

# Qualità delle superfici lavorate del legno di Abete rosso e di Douglasia valutata con una opportuna classificazione visuale<sup>1</sup>

M. Negri<sup>2</sup>, G. Goli<sup>3</sup>

## 1 INTRODUZIONE

Nelle lavorazioni delle superfici con utensile rotante (pialla a filo, pialla a spessore, toupie) si possono verificare alcuni difetti di lavorazione. Questi difetti si evidenziano in particolar modo su legno di alcune conifere ove esista una forte differenza di massa volumica all'interno di uno stesso anello di accrescimento. Tale differenza è funzione del periodo di accrescimento dell'anello. Infatti la parte di anello primaticcio è caratterizzato da bassa massa volumica in ragione della grande dimensione degli elementi vascolari che si formano alla ripresa della stagione vegetativa. Per contro la parte di anello tardivo è caratterizzato da massa volumica elevata in ragione della scarsa porosità tipica dell'accrescimento alla fine della stagione vegetativa.

I difetti di lavorazione si manifestano in particolar modo nelle zone adiacenti ai nodi ove la fibratura devia anche con angoli molto elevati rispetto alla direzione della fibratura nelle zone prive di nodi o di altre anomalie. Di conseguenza tale deviazione di fibratura è causa di un abbassamento della qualità delle superfici sottoposte a lavorazione. Inoltre anche le differenti proprietà tra zona primaticcia e zona tardiva, in relazione con l'orientamento della fibratura rispetto al piano di taglio, si ripercuotono sul processo di lavorazione e la qualità delle superfici può risultare insoddisfacente. Infatti i parametri di lavorazione, come velocità di alimentazione, geometria e materiale degli utensili, che sono idonei per gli strati di legno primaticcio possono risultare inadeguati per il legno tardivo; analogamente, i parametri adatti per certi orientamenti della fibratura possono dare superfici di cattiva qualità con fibratura orientata diversamente.

Ciò nondimeno la qualità delle superfici lavorate può essere migliorata con l'utilizzazione di utensili con opportuna geometria di taglio, costruiti con materiali adeguati (carburo di tungsteno, diamante policristallino, ceramiche) e con l'ottimizzazione dei parametri di taglio.

È stata quindi adottata una procedura sperimentale volta a mettere in evidenza l'effetto delle lavorazioni in funzione dell'orientamento della fibratura, verificando gli effetti sia sul legno primaticcio sia sul legno tardivo. Sono stati studiati gli effetti delle lavorazioni sull'Abete rosso e su un'altra conifera, con differente attitudine alla lavorabilità, la Douglasia.

## 2 QUALITÀ DELLE SUPERFICI

La qualità delle superfici lavorate può essere facilmente valutata con un procedimento binario «accettabile/non accettabile». Questa procedura empirica, ancorché efficace, permette pochi trattamenti statistici. Ciò nondimeno questo procedimento è in grado di formulare una sintesi tra diverse caratteristiche delle superfici lavorate quali il colore, la brillantezza, la ruvidità, la regolarità di spessore ed altro.

Sono state messe a punto delle classificazioni visuali per rendere meno aleatorio questo tipo di approccio; il lavoro qui presentato si basa su un tipo classificazione normalizzata, che è stata parzialmente modificata per descrivere in modo efficace i difetti osservati.

Esistono numerose apparecchiature in grado di descrivere la qualità delle superfici lavorate. Tali sistemi sono basati sulla misura di grandezze fisiche che sono correlabili alla qualità delle lavorazioni. Di queste facciamo seguire una breve disamina, nonostante non siano state utilizzate nel presente studio.

---

<sup>1</sup> Lavoro svolto nell'ambito dello studio "Qualificazione del Legname Trentino" condotto su finanziamento del Servizio Foreste della Provincia Autonoma di Trento da parte dell'ITL/CNR Istituto per la Tecnologia del Legno di San Michele a/A (TN)

<sup>2</sup> Dottore di Ricerca in Scienze del Legno, ricercatore presso ITL/CNR Istituto per la Tecnologia del Legno di San Michele a/A (TN); negri@itl.tn.cnr.it

<sup>3</sup> Dottore Forestale, collaboratore esterno IATF Istituto di Assestamento e Tecnologia Forestale dell'Università di Firenze; golgiac@yahoo.com

## 2.1 METODI VISUALI

Le prove di lavorabilità sono prese in esame dalla norma nordamericana ASTM D-1666-87, che fornisce procedure di lavorazione standardizzate e le relative tecniche di trattamento dei dati ottenuti. Le procedure indicate da questa Norma considerano molte lavorazioni quali la piallatura, la profilatura, la tornitura, la foratura, la mortasatura e la scartatura. Include metodi pratici per la valutazione qualitativa e per l'interpretazione dei risultati mediante un metodo di classificazione in grado di descrivere la qualità delle superfici lavorate. Un metodo basato sugli stessi principi della Norma americana è stato proposto da Petrocchi (1987).

## 2.2 METODI AUTOMATICI

La qualità delle superfici lavorate può essere valutata sia con metodi diretti sia con metodi indiretti. Nel seguente elenco, che non si pretende esaustivo, sono riportati alcuni metodi di misurazione diretta:

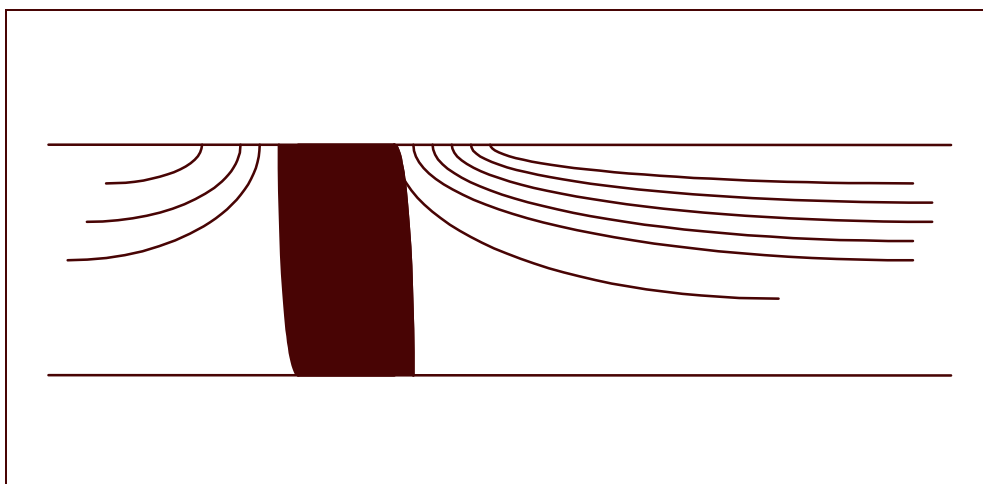
- misura della rugosità (Talysurf della Rank Taylor Hobson, Perthometer della Mehr Perthen, Surf-test di Mitutoyo e altri apparecchi simili di altre ditte);
- visualizzazione del profilo con apparecchiatura laser (Topovise sviluppato dall'ENSTIB (Istituto francese di insegnamento di livello universitario), [Duchanois et al., 1996]);
- visualizzazione della superficie (sistema DICOM, sistema EDIXIA basato sull'uso dei raggi ultra-violetti [Gouttebel *et* Sauvignet, 1994]).

Le misurazioni indirette si basano su rilievi di pressione o di attrito:

- variazioni della depressione in un sistema basato sul vuoto relativo indotto da una pompa per la valutazione dell'indice di fessurazione degli sfogliati (metodo messo a punto dal CTBA di Parigi negli anni '70 [Marchal, 1983]);
- riproduzione della valutazione tattile mediante misurazioni di attrito (Toposurf sviluppato dall'ENSTIB, [Duchanois et al., 1996]).

## 3 MATERIALI E METODI

Lo scopo di questo lavoro è di valutare la qualità delle superfici lavorate per piallatura in funzione dell'inclinazione della fibratura rispetto al piano di lavorazione, condizione che si verifica comunemente nelle zone adiacenti ai nodi (vedi Figura 1).



**Figura 1** - Esempio di deviazione di fibratura indotta dalla presenza di un nodo. Nelle zone adiacenti si verificano frequentemente quei difetti di lavorazione che sono oggetto di questa indagine

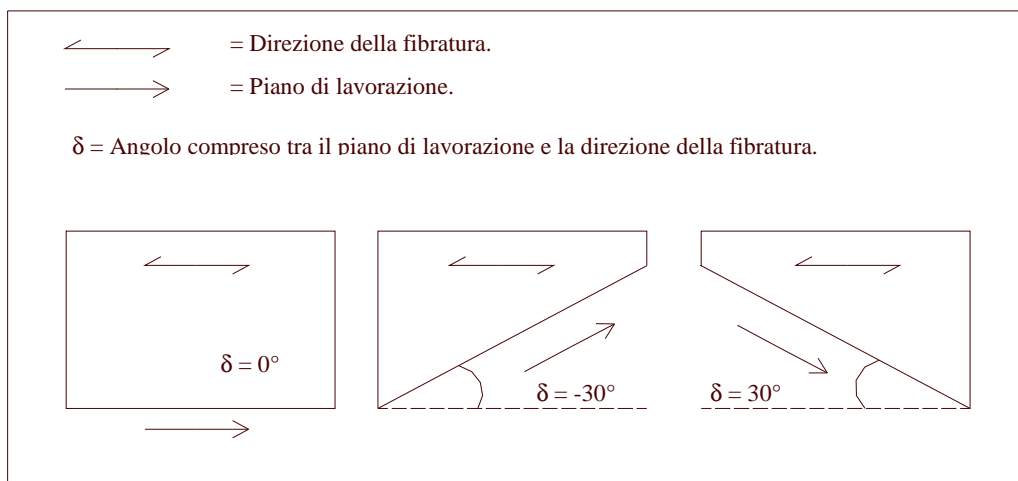
Per raggiungere questo obiettivo si è provveduto a scegliere dei provini privi di difetti e con fibratura regolare. Su tali provini si sono tagliati, con sega a nastro, dei piani di lavorazione ad angoli crescenti. Lungo tali superfici sono state effettuate le lavorazioni su una pialla a filo, con alimentazione manuale, con una profondità di taglio di 2 mm.

I parametri di lavorazione sono di seguito riportati : i) velocità di rotazione della pialla: 6500 r.p.m.; ii) alimentazione manuale; iii) angolo di attacco dei coltelli  $\alpha=30^\circ$ ; iv) angolo di spoglia dei coltelli  $\gamma=20^\circ$ .

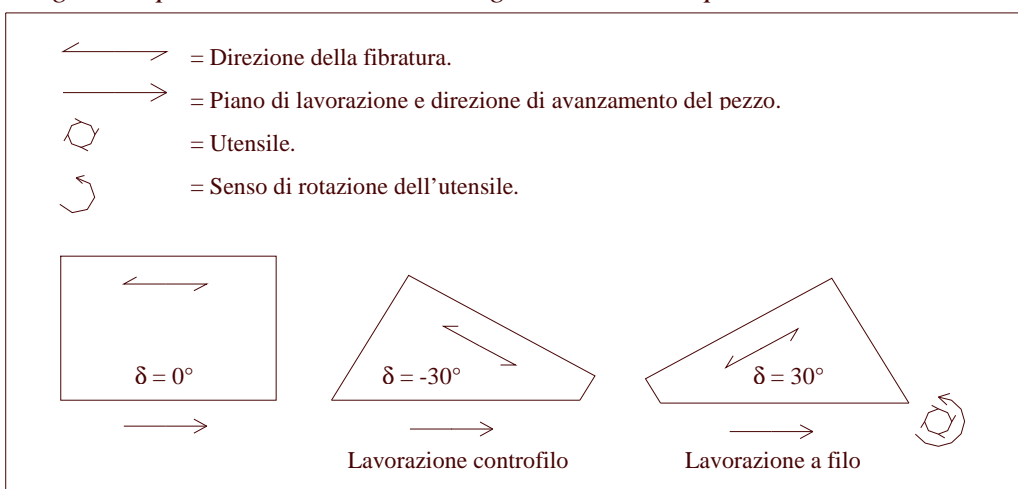
Sono state analizzate due specie legnose, caratterizzate da proprietà differenti e da una diversa attitudine alla lavorabilità:

- Abete rosso (*Picea abies* Karst.) proveniente da foreste naturali del Trentino, caratterizzato da accrescimenti moderati e piuttosto regolari;
- Douglasia (*Pseudotsuga menziesii* Franco subsp. *menziesii*) proveniente da impianti artificiali di provenienza francese, caratterizzato da accrescimenti elevati ed irregolari.

Le prove sono state effettuate ad angoli  $\delta$  crescenti con incrementi di  $10^\circ$ , come di seguito riportati:  $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ \dots$  sino a  $90^\circ$  (Figura 2). Per l'Abete rosso le lavorazioni sono state eseguite a partire dalla lavorazione con piano di taglio parallelo alla fibratura, sino alla lavorazione 'di testa' (piano di taglio perpendicolare alla fibratura) nel senso del filo ( $0^\circ, 10^\circ \dots 90^\circ$ ) e controfilo ( $0^\circ, -10^\circ \dots -90^\circ$ ). Nel caso della Douglasia invece ci siamo dovuti limitare a raggiungere un angolo massimo di  $60^\circ$  (nel senso del filo) e  $-60^\circ$  (controfilo), oltre il quale la lavorazione si è rivelata pericolosa; infatti le prove preliminari hanno mostrato che oltre il suddetto angolo i provini possono frantumarsi.



**Figura 2** - Taglio dei piani di lavorazioni ad angoli crescenti rispetto alla direzione della fibratura



**Figura 3** - Lavorazioni nel senso del filo e controfilo: due situazioni di lavorazione risultanti dalla direzione di rotazione dell'utensile rispetto alla direzione della fibratura

Le lavorazioni sono state eseguite, come illustrato in Figura 3, nel senso del filo e controfilo. “Filo” e “controfilo” sono, come è noto, le condizioni risultanti dal senso di rotazione dell’utensile, dalla direzione di alimentazione e da quella della fibratura.

Le osservazioni sono state effettuate su un campione limitato a tre sole tavole per specie, una per ogni sezione anatomica considerata: sezione radiale, sezione tangenziale e sezione intermedia tra le due<sup>4</sup>.

La dimensione limitata del campione, se non consente di trarre delle conclusioni esaustive sulle caratteristiche di lavorabilità delle due specie, ha permesso di eseguire osservazioni sistematiche su tutti i provini al microscopio stereoscopico. Inoltre le prove preliminari e complementari eseguite per mettere a punto la metodologia hanno consentito di verificare empiricamente che la tipologia e il grado dei difetti di lavorazione rilevati descrivono efficacemente la qualità delle superfici lavorate ottenibile con le specie legnose studiate.

### 3.1 CLASSIFICAZIONE DELLE SUPERFICI

#### 3.1.1 Norma ASTM

Le proprietà delle superfici piallate sono state classificate con esame visuale basato su una classificazione in cinque classi, ispirata alla Norma americana ASTM.

Le classi secondo la Norma ASTM 1666-87 sono:

**Grade 1: excellent;**

**Grade 2: good;**

**Grade 3: fair;**

**Grade 4: poor;**

**Grade 5: very poor.**

I difetti di lavorazione sono descritti in funzione di alcune tipologie di difetti, di seguito illustrate:

- **raise grain (fibre<sup>5</sup> rialzate)** è una condizione di rugosità della superficie lavorata in cui il legno tardivo risulta sollevato rispetto al legno primaticcio;
- **fuzzy grain (fibre lanuginose)** sono fibre o gruppi di fibre che non sono completamente tagliate dall’utensile ma che rimangono attaccate ad una estremità sulla superficie lavorata, mentre l’altra è libera di muoversi sopra il piano di lavorazione;
- **torn grain (fibre strappate)** è la traccia lasciata, sulla superficie lavorata, da fibre e gruppi di fibre che vengono asportate per strappo e non per taglio;
- **chip marks (segni di trucioli)** sono impronte sulla superficie lavorata dovute a particelle di legno che si frappongono tra utensile e superficie al momento del taglio.

Le procedure adottate sono descritte nella sezione 11 della norma americana ASTM D-1666-87. L’applicazione della Norma al campione esaminato ha suggerito alcuni adattamenti. In particolare sono stati modificati alcuni parametri, quali l’umidità dei provini, la profondità di lavorazione e la dimensione del campione. In ASTM sono prescritte: una umidità di 6%, una profondità di lavorazione di 1 mm e un campione di numerosità maggiore a 50 provini per specie lavorata e per tipo di lavorazione. Nel campione in oggetto è stata adottata l’umidità normale (12%), una profondità di lavorazione di 2 mm; la base campionaria è composta da un provino per ogni angolo di lavorazione (18 provini), ripetuto per ogni sezione considerata e per ogni specie legnosa (18 angoli x 3 sezioni x 2 specie). Inoltre si è ritenuto opportuno aggiungere una ulteriore tipologia di difetto, come illustrato nel successivo paragrafo.

Le differenze rispetto alla Norma ASTM sono state dettate dagli scopi di questo studio e dal fatto che tale Norma è stata utilizzata come documento tecnico di riferimento.

---

<sup>4</sup> Si è ritenuto opportuno non fare distinzione tra sezione subtangenziale e sezione subradiale e considerare tali sezioni in un gruppo più ampio denominato, appunto, ‘sezione intermedia’

<sup>5</sup> La traduzione in italiano del termine anglo-sassone ‘*grain*’ è ‘fibratura’. In questo contesto è stato ritenuto opportuno tradurlo come ‘fibre’

### 3.1.2 Classificazione proposta

La qualità delle lavorazioni è stata valutata, come si è detto, con esame visuale basato su una classificazione ispirata alla Norma americana ASTM:

**Classe 1: eccellente**, non vi sono difetti di lavorazione;

**Classe 2: buona**, imperfezioni presenti, ma in genere accettabili senza ulteriori lavorazioni;

**Classe 3: mediocre**, imperfezioni evidenti che possono rendere opportuna, in funzione degli usi finali, una seconda lavorazione di rifinitura;

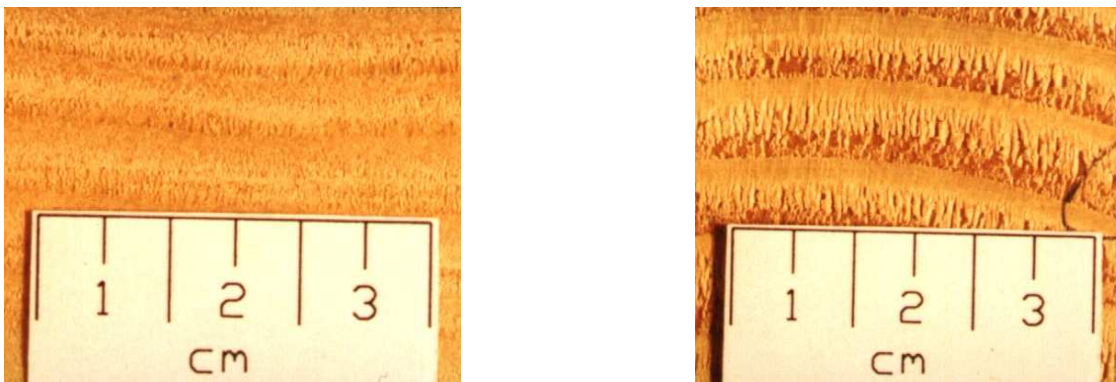
**Classe 4: cattiva**, sempre necessaria una seconda lavorazione di miglioramento delle superfici;

**Classe 5: molto cattiva**, difetti molto gravi, in genere non correggibili neppure con una seconda lavorazione.

Si considera che le Classi 1 e 2 siano di qualità commercialmente accettabile mentre dalla Classe 3 alla 5 la qualità può essere al di sotto degli standard richiesti a seconda degli usi finali e delle richieste del committente a meno di non effettuare interventi di rifinitura (scartatura, stuccatura o altro) per ovviare ai difetti.

Ai difetti descritti nel paragrafo precedente, si è ritenuto opportuno aggiungere una ulteriore tipologia di difetto:

- le **fibre schiacciate (Figura 4)** sono fibre o gruppi di fibre che non sono completamente tagliate dall'utensile ma che rimangono attaccate ad una estremità sulla superficie lavorata e che vengono contestualmente trascinate e schiacciate contro la superficie; si verifica tipicamente nella lavorazione controfilo.



**Figura 4** – Due esempi di fibre schiacciate: grado 3 a sinistra, molto grave (grado 2) sulla destra

### 3.2 OSSERVAZIONI MICROSCOPICHE

Su un campione di provini ricavati da una tavola di sezione 'intermedia' di Douglasia sono state effettuate osservazioni con il microscopio stereoscopico.

Le osservazioni sono state effettuate sul legno di Douglasia che presenta anelli di accrescimento di dimensioni sufficientemente ampie da permettere una visione chiara dei difetti di lavorazione.

A causa delle limitate dimensioni degli anelli di accrescimento dell'Abete rosso, ed in particolare della zona primaticcia ove si manifestano maggiormente i difetti, è risultato meno agevole effettuare la "lettura" delle superfici lavorate.

E' stato comunque verificato che le tipologie dei difetti osservati sull'Abete rosso sono comparabili a quelle rilevate sulla Douglasia.

## 4 RISULTATI E DISCUSSIONE

### 4.1 CLASSIFICAZIONE DELLE SUPERFICI

Le osservazioni macroscopiche sono state effettuate sulla base della classificazione proposta, basata sulla norma ASTM, su tavole aventi tre differenti *sezioni anatomiche* prevalenti, come precedentemente illustrato.

Effettuando la piallatura, con fibratura parallela al piano di lavorazione e definita da angolo di valore nullo (0), sia in una direzione che in quella opposta<sup>6</sup> non si sono verificate differenze di qualità superficiale, che in entrambi i casi è risultata ottima.

Un caso analogo si manifesta per la cosiddetta lavorazione di testa, in cui l'angolo tra piano di lavorazione e direzione di fibratura è di 90°; anche in questo caso non si evidenziano differenze dovute alla direzione di lavorazione<sup>7</sup>.

Le superfici ottenute nella lavorazione a filo e controfilo, ad angolo di fibratura costante, hanno dato risultati diversi, manifestando difetti di tipologie e quantità differenti.

Allo stesso modo si sono ottenuti risultati diversi, a direzione di lavorazione costante, al variare dell'angolo  $\delta$  tra direzione di fibratura e piano di lavorazione.

Al crescere dell'angolo tra fibratura e piano di lavorazione aumentano i difetti; in particolare si rileva che tale fenomeno avviene in misura maggiore nella lavorazione controfilo rispetto a quanto avviene nella lavorazione secondo il filo.

#### 4.1.1 Qualità dell'Abete rosso

##### 4.1.1.1 Lavorazione a filo sull'Abete

Le lavorazioni nel senso del filo presentano generalmente una superficie lavorata di buona qualità. Infatti è possibile rilevare un solo tipo di difetto, quello delle fibre strappate che si presenta in modo comunque non grave. Infatti non si rilevano superfici di classe qualitativa superiore al grado 3.

Il difetto di fibre strappate si verifica in misura crescente al crescere dell'angolo  $\delta$ . Questo difetto appare sulle tavole di tutte le sezioni considerate: sulla sezione tangenziale con valori di angolo  $\delta$  tra 60° e 80°, sulla sezione 'intermedia' con valori di  $\delta$  tra 20° e 80° e infine sulla sezione radiale con angoli tra 40° e 80°. In questo tipo di lavorazione non si manifestano altri difetti significativi.

Nella Tabella 1 sono riportate le Classi di qualità di finizione superficiale della lavorazione a filo, in funzione dell'angolo di fibratura rispetto al piano di lavorazione.

<b>Tavole di Abete sottoposte a lavorazione a filo</b>													
	<b>Tangenziali</b>				<b>Intermedie</b>				<b>Radiali</b>				
	<b>Fibre</b>												
	<b>Rialzate</b>				<b>Rialzate</b>				<b>Rialzate</b>				
	<b>Lanuginose</b>				<b>Lanuginose</b>				<b>Lanuginose</b>				
	<b>Strappate</b>			<b>Strappate</b>			<b>Strappate</b>			<b>Strappate</b>			
			<b>Schiacciate</b>				<b>Schiacciate</b>				<b>Schiacciate</b>		
<b>0</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>10</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>20</b>	1	1	1	1	1	1	<b>2</b>	1	1	1	1	1	1
<b>30</b>	1	1	1	1	1	1	<b>2</b>	1	1	1	1	1	1
<b>40</b>	1	1	1	1	1	1	<b>2</b>	1	1	1	<b>2</b>	1	1
<b>50</b>	1	1	1	1	1	1	<b>2</b>	1	1	1	<b>2</b>	1	1
<b>60</b>	1	1	<b>2</b>	1	1	1	<b>3</b>	1	1	1	<b>2</b>	1	1
<b>70</b>	1	1	<b>2</b>	1	1	1	<b>3</b>	1	1	1	<b>2</b>	1	1
<b>80</b>	1	1	<b>2</b>	1	1	1	<b>2</b>	1	1	1	<b>3</b>	1	1
<b>90</b>	1	1	<b>3</b>	1	1	1	<b>3</b>	1	1	1	<b>3</b>	1	1

**Tabella 1** - Classi di qualità delle lavorazioni superficiali in funzione dell'angolo di lavorazione con lavorazione a filo su tavole di Abete rosso orientate secondo le tre direzioni principali

<sup>6</sup> Si tratterebbe di lavorazione secondo il filo e controfilo ma nel caso di piano di lavoro parallelo alla fibratura tale distinzione perde di significato

<sup>7</sup> Analogamente al caso precedente non può esservi distinzione tra filo e controfilo, anche se in questo caso si è scelta la dizione 90 e -90 per motivi di chiarezza.

#### 4.1.1.2 Lavorazione controfilo sull'Abete

Nelle lavorazioni in controfilo, riportate in Tabella 2, si manifestano più tipologie di difetti, che possono raggiungere anche la classe qualitativa peggiore:

- fibre lanuginose (con grado da 2 a 5);
- fibre strappate (con grado 3);
- fibre schiacciate (con grado da 3 a 5).

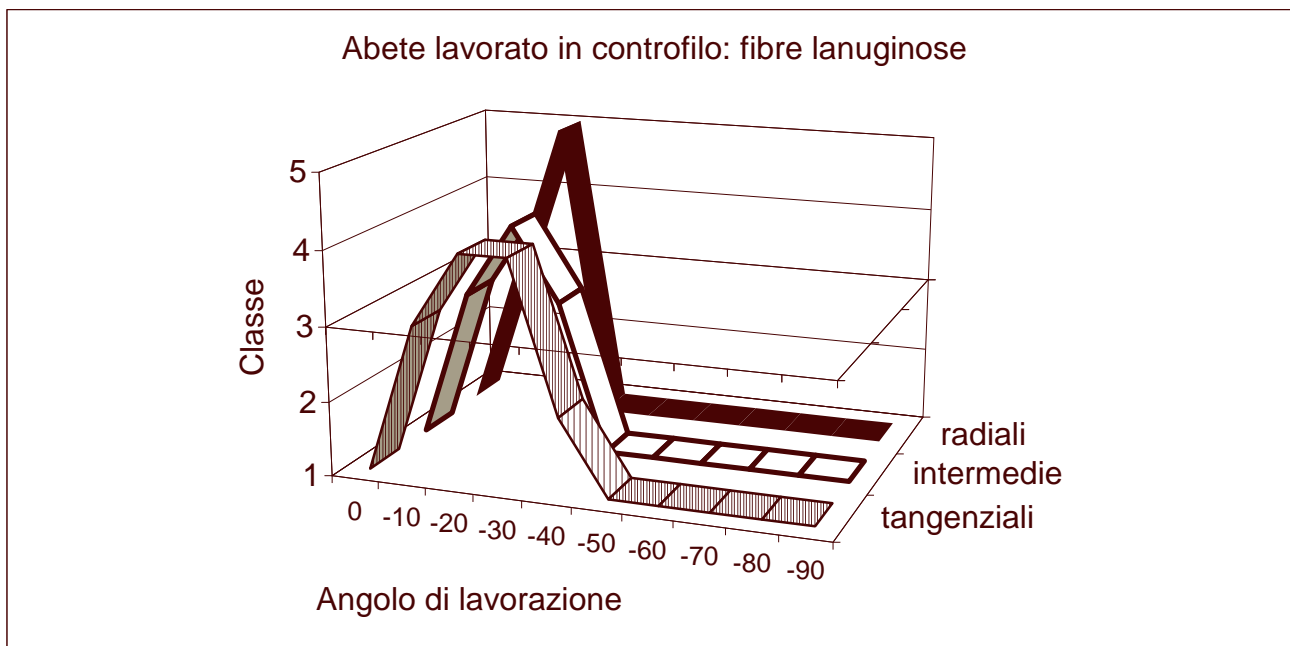
Con angoli di fibratura limitati ( $\delta$  tra  $10^\circ$  e  $40^\circ$  in tutte le sezioni anatomiche), il difetto prevalente è quello delle fibre lanuginose. Al crescere dell'angolo tale difetto viene progressivamente sostituito dalle fibre schiacciate in tutti i tipi di sezione considerati.

Inoltre appare anche il difetto delle fibre strappate che si manifesta in misura differente in funzione del tipo di sezione: nelle tavole di sezione tangenziale si manifesta a valori elevati dell'angolo  $\delta$  (compreso tra  $60^\circ$  e  $80^\circ$ ), mentre nelle tavole di sezione radiale si manifesta a bassi valori dell'angolo ( $\delta$  compreso tra  $10^\circ$  e  $30^\circ$ ). Le fibre strappate non si manifestano affatto sulle tavole di tipo 'intermedio'.

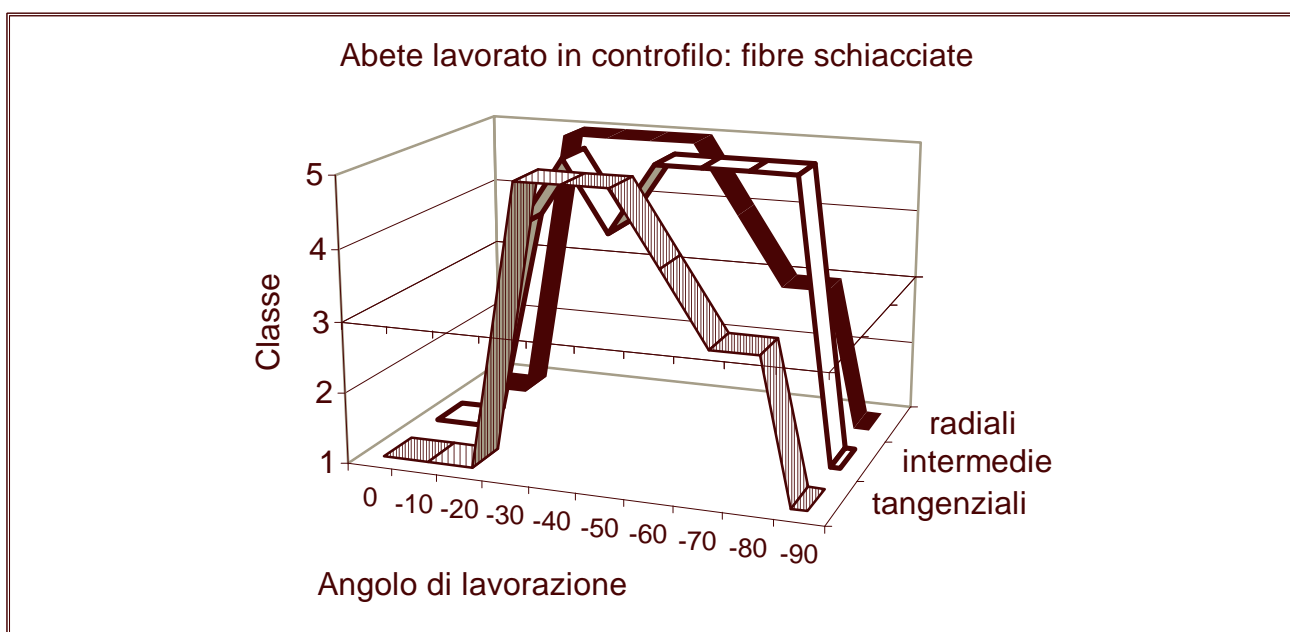
Nelle Figure 5 e 6 sono riportate le qualità di lavorazione in controfilo sull'Abete per le due tipologie di difetto più significative, e cioè rispettivamente fibre lanuginose e fibre schiacciate.

	<b>Tavole di Abete sottoposte a lavorazione <i>controfilo</i></b>											
	<b>Tangenziali</b>				<b>Intermedie</b>				<b>Radiali</b>			
	<b>Fibre</b>											
	<b>Rialzate</b>	<b>Lanuginose</b>			<b>Rialzate</b>	<b>Lanuginose</b>			<b>Rialzate</b>	<b>Lanuginose</b>		
	<b>Strappate</b>		<b>Schiacciate</b>		<b>Strappate</b>		<b>Schiacciate</b>		<b>Strappate</b>		<b>Schiacciate</b>	
<b>0</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>-10</b>	1	3	1	1	1	3	1	1	1	3	3	1
<b>-20</b>	1	4	1	1	1	4	1	4	1	5	3	5
<b>-30</b>	1	4	1	5	1	3	1	5	1	1	3	5
<b>-40</b>	1	2	1	5	1	1	1	4	1	1	1	5
<b>-50</b>	1	1	1	5	1	1	1	5	1	1	1	5
<b>-60</b>	1	1	3	4	1	1	1	5	1	1	1	4
<b>-70</b>	1	1	3	3	1	1	1	5	1	1	1	3
<b>-80</b>	1	1	3	3	1	1	1	5	1	1	1	3
<b>-90</b>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

**Tabella 2** - Classi di qualità delle lavorazioni superficiali in funzione dell'angolo di lavorazione con lavorazione controfilo su tavole di Abete rosso orientate secondo le tre direzioni principali



**Figura 5** - Si evidenzia graficamente l'incidenza sulle varie sezioni del difetto "fibre lanuginose" in forma grave (dalla classe 3 in su) che in controfilo si manifesta con angoli di lavorazione compresi tra 20 e 40 °



**Figura 6** - Si evidenzia graficamente l'incidenza sulle varie sezioni del difetto "fibre schiacciate" in forma grave (dalla classe 3 in su) che in controfilo si manifesta con angoli di lavorazione compresi tra 20 e 70 °

#### 4.1.2 Qualità della Douglasia

Con il piano di taglio parallelo alla fibratura ( $\delta = 0^\circ$ ) non si riscontrano difetti secondo la classificazione proposta. È possibile riscontrare talora una sorta di ondulazione della superficie. Tale effetto si manifesta come una posizione rilevata del legno primaticcio rispetto a quello tardivo e deriva dalla differente attitudine dei due tipi di legno ad essere tagliato, e dal loro differente ritorno elastico. Non si considererà come difetto questa particolarità del legno di Douglasia.

##### 4.1.2.1 Lavorazione a filo sulla Douglasia

Anche nel caso della Douglasia le lavorazioni nel senso del filo presentano generalmente una superficie lavorata migliore rispetto a quella in controfilo, sebbene in generale siano di qualità inferiore a quelle rilevabili sull'Abete rosso. Su questa specie nella lavorazione a filo (Tabella 3) si possono rilevare due tipi di difetti, quello delle Fibre Strappate e quello delle Fibre Rialzate, che possono influenzare la qualità di lavorazione anche in modo grave (sino alla classe 4, cattiva qualità). Questi difetti influenzano la qualità in misura crescente all'aumentare dell'angolo  $\delta$ .

In particolare questo fenomeno si verifica per le fibre strappate, che influenzano la qualità delle superfici lavorate a seconda della sezione anatomica, come di seguito riportato:

- sezione tangenziale: qualità mediocre (Classe 3) da  $50^\circ$  a  $60^\circ$ ;
- sezione 'intermedia': qualità da mediocre (Classe 3) a cattiva (Classe 4) tra  $40^\circ$  e  $60^\circ$ ;
- sezione radiale: qualità buona (Classe 2) da  $30^\circ$  a  $50^\circ$ .

Per angoli inferiori a quelli citati la qualità si è rilevata sempre molto buona (Classe 1) o buona (Classe 2). Le fibre rialzate invece si manifestano esclusivamente sulle sezioni radiali, con grado di qualità mediocre (Classe 3) con angoli di lavorazione tra  $30^\circ$  e  $40^\circ$ .

Si ricorda che non è stato possibile effettuare lavorazioni oltre  $60^\circ$ . In questo tipo di lavorazione non si manifestano i difetti di fibre lanuginose e schiacciate.

<b>Tavole di Douglasia sottoposte a lavorazione a filo</b>													
	<b>Tangenziali</b>				<b>Intermedie</b>				<b>Radiali</b>				
	<b>Fibre</b>												
	<b>Rialzate</b>				<b>Rialzate</b>				<b>Rialzate</b>				
		<b>Lanuginose</b>				<b>Lanuginose</b>				<b>Lanuginose</b>			
			<b>Strappate</b>				<b>Strappate</b>				<b>Strappate</b>		
				<b>Schiacciate</b>				<b>Schiacciate</b>				<b>Schiacciate</b>	
<b>0</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>10</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>20</b>	1	1	1	1	1	1	<b>2</b>	1	1	1	1	1	1
<b>30</b>	1	1	<b>2</b>	1	1	1	<b>2</b>	1	<b>3</b>	1	<b>2</b>	1	1
<b>40</b>	1	1	<b>2</b>	1	1	1	<b>3</b>	1	<b>3</b>	1	<b>2</b>	1	1
<b>50</b>	1	1	<b>3</b>	1	1	1	<b>4</b>	1	<b>2</b>	1	<b>2</b>	1	1
<b>60</b>	1	1	<b>3</b>	1	1	1	<b>3</b>	1	-	-	-	-	-
<b>70</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>80</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>90</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabella 3** - Classi di qualità delle lavorazioni superficiali in funzione dell'angolo di lavorazione con lavorazione a filo su tavole di Douglasia orientate secondo le tre direzioni principali

##### 4.1.2.2 Lavorazione controfilo sulla Douglasia

Nelle lavorazioni in controfilo (Tabella 4) si manifestano più tipologie di difetti, che possono raggiungere anche la classe qualitativa peggiore:

- Fibre Lanuginose (Classe 3);

- Fibre Strappate (Classe da 3 a 5);
- Fibre Schiacciate (Classe da 2 a 5).

Come già rilevato in precedenza, le classi qualitative variano in funzione dell'angolo tra fibratura e piano di lavorazione ed in funzione del tipo di sezione anatomica della superficie in lavorazione.

Tavole di Douglasia sottoposte a lavorazione <i>controfilo</i>												
Tangenziali				Intermedie				Radiali				
Fibre												
	Rialzate				Rialzate				Rialzate			
	Lanuginose			Schiacciate	Lanuginose			Schiacciate	Lanuginose			Schiacciate
	Strappate				Strappate				Strappate			
<b>0</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>-10</b>	1	3	3	1	1	3	3	2	1	1	4	1
<b>-20</b>	1	3	4	3	1	1	4	2	1	1	4	2
<b>-30</b>	1	1	1	4	1	1	3	2	1	1	5	2
<b>-40</b>	1	1	1	5	1	1	1	5	1	1	5	2
<b>-50</b>	1	1	3	5	1	1	1	4	1	1	5	3
<b>-60</b>	1	1	4	5	1	1	1	3	-	-	-	-
<b>-70</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>-80</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>-90</b>	-	-	-	-	1	1	5	4	-	-	-	-

**Tabella 4** - Classi di qualità delle lavorazioni superficiali in funzione dell'angolo di lavorazione con lavorazione controfilo su tavole di Douglasia orientate secondo le tre direzioni principali

Già a piccoli angoli tra fibratura e piano di lavorazione ( $-10^\circ$ ) si manifestano due difetti: le Fibre Lanuginose e le Fibre Strappate.

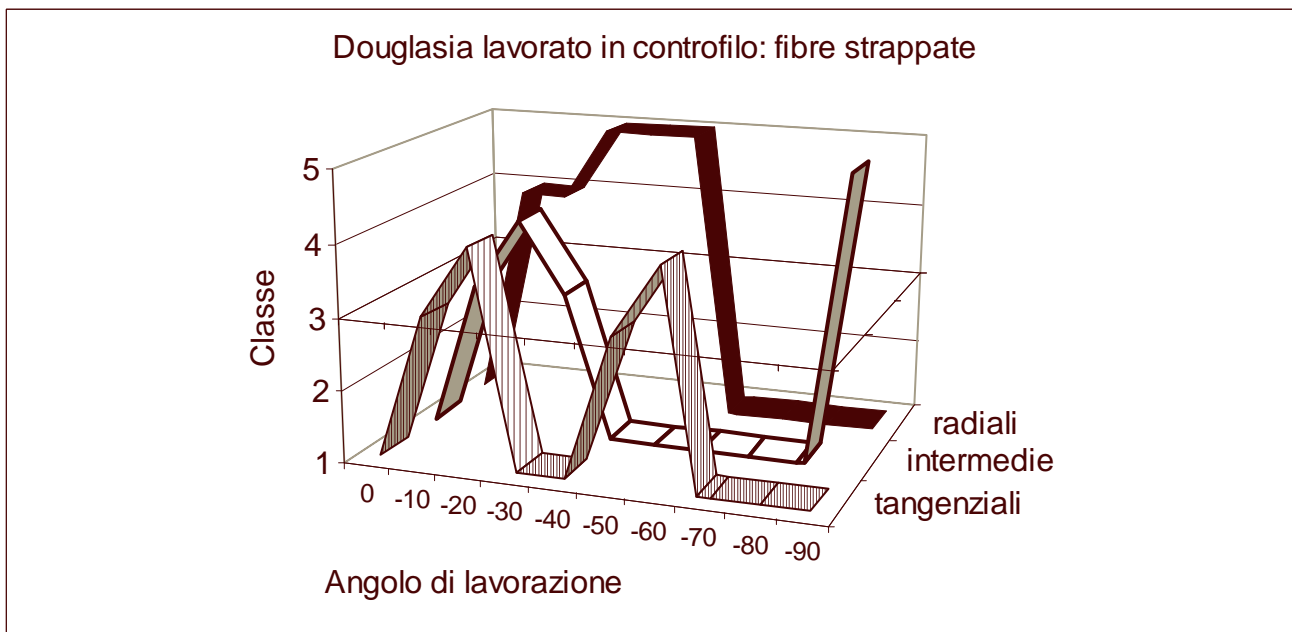
Il primo difetto appare esclusivamente con gli angoli  $-10^\circ$  e  $-20^\circ$  ed è responsabile di una qualità di lavorazione mediocre (Classe 3) nelle sezioni tangenziale e intermedia; non si manifesta invece nella sezione radiale.

Il secondo difetto (Fibre Strappate) è causa di risultati qualitativi peggiori: la qualità di lavorazione rilevata arriva ad essere anche cattiva o molto cattiva (Classi 4 e 5) in particolare sulla sezione radiale, ove si manifesta come tale ad angoli compresi tra  $-10^\circ$  e  $-50^\circ$ . Questo difetto sulle restanti sezioni (tangenziale e 'intermedia') si manifesta in modo meno prevedibile:

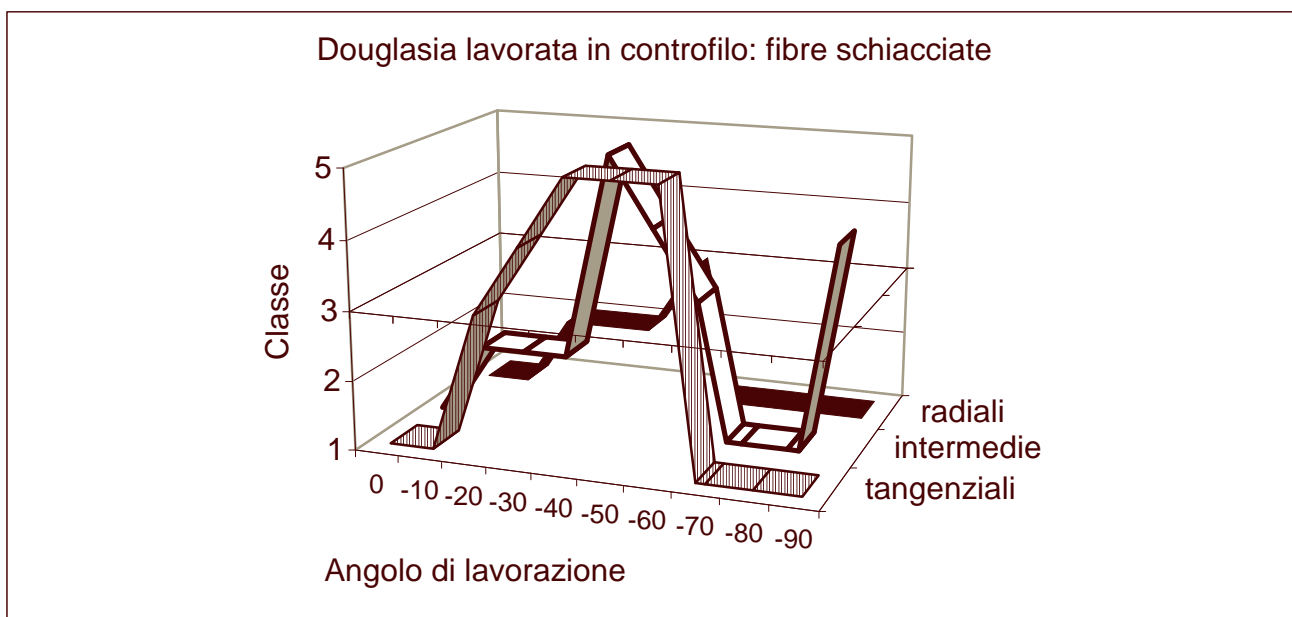
- sulla sezione 'intermedia' il difetto appare nelle Classi 3 e 4 con angoli tra  $-10^\circ$  e  $-30^\circ$  e non è più rilevabile ad angoli superiori (da  $-40^\circ$  a  $-60^\circ$ );
- sulla sezione 'tangenziale' il comportamento è ancora meno atteso: le fibre strappate appaiono nelle Classi 3 e 4 ad angoli di  $-10^\circ$  e  $-20^\circ$  e ad angoli di  $-50^\circ$  e  $-60^\circ$ ; non compaiono invece negli angoli compresi tra questi due gruppi.

Infine il difetto delle Fibre Schiacciate in generale (sulle sezioni radiali e 'intermedie') si manifesta in misura grave solo ad elevati angoli di lavorazione ( $-40^\circ$  e  $-50^\circ$ ); solo nel caso della sezione tangenziale tale difetto appare già a  $-20^\circ$ .

Nelle Figure 7 e 8 sono riportate le qualità di lavorazione in controfilo sulla Douglasia per le due tipologie di difetto più significative, e cioè rispettivamente fibre strappate e fibre schiacciate.



**Figura 7** - Si evidenzia graficamente l'incidenza sulle varie sezioni del difetto "fibre strappate" in forma grave (dalla classe 3 in su) che in controfilo si manifesta con angoli di lavorazione compresi tra 20 e 60 °



**Figura 8** - Si evidenzia graficamente l'incidenza sulle varie sezioni del difetto "fibre schiacciate" in forma grave (dalla classe 3 in su) che in controfilo si manifesta con angoli di lavorazione compresi tra 30 e 60 ° sulle tavole tangenziali e intermedie

#### 4.2 OSSERVAZIONI MICROSCOPICHE

Le osservazioni microscopiche sono state effettuate sul legna di Douglasia, per i motivi di maggior facilità di lettura dei difetti in virtù della maggior dimensione degli anelli di accrescimento ed in particolare della zona primaticcia.

Le osservazioni sono state effettuate su piani lavorati che presentavano angoli crescenti rispetto alla direzione della fibratura.

Dalle osservazioni effettuate si è evidenziato come fibre lanuginose e fibre schiacciate siano due difetti differenti con una causa simile. Tuttavia l'effetto sulla qualità delle superfici lavorate si differenzia e si ritiene opportuno classificare i due difetti come tipologie separate.

I tipi di difetti rilevati sono descritti di seguito:

- le Fibre Lanuginose, che ricordiamo essere composte da fasci di fibre che vengono solo parzialmente distaccati, si manifestano nella lavorazione controfilo già con piccoli angoli tra piano di lavorazione e direzione di fibratura. La meccanica di formazione di tale difetto è stata così ipotizzata: piccoli fasci di fibre che presentano un limitato angolo rispetto al piano di lavorazione, vengono inizialmente rialzati dal tagliente che li solleva senza tuttavia completare l'azione di taglio. Questo genera una frattura che si approfondisce nella direzione della fibratura. Tale difetto si renderà più visibile quando ai successivi passaggi dei coltelli verrà eseguita una trazione sul dorso della parte distaccata che tenderà a farla sollevare. Inoltre si aggraverà al riappoggiarsi del pezzo sulla battuta (nella fresatura) o sul piano di lavorazione (nella piallatura) dove, la parte distaccata, rimanendo a contrasto si manifesterà con maggiore evidenza.. In generale tale tipo di difetto risulta ben individuabile: i fascetti di fibre rimangono sollevati al di sopra del piano di lavorazione, risultano ben visibili e sono anche rilevabili al tatto come piccole escrescenze non rigidamente connessa alla superficie testé lavorata. Tali fasci di fibre (per i motivi precedentemente elencati) sono orientati sempre con direzione opposta alla direzione della fibratura. Per questa tipologia di difetto, il legno primaticcio e quello di transizione si dimostrano più difettosi rispetto a quello tardivo;
- le Fibre Schiacciate: nelle lavorazioni controfilo all'aumentare dell'angolo della fibratura rispetto al piano di lavorazione (diminuzione dell'angolo  $\delta$ ) è più difficile che si manifesti quella frattura a taglio o a trazione che è origine delle fibre lanuginose, mentre è più probabile che l'utensile abbia più difficoltà a tagliare le fibre e che queste per compressione trasversale, anziché essere asportate, vengano spostate lateralmente e schiacciate sulla superficie. Tale difetto comincia a manifestarsi già con angoli di  $-20^\circ$  nella lavorazione controfilo in coesistenza con le fibre lanuginose. Questo fenomeno provoca una superficie molto irregolare, come rilevabile facilmente al tatto, poiché i fasci di fibre schiacciate presentano una elevata rigidità.;
- le Fibre Strappate, nella lavorazione nel senso del filo, iniziano a manifestarsi con inclinazione della fibratura superiore a  $20^\circ$ . All'aumentare dell'angolo di lavorazione, i fasci di fibre vengono tagliati con difficoltà crescente, causando un aumento delle dimensioni degli strappi. Gli strappi si localizzano sul legno primaticcio, decorrendo in direzione radiale. Analogamente sul legno tardivo si presentano micro-fessurazioni che sono viepiù evidenti al crescere dell'angolo  $\delta$ ; anch'esse decorrono radialmente. Anche nella lavorazione controfilo iniziano a manifestarsi molto presto e in misura grave. Per quanto riguarda la lavorazione in testa ( $90^\circ$ ), si può rimarcare l'evidenza degli strappi. Tale difetto si manifesta ancora, esclusivamente sul legno primaticcio. Importanti informazioni possono essere tratte dai gravi difetti sulle tavole radiali, dove porzioni importanti di legno sono letteralmente stappate via. Infatti la scarsa resistenza del legno primaticcio e la maggiore forza esercitata dal tagliente nel tagliare fibre inclinate fanno sì che il legno estivo si rompa a flessione a una certa profondità (perché il legno primaticcio non è in grado di sostenere la forza esercitata dal tagliente) generando profondi strappi.
- Fibre Rialzate: non è stato riscontrato questo tipo di difetto sulla sezione 'intermedia', ed è stato quindi osservato sulle altre sezioni. Risulta come una sorta di rugosità della superficie lavorata in cui porzioni di legno tardivo risultano sollevate rispetto al legno primaticcio. Anche in questo caso (come in quello precedente) la presenza del difetto è causata indirettamente dal legno primaticcio. Quest'ultimo infatti non essendo in grado di sostenere la forza esercitata dal tagliente durante la lavorazione del legno estivo si comprime facendo retrocedere la superficie in lavorazione. Una volta terminata la fascia di legno estivo la superficie torna alla sua posizione originaria rimanendo in rilievo rispetto alla fascia di legno primaticcio

## 5 CONCLUSIONI

La finizione superficiale dei manufatti in legno di Abete rosso a seguito di seconde lavorazioni a utensile rotante, quali quelle eseguite con pialla a filo, pialla a spessore e toupie, è generalmente soddisfacente.

Tuttavia si rileva che in zone ben determinate, quelle adiacenti ai nodi, si possono verificare alcuni difetti di lavorazione. Questo fenomeno è legato all'angolo che la direzione di fibratura presenta rispetto al piano di lavorazione; in effetti nelle zone adiacenti ai nodi, la fibratura devia con angoli anche molto elevati rispetto alla direzione della fibratura nelle zone prive di nodi o di altre anomalie. Inoltre anche le differenti proprietà tra zona primaticcia e zona tardiva, in relazione con l'orientamento della fibratura rispetto al piano di taglio, si ripercuotono sul processo di lavorazione e la qualità delle superfici può risultare insoddisfacente.

Le lavorazioni a filo e in controfilo, ad angolo di fibratura costante, hanno fornito superfici di qualità differente sia come tipologie sia come incidenza dei difetti.

Analogamente si sono ottenuti risultati diversi, mantenendo la tipologia di lavorazione costante (filo o controfilo) e variando l'angolo  $\delta$  tra direzione di fibratura e piano di lavorazione.

All'aumentare dell'angolo compreso tra la direzione fibratura e il piano di lavorazione aumentano i difetti; in particolare si rileva che tale fenomeno avviene in misura maggiore nella lavorazione controfilo rispetto a quanto avviene nella lavorazione secondo il filo.

Le lavorazioni nel senso del filo presentano generalmente una superficie lavorata di buona qualità. Infatti è possibile rilevare un solo tipo di difetto, quello delle Fibre Strappate che si presenta in modo non grave, che si verifica in misura crescente al crescere dell'angolo  $\delta$ . Questo difetto appare sulle tavole di tutte le sezioni considerate. In questo tipo di lavorazione non si manifestano altri difetti significativi.

Nelle lavorazioni in controfilo invece si manifestano più tipologie di difetti: le Fibre Lanuginose (con grado da 2 a 5), le Fibre Strappate (con grado 3) e le Fibre Schiacciate (con grado da 3 a 5).

Con angoli di fibratura limitati ( $\delta$  tra  $-10^\circ$  e  $-40^\circ$  in tutte le sezioni anatomiche), il difetto prevalente è quello delle Fibre Lanuginose, che al crescere dell'angolo  $\delta$  viene progressivamente sostituito dalle Fibre Schiacciate in tutti i tipi di sezione considerati. Infine appare anche il difetto delle Fibre Strappate che si manifesta in misura differente in funzione del tipo di sezione: nelle tavole di sezione tangenziale si manifesta a valori elevati di  $\delta$ , mentre nelle tavole di sezione radiale si manifesta a valori più bassi.

In rapporto all'altra conifera messa a confronto, la Douglasia, il legno di Abete rosso è risultato più facile da lavorare e la finitura superficiale è di qualità migliore. Ciò nondimeno la presenza dei nodi causa uno scadimento su cui è possibile intervenire con le opportune tecnologie.

I risultati di questa indagine pongono le premesse per orientare la scelta dei metodi e dei mezzi tecnici per giungere al miglioramento della qualità delle superfici lavorate. Questo obiettivo può essere perseguito mediante l'impiego di utensili con opportuna geometria di taglio, con utensili di materiali di recente introduzione (carburo di tungsteno, diamante policristallino, ceramiche) e con l'ottimizzazione dei parametri di taglio.

La comprensione delle interazioni esistenti tra fibre e utensile resta un fattore fondamentale per la lettura delle superfici ottenute a seguito di lavorazione superficiale con utensile rotante.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ASTM D-1666, 1987, *Standard methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood -Base Materials*, Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.09 Wood, 257-276
- Duchanois G., Eisen P., Gross P., Triboulot P., 1996. Contrôle Qualité et états de surface bois, TOPOSURF & TOPOVISE, outils complémentaires de mesure des qualités de surface. 4ème Colloque Sciences et Industrie du bois, Nancy-France, 11-12-13 Septembre 1996, 339-344
- Gouttebel O., Sauvignet E., 1994. Etats de surface du bois massif Rapport principal de Projet de fin d'études. Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 73 p.
- Lundberg A.S., Porankiewicz B., 1995. Studies of non-contact methods for roughness measurements on wood surfaces. Holz als Roh- und Werkstoff , 53 (1995), 309-314
- Marchal R., 1983. Intérêt de la prise en compte de caractéristiques physiques et anatomiques simples du bois de Chêne pour l'appréciation de la qualité des placages d'ébenisterie. Diplôme d'études approfondies en Sciences du bois, INPL - Université de Nancy I., 105 p.
- M. Negri, G. Goli, 1997. Seconde lavorazioni: qualità delle superfici lavorate del legno di Abete rosso. In *Qualificazione del legname trentino: Relazione finale parte prima*, Convenzione Servizio Foreste-PAT/CNR-ITL
- Mitutoyo Surf test 501 Series 178 Reference Book, Manual No.4386, Mitutoyo Co., Japan
- Petrocchi S., 1987. Prove di lavorabilità e di abrasione degli utensili su alcune specie legnose. Tesi di laurea, Università degli studi di Firenze, Facoltà di Agraria, corso di laurea in Scienze Forestali.