

# RIASSUNTO

Candidato:	<b>Daniele Cibecchini</b>
Titolo della Tesi:	<b>Valorizzazione del legno di Faggio per usi strutturali: prime prove per la classificazione secondo la resistenza e la determinazione dei valori caratteristici</b>
Relatore:	<b>Prof. Marco Togni</b> - Dip. di Gestione dei Sistemi Agrari, Alimentari e Forestali – GESAAF, Università degli Studi di Firenze
Correlatore:	<b>Dott. Albero Cavalli</b> - Dip. di Gestione dei Sistemi Agrari, Alimentari e Forestali - GESAAF, Università degli Studi di Firenze

## Introduzione

L'uso del legno in edilizia rappresenta un'opportunità di sviluppo per l'intero settore forestale. Dal 1° gennaio 2012 è obbligatorio marcare CE il legname destinato per usi strutturali e per ottenere tale certificazione è necessario che gli siano attribuiti dei valori di resistenza e rigidità statisticamente affidabili. Attualmente soltanto sei specie di provenienza italiana possono conseguire la marcatura CE, attraverso una procedura di classificazione visuale, e ciò limita le potenzialità del patrimonio forestale nazionale.

In questo studio si procede a valutare la possibilità di impiegare il faggio per usi strutturali, il quale è già utilizzato in Europa come materiale da costruzione, attraverso una indagine approfondita delle sue caratteristiche tecnologiche. L'interesse per questa specie, nasce dal fatto che essa è ampiamente diffusa sul territorio italiano e possiede di per sé ottime caratteristiche di resistenza (sulla base dei dati di bibliografia relativamente al legno netto). Inoltre, l'attuale tendenza delle fustaie di faggio ad aumentare di superficie a causa della progressiva conversione all'alto fusto dei cedui invecchiati incentiva il nostro progetto, in quanto in futuro avremo una grande disponibilità di materiale che, date le sue caratteristiche, al momento potrà essere destinato solamente a scopi energetici, cioè come legna da ardere o più in generale come biomassa per energia.

## Obiettivi

Gli obiettivi prefissati con il presente lavoro sono sostanzialmente tre:

- creare i presupposti per un futuro impiego strutturale del legname di faggio in Italia, mediante una prima caratterizzazione fisico-meccanica del materiale in dimensioni d'uso proveniente da soprassuoli transitori;
- proporre un sistema di classificazione a macchina con strumentazioni non dedicate accessibile alle aziende con limitate capacità d'investimento, in grado di individuare la qualità strutturale dei segati esaminati in maniera affidabile e speditiva;
- verificare l'attuale sistema italiano di classificazione a vista, allo scopo di accertarne la funzionalità per il legno di faggio in dimensione d'uso, ed eventualmente proporre aggiustamenti migliorativi dell'apparato normativo (norme UNI 11035).

## Materiali e Metodi

La ricerca è stata svolta su elementi strutturali di sezione e provenienza diversa:

- 92 segati provenienti dalla Garfagnana (Toscana), dei quali 42 con sezione 85x55 mm e 50 con sezione 120x55 mm;
- 71 segati provenienti dall'Alta Val Bormida (Liguria), dei quali 43 con sezione 85x55 mm, 23 con sezione 120x55 mm e 3 di 150x55 mm.

Il lotto di travi della Garfagnana è stato classificato a vista con la norma italiana UNI 11035:2010 e con quella tedesca DIN 4074-5:2008. Dopo di che tutti i campioni sono stati sottoposti a prove per la determinazione del modulo di elasticità dinamico (prove di vibrazione libera longitudinale e flessionale, prove di propagazione di onde di pressione), eseguite con strumenti portatili utilizzati anche nella valutazione tecnologica degli elementi lignei in opera. Successivamente gli stessi segati sono stati sottoposti

a prove meccaniche per la determinazione del modulo di elasticità flessionale locale, del modulo di elasticità flessionale globale e del modulo di rottura a flessione, secondo la norma UNI EN 408, posizionando il difetto peggiore nel punto in cui si raggiunge il massimo momento flettente (terzo medio). Di tali elementi ne è stata poi rilevata anche la densità e l'umidità (UNI EN 13183-1).

Il lotto di travi proveniente dall'Alta Val Bormida è stato classificato a vista soltanto con la norma italiana UNI 11035:2010. Tutti i campioni sono stati poi sottoposti alle stesse prove dinamiche sopra indicate, mentre solamente i segati ritenuti idonei per uso strutturale dalla normativa utilizzata per selezionare la qualità resistente del lotto (UNI 11035), sono stati sottoposti alle prove meccaniche prima citate.

Al fine di verificare l'attendibilità dei macchinari impiegati per le prove dinamiche nel prevedere le proprietà meccaniche del materiale studiato (modulo di elasticità e modulo di rottura), sono state eseguite varie analisi di regressione lineare sia semplici che multiple, integrando anche i criteri rilevati nella classificazione a vista, come la nodosità e l'inclinazione della fibratura.

## **Risultati**

Le rese di classificazione, riferite alla selezione effettuata con la norma italiana UNI 11035, hanno evidenziato come i segati di faggio provenienti dalla Garfagnana siano di qualità strutturale migliore rispetto a quelli della Liguria (76% per i primi e 55% per i secondi). In entrambi casi lo scarto dei segati è stato determinato esclusivamente dalle dimensioni dei nodi (nella classificazione a vista sono stati considerati solo i difetti che influiscono sulla resistenza).

La determinazione dei valori caratteristici delle principali proprietà meccaniche e fisiche del materiale è stata eseguita seguendo le indicazioni della norma UNI EN 384. Dato però il limitato numero di elementi analizzati, per non incorrere in penalizzazioni che porterebbero a risultati non rappresentativi circa le potenzialità del faggio per uso strutturale, non è stata eseguita la correzione in base alla numerosità dei campioni con il coefficiente correttivo  $k_s$  specificato dalla norma.

Per quanto concerne la provenienza Garfagnana il valore caratteristico della resistenza (media ponderata, sulla numerosità dei campioni, dei 5°-percentili inferiori di entrambi le sezioni corretti con il coefficiente  $k_h$ ) per la categoria visuale S, individuata dalla norma UNI 11035, è risultato pari a 29,8 N/mm<sup>2</sup>. Lo stesso risultato è stato altresì ottenuto per la categoria S della provenienza Alta Val Bormida, ( $f_{mk} = 30,2$  N/mm<sup>2</sup>).

La norma tedesca DIN 4074-5 si è dimostrata più efficace nel selezionare la qualità resistente dei segati del faggio della Garfagnana, in quanto per la categoria resistente migliore (LS13) il valore caratteristico del modulo di rottura è risultato pari a 45 N/mm<sup>2</sup>, per quella intermedia (LS10)  $f_{mk}$  è di 26,6 N/mm<sup>2</sup> e per il gruppo LS7, a causa del basso numero di travi assegnati a tale categoria, non è stato possibile determinare il 5°-percentile inferiore della resistenza.

Al fine di migliorare l'efficienza della norma italiana è stata proposta una nuova regola di classificazione per il faggio modificando esclusivamente il criterio nodosità, la quale prevede due categorie: S1 con un limite ammissibile di 0,25 e S2 con limite di 0,5.

Il 5°-percentile inferiore del modulo di rottura del lotto di provenienza Garfagnana, determinato per il gruppo di segati migliori così individuato (S1), è paragonabile a quello ottenuto per la categoria LS13, ovvero 44,6 N/mm<sup>2</sup>. Nonostante ciò, dal confronto tra il raggruppamento S2 e quello LS10 è emerso che la norma tedesca è comunque più efficace, poiché il valore caratteristico della resistenza della categoria LS10 (26,6 N/mm<sup>2</sup>) è, di fatto, superiore a quello derivato per la S2 proposta (22,7 N/mm<sup>2</sup>).

Impiegando la nuova regola di classificazione ipotizzata ai segati di faggio di provenienza Alta Val Bormida, il valore caratteristico della resistenza per la categoria S1 è risultato di 66,8 N/mm<sup>2</sup>, mentre per il gruppo di segati assegnati alla categoria S2, a causa del basso numero di campioni, non è stato possibile ricavarne il 5°-percentile inferiore.

Le analisi di regressione lineare hanno mostrato che per la previsione del modulo di elasticità le prove a vibrazione libera longitudinale e flessionale sono più affidabili rispetto alle prove di propagazione di onde di pressione. Tuttavia, integrando alcuni criteri rilevati durante l'ispezione visiva, come la nodosità e la deviazione della fibratura, i valori del coefficiente di determinazione  $R^2_{adj}$  aumentano e la capacità di previsione di tutti e tre i metodi dinamici diventa molto simile: per esempio 0,89; 0,86; 0,80. Meno attendibili sono risultati i modelli elaborati per la stima del modulo di rottura, in particolare per gli elementi di sezione più grande, che però associati alla nodosità e alla deviazione della fibratura, hanno permesso di

ottenere buoni valori di  $R_{adj}^2$  : per esempio 0,78 e 0,69 per gli elementi di 85x55 mm, rispettivamente per le provenienze Garfagnana e Alta Val Bormida, oppure 0,54 e 0,45 per quelli di 120x55 mm.

## Conclusioni

Il limite principale che ha caratterizzato il presente lavoro ha riguardato il quantitativo dei campioni analizzato. Tuttavia, l'obiettivo prefissato era quello di valutare le potenzialità del legname di faggio in edilizia e i risultati dei valori caratteristici delle proprietà di resistenza e di rigidità ottenuti, sono eccellenti: nessun tipo di legname italiano, presente nella norma UNI EN 1912, raggiunge la Classe di Resistenza 40 (D40 per le latifoglie). Essi sono altresì ancor più incoraggianti, se consideriamo il fatto che sono stati conseguiti su legname proveniente da diradamenti eseguiti in soprassuoli di ex-ceduo e quindi di per sé molto difettoso.

L'altro aspetto da valutare è la messa a punto di una regola di classificazione del faggio per la norma UNI 11035. Ulteriori studi sono quindi richiesti per valutare l'influenza della deviazione della fibratura e della presenza di midollo sulla resistenza: l'inclinazione della fibratura sembra infatti incidere sul modulo di rottura dei segati soltanto quando si trova in concomitanza con il midollo. Da valutare gli elementi con nodosità compresa tra 3/5 e 1/2, in quanto il MoR determinato per tali segati sembra essere del tutto comparabile a quello rilevato per le travi con nodosità compresa tra 1/2 e 1/4.

Infine con i modelli di previsione proposti per la stima del modulo di rottura e del modulo di elasticità, se opportunamente integrati con le caratteristiche visuali, si sono ottenuti valori di  $R^2$  del tutto simili alle comuni macchine classificatrici presenti sul mercato. Ciò significa che tali strumenti, se ulteriormente studiati, potrebbero essere in grado di garantire una classificazione affidabile e speditiva.

## Bibliografia

BARNINI L. (2011) *Studio per l'impiego strutturale di segati di Faggio della Garfagnana: prime prove di classificazione a vista secondo la resistenza meccanica* - Tesi di laurea in Scienze forestali e ambientali, Università degli studi di Firenze.

BRUNETTI M., LUCHETTI M., NOCETTI M., TOGNI M. (2010) *Grades and Species of Italian timber to be assigned to strength classes in EN 1912 - Structural timber - Strength classes assignment of visual grades and species* – Report, CNR IVALSÀ – DEISTAF UNIFI.

BRUNETTI M., LUCHETTI M., NOCETTI M., TOGNI M. (2011) *Impiego del legno in edilizia. Nuove regole e nuove opportunità* - Sherwood, 75: 42-45.

CAVALLI A., TOGNI M. (2011) *Combining NDT and visual strength grading to assess ancient timber beams stiffness to evaluate strengthening interventions suitability* - 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Sopron, Hungary.

DIN 4074-5:2008 - *Classificazione del legname secondo la resistenza - Parte 5: Segati di latifolia*.

FIORAVANTI M., TOGNI M. (2001) *La classificazione per usi strutturali: un elemento di promozione per il legno prodotto in particolari aree geografiche* - L'Italia Forestale e Montana, Anno LVI - Fasc. n. 6: 491-497.

TOGNI M. (2006) *Valutazione qualitativa e valorizzazione del legname di Faggio della Garfagnana* - DISTAF, Firenze.

UNI 11035-1: 2010 - *Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica. Parte 1: Terminologia e misurazioni delle caratteristiche*.

UNI 11035-2: 2010 - *Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica. Parte 2: Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza meccanica e valori caratteristici per i tipi di legname strutturale*.

UNI EN 13183-1: 2003 - *Umidità di un pezzo di legno segato - Determinazione tramite il metodo per pesata.*

UNI EN 14081-1: 2011 - *Strutture in legno. Legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza - Parte 1: Requisiti generali.*

UNI EN 1912: 2012 - *Legno strutturale - Classi di resistenza - Assegnazione delle categorie visuali e delle specie.*

UNI EN 338: 2009 - *Legno strutturale - Classi di resistenza.*

UNI EN 384: 2010 - *Legno strutturale - Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica.*

UNI EN 408: 2010 - *Strutture di legno - legno massiccio e legno lamellare incollato - Determinazione di alcune proprietà fisiche e meccaniche.*