, prelevata previamente dalla superficie della trave e ricollocata successivamente nella stessa posizione originale, sopra la fascetta in FRP, in modo che quest'ultima non apparisse a lavoro ultimato.

La variazione rispetto alla soluzione originale è consistita nell'impiego di un materiale con resistenza e modulo elastico elevati, in grado di rendere la trave composta pienamente efficiente, senza rischi di subire allentamenti delle connessioni e senza i risvolti negativi dovuti alle concentrazioni di tensione della primitiva chiodatura.

Miglioramento delle prestazioni statiche con tecniche innovative

È questo un requisito frequente quando si vadano a rifunzionalizzare vecchi edifici con solai di legno: più che in relazione a cambiamenti di destinazione d'uso questi interventi si rendono necessari per adeguare i solai esistenti alle richieste normative sui carichi di esercizio, che le strutture in legno tradizionali non riescono quasi mai a

soddisfare. Oltre che riparare eventuali rotture o zone degradate è necessario quasi sempre aumentare la capacità portante degli elementi e renderli più rigidi.

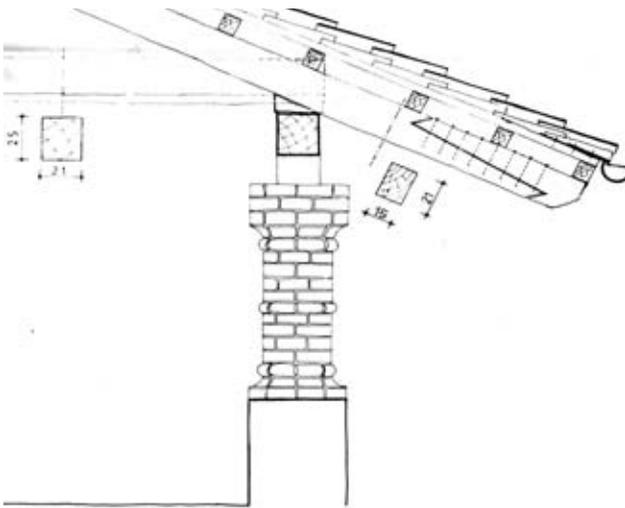
Negli ultimi decenni si è fatto spesso uso della tecnica di solidarizzare alle travi principali dei solai getti in conglomerato epossidico, armati con barre di acciaio e solidarizzati alle travi tramite pioli in acciaio o in vetro-resina; oppure unire getti di calcestruzzo armato al tavolato tramite connettori generalmente di acciaio. Entrambe le tecniche si basano sul presupposto che gli elementi che ne risultano possano essere considerati composti a tutti gli effetti e che ad essi possa essere applicata la teoria delle strutture miste, nelle quali la sezione viene omogeneizzata ad un unico materiale. La soluzione, corretta da un punto di vista teorico, presenta però aspetti che sollevano fondati sospetti circa la sua efficacia nel tempo. L'obiezione principale riguarda la compatibilità dei materiali: il legno massiccio è materiale sensibile all'umidità mentre sia i getti di conglomerato epossidico, sia di calcestruzzo, dopo la presa, diventano del tutto inerti: ne risulta un continuo movimento del legno, anche dell'ordine di alcuni centimetri, che col tempo allenta la connessione e annulla i benefici della sezione composta. In secondo luogo la cappa che il nuovo materiale realizza sul legno impedisce il contatto con l'aria e favorisce l'aggressione di parassiti e agenti biologici.

Va peraltro osservato che questo tipo di interventi è quasi del tutto irreversibile, per cui i danneggiamenti che possono evidenziarsi in conseguenza dell'intervento stesso o anche per altri motivi sono difficilmente riparabili. I produttori di materiali speciali e gli autori di brevetti si sono dati molto da fare negli anni passati per diffondere queste tecnologie, ma non risulta abbiano mai effettuato ricerche sulla durabilità e sulla efficacia nel tempo di questa soluzione. Va detto però che soluzioni similari utiliz-

Figura 5. Intervento per la sostituzione dell'estremità deteriorata del monaco.



Figura 6. Schema di progetto per la sostituzione dell'estremità deteriorata del passafuori.



A&RT

zate in solai nuovi con travi in legno lamellare o comunque con composti lignei stabilizzati hanno un comportamento affidabile e non presentano tendenzialmente gli inconvenienti evidenziati nel caso di solai di vecchia costruzione. Al fine di evitare i problemi di incompatibilità tra legno e conglomerato epossidico o cementizio, si può ricorrere, per aumentare la portanza delle travi principali dei solai, alla soluzione di avvitare un profilato metallico al loro estradosso.

Poiché in genere la freccia delle travi in opera è tale da non consentire un'apprezzabile congruenza tra il profilato metallico, specie se di sezione abbastanza grande, e la trave stessa, si può costruire direttamente in situ un profilato di sezione adeguata allo scopo e perfettamente adattata alla curvatura della trave esistente.

Le Figure 10 e 11 illustrano un intervento eseguito con successo in diversi casi a partire ormai da due decenni: lo scatolato metallico sostituisce il getto di conglomerato epossidico e l'uso di viti assicura la necessaria tenuta con la contemporanea possibilità di movimento della giunzione. Lo scatolato viene costruito in opera, prima fissando la piattabanda inferiore sufficientemente sottile per

adattarsi al profilo del trave, poi ritagliando le due anime verticali secondo il profilo dell'estradosso della trave e saldandoli alla lama già fissata al legno; infine completando con un eventuale piatto superiore il rinforzo metallico.

Qualora la connessione richieda un numero di viti superiore a quante ne può accogliere la lama inferiore, è possibile aumentare la superficie di contatto legno-ferro saldando delle alette alla lama stessa già prima del montaggio. La soluzione illustrata riesce frequentemente a raddoppiare il momento d'inerzia della trave originale, diminuendo così in modo sostanziale la tensione sul legno dovuta al momento flettente.

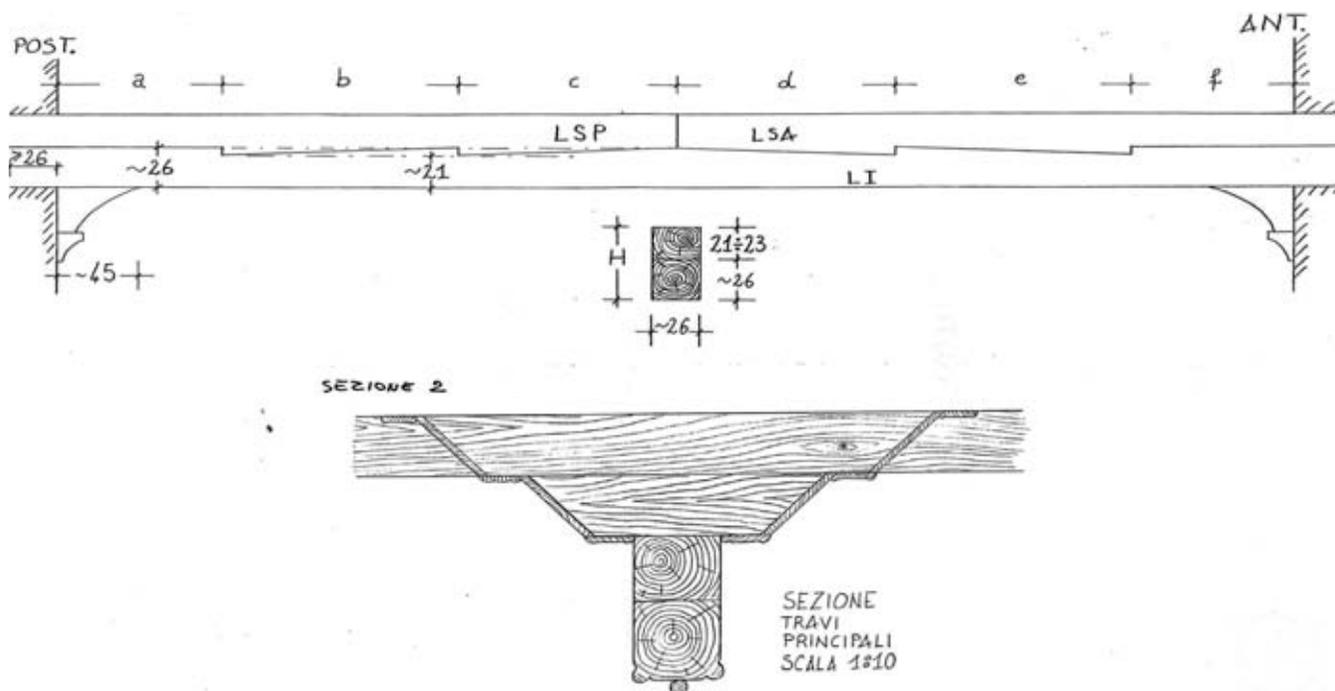
Conclusioni

Il recente Testo Unico contenente le norme per le costruzioni non ha sollevato le vecchie difficoltà per le strutture in legno, ma semmai ne ha aggiunto di nuove: la conferma dei carichi di esercizio, impiegati per le nuove costruzioni, anche per quelle vecchie, e la necessità di tenere presenti i problemi di adeguamento, o quanto meno di miglioramento sismico, trovano spesso nei pro-



Figura 7. Solaio in legno del salone d'onore dell'Antico Palazzo Comunale di Saluzzo.

Figura 8. Salone d'onore dell'Antico Palazzo Comunale di Saluzzo: disegno di rilievo col prospetto di una trave lignea principale composta.



gettisti un atteggiamento ostile o almeno scettico verso le strutture in legno.

Eppure se, per un lato, il materiale presenta spesso sezioni insufficienti o degradate, ha, per l'altro, indubbi vantaggi, almeno nei confronti delle soluzioni in c.a.: le sue doti di leggerezza, adattabilità e anche durabilità lo fanno un materiale eccellente per rispondere bene al sisma.

Gli esempi citati hanno dimostrato come sia possibile raggiungere prestazioni non trascurabili per quanto riguarda la resistenza e la rigidezza, senza stravolgere gli elementi strutturali; anche quando i vecchi solai si presentano con insufficiente rigidezza nel proprio piano – «l'infinita rigidezza» nel proprio piano è requisito irrinunciabile per attivare una buona risposta al sisma – è possibile dotarle di dispositivi di controventamento in grado di supplire a questa carenza, operando con tecnologie affini a quelle impiegate nelle strutture in acciaio.

Se questo è lo stato delle cose, penso occorra rivolgere un invito ai progettisti ed agli operatori, affinché rifuggano da una soluzione aprioristica di sostituzione, adagiandosi così sull'uso di interventi famigliari soprattutto in c.a., ma si sforzino piuttosto di guardare con fiducia al mondo

delle costruzioni in legno, e scelgano di conservare ciò che quasi sempre è conservabile, senza costi aggiuntivi rispetto alla soluzione di sostituzione generalmente in voga.

Riferimenti bibliografici

DE L'ORME, P., *Architecture*, Rouen 1648.
 KRAFFT J. C., *Plan coupés et élévations des diverses productions de l'art de la charpente*, s.d.
 RONDELET J., *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare*, prima traduzione italiana, Napoli 1839
 TREGOLD T., *Elementary Principles of Carpentry*, terza edizione, London 1840
 EMY A. R., *Trattato dell'arte del carpentiere*, prima traduzione italiana, Venezia 1856
 CURIONI G., *Lavori generali di architettura civile*, Torino 1870
 BREYMANN, *Costruzioni in legno*, traduzione italiana di C. Valentini, Milano 1884

Giuseppe Pistone, ingegnere, Professore Associato di Tecnica delle Costruzioni, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Politecnico di Torino.

Figura 9. Salone d'onore dell'Antico Palazzo Comunale di Saluzzo: esecuzione dell'intervento di posa in opera di fasce in FRP per il recupero delle travi principali.

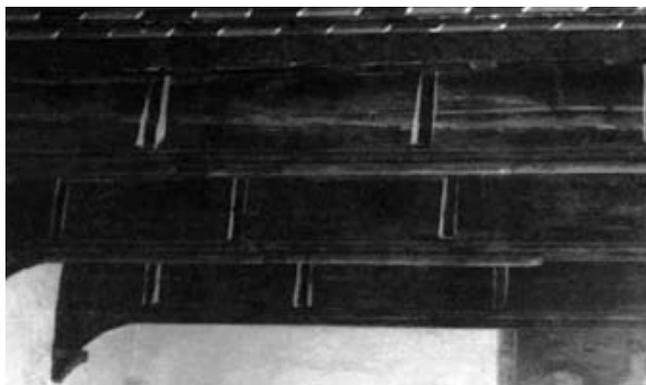
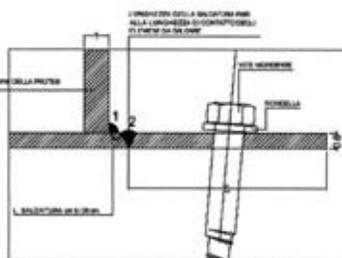
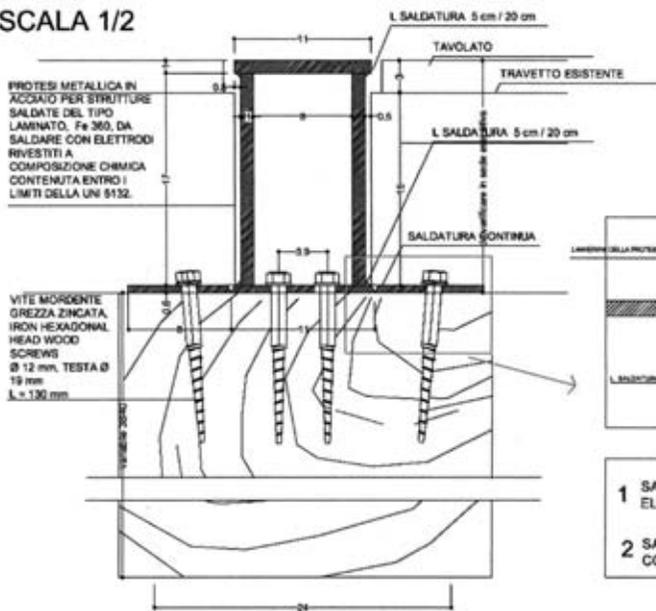


Figura 10. Schema di progetto dell'intervento per l'aumento di capacità portante delle antiche travi in legno. Sezione con il dispositivo metallico per la formazione della sezione composta.

**PARTICOLARE 1 SEZ A-A'
 SEZIONE TRAVE RINFORZATA
 SCALA 1/2**



**PARTICOLARE 3 SEZ X-X'
 DETTAGIO SALDATURE
 SCALA 1:1**

- 1 SALDATURA CON GIUNTO A T 1 CLASSE EFFETTUATA CON ELETTRODI DI QUALITA' 3 O 4 SECONDO UNI 5132
- 2 SALDATURA CON GIUNTO TESTA A TESTA 1 CLASSE EFFETTUATA CON ELETTRODI DI QUALITA' 3 O 4 SECONDO UNI 5132

Nanotecnologie nel recupero delle strutture di legno degli edifici storici

Nanotechnologies in recovery of timber structures of historic buildings

TANJA MARZI

Abstract

Il contributo, partendo dalla definizione delle nanotecnologie applicate al settore delle costruzioni, descrive le fasi principali condotte per la messa a punto di nuovi materiali (nanocompositi) per il recupero e il rinforzo delle antiche costruzioni in legno, con un'attenzione particolare a collegamenti e dispositivi per le loro applicazioni in-situ.

The paper, starting from the definition of nanotechnologies applied in the construction field, describes the main phases carried on for the set up of new nano-composite materials for the rehabilitation and reinforcement of ancient timber constructions, with special attention to joints and devices for their on-site applications.

1. Introduzione

La ricerca parte dalla constatazione della necessità di migliorare l'efficienza del processo gestionale manutentivo e del recupero con particolare attenzione ai manufatti lignei appartenenti ai beni culturali.

Ciò può essere realizzato facendo ricorso a nuovi approcci disciplinari fortemente innovativi, riferibili alle nanoscienze e nanotecnologie, al fine di ottimizzare processi e metodi nei programmi di interventi di consolidamento. In particolare la ricerca si è indirizzata verso lo studio, l'elaborazione e la sperimentazione di resine polimeriche rinforzate con nanotubi di carbonio negli interventi puntuali di recupero o rinforzo e nella protezione delle strutture lignee.

I test che sono stati condotti presso il Politecnico di Torino su questa tecnica innovativa hanno dimostrato un importante miglioramento delle prestazioni meccaniche degli elementi lignei rinforzati con resina e nanotubi di carbonio (il tema della ricerca si è sviluppato a partire da un Progetto PRIN - Programmi di Ricerca Scientifica di Rilevante Interesse Nazionale (coordinatore nazionale Prof. C. Bertolini Cestari) e nell'ambito della tesi di dottorato dal titolo *Impiego di nanotecnologie nei beni culturali per l'efficienza di sistemi manutentivi del costruito in legno: tecnologie innovative di recupero* (dottoranda T. Marzi, tutor C. Bertolini Cestari, Politecnico di Torino, 2010).

La possibilità di poter effettuare la polimerizzazione direttamente in-situ consentirebbe inoltre di evitare estese sostituzioni e smontaggi delle strutture esistenti.

Ciò comporterebbe sia il mantenimento di componenti originari e delle condizioni più prossime a quelle del comportamento in opera, sia vantaggi dal punto di vista dei tempi di realizzazione dell'intervento, aprendo così nuove vie nelle metodiche di recupero di elementi strutturali appartenenti al patrimonio edilizio storico.

La ricerca è caratterizzata da un approccio metodologico fortemente interdisciplinare in cui concorrono e si integrano discipline diverse (come la tec-

nologia dell'architettura e del legno, la scienza dei materiali, la chimica, la fisica, la scienza e la tecnica delle costruzioni).

2. Nanotecnologie/Legno

Le nanoscienze e le nanotecnologie rappresentano un nuovo approccio scientifico e tecnologico finalizzato a controllare la struttura e il comportamento della materia a livello atomico e molecolare, dove le proprietà differiscono notevolmente da quelle osservate su scale maggiori. Per inquadrare l'ambito in cui ci troviamo, è utile richiamare che il prefisso «nano» indica 10^{-9} : un nanometro equivale quindi ad un milionesimo di metro.

Le nanotecnologie costituiscono ambiti di investigazione multidisciplinare, che negli ultimi anni hanno interessato tutti i settori dell'industria con notevoli implicazioni economiche.

La loro diffusione è dovuta soprattutto all'impatto sui materiali, consentendo nuove caratteristiche e nuove prestazioni. Per l'Unione Europea le nanotecnologie rappresentano uno dei campi di maggior sviluppo scientifico del prossimo futuro: numerosi sono i documenti strategici per la programmazione della ricerca scientifica e anche i finanziamenti legati all'innovazione tecnologica. L'utilizzo di nano particelle permette di ottenere materiali dotati di nuove proprietà chimiche, fisiche e meccaniche e di fornire a un materiale convenzionale un incremento delle prestazioni originali.

Il legno, per le sue caratteristiche anatomiche, è considerato un materiale composito nanostrutturato naturale,

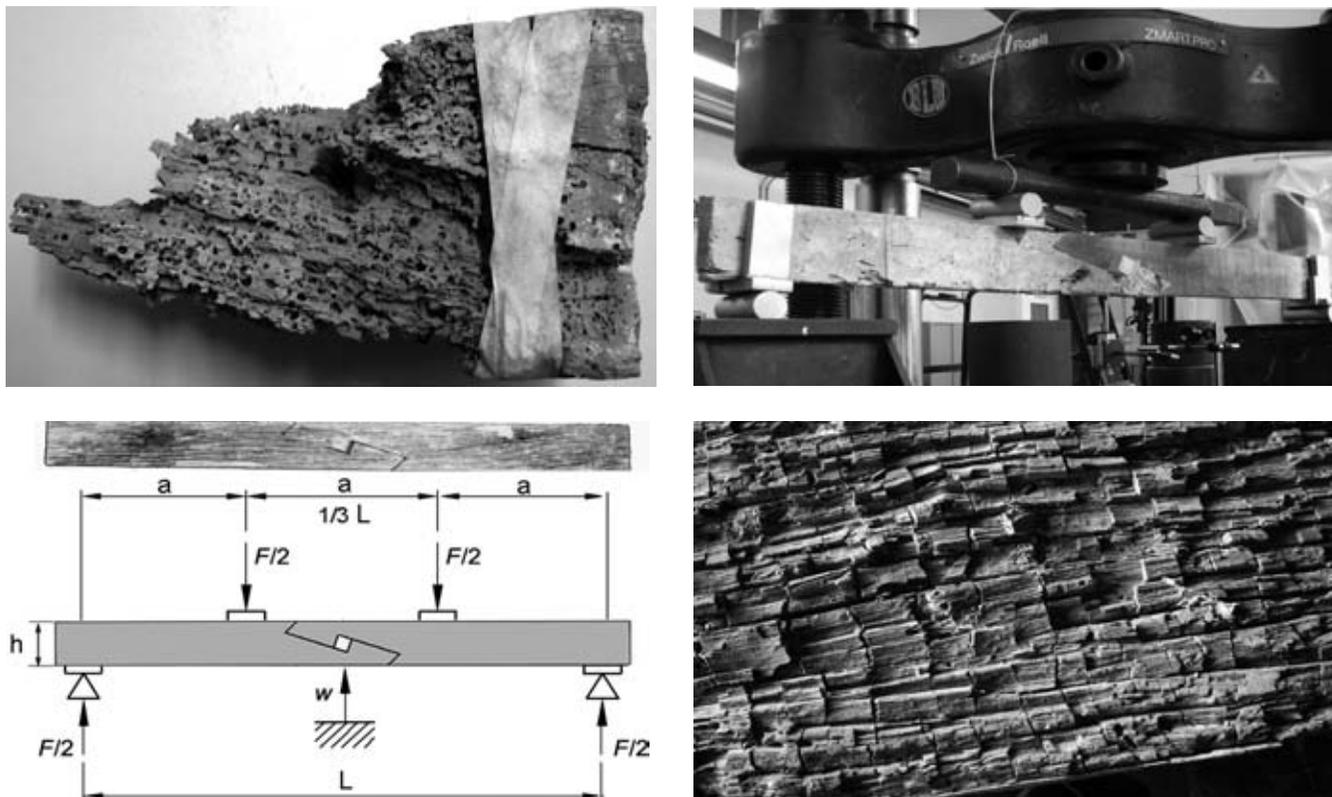
anatomicamente assimilabile a tubi cavi resistenti legati assieme da una matrice a comportamento termoplastico, la lignina, dotata di forti capacità dissipative dell'energia di frattura.

L'interesse della ricerca ha preso avvio proprio dalla considerazione di questo nanocomposito naturale che può offrire importanti applicazioni nel settore delle nanotecnologie.

Fra i principali utilizzi e applicazioni di prodotti nanostrutturati già presenti sul mercato vi sono:

- la protezione del legno da attacchi biotici con l'impiego di nuovi nanomateriali utilizzati sia come trattamenti protettivi sia come barriere per l'umidità. In particolare prodotti a base di nanoparticelle d'argento sono particolarmente efficaci per le loro proprietà antibatteriche, antimicrobiche e anti-muffa;
- nuovi *coatings* nanostrutturati, prevalentemente a base di nanoparticelle di silice, consentono, sfruttando il cosiddetto «effetto loto», di ottenere proprietà di idrorepellenza e allo stesso tempo di traspirabilità della superficie;
- una barriera protettiva nanodimensionale può inoltre conferire maggiori proprietà di resistenza ai raggi ultravioletti, con una finitura che non altera l'aspetto e la cromia originale del legno, caratteristica questa molto importante nell'ambito dei beni culturali;
- per la protezione dal fuoco, sono stati messi a punto materiali nanostrutturati a base di nanoparticelle di diossido di titanio e silice che si sono dimostrati ottimi ritardanti di fiamma.

Figura 1. Campioni lignei degradati. Macchina e schema di prova per i test di resistenza a flessione sui collegamenti a "dardo di Giove".



3. Sperimentazione di impregnazioni legno / resine / nanotubi di carbonio

Ampia parte della ricerca è stata dedicata alla sperimentazione volta all'impiego di resine polimeriche rinforzate con nanotubi di carbonio negli interventi puntuali di recupero funzionale delle strutture lignee. Tale tecnica innovativa non è attualmente utilizzata sul mercato della manutenzione e/o recupero e ha richiesto quindi un'adeguata sperimentazione, recentemente condotta presso i Laboratori dei Dipartimenti di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica e di Ingegneria Strutturale e Geotecnica del Politecnico di Torino.

I principali vantaggi dell'impiego dei nanotubi di carbonio, in riferimento alla sperimentazione sul legno, sono riconducibili a:

- i nanotubi sembrano essere particolarmente vantaggiosi nella sperimentazione con il legno in quanto essi sono morfologicamente e chimicamente compatibili sia con la resina polimerica utilizzata come legante sia con il materiale legno;
- l'estrema resistenza a trazione, unita all'elevata flessibilità, li rende particolarmente adatti per l'uso come rinforzo nei materiali polimerici, producendo nanocompositi ad elevate prestazioni;
- la struttura tubolare delle nanofibre consente un'elevata permeabilità al vapore, caratteristica questa che diventa importante per superfici di incollaggio estese, soprattutto nel caso del legno;
- i nanotubi possiedono inoltre interessanti proprietà di conduzione elettrica aprendo nuovi metodi di costruzione al campo dell'elettronica, consentendo di abbinarli a chip in dimensioni sempre più piccole.

3.1. Test su travi in dimensione d'uso

Dopo una fase iniziale di test sperimentali condotti su provini netti di legno, la metodologia è stata estesa a prove su campioni lignei in dimensioni di impiego provenienti da strutture storiche. Per la sperimentazione sono stati selezionati componenti di legno di Pioppo antichi fortemente degradati provenienti da un solaio ligneo della Reggia di Venaria Reale demolito per inadeguatezza delle prestazioni. In particolare, su tali elementi lignei, si è riscontrato un esteso degrado dovuto a funghi (carie bruna) e da un attacco di insetti Xilofagi (anobidi) che diminuiscono la resistenza meccanica del legno.

In previsione di ridare capacità portante ad un componente ligneo fortemente degradato, sono state predisposte sia un'impregnazione con nanotubi di carbonio – per rinforzare l'elemento degradato – sia una protesi lignea – per dare continuità al sistema.

La metodologia adottata si accorda con le direttive dei *Principi per la conservazione delle strutture lignee di interesse storico* redatti dall'ICOMOS Wood Committee che, nel caso di riparazioni o sostituzioni di parti di un elemento ligneo degradato, indicano che debbano essere utilizzati collega-

menti di carpenteria tradizionali per connettere la parte di legno nuova con quella esistente e che le parti nuove aggiunte debbano essere realizzate con la stessa specie legnosa.

Dopo uno studio condotto su alcune fra le principali tipologie di connessione a incastro ligneo appartenenti alla tradizione costruttiva storica ritenute più appropriate per essere utilizzate nell'ambito del recupero di elementi lignei e dopo un confronto con i suggerimenti della trattativa storica, la scelta è ricaduta su uno specifico collegamento ligneo che tradizionalmente costituiva uno dei principali metodi per realizzare una protesi lignea: il giunto a «dardo di Giove».

Questo tipo di giunto, basato su una particolare costruzione geometrica, consente di unire due elementi secondo un profilo molto simile alla saetta di un fulmine schematizzata ed è stato storicamente impiegato per l'unione di elementi in legno soggetti a flessione.

Per l'impregnazione degli elementi lignei degradati, si è scelto di utilizzare nanotubi di carbonio di tipo multiparete funzionalizzati, dispersi in una resina polimerica bi-componente a bassa viscosità (impiegati in un dosaggio di 0,75% rispetto alla resina), con lo scopo di ottenere un prodotto che potesse essere applicato sulla superficie del legno con una stesura a pennello, in vista di una possibile applicazione della tecnica in-situ.

Nei test si è scelto di analizzare, con prove non distruttive (densitometro da legno) e poi con prove distruttive (di resistenza meccanica a flessione), il collegamento ligneo a «dardo di Giove» con e senza l'impregnazione tramite resine polimeriche additivate con nanotubi di carbonio per verificarne il miglioramento dell'efficienza strutturale e validare la metodologia adottata.

In vista di un intervento di recupero, realizzato tramite protesi legno antico-legno nuovo, parte dei collegamenti sono stati realizzati con elementi di legno nuovo della stessa specie legnosa (Pioppo).

4. Conclusioni

Nonostante la complessità delle variabili che influiscono sull'esito della sperimentazione (per specie legnosa, per connessione tipo «dardo di Giove», per degradamento diffuso), i risultati hanno confermato l'ipotesi di un sensibile incremento di prestazioni meccaniche.

In effetti, l'andamento dei grafici carico/deformazioni risultati dalle prove su travi con giunti a «dardo di Giove» hanno dimostrato un aumento della resistenza meccanica dei campioni impregnati con resina e nanotubi di carbonio, sia rispetto al legno tale quale (dal 22% al 35%), sia rispetto al legno impregnato con la sola resina.

La metodologia applicata costituisce una base per la definizione di prassi trasferibili, protocolli d'uso e raccomandazioni per le procedure di prova e di misura della sperimentazione di resine polimeriche rinforzate con nanotubi di carbonio nel recupero di strutture di legno.

I risultati ottenuti dalla ricerca, sono promettenti e incentivano un proseguimento dell'attività condotta ampliando la fase sperimentale ad un maggior numero di prove che indaghino anche variabili aggiuntive al fine di perfezionare la tecnica innovativa proposta.

Tanja Marzi, architetto, dottore di ricerca in «Innovazione tecnologica per l'ambiente costruito», titolare di assegno di ricerca presso il Dipartimento di Progettazione Architettonica e di Disegno Industriale, Politecnico di Torino.

Riferimenti bibliografici

K.T. LAU, D. LUI, *Effectiveness of using carbon nanotubes as nano-reinforcements for advanced composite structures*, in «Carbon», n. , 2002, pp. 1597-1617

C. BERTOLINI CESTARI, T. MARZI, E. SEIP, P. TOULIATOS (editors), *Interaction between Science, Technology and Architecture in timber construction*, Elsevier, Paris 2004, pp. 31-56

AA.VV., *Nanotechnology for the Forest Products Industry. Vision and Technology Roadmap, Report of the Nanotechnology for the Forest Products Industry Workshop*, Lansdowne, U.S.A., October 17-19, 2004, TAPPI Press, Atlanta 2005

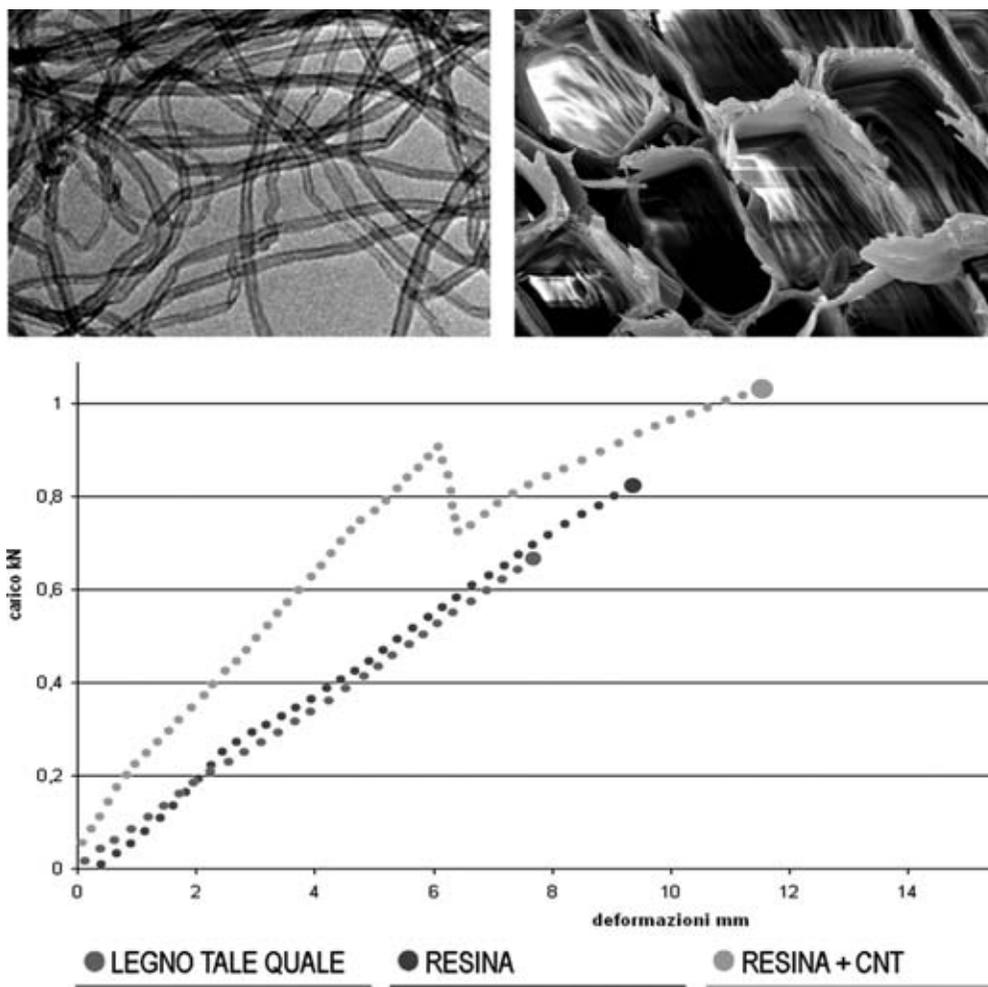
C. BERTOLINI CESTARI, S. INVERNIZZI, T. MARZI, J.M. TULLIANI, *Nanotechnologies applied to the restoration and maintenance of wooden built heritage*, in D'AYALA D., FODDE E. (editors), *Structural analysis of historical construction. Preserving safety and significance*, Proceedings of SAHC2008. VI International Conference, Bath; July 2008, Taylor & Francis, London 2008, pp. 941-947

C. BERTOLINI CESTARI, S. INVERNIZZI, T. MARZI, J.M. TULLIANI, *Use of nanotechnologies and nanosciences in cultural heritage for the efficiency of maintenance systems in wooden built heritage: restoration, conservation, maintenance, monitoring of interventions*, in *Structures en bois dans le patrimoine bâti*, Actes des journées techniques internationales Bois, Metz, Les cahiers d'ICOMOS France, Icomos, Paris 2009, pp. 87-91.

C. BERTOLINI CESTARI, T. MARZI, *Nanotechnologies for the conservation of timber construction belonging to Cultural Heritage*, in A. SPOSITO (a cura di), *Nanotech for Architecture*, Atti del I Convegno Internazionale, Luciano Editore, Napoli 2009, pp. 305-314

T. MARZI, *Impiego di nanotecnologie nei beni culturali per l'efficienza di sistemi manutentivi del costruito in legno: tecnologie innovative di recupero*, Tesi di Dottorato, tutor C. Bertolini Cestari, Politecnico di Torino, Aprile 2010

Figura 2. Immagini al microscopio a scansione elettronica (SEM) di nanotubi di carbonio e di campioni di legno. Confronto del grafico carico/deformazioni fra giunti a "dardo di Giove" realizzati con un elemento di legno nuovo e un elemento di legno antico degradato impregnato con resina e nanotubi di carbonio (CNT), con la sola resina, o legno tal quale



Datazione dendrocronologica delle strutture lignee

Dendrochronological dating of historic buildings

OLIVIA PIGNATELLI

Abstract

La dendrocronologia è un metodo di datazione del legno che viene sempre più frequentemente applicato allo studio delle architetture storiche. Essa può consentire di datare con estrema precisione l'abbattimento del tronco da cui è stato realizzato un manufatto, determinando in alcuni casi addirittura la stagione del taglio. È tuttavia importante sottolineare che non tutte le specie legnose sono idonee a questo tipo di indagine e che non sempre l'applicazione di tale metodo porta alla datazione del campione in esame. Il successo della datazione dendrocronologica dipende dalla specie legnosa in esame, dalla disponibilità di cronologie di riferimento, dal numero di anelli presenti e nel caso di singoli campioni dall'andamento della sequenza anulare presente.

Alcuni aspetti dell'indagine dendrocronologica sono illustrati attraverso dei casi di studio che hanno interessato alcuni edifici piemontesi con strutture lignee in larice, fra i quali il Castello del Valentino a Torino. Le sequenze elaborate per questi edifici, costituiscono la base per la costruzione di una cronologia del larice della Val di Susa.

Dendrochronology is a dating method that is applied more and more frequently to the study of historic buildings. Dendrochronological investigations allow to date with extreme accuracy the felling year of the utilized trunk, determining in some cases even the season of the felling. However it is important to underline that not all the species are suitable for dendrochronological analysis and that the application of this method don't provide always the dating of a timber.

The successful of dendrochronological dating is related to wooden species, availability of reference chronologies, number of tree-rings, and in the case of a single sample also on behaviour of the tree-ring sequence.

Some aspects of the dendrochronological analysis are described by the case studies of the larch timber structures of some historic buildings in Piedmonts, among them the Valentino Caste. The tree-ring sequences obtained from these building are the bases for the constructions of the larch chronology of the Susa Valley in Piedmont

La dendrocronologia è un metodo di datazione del legno, basato sullo studio degli anelli di accrescimento presenti sull'elemento in esame, che consente di determinare con precisione l'anno in cui ciascuno di essi si è formato, individuando in alcuni casi addirittura la stagione del taglio dell'albero da cui è stato ricavato il manufatto.

La recente pubblicazione della norma UNI 11141:2004 (UNI 11141, 2004), redatta nell'ambito della Commissione «Beni Culturali – Normale» gruppo di lavoro GL 20 «Legni e Derivati», che ha come oggetto la datazione dendrocronologica, testimonia l'interesse che questa disciplina ha assunto in Italia.

Figura 1a. Campionamento di travi in opera.



La metodologia dendrocronologica si fonda sul principio che, nelle zone temperate, alberi della stessa specie legnosa, viventi nella medesima area geografica, danno origine nello stesso periodo di tempo a serie anulari simili, dove ciascun anello corrisponde ad un anno del calendario.

La datazione di un manufatto ligneo di età sconosciuta si ricava confrontando la sequenza anulare che lo caratterizza con una cronologia di riferimento rappresentante l'andamento di crescita della specie legnosa in esame nel corso dei secoli nell'area geografica di probabile provenienza del legno.

L'applicazione di questa disciplina nello studio di architetture interamente in legno o con strutture lignee offre pertanto un prezioso contributo alla conoscenza storica e può anche fornire, attraverso la datazione degli elementi appartenenti alla costruzione originale e l'individuazione di eventuali interventi successivi, indicazioni utili alla stesura del progetto di recupero dell'edificio in esame.

Le possibilità di successo della datazione dendrocronologica sono legati a diversi aspetti, quali:

- la specie legnosa in quanto non tutte le specie sono idonee a questo tipo di indagine sia per le modalità dell'accrescimento legnoso, sia per la mancanza di cronologie di riferimento;
- il numero di anelli presenti sul campione: la sequenza anulare presente sul campione può essere troppo breve per ottenere un risultato affidabile;
- il tipo di sequenza: un campione isolato può presentare un andamento marcatamente individuale di difficile collocazione sulle cronologie di riferimento.

In particolare per quanto riguarda le cronologie di riferimento disponibili per i legni impiegati nelle strutture lignee del nostro Paese allo stato attuale delle ricerche, esistono, in genere, per le conifere, cronologie di riferimento plurisecolari, la maggior parte delle quali elaborate per le regioni dell'Italia settentrionale (Bebber, 1990; Bebber *et alii*, 1992; Braeker Schweingruber, 1989; Huesken, Schirmer, 1993; Levanic *et alii*, 2002; Motta, Nola, 1996; Nola, Motta, 1996; Strumia, Cherubini, 1997; Serre-Bachet, 1985).

Fra le latifoglie, invece, solo per la quercia caducifolia sono state pubblicate cronologie di lunghezza superiore ai tre secoli (Martinelli, Pignatelli, Romagnoli, 1995).

Il castagno, specie anch'essa frequentemente utilizzata nella carpenteria lignea antica, risulta, invece, di difficile datazione, in quanto essendo un albero coltivato, può risentire dell'influenza antropica sul suo accrescimento (Schweingruber, 1990).

È opportuno sottolineare che il grado di precisione della datazione dendrocronologica è strettamente legato al tipo di lavorazione del manufatto in esame: se esso conserva ancora tracce della corteccia o dell'ultimo anello sotto corteccia (il cosiddetto *Waldkante*), la datazione ricavata

per l'ultimo anello presente individua l'anno di morte dell'albero da cui è stato ricavato il manufatto; nel caso in cui esso, invece, sia privo degli anelli più esterni del tronco la datazione dendrocronologica risulta meno precisa e costituisce solo un *terminus ante quem non* per l'abbattimento, potendo mancare un numero indiscriminato di anelli, asportati durante la lavorazione del tronco originario. Per i legni a durame differenziato la presenza di almeno parte dell'alburno, indica, tuttavia, che l'elemento conserva gli anelli prossimi alla periferia del tronco: nel caso del larice o della quercia è anche possibile ricostruire approssimativamente, attraverso l'uso di formule matematiche, il numero di anelli di alburno mancanti ed individuare un ambito cronologico abbastanza ristretto in cui viene a cadere l'abbattimento della pianta matrice (Corona E., 1970; Corona E., 1974; Corona P., 1984; Hollstein, 1980).

In genere per datare una struttura lignea è opportuno prendere in esame più elementi della stessa fase costruttiva (in genere dai 5 ai 12): ciò consente l'elaborazione di curve medie, dove vengono evidenziate le variazioni del-

Figura 1b. Campionamento di travi in opera.



A&RT

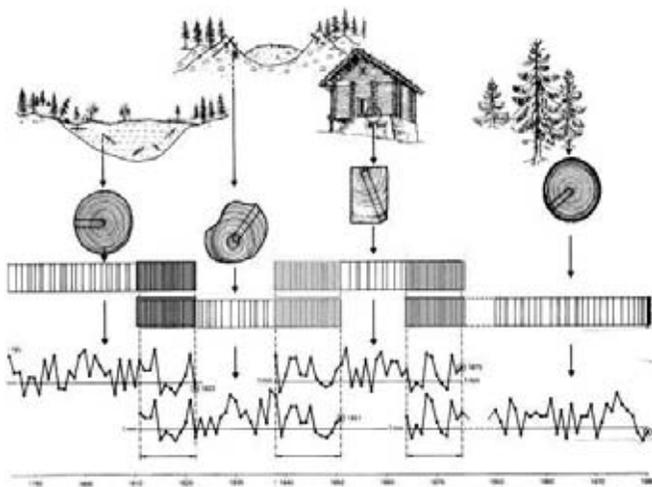
l'accrescimento comuni a più alberi e attenuate quelle marcatamente individuali, agevolandone il confronto con le cronologie. Nel caso di elementi privi degli anelli più esterni, l'esame di più campioni fra loro coevi permette, inoltre, di raggiungere una maggiore precisione nella datazione dendrocronologica, facendo corrispondere il *terminus ante quem non* con la data più recente individuata sull'insieme di campioni.

Come già sottolineato, non sempre la dendrocronologia consente di giungere alla datazione del manufatto in esame, sebbene questo abbia tutti i requisiti per essere idoneo a questo tipo di indagine: in genere per quanto riguarda le strutture lignee, anche dove è possibile disporre di numerosi campioni, la percentuale di elementi datati supera di poco il 70% (Adami *et alii*, 2009).

Per illustrare alcuni aspetti della datazione dendrocronologica si ricordano in questa sede le indagini condotte su alcuni edifici storici del Piemonte, fra cui il Castello del Valentino a Torino (Bertolini, Pignatelli, 1998; Bertolini, Pignatelli, 1999).

Il Castello del Valentino rappresenta in particolare uno dei primi studi dendrocronologici condotti in Italia su strutture lignee di copertura, dove si è proceduto ad un campionamento di tipo estensivo. Le indagini, che risalgono agli inizi degli anni '90 del secolo scorso e si sono svolte nel corso di più anni successivi, hanno interessato complessivamente un numero di oltre sessanta elementi lignei appartenenti al tetto centrale e alle incavallature delle quattro torri dell'edificio. Il campionamento costituisce una delle fasi più delicate dell'indagine dendrocronologica. Un accurato esame delle strutture, condotto in stretta collaborazione con l'arch. Clara Bertolini, ha pertanto preceduto il campionamento delle diverse travi. Nel corso dei sopralluoghi si è cercato di individuare gli elementi più idonei all'indagine sia da un punto di vista storico-architettonico, identificando gli elementi originali e gli eventuali elementi di sostituzione, sia da un punto di vista più strettamente dendrocronologico, selezionando

Figura 2. Costruzione di una cronologia di riferimento (da Schweingruber, 1988, modificato).



gli elementi caratterizzati da un numero di anelli elevato e dalla presenza della porzione più esterna del tronco, al fine di ottenere una datazione dell'abbattimento quanto più possibile precisa. Particolare attenzione è stata posta inoltre nell'individuazione dei marchi numerici di assemblaggio, la cui presenza in prossimità delle unioni di diversi elementi ne garantisce l'appartenenza al medesimo intervento costruttivo. Per il campionamento si è ricorsi, come di consueto nel caso di elementi in opera, al prelievo di carote del diametro di circa 0,5 cm mediante succhiello di Pressler ad avanzamento manuale. Le travi del Castello esaminate sono quasi esclusivamente in legno di larice, specie in genere idonea alla datazione dendrocronologica, per la quale sono disponibili numerose cronologie di riferimento dei diversi settori dell'arco alpino, sebbene non siano ancora edite cronologie per le provenienze piemontesi.

Difficoltà nella datazione di elementi in larice possono essere dovute alla presenza di anelli di dimensioni marcatamente ridotte, con legno tardivo costituito da un'unica fila di tracheidi, o addirittura di omissioni di anelli legate agli attacchi ciclici della Tortrice grigia del Larice (*Zeiraphera diniana* Guen.), che periodicamente defoglia la chioma dei larici dell'arco alpino a quote comprese tra i 1600-2100 m s.l.m. e che sono stati riconosciuti anche nei campioni del Valentino.

Il consistente numero di campioni esaminati ha consentito, tuttavia, di superare questo problema e grazie alla costruzione di curve medie è stato possibile, anche in assenza di curve standard locali, datare le strutture dell'edificio.

La datazione è stata ottenuta dal confronto con la cronologia del larice del Parco della Vanoise (Francia) (Tessier, 1986), regione prossima alle possibili zone di provenienza degli assortimenti legnosi impiegati; tale datazione ha trovato conferma anche dal confronto con una curva media locale elaborata successivamente con campioni prelevati da larici viventi di oltre cinquecento anni di età della Alta Valle di Susa (Pignatelli, dati inediti).

Sebbene la maggior parte delle travi datate fosse priva dell'alburno, accuratamente asportato dai carpentieri, la presenza su alcune di esse di almeno parte dell'alburno ha permesso di individuare un arco temporale abbastanza ristretto entro il quale collocare l'anno di abbattimento delle piante matrici, consentendo di evidenziare diversi momenti costruttivi. Gli elementi più antichi sono risultati quelli del tetto centrale, riferibili alla prima fase di costruzione del castello, documentata da fonti storiche nel 1620. Agli anni intorno al 1630 appartengono, invece, le travi delle incavallature delle quattro torri ad indicare che i lavori di edificazione del castello si sono protratti per almeno un decennio. Alcuni elementi isolati successivi al 1630 sono pure presenti nel tetto centrale e testimoniano probabilmente l'uso nel caso di grandi fabbriche

come quelle del castello del Valentino, dello stoccaggio di legname per lavori di manutenzione.

Di notevole interesse per la costruzione di una cronologia di riferimento per il Piemonte sono stati i risultati delle indagini condotte successivamente sulle strutture lignee di copertura, sempre in legno di larice, di due edifici della Valle di Susa, la Chiesa di Salbertrand e la Cappella del Seu all'interno del Gran Bosco di Salbertrand.

Nella copertura della chiesa di Salbertrand sono state esaminate 13 travi e una mensola; ad eccezione di quest'ultima, tutti gli elementi sono stati datati e risalgono agli inizi del XVI secolo.

La curva media ottenuta per l'edificio copre l'arco di tempo fra il 1330 d.C. e il 1512 d.C., sovrapponendosi solo per un breve arco temporale a quella del Valentino, mentre l'ultimo anello presente sulla trave di colmo della cappella del Seu, l'unico dei due elementi campionati che è stato possibile datare, si colloca in corrispondenza dell'anno 1674.

In particolare l'elevata concordanza sia ottica che statistica (con valori del t di Student superiori a 7), riscontrata fra quest'ultima serie dendrocronologica e la curva del Valentino, suggeriscono che il legname impiegato nella costruzione del Castello possa provenire dai boschi della Alta Valle di Susa.

Le serie dendrocronologiche ottenute per questi tre edifici piemontesi costituiscono la base della prima cronologia del larice della Alta Valle di Susa, tuttora in fase di elaborazione presso la Dendrodata s.a.s., che dal XIV secolo raggiunge i giorni nostri, grazie ai larici viventi già sopra menzionati a proposito del Castello del Valentino. L'indagine sistematica di altri edifici storici e di altri boschi di larice della valle di Susa, consentirà ampliando la banca dati relativa alla valle, di consolidare e completare la cronologia.

Olivia Pignatelli, dottore di ricerca, Dendrodata s.a.s., Verona.

Riferimenti bibliografici

A. ADAMI, C. BALLETTI, C. BERTOLINI CESTARI, G. BETTIOL, G. BIGLIONE, C. BRITO DE CARVALHO, E. GARBIN, F. GERBAUDI, F. GUERRA, S. MANDER, C. MENICHELLI, G. PAGLIARINO, F. PASTERIS, M. PIANA, O. PIGNATELLI, L. PILOT, M. R. VALLUZZI, P. VERNIER (2009), *Le strutture lignee dell'Arsenale di Venezia. Studi e restauri*, a cura di C. MENICHELLI, in Atti del XXV Convegno Scienza e Beni Culturali "Conservare e Restaurare il Legno. Prospettive, esperienze, prospettive", Bressanone, 23-26 giugno 2009, pp. 1163-1216

A. BEBBER (1990), *Una cronologia del larice (Larix decidua Mill.) delle Alpi orientali italiane*, «Dendrochronologia», 8, pp. 119-139

A. BEBBER, M. BURRO, N. MARTINELLI, O. PIGNATELLI, M. STROPPA (1992), *Coniferous tree-ring chronologies for*

Northern Italy, «LUNDQUA Report», 34, pp. 14-16

C. BERTOLINI CESTARI, O. PIGNATELLI (1998), *Le strutture lignee del Castello del Valentino in Torino: conoscenza e conservazione*, Atti del Convegno "Castra ipsa possunt et debent reparari, Indagini conoscitive e metodologie di restauro delle strutture castellane svevo normanne", Lagopesole, 16-19 ottobre 1997, Edizioni De Luca, Roma, tomo I, pp. 357-378

C. BERTOLINI CESTARI, O. PIGNATELLI (1999), *Datazione dendrocronologica di edifici storici in: Tecniche edilizie tradizionali - Contributi per la conoscenza e la conservazione del patrimonio archeologico*, a cura di Luigi Marino e Carla Pietramellara con la collaborazione di Cinzia Nenci, Alinea Editrice, Firenze, pp. 65-68

O. BRAEKER, F. H. SCHWEINGRUBER (1989), *Standorts-Chronologien. Teil 2: Appeninen Halbinseln*. WSL Ed., Birmensdorf

E. CORONA (1970), *Cerchie dell'alburno in tronchi di rovere*, «L'Italia forestale e montana», anno XXV, fasc. 3, maggio-giugno 1970, pp. 156-158

E. CORONA (1974), *Ricostruzione dell'alburno in legnami sommersi*, «Geoarcheologia» 1/2, pp. 19-22

P. CORONA (1984), *Anelli d'alburno in larice cisalpino*. «Dendrochronologia», 2, pp. 91-97

E. HOLLSTEIN (1980), *Mitteleuropäische Eichenchronologie*, «Trier Grabungen und Forschungen», II, pp. 1-273

W. HUESKEN, W. SCHIRMER (1993), *Drei Jahrringchronologien aus den Pragser Dolomiten/Südtirol*, «Dendrochronologia», 11, pp. 123-137

T. LEVANIC, O. PIGNATELLI, K. CUFAR (2002), *A regional larch chronology of trees and historic buildings from Slovenia and Northern Italy*, «Dendrochronologia», 20

N. MARTINELLI, O. PIGNATELLI, M. ROMAGNOLI (1995), *Primo contributo allo studio dendroclimatologico del cerro (Quercus cerris L.) in Sicilia*, «Dendrochronologia», 12, 1994, pp. 61-76

R. MOTTA, P. NOLA (1996), *Dendrochronological signal in three stone pine (Pinus Cembra L.) chronologies from the western Italian Alps*, «Dendrochronologia», 14, pp. 43-57

R. MOTTA, P. NOLA (1996), *Una cronologia plurisecolare di larice (Larix decidua Mill.) per l'Alta Val Malenco (Sondrio, Italia)*, «Dendrochronologia», 14, pp. 31-42.

F. H. SCHWEINGRUBER (1988), *Tree rings. Basics and applications of dendrochronology*, Dordrecht, Reidel Publishing Company

F. H. SCHWEINGRUBER (1990), *Baum und Holz in der Dendrochronologie*, WSL, Zuerich, pp. 52-56

F. SERRE-BACHET (1985), *Une cronologie pluriseculaire du sud de l'Italie*, «Dendrochronologia» 3, pp. 45-66

G. STRUMIA, P. CHERUBINI (1997), *Il segnale climatico di due cronologie plurisecolari di larice (Larix decidua Mill.) delle Alpi Italiane*, «Dendrochronologia», 15, pp. 171-179

L. TESSIER (1986), *Chronologie des mélèzes des Alpes et petit âge glaciaire*, «Dendrochronologia», 4, pp. 97-113

UNI 11141, 2004, *Beni culturali. Manufatti lignei - Linee guida per la datazione dendrocronologica del legno*, UNI, Milano

Caratterizzazione meccanica in situ. L'aiuto al progettista della normativa italiana

In situ mechanical characterization. The help of Italian law for the designer

ALAN CRIVELLARO

Abstract

Lo scopo di questo contributo è quello di illustrare i vantaggi e le potenzialità che la normativa tecnica italiana fornisce ai progettisti di interventi di recupero e restauro di strutture lignee, con particolare riferimento alle strutture appartenenti ai beni culturali.

The purpose of this contribution is to illustrate the advantages and potentials that technical regulation gives to designers for rehabilitation works and restoration of timber structures, with particular regards to cultural heritage.

Introduzione

L'origine biologica del legno viene spesso citata, a ragione, per asserire che esso è un materiale ecosostenibile. È utile ricordare, visto lo specifico argomento di questo contributo, che l'origine biologica del legno consiste nel fatto che questo materiale viene prodotto da un organismo vivente: l'albero. È possibile descrivere almeno sommariamente alcune caratteristiche che accomunano i legni prodotti dalle diverse specie di alberi.

In primis, tutti i legni hanno due caratteristiche in comune, le quali incidono pesantemente sulle loro proprietà meccaniche:

- 1) tutti i legni hanno struttura porosa;
- 2) tutti i legni sono meccanicamente molto resistenti in rapporto alla loro densità.

Entrambe queste caratteristiche, la porosità e la resistenza meccanica, derivano dalla costituzione cellulare del legno. Non va infatti dimenticato che il legno, di qualunque specie, è costituito da cellule, composte da una parete cellulare rigida che racchiude una cavità interna. Tale cavità può contenere diverse sostanze, ognuna delle quali può conferire caratteristiche peculiari ai vari legni (odore, colore ecc.).

Ciò che qui più ci interessa è il rapporto volumetrico fra spazio occupato dalle pareti cellulari e spazio occupato dai lumi cellulari.

La massa volumica rappresenta infatti il rapporto fra la massa di pareti cellulari e il volume apparente di legno (pareti cellulari più cavità cellulari).

Perché è importante parlare di massa volumica del legno?

Essenzialmente per due motivi: perché la massa volumica è strettamente legata alle prestazioni meccaniche del legno e perché essa è molto variabile sia fra i diversi legni sia fra pezzi di legno della stessa specie legnosa.

Unendo le due affermazioni precedenti si può giungere alla seguente considerazione: le proprietà meccaniche del legno sono molto variabili, sia fra legni diversi, sia all'interno di una stessa specie legnosa.

Il legame fra massa volumica del legno e le sue proprietà meccaniche è

intuibile dal fatto che a maggiore massa volumica corrisponde una maggior quantità di «materiale resistente» nel volume di legno considerato.

Tuttavia, le resistenze meccaniche di un elemento ligneo non dipendono solo dalla sua massa volumica, ma anche da una serie di altri fattori.

Fra questi si ricordano principalmente la presenza di nodi, l'inclinazione della fibratura rispetto all'asse longitudinale dell'elemento, le soluzioni di continuità dei tessuti (cipollatura).

La presenza e l'entità di queste caratteristiche in ogni elemento strutturale concorrono alla definizione del suo specifico profilo resistente.

Come è possibile considerare affidabile un materiale da costruzione sapendo che le sue proprietà di resistenza meccanica sono molto variabili? Attraverso la classificazione secondo la resistenza.

La classificazione del legno secondo la resistenza ha infatti lo scopo di ovviare alla variabilità delle caratteristiche del legno che influenzano le sue proprietà meccaniche.

Classificare il legno ha proprio questo significato: dividere il legname per usi strutturali in classi (gruppi) omogenee di legname.

Per fare questo è necessario valutare ogni singolo elemento ligneo, al fine di stimare il suo profilo di resistenza, onde inserirlo nella classe appropriata. Tale processo di classificazione può essere eseguito con modalità diverse: a vista e/o a macchina (attraverso strumentazioni con vario principio di funzionamento).

Normativa di riferimento per la caratterizzazione meccanica *in situ*

La normativa di riferimento per le strutture lignee esistenti è rappresentata in generale dalle norme tecniche per le costruzioni DM 14/09/2009 e in particolare, per le strutture appartenenti ai beni culturali, dalla normativa tecnica UNI.

Dal paragrafo 9.2. *Criteri generali* del citato DM 14/09/2009 si riporta testualmente: «Quando ricorrono particolari complessità a livello di acquisizione dati e di processo conoscitivo, come nei casi di edifici storico-monumentali ed artistici di grande significatività e complessità, la valutazione della sicurezza potrà essere fondata su una accurata anamnesi storica della costruzione e su processi logico-deduttivi, ed espressa e motivata con un "giudizio esperto" formulato da una commissione di tre esperti...». Vengono qui in aiuto al progettista le norme tecniche UNI 11119:2004 e UNI 111138:2004 elaborate dalla commissione «Beni culturali-NORMAL».

La norma UNI 11119 *Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera* stabilisce obiettivi, procedure e requisiti per la diagnosi dello stato di conservazione e la stima della resistenza e della rigidità di elementi lignei in

opera nelle strutture portanti di edifici compresi nell'ambito dei beni culturali, attraverso l'esecuzione di ispezioni in situ e l'impiego di tecniche e metodologie di prova non distruttive.

La tecnica di classificazione impiegata si basa su quelle elaborate per la classificazione a vista del legname nuovo, tenendo però in grande considerazione eventuali alterazioni e degradamenti presenti sulla struttura in opera.

La possibilità di visionare un elemento in opera è spesso limitata e questo rende la valutazione complessa o, in casi limite, non attuabile (elementi ricoperti da strati decorativi che impediscono l'osservazione del legno).

La valutazione della capacità portante delle membrature in opera avviene attraverso l'esecuzione di una indagine diagnostica su tutti gli elementi della struttura.

L'indagine comprende diverse fasi:

- l'identificazione della specie legnosa (UNI 11118:2004);
- la stima del contenuto di umidità del legno della presenza di eventuali gradienti di umidità negli elementi;
- la definizione della classe di rischio biologico per il legno, secondo le UNI EN 335-1 e UNI EN 335-2;
- il rilievo dimensionale dell'elemento ligneo;
- la classificazione secondo la resistenza di ogni elemento;
- la valutazione strumentale volta a quantificare l'estensione del degradamento nelle zone non a vista (ad esempio: testate immerse nella muratura),
- la stima della sezione resistente residua e la stima della efficienza dei collegamenti.

Le prime tre fasi consentono di stabilire se la struttura in opera è attualmente soggetta a degradamento biotico da parte di specifici organismi xilofagi. Tutte le altre valutazioni consentono l'identificazione di un profilo resistente per ognuno degli elementi che compongono la struttura in esame.

Tale metodologia di indagine richiede una collaborazione multidisciplinare: tecnologo del legno e strutturista devono integrare le loro competenze.

Il tecnologo del legno ha le specifiche conoscenze per conoscere la qualità originaria del legno e dei collegamenti, i degradamenti eventualmente intervenuti nel tempo e le attuali prestazioni della struttura.

Allo strutturista spetta il compito di valutare se la resistenza attesa del legno sia sufficiente a valutare le esigenze strutturali. Insieme, queste due figure professionali valuteranno eventuali necessarie soluzioni di interventi di sostituzione, integrazione o rinforzo.

È a questo punto utile al progettista la norma UNI 11138:2004 *Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Criteri per la valutazione preventiva, la progettazione e l'esecuzione di interventi*.

La norma fornisce le indicazioni generali sui criteri che devono guidare tutte le operazioni di valutazione preven-

A&RT

tiva, di elaborazione e di stesura dei progetti, nonché di esecuzione degli interventi su manufatti lignei costituenti elementi portanti di edifici di interesse culturale al fine di garantirne e/o mantenerne l'effettiva consistenza fisica e la funzionalità, ove possibile.

La norma si articola nelle cinque sezioni di seguito elencate:

- a) valutazione preventiva dello stato di fatto. Si avvale della procedura descritta nella norma UNI 11119 per la caratterizzazione strutturale, ma comprende anche una analisi storica. Lo scopo di questa fase è la valutazione dello stato di fatto e la comprensione del comportamento globale dell'edificio e del ruolo svolto dalle membrature lignee, anche nei confronti della stabilità complessiva.
- b) progettazione dell'intervento. Dalle indicazioni e dai risultati della fase precedente, diverse competenze multidisciplinari concorrono in questa fase alla progettazione ed alla valutazione preliminare dell'efficacia dell'intervento. La norma prevede il rispetto dei criteri di reversibilità e di compatibilità fisico-meccanica nel caso di interventi di recupero.
- c) criteri per il controllo di efficacia di un intervento, preliminare all'intervento stesso;
- d) metodologie e tecniche di esecuzione di un intervento, che deve essere eseguito da personale specializzato;
- e) ispezioni periodiche specifiche per tipologia e tempistica.

La norma si occupa degli aspetti più strettamente tecnico-scientifici relativi alla valutazione, alla progettazione e all'esecuzione dell'intervento, senza fornirne tutti i dettagli operativi.

Conclusioni

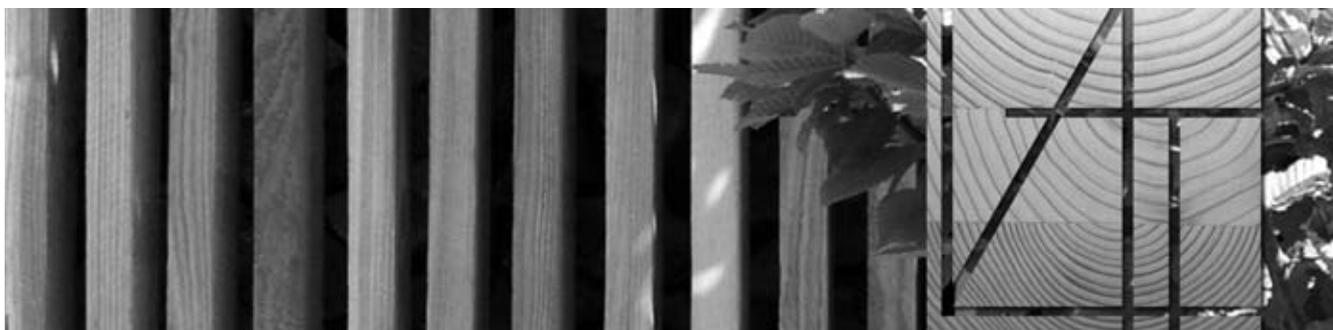
Esistono gli strumenti normativi che possono venire in aiuto al progettista nella caratterizzazione meccanica in situ di strutture esistenti e nelle successive fasi di progettazione ed esecuzione di interventi. È necessario diffondere una conoscenza del materiale legno per evitare che si demoliscano strutture in legno solo perché vecchie. Vecchio non significa nulla, bisogna conoscere prima di agire, e a questo serve la norma di concerto con l'ausilio del progettista.

Alan Crivellaro, tecnologo del legno, dottorando di ricerca presso Dipartimento Territorio e Sistemi Agro Forestali, Università di Padova.

Riferimenti bibliografici

- UNI EN 335:2006. *Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno - Definizione delle classi di utilizzo - Parte 1: Generalità*
- UNI EN 335:2006. *Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno - Definizione delle classi di utilizzo - Parte 2: Applicazione al legno massiccio*
- UNI 11118:2004. *Beni culturali - Manufatti lignei - Criteri per l'identificazione delle specie legnose*
- UNI 11119:2004. *Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera*
- UNI 11138:2004. *Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Criteri per la valutazione preventiva, la progettazione e l'esecuzione di interventi*
- L. UZIELLI (coordinatore) (2004), *Il Manuale del Legno Strutturale*, Mancosu Editore, Roma
- G. GIORDANO, A. CECCOTTI, L. UZIELLI (1999), *Tecnica delle costruzioni in legno*, Hoepli, Milano, V edizione

Parte quarta. Tecnologia e normativa
Part four. The technology and the norm



Prodotti a base di legno. Tradizione e nuove tecnologie

Wood-based products. Tradition and new technologies

ROBERTO ZANUTTINI

Abstract

I materiali a base di legno utilizzabili nelle costruzioni non includono soltanto quei prodotti con proprietà di sopportazione dei carichi, ma si estendono a molteplici componenti dei sistemi delle costruzioni e del riqualificazione edilizia dai quali ci si attende che siano espressi e garantiti requisiti prestazionali, funzionalità, sicurezza e valori formali.

Il contributo descrive i principali prodotti della filiera legno che interessano questo campo, definendo, con particolare attenzione alle applicazioni strutturali, una guida alle loro caratteristiche e al loro uso tecnico, tale che possa essere utile ai progettisti. Si fa inoltre una rassegna di alcune recenti innovazioni disponibili sul mercato domestico e si riportano commenti sugli attuali sviluppi.

Wood-based materials suitable for use in construction do not include only those products with a load bearing capacity but extend to many components of the building and renovation systems for which performance requirements, functionality, safety and aesthetic values are expected to be declared and guaranteed.

The paper describes the main products of timber processing that interest this field, providing, with particular reference to structural applications, a guidance on their technical properties and use, which may be useful to designers. It also reviews some recent innovations available at the domestic market and reports comments on the developments in progress.

Introduzione

In Italia l'uso del legno nelle costruzioni, che era storicamente diffuso e vantava una grande tradizione, dopo un lungo periodo di pausa, ha fatto registrare un rinnovato interesse a partire dagli anni '80 del secolo scorso, grazie all'introduzione del lamellare, di manufatti analoghi e agli studi sul recupero dei beni culturali.

Ciò si è concretizzato nella realizzazione di numerose infrastrutture ed opere architettoniche o ingegneristiche dell'edilizia pubblica, che hanno favorito il nascere di nuove competenze progettuali, fornendo un contributo positivo ed esempi di soluzione per vari problemi tecnologici (Giordano, 1997; Giordano *et al.*, 1999).

Se il quadro evolutivo è valido per i prodotti e gli elementi strutturali di tipo lineare, che hanno effettivamente recuperato un'identità e spazio apprezzabili, non si può dire lo stesso per i pannelli a base di legno; questi, pur trovando una naturale collocazione come complemento al legno massiccio e lamellare nei tamponamenti, partizioni, sostegni o irrigidimenti, salvo rari casi, risultano ancora scarsamente considerati.

D'altra parte, la nostra produzione industriale di pannelli è prevalentemente indirizzata al settore del mobile-arredo o ad altri ambiti dell'edilizia, quali

in particolare gli infissi e i pavimenti (Berti *et al.*, 2002). Tale scelta è condizionata dalla carente disponibilità di materia prima, ma ancor più da una cultura del costruire orientata verso materiali diversi, nel cui contesto la *domus lignea* stenta ancora a superare la valenza di provvisorietà e una serie di percezioni negative legate al concetto di prefabbricazione.

Da alcuni anni, tuttavia, si registra un incremento considerevole dei consumi di legno e derivati anche nell'edilizia residenziale, trainato soprattutto da nuove esigenze di ottimizzazione dell'efficienza energetica e dalla messa a punto di prodotti in grado di soddisfare requisiti specifici.

In questo ambito varie considerazioni tecniche ed economiche giocano a favore, come ad esempio nella realizzazione di tetti e solai, ove il rapporto leggerezza/resistenza dei materiali legnosi rappresenta un vantaggio importante nei confronti del rischio sismico, ma anche in quella delle pareti in compensato di tavole che caratterizzano il più recente sistema costruttivo di edifici a pannelli portanti.

Di seguito viene fornita una rassegna dei principali prodotti a base di legno partendo dalla descrizione dei più tradizionali in massiccio per giungere a quelli di recente introduzione sul mercato e dalle caratteristiche innovative.

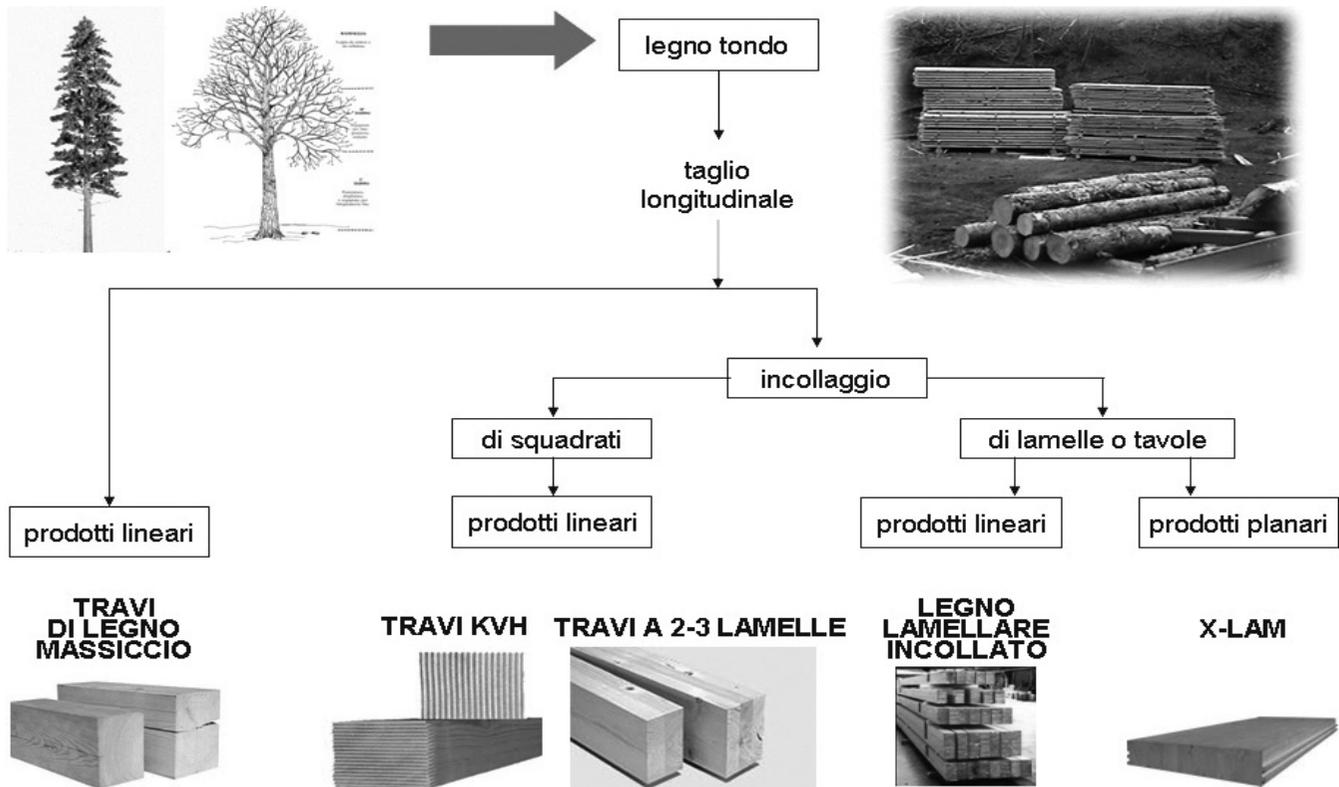
Prodotti tradizionali

I *prodotti di legno massiccio* destinati all'edilizia sono ricavati da fusti – o loro porzioni – per lo più di conifere, di buone dimensioni e forma e con caratteristiche di accrescimento e qualità (spesso legate alla provenienza) tali da garantire un adeguato comportamento meccanico (Figura 1).

Tralasciando quelli di *legno tondo* che in Italia sono usati in ambiti circoscritti (con il sistema *blockbau*) e in interventi ambientali con tecniche di ingegneria naturalistica, rivestono particolare importanza le *travi con tolleranza di smussi*, ad esempio Uso Trieste (che seguono la rastremazione del fusto) e Uso Fiume (a sezione costante), quelle a *spigolo vivo*, normalmente disponibili fino a 14 metri di lunghezza, o altri *segati a sezione rettangolare o quadrata*, della lunghezza tipica di almeno 4 metri (Giordano *et al.*, 1999).

Questi manufatti, che entro certi limiti dimensionali sono realizzabili a costi contenuti, si distinguono in quanto il legno mantiene la continuità di fibratura e la struttura compatta che aveva nel tronco originario. Essi forniscono un contributo significativo alla realizzazione di elementi strutturali dall'aspetto naturale ma solitamente caratterizzati da inevitabili fessurazioni superficiali che, a volte, determinano accese discussioni con committenti mal informati sugli effetti della stagionatura.

Figura 1. Prodotti in legno massiccio e lamellare. La descrizione dei materiali legnosi può essere effettuata secondo varie chiavi di lettura; tra le più comuni rientrano il livello di scomposizione e ricomposizione della materia prima e la configurazione spaziale del prodotto (ovvero se esso ha prevalente sviluppo lineare o planare). In questo ambito è possibile riscontrare sia i prodotti in legno massiccio propriamente detti, sia quelli riferibili alla tecnologia del lamellare o che fanno da cerniera tra il settore dei segati e l'industria dei pannelli.



A&RT

Grazie ad essi, in passato molti carpentieri hanno sviluppato grande abilità e competenza nella lavorazione, progettazione e costruzione di elementi lineari in strutture notevoli dal punto di vista architettonico, per importanza storico-culturale e in armonia con i luoghi, le tradizioni e il paesaggio.

Tali prodotti risultano ancora adatti e diffusi per la realizzazione di strutture di copertura (come ad esempio nelle capriate, arcarecci e travetti del tetto «alla piemontese») e solai (anche ad orditura multipla) nelle costruzioni di tipo rustico (residenze private, agriturismi, ma non solo), ponti e passerelle e nel recupero o restauro di opere lignee esistenti.

Con opportuni accorgimenti, il legno massiccio permette comunque di progettare strutture innovative e moderne, come quelle a guscio e senza l'uso di adesivi del sistema «a graticcio di tavole» (AA.VV., 2009c).

Nel tempo, con l'emergere di materiali alternativi, la grande tradizione sulla conoscenza e impiego del legno massiccio si è andata in parte perdendo, ma l'evoluzione delle tecniche di trasformazione ed assemblaggio ha portato allo sviluppo di nuovi prodotti, quali il *legname da costruzione giuntato* longitudinalmente sull'intera sezione trasversale (meglio noto come KVH) e le *travi a 2 o 3 lamelle* di sezione adeguata ma prive di midollo centrale, disponibili in dimensioni standard con il vantaggio della

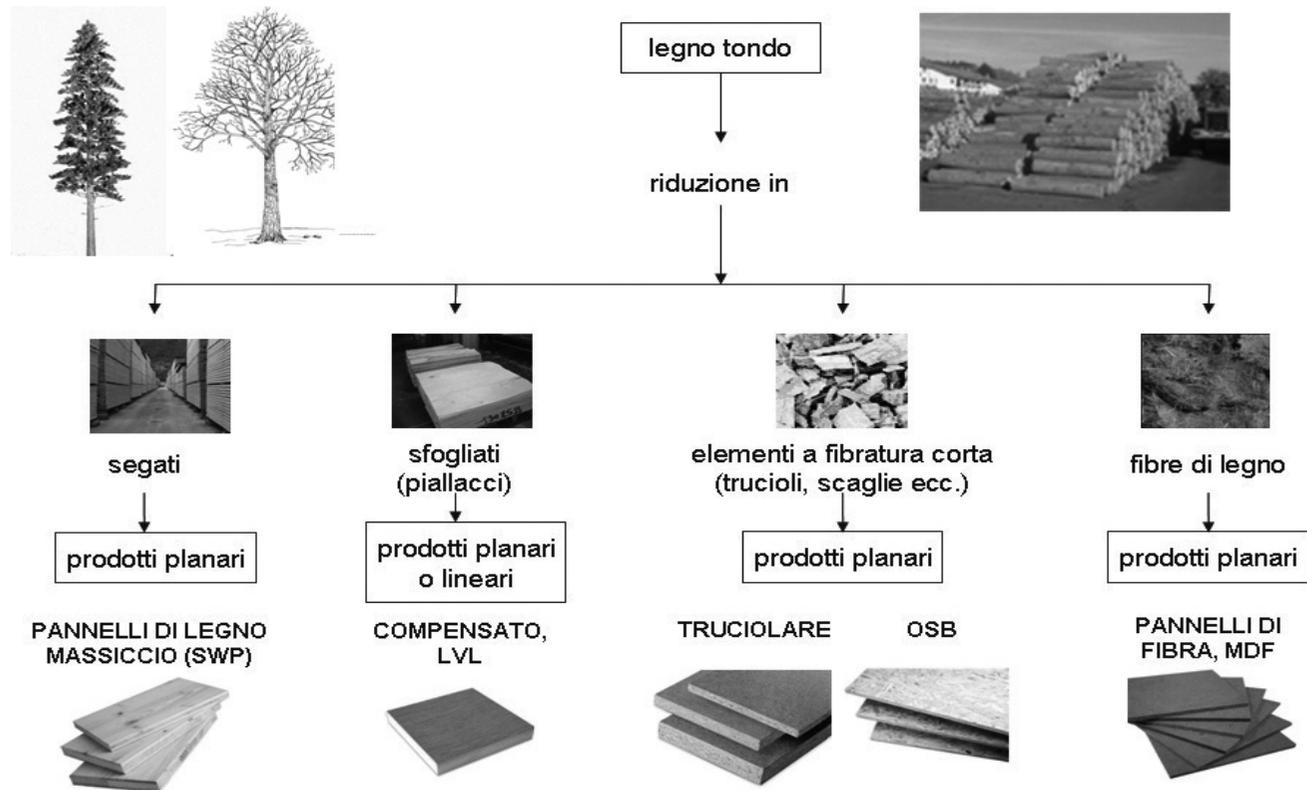
pre-essiccazione. Quando l'aspetto decorativo o sensoriale costituiscono un requisito importante, essi consentono di ottenere elementi «a vista» caratterizzati da una ridotta incidenza di fessurazioni, particolarmente apprezzati nell'edilizia residenziale.

Il *legno lamellare incollato* è stato il vero protagonista degli ultimi 35 anni di impiego dei prodotti lignei nelle costruzioni in Italia, cioè quello che, grazie ai moderni adesivi di tipo strutturale, ha reso attuale un materiale antico.

Con la tecnica della lamellazione, ovvero la riduzione del fusto in tavole essiccate e classificate, la loro giunzione di testa («a dita») e il ricorso ad una ricomposizione finalizzata a ottimizzare le proprietà meccaniche (riducendo la presenza di difetti e posizionando le lamelle di qualità inferiore nelle zone meno sollecitate), il lamellare ha permesso di superare i limiti di dimensione e forma del legno massiccio nonché alcuni effetti negativi del suo comportamento in opera.

Esso ha rilanciato l'interesse nei confronti del legno in edilizia in un numero crescente di progettisti che hanno avuto modo di acquisire competenze specifiche sul suo impiego e di annoverarlo tra i materiali affidabili a cui poter fare ricorso, fino a considerarlo un prodotto consolidato e avvalorato da esperienze costruttive maturate in molteplici contesti applicativi.

Figura 2. Pannelli a base di legno. È il secondo grande gruppo di materiali legnosi, di cui ne esistono numerose tipologie con un ruolo importante nel "sistema edilizia". Essi prevedono come denominatore comune la scomposizione del toname in elementi unitari di minore dimensione e varia forma: segati, sfogliati, particelle o fibre; ciò a prima vista può sembrare irrazionale, in quanto richiede un maggior input energetico, ma trova motivazione nel fatto che consente di ridurre alcuni difetti del legno e di intervenire nella fase di ricomposizione in maniera controllata e con azioni appropriate per realizzare prodotti in grado di soddisfare requisiti specifici.



Le sue proprietà intrinseche e la possibilità di ottenere elementi curvi o a sezione variabile, per realizzare ad esempio archi e portali, lo rendono inoltre competitivo rispetto ad altri materiali e adatto per costruzioni staticamente e geometricamente complesse, strutture tridimensionali o nel caso della copertura di grandi luci senza appoggi intermedi (Piazza *et al.*, 2006).

Le evoluzioni future ne prevedono un maggior impiego nella realizzazione di impianti industriali e edifici legati al terziario, mentre finora esso ha trovato prevalente spazio in strutture sportive, di culto e in molte opere dell'edilizia pubblica e privata (dai ponti ai rifugi alpini).

Particolare considerazione merita il *pannello X-Lam*, che rappresenta la novità più importante dall'introduzione del lamellare e sta registrando un notevole successo come componente strutturale di pareti, solai e coperture.

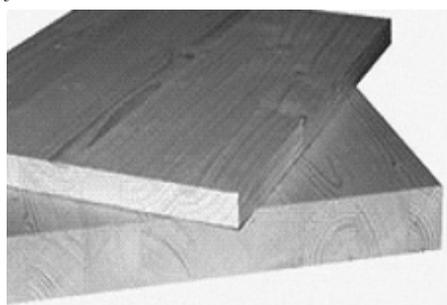
Esso ripropone per il legno massiccio la composizione a

strati con fibratura incrociata già adottata in altri prodotti (ad esempio nel compensato e *osb*) e la sua stessa fabbricazione richiede tecnologie intermedie tra quelle in uso nell'industria dei segati e dei pannelli.

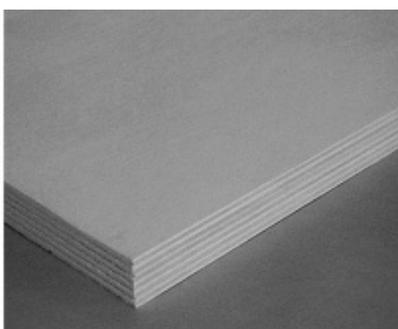
Il prodotto è stato inizialmente ideato da alcune grandi segherie di conifere europee, nell'ottica di individuare una destinazione remunerativa per gli sciaveri (ricavati dalla porzione sotto corteccia del tronco) e il tavolame di bassa qualità; essendo infatti per lo più utilizzato come elemento portante «non a vista», non necessita di materiale selezionato dal punto di vista estetico. L'aspetto innovativo consiste nell'aver messo a punto pannelli prefabbricati di grandi dimensioni già muniti degli intagli, realizzati con macchine automatiche di precisione, necessari per inserire i serramenti.

Al fine di garantire una composizione simmetrica, di solito il pannello è composto da 3, 5 o 7 strati sovrapposti di tavolame di abete, per uno spessore compreso tra 80 e

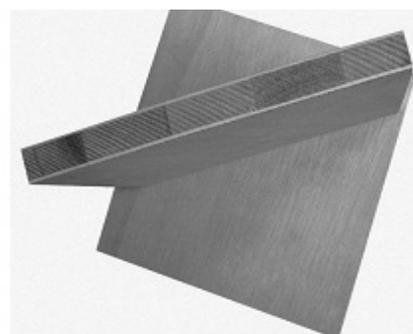
Figura 3. Principali tipologie di pannelli usati in edilizia. La produzione italiana è prevalentemente indirizzata ad ambiti non strutturali. Tale scelta è condizionata anche dallo scarso interesse che hanno finora avuto i sistemi costruttivi a telaio e pannelli in cui essi troverebbero maggior diffusione.



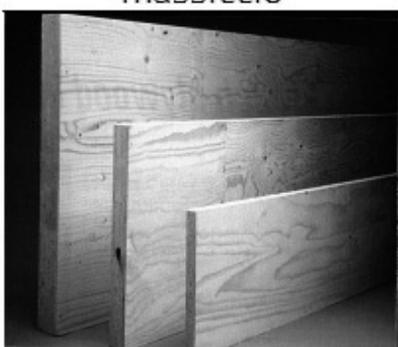
Pannello di legno massiccio



Compensato



Listellare



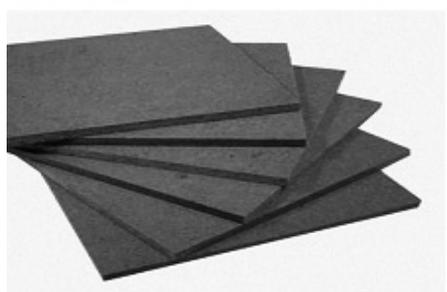
LVL



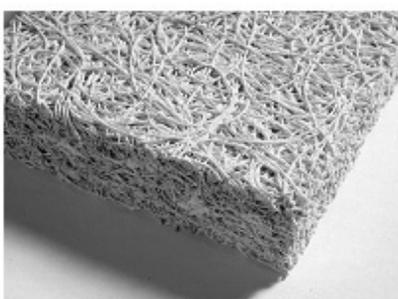
OSB



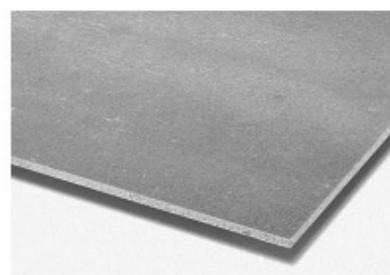
Truciolare



Pannello di fibra/MDF



Pannello di lana di legno - cemento



Pannello di particelle legate con cemento

A&RT

200 mm e fino a 14 x 3 m di formato.

Le tipologie più diffuse di consolidamento prevedono l'impiego di graffe o chiodi metallici, l'uso di tasselli in legno o l'adesione tramite incollaggio con miscele poliuretatiche o melaminiche. Le prime due modalità trovano maggiore spazio in ambito artigianale e nella bioedilizia, mentre la terza è più comune in un contesto industriale. La particolare composizione fa sì che il pannello acquisisca un'ottima stabilità dimensionale e prestazioni omogenee nelle due direzioni del piano, tanto da poter assolvere la funzione strutturale di piastra (per carichi perpendicolari alla superficie principale) e di lastra (per carichi agenti nel piano del pannello). Esso può quindi assorbire e scaricare sollecitazioni provenienti da più direzioni e, con opportuni sistemi di connessione, permette di realizzare strutture leggere, duttili e ad elevata capacità dissipativa, ideali in presenza di rischio sismico.

Anche in Italia questo prodotto sta favorendo il diffondersi di edifici a struttura portante in legno, a basso consumo energetico, con sistemi di muratura simile a quella tradizionale ma che evidenziano una serie di vantaggi in termini di velocità di realizzazione e comportamento. Con l'X-Lam è infatti possibile ottenere un involucro permeabile, igroscopico e allo stesso tempo coibente, caratterizzato da un setto portante «pieno» e di massa più

elevata rispetto ai sistemi industrializzati a telaio in legno (*platform e balloon frame*) che finora non hanno del tutto «appassionato» i nostri progettisti (AA.VV., 2009c).

Nell'uso comune la parete viene infatti rivestita da un «cappotto» di uno o più strati di pannelli di fibra, su cui sono applicati una rete e un intonaco traspirante, mentre verso l'interno è completata da pannelli isolanti (in fibra di legno o lana minerale) e cartongesso, dove in genere sono inseriti gli impianti tecnici. Ciò garantisce una notevole massa di accumulo termico, fa da tampone negli scambi di umidità con l'ambiente, non richiede barriere-vapore e conferisce un significativo isolamento acustico. Gli impieghi del pannello includono la realizzazione di edifici multipiano, capannoni a varia destinazione d'uso, opere infrastrutturali e grandi coperture.

I pannelli a base di legno si sono anch'essi evoluti nel tempo con la messa a punto di tecnologie di lavorazione via via più complesse, adottabili artigianalmente o fortemente automatizzate, e grazie allo sviluppo di adesivi sempre più performanti.

Tra le principali motivazioni e i vantaggi di carattere tecnico-economico alla base della loro diffusione vi è ancora la necessità di superare i vincoli dimensionali della materia prima (in questo caso soprattutto per realizzare

Figure 4 a), b). Compositi a base di legno. Anch'essi consentono di ridurre i tempi (e costi) delle operazioni in cantiere e ciò ne giustifica spesso l'impiego in applicazioni tecnico-edilizie in parte anche strutturali, nonostante il loro livello di prezzo superiore.



materiali di larghezza adeguata, tanto che in commercio sono ora disponibili pannelli di formato 2,95x25 m e spessore fino a 400 mm), di tenerne sotto controllo i difetti con una loro redistribuzione casuale e di aumentare la stabilità del prodotto riducendo i fenomeni di ritiro e rigonfiamento tramite l'orientazione mirata della fibrazione. Non meno importante è la possibilità di ottimizzare l'uso della risorsa grazie ad alcune tipologie di prodotti che consentono l'impiego di assortimenti minori, di piccole dimensioni nonché il recupero degli scarti di lavorazione e il riciclaggio di materiali legnosi post-consumo. Essi costituiscono una vasta categoria di semilavorati di buon livello tecnologico, caratterizzati da aspetto superficiale, destinazione d'uso e valore di mercato anche molto diversi. Presentano sviluppo planare, forma rettangolare, spessore per lo più limitato e sono disponibili in un'ampia gamma di tipologie in grado di soddisfare i requisiti di svariati settori di impiego.

Seppur realizzati industrialmente con modalità ben distinte e definite, tali pannelli prevedono i seguenti comuni denominatori: la riduzione degli assortimenti legnosi eseguita mediante specifiche azioni di taglio (quali segazione, sfogliatura, tranciatura, sminuzzatura e sfibratura); la produzione di elementi unitari che spaziano dal tavolame a microscopiche fibre di legno; la successiva

essiccazione e aggregazione dei suddetti elementi secondo processi prestabiliti che in genere implicano la somministrazione di pressione, temperatura elevata e il ricorso ad adesivi termoindurenti scelti in funzione delle esigenze di resistenza all'umidità che il prodotto dovrà soddisfare (Figura 2).

L'obiettivo è realizzare manufatti dalle caratteristiche migliorate che giustifichino l'energia e i costi necessari per trasformare la materia prima in porzioni anche molto piccole e poi riassembalarle tra loro.

A questo riguardo, gli elementi unitari assumono un'importanza considerevole nei confronti delle caratteristiche del pannello e la progressiva riduzione delle loro dimensioni comporta conseguenze sia in termini di impiantistica che di aspetto finale e prestazioni del manufatto realizzabile (Marra, 1992).

La ricomposizione controllata (a volte stratificata e compensata), consente di ottenere prodotti affidabili, dalle prestazioni caratterizzate da minore variabilità e ripartite nelle due direzioni del piano. Le proprietà del pannello possono infatti essere, entro certi limiti, «progettate» intervenendo sulle molte variabili di processo, ovvero sul livello di scomposizione della materia prima, sulla scelta delle specie legnose usate e la loro eventuale combinazione, sulle dimensioni, geometria e umidità degli elementi

Figure 5 a), b), c). Esempi di sistemi di edilizia prefabbricata. Nell'ambito dei servizi integrati si riscontrano anche consorzi di operatori specializzati nella fornitura di moderne case prefabbricate, a basso consumo, dal design e finiture personalizzabili. Tali edifici hanno tempi di produzione e posa rapidi e garantiti e costi di gestione inferiori rispetto a quelli tradizionali.



A&RT

unitari, sull'orientazione della fibratura del legno nei vari strati o sul tipo e quantità di adesivo. Nella formulazione della miscela collante è parimenti possibile aggiungere sostanze in grado di modificare talune proprietà del pannello, come la reazione al fuoco, la durabilità nei confronti del biodegradamento o la stabilità dimensionale.

Tra le principali tipologie (Figura 3) si riscontrano (Zanuttini, 2003):

- *pannelli di legno massiccio*: noti anche come «pannelli lamellari», sono composti da listelli o tavolette ottenuti per segazione, incollati tra loro lungo i bordi o, nel caso di pannelli a più strati, anche sulle facce; queste possono evidenziare elementi interi o giuntati longitudinalmente;
- *pannelli di legno compensato*: categoria che include le denominazioni commerciali di compensato, multistrato e listellare, sono formati incollando un insieme di strati (solitamente dispari) di sfogliati sovrapposti con la direzione della fibratura del legno disposta alternativamente ad angolo retto oppure da strati esterni di sfogliato e un'anima, di maggior spessore, costituita da listelli o lamelle;
- *lvl (laminated veneer lumber)*: realizzato in continuo o comunque in grandi dimensioni poiché destinato soprattutto ad impieghi strutturali, è formato da strati di sfogliati per lo più giuntati di testa e incollati sovrapprendoli con fibratura parallela;
- *pannelli di particelle*: sono formati da materiale lignocellulosico di varia provenienza ridotto, previa sminuzzatura, in frammenti più o meno allungati (scaglie, schegge o trucioli) e poi reso solidale con l'aggiunta di adesivi tramite pressatura tra piastre piane, calandratura in continuo o estrusione; per quanto riguarda l'industria europea, essi annoverano il truciolare e l'osb (oriented strand board o pannello di scaglie orientate);
- *pannelli di fibra*: sono costituiti pressoché dalla stessa materia prima dei precedenti che in questo caso viene ridotta, mediante sfibratura, a dimensioni ancor più minute; in base al diverso processo produttivo, che ne condiziona anche la densità finale, essi si possono ulteriormente distinguere in pannelli ottenuti per via umida o secca: tra i primi rientrano i pannelli di fibra teneri, semiduri e duri, mentre i secondi comprendono, in particolare, l'*mdf (medium density fibreboard)*;
- *pannelli di legno-cemento*: ottenuti facendo uso di leganti minerali (per lo più malte di tipo magnesiaco o cementizio) che hanno la funzione di agglomerare e consolidare elementi unitari costituiti da lana di legno, particelle o fibre.

Nel panorama nazionale l'offerta è molto ampia, anche in termini di formati, e solo l'*lvl* per uso strutturale e l'*osb* non sono attualmente prodotti in Italia. Negli anni le nostre aziende hanno effettuato rilevanti investimenti in tecnologia e ricerca che si sono concretizzati nella messa a punto di pannelli idonei all'uso in ambienti umidi, igni-

fughi, leggeri, con varie finiture protettive o decorative e a bassa emissione di formaldeide.

Le applicazioni più ricorrenti, in ambienti interni ed esterni, spaziano dalle casseforme agli assiti di pavimentazioni e soppalchi, agli elementi di copertura (per lo più come strato di appoggio), alle pareti o rivestimenti, ai tamponamenti e barriere.

In certi casi è possibile sfruttare la tecnologia disponibile nell'industria dei pannelli per realizzare prodotti ingegnerizzati, in forma di travi o travetti, di sezione più o meno ampia, generalmente ricavati da un semilavorato di grandi dimensioni (Zanuttini e Macchioni, 1997). Gli stessi possono anche derivare dall'unione di porzioni di pannelli di diverse tipologie, come nelle travi ad I con «ali» in lvl e «anima» in osb.

Essi prevedono l'uso di legname a rapido accrescimento e dalle scarse caratteristiche prestazionali che viene ottimizzato anche in termini di rendimento (tanto che in certi casi quasi l'80% della massa legnosa in ingresso è convertita in materiale strutturale). Il vantaggio consiste ancora una volta nella possibilità di migliorare le caratteristiche di base della materia prima mediante opportuni interventi in fase di processo (ricorrendo a particolari composizioni, incollaggi, pressatura a microonde, trattamenti accessori ecc.), in modo da ottenere manufatti dalle proprietà ben definite e facilmente prevedibili e rispondere così a un requisito essenziale della moderna progettazione.

Inglobando poi materiali diversi dalle proprietà complementari è possibile assolvere contemporaneamente a più funzioni e attivare sinergie tali per cui il prodotto che ne risulta offre un insieme di vantaggi superiori a quelli dei suoi singoli componenti. Gli esempi più noti e diffusi di questa aggregazione sono i *compositi* che si presentano sotto forma di *sandwich*, per lo più formati da pannelli a base di legno e inserti isolanti (Figura 4).

Dal momento che le prestazioni di molti dei prodotti descritti sono fondamentalmente legate alla *qualità dell'incollaggio* (il fattore più critico della produzione), è richiesta una particolare cura nella verifica dell'idoneità dell'adesivo e nelle valutazioni a carico dei giunti, da effettuarsi su campioni rappresentativi e secondo metodologie conformi alla classe di servizio ipotizzata.

Prodotti innovativi

Le potenzialità di innovazione nell'ambito dei prodotti a base di legno appaiono legate soprattutto alla loro diversificazione, ovvero alla capacità di individuarne impieghi alternativi e di maggior valore aggiunto. In questo contesto, l'edilizia sembra in grado di offrire varie opportunità. Esempi di innovazione riguardano la fase di ricomposizione (in cui è possibile realizzare *elementi strutturali rinforzati e pretensionati, pannelli di grandi dimensioni, pantografabili,*

a densità ridotta ecc.), la *combinazione di materiali diversi* (che di per sé consente ancora notevoli soluzioni), ma anche i *trattamenti fisico-chimici* del legno (finalizzati a migliorarne alcune proprietà), l'uso di *nuovi adesivi e connessioni* (che includono il ricorso a materiali fibrosi a matrice polimerica), di speciali *rivestimenti e tecnologie di finitura* (verniciatura a polvere, nanoparticelle ecc.).

Un caso interessante è quello del legno «*termotrattato*», termine sotto il quale ricade un'ampia gamma di processi applicati ai segati e alcuni derivati che consistono in cicli di riscaldamento a temperatura elevata (tra 180° e 240°C), in atmosfera carente di ossigeno o in olio vegetale. Ciò induce variazioni nella struttura chimico-fisica del legno che, con limitati effetti collaterali, lo rendono più stabile dimensionalmente, meno igroscopico, più durabile nei confronti di funghi ed insetti e ne modificano il colore (che diviene più scuro ed omogeneo) e l'aspetto estetico (Zanuttini, 2007). A questo riguardo, varie specie legnose di interesse nazionale potrebbero trovare nuovi sbocchi di mercato in sostituzione di una parte del legname esotico o in alternativa al ricorso a preservanti di sintesi. Un processo che conferisce effetti analoghi è il trattamento in autoclave con anidride acetica. Poiché esso non comporta temperature elevate, si evitano quei fenomeni di idrolisi che nel caso precedente inducono una riduzione delle caratteristiche meccaniche del legno. Per lo stesso

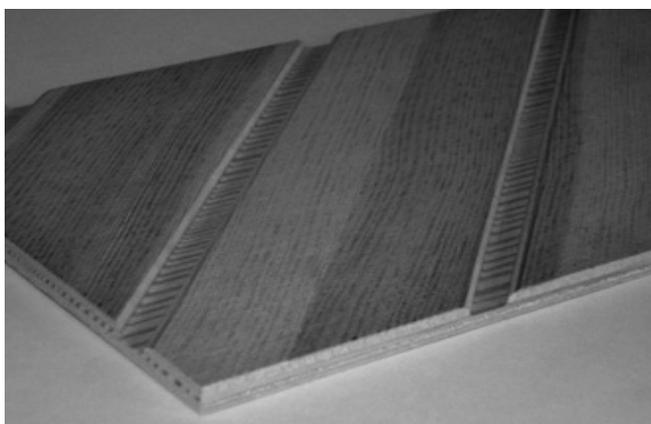
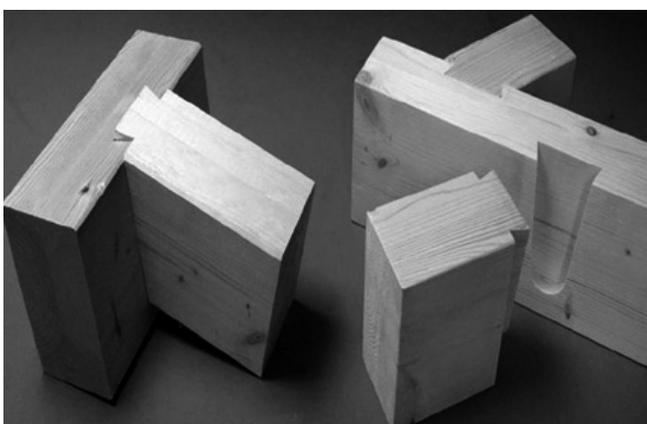
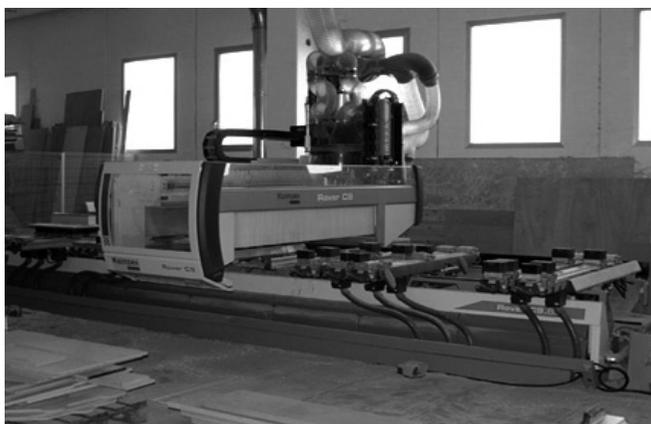
motivo, anche il suo colore naturale (salvo uno strato sottile che viene eliminato con la piallatura) resta pressoché inalterato. Come aspetto negativo l'*acetilazione* conferisce tuttavia un odore persistente al prodotto che risulta quindi meno adatto per impieghi in ambiente interno.

Un altro esempio è quello dei *pannelli* cosiddetti «*curvabili*» che per la loro particolare composizione a strati di spessore diverso, possono fornire un contributo al rivestimento di strutture caratterizzate da raggio di curvatura ridotto o alla realizzazione di forme complesse (come nel caso di stampi per gettate in calcestruzzo).

In altri casi ancora l'innovazione riguarda lo sviluppo di *prodotti finiti di maggior contenuto tecnologico*, in grado di fornire *servizi integrati multifunzionali* per conferire valore aggiunto a semilavorati generici.

In questo ambito rientrano i pannelli modulari in mdf con superfici decorative fresate che includono capacità fonoassorbenti e di climatizzazione controllata per irriggiamento. Il loro miglioramento acustico è dovuto alla presenza di cavità dalla geometria predeterminata che, in base all'applicazione dell'effetto Helmholtz, consentono di assorbire il rumore nell'intorno di una certa frequenza di risonanza. Il riscaldamento e raffreddamento sono invece determinati da un impianto incorporato a circolazione di fluido a bassa temperatura, che permette di ottenere un notevole comfort ambientale e risparmio ener-

Figura 6. Lavorazione a controllo numerico. Questi centri di lavoro, sempre più diffusi nelle aziende del settore, danno la possibilità di offrire un miglior servizio al cliente. Gli stessi centri sono utilizzati anche per realizzare i moderni pannelli pantografati, destinati al settore dei serramenti.



A&RT

getico.

Sempre più di frequente, inoltre, varie figure professionali e operatori collaborano tra loro per poter fornire servizi accessori che spaziano dalla progettazione e gestione logistica alla consegna di un'intera struttura (Figura 5). In entrambi i casi è previsto il passaggio *dalla semplice fornitura di un semilavorato a quella di un sistema definito* e l'uso di moderni *centri di lavorazione a controllo numerico* per produrre elementi sagomati e pronti per l'assemblaggio secondo modalità prestabilite. Quest'ultima opzione, già comune nell'industria del mobile e che permette più operazioni in sequenza (taglio, fresatura, bordatura, foratura), si sta diffondendo anche nel settore della carpenteria in legno, ottimizzando le fasi di montaggio in cantiere e aprendo nuove strade per la realizzazione di strutture ed edifici (Figura 6).

A un livello inferiore, l'adozione di tali attrezzature e altri strumenti di progettazione e controllo consentono ad imprese anche meno strutturate la vendita di sistemi modulari costituiti da legname essiccato, classificato, tagliato a disegno e comprensivo di posa.

Evoluzioni e prospettive

Nell'ambito dei materiali legnosi sono in corso una serie di evoluzioni che si affiancano ai meccanismi di sostituzione interni e esterni al comparto.

Tra le tematiche attuali, rivestono particolare importanza:

a) quadro normativo

La progettazione strutturale richiede la determinazione dei valori caratteristici alle principali sollecitazioni e di massa volumica che costituiscono il «profilo prestazionale» del prodotto considerato (Uzielli, 2006). Per le diverse tipologie sono disponibili numerose informazioni tecniche ricavate da prove svolte in conformità alle norme vigenti, che servono anche a guidare la scelta del prodotto più idoneo alle diverse situazioni di impiego.

In questo contesto, la normativa di settore è in continua evoluzione e revisione, sia a livello europeo che nazionale. Per alcuni prodotti è già obbligatoria la marcatura CE ai sensi della Direttiva 89/106/CEE (CPD) e secondo le indicazioni delle norme armonizzate di riferimento, mentre per altri vige quanto previsto dal Testo Unico (DM 14.01.2008).

In particolare, al momento, i prodotti per la carpenteria in legno massiccio devono essere classificati (in base alla EN 14081 o altra norma nazionale applicabile) e resi rintracciabili da personale con competenze riconosciute, nonché forniti da imprese qualificate presso il Servizio Tecnico Centrale del Ministero delle Infrastrutture. Per i prodotti in lamellare valgono gli stessi obblighi facendo riferimento alla EN 14080.

I prodotti tipo «X-lam» risulterebbero assimilabili ai pannelli di legno massiccio multistrato nella EN 13986. In attesa di una norma specifica, vari produttori hanno tut-

tavia intrapreso la strada dell'omologazione sulla base di Benestari Tecnici nazionali o europei (ETA) i quali riportano i requisiti di classificazione secondo le resistenze delle tavole usate, i risultati delle prove effettuate e i controlli svolti nell'ambito del processo, le indicazioni d'uso ecc. Con questo approccio, che rende possibile la marcatura CE in riferimento alla produzione di singole aziende, si è preferito considerare il «sistema costruttivo» anziché il solo materiale.

Per i pannelli a base di legno è necessaria la marcatura CE. In tal caso si applica la norma armonizzata EN 13986 secondo cui il produttore deve individuare la destinazione d'uso, predisporre procedure più o meno complesse che coinvolgono organismi esterni, provvedere ai controlli richiesti e redigere la dichiarazione di conformità (AA.VV., 2008).

Per i compositi si fa ricorso all'ETA applicabile che deve essere coerente con le relative linee guida (ETAG). In assenza di un riferimento specifico è possibile seguire altre procedure di omologazione.

L'aumento dei vincoli normativi e delle responsabilità nei confronti di quanto prodotto o commercializzato, si scontra peraltro con la struttura di un settore che in Italia è caratterizzato da una moltitudine di imprese, spesso artigianali, con più difficoltà di adeguamento alle nuove regole del mercato e scarsa propensione ad aggregarsi. Il fenomeno comporta peraltro maggiori costi gestionali legati all'implementazione della necessaria certificazione del proprio sistema produttivo (Brunetti et al., 2008).

b) aspetti ambientali

La crescente attenzione all'ambiente da parte di fasce sempre più ampie di mercato determina nuove potenzialità di sviluppo e impiego per i prodotti a base di legno, in relazione al loro ottimo *profilo ecologico* e ad argomentazioni favorevoli che vanno conosciute e comunicate (AA.VV., 2009a).

Per loro natura, tali prodotti implicano infatti una serie di vantaggi in quanto derivano da una materia prima rinnovabile, globalmente diffusa e in aumento, facilmente lavorabile e riciclabile, possono essere realizzati in maniera sostenibile rispettando criteri ambientali e socio-economici lungo tutto il loro ciclo di vita, contribuiscono a mitigare i cambiamenti climatici e le emissioni di gas serra sia come fonte di energia legata al recupero degli scarti di lavorazione sia segregando CO₂ a lungo termine (*carbon stock*) (CEI-BOIS, 2006).

La necessità di soddisfare l'aumento dei prelievi e del consumo di legname preservando la risorsa e dare garanzie al mercato sulla sua origine legale e sostenibile, ha inoltre favorito la diffusione degli schemi di *certificazione forestale* (ad es. FSC e PEFC) nel loro duplice aspetto di «gestione corretta e responsabile» e di «rintracciabilità della materia prima» che ne rappresentano lo strumento attuativo.

Dette valenze, sempre più considerate anche nei bandi di fornitura della Pubblica Amministrazione ed inserite nella prossima revisione della CPD, si sommano alle interessanti prestazioni dei sistemi costruttivi in cui i prodotti a base di legno trovano sbocco e che, con costi paragonabili a quelli derivanti dall'uso di altri materiali, comportano elevati livelli di efficienza strutturale e sicurezza, coibentazione termica, isolamento acustico, comfort e valore estetico.

c) uso del legname locale

Nella realtà nazionale non si può prescindere dai limiti oggettivi connessi a una disponibilità di materia prima potenzialmente significativa ma insufficiente a soddisfare approvvigionamenti costanti e di quantità adeguata per il settore della prima lavorazione, che pertanto deve rivolgersi in massima parte ai canali dell'importazione.

Per una serie di vincoli orografici e strutturali inerenti la gestione produttiva del nostro patrimonio forestale (boschi situati in aree difficili, scarsamente serviti da viabilità, caratterizzati da frammentazione della proprietà e vincoli di varia natura), e per le caratteristiche qualitative dei popolamenti, la destinazione della maggioranza dei prodotti legnosi ricavabili è infatti quella della legna da ardere.

Questa situazione critica che rileva sia una scarsa integrazione tra produzione e trasformazione di materia prima sia una carente programmazione e valorizzazione delle risorse territoriali, potrà essere modificata solo in tempi relativamente lunghi. Di recente, tuttavia, si evidenziano segnali incoraggianti da parte di alcune Amministrazioni periferiche per un'inversione di tendenza e una visione più ampia basata su un approccio di sviluppo e gestione multifunzionale del patrimonio boschivo ma anche sul rilancio dei suoi aspetti socio-economici (AA.VV., 2009b).

L'attenzione per le filiere corte (caratterizzate da un approvvigionamento locale e dal minimo numero di passaggi intermedi tra produttore e utilizzatore finale della risorsa) deriva dal fatto che determinano vantaggi in termini di riattivazione della gestione territoriale, sviluppo rurale e incremento di competitività delle imprese, ricadute occupazionali, minor impatto dei trasporti ecc.

In genere esse funzionano per mercati di nicchia, in presenza di tradizioni radicate, competenze tecniche specifiche o se la materia prima possiede caratteristiche particolari, riconosciute e apprezzate; in tali casi si è comunque quasi sempre di fronte a produzioni limitate e compatibili con le risorse disponibili (a patto di aver risolto i problemi legati all'organizzazione degli approvvigionamenti).

È frequente invece che la valorizzazione delle risorse locali in semilavorati e materiali legnosi incontri difficoltà a competere con le quotazioni che prodotti analoghi spuntano sui mercati internazionali; ciò a maggior ragio-

ne per i prodotti grezzi, facilmente realizzabili (a bassa tecnologia) e in cui le componenti del costo della materia prima e della manodopera sono elevate.

Le possibilità di sviluppo di una filiera corta quindi dipendono anche dall'introduzione di misure regolamentari (capitolati tecnici, piani urbanistici, disciplinari ecc.) mirate a considerare l'uso di legname locale come titolo preferenziale nelle gare di appalto e dalla promozione di una maggior consapevolezza circa gli aspetti positivi legati alla provenienza. In molti casi poi si rivela utile la realizzazione di esempi applicativi e di veri e propri modelli in scala reale con cui dimostrare ciò che è possibile fare, quantificandone anche i vantaggi rispetto ad opere tradizionali.

Considerazioni conclusive

Progettare e costruire con il legno non è difficile ma richiede una professionalità adeguata in cui la conoscenza delle caratteristiche tecnologiche di questo materiale e dei suoi derivati, unita a quella del contesto normativo e legislativo, impongono competenze e responsabilità sempre più articolate.

Le trasformazioni in atto in ambito economico, nell'evoluzione dei mercati, nelle aspettative dei consumatori e negli interscambi commerciali, richiedono infatti una grande attenzione alle Direttive e norme applicabili e alla conformità dei prodotti, mentre la disponibilità di informazioni tecniche chiare ed aggiornate è un fattore indispensabile per favorirne un incremento in varie applicazioni dell'edilizia.

I progettisti possono comunque disporre di un'ampia gamma di prodotti a base di legno affidabili e dal costo contenuto, ognuno con caratteristiche peculiari e adatte a specifici impieghi. Abbinati anche ad altri materiali e allo sviluppo di nuovi sistemi costruttivi, essi consentono numerose opportunità per una progettazione mirata ad offrire soluzioni personalizzate e originali nel rispetto delle relazioni con il contesto culturale e le esigenze del committente.

L'attenzione generale nei confronti degli aspetti ecologici e ambientali associati all'uso delle materie prime, ai costi energetici e all'impatto dei processi produttivi e di distribuzione, sono inoltre destinati a fare emergere ulteriormente l'insieme di valori intrinseci e le potenzialità di molti prodotti a base di legno che ben si adattano alle crescenti richieste di modelli di vita e consumo più sostenibili, attraendo sempre più l'interesse di progettisti e costruttori.

A tale riguardo, azioni di interesse comune e interventi di pubbliche Istituzioni finalizzati a promuovere e favorire l'impiego dei prodotti legnosi, per quanto possibile di provenienza locale, potranno contribuire a diffondere la consapevolezza delle loro valenze socio-economiche in uno sviluppo di filiera (e in certi ambiti al mantenimento

A&RT

delle tradizioni) nonché di quelle legate al conseguimento degli impegni ambientali presi negli accordi internazionali sul clima e le risorse rinnovabili.

Per alcuni materiali legnosi destinati all'edilizia, che all'inizio erano solo di importazione, sembrano pertanto aprirsi interessanti prospettive per una maggiore produzione interna.

Il contesto attuale è quindi piuttosto dinamico e tale da richiamare l'attenzione degli addetti ai lavori, siano essi imprenditori, progettisti, operatori commerciali o esponenti del mondo della ricerca.

Roberto Zanuttini, Professore associato di «Tecnologia del legno», Università di Torino, Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e Gestione del Territorio (Agroselviter).

Riferimenti bibliografici

- A.A. V.V. (2008), *PanelGuide. Panels for use in construction (V3)*, Timber Trade Federation (www.ttf.co.uk/)
- AA.VV., (2009a), *Rapporto ambientale*, Federlegno-Arredo, Milano, p. 100
- A.A. V.V. (2009b), *Progetto Inter-Bois, 2009. Libro bianco – sulla filiera foresta-legno transalpina*, Regione Piemonte, Torino, p. 78
- A.A. V.V. (2009c), *Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana*, Regione Toscana, Firenze, p. 305
- S. BERTI, M. PIAZZA, R. ZANUTTINI (2002), *Strutture di legno per un'edilizia sostenibile. Materie prime e prodotti. Progettazione e realizzazione*, Collana "Manuali dell'edilizia. Strumenti per progettisti e imprese", Il Sole-24Ore, p. 320
- M. BRUNETTI, M. FIORAVANTI, L. UZIELLI, R. ZANUTTINI (2009), *Attualità e prospettive dei moderni impieghi dei prodotti legnosi della selvicoltura italiana*, Atti del III Congresso Nazionale di Selvicoltura, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 737-742
- CEI-BOIS (2006), *Affronta il cambiamento climatico: usa il legno*, Brussels, p. 84
- G. GIORDANO (1997), *Antologia del legno*. Voll. 1-2, Ed. Consorzio Legnolegno, Reggio Emilia, p. 457
- G. GIORDANO, A. CECCOTTI, L. UZIELLI (1999), *Tecnica delle costruzioni in legno*, Hoepli, Milano
- A. A. MARRA (1992), *Technology of Wood Bonding. Principles in Practice*, Van Nostrand Reinhold, N.Y., p. 454
- M. PIAZZA, R. TOMASI., R. MODENA (2006), *Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*, Hoepli, Milano, p. 734
- L. UZIELLI (a cura di) (2006), *Il Manuale del Legno Strutturale*, Voll. I-IV, Mancosu, Roma
- R. ZANUTTINI (2003), *I moderni pannelli a base di legno*, in «IFM» (LVIII), Fasc. 1, gennaio-febbraio 2003, pp. 34-53
- R. ZANUTTINI (2007), *Durabilità biologica dei materiali legnosi*, Lampi di Stampa, Milano, p. 112
- R. ZANUTTINI, N. MACCHIONI (1997), *Prodotti a base di legno ingegnerizzati per impieghi strutturali*, in «Presenza tecnica», giugno 1997, Edizioni PEI, Parma, pp. 71-76
- CNR-DT 206/2007 (2008) *Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno - Rev. 07*, Roma, p. 102
- Direttiva 89/106/ CEE - *Direttiva del Consiglio del 21 dicembre 1988 relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati membri concernenti i prodotti da costruzione*
- DM 14.01.2008 - *Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC)*. Gazzetta Ufficiale del 04 02 2008
- EN 13986 - *Pannelli a base di legno per l'utilizzo nelle costruzioni. Caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura*
- EN 14080 - *Strutture di legno - Legno lamellare incollato - Requisiti*
- EN 14081-1 - *Strutture di legno - Legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza - Parte 1 - Requisiti generali*

www.cei-bois.org
www.fsc-italia.it
www.interbois.eu
www.pefc.it
www.promolegno.com
www.uni.com

Strutture antisismiche di legno: dall'esperienza del passato alle tecnologie del futuro

Earthquake-resistant structures of wood: from past to future technologies

ARIO CECCOTTI

Abstract

Nella presente memoria, dopo aver esaminato e ragionato sull'esperienza acquisita sul comportamento sismico di alcune tipologie costruttive tradizionali in legno nel mondo, si passa ad illustrare le prestazioni antisismiche delle moderne tipologie platform-frame e cross-lam. In particolare per questa ultima si dà conto dei risultati ottenuti dalle prove in scala reale, su tavola vibrante, effettuate sugli edifici pluriplano del progetto di edilizia sostenibile denominato SOFIE.

Premessa

Oggi giorno l'interesse accresciuto per una nuova edilizia, più attenta alla necessità di rispetto dell'ambiente, ed il conseguente accresciuto interesse per la costruzione in legno, conduce molti a porsi la domanda: ma queste costruzioni in legno, poi, come resistono ai terremoti? L'ingegneria sismica in Italia ha finora rivolto la propria attenzione soprattutto alle costruzioni di cemento armato e di acciaio, dimenticando o comunque relegando a un ruolo marginale materiali costruttivi che sono alla base dell'edilizia tradizionale di molti paesi, quali il legno e la muratura. Prima di dare conto quindi, in questo lavoro, del comportamento sismico delle moderne e più avanzate tecnologie di costruzione in legno, appare non inopportuno illustrare, anche se in maniera non esaustiva, l'esperienza acquisita con i sismi del passato per alcune tipologie costruttive tradizionali, con lo scopo di trarne utile insegnamento alla previsione del comportamento sismico di strutture lignee innovative.

Ieri

Il passato è ricco di esempi di efficace protezione dai terremoti per gli edifici di legno. Paesi come, ad esempio, il Giappone, la Turchia o i paesi balcanici, sono da sempre teatro di ripetuti terremoti catastrofici, e nonostante ciò risultano ricchi di strutture tradizionali sopravvissute nel corso dei secoli anche alle scosse più violente. Gli ingegneri, gli architetti, i mastri e i carpentieri dei secoli passati conoscevano bene le regole dell'arte del costruire e le tecniche di prevenzione antisismica, che si basavano sull'esperienza e sulla sensibilità, mancando l'ausilio dei moderni metodi di analisi dinamica delle strutture.

Un caso esemplare è osservabile nell'isola greca di Lefkas, in Grecia, caratterizzata da un elevato rischio sismico, dove gli edifici multipiano presentano le pareti esterne del piano terra di muratura e pietrame e, al di sopra di queste, i piani successivi realizzati con telai di legno formati da elementi orizzontali e verticali e irrigiditi da elementi diagonali e da angolari di rinforzo curvati, anch'essi di legno (Figura 1), [1].

La particolarità di questi edifici è che, all'interno, parallelamente alle pareti

A&RT

di muratura del piano terra, veniva realizzato un secondo sistema portante di pilastri lignei che sorreggeva anch'esso l'intelaiatura di legno formante i piani superiori. Con questo sistema gli eventi sismici di moderata intensità venivano contrastati dalle caratteristiche di resistenza delle pareti di muratura, mentre i terremoti di forte intensità potevano provocare anche crolli parziali di queste ultime senza determinare il crollo dell'intero edificio, che veniva ancora sorretto dai pilastri interni e poteva essere successivamente riparato ricostruendo le murature danneggiate.

In tal modo veniva applicato un principio ancora oggi validissimo: i differenti materiali da costruzione presentano ciascuno un proprio comportamento sotto l'effetto del terremoto e da tale diversità si può trarre vantaggio, realizzando un edificio in cui la deformazione sismica di sottostrutture staticamente collaboranti, costruite con materiali differenti, avviene in modo separato e indipendente. Ancora oggi nell'isola di Lefkas si possono trovare edifici realizzati con questo sistema costruttivo, sopravvissuti intatti a eventi sismici frequenti e spesso distruttivi.

Altro esempio è rappresentato dal sistema costruttivo Pombalino sviluppatosi a Lisbona nel diciottesimo seco-

lo. A seguito del terremoto verificatosi nel 1755 a Lisbona, che distrusse interamente la città, il Marchese di Pombal, primo ministro all'epoca, radunò un gruppo di ingegneri e affidò loro il compito di stabilire quale fosse la tecnologia costruttiva antisismica migliore da adottare per la ricostruzione. Il risultato fu la scelta di un sistema costruttivo formato da una struttura intelaiata tridimensionale a gabbia di legno (nota come *gaiola*, ossia appunto gabbia) con le pareti (*parede pombalina*) costituite da intelaiature di legno formate da elementi verticali e orizzontali a formare una maglia quadrata, con all'interno di ogni quadrato una controventatura interna a Croce di S. Andrea anch'essa di legno (Figura 2), [2]. L'intelaiatura veniva riempita nei triangoli vuoti con l'inserimento di porzioni di muratura formata da piccole pietre e pezzi di mattone, e infine la parete veniva intonacata a nascondere totalmente l'intelaiatura di legno. Con questo sistema, mediante il quale fu possibile realizzare edifici fino a cinque piani di altezza, venne ricostruito tutto il centro di Lisbona che in onore del Marchese venne chiamato *Baixa Pombalina* (*Baixa* era l'antico nome del quartiere). L'aspetto interessante di questo sistema costruttivo, risiede proprio nel fatto che esso fu scelto appositamente come sistema costruttivo antisismico.

Figura 1. Edifici antisismici tradizionali a struttura di legno dell'isola di Lefkas (Grecia) e, in basso, comportamento della struttura in caso di sisma di elevata intensità.

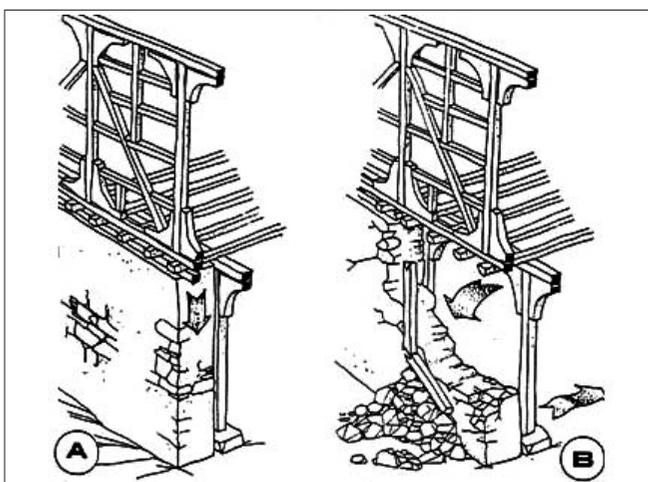
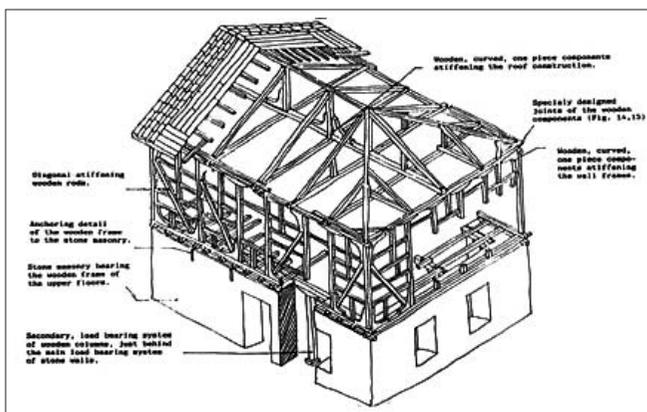


Figura 2. La parete Pombalina, Lisbona, 1755, a telaio di legno irrigidito da controventi lignei e materiale inerte.



Questi edifici costruiti nel XVIII secolo sono giunti in perfette condizioni fino ai giorni nostri e costituiscono la sede prestigiosa di uffici, banche e negozi.

Una interessante ricerca su tale tipo di costruzione è stata svolta da R. Langenbach [3] il quale ha ispezionato attentamente i danni occorsi agli edifici a seguito del terremoto avvenuto nella regione della Marmara in Turchia nel 1999 presso la città di Izmit (noto come terremoto di *Kocaeli*, magnitudo 7,6), che ha purtroppo causato la morte di circa trentamila persone, con epicentro a circa 200 km a est di Istanbul. In alcune zone questo terremoto ha causato la distruzione di più di un terzo degli edifici residenziali, per la maggior parte di cemento armato. Nel cuore della regione maggiormente colpita dal sisma si trovano anche insediamenti di edifici tradizionali, chiamati in turco *Himiş*, che invece sono quasi tutti rimasti praticamente intatti.

Si tratta in effetti di edifici a pareti portanti formate da una intelaiatura di legno di elementi verticali, orizzontali e diagonali e riempimento di muratura, non dissimili dalle pareti Pombaline di cui si è accennato in precedenza. La muratura è spesso costituita da mattoni posti a spina di pesce, o in alternativa da pietre di piccole dimensioni

immerse in un letto di malta di calce o di argilla e limo. Gli orizzontamenti sono a struttura di legno e con questo sistema vengono realizzati generalmente edifici di modeste dimensioni da uno a tre piani. Le costruzioni *Himiş* ebbero origine in Turchia durante il periodo Ottomano e il loro uso è proseguito fino a che non sono state quasi completamente soppiantate dai moderni edifici a intelaiatura di c.a. e pareti di tamponamento di mattoni forati. L'osservazione ravvicinata, soprattutto del lato interno delle pareti delle case tradizionali *Himiş*, fornisce indicazioni interessanti per capirne il funzionamento nel corso dell'evento sismico. È risultato subito chiaro che la parete formata dall'intelaiatura di legno e dal riempimento di muratura ha risposto alla sollecitazione sismica attraverso un continuo «lavorio» lungo le interfacce fra i due materiali, dissipando in tal modo una enorme quantità di energia. La manifestazione di questa «attività» della parete è osservabile dalle fessurazioni sull'intonaco all'interno delle pareti, che «disegnano» l'intelaiatura di legno della parete, mentre all'esterno, dove spesso la parete è nuda, non è visibile alcun danno (Figura 3). Solo raramente si sono verificate espulsioni del riempimento che, comunque, non hanno comportato grossi danni alla parete e quindi all'edificio, a causa della suddivisione del riempi-

Figura 3. A sinistra: esterno di una parete di una casa *Himiş* nella zona colpita dal terremoto del 1999, a Izmit, Turchia. A destra: la stessa parete visibile dall'interno dove si notano le fessurazioni nell'intonaco causate dal terremoto.



Figura 4 (in basso). Il 90% degli edifici residenziali in Nord America è realizzato in legno, con la tecnologia Platform frame, a telaio di legno 2x4 irrigidito da pannelli di compensato o OSB.



A&RT

mento in piccole porzioni grazie alla fitta intelaiatura di legno. Ciò ha rappresentato una differenza molto importante rispetto alle pareti di tamponamento degli edifici multipiano di c.a., in cui il «riempimento» dei telai con una tamponatura di mattoni forati ha effettivamente contribuito a irrigidire notevolmente le pareti, aumentando in tal modo le sollecitazioni sismiche, ma non ha preso parte minimamente alla dissipazione dell'energia prodotta dal sisma, avendo il tamponamento un comportamento spiccatamente fragile. Inoltre, negli edifici *Himiş* viene utilizzata una malta di calce o di argilla che non si oppone allo scorrimento fra gli elementi della muratura e fra questi e l'intelaiatura di legno, a differenza della malta cementizia rigida e fragile che si fessura subito perdendo la sua funzione di collegamento fra gli elementi costituenti della parete di tamponamento.

In definitiva, riprendendo le osservazioni di Langenbach, la differenza fra i due sistemi costruttivi sta nel fatto che le pareti degli edifici tradizionali *Himiş* non possiedono molta «resistenza» ma hanno una grande «capacità», mentre gli edifici in cemento armato osservati hanno dimostrato una buona «resistenza» ma scarsa «capacità». In altri termini, le pareti poco rigide degli edifici tradizionali turchi risultano meno sollecitate dall'azione sismica e rispondono ad essa «assestandola» – per così dire – oscillando e dissipando in tal modo una notevole quantità di energia attraverso una fessurazione diffusa in tutta la parete e una continua interazione tra gli elementi lignei della parete e le porzioni di muratura in esso confinate. Questa continua azione di deformazione e scorrimento aumenta lo smorzamento isteretico della struttura e ne aumenta il periodo proprio rendendola in tal modo meno suscettibile all'azione sismica. È interessante notare come una struttura formata nei suoi componenti da materiale

Figura 6. Terremoto di Kobe, Giappone, 1995. L'edificio in primo piano, di più antica costruzione, ha subito danni rilevanti, mentre gli edifici sullo sfondo, moderni e realizzati con il sistema Platform Frame sono rimasti intatti.



dal comportamento fragile (legno, muratura e malta) funzioni nel suo insieme come un sistema dotato di buona duttilità.

Oggi

Anche per edifici di concezione e costruzione più recente come gli edifici a struttura di legno realizzati con il sistema nord-americano *Platform Frame*, l'osservazione del comportamento a seguito di eventi sismici di elevata intensità fornisce indicazioni interessanti, soprattutto per quel che riguarda gli edifici multipiano (Figura 4).

I risultati di una indagine effettuata in Canada sul comportamento di questa tipologia di edifici durante terremoti avvenuti nel recente passato in aree dove la loro presenza è diffusa nel territorio, dà risultati più che apprezzabili.

Dalla tabella riportata in Figura 5 [4], risulta un valore molto basso di vittime rispetto al numero di edifici inte-

Figura 5. Statistiche sul comportamento di edifici a struttura di legno nel corso di terremoti avvenuti in passato

Figura 7. La fotografia illustra lo stato di due edifici pressoché identici a seguito del terremoto di Loma Prieta in California del 1989: l'edificio di sinistra è crollato, quello di destra è rimasto praticamente intatto. Il motivo è imputabile a carenze in fase di esecuzione.

Terremoto	Intensità		N° approssimativo di vittime		N° stimato di edifici realizzati con il sistema Platform Frame investiti dal sisma
	Magnitudo Richter (M)	Valore dell'accelerazione di picco al suolo (g)	Totale	In crolli di edifici realizzati con il sistema Platform Frame	
San Fernando CA, 1971	6,7	0,6	63	4	100.000
Edgecumbe NZ, 1987	6,3	0,32	0	0	7.000
Saguenay QC, 1988	5,7	0,15	0	0	10.000
Loma Prieta CA, 1989	7,1	0,5	66	0	50.000
Northridge CA, 1994	6,7	1,0	60	20	200.000
Hyogo-ken Nambu, Kobe, Giappone, 1995	6,8	0,8	6.300	0*	8.000*

* Riferito ad edifici realizzati con il sistema *Platform Frame* nell'area investita dal sisma.



ressati dal sisma.

In particolare nel caso di edifici ad un piano non si sono verificati danni rilevanti per terremoti con valori dell'accelerazione di picco fino a 0,6 g. A seguito del terremoto avvenuto a Kobe (Giappone) nel 1995, uno dei terremoti più violenti avvenuti nel recente passato, con valori dell'accelerazione di picco da 0,6 a 0,8 g, di circa 8.000 case costruite con il sistema *Platform* ad uno o due piani, nessuna ha subito crolli e il 70% non ha subito alcun danno rilevante. Tuttavia, anche se dalla tabella non si evince, occorre ricordare che a Kobe il maggior di morti è avvenuto per il grande numero di crolli negli edifici di legno di più antica costruzione (Figura 6). Indagandone i motivi, si può osservare che spesso in questi edifici erano presenti manti di copertura realizzati con tegole di pietra o altri materiali pesanti, posti in opera al fine di contrastare il sollevamento del manto di copertura nel caso di tifoni. Particolare ulteriore, per certi versi sorprendente e comunque di grande importanza, è che questi edifici dell'edilizia tradizionale giapponese sono sostanzialmente privi di controventi.

Molto interessante è anche il caso di Figura 7, a seguito

Figura 8. L'edificio *SOFIE* in pannelli X-LAM, di 7 piani dopo tutti i test sismici.



del terremoto di Loma Prieta del 1989: di due edifici identici realizzati con il sistema *Platform Frame* uno è crollato e l'altro è rimasto praticamente intatto. L'unica spiegazione possibile è la cattiva esecuzione del primo: avendo infatti posizionato i chiodi di collegamento dei pannelli di compensato all'intelaiatura lignea delle pareti nell'edificio ad un interasse di 40 cm in luogo dei 15 cm previsti dal progetto, la resistenza delle pareti alle azioni orizzontali si è giocoforza abbattuta drasticamente.

Domani

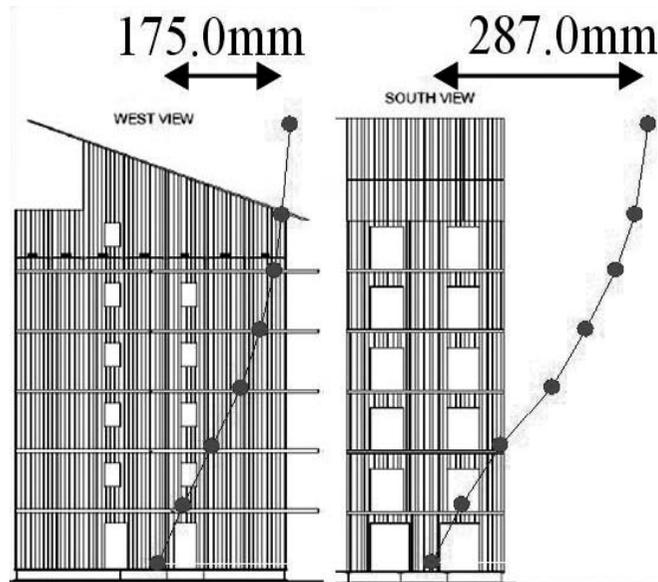
La fase di osservazione ragionata del danno sui sistemi strutturali a seguito del verificarsi di eventi sismici, coadiuvata da una attenta valutazione dei dati anche storici disponibili e dalla conoscenza e comprensione del progetto originario, ha costituito il passaggio fondamentale per la redazione del moderno codice di calcolo *Eurocodice 8* [5] e della sua parte riguardante le costruzioni in legno. Tuttavia appaiono in continuazione sul mercato nuove tipologie strutturali che non sono ancora considerate nell'*Eurocodice 8*, per cui si pone il problema di prevederne il comportamento sismico in assenza di una normativa consolidata.

È questo, ad esempio, il caso delle costruzioni in compensato di tavole incollate, detto X-LAM.

Nata in Germania una dozzina di anni fa, questa tecnica costruttiva si basa sull'utilizzo di pannelli di spessore variabile dai 6 ai 45 cm, realizzati incollando strati incrociati di tavole di spessore medio di 2 cm.

I pannelli vengono tagliati a seconda delle esigenze architettoniche completi di aperture per porte, finestre e vani scala e in seguito issati e collegati tra loro in opera con angolari metallici, chiodi a rilievi tronco-conici e viti autoforanti.

Figura 9. Deformazioni (amplificate) dell'edificio sotto il terremoto di Kobe 1995.



A&RT

Il prodotto che si ottiene ha caratteristiche meccaniche sorprendenti:

- praticamente indistruttibile anche nelle prove di laboratorio più severe. La compensazione delle caratteristiche deboli del legno in direzione ortogonale alla fibratura è controbilanciata perfettamente dalle tavole con la fibratura messa in direzione trasversale. Il fenomeno dello *splitting* non si presenta più;
- la resistenza locale in corrispondenza degli attacchi metallici è accresciuta grazie alla compensazione delle caratteristiche meccaniche;
- la stabilità fuori del piano aumenta grazie al funzionamento a piastra dei pannelli;
- l'inflammabilità è ridotta rispetto al sistema americano a montanti di legno e pannelli in compensato, mentre la resistenza agli urti ed ai colpi è di gran lunga superiore;
- grande è la stabilità dimensionale nei confronti delle variazioni di umidità ambientale;
- il pannello ha la resistenza termica propria del legno massiccio, e ne mantiene le caratteristiche di traspirabilità;
- le colle usate sono colle poliuretatiche, formaldeideesenti;
- infine, il materiale si può approvvigionare in loco. Non è necessario avere tavole di prima scelta, ma tavole di seconda, per i solai, e di terza, per le pareti, possono bastare.

La Provincia Autonoma di Trento, nell'intento di valorizzare l'uso del legno in edilizia, ha finanziato all'Istituto per la valorizzazione del legno e delle specie arboree del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IVALSA) un piano di ricerca denominato SOFIE, che prevedeva in particolare lo studio del comportamento sismico di tale tipologia costruttiva [6].

Dopo i necessari studi teorici e le prove di laboratorio preliminari, di cui non viene qui dato conto ma che si possono trovare su www.progettosofie.it, la prova finale su tavola vibrante è stata condotta su un edificio di 7 piani. All'interno dell'edificio mostrato in Figura 8 si sono messi, sul pavimento di ogni piano, 30 tonnellate di piastre di acciaio a simulare i pesi propri portati dalla struttura (sovraccarico solai, rivestimenti alle pareti ecc.). I terremoti «forniti» sono stati 7, uno in fila all'altro, tutti di intensità distruttiva.

Fra un terremoto e il successivo si provvedeva solo al riserraggio dei bulloni di collegamento fra un piano e l'altro. In Figura 9 sono indicate le deformazioni massime raggiunte nelle due direzioni.

Ma le deformazioni residue finali sono state assolutamente trascurabili, per cui la configurazione dell'edificio al termine della prova era identica a quella all'inizio di

tutte la serie di prove.

Questo garantisce che un edificio di questo tipo, se correttamente progettato, può sopravvivere ad una serie impressionante di scosse di assestamento, e che comunque, al termine del peggior terremoto, non solo non ci sarà perdita di vite umane, ma neanche perdita del patrimonio immobiliare.

Conclusioni

Il legno come materiale da costruzione in zona sismica, qualora usato consapevolmente, secondo le specifiche caratteristiche di resistenza e deformabilità a livello degli elementi strutturali e delle relative connessioni, è in grado di fornire sistemi costruttivi moderni ed innovativi che possono, nel rispetto della sostenibilità ambientale, condurre ad edifici moderni di grande qualità abitativa e con alte prestazioni anche nei confronti dei peggiori terremoti.

Ario Ceccotti, ingegnere, direttore CNR-IVALSA, professore associato presso l'Università di Venezia, IUAV.

Bibliografia

- [1] A. CECCOTTI, P. TOULIATOS, *Progettazione delle strutture di legno in zona sismica, Lezione D10*, tratta da Il Manuale del Legno Strutturale Vol. III, a cura di A. Ceccotti, Mancosu Editore, Roma 2003.
- [2] V. COIAS, E. SILVA, *Using Advanced Composites to Retrofit Lisbon's Old «Seismic Resistant» Timber Framed Buildings* in Atti di «Culture 2000 – European Timber Buildings as an Expression of Technological and Technical Cultures», 2002.
- [3] R. LANGENBACH, *«Crosswalls» instead of shearwalls - A Proposed Research Project for the Retrofit of Vulnerable Reinforced Concrete Buildings in Earthquake Areas based on Traditional Hıms Construction*, in Fifth National Conference on Earthquake Engineering, 26-30 May 2003, Istanbul, Turkey, Paper N°: AE-123.
- [4] H.J. REINER, E. KARACABEYLI, *Wood-frame constructions in past earthquakes*, in Atti della World Conference on Timber Engineering, Whistler Resort, BC, Canada, 2000.
- [5] EN 1998-1:2004, *Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*, CEN, 2004.
- [6] A. CECCOTTI, *New Technologies for Construction of Medium-Rise Buildings in Seismic regions: The XLAM Case*, in Structural Engineering International SEI, 18 (2):156-165, 2008.

Conessioni nelle strutture di legno

Wood structures joints

PAOLO LAVISCI

Abstract

Le connessioni hanno una funzione fondamentale nelle strutture di legno: la loro corretta progettazione e realizzazione è infatti determinante per il comportamento strutturale, la resistenza al fuoco, la durabilità, il costo e l'estetica dell'edificio realizzato.

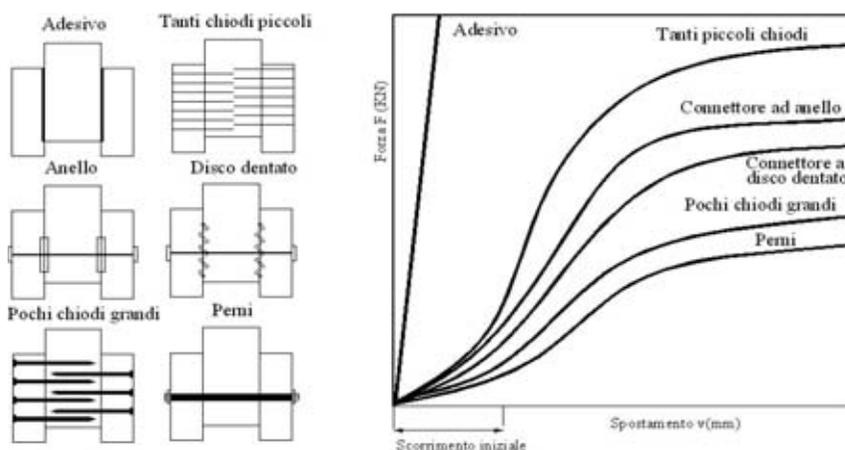
Connections play a fundamental function in timber structures: correct design and execution is decisive for structural performances, fire safety, durability, cost-efficiency and appearance of the finished building.

Lo sviluppo tecnologico in questo settore è stato frequentemente determinante anche nella diffusione di alcuni nuovi prodotti, poiché spesso le possibili modalità di collegamento divengono fondamentali nella scelta del sistema costruttivo da adottare¹, anche per l'ottimizzazione delle fasi di trasporto e montaggio. Le connessioni si dividono, dal punto di vista funzionale, in tre gruppi:

- unioni di carpenteria (legno-legno);
- unioni meccaniche (chiodi, viti, spinotti, piastre dentate...)
- unioni incollate.

Le *unioni di carpenteria* assicurano la trasmissione degli sforzi attraverso il solo contatto diretto legno-legno, talvolta mediante l'interposizione di elementi di legno duro. Nelle strutture antiche, le unioni tra i vari elementi lignei venivano realizzate quasi esclusivamente mediante giunti di carpenteria, generalmente lavorando le superfici ad ascia. Le connessioni di carpenteria moderne, grazie allo sviluppo impresso alla tecnica costruttiva edilizia in legno dalle macchine a controllo numerico, vengono utilizzate

Figura 1. Comportamento tipico delle varie forme di collegamento.



A&RT

sempre più frequentemente e sono molto apprezzate dai progettisti. La loro realizzazione, talvolta anche accompagnata dall'utilizzo di elementi metallici di collegamento necessari per evitare l'apertura del giunto, costituisce spesso la soluzione ideale per risolvere dettagli costruttivi diversamente difficilmente realizzabili. Le unioni tradizionali di carpenteria possono essere classificate in funzione delle modalità di trasmissione delle sollecitazioni di taglio, compressione, trazione o flessione. Esempi tipici di connessione di carpenteria, utilizzati per trasmettere sollecitazioni assiali sono i giunti fra gli elementi delle capriate tradizionali palladiane, molto diffuse nelle coperture di chiese ed edifici monumentali. Il giunto più importante è quello fra puntone e catena perché soggetto ai maggiori sforzi ed è determinante per il funzionamento della capriata come struttura chiusa non spingente, inoltre è normalmente situato all'interno della muratura dove c'è il maggior pericolo di degrado biologico. Secondo le Istruzioni CNR DT/206² i collegamenti tradizionali di carpenteria realizzati attraverso la lavorazione delle superfici di contatto devono essere considerate generalmente in grado di trasmettere solamente sforzi di compressione, quindi in grado di esplicare solamente la funzione di vincolo monolatero, a meno che non siano opportunamente accoppiate ad altre tipologie di unioni. Per questo motivo, nei collegamenti tradizionali come ad esempio i collegamenti compresi delle capriate occorre prevedere dei presidi, come ad esempio l'inserimento di viti o chiodi, in modo che tali elementi rimangano in posizione anche nel caso di inversione della sollecitazione dovuta all'azione sismica.

Le *unioni meccaniche* sono di gran lunga il sistema più utilizzato per il collegamento dei vari componenti strutturali soprattutto nella realizzazione di edifici a struttura di legno. Le unioni meccaniche sono semi-rigide, ossia a livello di nodo strutturale hanno un comportamento intermedio fra la cerniera e l'incastro (Figura 1). Questo comporta, per alcune tipologie strutturali in cui la connessione fra i vari elementi è realizzata esclusivamente mediante unioni meccaniche (ad esempio gli edifici a telaio di legno), la necessità di prevedere degli elementi di irrigidimento della maglia strutturale in verticale e in orizzontale. Il calcolo si effettua con la teoria di Johansen, che consente di calcolare la capacità portante in funzione di varie modalità di rottura del giunto, caratterizzate dallo sviluppo di un minore o maggiore comportamento duttile. Nei collegamenti si definiscono i piani di taglio come il numero di sezioni efficaci per ciascun connettore. Le unioni ad un piano di taglio devono essere, di regola, utilizzate in configurazioni simmetriche. Il calcolo di resistenza dell'unione prescinde in ogni caso da comportamenti di tipo fragile che si possono instaurare se l'unione non è correttamente progettata e che possono portare al suo collasso prematuro, prima che si possa instaurare uno qualsiasi dei meccanismi di rottura. Per questo motivo prima di effettuare il calcolo dell'unione è necessario verificare le distanze minime fra gli elementi e quelle dai bordi, sia in direzione parallela che perpendicolare alla fibratura. Il mancato rispetto delle distanze può portare all'insorgere di fessurazioni. Quando si utilizza una disposizione raggruppata degli elementi di collegamento

Figura 2. Edifici residenziali a L'Aquila, realizzati in 72 giorni di cantiere su nostro progetto strutturale (foto www.sistem.it).



o più elementi in fila, la capacità portante dell'unione può essere determinata dalla resistenza allo strappo di una delle aste da collegare. Occorre pertanto verificare che le tensioni di taglio del legno non vengano superate lungo il contorno dell'area interessata. Anche la realizzazione dell'unione con elementi troppo distanziati fra loro in direzione perpendicolare alla fibratura è da evitare, soprattutto nel caso di unioni esposte, per evitare l'insorgere di fessurazioni determinate dalla impedita possibilità per il legno di sfogare gli inevitabili movimenti dovuti al ritiro e al rigonfiamento. Particolare attenzione va posta inoltre alla protezione del giunto nei confronti del fuoco. A questo proposito l'*Eurocodice 5*, parte 1-2 dà utili indicazioni sulla protezione ad esempio degli elementi cilindrici e delle piastre metalliche inserite all'interno degli elementi da collegare. I chiodi sono generalmente infissi a martello o con chiodatrici automatiche (in sedi preforate per diametri > 6 mm). Ormai si usano quasi esclusivamente chiodi ad aderenza migliorata, in particolar modo in sistemi «leggeri» come il Platform Frame, la cui elevata resistenza alle azioni orizzontali è determinata dalla resistenza a taglio dei chiodi di collegamento, che quindi debbono essere scelti e posizionati con attenzione. Le viti sono il prodotto che ha avuto negli ultimi anni la maggiore evoluzione. Le viti tradizionali devono necessariamente essere inserite in sede preforata, con una rondella. Attualmente vengono però utilizzate soprattutto due nuove tipologie di viti, che hanno consentito di semplificare e velocizzare notevolmente alcune tipologie di collegamento, e hanno di fatto determinato lo sviluppo di nuovi sistemi costruttivi per l'edilizia.

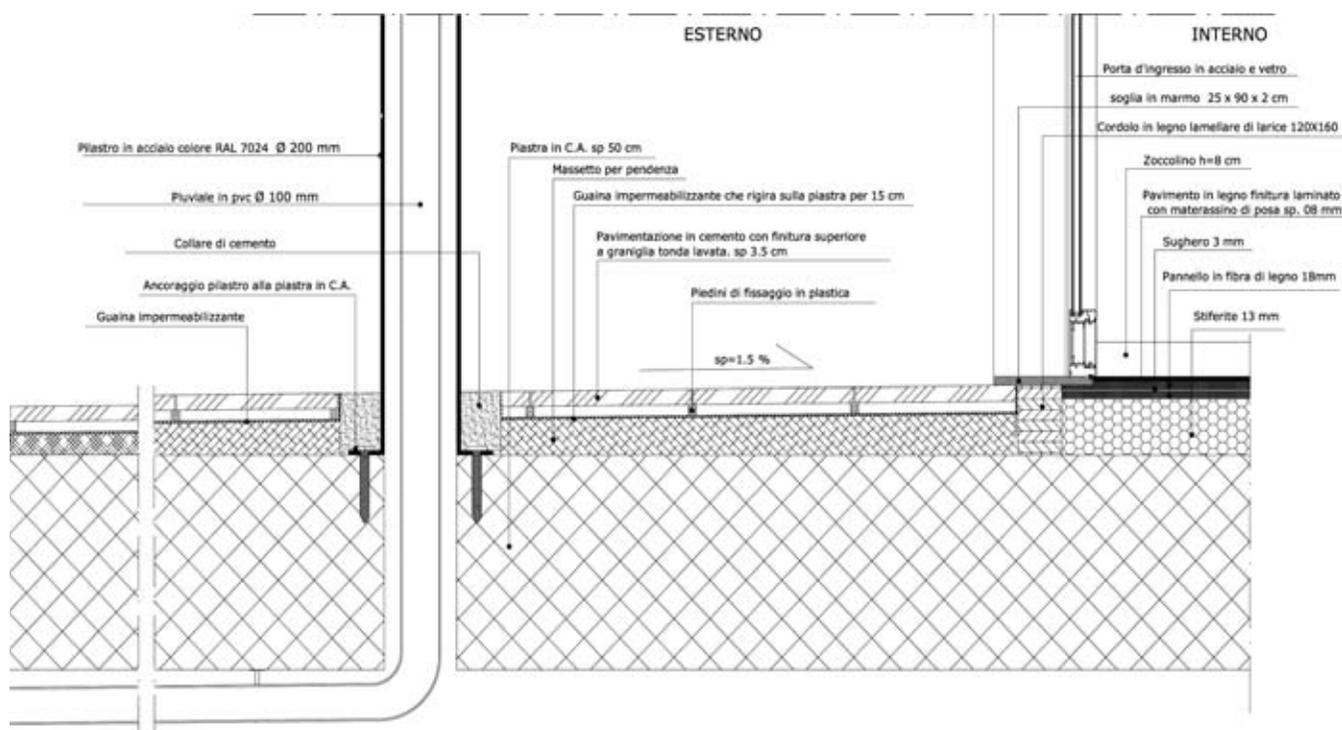
Le viti auto-foranti consentono di non effettuare il preforo, evitando la formazione di spaccature nel legno. Hanno diametri variabili dai 3 ai 12 mm e lunghezze fino ai 600 mm. Le viti a doppio filetto, con una parte centrale liscia, consentono di serrare fra loro gli elementi da collegare introducendo degli stati di compressione, risolvendo un grande numero di casi critici, dal collegamento fra travi principali e secondarie, al serraggio fra loro di elementi da incollare, al rinforzo strutturale di travi con intagli o fori. Hanno diametri variabili dai 6,5 agli 8,2 mm e lunghezze variabili dai 130 ai 300 mm.

Gli *spinotti* o perni di acciaio sono elementi di acciaio dolce (generalmente Fe360) a gambo liscio con le teste leggermente svasate per facilitarne l'inserimento a martello in fori dello stesso diametro dello spinotto. I fori vanno eseguiti subito prima dell'inserimento e la loro qualità influenza fortemente le prestazioni. Hanno diametri variabili dagli 8 ai 30 mm.

Esistono anche degli spinotti speciali auto-foranti, dotati di una lama di acciaio all'estremità, capaci di forare piastre d'acciaio inserite all'interno del legno (spessori massimi della piastra 5 mm, fino ad un massimo di 3 piastre). Hanno diametri variabili dai 5 ai 7 mm e lunghezze dai 70 ai 233 mm.

I *bulloni* sono generalmente di classe 4.6 o 5.6 o come per gli spinotti di acciaio Fe360 quando ottenuti da tondi di acciaio liscio. Vanno inseriti in fori di diametro pari al diametro del bullone + 1 mm e occorre sempre prevedere l'utilizzo di rondelle con diametro pari almeno a 3,5 volte quello del bullone e spessore pari almeno a 0,3 volte il diametro. Anche i bulloni hanno diametri variabili dagli 8

Figura 3. Il collegamento tra parete e piastra negli edifici di Figura 2. Progettisti: Mauro Paci (coordinamento generale e impianti), Luigi Fragola (architettone) e Legnopiù srl (strutture).



A&RT

ai 30 mm.

L'utilizzo di *connettori di superficie* (anelli, caviglie, tipo «Geka»...) permette il trasferimento di grandi sollecitazioni di taglio mediante l'aumento della superficie di contatto nel legno. Per questo motivo vengono molto utilizzati nel collegamento di grosse strutture reticolari, nelle quali sono talvolta l'unica soluzione possibile. Necessitano di apposite frese per la realizzazione dei fori, la cui precisione è essenziale per il funzionamento del giunto. I connettori a piastra dentata non necessitano di frese apposite ma vengono inseriti tramite apposite presse e/o con un bullone di serraggio. La trasmissione degli sforzi avviene pertanto in modo diretto tra i denti del connettore e il legno. Hanno diametri variabili tra i 38 e i 165 mm. Le *piastre chiodate* sono più spesso utilizzate per travi reticolari formate da elementi di sezione standard.

Da qualche decennio lo sviluppo di *adesivi* per incollaggi strutturali dotati di elevate prestazioni meccaniche e durabilità ha consentito l'adozione di nuovi materiali (legno lamellare, KVH, pannelli di legno massiccio a strati incrociati...) che hanno dato un nuovo impulso alla tecnica delle costruzioni in legno. Gli incollaggi vengono oggi utilizzati anche nella realizzazione dei collegamenti tra elementi strutturali e rappresentano talvolta l'unica soluzione possibile nei casi in cui è necessario realizzare un'unione rigida.

Gli incollaggi strutturali sono utilizzati frequentemente anche nel campo del consolidamento delle strutture di legno antico, ad esempio per la ricostruzione in opera di testate di travi o cripate degradate.

Le varie tipologie di connessioni sono caratterizzate da livelli differenti di resistenza, duttilità e velocità e facilità di realizzazione, ma sono tutte potenzialmente valide. La diffusione delle macchine a controllo numerico ha determinato una riscoperta delle unioni di carpenteria, l'esperienza maturata da alcuni decenni ha portato alla realizzazione di adesivi strutturali sempre più efficaci, affidabili e poco tossici, l'invenzione di nuovi mezzi di collegamento e nuove soluzioni applicative, sempre più pratiche, efficaci e veloci, sta portando il settore della prefabbricazione a nuovi traguardi (Figure 2 e 3). Ma le connessioni sono soprattutto il punto di sintesi tra esigenze diverse (sicurezza, costo, velocità di montaggio, durabilità, facilità di ispezione e manutenzione): la dimostrazione che l'abilità del progettista e del carpentiere tornano a ricoprire un ruolo di primo piano nel campo delle costruzioni in legno.

Paolo Lavisci, Società di ingegneria Legnopiù srl, Prato (www.strutturedillegno.it).

Riferimenti bibliografici

P. LAVISCI (2006), *La progettazione delle strutture di legno*, IlSole-24Ore, Milano

M. PIAZZA, R. TOMASI, R. MODENA (2005), *Strutture in legno: Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*, Hoepli, Milano

Note

¹ D.M.I. 14/01/08, «Norme tecniche per le costruzioni».

² CNR DT 206/2007, «Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di legno».

Strutture di legno: normativa e calcolo strutturale

Wood structures: laws and structural calculations

ATTILIO MARCHETTI ROSSI

Abstract

Sintesi redazionale dell'intervento dell'Ing. Attilio Marchetti Rossi svoltosi durante la 2° giornata 26-11-2009, basata sulla trascrizione del suo intervento fatta dall'ing. Francesco Brossa e particolarmente riassunta ed ordinata dall'arch. Roberto Rosa

Editorial summary dell'Ing. Attilio Marchetti Rossi speech, Structural Constructions Engineer, on 26th November 2009. This summary is based on the transcription of his speech made by ing. Francesco Brossa and particularly resumed and ordered from Arch. Roberto Rosa

Inquadramento normativo

Un piccolo excursus sulle normative riguardanti le strutture in legno viste con l'occhio di un professionista.

Finora c'è stata una grande lacuna normativa: infatti la legge 1684/62 comprendeva le strutture in legno solamente con provvedimento motivato del Genio Civile; la legge 1086/71 contemplava strutture in calcestruzzo armato o acciaio, prevedendo l'approvazione ministeriale per quelle in legno; la legge 64/1974 inquadra le strutture in *legname*; il D.M. 1996 C.8 prevedeva finalmente *edifici con struttura in legno*.

Di contro, gli altri stati europei avevano normative specifiche per le strutture in legno; basti pensare alla norma tedesca DIN 1052 che, dal 1933, ha rappresentato una norma di calcolo valida e concreta; tale norma ha subito aggiornamenti fino al 2000, quando è stato introdotto il calcolo semi-probabilistico agli stati limite. Il Consiglio superiore dei lavori pubblici italiano ha riconosciuto la validità di questa norma per il calcolo delle strutture in legno in Italia.

Le altre normative europee sono la francese REGLES C.B. 71 del 1981, la svizzera SIA 164 del 1981, la inglese BSI 5268/1988 e le austriache ONORM B4100 e B4101.

Attualmente le strutture in legno sono contemplate in diverse normative italiane quali:

- Eurocodice 5 EC5 UNI-EN-1995 per il calcolo delle strutture in legno (di carattere prestazionale);
- OPCM 3274_2003 + 3431_2004 – capitolo 9, per gli edifici con struttura in legno in zona sismica (di carattere prescrittivi);
- NTC 2008 – par. 4.4 per le costruzioni in legno – par 7.7 per la progettazione in zona sismica – par. 11.7 per quanto riguarda i materiali ed i prodotti del legno (di carattere prestazionale)
- ISTRUZIONI CNR DT 206-2007.

Mentre la normativa *prescrittiva* precedente, pur con le dette lacune in mate-

A&RT

ria di strutture in legno, aveva carattere legale in quanto legge dello stato che obbligava il progettista ad utilizzare il metodo di calcolo indicato, la norma *prestazionale* attuale non è cogente dal punto di vista legale in quanto fornisce solamente delle linee guida.

In sintesi con le norme in vigore è il progettista a scegliere il metodo di calcolo più adeguato attraverso il quale garantire la sicurezza, il carattere prestazionale dell'edificio. Questa maggiore libertà del professionista è però contrapposta ad un'assenza di tutela legale e di approvazione istituzionale sul metodo di calcolo.

Le norme nazionali avranno comunque vita breve in quanto nel 2010 dovranno obbligatoriamente entrare in vigore gli eurocodici che, tra l'altro, precedono un coefficiente di sicurezza minore rispetto alle N.T.C. 2008.

Vediamo di seguito la vigente normativa italiana, che – ricordo – è entrata in vigore il 1° luglio 2009

N.T.C. 2008 – 4.4 costruzioni in legno

Il capitolo 4.4 delle N.T.C. 2008 comprende le strutture portanti costituite da elementi in legno strutturale (mas-

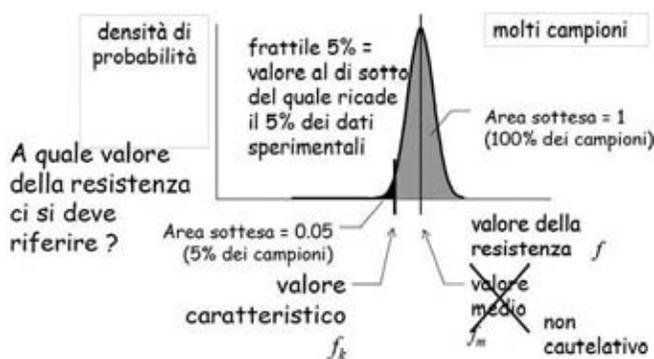


Figura 1. Valori caratteristici delle azioni al frattile del 5%.

Figura 2. Tabella relativa ai valori caratteristici del legno lamellare.

		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h	GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
Proprietà di resistenza	in N/mm ²								
Flessione	$f_{m,k}$	24.0	28.0	32.0	36.0	24.0	28.0	32.0	36.0
Trazione parallela	$f_{t,0,k}$	16.5	19.5	22.5	26.0	14.0	16.5	19.5	22.5
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	0.40	0.45	0.50	0.60	0.35	0.40	0.45	0.50
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	24.0	26.5	29.0	31.0	21.0	24.0	26.5	29.0
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$	2.70	3.00	3.30	3.60	2.40	2.70	3.00	3.30
Taglio	$f_{v,k}$	2.70	3.20	3.80	4.30	2.20	2.70	3.20	3.80
Proprietà di rigidità	in kN/mm ²								
Modulo elastico medio parallelo	$E_{0,mean}$	11.6	12.6	13.7	14.7	11.6	12.6	13.7	14.7
Modulo elastico 5° percentile parallelo	$E_{0,05}$	9.40	10.2	11.1	11.9	9.40	10.2	11.1	11.9
Modulo elastico medio perpendicolare	$E_{90,mean}$	0.39	0.42	0.46	0.49	0.32	0.39	0.42	0.46
Modulo tangenziale medio	G_{mean}	0.72	0.78	0.85	0.91	0.59	0.72	0.78	0.85
Massa volumica	in kg/m ³								
Massa volumica 5° percentile	ρ_k	380	410	430	450	350	380	410	430
Massa volumica media	ρ_{mean}	380	410	430	450	350	380	410	430

siccio, squadrato, segato o tondo) o a base di legno (lamellare, pannelli x.lam).

La stessa norma può essere utilizzata per la verifica di strutture esistenti, a patto che vengano valutate a priori tutte le caratteristiche del legno in opera.

Una novità inserita dalle N.T.C. per le strutture in legno è la certificazione dei materiali utilizzati prima della loro messa in opera: vale a dire che tutti i prodotti di legno o a base di legno per impieghi strutturali devono avere una classificazione in base alla resistenza.

La seconda novità è il sistema di calcolo che prevede valutazione della sicurezza non più con il metodo delle tensioni ammissibili ma agli stati limite ultimo e di esercizio (al pari degli Eurocodici). Per quanto riguarda le verifiche agli stati limite ultimi (es. collasso) vengono migliorate le sollecitazioni, mentre per gli stati limite di esercizio (es. deformazioni elastiche) vengono considerati i valori caratteristici delle azioni al frattile del 5%

I materiali in legno o a base di legno vengono in questo modo tabellati in base ai propri valori delle resistenze caratteristiche

Solamente per le costruzioni di tipo 1 e 2, e classe d'uso I e II, e solamente per edifici ricadenti in zona 4 (per la classificazione sismica) è ammesso il calcolo con verifica alle tensioni ammissibili.

Le N.T.C. 2008 introducono due nuovi concetti che il progettista deve valutare ed ottenere per le strutture progettate: la *robustezza* e la *durabilità*.

I requisiti di robustezza per le strutture in legno possono essere raggiunti mediante l'adozione di opportune scelte progettuali ed accorgimenti costruttivi quali:

- la protezione della struttura dall'umidità;
- l'adozione di apparecchi di collegamento a comporta-

mento duttile o intrinsecamente duttili;

- l'utilizzazione di elementi costruttivi a comportamento globalmente duttile;
- la limitazione delle zone della struttura soggette a sforzi di tensione nella direzione perpendicolare alle fibre soprattutto se accompagnate da tensioni tangenziali come può succedere negli intagli.

La curabilità invece dovrà essere ottenuta prevedendo in fase di progettazione una serie di interventi di manutenzione e di controllo da effettuarsi per tutta la durata dell'esercizio della struttura.

N.T.C. 2008 – 7.7 progettazione per azioni sismiche

Il capitolo 7.7. delle N.T.C. 2008 contiene le indicazioni per il calcolo strutturale di strutture in legno per azioni sismiche definendo i concetti di:

- duttilità statica: rapporto tra lo spostamento ultimo e lo spostamento al limite del comportamento elastico valutato con prove quasi-statiche;
- nodi semi-rigidi: giunzioni con deformabilità significativa tale da dover essere presa in considerazione nelle analisi strutturali;
- nodi rigidi: giunzioni con deformabilità trascurabile ai fini del comportamento strutturale;
- unione con mezzi di unione a gambo cilindrico: chiodi, viti, spinotti, bulloni sollecitati perpendicolarmente al proprio asse;
- nodi di carpenteria: collegamenti nei quali le azioni sono trasferite per mezzo di zone di contatto senza mezzi di unione meccanici (incastro a dente semplice, giunto tenone-mortasa, giunto a mezzo legno ecc).

Per essere classificati resistenti al sisma le costruzioni in legno devono essere progettate in accordo ad uno dei

seguenti modi:

- a) *comportamento strutturale dissipativo*;
- b) *comportamento strutturale scarsamente dissipativo*;

Le sollecitazioni dovute al sisma dipendono sia dall'energia rilasciata che dalla frequenza; in campo statico occorre determinare la forza equivalente, mentre in analisi dinamica si utilizza il metodo dell'analisi modale con spettro di risposta basato sul rapporto a/g. Gli spettri di risposta sono normalizzati all'interno dell'Eurocodice 8. La forza equivalente è quindi data dal prodotto tra l'accelerazione del sisma e la massa della struttura. Vale a dire che, a parità di sisma, un edificio con massa maggiore genera/subisce forze notevolmente più elevate di un edificio a massa ridotta. Per quanto riguarda le strutture in legno va osservato che hanno massa pari ad 1/4 delle strutture in calcestruzzo.

Sono da tenere inoltre in conto i rapporti tra resistenza e peso specifico (pari a 0,20 per l'acciaio, 0,30 per il legno e solamente 0,04 per il calcestruzzo) ed il fatto che le strutture in legno ed in acciaio resistono anche a trazione, il che si traduce in un miglior comportamento in presenza di moti sussultori.

Ritornando alle definizioni fatte dalla normativa, la *duttilità* delle strutture diventa importantissima, in quanto più una struttura è duttile, minori sono le forze di progetto. Ricorrendo ad un esempio, se per una struttura la duttilità è fissata a 3, il dimensionamento in campo elastico viene eseguito per una forza uguale ad F/3. *Una struttura è ben progettata se la duttilità richiesta è pari alla duttilità disponibile.*

Occorre ora entrare nel merito della duttilità.

L'Eurocodice 8 individua un terremoto ultimo in grado

Figura 3. Tabella relativa ai valori caratteristici del legno massiccio.

		C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
<i>Proprietà di resistenza</i>	in N/mm ²									
Flessione	$f_{m,k}$	14.0	16.0	18.0	22.0	24.0	27.0	30.0	35.0	40.0
Trazione parallela	$f_{t,0,k}$	8.00	10.0	11.0	13.0	14.0	16.0	18.0	21.0	24.0
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	0.30	0.30	0.30	0.30	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	16.0	17.0	18.0	20.0	21.0	22.0	23.0	25.0	26.0
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$	4.30	4.60	4.80	5.10	5.30	5.60	5.70	6.00	6.30
Taglio	f_v,k	1.70	1.80	2.00	2.40	2.50	2.80	3.00	3.40	3.80
<i>Proprietà di rigidità</i>	in kN/mm ²									
Modulo elastico medio parallelo	$E_{0,mean}$	7.00	8.00	9.00	10.0	11.0	12.0	12.0	13.0	14.0
Modulo elastico 5° percentile parallelo	$E_{0,05}$	4.70	5.40	6.00	6.70	7.40	8.00	8.00	8.70	9.40
Modulo elastico medio perpendicolare	$E_{90,mean}$	0.23	0.27	0.30	0.33	0.37	0.40	0.40	0.43	0.47
Modulo tangenziale medio	G_{mean}	0.44	0.50	0.56	0.63	0.69	0.75	0.75	0.81	0.88
<i>Massa volumica</i>	in kg/m ³									
Massa volumica 5° percentile	ρ_k	290	310	320	340	350	370	380	400	420
Massa volumica media	ρ_{mean}	350	370	380	410	420	450	460	480	500

A&RT

di danneggiare la struttura fino al limite non superato del collasso, ed un terremoto di servizio che non provochi alcun fuori servizio strutturale a livello di deformazioni. In tal senso viene data importanza alla capacità dissipativa della struttura. L'EC8 introduce inoltre il fattore di struttura "q" che tiene conto della dissipazione di energia della struttura in comportamento duttile. "q" è un numero puro che indica il rapporto tra le accelerazioni del terremoto al crollo e le accelerazioni al limite elastico. A titolo informativo per il legno q varia da 1,5 a 5, per l'acciaio da 1 a 6 e per il calcestruzzo da 1 a 5.

Per le strutture in legno, a causa delle caratteristiche del materiale (in base alla difettosità del legno ed alla specie legnosa utilizzata), si deve perseguire la duttilità strutturale attraverso zone di rotazione e di dissipazione dell'energia, che durante il sisma permettano di assorbire l'energia trasmessa impedendo il verificarsi di rotture fragili.

Questo è possibile conferendo ai giunti caratteristiche di plasticità e di dissipazione dell'energia, rendendo gli elementi in legno (le aste) più rigide (resistenti) dei giunti, al contrario di quanto si fa per le strutture in acciaio che hanno nella deformabilità delle aste la propria caratteristica.

L'eurocodice 8, per le strutture in legno, fornisce valori del coefficiente "q" per diverse tipologie costruttive:

- colonne semincastate e tetto appoggiato
q = 1,5

Figura 4. Classi di duttilità.

- intelaiate a travi e pilastri
q = 2 >> 2,5
- a tronchi sovrapposti
q = 2
- a travetti e pannelli
q = 3 >> 5

Nella progettazione per la resistenza al sisma di strutture in legno sono quindi più indicate giunzioni unioni bullonate o chiodate (dissipative) rispetto a giunzioni incollate (fragili). Occorre considerare che in alcune strutture (solitamente le grandi strutture in legno) il calcolo per carichi statici (neve e vento) governa sul calcolo sismico rendendo così non necessari i giunti duttili, anche se la loro presenza è auspicabile per avere una riserva di dissipazione in più.

Riprendendo quanto detto qualche riga più su, le strutture progettate per avere comportamento dissipativi, quindi caratterizzate da zone dissipative in corrispondenza dei nodi e delle giunzioni avranno fattore $q > 1,5$, mentre le strutture con comportamento scarsamente dissipativo avranno fattore $q < 1,5$.

Le NTC 2008 per quanto riguarda le unioni, caratterizzano:

- nei nodi dissipativi si possono considerare solamente materiali e bloccaggi di tipo meccanico, che siano in grado di offrire adeguata resistenza a carichi ciclici;
- i nodi incollati vengono considerati nodi fragili;

CLASSI DI DUTTILITA'

In funzione della duttilità di comportamento e della capacità di dissipare energia sotto l'azione sismica gli edifici di legno devono essere assegnati alla classe di duttilità A o B. Le strutture che non rispettano le condizioni richieste per le classi A o B dovranno essere considerate scarsamente duttili.

Classe	q	Esempi di strutture
A Strutture aventi una alta capacità di dissipazione energetica	3,0	Pannelli di parete chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni; strutture reticolari con giunti chiodati
	4,0	Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del paragrafo 9.3)
	5,0	Pannelli di parete chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi e bulloni
B Strutture aventi una bassa capacità di dissipazione energetica	2,0	Pannelli di parete incollati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni; strutture reticolari con collegamenti a mezzo di bulloni o spinotti; strutture cosiddette miste, ovvero con intelaiatura (sismo-resistente) in legno e tamponature non portanti
		Portali isostatici con giunti con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del paragrafo 9.3)
	2,5	Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del paragrafo 9.3)

• i nodi di carpenteria possono essere utilizzati solo quando sono in grado di offrire un'adeguata capacità dissipativa, e quindi solo in seguito a prove sperimentali. Le NTC 2008 forniscono inoltre indicazioni per l'analisi strutturale, fornisce indicazioni per gli impalcati, e per la verifiche di sicurezza.

Per quanto riguarda l'analisi strutturale:

- si deve tener conto dello scorrimento in corrispondenza dei giunti (deformabilità delle unioni);
- si deve utilizzare un valore del metodo elastico E per carichi istantanei;
- gli impalcati possono essere considerati infinitamente rigidi purché si rispettino opportune disposizioni costruttive e non presentino aperture tali da influenzare significativamente la rigidezza membranale globale;
 1. tutti i bordi dei pannelli che non terminano su elementi del telaio devono essere sostenuti e collegati da elementi di bloccaggio;
 2. la snellezza delle travi deve essere limitata al valore $b/h < 4$;
 3. per le zone sismiche 1 e 2 infittire del 30% le chiodature nelle zone di discontinuità;
 4. se gli impalcati sono considerati rigidi nel proprio piano le travi perimetrali devono seguire tutto il perimetro ed essere opportunamente collegate sia ai diaframmi orizzontali che verticali.

Per quanto riguarda e verifiche di sicurezza:

- i valori della resistenza di calcolo devono essere determinati con il valore di k_{mod} relativo ai carichi istantanei;
- per le verifiche allo SLU si applicano i coefficienti di sicurezza parziali γ_m relativi alle combinazioni di carico eccezionali;
- al fine di garantire il corretto sviluppo del comportamento ciclico dissipativo, nelle zone assunte come dissipative, tutti gli altri elementi strutturali (e/o connessioni) devono essere progettati con adeguata sovrarresistenza;
- per la verifica allo Stato Limite di Danno si verifica che

la struttura sotto l'azione orizzontale non subisca spostamenti superiori ad un valore prefissato in genere $dr < 0,01h$.

N.T.C. 2008 – 11.7 materiali e prodotti a base di legno

Come detto in precedenza le N.T.C. hanno introdotto la certificazione dei prodotti in legno o a base di legno per assicurarne la qualità e la tracciabilità del prodotto a partire dalla prima produzione di elementi grezzi o semilavorati fino alla messa in opera degli elementi strutturali. Vale a dire che ogni singolo elemento della struttura in legno deve possedere la *marcatatura CE* e che ogni fornitura per scopi strutturali deve essere accompagnata da un manuale per la posa in opera.

È possibile utilizzare prodotti innovativi non contemplati dalla normativa solamente se il produttore perviene al Benestare Tecnico Europeo (ETA) oppure ottiene il Certificato di Idoneità Tecnica all'Impiego rilasciato dal servizio Tecnico Centrale secondo le linee guida approvate dal Consiglio Superiore dei LL.PP.

Il compito di verificare l'utilizzo di materiali certificati ed il loro corretto montaggio spetta al *Direttore dei Lavori* il quale è tenuto a respingere il materiale non conforme a quanto prescritto dal *progettista*. Ovviamente il Direttore dei Lavori potrà fare eseguire ulteriori prove sui materiali o sui sistemi di collegamento, avvalendosi dei laboratori certificati.

Attilio Marchetti Rossi, ingegnere, svolge la propria attività libero professionista nel campo della progettazione statica di strutture in legno ininterrottamente dal 1981

È attualmente consulente delle più grandi aziende di prefabbricati in legno lamellare in Italia ed Europa. È stato membro della Commissione CEN /TC 250 SC5 per la redazione dell'Eurocodice 5. Ha partecipato al gruppo di studio istituito dal CNR che ha scritto le "Istruzioni per la Progettazione, Esecuzione e Controllo delle Strutture di Legno" CNR-DT 206/2006.

Figura 5. Strutture del parco della musica.



Gli usi del bambù in edilizia tra tradizione e innovazione

Uses of bamboo within construction between tradition and innovation

IRENE CALTABIANO

Abstract

Il bambù è un'erba gigante che, a seconda della specie, assume caratteristiche diverse sia nell'aspetto e nelle dimensioni, che nella modalità di propagazione e nei tempi di crescita.

Gli usi del bambù spaziano nei campi più diversi dalla produzione dei conosciuti flauti e utensili, fino alla realizzazione di componenti edilizi o agli usi culinari.

Nei luoghi in cui il bambù cresce spontaneamente rappresenta un'importante risorsa naturale rinnovabile ed è di solito parte della cultura materiale locale. Il suo impiego è incentivato dal semplice reperimento e dalla possibilità di essere lavorato con attrezzi d'uso comune anche da parte di persone non specializzate.

Nel settore delle costruzioni in diverse aree dell'America Latina e dell'Asia il bambù ha tradizionalmente un posto di rilievo. Non mancano, però, esempi di impiego anche in altre zone come alcuni ambiti rurali dell'Africa o in Europa per la realizzazione di allestimenti e strutture temporanee.

L'impiego del bambù si sta allargando oggi al settore industriale con la messa a punto di procedure e macchine che permettono la produzione in grande scala di pannelli poi impiegabili per realizzare elementi edilizi e componenti d'arredo.

Bamboo is a giant grass, that can have, according to the species, different formal and dimensional characteristics and different extension ways and growth times.

Uses of bamboo can be very diverse from production of well known flutes and tools, to realisation of building material or cooking uses.

For the places where its grows spontaneously it represents an important renewable natural resources and it is usually part of local material tradition. Its use is enhanced by the easy availability and by the possibility to be carved with common use tools also by not-specialized workers.

Bamboo traditionally has a main role in the building sector of different areas of Latin America and Asia. However there are also examples of its use in other places, such as rural areas of Africa and Europe to realise temporary structures and pavilions.

Uses of bamboo are extending to industrial sector, due to the procedures and machines that allow large scale production of panels that can be used to realise building elements and furniture.

1. Il bambù

Il bambù appartiene alla famiglia delle *Graminacee* (o *Poaceae*) che, oltre alle comuni erbe, comprende il grano, la segale, l'avena, il mais, il riso, la canna da zucchero, l'orzo e numerosi altri prodotti d'uso quotidiano. La pianta si differenzia in circa 70 Generi a loro volta suddivisi in circa 1200 specie.

La pianta di bambù può essere distinta in tre parti: il sistema sotterraneo di

Figura 1. Piante di bambù.



radici, il fusto che viene denominato culmo ed i rami che da questo si dipartono per accogliere numerose foglie che formano ampie chiome.

Le dimensioni delle piante di bambù sono molto varie sia in relazione al diametro raggiunto dai culmi che alla loro altezza. Per quanto riguarda la larghezza, infatti, si hanno culmi che vanno da pochi millimetri fino a 300 mm di diametro mentre in altezza si va dalle piante nane di poche centinaia di millimetri fino ai giganti di 3000-3500 mm. Lo spessore della parete del culmo, di solito, raggiunge al massimo 10 mm ma non mancano interessanti eccezioni.

Tra i bambù giganti quello più conosciuto è la *Guadua* che cresce in Centro e Sud America e raggiunge diametri di 300 mm con fusti piuttosto dritti e per questo molto utili nel settore delle costruzioni. Un altro bambù gigante è il *Dendrocalamus* i cui fusti crescono fino a 3000-3500 mm. I bambù è caratterizzato da una radice ramificata composta da segmenti sotterranei detti rizomi. In base alla tipologia di apparato radicale delle piante se ne distinguono due categorie principali: simpodiali o pachimorfi e monopodiali o leptomorfi.

I bambù simpodiali sono unicespitosi, crescono generalmente in ambienti tropicali caratterizzati da climi caldo-umidi. I rizomi somigliano a dei corni rivolti verso l'alto con internodi brevi e gemme opposte ad ogni giunto. L'apparato radicale cresce in maniera compatta dando luogo a cespugli grandi e fitti formati da culmi molto vicini l'uno all'altro. Nei climi caldi, le piante simpodiali necessitano di evitare la dispersione di umidità, lo sviluppo in cespugli garantisce un buon ombreggiamento e permette di mantenere migliori condizioni microclimatiche.

I bambù monopodiali crescono in contesti climatici temperati. In questo caso il rizoma si sviluppa parallelamen-

te al terreno e percorre fino a tre metri in una sola stagione¹. Su questa "radice" spuntano, a distanze diverse, numerosi culmi che vanno a creare ampi boschi non molto fitti. Il rizoma in corrispondenza dei nodi è caratterizzato dalla presenza di gemme che possono restare inattive, diventare culmi o trasformarsi in nuovi rizomi e ramificarsi nel sottosuolo. L'apparato radicale che si crea risulta articolato e molto difficile da contenere. Nei casi in cui si voglia delimitare lo sviluppo della pianta è necessario prevedere degli ostacoli per i per i rizomi creando un fossato o inserendo sbarramenti con guaine o pannelli fino ad almeno 600 mm di profondità. Non sempre però questi espedienti danno i risultati sperati.

Una terza categoria di rizomi sono quelli che hanno struttura e modalità di crescita intermedia tipici dei bambù che crescono in condizioni climatiche estreme come ad esempio ad elevate altitudini.

In tutti i tipi di bambù il rizoma, sempre appuntito per poter penetrare nel terreno, è rivestito da una guaina legata a ciascun nodo che assolve ad una funzione di protezione dagli agenti esterni e contribuisce al mantenimento di una adeguata umidità.

I culmi di bambù sono costituiti da pareti ligeno-silicee di spessore variabile. Questi generalmente hanno sezione circolare e sono vuoti all'interno. La lunghezza del culmo è inframmezzata da diaframmi che si formano in corrispondenza di nodi superficiali. Oltre ai comuni culmi descritti ne esistono specie particolari in cui la sezione tende all'ovale. Anche lo spessore della parete legnosa che caratterizza la culmo può variare in maniera considerevole fino a lasciare soltanto piccoli fori tali da rendere la sezione quasi piena. Un tipico esempio di culmo pieno è quello dell'*Arundinaria Alpina* che cresce spontanea negli altipiani etiopici e in altre zone dell'Africa.

I nodi presenti sui culmi ne caratterizzano l'aspetto e ne

Figura 2. Abitazione tradizionale in bambù e terra in Mozambico.



A&RT

influenzano le proprietà fisiche. La loro posizione è generalmente perpendicolare alla lunghezza del culmo ma esistono diverse eccezioni con nodi obliqui.

Nella fase di fuoriuscita del culmo dal terreno e fino a completa maturazione la sua superficie è ricoperta da una guaina protettiva che è legata al fusto attraverso i nodi. Il distacco della guaina avviene con mobilità e tempi diversi a seconda delle specie di bambù e non è mai consigliabile la sua rimozione forzata perché si esporrebbe il fusto ad attacchi esterni. La guaina dei culmi se ne distacca a causa della lacerazione a cui è soggetta per l'allungamento del fusto. A differenza che per i tronchi degli alberi, nel bambù dopo il primo anno di vita non si crea nessun accumulo legnoso né nella parte interna né in quella esterna del culmo². Quest'ultima è rivestita da una cute cerosa che la protegge da infezioni crittogamiche e attacchi di insetti parassitari e xilofagi.

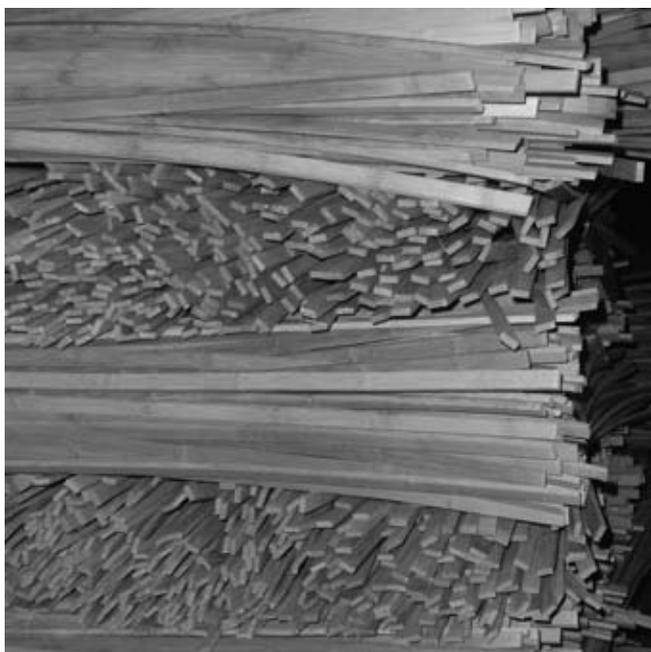
La terza parte della pianta di bambù è quella costituita dai rami e dalle foglie. Generalmente i rami cominciano a spuntare in corrispondenza dei nodi una volta che il culmo ha raggiunto la sua massima altezza. Non mancano, però, anche in questo caso le eccezioni.

Il numero di rami che crescono dal singolo nodo costituisce un'utile informazione per l'identificazione della specie di bambù. Ci sono specie con un solo ramo per nodo (*Sasa* e *Pseudosasa*) ma anche esempi con un numero progressivo di ramificazioni, fino ai casi di parecchi rami come nella *Bambusa*, nel *Dendrocalamus* e nella *Gigantochloa*.

I rami che partono dal culmo si riempiono presto di foglie che vanno a formare una chioma ampia che garantirà nel tempo una piacevole zona d'ombra.

Le piante di bambù sono sempre verdi. Il ricambio delle foglie avviene, infatti, in maniera costante durante l'anno

Figura 3. Listelli di bambù.



evitandone la completa caduta contemporanea come nella maggior parte delle piante. A seconda delle specie la chioma in alcuni periodi dell'anno tende ad ingiallirsi senza però perdere consistenza e ampiezza.

La fioritura del bambù si ha ad intervalli molto diversi a seconda della specie. Varia dai dieci anni fino a più di un secolo e si manifesta simultaneamente nelle piante della stessa specie sparse nei diversi continenti a qualsiasi stadio vegetativo esse si trovino. Al termine del periodo di fioritura le piante muoiono causando notevoli problemi sia dal punto di vista economico che ambientale. Viene a mancare, infatti, la fonte di introito principale di larghe fette di popolazione rurale che basano la loro sussistenza sulla vendita di prodotti ricavati dal bambù. A questo grave danno economico si aggiunge quello ambientale: la fioritura delle piante di bambù determina la produzione e la caduta al suolo di innumerevoli semi che attirano attorno ai boschi morti ogni tipo di roditore che una volta concluso l'approvvigionamento di cibo, invade le zone circostanti e gli spazi abitati e coltivati nell'intorno causando danni e disagi.

1.2 Diffusione e usi

Una grande potenzialità del bambù è la sua capacità di rapida crescita che ne fa un'ottima risorsa naturale rinnovabile, inoltre, questa erba gigante è molto versatile ed è quindi impiegabile in molteplici settori.

Il bambù è forte e leggero, facilmente lavorabile e largamente disponibile in diverse aree geografiche. Nonostante il bambù costituisca da sempre un'importante risorsa naturale a livello mondiale, mancano dati precisi sulla sua reale estensione nel mondo. Non si ha notizia fino ad oggi di un censimento completo delle aree boschive di bambù anche perché, nella maggior parte dei casi, questa erba cresce mescolata ad altre piante rendendo quasi impossibile la realizzazione di un inventario.

Una stima è stata effettuata all'interno di un progetto promosso dalla FAO e dall'INBAR (International Network for BAMBOO and RATTAN). I primi risultati indicano l'esistenza di quasi 40 milioni di ettari di bambù, equivalente all'1% dell'area boschiva totale. Il totale risulta distribuito principalmente in Asia (23 milioni), America Latina (11 milioni) e Africa (3 milioni)³.

Parlare degli usi del bambù richiede molto tempo e come vedremo porta a trattare di tanti ambiti diversi della vita quotidiana in molte parti del mondo. Già in epoche remote il bambù veniva usato per costruire armi (archi e frecce, pugnali e spade) e utensili di ogni tipo.

La leggerezza e la facile lavorabilità del materiale permettevano di realizzare imbarcazioni, strumenti musicali, ceste, stuoie, bacchette e ombrelli. Non mancano poi le infinite applicazioni con scopi ornamentali sia con i culmi vivi che recisi.

Ad alcune latitudini il bambù è stato impiegato per secoli per la realizzazione di ponti e ancora oggi vengono

costruiti interessanti esempi. I culmi vuoti, privati dei diaframmi presenti in corrispondenza di ogni nodo e collegati linearmente, diventano condotte per il trasporto dell'acqua.

Nei nostri contesti rurali il bambù, insieme con la canna (*Arundo donax*), costituisce da sempre un importante elemento di sostegno per le piante giovani.

Ciò che rende il bambù tanto adatto all'uso quotidiano è il facile approvvigionamento, il suo ridotto peso che ne agevola il trasporto e la semplice lavorabilità anche con attrezzi non specifici. Il bambù, infatti, è lavorabile in maniera simile al legno e può quindi essere segato, piallato, carteggiato ma anche curvato e ridotto in sottili listelli.

Dal bambù si produce anche la carta. La storia ci insegna che il sistema artigianale per la produzione della carta fu ideato in Cina più di 2000 anni fa⁴. Dalla stessa nazione nasce l'idea di estrarre pasta di cellulosa dal bambù. Uno dei principali elementi che costituiscono il bambù è proprio la cellulosa quindi è evidente che questa pianta possa rappresentare una fonte importate di materia prima in sostituzione del legno.

La lunga fibra che caratterizza il bambù può essere impiegata anche per la realizzazione di tessuti. Il processo di trasformazione non è semplice ma il prodotto finale è un'ottima stoffa fresca e traspirante.

Dalla combustione dei culmi di bambù si sviluppa un potere calorifero di 4.400 calorie per kg, il bambù costituisce, quindi, un'ottima fonte di calore sia per riscaldarsi che per cucinare⁵.

I residui della lavorazione del bambù, oltre agli usi previsti per la realizzazione di pannelli costituiscono un'ottima risorsa per produrre cippati e pellet, sempre più usati come combustibile per stufe domestiche.

Il bambù attraverso un processo di pirolisi può essere trasformato in carbone. La produzione avviene ancora oggi in maniera piuttosto artigianale e poco controllata, generando problemi a causa delle emissioni di CO₂ che determina. Il prodotto finale che si ricava è però un carbone di ottima qualità impiegabile non soltanto come combustibile e ma anche per le sue proprietà di controllo dell'umidità, di assorbimento dei cattivi odori e di purificazione dell'acqua. Così come le foglie di bambù, anche il carbone è usato per realizzare creme e saponi, cosmetici e farmaci.

Il bambù è un importante alleato per la salvaguardia dell'ambiente da più punti di vista. Le piante di bambù possono fornire, infatti, anche un fondamentale supporto per il consolidamento di terreni e scarpate. Il fitto apparato radicale che le contraddistingue, soprattutto per le specie monopodiali, può, infatti, creare una intricata massa di radici che evitano lo sgretolamento del suolo soggetto all'erosione a causa di violenti fenomeni atmosferici e dell'azione antropica. Il groviglio di rizomi favorisce anche l'accumulo di umidità utile alla crescita della pianta. Le folte chiome delle piante svolgono una importante funzione di accumulo dell'anidride carbonica presente nell'aria e garantiscono, inoltre, una buona protezione del suolo dall'irraggiamento diretto, dalla grandine e dal vento e nello stesso tempo contribuiscono alla creazione di un habitat favorevole per la vita della fauna.

I boschetti di bambù possono essere usati come frangivento e barriere sonore per gli spazi abitati. La pianta può essere, inoltre, impiegata nel campo della fitodepurazione.

Il bambù è anche molto apprezzato per la sua valenza estetica e per questo viene usato in numerosi giardini pubblici e privati.

Figura 4. Fabbrica di parquet in bambù in Cina.



A&RT

Nel settore alimentare i germogli di bambù vengono largamente impiegati sia come prodotto fresco che a lunga conservazione. Dalla stessa pianta si estraggono essenze utili alla produzione di bevande come il the e la birra. Le stesse essenze sono impiegate nel settore della cosmetica nel quale sono venduti numerosi tipi di saponi e creme.

2. Il bambù come materiale da costruzione

Il bambù in molti Paesi è utilizzato come materiale da costruzione. Il suo più conosciuto impiego nel settore edile è quello per la realizzazione di ponteggi. Nei contesti asiatici sia in ambito rurale che urbano le impalcature, indispensabili per le opere di realizzazione o riqualificazione del costruito, sono realizzate con culmi di bambù legati insieme.

La cultura locale ha tramandato, infatti, la tradizione e le competenze per costruire velocemente e con pochi mezzi enormi strutture di sostegno per gli operai che con abilità, anche se spesso con pochissime garanzie di sicurezza, vi si arrampicano anche a quote elevate.

Nella tradizione costruttiva il bambù viene di solito impiegato in forma di culmi per diventare struttura portante di costruzioni di diverse dimensioni e destinate a svariati usi. In questo caso va sempre risolto il problema della giunzione dei culmi che, data la forma circolare, necessitano delle legature o l'inserimento di elementi di connessione. Sul tema dei giunti del bambù molti esperti hanno proposto soluzioni diverse.

Una scuola di pensiero è basata sulla possibilità di forare i culmi e creare delle connessioni con il bambù stesso o con giunti metallici, altri ritengono che non sia opportuno bucare il bambù, quindi mettono in atto soluzioni basate sulla sovrapposizione dei culmi e realizzano le loro connessioni con corde o elementi d'acciaio.

Figura 5. Case prefabbricate in bambù.



Gli usi tradizionali del bambù comprendono anche l'impiego di elementi lineari prodotti attraverso la splittatura dei culmi. Queste aste vengono intrecciate o affiancate e cucite per realizzare partizioni interne ed esterne delle costruzioni. Queste pareti garantiscono una buona ventilazione ma diventano una reale frontiera tra lo spazio privato e l'esterno.

Nel caso in cui gli edifici siano realizzati in contesti che necessitano una buona inerzia termica sugli intrecci di bambù viene collocato un intonaco.

In altri casi culmi di ridotto diametro o anche splittati vengono legati per creare delle strutture di contenimento per terra e pietrame e vanno a costituire gli involucri di piccole costruzioni (vedi Figura 2).

L'ingegno dell'uomo ha permesso nel tempo di moltiplicare gli usi del bambù in edilizia tagliandolo con metodi e forme diversi. La produzione artigianale di semilavorati per l'edilizia è cresciuta sempre più fino a determinare la creazione di un settore industriale specifico finalizzato alla raccolta, lavorazione e commercializzazione di elementi di bambù.

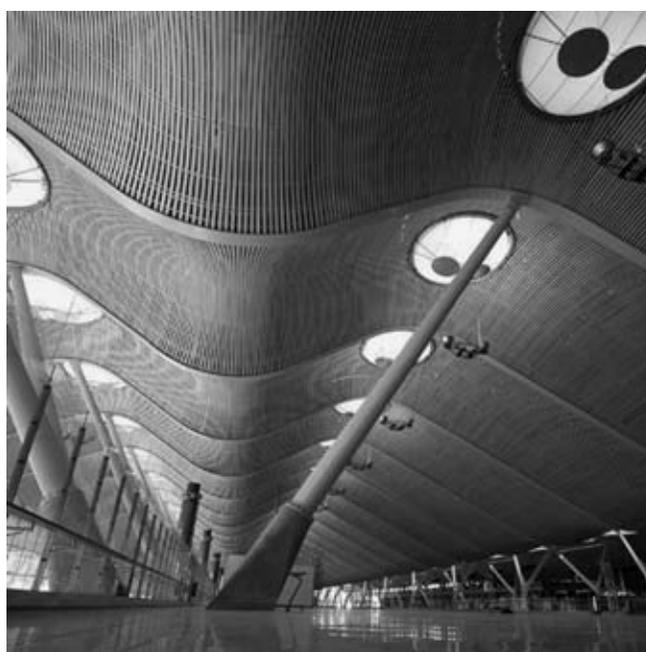
Il primato nel settore industriale legato al bambù è oggi da attribuire alla Cina in cui intere aree sono state destinate allo sviluppo del mercato del bambù.

L'organizzazione del processo produttivo ha permesso di realizzare innumerevoli nuovi prodotti totalmente o parzialmente in bambù come parquet, rivestimenti verticali, infissi, mobili, e molti altri ancora. L'ottimizzazione del lavoro ha limitato al massimo la produzione di scarto incrementando i margini di utile delle aziende.

Il bambù può anche essere usato per realizzare capriate, recinzioni, condotte idriche e sistemi di copertura di diverso tipo.

Tra le numerose possibilità di impegno del bambù a scala

Figura 6. Terminal Aeroporto Madrid (Richard Rogers).



artigianale o industriale si vogliono evidenziare quelle relative al settore edilizio, soffermandosi in modo particolare sui componenti edilizi ricavati dal taglio dei culmi e dalla lavorazione degli elementi ottenuti e tralasciando gli esempi di impiego di bambù con fini strutturali legati, generalmente, all'impiego del culmo intero.

Come nel caso del legno, anche per il bambù si cerca di limitare al massimo lo spreco di materia prima.

È per questo che accanto ai prodotti derivati direttamente dai processi di lavorazione ne esistono molti realizzati con gli scarti. Si tratta di polvere di bambù ma anche di pezzi di diverse dimensioni ancora utili a diventare parte di elementi più grandi ottenuti per compressione o incollaggio.

Fatta eccezione per l'uso del bambù in culmi interi, radicato nella tradizione costruttiva soprattutto in Centro e Sud America, la produzione di componenti edilizi realizzati con questo materiale ne presuppone il taglio longitudinale.

L'obiettivo principale della lavorazione è quello di arrivare ad un listelli piano che possa essere poi incollato con modalità diverse per produrre svariati tipi di pannelli.

Le modalità di lavorazione che portano dalla pianta di bambù al listello variano in funzione della specie usata, dai mezzi a disposizione e dalle finalità per cui si produce il listello.

Uno dei processi attuati nel contesto cinese, dopo le fasi di taglio e di trasporto dei culmi prevede un secondo taglio per l'eliminazione delle estremità e la standardizzazione della lunghezza del prodotto finito.

Dopo il taglio i culmi di bambù vengono sottoposti a bollitura e successivamente a fiammatura. Un ulteriore taglio, detto splittatura, può essere effettuato con macchinari manuali o elettrici ed è finalizzato all'ottenimento

di strisce di bambù di uguale dimensione. Il prodotto ottenuto ha ancora una conformazione irregolare data dalla presenza di frammenti dei nodi interni al culmo e al duro strato di rivestimento esterno. Una successiva "limatura" della strisce permette di eliminare le parti superflue e di arrivare alla definizione della geometria finale della striscia.

Fasci di strisce vengono poi sottoposti per 30 minuti ad una nuova bollitura in H_2O_2 . Ultimato questo processo protettivo le strisce vengono lasciate ad asciugare in camere apposite fino a quando saranno pronte per i diversi impieghi previsti.

Se necessario i lunghi elementi di bambù realizzati subiscono una nuova rifinitura dimensionale per garantirne la massima regolarità e vengono dopo sottoposti ad una selezione visiva per eliminare i pezzi difettosi e raccogliere in fasci quelli di colore uniforme.

Le strisce appartenenti ai singoli fasci vengono poi fatte passare in una macchina per l'applicazione di colle melaniniche. Una volta costituiti dei pannelli per accostamento verticale od orizzontale delle strisce questi subiscono un incollaggio a caldo.

Il passaggio successivo è il trasferimento dei pannelli in una stanza ad umidità controllata, indispensabile per il bilanciamento dell'essiccazione del prodotto finito che "riposa" qui per 7/10 giorni.

I pannelli vengono successivamente tagliati, ripuliti dalla polvere che vi si è depositata, ancora una volta asciugati. A seconda del tipo di finitura desiderata il pannello può anche essere verniciato. In questo caso sarà necessario prevedere un nuovo processo di asciugatura.

I singoli pannelli, a questo punto, possono essere usati e distribuiti oppure sovrapposti in più strati per andare a realizzare elementi multistrato utili, per esempio, per la

Figura 7. Padiglione espositivo in bambù (UtopieRealizzabili).



Figura 8. Spazio espositivo in bambù (Markus Heinsdorff).



A&RT

realizzazione di parquet.

Tutte le lavorazioni di taglio e rifinitura degli elementi di bambù producono uno scarto costituito per lo più da pezzi di diverse dimensioni e da polveri anche sottili. Così come già è comune fare per il legno, questi scarti vengono incollati e compressi per diventare l'anima di pannelli impiallacciati. I residui di lavorazione più grandi, costituiti da elementi sottili e lineari, vengono uniti a colle e pressati a caldo per la realizzazione di travi portanti e pannelli ad alta densità utilizzabili anche la produzione di pavimentazioni per esterni.

Una volta trasformati in pannelli il bambù può essere impiegato in molteplici modi e può costituire un valido sostituto del legno.

3. Conclusioni

Oggi il bambù sta vivendo un momento di particolare interesse a scala internazionale. Da un lato si sta riscoprendo nei Paesi in cui cresce ed è usato da secoli, dall'altro incuriosisce chi, fino ad ora, lo ha visto come un materiale esotico e lontano.

Uno stimolo a tutto questo è dato dal diffondersi dell'uso del bambù da parte di architetti famosi che mostrano con i loro progetti le potenzialità prestazionali e formali di questa erba gigante. Il nuovo terminal dell'aeroporto di Madrid (Figura 6) progettato da Richard Rogers ne è un esempio.

Anche in Italia il bambù è stato utilizzato in diverse occasioni per creare spazi espositivi e oggetti di design. A Torino, in occasione del Congresso Mondiale degli Architetti svoltosi nel giugno 2008, presso l'Oval Lingotto che ospitava l'evento, è stato montato un padiglione, progettato e realizzato da UtopieRealizzabili (Figura 7). Oggi il padiglione si trova in maniera permanente in uno spazio pubblico ad Olivetta San Michele (IM).

Se in questo caso si è voluto usare bambù italiano per limitare l'impatto del trasporto della materia prima, in altri, il bambù entra a far parte del mercato globalizzato dei prodotti edilizi.

Studiare e usare il bambù permette di conoscerne potenzialità e limiti e di verificare se questo possa essere una valida alternativa al legno in molti dei suoi impieghi.

Ciò che risulta chiaro è che, prima di tutto, il bambù va promosso negli ambiti in cui cresce spontaneo e può diventare una risorsa anche per la gente del luogo. Questo è stato compreso in Cina e sta prendendo piede

in India ma il bambù potrà anche essere una risorsa per molti contesti rurali africani in cui è usato da sempre ma senza una reale consapevolezza delle sue potenzialità.

A questo scopo nell'ambito del dottorato in Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito del Politecnico di Torino si sta sviluppando una ricerca sulla produzione di un sistema di copertura ondulato realizzato con le guaine del bambù e la resina.

Irene Caltabiano, architetto, dottoranda in Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito e titolare di un Assegno di Ricerca presso il Dipartimento Casa-Città del Politecnico di Torino.

Riferimenti bibliografici

- ASSOCIAZIONE ITALIANA BAMBÙ (AIB) (a cura di), 2007, *Bambù*, Torino
- G. CATTAL, G. CERAGIOLI, 1985, *Ibridazione tecnologica. Terzo mondo verso il 2000*, Focsiy, Milano
- D. FARRELLY, 1984, *The book of bamboo*, Sierra Club Books
- D. GREENBERG, R. HENRIKSON, S. PAUDEL, 2007, *Visionary bamboo designs for ecological living*, Inbar
- O. HIDALGO LOPEZ, 1981, *Manual de construcción con bambù*, Estudios Técnicos Colombianos
- J. JANSEN, 1988, *Building with bamboo*, Itdg
- D. L. JAYANETTI, P. R. FOLLETT, 1998, *Bamboo in construction. An introduction*, TRADA Technology Limited
- S. JIANG, Y. TANG, Q. ZHANG, 2001, *Industrial utilization on bamboo*, Inbar
- J. OPRINS, H. VAN TRIER, 2006 (et al.), *Bamboo. A material for landscape and garden design*, Birkhauser
- V. PAPANEK, 1995, *The green imperative. Ecology and ethics in design and architecture*, Thames & Hudson
- C. TONGES, *Building with bamboo*, in «Detail», n.6/2008, pp.652-662
- B. VISENTINI, 1994, *Verde di bambù*, Edagricole, Bologna

Note

- ¹ B. VISENTINI, 1994, *Verde di bambù*, Edagricole, Bologna.
- ² *Ibidem*.
- ³ ASSOCIAZIONE ITALIANA BAMBÙ (AIB), 2007 (a cura di), *Bambù*, Torino.
- ⁴ B. VISENTINI, *Verde di bambù*, cit.
- ⁵ *Ibidem*.

La valorizzazione tecnologica dei legnami piemontesi e lo sviluppo della filiera foresta-legno

Technological exploitation of Piedmonts wood and the development of forest-wood system

MARCO CORGNATI

Abstract

La presente nota illustra sinteticamente le principali linee d'azione sulle quali la Regione Piemonte – Settore Politiche Forestali opera al fine di valorizzare i legnami piemontesi nell'ambito della filiera foresta-legno.

Si tralasciano quindi le azioni in tema di selvicoltura (le cui tecniche incidono profondamente sulle caratteristiche fisiche e tecnologiche degli assortimenti) e di raccolta del legno (la disponibilità locale è fortemente condizionata dall'organizzazione della produzione) per concentrarsi, invece, sui rapporti diretti con le imprese di trasformazione.

This note shows the main action lines on which Piedmont – Forest Policies Sector acts to enhance piedmont woods in the sphere of forest-wood system. Omitting actions regarding forestry (with techniques that have great influence on physical characteristics), wood collection (local availability is strongly linked to production organization), we concentrate on direct relationships with transformation enterprises.

Aspetti di tecnologia del legno

Norme Tecniche per le Costruzioni

Un primo aspetto su cui si è lavorato e si sta lavorando è quello relativo all'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/09/05 + D.M. 14/01/08 + D.M. 06/05/08) che sta determinando, in questi ultimi anni, profondi mutamenti nelle imprese che producono legname per uso strutturale.

In estrema sintesi tali norme richiedono l'utilizzo di materiali con determinate caratteristiche di resistenza meccanica. Ne consegue, per il legno, la necessità di classificazione dei segati ad uso strutturale secondo la resistenza meccanica e l'apposizione sullo stesso della classe di resistenza e della marcatura CE.

Per classificare a vista alcuni tipi di legname (ad esempio legno massiccio a sezione rettangolare) esistono Norme a livello europeo (la UNI EN 14081 per il caso citato), mentre per altri prodotti in legno massiccio quali la travatura Uso Trieste (U.T.) ed Uso Fiume (U.F.) non esiste ancora un sistema di classificazione e certificazione applicabile a livello europeo.

A questa situazione di «vuoto normativo» si sta cercando di porre rimedio sia a livello nazionale (tramite ad esempio l'emanazione di un benestare tecnico da parte del Ministero) sia a livello europeo con la bozza di norma prEN 14544 «Strutture di legno – Classificazione del legno strutturale a sezione tonda».

Nel frattempo, per la classificazione dei prodotti di cui sopra si deve far riferimento al punto 11.7.6 delle Norme Tecniche per le Costruzioni che recita: «Gli altri prodotti derivati dal legno per uso strutturale per i quali non è vigente una norma armonizzata di cui al punto A del § 11.1 o non è

A&RT

applicabile quanto specificato punto C del medesimo § 11.1 devono essere qualificati così come specificato al § 11.7.10».

Direttore Tecnico di Produzione

Quest'ultimo punto riguarda le procedure di qualificazione e prevede l'individuazione di un Direttore Tecnico di Produzione (DTP) che deve dimostrare adeguate competenze acquisite anche tramite specifici corsi di formazione e il cui compito è classificare il legname in funzione delle sue caratteristiche di resistenza meccanica. Chi produce travatura di legno massiccio con smussi di estensione superiore ai limiti tollerati dalla normativa vigente deve obbligatoriamente qualificarsi e inserire nella propria organizzazione la figura del Direttore Tecnico di Produzione.

In sintesi: ciò che non è classificabile in riferimento diretto a norme europee può esserlo attraverso il DTP.

Per la classificazione delle travi smussate quindi, il DTP può fare riferimento, in Italia, alla norma UNI 11035 «Legno strutturale – Classificazione a vista di legnami italiani secondo la resistenza meccanica».

Egli cioè, confronta i propri segati con quelli descritti nella norma cui sono assegnati dei valori caratteristici di resistenza meccanica.

Il «difetto» di tale norma è che prevede un numero molto ridotto di «categorie» (la categoria è un insieme, identificato da una sigla – S1, S2 ecc. –, cui vengono assegnati i segati classificati a vista secondo la resistenza meccanica) e di «tipi di legname» (il tipo di legname viene definito da parametri quali la specie, la provenienza e la categoria e ad esso si applicano i valori caratteristici di resistenza meccanica).

Il DTP ha cioè a disposizione un numero ridotto di termini di confronto.

Oltretutto se i campioni utilizzati per la costruzione dei prospetti della UNI 11035 sono particolarmente privi di difetti, perché provenienti da zone dove si pratica una selvicoltura attenta alla qualità dei fusti, si ha che il legname con maggiore presenza di difetti non può essere classificato e quindi utilizzato.

Il DTP ha cioè a disposizione dei termini di confronto che spesso non sono idonei alle specifiche caratteristiche del legname locale.

Risulta pertanto fondamentale ampliare il numero e le caratteristiche dei termini di confronto, cioè dei «tipi di legname» considerati dalla UNI 11035, in modo da avere maggiori possibilità di classificare le provenienze locali.

Revisione UNI 11035

La revisione di tale norma, attualmente in corso, è un'occasione da non perdere per permettere una classificazione più adeguata del legno massiccio U.F. e U.T. delle diverse specie e provenienze nazionali e contribuire così ad acquisire una serie di informazioni necessarie per la loro successiva marcatura CE.

Per venire incontro a queste necessità, il Settore Politiche Forestali della Regione Piemonte, in collaborazione con il Dipartimento Agroselviter dell'Università di Torino, ha innanzitutto offerto un contributo alle imprese di prima trasformazione del legno per la partecipazione a due sessioni (2007 e 2008) dei corsi di formazione di «Direttore Tecnico della Produzione di legno strutturale» organizzati dall'Assolegno di Federlegno-Arredo a Grugliasco e Milano. A questi corsi hanno partecipato circa 50 persone di aziende piemontesi.

In secondo luogo è stato finanziato al Dipartimento Agroselviter dell'Università degli Studi di Torino, che opererà in collaborazione con il CNR di Firenze, un progetto di ricerca finalizzato all'ampliamento dei «termini di confronto» contenuti nella UNI 11035.

Esso infatti prevede la determinazione di valori caratteristici e profili prestazionali per il legname di larice e castagno piemontesi, su un campione sufficiente ampio da permettere

- un eventuale adeguamento alle provenienze piemontesi dei valori caratteristici già descritti nella norma;
- un eventuale identificazione di ulteriori categorie o tipi di legname oltre a quelli attuali.

L'intento è quello di fornire agli operatori e quindi ai progettisti uno strumento di valorizzazione e promozione del legname strutturale di provenienza locale.

Le prove che verranno condotte (secondo le metodologie previste dalle norme europee UNI EN 408 e UNI EN 384) serviranno a caratterizzare le provenienze piemontesi secondo i previsti parametri fisico meccanici e saranno accompagnate dall'opera di sensibilizzazione ad adottare le norme di classificazione che, oltre all'obbligatorietà, costituiscono un'utile strumento di riferimento per tutti gli operatori e per i casi di contestazione.

Il progetto si concluderà pertanto con attività di formazione, informazione e divulgazione dei risultati destinate agli addetti ai lavori.

Aspetti di «mercato» e di «filiera»

Progetto Interbois

Un secondo fronte di lavoro è invece rivolto ad aspetti meno «tecnologici» ma non meno importanti, che riguardano principalmente le «relazioni» fra gli operatori e la «conoscenza» del settore.

Si cita innanzitutto il progetto Interbois (www.interbois.eu).

È un progetto di cooperazione transfrontaliera Italia – Francia realizzato nell'ambito del Programma Alcotra 2000-2006 che ha l'obiettivo di definire strategie comuni di sviluppo delle filiere legno transalpina a partire dalla condivisione delle conoscenze e degli attori.

In questo ambito sono stati effettuati dai partner di progetto, con il contributo del Dipartimento Agroselviter dell'Università degli Studi di Torino e dello studio asso-

ciato Fortea di Torino, studi e analisi nel settore legno piemontese e vengono messi a disposizione di strumenti pratici per gli operatori.

Gli studi e le analisi sono elementi costituenti la pubblicazione intitolata *Libro bianco*, che tornerà ad essere disponibile a breve dopo che una prima bozza è subito andata esaurita nel corso del 2009.

Scopo del *Libro bianco* è quello di delineare delle strategie di sviluppo del comparto foresta-legno transalpino a partire da analisi conoscitive di dettaglio.

Fra queste ultime sono di particolare interesse, per la loro accuratezza e per il contenuto di assoluta novità per il Piemonte:

- lo studio dei flussi commerciali del legname nelle tre regioni alpine interessate dal progetto (Piemonte, Rhône – Alpes e Provençe Alpes Côte d'Azur);
- la caratterizzazione del comparto di prima lavorazione del legno, condotta su un campione di oltre 190 imprese piemontesi.

Fra gli strumenti realizzati con il progetto ricordiamo:

- la banca dati delle imprese della filiera legno (in libera consultazione sul sito www.interbois.eu), che contiene la descrizione di dettaglio di 362 imprese, di cui 284 piemontesi afferenti ai settori della raccolta e prima trasformazione del legno);

- il manuale tecnico Interbois (liberamente scaricabile al seguente indirizzo web:

<http://www.regione.piemonte.it/montagna/pubblicazioni/pubblicazioni.htm>);

- il bollettino d'informazione «Inter-Bois News», scaricabile dal sito www.interbois.eu;

- la brochure *Il Sistema Foresta-Legno Piemontese*, che, in 4 sezioni rispettivamente dedicate ai boschi, alle imprese di raccolta del legno, alle imprese di trasformazione del legno e alle associazioni di categoria e istituzioni, fornisce un quadro conoscitivo sintetico del comparto (liberamente scaricabile al seguente indirizzo web: <http://www.regione.piemonte.it/montagna/pubblicazioni/pubblicazioni.htm>).

Interprofessione legno

In fase di conclusione del progetto è stata anche condotta, fra gli operatori, una ampia discussione dell'idea di una associazione interprofessionale del settore legno, giudicata però ancora prematura per il panorama piemontese.

Essa sarà comunque in futuro ancora riproposta e discussa fra le rappresentanze degli attori della filiera (dai pro-

prietari forestali agli architetti) ritenendo che l'ipotesi di associazione interprofessionale possa dare molte risposte ai bisogni del comparto.

Osservatorio del legno

Negli anni 2006-2008 la Regione Piemonte ha coinvolto il Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria Forestale e Ambientale per lo studio di un Osservatorio regionale sul legno.

Si tratta di un'iniziativa articolata che ha per obiettivo la definizione di un sistema organizzato di gestione delle informazioni tecnico economiche sulla filiera forestale piemontese e del percorso organizzativo necessario per il raggiungimento di tale risultato.

Per promuovere l'impiego delle risorse locali rafforzando i legami dell'industria con il territorio si ritiene infatti di fondamentale importanza aumentare il livello delle conoscenze disponibili non solo sulla risorsa forestale e sulla sua disponibilità, ma anche sulle dinamiche della filiera nella sua totalità, fino all'utilizzo finale del legno.

Tale percorso si svilupperà nei prossimi anni con la progressiva attuazione della nuova legge forestale regionale (la L.R. 10 febbraio 2009 n. 4) attraverso la messa a punto di un sistema di raccolta delle informazioni efficiente e flessibile, capace di raccogliere, gestire, restituire e aggiornare informazioni tecniche ed economiche sulla filiera al servizio degli operatori pubblici e privati del comparto.

Progetto Castagno

In conclusione si accenna brevemente ad una ulteriore attività finalizzata a rendere concreta l'introduzione dell'innovazione tecnologica nel mercato del legno piemontese.

A giorni verrà infatti avviata la procedura di invito alla presentazione di un progetto finalizzato alla valorizzazione del legname di castagno piemontese attraverso azioni di diffusione dell'innovazione tecnologica nelle imprese di trasformazione del legno e di diffusione delle conoscenze delle possibilità di impiego del legno presso gli utilizzatori finali.

Si tratta di un progetto sicuramente innovativo nel panorama piemontese proprio perché mirato alla valorizzazione di una risorsa locale attraverso l'uso della tecnologia di trasformazione.

Marco Corgnati, Regione Piemonte, Direzione Opere Pubbliche, Difesa del Suolo, Economia Montana e Foreste, Settore Politiche Forestali.

Usa il legno certificato per la sua origine sostenibile e legale, aiuterai l'ambiente!

Use certificated timber for its sustainable and legal origin, you will help environment!

Figura 1.



ANTONIO BRUNORI

Abstract

Il PEFC è il più ampio schema di Certificazione di Gestione Forestale Sostenibile in Italia e nel mondo; in Italia è presente dal 2001, mentre in Europa esiste dal 1999.

Questo schema internazionale consente la certificazione di foreste e piantagioni in accordo con la sostenibilità economica, ecologica e sociale; inoltre rende possibile tracciare i prodotti, dalla foresta al consumatore finale. Tra i suoi obiettivi principali c'è il miglioramento dell'immagine dei professionisti della selvicoltura e degli utilizzatori dei prodotti delle foreste; la certificazione PEFC può essere considerata quindi uno strumento che fornisce garanzie a chi acquista legno, carta o qualsiasi altro prodotto derivato dalle foreste circa l'origine dei prodotti.

Nel settore delle costruzioni, la certificazione forestale può assicurare che il legno provenga da fonti legali e sostenibili. È questo un importante elemento per la riduzione del taglio illegale, e per il settore pubblico e privato, può indurre a preferire un «approccio verde» alla politica di acquisti.

PEFC is the most extensive Sustainable Forest Management certification scheme in Italy and in the world; in Italy has been present since 2001, while in Europe since 1999.

This international scheme allows forest and plantation management certification according to economical, ecological and social sustainability; moreover it makes it possible to trace products from the forest to the final consumers. Among its major objectives is the improvement of the image of forestry practitioners and forest product users; PEFC certification can be considered therefore a tool that provides guarantees on the origin to those who are buying wood, paper or any other forest derived products. In the construction sector, the forest certification can assure that the wood comes from legal and sustainable sources. This is an important element for the reduction of illegal logging and for private and public sector that would like to implement a «green approach» in their procurement policy.

Introduzione

Negli ultimi anni è cresciuto notevolmente l'interesse nei confronti della tutela dell'ambiente e in particolare del mondo forestale: di pari passo è aumentata l'attenzione e la sensibilità verso la materia prima utilizzata dai progettisti, dai costruttori e dei consumatori finali.

I prodotti a base legnosa, per esempio, sono apprezzati dalla società civile e dal mondo produttivo per essere caratterizzati da un bilancio ambientale complessivamente migliore rispetto ai materiali concorrenti (come acciaio, alluminio, cemento, plastica ecc.), ma la loro reale sostenibilità ambientale dipende espressamente dal modo in cui sono gestite le foreste da cui proviene il legno utilizzato per realizzare questi prodotti. Purtroppo una con-

sistente parte del legname importato in Italia viene da fonti illegali (secondo il WWF, nel 2006 circa un quinto del legname importato nell'Unione Europea nel 2006 proviene da risorse illegali, prevalentemente da Russia, Indonesia e Cina; inoltre quasi l'80% del taglio delle foreste in Amazzonia è fuori legge o senza permessi di taglio).

Il taglio illegale di legname è un problema di portata internazionale: è la principale causa di deforestazione e dei cambiamenti climatici (il 25% delle emissioni di gas serra è dovuto alla degradazione delle foreste e alla deforestazione), rappresenta spesso una forma di crimine organizzato, spesso collegata ad altre attività criminali che implicano corruzione, violenza e riciclaggio di denaro. Spesso i profitti di queste attività servono a finanziare guerre civili e acquisto d'armi, soprattutto in Africa. Quindi, affinché il legno o un prodotto da esso derivato (come la carta) sia realmente rispettoso nei confronti dell'ambiente, deve *provenire da foreste gestite in modo sostenibile*.

Che cos'è la gestione forestale sostenibile?

Una foresta viene gestita in modo sostenibile quando:

- la quantità di legname tagliato non è mai superiore alla quantità che verrà prodotta dalla foresta;
- dopo il taglio, gli alberi verranno ripiantati o verranno aiutati a rinnovarsi naturalmente;
- vengono tutelati gli habitat per piante e animali selvatici

ci e tutte quelle funzioni di protezione che normalmente la foresta svolge nei confronti del clima, del suolo e dell'acqua;

- devono essere rispettati i diritti e il benessere dei lavoratori, delle popolazioni locali e dei proprietari forestali, ovvero di tutti coloro i quali si guadagnano da vivere in bosco o grazie ad esso;
- viene incoraggiato lo sviluppo locale perché da esso dipende il benessere e la sopravvivenza del bosco stesso. Esiste quindi la necessità da parte dei proprietari e dei gestori forestali di avere a disposizione uno strumento attendibile e credibile per dimostrare che il legno prodotto provenga da foreste gestite in modo sostenibile. Questo strumento è rappresentato dalla *Certificazione di Gestione Forestale Sostenibile*.

Cosa è la Certificazione Forestale?

La certificazione forestale è uno strumento che si avvale della certificazione da parte di organismi terzi, accreditati e indipendenti per garantire che una foresta sia gestita secondo criteri e standard di sostenibilità (ambientale, economica e sociale), parametri quantitativi e qualitativi riconosciuti a livello internazionale.

Secondo quest'approccio, di tipo volontario, degli auditor indipendenti fanno regolarmente ispezioni in campo al fine di verificare la conformità della gestione ai parametri indicati dallo schema di certificazione di riferimento, che

Figura 2.



A&RT

nel mondo sono essenzialmente due: il *Forest Stewardship Council (FSC)* e il *Programme for Endorsement of Forest Certification schemes (PEFC)*.

La certificazione forestale si può anche caratterizzare come uno strumento di mercato che consente di fornire garanzie di trasparenza sull'origine e di eticità a chi acquista legno, carta e prodotti della foresta.

In sintesi, acquistando i prodotti certificati quindi si promuove la gestione corretta delle foreste e dell'ambiente in generale. In questo intervento verrà approfondito lo *schema di certificazione PEFC*, che è lo schema di certificazione forestale più diffuso al mondo e in Italia, e che fornisce la stragrande quantità di legname di conifere europee e nordamericane utilizzate in edilizia.

Che cos'è lo schema di certificazione PEFC?

PEFC è l'acronimo di *Programme for Endorsement of Forest Certification schemes* che significa Programma per il Riconoscimento di Schemi di Certificazione Forestale. Questo schema è *specifico per la certificazione delle foreste, del legno e carta* e non può quindi essere adottato da aziende appartenenti ad altri settori economici.

È un organismo di normazione (quindi non è né un organismo di certificazione né di accreditamento) che fissa gli elementi comuni e i requisiti minimi che devono essere rispettati dagli schemi nazionali che vogliono aderire al processo di mutuo riconoscimento.

In caso positivo, questi schemi nazionali potranno successivamente fruire di un'etichettatura di mercato collettiva e di un marchio. Questo marchio potrà essere poi apposto ai prodotti costituiti da legno che proviene da foreste certificate PEFC.

Il PEFC è un'organizzazione non governativa, no-profit indipendente, che promuove, a livello mondiale, la gestione sostenibile delle foreste attraverso un certificazione rilasciata da un organismo di certificazione esterno e totalmente indipendente rispetto al PEFC, una certifica-

zione che è riconosciuta a livello internazionale.

Il PEFC gode del sostegno di numerosi soggetti appartenenti al settore foresta-legno quali:

- proprietari forestali;
- amministrazioni pubbliche;
- organizzazioni e associazioni per la commercializzazione del legno;
- associazioni di categoria e della società civile;
- sindacati dei lavoratori;
- organizzazioni non governative appartenenti al mondo dei consumatori, del mondo ambientalista e del mondo professionale.

Che cosa fa il PEFC?

Il PEFC assicura che il legno utilizzato per la realizzazione di prodotti legnosi o cartacei provenga da foreste gestite in modo sostenibile sia a livello ambientale, che economico che sociale.

Il PEFC garantisce la sostenibilità della filiera foresta-legno-carta:

- promuovendo una gestione delle foreste rispettosa dell'ambiente, economicamente valida e socialmente positiva;
- fornendo una prova indipendente e certificata della gestione sostenibile delle foreste;
- fornendo continui flussi di prodotti legnosi provenienti da milioni di ettari di foreste certificate per la gestione sostenibile.

Il PEFC fornisce garanzie sulla credibilità della certificazione:

- sviluppando schemi e standard nazionali di certificazione della gestione forestale, basati su dei processi per la protezione delle foreste portati avanti da tutte le parti interessate al mondo del legno;
- utilizzando procedure di accreditamento e di certificazione riconosciute a livello internazionale a garanzia dell'indipendenza nel controllo, nella definizione degli stan-

Figura 3.



Figura 4.



dard e nella valutazione della gestione forestale sostenibile;

- grazie al sostegno di oltre 34 schemi di certificazione indipendenti e delle parti interessate al mondo forestale che tengono in considerazione gli interessi, fra gli altri dei proprietari forestali, delle industrie e del settore ambientale e sociale.

Il PEFC è garanzia di affidabilità: grazie ai controlli regolari, indipendenti e certificati, dall'albero in bosco sino al prodotto finale, che garantiscono al consumatore che i prodotti a base legnosa possono essere tracciati fino a risalire alle foreste di provenienza, gestite in modo sostenibile.

Il PEFC ha tra i suoi obiettivi quello di rinforzare l'immagine positiva dell'attività forestale e del legno come materia prima rinnovabile.

Quanti tipi di certificazione PEFC esistono?

Esistono due tipi di certificazione PEFC: la *certificazione di Gestione Forestale Sostenibile* e la *certificazione di Catena di Custodia*.

La *certificazione di Gestione Forestale Sostenibile* dà garanzia che le foreste siano gestite in maniera sostenibile.

Al fine di ottenere la certificazione, viene annualmente condotta una verifica completa della gestione della foresta da parte di un organismo di certificazione accreditato e totalmente indipendente rispetto al PEFC.

La certificazione vale cinque anni e ogni anno vengono effettuate delle verifiche di conformità, cioè di sorveglianza.

La *certificazione di Catena di Custodia*, invece, è un sistema per tracciare il materiale certificato dalla foresta al prodotto finito, fornendo così garanzia che il prodotto provenga a tutti gli effetti da una foresta certificata.

Anche la certificazione di Catena di Custodia viene emessa da un organismo di certificazione indipendente e accreditato che verifica che il sistema di registrazione del flusso del legno di un'azienda soddisfi i precisi requisiti dello schema di certificazione PEFC.

Così come per la Gestione Forestale anche il certificato CoC vale cinque anni e le verifiche di sorveglianza sul mantenimento della certificazione vengono invece condotte ogni anno.

Quindi, grazie a queste due tipologie di certificazione, lo schema PEFC è un sistema trasparente costituito da una serie di ispezioni tecniche, documentali e sul campo, in cui la strada di tracciabilità dei prodotti legnosi e cartacei inizia sin dai tronchi tagliati e viene garantita fino ad arrivare al prodotto finito.

Quali vantaggi offre una Catena di Custodia certificata?

La certificazione di Catena di Custodia può offrire:

- *opportunità e vantaggi sul mercato*: con la certificazione c'è un migliore accesso ai mercati, dato che un numero sem-

pre crescente di consumatori, rivenditori e commercianti richiede specificatamente solo legno certificato e, in alcuni mercati, la domanda è superiore all'offerta;

- *fonti sicure e trasparenza*: le ditte hanno una garanzia contro il legname e la carta proveniente da tagli illegali;

- *comunicazione e promozione nei confronti del cliente*: le ditte possono dimostrare la propria Responsabilità Sociale, migliorare l'immagine del settore della lavorazione del legno e promuovere l'uso di carta e prodotti forestali certificati;

- *migliore efficienza*: un sistema di flusso del legname verificato e controllato può migliorare l'efficienza interna di una ditta ed essere integrato nei propri sistemi di gestione e/o qualità ambientale e di controllo.

Come faccio ad individuare che un prodotto legnoso è certificato?

Il PEFC ha un *logo* che può essere applicato sia direttamente sul prodotto certificato che su fatture, depliant, brochure ecc., riguardanti comunque il prodotto certificato (in questo caso si parla di certificazione fuori prodotto).

Il logo permette ai consumatori e ai clienti finali che stanno acquistando un prodotto, di essere sicuri che la materia prima, da cui questo deriva, non provenga da foreste tagliate illegalmente o gestite in modo non sostenibile. D'altra parte, grazie al logo, anche le aziende certificate PEFC possono comunicare che hanno scelto di lavorare e/o commercializzare esclusivamente prodotti che è possibile far risalire a foreste gestite secondo gli standard PEFC.

Chi può utilizzare il logo PEFC?

Per utilizzare un logo PEFC occorre essere in possesso di un certificato valido di gestione forestale sostenibile o di catena di custodia.

Il numero di licenza d'uso del logo deve essere utilizzato insieme al logo. All'interno del sito www.pefc.org esiste un database on-line, a cui tutti possono accedere, che fornisce informazioni su tutti i certificati o i numeri di licenza d'uso del logo per ogni certificato forestale o di catena di custodia di ogni schema nazionale PEFC.

Perché richiedere la certificazione PEFC in edilizia

La convenienza della certificazione forestale per un'azienda di lavorazione del legno risiede in considerazioni sia di natura economica che etica e d'immagine.

Oltre alla soddisfazione morale dell'imprenditore di acquistare e lavorare legno con origini corrette e legali, è innegabile che con il marchio che garantisce l'origine ecologicamente corretta del legno con cui sono realizzati i propri manufatti si va incontro alla preferenza accordata dal consumatore al prodotto certificato, preferenza che può tradursi anche nella disponibilità a pagare per esso un prezzo maggiore; nella realtà la possibilità di avere una

A&RT

garanzia sull'origine legale e sostenibile del legno si traduce anche in un vantaggio d'immagine e di accesso facilitato a maggiori fette di mercato, pur senza aumentare il prezzo del prodotto.

Importante è segnalare che il legname certificato non costa più di quello non certificato e spesso i propri fornitori consegnano semilavorati certificati PEFC, ma non lo segnano in fattura finché non viene espressamente richiesto.

La politica degli Acquisti verdi

Il mercato di prodotti certificati è ritenuto da più parti interessante, specialmente per la spinta della politica di acquisti verdi (*Green Public Procurement*) da parte delle Pubbliche Amministrazioni.

Queste hanno la garanzia che i prodotti certificati PEFC a base legnosa che acquistano abbiano un'origine certa e diano garanzia alla collettività che sono realizzati rispettando l'ambiente e i diritti civili nei Paesi d'origine.

Ecco perché molte gare d'appalto di Pubbliche amministrazioni contengono dei criteri ecologici premianti per il punteggio finale, visto che le Linee guida degli Acquisti Verdi prodotte dal Ministero dell'Ambiente (il DM 11.04.2008, cioè il Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della P.A. - G.U. n.107 dell'8.5.2008), riconoscono alla certificazione forestale un valore di natura etica e ambientale.

In quale modo si può sostenere la certificazione forestale?

Chiunque può sostenere lo schema PEFC, anche se in modo differente a seconda del proprio ruolo e delle proprie attività:

- il *Cliente finale* o il *consumatore* può acquistare un prodotto etichettato PEFC o chiedere di vedere il certificato di catena di custodia, per essere sicuro che sta contribuendo alla gestione sostenibile delle foreste e alla loro certificazione;
- un *proprietario di un'azienda* che lavora o commercializza legno, può scegliere di lavorare prevalentemente o esclusivamente materiale certificato PEFC e certificare a sua volta i prodotti derivanti da materiale certificato tramite la CoC;
- un *proprietario di boschi* può voler ottenere una certificazione PEFC per la gestione della sua foresta. Per farlo può informarsi sullo schema di certificazione italiano tramite l'indirizzo www.pefc.it dove si possono trovare anche dettagli sugli organismi di certificazione accreditati PEFC operanti in Italia.

Per saperne di più

Qualsiasi persona interessata alla gestione sostenibile delle foreste e alla loro certificazione che desideri essere informato sul PEFC in Italia, o voglia promuovere la gestione sostenibile delle foreste attraverso PEFC per scopi formativi o educativi, può visitare il sito del PEFC Italia al link www.pefc.it.

Oppure può contattare la Segreteria generale del PEFC Italia ai seguenti recapiti: Strada dei Loggi 22 - 06135 Perugia; tel.: 075 7824825; fax: 075 5997295; e-mail: info@pefc.it.

Chi invece desiderasse ottenere informazioni sulla certificazione di altri Paesi, sia europei che extraeuropei, può visitare il sito: www.pefc.org.

Antonio Brunori, segretario Generale PEFC Italia.

Lo stato attuale del software per le costruzioni in legno e la sua evoluzione

Present situation of software for wooden constructions and its evolution

GIANLUCA BRESCIANI - CADWORK

L'inizio del CAD: gli anni '80

I sistemi erano sviluppati per aiutare il progettista e supportarlo nella produzione; in pratica si lavorava in un ambiente dove i sistemi operativi erano in stato grezzo e un ambiente per persone con competenze molto difficili da reperire. Nonostante questo, si affacciano sul mercato alcune realtà tra cui Cadwork. La prima versione del software Cadwork è stata sviluppata su una stazione Apollo con mouse a 3 tasti, particolare che rendeva unico l'Apollo. In seguito a questa ricerca universitaria, venti anni fa nasceva Cadwork, fondata da un gruppo di ricercatori dell'Università del Legno di Bienne in Svizzera.

Il mondo della progettazione era dominato dai tecnografi, matite e china.

Gli anni '90

Con i sistemi operativi evoluti (Windows, Mac OS, Linux) il Cad è diventato parte integrante di un sistema: si inizia ad utilizzare il computer come elemento centrale dell'azienda e dello studio di progettazione. Esiste una divisione tra una parte del lavoro che viene svolto su carta e una parte del lavoro che viene elaborato al computer.

Iniziano le prime versioni di programmi per l'automazione dell'ufficio (Word, Excel) ma siamo ancora in un mondo in cui pochi utenti hanno le conoscenze necessarie per poter lavorare in autonomia. Durante gli anni '90 sorgono e si sviluppano le grandi aziende di produzione del lamellare, inizia la diffusione del legno come alternativa al cemento soprattutto per le coperture per uso civile ma anche per grandi luci. Iniziano a svilupparsi i primi produttori di case con struttura portante in legno. Essi sperimentano nuovi sistemi non solo con la tecnica del blockhaus che resta legata all'ambiente alpino. La necessità di avere una casa che offra un miglior confort abitativo spinge i produttori di abitazioni a costruire strutture multistrato con diversi materiali al fine di combinarne i pregi. Cadwork ha i primi clienti in Italia durante questo decennio. Nella seconda parte del decennio iniziano a diffondersi le reti di comunicazione dati, prima all'interno dell'azienda per la condivisione dei documenti e poi tramite le connessioni remote (modem 56k) per inviare e ricevere dall'esterno.

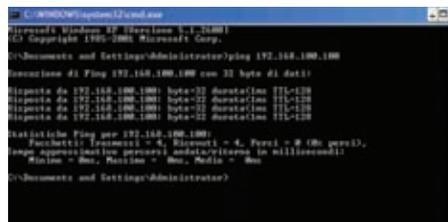
Gli anni 2000

Negli anni 2000, i sistemi operativi sono evoluti, le interfacce utente dei programmi si modificano per rendere i programmi sempre più facili da utilizzare. Lo scambio di dati tra preventivo, progetto e produzione diventa la regola, quindi la necessità fondamentale diventa l'integrazione di ogni attore con l'altro senza creazione di discontinuità.

Parallelamente si sviluppa la possibilità di creare strutture a secco pretagliate, particolare che era sconosciuto negli anni precedenti a causa del pre-

Figura 1. Stazione di elaborazione Apollo.

Figura 2. Schermata tipica MS-Dos.



A&RT

cisione decimetrica della produzione edile italiana. Con l'integrazione tra progetto, sviluppo e costruzione (disegno, computi metrici, progettazione statica, sismica energetica, produzione, posa in opera, rifinitura), ognuno deve specializzarsi in nel suo ruolo ma tutti devono comunicare con tutti.

Come si può notare nella Figura 6, il tempo certo di passaggio dalla produzione alla progettazione è elemento fondamentale per un progetto. La riduzione degli scarti di produzione e il miglioramento del rendimento del materiale sono altri punti critici nella definizione della strut-

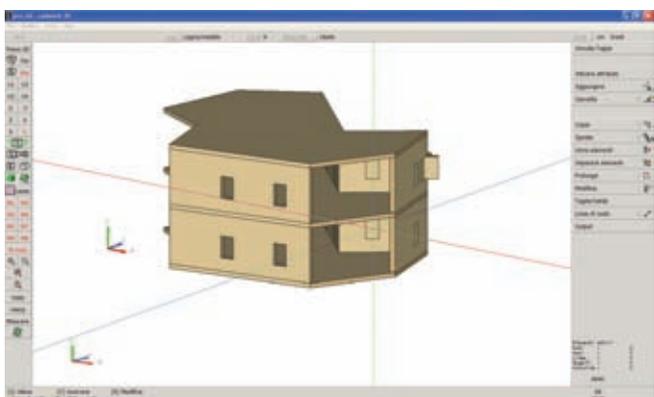
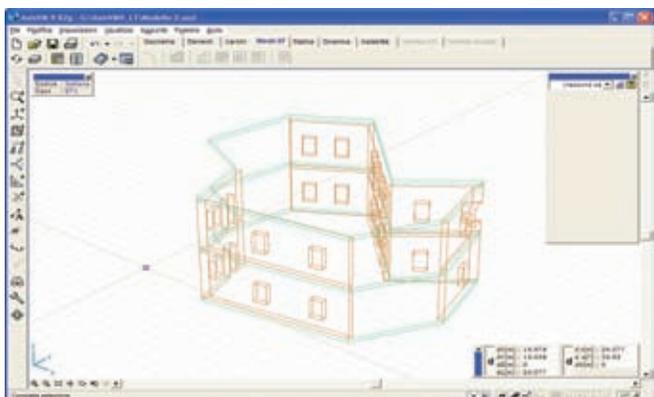
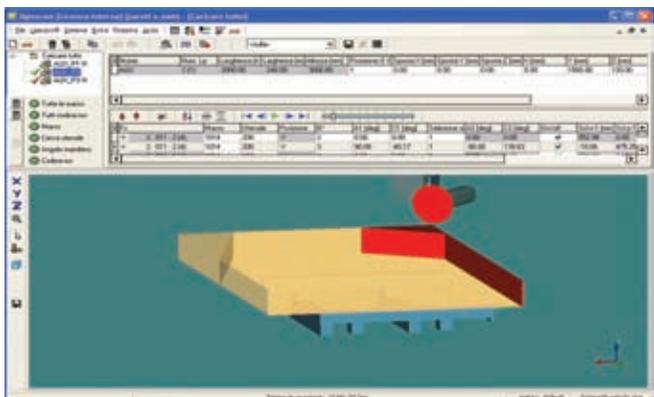
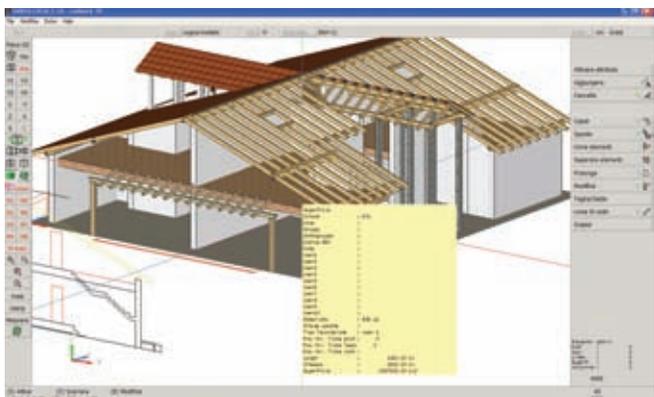
tura. Come è mostrato nelle Figure 7 e 8, partendo dal mio disegno riesco a ricavare tutte le informazioni necessarie per la fornitura del materiale, il calcolo dei pesi da trasportare, il calcolo degli scarti, i tempi di produzione, la quantità di vernici ecc.

Caratteristiche attuali di un progetto

Il progettista deve essere versatile. Le produzioni devono ottenere ottimi risultati qualunque sia la difficoltà della struttura.

- Figura 3. Progetto di copertura con Cadwork (www.cadwork.com).
- Figura 4. Modello di struttura elaborato con programma statico Axis VM (www.stadata.com).
- Figura 5. Modello importato in Cadwork per elaborazione dettagli di produzione, computi metrici e trasferimento su macchina CNC (www.cadwork.com).

- Figura 6. Simulazione del taglio di una parete, con tempo di produzione 12 minuti (www.lignocam.com).
- Figura 7. Progetto di struttura in pannelli Xlam.
- Figura 8. Computo metrico di volumi, superfici, lunghezze e pesi della struttura di Figura 7.



Num. Prod.	Nome	Quantità	Tot. V. Grezzo [m3]	Superficie [m2]	Largh. reale [m]	Altezza reale [m]	Lunghez. reale [m]
123	0 pannello acciaio	1	0.796	0.79	1.000	00.0	1044.0
124	7 pannello acciaio	1	0.800	0.79	1.000	00.0	10002.2
125	8 pannello acciaio	1	0.802	0.79	1.000	00.0	10018.4
126	5 pannello acciaio	1	0.802	0.79	1.000	00.0	10020.8
127	4 pannello acciaio	1	0.803	0.79	1.000	00.0	10041.0
128	3 pannello acciaio	1	0.806	0.80	1.000	00.0	10089.3
129	2 pannello acciaio	1	0.807	0.80	1.000	00.0	10080.8
130	1 pannello acciaio	1	0.813	0.81	1.000	00.0	10167.7
131	40 trave	1	0.125	0.75	0.180	286.0	2767.4
132	44 trave	1	0.137	0.82	0.180	286.0	3046.8
133	38 trave	1	0.212	1.00	0.200	263.2	4024.6
134	37 trave	1	0.212	1.00	0.200	263.3	4024.6
voti e pesi in opera di			180	49.822	328.00		
Total			180	49.822	328.00		

Requisiti un CAD specializzato per il progettista

Quali sono i requisiti che cerchiamo in un programma?

Nel caso di coperture vogliamo:

- inserire sezioni da verifiche statiche ecc.;
- controllare le finiture della struttura;
- accelerare il passaggio da progetto a realizzazione;
- minimizzare gli errori di progetto e realizzazione;
- disporre di librerie di dettagli e sezioni;
- disegnare elementi con materiali diversi.

Nel caso di costruzioni abitative desideriamo inoltre:

- migliorare il livello di finitura;
- avere il controllo dei dettagli;
- modificare velocemente i dettagli architettonici e realizzativi.

Sistema integrato di sviluppo e produzione

Il CAD è diventato parte di un sistema integrato in cui si devono dare risposte a molti quesiti, non è più solo il «tecnigrafo elettronico» ma un vero e proprio laboratorio virtuale dove si può sperimentare ogni soluzione nella ricerca della miglior soluzione (e a volte del miglior compromesso).

Come mostrato nelle Figure 4, 5 e 6, la sequenza potrebbe essere:

1. iniziamo a progettare con un programma di calcolo;
2. realizziamo il progetto con tutti i suoi dettagli;
3. verifichiamo costi, materiali e situazione magazzino;
4. verifichiamo il progetto (verifica statica, sismica, energetica);
5. simuliamo l'elaborazione in macchina;
6. pianifichiamo i tempi di realizzazione.

In questa ottica il CAD deve essere aperto e pronto a ricevere input da fonti diverse: altri CAD, programmi di calcolo, documenti Excel, sistemi di rilevazione e telemetria, sistemi GIS. Analogamente deve colloquiare in uscita con: macchine, stampanti, programmi di calcolo, di energetica, di rendering. Oltre a questi strumenti di input e output come progettista devo essere in grado di fornire:

- disegni quotati automatici;
- computi metrici dedicati;
- ottimizzazione del taglio materiali, monodimensionale (travi) e bidimensionale (pannelli).

Sviluppo futuro

La sfida futura ha un solo nome: velocità.

Il progettista\realizzatore ha la necessità di sviluppare il progetto nel più breve tempo; il tempo a disposizione diventa incredibilmente sempre meno (bozze sempre più raffinate e facilmente modificabili in base ad esigenze sempre crescenti del committente).

La modifica di un dettaglio non deve richiedere lo stesso tempo della riprogettazione; questo poteva accadere ai tempi del tecnigrafo. Con le nuove norme tecniche e le

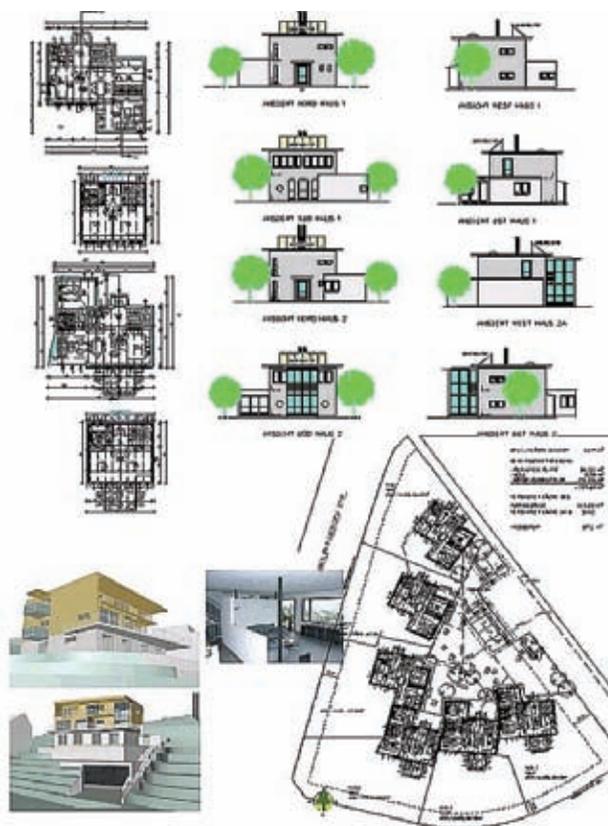
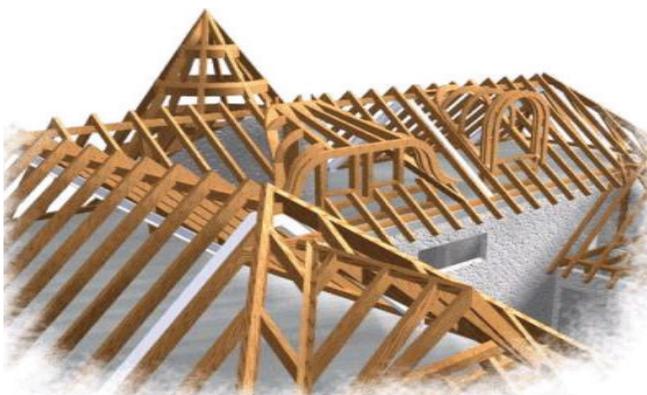
certificazioni energetiche ci sarà un ulteriore sviluppo del mercato delle costruzioni in legno per questo è necessario acquisire professionalità.

I sistemi di produzione stanno evolvendo: nella Figura 11 una linea di produzione Wood-Unlimited.

Gianluca Bresciani, Ingegnere, Cadwork S.A, Svizzera.

Figura 9. Coperture piane curve sono realizzabili utilizzando gli stessi strumenti e con lo stesso grado di precisione.

Figura 10. Esempio di progettazione di abitazione con struttura portante in legno. Gli studi di progettazione e le società di produzione devono lavorare in modo sinergico per realizzare strutture esteticamente belle e funzionalmente solide.



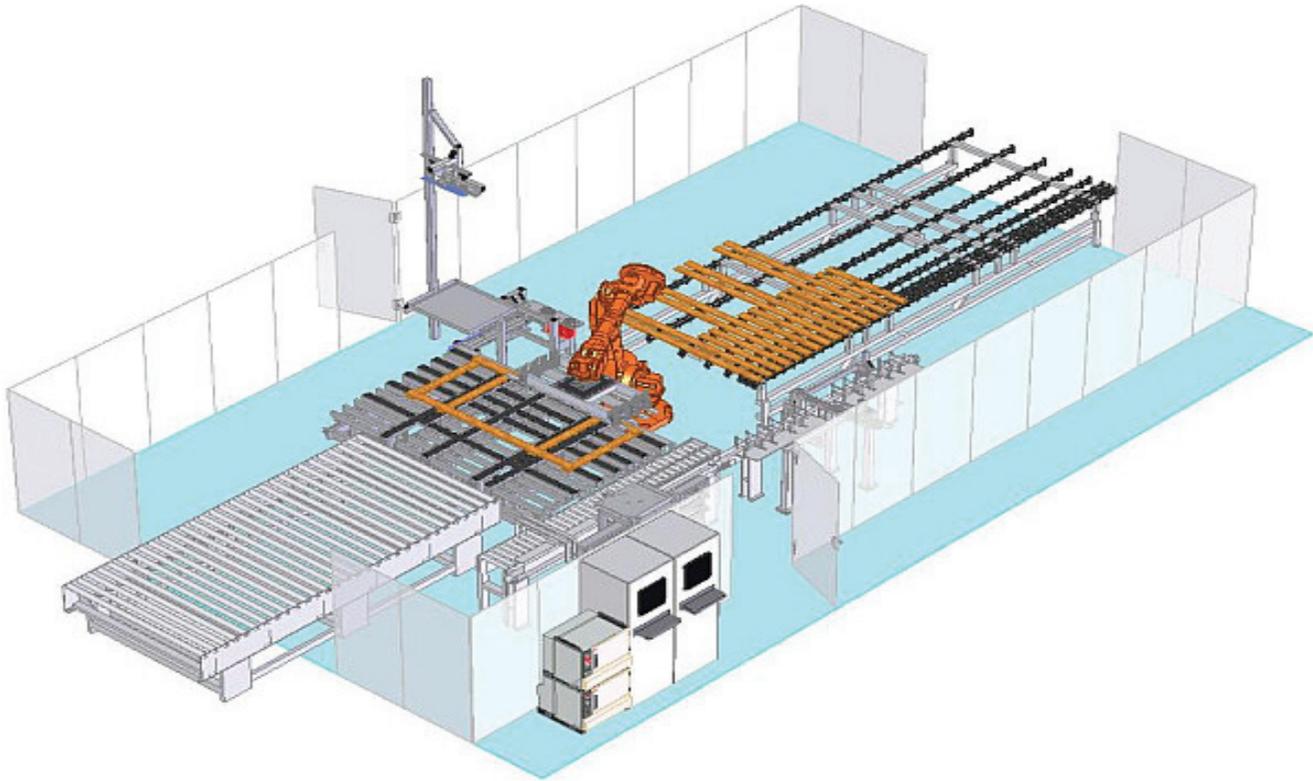


Figura 11. Linea di produzione Wood-Unlimited (www.wood-unlimited.com).



Tecnologia innovativa per la costruzione di legno: macchine a controllo numerico

New technologies for wood buildings: CNC machines

WALTER WIFRIED - HUNDEGGER

Sintesi ed esempi raccolti da Claudio Perino sulla base dell'intervento di Walter Wilfried, responsabile in Italia della Hundegger SE G.m.b.H.

Le macchine a controllo numerico, come in moltissimi tipi di lavorazioni meccaniche, hanno rivoluzionato il modo di trattare i materiali: naturalmente questo è successo anche per il legno.

L'evoluzione della sequenza delle lavorazioni e le possibilità che la tecnologia dell'associazione tra macchina utensile, informatica di modellazione tridimensionale, cad-cam non è certo terminata e l'aggiornamento continuo offre sempre maggiori possibilità per migliorare i dettagli costruttivi. Addirittura nel mondo del legno i moderni macchinari tengono conto delle tolleranze necessarie e si comportano in modo da prestare attenzione ai difetti del materiale organico legno.

Per la lavorazione di ogni tipo di carpenteria o di elemento di legno non si parla più di singole macchine utensili, ma di centri di taglio che sono dotati in serie di tutti gli utensili necessari alle varie lavorazioni; tutte le lavorazioni sono collegate tra loro in sequenza logica. Ogni parte del centro di taglio dispone di ganasce di ritenuta dei pezzi ed è collegata con rulli e nastri di traslazione e di movimentazione.

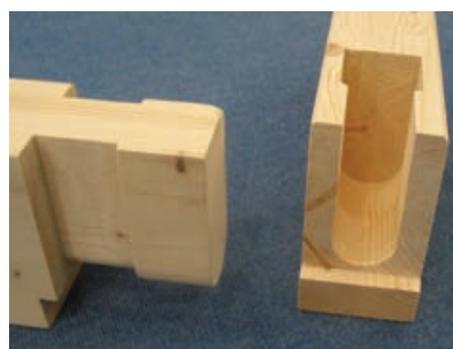
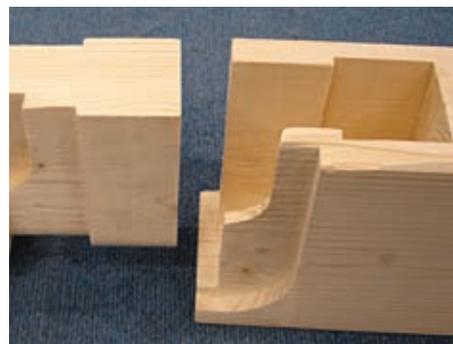
Le lavorazioni possibili sono tagli di ogni tipo e di ogni inclinazione, forature, fresature e combinazione delle precedenti.

Ogni pezzo è lavorato secondo quanto stabilito dal modello tridimensionale virtuale ed in sequenza cad-cam, ed i tagli e le fresature sono inoltre ottimizzati per avere il minimo sfrido possibile e per assorbire i difetti del materiale.

Si riportano qui di seguito alcune immagini di nodi per strutture di legno che si possono realizzare utilizzando le moderne macchine a controllo numerico che stanno sempre di più trasformando la lavorazione dei componenti strutturali e di completamento.

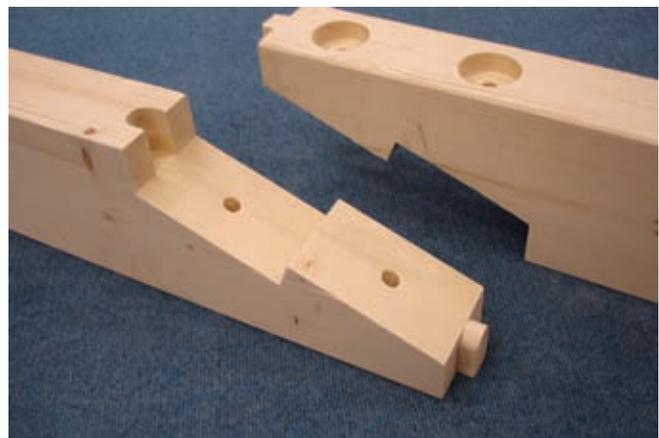
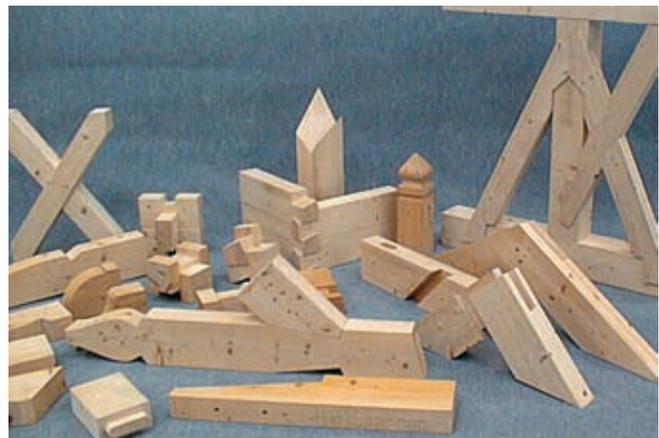
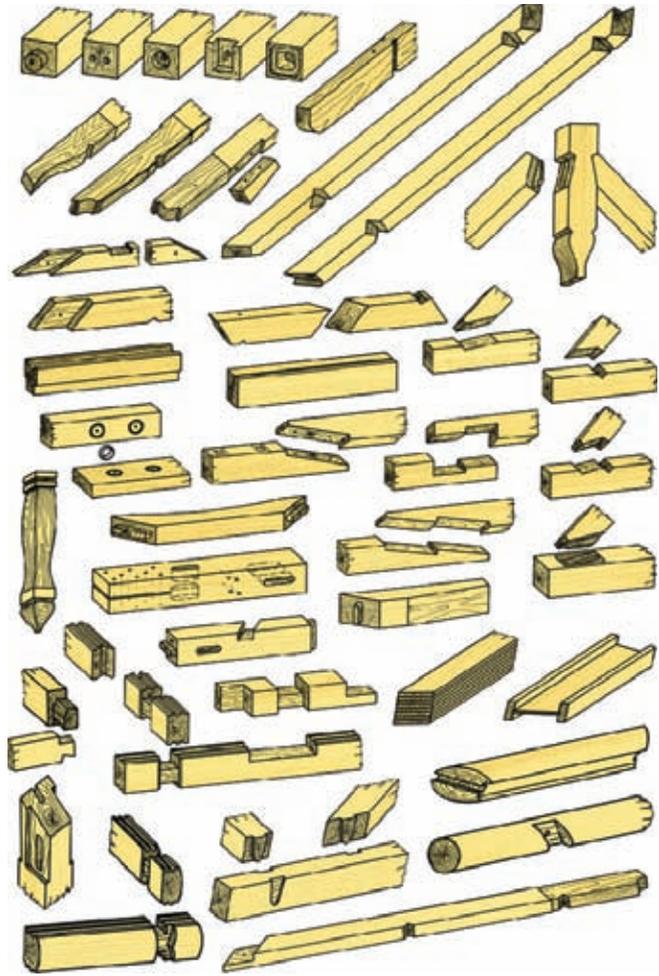
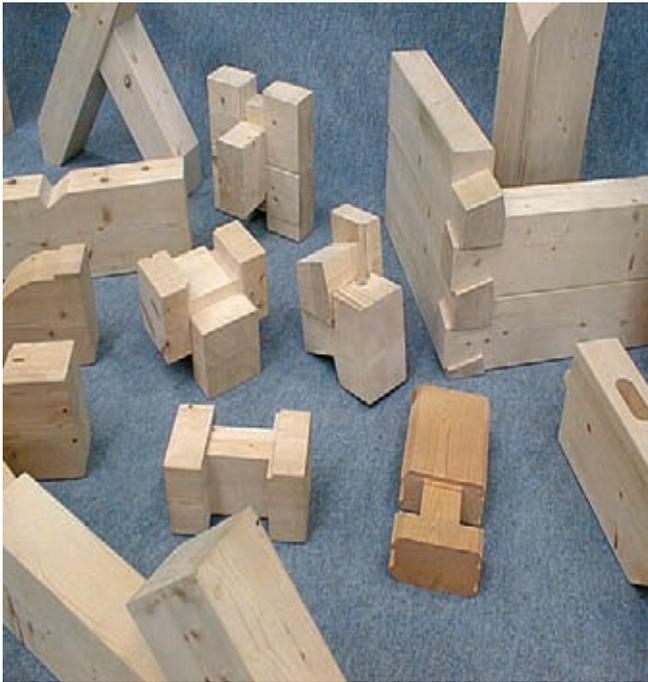
Richiedendo l'intervento della Hundegger (azienda che detiene il 90% del mercato di questo tipo di macchinari) per le nostre giornate di studio avevamo detto a Wilfried: «mi raccomando, ci faccia vedere i truciolini!»: il filmato che ci ha fatto vedere è stato decisamente esaustivo rispetto a qualsiasi discorso.

Ci sembra interessante osservare che ci sono almeno due aspetti che legano la lavorazione del legno fatta con i moderni centri di taglio a controllo numerico con la plurimillennaria storia delle costruzioni di legno: il primo è quello di cui si diceva poco sopra: i moderni macchinari tengono conto dei difetti e della vena esattamente come ogni carpentiere ed ogni falegname sa che si deve fare per utilizzare il materiale nel modo migliore; il secondo



A&RT

è che, in molti casi, tipi di incastri e di connessioni, che, per la loro complessità di realizzazione si potevano realizzare solo a mano e che per questo da tempo erano in disuso, soppiantati da connessioni metalliche ed artifici vari, possono di nuovo e con maggior precisione essere costruiti, come ad esempio gli incastri a dardo di Giove o le code di rondine.





K2-ROBOT

Centro taglio 6-assi



Nuova!

Il vantaggio della K2-ROBOT stanella possibilità di lavorazione a 6 assi. Con questa tecnologia si realizzare qualsiasi lavorazione su tutti 6 lati della trave senza voltare.

La K2-ROBOT ha una flessibilità elevata in meno spazio e bassi costi di investimento.



- Alta flessibilità
- Poco spazio
- Basso costo
- Lavorazione precisa
- Alto concetto impianto
- Esperienza introdotta
- Dimensione da 20 x 50 fino 300 x 450 mm (opzione 625 mm o 1250 mm)

„Hans Hundegger Maschinenbau“ - Macchine per costruzioni in legno

Lavorazione del legno senza misurare, tracciare né cambiare utensile

Innovativo - Competente - Orientamento cliente



Hundegger S.E. Srl
Via Isola di Sopra, 17
I-39044 Egna (BZ-Italy)

Tel. +39 0471 823 630

Fax +39 0471 812 415

cel. +39 348 711 9667

info@hundeggerse.com

www.hundegger.com

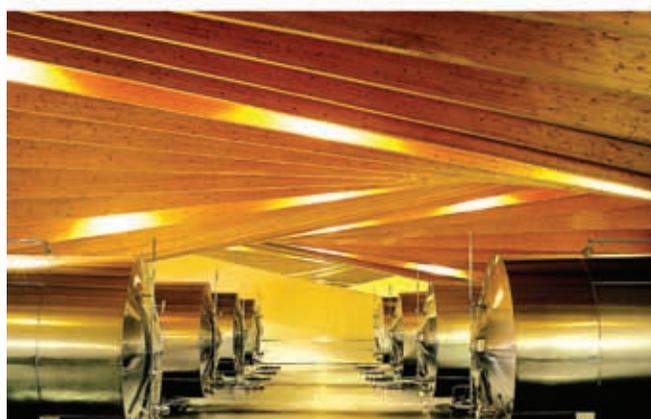
A&RT



Diamo vita alle tue idee.

creativestudios.com

HABITAT Legno realizza progetti in legno lamellare chiavi in mano. Collaboriamo con i migliori architetti per sviluppare progetti partecipati ad alta qualità tecnologica. Scoprite ed apprezzate le caratteristiche naturali del legno e l'estrema flessibilità e versatilità di cui è capace.



HABITAT Legno

HABITAT Legno azienda del gruppo Industrie Albertani
Via G. Sora, 22 - 25048 Edolo (Brescia), Italia - Tel. 0364.773511 e Fax 0364.72449 - www.habitatlegno.it | habitat@habitatlegno.it



ALBE CASE

NATURALE COME AMELIA

Creativity Studios

Vivere il legno è la scelta di oggi per un domani migliore

ALBE CASE progetta e realizza abitazioni in classe A+ e da sempre promuove fonti di energia rinnovabile. Contatta i nostri consulenti per avere maggiori informazioni sui tetti fotovoltaici, l'impianto geotermico e i vantaggi di interventi innovativi.

Per ulteriori informazioni compilare e spedire a: **WOOD ALBERTANI S.p.A**
25048 Edolo (BS) - via G.Sora, 22 Tel. (+39) 0364.773511 - Fax (+39) 0364. 72449
www.woodalbertani.com - albecase@woodalbertani.it

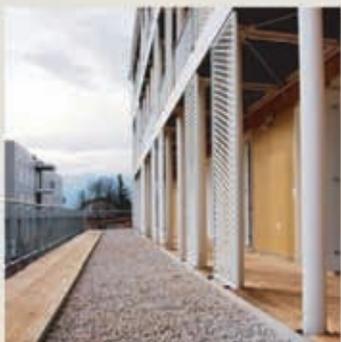
nome.....cognome.....
 indirizzo.....
 città.....prov.....cap.....
 telefono.....e-mail.....

cod. 03

Il trattamento dei dati personali raccolti con la sottoscrizione del tagliando avviene nel rispetto del D.L. 30 giugno 2003 N.196 Art.13.



A&RT



38085 Pieve di Bono (Trento) Fraz. Strada
tel. 0465 67 00 58 - fax 0465 67 04 03
info@illegprefabbricati.it www.liveille.it

 **ILLE PREFABBRICATI s.p.a.**
Industria Lavorazione Legno dal 1950



BARBIRATO
tetti in legno

www.barbirato.it

preventivi gratuiti
per ogni copertura

via XXV Aprile 6/b
13836 Cossato (BI)
tel. +39.015.93.070
fax +39.015.92.52.34
info@barbirato.it

A&RT



+ innovazione + creatività + servizi

La **graphic center** è un'azienda specializzata da oltre trent'anni in servizi per la pubblicità e l'editoria, in grado di coprire tutte le esigenze di comunicazione, dall'ideazione e studio creativo alla realizzazione materiale dei progetti.

Comunicazione e grafica: studio logo e identità coordinata, packaging, progetto grafico e comunicazione above e below the line; sale di posa per shooting fotografico interni ed esterni. **Design:** studio e personalizzazione di merchandising promozionale, allestimenti e stand, organizzazione eventi. **Servizi editoriali:** redazione interna per editoria varia e scolastica, traduzione, impaginazione, illustrazione. **Fotolito:** elaborazione e fotoritocco immagini, pre stampa. **Logistica:** confezione, mailing. **Stampa e reparto digitale:** stampa offset con inchiostri tradizionali, UV e metallizzati; stampa digitale piccoli e grandi formati su qualsiasi tipo di supporto.

ci hanno già scelto:

FERRERO - MARTINI - LAVAZZA - CARIOCA - SEVEN / ARMANDO TESTA - BELLISSIMO - ARC'S - STUDIO MILANI / EDISU - CITTA' DI TORINO - POLITECNICO DI TORINO - FONDAZIONE ACCORSI - FONDAZIONE TORINO MUSEI - TEATRO REGIO / KRISTINA TI - JAGGY - FONTANA COUTURE - ALESSANDRO MARTORANA / DE AGOSTINI - MONDADORI - GIUNTI - RCS - LOESCHER - IL MULINO

scopri la nostra linea di merchandising ideata in collaborazione con
la Città di Torino.

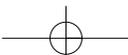
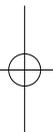
www.objecto.it

Lungo Dora Voghera, 34 - 10153 Torino Italy
Tel. e Fax +39 011 883110 r.a.

www.graphiccenter.it



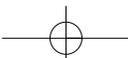
Note





A&RT

Note



Ringraziamenti personali

Personale thanks

Davide Rolfo, Stefano Vellano ed io, come componenti del Consiglio Direttivo SLAT, abbiamo avuto il compito di costituire il comitato organizzatore e la segreteria di queste giornate ed abbiamo messo in piedi una squadra con colleghi architetti ed ingegneri che insieme a noi hanno portato a termine l'iniziativa. Hanno dato il loro fattivo contributo Tanja Marzi, Francesco Brossa, Luca Malavolta, Giulia Balsamo, Valeria Rocco. Un grazie di cuore anche a Marina Emprin che ci ha accompagnati con la sua proverbiale efficienza ed alla nostra altrettanto efficiente segretaria Sara Tota.

Uno dei motivi di grande soddisfazione di queste Giornate di Studio, oltre al merito del tema in oggetto, è stata la grande disponibilità e l'aiuto offerto in modo disinteressato da un gruppo di giovani laureati e laureandi in Architettura che hanno partecipato alla organizzazione logistica delle giornate e di fatto le hanno fatte diventare una manifestazione efficiente e di ottima immagine per la SLAT e per il Politecnico.

Sono stati parte attiva ed entusiasta dello staff: Paola Gallobalma, Mirko Guarene, Giorgio Massarella, Serena Nano, Edoardo Pennazio, Anna Perino, Sara Porello, Stefano Radoni, Francesca Ronco, Alberto Valz Gris.

Oltre a tutti i membri del Comitato Scientifico che mi hanno dato preziosi consigli ed indicazioni sia nel merito della materia sia dal punto di vista strategico ed organizzativo, vorrei ringraziare in particolare il mio socio Giovanni Torretta per le preziose indicazioni che sempre mi dà in campo politecnico.

Claudio Perino



La Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino accoglie nella «Rassegna Tecnica», in relazione ai su fini culturali istituzionali, articoli di Soci ed anche non Soci invitati. La pubblicazione implica e sollecita l'apertura di una discussione, per iscritto o in apposite riunioni di Società. Le opinioni ed i giudizi impegnano esclusivamente gli Autori e non la Società.

SLAT

Consiglio direttivo

Presidente: Vittorio Neirotti

Vice Presidenti: Cesare Carbone, Marco Filippi

Consiglieri: Franco Campia, Luca Degiorgis, Paolo Gallesio, Claudio Germak, Elena Neirotti, Claudio Perino, Mauro Sudano, Marco Triscioglio, Claudio Vaglio Bernè, Stefano Vellano