



Convenzione di ricerca per prove di caratterizzazione tecnologica del legname di cerro e faggio di provenienza “Gargano” ai fini di una qualificazione per uso strutturale

Relazione Finale CNR-IBE

A cura di:
Michele Brunetti
Michela Nocetti

Hanno collaborato:

Giovanni Aminti
Stefano Berti
Paolo Burato
Paolo Pestelli
Graziano Sani

Sesto Fiorentino, febbraio 2020

Ai sensi dell'articolo della legge 633/1941 e della direttiva 96/6/CE dell'11/3/1996, è vietato estrarre, riutilizzare, immagazzinare, riprodurre, rappresentare o conservare, direttamente e indirettamente, su qualsiasi supporto, con qualsiasi mezzo e in qualsiasi forma, una parte qualitativamente o quantitativamente rilevante del contenuto della presente pubblicazione, salvo espressa e formale autorizzazione degli autori. Sono consentite le citazioni in pubblicazioni scientifiche e a titolo di cronaca, studio, critica o recensione, purché accompagnate dal nome dell'autore dell'articolo e dall'indicazione della fonte.



Sommario

| | |
|---|----|
| Premessa..... | 2 |
| 1. Piano di campionamento | 2 |
| 2. Misurazione delle caratteristiche con macchina classificatrice | 3 |
| 3. Prove fisico-meccaniche distruttive | 7 |
| 4. Analisi delle rese di classificazione a macchina | 12 |
| 5. Conclusioni | 13 |



Premessa

All'interno dell'Accordo di Programma "Per l'attuazione di un progetto pilota per l'attivazione di una filiera bosco – legno – energia mediante la gestione, la tutela e la valorizzazione degli ecosistemi forestali - Ambito Gargano", CNR-IBE (già prima CNR-IVALSA) è stato incaricato di caratterizzare ulteriori 2 specie legnose provenienti dal Gargano ai fini di un loro possibile impiego strutturale, ovvero il faggio e il cerro. Si ricorda che questa attività di studio e ricerca è finalizzata all'attivazione di una filiera del legno che consenta di valorizzare il materiale locale, prevedendo un utilizzo come legno strutturale (nell'ambito del crescente mercato delle costruzioni in legno e della bioedilizia in genere) e, contestualmente, rispettando i principi dell'utilizzo "a cascata" del legno, per produrre energia con gli scarti di lavorazione e da elementi non idonei per usi strutturali. Di seguito vengono descritte le attività svolte, le metodologie seguite e i risultati ottenuti anche in confronto, qualora disponibili, ad altre analoghe campagne di caratterizzazione del legname. In sintesi lo studio che è stato svolto ha previsto le seguenti fasi:

- 1) Predisposizione di un piano di campionamento;
- 2) Reperimento del legname e preparazione dei campioni;
- 3) Misurazione con macchina classificatrice dei campioni non stagionati;
- 4) Stagionatura del legname all'aria;
- 5) Misurazione con macchina classificatrice dei campioni essiccati;
- 6) Esecuzione delle prove distruttive in laboratorio per la determinazione delle proprietà fisico-meccaniche;
- 7) Elaborazione dei risultati.

1. Piano di campionamento

Il piano di campionamento è stato predisposto nel corso dell'anno 2018, in accordo con i responsabili del Consorzio di Bonifica Montana del Gargano.

Rispetto alla precedente caratterizzazione, che ha interessato 3 specie legnose (abete bianco, castagno e pino d'Aleppo) nell'ambito della presente convenzione si è ritenuto interessante ampliare lo studio anche al faggio e al cerro. La numerosità del campione e le dimensioni dei pezzi sottoposti a prova sono riportate in tabella 1: queste sono state definite tenendo conto dei possibili impieghi del legname (massiccio o elementi incollati) e delle geometrie di prova in laboratorio richieste dalla normativa europea armonizzata.

Tabella 1 - Piano di campionamento con indicazione della specie legnosa e delle dimensioni degli elementi da analizzare nell'ambito della convenzione di ricerca.

| Specie legnosa | N° pezzi | Spessore (mm) | Larghezza (mm) | Lunghezza (mm) |
|----------------|----------|---------------|----------------|----------------|
| Faggio | 40 | 25 | 100 | 3000 |
| | 50 | 40 | 110 | 3600 |
| | 30 | 50 | 140 | 3600 |
| Cerro | 50 | 35 | 100 | 3000 |
| | 40 | 80 | 80 | 3000 |
| | 30 | 120 | 120 | 3600 |

2. Misurazione delle caratteristiche con macchina classificatrice

A seguito del reperimento del legname da parte del Consorzio (provenienza Foresta Umbra a seguito di interventi selvicolturali realizzati dall'ARIF Puglia), il personale IBE si è recato nei giorni 4-5 ottobre 2018 presso la segheria della Cooperativa "Il Castagno" (Cagnano Varano - FG) dove sono stati segati i tronchi delle specie incluse nell'indagine. Presso la segheria sono state effettuate le prime misurazioni sul materiale fresco con la macchina classificatrice portatile ViSCAN-portable prodotto dalla ditta MiCROTEC e messo a disposizione da CNR-IBE.

La macchina permette di determinare, a seguito del rilievo del peso e delle dimensioni di ciascun elemento legnoso, il modulo elastico dinamico, una delle proprietà del legno rilevabili in modo non distruttivo meglio correlata con le proprietà meccaniche del materiale.

Dopo un periodo di stagionatura all'aria, il legname è stato trasportato al laboratorio Prove fisico-meccaniche del CNR-IBE di Sesto Fiorentino (FI) per le successive analisi: ripetizione della misura con la macchina classificatrice (sui campioni stagionati) e prove meccaniche distruttive.

Alcuni campioni analizzati presso la Cooperativa I Montanari presentavano dei difetti tali da escluderne un possibile impiego strutturale già attraverso un'ispezione visuale (definita dalla normativa internazionale col termine di "visual override"): 5 tavole della sezione 35x100 mm e 2 travetti della sezione 120x120 mm di cerro presentavano deformazioni tali (falcatura) da rendere difficoltosa l'esecuzione della prova distruttiva e pertanto sono stati scartati senza procedere alla caratterizzazione meccanica (sono stati quindi considerati solamente per il calcolo complessivo delle rese di classificazione).



Figura 1 – Elemento fortemente deformato di cerro.

Nelle tabelle successive sono riportati i risultati delle misure eseguite con macchina classificatrice sul materiale fresco e stagionato. I valori di modulo dinamico degli elementi stagionati sono corretti a un'umidità del legno di riferimento del 12%.

L'umidità delle tavole misurate fresche è stata ricalcolata sulla base del peso rilevato in segheria e di quello registrato in laboratorio una volta stagionato. Si è potuto verificare che, al momento delle misurazioni in segheria, per le tre sezioni di cerro l'umidità era abbondantemente sopra il punto di saturazione delle fibre, per una media di 60,8%. Per il faggio l'umidità al momento della misura allo stato fresco è risultata in media

pari al 50,8%, quindi anche in questo caso sopra il punto di saturazione delle fibre, fatta eccezione per una decina di elementi della sezione più piccola (25x100) che avevano un'umidità più bassa (intorno al 30%).

L'umidità degli elementi stagionati è risultata molto vicina a quella di riferimento per le prove meccaniche (ovvero il 12%). In particolare, per il faggio tutte le sezioni avevano un'umidità molto vicina al 12%:

11,6% per la sezione 25x100

12,4% per la sezione 40x110

12,9% per la sezione 50x140

La media complessiva risulta pari a 12,2%.

Nel caso del cerro l'umidità dopo la stagionatura è risultata in media pari a 15,5%, ma i valori tra le sezioni si sono dimostrati leggermente diversi tra loro:

12,1% per la sezione 35x100

15,3% per la sezione 80x80

21,2% per la sezione 120x120

L'umidità è ovviamente più alta per sezioni maggiori, come atteso per legno di cerro che ha una densità molto alta e una perdita di acqua dal legno piuttosto lenta. In ogni caso si può notare come si sia rivelata corretta la scelta di non procedere all'essiccazione artificiale del legname, che probabilmente avrebbe comportato la presenza di maggiori deformazioni del legname e probabilmente la comparsa di molti cretti da ritiro.

Tabella 2 – Risultati delle misure di dimensioni e modulo elastico dinamico sugli elementi di **faggio fresco** (dove non specificato è stato riportato il valore medio).

| Sezione nominale | Spessore (mm) | Larghezza (mm) | Lunghezza (mm) | N (-) | Modulo elastico dinamico (MPa) | | | |
|------------------|---------------|----------------|----------------|------------|--------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| | | | | | media | Dev. St. | Min | Max |
| 25x100 | 25 | 100 | 3028 | 40 | 12004 | 1299 | 8895 | 14096 |
| 40x110 | 45 | 120 | 3620 | 50 | 11574 | 1016 | 9600 | 13745 |
| 50x140 | 55 | 151 | 3623 | 30 | 12296 | 1015 | 9738 | 13875 |
| Totale | | | | 120 | 11897 | 1148 | 8895 | 14096 |

Tabella 3 – Risultati delle misure di dimensioni e modulo elastico dinamico sugli elementi di **faggio stagionato** (dove non specificato è stato riportato il valore medio).

| Sezione nominale | Spessore (mm) | Larghezza (mm) | Lunghezza (mm) | N (-) | Modulo elastico dinamico (MPa) | | | |
|------------------|---------------|----------------|----------------|------------|--------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | | | | | media | Dev. St. | Min | Max |
| 25x100 | 24 | 94 | 3022 | 40 | 14001 | 1244 | 10736 | 16457 |
| 40x110 | 43 | 114 | 3614 | 50 | 13868 | 1112 | 11702 | 16732 |
| 50x140 | 53 | 141 | 3618 | 30 | 14470 | 1116 | 11544 | 16184 |
| Totale | | | | 120 | 14063 | 1174 | 10736 | 16732 |

Tabella 4 – Risultati delle misure di dimensioni e modulo elastico dinamico sugli elementi di **cerro fresco** (dove non specificato è stato riportato il valore medio).

| Sezione nominale | Spessore (mm) | Larghezza (mm) | Lunghezza (mm) | N (-) | Modulo elastico dinamico (MPa) | | | |
|------------------|---------------|----------------|----------------|------------|--------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| | | | | | media | Dev. St. | Min | Max |
| 35x100 | 36 | 102 | 3017 | 50 | 15192 | 2101 | 9774 | 19767 |
| 80x80 | 87 | 87 | 3034 | 40 | 14185 | 1455 | 11822 | 16687 |
| 120x120 | 124 | 123 | 3609 | 30 | 14578 | 1503 | 11028 | 17411 |
| Totale | | | | 120 | 14684 | 1792 | 9774 | 19767 |

 Tabella 5 – Risultati delle misure di dimensioni e modulo elastico dinamico sugli elementi di **cerro stagionato** (dove non specificato è stato riportato il valore medio).

| Sezione nominale | Spessore (mm) | Larghezza (mm) | Lunghezza (mm) | N (-) | Modulo elastico dinamico (MPa) | | | |
|------------------|---------------|----------------|----------------|------------|--------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | | | | | media | Dev. St. | Min | Max |
| 35x100 | 34 | 95 | 3013 | 45 | 18800 | 2441 | 13069 | 24520 |
| 80x80 | 82 | 82 | 3030 | 40 | 17583 | 1860 | 13393 | 20783 |
| 120x120 | 120 | 119 | 3606 | 28 | 17703 | 1839 | 13151 | 22138 |
| Totale | | | | 113 | 18097 | 2166 | 13069 | 24520 |

Le misure di modulo dinamico effettuate su materiale fresco e su materiale essiccato sono state correlate tra di loro, come anche la frequenza di vibrazione rilevata dalla macchina: nei grafici di seguito (figura 2 e figura 3) è riportata la relazione lineare tra le due misure e il relativo coefficiente di determinazione per le due specie analizzate nell'indagine.

La correlazione tra il modulo dinamico misurato su materiale fresco e su stagionato per il faggio è risultata più bassa di quanto osservato in sperimentazioni precedenti su altre specie (correlazione che si attesta solitamente su valori intorno a 0,85 – 0,95), mentre per il cerro la relazione si è dimostrata migliore. Da notare, invece, che la relazione tra la frequenza di vibrazione misurata su elementi freschi ed elementi stagionati ha dato valori molto alti, dimostrandosi di ottima qualità.

Questo dato induce a ritenere che le rilevazioni con la macchina classificatrice effettuate su materiale fresco posso essere considerate statisticamente affidabili, tali da consentire una classificazione a macchina anche per il legname allo stato fresco. Le correlazioni leggermente più basse, riscontrate per il modulo dinamico nel caso del faggio, potrebbero essere attribuite ad una minore variabilità della massa volumica (qui è stato rilevato un coefficiente di variazione pari a circa il 4%, si veda tabella 6, mentre solitamente i valori che si riscontrano sono pari a circa 6-10%), ma soprattutto alla irregolarità delle sezioni degli elementi stagionati con un conseguente maggiore errore di misura delle dimensioni (si ricorda che il materiale non è stato piallato prima delle prove di laboratorio). A conferma di quest'ultima affermazione si osserva che, utilizzando le dimensioni nominali dei segati invece di quelle reali nel calcolo del modulo dinamico, la correlazione in oggetto arriva a un coefficiente di determinazione pari a 0,76, migliorando considerevolmente.

Si ribadisce, comunque, che i valori riscontrati sono tali da permettere l'utilizzo della macchina classificatrice anche su materiale fresco.

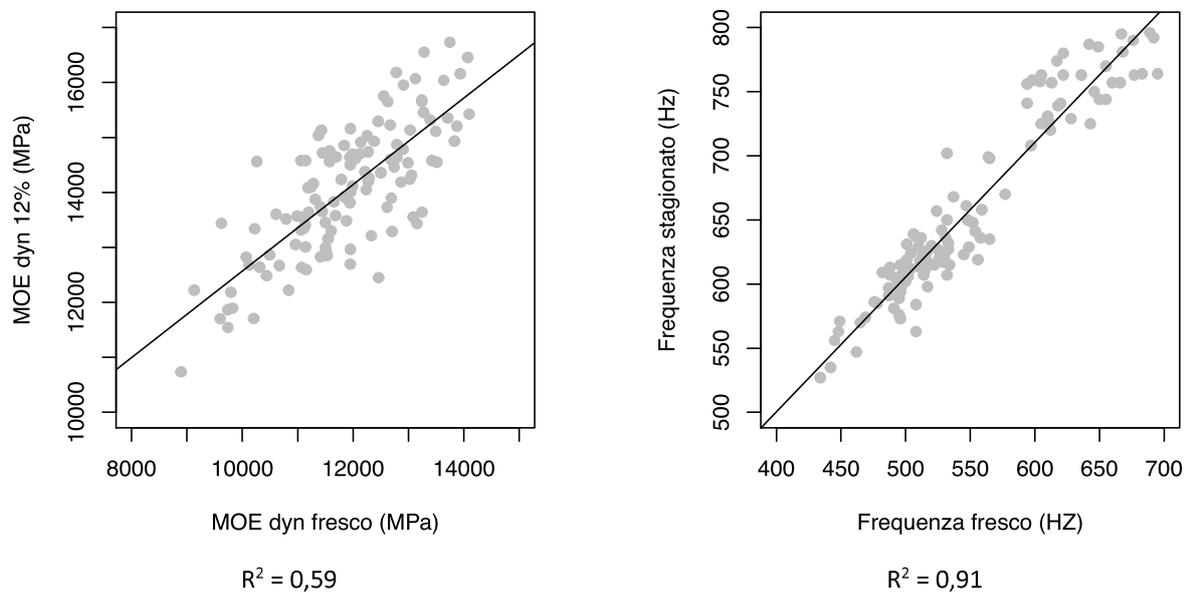


Figura 2 – Relazione tra modulo elastico dinamico e frequenza misurata dalla macchina classificatrice sugli elementi freschi (MOE dyn fresco e Frequenza fresco) e stagionati (MOE dyn 12% = modulo dinamico all'umidità di riferimento del 12% e Frequenza stagionato) per il **faggio**.

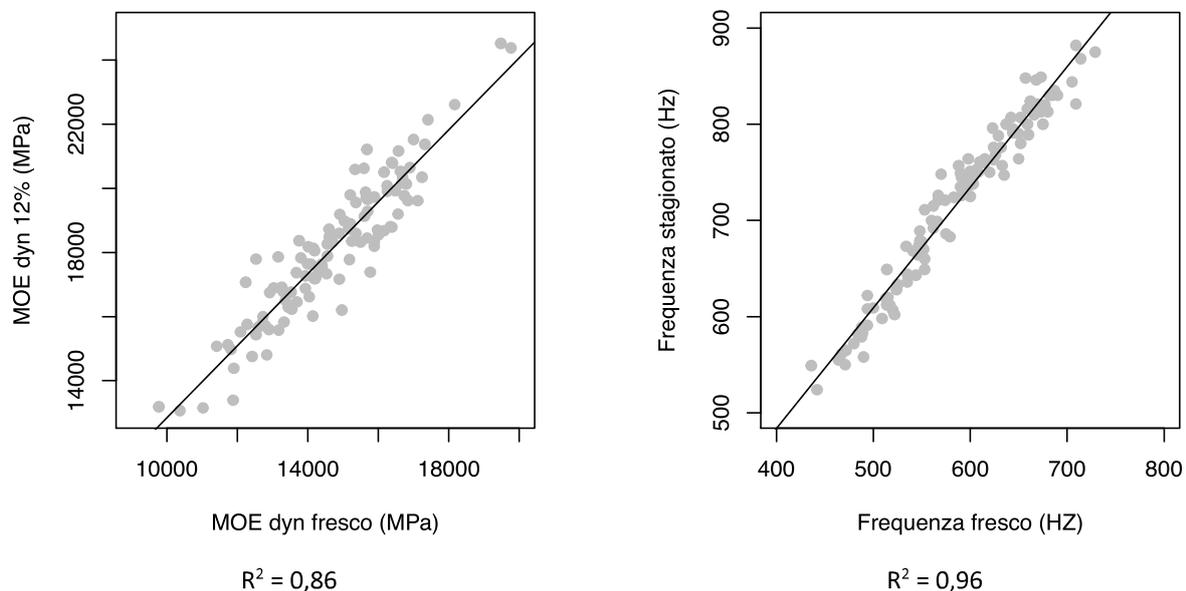


Figura 3 – Relazione tra modulo elastico dinamico e frequenza misurata dalla macchina classificatrice sugli elementi freschi (MOE dyn fresco e Frequenza fresco) e stagionati (MOE dyn 12% = modulo dinamico all'umidità di riferimento del 12% e Frequenza stagionato) per il **cerro**.

3. Prove fisico-meccaniche distruttive

Le prove fisiche e meccaniche sono state eseguite conformemente alla norma europea EN 408 (EN 408:2010. Timber structures – Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties) (Figura 3 e Figura 4). Per ogni campione analizzato è stata eseguita una prova a flessione a quattro punti, durante la quale è stato rilevato il modulo di elasticità statico locale (a flessione pura) e globale (nel quale si ha una componente di sollecitazione a taglio). Oltre alla misurazione delle deformazioni necessarie al calcolo dei moduli elastici, si è proceduto alla rottura dei campioni al fine di determinare il carico massimo e quindi la loro resistenza a flessione.

Dopo la prova distruttiva, da ogni campione è stato ricavato un provino il più vicino possibile alla zona di rottura di dimensioni pari alla sezione intera e di lunghezza di circa 5 cm in direzione longitudinale; questo è stato pesato e misurato, essiccato in stufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e pesato nuovamente, al fine di determinare la massa volumica e l'esatto contenuto di umidità del legno al momento della prova. Questo dato è necessario per le correzioni delle proprietà fisiche e meccaniche del legno all'umidità di riferimento del 12% (umidità normale) e per poter risalire al valore di umidità dei campioni al momento della misura con la macchina classificatrice effettuata sul legno non stagionato. I risultati delle singole prove sono riportati nell'Allegato 1.

In figura 5 e 6 sono riportati degli esempi di rotture a flessione.

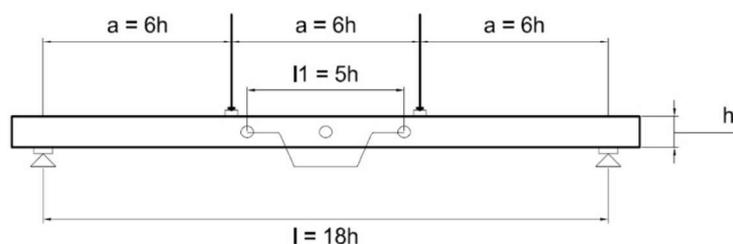


Figura 4 – Configurazione di prova per flessione a 4 punti. h = altezza del provino; a = distanza tra punto di applicazione del carico l'appoggio più vicino; l_1 = lunghezza del giogo per la determinazione della deformazione per il calcolo del modulo di elasticità locale; l = luce in flessione.



Figura 5 – Prova a flessione a 4 punti.



Faggio



Quercia

Figura 6 – Esempi di rottura a flessione per ciascuna specie

In tabella 6 sono riportati i valori medi delle caratteristiche rilevate in laboratorio con le prove distruttive per le specie analizzate nell'ambito della ricerca.

La resistenza a flessione, il modulo elastico statico e la densità sono le proprietà comunemente utilizzate per definire la qualità strutturale del legname, e in particolare per l'assegnazione alle classi di resistenza indicate nella norma EN 338.

In tabella 7 sono riportate, per comparazione, le proprietà meccaniche determinate in studi precedenti di caratterizzazione strutturale. Per il faggio sono disponibili dati di legname proveniente da diverse regioni italiane, mentre per il cerro, a conoscenza degli autori, non sono disponibili in letteratura dati di caratterizzazione meccanica di elementi in dimensione d'uso. Questo, infatti, risulta essere il primo studio sulla qualità strutturale di legname di cerro italiano. Per consentire comunque una comparazione sono stati riportati dati relativi alle proprietà meccaniche di rovere e farnia di provenienza francese.

Confrontando le tabelle 6 e 7 si può notare come il faggio proveniente dal Gargano si attesti su valori del tutto comparabili con quelli delle altre provenienze italiane. Il cerro, invece, è risultato avere resistenza, rigidità e densità medie superiori a quelle di rovere e farnia, specie legnose molto apprezzate per l'uso strutturale.

Tabella 6 – Valori medi e del coefficiente di variazione (CV) per specie e provenienza delle principali caratteristiche fisiche e meccaniche determinate in laboratorio.

| Specie | N | Umidità | Resistenza a flessione | | Modulo elastico statico | | Densità | |
|--------|-----|-----------|------------------------|--------|-------------------------|--------|----------------------------|--------|
| | | media (%) | media (MPa) | CV (%) | media (MPa) | CV (%) | media (kg/m ³) | CV (%) |
| Faggio | 120 | 12,2 | 69,6 | 25,0 | 13632 | 15,0 | 707 | 4,4 |
| Cerro | 113 | 15,5 | 71,0 | 27,5 | 16093 | 18,4 | 843 | 4,2 |

Tabella 7 – Caratteristiche fisico - meccaniche medie di faggio (Italia) e quercia (Francia). Dati CNR-IBE.

| Specie | N | Resistenza a flessione | | Modulo elastico statico | | Densità | |
|----------------------|------|------------------------|--------|-------------------------|--------|----------------------------|--------|
| | | media (MPa) | CV (%) | media (MPa) | CV (%) | media (kg/m ³) | CV (%) |
| Faggio ^a | 465 | 69,4 | 35 | 13300 | 22 | 716 | 6 |
| Quercia ^b | 2500 | 51,9 | 42 | 13100 | 27 | 722 | 8 |

^a Da: Brunetti et al 2020.

^b Rovere e farnia, Da: Lanvin et al 2007.

Nei grafici che seguono sono riportate, per le due specie, le relazioni lineari tra le proprietà meccaniche misurate in laboratorio: in particolare la relazione tra resistenza a flessione e rigidità, come anche le relazioni tra modulo dinamico misurato con la macchina classificatrice e le proprietà del materiale (resistenza, rigidità e densità).

In generale le correlazioni risultano in linea con quanto atteso per legname di latifolia, soprattutto per la stima della resistenza (correlazione tra resistenza a flessione e modulo elastico sia statico che dinamico). Particolarmente basse, invece, si sono dimostrate la correlazione tra modulo elastico statico e dinamico e tra densità e modulo dinamico. Per quanto riguarda la prima, le ragioni possono essere riconducibili a quanto già osservato per la relazione tra le misure di modulo dinamico effettuate su fresco e secco (limitata variazione nella massa volumica).

La mancanza di correlazione tra densità del legno e modulo elastico è già stata riscontrata in lavori precedenti, senza che questo precluda la possibilità di classificare correttamente il materiale sia a vista che a macchina (Brunetti et al 2020).

FAGGIO

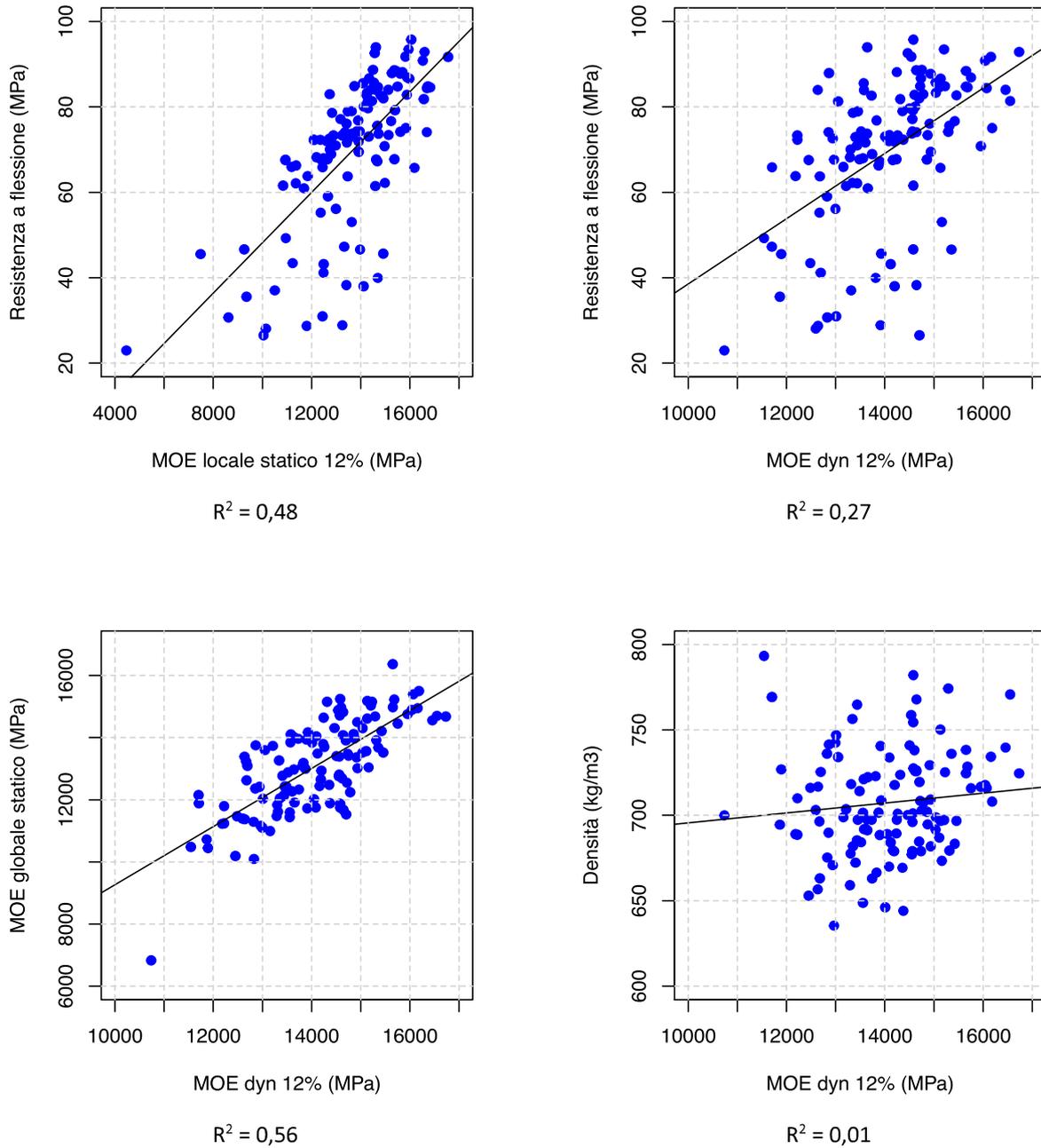


Figura 7 – Correlazioni tra le proprietà fisico-meccaniche per il **faggio** (R^2 = coefficiente di determinazione).

CERRO

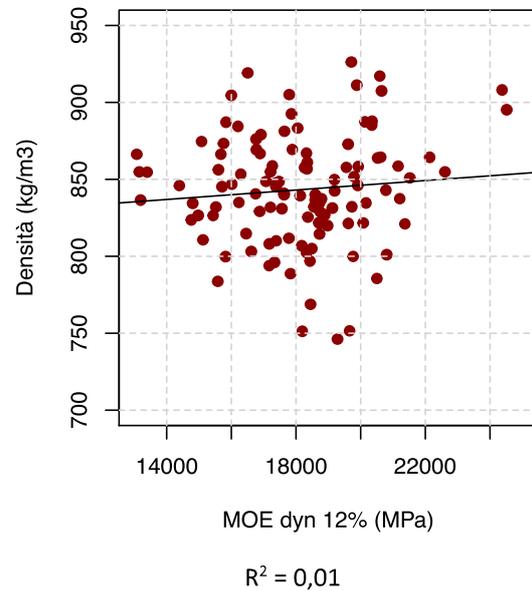
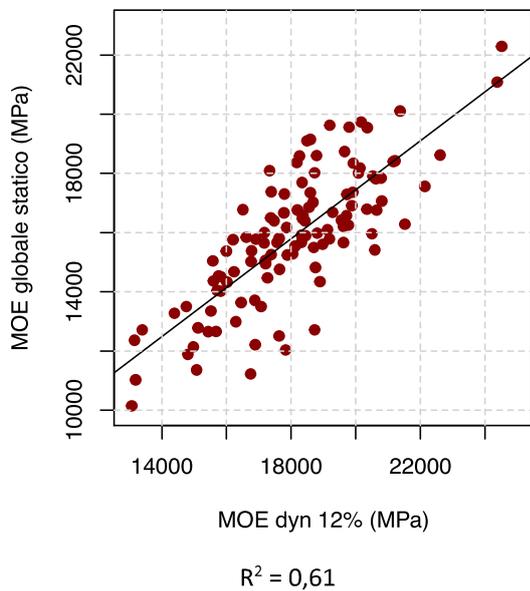
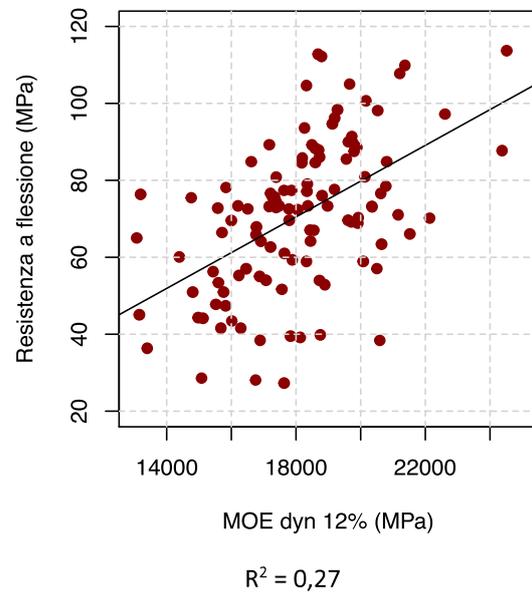
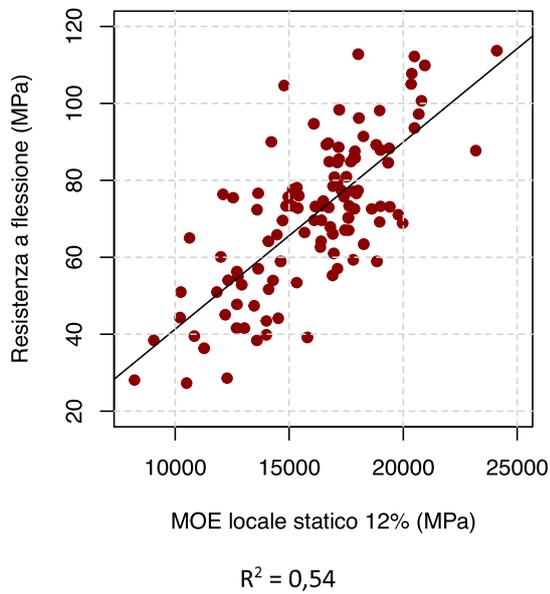


Figura 8 – Correlazioni tra le proprietà fisico-meccaniche per il **cerro** (R^2 = coefficiente di determinazione).

4. Analisi delle rese di classificazione a macchina

Al fine di valutare le rese di classificazione per l'uso strutturale del legname del Gargano analizzato, sono stati utilizzati i settaggi sviluppati per la macchina classificatrice ViSCAN-portable per il faggio italiano nel lavoro già citato lavoro "Brunetti et al 2020"; in particolare è stata scelta la combinazione di classi di resistenza (da norma EN 338) che suddivide il materiale in 2 classi (D45, D24) e eventuali scarti (R), ovvero elementi ritenuti non idonei per uso strutturale. Nei grafici di seguito sono riportate le rese percentuali della classificazione a macchina, confrontando quelle ottenute per il legno del Gargano con quelle di legname di altre provenienze italiane di faggio (Figure 9 e 10).

Le rese di classificazione per il faggio del Gargano sono state simili (o leggermente migliori) rispetto alle altre provenienze, con una percentuale di scarti pari a 0.

Per quanto riguarda il cerro, non essendo disponibili settaggi già sviluppati, si è deciso comunque di calcolare le rese di classificazione a macchina utilizzando quelli del faggio, la specie per cui esistano attualmente dei settaggi che presenta le caratteristiche meccaniche più vicine a quelle del cerro. Le rese di classificazione si sono dimostrate molto alte (il 90,8 % degli elementi) rientrerebbe nella classe D45; è doveroso notare però che il modulo elastico dinamico, la caratteristica su cui si basa la classificazione a macchina, è in media molto più alta nel cerro che nel faggio (18100 MPa contro 14100 MPa, si vedano tabella 3 e tabella 5). Con settaggi sviluppati appositamente per questa specie si potrebbero quindi raggiungere classi di resistenza ancora più alte. Il 5,8 % di scarti, infine, è dovuto esclusivamente ai pezzi esclusi dalla caratterizzazione per eccessiva deformazione (*visual override*), come descritto nel paragrafo 2.

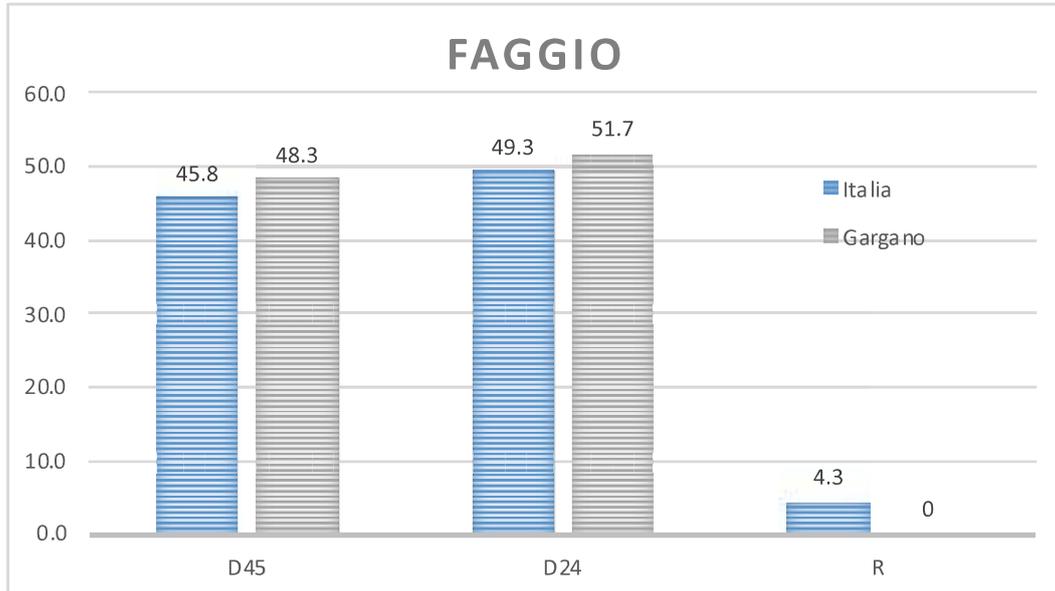


Figura 9 – Rese di classificazione percentuali per faggio di provenienza nazionale e di provenienza Gargano per la combinazione D45-D24-R.

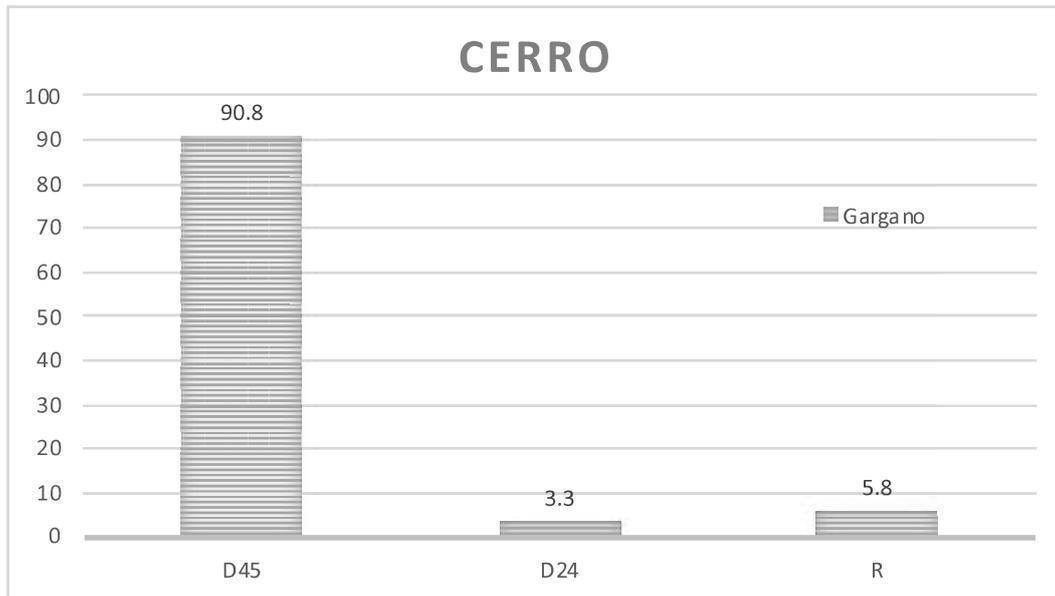


Figura 10 – Rese di classificazione percentuali per cerro di provenienza Gargano per la combinazione D45-D24-R.

5. Conclusioni

La sperimentazione condotta nell'occasione di questa ricerca rappresenta un primo passo per individuare dei possibili impieghi alternativi al legname proveniente dall'area del Gargano, considerando che, oltre alla filiera legno-energia, il materiale di migliore qualità potrebbe trovare un idoneo utilizzo anche nell'ambito delle costruzioni.

La grande varietà dei tipi forestali garganici può rappresentare un'opportunità qualora il legname ricavato dalla lavorazione dei tronchi possa essere adeguatamente qualificato come ormai da anni impongono le normative nazionali (Norme Tecniche per le Costruzioni) ed europee (Regolamento Prodotti da Costruzione) per l'impiego strutturale. In questo senso la classificazione a macchina (in alternativa a quella a vista) può costituire un valido supporto anche per operatori del settore di piccola e media taglia, essendo applicabile anche in forma consortile utilizzando attrezzature portatili.

Entrando nel dettaglio dei risultati, con questa indagine è stato osservato che le caratteristiche meccaniche del legname di faggio e di cerro (oltre a quello di abete, castagno e pino d'Aleppo analizzato nel corso della precedente convenzione) risultano pienamente comparabili a quelle medie del materiale di altre provenienze geografiche (se non addirittura superiori): le rese percentuali della classificazione a macchina evidenziano che buona parte del legname potrebbe essere correttamente utilizzato per impieghi strutturali, soddisfacendo appieno la richiesta del mercato sia per gli assortimenti di legno massiccio che per i prodotti incollati senza trascurare il mercato degli altri settori dell'edilizio (es. parquet), degli infissi e del comparto arredamento e complementi di arredo. In particolare nel caso del cerro, quelle appena concluse sono state le prime prove effettuate sul legno di questa specie e i risultati si sono dimostrati sicuramente promettenti, con valori meccanici molto alti e relativamente pochi scarti dovuti prevalentemente alle deformazioni emerse durante la stagionatura.

Un ulteriore elemento positivo di questa ricerca deriva dalla considerazione che il legname utilizzato nella sperimentazione non deriva dalla selezione dei migliori soggetti in bosco, ma anzi in molti casi è stato ricavato da alberi danneggiati, appartenenti al piano dominato, o comunque derivanti da interventi di diradamento o da schianti. Le prospettive di valorizzazione del legname proveniente dal Gargano pertanto risultano quindi estremamente interessanti.



BIBLIOGRAFIA

Brunetti M., Nocetti M., Pizzo B., Aminti G., Cremonini C., Negro F., Zanuttini R., Romagnoli M., Scarascia Mugnozza G., 2020. Structural products made of beech wood: quality assessment of the raw material. *European Journal of Wood and Wood Products*.

EN 338, 2016. Structural timber – Strength classes. European Committee for Standardization, Brussels.

EN 408, 2010. Timber structures—structural timber and glued laminated timber—determination of some physical and mechanical properties. European Committee for Standardization, Brussels.

Lanvin J.D., Reuling D., Costrel Y., Ducer J., 2007. Evaluation of French oak for structural use. *Proceedings of the First International Scientific Conference on Hardwood Processing (ISCHP)*, Quebec, 61-65.



ANNESSE 1

Risultati delle singole prove distruttive di laboratorio. Sono riportati in dettaglio per ciascun elemento legnoso testato il valore di umidità del legno al momento della prova, di resistenza a flessione, modulo elastico statico globale e locale, densità e modulo elastico dinamico.

**FAGGIO**

| ID | Sezione Nominale (mm ²) | Umidità del legno (%) | Resistenza a flessione (MPa) | Modulo elastico globale (MPa) | Modulo elastico locale (MPa) | Densità (kg/m ³) | Modulo elastico dinamico (MPa) |
|------|---|---------------------------------|--|--|---|-------------------------------------|---|
| F001 | 25x100 | 11.2 | 72.0 | 11751 | 12620 | 670 | 14086 |
| F002 | 25x100 | 12.0 | 86.9 | 14452 | 15890 | 716 | 15753 |
| F003 | 25x100 | 12.2 | 67.5 | 12439 | 12404 | 680 | 14162 |
| F004 | 25x100 | 12.0 | 76.8 | 13183 | 13898 | 666 | 13832 |
| F005 | 25x100 | 12.0 | 84.4 | 15396 | 16693 | 716 | 16070 |
| F006 | 25x100 | 11.7 | 84.0 | 14556 | 15123 | 740 | 16457 |
| F007 | 25x100 | 12.2 | 77.1 | 12813 | 13178 | 679 | 14562 |
| F008 | 25x100 | 11.6 | 86.7 | 13478 | 14343 | 679 | 14736 |
| F009 | 25x100 | 11.5 | 84.6 | 13567 | 14704 | 687 | 15110 |
| F010 | 25x100 | 11.3 | 83.0 | 12240 | 12735 | 707 | 14785 |
| F011 | 25x100 | 11.7 | 72.3 | 11238 | 12356 | 710 | 12222 |
| F012 | 25x100 | 11.5 | 67.6 | 11159 | 10941 | 635 | 12965 |
| F013 | 25x100 | 13.0 | 78.6 | 12043 | 12833 | 682 | 13353 |
| F014 | 25x100 | 12.0 | 67.7 | 12425 | 12642 | 714 | 13486 |
| F015 | 25x100 | 11.8 | 73.3 | 11794 | 12888 | 689 | 12221 |
| F016 | 25x100 | 11.9 | 91.7 | 14950 | 17554 | 734 | 16159 |
| F017 | 25x100 | 11.8 | 71.0 | 12128 | 12981 | 685 | 13434 |
| F018 | 25x100 | 12.0 | 68.9 | 12330 | 12790 | 663 | 13742 |
| F019 | 25x100 | 11.6 | 23.0 | 6828 | 4466 | 700 | 10736 |
| F020 | 25x100 | 11.1 | 79.0 | 12480 | 13635 | 669 | 14359 |
| F021 | 25x100 | 10.9 | 75.6 | 13919 | 14677 | 679 | 15316 |
| F022 | 25x100 | 11.8 | 68.2 | 11474 | 12198 | 659 | 13291 |
| F023 | 25x100 | 11.4 | 85.7 | 13516 | 14533 | 692 | 15033 |
| F024 | 25x100 | 11.3 | 69.5 | 13014 | 13917 | 682 | 14934 |
| F025 | 25x100 | 11.4 | 67.6 | 10189 | 10930 | 653 | 12451 |
| F026 | 25x100 | 11.5 | 79.0 | 12422 | 13472 | 697 | 13452 |
| F027 | 25x100 | 11.3 | 68.0 | 11441 | 12479 | 649 | 13555 |
| F028 | 25x100 | 11.7 | 72.6 | 12021 | 12722 | 689 | 14049 |
| F029 | 25x100 | 11.8 | 30.7 | 10091 | 8619 | 675 | 12829 |
| F030 | 25x100 | 11.3 | 71.6 | 12270 | 13436 | 692 | 13605 |
| F031 | 25x100 | 11.2 | 82.7 | 13521 | 14241 | 697 | 15458 |
| F032 | 25x100 | 11.0 | 72.3 | 11887 | 12089 | 644 | 14377 |
| F033 | 25x100 | 11.3 | 63.8 | 11226 | 11840 | 689 | 12184 |
| F034 | 25x100 | 11.5 | 74.1 | 12361 | 13360 | 690 | 12855 |
| F035 | 25x100 | 11.1 | 73.7 | 12759 | 13640 | 677 | 14550 |
| F036 | 25x100 | 11.5 | 76.7 | 14210 | 15237 | 683 | 15424 |
| F037 | 25x100 | 11.2 | 72.2 | 11598 | 12093 | 701 | 13556 |
| F038 | 25x100 | 11.3 | 70.0 | 11835 | 12739 | 678 | 13303 |
| F039 | 25x100 | 11.5 | 87.9 | 13751 | 15269 | 741 | 12864 |
| F040 | 25x100 | 11.0 | 84.9 | 12550 | 13740 | 708 | 14719 |



Faggio- continua

| ID | Sezione Nominale (mm ²) | Umidità del legno (%) | Resistenza a flessione (MPa) | Modulo elastico globale (MPa) | Modulo elastico locale (MPa) | Densità (kg/m ³) | Modulo elastico dinamico (MPa) |
|------|---|---------------------------------|--|--|---|-------------------------------------|---|
| F041 | 50x140 | 12.5 | 26.5 | 11527 | 10045 | 720 | 14705 |
| F042 | 50x140 | 13.2 | 75.0 | 15502 | 15836 | 708 | 16184 |
| F043 | 50x140 | 13.0 | 93.5 | 15029 | 15949 | 697 | 15206 |
| F044 | 50x140 | 13.3 | 31.0 | 12030 | 12442 | 747 | 13010 |
| F045 | 50x140 | 13.1 | 46.6 | 13680 | 13974 | 736 | 15356 |
| F046 | 50x140 | 13.0 | 74.1 | 14822 | 16689 | 726 | 14641 |
| F047 | 50x140 | 12.9 | 76.1 | 13365 | 13420 | 729 | 14915 |
| F048 | 50x140 | 13.0 | 73.4 | 14046 | 15131 | 734 | 14094 |
| F049 | 50x140 | 12.9 | 41.2 | 13089 | 12483 | 725 | 12696 |
| F050 | 50x140 | 12.8 | 82.8 | 14969 | 15875 | 738 | 14603 |
| F051 | 50x140 | 13.0 | 79.2 | 14712 | 15394 | 701 | 14573 |
| F052 | 50x140 | 13.2 | 87.7 | 14500 | 15609 | 709 | 14931 |
| F053 | 50x140 | 12.8 | 62.2 | 13265 | 14983 | 756 | 13340 |
| F054 | 50x140 | 12.9 | 84.6 | 15226 | 16823 | 728 | 15682 |
| F055 | 50x140 | 12.9 | 86.6 | 15182 | 15976 | 697 | 15135 |
| F056 | 50x140 | 12.9 | 73.4 | 13978 | 13662 | 695 | 14872 |
| F057 | 50x140 | 13.0 | 73.1 | 13838 | 14327 | 646 | 14009 |
| F058 | 50x140 | 13.0 | 43.2 | 13488 | 12492 | 684 | 14119 |
| F059 | 50x140 | 12.7 | 67.3 | 13933 | 14675 | 688 | 13897 |
| F060 | 50x140 | 13.0 | 90.8 | 14892 | 16525 | 718 | 16041 |
| F061 | 50x140 | 12.6 | 38.0 | 12935 | 14117 | 718 | 14200 |
| F062 | 50x140 | 12.7 | 84.8 | 14981 | 15500 | 725 | 15653 |
| F063 | 50x140 | 12.8 | 84.8 | 15154 | 16733 | 725 | 15227 |
| F064 | 50x140 | 12.6 | 95.7 | 15245 | 16055 | 727 | 14581 |
| F065 | 50x140 | 12.7 | 88.1 | 14642 | 15701 | 697 | 14244 |
| F066 | 50x140 | 12.7 | 49.3 | 10481 | 10951 | 793 | 11544 |
| F067 | 50x140 | 12.6 | 79.7 | 13406 | 14297 | 741 | 14504 |
| F068 | 50x140 | 12.8 | 74.2 | 14683 | 15615 | 774 | 15293 |
| F069 | 50x140 | 12.6 | 65.7 | 14614 | 16185 | 750 | 15132 |
| F070 | 50x140 | 12.8 | 65.9 | 11883 | 12447 | 769 | 11707 |
| F071 | 40x110 | 12.4 | 53.1 | 13042 | 13634 | 673 | 15161 |
| F072 | 40x110 | 12.4 | 67.7 | 13798 | 15372 | 689 | 14236 |
| F073 | 40x110 | 12.6 | 88.4 | 16366 | 15441 | 738 | 15652 |
| F074 | 40x110 | 12.2 | 92.6 | 14311 | 14571 | 700 | 14465 |
| F075 | 40x110 | 12.2 | 82.0 | 13906 | 14921 | 685 | 14699 |
| F076 | 40x110 | 12.2 | 92.9 | 14678 | 16598 | 725 | 16732 |
| F077 | 40x110 | 12.7 | 66.3 | 12998 | 11373 | 702 | 13873 |
| F078 | 40x110 | 12.4 | 74.2 | 13385 | 13832 | 696 | 14563 |
| F079 | 40x110 | 12.1 | 83.3 | 14304 | 14257 | 699 | 15039 |
| F080 | 40x110 | 12.7 | 46.6 | 11750 | 9259 | 754 | 14579 |



Faggio - continua

| ID | Sezione Nominale (mm ²) | Umidità del legno (%) | Resistenza a flessione (MPa) | Modulo elastico globale (MPa) | Modulo elastico locale (MPa) | Densità (kg/m ³) | Modulo elastico dinamico (MPa) |
|------|---|---------------------------------|--|--|---|-------------------------------------|---|
| F081 | 40x110 | 11.7 | 84.0 | 13390 | 14397 | 657 | 12636 |
| F082 | 40x110 | 12.2 | 70.8 | 14755 | 14971 | 717 | 15954 |
| F083 | 40x110 | 12.8 | 28.7 | 11369 | 11802 | 717 | 12641 |
| F084 | 40x110 | 12.3 | 37.0 | 11617 | 10501 | 718 | 13315 |
| F085 | 40x110 | 12.7 | 55.2 | 13231 | 12367 | 696 | 12670 |
| F086 | 40x110 | 12.5 | 62.1 | 12141 | 11356 | 765 | 13437 |
| F087 | 40x110 | 12.2 | 73.7 | 12972 | 14726 | 697 | 13639 |
| F088 | 40x110 | 12.1 | 88.7 | 13421 | 14498 | 703 | 14753 |
| F089 | 40x110 | 12.5 | 74.3 | 12879 | 13958 | 684 | 13518 |
| F090 | 40x110 | 12.9 | 72.6 | 12414 | 12793 | 671 | 12940 |
| F091 | 40x110 | 12.8 | 72.9 | 12770 | 13566 | 672 | 13405 |
| F092 | 40x110 | 12.3 | 73.3 | 13700 | 13248 | 701 | 14261 |
| F093 | 40x110 | 12.1 | 28.1 | 11392 | 10142 | 703 | 12595 |
| F094 | 40x110 | 12.4 | 45.5 | 10443 | 7485 | 727 | 11894 |
| F095 | 40x110 | 12.6 | 83.9 | 14105 | 14639 | 692 | 13577 |
| F096 | 40x110 | 12.6 | 81.3 | 13597 | 14283 | 734 | 13051 |
| F097 | 40x110 | 12.7 | 85.5 | 13848 | 14092 | 721 | 13569 |
| F098 | 40x110 | 12.7 | 43.4 | 11467 | 11228 | 716 | 12485 |
| F099 | 40x110 | 12.4 | 63.7 | 12627 | 13467 | 663 | 12678 |
| F100 | 40x110 | 12.8 | 35.5 | 10723 | 9352 | 694 | 11866 |
| F101 | 40x110 | 12.6 | 40.0 | 13087 | 14692 | 723 | 13813 |
| F102 | 40x110 | 12.8 | 38.3 | 11677 | 13417 | 768 | 14646 |
| F103 | 40x110 | 12.4 | 59.0 | 11288 | 12663 | 736 | 12823 |
| F104 | 40x110 | 12.6 | 47.2 | 12149 | 13326 | 769 | 11702 |
| F105 | 40x110 | 12.2 | 80.1 | 12691 | 14127 | 726 | 14619 |
| F106 | 40x110 | 12.6 | 81.4 | 14701 | 14454 | 771 | 16551 |
| F107 | 40x110 | 12.3 | 56.1 | 11100 | 12991 | 742 | 12996 |
| F108 | 40x110 | 12.8 | 61.6 | 11871 | 10840 | 782 | 14581 |
| F109 | 40x110 | 12.6 | 71.9 | 12652 | 13914 | 679 | 14188 |
| F110 | 40x110 | 12.1 | 81.8 | 15156 | 16569 | 724 | 14314 |
| F111 | 40x110 | 11.9 | 82.6 | 13961 | 14821 | 697 | 13729 |
| F112 | 40x110 | 12.2 | 61.5 | 13733 | 14593 | 704 | 13212 |
| F113 | 40x110 | 12.4 | 45.6 | 14172 | 14916 | 709 | 13926 |
| F114 | 40x110 | 12.4 | 28.9 | 11723 | 13253 | 741 | 13912 |
| F115 | 40x110 | 12.3 | 91.8 | 14884 | 15817 | 759 | 14538 |
| F116 | 40x110 | 12.0 | 60.9 | 11911 | 11692 | 722 | 13653 |
| F117 | 40x110 | 12.6 | 67.7 | 14116 | 14629 | 702 | 14856 |
| F118 | 40x110 | 11.7 | 65.9 | 10991 | 11185 | 699 | 13157 |
| F119 | 40x110 | 12.2 | 88.6 | 14082 | 15365 | 726 | 14641 |
| F120 | 40x110 | 12.0 | 94.0 | 14011 | 14617 | 691 | 13643 |



CERRO

| ID | Sezione Nominale (mm ²) | Umidità del legno (%) | Resistenza a flessione (MPa) | Modulo elastico globale (MPa) | Modulo elastico locale (MPa) | Densità (kg/m ³) | Modulo elastico dinamico (MPa) |
|------|---|-----------------------------|------------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------|---|
| Q001 | 35x100 | 12.8 | 62.7 | 14947 | 16369 | 855 | 17212 |
| Q002 | 35x100 | 12.0 | 58.9 | 18014 | 18848 | 822 | 20081 |
| Q003 | 35x100 | 12.5 | 69.6 | 16214 | 16416 | 873 | 19614 |
| Q004 | 35x100 | 12.7 | 58.9 | 15914 | 14627 | 867 | 18323 |
| Q005 | 35x100 | 12.6 | 70.3 | 18344 | 17588 | 858 | 19925 |
| Q006 | 35x100 | 11.6 | 28.6 | 11361 | 12280 | 875 | 15076 |
| Q007 | 35x100 | 11.9 | 98.3 | 16684 | 17197 | 746 | 19285 |
| Q008 | 35x100 | 12.0 | 39.9 | 14820 | 13998 | 829 | 18754 |
| Q009 | 35x100 | 12.0 | 66.1 | 16283 | 16914 | 851 | 21523 |
| Q010 | 35x100 | 12.4 | 89.3 | 15996 | 16629 | 808 | 17175 |
| Q011 | 35x100 | 12.8 | 88.6 | 16912 | 17169 | 911 | 19880 |
| Q012 | 35x100 | 12.3 | 71.1 | 18400 | 19786 | 859 | 21163 |
| Q013 | 35x100 | 12.2 | 98.1 | 17906 | 18963 | 864 | 20530 |
| Q014 | 35x100 | 12.1 | 104.6 | 15674 | 14774 | 802 | 18322 |
| Q015 | 35x100 | 12.4 | 39.2 | 15547 | 15800 | 839 | 18129 |
| Q016 | 35x100 | 12.1 | 77.1 | 17695 | 17788 | 857 | 18339 |
| Q017 | 35x100 | 12.2 | 75.5 | 13502 | 12539 | 824 | 14757 |
| Q018 | 35x100 | 11.6 | 97.2 | 18618 | 20679 | 855 | 22613 |
| Q019 | 35x100 | 12.0 | 91.4 | 17293 | 18257 | 832 | 19728 |
| Q020 | 35x100 | 12.1 | 109.9 | 20106 | 20948 | 821 | 21373 |
| Q021 | 35x100 | 12.5 | 52.9 | 14345 | 12919 | 827 | 18893 |
| Q022 | 35x100 | 12.5 | 27.3 | 12507 | 10501 | 840 | 17631 |
| Q023 | 35x100 | 12.5 | 47.8 | 13352 | 12711 | 832 | 15520 |
| Q024 | 35x100 | 11.6 | 105.0 | 18740 | 20350 | 752 | 19656 |
| Q025 | 35x100 | 12.6 | 28.1 | 11224 | 8216 | 841 | 16748 |
| Q026 | 35x100 | 11.7 | 89.7 | 16249 | 16715 | 800 | 19770 |
| Q027 | 35x100 | 11.7 | 84.9 | 17065 | 17702 | 801 | 20807 |
| Q028 | 35x100 | 12.1 | 39.5 | 12035 | 10839 | 789 | 17832 |
| Q029 | 35x100 | - | - | - | - | - | - |
| Q030 | 35x100 | - | - | - | - | - | - |
| Q031 | 35x100 | - | - | - | - | - | - |
| Q032 | 35x100 | 12.2 | 73.4 | 16569 | 14868 | 825 | 18367 |
| Q033 | 35x100 | 11.8 | 112.8 | 17024 | 18026 | 831 | 18681 |
| Q034 | 35x100 | - | - | - | - | - | - |
| Q035 | 35x100 | 11.7 | 94.7 | 16097 | 16079 | 831 | 19126 |
| Q036 | 35x100 | - | - | - | - | - | - |
| Q037 | 35x100 | 11.5 | 57.1 | 15962 | 17115 | 786 | 20504 |
| Q038 | 35x100 | 12.0 | 54.0 | 12716 | 14292 | 814 | 18728 |
| Q039 | 35x100 | 12.4 | 54.0 | 13502 | 12321 | 849 | 17072 |
| Q040 | 35x100 | 12.2 | 87.9 | 15499 | 18999 | 822 | 18701 |



Cerro - continua

| ID | Sezione Nominale (mm ²) | Umidità del legno (%) | Resistenza a flessione (MPa) | Modulo elastico globale (MPa) | Modulo elastico locale (MPa) | Densità (kg/m ³) | Modulo elastico dinamico (MPa) |
|------|---|---------------------------------|--|--|---|-------------------------------------|---|
| Q041 | 35x100 | 12.4 | 47.4 | 14019 | 13461 | 800 | 15821 |
| Q042 | 35x100 | 12.5 | 76.4 | 11026 | 12099 | 837 | 13189 |
| Q043 | 35x100 | 12.2 | 87.7 | 21085 | 23184 | 908 | 24378 |
| Q044 | 35x100 | 12.4 | 65.0 | 10148 | 10626 | 866 | 13069 |
| Q045 | 35x100 | 12.3 | 80.9 | 18181 | 17504 | 887 | 20136 |
| Q046 | 35x100 | 12.2 | 113.7 | 22291 | 24105 | 895 | 24520 |
| Q047 | 35x100 | 11.8 | 43.5 | 14328 | 14004 | 847 | 16015 |
| Q048 | 35x100 | 11.6 | 90.0 | 15662 | 14218 | 821 | 19621 |
| Q049 | 35x100 | 11.5 | 85.8 | 16766 | 17885 | 751 | 18195 |
| Q050 | 35x100 | 11.9 | 107.8 | 18427 | 20375 | 837 | 21213 |
| Q051 | 80x80 | 16.6 | 38.4 | 15414 | 13586 | 917 | 20592 |
| Q052 | 80x80 | 16.1 | 77.4 | 16172 | 17285 | 892 | 17861 |
| Q053 | 80x80 | 16.8 | 73.1 | 19545 | 19413 | 888 | 20356 |
| Q054 | 80x80 | 15.6 | 51.0 | 11886 | 10248 | 834 | 14804 |
| Q055 | 80x80 | 16.3 | 86.1 | 18023 | 17844 | 835 | 18729 |
| Q056 | 80x80 | 14.1 | 87.6 | 19561 | 17880 | 852 | 19796 |
| Q057 | 80x80 | 18.6 | 84.6 | 17349 | 17112 | 840 | 18597 |
| Q058 | 80x80 | 16.1 | 78.1 | 14504 | 15338 | 887 | 15834 |
| Q059 | 80x80 | 12.6 | 89.2 | 19102 | 18818 | 805 | 18492 |
| Q060 | 80x80 | 12.5 | 84.6 | 18369 | 19341 | 807 | 18177 |
| Q061 | 80x80 | 15.8 | 76.6 | 17813 | 17947 | 864 | 20624 |
| Q062 | 80x80 | 13.3 | 112.2 | 18603 | 20492 | 837 | 18791 |
| Q063 | 80x80 | 14.5 | 36.4 | 12715 | 11269 | 855 | 13393 |
| Q064 | 80x80 | 15.4 | 60.1 | 13276 | 12002 | 846 | 14389 |
| Q065 | 80x80 | 16.5 | 44.3 | 12140 | 10211 | 827 | 14974 |
| Q066 | 80x80 | 14.2 | 73.2 | 15647 | 16143 | 794 | 17167 |
| Q067 | 80x80 | 17.7 | 69.6 | 17303 | 16090 | 905 | 17791 |
| Q068 | 80x80 | 15.4 | 51.7 | 15669 | 14101 | 831 | 17564 |
| Q069 | 80x80 | 14.3 | 72.4 | 15287 | 13594 | 883 | 18052 |
| Q070 | 80x80 | 12.8 | 96.2 | 19627 | 18057 | 842 | 19195 |
| Q071 | 80x80 | 12.7 | 78.5 | 17846 | 16919 | 843 | 20783 |
| Q072 | 80x80 | 16.6 | 74.7 | 16499 | 16493 | 847 | 17372 |
| Q073 | 80x80 | 17.6 | 56.3 | 12652 | 12707 | 826 | 15435 |
| Q074 | 80x80 | 15.3 | 84.9 | 15843 | 16760 | 803 | 16616 |
| Q075 | 80x80 | 15.9 | 76.6 | 15060 | 13641 | 832 | 17209 |
| Q076 | 80x80 | 16.8 | 66.4 | 14047 | 15674 | 845 | 15712 |
| Q077 | 80x80 | 12.5 | 75.8 | 18094 | 17400 | 796 | 17335 |
| Q078 | 80x80 | 17.8 | 41.6 | 12658 | 12699 | 866 | 15676 |
| Q079 | 80x80 | 17.7 | 51.0 | 14535 | 11828 | 873 | 15758 |
| Q080 | 80x80 | 14.8 | 93.6 | 18586 | 20494 | 858 | 18263 |



Cerro - continua

| ID | Sezione Nominale (mm ²) | Umidità del legno (%) | Resistenza a flessione (MPa) | Modulo elastico globale (MPa) | Modulo elastico locale (MPa) | Densità (kg/m ³) | Modulo elastico dinamico (MPa) |
|------|---|---------------------------------|--|--|---|-------------------------------------|---|
| Q081 | 80x80 | 14.8 | 85.6 | 16419 | 17178 | 858 | 19558 |
| Q082 | 80x80 | 14.1 | 38.4 | 12214 | 9063 | 867 | 16890 |
| Q083 | 80x80 | 14.3 | 76.0 | 15980 | 15425 | 822 | 18808 |
| Q084 | 80x80 | 16.9 | 73.3 | 15608 | 15140 | 820 | 18978 |
| Q085 | 80x80 | 16.1 | 69.6 | 15372 | 14715 | 905 | 15998 |
| Q086 | 80x80 | 17.0 | 57.0 | 13635 | 13643 | 815 | 16456 |
| Q087 | 80x80 | 12.3 | 64.2 | 15777 | 14092 | 879 | 16913 |
| Q088 | 80x80 | 14.5 | 100.7 | 19738 | 20802 | 835 | 20166 |
| Q089 | 80x80 | 14.0 | 53.4 | 14366 | 15330 | 856 | 15599 |
| Q090 | 80x80 | 14.0 | 88.3 | 19150 | 19381 | 837 | 18597 |
| Q091 | 120x120 | 20.7 | 44.2 | 12782 | 14521 | 811 | 15121 |
| Q092 | 120x120 | 19.2 | 72.6 | 16776 | 18620 | 919 | 16508 |
| Q093 | 120x120 | 20.7 | 67.9 | 15382 | 16801 | 869 | 16776 |
| Q094 | 120x120 | 24.4 | 59.4 | 15242 | 17808 | 869 | 17886 |
| Q095 | 120x120 | 14.8 | 77.4 | 15806 | 18020 | 841 | 17630 |
| Q096 | 120x120 | 24.6 | 68.9 | 17363 | 19971 | 846 | 19911 |
| Q097 | 120x120 | 15.5 | 80.9 | 17378 | 16987 | 810 | 17386 |
| Q098 | 120x120 | 19.0 | 69.2 | 16574 | 18964 | 926 | 19714 |
| Q099 | 120x120 | 20.5 | 67.1 | 16395 | 17440 | 797 | 18433 |
| Q100 | 120x120 | 23.0 | 67.0 | 16857 | 17609 | 832 | 18554 |
| Q101 | 120x120 | 25.3 | 75.7 | 14472 | 14967 | 859 | 17270 |
| Q102 | 120x120 | 25.9 | 70.2 | 17560 | 17598 | 864 | 22138 |
| Q103 | 120x120 | 22.3 | 73.4 | 16400 | 16447 | 849 | 17475 |
| Q104 | 120x120 | 18.6 | 72.6 | 16667 | 17857 | 812 | 17779 |
| Q105 | 120x120 | 22.3 | 65.9 | 15025 | 14465 | 876 | 16764 |
| Q106 | 120x120 | 21.2 | 72.8 | 15043 | 15376 | 784 | 15579 |
| Q107 | 120x120 | 22.7 | 73.0 | 15257 | 16737 | 845 | 17385 |
| Q108 | 120x120 | 23.1 | 41.6 | 12988 | 13037 | 853 | 16292 |
| Q109 | 120x120 | 19.7 | 45.1 | 12362 | 12198 | 855 | 13151 |
| Q110 | 120x120 | 19.8 | 73.4 | 15761 | 17624 | 884 | 16203 |
| Q111 | 120x120 | 23.2 | 77.6 | 15788 | 15164 | 850 | 19189 |
| Q112 | 120x120 | - | - | - | - | - | - |
| Q113 | 120x120 | 21.1 | 63.4 | 16757 | 18269 | 907 | 20648 |
| Q114 | 120x120 | 19.0 | 79.0 | 16476 | 17110 | 861 | 18351 |
| Q115 | 120x120 | 21.2 | 61.0 | 14759 | 16953 | 881 | 17643 |
| Q116 | 120x120 | 19.8 | 73.3 | 16789 | 19005 | 885 | 20347 |
| Q117 | 120x120 | 22.4 | 55.1 | 13714 | 12757 | 829 | 16877 |
| Q118 | 120x120 | 19.1 | 64.2 | 15894 | 16398 | 769 | 18451 |
| Q119 | 120x120 | - | - | - | - | - | - |
| Q120 | 120x120 | 24.0 | 55.3 | 14677 | 16902 | 835 | 16233 |