

ANDREA ATENA, THOMAS SCHNABEL, ALESSANDRO PALETTO

## *Innovazioni di prodotto per la valorizzazione dei residui legnosi della filiera foresta-legno*

### **Introduzione**

Negli ultimi anni, il concetto di bioeconomia circolare è diventato di prioritaria importanza nelle politiche ambientali ed energetiche dell'Unione Europea (*European Green Deal*), al fine di ridurre la dipendenza energetica dei paesi membri e mitigare gli impatti negativi dei processi produttivi sull'ambiente (HETEMÄKI *et al.* 2017, BIANCOLILLO *et al.* 2020). Nonostante la riconosciuta importanza del concetto di bioeconomia circolare nell'agenda politica comunitaria, gli studi e le ricerche scientifiche, finalizzati ad incrementare le conoscenze e a diffondere le buone pratiche (*best practices*) relative all'implementazione dei principi della bioeconomia circolare nelle filiere produttive e nella vita quotidiana dei cittadini, sono ancora piuttosto limitati e circoscritti ad alcune specifiche realtà territoriali (LOPEZDEASIAIN, DÍAZ-GARCÍA, 2020, PALETTO *et al.* 2021).

Dal punto di vista teorico-concettuale, la bioeconomia circolare può essere definita come la trasformazione sostenibile e a cascata degli scarti in prodotti a base biologica (*bio-based*) che possono essere condivisi/riutilizzati/rilavorati e riciclati o rilasciati in modo sicuro nella biosfera (CARUS, DAMMER 2018). In altre parole, la bioeconomia circolare integra i principi dell'economia circolare, volta alla valorizzazione dei prodotti di scarto della filiera, nei processi produttivi relativi ai prodotti a base biologica (BIANCOLILLO *et al.* 2020).

Dal punto di vista pratico-applicativo, il concetto di bioeconomia circolare è incentrato su tre pilastri principali che possono essere così sintetizzati (STEGMANN *et al.* 2020, PALETTO *et al.* 2022): (1) miglioramento dell'uso efficiente delle risorse nei processi produttivi; (2) recupero e valorizzazione dei rifiuti/residui derivanti dai processi produttivi; (3) riduzione delle emissioni in atmosfera di gas clima-alteranti durante tutte le fasi dei processi produttivi. In pratica, la bioeconomia circolare presuppone l'impiego delle risorse biologiche, in quanto rinnovabili, in sostituzione delle fonti fossili non-rinnovabili e al contempo la valorizzazione dei residui del processo produttivo in accordo con il 4R framework (VAN BUREN *et al.* 2016, GEBHARDT *et al.* 2022). Il 4R framework presuppone una gestione dei residui volta in primo luogo alla "Riduzione" (*Reduce*) della produzione degli stessi attraverso un più efficiente uso della risorsa, in secondo luogo al "Riuso" (*Reuse*), al "Riciclaggio" (*Recycle*) e, infine, alla "Riconversione" (*Recover*) dei residui per la produzione di energia (DENIZ, PALETTO, 2022).

In riferimento ai primi due pilastri della bioeconomia circolare, l'approccio a cascata è un aspetto chiave in quanto si prefigge l'obiettivo di massimizzare i benefici sociali e ambientali derivanti dall'uso della risorsa legno. In tal senso, presuppone in primo luogo la valorizzazione degli assortimenti legnosi di pregio (e.g., legname da segazione) e solo in un secondo tempo la destinazione della materia prima per

assortimenti di minor pregio (e.g., legname da imballaggio o per finalità energetiche). Al fine di comprendere meglio l'approccio a cascata applicato alla filiera foresta-legno è necessario distinguere tra i seguenti tre concetti: (1) *cascading-in-time*; (2) *cascading-in-value*; (3) *cascading-in-function*.

Il concetto di *cascading-in-time* presuppone un uso a cascata del legno con l'obiettivo di massimizzare il tempo di vita durante il quale le risorse restano nel sistema (SIRKIN, TEN HOUTEN 1994). In pratica, questo concetto può essere accostato a quello di "*waste hierarchy*", enfatizzato dalla COMMISSIONE EUROPEA (2012) nella Direttiva 2008/98/EC, il quale si basa sul 4R framework al fine di aumentare il più possibile le fasi a cascata e il tempo di vita dei prodotti.

Il concetto di *cascading-in-value* presuppone, invece, l'uso della risorsa con lo scopo di massimizzarne il valore aggiunto lungo tutta la filiera foresta-legno (ODEGARD *et al.* 2012). Seppure, in letteratura, non esista un consenso univoco sul concetto di valore aggiunto, se deve intendersi in termini ambientali o economici, la maggior parte degli esempi mette in evidenza come i residui legnosi del processo produttivo debbano essere in primo luogo impiegati per la produzione di prodotti farmaceutici/cosmetici, in secondo luogo per prodotti bio-chimici e soltanto in ultimo per la produzione di bioenergia (Vis *et al.* 2014).

Il concetto di *cascading-in-function* si focalizza, infine, sull'importanza dell'uso ottimale di ciascuna sub-componente (ODEGARD *et al.* 2012). In tal senso, le bioraffinerie che utilizzano biomasse legnose per produrre sia prodotti dall'elevato valore aggiunto (e.g., bioplastiche) sia biocombustibili sono un ottimo esempio di *cascading-in-function* legato alla filiera foresta-legno.

In riferimento all'ultimo dei tre pilastri, la bioeconomia circolare presuppone una *low-carbon society* nella quale convivono processi produttivi in grado di minimizzare le emissioni di gas clima-alteranti in atmosfera e cittadini consapevoli dell'importanza dei comportamenti quotidiani per ridurre gli impatti sul clima (PEAKE 2012). In questo contesto, la massimizzazione della produzione di prodotti legnosi di alta qualità, generalmente caratterizzati da più

lunghi tempi di vita, consente un uso più efficiente delle risorse naturali e una riduzione degli impatti negativi sul clima.

Nell'ambito della bioeconomia circolare, il settore foresta-legno, con specifico riferimento alla produzione di bioenergia (biomasse legnose ad uso energetico) e alla trasformazione del legno per la produzione di bio-materiali, ha un ruolo di primaria importanza (Figura 1). L'impatto della bioeconomia è stato quantificato in circa 2 trilioni di € l'anno e 22 milioni di posti di lavoro, corrispondenti al 9% della forza lavoro dei paesi dell'UE (HETEMÄKI 2014), mentre in riferimento all'Italia, il valore della bioeconomia è di circa 251 bilioni di € con 1 milione e 700 mila addetti impiegati (INTESA SANPAOLO 2015).

Il settore foresta-legno rappresenta uno dei settori chiave all'interno della bioeconomia. Per quanto concerne l'UE-28 il 42,4% della superficie territoriale complessiva è coperta da foreste con dei prelievi annui di circa 340 milioni di m<sup>3</sup> di legname ad uso industriale e 93 milioni di m<sup>3</sup> di legna ad uso energetica (EUROSTAT 2013). Questo dato mette in evidenza come le biomasse legnose da foresta rappresentino una delle principali fonti energeti-

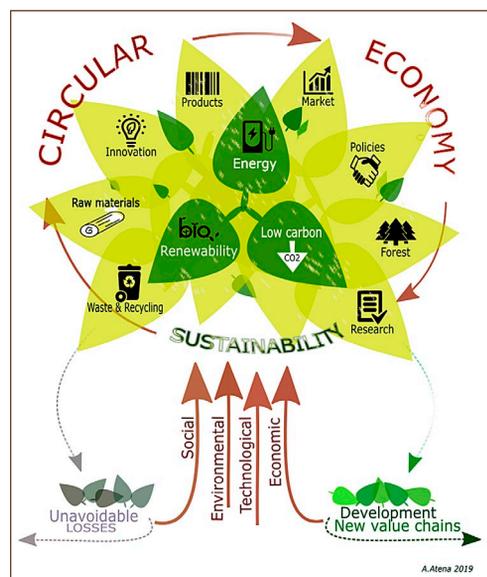


Figura 1 – Concetto di economia circolare applicata al settore foresta-legno.

che rinnovabili dell'UE con ampie possibilità di crescita nei prossimi decenni. In tal senso, alcuni recenti studi hanno evidenziato le potenzialità future delle biomasse forestali a uso energetico stimando che il potenziale di legna dalle foreste europee potrebbe variare tra i 625 e gli 898 milioni di m<sup>3</sup> nel 2030, a fronte di una domanda che si stima crescere al 73% (MANTAU *et al.* 2010). In Italia, il settore foresta-legno, comprensivo delle cartiere, rappresenta circa il 15% del valore totale e il 16% della forza lavoro nel complesso della bioeconomia. Questo dato è influenzato principalmente da due fattori: l'elevata superficie forestale, corrispondente ad oltre un terzo della superficie territoriale, e l'importanza delle imprese di trasformazione del legname nel contesto nazionale con oltre 80 mila imprese della filiera foresta-legna e 3.800 imprese di lavorazione della cellulosa. Nonostante questi dati incoraggianti, l'importanza economica del settore foresta-legno è piuttosto limitata nel contesto nazionale – meno dell'1% del PIL – a causa dell'alta percentuale di materia prima legnosa importata dall'estero (circa 80% del legname ad uso industriale e circa 35% della legna ad uso energetico).

Nell'ambito europeo, la Regione Alpina, con i suoi 70 milioni di abitanti, è una delle aree economicamente più produttive d'Europa, e tutt'oggi, ma soprattutto in futuro, dovrà affrontare grandi sfide come la globalizzazione, i cambiamenti demografici e climatici, l'insicurezza e la transizione energetica (ATENA, SCHNABEL 2018). In questo contesto di profondi cambiamenti, il settore primario nel suo complesso svolgerà un ruolo di primaria importanza al fine di fornire occupazione e uno sviluppo economico sostenibile di tutte le aree marginali montane.

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito del progetto “*Innovation to foster sustainability and circular economy in Alpine forestry value chain (CirculAlps)*”, finalizzato a promuovere la crescita e l'occupazione nelle aree rurali della regione alpina, instaurando una strategia macro-regionale, tale da offrire l'opportunità di migliorare la cooperazione transfrontaliera, nonché identificare gli obiettivi comuni e attuarli in modo più efficace attraverso la collaborazione transnazionale (ATENA, SCHNABEL 2018). La Strategia EU per lo Spazio Alpino (EUSALP) sta compiendo passi in avanti rafforzando la coope-

razione tra i suoi paesi con l'obiettivo di stabilire nuove relazioni tra le regioni metropolitane, rurali e montuose. Pertanto, è importante non solo avere politiche efficaci, ma anche cercare di rimediare alle inefficienze delle attuali filiere produttive. All'interno degli obiettivi del Progetto, il presente studio si focalizza sulla valorizzazione della risorsa legnosa (filiera foresta-legno) della Regione Alpina con specifico riferimento agli scarti legnosi derivanti dal processo di trasformazione del legname, in una prospettiva di bioeconomia circolare. Nello specifico, i residui del legno derivanti dalle utilizzazioni forestali e dal processo di trasformazione del legno possono essere considerati come una sostenibile ed economica alternativa ai prodotti a base fossile (SCHNABEL *et al.* 2020, ROSS *et al.* 2014). Attualmente è possibile riscontrare sul mercato molteplici prodotti innovativi derivanti da usi innovativi degli scarti legnosi, ma nella letteratura scientifica sono pochi i lavori che hanno investigato le innovazioni di prodotto derivanti dall'impiego degli scarti legnosi.

## Materiali e metodi

Nell'ambito del progetto CirculAlps, uno degli obiettivi prioritari è stato quello di identificare le principali innovazioni di prodotto legate all'uso, alternativo al tradizionale impiego per la produzione bioenergetica, dei residui legnosi della filiera foresta-legno. Nello specifico, il progetto CirculAlps si è focalizzato sulle innovazioni di prodotto realizzate da imprese ubicate nell'area alpina tali da poter essere considerate delle buone pratiche (*best practices*) e da essere replicabili in altri contesti territoriali. L'identificazione delle innovazioni di prodotto è stata fatta impiegando il modello teorico del processo innovativo adattandolo alle caratteristiche e peculiarità della filiera foresta-legno-energia (NOTARO *et al.* 2006, NYBAKK *et al.* 2009).

A livello teorico, innovare significa rendere economicamente remunerativa una nuova idea sia essa un prodotto o un servizio (innovazioni di prodotto) oppure un processo produttivo (innovazioni organizzative) (MALERBA 2000). Le innovazioni sono considerate il motore della crescita economica di un territorio e rappresentano per i comparti produttivi, compresi quelli

*low tech* come il settore forestale, un fattore di vantaggio competitivo per le proprie imprese (RAMETSTEINER, WEISS 2006). Le innovazioni di prodotto sono state definite storicamente da SCHUMPETER (1934) come l'introduzione di un nuovo bene o di una nuova qualità di un bene, mentre le innovazioni di processo considerano l'introduzione di un nuovo metodo di produzione, o di un nuovo modo di commercializzare un bene. Inoltre, le innovazioni di prodotto possono essere distinte in innovazioni radicali, miglioramenti incrementali sulle innovazioni precedenti, o imitazioni di prodotti già realizzati in altri settori produttivi o da altre imprese (ROGERS 1998). Nello specifico, le innovazioni di prodotto incrementano la varietà e la qualità dei beni e possono aprire nuovi mercati, portando potenzialmente a una maggiore produzione e occupazione in un territorio di riferimento (ŠALKA *et al.* 2006).

Nell'ambito dell'economia circolare, le innovazioni di prodotto, oltre ai sopra menzionati benefici, consentono la valorizzazione di prodotti di scarto (residui legnosi) del ciclo produttivo. Nel corso degli ultimi decenni, i residui legnosi delle utilizzazioni forestali e del processo di lavorazione del legname nelle imprese di prima e seconda trasformazione è passato da essere considerato un prodotto di scarto a una risorsa per la produzione di bioenergia. Tuttavia, in accordo con 4R framework dell'economia circolare, la conversione in energia dei residui legnosi (*Recover*) deve essere considerata come l'ultima opzione percorribile, privilegiando, se possibile, il riuso (*Reuse*) e il riciclaggio (*Recycle*). I prodotti innovativi realizzati impiegando i residui legnosi rappresen-

tano in tal senso una valorizzazione degli stessi in una prospettiva di bioeconomia circolare in quanto possono essere considerati prodotti dal più elevato valore aggiunto (*cascading-in-value*) e con un maggior tempo di vita (*cascading-in-time*).

Nel presente studio sono state identificate le principali innovazioni di prodotto degli scarti legnosi attraverso il coinvolgimento di un campione di attori della filiera foresta-legno – produttori primari di biomassa legnosa (agricoltori e proprietari forestali), utilizzatori diretti di biomassa (industria alimentare o chimica), utilizzatori di prodotti a base biologica (industria automobilistica o meccanica) e fornitori di servizi (commercianti all'ingrosso di prodotti a base biologica o società di ricerca e sviluppo) – dei paesi inclusi nel progetto CirculAlps (Austria, Germania, Italia e Slovenia).

## Risultati

I principali prodotti, materie prime, processi e applicazioni innovativi a base di legno nelle aree di studio del progetto CirculAlps sono mostrati in Figura 2. In tale diagramma di flusso sono rappresentate le tradizionali catene del valore e di prodotti innovati a base di legno evidenziando in verde scuro le materie prime legnose (e.g., legname, corteccia, segatura), in verde chiaro e in blu i prodotti legnosi sia tradizionali sia innovativi, mentre in rosa la destinazione finale in una prospettiva di approccio a cascata (e.g., da costruzione o energetico).

Dai risultati emerge il fatto che i residui legnosi possono essere utilizzati non solo per la

Tabella 1 – Prodotti derivanti dall'uso innovativo degli scarti legnosi della filiera foresta-legno

Scarti legnosi	Tipologia	Prodotto
Scarti utilizzazioni forestali	Aghi e rami di piccole dimensioni delle conifere	Oli essenziali
Scarti segherie	Truciolini di pino cembro	Imbottitura di cuscini e guanciali
	Fibra di legno (lana di legno)	Pannelli usati in bioedilizia
Scarti cartiere	Lignina	Componenti adesivi, fibre in carbonio
Corteccia	Corteccia	Oggetti, pannelli usati come coibentante ed <i>interior design</i>
	Tannini	Bioschiume

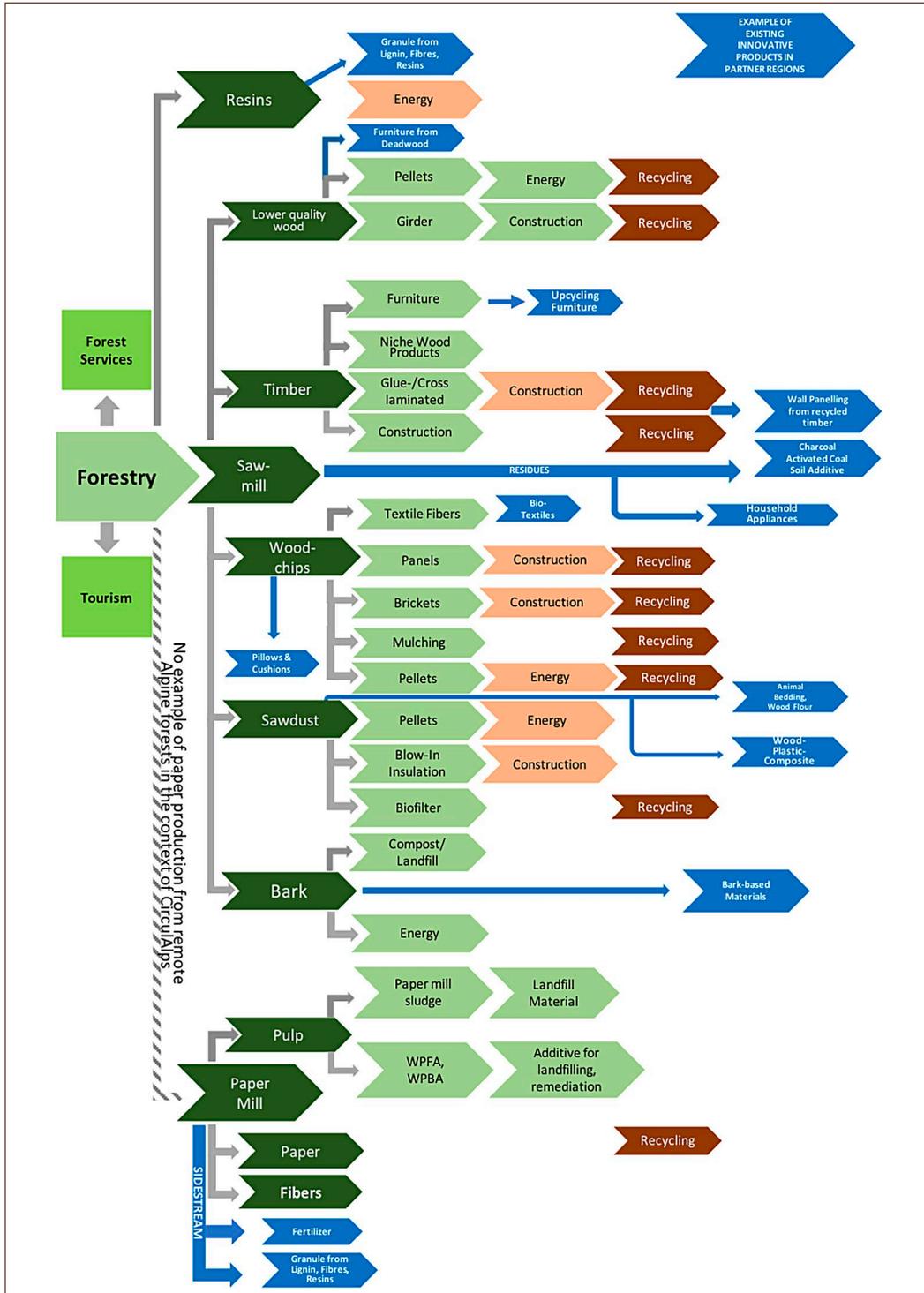


Figura 2. Rappresentazione delle tradizionali catene del valore del legno nella Regione Alpina (fonte: nostra elaborazione)

produzione di bioenergia, che rappresenta ad oggi la principale destinazione dei residui legnosi, ma anche per la produzione di materiali innovativi (e.g., compositi di legno e carbone attivo) e prodotti (e.g., secchiello per champagne di corteccia e ARBOFORM®).

In Tabella 1 sono riportati i principali prodotti innovativi identificati secondo le informazioni fornite dal campione di attori della filiera foresta-legno coinvolti nell'indagine evidenziando la tipologia di residui legnosi impiegati.

#### Scarti legnosi da bosco

Gli aghi e rami di piccole dimensioni derivanti dalle utilizzazioni dei boschi di conifere possono essere impiegati per la produzione di olii essenziali. Nello specifico, un esempio interessante è quello della Magnifica Essenza s.r.l. (<https://www.magnificaessenza.it/>), localizzata in Val di Fiemme in provincia di Trento, che tra le sue linee di produzione né ha sviluppata una a km zero per la valorizzazione degli scarti derivanti dalle utilizzazioni forestali nei boschi di conifere della Magnifica Comunità di Fiemme. Le principali specie locali impiegate per la produzione di olii essenziali è distillati nella sede di Cavalese sono riportati in Tabella 2.

#### Scarti legnosi da segheria

Il progetto CirculAlps ha evidenziato molteplici usi innovativi degli scarti legnosi delle segherie per prodotti *bio-based* dall'elevato valore aggiunto. Tra questi merita menzionare i trucioli derivanti dalla segazione del pino cembro (*Pinus cembra*) che possono essere impiegati per produzione di guanciali e cuscini dalle comprovate proprietà rilassanti e terapeutiche per chi

ha problemi respiratori. In Trentino-Alto Adige, esistono diversi produttori di guanciali e cuscini in cotone o lana con imbottitura aromatica in trucioli di pino cembro. Tali guanciali e cuscini, sono ancora un mercato di nicchia, ma in questi ultimi anni si riscontra una domanda crescente da parte dei consumatori.

Inoltre, i residui legnosi da segheria possono essere impiegati per la produzione della fibra di legno o lana di legno (*wood wool*). La lana di legno è un prodotto di origine vegetale derivante dagli scarti di lavorazione del legno, principalmente scarti del processo di prima trasformazione del legname, i quali vengono frantumati e scomposti in fibre di legno (BERGER *et al.* 2020). Successivamente, le fibre di legno vengono compattate e trasformate in pannelli impiegando leganti (es. emulsione di cera con solfato di alluminio) o resine. La lana di legno viene impiegata nella bioedilizia per via delle sue caratteristiche di essere completamente riciclabile e biocompatibile. Il mercato della lana di legno è in continua espansione grazie ai diversi possibili usi quali ad esempio, nei pannelli isolanti (dopo la mineralizzazione) o per scopi di ingegneria del suolo (esempio di migliore pratica: Lintner Holzbau).

#### Lignina

La lignina è uno dei principali costituenti della biomassa vegetale terrestre. Le fonti di lignina sono principalmente specie con legni teneri (conifere) che vantano un contenuto di lignina più elevato rispetto ai legni duri (latifoglie). La lignina è contenuta anche in altre risorse come la paglia dell'erba. La sua struttura chimica varia con le specie vegetali e la provenienza geografica.

Tabella 2. Materia prima usata per la produzione di olii essenziali.

Specie impiegata	Materia prima usata (kg)	Olio essenziale estratto (ml)	Ore distillazione
Pino cembro ( <i>Pinus cembra</i> )	356	3180	1,5
Pino mugo ( <i>Pinus mugo</i> )	247	505	3
Abete rosso ( <i>Picea abies</i> )	396	1005	3
Abete bianco ( <i>Abies alba</i> )	409	1710	3,15

Fonte: ASAVINEI (2021)

L'isolamento della lignina avviene attraverso diversi processi (e.g., Kraft, solfito, organosolv), che possono influenzare la sua struttura chimica finale. Inoltre, dopo l'estrazione, è necessaria la depolimerizzazione della lignina per produrre frammenti di lignina monomerica che possono servire per la sintesi di nuovi prodotti di alto valore mediante catalisi chimica o biologica. Alcuni prodotti a base di lignina stanno attualmente entrando nel mercato. La fonte più abbondante di lignina è prodotta come sottoprodotto a basso prezzo dall'industria della carta, il flusso laterale della lignina nell'industria della carta viene utilizzato principalmente per la generazione di energia in loco, nonostante l'esistenza di molte altre applicazioni della lignina in mercati di nicchia quali ad esempio: componenti di adesivi, agenti di dispersione, fonte di vanillina composta di alto valore, fibre di carbonio. Questi mercati di nicchia possono rappresentare un importante sistema di valorizzazione della lignina in prodotti dall'elevato valore aggiunto.

### Corteccia

La corteccia è attualmente un residuo rilevante prodotto dalla filiera foresta-legno poco

apprezzato per la produzione di bioenergia. La corteccia ha una struttura porosa che vanta una particolare resistenza alla trasmissione del calore. Questo trae origine dalla sua funzione nell'albero, cioè quella di proteggere le fibre del legno dove scorrono i canali linfatici dagli attacchi esterni. Su questa base si possono ricavare due usi significativi e non sfruttati della corteccia. Nello specifico la corteccia può essere utilizzata come isolante termico (es. [www.barkinsulation.com](http://www.barkinsulation.com)) per produrre oggetti (Figura 3) o interni di design (Figura 4). In alternativa, attraverso l'estrazione dei tannini, può essere impiegata per la produzione di schiume (Figura 5).

La corteccia degli alberi può avere spessori variabili e una diversa concentrazione di tannini estratti, a seconda delle specie arboree, dell'ambiente e delle condizioni climatiche. La concentrazione di tannino nell'abete rosso può variare tra il 50% (estrazione con acqua calda) e il 40% (estrazione con acqua fredda) di essiccato estratti (DINC *et al.* 2017). I tannini dalla corteccia delle conifere possono essere impiegati per produrre bioschiume con elevato isolamento termico, caratteristiche ignifughe, atossicità durante potenziali processi di combustione e basso impatto ambientale (BRUSCATO



Figura 3 – Corteccia usata come isolante termico per bottiglie (fonte: [www.barkinsulation.com](http://www.barkinsulation.com)).



Figura 4 – Pannelli di corteccia per interior design ed uso coibente (fonte: Salzburg University of applied sciences).



Figura 5 – Bioschiume di tannino (fonte: Salzburg University of applied sciences).

et al. 2019). La capacità di isolamento termico delle bioschiume è paragonabile a quella delle schiume sintetiche derivate dal petrolio, ma come dimostrato da recenti studi queste schiume sono caratterizzate da minori impatti sull'ambiente (GONZÁLEZ-GARCÍA et al. 2016). Le bioschiume possono essere ampiamente utilizzate, ad esempio, nel settore residenziale e automobilistico, nei sistemi di depurazione e possono potenzialmente sostituire il polistirene.

## Conclusioni

La filiera foresta-legno tradizionale presuppone l'allocazione dei residui legnosi, derivanti dalle utilizzazioni forestali e dal processo di trasformazione del legname, per la produzione di bioenergia. In questi ultimi anni, alternativamente al tradizionale uso energetico finalizzato ad alimentare gli impianti di teleriscaldamento e cogenerazione, si stanno sviluppando usi alternativi e innovativi dei residui legnosi. Tali prodotti innovativi si inseriscono in una prospettiva sia di *cascading-in-time* allungando il tempo di vita durante il quale le risorse restano nel sistema, sia di *cascading-in-value*, aumentando il valore aggiunto economico e ambientale. Inoltre, questi prodotti alternativi hanno l'innegabile vantaggio, rispetto all'uso bioenergetico, di ridurre le emissioni di gas clima alteranti in atmosfera. Pertanto, si può

asserire che i prodotti innovativi a base di residui legnosi sono esempi interessanti di valorizzazione degli scarti dei processi produttivi in una prospettiva di bioeconomia circolare come enfatizzato dalla Comunicazione della Commissione Europea “Towards a circular economy: A zero waste program for Europe” del 2014 e dal nuovo *EU Circular Economy Action Plan* del 2020. In tal senso, una produzione efficiente sotto il profilo delle risorse e l'uso di bio-prodotti, riduce la quantità di rifiuti e consente il riciclaggio dei materiali, quindi una bioeconomia basata sulle risorse è possibile, solo quando ogni albero viene utilizzato per intero, al fine di aumentare il valore aggiunto dei suoi prodotti e sotto-prodotti (ATENA, SCHNABEL 2018).

In conclusione si può asserire che il futuro di una bioeconomia circolare nella Regione Alpina, è fortemente legato all'uso della materia prima legnosa e dei suoi residui in modo sostenibile e innovativo. Prendere come esempio le regioni d'oltralpe, che attualmente stanno sviluppando propri percorsi di sviluppo verso una maggiore sostenibilità, con una strategia globale connessa alla bioeconomia, può rappresentare un interessante punto di partenza (SCHNABEL et al. 2020). A tal fine è, inoltre, auspicabile la definizione di una Strategia Alpina per la Bioeconomia Circolare finalizzata alla creazione di una rete transnazionale e interregionale per la valorizzazione della risorsa legnosa e dei suoi residui in modo innovativo e sostenibile.

## Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare tutti i partner del progetto CirculAlps che hanno contribuito allo sviluppo del progetto: Salzburg University of Applied Sciences (Austria), BIOPRO Baden-Württemberg GmbH (Germania); Slovenia Forest Institute (Slovenia), Centro studi di Pieve Tesino dell'Università degli studi della Tuscia e il Centro di ricerca Foreste e Legno di Trento del CREA (Italia).

## BIBLIOGRAFIA

- ASAVINEI A.E., 2021 – *La Val di Fiemme e il principio “Tutto merita una seconda possibilità”*. Tesi Laurea Magistrale in Management della Sostenibilità e del Turismo, Università degli studi di Trento.
- ATENA A., SCHNABEL T., 2018 – *Innovation to foster sustainability and circular economy in Alpine forestry value chain (CirculAlps)*. In: BARBU M.C., PETUTSCHNIGG A., TUDOR E.M. (eds) *Processing Technologies for the Forest and biobased Products Industries*, Kuchl, pp. 37-43
- BERGER F., GAUVIN F., BROUWERS H.J.H., 2020 – *The recycling potential of wood waste into wood-wool/cement composite*. *Construction and Building Materials* 260: 119786.
- BIANCOLILLO I., PALETTO A., BERSIER J., KELLER M., ROMAGNOLI M., 2020 – *A literature review on forest bioeconomy with a bibliometric network analysis*. *Journal of Forest science* 66(7): 265-279.
- BRUSCATO C., MALVESSI E., BRANDALISE R.N., CAMASSOLA M., 2019 – *High performance of macrofungi in the production of mycelium-based biofoams using sawdust — Sustainable technology for waste reduction*. *Journal of Cleaner Production* 234: 225-232.
- CARUS M., DAMMER L., 2018 – *The Circular Bioeconomy—Concepts, Opportunities, and Limitations*. *Industrial Biotechnology* 14(2): 83-91.
- COMMISSIONE EUROPEA, 2012 – *Direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 novembre 2008, relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive*. Commissione Europea, Brussels.
- DENIZ T., PALETTO A., 2022 – *A forest-based circular bioeconomy for sustainable development: a case study of Konya Province, Turkey*. *International Forestry Review* 24(4): 517-533.
- DING T., BIANCHI S., GANNE-CHÉDEVILLE C., KILPELÄINEN P., HAAPALA A., RÄTY T., 2017 – *Life cycle assessment of tannin extraction from spruce bark*. *iForest* 10: 807-814.
- EUROPEAN COMMISSION, 2012a – *Guidance on the Interpretation of Key Provisions of Directive 2008/98/EC on Waste*. [http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/pdf/guidance\\_doc.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/pdf/guidance_doc.pdf).
- EUROPEAN COMMISSION, 2012b – *Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe*.
- EUROSTAT., 2013 – *Agriculture, forestry and fishery statistics*. Eurostat Pocketbooks, European Commission, Luxembourg.
- GEBHARDT M., SPIESKE A., BIRKEL H., 2022 – *The future of the circular economy and its effect on supply chain dependencies: Empirical evidence from a Delphi study*. *Transportation Research Part E* 157: 102570.
- GONZÁLEZ-GARCÍA S., LACOSTE C., AICHER T., FEJOO G., LIJÓ L., MOREIRA M.T., 2016 – *Environmental sustainability of bark valorisation into biofoam and syngas*. *Journal of Cleaner Production* 125: 33-43.
- HETEMÄKI L., ed., 2014 – *Future of the European Forest-Based Sector: Structural changes towards bioeconomy*. *What Science Can Tell Us* 6. European Forest Institute. Joensuu. 108 pp.
- HETEMÄKI L., HANEWINKEL M., MUYS B., OLLIKAINEN M., PALAHI M., TRASOBARES A., 2017 – *Leading the way to a European circular bioeconomy strategy. From Science to Policy* 5. European Forest Institute (EFI), Joensuu.
- INTESA SANPAOLO, 2015 – *La bioeconomia in Europa. 2° Rapporto*. Direzione Studi e Ricerche, Intesa Sanpaolo, Federchimica, Associazione nazionale per lo sviluppo delle biotecnologie.
- LOPEZDEASIAIN M., DÍAZ-GARCÍA V., 2020 – *The Importance of the Participatory Dimension in Urban Resilience Improvement Processes*. *Sustainability* 12:7305.
- MALERBA F., 2000 – *Economia dell'Innovazione*. Carocci editore, Roma.
- MANTAU U., SAAL U., PRINS K., STEIERER F., LINDNER M., VERKERK H., EGGERS J. et al., 2010 – *EUwood Real Potential for Changes in Growth and Use of EU Forests*. Final report. University of Hamburg, Hamburg.
- NOTARO S., GIOS G., PALETTO A., 2006 – *Using the Contingent Valuation Method for ex ante service innovation evaluation*. *Swiss Forestry Journal* 11: 507-512.
- NYBAKK E., CREPELL P., HANSEN E., LUNNAN A., 2009 – *Antecedents to forest owner innovativeness: An investigation of the non-timber forest products and services sector*. *Forest Ecology and Management* 257: 608-618.
- ODEGARD I., CROEZEN H., BERGSMAN G., 2012 – *Cascading of Biomass. 13 Solutions for a Sustainable Bio-Based Economy*. Delft: CE Delft.
- PALETTO A., BECAGLI C., BIANCHETTO E., SACCHELLI S., DE MEIO I., 2021 – *Measuring and assessing forest-based circular bioeconomy to implement the National Sustainable Development Strategy in Italy*. *Austrian Journal of Forest Science* 4: 251-278.
- PALETTO A., BECAGLI C., GERI F., SACCHELLI S., DE MEIO I., 2022 – *Use of Participatory Processes in Wood Residue Management from a Circular Bioeconomy Perspective: An Approach Adopted in Italy*. *Energies* 15: 1011.
- PEAKE S., 2012 – *What is a Low-Carbon Society?* In: HERRING H. (ed.), *Living in a Low-Carbon Society in 2050*, Macmillan Publishers Ltd, pp.15-27.

RAMETSTEINER E., WEISS E., 2006 – *Innovation and innovation policy in forestry: Linking innovation process with systems models*. Forest Policy and Economics 8: 691-703.

ROGERS M., 1998 – *The definition and measurement of innovation*. Economics, Finance and Entrepreneurship, Melbourne Institute of Applied Economic and Social Research, 27 p.

ROSS A., LINDSTRÖM M., HEUTS L., HYLANDER N., LIND E., NIELSEN C., 2014 – *Innovation diffusion of new wood-based materials – reducing the “time to market”*. Scandinavian Journal of Forest Research 29: 394-401.

ŠÁLKA J., LONGAUER R., LACKO M., 2006 – *The effects of property transformation on forestry entrepreneurship and innovation in the context of Slovakia*. Forest Policy and Economics 8: 716-724.

SCHNABEL T., ATENA A., PATZELT D., PALM M., ROMAGNOLI M., PORTOGHESI L., VINCIGUERRA V., PALETTO A., TESTON F., VOLGAR G.E., GREBENG T., KRAJNC N., 2020 – *Possible Opportunities to Foster the Development of Innovative Alpine Timber Value Chains with regard to Bio-Economy and circular Economy*. Cuvillier Verlag, Göttingen.

SCHUMPETER, J.A., 1934) *Theory of Economic Development*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press

SIRKIN T., TEN HOUTEN M., 1994 – *The cascade chain: A theory and tool for achieving resource sustainability with applications for product design*. Resources, Conservation and Recycling 10(3): 213-276.

STEGMANN P., LONDO M., JUNGINGER M., 2020 – *The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters*. Resources, Conservation and Recycling 6: 100029.

VAN BUREN N., DEMMERS M., VAN DER HEIJDEN R., WITLOX F., 2016 – *Towards a Circular Economy: The Role of Dutch Logistics Industries and Government*. Sustainability 8: 647.

VIS M.W., REUMERMAN P., GÄRTNER S., 2014 – *Cascading in the Wood Sector. 1741*. BTG Biomass Technology Group B.V. <http://www.btgworld.com/nl/nieuws/cascading-wood-sectorfinal-report-btg.pdf>.

### Andrea Atena

E-mail: [andrea.atena@fh-salzburg.ac.at](mailto:andrea.atena@fh-salzburg.ac.at)

### Thomas Schnabel

E-mail: [thomas.schnabel@fh-salzburg.ac.at](mailto:thomas.schnabel@fh-salzburg.ac.at)

Salzburg University of Applied Sciences  
Campus Kuchl, Markt, 136a – 5431 Kuchl (Austria)

### Alessandro Paletto

E-mail: [alessandro.paletto@crea.gov.it](mailto:alessandro.paletto@crea.gov.it)

Centro di ricerca Foreste e Legno  
Consiglio per la ricerca in agricoltura  
e l'analisi dell'economia agraria (CREA)  
P.zza Nicolini, 6 – 38123 Trento – loc. Villazzano

**PAROLE CHIAVE:** *bioeconomia, economia circolare, processo innovativo, lana di legno, oli essenziali, bioschiume*

#### RIASSUNTO

Il settore foresta-legno svolge un ruolo fondamentale nella Regione Alpina, contribuendo allo sviluppo dell'economia locale e alla creazione di nuove opportunità lavorative. Il progetto CirculAlps, realizzato nel periodo 2018-2019 nell'ambito della EU Strategy for the Alpine Region (EUSALP), ha fornito un contributo importante per la promozione dell'economia circolare attraverso l'analisi del processo innovativo legato alla valorizzazione dei residui legnosi della filiera foresta-legno. Il presente articolo mostra uno dei principali risultati del progetto CirculAlps concernente la mappatura degli scarti legnosi lungo tutta la filiera e i possibili impieghi degli stessi per la produzione di innovativi prodotti *bio-based* quali ad esempio: pannelli per la bioedilizia impiegando la fibra di legno; oli essenziali attraverso la lavorazione degli aghi e rametti di conifere; bioschiume impiegando il tannino estratto dalla corteccia. Tutte queste innovazioni di prodotto sono interessanti esempi di valorizzazione degli scarti dei processi produttivi in una prospettiva di bioeconomia circolare come richiesto dal nuovo EU Circular Economy Action Plan (2020).

**KEYWORDS:** *bioeconomy, circular economy, innovative process, wood wool, essential oils, biofoams*

#### ABSTRACT

The forest-wood sector plays a fundamental role in the Alpine Region providing an important contribution to the development of local economy and the creation of new job opportunities. The CirculAlps project – carried out in the period 2018-2019 in the context of the EU Strategy for the Alpine Region (EUSALP) – has provided an important contribution to the promotion of the circular economy in the Alpine forest-wood sector through mapping the innovative process related to the valorisation of wood residues. This paper show one of the most important results of the CirculAlps project about mapping of wood residues throughout the supply chain and potential uses of them for the production of innovative bio-based products such as for example: panels used in green building from wood fibers; essential oils using needles and twigs of conifers; biofoams using tannin extract from bark. All these innovations of product are interesting examples of valorization of waste from production processes in a circular bioeconomy perspective as required by the new EU Circular Economy Action Plan (2020).