



PROGETTAZIONE STRUTTURALE CON LATIFOGLIE AMERICANE

I RISULTATI DI UNA NUOVA RICERCA

di Roberto Tomasi
Maurizio Piazza
Massimo del Senno

BENEFICI ECONOMICO - AMBIENTALI

Nel settore dell'edilizia il legno come materiale di impiego strutturale è tornato prepotentemente alla ribalta, favorito anche da una maggiore sensibilità del mercato verso le ricadute ambientali indotte dalle proprie scelte di prodotto. Questa sensibilità, anche se dettata da un atteggiamento magari "emotivo" (ma sicuramente non passeggero) verso un materiale "naturale", trova però conferme alla luce di un semplice confronto in termini di emissione di anidride carbonica legata al processo di produzione: nel caso di materiali da costruzione "moderni" come l'acciaio e il calcestruzzo, per ogni metro cubo di materiale prodotto vengono immessi rispettivamente nell'atmosfera 5 e 2,5 tonnellate; CO₂; al contrario 1 metro cubo di legno viene "prodotto" dalla Natura immagazzinando carbonio equivalente quasi ad una tonnellata di CO₂. A questi dati si deve aggiungere la potenzialità del materiale in termini di "sostenibilità" economico-ambientale, che può essere bene evidenziata portando come esempio il caso particolare della produzione di latifoglie americane: un uso attento delle risorse ha determinato, negli ultimi 50 anni, un aumento considerevole delle aree di foresta di latifoglie degli Stati Uniti, ed un volume delle massa in pie-

di quasi raddoppiato (si vedano, in proposito, le tabelle pubblicate da Greenpeace sulla sostenibilità delle diverse specie legnose in <http://www.greenpeace.it/guidalegno>)

APPLICAZIONI STRUTTURALI ED UN AUSILIO PER IL CALCOLO ED IL PROGETTO

La felice combinazione di sostenibilità e grande bellezza, tipica dei materiali a base di legno di latifoglia americana, ha aiutato i produttori e la loro associazione AHEC (American Hardwood Export Council) ad affacciarsi anche sul mercato europeo, suscitando un grande interesse soprattutto grazie ai risultati estetici ottenuti prevalentemente in ambito non strutturale. Tuttavia la recente costruzione a Londra di una grande volta a botte vetrata nel nuovo edificio parlamentare di Portcullis House, realizzata tramite un grigliato di elementi di legno lamellare di latifoglia americana, oltre ad evidenziare le possibilità strutturali di tali materiali, ha messo in moto un importante lavoro di carattere sperimentale volto a certificare le proprietà meccaniche di quattro specie di latifoglia americana: American white oak¹; American red oak²; American ash³; American tulipwood⁴ (quercia bianca americana; quercia rossa americana; frassino americano; tulipifera americana).

Note 1. QCXA, Quercus spp., incluse Q. alba L. e altre specie, secondo la Norma UNI EN 13556-2004, prospetto 1, rigo 217. 2. QCXR, Quercus spp., incluse Q. rubra L. e altre specie, secondo la Norma UNI EN 13556-2004, prospetto 1, rigo 218. 3. FXXX, Fraxinus americana, secondo la Norma UNI EN 13556-2004, prospetto 1, rigo 119. 4. "Tulipwood" non figura nella Norma UNI EN 13556-2004, ma si tratta del legno di Liriodendron Tulipifera ("Tuliptree"), LITL secondo la Norma UNI EN 13556-2004, prospetto 1, rigo 152.

I risultati di queste prove sperimentali, svolte dal Building Research Establishment (BRE) a Garston (UK), hanno fornito risultati inediti in termini di tabelle prestazionali per il calcolo strutturale.

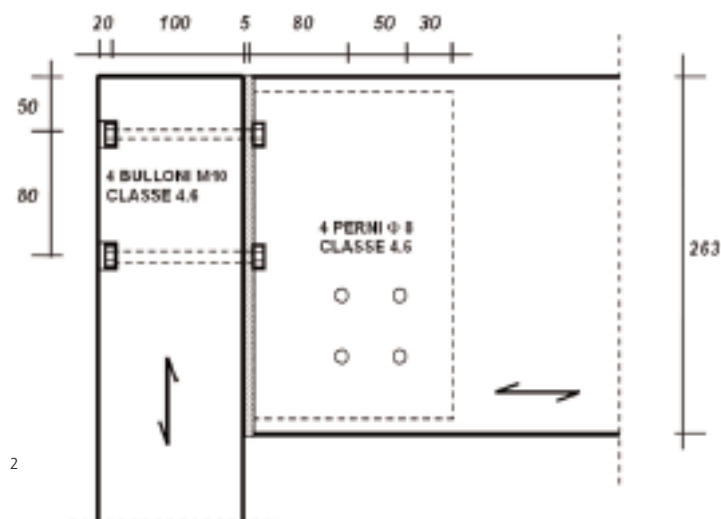
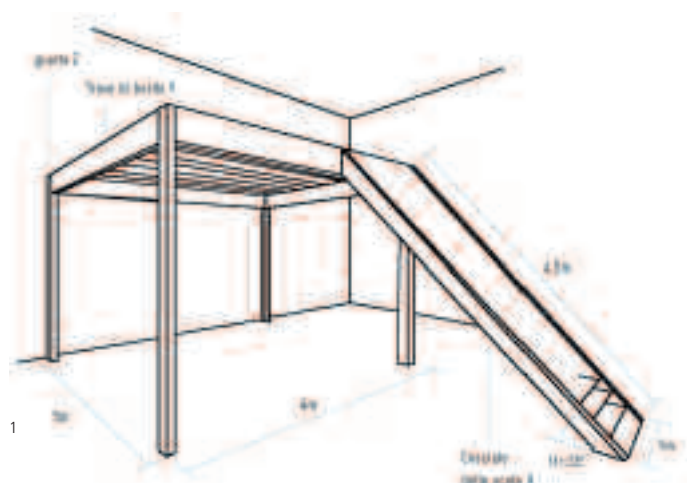
Infatti i dati sperimentali, ottenuti eseguendo le prove secondo la norma EN 408, ed elaborati secondo i criteri fissati nella EN 384, hanno consentito di ricavare, appunto, l'insieme dei valori caratteristici e dei valori medi per alcuni parametri fisici e meccanici (come la massa volumica, la resistenza a flessione, il modulo di elasticità parallelo alla fibratura etc.), valori che attualmente non sono disponibili, per queste specie legnose, nelle tabelle prestazionali per il legno massiccio ed il legno lamellare riportate nelle norme europee EN 338 e EN 1194, e che possono essere utilizzati per il calcolo agli stati limite secondo l'eurocodice 5 (EN 1995-1-1, tabella 1).

I risultati di questa ricerca sono stati pubblicati da AHEC in una brochure tecnica ("Structural design in American hardwoods", a cura di Andrew Lawrence e Peter Ross, di Arup), nella quale si riporta, a titolo di esempio, il progetto di una piccola struttura realizzata con legno di latifoglia americana (*American white oak*) (figure 1, 2)

Per presentare tale pubblicazione sulla scena italiana, e soprattutto per renderne utilizzabili i contenuti nel particolare panorama normativo italiano, è stata curata da chi scrive, una versione "nazionale" della brochure dal titolo "Progettazione strutturale con latifoglie americane" (ordinabile gratuitamente, previa registrazione, dal sito www.ahec-europe.org). In tale versione si è tenuto in considerazione della non disponibilità di uno specifico strumento normativo italiano per le strutture lignee, che ha portato nel passato a rivolgersi, nella prassi progettuale (con il benestare formale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici), a normative consolidate di altri Paesi europei, come la norma tedesca alle tensioni ammissibili. È apparso quindi giustificato il riferimento, in tale pubblicazione, alla DIN 1052:88 (con i fogli di aggiornamento del 1996 per la definizione delle caratteristiche dei materiali), come normativa di progettazione "nazionale" alle tensioni ammissibili, contrapposta, come metodologia di calcolo, ad una norma europea agli stati limite come l'Eurocodice 5. Di conseguenza si è provveduto a riportare anche una tabella di valori ammissibili per le varie specie legnose, determinati direttamente dai risultati sperimentali. (tabella 2)

CLASSIFICAZIONE DEL MATERIALE

Tutte le latifoglie esportate dall'America verso l'Europa sono classificate facendo riferimento alle regole della National Hardwood Lumber Association (NHLA). Le due classi significative sono la "First And Second" (FAS) e la "Number 1 Common" (No. 1C). La più alta delle due, FAS, fornirà tavole con facce "nette", cioè prive di qualunque nodo, per una porzione pari almeno all' 83,3%, mentre la classe inferiore, No. 1C, fornirà tavole con facce prive di nodi per una porzione pari almeno al 66 %. Purtroppo queste sono classi di qualità, per cui non sono poste limitazioni alla dimensione degli eventuali nodi, o alla presenza di deviazione della fibratura, i due principali parametri di qualunque sistema di classi-



1. Struttura in legno di un mezzanino realizzato con legno lamellare (trave Y), e legno massiccio (cosciale X) di American White Oak. 2. Particolare del giunto Z tra la trave Y ed il pilastro della struttura del mezzanino: tale raccordo viene realizzato utilizzando 4 bulloni F 10 sul lato pilastro (unione legno acciaio ad un piano di taglio), e 4 perni F 8 sul lato trave (unione legno acciaio ad due piani di taglio). 3. Modalità di rotazione per unione legno acciaio ad un piano di taglio per rifollamento del foro lato legno (a) e per contemporaneo rifollamento del foro e snervamento del connettore in acciaio (b).

Tabella 1. Valori caratteristici per il progetto in accordo con l'Eurocodice 5

	American White Oak (Quercus spp)	American Red Oak (Quercus spp)	Ash (Fraxinus spp)	Teddywood (Elaeagnus spp)
Tensione parallela alla fibratura	10.1 N/mm ²	12.2 N/mm ²	11.7 N/mm ²	25.8 N/mm ²
Tensione perpendicolare alla fibratura	4.8 N/mm ²	4.6 N/mm ²	4.1 N/mm ²	4.2 N/mm ²
Compressione parallela alla fibratura	29.2 N/mm ²	30.1 N/mm ²	25.6 N/mm ²	26.8 N/mm ²
Compressione perpendicolare alla fibratura	10.1 N/mm ²	9.2 N/mm ²	9.2 N/mm ²	6.1 N/mm ²
Taglio parallelo alla fibratura	4.3 N/mm ²	4.8 N/mm ²	2.7 N/mm ²	4.6 N/mm ²
Modulo di elasticità medio parallelo alla fibratura	11000 N/mm ²	11000 N/mm ²	12000 N/mm ²	11900 N/mm ²
Modulo di elasticità medio perpendicolare alla fibratura	11900 N/mm ²	10900 N/mm ²	11000 N/mm ²	10800 N/mm ²
Modulo di elasticità medio perpendicolare alla fibratura	10800 N/mm ²	9700 N/mm ²	10900 N/mm ²	10000 N/mm ²
Modulo di taglio medio	760 N/mm ²	810 N/mm ²	400 N/mm ²	750 N/mm ²
Massa volumetrica caratteristica	640 kg/m ³	675 kg/m ³	616 kg/m ³	496 kg/m ³
Massa volumetrica media	611 kg/m ³	699 kg/m ³	607 kg/m ³	552 kg/m ³
Nota: Il materiale deve essere classificato secondo le norme EN 3776 secondo la classe TH1				
Condizione di servizio				
Classificazione TH1	FA - 30%	FA - 30%	SA - 10%	FA - 30%
Classificazione TH2	SA - 10%	SA - 10%	SA - 10%	SA - 10%

ficazione strutturale. Per usare con sicurezza le latifoglie americane nelle applicazioni strutturali, è necessario avere dati progettuali che valgano per il materiale classificato secondo una norma di classificazione strutturale "a vista" che soddisfi la norma europea di prodotto EN 518 (che a breve sarà sostituita dalla EN 14081-1).

Una di queste norme di classificazione che soddisfa la EN 518 è la British Standard BS 5756. Essa fornisce regole direttamente applicabili per classificare il legno di latifoglie in due classi: TH1 e TH2 (TH: *tempered hardwood*). La classe superiore, TH1, è la più appropriata per il complesso delle latifoglie americane, dato che massimizza la qualità di singoli pezzi, senza determinare "rendimenti" indebitamente bassi (tabella 1).

Poiché il lavoro di ricerca su questi materiali nasce originariamente per il mercato inglese, le tabelle prestazionali si riferiscono a campioni delle diverse specie di latifoglie americana, ri-classificati secondo la BS 5756 nella classe TH1.

ILLUSTRAZIONE DELLE PROPRIETÀ CARATTERISTICHE DELLE LATIFOGGIE AMERICANE

Il 14 Marzo c.a. è stato organizzato, in occasione della mostra internazionale per l'edilizia Saie 2 2006, un convegno per presentare sul mercato italiano la versione italiana della brochure citata, e quindi per illustrare le possibilità strutturali di questi nuovi prodotti (si veda il **box**).

Un'attenzione particolare è stata dedicata alla specie legnosa *American white oak* che, a giudizio di chi scrive, appare senza dubbio la più interessante da un punto di vista strutturale.

Come mostrato dai grafici, il legno di *American white oak* mostra i risultati più interessanti sia considerando i diversi parametri di efficienza, sia osservando i valori assoluti di alcuni parametri meccanici, come il modulo di elasticità medio parallelo alla fibratura $E_{m,0}$, sia considerando la resistenza a flessione parallela alla fibratura $f_{m,k}$.

Inoltre *American white oak* è, tra le quattro specie di latifoglie americana analizzate, la più resistente alle azioni del degrado: si colloca infatti nella classe di durabilità 2-3 descritta dalla EN 350-2, corrispondente ad un materiale durabile o mediamente durabile.

Un semplice esempio di calcolo, come quello riportato nella brochure sopra menzionata, può evidenziare le grandi potenzialità legate ad un utilizzo strutturale del legno della specie *American white oak*, soprattutto se tale calcolo viene messo a confronto con un legno lamellare di conifera di classe GL24, secondo la tabella riportata in EN 1194.

Nell'esempio riportato nella brochure si illustra il calcolo di una trave in legno lamellare in semplice appoggio di lunghezza pari a 5 m, peso proprio pari a $g = 0,6$ kN/m, carico accidentale pari a $q = 3$ kN/m. La verifica di freccia risulta determinante per tale elemento strutturale, comportando la scelta di una sezione pari a 100 x 263 mm. In questo caso l'utilizzo di una classe di legno lamellare GL24 avrebbe comunque consentito di soddisfare le verifiche strutturali in assenza di carico da incendio. Le diverse prestazioni dei due

	American White Oak	American Red Oak	Ash	Teddywood
Elevatore parallelo alla fibratura	12.0 N/mm ²	22 N/mm ²	12.4 N/mm ²	17.2 N/mm ²
Tensione parallela alla fibratura	12.8 N/mm ²	11.2 N/mm ²	9.3 N/mm ²	10.9 N/mm ²
Tensione perpendicolare alla fibratura	9.2 N/mm ²	9.2 N/mm ²	9.2 N/mm ²	9.2 N/mm ²
Compressione parallela alla fibratura	32.3 N/mm ²	32.3 N/mm ²	18.6 N/mm ²	11.8 N/mm ²
Compressione perpendicolare alla fibratura	9.2 N/mm ²	9.8 N/mm ²	9.8 N/mm ²	2.8 N/mm ²
Taglio parallelo alla fibratura	1.8 N/mm ²	2.8 N/mm ²	1.3 N/mm ²	1.6 N/mm ²
Modulo di elasticità medio parallelo alla fibratura	11900 N/mm ²	11000 N/mm ²	12000 N/mm ²	11000 N/mm ²
Modulo di elasticità medio perpendicolare alla fibratura	12000 N/mm ²	10900 N/mm ²	11000 N/mm ²	10800 N/mm ²
Modulo di elasticità medio perpendicolare alla fibratura	10800 N/mm ²	9700 N/mm ²	10900 N/mm ²	10000 N/mm ²
Modulo di taglio medio	760 N/mm ²	810 N/mm ²	400 N/mm ²	750 N/mm ²
Massa volumetrica caratteristica	640 kg/m ³	675 kg/m ³	616 kg/m ³	496 kg/m ³
Massa volumetrica media	611 kg/m ³	699 kg/m ³	607 kg/m ³	552 kg/m ³
Nota: Il materiale deve essere classificato secondo le norme EN 3776 secondo la classe TH1				

Tabella 2. Tensioni ammissibili derivati dai risultati sperimentali per il progetto in accordo con la normativa DIN 1052-2: 1988, valida per carichi di media durata in classe di servizio 1 o 2

4. Comportamento al fuoco della trave di bordo Y con 4 superficie esposte, nell'ipotesi di legno lamellare di conifera GL24 e di legno lamellare di American white oak.

materiali possono tuttavia essere apprezzate maggiormente se si considera la verifica al fuoco secondo il *metodo della sezione efficace* previsto dalla EN 1995-1-2. In **figura 4** si può infatti notare come la *sezione residua* dopo un tempo di 30' e dopo un tempo di 45' di esposizione al fuoco (ovvero la sezione strutturalmente efficace depurata dalla parte di legno che ha subito un processo di carbonizzazione), sia significativamente maggiore nel caso di *American white oak* rispetto al caso di legno lamellare di conifera (**figura 4**).

Questo risultato, già di per se significativo, diventa sicuramente molto interessante se consideriamo le maggiori proprietà meccaniche di *American white oak* rispetto al GL24. Infatti, come illustrato in **figura 4**, dopo un tempo di esposizione al fuoco di 45' la sezione residua *American white oak* si trova ancora al 88% del limite di rottura, mentre nel caso di GL24 non è possibile andare al di là di una resistenza pari ai R30.

Le proprietà meccaniche delle specie di latifolia americana sono sicuramente da mettere in relazione ai valori di massa volumica: si considerino i valori di compressione parallela e perpendicolare alla direzione di fibratura riportati in **tabella 1**, nonché i valori di resistenza al rifollamento dei fori nei collegamenti realizzati con connettori di acciaio a gambo cilindrico (chiodi, viti, perni e bulloni), determinabili attraverso le formulazioni di Johansen che si utilizzano nelle normative agli stati limite ultimi come EN 1995-1-1. In tali espressioni la resistenza al rifollamento dipende linearmente dal valore della massa volumica: per questo motivo l'utilizzo di *American white oak* rispetto alla classe GL24 può determinare incrementi di resistenza al rifollamento f_{tr} e di resistenza alla compressione ortogonale alla direzione delle fibre $f_{c,0,k}$ con conseguenze positive nel dimensionamento dei collegamenti. Con riferimento al collegamento Z dell'esempio riportato nella brochure precedentemente citata, la capacità portante della connessione lato pilastro illustrata in figura 2 (unione legno - acciaio ad un piano di taglio con bulloni calibrati), può essere determinata in accordo con le due modalità di rottura

previste in EN 1995-1-1 (ed illustrate in figura 3):

$$R_{tr} = 0,46 \cdot f_{tr} \cdot d$$

$$R_{tr} = 1,15 \cdot \rho_{0,20} \cdot f_{tr} \cdot d$$

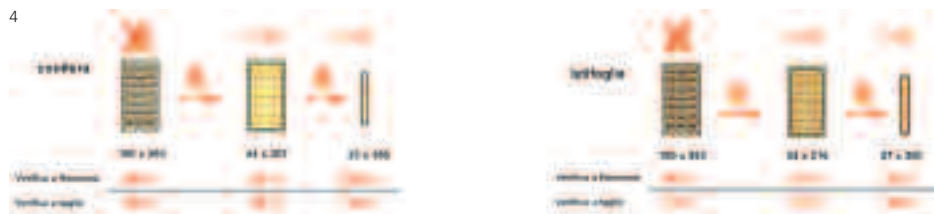
Dall'analisi di queste formulazioni si può dedurre che, a seconda delle modalità di rottura considerate, la resistenza del collegamento è direttamente proporzionale alla resistenza al rifollamento f_{tr} , oppure a tale valore sotto radice. Di conseguenza l'incremento di capacità portante delle connessioni in cui si utilizzano elementi di legno di latifolia americana risulta facilmente determinabile considerando la diretta proporzionalità, sempre in accordo con EN 1995-1-1, tra la resistenza al rifollamento e la massa volumica di materiale. Nel caso di *American white oak* si ha $\rho_k = 688 \text{ kg/m}^3$, laddove nel caso di legno di conifera europea classe GL24 si ha $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$: questo si traduce in un incremento di resistenza dell' 81% per il primo modo di rottura, e del 35% per il secondo.

CONCLUSIONI

In questo articolo si sono dimostrati i benefici in termini strutturali derivanti dall' utilizzo di lamellare di *American white oak*. In particolare si osserva un comportamento del materiale estremamente interessante in termini di:

> **Resistenza al fuoco** degli elementi strutturali: nell'esempio illustrato, una trave in legno lamellare di latifolia americana, dimensionata agli stati limite di servizio, presenta una resistenza al fuoco pari a R45 (comunque con valori molto prossimi ai 60');

> **Resistenza dei collegamenti**: una analisi delle formulazioni riportate dimostra che vi possono essere notevoli incrementi di resistenza, in funzione della modalità di rottura considerata, in conseguenza dell'aumento della massa volumica di materiale, con un maggior beneficio quindi in termini di "dimensioni" del collegamento (ed essendo la giunzione solitamente l'elemento debole dei sistemi strutturali lignei, ciò si traduce in una naturale "ottimizzazione" dell'impiego del materiale in tutti gli elementi strutturali).



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI [1] BS 5756 Specifiche per la classificazione visuale del legname di latifolia (in inglese). [2] DIN 1052-2 Strutture di legno. Calcolo ed esecuzione (in tedesco). [3] Eurocodice 5 (EN 1995-1-1:2004) Progetto di strutture in legno- Parte 1-1: Generalità – Regole di calcolo per gli edifici, Novembre 2004. [4] Piazza M., Tomasi R., Modena R. Strutture in legno - Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee, Ulrico Hoepli Editore, Milano, 2005. [5] UNI EN 1194:2000 - Strutture di legno - Legno lamellare incollato - Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici. [6] UNI EN 338:1997 Legno strutturale. Classi di resistenza. [7] UNI EN 350-2:1996 - Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Durabilità naturale del legno massiccio. Guida alla durabilità naturale e trattabilità di specie legnose scelte di importazione in Europa. [8] UNI EN 384:1997 - Legno strutturale. Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica. [9] UNI EN 408:2004 Strutture di legno - Legno massiccio e legno lamellare incollato - Determinazione di alcune proprietà fisiche e meccaniche. [10] UNI EN 518:1997 Legno strutturale. Classificazione. Requisiti per le norme di classificazione a vista secondo la resistenza. [11] UNI-EN 14081-1 Strutture di legno - Classificazione della resistenza del legno strutturale a sezione rettangolare. Parte 1: Requisiti generali