



# DENDRONATURA

Semestrale dell'Associazione Forestale del Trentino - Anno 41 - Numero 2 - 2° semestre 2020  
ISSN 1121-7782



RIVISTA SEMESTRALE  
DELL'ASSOCIAZIONE FORESTALE  
DEL TRENTINO

Direttore: Alessandro Paletto

Direttore responsabile: Giustino Basso

Comitato editoriale: Roberto Bonfioli, Alessandro Ianeselli, Roberto Leonardi, Alessandro Paletto, Leonardo Pontalti, Valentina Rossetti, Matteo Sartori, Remo Tomasetti, Maria Fulvia Zonta.

Comitato scientifico: Filippo Brun, Marco Ciolli, Isabella De Meo, Donato S. La Mela Veca, Alessandra Lagomarsino, Alessandro Paletto, Sandro Sacchelli, Tommaso Sitzia.

Impaginazione: Arianna Nardon.

Direzione-Redazione-Abbonamenti-Vendite:

Associazione Forestale del Trentino

c/o MUSE Museo delle Scienze

Corso del Lavoro e della Scienza, 3 – 38122 Trento

tel. + 39 0461 270311

E-mail: rivista.dendronatura@gmail.com

www.dendronatura.net - www.muse.it

Abbonamento annuo: € 25,00

con versamento in c/c postale N. 14448385

con versamento in c/c bancario IBAN

IT31J0200801803000046069501 (Unicredit - intestato

Ass. For. del Trentino)

**1 copia € 12,50 + spese postali (arretrati il doppio)**

Sito: [www.dendronatura.net](http://www.dendronatura.net)

E-mail: [alessandro.ianeselli@gmail.com](mailto:alessandro.ianeselli@gmail.com)

Stampa: Esperia Srl - Lavis (TN).

Autorizzazione del Tribunale di Trento

n. 14331 del 24.10.1979



“Il simbolo che introduce l'articolo sta a significare che lo stesso è stato sottoposto in forma anonima all'esame di un revisore esterno”

In copertina *Cane* di Ivan Zanoni – 2001 - 66,7x103,3x21,0 cm – ferro battuto arrugginito

Ivan Zanoni è nato a Caldes in Val di Sole nel 1971. Ha frequentato l'Istituto d'arte Alessandro Vittoria di Trento. Figlio maggiore dello scultore Luciano lavora il ferro accanto al padre, nella stessa officina-laboratorio, usando gli stessi attrezzi e la medesima tecnica. Il suo mondo però è completamente diverso da quello del padre. Mentre le opere di Luciano Zanoni ci propongono la realtà del regno vegetale con particolare riferimento all'ambiente della Val di Sole, Ivan riproduce gli animali. La lavorazione del ferro è preceduta da parte di Ivan da una un'attenta preparazione grafica che costituisce la base per la successiva concretizzazione dell'opera attraverso la forgia ed il maglio.

Chi ha scritto di lui (Fiorenzo Degasperi, Federico Mazzonelli ed altri) ha evidenziato come nelle sculture di Ivan si trovi qualcosa di fortemente reale e allo stesso tempo di fortemente astratto. L'interpretazione realistica del soggetto animale ci viene offerta attraverso elementi singoli accostati sapientemente l'uno all'altro, spesso solo sbizzati che ci offrono, unendo vuoti e pieni, l'essenza di una riproduzione realistica attraverso una rappresentazione concettuale.

## SOMMARIO

### IN QUESTO NUMERO

6

**Ilaria Biancolillo, Claudia Becagli, Elisa Bianchetto, Isabella De Meo, Alessandro Paletto**

*Il ruolo del settore forestale nella strategia nazionale per lo sviluppo sostenibile (SNSVS)* 8

**Sara Bergante, Laura Rosso, Gianni Facciotto**

*Risultati produttivi in cedui biennali e quinquennali di pioppo, salice e robinia coltivati nel Nord Italia* 24

**Sara Bergante, Manuela Plutino, Gianni Facciotto, Pier Mario Chiarabaglio, Francesco Pelleri**

*Produzione di biomassa con specie a rapida crescita in impianti policiclici: vantaggi colturali e confronto con impianti SRC puri* 32

**Domenico Coaloa, Gianni Facciotto, Laura Rosso, Sara Bergante**

*Biomasse legnose per uso energetico da residui e scarti delle utilizzazioni forestali e di potatura delle colture legnose agrarie in Italia* 40

**Raffaele Zanchini, Liam Pippinato, Francesca Poratelli, Stefano Bruzzese, Simone Blanc, Filippo Brun**

*Un'analisi preliminare dei consumi di pellet in Piemonte: il ruolo delle certificazioni* 48

**Alberto Cadei, Stefano Campeotto, Andrea Argnani e Stefano Grigolato**

*Indagine preliminare sulle emissioni di CO<sub>2</sub> ricadenti nelle operazioni di cippatura in relazione all'accessibilità dei cantieri* 60

**Stefano Campeotto, Veronica Barbiero, Andrea Argnani, Stefano Grigolato**

*Misure sull'efficienza energetica di un essiccatore a letto mobile per il miglioramento qualitativo del cippato* 70

**Bianchetto Elisa, Becagli Claudia, Sanz Canencia Isaac**

*Effetti a breve termine dei diradamenti sulla vegetazione del sottobosco in pinete di pino nero (Pinus nigra j.f. Arnold) in Toscana.* 76

### APPUNTI

**Mauro Leveghi**

*RIPARTIRE DAL BOSCO. Dalla tempesta Vaia, agli effetti dei cambiamenti climatici in montagna: il Trento Film Festival accende un faro permanente sull'ambiente* 91

### RECENSIONI

*"Attraverso l'Autonomia e la Storia forestale. Donato Nardin" di Mario Cerato* 93

ILARIA BIANCOLILLO, CLAUDIA BECAGLI, ELISA BIANCHETTO, ISABELLA DE MEO, ALESSANDRO PALETTO

# *Il ruolo del settore forestale nella strategia nazionale per lo sviluppo sostenibile (SNSvS)*

## *Introduzione*

Nel 2017, il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ha pubblicato la Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile (SNSvS) con il fine di declinare gli obiettivi strategici dell’Agenda 2030 delle Nazioni Unite per lo sviluppo sostenibile nell’ambito della programmazione economica, sociale ed ambientale. La SNSvS è un documento politico che può essere considerato sia un aggiornamento della “Strategia d’azione ambientale per lo sviluppo sostenibile in Italia 2002-2010”, sia uno strumento strategico per rilanciare il concetto di “sviluppo sostenibile” a livello nazionale tenendo nella debita considerazione quattro principi guida: integrazione, universalità, inclusione, trasformazione.

A partire dai 17 obiettivi e 169 target dell’Agenda 2030, la SNSvS è stata strutturata in cinque principali scelte corrispondenti a cinque P (*Personae, Pianeta, Prosperità, Pace, Partnership*) ciascuna delle quali formata da un sistema di scelte strategiche declinate in obiettivi strategici nazionali. Inoltre, la SNSvS è stata predisposta allo scopo di consentire un’integrazione tra i tre pilastri della sostenibilità (ambientale, economica, sociale) includendo, al contempo, le conoscenze, le competenze e i punti di vista dei portatori d’interesse (*stakeholder*). In altre parole, la SNSvS promuove un modello di sviluppo equo e sostenibile basato su un approccio inclusivo, dove le competenze e le conoscenze specifiche sui diversi temi di intervento sono fornite dai portatori d’interesse sia istituzionali (e.g., pubbliche

amministrazioni nazionali e locali) sia non istituzionali (e.g., attori della filiera forestale-legno, agenzie private di sviluppo, operatori del settore eco-turistico, associazioni ambientaliste).

Nell’ambito dell’implementazione della SNSvS, il settore forestale può svolgere un ruolo chiave nel conseguire diversi obiettivi strategici nazionali riguardanti la gestione sostenibile delle risorse naturali e la fornitura di beni e servizi ecosistemici utili all’uomo. Con particolare riferimento agli aspetti legati alla sostenibilità economica, il settore forestale nazionale ha la potenzialità di svolgere un ruolo fondamentale nel perseguimento delle seguenti scelte e obiettivi strategici della SNSvS:

- Area prosperità. Scelta III. Affermare modelli sostenibili di produzione e consumo:

o Obiettivo strategico III.1 Dematerializzare l’economia, migliorando l’efficienza dell’uso delle risorse e promuovendo meccanismi di economia circolare;

o Obiettivo strategico III.5 Abbattere la produzione di rifiuti e promuovere il mercato delle materie prime seconde;

o Obiettivo strategico III.7 Garantire la sostenibilità di agricoltura e silvicoltura lungo l’intera filiera.

- Area prosperità. Scelta IV. Decarbonizzare l’economia:

o Obiettivo strategico IV.1 Incrementare

l'efficienza energetica e la produzione di energia da fonte rinnovabile evitando o riducendo gli impatti sui beni culturali e il paesaggio;

o Obiettivo strategico IV.3 Abbattere le emissioni climalteranti nei settori non-ETS.

Osservando gli obiettivi strategici nazionali sopramenzionati si evidenzia come il settore forestale sia uno dei pilastri portanti della bioeconomia nazionale come sottolineato anche dalla Strategia Italiana per la Bioeconomia (BIT), pubblicata nel 2017 dopo la consultazione dei portatori d'interesse dei differenti settori coinvolti. Le foreste, con una superficie di 10.982.013 di ettari, corrispondenti a circa il 37% della superficie totale del territorio nazionale (INFC, 2015), contribuiscono all'assorbimento del 10% delle emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) nazionali e forniscono una materia prima pari a 7.7 milioni di m<sup>3</sup> (anno 2012) destinata per circa il 70% ad uso energetico e per il restante 30% ad usi industriali (EUROSTAT, 2013). Inoltre, la superficie forestale nazionale è aumentata progressivamente negli ultimi 30 anni, con un tasso di incremento annuo pari allo 0,3% dal 1985 al 2005 e allo 0,2% dal 2005 al 2015 (RAFITALIA, 2019) con un conseguente aumento della biomassa legnosa disponibile e del carbonio temporaneamente stoccato nei cinque pools (biomassa epigea e ipogea, legno morto, suolo e lettiera) previsti dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC).

Al di là dell'attuale contributo del settore forestale nazionale, è interessante soffermarsi su quali potenzialmente possono essere i margini di miglioramento del settore al fine di implementare la SNSvS. In primo luogo, la filiera foresta-legno deve essere gestita secondo il modello circolare tipico dell'economia circolare, basato sulla struttura gerarchica a 4R ("Ridurre", "Riutilizzare", "Riciclare", "Recuperare"), allo scopo di ridurre gli impatti negativi sull'ambiente e le emissioni di gas clima alteranti in atmosfera, e minimizzare i rifiuti del processo di produzione (PALETTO *et al.*, 2018; MOHAN *et al.*, 2019). Nell'economia lineare il ciclo di vita dei prodotti parte dall'estra-

zione delle materie prime, prosegue con la produzione ed il consumo, per poi concludersi con lo smaltimento degli scarti e dei prodotti stessi divenuti rifiuti (GIORGI *et al.*, 2017). L'economia circolare, invece, si basa sull'allungamento della vita dei prodotti, sull'impiego di materie prime secondo tassi di utilizzo compatibili con il loro tasso di rigenerazione, sul riutilizzo dei prodotti, sulla riparazione e sulla rigenerazione attraverso l'innovazione tecnologica (KIRCHHERR *et al.*, 2017). In secondo luogo, per migliorare il settore forestale nazionale implementando la SNSvS, gli output della filiera foresta-legno devono essere allocati seguendo l'approccio "a cascata" che implica l'uso delle materie prime secondo una priorità basata sul valore aggiunto potenziale (CICCARESE *et al.*, 2014; PROSKURINA *et al.*, 2016). In altre parole, l'uso energetico della risorsa legnosa deve essere considerato l'ultima opzione percorribile, dopo aver valutato tutte le possibili opzioni di riutilizzo e di riciclaggio; infatti, l'impiego energetico è quello con il minor valore aggiunto e il più corto ciclo di vita (VAN BUREN *et al.*, 2016). Sulla base di questi principi, la filiera foresta-legno può essere valutata in termini di performance in una prospettiva di bioeconomia circolare per valorizzare gli assortimenti e gli scarti legnosi ritraibili dal bosco e allo stesso tempo ridurre gli impatti negativi sull'ambiente generati dal ciclo produttivo.

A partire dalle suddette considerazioni, il presente studio si è prefissato l'obiettivo di identificare una serie di indicatori idonei a misurare la performance del settore forestale a scala locale in una prospettiva di bioeconomia circolare tenendo in considerazione le tre dimensioni della sostenibilità (ambientale, economica, sociale). Lo studio è stato condotto nell'ambito del progetto "Sistema di Supporto alle Decisioni per il miglioramento della performance della filiera foresta-legno in una prospettiva di bioeconomia circolare (FOR.CIRCULAR)" finanziato nell'ambito del "Bando per promuovere progetti di ricerca a supporto dell'attuazione della Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile (SNSvS)".

## Materiali e metodi

Il presente studio è stato strutturato in tre fasi di lavoro finalizzate ad identificare un set di indicatori idonei per misurare la performance del settore forestale in una prospettiva di bioeconomia circolare: (1) ricerca bibliografica concernente le pubblicazioni sulla bioeconomia in generale e sulla bioeconomia circolare in particolare; (2) identificazione di pubblicazioni specifiche riguardanti gli indicatori di bioeconomia circolare applicate a differenti settori produttivi; (3) predisposizione di una lista di indicatori di bioeconomia circolare idonei per essere applicati al settore forestale a scala locale. Nella prima fase, le pubblicazioni sono state identificate nella banca dati Scopus (<https://www.scopus.com>) utilizzando le parole chiave: “bioeconomy” e “circular bioeconomy” + “forest”. Le suddette parole chiave sono state cercate nel titolo, negli abstract e nelle keywords delle singole pubblicazioni peer-review considerando il periodo di tempo compreso tra il 2003 ed il 2020 (timeframe). Tutte le pubblicazioni presenti nel database Scopus sono state esportate in formato .csv ed elaborate tramite un’analisi di rete bibliometrica (*bibliometric network analysis*) utilizzando il software VOSviewer (versione 1.6.11). Il software VOSviewer è stato sviluppato da VAN ECK E WALTMAN (2014; 2020) per la creazione, la visualizzazione e l’esplorazione di mappe basate sui dati di rete bibliometrica. Dal punto di vista teorico, l’analisi della rete bibliometrica si basa sulla combinazione dell’approccio bibliometrico e della *social network analysis* (SNA). Generalmente, l’approccio bibliometrico viene utilizzato per analizzare e misurare la produttività scientifica su un argomento specifico adottando tre tipi di indicatori bibliometrici: (1) indicatori di quantità (che misurano la produttività di un ricercatore); (2) indicatori di qualità (che misurano le prestazioni della produzione di un ricercatore); (3) indicatori strutturali (che misurano le connessioni tra pubblicazioni, autori e aree di ricerca). Dal punto di vista pratico, la SNA ha l’obiettivo di comprendere le relazioni tra tutte le componenti di un sistema

(ad esempio tra gli attori, le organizzazioni, i paesi, i concetti, le parole) per identificare e analizzare il ruolo chiave di alcuni componenti nel sistema stesso (WASSERMAN, FAUST, 1994). La SNA è una tecnica tipica delle scienze sociali ed economiche finalizzata ad analizzare il ruolo chiave svolto da alcuni individui o organizzazioni nei processi decisionali o nella trasmissione delle informazioni o conoscenze all’interno del sistema (PALETTO *et al.*, 2015). Nella *bibliometric network analysis* lo stesso approccio viene adottato per analizzare il ruolo chiave svolto da alcune organizzazioni (università o istituti di ricerca) e paesi nella disseminazione della conoscenza tecnico-scientifica oppure nel comprendere le relazioni tra parole chiave adottate nelle pubblicazioni scientifiche (BIANCOLILLO *et al.*, 2020). Inoltre, l’analisi della rete bibliometrica è uno strumento utile per valutare quantitativamente tendenze e modelli della letteratura scientifica e comprendere nel dettaglio i cluster scientifici in essere (OTTE, ROUSSEAU, 2002). In tal senso, recenti studi sulle scienze ambientali hanno utilizzato l’analisi della rete bibliometrica per analizzare la letteratura scientifica sul capitale naturale, sui servizi ecosistemici, sul pagamento per i servizi ambientali, sulla sicurezza alimentare e sul turismo sostenibile (BUONOCORE *et al.*, 2018; PAUNA *et al.*, 2018, 2019; SKAFT *et al.*, 2020; DEMIROGLU, HALL, 2020; PALETTO *et al.*, 2020). Nel presente studio è stata effettuata l’analisi della co-occurrence, analisi questa finalizzata ad evidenziare il numero di pubblicazioni in cui due parole chiave si trovano assieme nel titolo, nell’*abstract* o nella lista di *keywords*. L’analisi della co-occurrence ha consentito di creare mappe di rete sulle parole chiave utilizzate nella letteratura scientifica sulla bioeconomia e sulla bioeconomia circolare con specifico riferimento al settore forestale. Queste informazioni hanno consentito di valutare dal punto di vista quantitativo la produzione scientifica e di selezionare i lavori più utili alla definizione di un set di indicatori finalizzati all’analisi della performance del settore forestale secondo i principi della bioeconomia e dell’economia circolare.

Nel corso della seconda fase, sono state selezionate le pubblicazioni che riportavano indicatori relativi alla bioeconomia circolare o a tematiche ad essa connesse. Ad integrazione delle pubblicazioni scientifiche riportate nel database Scopus sono state analizzate tutte le strategie nazionali per la bioeconomia pubblicate dagli stati europei. Da questa analisi sono emersi 53 indicatori applicabili a livello regionale. Successivamente sono stati esaminati i documenti progettuali e strategici dell'Unione Europea, della *Food and Agricultural Organization* (FAO) e dell'*European Forest Institute* (EFI) in cui sono elencati 80 indicatori. L'analisi degli articoli scientifici indicizzati nel database di Scopus ha permesso di identificare 112 pubblicazioni legate al tema, di cui 18 relative specificatamente ad indicatori per la bioeconomia in generale, e soltanto una focalizzata sul settore forestale. Nei suddetti documenti sono stati individuati 5 indicatori di ambito forestale, 53 indicatori relativi alla bioeconomia in generale e 6 indicatori relativi alla bioeconomia circolare. Parte degli indicatori individuati nei diversi documenti si trovano in modo ricorrente, o sono simili tra loro; in questi casi gli indicatori sono stati aggregati in uno unico. In ultima analisi, nella terza fase, la lista preliminare di indicatori per la bioeconomia circolare nel settore forestale è stata vagliata e analizzata dai ricercatori coinvolti nel progetto FOR.CIRCULAR nel corso di un brainstorming session. Durante la sessione, i singoli indicatori sono stati valutati sulla base dei tre seguenti criteri: congruità con la tematica della bioeconomia circolare, applicabilità alla filiera foresta-legno locale, misurabilità e replicabilità in differenti contesti territoriali. Ciascun indicatore identificato nella fase precedente è stato valutato, assegnando per ciascun criterio un punteggio da 0 (non pertinente) a 3 (molto alto). Soltanto gli indicatori che presentavano per tutti i criteri valori medi sopra il 2 sono stati inclusi nella lista finale.

## Risultati

### Literature review

La fase di analisi della letteratura (literature review) ha consentito di identificare nel database Scopus (2003-2020) 1.756 pubblicazioni inerenti alla bioeconomia e 225 pubblicazioni inerenti alla bioeconomia forestale. Le pubblicazioni sulla bioeconomia forestale corrispondono al 12,8% delle pubblicazioni totali sulla bioeconomia. In media sono stati pubblicati ogni anno 97,6 articoli sulla bioeconomia (deviazione standard  $SD=115,0$ ; mediana=49) e 12,5 articoli sulla bioeconomia forestale ( $SD=16,9$ ; mediana=2). Osservando il numero di documenti sulla bioeconomia – così come sulla bioeconomia forestale ma con un trend più contenuto – si evidenzia una tendenza crescente nel periodo di tempo studiato (Figura 1). Tuttavia, questa crescita è caratterizzata da alcune differenze: nel primo periodo (2003-2012) sono stati pubblicati ogni anno in media 20,4 documenti sulla bioeconomia ( $SD=20,0$ ; mediana=16), mentre nel secondo periodo (2013-2020) sono stati pubblicati ogni anno in media 194,0 documenti ( $SD=111,6$ , mediana=178). Allo stesso modo, nel primo periodo (2003-2012) sono stati pubblicati in media 1,7 documenti all'anno sulla bioeconomia forestale ( $SD=2,7$ ; mediana=1), mentre nel secondo periodo (2013-2020) il numero medio di pubblicazioni all'anno è stato di 26,0 ( $SD=17,6$ ; mediana=26). Riguardo alla bioeconomia circolare in generale e alla bioeconomia circolare specifica per l'ambito forestale, la ricerca nel database Scopus ha rilevato 293 pubblicazioni per la prima e 31 pubblicazioni per la seconda tematica di ricerca. Tali pubblicazioni sono concentrate nel periodo compreso tra il 2015 e il 2020. Le pubblicazioni sulla bioeconomia circolare in ambito forestale corrispondono al 10,6% delle pubblicazioni totali sulla bioeconomia circolare. In media sono stati pubblicati ogni anno 48,8 articoli sulla bioeconomia circolare ( $SD=45,0$ ; mediana=41,5) e 5,2 articoli sulla bioeconomia circolare in ambito forestale ( $SD=6,4$ ; mediana=2,5). Anche in questo caso, il numero di pub-

blicazioni sulla bioeconomia circolare mostra una tendenza crescente nel periodo di tempo studiato, in misura maggiore rispetto alla bioeconomia circolare riferita all'ambito forestale (Figura 1).

all'impatto della suddetta Strategia sulla comunità scientifica e sui responsabili politici (policy makers). Nel 2003 sulla rivista the Forestry Chronicle è stato pubblicato il primo articolo sulla bioeconomia forestale dal

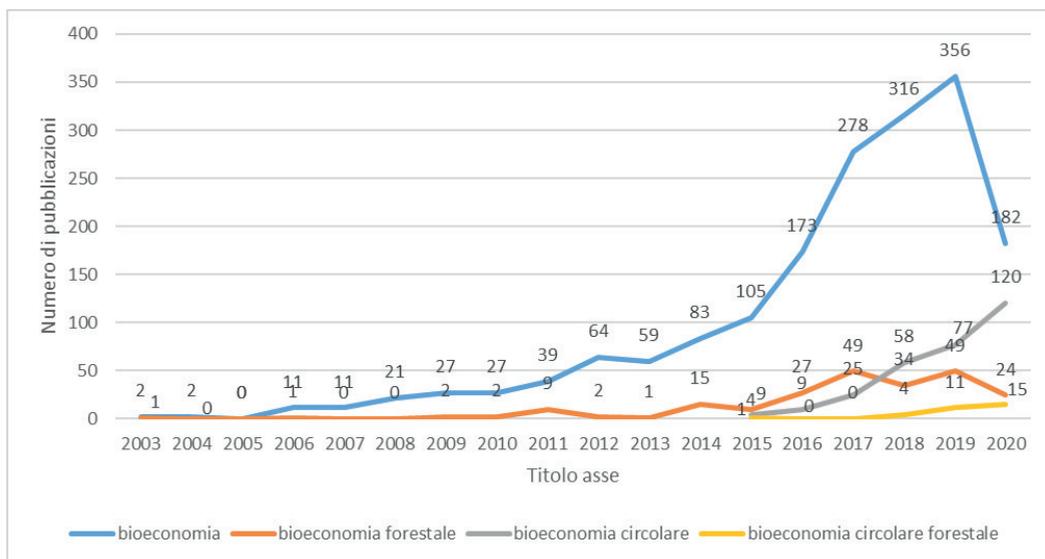


Figura 1 - Tendenze delle pubblicazioni sulla bioeconomia, bioeconomia forestale, bioeconomia circolare e bioeconomia circolare forestale a livello internazionale (periodo 2003-2020).

Questi risultati evidenziano come la bioeconomia circolare possa essere considerata un sotto-insieme della bioeconomia dove la connessione tra bioeconomia ed economia circolare è enfatizzata con particolare riferimento alla riduzione nell'uso delle risorse (Reduce), al riutilizzo (Reuse), al riciclaggio (Recycle) e al recupero energetico (Recover). I primi lavori sulla bioeconomia sono stati pubblicati a partire dall'anno 2003. Queste prime pubblicazioni si sono focalizzate sui potenziali vantaggi economici legati allo sviluppo della bioeconomia in differenti contesti geografici quali l'Europa (COOKE, 2006), il Nord America (WETZEL *et al.*, 2006) e la Cina (LI *et al.*, 2006). È interessante sottolineare che la maggior parte dei documenti sulla bioeconomia europea sono stati prodotti in seguito alla pubblicazione della Strategia dell'Unione Europea (UE) per la Bioeconomia (2012). Il crescente numero di pubblicazioni dopo il 2013 è dovuto anche

titolo "La bioeconomia e il settore forestale: mercati in evoluzione e nuove opportunità" (DUCHESNE, WETZEL, 2003). Gli autori hanno sottolineato il potenziale impatto economico della bioeconomia sui seguenti settori economici del Canada: energia e trasporti, prodotti alimentari e agroalimentari, prodotti farmaceutici, prodotti nutraceutici, silvicoltura, materiali e manifattura, gestione dei rifiuti e una grande varietà di beni di consumo. Tre anni dopo, gli stessi autori hanno stimato il valore di molti bio-prodotti di origine forestale e dato indicazioni concrete del loro potenziale contributo a un'economia sostenibile per il Canada (WETZEL *et al.*, 2006). Nel 2011 sono stati pubblicati i primi studi incentrati sulla bioeconomia forestale in Europa. Tali pubblicazioni hanno sottolineato i risultati della settima conferenza sulla piattaforma FTP (*Forest-Based Sector Technology Platform*) dal titolo "Pacing Innovation for the Bioeconomy" (FOJUTOWSKI,

STRYKOWSKI, 2011) e il ruolo potenziale della selvicoltura e dell'agro-forestazione per la bioeconomia europea (KIKUCHI, 2011). Inoltre, anche in questo caso, l'andamento delle pubblicazioni scientifiche inerenti alla bioeconomia forestale è stato influenzato dalla strategia dell'Unione Europea per la Bioeconomia (2012) con un aumento dei documenti pubblicati a partire dal 2013. Le prime pubblicazioni sulla bioeconomia circolare sono state prodotte nel 2015 e si sono focalizzate sui seguenti settori disciplinari: agro-forestale (VIAGGI 2015; PANNICKE *et al.* 2015), chimica e biocombustibili (KIRCHER 2015), politiche normative (KURPPA 2015). È interessante notare che i documenti sulla bioeconomia circolare sono stati prodotti sia in seguito alla pubblicazione della Strategia UE per la Bioeconomia (2012), sia in seguito all'apparizione nell'agenda politica internazionale dell'economia circolare, al World Economic Forum di Davos del 2014, che in seguito alla comunicazione presentata nello stesso anno dalla Commissione Europea intitolata "*Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe*" (COM(2014)398). Il primo articolo sulla bioeconomia circolare afferente alle foreste è stato pubblicato nel 2015 sulla rivista *Current Opinion in Chemical Biology* con il titolo "*Sustainability of biofuels and renewable chemicals production from biomass*" (KIRCHER 2015). L'autore ha evidenziato il potenziale impatto economico, ambientale e sul mercato del lavoro, della bioeconomia circolare nel settore chimico e dei biocarburanti. Nel 2018, invece, sono state pubblicati i primi lavori incentrati sulle politiche europee riguardanti la bioeconomia circolare nel settore forestale. Tali pubblicazioni mettono in luce il ruolo centrale delle foreste per la bioeconomia circolare europea nell'approvvigionamento di materie prime, nella mitigazione dei cambiamenti climatici, nell'utilizzo delle biomasse legnose secondo l'approccio "a cascata", nella riduzione dei gas serra e degli impatti ambientali (BAIS-MOLEMAN *et al.*, 2018; BELL *et al.*, 2018; HUSGAFVEL *et al.*, 2018; MOSQUERA-LOSADA *et al.*, 2018).

L'analisi della co-occurrence delle parole chiave ha generato 9.854 risultati per la bioeconomia e 370 per la bioeconomia circolare in ambito forestale. Tuttavia, solo 886 parole chiave correlate alla bioeconomia hanno almeno cinque co-occurrence (valore soglia applicato a questa analisi). Le parole chiave più importanti utilizzate nelle pubblicazioni sulla bioeconomia sono state le seguenti: "bioeconomy" (frequenza del 7,03%), seguita da "biomass" (3,39%), "sustainable development" (2,46%), "biotechnology" (2,32%). In modo analogo, le parole chiave più utilizzate riguardo il tema della bioeconomia circolare sono risultate: "bioeconomy" (frequenza del 4,18%), "circular economy" (3,56%), "sustainable development" (2,66%), "biomass" (2,52%). Le mappe delle reti di co-occorrenza delle parole chiave relative alla bioeconomia (Figura 2) e alla bioeconomia circolare (Figura 3) mostrano le 50 parole chiave più utilizzate nella letteratura scientifica internazionale. La dimensione dei cerchi, rappresentati nelle Figure 2 e 3, è proporzionale alla co-occurrence di tale elemento, più breve è la distanza tra gli elementi, più forte è la loro relazione. La mappa della rete delle parole chiave correlate alla bioeconomia è caratterizzata da tre cluster altamente interconnessi. Il cluster rosso si concentra sul ruolo della bioeconomia nella mitigazione dei cambiamenti climatici e nella riduzione della dipendenza dai combustibili fossili. Il nucleo centrale del cluster blu sono le bioraffinerie che possono essere considerate fabbriche multi-prodotto in grado di integrare processi e attrezzature di conversione della biomassa per produrre bio-prodotti (e.g., bio-plastiche) e bioenergia (e.g., biodiesel, elettricità verde, calore e pellet). I cluster rosso e blu sono collegati dalla parola chiave biomass, sottolineando l'importanza delle materie prime (biomassa legnosa) per produrre sia prodotti di basso valore che di alto valore. Il cluster verde si concentra sulla biotecnologia prendendo in considerazione gli aspetti tecnici ed economici.

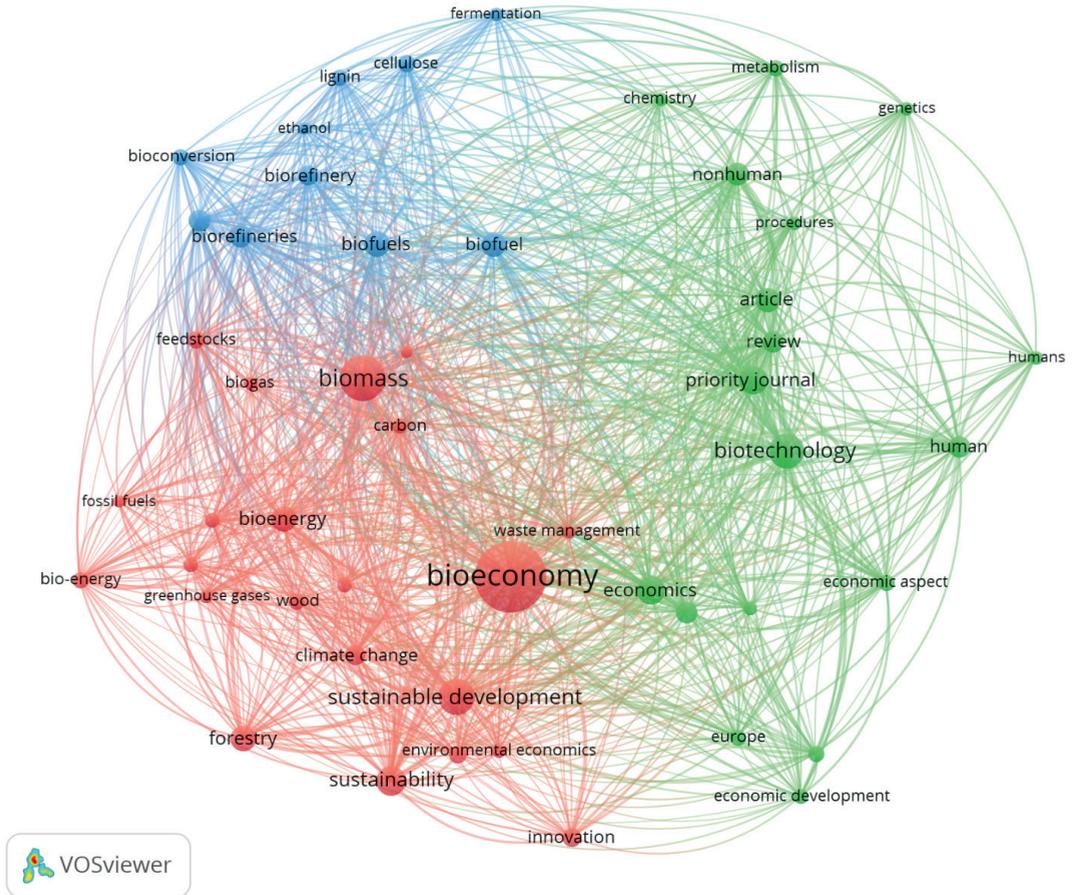


Figura 2 - Mappa della rete di co-occurrence delle 50 parole chiave più utilizzate relativamente alla bioeconomia.

Nella mappa relativa alla bioeconomia circolare si evidenziano tre cluster ampiamente interconnessi. Il cluster blu connette la bioeconomia e l'economia circolare alla mitigazione dei cambiamenti climatici, alla sostenibilità e alla protezione dell'ambiente. La più parte delle pubblicazioni riguardanti il ruolo del settore agro-forestale nella bioeconomia circolare rientra all'interno di questo cluster. Il cluster verde si concentra sulla gestione dei rifiuti, le emissioni di gas serra e gli impatti ambientali quantificati attraverso il *Life Cycle Assessment* (LCA). Questo cluster è anche quello che enfatizza maggiormente gli aspetti economici legati alla bioeconomia circolare.

Infine, il cluster rosso si concentra sulle bioraffinerie e agli aspetti inerenti la produzione di biocombustibili (biogas e biodiesel) attraverso bio-processi quali ad esempio la digestione anaerobica e la fermentazione, utilizzando gli scarti alimentari e industriali nonché le micro-alghe. Come si evince dalla Figura 3, la parola chiave *bioenergy* è strettamente connessa a questo cluster, essendo la produzione di energia uno degli output delle bioraffinerie, ma al contempo consente di collegare il cluster rosso con quello blu, mettendo in evidenza la connessione tra le bioraffinerie e gli impatti positivi in termini di mitigazione dai cambiamenti climatici e di sostenibilità.

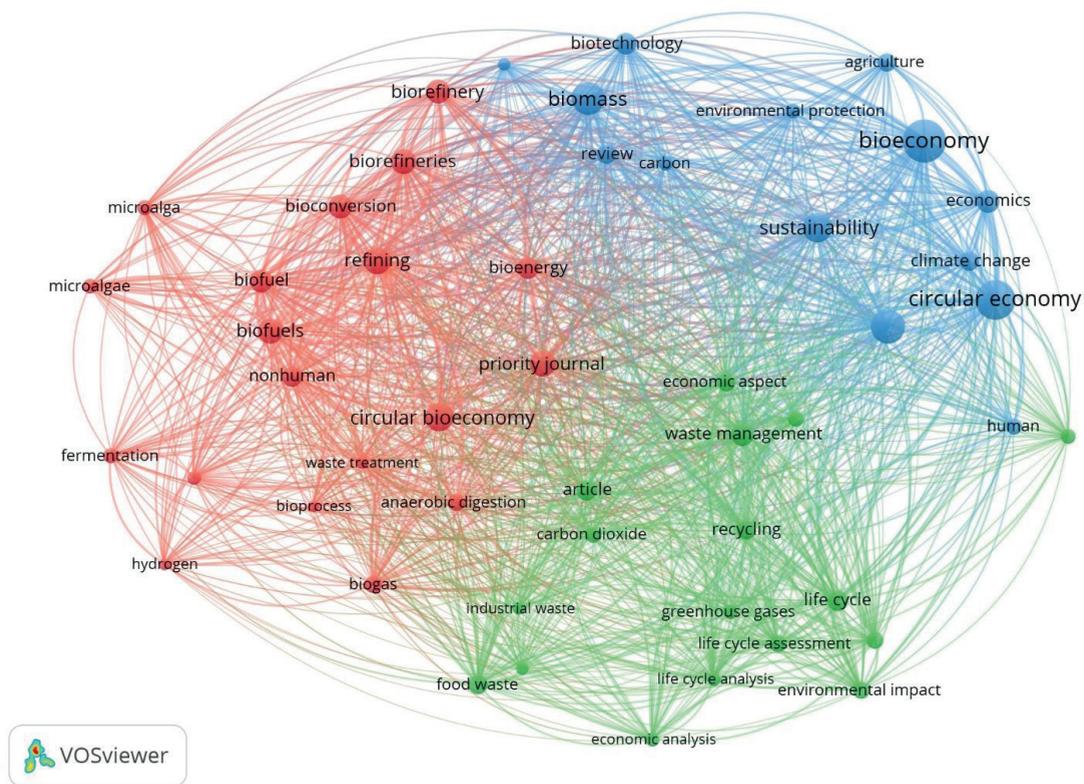


Figura 3 - Mappa della rete di co-occurrence delle 50 parole chiave più utilizzate relativamente alla bioeconomia circolare.

### Indicatori di bioeconomia circolare per il settore forestale

Al termine della fase di valutazione degli indicatori emersi dalla literature review, è stato predisposto un set di 15 indicatori – equamente distribuiti nelle 4R dell'economia circolare – che si sono ritenuti di potenziale applicabilità al settore forestale a scala locale (Tabella 1). Il miglioramento dell'efficienza dei processi produttivi, attraverso la riduzione dell'uso delle risorse naturali impiegate (*Reduce*), può essere quantificato tramite due indicatori: (1) il rapporto tra il valore annuo dei prodotti legnosi ottenuti a seguito degli interventi selvicolturali e il volume medio annuo asportato con le operazioni di utiliz-

zazione boschiva; (2) le emissioni di anidride carbonica per unità di prodotto ottenuto. Quest'ultimo indicatore permette anche di valutare se il processo produttivo è stato efficiente anche in termini di emissioni di gas clima alteranti (i.e. anidride carbonica). L'altro indicatore legato alla riduzione dell'uso delle risorse (*Reduce*) fornisce una valutazione della presenza di una filiera corta attraverso la quantificazione sia della prossimità delle imprese di trasformazione del legno (segherie) al bosco sia della prossimità tra le imprese di prima trasformazione e le imprese di seconda trasformazione del legno (carpenterie e falegnamerie). Il

concetto di filiera corta, così come definito dal Decreto Ministeriale del 2 marzo 2010, consente da un lato di valorizzare la risorsa locale e dall'altro di ridurre gli impatti ambientali dovuti alla movimentazione della materia prima (NIKODINOSKA *et al.*, 2018).

Il riutilizzo (*Reuse*) dei prodotti legnosi ricavati è valutato attraverso cinque indicatori. Il primo è l'indice di flusso lineare espresso come percentuale di materiale che ha un andamento lineare nel processo, ovvero che giunto alla fine del ciclo di vita non viene riciclato. Il secondo è l'indice di utilizzo che quantifica il tempo di vita del prodotto prima di essere avviato al recupero energetico o essere smaltito come rifiuto. Il terzo è l'indicatore del potenziale di riutilizzo rappresentato dalla percentuale di prodotto o materiale che può essere riutilizzato, come ad esempio i tappi in sughero o il legname da costruzione dismesso che può essere trasformato in lamellare o truciolato. Il quarto indicatore riguarda i cicli di riutilizzo, ovvero il numero di cicli in cui può essere reimpiegato un prodotto, esempi possono essere i pallet, le cassette della frutta e i tutori per vigneto che, previo ri-condizionamento e sanificazione possono essere reimpiegati con la stessa funzione. Il quinto è l'indicatore del potenziale di valorizzazione dei prodotti legnosi dismessi, cioè quanto legname da opera precedente utilizzato può essere recuperato e valorizzato nella produzione di nuove infrastrutture e manufatti (il caso ad esempio di vecchie travi recuperate e riutilizzate).

Per il riciclaggio (*Recycle*) sono stati individuati tre indicatori, il primo è dato dal rapporto tra il valore economico degli assortimenti legnosi potenzialmente ritraibili e il valore economico degli assortimenti legnosi realmente ottenuti, il quale indica il grado di trasformazione razionale dei volumi legnosi prelevati a favore degli assortimenti di pregio, i quali hanno generalmente una più lunga vita utile e creano valore aggiunto lungo tutta la filiera. Il secondo indicatore è espresso come apporto della materia prima riciclata alla domanda di materia prima; esso è

valutato come la percentuale di materia prima seconda rispetto alla domanda totale di materia prima. Infine, il terzo indicatore è la percentuale di scarti della lavorazione in bosco utilizzati in filiere ad elevato valore aggiunto, ad esempio per la produzione di biotessuti e prodotti bio-chimici (bio-plastiche). Per il recupero energetico (*Recover*) sono stati individuati quattro indicatori: il primo è dato dalla percentuale di scarti legnosi convertiti in energia sul totale degli scarti in bosco e nelle imprese di prima trasformazione, il secondo quantifica il legname da opera recuperato da infrastrutture e manufatti e convertito in bioenergia, indicando il recupero di energia dai prodotti legnosi dismessi. Entrambi i suddetti indicatori sono correlati al terzo che quantifica le emissioni evitate per unità energetica prodotta dai residui legnosi derivanti dalla filiera foresta-legno. Il quarto, e ultimo indicatore, è rappresentato dal rapporto tra necromassa impiegata a finalità energetiche e necromassa complessiva presente in bosco; tale indicatore esprime il risparmio energetico derivante dalla valorizzazione di questa componente. Quest'ultimo indicatore è specifico per quelle situazioni in cui per cause antropiche o naturali in bosco si osserva un accumulo eccessivo di necromassa concentrata nelle prime classi di decomposizione (PALETTO *et al.*, 2018), quelle cioè in cui il legno è più integro. Viceversa, nelle situazioni ordinarie, la necromassa deve essere lasciata in bosco per ragioni di vario tipo legate al ruolo ecosistemico che questa componente forestale svolge in bosco (PASTORELLI *et al.*, 2020).

4R	Indicatore	Unità di misura	Descrizione
Riduzione (Reduce)	Rapporto tra valore annuo dei prodotti legnosi ottenuti e ripresa annua	€/m <sup>3</sup>	Miglioramento dell'efficienza dei processi produttivi riducendo l'uso delle risorse naturali impiegate
	Emissioni di anidride carbonica per unità di prodotto ottenuto	tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Miglioramento dell'efficienza dei processi produttivi riducendo l'uso delle risorse naturali impiegate
	Prossimità delle imprese di prima trasformazione al bosco e delle imprese di seconda trasformazione a quelle di prima trasformazione	km	Sviluppo di filiere corte: riduzione emissioni inquinanti
Riutilizzo (Reuse)	Indice di flusso lineare	%	Percentuale di materiale che ha un andamento lineare nel processo (materiale vergine in entrata, scarti non riciclati in uscita). Scarti legnosi lasciati in bosco su scarti legnosi totali prodotti dalle operazioni in bosco
	Indice di utilizzo	anni	Vita utile del prodotto (tempo)
	Indicatore del potenziale di riutilizzo	%	Percentuale di prodotto/materiale che può essere riutilizzato
	Cicli di riutilizzo	n°	Numero di cicli in cui può essere reimpiegato un prodotto
Riciclaggio (Recycle)	Potenziale di valorizzazione dei prodotti legnosi dismessi	%	Percentuale di legname da opera recuperato da prodotti legnosi dismessi e reimpiegato per infrastrutture e manufatti
	Rapporto tra il valore degli assortimenti legnosi potenzialmente ritraibili e il valore degli assortimenti legnosi realmente ottenuti	€/€	Grado di trasformazione razionale dei volumi legnosi prelevati a favore degli assortimenti di pregio
	Apporto della materia prima riciclata alla domanda di materia prima	%	Quota di materia prima riciclata (non vergine) sulla domanda totale di materia prima
Recupero energetico (Recover)	Percentuale di scarti utilizzati in altre filiere dall'elevato valore aggiunto	%	Recupero di sostanze biochimiche dai prodotti di rifiuto (cellulosa, emicellulosa, lignina) per la produzione di bio-tessuti e bio-plastiche
	Percentuale di scarti legnosi impiegati per la produzione di bioenergia (in bosco + nelle imprese di prima trasformazione)	%	Recupero di energia dai prodotti di rifiuto
	Quantità di legname da opera recuperato da infrastrutture e manufatti e convertito in bioenergia	m <sup>3</sup>	Recupero di energia dai prodotti legnosi dismessi
	Emissioni evitate per unità energetica prodotta dai residui legnosi derivanti dalla filiera foresta-legno	gCO <sub>2</sub> kW/h	Recupero di energia dai prodotti di rifiuto
	Rapporto tra necromassa impiegata a finalità energetiche e necromassa complessiva	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Recupero di energia dai prodotti di rifiuto

Tabella 1 - Indicatori sulla bioeconomia circolare applicabili al settore forestale a livello locale.

## Discussioni

La comunità scientifica e i decisori politici (policy makers) concordano sul fatto che la bioeconomia circolare possa rappresentare il potenziale motore della futura crescita economica a livello mondiale, in grado

di soddisfare le esigenze della generazione attuale senza compromettere lo stock di risorse naturali per le generazioni future (BIANCOLILLO *et al.*, 2019). Nella letteratura internazionale, se alcuni autori hanno sottolineato gli impatti socio-economici positivi della bioeconomia (SCHMID *et al.*, 2012), al-

tri ne hanno evidenziato il ruolo per ridurre gli effetti negativi della crescita economica sull'ambiente e sul consumo di risorse naturali (LIOBIKIENE *et al.*, 2019). Pertanto, la bioeconomia circolare, finalizzata a minimizzare gli input e la produzione di "scarti" dal sistema, può essere considerata un nuovo modello economico, alternativo all'economia lineare, finalizzato a ridurre l'uso dei combustibili fossili e l'impatto sulle risorse naturali e sull'ambiente (BRUHN *et al.*, 2016). In questo contesto, un ruolo chiave spetta al settore forestale che deve sostenere la bioeconomia circolare attraverso la fornitura di prodotti legnosi di pregio, la valorizzazione dei residui legnosi derivanti dal processo produttivo ("scarti" del sistema), la creazione di filiere corte e l'erogazione di altri servizi ecosistemici utili all'uomo (PURWESTRI *et al.*, 2020). È importante evidenziare come l'uso della biomassa forestale per la produzione di bioenergia riduca la dipendenza da risorse non rinnovabili (materie prime fossili) e favorisca un'economia decarbonizzata così come enfatizzato dalla SNSvS (IV.1 obiettivo strategico nazionale). In Europa, la crescita dell'impiego della biomassa forestale per produrre energia pulita è legata all'elevato potenziale di impiego dei residui legnosi (e.g., ramaglia, cimale, aghi) derivanti dagli interventi selvicolturali nelle zone montane e rurali (MANTAU *et al.*, 2010). La produzione di bioenergia impiegando i residui legnosi deve avvenire unicamente laddove questi non possono essere impiegati per usi alternativi dal più elevato valore aggiunto e/o dal più lungo tempo di vita. Secondo il principio della sostenibilità ambientale, la produzione di biomassa ad uso energetico dovrebbe essere incoraggiata attraverso la valorizzazione dei residui legnosi, evitando invece l'utilizzazione dei boschi ad "esclusivo" uso energetico. Oltre all'impiego della biomassa legnosa come sostituto dei combustibili fossili, il settore forestale può contribuire allo sviluppo di una società a basse emissioni anche attraverso lo stoccaggio di carbonio nella biomassa ipogea ed epigea, nel legno morto, nel suolo, nella lettiera, e nei prodotti legnosi (LUNDMARK *et al.*, 2014). Il ruolo dei boschi nella mitigazione dai cambiamenti climatici

è stato messo in luce da diversi studi scientifici che hanno enfatizzato come la gestione attiva contribuisca a migliorare l'efficienza dell'uso della risorsa forestale (III.1 obiettivo strategico nazionale SNSvS) e ad aumentare il sequestro del carbonio atmosferico (PALETTO *et al.*, 2017; MARCHI *et al.*, 2018). Il settore forestale inoltre può promuovere lo sviluppo di nuovi e innovativi biomateriali legnosi come materiali da costruzione, prodotti chimici, bio-plastiche, materiali da imballaggio e bio-tessuti (RAGAUSKAS *et al.*, 2006; PALETTO *et al.*, 2019). In tal senso, l'uso dei residui legnosi per la produzione di bio-plastiche e di bio-tessuti rappresenta uno dei possibili sviluppi futuri del settore, anche al fine di una maggiore valorizzazione economica della risorsa riducendo, al contempo, gli impatti ambientali (NOTARO, PALETTO, 2021). Sempre in questa direzione, le bioraffinerie potranno avere in futuro una sempre maggiore importanza strategica grazie alla loro capacità di utilizzare le diverse parti della biomassa (amido, olio, cellulosa, emicellulosa, lignina) per la produzione di composti chimici a elevato valore aggiunto per l'industria, o di molecole (e.g., acido lattico, acido levulinico) destinate a successive trasformazioni chimico-fisico ed enzimatiche (CROCE, MANNELLI, 2015). Come evidenziato da NÄYHÄ *et al.* (2014), le bioraffinerie in ambito forestale potranno svolgere nel prossimo futuro un ruolo chiave nel produrre congiuntamente sia bio-prodotti dall'elevato valore aggiunto sia biomasse ad uso energetico contribuendo ad abbattere la produzione di rifiuti e a promuovere il mercato delle materie prime seconde (III.5 obiettivo strategico nazionale SNSvS). I risultati del presente lavoro hanno portato alla definizione di un set di indicatori da applicare a scala locale, per misurare e quantificare la performance della filiera foresta-legno tenendo nella debita considerazione i principi della bioeconomia circolare. L'utilità degli indicatori è dovuta in primo luogo al fatto che permettono un'analisi sfaccettata della performance della filiera, considerando al contempo il miglioramento dell'efficienza dei processi produttivi, la capacità di riutilizzo dei prodotti legnosi, il riciclaggio ed il recupero energetico. Gli indicatori espri-

mono anche in maniera misurabile il livello di performance di filiera foresta-legno, permettendo quindi di evidenziare criticità ed intervenire sulle stesse, potenziando alcune azioni di valorizzazione del settore e definendo soluzioni lì dove la filiera locale manifesti punti di debolezza. Il set di indicatori è di indubbia utilità anche dove siano adottati dei modelli di gestione e pianificazione inclusivi, poiché gli stakeholders coinvolti possono essere chiamati ad esprimere valutazioni utili ai decisori ed ai gestori per indirizzare la filiera foresta-legno a scala locale. In tal senso il set di indicatori individuato con il presente lavoro deve essere considerato il punto di partenza per una attività più ampia, finalizzata a sviluppare un Sistema di Supporto alle Decisioni (SSD) per la valutazione della sostenibilità e della performance della filiera foresta-legno a supporto dei tecnici e dei decisori politici. Le prossime fasi del progetto FOR.CIRCULAR consisteranno nella condivisione del set di indicatori con i portatori d'interesse (istituzionali e non istituzionali), nell'implementazione dei suddetti indicatori in un'area pilota nella regione Toscana e nello sviluppo del SSD per la filiera foresta-legno che sarà messo a disposizione dei tecnici e amministratori che si occupano di bioeconomia circolare.

## Ringraziamenti

Il lavoro è stato finanziato nell'ambito del progetto "Sistema di Supporto alle Decisioni per il miglioramento della performance della filiera foresta-legno in una prospettiva di bioeconomia circolare (FOR.CIRCULAR)", Bando SNSvS 2 (CATEGORIA 2 - NP 2.4 - Economia circolare).

**FOR.CIRCULAR**



## BIBLIOGRAFIA

BAIS-MOLEMAN A.L., SIKKEMA R., VIS M., REUMERMAN P., THEURL M.C., ERB K.-H. 2018 – *Assessing wood use efficiency and greenhouse gas emissions of wood product cascading in the European Union*. Journal of Cleaner Production, 172: 3942-3954.

BELL J., PAULA L., DODD T., NÉMETH S., NANOU C., MEGA V., CAMPOS P. 2018 – *EU ambition to build the world's leading bioeconomy – Uncertain times demand innovative and sustainable solutions*. New biotechnology, 40: 25-30.

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.

BRUHN T., NAIMS H., OLFE-KRAUTLEIN B., 2016 – *Separating the debate on CO2 utilisation from carbon capture and storage*. Environmental Science and Policy, 60: 38-43.

BUONOCORE E., PICONE F., RUSSO G.F., FRANZESE P.P. 2018 – *The scientific research on natural capital: a bibliometric network analysis*. Journal of Environmental Accounting and Management, 6(4): 374-384.

CICCARESE L., PELLEGRINO P., PETTENELLA D., 2014 – *A new principle of the European Union forest policy: the cascading use of wood products*. L'Italia Forestale e Montana, 69 (5): 285-290.

COOKE P., 2006 – *Global bioregional networks: A new economic geography of bioscientific knowledge*. European Planning Studies, 14(9): 1265-1285.

CROCE B., MANNELLI S. 2015 – *Bioraffinerie, dalle biomasse il nuovo "petrolio verde"*. L'Informatore Agrario 5: 10-12.

DEMIROGLU O.C., HALL C.M., 2020 – *Geobibliography and Bibliometric Networks of Polar Tourism and Climate Change Research*. Atmosphere 11(5): 498.

DUCHESNE L.C., WETZEL S., 2003 – *The bioeconomy and the forestry sector: Changing markets and new opportunities*. The Forestry Chronicle, 79: 860-864.

EUROSTAT 2013 – *Agriculture, forestry and fishery statistics Pocketbooks*. 2013 edition. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

FOJUTOWSKI A., STRYKOWSKI W. 2011 – *FTP-c7 - session of the European forest-based sector technology platform (FTP) in Warsaw*. Drewno, Prace Naukowe Doniesienia Komunikaty, 186: 85-88.

GIORGI S., LAVAGNA M., CAMPIOLI A., 2017 – *Economia circolare, gestione dei rifiuti e Life Cycle Thinking: Fondamenti, interpretazioni e analisi dello stato dell'arte*. Ingegneria dell'Ambiente, 4 (3): 263-276.

HUSGAFVEL R., LINKOSALMI L., HUGHES M., KANERVA J., DAHL O., 2018 – *Forest sector circular economy development in Finland: A regional study on sustainability*

*driven competitive advantage and an assessment of the potential for cascading recovered solid wood.* Journal of Cleaner Production, 181: 483-497.

INFC2015, 2015 – *3° Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio.* Trento: Centro Foreste e Legno del Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Comando Unità Forestali Ambientali e Agroalimentari dell'Arma dei Carabinieri.

KIKUCHI R., 2011 – *The role of agroforestry development in transition from neoclassic economy to bio-based economy.* In: LEE T.H. (ed.), *Agricultural Economics: New Research.* New York, Nova Science Pub. Inc.: 243-254.

KIRCHER M. 2015 – *Sustainability of biofuels and renewable chemicals production from biomass.* Current opinion in chemical biology, 29: 26-31.

KIRCHHERR J., REIKE D., HEKKERT M., 2017 – *Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions.* Resources, Conservation & Recycling, 127: 221-232.

KURPPA S. 2015 – *Regulatory policies and trends.* In: IAKOVOU E., BOCHTIS D., VLACHOS D., AIDONIS D. (eds): *Supply chain management for sustainable food networks*, 293-306.

LI Q., ZHAO Q., HU Y., WANG H., 2006 – *Biotechnology and bioeconomy in China.* Biotechnology Journal 1(11): 1205-1214.

LIOBIKIENE G., BALEZENTIS T., STREIMIKIENE D., CHEN X., 2019 – *Evaluation of bioeconomy in the context of strong sustainability.* Sustainable Development, 27: 955-964.

LUNDMARK T., BERGH J., HOFER P., LUNDSTRÖM A., NORDIN A., POUDEL B.C., SATHRE R., TAVERNA R., WERNER F., 2014 – *Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation.* Forests, 5: 557-578.

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. Hamburg University of Hamburg: 160.

MARCHI M., PALETTO A., CANTIANI P., BIANCHETTO E., DE MEO I., 2018 – *Comparing Thinning System Effects on Ecosystem Services Provision in Artificial Black Pine (Pinus nigra J. F. Arnold) Forests.* Forests 9: 188.

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE (MATTM) 2017 – *Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile.* Roma: Direzione Generale per lo Sviluppo Sostenibile, per il Danno Ambientale e per i Rapporti con l'Unione Europea e gli Organismi internazionali, Divisione I - Interventi per lo sviluppo sostenibile, danno ambientale ed aspetti legali e gestionali.

MOHAN S.V., DAHIYA S., AMULYA K., KATAKOJWALA R., VANITHA T.K., 2019 – *Can circular bioeconomy be fueled by waste biorefineries — A closer look.* Bioresource Technology Reports 7: 100277.

MOSQUERA-LOSADA M.R., SANTIAGO-FREIJANES J.J., ROIS-DÍAZ M., MORENO G., DEN HERDER M., ALDREY-VÁZQUEZ

J.A., FERREIRO-DOMÍNGUEZ N., PANTERA A., PISANELLI A., RIGUEIRO-RODRÍGUEZ A., 2018 – *Agroforestry in Europe: A land management policy tool to combat climate change.* Land use policy, 78: 603-613.

NÄYHÄ A., HETEMÄKI L., STERN T., 2014 – *New products outlook.* In: Hetemäki L. (ed.), *Future of the European Forest-Based Sector: Structural Changes Towards Bioeconomy.* What Science Can Tell Us 6, European Forest Institute (EFI), Joensuu.

NIKODINOSKA N., PALETTO A., COALA D. (2018). *La pianificazione territoriale per fini energetici.* In: ROMANO R., PLUTINO M. (eds), *Biomasse legnose. Microfilieri di autoconsumo da biomasse legnose.* Roma: Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA), pp. 144-209.

NOTARO S., PALETTO A., 2021 – *Consumers' preferences, attitudes and willingness to pay for bio-textile in wood fibers.* Journal of Retailing and Consumer Services 58.

OTTE E., ROUSSEAU R. 2002 – *Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences.* Journal of Information Science, 28: 441-453.

PALETTO A., BERNARDI S., PIERATTI E., TESTON F., ROMAGNOLI M., 2019 – *Assessment of environmental impact of biomass power plants to increase the social acceptance of renewable energy technologies.* Heliyon, 5(7): e02070.

PALETTO A., DE MEO I., CANTIANI P., CHIAVETTA U., FAGARAZZI C., MAZZA G., PIERATTI E., RILLO MIGLIORINI G.M., LAGOMARSINO A., 2018 – *Analisi della filiera foresta-legno in una prospettiva di (bio)economia circolare: il caso studio della Foresta di Monte Morello.* L'Italia Forestale e Montana, 73(3): 107-128.

PALETTO A., DE MEO I., GRILLI G., NIKODINOSKA N., 2017 – *Effects of different thinning systems on the economic value of ecosystem services: A case-study in a black pine peri-urban forest in Central Italy.* Annals of Forest Research 60(2): 313-326.

PALETTO A., DE MEO I., MORELLI S., 2020 – *Sistema di Pagamento per i Servizi Ecosistemici (PES): Analisi della letteratura nazionale e internazionale.* L'Italia Forestale e Montana (in press).

PALETTO A., HAMUNEN K., DE MEO I., 2015 – *The social network analysis to support the stakeholder analysis in participatory forest planning.* Society & Natural Resources 28: 1108-1125.

PANNICKE N., GAWEL E., HAGEMANN N., PURKUS A., STRUNZ S. 2015 – *The political economy of fostering a wood-based bioeconomy in Germany.* German Journal of Agricultural Economics 64 (4): 224-243.

PASTORELLI R., PALETTO A., AGNELLI A.E., LAGOMARSINO A., DE MEO I. 2020 – *Microbial communities associated with decomposing deadwood of downy birch in a natural forest in Khibiny Mountains (Kola Peninsula, Russian Federation).* Forest Ecology and Management 455 (in stampa).

PAUNA V.H., BUONOCORE E., RENZI M., RUSSO G.F., FRANZESE

P.P. 2019 – *The issue of microplastics in marine ecosystems: a bibliometric network analysis*. Marine Pollution Bulletin 149: 110612.

PAUNA V.H., PICONE F., LE GUYADER G., BUONOCORE E., FRANZESE P.P. 2018 – *The scientific research on ecosystem services: a bibliometric analysis*. Ecological Questions, 29(3): 53–62.

PROSKURINA S., SIKKEMA R., HEINIMÖ J., VAKKILAINEN E., 2016 – *Five years left e How are the EU member states contributing to the 20% target for EU's renewable energy consumption; the role of woody biomass*. Biomass & Bioenergy, 95: 64-77.

PURWESTRI R.C., HÁJEK M., ŠODKOVÁ M., SANE M., KAŠPAR J., 2020 – *Bioeconomy in the national forest strategy: a comparison study in Germany and the Czech Republic*. Forests, (in press).

RAFITALIA 2019 – 2017-2018 *Rapporto sullo stato delle foreste e del settore forestale in Italia*. Roma: Direzione generale delle foreste del Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari, Forestali e del Turismo (MiPAAFT).

RAGAUSKAS A.J., WILLIAMS C.K., DAVISON B.H., BRITOVSEK G., CAIRNEY J., ECKERT C.A., FREDERICK W.J., HALLET J.P., LEAK D.J., LIOTTA C.L. ET AL., 2006 – *The path forward for biofuels and biomaterials*. Science, 311: 484-489.

SCHMID O., PADEL S., LEVIDOW L., 2012 – *The Bio-Economy Concept and Knowledge Base in a Public Goods and Farmer Perspective*. Bio-based and Applied Economics, 1(1): 47-63.

SKAFT L., BUONOCORE E., DUMONTET S., CAPONE R., FRANZESE P.P. 2020 – *Applying network analysis to explore the global scientific literature on food security*. Ecological Informatics, 56: 101062.

VAN BUREN N., DEMMERS M., VAN DER HEIJDEN R., WITLOX F., 2016 – *Towards a Circular Economy: The Role of Dutch Logistics Industries and Governments*. Sustainability, 8(7): 647.

VAN ECK N.J., WALTMAN L. 2014 – Visualizing bibliometric networks. In: DING, Y., ROUSSEAU R., WOLFRAM D. (eds.): *Measuring Scholarly Impact: Methods and Practice*. Springer, pp. 285-332.

VAN ECK N.J., WALTMAN L. 2020 – *VOSviewer Manual 1.6.14*. Manual, (version 1.6.14).

VIAGGI D., 2015 – *Research and innovation in agriculture: Beyond productivity?* Bio-based and Applied Economics 4(3): 279-300.

WASSERMAN S., FAUST K. 1994 – *Social Networks Analysis: methods and applications*. Cambridge, Cambridge University Press.

WETZEL S., DUCHESNE L.C., LAPORTE MF., 2006 – *Bioproducts from Canada's forests*. New partnerships in the bioeconomy. Dordrechtbell: Spinger, p. 257.

## Alessandro Paletto

Centro di Ricerca Foreste e Legno  
Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi  
dell'economia agraria (CREA), Trento.  
E-mail: alessandro.paletto@crea.gov.it

## Claudia Becagli

Centro di Ricerca Agricoltura e Ambiente  
Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi  
dell'economia agraria (CREA), Firenze.  
E-mail: claudia.becagli@crea.gov.it

## Ilaria Biancolillo

Centro di Ricerca Foreste e Legno  
Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi  
dell'economia agraria (CREA), Trento.  
E-mail: ilaria.ilex@gmail.com

## Elisa Bianchetto

Centro di Ricerca Agricoltura e Ambiente  
Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi  
dell'economia agraria (CREA), Firenze.  
E-mail: elisa.bianchetto@crea.gov.it

## Isabella De Meo

Centro di Ricerca Agricoltura e Ambiente  
Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi  
dell'economia agraria (CREA), Firenze.  
E-mail: isabella.demeo@crea.gov.it

**PAROLE CHIAVE:** *sviluppo sostenibile; bioeconomia; economia circolare; filiera foresta-legno; approccio a cascata.*

## RIASSUNTO

La Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile (SNSvS), predisposta nel 2017, è finalizzata ad integrare i tre pilastri della sostenibilità (ambientale, economica, sociale) includendo, al contempo, le conoscenze, le competenze e i punti di vista dei portatori d'interesse (stakeholder). Nell'ambito dell'implementazione della SNSvS, il settore forestale nazionale può svolgere un ruolo chiave nel conseguire diversi obiettivi strategici riguardanti la gestione sostenibile delle risorse naturali e la fornitura di beni e servizi ecosistemici utili all'uomo. In questo ambito, la filiera foresta-legno deve essere gestita in una prospettiva di bioeconomia circolare fondata sulla

struttura gerarchica a 4R (“Ridurre”, “Riutilizzare”, “Riciclare”, “Recuperare”), finalizzata a ridurre gli impatti negativi sull’ambiente generati dal ciclo produttivo, e l’allocazione degli output della filiera foresta-legno seguendo l’approccio “a cascata”, impiegando le materie prime secondo una priorità basata sul valore aggiunto potenziale. Il presente studio è stato condotto nell’ambito del progetto “Sistema di Supporto alle Decisioni per il miglioramento della performance della filiera foresta-legno in una prospettiva di bioeconomia circolare (FOR.CIRCULAR)” allo scopo di definire una serie di indicatori idonei a misurare la performance del settore forestale a scala locale in una prospettiva di bioeconomia circolare. Lo studio è stato strutturato in tre fasi di lavoro: i) ricerca bibliografica concernente le pubblicazioni sulla bioeconomia in generale e sulla bioeconomia circolare in particolare; ii) identificazione di pubblicazioni specifiche riguardanti gli indicatori di bioeconomia circolare; iii) predisposizione di una lista di indicatori di bioeconomia circolare idonei per essere applicati al settore forestale a scala locale. Al termine delle tre fasi, sono stati identificati 15 indicatori utili a valutare la performance della filiera forest-legno a livello locale secondo i principi della bioeconomia circolare.

**KEYWORD:** *sustainable development; bioeconomy; circular economy; forest-wood chain; cascading approach.*

## ABSTRACT

The National Sustainable Development Strategy (NSDS) – developed in 2017 – is aimed to integrate the three pillars of sustainability (environment, economic, social) including at the same time the stakeholders’ knowledge, skills and points of view. In the implementation of the NSDS, the national forest sector can play a key role in achieving different strategic objectives regarding the sustainable management of natural resources and the supply of ecosystem goods and services useful to human beings. In this context, the forest-wood chain must be managed in a circular bioeconomy perspective based on the 4R framework (Reduce, Reuse, Recycle, Recover) – aimed to reduce the negative impacts of production cycle on environment – and on the allocation of forest-wood chain’s outputs following the cascading approach. The present study was conducted as part of the project “Decision Support System to improve the performance of the forest-wood supply chain in a circular bioeconomy perspective (FOR.CIRCULAR)” with the aim to identify a set of indicators suitable to assess the performance of the forest sector on a local scale in a circular bioeconomy perspective. The study was developed in three steps: i) literature review concerning peer-review publications on the bioeconomy in general and on the circular bioeconomy in particular; ii) identification of publications focused on the circular bioeconomy indicators; iii) development

of a list of circular bioeconomy indicators suitable to be applied to the forest-based sector on a local scale. At the end of the three steps, 15 indicators useful for assessing the performance of the forest-wood supply chain at local level according to the principles of the circular bioeconomy were identified.