

**S. MASTROLITTI, P. COLUCCI, F. LIUZZI,
I. DE BARI, G. BRACCIO**

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Divisione Bioenergia, Bioraffineria e Chimica Verde
Centro Ricerche Trisaia

A. FEO

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Sezione Strumenti per Applicazioni Energetiche
Centro Ricerche Trisaia

M. FERRANTE, G. CONIDI, P. ZAMBELLI

SADEPAN (SAVIOLA Group)
Sede di Viadana (MN)

PRODUZIONE DI PANNELLI A BASE DI BIOMASSA LIGNOCELLULOSICA DI CARDO

RT/2023/12/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

S. MASTROLITTI, P. COLUCCI, F. LIUZZI,
I. DE BARI, G. BRACCIO

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Divisione Bioenergia, Bioraffineria e Chimica Verde
Centro Ricerche Trisaia

M. FERRANTE, G. CONIDI, P. ZAMBELLI

SADEPAN (SAVIOLA Group)
Sede di Viadana (MN)

A. FEO

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Sezione Strumenti per Applicazioni Energetiche
Centro Ricerche Trisaia

PRODUZIONE DI PANNELLI A BASE DI BIOMASSA LIGNOCELLULOSICA DI CARDO

RT/2023/12/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

I rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina www.enea.it

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

PRODUZIONE DI PANNELLI A BASE DI BIOMASSA LIGNOCELLULOSICA DI CARDO

S. Mastrolitti, P. Colucci, F. Liuzzi, I. De Bari, G. Braccio, A. Feo, M. Ferrante, G. Conidi, P. Zambelli

Riassunto

Il Cardo è una aridocoltura che necessita di poca acqua e cure e che può essere seminata su terreni marginali non destinabili all'alimentazione o all'allevamento. Alcune parti di questa pianta trovano impieghi nobili come, per esempio, i semi da cui si può ricavare un olio o le radici da cui si può estrarre l'inulina. Le parti residuali possono trovare impiego in altri percorsi di valorizzazione come, per esempio, la produzione di manufatti in legno.

Nell'ambito della collaborazione ENEA-SADEPAN sono state sperimentate varie strategie atte ad ottenere pannelli truciolari in legno a partire dal cardo e impiegando la minor quantità possibile di resine (ottenute da SADEPAN e da altri produttori). In particolare, la tipologia di pannello su cui sono state condotte le sperimentazioni è identificata nella norma EN 312-P2 "Pannelli non portanti tri-strato per uso in mobili in ambiente secco". Si tratta della tipologia più diffusa sul mercato che viene normalmente utilizzata per la fabbricazione di mobili.

In questo report saranno illustrati i percorsi sperimentali e i dati dei provini estratti da pannelli sperimentali ottenuti sia presso i laboratori ENEA dove, tramite approcci di laboratorio tesi a scandagliare le informazioni tratte dalla letteratura scientifica, sono state individuate alcune strategie sperimentali più convenienti, che presso i laboratori SADEPAN dove, anche sulla scorta dei dati ottenuti da ENEA, sono stati condotti a termine esperimenti tesi, da un lato a valorizzare le esperienze maturate presso i laboratori ENEA, e dall'altro lato a testare la possibilità di produrre industrialmente questi pannelli. Presso ENEA oltre che la produzione di provini di pannelli, sono state effettuate anche misure di resistenza a flessione (secondo la norma EN 310), mentre presso i laboratori SADEPAN i provini sono stati testati in termini di resistenza al distacco (secondo la norma EN 311), coesione interna (secondo la norma EN 319) e rigonfiamento in seguito all'assorbimento di umidità (secondo la norma EN 317).

Sono stati ottenuti pannelli truciolari sperimentali variando i seguenti parametri: umidità della matrice lignocellulosica, tempi di cura del pannello all'interno della termo-prensa, densità del pannello e granulometria del truciolato. Inoltre sono state anche provate diverse ricette di produzione modulando la tipologia e la quantità di resina utilizzata (testando anche mix di due tipologie di resina diverse). Infine sono stati anche prodotti pannelli usando, sia la matrice cardo modificata tramite trattamento in steam explosion (con la finalità di indurre una auto-adesività della stessa matrice), sia la matrice cardo miscelata con altre matrici legnose da legno riciclato.

A valle di questo percorso sperimentale sono stati ottenuti alcuni prodotti le cui caratteristiche sono molto vicine a quelle minime richieste per i pannelli commerciabili di cui alla norma EN312-P2.

Questi risultati mostrano ottimi margini di miglioramento non solo in termini di qualità di questa tipologia di pannelli contenenti il cardo ma anche in riferimento alla sostenibilità associabile al prodotto e al processo produttivo.

Il presente report è stato elaborato come parte delle attività del progetto PON COMETA (RIFS).

Parole chiave: Pannelli, biomassa di cardo, bioedilizia, self-binding panel, bioresine.

INDICE

1.	Introduzione	6
2.	Impiego delle aridocolture e in particolare del cardo	7
3.	Panoramica sui pannelli in legno: dati tecnici, ambiti di ricerca, mercato	8
3.1	Principali tipologie di pannelli in legno	8
3.2	Principali dati di mercato sui pannelli in legno	12
3.3	Aspetti economici correlati alla sostenibilità della produzione dei PB	15
3.4	Descrizione, scelta e uso delle resine di incollaggio tradizionali	18
3.5	Resine di incollaggio da fonte rinnovabile e processi di attivazione per l'auto-incollaggio	19
	Resine tanniniche	19
	Resine lignin-based e approcci con lignina attivata auto-incollante	20
	Cenni su mercato e brevetti delle resine fenoliche lignin-based	21
3.6	Generalità sulle tecniche industriali per la produzione di pannelli PB	23
	Preparazione ed essiccamento dei trucioli in legno.....	26
	Preparazione del materasso (miscelazione legno, resina e hardener)	27
	Termo-pressatura, formazione, raffreddamento e rifinitura del pannello.....	28
4.	Produzione e caratterizzazione di pannelli tipo da biomassa di Cardo	30
4.1	Applicazione dei riferimenti normativi per testare le proprietà dei pannelli sperimentali.....	30
4.2	Modalità di preparazione dei pannelli di laboratorio.....	33
4.3	Fase esplorativa della produzione di pannelli sperimentali con CARDO.....	35
4.4	Pannelli sperimentali con CARDO: effetto dell'essiccamento dei trucioli	40
4.5	Pannelli sperimentali con CARDO: effetto combinato essiccamento – incremento densità	40
4.6	Pannelli sperimentali con CARDO: effetto della distribuzione granulometrica	41
4.7	Pannelli sperimentali con CARDO: effetto della resina tanninica.....	42
4.8	Pannelli sperimentali con CARDO: effetto della resina tanninica miscelata con resina UF	43
5.	Misure di resistenza a flessione	45
5.1	Resistenza a flessione: prove condotte con matrice CARDO e resina tanninica	45
5.2	Resistenza a flessione: prove condotte con matrice CARDO e resina urea-formaldeide.....	47
5.3	Resistenza a flessione: prove condotte con matrice CARDO e mix di resine	47
5.4	Resistenza a flessione: prove su pannelli a più alta coesione interna e resistenza al distacco	49
6.	Sperimentazioni con cardo pre-trattato tramite steam explosion	Errore. Il segnalibro non è definito.
6.1	Pannelli sperimentali industriali di tipo P2 ottenuti con CARDO pre-trattato (TRIALVII).....	51
6.2	Pannelli sperimentali con CARDO pre-trattato sottoposti a prove di resistenza a flessione	52
7.	Conclusioni	53
8.	Bibliografia	54

9. ALLEGATO 1 – Test sui pannelli ottenuti con processo industriale..... 58

1. Introduzione

L'arbusto del cardo è una aridocoltura che necessita di poca acqua e cure e che può essere seminata su terreni marginali non destinabili all'alimentazione o all'allevamento. Queste caratteristiche consentono non solo di sfruttare tali terreni per mettere a dimora piante in grado di sequestrare CO₂, ma anche di ottenere una pianta le cui parti trovano impieghi nobili utili a sostituire il petrolio come per esempio i semi, da cui si può ricavare un olio destinabile a bio-diesel, o le radici da cui si può estrarre un oligosaccaride (inulina) destinabile per via fermentativa alla produzione di chemicals.

Nell'ambito della collaborazione ENEA-SADEPAN l'impiego del cardo ha come scopo principale quello di limitare le emissioni di GAG nella produzione di pannelli in legno. Contestualmente all'impiego del cardo sono state sperimentate soluzioni utili a limitare l'uso di prodotti derivanti da fonti fossili.

Questo rapporto tecnico compendia le esperienze comuni maturate nella produzione di pannelli truciolari a base di fibra lignocellulosica di Cardo. In particolare, la tipologia di pannello su cui sono state condotte le sperimentazioni è descritta nella norma EN 312-P2 "Pannelli truciolari non portanti tri-strato per uso in mobili in ambiente secco". Si tratta della tipologia più diffusa sul mercato che viene normalmente utilizzata per la fabbricazione di mobili e in modo marginale anche nell'edilizia.

Nell'ambito della collaborazione ENEA-SADEPAN sono state sperimentate varie strategie atte impiegare la minor quantità possibile di resine di incollaggio.

Saranno illustrati i percorsi sperimentali e i dati dei provini di pannello ottenuti sia presso i laboratori ENEA, dove tramite approcci di laboratorio tesi a scandagliare le informazioni tratte dalla letteratura scientifica sono state individuate alcune delle strategie sperimentali più convenienti, che presso i laboratori SADEPAN dove, anche sulla scorta dei dati ottenuti da ENEA, sono stati condotti a termine esperimenti tesi, da un lato a valorizzare le esperienze maturate presso i laboratori ENEA, e dall'altro lato a testare la possibilità di produrre industrialmente questi pannelli.

Presso ENEA oltre che la produzione di provini di pannelli, sono state effettuate anche misure di resistenza a flessione (secondo la norma EN 310), mentre presso i laboratori SADEPAN i provini sono stati testati in termini di resistenza al distacco (secondo la norma

EN 311), coesione interna (norma EN 319) e rigonfiamento in seguito all'assorbimento di umidità (norma EN 317).

Sono stati ottenuti molti provini variando i seguenti parametri: umidità della matrice lignocellulosica, tempi di cura del provino all'interno della termo-prensa, densità del provino e granulometria del truciolo di legno. Inoltre sono state anche provate diverse ricette di produzione modulando la tipologia e la quantità di resina utilizzata (testando anche mix di due tipologie di resina diverse). Infine sono stati anche prodotti pannelli usando la matrice cardo modificata tramite trattamento in steam explosion (con la finalità di indurre una auto-adesività della stesa matrice).

A valle di questo percorso sperimentale sono stati ottenuti alcuni prodotti le cui caratteristiche sono molto vicine a quelle minime richieste per la commerciabilità di cui alla norma EN312-P2.

Questi risultati mostrano ottimi margini di miglioramento non solo in termini di qualità di questa tipologia di pannelli ma anche in riferimento alla sostenibilità associabile al prodotto e al processo produttivo.

2. Impiego delle aridocolture e in particolare del cardo

Di solito per la produzione di pannelli vengono usate biomasse legnose come, sughero e residui di abete rosso, pino, faggio e pioppo. L'elevato costo, le norme e i regolamenti per la salvaguardia forestale e l'effettiva scarsa disponibilità di queste biomasse, hanno spinto la ricerca verso l'individuazione di residui agro-industriali di biomasse lignocellulosiche di tipo non-legnoso. Tra queste sono riportate nella letteratura scientifica il mischantus, la paglia di grano, scarti del cocco, i residui della lavorazione di bamboo, kenaf, cotone, juta e canapa, e anche gli scarti di potatura della vite e i residui lignocellulosici di cardo [1]. Questi ultimi sono una delle materie prime più promettenti per la bioraffineria nelle aree mediterranee poiché il cardo coltivato (*Cynara Cardunculus L.*) è una coltura poliennale ben adattata alla siccità ed ambienti e terre marginali a bassa produttività non destinabili all'alimentazione o all'allevamento [2].

Dai primi risultati sperimentali ottenuti in ambiente collinare nell'entroterra dell'Italia meridionale, è risultata evidente l'economicità della coltura del Cardo che ha comportato solo l'impiego di semplici tecniche colturali legate alla difesa da marciumi radicali

(trattamenti fungicidi alla semina e ad inizio primavera) e da insetti fitofagi (trattamenti insetticidi prima della fioritura). Le biomasse di Cardo ottenibili potrebbero garantire, a partire da secondo anno, una produzione lorda vendibile di 1,0-1,5 k€ per ettaro, rendendo questa coltura competitiva con il frumento duro [3] e creando di fatto nuove opportunità di reddito soprattutto per chi dispone di terreni marginali o incolti con marginalità economica negativa. Queste caratteristiche consentono non solo di sfruttare tali terreni per mettere a dimora piante in grado di sequestrare CO₂, ma anche di ottenere una pianta le cui parti trovino impieghi industriali e in diversi settori della chimica verde.

Il cardo si contraddistingue per l'utilizzo a cascata delle sue risorse. La coltivazione di questa specie si concentra principalmente sullo sfruttamento della biomassa aerea come semi, foglie e steli. La parte della pianta epigea produce circa 10-15 tonnellate/ettaro (ton/ha) di biomassa lignocellulosica mentre dalla biomassa ipogea si possono ricavare fino a circa 40-80 ton/ha di radici fresche (con un peso secco relativo che si aggira attorno al 60-70%). L'olio vegetale estratto dai semi è ricco di proteine e acidi grassi monoinsaturi utili alla produzione di biodiesel oppure per produrre importanti intermedi chimici e bioprodotto che trovano applicazione in molteplici settori (bioplastiche, biolubrificanti, cosmesi, plastificanti). Un esempio concreto è rappresentato dall'acido azelaico o l'acido pelargonico, che sono altamente richiesti dalle industrie dei fertilizzanti sintetici e dalle industrie cosmetiche in tutto il mondo [4]. Le radici sono ricche di inulina che può essere impiegata nel settore nutraceutico, farmaceutico e dalla quale, in seguito ad idrolisi, può essere ricavato fruttosio. Quest'ultimo può trovare impiego in processi di fermentazione atti ad ottenere altri preziosi sottoprodotti. Foglie e steli rappresentano invece un'importante fonte di biomassa lignocellulosica potenzialmente idonea, in seguito a pretrattamento, alla produzione di composti intermedi, come bioetanolo e biobutandiolo, ampiamente utilizzati per la produzione di bioplastiche [5].

Un ulteriore impiego di queste parti della pianta è nella produzione di pannelli per la bioedilizia e per l'arredamento. La letteratura scientifica, in merito a questi ultimi impieghi, attribuisce al pretrattamento un ruolo importante in quanto la biomassa, impoverita di emicellulosa e ceneri a favore della lignina, risulta meno igroscopica e più adattabile al processo di fabbricazione di pannelli [6].

3. Panoramica sui pannelli in legno: dati tecnici, ambiti di ricerca, mercato

3.1 Principali tipologie di pannelli in legno

Attualmente in commercio esistono varie tipologie di pannello dedicate a specifiche applicazioni.

Le tipologie di pannelli si possono riassumere in 6 famiglie:

1) Pannelli truciolari (ParticleBoard – PB).

Sono chiamati anche chipboard, sono costituiti da piccoli truciolini di legno (solitamente inferiori ai 2 cm) essiccati incollati tra loro con orientamento casuale in una termo-pressa grazie ad una resina termoindurente (normalmente il 6%-12% in peso rispetto al legno secco). Solitamente le resine usate sono Urea-Formaldehide (UF), Melamine-Urea-Formaldehide (MUF), Phenol-Formaldehide (PF) and Polymeric Methylene Diphenyl diisocyanate (pMDI). I truciolini di legno sono derivati da varie materie prime del legno, come tronchi di legno, segatura, truciolini, scaglie e in generale legno recuperato da varie fonti, soprattutto legno riciclato. I truciolini di legno vengono essiccati, miscelati con resine per ottenere un materasso di truciolini impregnati di resina che tramite una termo-pressa dà origine al pannello. Il pannello è solitamente formato da almeno tre strati (vedi figura 3.1.1) con gli strati esterni costituiti da truciolini fini e quello centrale (più spesso) costituito da truciolini più grossolani. Si tratta di pannelli per lo più utilizzati per la fabbricazione di mobili e marginalmente anche nell'edilizia. Lo spessore del pannello varia da 3 mm a 40 mm. A seconda delle condizioni di produzione si possono anche ottenere pannelli di varie densità, fra le quali la più frequente è 680-700 kg/m³ [7].

2) Pannello di scaglie orientate (Oriented Strand Board - OSB).

Il processo di fabbricazione è simile a quello del pannello truciolare, le uniche differenze sostanziali sono dovute all'uso di scaglie (e non truciolini) di legno che hanno una dimensione più lunga delle altre 2. Questa asimmetria viene sfruttata per stratificare, o orientare, la scaglia su un piano. Solitamente sono prodotti anch'essi in almeno tri-strato (vedi figura 3.1.2). Le scaglie di legno derivano quasi

esclusivamente dai tronchi di legno. Si tratta di pannelli usati essenzialmente nell'edilizia e soprattutto per le applicazioni atte a sopportare carichi. Questa tipologia viene prodotta in una gamma di densità inferiore rispetto al pannello truciolare e in spessori da 6 mm a 40 mm [7].



Figura 3.1.1 – Pannelli truciolari tri-strato



Figura 3.1.2 – Pannelli di scaglie orientate (OSB)

3) Pannello di fibre a densità media (Medium Density Fibreboard - MDF)

Questo pannello di fibra è prodotto da fibre di legno secco principalmente derivate da tronchi, che vengono scheggiati o sfogliati e raffinati in un processo di spappolamento termomeccanico. Le fibre umide raffinate vengono dosate con resina e additivi ed essiccate in essiccatori a tubo. La formatura del materassino e il processo di pressatura sono essenzialmente identici a quelli della produzione di pannelli truciolari. Tre esempi sono mostrati nella Figura 3.1.3. Questi pannelli si possono lavorare come il legno massiccio e sono di solito impiegati per fabbricare scaffalature e mobili più solidi e pesanti. I pannelli di fibra vengono prodotti in vari spessori da 4 mm a 60 mm e in varie densità [7].



Figura 3.1.3 - Pannello di fibre a densità media [7]

4) Rigidboard and flexboard

Si tratta di una tipologia di pannelli molto simili a MDF. Si usano fibre di legno derivate da chip di legno miscelate solitamente a pMDI schiacciate in una pressa non riscaldata che lavora a bassa pressione. La reazione di incollaggio è favorita dall'uso di una minima quantità vapore caldo che provoca il riscaldamento sufficiente.

Nel caso dei Rigidboard vengono usate solo fibre di legno ottenute da chip per ottenere spessori nel range 18-240 mm e densità basse ($100-220 \text{ kg/m}^3$).

Nel caso dei Flexboard alle fibre di legno si associano quantità variabili di fibre sintetiche (spesso a base di polimeri come il PoliEtilene e/o il PoliPropilene) che partecipano alla reazione di incollaggio e conferiscono al pannello una certa flessibilità. In questo caso solitamente le densità sono basse (50 kg/m^3) e gli spessori ottenuti sono 100-240 mm. Queste tipologie di pannelli trovano la loro principale applicazione come isolanti termici e sonori [7].

5) Softboard (SB)

Si tratta di pannelli ottenuti tramite un processo in umido simile a quello di produzione della carta (vedi figura 3.1.4). Per questo scopo si possono usare le fibre umide

ottenibili da legno fresco addizionate con acqua fino ad ottenere una pasta che può esser setacciata a pressione per ricavarne un materasso. Quest'ultimo, tramite una pressa a rulli può perdere fino al 40% di acqua. Il resto dell'acqua viene eliminato tramite altri sistemi di essiccamento classici e solitamente la lignina contenuta agisce da collante. Gli spessori di questi pannelli sono di 4-32 mm con densità di 140-300 kg/m³. Essi vengono usati solitamente come isolanti [7].

6) Hardboard (HB)

Viene prodotto in modo del tutto analogo ai pannelli Softboard ma l'ultimo trattamento cui è sottoposto è in termo-pressa (vedi figura 3.1.5). Questo trattamento conferisce al pannello una maggiore rigidità e densità rispetto al Softboard. È prodotto con spessore sottile (5,5 mm) ed è solitamente usato come isolante [7].



Figura 3.1.4 – Pannelli Softboard [7] Figura 3.1.5 – Pannelli Hardboard [7]

3.2 Principali dati di mercato sui pannelli in legno

La produzione e la commercializzazione dei pannelli in legno negli ultimi decenni ha visto un costante incremento interrotto occasionalmente da congiunture recessive come quella del 2008 dovuta in generale alla crisi finanziaria e ad eventi specifici (come la concorrenza sulla materia prima legno generata dal mercato dei “wood pellets from virgin wood” e dall’uso anche del legno riciclato e di scarto per la produzione di energia) e quella del 2020 dovuta al COVID.

Queste crisi hanno imposto una semplificazione che ha favorito la sopravvivenza e l'ampliamento delle realtà produttive più grandi e la specializzazione su particolari nicchie di prodotti delle realtà produttive medio-piccole.

A livello mondiale fra il 2014 e il 2016 c'è stato un sensibile incremento della produzione di pannelli in legno. Nel 2016 si è registrato un incremento di circa il 10% rispetto al 2014. Dal 2016 al 2018 la produzione si è sostanzialmente stabilizzata (vedi figura 3.2.1). Questi incrementi sono stati sostenuti quasi completamente dai produttori dell'area asia-pacifica ed europei. Nel 2018 sono stati prodotti in totale 408 milioni di metri cubi di pannelli dei quali il 60,8% è stato prodotto nell'area Asia-pacifica, il 22,1% in Europa, il 11,8% in Nord-America ed il resto nel Sud-America e in Africa [8]. Considerando il mercato di questi prodotti fra il 2014 e il 2016 c'è stato un incremento degli scambi di circa il 25% e fra il 2016 e il 2018 c'è stata una sostanziale stabilizzazione [8]. L'incremento fra il 2014 e il 2016 è imputabile ad un ampliamento sia delle quote di export e di import, mentre fra il 2016 e il 2018 tendenzialmente sono diminuite le quote di export e sono aumentate le quote di import. In particolare nel 2018 c'è stato un forte incremento in termini di import da parte degli stati del Nord-America (vedi figura 3.2.1).

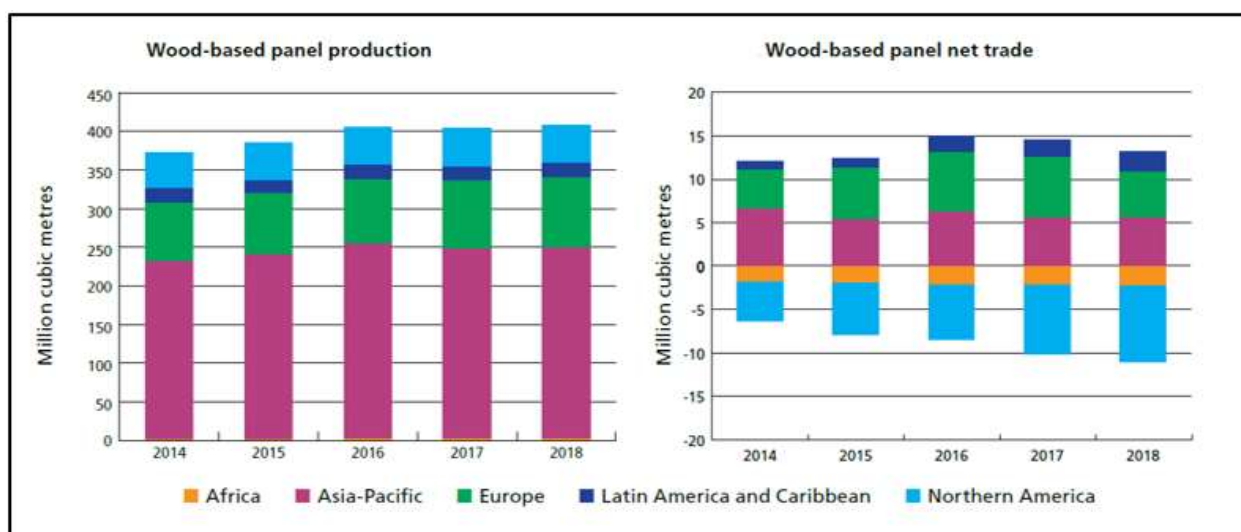


Figura 3.2.1 – Distribuzione globale degli impianti di produzione di pannelli PB, OSB e MDF [8]

La produzione mondiale di pannelli fra il 2014 e il 2018 (vedi figura 3.2.2), suddivisa per tipologia, mostra la prevalenza dei pannelli in compensato (che nel 2018 copre il 40% del totale), quote di produzione simili fra loro di pannelli PB e pannelli in fibra di legno (che nel

2018 coprono circa il 50% del totale) e una produzione più limitata di pannelli OSB (che nel 2018 si attesta attorno al 10%). In realtà questi dati sono falsati dal rapido incremento di produzione di pannelli in compensato (usati soprattutto per esigenze interne) registrato negli ultimi anni in Cina. In Nord-America e in Europa la produzione dei pannelli PB, OSB e in fibra resta dominante. In ogni caso la quota dei pannelli in compensato da alcuni anni è stabile mentre quella dei pannelli PB e OSB fra il 2014 e il 2018 è cresciuta rispettivamente del 13% e del 25%, e in particolare in Europa i pannelli PB attualmente sono quelli più prodotti [8].

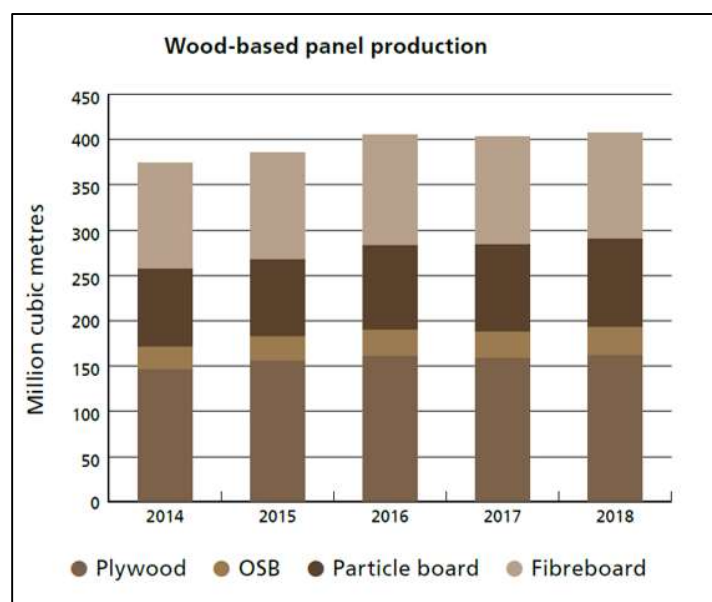


Figura 3.2.2 – Quote mondiali di produzione di pannelli in legno fra il 2014 e il 2018 [8]

Gli usi principali dei pannelli truciolari prodotti in Europa sono illustrati nella figura 3.2.3

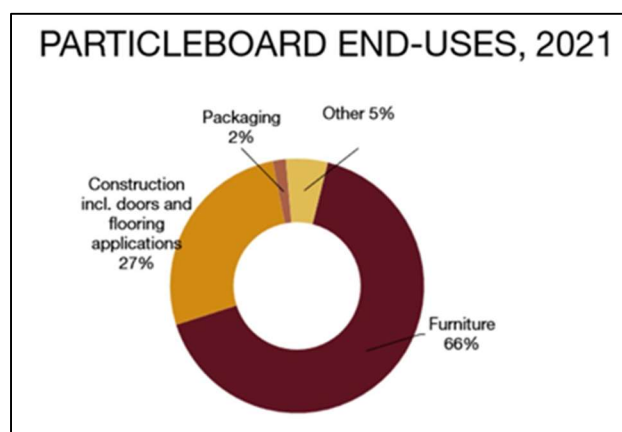


Figura 3.2.3 – Principali utilizzi dei pannelli truciolari prodotti in Europa [9]

Riassumendo i dati sopra riportati la maggior parte della produzione di pannelli in legno attualmente è geograficamente collocata fra Europa e area Asia-Pacifica. Il pannello più prodotto è quello truciolare che trova impiego soprattutto nell'arredamento.

In particolare, nella sola Europa negli ultimi anni si è registrato un aumento di produzione di pannelli truciolari (Particle Board) molto significativo, tanto da arrivare ad un +12% nel 2021 (Figura 3.2.4).

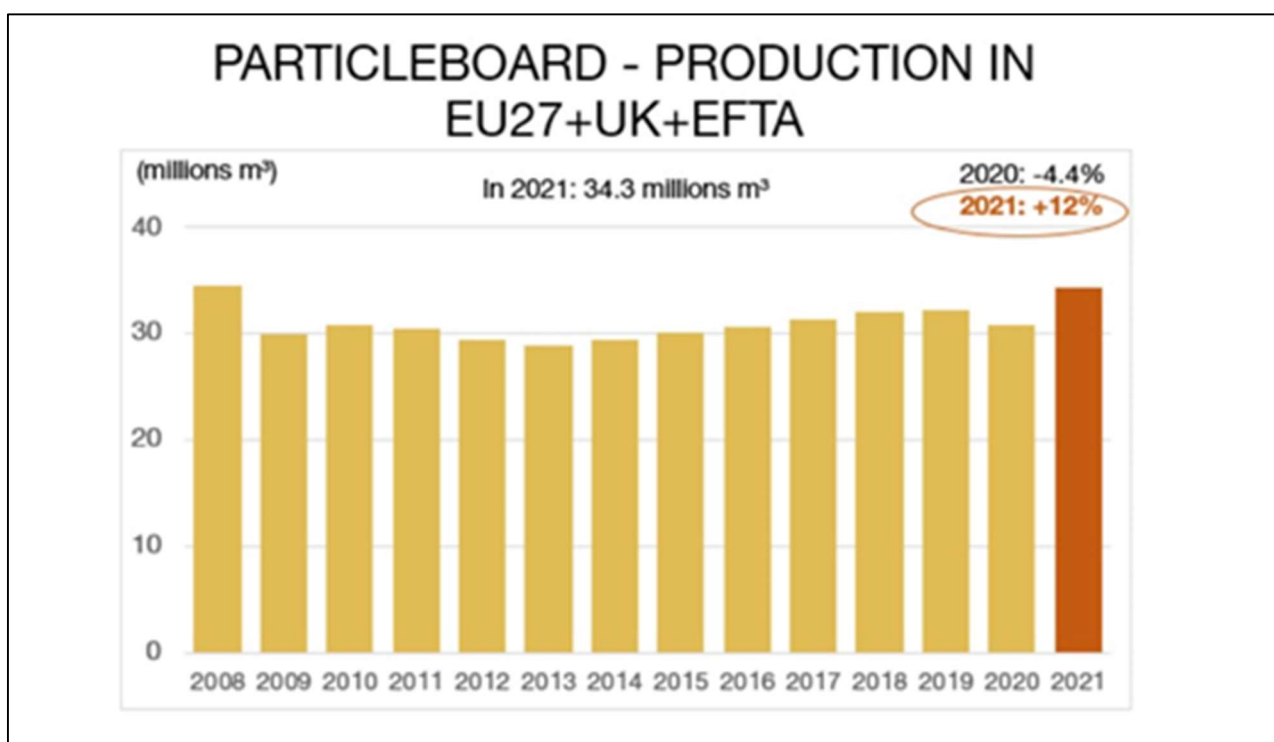


Figura 3.2.4 – Aumento di produzione di pannelli truciolari in Europa, Regno Unito e EFTA (European Free Trade Association) [9]

3.3 Aspetti economici correlati alla sostenibilità della produzione dei PB

I costi diretti di produzione delle principali tipologie di pannelli (PB, OSB, MDF), escludendo i costi di gestione e manutenzione degli impianti sono riportati nella tabella 3.3.1.

Tabella 3.3.1 – Percentuale di costo delle materie prime per pannelli (PB, OSB, MDF)

Fonte di costo	Percentuale di costo	Percentuale di materiale presente nel prodotto finito
Wood	31 %	90 %
Resin	43 %	10 %
Energy	26 %	-

Mediamente ogni voce di costo grava per un terzo sul costo complessivo dovuto alle materie prime. Ultimamente per la materia prima legno è stato registrato un sensibile aumento in termini di costo dovuto all'incremento di attività concorrenziali sul legno vergine come la produzione di pellet e in generale l'uso della biomassa per la produzione di carburanti ed energia [7].

Anche per le resine si registrano incrementi in costo legati al prezzo del petrolio che rappresenta una delle principali materie prime per la loro produzione.

Infine, anche il costo dell'energia tende ad incrementare ed ultimamente soprattutto a causa delle più recenti crisi socioeconomiche.

Questo scenario rende necessario, non solo per motivi legati alla salvaguardia ambientale e alla lotta ai cambiamenti climatici, ma anche per motivi economici, la ricerca di nuovi approcci alla produzione dei pannelli con particolare riferimento a quelli truciolari che sono i più commercializzati.

L'uso del legno di scarto e del legno riciclato per la produzione di PB riguarda sia le esigenze ambientali che quelle economiche. Infatti, questa materia prima rende meno necessario il legno vergine (salvaguardando anche le foreste certificate e coltivate per questi scopi) ed ha un costo sensibilmente più basso (non è in concorrenza né con la produzione di pellet, né con la produzione di carburanti ed energia).

Anche l'uso in questo ambito di biomasse (come il cardo) coltivate su terreni marginali, si colloca in questa direzione.

La produzione dei pannelli PB si presta all'uso di varie tipologie di legno. La figura 3.3.1 mostra, rispetto ai pannelli OSB e MDF, questa caratteristica e in particolare che solo il 30% del legno usato per i pannelli PB appartiene a categorie più nobili (Virgin wood, roundwood).

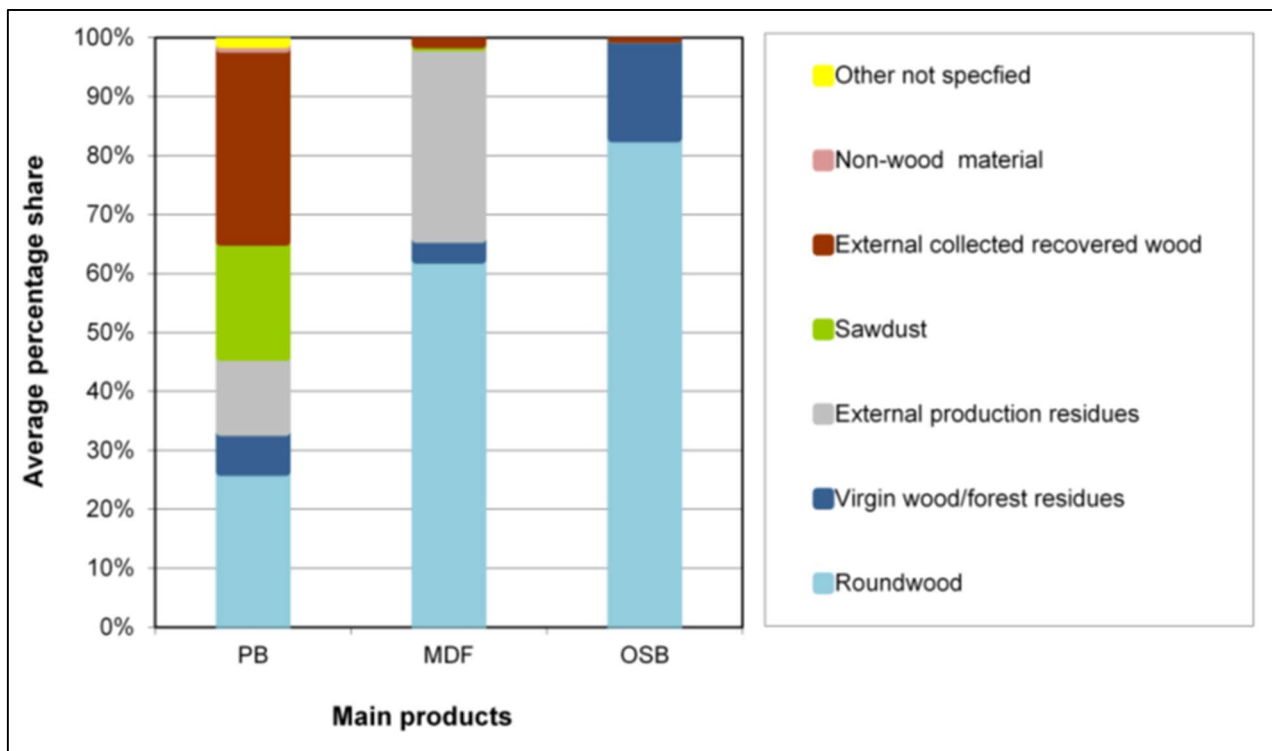


Figura 3.3.1 – Tipologie di legno usate in Europa per la produzione di PB, OSB e MDF [7]

È bene specificare che in figura sono riportati i dati medi; questo implica che esistono impianti che usano esclusivamente legno riciclato (come quelli della Eco-Ethical Company GRUPPO MAURO SAVIOLA [10] cui afferisce anche SADEPAN) e altri che usano anche quote di altre tipologie di legno. Un'altra caratteristica della produzione dei PB spendibile nella direzione della sostenibilità è nella versatilità che offre rispetto alle tipologie di resina che possono essere impiegate.

La figura 3.3.2, tratta da [7], mostra le tipologie di resina che vengono usate in 35 impianti europei nei quali vengono prodotti pannelli PB.

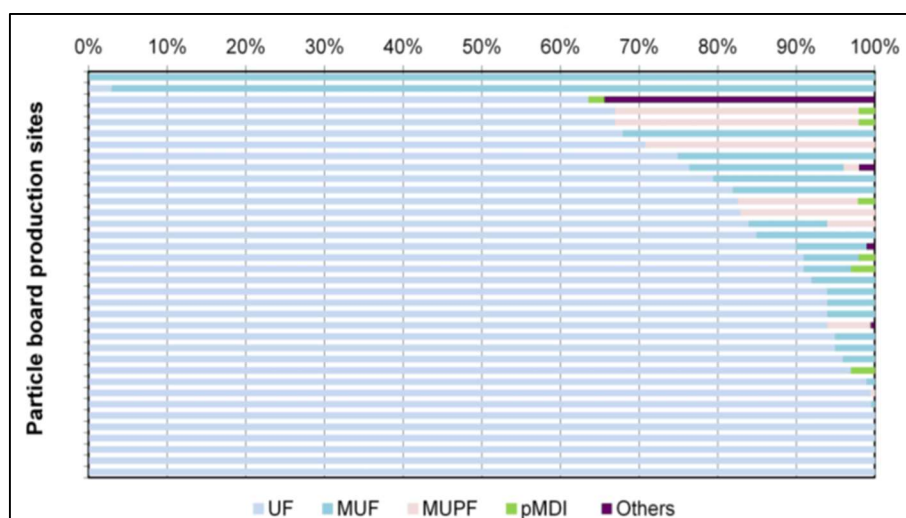


Figura 3.3.2 - Resina usate in 35 impianti europei di produzione di pannelli PB [7]

La resina più usata è certamente quella Urea-Formaldeide (UF). Essa consente di ottenere prodotti di buona qualità a basso costo.

Tuttavia, la figura 3.3.2 mostra anche la versatilità dei processi produttivi dei PB che consentono anche l'uso di resine anche molto diverse da quelle UF.

Questo aspetto potrebbe esser sfruttato per traguardare meglio l'obiettivo della sostenibilità nella fase di incollaggio.

3.4 Descrizione, scelta e uso delle resine di incollaggio tradizionali

Le principali resine usate per produrre pannelli in legno e le principali tipologie e proprietà dei pannelli prodotti con queste resine sono riportate nella tabella 3.4.1.

Tabella 3.4.1 – Principali resine usate per la produzione di pannelli [11]

Resina	Acronimo	Pannello prodotto	Applicazioni e proprietà				
			Applicazione (Interno)	Applicazione (Esterno)	Resist. umidità	Basse emiss. formaldeide	Economica e versatile
Urea-formaldeide	UF	PB, MDF	x				x
Phenol-formaldeide	PF	OSB		x	x		
Phenol-urea-formaldeide	PUF	OSB		x	x		
Melanine-urea-formaldeide	MUF	PB, MDF		x	x		x
Melanine-urea-phenol-formaldeide	MUPF	PB, OSB, MDF		x	x		
Polymeric methylene diisocyanate	pMDI	OSB			x	x	

Ovviamente le proprietà conferite dalla tipologia di resina si sommano alle proprietà intrinseche della tipologia del pannello (vedi par. 3.1).

La corretta scelta della resina è, quindi, funzione delle proprietà attese ma anche delle condizioni di lavoro adottate per la produzione [7, 11].

Ad esempio, proprietà come la resistenza all'acqua e in generale per usi all'aperto sono più indicati pannelli ottenuti con PF, PUF, MUF e MUPF e sono certamente poco utilizzabili quelli prodotti con UF. Per quanto attiene la stabilità nelle dimensioni e nella superficie sono solitamente più determinanti le condizioni d'ottenimento e la tipologia e dimensione della componente in legno, in ogni caso una minima influenza è data anche dalla resina utilizzata. Infatti, a parità di condizioni, considerando solo il fattore resina, pare che le resine UF e MUF favoriscano la rigidità anche superficiale, a differenza delle resine PF e pMDI [11].

3.5 Resine di incollaggio da fonte rinnovabile e processi di attivazione per l'auto-incollaggio

In aggiunta all'approccio di sintesi delle resine tradizionali a partire da fonti rinnovabili, l'orizzonte della sostenibilità, anche nell'industria di produzione dei pannelli in legno, attualmente viene scrutato anche attraverso l'introduzione di nuove resine ottenute da biomasse.

Questa categoria di resine note come "bio-based adhesive" trae origine da fonti naturali, non minerali, usate tal quali o lievemente modificate in modo da mimare il comportamento delle resine sintetiche. Fra queste fonti naturali quelle che attualmente già sono impiegate per ottenere questi prodotti bio-based sono i Tannini e la Lignina. Si tratta per lo più di applicazioni proto-industriali sperimentate su prodotti di nicchia somiglianti alle resine Fenolo-Formaldeide (PF) in quanto i Tannini e la Lignina ospitano nella loro struttura molecolare un gran numero di unità fenoliche [11].

Resine tanniniche

Questa categoria di resine bio-based trae origine quasi esclusivamente da tannini condensati grandemente presenti e concentrati nel legno e nella corteccia di varie specie vegetali come quelle riportate in figura 3.5.1: Acacia (a), Quebracho (b), Abete (c), Sommacco (d) e Pino (e).

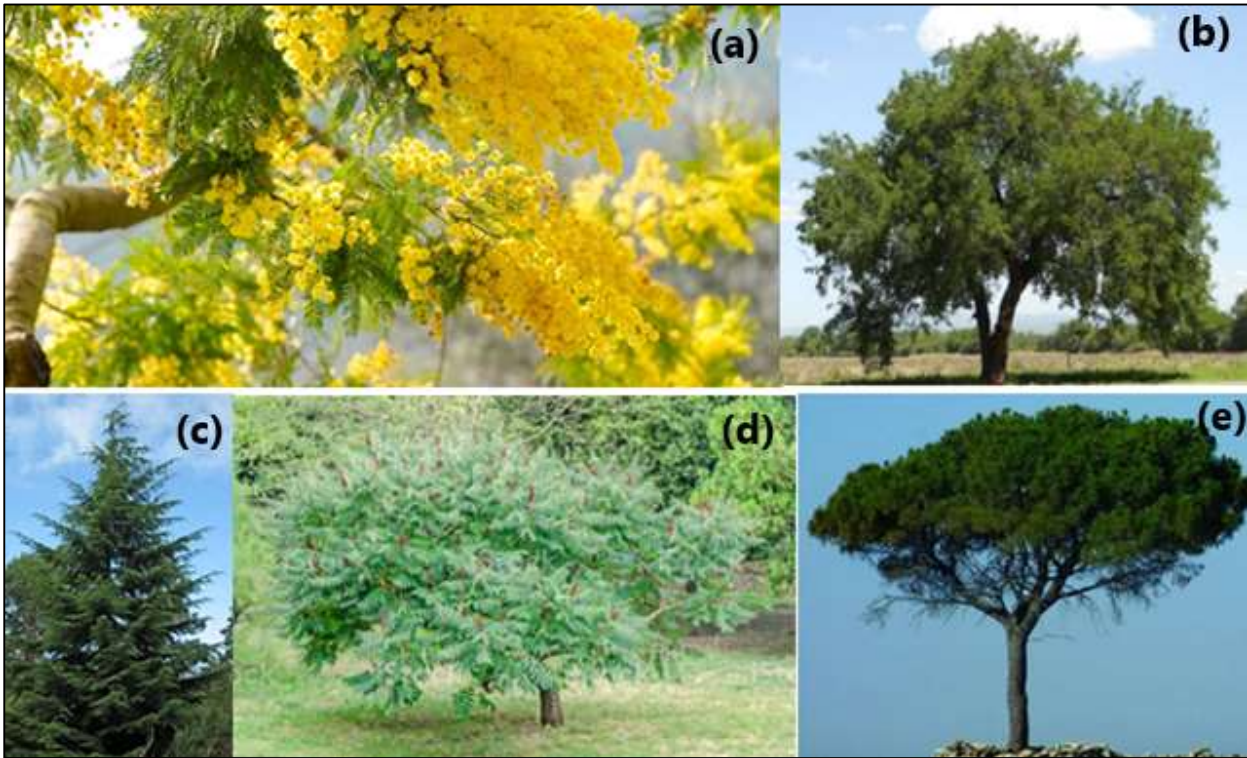


Figura 3.5.1 – Specie arboree da cui si possono estrarre i tannini: Acacia (a), Quebracho (b), Abete (c), Sommacco (d) e Pino (e)

Queste resine sono ricche di unità fenoliche ed hanno meccanismi di reazione molto simili (anche se meno efficienti) a quelli delle resine PF che prevedono la reazione della formaldeide nelle posizioni libere in orto o para all'idrossile delle unità fenoliche (vedi figura 3.5.2). Tramite questa reazione la formaldeide crea ponti -CH₂- fra i siti reattivi disponibili delle unità fenoliche e, come effetto finale, incolla il legno.

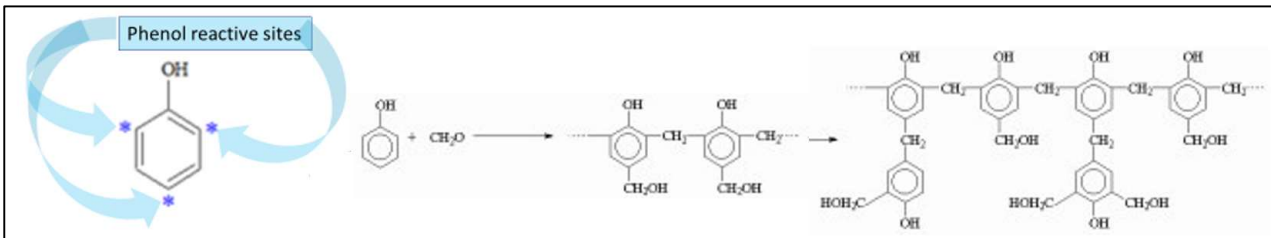


Figura 3.5.2 – Reazione di incollaggio per le resine fenolo formaldeide ed esplicitazione delle posizioni reattive sulle unità fenoliche

Nel caso dei tannini si tende ad evitare l'uso della formaldeide (che è una sostanza cancerogena) e a sostituirla con un altro reagente promotore dell'incollaggio "indurente"

(*hardener*), esattamente l'esameten-tetramina o Esamina (in inglese: Hexamethylenetetramine o Hexamine), che non presenta rischi per gli operatori. Infatti essa reagisce generando intermedi (sostanzialmente immine e basi immino-ammino-metileniche) che rendono possibile l'incollaggio tramite la formazione, a differenza di quanto riscontrato per le resine PF classiche, di ponti $-CH_2-NH-CH_2-$ fra i siti reattivi disponibili delle unità fenoliche [11-12]. I pannelli prodotti con queste tipologie di resine in genere soddisfano le normative vigenti sia per le applicazioni in ambienti chiusi che all'aperto.

Resine lignin-based e approcci con lignina attivata auto-incollante

Come nel caso dei tannini anche la lignina è ricca di unità fenoliche. La struttura della lignina è però composta da macromolecole tridimensionali non ordinate. Quindi si tratta di un substrato più complesso di quello dei tannini e tendenzialmente meno reattivo soprattutto perché le sue unità fenoliche risultano normalmente più schermate e meno accessibili. Esistono applicazioni in cui una parte della frazione fenolica delle normali resine PF è sostituita con la lignina.

La reattività della lignina nelle reazioni di condensazione può essere aumentata attraverso processi di attivazione chimica (metilolazione [13] e fenolazione [14]), enzimatica (attraverso l'uso di laccasi e ossidasi di cui alcuni importanti esempi sono riportati in tabella 3.5.1) e termochimica (idrogenolisi [15], pirolisi [16, 17] e tramite steam explosion i cui più recenti sviluppi sono raccolti in tabella 3.5.2). Miglioramenti nella reattività possono essere ottenuti anche attraverso la disidratazione termica degli zuccheri residui presenti nella lignina che genera specie come le aldeidi furaniche che possono reagire con le unità fenoliche in modo simile alla formaldeide [18, 19].

Fra questi processi di attivazione quelli più sostenibili sembrano essere quello tramite Steam explosion che, come descritto in tabella 3.5.1, richiede minime quantità di reagenti e bassi input energetici e quello enzimatico che non richiede l'uso di solventi e necessita di minimi input energetici (vedi tabella 3.5.2).

Tabella 3.5.1 – Attivazione per via enzimatica di alcune lignine finalizzata ad incrementarne le qualità autoadesive fino alla produzione di pannelli in legno [20]

Feedstock	Processo di attivazione enzimatica	Set-up per la produzione di pannelli			Ref.
		Temperatura (°C)	Tempo (min)	Pressione (MPa)	
Faggio (fibre)	Pre-riscaldamento delle fibre a 170 °C per 4 min. Trattamento enzimatico: Myceliophtera thermophila laccase (24 U/ml per g dry fibres) a pH 7 e temp. 60 °C (umidità controllata a 55%) in un rotary system per 30 min.	200	3,3	0,85	[21]
Fasci di fibre di guaina fogliare da piante di piantaggine commerciali	Trattamento enzimatico: laccase EC 1.10.3.2 da Aspergillus oryzae nel range 6–12–24 U/(g of fibre). Fibre in sospensione in soluzione acquosa (5%) con laccase a 30 °C, pH 5,5 per 1 h. Segue filtrazione ed essiccamento a 40 °C per 24 h.	190–210	1+7 (two steps)	8–16	[22]
Fibre di legno (80% Abete rosso, 20% Abete)	Enzima: Laccasi (100 U/ml per 1 g di fibra secca); Lignina: Calcium-Ligninsulfonate (6% per kg fibra secca); Mediatori (for the enzymatic electron transfer): caffeic acid or vanillic acid (10 mM per 1 g dry fibres). Questi ingredienti, vengono infine incubati con le fibre di legno a pH 6 a temperature ambiente per 15–60 min	190	2	n.d.	[23]

Tabella 3.5.2 – Attivazione tramite steam explosion di alcune lignine finalizzata ad incrementarne le qualità autoadesive fino alla produzione di pannelli in legno [20]

Feedstock	Principali parametri di processo	Set-up per la prod. di pannelli			Ref.
		Temp. (°C)	Tempo (min)	Press. (MPa)	
Miscantus	Steam temp. range: 196–236 °C, time range: 1–8 min.	130–230	1,6–18	12	[24]
Miscantus	Applicate le condizioni ottimizzate in [24] (203 °C for 7,35 min). Le proprietà meccaniche dei pannelli curati a 130 °C migliorano aggiungendo lignina kraft nel range 13,2–46,8% (w/w sulla biomassa secca)	120–170	3–8	12	[25]
Paglia di grano	Biomassa impregnate con acido solforico 0,75% (w/w su biomassa secca) e successivo trattamento con reagente di Fenton's e acqua ossigenata. Pre-trattamento in un 1500 rpm rotating grooved disk in grado di produrre graienti di pressione (0.5 – 0.7 MPa) e temperatura (170–190 °C) in 3 min	203	1,5	0,5	[26]
Casco di banane	Severity parameter (log R0) of the steam explosion in the range: 3.16–4.84	133–217	5+5 (two steps)	4–14	[27]
Cardo	Steam temperature range:160–240 °C, time range: 2,5 – 12,5 min	190–230	1–9	4–20	[6]
Vite	Steam temperature range:160–240 °C, time range 2,5–12,5 min. Alkaline lignin aggiunta al 15% migliora le proprietà meccaniche ma riduce l'impermeabilità	190–210	3–7	8–16	[28]
Vite	Applicate le migliori condizioni ottenute da [28] (218 °C for 6 min). Kraft lignin aggiunta al 15% migliora tutte le principali proprietà meccaniche	205	4+5 (two steps)	12	[29]

Cenni su mercato e brevetti delle resine fenoliche lignin-based

Dai paragrafi precedenti si evince che, in riferimento alla produzione di pannelli in legno, le resine lignin-based possono esser catalogate fra le PF. Più del 50% di questa tipologia di resine sono utilizzate per produrre adesivi per pannelli a base di legno. Un report pubblicato a fine 2018 dalla Commissione Europea – Task 3 “Study on Support to R&I Policy in the Area of Bio-based Products and Services” in collaborazione con l’Università di Bologna e Fraunhofer ISI, intitolato “Top 20 innovative bio-based products” [30] attribuisce alle resine bio-based una quota di mercato pari a 1% ma stima una rapida crescita di questa quota. Lo

stesso report raccoglie alcuni esempi di resine PF lignin-based commercializzate in Europa. UPM, importante operatore finlandese nel settore dei prodotti lignin-based, ha lanciato un prodotto nel 2018 basato sulla tecnologia WISA biobond e sulla sua lignina BIOPIVA. Allo stesso modo, un altro importante player finlandese, STORA ENSO, ha presentato "LINEO" che è una resina bio-based dedicata alla produzione di compensato o l'impregnazione della carta. A maggio 2019, l'ARPA Industriale italiana, a seguito di 8 anni di collaborazione con WUR, NEMHO, TRESPA (tutti dai Paesi Bassi) e altri enti di ricerca e società di tecnologia dei materiali, ha lanciato "BLOOM", una tecnologia di base innovativa per laminati a pressione per uso interno. L'impiego di BLOOM sembra in grado di ridurre del 50% la quantità di fenolo fossile presente nella resina.

È ampiamente riportato che questi prodotti possono sostituire molte resine di origine fossile [31, 32] in molte applicazioni (rivestimenti, materiali da stampaggio, adesivi per legno per la produzione di legno ingegnerizzato, ecc.).

Attualmente il TRL per la produzione di resine fenoliche bio-based è pari ad 8. Il loro prezzo nei prossimi anni potrebbe diventare competitivo con quello delle resine di origine fossile (quotate a circa 2.000 \$/ton). In Figura 3.5.3 sono riportati principali produttori di resine bio-based e la loro collocazione geografica.

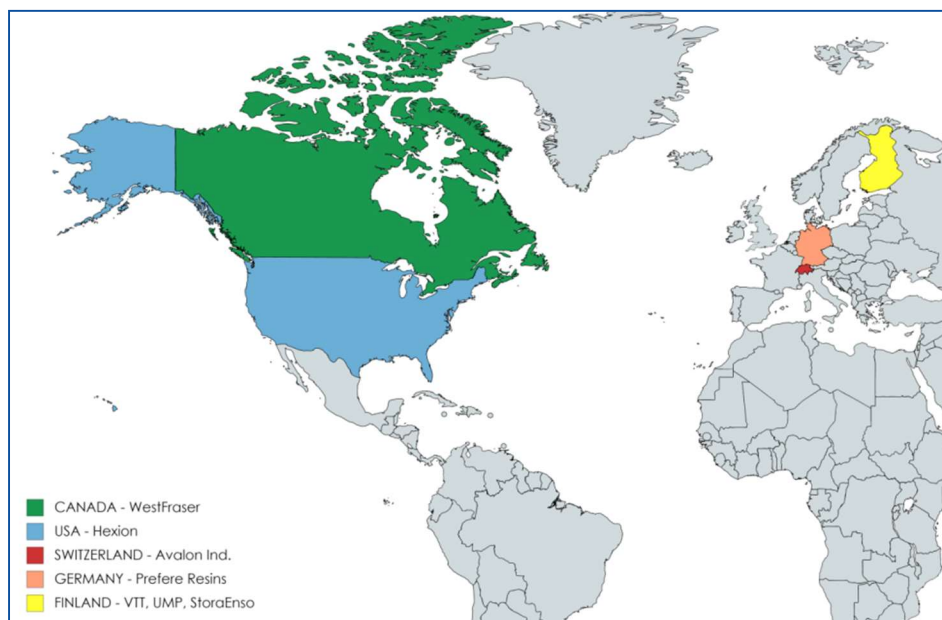


Figura 3.5.3 – Principali produttori di resine PF bio-based e loro collocazione geografica [20]

Il principale vincolo che incide sullo sviluppo del mercato di questi prodotti è la scarsa disponibilità di lignina economica e di qualità costante. Ulteriori vincoli sono i costi per adattare le apparecchiature e i processi sia per produrre le bioresine, che per usarle per i prodotti finali (pannelli, rivestimenti, ecc.). Questi vincoli possono essere almeno in parte superati se si rafforza la cooperazione fra gli stakeholders nell'ottica di abbattere i costi dell'impiego di queste resine [20].

Recentemente è stato pubblicato un report per la IEA (International Energy Association) in cui sono riportati i principali brevetti pubblicati/rinnovati fra il 2016 e il 2021, concernenti l'ottenimento e l'impiego di nuove resine PF lignin-based [20].

L'abbondanza e la qualità di questi brevetti, pubblicati soprattutto in Europa, Nord-America e Cina, mostra il crescente interesse tecnico-scientifico nei confronti di queste resine.

3.6 Generalità sulle tecniche industriali per la produzione di pannelli PB

La produzione di pannelli in legno normalmente avviene tramite un processo continuo nel quale le principali fasi sono:

- 1) preparazione dei trucioli di legno (macinazione e vaglio),
- 2) essiccamento dei trucioli,
- 3) preparazione del materasso (miscelazione di legno, resina e *hardener*),
- 4) termo-pressatura e formazione del pannello,
- 5) raffreddamento e rifinitura del pannello.

Ogni fase è fondamentale per l'ottenimento di pannelli PB di buona qualità ed è governata dai principali fattori di seguito riportati:

- a) tipologia di legno,
- b) granulometria dei trucioli da destinare ad ogni strato del pannello,
- c) umidità residua nei trucioli,
- d) scelta della resina,
- e) ricetta ottimale per ogni strato del mix legno-resina-hardener,
- f) modalità di produzione dei materassi da destinare ad ogni strato,

- g) parametri della termo-pressatura (tipo d'impianto, tempo, pressione e temperatura)
- h) tempi di raffreddamento/stabilizzazione e successive rifiniture (levigatura, taglio, finiture)

In figura 3.6.1 è riportato uno schema del processo industriale in continuo di produzione dei pannelli PB [11] nel quale sono rappresentate le fasi che portano all'ottenimento dei pannelli PB. In particolare, lo schema si riferisce alla produzione di pannelli PB tri-strato (vedi figura 3.6.2) e mostra le due linee che portano alla produzione di due tipologie di mix resina-legno da utilizzare per gli strati esterni (per i quali solitamente vengono utilizzati trucioli di piccole dimensioni e una maggiore quantità di resina) e per quello interno (che vede l'uso di trucioli più grandi con meno resina).

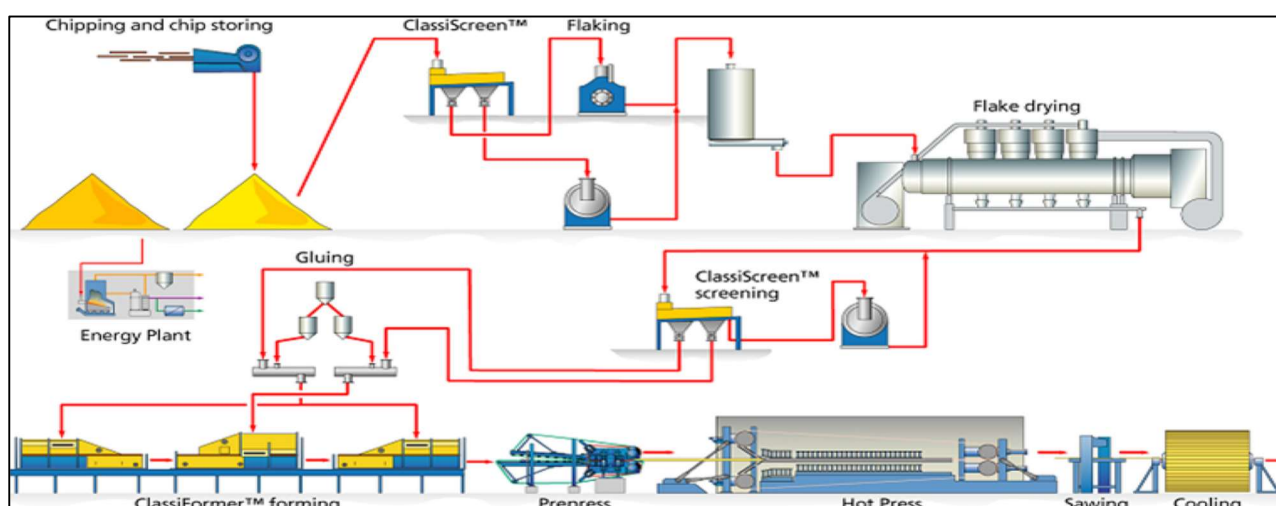


Figura 3.6.1 –Processo industriale in continuo di produzione dei pannelli PB tri-strato [11]



Figura 3.6.2 – Pannelli PB tri-strato

Preparazione ed essiccamento dei trucioli in legno

Come riportato nel precedente paragrafo 3.3 la materia prima legno negli ultimi anni è diventata più costosa e più difficile da reperire. Inoltre, per motivi di salvaguardia ambientale, è necessario evitare per quanto possibile il reperimento di legno vergine dalle foreste. In questo scenario l'uso del legno di scarto e del legno riciclato, soprattutto per la produzione di PB, ultimamente è diventato preponderante. Accanto a questa materia prima, come descritto nei paragrafi precedenti, si sta affermando anche l'innovativo uso di biomasse (come il cardo) coltivate su terreni marginali.

Individuata e reperita la materia prima legno, è necessario macinarla e vagliarla in modo da ottenere trucioli la cui distribuzione granulometrica ottimale per la produzione degli strati esterni e dello strato interno dei PB. È infatti noto [11] che al crescere del rapporto lunghezza/diametro delle particelle migliorano le proprietà meccaniche (flessione, compressione e trazione) lungo il piano, mentre peggiorano le proprietà di coesione interna (vedi figura 3.6.3).

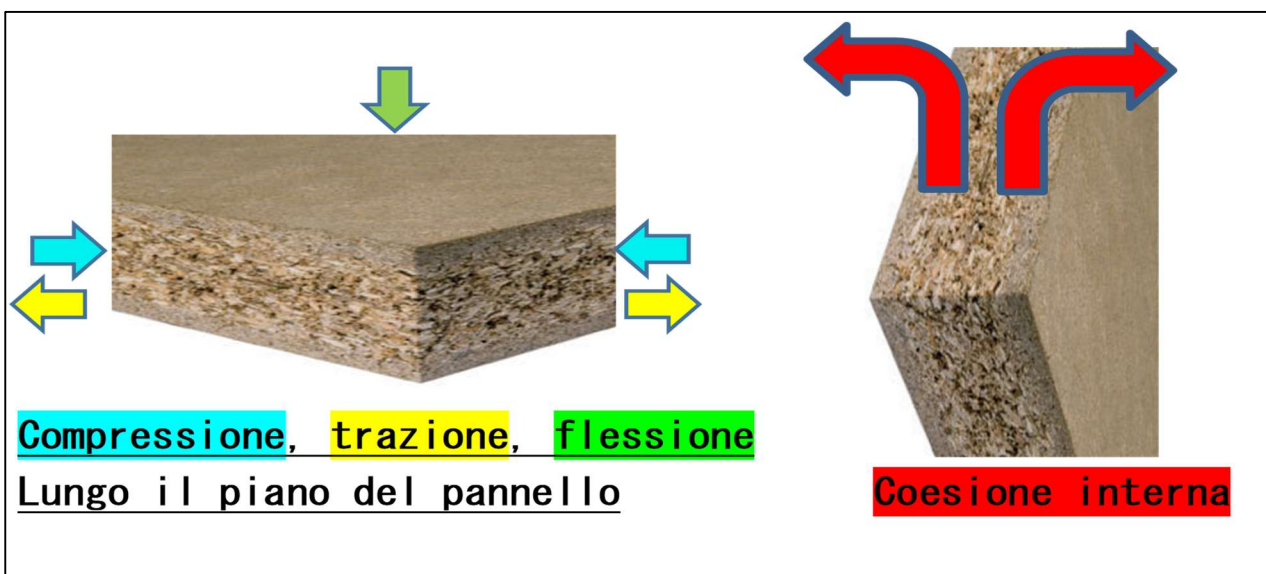


Figura 3.6.2 – Rappresentazione delle principali proprietà meccaniche saggiate nei pannelli PB.

È quindi necessario ottimizzare le dimensioni delle particelle (che dovrebbero essere il più possibile sferoidali) e la loro distribuzione granulometrica al fine di migliorarne le proprietà utili a garantire l'applicazione cui sarà dedicato il pannello. In particolare, gli strati esterni dei pannelli PB per uso interno normalmente contengono trucioli la cui distribuzione

granulometrica è più fine (e contengono una maggior quantità di resina) in quanto questi strati devono sostenere le maggiori sollecitazioni meccaniche, mentre lo strato interno può esser più leggero e costituito di trucioli più grossolani (tenuti insieme con meno resina).

L'essiccamento è un'operazione essenziale in quanto troppa umidità può influenzare la penetrazione della resina sulla superficie e all'interno dei trucioli e può anche generare troppo vapore durante la successiva fase in termo-prensa. Questo eccesso di vapore può peggiorare la qualità del pannello in quanto origina il fenomeno del blistering (formazione di bolle e rigonfiamenti) e può delaminare (generando scollamenti) il pannello. D'altra parte, il legno troppo secco può bruciarsi nella fase di riscaldamento. Per i pannelli PB i trucioli dovrebbero avere un contenuto di umidità compreso nel range da 3% a 6%. Dopo l'aggiunta della resina l'umidità normalmente sale fino al 6% - 14% e alla fine il pannello dovrebbe avere tenore di umidità paria 5% - 10% [7, 11].

Preparazione del materasso (miscelazione legno, resina e hardener)

Nella produzione di pannelli PB tri-strato i trucioli essiccati vengono vagliati e, in base alla distribuzione granulometrica, vengono destinati allo strato centrale (la frazione più grossolana) e ai due strati superficiali (la frazione più fine). Ogni flusso di prodotto viene convogliato a un miscelatore meccanico dedicato dove vengono miscelati con la quantità ottimizzata di resina, *hardener* e altri additivi per ottenere due tipologie di materasso, quello destinato agli strati superficiali (più sottili) e quello destinato allo strato centrale (più spesso). Di solito lo strato centrale contiene il 60% - 70% del legno del pannello [7].

La resina viene solitamente aggiunta ai trucioli essiccati in quantità variabili fra il 5% e il 15% in peso del legno. In particolare questa percentuale è identificata come "Fattore di incollaggio" e viene definita come percentuale in peso di resina secca sul peso del legno secco. Queste quantità vengono ottimizzate in base al tipo di legno, allo strato da produrre (superficiale o interno) e all'applicazione cui sarà dedicato il pannello. Eccedere il 15% non avrebbe senso sia per motivi economici che per motivi tecnici in quanto l'eccesso di resina porterebbe alla formazione di un materasso troppo umido che, come detto in precedenza, renderebbe problematica la fase di termo-prensatura [11].

Gli *hardener* o agenti indurenti vengono utilizzati per accelerare l'indurimento della resina, riducendo così il tempo di pressatura. Essi hanno anche la finzione di ridurre l'acidità del legno che, se eccessiva, rallenterebbe i tempi di indurimento.

Gli agenti indurenti più comuni utilizzati sono il nitrato di ammonio e il solfato di ammonio in una soluzione acquosa che viene aggiunta nella fase di miscelazione. Avendo funzione catalitica, la soluzione viene aggiunta in quantità minime, di solito il 5% - 10% rispetto al peso della resina liquida (ottenuta addizionando la resina secca con la quantità necessaria di acqua per attivarne le proprietà collanti) [7]. Nel caso delle resine tanniniche l'indurente è tipicamente l'Esamina (vedi par. 3.5).

Termo-pressatura, formazione, raffreddamento e rifinitura del pannello

I materassi, prodotti come sopra descritto, vengono pre-pressati a freddo, per eliminare l'aria e i gas eventualmente presenti generalmente, in presse a rullo. A valle di questa fase i materassi vengono sistemati uno sull'altro, per formare la configurazione tri-strato, e avviati alla termo-pressa le cui superfici sono riscaldate da olio diatermico. Il pannello grezzo si ottiene applicando in termo-pressa alta pressione e alta temperatura per un periodo di tempo sufficiente a comprimere il materasso tri-strato e accelerare la polimerizzazione della resina fino a raggiungere lo spessore e la densità desiderati.

I parametri pressione, temperatura e tempo andranno ottimizzati sulla base della tipologia di impianto, delle caratteristiche del materiale truciolare, della resina impiegata e delle caratteristiche del pannello desiderato (spessore, densità, resistenza all'acqua, impieghi possibili, etc.).

In genere il tempo di residenza in pressa è di 15 secondi per mm di spessore, il range di temperatura è 170°C – 220°C, e il range di pressione applicato è 3 – 5 N/mm [11].

Oltre che alle caratteristiche del prodotto finale è necessario gestire i parametri in modo che al cuore del pannello si superino i 100 °C, affinché l'acqua evapori.

Quasi tutte le presse sono di tipo continuo aventi lunghezze comprese fra 20 e 60 m (nelle quali il materasso scorre su rulli che muovono le superfici scaldanti) e hanno soppiantato quelle "multi-opening daylight" (nelle quali il materasso viene sistemato fra due piatti scaldanti che a fine processo si aprono).

Nelle presse di tipo continuo il materasso sperimenta subito i più alti valori di temperatura e pressione (quest'ultima viene applicata finché il pannello raggiunge lo spessore desiderato). Successivamente, mantenendo costante la temperatura, il pannello viene tenuto per un tempo più lungo a pressione più bassa. In questa fase il processo di polimerizzazione arriva

a completamento anche nella parte centrale del pannello. Infine, sempre a temperatura costante, la pressione viene diminuita gradualmente fino all'uscita dalla pressa [7].

Il pannello grezzo all'uscita dalla pressa ha una temperatura esterna superiore a 100°C. Esso subisce subito subito un primo taglio (per esempio con una sega trasversale) e viene inviato (tramite un nastro trasportatore) in una zona di raffreddamento dove si attende che la temperatura della superficie scenda al di sotto 50°C. In questa fase il processo di indurimento si interrompe e il pannello si stabilizza.

Sul pannello stabilizzato e finalmente manipolabile si possono compiere ulteriori tagli a misura, levigature delle superfici e rifiniture.

Per la levigatura esistono delle levigatrici a nastro che riescono a trattare fino a 1500 metri di pannelli al minuto.

Infine, a seconda dell'impianto di produzione e delle richieste, possono esser previste successive fasi di finitura e trattamento/ricopertura delle superfici esterne [7].

4. Produzione e caratterizzazione di pannelli tipo da biomassa di Cardo.

La collaborazione ENEA-SADEPAN ha avuto come scopo finale la produzione sperimentale di alcuni prototipi di pannelli prodotti in rispetto della norma UNI-EN-ISO numero EN 312-P2 (pannelli truciolari non portanti per uso in mobili in ambiente secco). La scelta di questa tipologia di pannelli tri-strato, e in particolare di quelli con spessore 22 mm, è dovuta al fatto che questi sono in assoluto i più diffusi sul mercato. Ogni manufatto sperimentale è stato ottenuto usando una biomassa residuale lignocellulosica ricavata dal CARDO (fornita da ENEA) e due tipologie di resine, una afferente alla categoria delle resine urea-formaldeide (prodotta e fornita da SADEPAN) e una resina commerciale tanninica (acquistata da SILVATEAM). In figura 4.0.1 sono riportati alcuni dei pannelli prodotti.



Figura 4.0.1 - Pannelli sperimentali prodotti nell'ambito della collaborazione ENEA-SADEPAN.

La sperimentazione ha saggiato la possibilità di introdurre nei processi produttivi dei pannelli truciolari anche la matrice CARDO riducendo l'impiego complessivo di componenti fossili. In totale sono state portate a termine 8 sessioni sperimentali che hanno comportato la produzione di circa 30 pannelli sperimentali e su ogni pannello sono state eseguite circa 30 misure fisico-meccaniche. In parallelo sono state condotte altre tre sessioni sperimentali nelle quali tesse a saggiare e migliorare la resistenza a flessione dei pannelli sperimentali.

4.1 Applicazione dei riferimenti normativi per testare le proprietà dei pannelli sperimentali

I requisiti minimi dei pannelli truciolari (*particle boards*) di classe P2 secondo la norma EN 312 sono riportati in tabella 4.1.1.

Tabella 4.1.1 – Requisiti minimi dei pannelli di classe P2 secondo la norma EN 312

Caratteristica	Metodo di prova	Unità di misura	Requisito						
			Intervallo di spessori (mm)						
			3-4	4-6	6-13	13-20	20-25	25-32	32-40
Coesione interna	EN 319	N/mm ²	0.45	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Resistenza al distacco	EN 311	N/mm ²	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Resistenza a flessione	EN 310	N/mm ²	13	14	13	13	11,5	10	8,5
Densità	EN 323	kg/m ³	670-710	670-710	680-710	680-710	680-710	680-710	680-710

In particolare, sono stati prodotti pannelli di spessore nominale 22 mm (i più diffusi sul mercato).

Come descritto nella tabella 4.1.1 la norma EN 312 fa riferimento, per la verifica dei parametri fisico-meccanici, a tre normative:

- EN 319 per la “Coesione interna” (meglio nota come trazione o *Internal Bond*) considerata sufficiente se supera i 0,3 N/mm².
- EN 311 per la “resistenza al distacco degli strati esterni” (meglio nota come stacco superficiale o *Strain Surface*) considerata sufficiente se supera i 0,8 N/mm²;
- EN 323 per la “densità” (*density*) sufficiente nel range 680-710 kg/m³

In aggiunta ai tre parametri fisico-meccanici precedentemente indicati sono stati verificati anche altri due parametri che fanno riferimento alle normative:

- EN 317 per il “rigonfiamento dello spessore per due ore di immersione in acqua a 20 °C” (meglio noto come rigonfiamento alle 2 ore o *Swelling 2H*) considerato sufficiente se risulta inferiore al 10% dello spessore nominale iniziale;
- EN 310 per la “resistenza a flessione” (*tensile strength perpendicular to the plane*) considerata sufficiente, su spessori di 10 mm, se superiore a 13 N/mm²; mentre su spessori di 22 mm, risulta sufficiente se è superiore a 11,5 N/mm².

Questi ulteriori due parametri sono stati introdotti per saggiare eventuali altre proprietà e possibilità di impiego dei pannelli sperimentali. In particolare il “rigonfiamento dello spessore” è relazionabile alla possibilità di impiego all’esterno in ambiente umido, mentre la “resistenza a flessione” è relazionabile all’impiego in scaffalature.

Per poter eseguire i test, per ogni sessione sperimentale, sono stati prodotti (tramite apparecchiature da laboratorio e adottando specifici protocolli sperimentali) pannelli di piccole dimensioni (30x30 cm) e di spessore 22 mm in numero sufficiente ad eseguire più volte tutti i test previsti (consentendo di trattare i dati con un approccio statistico).

Questi pannelli subito dopo esser stati prodotti sono stati posti su rastrelliere per un tempo di raffreddamento di almeno 24 h, poi sono stati levigati e suddivisi in provini 5x5 cm. Questi provini, su cui vengono esperiti i test di cui alle norme sopraelencate, sono stati ordinati e numerati in modo da poter attribuire i dati dei test a determinate zone del pannello.

Di seguito è riportata una breve descrizione delle grandezze misurate e delle modalità di misurazione così come riportato sulle norme.

Coesione interna (EN 319):

I provini 5 x 5 cm vengono incollati sulle due facce, con silicone, a supporti specifici sul lato superiore e inferiore. Quindi lasciati raffreddare per almeno due ore. Attraverso un dinamometro, che agisce sui supporti (superiore e inferiore) con una forza di trazione contrapposta e progressiva, si saggia il punto di rottura (vedi figura 4.1.1). La forza massima esercitata prima della rottura del provino è la misura della coesione interna. Normalmente i provini si rompono al centro, per tale motivo viene definita coesione interna, perché per come è composto, è l’interno ad essere l’elemento limitante.

Resistenza al distacco (EN 311):

I provini 5 x 5 cm vengono incollati lungo due bordi, usando silicone, a supporti specifici (coni metallici). Quindi lasciati raffreddare per almeno due ore. Attraverso un dinamometro, che agisce sui supporti con una forza contrapposta di trazione, si saggia il punto di rottura (vedi figura 4.1.2). La forza massima esercitata prima della rottura del provino è la misura della resistenza al distacco. Questa misura è correlabile alle caratteristiche e alla qualità degli strati esterni del pannello.



Figura 4.1.1 – Coesione interna: A) incollaggio provino ai supporti metallici, B) applicazione della forza necessaria per arrivare alla rottura, C) provino dopo la rottura dello strato interno

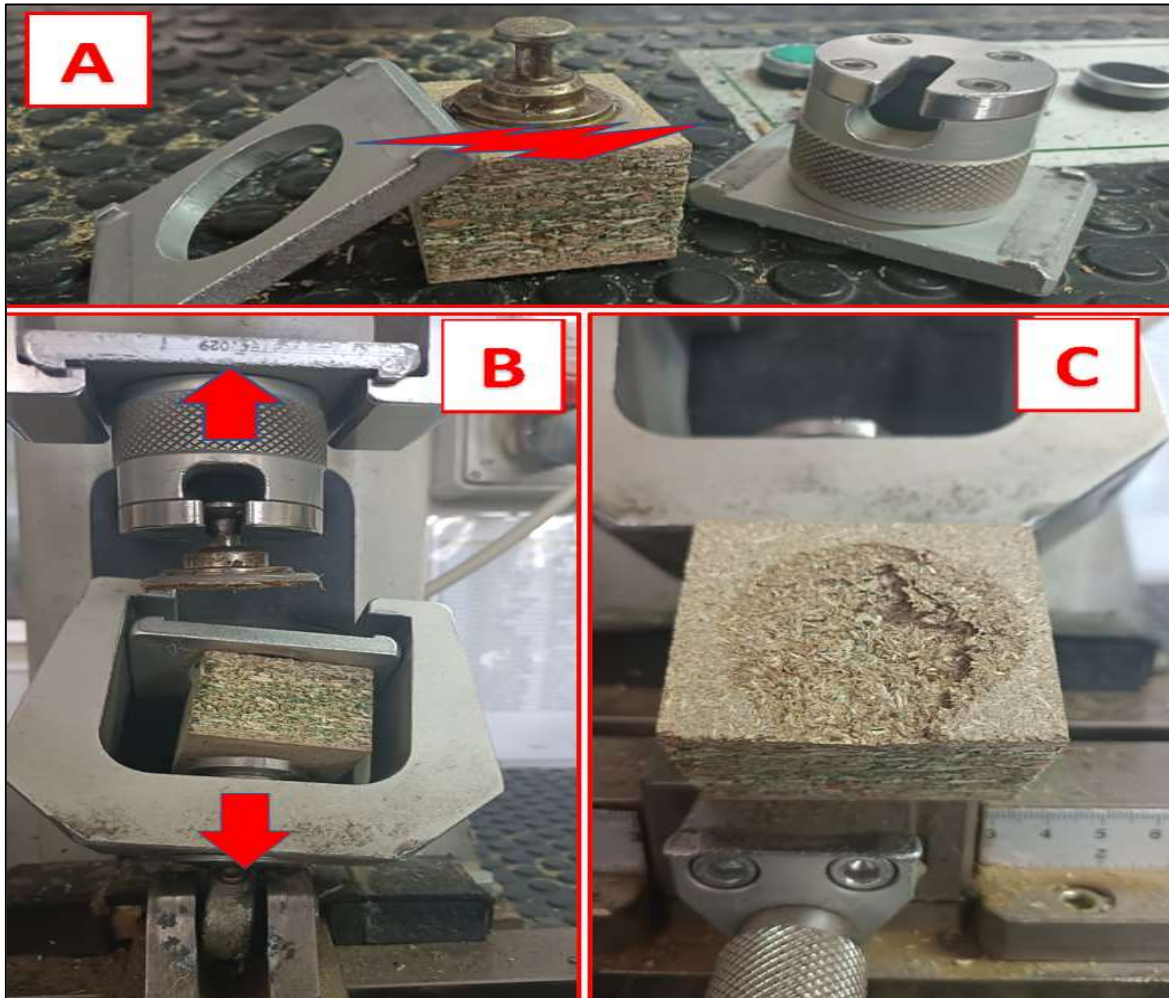


Figura 4.1.2 – Resistenza al distacco: A) incollaggio del provino al supporto circolare metallico, B) istante immediatamente successivo allo stacco del supporto dalla superficie esterna del provino, C) aspetto della superficie del provino a stacco avvenuto.

Densità (EN 323):

Misurata più volte a temperatura ambiente in ambiente controllato e riportata come dato medio.

Rigonfiamento EN 317

I provini 5 x 5 cm vengono misurati mediante spessimetro (spessore iniziale). Gli stessi provini vengono quindi immersi in acqua in quiete a 20 °C +/- 1 °C per due ore, trascorse le quali i provini vengono asciugati con un panno per misurare nuovamente lo spessore (spessore finale). La differenza tra spessore iniziale e finale, espressa in termini percentuali rispetto allo spessore iniziale, è la misura del rigonfiamento in acqua alle due ore.

Resistenza a flessione EN 310

I provini sottoposti a questo test a differenza dei precedenti hanno forma rettangolare (5x16x1 cm). Gli estremi di questi provini vengono poggiati su due supporti e al centro viene fatto scendere un coltello con lo scopo di imprimere la forza sufficiente per ottenere la rottura del provino (vedi figura 4.1.3). Anche in questo caso viene saggiato il punto di rottura.

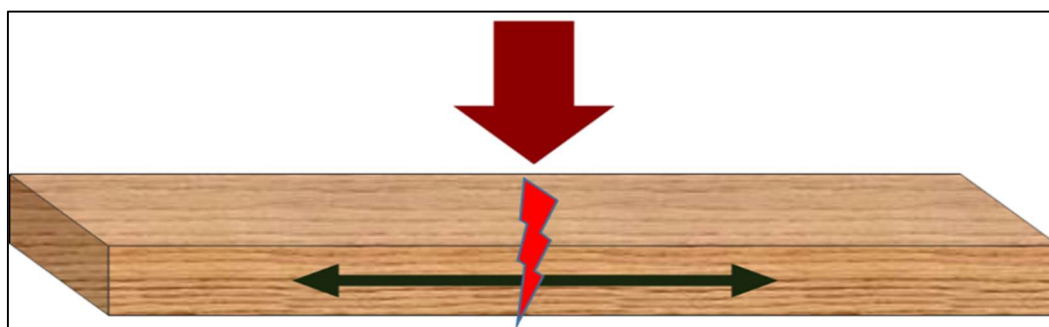


Figura 4.1.3 – Resistenza a flessione

4.2 Modalità di preparazione dei pannelli di laboratorio

A partire dai protocolli di produzione dei pannelli tradizionalmente usati da SADEPAN, nell'ambito della collaborazione ENEA-SADEPAN, sono state concordate delle variazioni tese ad introdurre l'uso della matrice lignocellulosica il CARDO e a ridurre la quantità di fonti fossili presenti nelle resine.

I pannelli 30x30x2,2 sono stati prodotti utilizzando i tipici protocolli industriali SADEPAN. Si tratta di pannelli tri-strato nei quali i due strati esterni sono identici in genere costituiti da trucioli la cui distribuzione granulometrica è fine, ed uno strato interno caratterizzato da trucioli a granulometria più grossolana. Tipicamente il 65 % in peso del materiale ligneo è impiegato per lo strato interno e il restante 35 % viene usato per i 2 strati esterni. Oltre che la granulometria gli strati esterni si differenziano da quello centrale anche per la quantità relativa di resina rispetto al legno (maggiore negli strati esterni).

Prima di formare la miscela legno-resina si preparano separatamente la quantità di legno necessaria e la relativa quantità di resina. Quest'ultima si prepara aggiungendo alla resina l'indurente (*hardener*).

Le resine utilizzate nella sperimentazione sono state due: Sadecol L 3107 (afferente alla categoria delle resine urea-formaldeide e prodotta da SADEPAN) e FINTAN 737B (afferente alla categoria delle resine tanniniche e prodotta da SILVATEAM). Ognuna di queste resine è stata testata seguendo i protocolli d'uso dei produttori ed in particolare addizionandole, prima della miscelazione col legno, con la quantità indicata in protocollo del proprio indurente (*hardener*) che per Sadecol L3107 è CTZ 30% (soluzione acquosa di ammonio solfato al 30%) e per FINTAN 737B è Esamina (soluzione acquosa al 30%).

Avendo approntato la matrice lignocellulosica e la resina addizionata con l'indurente si è proceduto al loro mescolamento per cinque minuti nel *blender* (miscelatore da banco, simile ad un miscelatore industriale, che prevede un'asse centrale rotante con rostri che rimescolano il materiale in un cilindro statico orizzontale chiuso da una calappa di svuotamento sottostante).

La miscela legno-resina ottenuta viene usata per ottenere i tre strati che insieme costituiscono il pannello.

Il tri-strato semilavorato (materasso) ottenuto viene pre-pessato per dargli stabilità e poi viene messo nella termo-prensa per essere riscaldato. La temperatura costante applicata è di 198-200°C per un tempo di 15 sec/mm (per lo spessore totale di 22 mm il tempo è di 330 sec) e con una pressione di circa 6 N/mm². La figura 4.2.1 mostra le fasi di ottenimento del pannello.

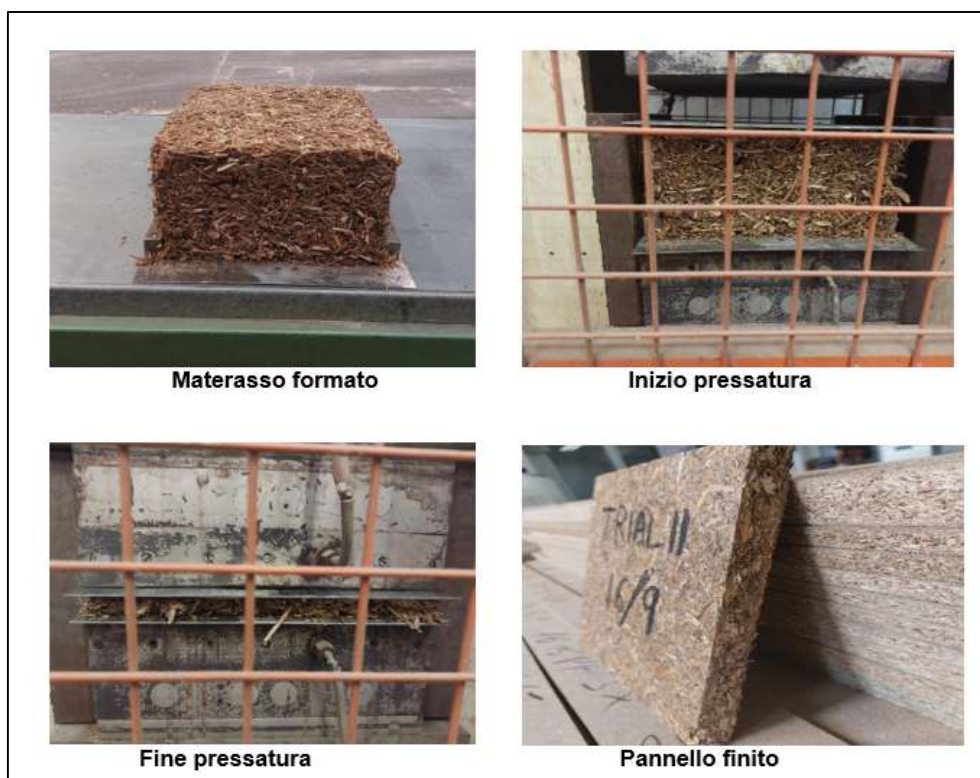


Figura 4.2.1 – Fasi di ottenimento del pannello

4.3 Fase esplorativa della produzione di pannelli sperimentali con CARDO

La matrice CARDO messa a disposizione da ENEA ha una distribuzione granulometrica differente da quelle provenienti da legno riciclato utilizzate da SADEPAN (gruppo SAVIOLA) per la produzione degli strati superficiali e dello strato interno dei pannelli tipo EN312-P2. Le figure 4.3.1 e 4.3.2 mostrano le differenze fra le varie distribuzioni granulometriche ed evidenziano la differenza di granulometria abitualmente usata da SADEPAN per produrre strati superficiali (SURFACE) e interni (CORE) e la differenza di entrambe queste granulometrie dalla distribuzione granulometrica più grossolana del CARDO fornito da ENEA.

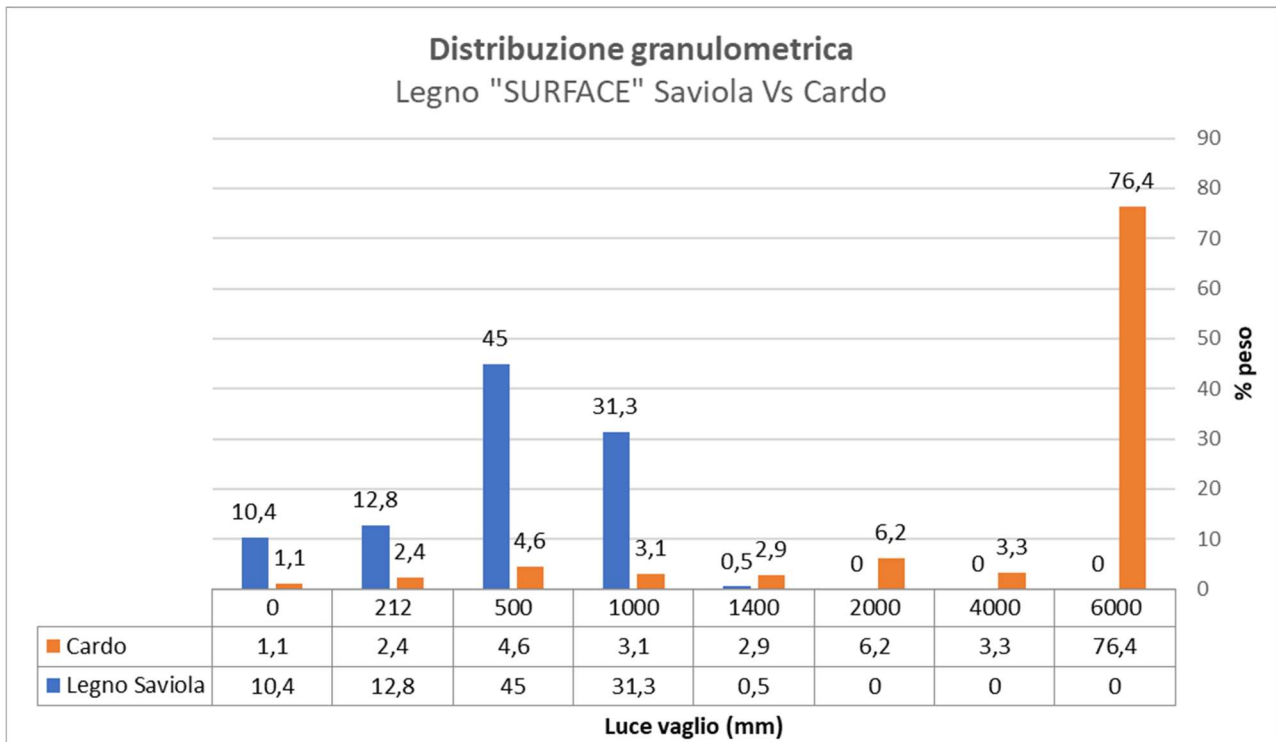


Figura 4.3.1 – Distribuzione granulometrica del legno riciclato usato da SADEPAN (azzurro) per gli strati superficiali a confronto con quella ottenuta dal Cardo fornito da ENEA (arancione)

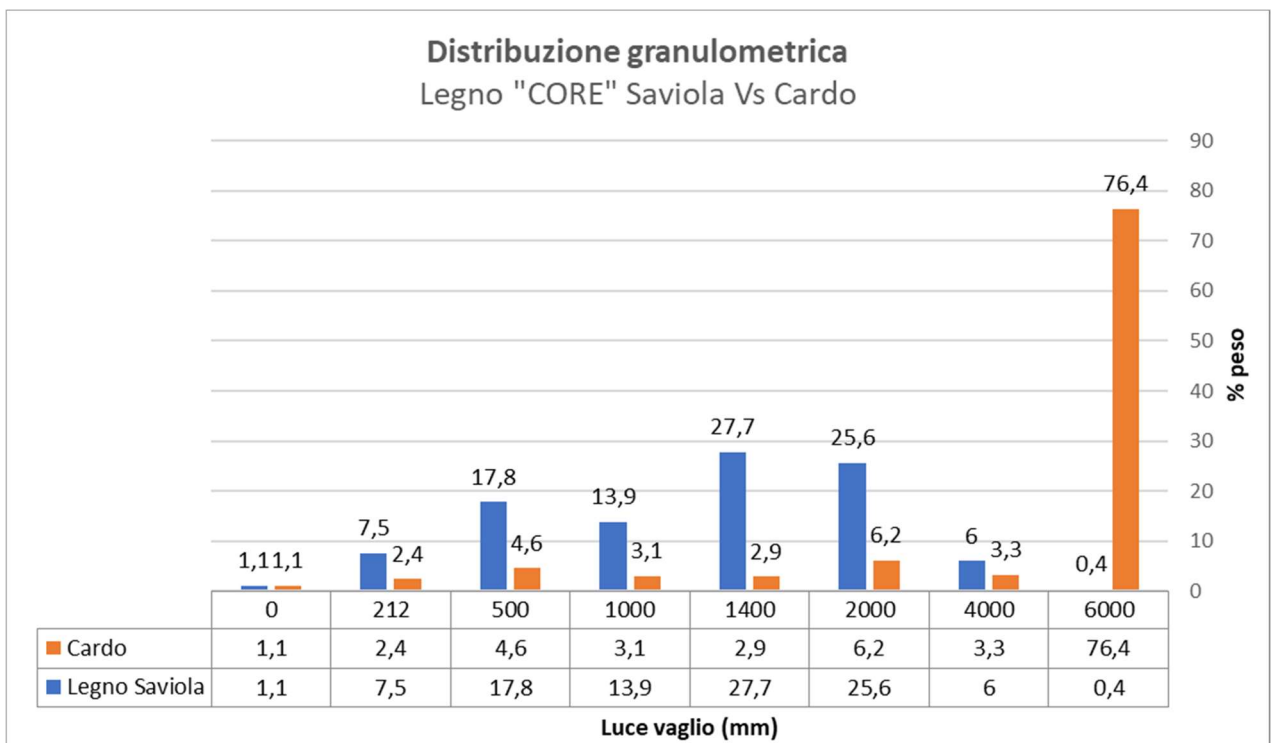


Figura 4.3.2 – Distribuzione granulometrica del legno riciclato usato da SADEPAN (azzurro) per lo strato interno a confronto con quella ottenuta dal Cardo fornito da ENEA (arancione)

Queste differenze granulometriche, come discusso nel paragrafo 3.6 in merito alla preparazione dei trucioli in legno, influenzano le caratteristiche del pannello.

Come riportato nello stesso paragrafo anche il tenore di umidità nel legno incide la qualità del prodotto finale. Nel caso del CARDO usato nella sperimentazione è stata riscontrata una umidità che sfiora il 14% (a fronte del valore ottimale 3-5%).

La figura 4.3.3 mostra l'aspetto dei primi pannelli sperimentali.



Figura 4.3.3 – Pannelli sperimentali ottenuti con CARDO tal quale.

La figura 4.3.4 riporta i dati ottenuti in due sessioni sperimentali identiche identificate con “TRIAL I TQ” e “TRIAL II TQ” nelle quali è stato usato il CARDO “*Tal Quale*” (così come reperito dal fornitore già macinato). Sotto la figura è riportata la legenda che consente di interpretare tutte le voci e le grandezze riportate in figura.

In particolare sono state utilizzate le condizioni tipiche di produzione dei pannelli adottate da SADEPAN. Queste condizioni sono riportate nella figura 4.3.4 dove sono indicate le quantità di matrice lignocellulosica, acqua, resina ed indurente usati per produrre gli strati esterni e quello interno. Sono inoltre riportati i dati medi relativi alle misure fisico-meccaniche condotte sui provini dei pannelli sperimentali e per confronto sono riportati anche i valori minimi attesi secondo norma.

Spessore: 22 mm			Umidità rel.% CARDO TQ: 13,89%		
Volume di stampo: 1,89 Lt		TRIAL I TQ		TRIAL II TQ	
MATERIE PRIME	Esterno	Interno	Esterno	Interno	TARGET (EN 312 - P2)
	g	g		g	
Cardo	430	815	430	815	
Acqua	37				
Chemicals	g	g	g	g	
Sadecol L 3107	80 (Fx 12,5)	103 (Fx 8,5)	80 (Fx 12,5)	103 (Fx 8,5)	
Ammonio solfato sol. 30 %	3,5	10	3,5	12	
Fattore di pressa	15 sec/mm		15 sec/mm		
Coesione interna	0,06 N/mm2	0,30 N/mm2	0,09 N/mm2	0,30 N/mm2	
Resistenza al distacco	0,51 N/mm2	0,8 N/mm2	0,41 N/mm2	0,8 N/mm2	
Rigonfiamento 2H 20 °C	26,96%	10,00%	26,81%	10,00%	
Densità	594 kg/m3	680 ÷ 710 kg/m3	685 kg/m3	680 ÷ 710 kg/m3	
Note:					
Pannello compatto all'uscita della pressa, ma poco sollecitabile meccanicamente ai bordi			Pannello compatto all'uscita della pressa, ma poco sollecitabile meccanicamente ai bordi		

Figura 4.3.4 – Dati di due sessioni sperimentali identiche ottenute con CARDO “Tal Quale”.

Legenda

- **Superficie:** colonna relativa ai componenti degli strati esterni (SURFACE).
- **Interno:** colonna relativa ai componenti dello strato interno (CORE).
- **Cardo:** matrice lignocellulosica da testare fornita da ENEA.
- **Acqua:** acqua eventualmente aggiunta.
- **Sadecol L 3107:** resina amminoplastica da polimero urea formaldeide utilizzata per la produzione di pannelli classe P2 EN 312
- **Ammonio solfato sol. 30 %:** soluzione di ammonio solfato al 30 % in H₂O (CTZ 30%)
- **Fx:** fattore di incollaggio (quantità di colla secca su biomassa lignocellulosica secca).

I dati medi relativi di questi pannelli sperimentali, se confrontati con i valori target, evidenziano una scarsa consistenza meccanica soprattutto sui bordi e in generale una grande distanza dai valori minimi richiesti. Queste evidenze hanno avvalorato i dubbi sull'uso della matrice CARDO tal quale.

I dati medi riportati in figura 4.3.4 si riferiscono ad un gran numero di provini e di misure. In ALLEGATO 1 sono riportate le tabelle recanti tutte le misure condotte su ogni singolo provino.

4.4 Pannelli sperimentali con CARDO: effetto dell'essiccamento dei trucioli

Sulla scorta dell'esperienza maturata nei TRIAL I TQ e TRIAL II TQ è stato introdotto uno stadio di essiccamento (operato in stufa ventilata a 70 °C) dei trucioli di CARDO che ha ridotto l'umidità della matrice da circa 14% a circa 6%.

Senza cambiare altro rispetto alle sperimentazioni già descritte, il CARDO essiccato è stato usato per condurre a termine le sessioni sperimentali "TRIAL III TQ" e "TRIAL IV TQ" i cui dati (e la foto del pannello ottenuto dal TRIAL III TQ) sono schematizzati in figura 4.4.1. L'unica differenza fra queste due sperimentazioni consiste nel fatto che nel caso del TRIAL IV TQ per gli strati esterni è stato usato cardo "Tal Quale" non essiccato ed è stato allungato di 3 minuti il tempo in pressa (da 15 a 23 sec/mm). Quest'ultima scelta è basata sul tentativo di sfruttare l'acqua già presente in matrice (e aggiungerne di meno alla resina secca, che percentualmente è più presente negli strati esterni), diminuendo la quantità di energia necessaria per l'essiccazione.

TRIAL III e IV		Si porta ad essiccazione il cardo fino ad una U% rel. Di: 5,7%.	
Volume di stampo: 1,89 Lt		TRIAL III TQ	
MATERIE PRIME	Esterno	Interno	
	g	g	
Cardo	430	815	
Acqua			
Chemicals	g	g	
Sadecol L 3107	80 (Fx 12,5)	103 (Fx 8,5)	
Ammonio solfato sol. 30 %	3,5	10	
Fattore di pressa	15 sec/mm		TARGET (EN 312 - P2)
Coesione interna	0,13 N/mm2		0,30 N/mm2
Resistenza al distacco	0,58 N/mm2		0,8 N/mm2
Rigonfiamento 2H 20 °C	32,94%		10,00%
Densità	645 kg/m3		680 ÷ 710 kg/m3
Note:	Pannello compatto all'uscita della pressa, ma poco sollecitabile meccanicamente ai bordi		
Volume di stampo: 1,89 Lt		TRIAL IV TQ	
MATERIE PRIME	Esterno	Interno	
	g	g	
Cardo	430 al 13,7% di U _{rel}	815 essiccato al 5,7%	
Acqua			
Chemicals	g	g	
Sadecol L 3107	80 (Fx 12,5)	103 (Fx 8,5)	
Ammonio solfato sol. 30 %	3,5	10	
Fattore di pressa	23 sec/mm		TARGET (EN 312 - P2)
Coesione interna	0,13 N/mm2		0,30 N/mm2
Resistenza al distacco	0,34 N/mm2		0,8 N/mm2
Rigonfiamento 2H 20 °C	26,38%		10,00%
Densità	641 kg/m3		680 ÷ 710 kg/m3
Note:	Pannello in pressa fino ad esaurimento del vapore, poi presente in fase di uscita. Risulta compatto, ma poco sollecitabile meccanicamente		

Figura 4.4.1 – Dati di due sessioni sperimentali identiche ottenute con CARDO tal quale essiccato.

Osservando i dati medi e in particolare le grandezze "Coesione Interna", "Resistenza al distacco" e "Densità", fondamentali per i pannelli EN 312 P2 (per uso interno in ambiente secco), si evince che l'essiccazione, soprattutto per il TRIAL III TQ, ha avvicinato i valori misurati a quelli target.

I dati medi riportati in figura 4.4.1 si riferiscono ad un gran numero di provini e di misure. In ALLEGATO 1 sono riportate le tabelle recanti tutte le misure condotte su ogni singolo provino.

4.5 Pannelli sperimentali con CARDO: effetto combinato essiccamento – incremento densità

Avendo dimostrato che l'essiccamento migliora le caratteristiche dei pannelli l'indagine successiva è stata condotta con CARDO tal quale essiccato ed incrementando la densità semplicemente aumentando la quantità di matrice lignocellulosica (da 430 a 465 g negli strati esterni e da 815 a 880 g nello strato interno) e resina (da 12.5 a 15.0% per gli strati esterni da 8,5 a 12.5% per lo strato interno).

Nella figura 4.2.1, che si riferisce al TRIAL V, sono riportati una fotografia del pannello e i dati medi relativi a questo approccio.

TRIAL V Si porta ad essiccazione il cardo fino ad una U% rel. Di: 3 - 7%.		
Volume di stampo: 1,89 Lt	TRIAL V Essiccato	
MATERIE PRIME	Esterno	Interno
	<i>g</i>	<i>g</i>
Cardo	465	880
Acqua		
Chemicals	<i>g</i>	<i>g</i>
Sadecol L 3107	105 (Fx 15)	133 (Fx 10)
Ammonio solfato sol. 30%	4,2	13
Fattore di pressa	15 sec/mm	
	TARGET (EN 312 - P2)	
Coessione interna	0,09 N/mm ²	
Resistenza al distacco	0,49 N/mm ²	
Rigonfiamento 2H 20 °C	26,21%	
Densità	726 kg/m ³	
	680 ÷ 710 kg/m ³	



Figura 4.5.1 – Dati della sessione con CARDO tal quale essiccato in pannelli più densi.

L'incremento delle quantità di biomassa lignocellulosica e resina ha effettivamente incrementato la densità dei pannelli portandola a raggiungere il valore target. In realtà a parte questo miglioramento, nonostante il contenuto in resina sia stato portato al limite, non sono stati riscontrati altri miglioramenti.

I dati medi riportati in figura 4.5.1. In ALLEGATO 1 sono riportate le tabelle recanti tutte le misure condotte su ogni singolo provino.

4.6 Pannelli sperimentali con CARDO: effetto della distribuzione granulometrica

Le sperimentazioni riportate nei precedenti paragrafi hanno evidenziato la possibilità di migliorare le caratteristiche dei pannelli essiccando i trucioli ed aumentando la densità dei pannelli.

Nel tentativo di raggiungere i valori target della *coesione interna* e della *resistenza al distacco* è stata ottimizzata la granulometria dei trucioli di CARDO. In particolare la frazione lignocellulosica è stata ulteriormente macinata e vagliata in modo da ottenere le distribuzioni granulometriche ottimizzate tipicamente utilizzate da SADEPAN riportate in figura 4.3.1 e 4.3.2 e raccolte nella tabella 4.6.1.

Tabella 4.6.1 - Distribuzioni granulometriche tipicamente utilizzate da SADEPAN per gli strati esterni (SURFACE) e per lo strato interno (CORE)

Luce di vaglio (mm)	SURFACE	CORE
0 - 0,2	10,40%	1,10%
0,2 - 0,5	12,80%	7,50%
0,5 - 1,0	45,00%	17,80%
1,0 - 1,4	31,30%	13,90%
1,4 - 2,0	0,50%	27,70%
2,0 - 4,0	-	25,60%
4,0 - 6,0	-	6,00%
> 6,0	-	0,40%

Queste distribuzioni ottenute da CARDO essiccato sono state usate per ottenere i pannelli sperimentali a densità maggiorata del TRIAL VI. Una fotografia del pannello e i dati medi sono raccolti nella figura 4.6.1.

Volume di stampo: 1,89 Lt	TRIAL VI Essiccato e Vagliato		
MATERIE PRIME	Esterno	Interno	
	<i>g</i>	<i>g</i>	
Cardo	465	880	
Acqua			
Chemical	<i>g</i>	<i>g</i>	
Sadecol L 3107	105 (Fx 15)	133 (Fx 10)	
Ammonio solfato sol. 30 %	4,2	13	
Fattore di pressa	15 sec/mm	TARGET (EN 312 - P2)	
Coesione interna	0,2 N/mm²	0,35 N/mm ²	
Resistenza al distacco	1,03 N/mm ²	0,8 N/mm ²	
Rigonfiamento 2H 20 °C	27,52%	10,00%	
Densità	718 kg/m ³	680 ÷ 710 kg/m ³	

Figura 4.6.1 – Dati della sessione con CARDO essiccato e vagliato a densità maggiorata.

Le caratteristiche dei pannelli di questa sessione sono risultate molto migliori di quelle precedentemente illustrate. I dati medi di figura 4.6.1 descrivono un pannello tipo EN 312 P2 commerciabile fatto salvo il dato di coesione interna che risulta ancora inferiore al valore target.

In ALLEGATO 1 sono riportate le tabelle recanti tutte le misure condotte su ogni singolo provino da cui sono stati estrapolati quelli medi di figura 4.6.1.

4.7 Pannelli sperimentali con CARDO: effetto della resina tanninica

Come riportato nel paragrafo 2.5 le resine tanniniche rappresentano un'alternativa alle resine normalmente usate per la produzione di pannelli che può ridurre l'uso delle fonti fossili in questi processi produttivi. La reazione che provoca l'incollaggio ha un meccanismo simile a quello delle resine fenolo-formaldeide (PF) e prevede l'uso di Esamina come indurente. Come nel caso delle resine PF, rispetto a quelle UF, possono conferire al manufatto maggior resistenza all'umidità e migliori prestazioni fisico-meccaniche. Inoltre la loro reazione di incollaggio e l'uso di Esamina come indurente, rispetto alle resine UF, contribuiscono a limitare le emissioni di molecole nocive come la formaldeide (soprattutto in fase di produzione).

Per contro queste resine possono essere ottenute solo da alcune specie vegetali, hanno un elevato costo e, pur essendo già reperibili sul mercato, sono usate in un limitato numero di applicazioni.

Sulla scorta di queste motivazioni è stata pianificata una sessione sperimentale che prevedesse l'uso di una resina tanninica reperibile sul mercato. Nella fattispecie, facendo tesoro delle esperienze accumulate nelle prime 6 sessioni sperimentali, è stata sperimentata sul CARDO la resina FINTAN 737B prodotta da SILVATEAM.

Si tratta di una resina estratta dall'albero del *Quebracho* che trova impiego nella fabbricazione di pannelli in legno e per la quale la casa produttrice ha prodotto e diffuso un protocollo d'uso che è stato opportunamente applicato.

La sessione sperimentale denominata "TRIAL IIIH FINTAN" applica questo protocollo per ottenere un pannello ad alta densità su CARDO essiccato e vagliato.

In figura 4.7.1 sono riportate una fotografia del pannello e le condizioni di ottenimento e i dati medi dei test eseguiti.

Volume di stampo: 1,89 Lt		TRIAL IIIH FINTAN essiccato e vagliato		Cardo
MATERIE PRIME		Esterno	Interno	
		g		g
Cardo		465	880	
Acqua				
Chemicals		g		g
FINTAN 737B sol. 40%		163 (Fx 14)	253 (Fx 11,5)	
Esamina sol. 30 %		10,9 (Fx/colla = 5)	16,9 (Fx; Ex/T = 5)	
Fattore di pressa		15 sec/mm		TARGET (EN 312 - P2)
Coesione interna		0,07		0,30 N/mm ²
Resistenza al distacco		0,52		0,8 N/mm ²
Rigonfiamento 2H 20 °C		33,17%		10,00%
Densità		735		680 ÷ 710 kg/m ³



Figura 4.7.1 – Dati sessione con CARDO essiccato, vagliato, denso e con resina tanninica.

Nonostante il manufatto appaia di buona consistenza meccanica la coesione interna misurata è modesta e la resistenza al distacco non è sufficiente. Inoltre le attese proprietà di resistenza all'umidità, presumibili sulla base del fatto che la resina è assimilabile a quelle PF, non sono state riscontrate (il rigonfiamento supera di molto il 10%). In ALLEGATO 1 sono riportate le tabelle recanti tutte le misure condotte su ogni singolo provino.

4.8 Pannelli sperimentali con CARDO: effetto della resina tanninica miscelata con resina UF

I buoni risultati raggiunti nel TRIAL VI e la necessità di migliorare ulteriormente le caratteristiche dei pannelli guadagnando le qualità aggiuntive (resistenza all'umidità e

miglioramento delle qualità meccaniche) e la riduzione dei contributi da fonte fossile associabili alla resina FINTAN 737B, hanno consigliato l'approntamento di una sessione sperimentale (denominata TRIAL IIIH FINTAN & SADECOL L 3107) in cui fosse saggiato un mix delle due resine sperimentate nelle 7 sessioni sperimentali già descritte.

Il mix (con i relativi hardener) sperimentato prevede l'uso di analoghe quantità delle due resine.

In figura 4.8.1 sono riportate le condizioni di ottenimento e i dati medi delle misure effettuate sui pannelli sperimentali.


Volume di stampo: 1,89 Lt		TRIAL IIIH FINTAN & Sadecol 3107 Cardo essiccato e vagliato		
MATERIE PRIME		Esterno	Interno	
		<i>g</i>	<i>g</i>	
Cardo		465	880	
Acqua				
Chemicals		<i>g</i>	<i>g</i>	
FINTAN 737B sol 40%		105 (Fx 9)	165 (Fx 7,5%)	
Sadecol L 3107		80 (Fx 11,25%)	67 (Fx 5%)	
Ammonio solfato sol. 30 %		3,2 (4%)	6,7 (10%)	
Esamina sol. 30 %		7 (Fx/colla = 5)	11 (Fx; Ex/T = 5)	
Fattore di pressa		15 sec/mm		TARGET (EN 312 - P2)
Coesione interna		0,09		0,30 N/mm ²
Resistenza al distacco		0,77		0,8 N/mm ²
Rigonfiamento 2H 20 °C		26,01%		10,00%
Densità		753		680 ÷ 710 kg/m ³

Figura 4.8.1 – Dati sessione con CARDO essiccato, vagliato, denso e con mix di resine.

L'uso del mix di resine (esattamente per gli strati esterni il 9% di FINTAN 737B e il 11.25% di SADECOL L 3107, mentre per lo strato interno il 7,5% di FINTAN 737B e il 5% di SADECOL L 3107) ha prodotto un pannello di aspetto confrontabile a quelli industriali ma ancora migliorabile riguardo alla coesione interna. La resistenza al distacco misurata risulta molto vicina al limite di accettabilità e anche il rigonfiamento sembra migliorato (anche se al di sotto del limite di accettabilità).

In ALLEGATO 1 sono riportate le tabelle recanti tutte le misure condotte su ogni singolo provino.

5. Misure di resistenza a flessione

Come riportato nel paragrafo 6, una delle grandezze su cui sono state condotte sperimentazioni tese a saggiarla e migliorarla, è stata la resistenza a flessione definita nella norma EN310.

Per studiare questa proprietà sono state condotte tre sessioni sperimentali (condotte rispettivamente con la resina FINTAN 737B, con la resina SADECOL L 3107 e con miscele delle due resine) e in più è stata misurata anche su 5 tipologie di pannelli scelte fra le più rappresentative della serie di sperimentazioni descritte nel paragrafo 4. La produzione dei pannelli in queste ultime tre sessioni, essendo asservita all'indagine sull'andamento di una grandezza in relazione alle modalità di impiego delle resine, è stata semplificata. I pannelli prodotti sono monostrato, di dimensioni 20x20x1 cm, e prodotti con una termo-prensa a piastre da laboratorio. Dai pannelli sono stati ottenuti dei provini 5x16x1 cm idonei alla misura che sono stati sottoposti a test di resistenza a flessione (vedi figura 5.1). Ogni test è stato ripetuto almeno tre volte.



Figura 5.1 – Prove di resistenza a flessione (apparecchiatura di test e provini)

5.1 Resistenza a flessione: prove condotte con matrice CARDO e resina tanninica

Sono stati prodotti 6 tipologie di pannelli usando biomassa CARDO vagliato nel range 2-6 mm, 150 secondi di permanenza in pressa e resina FINTAN 737B miscelata alla biomassa come suggerito dalla casa produttrice della resina. Le 6 tipologie (identificate coi codici da P1 a P6) differivano fra loro per temperatura delle piastre della pressa (sono state usate 3 diverse temperature) e densità (ottenute due diverse densità). Un'immagine dei pannelli è riportata in figura 5.1.1, le condizioni di ottenimento sono schematizzate in tabella 5.1.1.



Figura 5.1.1 – Pannelli CARDO-FINTAN 737B (testati su resistenza a flessione)

Tabella 5.1.1 – Condizioni di ottenimento dei pannelli con matrice CARDO e resina tanninica FINTAN 737B prodotti per i test resistenza a flessione

Identificativa tipologia di pannello	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Granulometria CARDO (range - mm)	2-6	2-6	2-6	2-6	2-6	2-6
Quantità CARDO (g)	226	226	226	286	286	286
Dosaggio FINTAN 737B (%)	13	13	13	13	13	13
Temperatura delle piastre pressa (°C)	180	200	220	180	200	220
Tempo di permanenza in pressa (sec)	150	150	150	150	150	150
Densità finale misurata (kg/m ³)	500	500	500	700	700	700

In totale sono stati ricavati e portati a misura 3 provini per ogni tipologia di pannello per un totale di 18 provini. I dati ricavati dalle misure su questi provini sono riportati in tabella 5.1.2

Tabella 5.1.2 – Dati di resistenza a flessione (pannelli CARDO-FINTAN 737B)

Pannello di provenienza del provino	Densità pannello [Kg/m ³]	Temperatura delle piastre della pressa [°C]	Dati relativi al provino (identificativo e dimensioni)			Resistenza a flessione [N/mm ²]	Target EN 310 spessore 6-13 mm [N/mm ²]	
			Identificativo Provino	Lunghezza [mm]	Altezza [mm]			Profondità [mm]
P1	500	180	P11	160	9,0	49,0	0,8	13
			P12	160	8,6	51,0	0,9	13
			P13	160	8,6	50,6	0,7	13
P2		200	P21	160	8,6	50,6	0,7	13
			P22	160	9,2	50,4	0,6	13
			P23	160	8,9	51,4	0,9	13
P3		220	P31	160	8,3	50,7	0,6	13
			P32	160	9,3	51,0	0,7	13
			P33	160	8,8	49,7	0,7	13
P4	700	180	P41	160	9,1	48,7	4,7	13
			P42	160	9,4	52,6	4,0	13
			P43	160	8,3	50,4	3,4	13
P5		200	P51	160	9,2	51,5	3,0	13
			P52	160	9,4	51,2	3,8	13
			P53	160	9,2	49,2	3,6	13
P6		220	P61	160	9,2	51,4	2,8	13
			P62	160	9,2	52,0	2,7	13
			P63	160	9,2	52,2	3,3	13

I dati mostrano una migliore risposta dei pannelli a densità più alta e, fra questi, quelli ottenuti a 180°C. In ogni caso si tratta di valori distanti da quelli target secondo norma EN 310. Inoltre questi dati mostrano anche una certa variabilità dovuta alle condizioni di produzione sperimentale in laboratorio che, rispetto ai processi industriali, possono influenzare i dati finali.

5.2 Resistenza a flessione: prove condotte con matrice CARDO e resina urea-formaldeide

Facendo tesoro delle esperienze illustrate nel paragrafo 5.1 è stata condotta a termine una sessione sperimentale per produrre un pannello ad alta densità usando biomassa CARDO vagliato nel range 2-6 mm, 150 secondi di permanenza in pressa a 180°C e resina SADECOL L 3107 miscelata alla biomassa come suggerito dalla casa produttrice della resina. Dal pannello sono stati ricavati e sottoposti a test di resistenza a flessione 3 provini. Le condizioni di ottenimento del pannello e i risultati dei test sono schematizzati in tabella 5.2.1.

Tabella 5.2.1 – Condizioni di ottenimento del pannello con resina SADECOL L 3107 e dati di resistenza a flessione misurati su tre provini prelevati dal pannello

Identificativo campione	Densità (Kg/m ³)	Quantità di resina SADECOL L 3107 (in percentuale rispetto al materiale legnoso secco)	Tipo e percentuale (rispetto alla resina liquida) di indurente usato	Spessore pannello (mm)	Temperatura (°C) e tempo (sec) in Pressa	Resistenza flessione (N/mm ²)
FP3_1	709	10%	NH ₄ NO ₃ (13%)	10	180 °C /150 (sec)	1,64
FP3_2						1,00
FP3_3						1,27

I valori di resistenza a flessione risultano ancora lontani da quelli target e anche in questo caso i dati mostrano anche una certa variabilità.

5.3 Resistenza a flessione: prove condotte con matrice CARDO e mix di resine

Un ulteriore approfondimento c'è stato testando il mix delle 2 resine in due proporzioni differenti.

La tabella 5.3.1 riporta le condizioni di ottenimento e i dati medi dei risultati finali.

Tabella 5.3.1 – Condizioni di ottenimento di pannelli sperimentali incollati con un mix delle resine FINTAN 737B e SADECOL L 3107. In ultima colonna i dati medi di resistenza a flessione.

Identificativo campione	Densità (Kg/m ³)	Quantità di resina (in percentuale rispetto al materiale legnoso secco)		Tipo e percentuale (rispetto alla resina liquida) di indurente usato	Spessore (mm)	Temperatura Pressa (°C)	Dati medi di resistenza a flessione (N/mm ²)
		Fintan 737B	Sadecol L 3107				
FB1	688	5% (Esamina)	5% NH ₄ NO ₃	13%	10	180°C/150(sec)	3,15
FB2	737	5% (Esamina)	7,5% NH ₄ NO ₃	13%	10	180°C/150(sec)	1,85

I dati medi mostrano migliori performance per il mix costituito da pari quantità in grammi delle 2 resine per un totale del 10% rispetto alla biomassa lignocellulosica secca.

Un approfondimento sull'influenza dello spessore e sulla omogeneità nella distribuzione del materasso resina/legno, e quindi delle proprietà del pannello, è stato condotto producendo un pannello da 20 mm con tavola vibrante (per rendere maggiormente omogeneo il materasso) usando i parametri di produzione del migliore pannello della tabella 5.3.1.

In tabella 5.3.2 sono riportati i dati di densità e di resistenza a flessione relativi a 5 provini presi da quest'ultimo pannello identificato come FB3. La variabilità dei dati sembra esser migliorata mentre l'incremento di spessore sembra aver avuto effetti negativi sulla resistenza a flessione.

Tabella 5.3.1 – Dati di resistenza a flessione e densità del pannello FB3 (materasso omogeneizzato su tavola vibrante, spessore 20 mm, resine: 5% SADECOL L 3107 e 5% FINTAN 737B)

Provini prelevati dal pannello FB3	Densità (Kg/m ³)	Resistenza a flessione (N/mm ²)
FB3_1	813	2,87
FB3_2	719	1,68
FB3_3	683	1,12
FB3_4	769	1,48
FB3_5	835	1,72

5.4 Resistenza a flessione: prove su pannelli a più alta coesione interna e resistenza al distacco

L'ultimo set di verifiche della resistenza a flessione è stato portato a termine sui pannelli più rappresentativi prodotti nelle prime sessioni sperimentali. In figura 5.4.1 a sinistra sono riportati i pannelli scelti da ognuno dei quali sono stati ricavati 4 provini da sottoporre al test

di resistenza a flessione. Nella stessa figura a destra sono riassunte per ogni pannello alcune informazioni (già presentate nei precedenti paragrafi) i valori medi ottenuti dai test di resistenza a flessione.

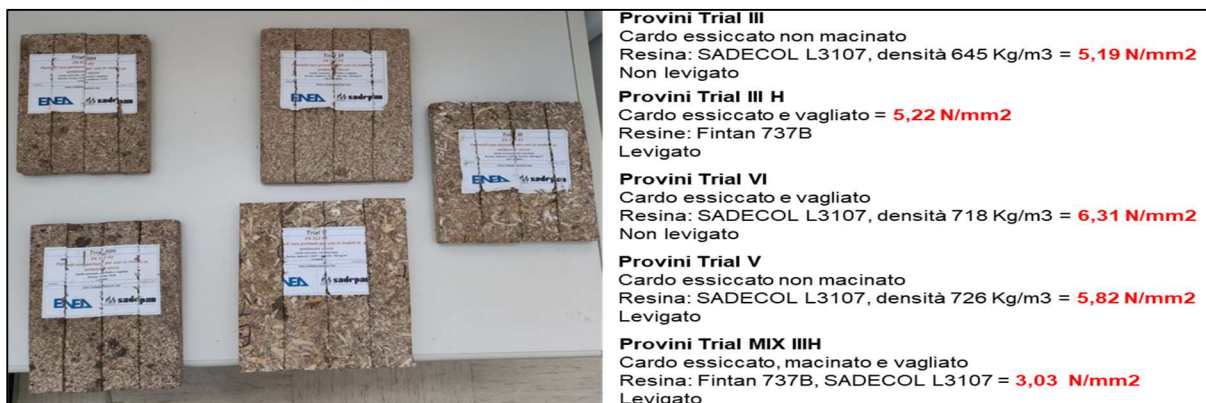


Figura 5.4.1 – Pannelli, scelti fra quelli dei primi 8 trial sperimentali, sottoposti ai test di resistenza a flessione (4 provini per pannello) i cui valori medi (in rosso) sono riportati a destra della figura.

La manifattura di tipo industriale di questi pannelli (anche per quelli che hanno mostrato coesione interna e resistenza allo stacco più bassi) certamente influenza in modo positivo anche i risultati di resistenza a flessione (che comunque sono lontani dal valore target) sia in riferimento ai valori medi misurati che considerando la variabilità (deviazione standard inferiore al 5%) dei dati ricavati dai 4 provini riferibili ad ogni pannello. In particolare sul pannello TRIAL VI, che ha mostrato le migliori performance sui due parametri precedentemente testati (vedi paragrafo 4), è stato misurato il valore più alto in termini di resistenza a flessione.

6. Sperimentazioni con cardo pre-trattato tramite steam explosion

Nei paragrafi precedenti sono stati descritti processi di trattamento/modifica della biomassa usata per produrre pannelli, finalizzati a ridurre l'uso di componenti fossili e a incrementare le performance del prodotto finito. Molti di questi processi riportati in letteratura prevedono l'uso di pre-trattamenti tramite steam explosion (vedi tabella 3.5.2) su varie biomasse.

Sulla scorta di queste informazioni, usando questo processo, nell'ambito della collaborazione ENEA-SADEPAN, sono state anche portate a termine varie sessioni sperimentali con cardo pre-trattato per saggiarne le performance sia nei tipici processi di

produzione industriale di pannelli tipo P2 (pannelli non portanti per ambienti secchi), che come pannelli portanti su cui è stata testata la resistenza a flessione.

In particolare queste sessioni sperimentali hanno visto l'uso della biomassa di Cardo pretrattata presso ENEA-Trisaia in un impianto batch da 1 kg di biomassa per ciclo (fig. 6.1.1).



Figura 6.1.1 – Impianto Steam Explosion (batch)

Il reattore è in grado di operare in intervalli di temperature 180-230°C e per tempi di trattamento di 1-10 minuti [33].

In breve il processo prevede che la biomassa sminuzzata, ed eventualmente impregnata con un catalizzatore, viene compressa nel reattore (di forma tubolare dotato di una valvola di espulsione) tramite una corrente di vapor saturo di acqua fino a formare un tappo che viene mantenuto fino ad una pressione di 30 kg/cm² per il tempo e alla temperatura stabiliti. Successivamente, operando sulla valvola del reattore, si lascia esplodere la biomassa in un serbatoio di espansione. Questo processo destruttura la biomassa grazie a due azioni: l'istantanea decompressione, realizzata nel passaggio dall'atmosfera di vapore saturo del reattore alle normali condizioni ambientali e un processo di idrolisi dei legami per opera del vapor d'acqua ad alta temperatura. Il risultato finale è quello di rendere maggiormente accessibili e reattivi i polimeri della cellulosa e della lignina e di solubilizzare la gran parte dell'emicellulosa sotto forma di pentosani.

A valle del processo la biomassa pretrattata viene recuperata ed essiccata per poi essere impiegata nella fabbricazione di pannelli.

6.1 Pannelli sperimentali industriali di tipo P2 ottenuti con CARDO pre-trattato (TRIALVII)

Con lo scopo di saggiare la biomassa di Cardo pre-trattata nella produzione di pannelli P2 è stata sottoposta a trattamento steam explosion la matrice cardo a granulometria più grossolana, rappresentata in arancio negli istogrammi delle figure 4.3.1 e 4.3.2, senza aggiunta di catalizzatori usando come tempo di permanenza nel reattore 5 min e come temperatura 200°C.

Il Cardo così pre-trattato è stato poi essiccato, macinato e vagliato come descritto per il TRIAL VI. Le condizioni di ottenimento del pannello sono riportate in figura 6.1.2.

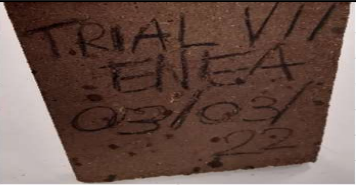
Volume di stampo: 1,89 Lt	TRIAL VII		
RAW MATERIAL	Surface	Core	
Cardo	g	g	
Chemical	465	880	
Sadecol L 3107	73,5 (Fx 10,5)	93 (Fx 7)	
CTZ 30%	4,2	13	
Press Factor	15 sec/mm		TARGET (ISO EN 312 - P2)
Internal Bond	0,9 N/mm ²		0,35 N/mm ²
Strain surface	0,35 N/mm ²		0,8 N/mm ²
Swelling 2H	25,74%		10,00%
Density	666 kg/m ³		680 ÷ 710 kg/m ³

Figura 6.1.2 – Dati sessione con CARDO pre-trattato

Rispetto al TRIAL VI, quello che ha presentato le migliori performance, nel TRIAL VII sono stati diminuiti i fattori di incollaggio (Fx) per gli strati esterni e quello interno rispettivamente da 15 a 10,5 e da 10 a 7. Teoricamente i miglioramenti nella fase di incollaggio derivanti dal pre-trattamento della matrice avrebbero dovuto colmare la diminuzione della quantità di resina. In realtà le misure effettuate sul pannello hanno mostrato un peggioramento di tutti i parametri rispetto al TRIAL VI. Il pretrattamento ha lo scopo di attivare la lignina presente nella matrice esponendo e rendendo più accessibili i suoi siti di reazione. È probabile che il tempo trascorso fra il pretrattamento e l'effettivo utilizzo nella produzione del pannello (circa 2 mesi) abbia reso possibile una ricombinazione interna della lignina attivata diminuendone di fatto la reattività. Il pretrattamento ha anche sfibrato la matrice rendendola meno prona al processo di incollaggio. In figura 6.1.3 sono riportate alcune immagini del pannello ottenuto con questa Cardo pretrattato. In ALLEGATO 1 sono riportate le tabelle recanti tutte le misure condotte su ogni singolo provino tratto dal pannello di TRIAL VII.

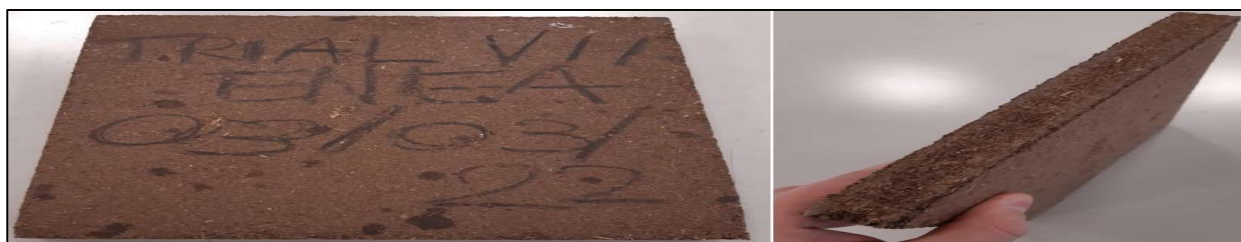


Figura 6.1.3 – Pannello ottenuto con CARDO pre-trattato

6.2 Pannelli sperimentali con CARDO pre-trattato sottoposti a prove di resistenza a flessione

Con lo scopo di saggiare la resistenza a flessione anche su pannelli prodotti con Cardo pretrattato sono stati preparati tre stock di biomassa da Cardo pretrattato come precedentemente descritto. Le differenze nelle tre tipologie di pretrattamento (acido, basico e neutro) sono schematizzate nella tabella 6.2.1.

Tabella 6.2.1 – Pretrattamenti effettuati sulla matrice Cardo

Id. tratt.	Temperatura (°C)	Tempo (sec)	Catalizzatore	% Cat.
1	200	450	H+	0,6
2	200	300	NaOH	0,2
3	200	300	Neutro	/

Usando questi tre stock di biomassa pretrattata con le due resine già descritte sono state prodotte sei tipologie di pannelli. Condizioni di ottenimento e dati medi relativi alle resistenze a flessione misurate sono raccolti nella tabella 6.2.2.

Tabella 6.2.2 - Condizioni di ottenimento e dati medi relativi alle resistenze a flessione su pannelli ottenuti con Cardo sottoposto a tre diverse tipologie di pretrattamento tramite steam explosion

	Pannello	Biomassa (g)	Resina (g)	Indurente HDMA (g)	Temp. Piastra (°C)	Tempo in pressa (sec)	Densità (kg/m ³)	Resistenza a flessione (N/mm ²)
FINTAN 737B	SB1	270	38	5,32	180	300	715	4,41
	SB2	270	38	5,32	180	300	770	3,51
	SB3	270	38	5,32	180	300	747,5	5,70
SADECO L L3107	SF1	270	44	7,6	180	300	707,75	4,34
	SF2	270	44	7,6	180	300	707,5	4,92
	SF3	270	44	7,6	180	300	780	6,28

I dati ottenuti mostrano un effettivo miglioramento della resistenza a flessione (nonostante questa risulti ancora lontana dai valori minimi per la commerciabilità) rispetto alla matrice non pretrattata.

7. Conclusioni

Nella produzione di pannelli da biomassa di Cardo l'ottimizzazione di parametri come l'umidità della matrice lignocellulosica, la densità finale del pannello e la granulometria degli strati che compongono il pannello, possono consentire di ottenere pannelli le cui caratteristiche sono molto vicine a quelle minime richieste per i pannelli commerciabili di cui alla norma EN312-P2.

In particolare i pannelli "TRIAL VI" e "TRIAL IIIH FINTAN & SADECOL L 3107" hanno mostrato le migliori performance lasciando presumere che la resina UF e il mix di resine (UF con tanninica) possano utilmente essere impiegate con la matrice CARDO per ottenere prodotti commerciabili.

La resistenza all'umidità (utile per applicazioni dei pannelli all'esterno o in ambienti umidi), attesa soprattutto per i manufatti ottenuti con resina tanninica (in teoria simili a quelli ottenibili con resine PF), è risultata bassa.

La resistenza a flessione (utile per pannelli che devono sostenere carichi) è risultata molto influenzata dalla manifattura. In particolare la manifattura in laboratorio ha originato valori molto variabili, mentre quella simil-industriale ha mostrato valori con deviazioni standard più contenute. La sperimentazione condotta specificatamente per saggiare questo parametro ha mostrato risultati simili a quelli ottenuti nelle prime sessioni sperimentali. In particolare i migliori risultati sono stati ottenuti con la resina UF su pannelli a densità superiore a 700 kg/m³ in pressa a 180°C. Buoni risultati sono stati ottenuti anche col mix 5% resina UF e 5% resina tanninica.

Allo scopo di valutare il miglioramento delle caratteristiche della biomassa è stato anche testato l'uso di pretrattamenti tramite steam explosion sulla matrice Cardo. In particolare il trattamento neutro (senza catalizzatori) della matrice a 200°C per 5 minuti ha consentito di ottenere, con tecniche industriali, un pannello poco performante, mentre la matrice sottoposta allo stesso trattamento e ad analoghi trattamenti in presenza di catalizzatore acido e basico usata per produrre pannelli su cui testare la resistenza a flessione, hanno mostrato performance migliori rispetto alla matrice non pretrattata.

Questi risultati sono incoraggianti e hanno ottimi margini di miglioramento non solo in termini di qualità di questa tipologia di pannelli ma anche in riferimento alla sostenibilità associabile al prodotto e al processo produttivo.

8. Bibliografia

- (1) Zhang, D., Zhang, A., & Xue, L. (2015). *A review of preparation of binderless fiberboards and its self-bonding mechanism*. *Wood Science and Technology*, 49(4), 661-679.
- (2) Pappalardo, H. D., Toscano, V., Puglia, G. D., Genovese, C., & Raccuia, S. A. (2020). *Cynara cardunculus L. as a multipurpose crop for plant secondary metabolites production in marginal stressed lands*. *Frontiers in plant science*, 11, 240.
- (3) https://www.academia.edu/32826374/Cresce_linteresse_per_il_cardo
- (4) Gominho, J., Curt, M. D., Lourenco, A., Fernández, J., & Pereira, H. (2018). *Cynara cardunculus L. as a biomass and multi-purpose crop: A review of 30 years of research*. *Biomass and Bioenergy*, 109, 257-275.
- (5) De Bari, I., Giuliano, A., Petrone, M. T., Stoppiello, G., Fatta, V., Giardi, C., Razza, F., & Novelli, A. (2020). *From cardoon lignocellulosic biomass to bio-1, 4 butanediol: an integrated biorefinery model*. *Processes*, 8(12), 1585.
- (6) Mancera, C.; Ferrando, F.; Salvadó, J. *Cynara Cardunculus as Raw Material for the Production of Binderless Fiberboards: Optimization of Pretreatment and Pressing Conditions*. *J. Wood Chem. Technol.* 2008, 28 (3), 207–226. DOI: 10.1080/02773810802347024.
- (7) European Commission. Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Wood-Based Panels (Industrial Emissions Directive 2010/75/EU - Integrated Pollution Prevention and Control)*; Publications Office: 2016. doi:10.2791/21807; ISBN 978-92-79-54949-6
- (8) Forest Products and Statistics Team; Forestry Policy and Resources Division; FAO Forestry Department; *Global Forest Products Facts and Figures 2018*. Website: <http://www.fao.org/forestry/statistics>.
- (9) <https://europanel.org/the-wood-based-panel-industry/types-of-wood-based-panels-economic-impact/particleboard/>
- (10) <https://www.grupposaviola.com/il-gruppo/bilancio-di-sostenibilita-2021/>
- (11) Aguilera, A., Davim, J. P., Eds.; *Research Developments in Wood Engineering and Technology*; IGI Global, 2014. DOI: 10.4018/978-1-4666-4554-7.

- (12) Kamoun, C., Pizzi, A., & Zanetti, M. (2003). *Upgrading of MUF resins by buffering additives: Part 1: Hexamine sulphate effect and its limits*. Journal of Applied Polymer Science, 90(1), 203–214. doi:10.1002/app.12634.
- (13) Gonçalves, A. R.; Benar, P. *Hydroxymethylation and Oxidation of Organosolv Lignins and Utilization of the Products*; Bioresour. Technol. 2001, 79 (2), 103–111. DOI: 10.1016/S0960-8524(01)00056-6.
- (14) Hu, J.; Zhang, Q.; Lee, D.-J. *Kraft Lignin Biorefinery: A Perspective*. Bioresour. Technol. 2018, 247, 1181–1183. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.08.169.
- (15) Cheng, S.; Yuan, Z.; Leitch, M.; Anderson, M.; Xu, C. (Charles). *Highly Efficient Depolymerization of Organosolv Lignin Using a Catalytic Hydrothermal Process and Production of Phenolic Resins/Adhesives with the Depolymerized Lignin as a Substitute for Phenol at a High Substitution Ratio*. Ind. Crops Prod. 2013, 44, 315–322. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.10.033.
- (16) Beis, S. H.; Mukkamala, S.; Hill, N.; Joseph, J.; Baker, C.; Jensen, B.; Stemmler, E. A.; Wheeler, M. C.; Frederick, B. G.; van Heiningen, A.; Berg, A. G.; DeSisto, W. J. *Fast pyrolysis of lignin*. BioResources 5(3), 1408-1424; DOI:10.15376/biores.5.3.1408-1424
- (17) Zhang, M.; Resende, F. L. P.; Moutsoglou, A.; Raynie, D. E.; *Pyrolysis of Lignin Extracted from Prairie Cordgrass, Aspen, and Kraft Lignin by Py-GC/MS and TGA/FTIR*. J. Anal. Appl. Pyrolysis 2012, 98, 65–71. DOI: 10.1016/j.jaap.2012.05.009.
- (18) Pandey, M.P.; Kim, C.S. *Lignin Depolymerization and Conversion: A Review of Thermochemical Methods*. Chem. Eng. Technol. 2011, 34 (1), 29–41. DOI: 10.1002/ceat.201000270.
- (19) Grāvītis, J.; Āboliņš, J.; Tupčiauskas, R.; Vēveris, A.; *Lignin from steam exploded wood as binder in wood composites*; J. Environ. Eng. Landsc. Manag. 2010, 18 (2), 75–84. DOI: 10.3846/jeelm.2010.09.
- (20) Mastrolitti, S.; Borsella, E.; Giuliano, A.; Petrone, M. T.; Bari, I. D.; Gosselink, R.; van Erven, G.; Annevelink, E.; Triantafyllidis, K. S.; Stichnothe, H. *Sustainable Lignin Valorization*. IEA Bioenergy task 42, October 2021, ISBN: 979-12-80907-01-1
- (21) Felby, C.; Hassingboe, J.; Lund, M. *Pilot-Scale Production of Fiberboards Made by Laccase Oxidized Wood Fibers: Board Properties and Evidence for Cross-Linking of*

- Lignin*. *Enzyme Microb. Technol.* 2002, 31 (6), 736–741. DOI: 10.1016/S0141-0229(02)00111-4.
- (22) Álvarez,C.; Rojano,B.; Almaza,O.; Rojas,O.J.; Gañán,P. *Self-Bonding Boards From Plantain Fiber Bundles After Enzymatic Treatment: Adhesion Improvement of Lignocellulosic Products by Enzymatic Pre-Treatment*. *J. Polym. Environ.* 2011, 19 (1), 182–188. DOI: 10.1007/s10924-010-0260-6.
- (23) Euring, M.; Kirsch, A.; Schneider, P.; Kharazipour, A. *Lignin-Laccase-Mediator-Systems (LLMS) for the Production of Binderless Medium Density Fiberboards (MDF)*. *J. Mater. Sci. Res.* 2016, 5 (2), 7. DOI: 10.5539/jmsr.v5n2p7.
- (24) Velasquez, J. A.; Ferrando, F.; Farriol, X.; Salvadó, J. *Binderless Fiberboard from Steam Exploded Miscanthus Sinensis*. *Wood Sci. Technol.* 2003, 37 (3–4), 269–278. DOI: 10.1007/s00226-003-0182-8.
- (25) Velásquez, J. A.; Ferrando, F.; Salvadó, J. *Effects of Kraft Lignin Addition in the Production of Binderless Fiberboard from Steam Exploded Miscanthus Sinensis*. *Ind. Crops Prod.* 2003, 18 (1), 17–23. DOI: 10.1016/S0926-6690(03)00016-5.
- (26) Halvarsson, S. *MANUFACTURE OF STRAW MDF AND FIBREBOARDS*. Mid Sweden University Doctoral Thesis 92; ISBN 978-91-86073-86-2
- (27) Quintana,G.; Velásquez,J.; Betancourt,S.; *Binderless Fiberboard from Steam Exploded Banana Bunch*. *Ind. Crops Prod.* 2009, 29 (1), 60–66. DOI: 10.1016/j.indcrop.2008.04.007.
- (28) C. Mancera, Nour-Eddine El Mansouri, F. Ferrando, J. Salvado; *The suitability of steam exploded vitis vinifera and alkaline lignin for the manufacture of fiberboard*; *BioResources* (2011), 6(4), 4439-4453; DOI:10.15376/biores.6.4.4439-4453
- (29) C. Mancera, Nour-Eddine El Mansouri, F. Ferrando, J. Salvado; *The effect of lignin a natural adhesive on the physico-machanical properties of vitis vinifera fiberboards*, *BioResources* (2011), 6(3), 2851-2860
- (30) European Commission - Task 3 of Study on Support to R&I Policy in the Area of Bio-based Products and Services - University of Bologna and Fraunhofer ISI (December – 2018), *Top 20 innovative bio-based products*”

- (31) Qiao, W.; Li, S.; Guo, G.; Han, S.; Ren, S.; Ma, Y. *Synthesis and Characterization of Phenol-Formaldehyde Resin Using Enzymatic Hydrolysis Lignin*. *J. Ind. Eng. Chem.* 2015, 21, 1417–1422. DOI: 10.1016/j.jiec.2014.06.016.
- (32) Khan, M. A.; Ashraf, S. M. *Development and Characterization of a Lignin–Phenol–Formaldehyde Wood Adhesive Using Coffee Bean Shell*. *J. Adhes. Sci. Technol.* 2005, 19 (6), 493–509. DOI: 10.1163/1568561054352577.
- (33) <https://www.trisaia.enea.it/laboratori-e-impianti/piattaforma-integrata-per-la-produzione-di-biocarburanti-e-green-chemicals.html>

9. ALLEGATO 1 – Test sui pannelli ottenuti con processo industriale

TRIAL I TQ

Coesione interna (EN 319)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Trazione (N/mm ²)
1	49,03	49,58	54,27	36,2	614	14,89	161	0,07
2	49,48	49,46	24,13	37,09	628	15,16	113	0,05
3	48,83	49,73	23,7	33,29	578	13,71	179	0,07
4	49,55	49,82	24,1	37,66	633	15,26	141	0,06
5	49,49	49,65	24,15	35,78	603	14,56	119	0,05
6	49,48	49,44	23,76	31,9	549	13,04	108	0,04
7	49,11	49,4	23,56	29,51	516	12,16	177	0,07
8	49,31	49,33	23,9	33,51	576	13,78	148	0,06
media	49,29	49,55	23,95	34,37	587	14,07	143	0,06
dev std	0,27	0,17	0,25	2,81	40,37	1,1	28,04	0,01
min	48,83	49,33	23,56	29,51	516	12,16	108	0,04
max	49,55	49,82	24,27	37,66	633	15,26	179	0,07
pezzi	8	8	8	8	8	8	8	8

Resistenza al distacco (EN 311)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Trazione superficiale (N/
1	49,35	49,84	24,15	35,86	604	14,58	537	0,54
2	49,26	49,65	25,3	36,68	593	15	464	0,46
3	49,56	49,61	24,31	38,32	641	15,59	535	0,54
media	49,39	49,7	24,59	36,95	613	15,05	512	0,51
dev std	0,15	0,12	0,62	1,25	25,35	0,51	41,58	0,04
min	49,26	49,61	24,15	35,86	593	14,58	464	0,46
max	49,56	49,84	25,3	38,32	641	15,59	537	0,54
pezzi	3	3	3	3	3	3	3	3

Rigonfiamento (EN 317)										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Spessore 2 h mm	Spessore 24 h mm	Rigonfiamento 2h %	Rigonfiamento 24h %
1	49,86	49,6	24,49	39,25	648	15,87	31,06		26,83	
2	49,57	49,38	24,07	33,14	562	13,54	30,44		26,46	
3	49,04	49,53	24,59	38,55	645	15,87	32,22		31,03	
4	49,32	49,16	24,63	36,69	614	15,13	32,06		30,17	
5	49,8	49,76	24,88	40,07	650	16,17	30,9		24,2	
6	49,58	49,63	24,29	31,62	529	12,85	30,86		27,05	
7	49,65	49,65	24,9	36,38	593	14,76	32,53		30,64	
8	49,78	49,56	25,04	34,6	560	14,02	29,87		19,29	
media	49,58	49,53	24,61	36,29	600	14,78	31,24		26,96	
dev std	0,28	0,19	0,33	3	46,54	1,21	0,93		3,91	
min	49,04	49,16	24,07	31,62	529	12,85	29,87		19,29	
max	49,86	49,76	25,04	40,07	650	16,17	32,53		31,03	
pezzi	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Assorbimento										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Peso 2h	Peso 24 h	Assorbimento 2h %	Assorbimento 24h %
1	49,86	49,6	24,49	39,25	648	15,87	67,7		72,48	
2	49,57	49,38	24,07	33,14	562	13,54	68,39		106,37	
3	49,04	49,53	24,59	38,55	645	15,87	70,35		82,49	
4	49,32	49,16	24,63	36,69	614	15,13	72,65		98,01	
5	49,8	49,76	24,88	40,07	650	16,17	67,33		68,03	
6	49,58	49,63	24,29	31,62	529	12,85	71,35		125,65	
7	49,65	49,65	24,9	36,38	593	14,76	69,25		90,35	
8	49,78	49,56	25,04	34,6	560	14,02	70,47		103,67	
media	49,58	49,53	24,61	36,29	600	14,78	69,69		93,38	
dev std	0,28	0,19	0,33	3	46,54	1,21	1,85		19,06	
min	49,04	49,16	24,07	31,62	529	12,85	67,33		68,03	
max	49,86	49,76	25,04	40,07	650	16,17	72,65		125,65	
pezzi	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Riassunto Densità						
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Peso per superficie (kg/m ²)	Densità (kg/m ³)
1	49,03	49,58	24,27	36,2	14,89	614
2	49,48	49,46	24,13	37,09	15,16	628
3	48,83	49,73	23,7	33,29	13,71	578
4	49,55	49,82	24,1	37,66	15,26	633
5	49,49	49,65	24,15	35,78	14,56	603
6	49,48	49,44	23,76	31,9	13,04	549
7	49,11	49,4	23,56	29,51	12,16	516
8	49,31	49,33	23,9	33,51	13,78	576
9	49,35	49,84	24,15	35,86	14,58	604
10	49,26	49,65	25,3	36,68	15	593
11	49,56	49,61	24,31	38,32	15,59	641
media	49,31	49,59	24,12	35,07	14,34	594
dev std	0,24	0,17	0,46	2,7	1,05	37,54
min	48,83	49,33	23,56	29,51	12,16	516
max	49,56	49,84	25,3	38,32	15,59	641
pezzi	11	11	11	11	11	11

TRIAL II TQ

Coesione interna (EN 319)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Trazione (N/mm ²)
1	49,24	49,71	23,62	40,15	694	16,4	172	0,07
2	49,6	49,71	23,8	42,33	721	17,17	262	0,11
3	49,79	49,73	23,45	42,18	726	17,04	343	0,14
4	49,13	49,73	23,84	40,57	697	16,61	292	0,12
5	49,7	49,82	23,34	41,02	710	16,57	191	0,08
6	49,8	49,59	24,21	37,3	624	15,1	162	0,07
7	48,81	49,65	23,03	37,85	678	15,62	206	0,09
8	49,75	49,66	24,14	38,25	641	15,48	192	0,08
media	49,48	49,7	23,68	39,96	686	16,25	228	0,09
dev std	0,37	0,07	0,4	1,95	36,93	0,76	64,49	0,03
min	48,81	49,59	23,03	37,3	624	15,1	162	0,07
max	49,8	49,82	24,21	42,33	726	17,17	343	0,14
pezzi	8	8	8	8	8	8	8	8

Resistenza al distacco (EN 311)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Forza superficiale (N/r)
1	49,57	49,78	23,53	40,6	699	16,45	388	0,39
2	49,5	49,77	23,08	38,55	678	15,65	414	0,41
3	49,2	49,31	22,97	37,07	665	15,28	435	0,44
media	49,42	49,62	23,19	38,74	681	15,79	412	0,41
dev std	0,2	0,27	0,3	1,77	17,19	0,6	23,54	0,02
min	49,2	49,31	22,97	37,07	665	15,28	388	0,39
max	49,57	49,78	23,53	40,6	699	16,45	435	0,44
pezzi	3	3	3	3	3	3	3	3

Rigonfiamento (EN 317)										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Spessore 2 h mm	Spessore 24 h mm	Rigonfiamento 2h %	Rigonfiamento 24h %
1	49,81	49,23	23,62	38,68	668	15,77	31,39		32,9	
2	49,45	49,19	23,75	37,86	655	15,56	29,06		22,36	
3	49,5	49,42	23	36,05	641	14,74	31,54		37,13	
4	49,54	49,57	23,32	37,83	661	15,4	29,51		26,54	
5	49,73	49,44	23,43	39,73	690	16,16	29,97		27,91	
6	49,6	49,02	23,91	34,48	593	14,18	28,9		20,87	
7	48,23	49,55	22,86	34,84	638	14,58	30,61		33,9	
8	49,65	49,54	23,58	32,39	558	13,17	32,28		36,9	
media	49,44	49,37	23,43	36,48	638	14,95	30,41		29,81	
dev std	0,5	0,2	0,36	2,47	42,63	0,98	1,25		6,32	
min	48,23	49,02	22,86	32,39	558	13,17	28,9		20,87	
max	49,81	49,57	23,91	39,73	690	16,16	32,28		37,13	
pezzi	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Assorbimento										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Peso 2h	Peso 24 h	Assorbimento 2h %	Assorbimento 24h %
1	49,81	49,23	23,62	38,68	668	15,77	69,87		80,64	
2	49,45	49,19	23,75	37,86	655	15,56	59,08		56,05	
3	49,5	49,42	23	36,05	641	14,74	68,28		89,4	
4	49,54	49,57	23,32	37,83	661	15,4	70,31		85,86	
5	49,73	49,44	23,43	39,73	690	16,16	70,65		77,83	
6	49,6	49,02	23,91	34,48	593	14,18	63,82		85,09	
7	48,23	49,55	22,86	34,84	638	14,58	72,45		107,95	
8	49,65	49,54	23,58	32,39	558	13,17	69,4		114,26	
media	49,44	49,37	23,43	36,48	638	14,95	67,98		87,13	
dev std	0,5	0,2	0,36	2,47	42,63	0,98	4,39		18,03	
min	48,23	49,02	22,86	32,39	558	13,17	59,08		56,05	
max	49,81	49,57	23,91	39,73	690	16,16	72,45		114,26	
pezzi	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Riassunto Densità						
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Peso per superficie (kg/m ²)	Densità (kg/m ³)
1	49,57	49,78	23,53	40,6	16,45	699
2	49,5	49,77	23,08	38,55	15,65	678
3	49,2	49,31	22,97	37,07	15,28	665
4	49,24	49,71	23,62	40,15	16,4	694
5	49,6	49,71	23,8	42,33	17,17	721
6	49,79	49,73	23,45	42,18	17,04	726
7	49,13	49,73	23,84	40,57	16,61	697
8	49,7	49,82	23,34	41,02	16,57	710
9	49,8	49,59	24,21	37,3	15,1	624
10	48,81	49,65	23,03	37,85	15,62	678
11	49,75	49,66	24,14	38,25	15,48	641
media	49,46	49,68	23,55	39,62	16,12	685
dev std	0,32	0,14	0,43	1,9	0,72	31,95
min	48,81	49,31	22,97	37,07	15,1	624
max	49,8	49,82	24,21	42,33	17,17	726
pezzi	11	11	11	11	11	11

TRIAL III TQ

Coesione interna (EN 319)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Trazione (N/mm ²)
1	49,53	49,85	23,83	39,36	669	15,94	368	0,15
2	49,55	50,1	23,64	37,69	642	15,18	289	0,12
3	49,52	50,13	23,68	41,35	703	16,66	516	0,21
4	49,64	49,89	23,68	32,01	546	12,93	235	0,09
5	49,33	50	23,49	31,94	551	12,95	225	0,09
6	49,7	49,38	23,45	36,05	626	14,69	247	0,1
7	49,53	49,92	24,07	40,66	683	16,44	346	0,14
media	49,54	49,9	23,69	37,01	632	14,97	318	0,13
dev std	0,12	0,25	0,21	3,87	62,13	1,55	103,21	0,04
min	49,33	49,38	23,45	31,94	546	12,93	225	0,09
max	49,7	50,13	24,07	41,35	703	16,66	516	0,21
pezzi	7	7	7	7	7	7	7	7

Resistenza al distacco (EN 311)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Forza superficiale (N/
1	49,66	49,58	23,88	41,02	698	16,66	619	0,62
2	49,72	49,78	24,26	39,51	658	15,96	502	0,5
3	49,45	49,9	23,86	39,5	671	16,01	609	0,61
media	49,61	49,75	24	40,01	676	16,21	577	0,58
dev std	0,14	0,16	0,23	0,87	20,23	0,39	64,86	0,06
min	49,45	49,58	23,86	39,5	658	15,96	502	0,5
max	49,72	49,9	24,26	41,02	698	16,66	619	0,62
pezzi	3	3	3	3	3	3	3	3

Rigonfiamento (EN 317)										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Spessore 2 h mm	Spessore 24 h mm	Rigonfiamento 2h %	Rigonfiamento 24h %
1	49,67	49,97	24,03	38,99	654	15,71	30,56		27,17	
2	49,98	49,86	23,99	39,06	653	15,67	30,56		37,39	
3	50	49,75	24,56	37,41	612	15,04	30,66		32,98	
4	49,4	50,01	24,19	36,18	605	14,64	32,71		35,22	
5	49,86	49,66	24,1	30,86	517	12,46	31,92		32,45	
6	49,84	49,72	24,82	33,51	545	13,52	35,84		44,4	
7	49,66	49,85	23,86	41,86	709	16,91	31,25		30,97	
media	49,77	49,83	24,22	36,84	614	14,85	32,21		32,94	
dev std	0,21	0,13	0,34	3,7	66,25	1,48	1,83		5,84	
min	49,4	49,66	23,86	30,86	517	12,46	30,56		27,17	
max	50	50,01	24,82	41,86	709	16,91	35,84		44,4	
pezzi	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

Assorbimento										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Peso 2h	Peso 24h	Assorbimento 2h %	Assorbimento 24h %
1	49,67	49,97	24,03	38,99	654	15,71	70,54		80,92	
2	49,98	49,86	23,99	39,06	653	15,67	72,75		86,25	
3	50	49,75	24,56	37,41	612	15,04	74,31		98,64	
4	49,4	50,01	24,19	36,18	605	14,64	77,6		114,48	
5	49,86	49,66	24,1	30,86	517	12,46	74,24		140,57	
6	49,84	49,72	24,82	33,51	545	13,52	79,47		137,15	
7	49,66	49,85	23,86	41,86	709	16,91	74,75		78,57	
media	49,77	49,83	24,22	36,84	614	14,85	74,81		105,23	
dev std	0,21	0,13	0,34	3,7	66,25	1,48	2,96		26,01	
min	49,4	49,66	23,86	30,86	517	12,46	70,54		78,57	
max	50	50,01	24,82	41,86	709	16,91	79,47		140,57	
pezzi	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

Riassunto Densità							
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Peso per superficie (kg/m ²)	Densità (kg/m ³)	
1	49,66	49,58	23,88	41,02	16,66	698	
2	49,72	49,78	24,26	39,51	15,96	658	
3	49,45	49,9	23,86	39,5	16,01	671	
4	49,53	49,85	23,83	39,36	15,94	669	
5	49,55	50,1	23,64	37,69	15,18	642	
6	49,52	50,13	23,68	41,35	16,66	703	
7	49,64	49,89	23,68	32,01	12,93	546	
8	49,33	50	23,49	31,94	12,95	551	
9	49,7	49,38	23,45	36,05	14,69	626	
10	49,53	49,92	24,07	40,66	16,44	683	
media	49,56	49,85	23,78	37,91	15,34	645	
dev std	0,12	0,23	0,25	3,5	1,41	55,81	
min	49,33	49,38	23,45	31,94	12,93	546	
max	49,72	50,13	24,26	41,35	16,66	703	
pezzi	10	10	10	10	10	10	

TRIAL IV TQ

Coesione interna (EN 319)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Trazione (N/mm ²)
1	49,51	49,82	22,38	37,44	678	15,18	370	0,15
2	50,06	49,69	22,6	36,22	644	14,56	333	0,13
3	49,68	49,83	22,7	34,77	619	14,05	246	0,1
4	49,91	49,86	22,37	40,02	719	16,08	376	0,15
5	49,45	49,58	22,61	34,39	620	14,03	270	0,11
6	49,83	50	22,23	36,77	664	14,76	297	0,12
7	49,88	49,99	22,35	40,15	720	16,1	387	0,16
media	49,76	49,82	22,46	37,11	666	14,96	326	0,13
dev std	0,22	0,15	0,17	2,29	42,23	0,87	55,65	0,02
min	49,45	49,58	22,23	34,39	619	14,03	246	0,1
max	50,06	50	22,7	40,15	720	16,1	387	0,16
pezzi	7	7	7	7	7	7	7	7

Resistenza al distacco (EN 311)									
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Forza superficiale (N/r)	
1	49,02	49,96	22,22	30,34	558	12,39	335		0,34
2	49,52	49,78	22,68	38,71	692	15,7	265		0,27
3	49,21	49,94	22,55	27,2	491	11,07	416		0,42
media	49,25	49,89	22,48	32,08	580	13,05	339		0,34
dev std	0,25	0,1	0,24	5,95	102,68	2,39	75,57		0,08
min	49,02	49,78	22,22	27,2	491	11,07	265		0,27
max	49,52	49,96	22,68	38,71	692	15,7	416		0,42
pezzi	3	3	3	3	3	3	3		3

Rigonfiamento (EN 317)										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Spessore 2 h mm	Spessore 24 h mm	Rigonfiamento 2h %	Rigonfiamento 24h %
1	49,97	49,9	22,68	36,19	640	14,51	28,73		26,68	
2	49,85	50,06	22,27	38,81	698	15,55	29,03		30,35	
3	49,67	49,72	22,71	36,18	645	14,65	30,12		32,63	
4	49,94	49,88	22,55	34,12	607	13,7	29,45		30,6	
5	49,51	49,89	22,46	34,11	615	13,81	29,32		30,54	
6	49,99	49,84	22,3	36,79	662	14,77	28,26		26,73	
7	50,05	49,87	22,55	41,32	734	16,55	28,89		28,12	
media	49,85	49,88	22,5	36,79	657	14,79	29,11		29,38	
dev std	0,2	0,1	0,17	2,57	45,37	1	0,59		2,25	
min	49,51	49,72	22,27	34,11	607	13,7	28,26		26,68	
max	50,05	50,06	22,71	41,32	734	16,55	30,12		32,63	
pezzi	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

Assorbimento										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Peso 2h	Peso 24h	Assorbimento 2h %	Assorbimento 24h %
1	49,97	49,9	22,68	36,19	640	14,51	67,47		86,43	
2	49,85	50,06	22,27	38,81	698	15,55	66,21		70,6	
3	49,67	49,72	22,71	36,18	645	14,65	68,59		89,58	
4	49,94	49,88	22,55	34,12	607	13,7	68,29		100,15	
5	49,51	49,89	22,46	34,11	615	13,81	67,66		98,36	
6	49,99	49,84	22,3	36,79	662	14,77	64,83		76,22	
7	50,05	49,87	22,55	41,32	734	16,55	70,56		70,76	
media	49,85	49,88	22,5	36,79	657	14,79	67,66		84,59	
dev std	0,2	0,1	0,17	2,57	45,37	1	1,82		12,36	
min	49,51	49,72	22,27	34,11	607	13,7	64,83		70,6	
max	50,05	50,06	22,71	41,32	734	16,55	70,56		100,15	
pezzi	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

Riassunto Densità							
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Peso per superficie (kg/m ²)	Densità (kg/m ³)	
1	49,02	49,96	22,22	30,34	12,39	558	
2	49,52	49,78	22,68	38,71	15,7	692	
3	49,21	49,94	22,55	27,2	11,07	491	
4	49,51	49,82	22,38	37,44	15,18	678	
5	50,06	49,69	22,6	36,22	14,56	644	
6	49,68	49,83	22,7	34,77	14,05	619	
7	49,91	49,86	22,37	40,02	16,08	719	
8	49,45	49,58	22,61	34,39	14,03	620	
9	49,83	50	22,23	36,77	14,76	664	
10	49,88	49,99	22,35	40,17	16,1	720	
media	49,61	49,85	22,47	35,6	14,39	641	
dev std	0,33	0,14	0,18	4,16	1,62	72,56	
min	49,02	49,58	22,22	27,2	11,07	491	
max	50,06	50	22,7	40,15	16,1	720	
pezzi	10	10	10	10	10	10	

TRIAL V

Coesione interna (EN 319)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Trazione (N/mm ²)
1	51	50,67	23,82	45,18	734	17,48	176	0,07
2	51,06	50,57	23,42	46,43	768	17,98	659	0,14
3	50,98	51,12	23,38	43,33	711	16,63	305	0,12
4	50,81	50,74	23,53	42,75	705	16,58	380	0,15
5	50,37	50,92	23,63	44,06	727	17,18	106	0,04
6	51,05	50,53	24,3	44,31	707	17,18	106	0,04
media	50,88	50,76	23,68	44,34	725	17,17	239	0,09
dev std	0,26	0,22	0,34	1,32	23,86	0,53	124,89	0,05
min	50,37	50,53	23,38	42,75	705	16,58	106	0,04
max	51,06	51,12	24,3	46,43	768	17,98	380	0,15
pezzi	6	6	6	6	6	6	6	6

Resistenza al distacco (EN 311)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Trazione superficiale (N/mm ²)
1	51,14	50,62	24,44	44,35	701	17,13	564	0,56
2	51,4	50,85	24,14	44,75	709	17,12	449	0,45
3	50,84	50,6	23,58	46,77	771	18,18	459	0,46
media	51,13	50,69	24,05	45,29	727	17,48	491	0,49
dev std	0,28	0,14	0,44	1,3	38,27	0,61	63,71	0,06
min	50,84	50,6	23,58	44,35	701	17,12	449	0,45
max	51,4	50,85	24,44	46,77	771	18,18	564	0,56
pezzi	3	3	3	3	3	3	3	3

Rigonfiamento (EN 317)										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Spessore 2 h mm	Spessore 24 h mm	Rigonfiamento 2h %	Rigonfiamento 24h %
1	50,76	51,06	24,46	47,93	756	18,49	32,28		31,97	
2	50,62	51,04	24,27	44,47	709	17,21	30,97		27,61	
3	50,98	50,39	23,6	43,32	715	16,86	28,85		22,25	
4	50,43	50,11	24,01	47,2	778	18,68	29,32		22,12	
5	50,86	50,78	23,14	44,01	736	17,04	27,99		20,96	
6	50,92	50,63	23,73	46,03	752	17,85	31,41		32,36	
media	50,76	50,67	23,87	45,49	741	17,69	30,14		26,21	
dev std	0,21	0,37	0,48	1,85	26,28	0,77	1,66		5,16	
min	50,43	50,11	23,14	43,32	709	16,86	27,99		20,96	
max	50,98	51,06	24,46	47,93	778	18,68	32,28		32,36	
pezzi	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Assorbimento										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Peso 2h	Peso 24 h	Assorbimento 2h %	Assorbimento 24h %
1	50,76	51,06	24,46	47,93	756	18,49	78,87		64,55	
2	50,62	51,04	24,27	44,47	709	17,21	74,6		67,75	
3	50,98	50,39	23,6	43,32	715	16,86	69,1		59,51	
4	50,43	50,11	24,01	47,2	778	18,68	73,16		55	
5	50,86	50,78	23,14	44,01	736	17,04	66,35		50,76	
6	50,92	50,63	23,73	46,03	752	17,85	80,04		73,89	
media	50,76	50,67	23,87	45,49	741	17,69	73,69		61,91	
dev std	0,21	0,37	0,48	1,85	26,28	0,77	5,35		8,51	
min	50,43	50,11	23,14	43,32	709	16,86	66,35		50,76	
max	50,98	51,06	24,46	47,93	778	18,68	80,04		73,89	
pezzi	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Riassunto Densità						
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Peso per superficie (kg/m ²)	Densità (kg/m ³)
1	51	50,67	23,82	45,18	17,48	734
2	51,06	50,57	23,42	46,43	17,98	768
3	50,98	51,12	23,38	43,33	16,63	711
4	50,81	50,74	23,53	42,75	16,58	705
5	50,37	50,92	23,63	44,06	17,18	727
6	51,05	50,53	24,3	44,31	17,18	707
7	51,14	50,62	24,44	44,35	17,13	701
8	51,4	50,85	24,14	44,75	17,12	709
9	50,84	50,6	23,58	46,77	18,18	771
media	50,96	50,74	23,8	44,66	17,27	726
dev std	0,28	0,19	0,39	1,32	0,54	26,89
min	50,37	50,53	23,38	42,75	16,58	701
max	51,4	51,12	24,44	46,77	18,18	771
pezzi	9	9	9	9	9	9

TRIAL VI

Coesione interna (EN 319)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Trazione (N/mm ²)
1	50,99	50,92	23,16	42,71	710	16,45	471	0,18
2	49,28	51,15	22,43	40,02	708	15,88	494	0,2
3	51,32	50,77	22,97	45,87	766	17,6	592	0,23
4	51,36	50,74	22,47	38,29	654	14,69	397	0,15
5	51,1	51,18	23,37	43,67	715	16,7	547	0,21
6	51,1	51,15	22,96	43,6	727	16,68	569	0,22
media	50,86	50,99	22,89	42,36	713	16,33	512	0,2
dev std	0,79	0,2	0,37	2,75	36,24	0,98	72,25	0,03
min	49,28	50,74	22,43	38,29	654	14,69	397	0,15
max	51,36	51,18	23,37	45,87	766	17,6	592	0,23
pezzi	6	6	6	6	6	6	6	6

Resistenza al distacco (EN 311)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Trazione superficiale (N/mm ²)
1	51,26	50,66	22,93	42,32	711	16,3	991	0,99
2	50,96	50,84	22,56	43,43	743	16,76	1025	1,02
3	50,97	51,03	22,82	43,24	729	16,62	1076	1,08
media	51,06	50,84	22,77	43	727	16,56	1031	1,03
dev std	0,17	0,19	0,19	0,59	16,19	0,24	42,78	0,04
min	50,96	50,66	22,56	42,32	711	16,3	991	0,99
max	51,26	51,03	22,93	43,43	743	16,76	1076	1,08
pezzi	3	3	3	3	3	3	3	3

Rigonfiamento (EN 317)										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Spessore 2 h mm	Spessore 24 h mm	Rigonfiamento 2h %	Rigonfiamento 24h %
1	50,84	51,1	23,18	44,47	738	17,12	29,48		27,18	
2	51,23	50,59	22,71	42,22	717	16,29	28,88		27,17	
3	51,05	51,04	23,36	42,92	705	16,47	29,32		25,51	
4	50,49	50,96	22,59	39,5	680	15,35	29,21		29,3	
5	50,96	50,68	23,19	42,82	715	16,58	29,94		29,11	
6	51,25	50,87	22,74	44,26	747	16,98	28,84		26,82	
media	50,97	50,87	22,96	42,7	717	16,46	29,28		27,52	
dev std	0,28	0,2	0,32	1,79	23,99	0,63	0,41		1,45	
min	50,49	50,59	22,59	39,5	680	15,35	28,84		25,51	
max	51,25	51,1	23,36	44,47	747	17,12	29,94		29,3	
pezzi	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Assorbimento										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Peso 2h	Peso 24 h	Assorbimento 2h %	Assorbimento 24h %
1	50,84	51,1	23,18	44,47	738	17,12	76,41		71,82	
2	51,23	50,59	22,71	42,22	717	16,29	75,2		78,11	
3	51,05	51,04	23,36	42,92	705	16,47	76,73		78,77	
4	50,49	50,96	22,59	39,5	680	15,35	74,14		87,7	
5	50,96	50,68	23,19	42,82	715	16,58	77,74		81,55	
6	51,25	50,87	22,74	44,26	747	16,98	75,77		71,19	
media	50,97	50,87	22,96	42,7	717	16,46	76		78,19	
dev std	0,28	0,2	0,32	1,79	23,99	0,63	1,26		6,19	
min	50,49	50,59	22,59	39,5	680	15,35	74,14		71,19	
max	51,25	51,1	23,36	44,47	747	17,12	77,74		87,7	
pezzi	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Riassunto Densità						
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Peso per superficie (kg/m ²)	Densità (kg/m ³)
1	51,26	50,66	22,93	42,32	16,3	711
2	50,96	50,84	22,56	43,43	16,76	743
3	50,97	51,03	22,82	43,24	16,62	729
4	50,99	50,92	23,16	42,71	16,45	710
5	49,28	51,15	22,43	40,02	15,88	708
6	51,32	50,77	22,97	45,87	17,6	766
7	51,36	50,74	22,47	38,29	14,69	654
8	51,1	51,18	23,37	43,67	16,7	715
9	51,1	51,15	22,96	43,6	16,68	727
media	50,93	50,94	22,85	42,57	16,41	718
dev std	0,64	0,2	0,32	2,22	0,79	30,61
min	49,28	50,66	22,43	38,29	14,69	654
max	51,36	51,18	23,37	45,87	17,6	766
pezzi	9	9	9	9	9	9

TRIAL IIIH FINTAN

Coesione interna (EN 319)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Trazione (N/mm ²)
1	48,98	49,81	24,78	42,48	703	17,41	156	0,06
2	49,63	49,42	24,5	34,21	569	13,95	232	0,09
3	49,55	49,81	24,55	49,37	815	20	199	0,08
4	49,99	49,94	24,32	47,29	779	18,94	156	0,06
5	50,01	49,67	24,26	44,89	745	18,07	175	0,07
6	50,02	49,88	24,41	48,4	795	19,4	182	0,07
media	49,7	49,75	24,47	44,44	734	17,96	183	0,07
dev std	0,41	0,19	0,19	5,6	89,95	2,17	28,91	0,01
min	48,98	49,42	24,26	34,21	569	13,95	156	0,06
max	50,02	49,94	24,78	49,37	815	20	232	0,09
pezzi	6	6	6	6	6	6	6	6

Resistenza al distacco (EN 311)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Trazione superficiale (N/mm ²)
1	49,7	49,88	24,58	48,68	799	19,64	610	0,61
2	49,81	49,52	24,63	44,8	737	18,16	615	0,61
3	49,97	49,59	24,7	41,3	675	16,67	344	0,34
media	49,83	49,66	24,64	44,93	737	18,16	523	0,52
dev std	0,14	0,19	0,06	3,69	62,06	1,49	155,04	0,16
min	49,7	49,52	24,58	41,3	675	16,67	344	0,34
max	49,97	49,88	24,7	48,68	799	19,64	615	0,61
pezzi	3	3	3	3	3	3	3	3

Rigonfiamento (EN 317)										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Spessore 2 h mm	Spessore 24 h mm	Rigonfiamento 2h %	Rigonfiamento 24h %
1	49,09	49,78	24,91	42	690	17,19	30,3		21,64	
2	49,85	49,44	24,64	43,82	722	17,78	33,07		34,21	
3	50,21	49,76	24,25	47,83	789	19,14	33,68		38,89	
4	49,85	49,65	25,05	44,27	714	17,89	30,61		22,2	
5	49,48	49,63	24,42	43,54	726	17,73	33,18		35,87	
6	49,36	49,86	24,4	49,13	818	19,96	35,68		46,23	
media	49,64	49,69	24,61	45,1	743	18,28	32,75		33,17	
dev std	0,4	0,15	0,31	2,76	49,4	1,05	2,02		9,64	
min	49,09	49,44	24,25	42	690	17,19	30,3		21,64	
max	50,21	49,86	25,05	49,13	818	19,96	35,68		46,23	
pezzi	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Assorbimento										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Peso 2h	Peso 24 h	Assorbimento 2h %	Assorbimento 24h %
1	49,09	49,78	24,91	42	690	17,19	78,09		85,93	
2	49,85	49,44	24,64	43,82	722	17,78	83,04		89,5	
3	50,21	49,76	24,25	47,83	789	19,14	84,92		77,55	
4	49,85	49,65	25,05	44,27	714	17,89	80,7		82,29	
5	49,48	49,63	24,42	43,54	726	17,73	82,32		89,07	
6	49,36	49,86	24,4	49,13	818	19,96	88,12		79,36	
media	49,64	49,69	24,61	45,1	743	18,28	82,86		83,95	
dev std	0,4	0,15	0,31	2,76	49,4	1,05	3,45		5,02	
min	49,09	49,44	24,25	42	690	17,19	78,09		77,55	
max	50,21	49,86	25,05	49,13	818	19,96	88,12		89,5	
pezzi	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Riassunto Densità							
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Peso per superficie (kg/m ²)	Densità (kg/m ³)	
1	49,7	49,88	24,58	48,68	16,64	799	
2	49,81	49,52	24,63	44,8	18,16	737	
3	49,97	49,59	24,7	41,3	16,67	675	
4	48,98	49,81	24,78	42,48	17,41	703	
5	49,63	49,42	24,5	34,21	13,95	569	
6	49,55	49,81	24,55	49,37	20	815	
7	49,99	49,94	24,32	47,29	18,94	779	
8	50,01	49,67	24,26	44,89	18,07	745	
9	50,02	49,88	24,41	48,4	19,4	795	
media	49,74	49,72	24,53	44,6	18,03	735	
dev std	0,34	0,18	0,17	4,8	1,87	77,6	
min	49,98	49,42	24,26	34,21	13,95	569	
max	50,02	49,94	24,78	49,37	20	815	
pezzi	9	9	9	9	9	9	9

TRIAL IIIH FINTAN & SADECOL L 3107

Coesione interna (EN 319)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Trazione (N/mm ²)
1	50,05	49,78	23,46	47,47	812	19,05	265	0,11
2	49,2	49,79	23,4	36,07	629	14,72	136	0,06
3	49,84	49,6	23,21	43,07	751	17,42	287	0,12
4	49,82	49,74	23,55	42,49	728	17,15	220	0,09
5	49,95	49,7	23,37	43,58	751	17,55	240	0,1
6	49,95	49,79	23,44	47,58	816	19,13	119	0,05
media	49,8	49,73	23,4	43,38	748	17,51	211	0,09
dev std	0,31	0,07	0,11	4,21	68,23	1,61	68,85	0,03
min	49,2	49,6	23,21	36,07	629	14,72	119	0,05
max	50,05	49,79	23,55	47,58	816	19,13	287	0,12
pezzi	6	6	6	6	6	6	6	6

Resistenza al distacco (EN 311)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Forza (N)	Trazione superficiale (N/mm ²)
1	49,99	49,99	23,49	47,59	811	19,04	805	0,81
2	49,87	49,58	23,36	40,38	699	16,33	853	0,85
3	49,94	49,85	23,59	46,03	784	48,49	658	0,66
media	49,93	49,81	23,48	44,67	765	17,95	772	0,77
dev std	0,06	0,21	0,12	3,79	58,24	1,43	101,6	0,1
min	49,87	49,58	23,36	40,38	699	16,33	658	0,66
max	49,99	49,99	23,59	47,59	811	19,04	853	0,85
pezzi	3	3	3	3	3	3	3	3

Rigonfiamento (EN 317)										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Spessore 2 h mm	Spessore 24 h mm	Rigonfiamento 2h %	Rigonfiamento 24h %
1	50	49,85	23,42	46,41	795	18,62	29,3		25,11	
2	50,08	49,89	23,55	46,4	789	18,57	29,2		23,99	
3	49,86	50,01	23,48	43,45	742	17,43	29,71		26,53	
4	49,49	49,67	23,67	41,12	707	16,73	30,05		26,95	
5	50,03	50,07	23,21	42,04	723	16,78	29,52		27,19	
6	50,09	49,48	23,18	42,18	734	17,02	29,27		26,27	
media	49,93	49,83	23,42	43,6	748	17,52	29,51		26,01	
dev std	0,23	0,22	0,19	2,3	35,81	0,87	0,33		1,23	
min	49,49	49,48	23,18	41,12	707	16,73	29,2		23,99	
max	50,09	50,07	23,67	46,41	795	18,62	30,05		27,19	
pezzi	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Assorbimento										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie (kg/m ²)	Peso 2h	Peso 24 h	Assorbimento 2h %	Assorbimento 24h %
1	50	49,85	23,42	46,41	795	18,62	75,79		63,31	
2	50,08	49,89	23,55	46,4	789	18,57	74,72		61,03	
3	49,86	50,01	23,48	43,45	742	17,43	76,69		76,5	
4	49,49	49,67	23,67	41,12	707	16,73	73,25		78,14	
5	50,03	50,07	23,21	42,04	723	16,78	74,72		77,74	
6	50,09	49,48	23,18	42,18	734	17,02	75,45		78,88	
media	49,93	49,83	23,42	43,6	748	17,52	75,1		72,6	
dev std	0,23	0,22	0,19	2,3	35,81	0,87	1,17		8,15	
min	49,49	49,48	23,18	41,12	707	16,73	73,25		61,03	
max	50,09	50,07	23,67	46,41	795	18,62	76,69		78,88	
pezzi	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Riassunto Densità						
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Peso per superficie (kg/m ²)	Densità (kg/m ³)
1	49,99	49,99	23,49	47,59	19,04	811
2	49,87	49,58	23,36	40,38	16,33	699
3	49,94	49,85	23,59	46,03	18,49	784
4	50,05	49,78	23,46	47,47	19,05	812
5	49,2	49,79	23,4	36,07	14,72	629
6	49,84	49,6	23,21	43,07	17,42	751
7	49,82	49,74	23,55	42,49	17,15	728
8	49,95	49,7	23,37	43,58	17,55	751
9	49,95	49,79	23,44	47,58	19,13	816
media	49,85	49,76	23,43	43,81	17,66	753
dev std	0,25	0,13	0,11	3,89	1,48	61,86
min	49,2	49,58	23,21	36,07	14,72	629
max	50,05	49,99	23,59	47,59	19,13	816
pezzi	9	9	9	9	9	9

TRIAL VII

Coesione interna (EN 319)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie	Forza (N)	Trazione (N/mm ²)
1	51,18	51,23	23,19	36,77	605	14,02	160	0,06
2	51,12	50,49	23,68	33,32	545	12,91	124	0,05
3	51,1	51,03	23,35	40,64	667	15,59	210	0,08
4	51,18	51,1	23,48	45,57	742	17,42	305	0,12
5	51,18	50,91	23,28	39,27	647	15,07	243	0,09
6	51,09	51,07	23,8	45,03	725	17,26	272	0,1
7	51,14	51,05	23,96	44,59	713	17,08	282	0,11
media	51,14	50,98	23,53	40,74	664	15,62	228	0,09
dev std	0,04	0,24	0,29	4,65	70,88	1,74	66,8	0,03
min	51,09	50,49	23,19	33,32	545	12,91	124	0,05
max	51,18	51,23	23,96	45,57	742	17,42	305	0,12
pezzi	7	7	7	7	7	7	7	7

Resistenza al distacco (EN 311)								
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie	Forza (N)	Trazione superficiale (N/mm ²)
1	51,18	51,23	23,19	36,77	605	14,02	402	0,4
2	51,12	50,49	23,68	33,32	545	12,91	335	0,34
3	51,1	51,03	23,35	40,64	667	15,59	240	0,24
4	51,18	51,1	23,48	45,57	742	17,42	419	0,42
media	51,01	50,98	23,69	41,24	669	15,86	29,78	0,35
dev std	0,08	0,13	0,21	3,01	49,72	1,1	0,78	0,08
min	50,92		23,47	37,2	600	14,36	29,06	0,24
max	51,11		23,95	43,63	708	16,71	30,81	0,42
pezzi	4	4	4	4	4	4	4	4

Rigonfiamento (EN 317)										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie	Spessore 2 h mm	Spessore 24 h mm	Rigonfiamento 2h %	Rigonfiamento 24h %
1	51,11	51,1	23,58	43,63	708	16,71	30,81		30,66	
2	50,92	51	23,47	40,7	668	15,67	29,95		27,61	
3	51,02	51,04	23,77	43,44	702	16,68	29,06		22,25	
4	50,99	50,79	23,95	37,2	600	14,36	29,32		22,42	
media	51,01	50,98	23,69	41,24	669	15,86	29,78		25,74	
dev std	0,08	0,13	0,21	3,01	49,72	1,1	0,78		4,12	
min	50,92		23,47	37,2	600	14,36	29,06		22,25	
max	51,11		23,95	43,63	708	16,71	30,81		30,66	
pezzi	4	4	4	4	4	4	4		4	

Assorbimento										
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Densità (kg/m ³)	Peso per superficie	Peso 2h	Peso 24 h	Assorbimento 2h %	Assorbimento 24h %
1	51,11	51,1	23,58	43,63	708	16,71	87,58		100,73	
2	50,92	51	23,47	40,7	668	15,67	86,93		113,59	
3	51,02	51,04	23,77	43,44	702	16,68	83,35		91,87	
4	50,99	50,79	23,95	37,2	600	14,36	83,02		123,17	
media	51,01	50,98	23,69	41,24	669	15,86	85,22		107,34	
dev std	0,08	0,13	0,21	3,01	49,76	1,1	2,37		13,81	
min	50,92	50,79	23,47	37,2	600	14,36	83,02		91,87	
max	51,11	51,1	23,95	43,63	708	16,71	87,58		123,17	
pezzi	4	4	4	4	4	4	4		4	

Riassunto Densità						
N.	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (g)	Peso per superficie	Densità (kg/m ³)
1	265		225	23,6	937	666
media	265		225	23,6	937	666
dev std						
min	265		225	23,6	937	666
max	265		225	23,6	937	666
pezzi	1		1	1	1	1

ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
www.enea.it

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA - C.R. Frascati
maggio 2023