

**Borse di dottorato di ricerca finanziate da Regione Lombardia nell'ambito dell'Accordo di collaborazione con ENEA/Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo sostenibile (DGR n. 7792 del 17/01/2018 e 5321 del 4/10/2021).**

## **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA**

Dottorato in: Ingegneria meccanica e industriale.

**Eric Mehner:** Sostenibilità e uso efficiente delle risorse nell'ottica di economia circolare per il settore agro-industriale lombardo – La necessità di valorizzare i sottoprodotti.

### **Abstract**

Nel contesto delle crescenti pressioni per produrre in modo più sostenibile, in particolare nell'industria agroalimentare, il presente lavoro di tesi ha l'obiettivo di fornire in primo luogo, una panoramica sullo stato attuale del settore agroalimentare lombardo. In secondo luogo, viene stabilita una collaborazione con i produttori agroalimentari locali al fine di sviluppare nuovi metodi per il miglioramento dell'efficienza delle risorse e della sostenibilità della produzione insieme ai ricercatori nei laboratori ENEA. In terzo luogo, viene effettuata una valutazione dell'approccio sviluppato rispetto ad altri scenari che rappresentano le pratiche attuali in termini di impatti ambientali. Infine, viene sviluppata una metodologia per valutare la circolarità della produzione agricola e testata come esempio sui partner della collaborazione.

Per iniziare la tesi, è stato necessario identificare un focus per il lavoro poiché non sarebbe stato possibile includere l'intero settore nella ricerca. Sulla base di un'indagine primaria sulla rilevanza dei diversi settori all'interno dell'industria agroalimentare lombarda per la regione e il paese italiano, si è deciso di concentrarsi sul settore lattiero-caseario. La Lombardia è responsabile di un terzo dei formaggi prodotti in Italia e l'allevamento e in particolare il bestiame sono associati a grandi impatti ambientali. Pertanto, trovare strategie di miglioramento all'interno del settore potrebbe avere notevoli implicazioni per la regione e il paese.

A causa della varietà di obiettivi dati per la tesi, si divide in quattro parti che si concentrano su obiettivi distintivi. La prima parte ha l'obiettivo di stabilire una panoramica sull'attuale situazione di sostenibilità e circolarità del settore lattiero-caseario lombardo. È iniziata con un'analisi dettagliata del background e della letteratura sullo stato attuale del settore lattiero-caseario in Italia e sui suoi impatti ambientali, nonché sulle attuali tendenze per ridurli. L'analisi ha rivelato che la maggior parte degli impatti si crea durante le attività agricole all'interno della catena di produzione guidate principalmente dalla fermentazione enterica e dalla produzione di foraggio. Pertanto, la maggior parte delle strategie di mitigazione dirige la propria attenzione su questa fase della catena di produzione, raccomandando miglioramenti delle strategie agricole in particolare relative all'alimentazione. Altri aspetti sono raramente menzionati, per lo più suggeriscono una migliore gestione dell'energia, dell'acqua e dei rifiuti. Il potenziale delle pratiche circolari per migliorare la sostenibilità della produzione è discusso solo in quantità limitate. A seguito dell'analisi della letteratura, è stata condotta un'indagine presso i produttori lattiero-caseari lombardi per valutare lo stato attuale di applicazione delle pratiche di Economia Circolare nel settore, la percezione che ne hanno dei produttori e la loro motivazione ad aumentare la loro circolarità. L'indagine consisteva in 60 domande volte a tracciare un quadro delle dimensioni dei flussi di risorse e della loro rilevanza per la produzione annuale, la dimensione dei principali flussi di sottoprodotti e rifiuti e il loro uso e trattamento.

Inoltre, sono state testate le attività di circolarità attuali e pianificate e sono state studiate le motivazioni dei produttori a estendere i loro sforzi. L'indagine ha rivelato che la CE è arrivata nella produzione locale anche se è per lo più limitata ad attività legate a benefici immediati come la

vendita di sottoprodotti, sussidi come quelli presenti per la produzione di energia solare e normative come quelle per il trattamento e la qualità delle acque reflue. Altre attività sono state relativamente scarse, il che ha dimostrato la necessità di migliorare i regimi di incentivazione e la creazione di un ambiente che incoraggi e premi le pratiche circolari.

Nella seconda parte dello studio, l'obiettivo era quello di creare un metodo di valutazione della circolarità adattato al contesto dell'agricoltura. È stata scelta una prospettiva olistica basata su un sistema di indici che considerasse la dimensione sociale, economica e ambientale della circolarità e della sostenibilità. La letteratura è stata consultata per identificare potenziali indicatori e sono stati selezionati quelli più adatti. In caso di mancanza di indici per alcuni aspetti della circolarità e della sostenibilità, ne sono stati proposti e inclusi nell'elenco di nuovi. Gli indici sono stati poi applicati a un caso di studio di un piccolo produttore locale di formaggio. Nel processo di raccolta dei dati il produttore è stato consultato sulla disponibilità dei dati e sulla praticabilità del calcolo dell'indice. Gli indici non idonei sono stati tolti dalla lista. I calcoli sono stati eseguiti per tre anni di produzione al fine di poter osservare la capacità degli indici di visualizzare le tendenze nelle pratiche del produttore. Gli indici si sono dimostrati adeguati, tuttavia, è stato osservato che nessun indice è stato in grado di rappresentare in modo soddisfacente il beneficio di una maggiore valorizzazione della qualità. Per questo motivo è stato proposto un nuovo indicatore, l'indice di valorizzazione dei sottoprodotti, basato sulle quantità e sulla qualità e sui sottoprodotti valorizzati. I calcoli hanno dimostrato la capacità dell'indicatore di fornire una rappresentazione quantitativa della qualità della valorizzazione dei sottoprodotti.

Nella terza parte è stato modellato un approccio nuovo e circolare alla valorizzazione dei sottoprodotti nel settore lattiero-caseario. L'attenzione è stata posta sul principale sottoprodotto della produzione di formaggio, il siero di latte, in quanto rappresenta oltre l'80% dell'input di latte in termini di peso, il 40% in termini di sostanza secca e il 20% in termini di proteine e rappresenta quindi di gran lunga il flusso di materiale più rilevante che lascia il processo di produzione separato dal prodotto principale. Il modello si basava su una produzione locale, di media scala e decentralizzata, poiché tutti questi aspetti avrebbero riguardato gli effetti positivi attesi da una CE come la creazione di valore locale, forti collaborazioni e una rete innovativa, robusta e adattabile. Nel frattempo, tale pratica non è nota dagli attuali sforzi di valorizzazione che si concentrano principalmente sulla valorizzazione su larga scala, centralizzata e di basso valore, spesso al di fuori della regione, privando l'economia e la società locali dei benefici della creazione di valore e di prodotti di alta qualità.

L'approccio di valorizzazione modellato è stato quindi testato in esperimenti di valorizzazione su scala di laboratorio e pilota. Il frazionamento a membrana è stato scelto come il metodo di valorizzazione più adatto poiché si tratta di una tecnologia di trasformazione alimentare consolidata con un basso uso chimico e basse temperature di lavorazione che consente di mantenere la qualità del composto all'interno del siero. Inoltre, la scelta di una tecnologia di trasformazione alimentare consolidata ha dato l'opportunità di concentrarsi su ottimizzazioni e adattamenti alle esigenze del contesto decentralizzato di valorizzazione dei sottoprodotti. Sono stati raccolti dati sulle prestazioni sperimentali e annotato il consumo di energia e acqua. Nella parte finale dello studio, l'obiettivo era valutare il metodo appena sviluppato in termini di impatti ambientali e fattibilità economica e fornire raccomandazioni ai produttori locali su come migliorare la loro produzione proponendo un caso di studio realistico. Ai dati sperimentali raccolti nella parte precedente si aggiungono i dati del caso studio raccolti presso il piccolo produttore di formaggio. Sono stati creati tre ulteriori scenari di base basati su dati raccolti in interviste con partner industriali e stime. Gli scenari includevano uno scenario centralizzato di frazionamento a membrana su larga scala, uno scenario di produzione di siero di latte in polvere e uno scenario di non valorizzazione che includeva tutti i casi di valorizzazione a qualità inferiore al consumo umano (o applicazioni comparabili). È stato quindi

progettato un approccio di valutazione del ciclo di vita per confrontare tutti e quattro gli scenari in una prospettiva di catena del valore. A tal fine, sono state applicate tre unità funzionali che sarebbero state in grado di includere tutti i (sotto)prodotti nella valutazione. I risultati hanno rivelato un chiaro vantaggio della valorizzazione dei sottoprodotti migliorando il rapporto input-prodotto e quindi riducendo gli impatti relativi per unità di prodotto. Quando ci si concentra sulle quantità di prodotto, i risultati favorirebbero una valorizzazione centralizzata, mentre quando ci si concentra sulla qualità del prodotto l'approccio decentrato modellato ha funzionato meglio.

È stata quindi condotta un'analisi di fattibilità economica per verificare la praticabilità dell'approccio modellato. I dati sui costi di investimento sono stati raccolti durante le interviste con i partner industriali, mentre i prezzi dei materiali e dei prodotti si sono basati sull'attuale situazione del mercato. Sono stati considerati diversi volumi di produzione e prodotti e sono stati calcolati i potenziali ricavi giornalieri, gli investimenti complessivi e i tassi di rendimento attesi. L'analisi ha mostrato l'importanza di produrre prodotti di alta qualità e la necessità di produrre su scala media poiché i piccoli siti di produzione non possono funzionare in modo efficiente come quelli più grandi. Tuttavia, è stato dimostrato che il processo può essere fattibile e raggiungere tassi di rendimento degli investimenti inferiori a dieci anni.

Infine, i risultati della valutazione ambientale ed economica sono stati utilizzati per preparare un caso di studio sulla simbiosi industriale. Le aziende potenzialmente interessate ai prodotti di valorizzazione del siero di latte sono state identificate e contattate e invitate a interviste approfondite. In tali interviste sono stati presentati il progetto e l'approccio di valorizzazione modellato e si è indagato il parere delle aziende su di essi. Sono stati discussi i potenziali ostacoli da superare prima dell'implementazione e discusso il potenziale coinvolgimento e il ruolo delle aziende in un caso di studio. Le aziende più interessate sono state quindi invitate a interviste di follow-up e tavole rotonde per dettagliare ulteriormente le esigenze per l'implementazione di un caso di studio. Dall'analisi delle interviste è emerso un evidente interesse delle aziende per i temi della sostenibilità e della circolarità e la loro disponibilità a partecipare a progetti per migliorare entrambi. Tuttavia, è stato anche mostrato che soprattutto le aziende più piccole hanno difficoltà a fare investimenti e nel coinvolgimento in progetti, a causa delle attuali modalità di finanziamento.

### **Pubblicazioni**

Mehner E., Fantin V., Pizzichini D., Vergalli S. and Vaccari M. The Lombard Dairy Industry in the Perspective of Circular Economy: Degree of Application and Improvement Potentials.

### **Convegni**

17th International Conference on Environmental Science and Technology, September 2021, Athens, Flash Presentation and Poster.