



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI (TESAF)

Corso di laurea magistrale in Scienze Forestali ed Ambientali

***Evoluzione tecnologica e future applicazioni dei sistemi di
scansione dei difetti del legno tondo e dei segati***

Relatore:

Chiar.mo Prof. Stefano Grigolato

Laureando:

Leonardo Cusinato

Matricola n. 1210110

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

“Vorrei tanto salvare la Contea, se potessi farlo, benché sia stato spesso indotto a pensare che gli abitanti sono di una stupidità e di una noia incommensurabili, e che, data la situazione, un terremoto o una invasione di draghi sarebbero la cosa migliore.

Ma ora non la penso più così. Sento che fin quando saprò che la mia Contea è sempre qui, comoda e sicura, girovagare ed errare sarà per me più facile, conscio che in una parte del mondo c'è un appoggio stabile e saldo che mi attende, anche se non vi dovessi più metter piede.”

J. R. R. Tolkien, The Hobbit.

Sommario

1	ABSTRACT	5
2	INTRODUZIONE	7
	2.1 Segati in Europa	7
	2.2 I segati e la lavorazione del legno tondo	7
	2.3 Evoluzione tecnologica degli impianti di segazione	18
	2.4 La qualità della produzione dei segati	22
3	TECNOLOGIE PER LA SCANSIONE DEL LEGNO	25
	3.1 Posizionamento dello scanner	28
	3.2 CT-Log : legno tondo	29
	3.3 Goldeneye: legno lavorato	32
4	Principali difetti visibili	36
	4.2 Nodi (knots)	36
	4.3 Stains (muffe e carie)	39
	4.4 Other defects	41
	4.5 Scansione dei difetti	43
	4.6 Differenze nei prodotti presenti nel mercato	46
5	SVILUPPO E RICERCA	49
	5.2 Ricerca bibliografica	49
6	RISULTATI	51
	6.2 Diminuzione scarti legnosi ed aumento fatturato	51
	○ 6.1.1 Errori di scansione	58
	6.3 Le nuove frontiere della scansione nell'ambito agro-forestale	59
	6.4 Come cambierà il mercato del legno con la crisi climatica?	61
	6.5 Come cambierà il mercato del legno con la guerra Russia-Ucraina?	63
7	CONCLUSIONI	65
8	BIBLIOGRAFIA	66
9	SITOGRAFIA	70

1 ABSTRACT

[ITA]

Negli ultimi decenni, la tecnologia nelle segherie si è considerevolmente sviluppata, non solo nell'ambito della lavorazione, del trasporto, dell'essiccazione e dello stoccaggio del materiale, ma anche nell'ambito che riguarda le fasi successive alla lavorazione.

Da alcuni decenni è incrementata e continua ad aggiornarsi la scansione ad alta tecnologia del legno ed il controllo qualitativo svolto dalle reti neurali di Intelligenza Artificiale per il riconoscimento dei difetti.

Questo ha permesso un miglioramento del controllo dei difetti, una miglior certificazione dei prodotti e un modo più efficace per migliorare il prodotto finale, diminuendo così gli scarti di lavorazione e favorendo l'utilizzo di operatori preposti al controllo qualitativo, molto spesso inefficace.

Questa tesi percorre l'evoluzione di questi metodi innovativi di scannerizzazione e di come potrebbe ancora svilupparsi in futuro, soprattutto tratterà i benefici che potrebbe portare in un mercato così duramente colpito dal disboscamento illegale, incontrollato e non certificato, soprattutto con il verificarsi sempre più frequentemente di eventi legati al cambiamento climatico.

[ENG]

In recent decades, technology in sawmills has developed considerably, not only in the area of processing, transport, drying and storage of material, but also in the post-processing stages.

In recent decades, high-tech wood scanning and quality control using artificial intelligence neural networks have been developed and are still being updated.

This has led to improved defect control, better product certification and a more effective way of improving the product, thus decreasing scrap and favouring the use of quality control operators, who are very often ineffective.

This thesis explores the evolution of these innovative scanning methods and how they might still develop in the future, especially discussing the benefits they could bring to a market so heavily affected by illegal, uncontrolled and non-certified logging, especially with the increasingly frequent occurrence of climatic events.

2 INTRODUZIONE

2.1 Segati in Europa

Dal 2012, la produzione totale annuale di legno tondo nell'Unione Europea è leggermente diminuita.

Nel 2020, ha raggiunto quasi 500 milioni di metri cubi, cioè il 21% in più rispetto all'inizio del millennio (*Palahí et al., 2021*).

Con l'eccezione di cinque Stati membri in cui la produzione di legno grezzo è diminuita o rimasta stabile e altri due Stati membri in cui la mancanza di dati recenti non consente di valutare la tendenza, tutti i paesi dell'UE hanno registrato un aumento della produzione di legno grezzo nel ventennio 2000-2020.

Il più grande aumento relativo della quantità di legno raccolto ha avuto luogo nei Paesi Bassi (185%) e in Repubblica Ceca (126%). Nel 2020, la Germania era il più grande produttore di legno tondo nell'UE (84 milioni di m³), seguita da Svezia, Finlandia e Francia (*Palahí et al., 2021*).

Il legno è stato sempre più utilizzato come fonte di energia rinnovabile. Infatti, quasi un quarto (23%) della produzione di legno tondo dell'UE nel 2020 è usato come legna da ardere e biomasse legnose per fini energetici, mentre il resto era legno tondo industriale usato per segati e impiallaccature, o per la produzione di pasta di legno e carta.

In alcuni Stati membri, in particolare Paesi Bassi, Cipro e Ungheria, la legna da ardere rappresentava la maggior parte della produzione di legno grezzo (più del 50%) nel 2020 (*Palahí et al., 2021*).

2.2 I segati e la lavorazione del legno tondo

L'elemento fondamentale della prima lavorazione del tronco è il segato. I segati sono tavole e travi ottenute dalla lavorazione meccanica del tronco intero, attraverso l'utilizzo

di macchine, principalmente attraverso lame da taglio come seghe circolari, seghe a nastro e troncatrici.

Il legname tagliato viene il più delle volte lavorato con tagli longitudinali paralleli all'asse del tronco, questo significa che la direzione della resistenza non è necessariamente allineata con l'asse longitudinale del legname segato.

Ad esempio, secondo le teorie del cedimento dei materiali di sostegno, quando la fibratura del legno è ad angolo rispetto all'asse del segato, la resistenza del segato nella direzione dell'asse longitudinale si riduce (*Norma UNI EN 1313-1*).

Oltre a questo, angoli di fibratura più grandi causano maggiori perdite di resistenza (*Norma UNI EN 1313-1*). In corrispondenza dei nodi, il disturbo dell'angolo della fibratura è sostanziale.

La perturbazione dell'angolo di fibratura significa che i singoli pezzi di legno avranno resistenze molto diverse anche quando provengono dallo stesso tronco d'albero e questo ha portato a commercializzare il legname segato in classi di resistenza che possono coprire un'ampia gamma di valori di resistenza (*Norma UNI EN 1313-1*).

Data l'esistenza di moltissime normative e numerosi standard di produzione estremamente rigidi, il segato ottenuto deve essere valutato in maniera adeguata e per questo si è dovuti pensare ad un metodo alternativo per classificare le tavole, togliendo o diminuendo la parte soggettiva della classificazione.

Innanzitutto, il segato si ottiene dopo diverse lavorazioni più o meno complesse. Dopo aver selezionato e misurato il tronco, inizia il processo di segatura vero e proprio.

Il processo inizia con la sfogliatura e continua poi con diverse tecniche di segatura svolte da diverse macchine da taglio e della manipolazione dei sottoprodotti. Seguono la selezione del legno fresco, la classificazione di difetti e nervature, l'essiccazione, la selezione del legno secco e l'imballaggio del legname.

L'automazione dei processi nelle segherie, le misurazioni in linea e le applicazioni di scansione con scanner e intelligenze artificiale (AI) utilizzate per la qualità dei segati completano questo ampio capitolo (Figura 2-1)

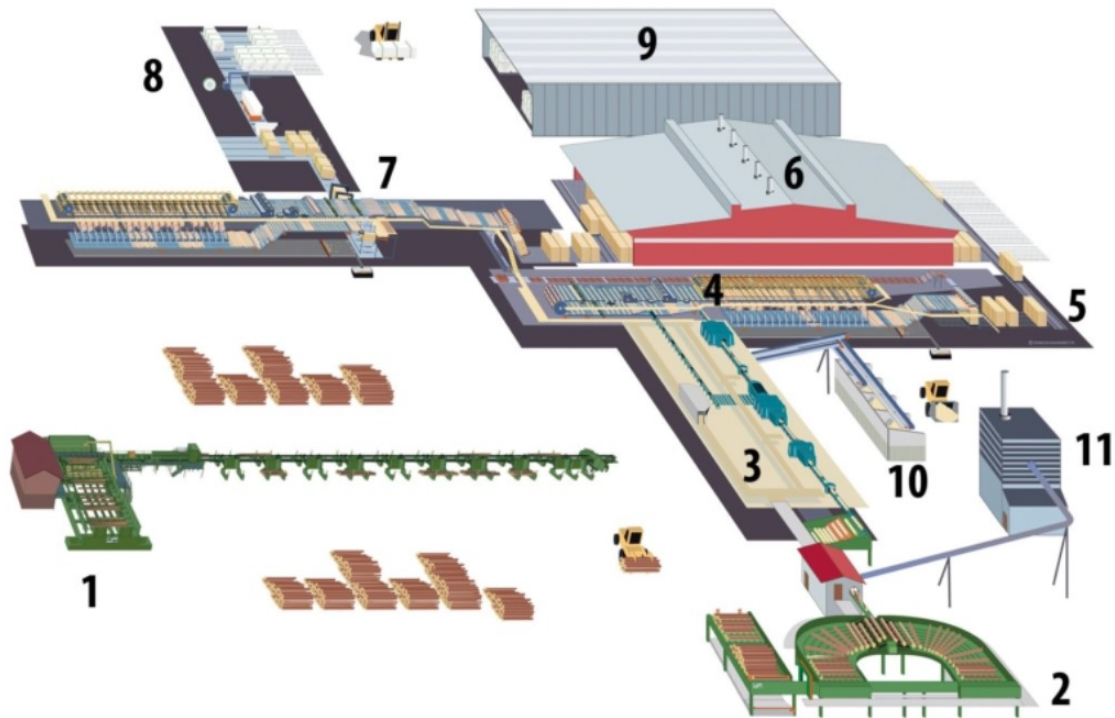


Figura 2-1: Rappresentazione schematica del funzionamento tipico di una segheria, partendo dalla lavorazione del tronco intero fino ad arrivare all'imbballaggio finale dei segati: 1) Deposito tronchi; 2) Tronchi scortecciati pronti per entrare nel processo di segatura; 3) Macchine per il controllo e taglio dei tronchi; 4) Linee per il controllo, classificazione ed ulteriore taglio dei segati; 5) Deposito e suddivisione dei segati ottenuti; 6) Deposito tavole per l'essiccazione; 7) Classificazione dei segati; 8) Imballatrici delle cataste; 9) Deposito tavole imballate e pronte alla spedizione; 10) Deposito di raccolta del truciolo e della segatura; 11) Termovalorizzatore a biomasse (immagine <https://www.florianinc.com>).

Il processo di segatura inizia nella linea di selezione del legname fresco e nel deposito dei tronchi che la maggior parte delle volte si trova all'esterno dell'impianto (Figura 2-2), continuamente monitorato e mantenuto a umidità costante con getti d'acqua, evitando la perdita di valore a causa di attacco di funghi, dalla fessurazione dovuta ad un'essiccazione troppo veloce e dall'attacco di insetti xilofagi (Berti et al., 1995).



Figura 2-2: Deposito legname presso la segheria Rumplmeier (foto di Leonardo Cusinato, Wilburgstetten, Germany)

Successivamente, attraverso l'utilizzo di mezzi per la movimentazione del legname, i tronchi vengono depositati in una macchina provvista di rulli dentati e rotanti che viene denominata scortecciatrice (*Figura 2-3*). Qui subisce una prima lavorazione, dove al legno tondo viene rimossa la corteccia.

Attraverso un nastro trasportatore, il tronco viene trasportato alla linea di segazione vera e propria, dove il tronco viene trasformato in prodotto lavorato.



Figura 2-3: scortecciatrice esterna con braccio meccanico nell'impianto Rumplmeier (foto di Leonardo Cusinato, Wilburgstetten, Germany)

Il legname appena segato viene trasportato, sempre attraverso sistemi per il trasporto per mezzo di rulli e nastri trasportatori, direttamente all'impianto di selezione e classificazione delle dimensioni e delle qualità.

Da questo punto in poi, il legname viene suddiviso in diverse linee di produzione: ci sono linee che trattano e dividono i segati quando sono ancora umidi (*wet*) oppure in linee che portano alla stazione di accatastamento per poi essere impilati in cataste di essiccazione.

L'essiccazione generalmente avviene all'esterno su piazzali oppure, per determinati prodotti, vengono chiuse in cosiddette camere di essiccazione, dove, attraverso il controllo di temperatura e pressione, si ottengono prodotti perfettamente essiccati e non deformati. L'essiccazione avviene quindi nei cosiddetti forni a camera o progressivi.

Il legname segato secco viene selezionato nell'impianto di selezione nelle sue classi di qualità. Questo avviene grazie ad un controllo qualitativo svolto da scanner specifici ad

alta tecnologia per l'individuazione di determinati difetti salvati nel riconoscimento automatico del *software* . Il software è in grado di decidere come e dove tagliare le tavole, asportando eventuali difetti indesiderati.

Le nuove intelligenze artificiali costruiscono dettagliati schemi di taglio con un errore che può variare del 5 al 10% (*Buzug, 2008*).



Figura 2-4: Inizialmente le tavole passano sotto il controllo dello scanner, in questo caso scanner trasversale Microtec GoldenEye 900, che li classifica in base ai difetti e ne costruisce uno schema di taglio ottimale (foto di Leonardo Cusinato, Wilburgstetten, Germany)



Figura 2-5: Successivamente le tavole passano sotto ad un sistema di seghe circolari, in questo caso macchina tagliante Springe, con potenza di 35 MW ciascuna per il taglio (foto di Leonardo Cusinato, Wilburgstetten, Germany)

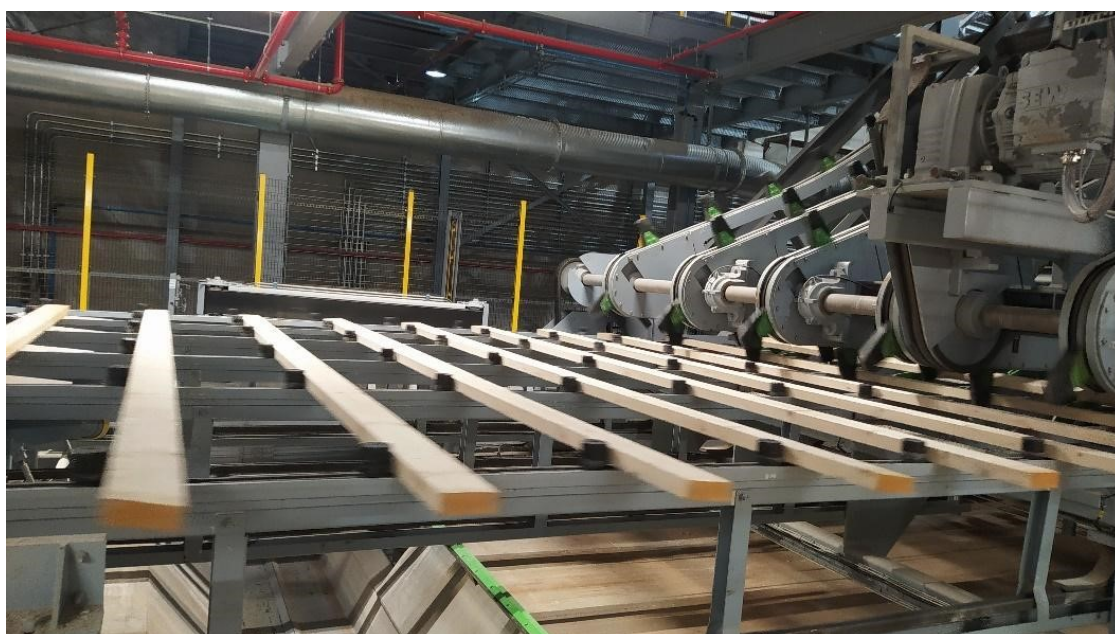


Figura 2-6: infine le tavole giungono ad un sistema di nastri trasportatori che le portano alla zona di essiccazione o di imballaggio (foto di Leonardo Cusinato, Wilburgstetten, Germany)

I segati vengono infine imballati per la consegna finale ai clienti. Questa fase può avvenire sia con la macchina imballatrice, sia grazie a degli operatori che svolgono questa operazione a mano.

I segati imballati, vengono trasferiti in magazzino in attesa della spedizione e del trasporto.

I sottoprodotti del processo di segazione, come trucioli e segatura vengono trasferiti in silos e successivamente caricati su autocarri per la consegna ad aziende per la produzione di bio-combustibili o per la produzione di pannelli truciolari.

Nel caso di sottoprodotti come sciaveri e refili, questi possono essere trasformati in cippato in azienda oppure venduti tal quali ad aziende per la trasformazione in bio-combustibili.

Il recupero della fibra di legno dal tronco è un problema importante per l'industria del legno. Con i tronchi usati per produrre compensato, è possibile recuperare circa il 50% del volume di fibra disponibile. Questa cifra è paragonabile ai recuperi del legname segato (*Milner, 2009*).

Gli scarti dei segati sono in gran parte una conseguenza del taglio di legname rettangolare da un tronco che è approssimativamente rotondo e affusolato (*Milner, 2009*).



Figura 2-7: deposito scarti di lavorazione (foto di Leonardo Cusinato, Wilburgstetten, Germany)

I segati possono essere classificati secondo la i) resistenza, ii) lunghezza e iii) direzione delle fibre, ed essere usati con funzione strutturale per elementi di tipo lineare di legno massiccio.

I segati sono venduti in classi che limitano la dimensione dei nodi e il livello di inclinazione della fibratura.

In particolare, i nodi che occupano una grande proporzione della sezione trasversale causano deviazioni locali della direzione delle venature e debolezza dovuta al fatto che la resistenza perpendicolare alla venatura del legno è solo un decimo della sua resistenza parallela alla venatura.

Non tutti i pezzi in una produzione hanno lo stesso livello di caratteristiche che riducono la resistenza, questo significa che molti pezzi all'interno dello stesso grado di legno potrebbero essere progettati usando livelli di stress notevolmente più alti se questi fossero identificati e commercializzati separatamente, anche se questo è difficile da mettere in pratica (*Norma UNI ENV 1927-2*).

Nel caso in cui i segati presentino degli evidenti limiti nelle dimensioni e nelle caratteristiche fisico-meccaniche, dovuti al fatto che vengono ricavati da un unico tronco, esistono diverse metodologie per garantire una dimensione pressoché infinita grazie al processo di incollaggio, attraverso il quale è possibile realizzare prodotti di tipo lineare come legni massicci da costruzione, travi *Glulam* e pannelli XLam (*Norma UNI ENV 1927-2*).

I segati vengono giuntati in direzione longitudinale mediante un giunto a pettine (o finger join), realizzando così un prodotto di maggiore lunghezza.

Tramite incollatura della superficie possono essere uniti più elementi in direzione trasversale, ottenendo sezioni di dimensioni più grandi.

Tramite incollatura di più strati con fibra intrecciata vengono prodotti gli elementi piani con una resistenza addirittura maggiore del legno massiccio.

Gli elementi costruttivi del legno di forma lineare, come ad esempio travi o aste, sono principalmente utilizzati nel settore edile (*Norma UNI ENV 1927-2*).

Il termine 'segato' è impegnato nella terminologia comune e nel commercio del legname per indicare l'insieme di tutti gli assortimenti legnosi che si ottengono con la segazione, cioè il taglio in assi paralleli lungo un fusto d'albero; essi comprendono quindi: tavole, travi, travetti, morali, mezzo-morali, perline e listoni.

In tutto il mondo il legno segato è il materiale più antico e più comune usato in tutti i settori della costruzione. È caratterizzato da una grande versatilità d'uso, un'elevata resistenza in rapporto al peso e la facile lavorazione successiva al taglio.

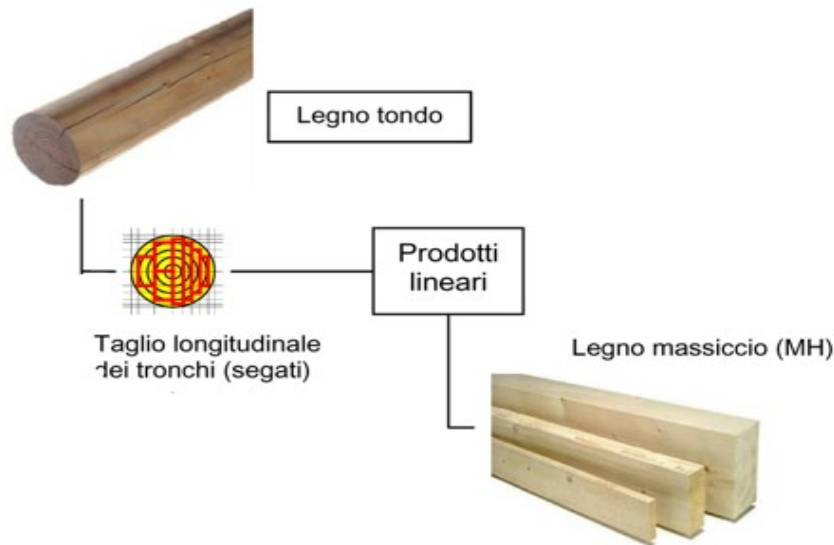


Figura 2-8: Schema del sistema di taglio longitudinale per ottenere i segati partendo dal tronco (immagine <https://www.florianinc.com>).

Come possiamo notare dalla figura precedente, il primo prodotto che si ottiene del processo di lavorazione in segheria è il legno tondo o tondame. Con questo nome si intendono legnami di conifere come il Pino europeo, Pino radiata, Abete rosso e Abete bianco e Larice, e legno di latifoglie come Faggio e Betulla, per i quali oltre allo scortecciamento ed all'eliminazione del cambio non sono ammesse altre trasformazioni della sezione e della superficie del legno, eventualmente solo la rettificazione del tronco per ottenere così un diametro costante.

Dato che il tondame mantiene la struttura naturale, considerando principalmente le fibre esterne, presenta migliori caratteristiche di resistenza e rigidità rispetto ai segati.

Per utilizzi strutturali, il legno tondo deve presentare, oltre alle caratteristiche di resistenza, anche il mantenimento entro certi valori limite della conicità cioè la riduzione della sezione di legno tondo in direzione assiale, della crescita a spirale dell'albero e della rastremazione, cioè il rapporto tra diametro massimo e minimo in una sezione.

2.3 Evoluzione tecnologica degli impianti di segagione

La gestione forestale e la conseguente lavorazione del legname ha subito un'evoluzione tecnologica senza precedenti, soprattutto a partire dalla prima Rivoluzione Industriale.

Il legno è stato impiegato dall'uomo come materiale da costruzione fin dalla preistoria, con una lenta ma progressiva evoluzione degli strumenti e delle tecniche per la sua lavorazione.

Nel Medioevo appartengono addirittura i primi documenti dove si accenna all'impiego di macchine azionate da forza idraulica (*si veda ad esempio il taccuino di Villard de Honnecourt*).

Le macchine idrauliche ebbero una buona diffusione soprattutto in Italia, già a partire dal XIV secolo, in territorio veneto. Assunsero il nome di seghe veneziane o lagunari (*Galassini, 1941*).

Altrove il taglio e la segagione continuarono ad essere quasi esclusivamente legate all'utilizzo di animali o manuali almeno fino all'inizio dell'Ottocento, quando l'evoluzione tecnologica data dalla rivoluzione industriale in atto, portò alla sostituzione dell'energia umana con quella del vapore, nacquero così le prime macchine moderne per la segagione dei legnami tra cui le tradizionali seghe alternative (a telaio o a lama libera) e le seghe a nastro e seghe circolari (*Figura 2-1*).

Lo sviluppo dell'ingegneria meccanica favorì inoltre gli studi sull'ottimizzazione delle dentature e del moto delle seghe.

Fino alla prima metà del Novecento, la varietà delle condizioni economiche e sociali garantirono in Italia la convivenza della tradizionale lavorazione manuale con quella meccanica.

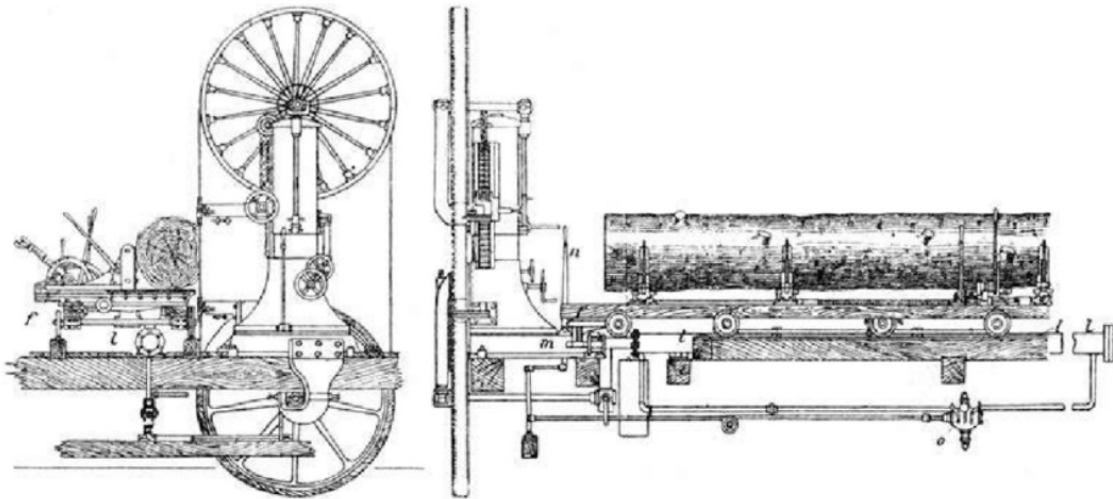


Figura 2-9: Vista frontale di una sega a nastro utilizzata nell'800 (Garuffa, 1898)

Durante l'Ottocento furono inventati anche alcuni modelli di seghe meccaniche destinate ad intestare i tronchi, queste erano seghe alternative a lama libera, le seghe circolari montate su braccio mobile e le seghe a catena, che prendevano spunto da modelli di seghe chirurgiche.

Solo dopo la metà degli anni '30, le seghe furono dotate di motore elettrico o a scoppio, destinate al trasporto a braccio in foresta per l'abbattimento degli alberi e il depezzamento dei legnami (Galassini, 1941)

In gran parte dell'Italia, la scarsità di carbone e l'arretratezza sociale e economica di diverse delle regioni che componevano la penisola, limitò molto l'impatto della prima rivoluzione industriale sulle attività produttive, e anche nel settore della lavorazione del legno.

Le macchine viste precedente rimasero limitate nell'uso a rari esempi

di laboratori delle grandi città del Nord, mentre nel triveneto continuarono ad essere attive le seghe alla veneziana e altrove rimase il lavoro manuale.

Negli ultimi due decenni dell'Ottocento il progressivo diffondersi dell'energia elettrica, le innovazioni nella produzione e lavorazione dei materiali metallici e in generale progresso tecnico ed economico del paese diedero avvio a una maggiore estensione dell'impiego della segazione meccanica anche nelle città del centro e sud Italia; solo

dopo il secondo dopoguerra però scomparve quasi interamente la segagione manuale dei grossi tronchi e si ebbe la progressiva sostituzione delle segherie tradizionali nel triveneto (Asche et al., 2010).



Figura 2-10: segheria moderna nel Nord Italia (Trentino Alto-Adige)

Il settore della segheria quindi ha subito cambiamenti significativi negli ultimi decenni. L'industria manifatturiera del legname è una componente importante dell'economia Europea, soprattutto degli stati Nord Europei come Germania, Svezia, Finlandia ed Estonia.

È infatti un'importante fonte di occupazione in molte comunità rurali che sono completamente dipendenti da questa risorsa.

Un importante contributo di questo studio è la modellazione esplicita del cambiamento tecnologico. La ricerca passata si è basata su una tendenza temporale per rappresentare il cambiamento tecnologico.

L'evoluzione tecnologica delle strumentazioni essenziali al taglio, all'essiccazione ed al trasporto ha incrementato soprattutto la resa di prodotto.

Mentre l'occupazione nell'industria delle segherie è diminuita dalla fine degli anni '70, le condizioni di mercato e la politica di governo sembrano essere più responsabili del cambiamento tecnologico che per la perdita di posti di lavoro (*Franklin, 1989*).

Le segherie sono avanzate non solo nella tecnologia dei processi produttivi, ma anche in quello che si può definire un vero modello di sviluppo sostenibile e lavorazione di materie altamente certificate.

Le foreste naturali di tutto il mondo sono state gestite seguendo criteri economici come variabile principale nella scelta del metodo di rigenerazione (*Franklin, 1989*) e soprattutto per la progettazione delle segherie moderne.

L'analisi della redditività, quindi, ha considerato soprattutto i criteri ecologici e sociali sono stati privilegiati rispetto alle variabili economiche per raggiungere la conservazione della biodiversità (*Mitchell e Beese, 2002*). Pertanto, appare un'opportunità per combinare la conservazione della fauna selvatica e la produzione di legno nelle strategie di gestione (*Carey et al., 1999*).

Per questo, è stato necessario ottimizzare anche tutte le attività lungo il processo produttivo, massimizzando i prodotti e minimizzando i costi.

Attualmente, in molte parti del mondo, è obbligatorio un piano di gestione forestale, svolto da professionisti qualificati prima dell'esbosco, che comprende uno studio dei popolamenti e delle rese di legname da abbattere.

Quindi l'innovazione nella tecnologia applicata agli aspetti di conservazione della biodiversità incorpora un programma di monitoraggio ambientale.

Non dimentichiamo però l'avanzato sistema di segagione e trasporto, completamente elettronico e a controllo remoto di cui sono provvisti gli impianti moderni.

Sofisticati sistemi combinano le macchine di ultima generazione per la scansione e determinazione dei difetti con i migliori sistemi di taglio, precisi al millimetro.

Questa sinergia, oltre a ridurre drasticamente gli sprechi di materiale e il numero degli scarti, aumenta anche la produttività e riduce l'errore umano nel controllo e classificazione immediata delle qualità del materiale.

2.4 La qualità della produzione dei segati

La qualità dei segati non dipende solo dai metodi di taglio, dallo stoccaggio o dal trasporto, ma dalla coltivazione degli alberi.

Per quanto riguarda le caratteristiche tecniche della materia prima che si intende produrre, è difficile prevedere in dettaglio quale potrà essere la richiesta del mercato al termine della coltivazione o delle attività selvicolturali.

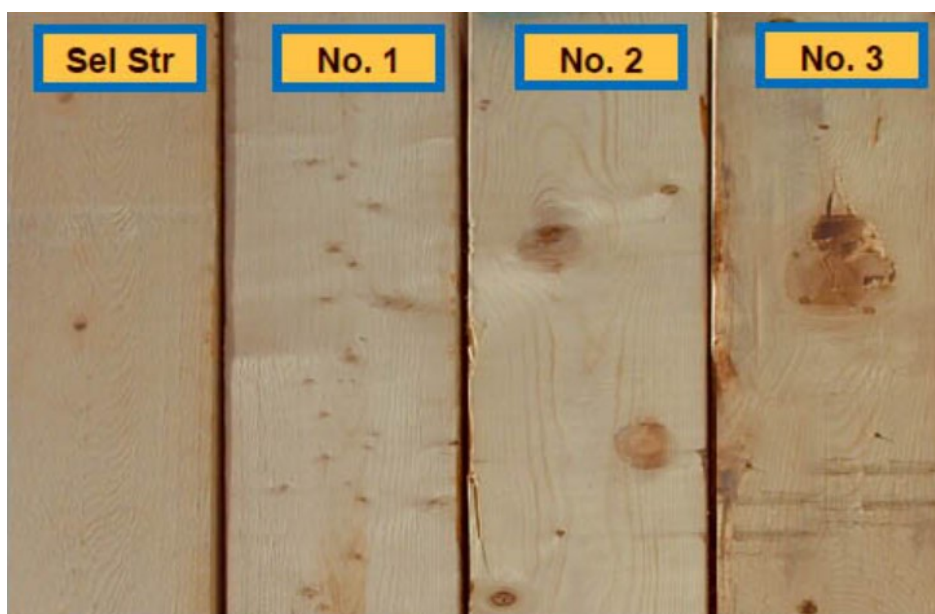


Figura 2-11: esempio della suddivisione dei segati secondo la tipologia di difetti riscontrati, in questo caso nodi (<https://www.artofmanliness.com/skills/manly-know-how/primer-on-lumber/>).

Possiamo però prevedere che le future tecnologie produttive, come quelle attuali, possano consentire l'assorbimento di grandi quantità di legname avente qualità scarsa, nonché di scarti, residui e materiali di recupero, e la loro trasformazione in semilavorati

e prodotti di largo impiego come pannelli di particelle e di fibre, compositi legno-plastica e altri lavorati.

Questo consentirà di integrare la redditività delle produzioni legnose, ma si tratta comunque di una materia prima di bassa qualità, che non dovrebbe costituirne la parte principale (*Fioravanti, 1999*).

Ci sono però elementi a sfavore di tali semilavorati derivati dal legno: gli elevati costi energetici delle altre materie prime necessarie (colle, etc.) e dei processi di trasformazione e soprattutto il fatto che da soli tali prodotti non possano avere uno standard qualitativo elevato come potrebbe fornire il legno massiccio, lo sfogliato o il tranciato.

Data la variabilità e la rapida evoluzione delle tecnologie produttive e delle richieste del mercato, è quindi difficile definire in dettaglio, cosa debba intendersi per produzione legnosa di elevata qualità.

Bisogna identificare dei parametri minimi, basati anche sulla conoscenza delle esigenze industriali odierne, che prevedibilmente continueranno a sussistere quando i popolamenti giungeranno a maturità. Questi parametri riguardano in parte il materiale ed in parte gli assortimenti legnosi come, ad esempio, la forma dei fusti, la densità ed accrescimenti regolari, l'omogeneità dei lotti, l'assenza di anomalie e difetti del legno, quali nodi, deviazione della fibratura, fessurazioni e lesioni, alterazioni biologiche, legni di reazione, etc.

Un fattore importantissimo da considerare è che ogni specie ha caratteristiche ed esigenze proprie, che la rendono più o meno adatta a specifiche situazioni.

Dal punto di vista industriale occorre poi che le dimensioni del legname siano idonee per l'esecuzione delle lavorazioni previste e soprattutto con rese di trasformazione accettabili. Si deve anche raggiungere una certa omogeneità nell'ambito, quanto meno dei singoli lotti, per assicurare la massima resa effettiva e la minor perdita di materiale.

Per concludere, la conoscenza dei processi produttivi attuali e delle relative esigenze per quanto riguarda la qualità della materia prima può fornire indicazioni utili circa le future esigenze di qualità del legname per la trasformazione industriale (*Fioravanti, 1999*).

2.5 Obiettivi

Questo elaborato vuole analizzare, in forma di ricerca bibliografica, come si è evoluta negli anni la tecnologia della scansione del legno, sia in termini di evoluzione puramente tecnologica, sia analizzando le implicazioni a livello organizzativo. Come esempio verranno utilizzate soprattutto segherie Svedesi e Tedesche, che rappresentano l'attività media in termini di produzione e commercio in tutta l'Europa.

Un'ulteriore analisi verrà fatta confrontando le differenze di applicazione nel per il legno di latifoglie e quello delle conifere.

L'attività di tesi si è svolta nell'anno 2021 tra giugno e novembre. I dati sono stati raccolti in collaborazione dell'azienda leader mondiale della scansione del legno tondo e dei segati '*Microtec s.r.l.*', con sede a Bressanone Provincia autonoma di Bolzano, IT).

3 TECNOLOGIE PER LA SCANSIONE DEL LEGNO

Il legno è ampiamente utilizzato nelle costruzioni, nell'arredamento, nelle tecnologie di imballaggio e trasporto e soprattutto nelle applicazioni artistiche. Questo è dovuto alle sue buone proprietà meccaniche e al suo valore estetico.

Tuttavia, poiché la crescita e la conservazione del legno sono fortemente influenzate dall'ambiente, spesso contiene diversi tipi di difetti che influenzano le sue prestazioni tecnologiche e il suo valore ornamentale. Per risolvere i problemi di elevati costi di lavoro e bassa efficienza nel rilevamento dei difetti del legno, sono subentrate nel mondo delle segherie i metodi di *visione artificiale*, cioè *intelligenza e deep learning*.

Il legno gioca un ruolo importante come materia prima essenziale in molte industrie, specialmente nell'industria delle costruzioni. Tuttavia, a causa del lungo ciclo di crescita della maggior parte dei legni, l'impatto ambientale e la scarsità di risorse, le esigenze di produzione non vengono soddisfatte. Inoltre i consumatori preferiscono acquistare materiali in legno massiccio senza difetti evidenti.

Per soddisfare la domanda dei consumatori di pannelli in legno massiccio, le imprese di lavorazione del legno devono spendere molto in manodopera per identificare i difetti sulla superficie dei pannelli di legno massiccio, in modo da eliminare i difetti con la segazione e poi giuntare i materiali rimanenti in alcune specifici prodotti attraverso la tecnologia del finger joint, riducendo al contempo gli scarti di legno e aumentando i benefici economici.

L'uso di manodopera per identificare i difetti di superficie dei pannelli di legno massiccio presenta però molti svantaggi, uno tra questi è la forte soggettività, la bassa efficienza del lavoro, l'alta intensità di manodopera ed i costi estremamente elevati.

Sempre più imprese di lavorazione del legno hanno introdotto l'automazione e la tecnologia di rilevamento intelligente dei difetti del legno per sostituire l'uomo, per identificare e rilevare la qualità del legno, per migliorare l'efficienza del lavoro e per ridurre i costi e aumentare così i profitti.

I difetti del legno si riferiscono a varie strutture anormali del tessuto e a danni causati da fattori fisiologici e patologici durante il processo di crescita dell'albero, di lavorazione del legno o nel trasporto.

In passato, erano diverse le metodologie per esaminare o testare il legno, come l'uso di un carico controllato o una sollecitazione per rilevare le proprietà meccaniche del legno, o usando un misuratore di umidità a spillo o dielettrico per rilevare il contenuto di umidità.

Negli ultimi anni, sono stati sviluppati vari metodi basati sulla visione artificiale (AI) e l'informatica sono stati sviluppati per rilevare la qualità del legno senza la problematica della soggettività dell'operatore e senza arrecare danni al legno.

Questi metodi utilizzano sistemi di spettroscopia nel vicino infrarosso, test ad ultrasuoni, test a raggi X, test laser e tecnologia di emissione acustica.

Tecnologia	Impiego
<i>Spettroscopia ad infrarossi</i>	Rilevazione di tipologia del materiale
<i>Ultrasuoni</i>	Densità e conformazione interna di strutture legnose e non
<i>Laser test</i>	Rilevazione della direzione della fibra e profondità di eventuali fori e crepe
<i>Emissione acustica</i>	Altro metodo di rilevazione della densità, resistenza e forma del legno e dei difetti

Tabella 3-1: tabella che riassume le tecnologie principali ed il loro impiego (tabella di Leonardo Cusinato, dati raccolti con autorizzazione di Microtec srl)

Le velocità del suono sono calcolate dai dati sul tempo di transito ottenuti con una tecnica di trasmissione del suono attraverso il legno e misurando il tempo trascorso in questa fase.

Un'onda ultrasonica è creata da uno shock sonico che eccita il trasduttore di trasmissione con un singolo impulso di 400 volt con una durata di 1 nanosecondo. Quando questo impulso viene avviato, si avvia anche un contatore di intervalli di tempo. L'onda sonora trasmessa si propaga attraverso il legno e viene raccolta da un trasduttore.

Quando il ricevitore percepisce l'onda sonora, il contatore dell'intervallo di tempo viene fermato per ottenere il tempo di transito. La velocità del suono nel legno può essere ottenuta dopo aver misurato la distanza tra i trasduttori e dopo aver misurato lo spessore del legno.

Frequenze solitamente associate alle tecniche di trasmissione ultrasonica per l'invio del suono attraverso il legno vanno da 150 kHz a 1000 kHz e con tali frequenze i difetti possono essere localizzati con molta precisione.

Le immagini tomografiche invece, sono prodotte con le radiazioni ionizzanti e sono chiamate tomogrammi o fette e sono ottenute dalla traslazione e rotazione di della sorgente e dei rivelatori intorno al campione, che sia un tronco, un'asse o una tavola.

In un mezzo disomogeneo come il legno, il coefficiente di attenuazione dipende dalla composizione chimica dell'oggetto in esame.

Le fette producono informazioni spaziali, in 3D.

La variazione di densità osservata sulle immagini tomografiche è dovuta alla distribuzione di vari elementi strutturali anatomici del campione in esame e al contenuto di acqua nelle pareti cellulari. nelle pareti cellulari e nei lumi. I tomogrammi sono ottenuti tramite calcolo, utilizzando un sofisticato programma per computer.

I vantaggi della tomografia computerizzata ionizzante sono numerosi rispetto alla radiografia convenzionale come: nessuna pellicola e densitometria ottica, dati in tempo reale, miglioramento della procedura di calibrazione e grande volume del materiale ispezionato.

I parametri di scansione sono influenzati da diversi fattori come: specie di legno, dimensioni del campione, livello di contrasto nella densità per i diversi difetti, uso finale delle informazioni di scansione, velocità di scansione necessaria per il contesto di produzione (Grönlund et al. 1994; Wagner et al. 1985; 1989).

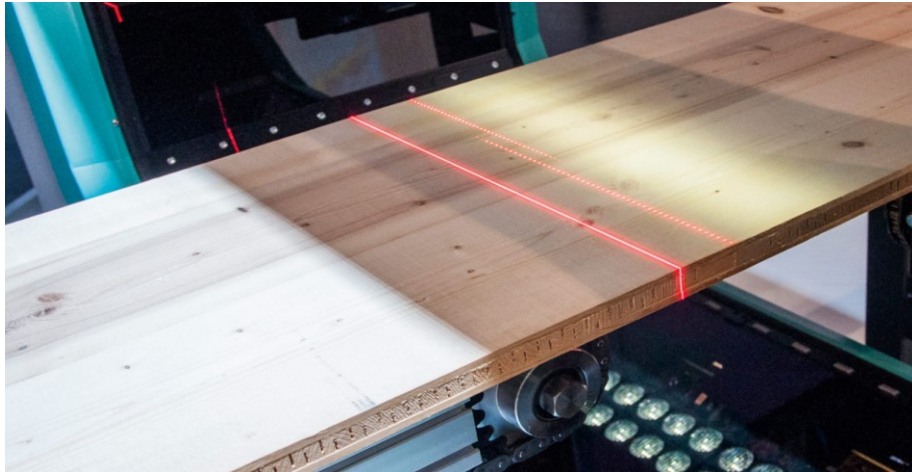


Figura 3-1: metodi di scansione laser delle tavole dry (immagine <https://microtec.eu/it/>)

3.1 Posizionamento dello scanner

Gli scanner in segheria solitamente sono collocati lungo le linee di produzione, cosicché si possa avere un controllo generale ed immediato del materiale.

Ogni scanner ha una funzione ed un tipo di prodotto specifico da analizzare, per questo motivo gli scanner tomografici per i tronchi saranno installati nel primo ciclo di segheria, appunto subito dopo il piazzale di deposito, quando il tronco viene spostato nella linea produttiva.

Gli scanner per le travi, invece, verranno installati lungo le varie linee, tarati su prodotti, lunghezze e difetti diversi l'uno dall'altro.

3.2 CT-Log : legno tondo

Lo scanner utilizzato per la scansione dei tronchi è il “CT Log”. Questo scanner è attualmente in fase di aggiornamento e si stanno sviluppando sistemi di Intelligenza Artificiale per il rilevamento di materiale metallico (Figura 3-3) o roccioso interno ai tronchi, distinguendolo da oggetti di densità minore come il ghiaccio.

Pensato come scanner per tronchi di piccole e grandi dimensioni, questo scanner può raggiungere una lunghezza di 21 m ed un'altezza di 7 m.

La tomografia computerizzata CT Log permette una ricostruzione computerizzata del tronco in 3D e sistemi computerizzati, rilevando i difetti interni al tronco, riescono a decidere il miglior taglio del tronco per avere la maggior qualità dei prodotti ottenuti.

Per la prima volta, la dimensione e la posizione dei difetti interni del legno possono essere accuratamente descritti in tutte e tre le dimensioni con precisione millimetrica.

Il tronco, attraverso dei nastri trasportatori e delle ruote dentate che ne mantengono la posizione, scorre a velocità costante al di sotto del corpo principale del CT, dove diverse camere ad alta tecnologia, compiono una tomografia completa e ne determinano la conformazione ed i difetti presenti.

Attraverso queste ruote dentate vengono anche prese le misure dei tronchi e delle fotocamere ad alta tecnologia esterne, valutano la qualità del tronco solamente osservandone la superficie di taglio.



Figura 3-2: ricostruzione computerizzata esterno del CT Log (immagine <https://microtec.eu/it/>)

Come già detto quindi, utilizzando i difetti interni, CT Log valuta l'aspetto, la qualità e le proprietà di resistenza e valuta il loro impatto sul prodotto finale.

Le soluzioni di segazione e disboscamento sono continuamente ottimizzate in base alla massima qualità e rivendibilità, permettendo di gestire la produzione secondo le priorità in tempo reale.

La tomografia computerizzata Large Cone-Beam è la tecnologia per la tomografia dei tronchi utilizzato nelle linee di segheria più innovativa sviluppata da Microtec. Questo metodo è basato sull'uso di un grande sensore radio-grafico che ruota attorno al tronco a 360° e di un innovativo algoritmo matematico d'inversione per realizzare una scansione a raggi X ed una tomografia computerizzata ad alta velocità ed alta risoluzione (Figura 3-4).

Ricostruzione digitale completa del tronco e classificazione virtuale per l'ottimizzazione del valore reale nel processo di taglio e segheria. *CT Log Computed Tomography* scansiona e ricostruisce le caratteristiche interne del tronco in forma digitale, permettendo una valutazione della soluzione di taglio ottimale in tempo reale.



Figura 3-3: tomografia del tronco fatta con il CT Log; si nota la zona bianca (più densa) con la presenza di un corpo metallico (immagine di Leonardo Cusinato, Microtec)

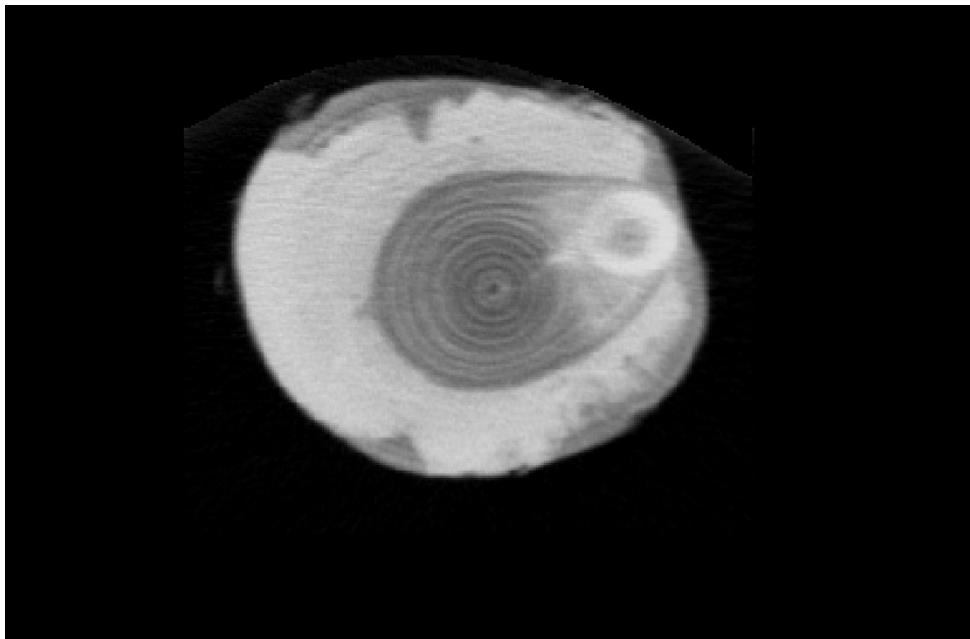


Figura 3-4: tomografia del tronco attraverso il CT Log; si possono notare le differenze di densità tra alburno e durame e il nodo, chiaramente più denso (immagine di Leonardo Cusinato, Microtec)

Il *CT Log Computed Tomography* è un nuovo sistema quindi che permette una ricostruzione completa dei tronchi. Per la prima volta è possibile descrivere in maniera accurata la grandezza e la posizione dei difetti interni al legno in modo tridimensionale.

In base ai difetti interni il CT Log è in grado di valutare l'aspetto esteriore, la qualità e la resistenza del prodotto finale e può andare ad analizzare l'effetto che tali difetti avranno sul prodotto finale prima che il tronco venga fisicamente tagliato.

Le soluzioni di taglio vengono ottimizzate continuamente sulla base della più alta qualità e del massimo utile di vendita in modo che la produzione possa essere controllata secondo le priorità della ditta, che sono totalmente personalizzabili.

3.3 Goldeneye: legno lavorato

Lo scanner per il legno lavorato ha tecnologie diverse e riscontra un più diffuso mercato a livello globale rispetto agli scanner tomografici per tondame, dato che la maggior parte delle segherie preferisce investire sulla scansione di una tavola già lavorata piuttosto che su un tronco fresco, dato anche l'elevato risparmio ed i minori costi di produzione.

I principali scanner del legno lavorato sono i Goldeneye, che si suddividono a loro volta tra Longitudinali, cioè che scansionano le tavole dalla parte della lunghezza e Trasversali, che scansionano le tavole lateralmente (Figura 3-5).



Figura 3-5: ricostruzione computerizzata esterno del Goldeneye 900, per la scansione trasversale delle tavole (immagine <https://microtec.eu/it/>)

Questa tipologia di scanner rileva e localizza tutti i tipi di difetti, sia in maniera analitica che grazie all'utilizzo di intelligenze artificiali e reti neurali.

È in grado di localizzare e classificare nodi, crepe, scolorimento, carie, azzurramenti, tasche di resina, smussi, curvature e altri difetti dimensionali.

I difetti possono essere scelti dal cliente in base alle proprie esigenze di produzione.

Questo procedimento permette ai clienti di automatizzare, semplificare e ottimizzare tutte le fasi successive della produzione, garantendosi così un risparmio e una diminuzione dell'errore soggettivo umano.

Goldeneye 900 classifica la qualità complessiva del legno e offre la possibilità di un'ottimizzazione del valore di mercato prima e dopo l'essiccazione, perché questo scanner valuta sia il legno grezzo che il legno piallato.

GE 900 rappresenta in sintesi, l'integrazione perfetta di scanner a colori e laser inseriti in un unico sistema multi-sensoriale. Questo offre una visualizzazione completa della superficie di legno.

Dal momento che le tavole non devono essere girate, presentando camere sia sopra che sotto, passano sotto lo scanner una sola volta. Visto che non sono necessari i dislivelli,

lo scanner può essere connesso ad altre unità di selezione o nastri di trasporto trasversale tramite cambiamenti minimali.

Attraverso il suo software d'ottimizzazione, si può controllare i parametri in tempo reale e settare le regole per il successivo taglio o eliminazione dei difetti. Inserendo queste regole, si determina così anche la tipologia di produzione, di qualità o non, per una massima resa dei processi di produzione.



Figura 3-6: Linea di produzione con Goldeneye 900 (foto di Leonardo Cusinato, Wilburgstetten, Germany)

Le tavole passano ad elevata velocità mentre lo scanner, con diverse fotocellule, ne misura i parametri e ne esegue la scansione, classificando all'istante la tavola in base alla sua qualità.

L'unico difetto di questo scanner è che nei lati Left e Right della tavola verranno acquisite meno informazioni e meno dati, dato che le camere non sono presenti nella parte laterale della tavola. Questo inconveniente è però sorvolato dal grande risparmio di tempo, dato che la velocità di scansione è raggiunge le 3 tavole al secondo.

Un altro esempio di scanner per il controllo qualitativo del legno lavorato è sicuramente il Longitudinale (Figura 3-6).

Ad esempio si possono citare il Goldeneye 800, più moderno e avanzato, ed i modelli meno recenti come il GE 700 e 500.



Figura 3-7: ricostruzione computerizzata esterno del Goldeneye 800, per la scansione longitudinale delle tavole (immagine <https://microtec.eu/it/>)

Questo, a differenza dello scanner laterale, presenta un ottimo controllo di tutti e quattro i lati, anche se, dovendo passare una tavola alla volta nel senso della lunghezza, pecca in velocità e quindi diminuisce i tempi di produzione.

Con le moderne tecnologie, lo scanner multisensoriale ad alta velocità di nuova generazione comunque calcola la qualità delle tavole fino a una velocità di 1200 m/min, quindi una velocità estremamente elevata.

La nuova tecnica radiologica è ideata per scansioni e ottimizzazioni durativi e prevede ad alte e precise prestazioni, che identificano difetti interni del legno, midollo e determinano l'area dei nodi nelle tavole.

In una frazione di secondo distingue e localizza nodi, crepe, tasche di resina, fori, scolorimenti, legno marcio, smussi e altri difetti.

Il Goldeneye 800 può essere utilizzato sia per il legno di conifera che per il legno di latifoglie, fresco o essiccato.

4 PRINCIPALI DIFETTI VISIBILI

I principali difetti analizzabili con le moderne scansioni, sono visibili sulla superficie delle tavole ed includono nodi vivi, nodi morti, marciume, scolorimento, fori di xilofagi, crepe, spuntature e deviazione della fibra.

4.2 Nodi (knots)

Il difetto dei nodi è uno dei principali e più richiesti difetti nel mercato del legno globale. Le nuove tecnologie riescono ad individuare un nodo, classificarlo in base alle sue caratteristiche qualitative e alla sua grandezza e decidere il taglio più efficace per rimuoverlo dalla tavola.

I nodi vivi o *sound knots* (Figura 3-7) sono causati dai rami vivi di un albero e sono la fibra non è separata dal legno del tronco principale, ed è considerato vivo anche se la fibra è attaccata per più di $\frac{1}{4}$ del diametro del nodo (Normativa).

Questo difetto non provoca problemi al legno strutturale, però un numero elevato di nodi vivi complica il disegno del legno e influisce sul suo valore ornamentale.



Figura 4-1: esempio di nodo vivo (foto di Leonardo Cusinato, Microtec)

I nodi morti o *dead knots* (Figura 3-8) sono causati da rami morti e poi circondati dal legno durante la crescita dell'albero.

La struttura della fibra è spesso parzialmente o completamente separata dai tessuti circostanti per almeno $\frac{3}{4}$ del diametro totale del nodo (Normativa).

L'esistenza di nodi morti riduce seriamente le proprietà meccaniche dei pannelli in legno massiccio, che non potranno essere quindi utilizzati come legno strutturale o di sostegno.



Figura 4-2: esempio di nodo vivo (foto di Leonardo Cusinato, Microtec)

I nodi possono presentare anche marcescenza e segni di degrado. Questi nodi non possono essere utilizzati per alcun tipo di costruzione, dato che hanno compromesso il legno non solo a livello del nodo, ma anche a livello della fibra circostante.

Sono rilevati non solamente attraverso metodi di Intelligenza artificiale , che li riconosce a livello visivo, ma anche con sistemi di rilievo 3D che ne determinano la mancanza di materiale, e quindi vengono subito classificati come *unsound*.

Questi nodi possono essere rimossi dalla tavola attraverso sofisticati sistemi di taglio e poi la tavola viene ricongiunta attraverso l'utilizzo di *finger joint*.

Esempi di questi nodi possono essere i *barkringed knot*, quindi circondati da corteccia e gli *unsound knots* o nodi marcescenti (Figura 3-9).



Figura 4-3: esempio di nodo *barkringed* a sinistra e nodo marcescente a destra (foto di Leonardo Cusinato, Microtec)

4.3 Stains (muffe e carie)

Altri difetti importanti per la qualità visiva e strutturale di un prodotto legnoso sono sicuramente i difetti derivanti da attacchi fungini.

Le muffe sono estremamente complesse e di diversi tipi, ma per semplificazione nel mercato vengono solitamente considerate due principali famiglie: quelle della carie bruna o *brown stain* e quella degli azzurramenti o *blue stain*.

L'azzurramento è un tipico difetto diffuso su pino e abete e talvolta sul faggio.

Questi funghi cromatogeni, causano la pigmentazione e successiva comparsa di corpi fruttiferi sul legno in opera. Questi funghi possono destare preoccupazioni soltanto dal punto di vista estetico, provocando in alcuni casi la degradazione dei rivestimenti decorativi.

I funghi dell'azzurramento provocano una colorazione permanente da blu a nero di intensità e profondità variabile, soprattutto nell'alburno di certi legni (Figura 3-10).

L'attacco di questi funghi non incide sulle proprietà meccaniche del legno, ma può aumentarne il grado di permeabilità.



Figura 4-4: esempio di azzurramento su tavole asciutte (foto di Leonardo Cusinato, Microtec)

I funghi cariogeni invece, sono funghi che quando attaccano la cellulosa provocano una diminuzione delle dimensioni del legno, accompagnata da una fessurazione in prismi o cubetti privi di consistenza tanto da poter essere schiacciati con le dita. L'area di sviluppo del fungo assume colore bruno, da cui deriva il nome di carie bruna o distruttiva.

Sono Basidiomiceti e per il loro sviluppo è necessaria un'umidità del legno superiore al 20%.

Se l'attacco dei basidiomiceti non si limita alla cellulosa ma coinvolge anche la lignina, il legno assume un colore più chiaro di quello del materiale sano e si riduce addirittura ad una massa fibrosa biancastra, e viene chiamata comunemente carie bianca o carie corrosiva.

I funghi Deuteromiceti da carie soffice, invece, provocano un tipo di carie caratterizzata da rammollimento superficiale del legno, per quanto possano provocare carie in profondità. Questi funghi richiedono una umidità del legno più elevata rispetto a quella necessaria ai basidiomiceti.

Sono di particolare importanza per il legno che si trova a contatto con il terreno o in acqua.



Figura 4-5: esempio di carie bruna su tavole asciutte (foto di Leonardo Cusinato, Microtec)

Questi difetti vengono considerati quelli più comuni e sono maggiormente richiesti nel mercato a livello globale. Principalmente si trovano su ogni tipo di legno, ed è importante saperli riconoscere per il loro utilizzo come legno da opera e da costruzione.

4.4 Other defects

Oltre ai difetti citati in precedenza, esistono diverse anomalie che non sempre vengono richieste ed è possibile che non siano presenti su ogni tipo di legno.

Questo dipende anche dalle condizioni climatiche, dal tipo di coltivazione della foresta e dal sistema di stoccaggio e lavorazione del legno.

Ad esempio, un difetto importante sono le gallerie *Linneatus* o i fori di insetti xilofagi (con o senza rosura interna). Questi difetti sono estremamente dannosi e devono essere riconosciuti dallo scanner per poter scartare non solo una tavola, ma solitamente anche tutto il pacchetto dove si è riscontrato questo problema.

Solitamente l'attacco degli xilofagi è associato a fenomeni di l'indebolimento della pianta ed il conseguente degrado del legno e soprattutto l'attacco di funghi cromatogeni, carie o tumori (*Figura 3-12*).



Figura 4-6: esempio di legno forato da attacco di xilofagi visto dallo scanner sottoforma di immagine .xml (foto di Leonardo Cusinato, Microtec, immagine di scansione)

L'attacco di xilofagi però, non è presente in alberi che sono stati coltivati e trattati con tecniche fito-patologiche, quindi alla loro massima gestione. Un esempio sono le grandi coltivazioni di *Pino radiata L.* del Sud America, nel Nord America ed in Canada.

Altri difetti particolari possono essere:

- le tasche di resina, presenti solamente nei Pini e negli abeti;
- il legno di compressione (*Figura 3-13*), che comunque in alcune produzioni, ad esempio per l'utilizzo della cellulosa nelle industrie cartarie, più che un difetto è visto come il principale pregio;

- il *resin wood*, o resina interna al legno, che può provocare intoppi nelle industrie di Glulam e Xlam, dato che impedisce l'incollaggio o la massima resa di resina epossidiche
- le *timberbreak* che sono dovuti allo "stiramento" del legno, dovuto quindi al metodo di taglio, di trasporto e soprattutto alle macchine forestali che trattano questi tronchi.

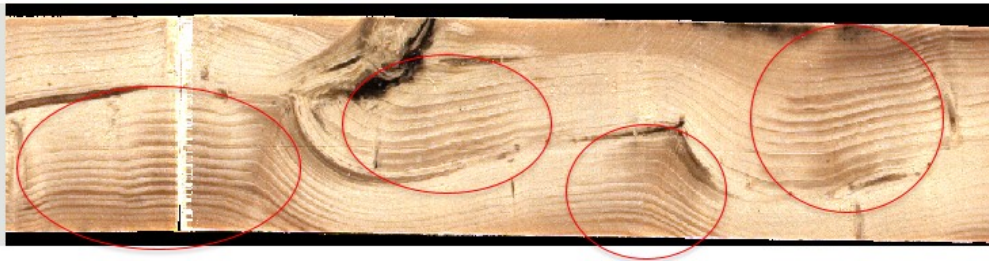


Figura 4-7: esempio di legno di compressione visto dallo scanner (foto di Leonardo Cusinato, Microtec, immagine di scansione)

4.5 Scansione dei difetti

La scansione del legno è una tecnologia in continuo aggiornamento ed espansione, non solo nel mondo forestale e delle tecnologie legnose, ma anche nei settori alimentari e dell'edilizia.

La scansione principalmente avviene attraverso camere a tecnologia 3D, camere colori, laser e raggi X.

La metodologia di scansione si compone di diversi passaggi che portano alla creazione di un poligono finale che determina il difetto e lo classifica.

La fase iniziale è il cosiddetto filtro dei difetti, cioè la determinazione attraverso intelligenze artificiali della tipologia di difetto.

Attraverso diversi software di elaborazione, vengono create le immagini di questi difetti e vengono elaborati ed estratti i cosiddetti blob per creare il poligono che circonda il difetto, in maniera più o meno realistica.

Il software calcola i valori extra e controlla il poligono finale, in modo tale che questo risulti il più preciso possibile.

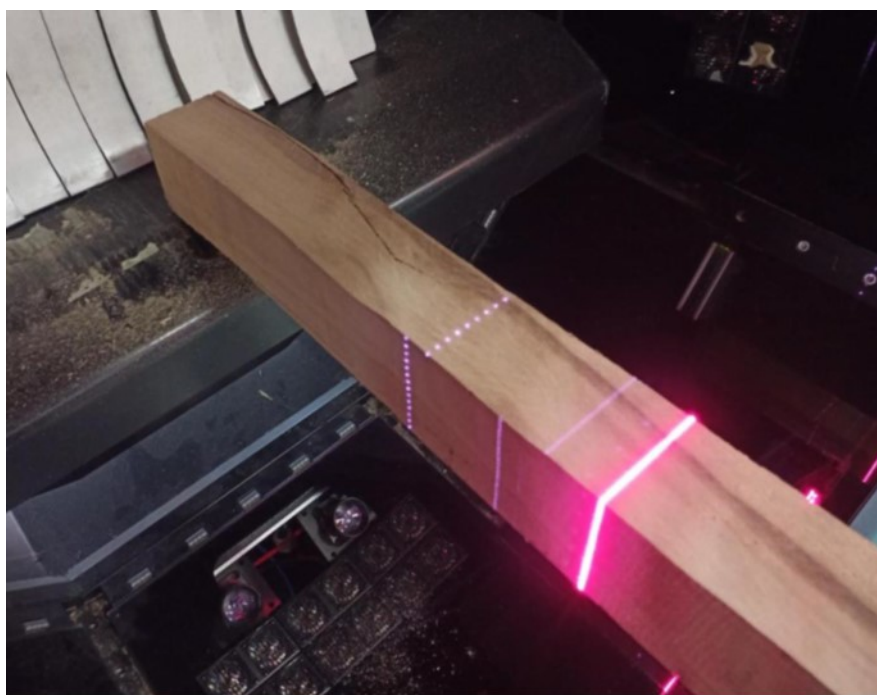


Figura 4-8: esempio dei diversi laser utilizzati durante la scansione del legno (foto di Leonardo Cusinato, Microtec)

Come già detto in precedenza, per la sintetizzazione delle immagini, vengono utilizzate diverse camere.

Le camere 3D, come ad esempio la *3D Pos*, la *3D Max* e la *3D Displ*, hanno molteplici funzioni, come calcolare il valore dell'altezza della tavola in dmm e pixel, calcolare i valori di intensità dei diversi laser e infine rappresentare il valore in dmm della profondità di buchi sulla tavola creando e appoggiando un piano sull'immagine Pos e poi facendo la differenza tra il piano e l'immagine Pos.

Altri diversi tipi di camera che utilizzano la tecnologia laser sono ad esempio le *Points angle* che calcola l'angolo asse maggiore dell'ellisse (200 quando è allineata alla lunghezza della tavola e tende a 0 o 400 quando è ortogonale alla lunghezza della tavola), seguito dal *Points length* che è legato al valore dell'area dell'ellisse. Il rapporto tra i due assi dell'ellisse è calcolato dalla *Points ratio* e filtrata successivamente dalla *Points cross*.

Infine le camere per visualizzare i colori sono quelle dei tre colori fondamentali, il rosso, il verde ed il blu. Il canale *Red* è il canale rosso post calibrazione del bianco, quello *Green* è il canale verde post calibrazione del bianco ed il canale *Blue* è il canale blu post calibrazione del bianco.

Dopo l'estrazione delle immagini, il software deve calcolare la grandezza e le varie misure della tavola, grazie alla cosiddetta estrazione del bordo.

I lati Top e Bottom (quindi superiore ed inferiore della tavola) vengono analizzati da diversi tipi di camere, sia per trovare e rifinire i bordi esterni ed interni della tavola come la *First Primary Raw* e la *Refined Single*, sia per filtrare ed interpolare i bordi in caso ci siano degli ostacoli in mezzo, come ad esempio le catene che tengono la tavola sul GE 900. In questo caso sono le camere *Chain Single* e *Filtered Single* a svolgere questo lavoro.

Infine i bordi mancanti, cioè i lati left e right, vale a dire i lati più corti della tavola disposti lateralmente rispetto al Bottom e Top, vengono calcolati con la differenza di altezza tra questi ultimi.

Sensore	Immagine	Top/Bottom	Left/Right
Camera 3D	3D Pos	v	x
	3D Max	v	x
	3D Displ	v	x
Camera Scatter	Points Angle	v	v
	Points Lenght	v	v
	Points Ratio	v	v
	Points Cross	v	v
Camera Color	Red	v	v
	Green	v	v
	Blue	v	v

Tabella 4-1: tabella che riassume il tipo di camera ed i lati che possono scansionare (tabella di Leonardo Cusinato, dati raccolti con autorizzazione di Microtec srl)

4.6 Differenze nei prodotti presenti nel mercato

Esistono sul mercato tipologie differenti di scanner, che interessano i mercati del legno in diverse aree del mondo.

I principali produttori di queste tecnologie sono ancora pochi, anche se il loro mercato comincia a diffondersi nell'ambito delle industrie del legno, materiale sempre più utilizzato in diversi settori, da quello immobiliare a quello dell'energia.

In tabella (*Tabella 4-16*) vengono riportati i dati in riferimento alle principali aziende presenti nel settore legnoso e alimentare. Principali si intendono quelle che presentano almeno una decennale esperienza nel settore o sono più importanti a livello territoriale e/o globale.

Aziende	Tipologia scanner	Velocità della linea (m/s)	Energia utilizzata (kWh)	Tipologie di prodotti	Prodotti scannerizzati per minuto
Microtec (Italy)	Goldeneye 900	15	300	Segato trasversale	Da 150 a 300
	Goldeneye 800	da 10 a 15	200	Segato longitudinale	Da 120 a 300
	CT Log	5	650	Tondame	20
Lucidyne (USA)	GradeScan	20 (4000 ft/min)	400	Segato longitudinale	Da 120 a 360
	Lucidyne 900 (Microtec collaboration)	13	300	Segato trasversale	360
WoodEye (Sweden)	Woodeye Crosscut	Da 8 a 12	350	Segato grezzo	120
	Woodeye Parquet	Da 8 a 12	300	Segato lavorato	120
Finscan (Finland)	Finscan	12	350	Segato trasversale	150
Biometric (Microtec group)	Mito	5	150	Alimenti	2.500
	Q-Eye	5	200	Alimenti	3.200
	Q-Eye XP	5	170	Alimenti	3.100

Tabella 4-2: tabella che riassume le tipologie di scanner e le loro prestazioni (tabella di Leonardo Cusinato, dati raccolti da siti aziendali <https://www.lucidyne.com>, <https://microtec.eu/it/>, <https://microtec.eu/it/applicazioni/applicazioni/finscan/>, <https://www.biometric.com>, <https://linkoping.microtec.eu>)

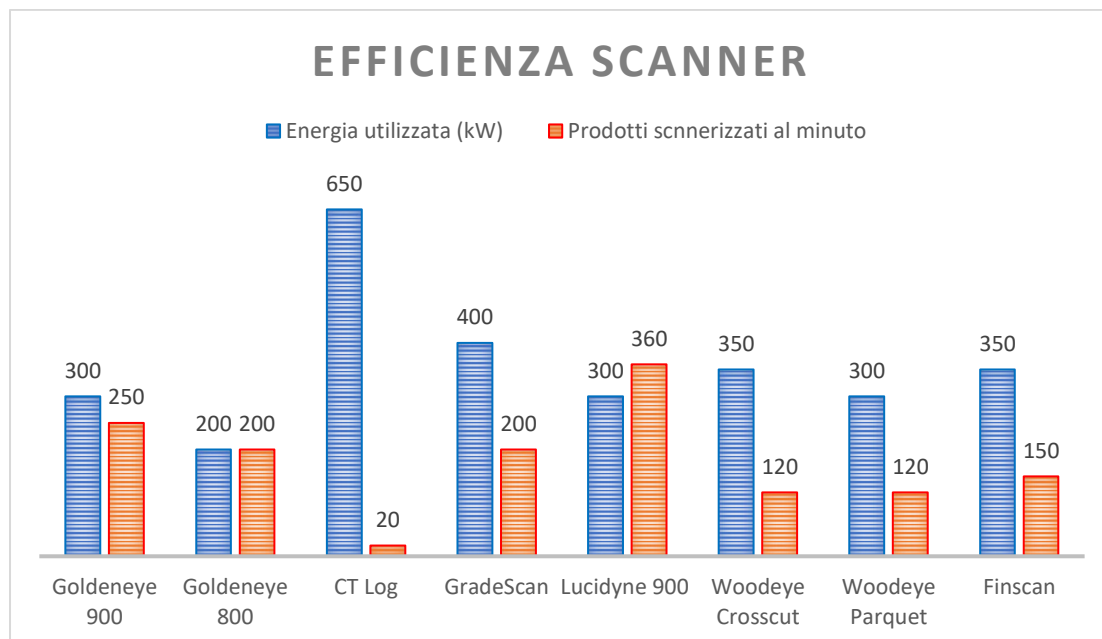


Grafico 4-1: grafico che riassume l'efficienza dei diversi scanner presenti nel mercato. Sono stati inclusi solamente gli scanner del mercato legnoso, escludendo quello alimentare, per ovvi motivi di interesse. Si può notare come il prodotto 'CT Log' sia ancora in fase sperimentale e quindi la sua efficienza non è ancora ottimale (grafico di Leonardo Cusinato, dati raccolti da siti aziendali <https://www.lucidyne.com>, <https://microtec.eu/it/>, <https://microtec.eu/it/applicazioni/applicazioni/finscan/>, <https://www.biometric.com>, <https://linkoping.microtec.eu>)

Possiamo quindi affermare come il mercato degli scanner delle tecnologie legnose sia comunque simile nel mercato e presenti un simile rapporto tra l'energia consumata all'ora e la quantità di prodotto scannerizzata.

Le aziende che presentano un più alto consumo energetico per un minor quantitativo di prodotto è perché preferiscono una maggior qualità di immagine che una maggior quantità.

5 SVILUPPO E RICERCA

5.2 Ricerca bibliografica

Questa tesi di laurea è una ricerca bibliografica mirata alla raccolta di informazioni sulle nuove frontiere della scansione di materiale legnoso ed il suo inserimento nel mercato globale delle segherie.

Raccolta di dati effettuata grazie a motori di ricerca come SCOPUS o Google Scholar e soprattutto grazie al periodo di lavoro svolto presso la multinazionale “Microtec S.r.l.”.

Durante il lavoro in ufficio a Venezia e presso una segheria a Wilburgstetten in Germania (Rettenmeier S.p.a.) sono riuscito a raccogliere un vasto campionario di dati ed informazioni, nonché materiale fotografico e nozioni importanti sul lavoro in segheria.

E’ stato utile soprattutto per la parte descrittiva della segheria, con disposizione di scanner e macchinari condivisa da quasi tutte le segherie di stampo Europeo.

Questo lavoro mi ha permesso di conoscere anche la normativa e la certificazione del legno, materie estremamente complesse ed estremamente importanti nell’ambito della lavorazione del legno.

Ho avuto accesso ai Database aziendali ed ai fascicoli, così ho portato in questo elaborato il funzionamento di metodi di scansione innovativi, senza entrare troppo nello specifico ovviamente per motivi di segretezza aziendale.

Oltre ad utilizzare conoscenze interne, sono riuscito a scaricare diverso materiale da siti di ricerca e pubblicazione di materiale scolastico e universitario.

Nell’ambito delle normative, sono state utilizzate soprattutto norme del codice UNI riguardanti le tecnologie dei prodotti legnosi e la compravendita di esse. Le principali norme utilizzate sono, nell’ambito del materiale vero e proprio, la UNI EN 844:2019 per quanto riguarda la denominazione del legno tondo e dei segati, la UNI EN 38200:2019 per quanto riguarda la catena di custodia e dei prodotti a base di legno, UNI EN 350:2016 per quanto riguarda la durabilità del legno e dei prodotti a base legno. Nell’ambito

invece delle classi di utilizzo e delle tolleranze nelle dimensioni di tondame e segati, abbiamo utilizzato principalmente le normative UNI EN 1313-2:2000 e UNI EN 335:2013.

Infine, le normative UNI ENV 1927-1 e 2, marzo 2000, sono servite per la classificazione di tipo qualitativo del legno di conifera e di latifoglia.

6 RISULTATI

6.2 Diminuzione scarti legnosi ed aumento fatturato

Le aziende che si affidano a queste nuove tecnologie di scansione, principalmente lo fanno per diminuire lo scarto di lavorazione ed aumentare così il profitto in una percentuale vantaggiosa per la crescita aziendale.

Il grafico successivo (*Grafico 5-18*) mostra come le aziende aumentano il fatturato e diminuiscono gli scarti produttivi dopo un solo anno dall'acquisto di macchine a tecnologie di scansione.

Sono state prese in esame 5 aziende, sparse in tutto il territorio mondiale (di cui non vengono citati i nomi per la privacy).

Si può notare come a partire da un anno dall'acquisto degli scanner, queste aziende aumentino considerevolmente il loro fatturato, diminuendo le tonnellate di scarti annuali.

Questo sta a significare il grande vantaggio che queste tecnologie apportano all'industria del legno anche in fatto di minori consumi e minor spreco di risorse.

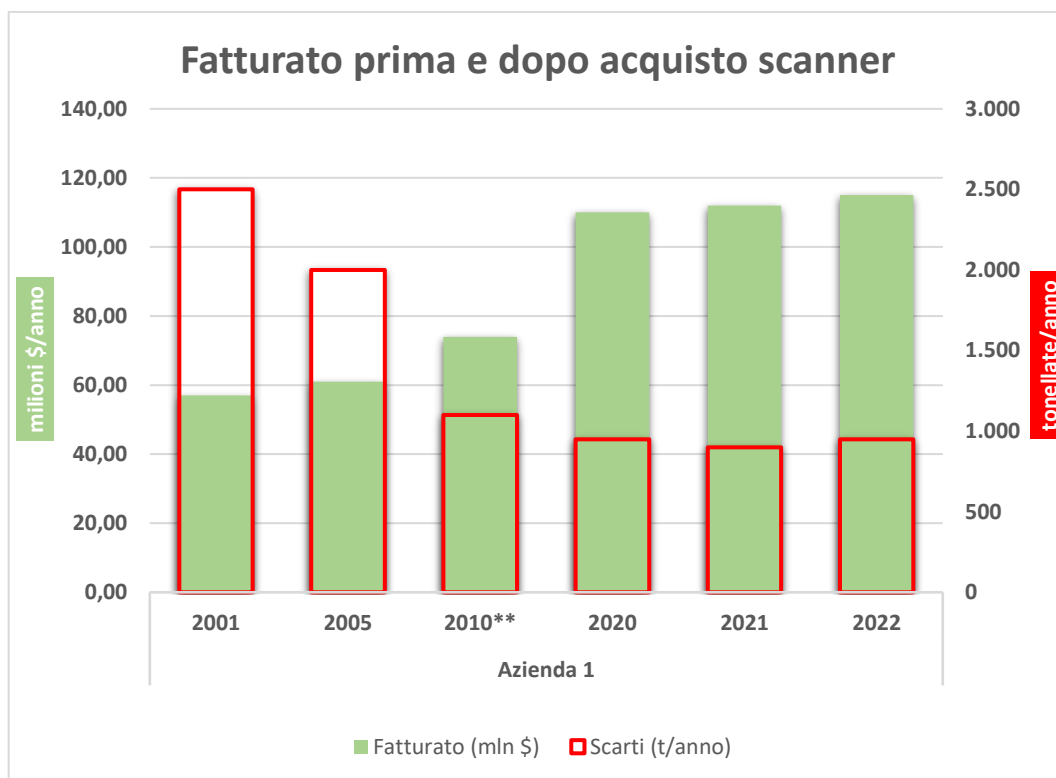


Grafico 6-1: Questo grafico mostra con una sovrapposizione di istogrammi, l'andamento del fatturato e delle tonnellate di scarto di un'azienda campione (Azienda 1). Nell'anno contrassegnato con doppio "*" vengono acquistate dalle aziende delle macchine per la scansione. Si può notare che dopo questa data vi è un aumento del fatturato e una diminuzione degli scarti (grafico di Leonardo Cusinato, dati raccolti da siti aziendali <https://www.lucidyne.com>, <https://microtec.eu/it/>, <https://microtec.eu/it/applicazioni/applicazioni/finscan/>, <https://www.biometric.com>, <https://linkoping.microtec.eu>)

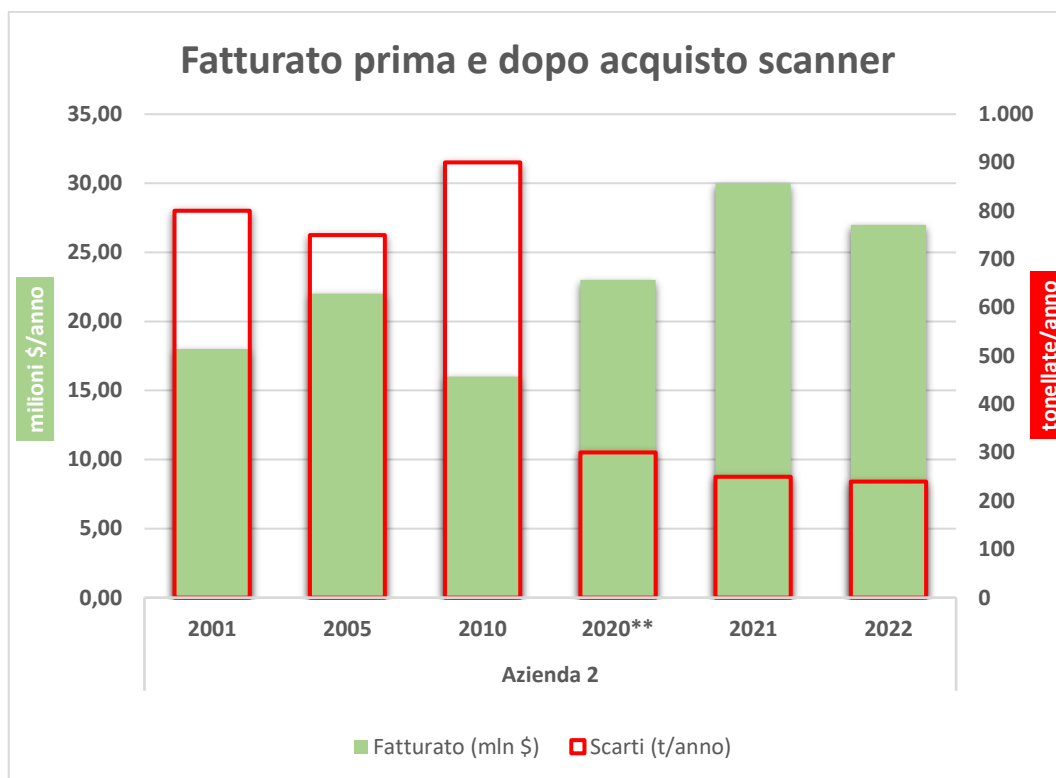


Grafico 6-2: Questo grafico mostra con una sovrapposizione di istogrammi, l'andamento del fatturato e delle tonnellate di scarto di un'azienda campione (Azienda 2). Nell'anno contrassegnato con doppio "**" vengono acquistate dalle aziende delle macchine per la scansione. Si può notare che dopo questa data vi è un aumento del fatturato e una diminuzione degli scarti (grafico di Leonardo Cusinato, dati raccolti da

siti aziendali <https://www.lucidyne.com>, <https://microtec.eu/it/>,
<https://microtec.eu/it/applicazioni/applicazioni/finscan/>, <https://www.biometric.com>,
<https://linkoping.microtec.eu>)

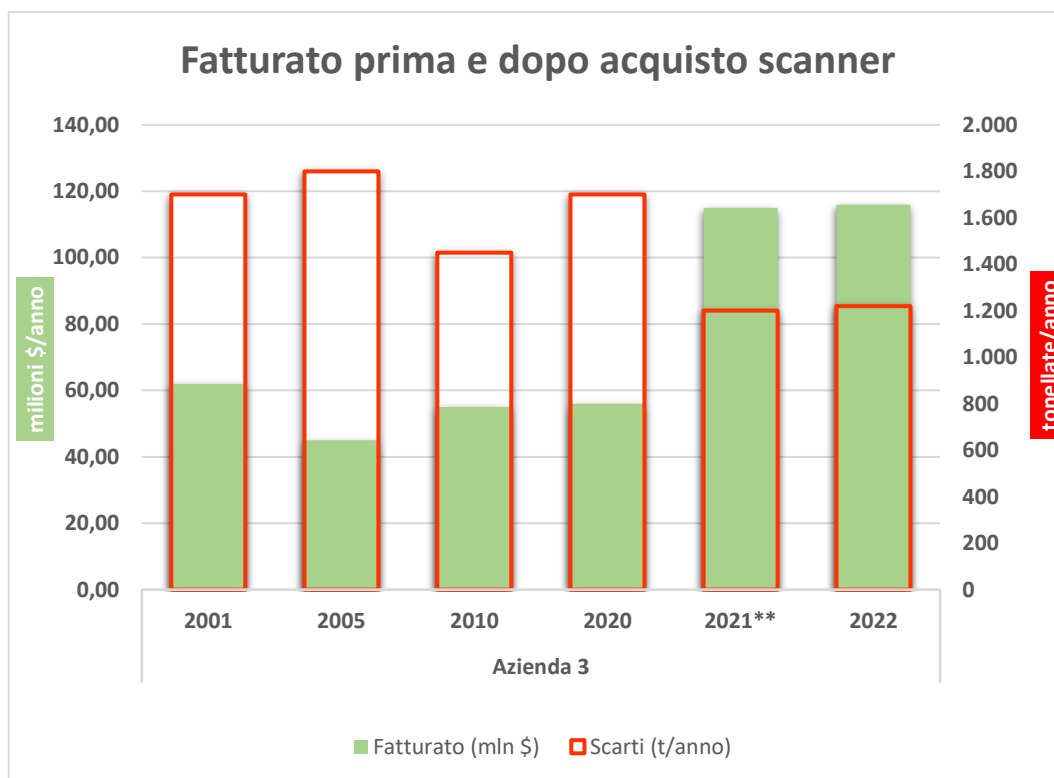


Grafico 6-3: Questo grafico mostra con una sovrapposizione di istogrammi, l'andamento del fatturato e delle tonnellate di scarto di un'azienda campione (Azienda 3). Nell'anno contrassegnato con doppio "**" vengono acquistate dalle aziende delle macchine per la scansione. Si può notare che dopo questa data vi è un aumento del fatturato e una diminuzione degli scarti (grafico di Leonardo Cusinato, dati raccolti da siti aziendali <https://www.lucidyne.com>, <https://microtec.eu/it/>, <https://microtec.eu/it/applicazioni/applicazioni/finscan/>, <https://www.biometric.com>, <https://linkoping.microtec.eu>)

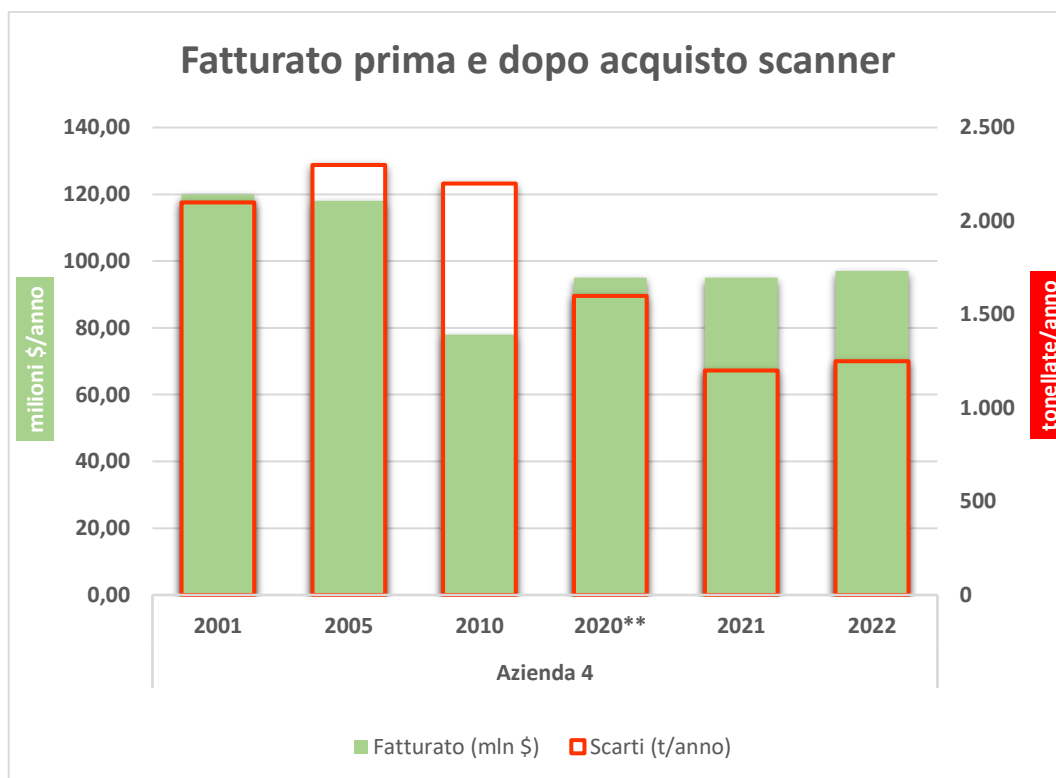


Grafico 6-4: Questo grafico mostra con una sovrapposizione di istogrammi, l'andamento del fatturato e delle tonnellate di scarto di un'azienda campione (Azienda 4). Nell'anno contrassegnato con doppio "*" vengono acquistate dalle aziende delle macchine per la scansione. Qui si nota una diminuzione del fatturato, ma questo è dovuto ad eventi diversi ed esterni al contesto (grafico di Leonardo Cusinato, dati raccolti da siti aziendali <https://www.lucidyne.com>, <https://microtec.eu/it/>, <https://microtec.eu/it/applicazioni/applicazioni/finscan/>, <https://www.biometric.com>, <https://linkoping.microtec.eu>)

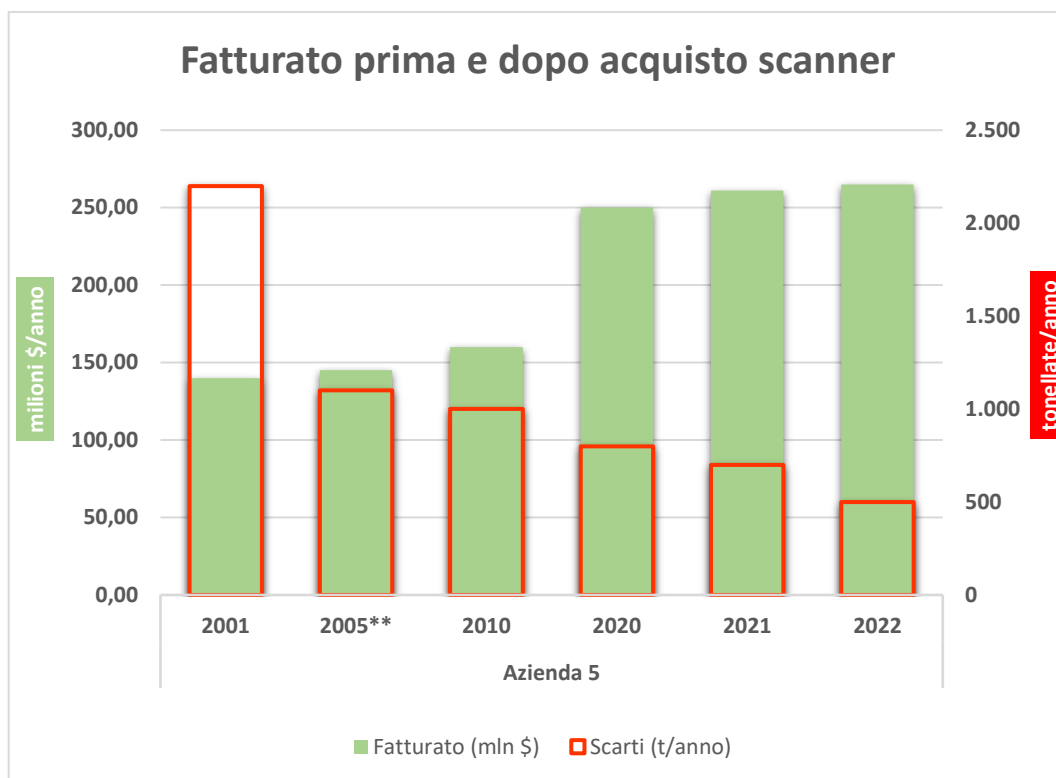


Grafico 6-5: Questo grafico mostra con una sovrapposizione di istogrammi, l'andamento del fatturato e delle tonnellate di scarto di un'azienda campione (Azienda 5). Nell'anno contrassegnato con doppio "**" vengono acquistate dalle aziende delle macchine per la scansione. Si può notare che dopo questa data vi è un aumento del fatturato e una diminuzione degli scarti (grafico di Leonardo Cusinato, dati raccolti da siti aziendali <https://www.lucidyne.com>, <https://microtec.eu/it/>, <https://microtec.eu/it/applicazioni/applicazioni/finscan/>, <https://www.biometric.com>, <https://linkoping.microtec.eu>)

	Anno	Fatturato (mln \$)	Scarti (t/anno)
Azienda 1	2001	57,00	2.500
	2005	61,00	2.000
	2010	74,00	1.100
	2020	110,00	950
	2021	112,00	900
	2022	115,00	950
Azienda 2	2001	18,00	800
	2005	22,00	750
	2010	16,00	900
	2020	23,00	300
	2021	30,00	250
	2022	27,00	240
Azienda 3	2001	62,00	700
	2005	45,00	1.800
	2010	55,00	1.450
	2020	56,00	1.700
	2021	115,00	1.200
	2022	116,00	1.220
Azienda 4	2001	120,00	2.100
	2005	118,00	2.300
	2010	78,00	2.200
	2020	95,00	1.600
	2021	95,00	1.200
	2022	97,00	1.250
Azienda 5	2001	140,00	2.200
	2005	145,00	1.100
	2010	160,00	1.000
	2020	250,00	800
	2021	261,00	700
	2022	265,00	500

Tabella 6-1: tabella da dove sono state estratte le informazioni del grafico precedente. In azzurro sono riportate le date dove è stato acquisita una macchina per la scansione (grafico di Leonardo Cusinato, dati raccolti da siti aziendali <https://www.lucidyne.com>, <https://microtec.eu/it/>, <https://microtec.eu/it/applicazioni/applicazioni/finscan/>, <https://www.biometric.com>, <https://linkoping.microtec.eu>)

	Incremento% fatturato	Decremento% scarti
Azienda 1	47,0%	-53%
Azienda 2	40,7%	-73%
Azienda 3	51,7%	-28%
Azienda 4	19,6%	-43%
Azienda 5	47,2%	-77%

Tabella 6-2: tabella dove sono riportate le percentuali di incremento del fatturato e decremento degli scarti di produzione tenendo in considerazione i dati presi l'anno prima dell'acquisto di uno scanner e 3/4 anni dopo (grafico di Leonardo Cusinato, dati raccolti da siti aziendali <https://www.lucidyne.com>, <https://microtec.eu/it/>, <https://microtec.eu/it/applicazioni/applicazioni/finscan/>, <https://www.biometric.com>, <https://linkoping.microtec.eu>

○ 6.1.1 Errori di scansione

Nonostante la tecnologia e gli aggiornamenti costanti degli *hardware* e dei *software*, queste macchine presentano dei limiti che sono codificabili in percentuali di errore.

Le percentuali di errore, cioè la frequenza con la quale questo errore si presenterà in fase di collaudo, è ancora in fase di studio per cercare di migliorarla e abbassarla sotto una soglia massima di 4-5% (*Microtec srl, 2021*).

Gli errori di scansione vengono controllati giudicati da alcuni tecnici specializzati tra cui laureati in scienze forestali per la conoscenza del legno ed ingegneri del software per la conoscenza specifica delle caratteristiche della macchina. Il lavoro di controllo dell'errore della macchina è comunemente chiamato '*Pack check*'.

Giunti nella segheria che sta acquisendo il prodotto, dopo le prime fasi di installazione e calibrazione, vengono fatte scansionare almeno 100 o 200 tavole, numerandole in maniera progressiva.

Queste tavole sono fatte scansionare e nel computer si controllano i difetti che sono stati rilevati e la classe di prodotto nella quale sono state inserite le singole tavole.

Successivamente queste tavole sono raccolte dal deposito (riconoscibili dal numero progressivo) e controllate assieme al responsabile della qualità dell'impianto.

Se la classe di prodotto suggerita dallo scanner è concorde alla classe di prodotto suggerita dal responsabile, allora verrà considerato giusto, altrimenti ci sarà l'errore.

Quando tutte queste tavole sono state controllate e l'errore risulta essere minore del 4%, allora lo scanner è altamente efficiente.

6.3 Le nuove frontiere della scansione nell'ambito agro-forestale

Dopo gli eventi scatenati dalla crisi economica e industriale del 2008, alcune delle aziende che sono sopravvissute erano o grandi aziende o erano integrate in qualche modo.

Forse più che mai nell'industria, le segherie sono estremamente mirate nei loro investimenti di miglioramento. In particolare, l'obiettivo potrebbe essere una migliore ottimizzazione, la scansione o la rotazione dei tronchi.

C'è una forte attenzione a investire nelle giuste attrezzature per la ripartizione primaria.

Un'altra tendenza che sta continuando, spesso a causa di una carenza di classificatori addestrati, è l'attrezzatura di classificazione computerizzata.

Le segherie possono permettersi errori soggettivi, quindi che gli operatori addetti alla classificazione mandino le qualità inferiori nel contenitore delle qualità superiori e viceversa. Tuttavia, può essere difficile trovare le persone giuste, orientate al dettaglio, per la classificazione, perché le segherie sono in competizione con altre industrie, come quella mineraria, nelle zone rurali del Canada (*Cool et al., 2018*).

La risposta a questo inconveniente è quindi sotto forma di attrezzature di classificazione ad alta tecnologia.

Oggi abbiamo raggiunto livelli di tecnologia della classificazione veramente avanzati, ma hanno bisogno di calibrazione e di operatori del software e professionisti della certificazione.

Il software deve essere adattato al tipo di legno che la segheria sta trattando, alle operazioni individuali dell'impianto, alle sue attrezzature e alle velocità della linea.

Non solo, sempre più aziende sentono il bisogno di sapere in anticipo il tipo di produzione che potrebbero avere, ancora prima della lavorazione in impianto.

Si potrebbe partire quindi dalla prima fase: il taglio in bosco. Nei prossimi anni si metteranno a punto scanner ad alta tecnologia applicabili direttamente o nelle testate degli harvester o in macchine operatrici generiche, oppure semplicemente scanner portatili da portare nelle foreste e controllare velocemente le piante interessate prima del taglio. Questo oltre a diminuire i costi di abbattimento inutili, potrebbe favorire anche il mantenimento di determinate piante utili all'ecosistema in esso inserite.

Oltre alla scansione del legno e le sue applicazioni in ambito forestale, la tecnologia della scansione si sviluppa trasversalmente anche in altri campi.

Soprattutto nel settore agro-alimentare, abbiamo diverse aziende Italiane, che stanno sviluppando scanner ad altissima tecnologia per il riconoscimento di difetti in cibo, frutta, materiali inerti ed altre applicazioni.

Una delle principali è la *Biometric s.r.l.*, che sviluppa sistema innovativi per il mercato ortofrutticolo Italiano ed Alto-atesino.

Utilizzando la stessa tecnologia della corrispettiva Microtec s.r.l., questa succursale analizza materiali organici molli e materiali inerti come le ceramiche, alla ricerca di difetti in maniera molto più veloce e precisa, trattando comunque materiali più piccoli e più sensibili ai raggi x e gli infrarossi. Addirittura, si può ricostruire un'immagine in tre dimensioni (3D) dell'elemento scansionato e suddividerlo in segmenti per controllare ogni centimetro.

Questa tecnologia fra alcuni anni potrebbe essere applicata anche nel campo vivaistico, per il controllo di patogeni fogliari o per la produzione cerealicola o di sementi, per individuare ciò che può germogliare e ciò che può essere scartato.

Ovviamente questi sono linee di sviluppo ipotizzate e al momento non ancora in corso di applicazione, perché vedranno una loro eventuale applicazione solo quando si abatteranno i costi e quando cambierà il mercato agronomico e alimentare, cioè quando si applicheranno sempre di più leggi a favore del controllo per evitare gli sprechi.

6.4 Come cambierà il mercato del legno con la crisi climatica?

La crisi ambientale attuale è determinata, dal raggiungimento dei limiti fisici e cognitivi dell'espansione umana secondo l'ultimo rapporto delle Nazioni Unite sul cambiamento climatico.

I limiti fisici si presentano come un progressivo aumento della viscosità nel flusso di risorse che dall'ecosfera vengono convogliate nell'antroposfera e come progressiva ed evidente saturazione degli ecosistemi terrestri e marini con i rifiuti delle nostre attività economiche e sociali.

Nell'aprile del 2021, l'Italia ha presentato alla Commissione europea il proprio piano di rilancio per ottenere i 209 miliardi previsti dal Recovery Plan.

In occasione della revisione della prima bozza del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), l'Associazione PEFC Italia e l'Unione Nazionale Comuni Comunità Enti Montani (UNCHEM), con l'aiuto di altri esponenti del settore (Associazione Italiana Energie Agro-Forestali - AIEF, l'Associazione Nazionale degli importatori dei commercianti, degli agenti di materia prima legno derivati e semiavorati - FEDECOMLEGNO, Fondazione per le qualità italiane - SYMBOLA e Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria - CREA), si sono confrontati su diversi punti necessari per rilanciare il settore del legno e la gestione attiva dei boschi in Italia, nel corso di un webinar trasmesso il 5 marzo 2021 e visibile sulla pagina Facebook di PEFC Italia e UNCEM.

Quando si parla di investimento sul legno significa favorire l'utilizzo del legno in edilizia, puntare allo stoccaggio dell'anidride carbonica per contrastare la crisi climatica e incentivare la gestione attiva del patrimonio italiano (e non solo) di boschi e foreste.

Per poter realizzare tutto questo sono necessarie azioni concrete, come rafforzare la filiera del legno con investimenti rivolti agli anelli più deboli, quali il taglio boschivo e la prima lavorazione, e investire sulle filiere corte.

È necessario poi un maggior utilizzo del legno italiano: gli investimenti nelle foreste permetterebbero infatti la creazione di posti di lavoro nelle regioni in cui si concentrano i boschi, e avrebbero un effetto positivo sulla coesione territoriale.

Per questo servirebbero anche misure per incentivare la produzione di materia prima a livello nazionale così da avere a disposizione una maggiore quota di scarti per produrre molto più pellet ed utilizzare meno legno da opera per il riscaldamento.

In particolare, è stato evidenziato che per ridurre le emissioni inquinanti non è tanto importante il rimboschimento, quanto investire nella filiera del legno e sull'utilizzo sostenibile di quello italiano nella produzione (Romano, 2021). Francesco della Giacomina (2021), Presidente di PEFC Italia, ha definito questo momento storico come la grande occasione per rilanciare il legno e ha continuato sostenendo che il legno rappresenta da sempre un materiale ottimale per la transizione ecologica e il PNRR può essere quindi un'occasione per valorizzarlo.

Quindi ci saranno diversi investimenti trasversali per favorire l'utilizzo di materiali legnosi in sostituzione dei prodotti di fossili e per introdurre una valutazione delle emissioni in relazione alla scelta dei prodotti e dei processi di lavorazione utilizzati, che tenga conto dell'intero ciclo di vita del prodotto stesso.

Bisogna inoltre, favorire l'impiego del legno in edilizia, che permetta lo stoccaggio dell'anidride carbonica a lungo termine.

Infatti, l'utilizzo dei prodotti legnosi nell'imballaggio e nella logistica ha portato a una forte riduzione delle emissioni con le tecnologie già disponibili oggi.

Infine, anche se il patrimonio forestale italiano sia fortemente cresciuto negli ultimi 50 anni (*Sitzia et al., 2015*), occorre una gestione più attenta dello stesso: gli utilizzi rappresentano meno del 30% della crescita annua dei boschi, prevalentemente come legna da ardere.

Giocherà un ruolo determinante ampliare la pianificazione forestale per la definizione dei territori boschivi e delle loro specifiche vocazioni, oltre a una sostanziale riduzione delle imposte che renda possibile la ricomposizione fondiaria dei terreni agricoli abbandonati, e l'attivazione di strumenti di assicurazione anche nel settore forestale, per poter affrontare la sfida delle minacce alle foreste legate al cambiamento climatico.

6.5 Come cambierà il mercato del legno con la guerra Russia-Ucraina?

Con l'attuale guerra in Ucraina, il rischio per l'economia del legno, soprattutto in Italia, è quella di riscontrare delle enormi difficoltà non solo sul fronte dell'export ma anche per l'approvvigionamento della materia prima.

Il comunicato FederLegno dell'1 marzo però si fa riferimento ad un aumento del fatturato della filiera del legno-arredo nel 2021 rispetto al 2019 del 14,1%, corrispondente alla produzione di oltre 49 miliardi di euro, contro i 43 del 2019. L'export della filiera, poi, segna un incremento del 20,6% rispetto al 2020.

La pandemia di Sars-Covid19 prima ed il fronte Ucraino ora però, rischiano di mettere un freno alla ripresa in generale e nello specifico alle importazioni di legname proveniente dalla Russia, un fornitore importante per una filiera che compra all'estero circa l'80% per cento del legno che poi viene lavorato.

Per quanto riguarda l'export del settore, il peso della Russia è di 410 milioni di euro (dati aggiornati a novembre 2021) con una diminuzione di circa 6 punti percentuali rispetto

al 2019. Nelle importazioni, invece, pesa invece 136 milioni di euro, registrando un incremento rispetto al 2019 addirittura del 41,2%.

Questa crisi potrebbe innescare una preoccupante crisi del mondo della vendita ed importazione del legno e dei prodotti da esso derivati.

E' possibile però, che nonostante tutto questi problemi potrebbe sfociare in soluzioni innovative, dato che le aziende sarebbero costrette ad affidarsi sempre di più alla sperimentazione di nuovi materiali e a nuovi sistemi di gestione delle foreste autoctone.

7 CONCLUSIONI

In conclusione, possiamo affermare che le nuove tecnologie per la scansione dei prodotti legnosi sono, ad oggi, una delle migliori soluzioni per la riduzione di scarti di lavorazione nell'ambito della lavorazione del legno, del comparto alimentare e nelle utilizzazioni forestali. Si riesce ad avere un significativo aumento di fatturato riuscendo a ridurre ai minimi termini il consumo di energia, gli scarti e quindi lo spreco in termini di materiale utilizzato.

La certificazione e la tracciabilità della filiera poi, sono importantissime per combattere la compravendita illegale di legname e quindi salvaguardare le foreste dal taglio indiscriminato e la conseguente deforestazione.

Con l'avanzare della tecnologia sarà possibile in futuro anche comprendere prima della raccolta in foresta del materiale quale pianta avrà determinate caratteristiche, salvaguardando piante 'inadatte' al mercato di continuare a vegetare e diminuire lo spreco, aumentando la naturalità dei processi.

Molte aziende considerano queste tecnologie una spesa superflua, sostenendo che con buoni operatori e professionisti nella filiera, il risultato di riconoscimento è lo stesso.

Il futuro però si baserà sull'intelligenza artificiale, perché azzererà la soggettività e diminuirà i costi, portando ad una realtà più sostenibile le imprese del settore forestale.

8 BIBLIOGRAFIA

- A.C. Woodard, H.R. Milner, in *Sustainability of Construction Materials (Second Edition)*, 2016
- Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile. Agenzia per la coesione territoriale.
- Azienda provinciale foreste e demanio. 1999. *L'assortimentazione del tonname in Alto Adige*. Bolzano, 31 pp.
- Bargelli S., Berti S., Brunetti M., Mannucci M., Pollini C., Zangrando E. 1997. Use of non destructive methods to qualify standing trees: first trials on Norway spruce (*Picea abies* Karst.). *Proceedings of the 3rd ICFWST (International Conference of Forestry, Wood Sciences and Technology)*. Belgrado (Serbia/Yugoslavia), 29 settembre-3 ottobre. pp. 531-537.
- Beaulieu, J., Dutilleul, P. *Applications of computed tomography (CT) scanning technology in forest research: A timely update and review (2019) Canadian Journal of Forest Research*, 49 (10), pp. 1173-1188
- BERTI S., 1992 - *Caratteristiche tecnologiche e destinazione del legname prodotto in Arboricoltura da legno in collina e in montagna*. Edagricole, pagg. 99-115
- BERTI S., 1995 - *Caratteristiche tecnologiche e qualità del legno*. Sherwood n.3, pagg. 39-43
- Breinig, L., Bröchert, F., Baumgartner, R., Sauter, U.H. *Measurement of knot width in CT images of Norway spruce (Picea abies [L.] Karst.)-Evaluating the accuracy of an image analysis method (2012) Computers and Electronics in Agriculture*, 85, pp. 149-156
- Buzug T. M. (2008) "Computed Tomography" Springer-Verlag Bröchert F., Baumgartner R., & Sauter U. H. (2008). "Ring width detection for industrial purposes – use of CT and discrete scanning technology on fresh roundwood". *Proc. of the COST E53 Conference on End user's needs for wood material and products, 29–30 October 2008, Delft, The Netherlands*.
- Ceccherini, G., Duveiller, G., Grassi, G. et al. *Abrupt increase in harvested forest area over Europe after 2015*. *Nature* 583, 72–77 (2020)

- Dalpiaz C., Widmann D., Romagna M. 2011. *La segheria veneziana in località ai laghi a Coredò*. Coredò.
- Dashner, B. *Scanning, the next generation* (2004) *Mill Product News*, 15 (5), p. 6.
- Drouin, M., Beaugard, R., Duchesne, I. *Within-tree variability of wood color in paper birch in Québec* (2010) *Wood and Fiber Science*, 42 (1), pp. 81-91
- FAO, ITTO and United Nations. 2020. *Forest product conversion factors*. Rome.
- Fenglong Ding, Zilong Zhuang, Ying Liu *, Dong Jiang , Xiaolan Yan and Zhengguang Wang, 2020. *Detecting Defects on Solid Wood Panels Based on an Improved SSD Algorithm*. College of Mechanical and Electronic Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China
- FIORAVANTI M., 1999 - *La produzione di legno e le nuove forme di gestione forestale: frontiera che si chiude?* In: CIANCIO O. (a cura di) - *Nuove frontiere della gestione forestale*, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pagg. 279-291
- Garuffa E. 1898. *Tecnologie delle industrie meccaniche*. Vol. III. *Lavorazione dei legnami. Lavorazione delle pietre, del vetro e delle argille*. Milano: Hoepli.
- Gergel, T., Bucha, T., Gejdoš, M., Vyhnáliková, Z. *Computed tomography log scanning - High technology for forestry and forest based industry* (2019) *Central European Forestry Journal*, 65 (1), pp. 51-59
- GIORDANO G. *Tecnologia del Legno UTET, Torino, VOL. I-II, 1981-1986*
- Gjerdrum, P. *Sawlog scaling accuracy before and after barking, and the importance for sawn timber recovery - A case study* (2012) *Wood Material Science and Engineering*, 7 (3), pp. 120-125
- Grundberg, S. (1994). *"Scanning for Internal Defects in Logs"*. Licentiate thesis, Luleå University of Technology 1994:14 L. ISSN 0280-8242. H.R. Milner, in *Sustainability of Construction Materials*, 2009
- Horgan, J. *From Complexity to Perplexity*. *Scientific American* 1995, 272 (6), 104–109
- Horgan, J. *The End of Science: Facing the Limits of Knowledge in the Twilight of the Scientific Age*, 2015 edition; Basic Books, A member of the Perseus Books Group: New York, 2015.

- Nguyen, M., Leicester, R., Foliente, G., Seath, C. *Identification of strength-reducing characteristics in lumber using microwave scanners (2004) Key Engineering Materials, 270-273 (II), pp. 1513-1520.*
- Norma UNI EN 1309-1, febbraio 1999. *Metodo di misurazione delle dimensioni: segati; 6 pp.*
- Norma UNI EN 1310, febbraio 1999. *Metodo di misurazione delle caratteristiche; 20 pp.*
- Norma UNI EN 1311, marzo 1999. *Metodo di misurazione del degrado biologico; 6 pp.*
- Norma UNI EN 1312, febbraio 1999. *Determinazione del volume di un lotto di segati di legno; 8 pp.*
- Norma UNI EN 1313-1, febbraio 1999. *Dimensioni preferenziali e tolleranze: segati di legno di conifere; 10 pp.*
- Norma UNI EN 1313-1: 1999/A1, dicembre 1999. *Dimensioni preferenziali e tolleranze; segati di legno di conifere; 4 pp.*
- Norma UNI EN 350, 2016. *Durabilità del legno e dei prodotti a base legno; Conifere; 8 pp.*
- Norma UNI EN 844-10, maggio 2000. *Terminologia: termini relativi alle alterazioni di colore e all'attacco da funghi; 10 pp.*
- Norma UNI EN 844-11, maggio 2000. *Terminologia: termini relativi al degradamento da insetti; 8 pp.*
- Norma UNI ENV 1927-1, marzo 2000. *Classificazione qualitativa del legno tondo di conifere; Abeti rossi e Abeti bianchi; 8 pp.*
- Norma UNI ENV 1927-2, marzo 2000. *Classificazione qualitativa del legno tondo di conifere; Pini 8 pp.*
- Norma UNI ENV 1927-3, marzo 2000. *Classificazione qualitativa del legno tondo di conifere; Larici e Douglasie; 8 pp.*
- Oja J. (1997). *A comparison between three different methods of measuring knot parameters in Picea abies (L.) Karst". Scand. J. For. Res. 12: 311-315.*
- Ondrejka, V., Gergel', T., Bucha, T., Pástor, M. *Innovative methods of non-destructive evaluation of log quality (2021) Central European Forestry Journal, 67 (1), pp. 3-13.*

- Palahí, M., Valbuena, R. et al. Concerns about reported harvests in European forests. Nature (2021).*
- Peter Lüscher, Fritz Frutig, Stéphane Sciacca, Sandra Spjevak, Oliver Thees, WSL Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio, Birmensdorf (Svizzera).*
- Someya, S., Ikeda, Y., Hotta, K., Tanaka, S., Hayashi, M., Jokaku, M., Takahashi, T. Research on a method to consider inspection and processing for atypical wood members using 3d laser scanning (2020) Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2020: From Demonstration to Practical Use - To New Stage of Construction Robot, pp. 1203-1210*
- Standard no. 17 GRADING RULES FOR West Coast Lumber Effective, September 1, 1991. Published by WEST COAST LUMBER INSPECTION BUREAU, APPROVED BY ALSC BOARD OF REVIEW, 2018.*
- Stannard, R. The End of Discovery; Oxford University Press: Oxford ; New York, 2010*
- Togo, H., Oka, S., Fujii, Y., Fujiwara, Y. Nondestructive visualization using electromagnetic waves for real and practical sensing technology for robotics (2015) Integrated Imaging and Vision Techniques for Industrial Inspection: Advances and Applications, pp. 413-482.*
- Urbonas, A.; Raudonis, V.; Maskeliunas, R.; Damaševičius, R. Automated Identification of Wood Veneer Surface Defects Using Faster Region-Based Convolutional Neural Network with Data Augmentation and Transfer Learning. Appl. Sci. 2019, 9, 4898.*
- Wei, Q., Leblon, B., la Rocque, A. On the use of X-ray computed tomography for determining wood properties: A review 1 (2011) Canadian Journal of Forest Research, 41 (11), pp. 2120-2140*

9 SITOGRAFIA

- <http://wlt.d.up.poznan.pl/pl>
- <https://doi.org/10.4060/ca7952en>
- <https://Forestnet, Home of North America's Leading Forestry and Timber Magazines>
- <https://it.wikipedia.org/>
- <https://linkoping.microtec.eu>
- <https://microtec.eu/it/>
- <https://microtec.eu/it/applicazioni/applicazioni/finscan/>
- <https://Recovery Plan PNRR: il testo, cos'è e come funziona in Italia - PMI.it>
- <https://scholar.google.it>
- <https://woodtech.events/what-sawmills-of-the-future-will-look-like/>
- <https://www.biometric.com>
- <https://www.deepl.com/translator>
- <https://www.florianinc.com/prodotti/segati/>
- <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrp/fplrp311.pdf>
- <https://www.isvewood.com/>
- <https://www.lucidyne.com>
- https://www.ndt.net/article/wcndt2004/pdf/materials_characterization/585_b_uur.pdf
- <https://www.researchgate.net/publication>
- <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/sawn-timber>
- www.wclib.org