



I Trattamenti termici del legno, la durabilità e le
caratteristiche delle specie legnose termo-modificate

Revisione 1

Bormio, Dicembre 2022

Sommario

Premessa	3
Storia del Trattamento termico del legno	3
Durabilità.....	3
Classi di utilizzo e scelta della specie legnosa idonea.....	5
Tipi di trattamento e comparativa.....	7
Stabilità dimensionale	8
Conduktività termica	8
Sostenibilità ambientale	9
Resistenza meccanica.....	12
Lavorabilità.....	13
Riferimenti.....	14

Premessa

Questa ricerca ha come obiettivo quello di informare i clienti di Segheria Praolini s.n.c. delle caratteristiche peculiari del legno termo-modificato, cercando di dare una panoramica imparziale, veritiera e obbiettiva.

In caso di errori, richiesta di informazioni, ecc... potete scrivere alla mail segheria@praolini.it.

Storia del Trattamento termico del legno

Ricerche scientifiche sul legno termo-modificato sono state fatte fin dal 1915 (Tiemann, 1915), ma le pubblicazioni scientifiche e di conseguenza la ricerca su questo tipo di materiale è incrementata molto a partire dagli anni 2000, insieme alle applicazioni commerciali. Il rinnovato interesse è dovuto alle proprietà che il materiale acquisisce, ossia maggior durabilità e stabilità. Altri fattori che contribuiscono alla sua recente espansione commerciale sono: una nuova sensibilità ambientale, la ricerca di nuove colorazioni e finiture e la minor manutenzione che il materiale garantisce.

Durabilità

Durante il trattamento le caratteristiche chimico-fisiche del legno vengono alterate. L'emicellulosa presente nel legno, sostanza attaccabile dai funghi lignivori, viene degradata, togliendo a questi microrganismi il nutrimento necessario per il loro ciclo di vita. È stato dimostrato che i parametri che influenzano la resistenza sono:

- Temperatura: Più è alta la temperatura più aumenta la perdita di massa del legno e di conseguenza la durabilità ($200\text{ °C} \leq T_{trattamento} \leq 240\text{ °C}$)
- Tempo di trattamento: più è lungo il tempo di trattamento più aumenta la perdita di massa e di conseguenza la durabilità ($1\text{ h} \leq t_{trattamento} \leq 4\text{ h}$)

La durabilità è descritta dalla norma EN 350:2016. Diversi studi correlano la durabilità con la perdita di massa dei provini per classificarla.

Classe di durabilità	Descrizione	Perdita di massa percentuale [%]
DC1	Molto durabile	$M_L \leq 5$
DC2	Durabile	$5 \leq M_L \leq 10$
DC3	Moderatamente durabile	$10 \leq M_L \leq 15$
DC4	Poco durabile	$15 \leq M_L \leq 30$
DC5	Non durabile	$M_L \geq 30$

Attraverso una procedura descritta dalla normativa EN 113-2020 è possibile stabilire la durabilità del legno attraverso la perdita di massa alla fine del test. I provini vengono sottoposti ad attacco biologico utilizzando i parametri stabiliti da normativa. (Conti, 2022)



Figura: Prova di durabilità secondo normativa EN 113-2:2020, CATAS, Udine

Le proprietà delle specie legnose ottengono un sensibile miglioramento in termini di durabilità, in funzione della specie legnosa e della temperatura di trattamento. La comunità scientifica riporta i seguenti dati (Conti, 2022):

Specie legnosa	Nome scientifico	Durabilità pre-trattamento	Durabilità post-trattamento	Temperatura di trattamento
Abete rosso	<i>Picea abies</i>	4-5	3	190
			2	215
Frassino	<i>Fraxinus excelsior</i>	4	4	190
			1	215
Larice	<i>Larix Decidua</i>	4	1-2	215
Rovere	<i>Quercus robur</i>	2-4	1	205
Faggio	<i>Fagus sylvatica</i>	4-5	1	210

Classi di utilizzo e scelta della specie legnosa idonea

Al fine di scegliere il materiale giusto in base all'ambiente in cui il materiale verrà utilizzato, la normativa europea introduce due concetti, la classe di utilizzo e la classe di durabilità (vista in precedenza). Le norme europee EN 335-1 ed EN 355-2 definiscono 5 classi di utilizzo per il legno ed i prodotti a base di legno, riportati nella tabella seguente:

Classe di utilizzo	Ambiente di utilizzo	Esempio	Rischio
1	Situazione in cui il legno è riparato, completamente protetto dagli agenti atmosferici e non esposto all'umidità, non è a contatto con il terreno ed è in ambiente secco. Umidità del legno inferiore al 20%.	Ambienti interni con bassa umidità dell'aria (sempre al disotto dell'85%): Elementi all'esterno ma riparati dalle intemperie in climi generalmente secchi e lontani da acqua persistente. Strutture di edifici, tettoie, ponti non su corsi d'acqua. Abitazioni, uffici, palestre; coperture di piscine e palazzi del ghiaccio se climatizzati.	Non c'è rischio di attacco da funghi; rischio di attacco da insetti.
2	Situazione in cui il legno è riparato, completamente protetto dagli agenti atmosferici ma in cui un'elevata umidità ambientale può determinare umidificazione occasionale ma non persistente, non è a contatto con il terreno. Umidità del legno occasionalmente superiore al 20%.	Ambienti interni con umidità dell'aria occasionalmente alte (superiore all'85%): Elementi all'esterno ma riparati dalle intemperie, in climi umidi e occasionalmente in vicinanza ma non a contatto di acqua persistente. Cantine, locali umidi poco areati; coperture di piscine e palazzi del ghiaccio non adeguatamente climatizzati; ponti coperti su corsi d'acqua.	Moderato rischio Di attacco da funghi; rischio di attacco da insetti.
3	Situazione in cui il legno non è riparato dagli agenti atmosferici o comunque è soggetto a umidificazione frequente, non è a contatto con il terreno. Umidità del legno frequentemente superiore al 20%.	Elementi esposti alle intemperie ma non a contatto con acqua stagnante o terreno: Elementi esposti di tettoie e ponti dove comunque l'acqua può defluire e non stagnare. Cantine, locali umidi poco areati, coperture di serbatoi; coperture di piscine e palazzi del ghiaccio non climatizzati.	Rischio di Attacco da funghi; rischio di attacco da insetti.
4	Situazione in cui il legno si trova a contatto con il terreno o con acqua dolce ed è pertanto permanente esposto all'umidificazione. Umidità del legno Permanentemente superiore al 20%.	Elementi a contatto col terreno, elementi a contatto o immersi in acqua dolce: Pali, staccionate, arredo per parchi o giardini, sponde fluviali, parti di strutture racchiuse in bicchieri o "trappole di umidità".	Rischio di Attacco da funghi; rischio di attacco da insetti.
5	Situazione in cui il legno si trova permanentemente esposto all'acqua salata. Umidità del legno Permanentemente superiore al 20%.	Elementi immersi o parzialmente immersi in acqua salata: Pontili, pali da ormeggio.	Rischio di Attacco da organismi marini, rischio di attacco da funghi e insetti.

La normativa europea EN 460 stabilisce invece la classe di durabilità in funzione della classe di utilizzo, mediante la seguente tabella:

Classe di utilizzo	1	2	3	4	5
1 (al coperto e asciutto)	Suff.	Suff.	Suff.	Suff.	Suff.
2 (al coperto con rischio umidità)	Suff.	Suff.	Suff.	A	A
3 (esposto alle intemperie)	Suff.	Suff.	A	B	B
4 (al con terreno e acqua dolce)	Suff.	A	C	Non suff.	Non suff.
5 (in acqua di mare)	Suff.	C	C	Non suff.	Non suff.

Dove:

- Suff.: La durabilità naturale è sufficiente per la classe di utilizzo, non sono necessari trattamenti preservanti.
- A: La durabilità naturale è generalmente sufficiente, tuttavia per certi usi in cui il legno è frequentemente in condizioni umide, può essere necessario un trattamento preservante.
- B: La durabilità naturale può essere sufficiente in funzione della permeabilità della specie legnosa e delle condizioni di esposizione. Questo succede nella classe di utilizzo 3 in cui il legno è soggetto ad inumidimento non persistente ad opera dell'esposizione alla pioggia. Materiali meno permeabili (cioè materiali la cui impregnabilità è bassa come in generale le conifere) sono anche meno permeabili all'acqua, pertanto la pioggia sulle superfici verticali o inclinate tende a scorrere via senza provocare aumento di umidità pericoloso; tuttavia le superfici orizzontali o poco inclinate su cui l'acqua scorre via più lentamente devono essere protette. Legni maggiormente permeabili dovrebbero essere protetti anche lateralmente, ad esempio legni contenenti l'alburno.
- C: Trattamento preservante normalmente raccomandato; tuttavia per la classe di utilizzo 4 è possibile che in climi secchi, in terreni drenanti e per forme di sezione tali da seccare rapidamente, non sia necessario il trattamento. Potrebbe non risultare necessario il trattamento per la classe di utilizzo 5 per quegli elementi in cui può essere tollerato il degrado.
- Non suff: Durabilità naturale non sufficiente, trattamento preservante necessario.

Tipi di trattamento e comparativa

La comunità scientifica (Hill, Altgen, & Rautkari, 2021) riporta l'esistenza di diversi tipi di trattamento, che possono essere classificati in due macrocategorie:

- Trattamento secco: rientrano in queste categorie il trattamento in aria, sottovuoto, in atmosfera inerte e con vapore surriscaldato
- Trattamento umido: rientrano in queste categorie il trattamento tramite vapore saturo e tramite acqua

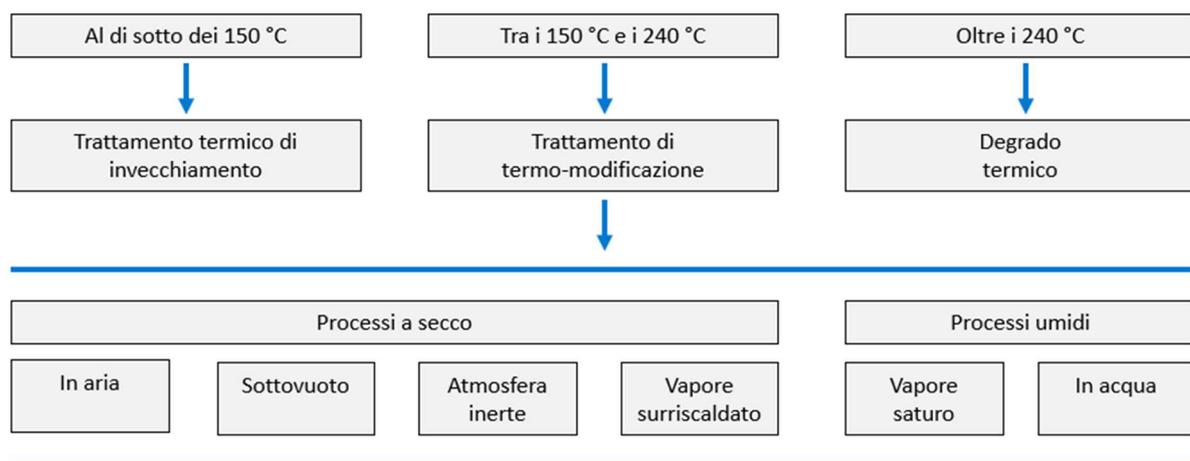


Figura: Tipi di trattamento documentati nella letteratura scientifica

Ricerche scientifiche (Hill, Altgen, & Rautkari, 2021) dimostrano che confrontando il prodotto finito dei due processi (secco e umido) si possono trovare differenze in termini di:

- Stabilità dimensionale: I processi a secco rendono il materiale più stabile rispetto al trattamento termico umido
- Contenuto di umidità all'equilibrio igrometrico: I processi a secco garantiscono un contenuto di umidità all'equilibrio più basso rispetto ai cicli umidi, il che comporta, conseguentemente una maggiore durabilità del materiale. Un'umidità al di sopra del 20% all'interno del materiale attiva l'attacco biologico, di conseguenza più questo indicatore è basso più il legno potrà essere utilizzato in ambienti ad elevata umidità

Stabilità dimensionale

Il legno termo-modificato ha una maggiore stabilità dimensionale, dovuta alla riduzione del contenuto di umidità all'equilibrio igrometrico. Questo cambiamento è dovuto alla riduzione dei gruppi idrossili dell'emicellulosa, all'aumento della cristallizzazione della cellulosa e alla reticolazione della lignina che ostacolano l'ingresso dell'acqua attraverso le pareti cellulari. Il materiale aumenta la sua idrofobicità e di conseguenza la sua stabilità. La comunità scientifica riporta un miglioramento dal 30 al 50 % della stabilità dimensionale (Tjeerdsma, 1998).

Il materiale, se sottoposto a molti cicli di esposizione all'acqua e asciugatura perde gradualmente la sua efficacia, ma continua ad avere delle performance migliori del materiale di partenza. Studi specifici riportano una riduzione delle performance del 24.5 % rispetto al materiale appena trattato dopo sei (Boonstra, Acker, Tjeerdsma, & Kegel, 2007) cicli di esposizione che comunque tende a stabilizzarsi se si perdura con le esposizioni (Čermák, et al., 2015)

Conduktivita termica

Il legno termo-modificato presenta una migliorata resistenza termica rispetto al materiale di base. La comunità scientifica (KOL & KESKIN, 2016) ha misurato secondo metodi statistici certificati la variazione di conduttività del legno termotrattato, dimostrando che la conduttività decresce con l'aumento della temperatura del trattamento termico. Vengono riportati in tabella i risultati dell'articolo scientifico (KOL & KESKIN, 2016):

Specie	Temperatura di trattamento	Densità $\frac{g}{cm^3}$	Contenuto di umidità %	Conduktivita termica W/mK	Deviazione standard [-]	Variazione percentuale %
Abete	190	0.401	4.7	0.107	0.007	5.9
	212	0.398	3.7	0.101	0.003	10.9
	naturale	0.425	10.1	.114	0.013	0.0
Pino silvestre	190	0.442	4.5	0.116	0.009	2.2
	212	0.414	3.0	0.105	0.011	11.1
	Naturale	0.459	9.3	0.118	0.013	0.0
Frassino	190	0.658	3.7	0.148	0.005	9.8
	212	0.648	2.8	0.140	0.005	15.0
	naturale	0.660	6.5	0.164	0.023	0.0

Sostenibilità ambientale

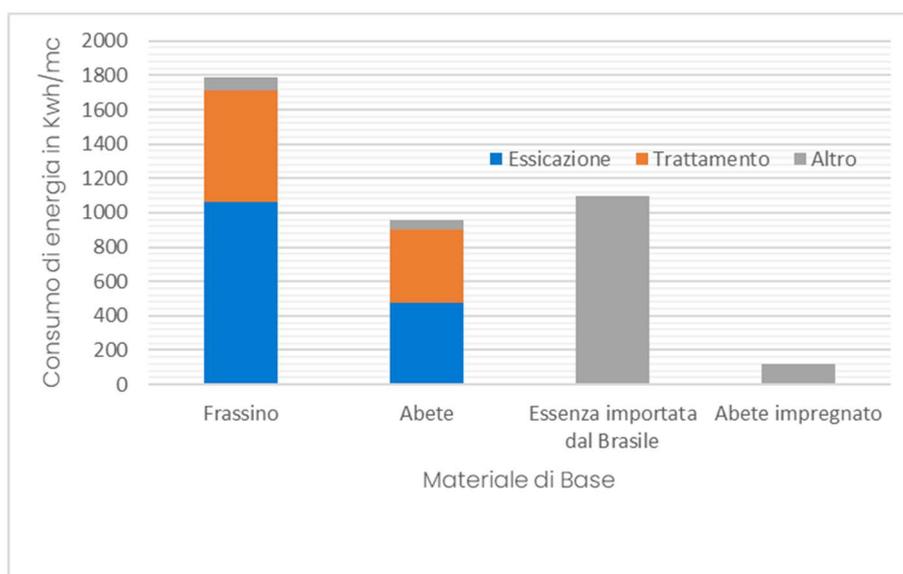
Il legno termo-modificato può e deve essere visto come un'alternativa ecosostenibile rispetto al trattamento chimico del legno, all'utilizzo di vernici ad alto impatto ambientale ed all'utilizzo di legni esotici. Verranno fatti dei confronti basati su articoli scientifici per comprendere meglio il vantaggio ambientale che questo materiale è in grado di offrire. Il Legno può essere reso resistente agli attacchi biologici utilizzando prodotti biocidi come ad esempio arseniato di rame cromato (CCA), acido cromico e creosoto (Candelier & Dibdiakova, 2020). Sebbene questi prodotti siano molto validi per migliorare la durabilità del legno, sono tossici anche per l'uomo. È stato dimostrato che questi prodotti permangono nell'ambiente anche alla fine del loro utilizzo attraverso:

- Combustione del manufatto trattato: libera gas tossici che possono essere inalati
- Trasformazione in segatura e riutilizzo: Il materiale viene utilizzato per creare altri prodotti che possono essere a contatto continuativo con l'uomo (KOL & KESKIN, 2016)

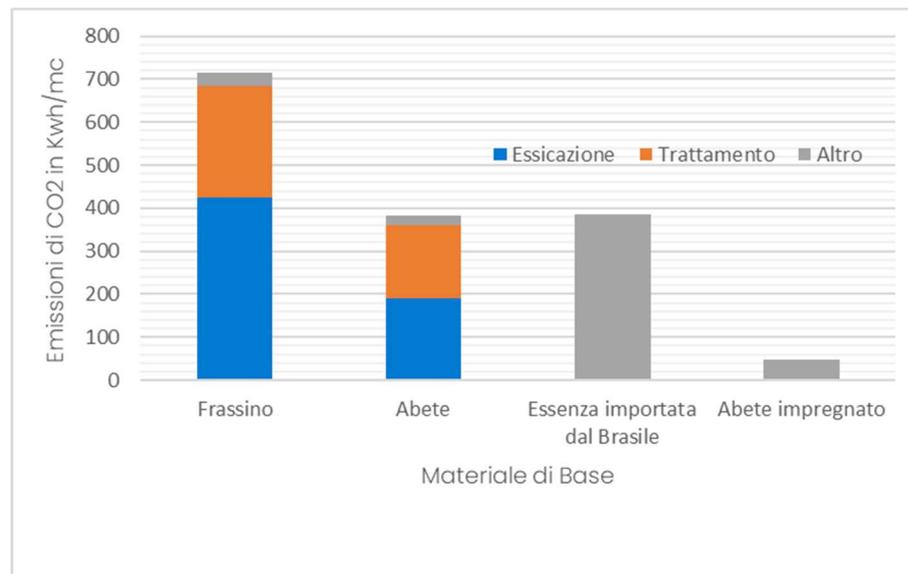
Per valutare l'impatto ambientale durante il ciclo di vita del legno modificato bisogna:

- Valutare la provenienza del materiale di base: il trattamento permette di utilizzare materiale locale invece di utilizzare legno esotico per avere la stessa durabilità
- Consumo energetico: il trattamento richiede un certo quantitativo di energia. Studi scientifici dimostrano che solo il 25% dell'energia totale durante il trattamento è utilizzata durante la fase ad alta temperatura, mentre il restante 75% è impiegata per l'essiccazione del legno. Il consumo totale dipende prevalentemente dall'umidità iniziale del legno trattato. Vengono riportati i consumi energetici del trattamento termico (Candelier & Dibdiakova, 2020):

In questa figura, vengono confrontate i consumi energetici su quattro casistiche: Frassino termotrattato, Abete termotrattato, Legno importato dal Brasile, legno trattato con impregnante biocida. Come si vede l'utilizzo di legname locale rende il trattamento competitivo con l'import da paesi esteri (Candelier & Dibdiakova, 2020).



In questo grafico invece, vengono riportate le emissioni di CO_2 per mc di materiale (Candelier & Dibdiakova, 2020):



In generale guardando i grafici si può notare che il trattamento può essere compensato dal mancato trasporto del materiale dai luoghi lontani. Tuttavia lo studio non tiene in considerazione alcuni fattori difficilmente quantificabili come:

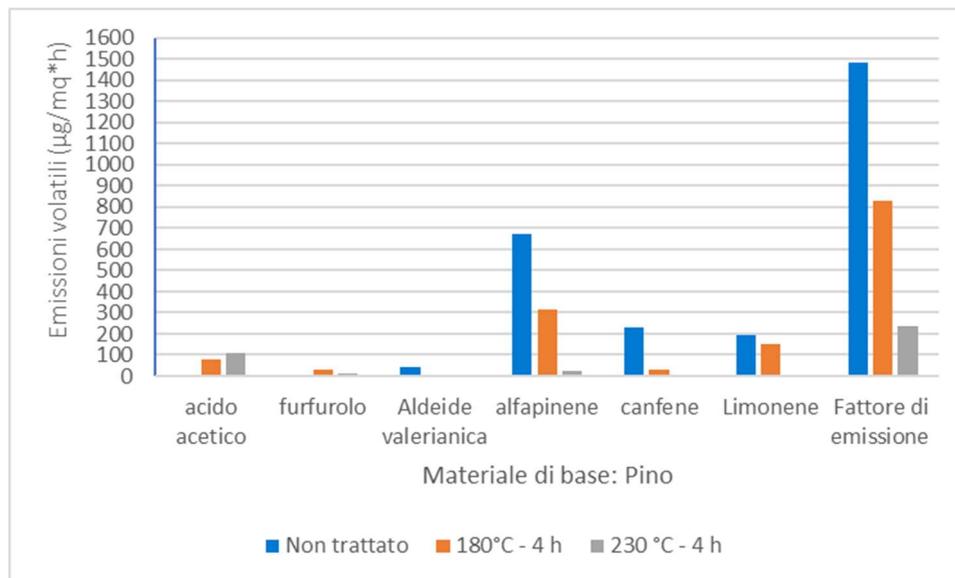
- Miglioramento della qualità delle foreste locali e maggior sequestro di CO_2
- Non utilizzo di Legnami esotici, che hanno una filiera incerta e potenzialmente illegale
- Minor utilizzo di prodotti chimici

Altre emissioni

Durante la pirolisi del legno si vengono a creare una grande quantità di composti, tra cui acido acetico, furfurolo, dimetilgliosale, idrossiacetone, toluene e diversi terpeni. Una frazione di queste emissioni è riconosciuta come pericolosa per la salute. Il nostro impianto, per annullare questa problematica dispone di uno speciale filtro ad acqua che permette di bloccare questa piccola percentuale di inquinanti.

Emissione di composti organici volatili

Anche se può sembrare contro-intuitivo, il legno naturale emette composti volatili irritanti per la salute umana, come ad esempio terpeni, acido acetico, ecc. L'emissione di queste sostanze altera la qualità dell'aria in ambienti chiusi, specialmente se il legno viene utilizzato estensivamente come rivestimento interno. È stato dimostrato che il legno termo-modificato riduce le emissioni di composti volatili in quanto gran parte delle emissioni si hanno durante il processo di pirolisi (ThermoWood, 2003).



Resistenza meccanica

Il legno termo-modificato subisce una modificazione della sua struttura e della sua composizione. Il processo tende, in base alla temperatura di processo a rendere il materiale meno performante in termini di caratteristiche meccaniche. Vengono riportati i seguenti parametri per l'abete rosso (Boonstra, Acker, Tjeerdsma, & Kegel, 2007):

Proprietà	Unità di misura	Materiale non trattato	Materiale trattato
Contenuto di umidità	%	14	6
Densità	Kg/m^3	434	397
Resistenza a flessione	N/mm^2	57.2	39.3
Modulo elastico	N/mm^2	10669	11225

Le proprietà riportate sono frutto di un metodo di lavoro statistico. È da notare che il materiale trattato diventa più leggero di quasi il 10 % e il materiale diventa più rigido (Modulo elastico aumentato)

Lavorabilità

La lavorabilità è parametro difficilmente caratterizzabile. La ricerca scientifica è attiva anche su questo fronte tuttavia al giorno d'oggi non esistono ancora studi approfonditi sul tema. Segheria Praolini si è dunque attivata facendo delle prove di lavorabilità su campioni trattati attraverso il nostro processo termico.

Le prove sono state organizzate in modo da provare il materiale con alcune lavorazioni che vengono eseguite abitualmente nel settore della falegnameria e della carpenteria. In particolare:

Lavorazione giunto a pettine

Lavorazione perlina Maschio -Femmina

Lavorazione Tavolette di copertura

Resistenza alla penetrazione di chiodi e viti vicino al bordo

Rusticatura del legno

In ognuna di queste lavorazioni il materiale ha risposto positivamente, dando prova di buona lavorabilità e una posa semplice del materiale in opera



Figura : Tavola in abete con giunto a pettine



Figura : Tavola in abete rusticata e spazzolata

Riferimenti bibliografici

- Boonstra, M. J., Acker, J. V., Tjeerdsma, B. F., & Kegel, E. (2007). Strength properties of thermally modified softwoods and its relation. *afs journal*.
- Candelier, K., & Dibdiakova, J. (2020). A review on life cycle assessments of thermally modified wood. *Holzforschung*.
- Čermák, P., Rautkari, L., Horáček, P., Saake, B., Rademacher, P., & Sablík, P. (2015). Analysis of Dimensional Stability of Thermally Modified Wood Affected by Re-Wetting Cycles. *Bioresources*.
- Conti, E. (2022). *Thermally modified timber: durability under study*. Udine: CATAS.
- Hill, C., Altgen, M., & Rautkari, L. (2021). Thermal modification of wood—a review: chemical. *Journal of Material Science*.
- KOL, H. Ş., & KESKİN, S. A. (2016). THE THERMAL CONDUCTIVITY OF SOLID WOOD HEAT-TREATED USING THE THERMOWOOD METHOD. *International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia*. Nevsehir, Turkey.
- ThermoWood, I. A. (2003). *ThermoWood handbook*. Helsinki.
- Tiemann, H. (1915). The Effect of Different Methods of Drying on the Strength of Wood. *Lumber World Review*.
- Tjeerdsma, B. B. (1998). Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. *Holz als Roh-und Werkstoff*.