

RIASSUNTO

Candidato: **Martina Gallo**

Titolo della Tesi: **Studio e applicazione di metodi per la valutazione delle proprietà meccaniche di morali di castagno del XV secolo**

Relatore: **Prof. Marco Togni** – Dip. di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali, Università degli Studi di Firenze

Correlatrice: **Prof. Manuela Romagnoli** - Dipartimento di scienze e tecnologie per l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia, Università della Tuscia

Introduzione

Molti edifici antichi in Italia sono sorretti da strutture portanti lignee. La loro conservazione può essere opportuna per il valore storico-artistico che spesso posseggono e per il risparmio di risorse che il loro mantenimento comporta. I principi che dovrebbero guidare gli interventi di restauro sono il rispetto delle caratteristiche originarie degli edifici storici, la loro messa in sicurezza e la minimizzazione delle spese. La premessa fondamentale per la loro applicazione è la conoscenza profonda del materiale da costruzione e della struttura oggetto di intervento. Oggi si può disporre di procedure di valutazione tecnologica delle strutture lignee e di metodologie di prova degli elementi che le costituiscono quantomeno consolidate. Tuttavia ancora molte informazioni devono essere raccolte per poter confermare la validità di questi metodi ed eventualmente migliorarli, soprattutto quando si tratta di legno antico e di specie poco studiate come il castagno.

Obiettivi

Questo lavoro si pone principalmente due obiettivi:

- 1) la caratterizzazione fisico-meccanica di un gruppo di morali di castagno antico, scartati durante un intervento di restauro, in modo da ottenere indicazioni utili per la conservazione degli elementi rimasti in opera;
- 2) la verifica sperimentale della validità dei protocolli di valutazione e dei metodi di prova delle strutture lignee normalmente impiegati in opera e la loro comparazione con procedure applicabili in laboratorio, in modo da elaborare dei modelli previsionali delle principali caratteristiche meccaniche di elementi lignei antichi di castagno, assimilabili a quelli analizzati per provenienza e dimensioni.

Materiali e metodi

Lo studio è stato svolto su un gruppo di morali di castagno (*Castanea sativa* Mill.), risalenti alla fine del XV secolo circa, scartati a seguito dei lavori di restauro della chiesa di Santa Maria Nuova a Viterbo.

Sui travetti sono state svolte varie indagini:

- classificazione visuale in base alla resistenza secondo le norme italiane UNI 11119 e UNI 11035;
- determinazione delle proprietà elastiche dinamiche tramite prove a vibrazioni libere longitudinali e flessionali e prove di propagazione di onde di pressione;
- determinazione del modulo elastico a flessione globale e locale e del modulo di rottura a flessione tramite prove meccaniche;
- determinazione di massa volumica e umidità.

La caratterizzazione del materiale (valori di rigidezza, resistenza e massa volumica) è stata dunque ricercata impiegando differenti procedure di prova, in modo da potere, successivamente, comparando i risultati ottenuti, intraprendere un "discorso sul metodo".

Attraverso delle analisi di regressione lineare, è stato possibile verificare il grado di correlazione tra dati ottenuti con l'ispezione visiva e con le prove dinamiche e dati ricavati con le prove meccaniche, prima considerando parametri singoli e poi utilizzando più variabili indipendenti.

I modelli previsionali della rigidezza e della resistenza ottenuti sono stati analizzati per verificare quali siano sufficientemente affidabili, quali variabili influenzino di più le caratteristiche meccaniche del materiale e quali modelli necessitino di ulteriori approfondimenti per la loro applicazione pratica.

Risultati

Grazie all'osservazione dei segati si sono ricavate informazioni su alcune caratteristiche comuni a tutti i travetti: forma irregolare, bassa qualità di partenza, presenza di danni meccanici, alterazioni apparentemente limitate alla superficie, notevole falcatura.

Le rese di classificazione hanno evidenziato come il difetto peggiore fosse nella maggior parte dei casi la deviazione della fibratura e come i criteri di selezione più restrittivi della UNI 11035 si traducano in una notevole differenza nella quantità di segati scartati (64% contro 42%, seguendo la 11119).

I risultati di modulo elastico dinamico ottenuti con i tre metodi presi in considerazione hanno confermato la minore affidabilità delle prove di propagazione di onde di pressione in presenza di segati che presentino molti difetti.

I valori caratteristici calcolati per i gruppi di segati classificati come strutturali secondo le due norme tecniche hanno evidenziato risultati di massa volumica in linea con quelli normalmente misurati sul castagno, risultati di modulo elastico bassi ma prevedibili sulla base della qualità apparente dei segati, ma risultati di modulo di rottura molto bassi (es. 5° percentile pari a 10,4 N/mm² per i travetti classificati come idonei all'uso strutturale secondo la 11119). I valori di MoR sono risultati inferiori a quelli di riferimento forniti dalle due norme, per cui è sicuramente necessaria la combinazione di ispezione visuale e di prove dinamiche.

La resistenza modesta dei travetti era solo in parte prevedibile (materiale scartato e diversi criteri di selezione al momento della messa in opera); si può ipotizzare che sia legata anche a fenomeni di sovraccarico o alterazioni non rilevabili con gli strumenti comunemente impiegati.

Dalle analisi di regressione multipla, per la stima del modulo elastico del materiale le prove a vibrazione libera si sono dimostrate un buon metodo (es. R² pari a 80,9 per l'analisi di correlazione tra risultati delle prove a vibrazione libera flessionale e risultati delle prove meccaniche per la determinazione del modulo elastico globale). Le prove di propagazione di onde di pressione devono essere invece integrate dalle informazioni ricavate con l'ispezione visuale per avere livelli di correlazione accettabile con le prove meccaniche. I valori di correlazione sono però più bassi quando si cerca di prevedere i valori di modulo elastico locale.

Maggiori difficoltà si incontrano nella stima della resistenza del materiale: è necessario ricorrere all'impiego di molte variabili indipendenti (ricavate dalle prove dinamiche e dall'analisi visiva) e la variabilità dei risultati è solo parzialmente spiegata dai modelli previsionali elaborati (R²_{adj} massimo pari a 50,8). Scegliendo i modelli di più ragionevole applicazione pratica (numero limitato di variabili indipendenti, effettivamente misurabili in cantiere), è stato comunque possibile determinare con un certo margine di sicurezza statistica dei valori di resistenza di riferimento e ipotizzare delle classi di resistenza per il materiale in questione ("classe 12" in cui il valore di 5° percentile inferiore è pari a 12 N/mm² e "classe 16" in cui tale valore è pari a 16 N/mm²).

Conclusioni

L'osservazione e le prove svolte sui travetti hanno confermato a posteriori le scelte di cantiere e hanno permesso di ottenere valori caratteristici utili per il mantenimento del resto della copertura.

Le norme UNI 11119 e UNI 11035, da sole, non sono sufficienti per la stima delle caratteristiche meccaniche dei travetti. E' necessaria la combinazione con le prove dinamiche.

Per la stima del modulo elastico globale le prove a vibrazione libera rappresentano un buon metodo di procedere e conoscere la rigidezza di una struttura è un buon risultato, poiché negli interventi di restauro spesso si cerca di ridurre la deformazione flessionale delle strutture e garantire che il carico a cui sono sottoposte sia sicuro. Tuttavia i modelli previsionali elaborati devono essere confermati da prove su altri segati di castagno comparabili.

Maggiori difficoltà si incontrano nella stima del modulo elastico locale a partire dalle prove dinamiche, in quanto queste servono per eseguire una stima della rigidezza globale degli elementi strutturali.

Ancora più difficile risulta prevedere i valori di resistenza, utilizzando i risultati ricavati da ispezione visiva, metodi di prova dinamici e prove statiche per la determinazione del modulo elastico.

Partendo dai modelli di regressione, è però possibile costruire un sistema di previsione della resistenza corretto.

Per quanto sottostimati, si ottengono dei valori di resistenza di riferimento.

Il metodo potrebbe essere migliorato, eseguendo prove su segati di castagno antichi, di provenienza e dimensioni assimilabili, e svolgendo degli approfondimenti per stimare correttamente l'influenza di alterazioni e sovraccarichi sulla resistenza.

Bibliografia

BONAMINI, G., NOFERI, M., TOGNI, M., UZIELLI, L. (2001). *Manuale del legno strutturale – Vol. I- Ispezione diagnosi in opera*. Mancosu Editore, Roma.

ROMAGNOLI, M. (2012). *Chiave di lettura della struttura lignea della copertura della chiesa di Santa Maria Nuova. Rapporto finale*.

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

CECOTTI A., GIORDANO G., UZIELLI L. (1999). *Tecnica delle costruzioni in legno*, Hoepli.

CECCOTTI, A., TOGNI, M. (1996). *NDT on ancient timber beams: assessment of strength/stiffness properties combining visual and instrumental methods*. In J. L. Sandoz (Ed), NDT 1996- 10th International Symposium on Nondestructive Testing Wood. Lausanne.

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

UNI EN 408: 2010. *Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties*.

UNI 11119: 2004. *Cultural heritage – Wooden artefacts. Load-bearing structures. On site inspections for the diagnosis of timber members*.

UNI 11035-1: 2010. *Structural timber – Visual strength grading for structural timbers. Part 1: Terminology and measurements of features*.

UNI 11035-2: 2010. *Structural timber – Visual strength grading for structural timbers. Part 2: Visual strength grading rules and characteristics values for structural timber population*.

UNI EN 13183-1. *Moisture content of a piece of sawn timber. Determination by oven dry method*.