

MICHELE BRUNETTI*, ROBERTO ZANUTTINI**

Contributi tecnologici alla valorizzazione industriale del legname di douglasia

I. INQUADRAMENTO

In genere, la valorizzazione del legname si fonda su due criteri di riferimento: la conoscenza approfondita delle proprietà tecnologiche e peculiarità del materiale in esame (anche in termini di caratteristiche dendrometriche e di qualità degli assortimenti ottenibili) e l'individuazione degli ambiti applicativi in cui esse sono in grado di soddisfare i requisiti di impiego richiesti in maniera efficiente e competitiva.

La questione sembrerebbe di facile approccio ma, come spesso accade, è influenzata dai lunghi tempi della selvicoltura per cui, tra il momento dell'impianto o rinnovazione del popolamento forestale e quello della raccolta del legname a fine turno, lo scenario di riferimento può modificarsi anche in maniera significativa. Si tratta peraltro di cambiamenti non necessariamente negativi in quanto se alcune destinazioni d'uso consolidate possono scomparire o diventare meno interessanti altre se ne possono aggiungere a seguito di nuove conoscenze tecniche, cambiamenti nei gusti e nelle mode o innovazioni di processo o prodotto.

Pur di fronte a un contesto dinamico, è poi opportuno considerare che il legname di qualità elevata è sempre ricercato e trova minori difficoltà a essere valorizzato commercialmente. Per rientrare in tale ambito è tuttavia necessario che si verifichino una serie di condizioni favorevoli le quali implicano l'ottimizzazione di fattori genetici, stagionali e di gestione selvicolturale (fig. 1).

* *Consiglio Nazionale delle Ricerche-Istituto per la valorizzazione del legno e delle specie arboree (CNR-IVALSA), Sesto Fiorentino (FI)*

** *Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DISAFA), Università degli Studi di Torino*

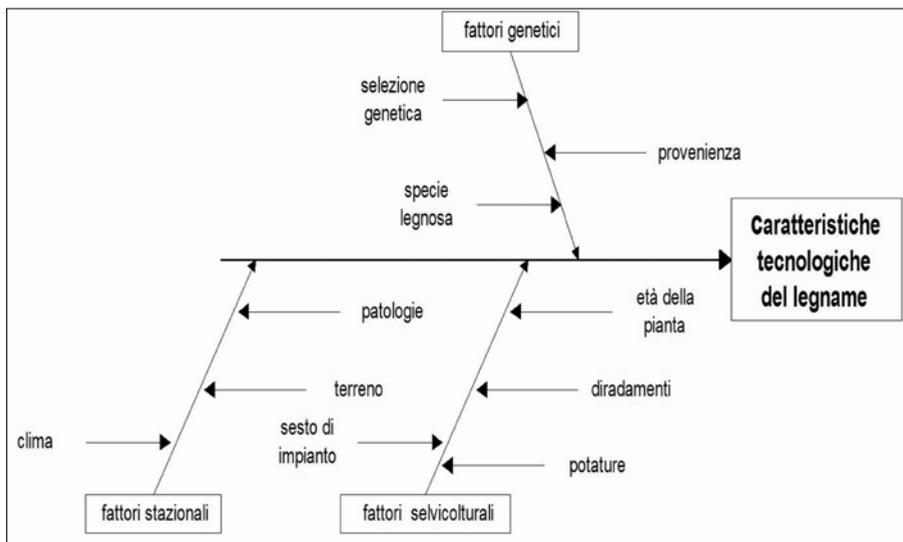


Fig. 1 *Principali fattori di influenza sulla qualità del legno*

È presumibile inoltre che alcuni aspetti tecnici ormai consolidati della materia prima (come ad esempio un elevato diametro dei fusti, il contenimento di nodi e altri difetti ecc..) rimarranno importanti anche in futuro e potranno condizionare il successo della funzione produttiva dei popolamenti di una determinata specie legnosa. In aggiunta a quanto sopra è comunque importante un adeguato collegamento tra domanda e offerta, la presenza di un solido e dinamico tessuto imprenditoriale, la garanzia di una continuità temporale degli approvvigionamenti dal punto di vista dei volumi disponibili e della qualità richiesta, conseguibile ad esempio in impianti di grande estensione o in caso di iniziative consortili, senza dimenticare che i prodotti finali, per poter trovare una collocazione sul mercato, devono soddisfare il quadro normativo di riferimento (Zanuttini, 2014).

In questo contesto, dalla fine degli anni '90, varie indagini sperimentali hanno interessato il legname di douglasia reperibile dai popolamenti nazionali, al fine di individuare nuove destinazioni e opportunità di impiego in grado di valorizzare al meglio il materiale che ha raggiunto dimensioni commerciali, compatibilmente con le caratteristiche qualitative che mediamente lo contraddistinguono.

In particolare tali ricerche hanno riguardato la possibilità di ottenere, in contesti industriali appropriati, semilavorati e prodotti che, in aggiunta a quelli già noti, consentissero di ottimizzare l'impiego della risorsa disponibile, soprattutto per quanto riguarda la parte del fusto compresa tra la sua

porzione basale – destinabile alla falegnameria (per arredi e serramenti) e carpenteria – e quella che, per la maggior influenza di difetti, trova sbocchi di più limitato interesse economico (per imballaggi, triturazione o produzione di energia da fonti rinnovabili).

2. IL LEGNO DI DOUGLASIA

Il termine douglasia (o Douglas/abete di Douglas) si riferisce alla specie *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, identificata dal codice PSMN nella norma UNI EN 13556. Originaria del Nord America, la douglasia è stata ampiamente diffusa da più di un secolo in varie zone geografiche dell'Europa centro-meridionale.

Il legno presenta tessitura media ed è differenziato, con alburno biancastro, giallognolo o roseo e durame giallognolo, roseo giallastro o rosso arancio. Le sue caratteristiche variano notevolmente in funzione della provenienza e la sua densità a umidità normale è compresa tra 440 e 600 kg/m³. Allo stato fresco è ricco di resina ed è facilmente soggetto all'azzurramento. Gli anelli di accrescimento sono ben distinti, irregolari e con una transizione tra legno primaticcio e tardivo che nei popolamenti europei è generalmente graduale.

La durabilità naturale del legno di douglasia costituisce uno degli aspetti di maggior valore aggiunto. A tal riguardo, la classificazione dei vari legnami in riferimento al rischio di attacco da parte dei principali agenti di degrado biologico (funghi lignivori, insetti xilofagi e termiti) è riportata nella norma EN 350. Il durame di douglasia, che risulta proporzionalmente importante nei popolamenti maturi, evidenzia una resistenza ai funghi della carie (variabile tra le classi 3 e 5) pari a quella del larice e superiore alla maggior parte delle altre conifere europee, è resistente all'attacco di insetti ma non è facilmente impregnabile.

In base alla suddetta proprietà il materiale legnoso di douglasia può essere messo in opera tal quale, ovvero senza dover prevedere un trattamento preservante con prodotti chimici spesso pericolosi, in situazioni ambientali anche severe. Queste sono in relazione alle classi di utilizzo, definite dalla norma EN 335, a cui sono associati diversi livelli di possibile biodegradamento, in particolare a opera dei funghi basidiomiceti della carie unitamente a una serie di altri fattori di influenza. La porzione di alburno del legno di douglasia ha inoltre la particolarità di essere relativamente poco soggetto alla ripresa di umidità che di regola mantiene un valore inferiore a quello necessario allo sviluppo fungino.

Per quanto riguarda le sue caratteristiche meccaniche, i primi studi effettuati sul legname francese, nella seconda metà degli anni ottanta del secolo scorso, hanno dimostrato che il valore del modulo di elasticità del legno di popolamenti abbastanza giovani (20-35 anni) rimane a livelli elevati (> 12000 MPa) anche nel caso di anelli di accrescimento di ampiezza media intorno a 5-6 mm, ed è in genere maggiore rispetto ad altre conifere come l'abete e il pino silvestre (AA.VV., 2012). Per informazioni di dettaglio sulle prestazioni riferite all'impiego strutturale e ai relativi metodi di classificazione si rimanda allo specifico capitolo.

Le proprietà di resistenza meccanica e durabilità naturale conferiscono quindi al legno di douglasia un ruolo di primo piano in progetti architettonici complessi in cui il materiale deve rispondere a sollecitazioni importanti come in situazioni di esposizione in ambiente esterno e/o soggette a umidità elevata.

Esso risulta comunque particolarmente apprezzato anche per le sue qualità estetiche (colore e venatura) in quanto per il peculiare colore rosa salmone è in grado di soddisfare elevate esigenze decorative e trova interessante impiego nella realizzazione di rivestimenti e arredi di vario tipo.

Il legname di douglasia è disponibile sotto forma di diversi assortimenti e semilavorati in grado di rispondere alle esigenze del mercato e soddisfare i requisiti del quadro normativo previsto dal loro impiego. Oltre all'uso in falegnameria (per infissi, arredi, tranciati) essi sono attualmente destinati al settore strutturale (segati a quattro fili, Uso Fiume e Trieste, tavolame per legno lamellare incollato o pannelli, talvolta in alternativa al larice) e per la produzione di imballaggi.

Solo negli assortimenti meno pregiati la lavorazione può risultare talvolta difficoltosa per la presenza di grossi nodi e tasche di resina. I segati prodotti in Italia sono ricavati da tronchi di provenienza francese o nazionale (dai popolamenti dell'Appennino centro-settentrionale).

3. INDAGINI TECNOLOGICHE

Cercando di coniugare le peculiarità del legno di douglasia alle destinazioni che appaiono meglio in grado di valorizzarle, il settore dei prodotti per l'edilizia è sembrato di particolare interesse. In questo contesto ci si è quindi concentrati, in un primo tempo sulla verifica dell'idoneità alla sfogliatura per la produzione di compensato e, più di recente, sulle metodologie di classificazione dei segati per uso strutturale, che a loro volta possono trovare

impiego tal quali o come elementi base per realizzare prodotti ingegnerizzati riferibili alla tecnologia del legno lamellare, di tipo tradizionale o di nuova concezione.

In entrambi i casi si tratta di prodotti ricavabili dalla lavorazione di assortimenti che nei fusti di miglior qualità sono posizionati superiormente alla loro porzione basale o, in alternativa, che possono derivare da piante di qualità secondaria o da diradamenti, fino alle dimensioni considerate ammissibili che di solito corrispondono a un diametro minimo di testata intorno ai 25 cm.

L'approccio seguito è peraltro in sintonia con l'attuale forte interesse per l'uso del legno e dei suoi derivati nel comparto della moderna edilizia, soprattutto a livello nazionale. Nel Convegno nazionale di Federlegno-Arredo svoltosi a Sirmione nel novembre 2015, che aveva come titolo "Il futuro del legno è oggi", è stata infatti presentata un'analisi economica del settore secondo la quale, in un contesto di forte crisi che perdura dal 2008 con gravi ripercussioni su ancora molte aziende, l'edilizia in legno è l'unico segmento che in Italia evidenzia un trend positivo da ormai svariati anni, con fatturati in consistente e continuo aumento. Tra il 2006 e il 2010 il numero di abitazioni in legno è ad esempio quintuplicato, passando da poco più di mille a cinquemila, e nel 2015 hanno sfiorato le ottomila unità, al netto delle costruzioni post terremoto realizzate in Abruzzo (www.gardino.com).

3.1 *La sfogliatura e il compensato*

Le sperimentazioni sulla sfogliatura della douglasia trovano spunto dalle ricerche svolte in passato nel massiccio forestale dell'Aquitania e delle Lande francesi, ove è stato possibile valorizzare la locale disponibilità di pino marittimo attraverso una diversificazione degli assortimenti ricavabili che ha interessato anche il suddetto comparto industriale individuando una collocazione complementare alla produzione di legno massiccio e derivati.

La sfogliatura per la produzione di compensato è una tipologia di prima lavorazione che consente di trasformare una porzione di tronco (detta "toppo"), di vario diametro (da circa 20 cm a più di 1 m) e lunghezza tra 130 e 320 cm, in fogli di ampia superficie e di spessore solitamente compreso tra 1 e 5 mm. Essa prevede un taglio in modalità 0°- 90°, ove il primo valore si riferisce all'angolo tra il filo del tagliente e la fibratura del legno e il secondo tra la direzione di taglio e la fibratura (Thibaut, 1988).

La sfogliatura consente rese elevate in quanto non comporta asportazione di truciolo (che anzi costituisce il prodotto finale) e, in funzione del

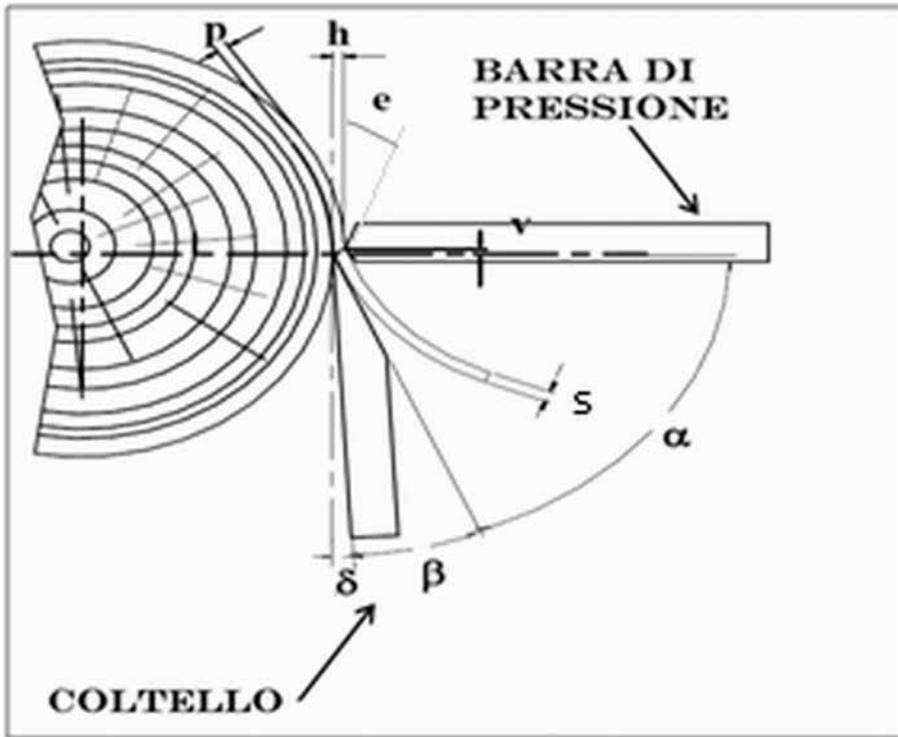


Fig. 2 Elementi caratteristici della sfogliatura. Legenda: δ angolo di spoglia della lama; β angolo di becco della lama; α angolo di attacco della lama; e angolo di entrata della barra; h pressione della barra (quota orizzontale); v avanzamento della barra rispetto alla lama (quota verticale); p passo di sfogliatura; s spessore dello sfogliato

diametro del toppe, il volume dei fogli ottenuti è compreso tra il 40 e il 60% di quello di partenza, ovvero con risultati paragonabili alla segazione.

La lavorazione avviene preferibilmente sul legname fresco (a umidità elevata), eventualmente vaporizzato. Tramite l'azione di un motore, si tratta in pratica di far ruotare un toppe, imperniato ad appositi mandrini con estremità munite di griffe di afferraggio, su un asse longitudinale passante per i centri geometrici delle sue due testate, mentre alla sua periferia agisce un sistema di taglio, formato da una lama e una barra di pressione lunghi almeno quanto il toppe stesso. Contestualmente alla rotazione del toppe, il sistema di taglio si sposta con movimento sincronizzato in direzione radiale, così che il tagliente segua un piano orizzontale passante per l'asse dei mandrini, ottenendo un nastro di sfogliato continuo.

I principali parametri di regolazione del processo (fig. 2) sono il passo **p**, l'angolo di spoglia della lama e l'angolo di entrata della barra di pressione **e**. Inoltre è possibile scegliere diverse forme della lama e barra di pressione (Zanuttini e Brunetti, 2002).

L'angolo di becco o di affilatura della lama, generalmente, ha un'ampiezza di 20° con variazioni di $\pm 2^\circ$. La barra di pressione, in acciaio duro, trattato termicamente, è montata parallelamente al bordo della lama, deve presentare un leggero smusso ed essere regolabile – in senso orizzontale e verticale – in modo da comprimere il legno immediatamente prima che inizi il taglio. Tale azione favorisce l'insorgere del flesso grazie al quale il foglio può mutare di concavità ed essere facilmente disteso sul piano di appoggio. Quando invece la barra non esercita correttamente il suo doppio ruolo di compressione e limitazione del passo, lo sfogliato presenta difetti superficiali e appare ruvido, fessurato e di spessore irregolare.

La sfogliatura ha termine quando la lama giunge in prossimità dei mandrini o qualora si verifichi uno scadimento qualitativo del legno tale da pregiudicare lo sfogliato utilizzabile. Il tondello residuo (cilindro legnoso centrale del toppe) viene scartato e indirizzato ad altre industrie di trasformazione (in genere alla produzione di pannelli di particelle o di listelli da imballaggio) o recuperato come combustibile.

Passando al compensato, si tratta di un pannello formato dalla sovrapposizione di strati di sfogliato (solitamente dispari) con la fibratura del legno ad angolo retto, resi solidali tra loro mediante incollaggio. Tale composizione rende omogenea la resistenza nel piano del pannello alle principali sollecitazioni meccaniche, riduce le fessurazioni e spaccature e, soprattutto, minimizza gli effetti delle variazioni dimensionali e le deformazioni legate all'anisotropia dei ritiri e rigonfiamenti del legno. Il compensato viene classificato in base alla specie usata per comporre le facce e gli strati esterni, all'aspetto superficiale (legato alla qualità dello sfogliato), all'idoneità all'uso in uno specifico ambiente di esposizione (determinato dal tipo di incollaggio) e prevede diversi livelli prestazionali dichiarati dal produttore. Solitamente presenta un formato rettangolare con la fibratura degli strati esterni orientata nella dimensione principale del pannello.

Le specie legnose usate possono essere diverse e in genere sono legate alla disponibilità delle risorse forestali nei vari contesti geografici. In Italia si usa quasi esclusivamente il pioppo ma in altri Paesi è prodotto con betulla, faggio, eucalipto e varie latifoglie tropicali. A livello mondiale prevale comunque il compensato di conifere che trova soprattutto impiego in edilizia con funzioni portanti, di tamponamento e rivestimento. La douglasia, ad esempio,

è tradizionalmente usata a questo scopo in nord America. La scelta del legno influenza le destinazioni finali che, in relazione alle caratteristiche del pannello, ove a seconda dei casi possono prevalere gli aspetti decorativi, strutturali o funzionali, spaziano dall'arredamento, alla nautica, al settore dei trasporti, dell'edilizia e degli imballaggi.

Nel caso della douglasia l'obiettivo prioritario è stato quello di superare alcune criticità legate alle differenze di umidità tra alborno e durame nonché di densità tra la porzione primaticcia e tardiva nell'ambito di ciascun anello di accrescimento, che durante il processo possono causare variazioni di spessore e irregolarità di superficie dei fogli ottenuti (Hecker, 1995; Deces-Petit, 1996). La ridotta umidità della porzione di durame determina ad esempio una mediocre qualità dei semilavorati ottenibili anche nella lavorazione dei topi allo stato fresco (Tilmant-Tatischeff et al., 1996; Marchal et al., 1999). Tale fenomeno, piuttosto comune a molte conifere ma in genere meno marcato rispetto al caso in esame, impone un intervento di vaporizzazione finalizzato alla re-umidificazione del durame.

Per la douglasia tale trattamento è apparso indispensabile anche per la presenza di una particolare nodosità del materiale usato. A causa della nota resistenza all'impregnazione della specie, determinata dalle sue piccole punteggiature areolate di tipo piceoide e dalla loro aspirazione nella duramificazione, alcune prove preliminari hanno evidenziato l'impossibilità di aumentarne l'umidità con le tecniche di vaporizzazione adottate a scala industriale, per cui con tale trattamento si è potuto intervenire sulla sola temperatura del legno, portandola ai valori adeguati per ottimizzare il processo di lavorazione.

Le prove di sfogliatura hanno interessato circa 28 metri cubi, ovvero 150 topi di lunghezza 132 e 178 cm, provenienti da tre diversi diradamenti in popolamenti di proprietà privata dell'Appennino tosco-romagnolo. Le piante di origine avevano età compresa tra 30 e 35 anni e diametro medio di 37 cm a 1,30 m; il legname lavorato non è stato inoltre ricavato dalla base del fusto ma da una porzione superiore, a partire da 3 metri.

La sperimentazione industriale (fig. 3) è servita a valutare le modalità di vaporizzazione più adeguate in termini di temperatura e durata, confrontando il trattamento a vapore con quello in acqua calda, soprattutto al fine di contenere gli effetti del recupero termo-igrometrico delle tensioni interne dovute ai processi di maturazione cellulare che sono in equilibrio negli alberi in piedi ma che, a seguito dell'abbattimento e del riscaldamento del legno, possono determinare lo sviluppo di fessurazioni di testata a carico dei topi depezzati.



Fig. 3 Fasi del processo di sfogliatura dei topi di douglasia

Le prove svolte hanno confermato una notevole differenza di umidità tra la porzione periferica ($U_{\text{media}} > 129\%$) e quella centrale (U_{media} intorno a 30-35%) dei topi, alle quali corrisponde una massa volumica fresca rispettivamente pari a 0,959 e 0,530 g/cm³. È stata invece rilevata una maggiore omogeneità nei valori medi di densità basale tra la porzione di alborno e di durame (0,409 contro 0,386 g/cm³). Con entrambi i trattamenti di vaporizzazione l'umidità delle due porzioni di legno è rimasta comunque pressoché invariata rispetto ai valori iniziali.

Per quanto riguarda l'evoluzione delle fessurazioni di testata indotte dai trattamenti esaminati, quello in celle con vapore saturo ha determinato un maggior sviluppo di cretti rispetto a quello in cui i topi sono stati inseriti in vasche poi riempite di acqua calda (fig. 4). In entrambi i casi l'incremento è comunque risultato contenuto (tra 10 e 50 mm) e il difetto ha interessato quasi sempre il solo tondello residuo.

Il trattamento a vapore ha tuttavia consentito di raggiungere la temperatura del legno utile per una buona sfogliatura in un tempo inferiore a quello richiesto dalla vaporizzazione in acqua calda ed è risultato di più facile realizzazione

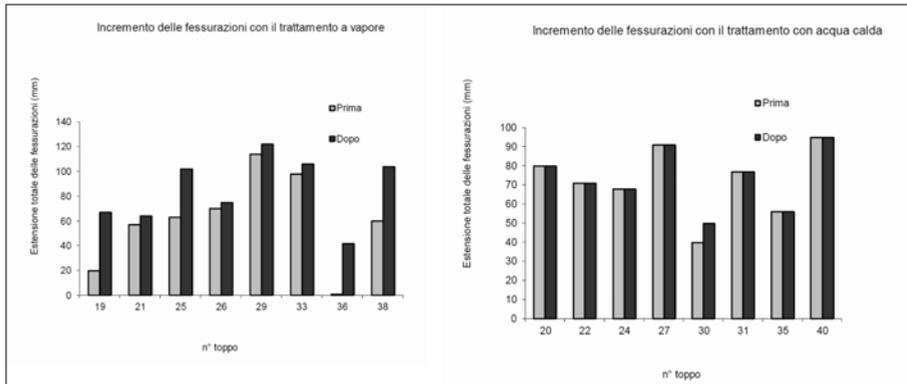


Fig. 4 Incremento delle fessurazioni di testata registrato su un campione di topi a seguito del trattamento con acqua calda (a 55 °C) e vapore (a 60 °C). Le variazioni sono espresse come sommatoria della lunghezza dei cretti misurati a partire dal midollo

in un contesto industriale. Questa modalità ha inoltre determinato una più rapida e omogenea distribuzione della temperatura all'interno del topo che, alla superficie del tondello residuo, è risultata di soli 10-15 gradi inferiore a quella del trattamento anche quando la lavorazione è stata effettuata dopo diverse ore.

Relativamente all'influenza dei due trattamenti sulla qualità degli sfogliati ottenuti è da segnalare una minor rugosità superficiale per i fogli derivanti dai topi trattati con vapore. Tale effetto è attribuibile alla temperatura più elevata raggiunta da questi ultimi che ha determinato migliori condizioni di taglio.

La temperatura di 95 °C è stata ritenuta la massima a cui eseguire il trattamento nella forma proposta, in quanto per alcuni topi vaporizzati che avevano superato tale soglia è stato registrato un principio di slittamento dei mandrini.

Gli aspetti teorici della sfogliatura della douglasia sono stati affrontati da alcuni ricercatori francesi dell'Università di Montpellier e dell'ENSAM di Cluny in relazione anche alla disponibilità di una piattaforma tecnologica in grado di simulare la lavorazione su rotelle e topi di piccole dimensioni (Mothe et al., 1997; Negri et al., 1997). L'obiettivo era di sviluppare sensori sofisticati e multistrumentati per attuare un controllo adattativo del processo in funzione dei parametri rilevati. La successiva collaborazione con il comparto di prima trasformazione ha consentito di validare i risultati sperimentali ottenuti dalla sfogliatura in laboratorio e di individuare le regolazioni migliori in termini di contenimento degli sforzi di taglio e di qualità dello sfogliato prodotto. In quest'ottica è stato possibile gestire la variazione dell'angolo di spoglia secondo un andamento non lineare in quanto i moderni impianti in-

Temperatura di vaporizzazione	70-95° C
Durata del trattamento (tempo minimo)	48 h
Velocità lineare di uscita dello sfogliato	90 m/min.
Angolo di becco della lama (β)	20°
Angolo di attacco della lama (α)	70°
Variazione dell'angolo di spoglia (δ)	da 1 a 0,3° (con andamento iperbolico)
Quota orizzontale h (mm)	1,8
Quota verticale v (mm)	0,8

Tab. 1 *Parametri di lavorazione ritenuti ottimali per il processo in esame*

dustriali sono dotati di sistemi di regolazione automatizzati e programmabili in funzione delle diverse specie legnose (Zanuttini et al., 1999).

Parimenti, il ricorso a una sfogliatrice caratterizzata dal caricamento a controllo elettronico e da un sistema di rotazione del toppe a tripli mandrini telescopici, che genera condizioni di maggior rigidità e consente di produrre un tondello residuo di diametro intorno a 8-10 cm, ha contribuito a ottimizzare le rese di lavorazione.

A titolo di esempio, i parametri di lavorazione giudicati più idonei per la produzione di sfogliato di douglasia dello spessore di 2 mm sono riportati in tabella 1.

Anche a causa della limitata lunghezza del materiale usato e della conseguente ridotta rastremazione, la resa media in sfogliato umido è risultata intorno al 60% del volume dei toppe scortecciati (fig. 5), mentre la percentuale di liste (fogli di larghezza inferiore da riportare al formato voluto mediante opportuna giunzione laterale) è risultata variare in funzione della presenza di difetti.

Le verifiche eseguite sullo spessore dello sfogliato dopo essiccazione hanno evidenziato una maggior variazione per quello derivante dalla porzione di durame che è apparsa comunque contenuta intorno a 0,1 mm rispetto al valore nominale; il ritiro radiale è risultato omogeneo e mediamente pari a circa 5%, con una leggera tendenza a un maggior ritiro sempre nel caso del durame.

Il compensato ottenuto è stato infine caratterizzato dal punto di vista tecnologico rilevando un buon aspetto superficiale, adeguata qualità di incollaggio e prestazioni meccaniche tali da renderlo idoneo all'impiego anche come materiale strutturale in vari ambiti dell'edilizia (tab. 2).

3.2 *Gli impieghi strutturali e la classificazione dei segati secondo la resistenza*

L'impiego del legno in edilizia, con funzione strutturale, ha registrato negli ultimi 10-15 anni un forte incremento in tutta Europa, compreso il nostro Pae-

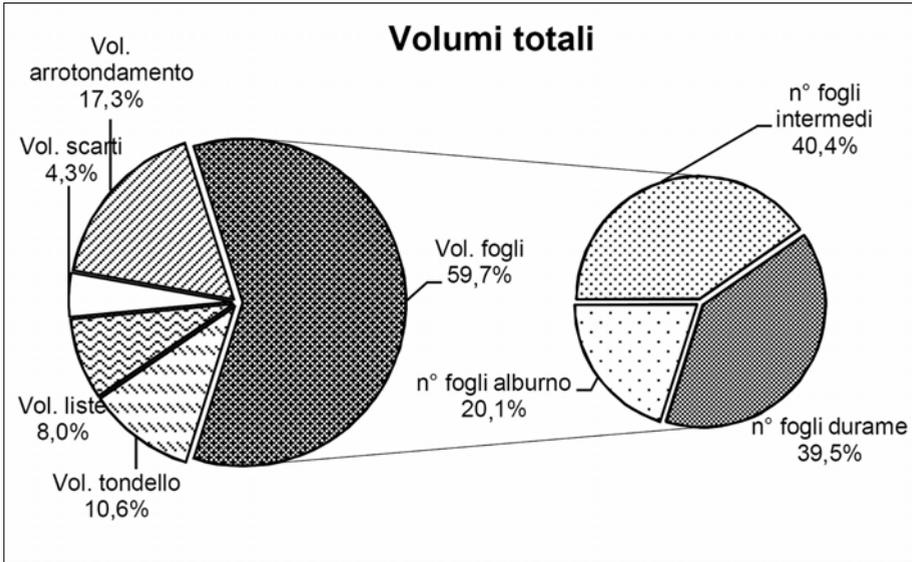


Fig. 5 *Rese e perdite di lavorazione registrate per i topi sottoposti alla prova di sfogliatura (valori cumulati per lo spessore dei fogli di 2 e 3 mm) previo trattamento in celle con vapore saturo alla temperatura di 70-95 °C per 48 h*

PROPRIETÀ	NORMA DI RIFERIMENTO	UNITÀ DI MISURA	VALORE MEDIO	SCARTO TIPO
Resistenza a flessione long.	EN 310	N/mm ²	63,1	7,4
Resistenza a flessione trasv.	EN 310	N/mm ²	36,2	12,8
Modulo di elasticità long.	EN 310	N/mm ²	6665	687
Modulo di elasticità trasv.	EN 310	N/mm ²	2739	1198
Massa volumica	EN 323	kg/m ³	686	44,2
Qualità dell'in-collaggio	EN 314-2	classe	3	

Tab. 2 *Valori prestazionali medi del compensato di douglasia realizzato nel corso della sperimentazione. I pannelli (16 mm a 7 strati composti con sfogliato di spessore 2,4 mm) sono stati incollati con adesivo MUF (melamina-urea-formaldeide) in un impianto industriale a 105° C per 12 min. e 10 kg/cm² di pressione*

se. In parallelo a questo vero e proprio rinnovato interesse, che ha riguardato sia l'edilizia privata che quella pubblica, si è verificato un radicale mutamento del quadro normativo nazionale ed europeo che ha richiesto un consistente sforzo da parte di tutti gli addetti ai lavori per adeguare il livello tecnico delle conoscenze (caratterizzazione dei prodotti, metodologie di progettazione e

verifica delle costruzioni), delle tecniche di lavorazione (trasformazione del legno tondo, qualificazione del materiale, realizzazione di prodotti ingegnerizzati) e della normativa (conformità dei prodotti alle norme armonizzate, obbligo di marcatura CE, garanzia di requisiti prestazionali).

Questo percorso, al momento non ancora concluso, ha di fatto conferito pari dignità al legno rispetto agli altri materiali da costruzione: oggi un elemento di legno strutturale è qualificato tramite l'attribuzione di requisiti prestazionali così come avviene per un elemento di acciaio, calcestruzzo, cemento armato.

Il presupposto per questa qualificazione è la messa a punto di sistemi efficienti per la classificazione secondo la resistenza, a vista o a macchina, che devono adattarsi alla risorsa da utilizzare: in questo senso, l'introduzione sul mercato di un nuovo tipo di legname (come ad esempio è accaduto per la douglasia prodotta in Italia) richiede preliminarmente una fase sperimentale di prove di laboratorio finalizzate a validare le procedure per una corretta qualificazione.

I passi iniziali in questa direzione sono stati compiuti dall'Università di Firenze, nell'ambito del progetto "Valutazione qualitativa e valorizzazione per usi strutturali del legname di castagno e douglasia prodotto in Toscana" supportato da ARSIA (1995-98), in cui sono state definite le prime regole di classificazione a vista della douglasia toscana e sono stati derivati i primi valori caratteristici per la specie (Nocentini et al., 1999); valori che sono poi confluiti nella norma nazionale UNI 11035 "Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica" e in particolare nella regola "Conifere 2".

Successivamente il CNR-IVALSA, attraverso due progetti finanziati rispettivamente dall'Istituto Nazionale per la Montagna e Provincia Autonoma di Trento (2005-2006) e dal GAL Start (PSR 2007-2013), ha ampliato la base sperimentale con ulteriori campionamenti e ha messo a punto i settaggi per la classificazione a macchina della douglasia, introducendo quindi nuove opportunità per l'impiego strutturale (Brunetti et al., 2015a). Con la classificazione a macchina infatti, grazie a una maggiore efficienza nella misurazione delle proprietà meccaniche del materiale, si possono ottenere migliori rese di classificazione, adattando il metodo di selezione alla qualità del legname disponibile.

In figura 6 è riportato un confronto tra la classificazione a vista (norma UNI 11035) e quella a macchina (ViSCAN-Portable), per il legname di douglasia toscana: come si può osservare, la percentuale di elementi che deve essere scartata (R), perché non idonea per impieghi strutturali, nel caso della classificazione a

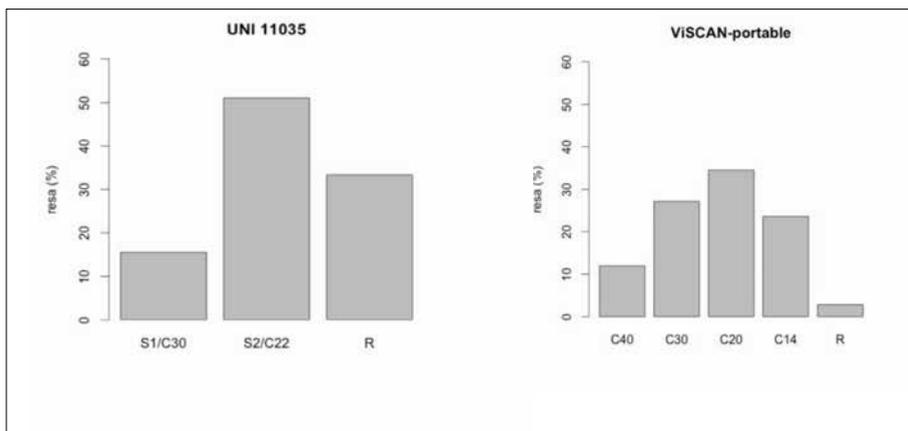


Fig. 6 Confronto tra rese di classificazione a vista (sx) e a macchina (dx) di più di 1000 segati di douglasia toscana

macchina si riduce drasticamente rispetto a quella a vista. Questo risultato è possibile perché la macchina misura direttamente una proprietà meccanica del legno, il suo modulo di elasticità dinamico, ben correlata con la sua resistenza (Brunetti et al., 2014). L'altro aspetto che emerge chiaramente utilizzando una macchina classificatrice è la possibilità di assegnare il legname a classi di resistenza più elevate: le classi migliori C40/C35 oppure quelle intermedie (C20 ad esempio) non sarebbero ottenibili attraverso la sola classificazione a vista (Brunetti et al., 2015b). Ciò consente un uso più efficiente della risorsa legno e una sua possibile valorizzazione in elementi incollati ricomposti: in questo tipo di prodotti, l'utilizzo del legno può essere ottimizzato proprio grazie alla migliore conoscenza della sua qualità strutturale.

I risultati delle indagini svolte hanno evidenziato anche la variabilità delle proprietà meccaniche degli assortimenti legnosi di douglasia toscana. Confrontando infatti i valori di massa volumica, resistenza a flessione e indice di nodosità di 6 aree di prelievo del legname (fig. 7), si osservano differenze significative che potrebbero essere attribuibili a vari fattori: età dei popolamenti, condizioni stazionali, caratteristiche genetiche del materiale di impianto.

Questi fattori, unitamente alle modalità di lavorazione adottate e in particolare alle tipologie di assortimenti legnosi che sono stati ottenuti, condizionano la qualità strutturale del legname, per quanto l'areale geografico di riferimento sia relativamente ristretto. I dati ottenuti suggeriscono pertanto un approfondimento degli aspetti "gestionali" (in senso lato) della coltivazione della douglasia, con la possibilità di migliorare ulteriormente la qualità del

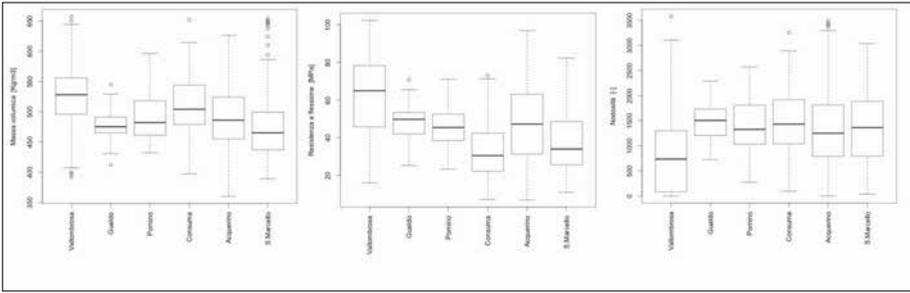


Fig. 7 Variabilità della massa volumica, resistenza a flessione, indice di nodosità per il legname di douglasia di diverse provenienze toscane

legname prodotto anche attraverso opportune scelte di impianto e di gestione selvicolturale.

La possibilità di classificare il legname a vista o a macchina e la conseguente valorizzazione del materiale, di fatto, ha aperto nuovi sbocchi commerciali per il legname di douglasia rendendo possibile, oltre al legno massiccio, anche l'impiego in edilizia di prodotti incollati come travi lamellari o pannelli di tavole. Tali destinazioni finali, che non erano chiaramente ipotizzabili al momento in cui sono state realizzate le prime piantagioni della specie, si stanno rivelando un'ottima opportunità anche per i proprietari boschivi.

È necessario peraltro sottolineare che, parallelamente alle indagini sulle caratteristiche della materia prima, non sono mancate le esperienze di impiego strutturale del legname di douglasia nel settore delle costruzioni. In particolare si segnalano quattro casi di studio, tutti localizzati a Firenze e dintorni.

1) La copertura del deposito per cippato all'interno del Centro Polifunzionale di Rincine (FI) dell'Unione dei Comuni Valdarno e Valdisieve (2015): tutti gli elementi di legno massiccio, utilizzati per realizzare le capriate e il tavolame della copertura, sono stati classificati a macchina previo un confronto con i progettisti che ha permesso di dimensionare correttamente gli elementi portanti della struttura sulla base delle classi di resistenza ottenibili;

2) Lo *Show Wood* dell'Associazione Foresta Modello delle Montagne Fiorentine ubicato a Rufina (FI) (2014): realizzato nell'ambito del progetto "DEMOSCOPE" con il contributo del GAL Start (PSR 2007-2013), è stato costruito con legname prodotto all'interno del territorio della stessa Foresta Modello (pannelli X-lam e legno massiccio); si tratta di una struttura modulare destinata a ospitare le attività dell'Associazione e a promuovere i prodotti del territorio, in particolare quelli a marchio "Legno della Foresta Modello";

3) La struttura della Ludoteca nell'area ex Longinotti a Firenze, realizzata per conto di CASA Spa (2011): in questo caso per realizzare le strutture

portanti (pareti, solai, scale e vano ascensore compreso) sono stati utilizzati pannelli di tavole incrociate (CLT o X-lam) con elementi classificati a vista, ricorrendo a una tecnica costruttiva sempre più diffusa nell'ambito dell'edilizia (anche multipiano);

4) La struttura e il rivestimento del centro sociale di Rignano sull'Arno (2008): qui il legname di douglasia è stato impiegato sia come massiccio, lamellare incollato, pannelli di tavole incrociate con elementi classificati a vista, nonché per il rivestimento della facciate esterne. Da notare che in questo edificio è presente una cupola a nervature di tavole non incollate ma assemblate con unioni meccaniche, progettata dal prof. J. Natterer.

Queste esperienze hanno evidenziato la possibilità di attivare nuove realtà imprenditoriali locali che hanno la peculiarità di basare i loro processi produttivi sull'impiego della douglasia; è con questo obiettivo infatti che, grazie a un progetto POR CReO (FESR 2007-2013) della Regione Toscana, si è costituito il Consorzio CALET che raccoglie aziende intenzionate a "promuovere e stimolare la filiera del legno toscano utilizzando nelle sue produzioni legname di douglasia...".

4. PROSPETTIVE

Il legname di douglasia sta trovando un buon riscontro sul mercato locale e nazionale grazie a un'ampia possibilità d'impiego sia nel settore delle costruzioni che in quello non strutturale. Allo stato attuale rimangono sicuramente alcune limitazioni nella filiera, ma indubbiamente si intravedono buone opportunità, nonostante l'attuale congiuntura economica negativa.

In Italia la produzione di compensato di douglasia può registrare difficoltà di diffusione per la quasi totale assenza di aziende specializzate nella sfogliatura del legno di conifere, per gli elevati investimenti richiesti in macchinari e l'ancor limitato impiego del prodotto in edilizia. Esso tuttavia ha potenzialmente un notevole interesse per l'uso in mercati di nicchia ove è possibile soddisfare esigenze specifiche e competere con la concorrenza globale dei prodotti di importazione. Analoghe considerazioni si applicano anche ad altri materiali a base di sfogliato, come ad esempio l'LVL, che rispetto al compensato è composto da fogli con la fibratura del legno disposta parallelamente nei diversi strati; tale prodotto consentirebbe di ottenere elementi strutturali ricavabili da pannelli di grandi dimensioni partendo da tronchi di lunghezza e diametro limitati ma la sua produzione richiede un impianto di composizione e pressatura "in continuo" con il quale sia possibile assicurare



Fig. 8 Esempi di pannello Cross-Lam. Lo stesso è anche noto con le seguenti denominazioni: X-Lam, pannello lamellare a strati incrociati, legno massiccio (multiestrato) a tavole incrociate, compensato di segati

un idoneo collegamento longitudinale tramite l'incollaggio di fogli contigui opportunamente sfalsati.

Diverse sono invece le opportunità di valorizzazione dei segati di douglasia che, se classificati secondo la loro resistenza meccanica, possono concorrere alla produzione di moderni elementi strutturali di grande attualità in svariate applicazioni dell'edilizia.

Tra questi il più diffuso è il pannello X-Lam (nella dizione inglese di *Cross Laminated Timber* - CLT) ovvero un pannello di legno massiccio (fig. 8) che coniuga la tecnologia del lamellare all'evoluzione del compensato, in quanto è formato dalla sovrapposizione e incollaggio con opportuni adesivi strutturali di un numero dispari di strati (da 3 a 7) di segati essiccati disposti ortogonalmente tra loro a formare elementi rigidi, resistenti, dimensionalmente stabili e con buone prestazioni termo-acustiche (Zanuttini, 2010).

In Italia il prodotto è stato studiato in dettaglio per la prima volta circa dieci anni fa nell'ambito del progetto SOFIE (Sistema Costruttivo Fiemme), svolto in collaborazione tra il CNR-Ivalsa e la Provincia Autonoma di Trento, per la valorizzazione del legno di abete rosso, evidenziando un ottimo comportamento nei confronti del rischio sismico e del fuoco. A

seguito di tali sperimentazioni iniziali sono stati realizzati altri progetti di ricerca che hanno interessato diversi ambiti territoriali e risorse legnose locali tra cui anche la douglasia in Toscana (Brunetti et al., 2009; Zanuttini, 2012).

L'introduzione di strati incrociati nella produzione del legno lamellare consente infatti di migliorare le prestazioni del materiale ottenuto distribuendo le sue capacità portanti nel piano del pannello invece che concentrarle in un'unica direzione preferenziale come avviene per gli elementi strutturali lineari. Ne derivano pannelli di grandi dimensioni e spessori (di formato fino a 3x24 m e spessore tra 80 e 300 mm) dai quali, attraverso centri di lavorazione a controllo numerico, si ottengono manufatti prefabbricati idonei a ridurre i tempi di posa in cantiere e a essere usati nella configurazione a lastra o piastra per l'allestimento di pareti, solai, coperture e altri componenti strutturali e non (come ad esempio partizioni, scale, balconi). Essi trovano spazio ideale nelle costruzioni multipiano e nelle opere di ingegneria civile (ponti ecc..) ma soprattutto hanno consentito lo sviluppo di uno dei moderni sistemi costruttivi per edifici nell'ambito di un'edilizia sostenibile a elevata efficienza energetica che – utilizzando prodotti strutturali a base di legno – contribuisce alla riduzione delle emissioni di carbonio e ne consente lo stoccaggio a lungo termine.

Rispetto al compensato, le prospettive di impiego di pannelli CLT di douglasia prefabbricati e dotati di aperture per l'inserimento di serramenti e infissi sono subito apparse più concrete nonché in grado di coinvolgere vari soggetti economici che operano nell'ambito della filiera foresta-legno-edilizia regionale, come dimostrano alcune opere già realizzate. Prerequisito per la fabbricazione di tale prodotto è comunque la classificazione strutturale dei segati in base alla loro resistenza meccanica. In questo contesto il ricorso alla classificazione a macchina permette un uso più efficiente della materia prima, migliorando le rese di produzione con la possibilità di sfruttare meglio le caratteristiche meccaniche del materiale. Il maggior costo di investimento iniziale legato all'introduzione di questa tecnologia è in parte bilanciato dalla disponibilità di attrezzature portatili che potrebbero essere condivise da più imprese, anche attraverso un servizio "conto-terzi".

In conclusione, l'attività svolta ha consentito di trasferire agli imprenditori del settore una serie di conoscenze tecnico-normative e di strumenti utili per valorizzare una risorsa legnosa che si sta sempre più rivelando di significativo interesse per il contesto territoriale locale, nazionale e, considerata la grande disponibilità della vicina Francia (Riou-Nivert e Marechal, 2015), anche europeo.

RIASSUNTO

In relazione alle caratteristiche del legno di douglasia, l'articolo descrive alcuni contributi di ricerca finalizzati a individuare nuove destinazioni di impiego degli assortimenti ritraibili dai popolamenti nazionali della specie, in grado di soddisfare il rinnovato interesse per il legno nel settore dell'edilizia e i requisiti del nuovo quadro legislativo e normativo di riferimento. In particolare vengono riferiti i risultati di prove sull'idoneità e le potenzialità di questo legname alla trasformazione industriale in pannelli a base di sfogliato (compensato e LVL-Laminated Veneer Lumber) e in moderni prodotti ingegnerizzati destinati a un uso strutturale (Cross-Lam, Glulam). Il primo ambito di indagine è consistito nella verifica dei principali parametri del processo di sfogliatura ritenuti idonei al caso in esame mentre per il secondo si è trattato in primo luogo di definire le modalità di attribuzione alle classi di resistenza dei segati per uso strutturale (con metodi a vista e a macchina) in ottemperanza alle recenti prescrizioni normative. Vengono inoltre riportati alcuni esempi di utilizzazione del legname di douglasia nel settore dell'edilizia in legno.

ABSTRACT

Considering the technological properties of the Douglas fir wood, the article describes some research contributions aimed to identify new destinations of the assortments obtainable from the national forest stands of the species, in order to meet the recent demand for wood materials of the construction sector and the new regulatory requirements. In particular, it analyzes the attitude and potential of this timber for the industrial manufacturing of veneered-based products (plywood or LVL-Laminated Veneer Lumber) and modern engineered materials intended for structural use (Cross-Lam, Glue-lam). The first area of investigation consisted in the study of some parameters of the peeling process considered suitable for the case, while the second one concerned the attribution of the strength classes and related performance profiles to sawn timber for structural use (by visual and machine methods) according with the current standardization framework.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2012): *Le Douglas, un choix naturel pour la construction*, Documento tecnico informativo a cura dell'Associazione «France Douglas» (www.france-douglas.com), Safran, Limoges (F), pp. 26.
- BRUNETTI M., FIORAVANTI M., UZIELLI L., ZANUTTINI R. (2009): *Attualità e prospettive dei moderni impieghi dei prodotti legnosi della selvicoltura italiana*, Atti del "Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura per il miglioramento e la conservazione dei boschi italiani", 16-19 ottobre 2008, Taormina, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 737-741.
- BRUNETTI M., BACHER M., BERTI S., BURATO P., NOCETTI M. (2014): *Classificazione a macchina per impieghi strutturali: nuove opportunità per il legno italiano massiccio*

- incollato*, Proceedings of the second international congress of silviculture, Florence, November 26th-29th 2014.
- BRUNETTI M., NOCETTI M., BACHER M., BERTI S., BURATO P. (2015): *Classificazione a macchina del legname strutturale italiano. I risultati del progetto A.Pro.Fo.Mo*, «Sherwood», n. 208, Gennaio-Febbraio, pp. 9-12.
- BRUNETTI M., NOCETTI M., BERTI S., BURATO P. (2015): *Classificazione a macchina del legname strutturale italiano. Combinazioni di classi e rese*, «Sherwood», n. 210, pp. 11-14.
- DECES-PETIT C. (1996): *Etude des phases transitoires au cours du déroulage de bois*, Tesi di dottorato discussa presso l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Cluny (ENSAM), Francia, pp. 120.
- HECKER M. (1995): *Peeled veneer from Douglas fir. Influence of round wood storage, cooking and peeling temperature on surface roughness*, Proceedings of the "12th International Wood Machining Seminar", October 2-4 1995, Kyoto, Japan, pp. 92-101.
- MARCHAL R., MOTHE F., TILMANT-TATISCHEFF W. (1999): *Sécheresse à coeur du Douglas et aptitude au déroulage: recherche de procédés alternatifs d'étuvage. I - Répartition de l'eau dans le bois vert et réhumidification sous autoclave*, «Annals of Forest Science», 57 (3), pp. 219-228.
- MOTHE F., THIBAUT B., MARCHAL R., NEGRI M. (1997): *Rotary Cutting Simulation of Heterogeneous Wood: Application to Douglas Fir Peeling*, Proceedings of the "13th International Wood Machining Seminar", Vancouver, Canada, pp. 411-428.
- NEGRI M., MARCHAL R., MOTHE F. (1997): *Analysis of the European Douglas fir rotary cutting: lathe setting and steaming process*, Proceedings of the "13th International Wood Machining Seminar", Vancouver, Canada, pp. 561-572.
- NOCENTINI G., BONAMINI G., FIORAVANTI M., TOGNI M., UZIELLI L. (1999): *Il legno di Castagno e di Douglasia della Toscana*, ARSIA Azienda Regionale per lo Sviluppo e l'innovazione nel Settore Agricolo-forestale, Firenze, Quaderno 9, pp. 62.
- RIOU-NIVERT P., MARÉCHAL N. (a cura di) (2015): *A quel diamètre récolter les résineux : bois moyen ou gros bois ?*, «Foret-entreprise», 224, pp. 22-59.
- TILMANT-TATISCHEFF W., MARCHAL R., MOTHE F. (1996): *Réhumidification du bois de Douglas en vue de son déroulage*, Proceedings of the "IV Conference Sciences et Industries du Bois", Nancy, France, pp. 115-122.
- THIBAUT B. (1988): *Le processus de coupe du bois par déroulage*, Dissertation on Sciences, University of Sciences and Techniques of Montpellier, France, pp. 354.
- ZANUTTINI R. (2010): *Prodotti a base di legno. Tradizione e nuove tecnologie*, «Atti e Rassegna Tecnica - Società degli Ingegneri e Architetti in Torino», pp. 194-204.
- ZANUTTINI R. (2012): *Legno locale futuro protagonista? Alcune riflessioni dagli Stati Generali del legno*, «Sherwood. Foreste ed alberi oggi», 180, pp. 41-45.
- ZANUTTINI R. (a cura di) (2014): *Il legno massiccio: materiale per un'edilizia sostenibile*, Assolegno di Federlegno-Arredo, Milano e Compagnia delle Foreste, Arezzo, pp. 188-190.
- ZANUTTINI R., BRUNETTI M. (2002): *Paulownia tomentosa. Prove di sfogliatura e caratterizzazione dei pannelli prodotti con legno coltivato in Italia*, «Sherwood. Foreste ed alberi oggi», 76, pp. 33-37.
- ZANUTTINI R., MACCHIONI N., FIORAVANTI M. (1999): *Rotary Cutting of Italian Douglas Fir: Validation of the Process at Industrial Level*, Eurowood Technical Workshop Proceedings "Industrial end-uses of fast-grown species", a cura di ITL e IRL-CNR, Firenze, pp. 69-80.