



VERSO UNA BIOECONOMIA CIRCOLARE PER LA REGIONE LOMBARDIA

Casi di studio industriali per la produzione di biopolimeri

CONSORZIO ITALBIOTEC

Melissa Balzarotti, Diego Bosco, Ilaria Re



SOMMARIO

Abbreviazioni e Acronimi	2
Glossario	3
Abstract.....	4
Introduzione.....	5
1. Contesto generale	5
1.1 Verso una bioeconomia circolare per la Regione Lombardia.....	6
1.2 La dimensione interregionale: modelli dimostrativi per la produzione di biopolimeri	8
1.3 La bioeconomia e il monitoraggio del potenziale industriale, sociale ed ambientale	11
2. Nuove filiere sostenibili per lo sviluppo del mercato lombardo dei biopolimeri	13
2.1 Il sistema agro-industriale in Lombardia: un utilizzo sostenibile delle materie prime.....	14
2.2 Biotrasformazioni: un modello di bioraffineria per la Lombardia	15
2.3 Il post-consumo: raccolta, riciclo e riuso in Lombardia	16
3. Le bioplastiche.....	17
3.1 I prodotti bio-based e il mercato di riferimento	18
3.2 Barriere alla produzione di bioplastiche	21
4. Prodotti di eco-design da bioplastiche sostenibili: il caso studio di PHA-STAR	23
4.1 Sfide e opportunità per la produzione di biopolimeri di Regione Lombardia	24
4.2 I poliidrossialcanoati: proprietà, vantaggi competitivi e sfide tecnologiche	25
4.3 Il processo di produzione di PHA dal siero di latte	27
4.4 Applicazioni commerciali dei PHA.....	30
5. Conclusioni	32
Bibliografia.....	33

REALIZZATO CON IL SOSTEGNO DI



POR FESR 2014-2020 / INNOVAZIONE E COMPETITIVITÀ

Citazione richiesta:

M. Balzarotti, D. Bosco, I. Re 2019. Verso una bioeconomia circolare per la Regione Lombardia. Casi di studio industriali per la produzione di biopolimeri. Milano, Consorzio Italtotec. 40 pagg.

I riferimenti e o materiali inclusi in questo prodotto informativo non implicano l'espressione di qualsiasi opinione o raccomandazione da parte del Consorzio Italtotec di specifiche società o prodotti brevettati o meno in preferenza ad altri di natura simile che non sono menzionati. Le opinioni espresse in questo prodotto informativo sono quelle dell'autore. Si ringrazia lo Studio Rossari&Associati sas per la concessione dell'utilizzo delle immagini. Questa pubblicazione è stata realizzata con il contributo di Regione Lombardia nel contesto del progetto PHA STAR finanziato dal bando "Smart Fashion and Design" (ID 187066).

ISBN 9788890762840
© Consorzio Italtotec, 2019

Diritti riservati. Questo lavoro è reso disponibile da Consorzio Italtotec in qualità di editore.

Questa opera può essere copiata, ridistribuita e adattata per scopi non commerciali, a condizione che il lavoro sia opportunamente citato. L'uso del logo di Consorzio Italtotec non è permesso.

In caso di traduzione, è richiesta l'inclusione della seguente dichiarazione di non responsabilità insieme alla già menzionata citazione: "Questa traduzione non è stata creata da Consorzio Italtotec. Il Consorzio Italtotec non è responsabile per il contenuto o accuratezza di questa traduzione. L'edizione italiana originale sarà l'edizione autorevole".

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

AGV	Acidi grassi volatili
bio-PE	Bio-polyethylene
bio-PET	Bio-polyethylene terephthalate
CIB	Consorzio Italiano Biogas
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche
COD	Chemical Oxygen Demand
DISAA	Dipartimento di Scienze Agrarie ed Ambientali
EFB	European Federation of Biotechnology
EPD	Environmental Product Declaration
FEASR	Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale
FESR	Fondo Europeo di Sviluppo Regionale
FSE	Fondo Sociale Europeo
FORSU	Frazione Organica del Rifiuto Solido Urbano
ICSC PAS	Institute of Catalysis and Surface Chemistry of Polish Academy of Sciences
LCA	Life cycle assessment
LGCA	Lombardy Green Chemistry Association
LSK	Life Science Klaster Krakow
PBS	Polybutylene succinate
PE	Polyethylene
PHA	Polyhydroxyalkanoates
PHB	Polyhydroxybutyrate
P(HB-co-HV)	Poly(hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate)
PLA	Polylactic acid
PP	Polypropylene
PTT	Polytrimethylene terephthalate
PVC	Polyvinyl chloride
SME	Small and Medium Enterprise
S3	Smart Specialisation Strategy
TRL	Technology Readiness Level

GLOSSARIO

Biomassa	Frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, gli sfalci e le potature provenienti dal verde pubblico e privato, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani (Direttiva 2001/77/CE e D.Lgs. 387/2003, modificati dalla Direttiva 2009/28/CE e D.Lgs. 28/2011).
Bio-raffineria	Impianto in cui si compiono operazioni sulle biomasse per ottenere energia, combustibili, prodotti chimici e materiali.
Bioeconomia	Economia che impiega le risorse biologiche, provenienti dalla terra e dal mare, come input per la produzione energetica, industriale, alimentare e mangimistica.
Cluster tecnologico	Reti di soggetti pubblici e privati che operano sul territorio nazionale in settori quali la ricerca industriale, la formazione e il trasferimento tecnologico. Funzionano da catalizzatori di risorse per rispondere alle esigenze del territorio e del mercato, coordinare e rafforzare il collegamento tra il mondo della ricerca e quello delle imprese. Ciascuna aggregazione fa riferimento a uno specifico ambito tecnologico e applicativo ritenuto strategico per il Paese.
Economia circolare	Sistema economico pensato per potersi rigenerare da solo garantendo dunque anche la sua ecosostenibilità. Una volta che il prodotto ha terminato la sua funzione, i materiali di cui è composto vengono reintrodotti, laddove possibile, nel ciclo economico. In questo modo, si possono continuamente riutilizzare all'interno del ciclo produttivo generando ulteriore valore, estendendo il ciclo di vita dei prodotti e contribuendo a ridurre i rifiuti al minimo.
Eco-design	Concetto che caratterizza la progettazione di un prodotto o di un sistema sociale o economico nel rispetto dell'ambiente in cui viviamo.
Materiale bio-based	Materiale a base biologica interamente o parzialmente ricavato da biomassa, che non include componenti di origine fossile (carbone o petrolio).
Smart Specialisation Strategy (S3)	Strumento utilizzato in tutta l'Unione europea per migliorare l'efficacia delle politiche pubbliche per la ricerca e l'innovazione.
Vanguard Initiative	Rete europea che si propone di contribuire alla rivitalizzazione dell'industria europea sulla base della strategia S3.

ABSTRACT

In Lombardia le imprese che investono nella green economy sono 61.650, quasi il 20% del totale nazionale, confermando la crescente spinta regionale per l'adozione di soluzioni eco-efficienti nell'utilizzo delle materie prime, dei consumi energetici, della produzione di rifiuti e della riduzione delle emissioni atmosferiche¹.

L'impegno della Regione Lombardia per uno sviluppo sostenibile ha portato alla definizione di strumenti normativi tra i quali la legge regionale "Lombardia è Ricerca"² e documenti di orientamento, tra i quali il Programma Strategico Triennale per la Ricerca, l'Innovazione e il Trasferimento Tecnologico³ a sostegno della capacità di innovazione dell'intero territorio per il triennio 2018-2020.

Il paradigma della crescita sostenibile è qui definito in tutte le sue dimensioni ecologica, sociale ed economica, con impatti diretti sul futuro del pianeta e sul comportamento dei suoi abitanti, chiamati a essere sempre più responsabili delle problematiche ambientali e attenti alla limitatezza delle risorse naturali.

La ricerca scientifica ricopre un ruolo centrale nella produzione di modelli produttivi sostenibili e a questo fine, i Cluster Tecnologici regionali hanno l'importante compito di incoraggiare l'innovazione responsabile e lo sviluppo di nuove opportunità di business per le imprese del territorio.

Nel settore della Bioeconomia, il Cluster Lombardo della Chimica

Verde – LGCA, costituisce un punto di riferimento per lo sviluppo di nuove filiere basate sulla valorizzazione delle risorse biologiche rinnovabili e la loro trasformazione mediante tecnologie di biotecnologia industriale, in biomateriali e bioenergie a basso impatto ambientale. Il Cluster LGCA, coordinatore del Pilot sulla Bioeconomia dell'Iniziativa Vanguard, riunisce oltre 25 regioni europee interessate allo sviluppo di una Strategia interregionale per la Bioeconomia e allo sviluppo di casi dimostrativi di bioraffinerie di ultima generazione per la creazione di prodotti e processi alternativi all'uso di fonti fossili. La continua ricerca di modelli sostenibili di produzione è una prerogativa di tutte le realtà industriali, ed alcuni temi rivestono un ruolo strategico non solo per lo sviluppo di una singola idea imprenditoriale ma per l'intero ecosistema produttivo di un territorio.

Tra le sfide ambientali e sociali di maggior rilievo, la sostituzione della plastica e il problema della sua non-biodegradabilità, ha spinto molte aziende ad investire nello studio di nuove bioplastiche in grado di poter garantire i medesimi standard della plastica tradizionale con il vantaggio di essere completamente biocompatibili. Questo Studio realizzato da Consorzio Italbiotec, primo ente no-profit italiano nel settore delle biotecnologie, in collaborazione con LGCA, mira a dimostrare la sostenibilità e il potenziale industriale di sviluppo del mercato delle bio-

plastiche in Regione Lombardia. Sono stati analizzati alcuni casi di successo regionali ed europei e, in particolare, quello del progetto di ricerca industriale PHA-STAR è stato eletto come modello di filiera integrata ed innovativa.

Partendo proprio da questi presupposti, il progetto PHA-STAR, finanziato da Regione Lombardia nell'ambito del bando Smart Fashion and Design, si propone di mettere a punto un protocollo di produzione di poliidrossialcanoati (PHA), biopolimeri microbici ottenuti attraverso processi di fermentazione, a partire da sottoprodotti inutilizzati della filiera lattiero-casearia lombarda⁴.

La fattibilità del progetto è stata dimostrata attraverso la produzione di manufatti di Eco-design per il mondo della floricoltura. Il progetto, coordinato da Agromatrici Srl, realtà industriale impegnata nel recupero delle biomasse e nello sviluppo di soluzioni per la valorizzazione e recupero di scarti e rifiuti, si è avvalso dell'esperienza del gruppo di ricerca Ricicla del Dipartimento di Scienze Agrarie ed Ambientali (DISAA) dell'Università degli Studi di Milano e del Consorzio Italbiotec.

È stata quindi analizzata l'intera filiera, definendo il ruolo di ogni attore della catena del valore con lo scopo di avvicinare il mondo dei produttori di biomasse ai trasformatori, dimostrando la sostenibilità e il potenziale impatto socio-economico del modello PHA-STAR.

CONTESTO GENERALE

¹ Rapporto Green In Italy 2018. Graduatoria regionale secondo la numerosità delle imprese che hanno effettuato eco-investimenti nel periodo 2014-2017 e/o investiranno nel 2018 in prodotti e tecnologie green (Fonte Unioncamere). Al primo posto la Lombardia (61.650 imprese), segue il Veneto (34.979) e al terzo posto, il Lazio (32.545)

² LR n. 29 del 23 novembre 2016 "Lombardia è ricerca e innovazione": <https://www.openinnovation.regione.lombardia.it/it/lombardia-ricerca/la-legge>

³ Programma Strategico Triennale per la Ricerca, l'Innovazione e il Trasferimento Tecnologico: <https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioAvviso/servizi-e-informazioni/cittadini/scuola-universita-e-ricerca/programma-strategico-triennale-ricerca>

⁴ PHA-STAR acronimo di "Sviluppo di nuovi manufatti per il settore design da bioplastiche sostenibili" ID187066

1.1	VERSO UNA BIOECONOMIA CIRCOLARE PER LA REGIONE LOMBARDIA	6
1.2	LA DIMENSIONE INTERREGIONALE: MODELLI DIMOSTRATIVI PER LA PRODUZIONE DI BIOPOLIMERI	8
1.3	LA BIOECONOMIA E IL MONITORAGGIO DEL POTENZIALE INDUSTRIALE, SOCIALE ED AMBIENTALE	11

1. Contesto generale

1.1 VERSO UNA BIOECONOMIA CIRCOLARE PER LA REGIONE LOMBARDA

Nel 2015 la definizione dei 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile – Sustainable Development Goals, SDGs – da parte dei 193 Paesi Membri dell'ONU, ha contribuito all'affermazione di una visione integrata delle diverse dimensioni dello sviluppo sostenibile, che comprendono, oltre a quella ambientale, anche quella sociale ed economica. La nascita di nuove filiere produttive attente alla sostenibilità consente il raggiungimento di alcuni degli Obiettivi di Sostenibilità definiti. In tema di bioeconomia e di affermazione del settore industriale basato sulla valorizzazione delle risorse di origine biologica, gli obiettivi di crescita sostenibile, innovazione e consumo responsabile costituiscono gli aspetti essenziali per la conversione delle filiere produttive tradizionali in ecosistemi sostenibili e tra loro integrati.



L'OBIETTIVO 8 è fondamentale per il raggiungimento di una bioeconomia circolare, promuovendo una crescita economica inclusiva e una piena occupazione per tutti.



L'OBIETTIVO 9 sostiene l'industrializzazione e l'innovazione sostenibile, riferendosi non solo allo sviluppo di tecnologie innovative, ma anche al miglioramento delle pratiche esistenti, politiche, modelli di business e mezzi di comunicazione.



L'OBIETTIVO 12 evidenzia come il consumo e la produzione sostenibile siano rilevanti per la produzione di nuovi bioprodotto, sottolineando come l'accettabilità del consumatore sia fondamentale per lo sviluppo della bioeconomia.



L'OBIETTIVO 15 diventa perseguibile quando i modelli di business basati sulla valorizzazione delle biomasse sono in grado di promuovere e ristabilire un uso sostenibile degli ecosistemi terrestri, tenendo in considerazione la limitatezza delle risorse.

La bioeconomia rappresenta uno dei più grandi e importanti settori di intervento dell'Unione Europea abbracciando tutti i settori e i sistemi basati sull'utilizzo di risorse biologiche quali l'agricoltura, la silvicoltura, la pesca, la produzione alimentare, la bioenergia e i bioprodotto.

L'Europa considera la bioeconomia uno dei motori dello sviluppo sostenibile cui si deve un valore della produzione annuale di circa 2.000 miliardi di euro e l'occupazione di 18 milioni di addetti, tale per cui dal 2012 ha messo in campo strategie in grado di incentivare lo sviluppo della conoscenza, della ricerca e dell'innovazione nel campo della trasformazione delle risorse biologiche rinnovabili in prodotti ed energia⁵. L'obiettivo principale è lo sviluppo di una logica circolare che non tolga risorse agli utilizzi primari, come quelli dell'alimentazione, ma massimizzi le opportunità di riutilizzo attraverso una continua e costante innovazione tecnologica.

Fin da subito i concetti di Bioeconomia ed economia circolare si sono dimostrati strettamente correlati. Da un lato il **Pacchetto sull'economia circolare (2015)**⁶, basato sulle tre "R": Ridurre, Riusare, Riciclare, con lo scopo primario di "chiudere il cerchio" dei materiali stimolando il mercato delle materie prime secondarie; dall'altro la **Bioeconomy Strategy (2018)**⁷ che rappresenta un programma di ricerca ed innovazione per la valorizzazione sostenibile dei biomateriali.

Entrambi convergono verso la creazione di un modello di crescita economica nel rispetto delle preoccupazioni ambientali connesse alla limitatezza delle risorse naturali.

La realizzazione di una strategia per lo sviluppo di una bioeconomia circolare e sostenibile necessita di uno sforzo congiunto da parte delle autorità pubbliche e dell'industria, chiamate a contribuire al sostenimento delle nuove misure messe in atto dalla Commissione Europea a partire dal 2019, tra le quali:

● ESPANDERE E RAFFORZARE I BIOSETTORI:

la bioeconomia possiede il potenziale di innovare e modernizzare l'economia e le industrie europee. Lo sviluppo di una piattaforma di investimento dedicata alla bioeconomia circolare con una dotazione di 100 milioni di € permetterà di avvicinare le bioinnovazioni al mercato e di agevolare lo sviluppo di bioraffinerie in tutta Europa.

● INTRODURRE LE BIOECONOMIE IN TUTTE EUROPA:

gli Stati membri e le regioni hanno un grande potenziale in termini di biomassa e rifiuti sottoutilizzati. L'introduzione di un meccanismo di sostegno dell'UE alle politiche in materia di bioeconomia consentirà agli Stati membri di dotarsi di programmi nazionali e regionali e avviare azioni pilota per il suo sviluppo nelle zone rurali, costiere e urbane.

● PROTEGGERE L'ECOSISTEMA E COMPRENDERE I LIMITI ECOLOGICI DELLA BIOECONOMIA:

il nostro ecosistema deve far fronte a gravi minacce e sfide, tra cui l'aumento della popolazione, il cambiamento climatico e il degrado del suolo. Lo sviluppo di un sistema di monitoraggio dei progressi compiuti verso una bioeconomia circolare e sostenibile contribuirà ad ampliare le conoscenze relative a specifici biosettori e promuovere buone pratiche per operare nell'ambito della bioeconomia entro limiti ecologici sicuri.

L'Italia è stata fra i primi Stati membri a dotarsi di una Strategia per lo sviluppo della Bioeconomia, ed è impegnata ad aumentare del 20% il valore della produzione e del 15% l'occupazione nel settore entro il 2030. Secondo il V Rapporto del Centro Studi Intesa San Paolo, in collaborazione con Federchimica e Assobiotech, nel 2017⁸, l'insieme delle attività connesse alla bioeco-

nomia in Italia ha generato un fatturato pari a circa 328 miliardi di euro, occupando oltre due milioni di persone.

Secondo queste stime, la bioeconomia rappresenta il 10,1% in termini di produzione e il 7,7% in termini di occupati sul totale dell'economia italiana del 2017.

Osservando la bioeconomia in una dimensione locale, tra le regioni italiane, la **Lombardia** occupa un ruolo di rilievo nel trainare il settore bio-based. Sono 26.000 le imprese lombarde operanti nel settore biochimico (Camera di Commercio di Milano) - oltre un quinto del totale italiano (21,65%) - che fanno della ricerca e innovazione un fattore decisivo del loro sviluppo. Esse investono 3 miliardi di euro annui, sugli 11 a livello nazionale, e danno lavoro a 33.000 addetti su 50.000 totali⁹.

Il valore strategico della bioeconomia nella creazione di un modello di sviluppo sostenibile è dimostrato dall'impegno messo in atto da Regione Lombardia nell'individuazione di strumenti di governance basati sull'aggregazione di soggetti coinvolti nei processi di innovazione e competitività futura dell'economia regionale. Tra i temi individuati c'è la chimica verde, ovvero l'utilizzo sostenibile di materie prime rinnovabili, che rappresenta il cuore dello sviluppo della bioeconomia.

In quest'ottica, nel 2013 è nata la **Lombardy Green Chemistry Association** – LGCA, cluster punto di riferimento per tutti gli innovatori operanti nel settore della bioeconomia, fondato per iniziativa del Consorzio Italtotec, primo ente no-profit italiano per lo sviluppo delle biotecnologie industriali, InnovHub-SSI, Politecnico e Università degli Studi di Milano. Oggi il Cluster è l'interlocutore di Regione Lombardia per le iniziative a sostegno della bioeconomia del territorio e riunisce oltre **50 enti pubblici e privati**, tra cui 11 Università e Centri di Ricerca, 34 piccole, medie e grandi imprese e 7 Associazioni e Consorzi.

⁵ The Bioeconomy Strategy – European Commission: <https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/index.cfm?pg=policy&dib=strategy>

⁶ L'anello mancante - Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614>

⁷ A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment: https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec_bioeconomy_strategy_2018.pdf?view=fit&pageMode=none

⁸ La Bioeconomia in Europa 5° Rapporto: <https://assobiotech.federchimica.it/attivita/C3%A0/dati-e-analisi/bioeconomia>

⁹ <http://opendata.milomb.camcom.it/openDataFront/#/>



Il Cluster contribuisce a creare condizioni favorevoli allo sviluppo della bioeconomia a livello regionale e incoraggia la creazione di un ecosistema di innovazione e collaborazione tra centri di ricerca, università e imprese. Le realtà industriali coinvolte nel Cluster si dividono principalmente in 3 macroaree, in base al mercato in cui operano: il settore della chimica fine, con la produzione di cosmetici, integratori alimentari e farmaci; il settore della produzione di biogas; quello dei servizi di ricerca e sviluppo delle biotecnologie. Esse contribuiscono ad occupare oltre **1.800 addetti**, con un fatturato totale di oltre **650 milioni di euro**.



Affinché la bioeconomia si sviluppi a livello lombardo è necessario definire politiche regionali a supporto dell'innovazione nel settore, promuovendo un più ampio uso delle risorse rinnovabili a sostegno di una crescita sostenibile. In questo contesto, il Cluster LGCA collabora all'implementazione della **Smart Specialisation Strategy della Regione Lombardia**¹⁰, incoraggiando lo sviluppo di modelli di business sostenibili coerenti con la programmazione territoriale.

Inserita all'interno della riforma della Politica di Coesione 2014-2020 della Commissione Europea, la Strategia di specializzazione intelligente (S3) è uno strumento utilizzato in tutta l'Unione europea per migliorare l'efficacia delle politiche pubbliche per la ricerca e l'innovazione. Essa rappresenta un approccio innovativo che mira ad aumentare la crescita e l'occupazione in Europa, consentendo a ciascuna regione di identificare e sviluppare i suoi vantaggi competitivi.

La Strategia S3 di Regione Lombardia per la ricerca e l'innovazione costituisce la condizionalità *ex-ante* per l'accesso ai fondi strutturali di finanziamento comunitari (Fesr/Fse/Feasr). Essa si propone di individuare le risorse ed il potenziale innovativo presenti sul territorio e di selezionare le priorità, in termini di settori produttivi e di ambiti tecnologici su cui concentrare gli investimenti.

La bioeconomia nella Regione Lombardia comprende due principali aree di specializzazione dell'Eco-industria e dell'Agroalimentare, considerate tra i principali pilastri della strategia di sviluppo regionale.

Nell'area di specializzazione Eco-industria sono coinvolte oltre 40.000 aziende con circa 190.000 dipendenti operanti nel settore della generazione di energia pulita, gestione e purificazione dell'acqua, edilizia sostenibile - in Lombardia il sistema di produzione nel settore

energetico coinvolge oltre 28.000 addetti e genera un fatturato di 9 miliardi di euro - e della chimica verde, produzione di sostanze chimiche ed energia da fonti rinnovabili (biomassa e/o rifiuti organici).

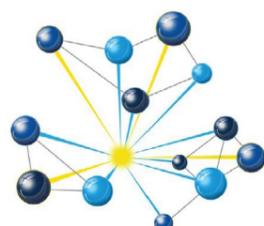
La chimica verde rappresenta un'interessante opportunità per il settore manifatturiero, poiché è al crocevia di quasi tutti i macro-trend identificati dall'Unione Europea: efficienza nell'uso delle risorse, aumento dell'uso di materie prime rinnovabili, lotta ai cambiamenti climatici, sviluppo di un'economia basata sulla conoscenza, riduzione dell'impatto ambientale dell'economia.

L'area di specializzazione Agroalimentare è la più importante in Italia e una delle più rilevanti nel contesto europeo. I temi prioritari di ricerca che hanno un'inclusione diretta nel settore della bioeconomia sono strettamente connessi alla produzione agricola, all'implementazione di sistemi integrati e sostenibili di trasformazione che includono le tecnologie abilitanti relative alle biotecnologie, ai materiali avanzati e ai sistemi di produzione avanzati.

1.2 LA DIMENSIONE INTERREGIONALE: MODELLI DIMOSTRATIVI PER LA PRODUZIONE DI BIOPOLIMERI

Regione Lombardia attraverso i Cluster incoraggia lo sviluppo di nuove opportunità di mercato all'interno delle aree di specializzazione tramite l'evoluzione delle industrie tradizionali in industrie emergenti e favorisce un approccio market-driven nelle attività di ricerca in grado di rispondere alle sfide della società.

In Europa, il Cluster LGCA contribuisce alla definizione e implementazione di politiche a supporto dell'innovazione nel settore della bioeconomia anche attraverso la partecipazione a reti di cooperazione interregionali, tra le quali la **Vanguard Initiative**, dove riveste il ruolo di Coordinatore tecnico del Pilot sulla Bioeconomia. Vanguard è una rete europea di oltre 35 regioni impegnate nella rivitalizzazione dell'industria europea sulla base della strategia di specializzazione intelligente con lo scopo di potenziare ed accelerare lo sviluppo di mercati ad alto potenziale innovativo.



VANGUARD INITIATIVE
New growth through smart specialisation

Il Cluster LGCA coordina con Regione Lombardia il **Pilot Bioeconomy – Interregional cooperation on innovative use of non-food Biomass**, progetto che coinvolge oltre 25 regioni europee interessate allo sviluppo di una Strategia per lo sviluppo della Bioeconomia e a sostenere progetti di innovazione ad alto impatto innovativo e competitivo¹¹.

Il Pilot incoraggia lo sviluppo di nuove catene del valore basate sulla valorizzazione di risorse bio-based incentivando progetti dimostrativi d'avanguardia e la loro immissione sul mercato.

Attualmente il Pilot coinvolge tre partnership costituite intorno a corrispettivi modelli sostenibili di business basati sul recupero e trasformazione di biomassa per la produzione di prodotti e di sistemi ad alto valore aggiunto:

● PRODUZIONE DI MOLECOLE BIOAROMATICHE:

un modello di business basato sullo sviluppo di composti aromatici derivanti da biomassa. La partnership è guidata dalla regione delle Fiandre e coinvolge ulteriori quindici regioni europee aderenti all'iniziativa Vanguard¹².

● BIORAFFINERIA LIGNOCELLULOSICA:

un modello di business incentrato sulla conversione della frazione di biomassa lignocellulosica in intermedi

e componenti per la produzione di biocarburanti e sostanze chimiche. La partnership è guidata dalla regione dell'Olanda meridionale e coinvolge altre cinque regioni europee¹³.

● BIO-METANO LIQUEFATTO:

un modello di business per la produzione e l'uso di bio-metano liquefatto applicato al trasporto. La partnership è guidata dall'Emilia-Romagna in collaborazione con la Lombardia e coinvolge altre quattro regioni europee¹⁴.

Il Bioeconomy Pilot incoraggia la creazione di partnership intorno a modelli di business sostenibili in grado di sviluppare tecnologie ad alto potenziale innovativo pronte per immettere sul mercato prodotti e modelli produttivi biobased. Nel corso del 2019, il Pilot ha portato avanti una mappatura dei casi dimostrativi più promettenti, tra questi la produzione di biopolimeri rappresenta uno degli esempi di maggiore interesse e potenzialità industriale, coinvolgendo in questa attività la regione Malopolska (Polonia).

La Regione Malopolska ha riunito tutti gli innovatori del settore Life Science in un unico interlocutore strategico, il **LifeScience Klaster (LSK)** di Cracovia, nato nel 2006, con l'obiettivo di sviluppare e immettere sul mercato innovazioni nel campo delle biotecnologie.



¹¹ Vanguard Initiative – Bioeconomy Pilot <https://www.s3vanguardinitiative.eu/cooperations/bio-economy-interregional-cooperation-innovative-use-non-food-biomass>

¹² Randstad, North Rhein Westfalia, Slovenia, Piemonte, Upper Austria, Lower Austria, Galles, Paesi Baschi, Vallonia, Värmland, Navarra, Lombardia, Emilia-Romagna, Scozia.

¹³ Randstad, Fiandre, Scozia, Galles, Slovenia

¹⁴ Randstad, Upper Austria, North Rhine Westphalia, Northern Netherland

¹⁰ Smart Specialisation Strategy S3 – Regione Lombardia: <http://www.s3.regione.lombardia.it>



LSK rappresenta un network collaborativo orientato alla ricerca, impegnato nel consentire un'effettiva connessione globale. Il suo scopo è quello di ottimizzare il potenziale degli individui e delle organizzazioni, incoraggiando lo sviluppo della ricerca fino alla commercializzazione dei risultati. Un importante aspetto del Cluster è quello di associare le tecnologie e i prodotti migliorando la qualità della vita individuale. Questo include la scoperta di farmaci e servizi di ricerca, diagnostica medica, telemedicina, alimenti complementari, cosmetici e tecnologie ambientali. Il Cluster vanta la collaborazione di più di 70 entità, tra cui SMEs (47%), altre istituzioni pubbliche (31%) e grandi imprese (18%).

L'Institute of Catalysis and Surface Chemistry of Polish Academy of Sciences (ICSC PAS), fondato nel 1968 è uno dei membri del Cluster. Le sue attività di ricerca dell'Istituto abbracciano diversi ambiti e comprendono il design, la sintesi, la verifica pratica di materiali e processi avanzati. Molti sforzi dell'Istituto sono concentrati nello sviluppo di nuovi nanomateriali "intelligenti" e sistemi bioattivi.

Nel contesto della bioeconomia l'Istituto si sta occupando di due progetti basati sullo sviluppo di nuovi biopolimeri. Due casi dimostrativi attualmente in corso di sviluppo sotto il coordinamento del gruppo di ricerca del Dr. Maciej Guzik stanno contribuendo alla definizione di un modello per la produzione di biopolimeri sostenibile ed ecocompatibile.



PHATechMat - Vegetable oil biorefining technology for production of advanced composite materials. L'obiettivo principale è quello di proporre un modello di bioraffineria per la produzione di poliidrossialcanoati (PHA). Il secondo scopo è quello di dimostrare il potenziale di questi polimeri nello sviluppo dell'economia polacca, preparando materiali composti per diversi usi nel campo della medicina (impianti di ossa o cartilagine), nel settore tessile, alimentare, packaging e prodotti plastici.

L'attività di ricerca prevede la costruzione di un prototipo, la sua validazione e la produzione di due tipi di polimeri di PHA dai prodotti di idrolisi dell'olio di colza.

La tecnologia così sviluppata potrà essere resa disponibile sul mercato attraverso la sua brevettazione.

Saranno create una serie di miscele di PHA e composti polimeri-ceramica utilizzate poi per la creazione di impianti ossei che saranno caratterizzati tramite analisi fisico-chimiche e biologiche (*in vitro* e *in vivo*).

FunBioMed - Novel functionalised biopolymers for medical applications.

Lo scopo di FunBioMed è di produrre nuovi biopolimeri per applicazioni mediche. I PHA saranno modificati attraverso un processo di esterificazione biocatalitica con antibiotici, antiinfiammatori steroidi e non steroidei.



I materiali saranno creati sotto forma di schiume e ne saranno determinate le loro caratteristiche fisico-chimiche e antimicrobiche. Gli studi *in vitro* sulla formazione del tessuto sulla schiuma da parte di condroblasti e osteoclasti permetterà la valutazione delle loro applicazioni nel campo dell'ingegneria tissutale. Verranno condotti saggi di migrazione di cellule della pelle sulle schiume funzionalizzate e studi *in vivo* su topi da laboratorio, valutando la loro efficacia nella guarigione delle ferite.

La produzione di bioplastiche in Regione Lombardia rappresenta uno dei settori in maggiore espansione. La necessità di fare ricorso a materie prime ecosostenibili e di utilizzare principi di bioeconomia circolare ha dato impulso a numerosi progetti di ricerca e sviluppo. Tra i casi di maggiore maturità industriale, vi sono quelli rappresentati dal progetto Rainbow e dall'azienda e-Koala.

Rainbow - Renewable Raw materials valorisation for Innovative Bioplastic production from urban Waste.



Il progetto finanziato da Regione Lombardia nel contesto del bando R&S Linea per aggregazioni (2016) è guidato da Agromatrici Srl, in partnership con partner industriali ed accademici, Alan Srl, Cat-Ronzoni, Università degli Studi di Milano e CNR-ICRM. Con un in-

vestimento di 1.300.000 euro e una sperimentazione di due anni, il progetto ha validato un modello di bioraffineria mettendo a punto un protocollo ecologicamente ed economicamente sostenibile per la produzione di bioplastiche, i poliidrossialcanoati (PHA), a partire dalla frazione organica del rifiuto solido urbano (FORSU).

Questo protocollo potrà essere facilmente integrato nella filiera di trasformazione del rifiuto e della produzione di prodotti bio-based alternativi a quelli di origine fossile. Il progetto RAINBOW si basa sulla messa a punto di un impianto pilota di tipo "percolatore" per la produzione di AGV, che rappresentano la base per la successiva trasformazione dei rifiuti in PHA. La FORSU, essendo ubiquitaria e generata di continuo, diventa una risorsa innovativa che si presta ad essere utilizzata come substrato per la produzione dei PHA, utile a ridurre drasticamente i costi della materia prima. Attualmente la FORSU a livello regionale è impiegata per la produzione di compost o per la produzione di energia: RAINBOW propone la FORSU come feedstock per la creazione di una nuova catena del valore con l'obiettivo primario di produrre nuovi biomateriali da impiegare in altri settori manifatturieri, consentendo così la diversificazione della produzione.



eKoala - Dall'agricoltura alle bioplastiche: un modello di economia circolare lombarda.

eKoala Srl (www.ekoala.eu), startup nata in Lombardia dalla volontà di due fratelli, Beatrice e Daniele Ra-daelli, rappresenta una delle prime realtà italiane che ha scelto di sostituire le plastiche tradizionali con le nuove e innovative bioplastiche, per la creazione di prodotti per l'infanzia, completamente biodegradabili e atossici.

Per la realizzazione dei suoi prodotti, eKoala utilizza il Mater-Bi, bioplastica brevettata e commercializzata da Novamont Spa, le cui componenti essenziali sono amido di mais e oli vegetali. Il materiale lavorabile in modo simile alle altre materie plastiche, anche per quanto riguarda la colorazione e la sterilizzazione, presenta il vantaggio di essere completamente biodegradabile. L'intera gamma di prodotti eKoala deve superare i più severi test di laboratorio che garantiscano l'assenza di sostanze tossiche e che li certifichino 100% sicuri per i bambini.

eKoala rappresenta quindi un caso di eccellenza, proponendosi come esempio di sostenibilità e di economia circolare in Regione Lombardia.

1.3 LA BIOECONOMIA E IL MONITORAGGIO DEL POTENZIALE INDUSTRIALE, SOCIALE ED AMBIENTALE

Il Cluster LGCA nel contesto dell'iniziativa di cooperazione interregionale Vanguard Initiative ha siglato un accordo di collaborazione con il progetto europeo BioMonitor (www.biomonitor.eu), con lo scopo di condividere conoscenza e strumenti per la determinazione degli impatti generati dalla Bioeconomia.

Monitorare il potenziale industriale regionale ed il suo sviluppo sostenibile per avvicinare produttori a tra-

sformatori è un obiettivo del progetto europeo BioMonitor, impegnato nello sviluppo di un modello statistico per misurare la bioeconomia in Europa, quantificando i suoi impatti economici, sociali ed ambientali¹⁵.

BioMonitor contribuisce a colmare un gap di conoscenza connessa alle produzioni dei mercati emergenti, come quelle delle bioplastiche, in grado di rispondere alla mancanza di una banca dati completa di statistiche sugli usi industriali della biomassa, all'assenza di una metodologia trasparente per la raccolta dati, ed infine, alla carenza di indicatori integrati alle catene del valore che possano illustrare i flussi tra le attività che trasformano la materia prima organica in prodotto finito. Il miglioramento delle banche dati concorre alla creazione di nuovi modelli di governance (*BioMonitor Model Toolbox*) per supportare imprese e organi governativi verso strategie di lungo termine, e allo sviluppo di una piattaforma (*BioMonitor Data Platform*) per testare e disseminare i risultati derivati dalle iniziative di innovazione.

La definizione di indicatori per la quantificazione dell'impatto economico, ambientale e sociale della bioeconomia di settori emergenti, come quello dei polioidrosialcanoati (PHA), consente di misurare la capacità di questi prodotti di rispondere ai target fissati dalla Commissione Europea, ad esempio quello di "riduzione dei gas a effetto serra del 40% entro il 2030 rispetto al 1990", valuta-

to mediante la misurazione delle "emissioni e assorbimenti di carbonio a livello energetico e industriale"¹⁶.

Per cogliere tutti gli aspetti di sostenibilità e circolarità che caratterizzano la bioeconomia, BioMonitor integra dati ed indicatori dell'intera catena del valore attraverso lo sviluppo di matrici input-output per i settori e sub-settori di interesse. Le catene del valore sono direttamente collegate a delle tavole input-output consentendo di individuare le quote di partecipazione e le relative interconnessioni lungo la supply chain, il loro grado di circolarità, ed infine i loro cambiamenti nel tempo e nello spazio.

La raccolta di dati a livello regionale all'interno degli Stati membri è un fattore essenziale per validare la sostenibilità del modello di business a partire dall'uso dei sottoprodotti in combinazione con la capacità locale di produzione e trasformazione, illustrando la quantità di materiale riutilizzato e riutilizzabile a livello regionale.

L'obiettivo finale del progetto BioMonitor è quello di ottenere un quadro più chiaro di come la bioeconomia influenza le nostre vite, stabilendo un nuovo e consolidato quadro statistico e di modellizzazione della bioeconomia, compatibile con i sistemi esistenti di uffici statistici e doganali, laboratori e industrie.

Il coinvolgimento degli stakeholder con la piattaforma sviluppata garantisce che la conoscenza generata dal progetto non rimanga a livello accademico, ma sia diffusa a tutti gli attori coinvolti.



NUOVE FILIERE SOSTENIBILI PER LO SVILUPPO DEL MERCATO LOMBARDO DEI BIOPOLIMERI

¹⁵ Il progetto BioMonitor (2018-2022) coinvolge 18 partner accademici e industriali provenienti da 11 paesi europei. I contributi riportati nel paragrafo riportano alcuni concetti chiave definiti e trascritti nel proposal del progetto e nel deliverable "D1.1: Framework for measuring size and development of bioeconomy with a list and detailed description of bioeconomy indicators, measures, and data requirements".

¹⁶ Questo è uno degli indicatori selezionato da BioMonitor attraverso un lavoro di rassegna di quelli già utilizzati (ad es. da EUROSTAT, Forest Europe, European Environment Agency), di iniziative di monitoraggio della bioeconomia (ad es. SAT-BBE, BERST) ed infine sulla base di feedback ricevuti da un'ampia gamma di stakeholders coinvolti tramite workshops.

2.1	IL SISTEMA AGRO-INDUSTRIALE IN LOMBARDA: UN UTILIZZO SOSTENIBILE DELLE MATERIE PRIME.....	14
2.2	BIOTRASFORMAZIONI: UN MODELLO DI BIORAFFINERIA PER LA LOMBARDA	15
2.3	IL POST-CONSUMO: RACCOLTA, RICICLO E RIUSO IN LOMBARDA.....	16

2. Nuove filiere sostenibili per lo sviluppo del mercato lombardo dei biopolimeri

L'industria delle bioplastiche compostabili è una delle filiere a maggiore impatto sociale e ambientale per lo sviluppo di un modello di economia sostenibile. Il riutilizzo di materie prime ottenute da biomasse agricole e fonti rinnovabili, come i sottoprodotti della trasformazione agroalimentare e i rifiuti organici, coinvolge tutti gli attori della filiera, dai produttori ai trasformatori fino al consumatore finale.

Nel 2018 in Italia, l'industria delle plastiche biodegradabili e compostabili è rappresentata da 252 aziende – suddivise in produttori di sostanze chimiche e intermedi di base (5), produttori e distributori di granuli (20), operatori di prima trasformazione (162), operatori di seconda trasformazione (65), con **2.550 addetti** dedicati per **88.500 tonnellate di manufatti compostabili** prodotti, con un **fatturato di 685 milioni di euro**.

La crescita del numero di imprese presenti nel settore è passata da 143 operatori del 2012 ai 252 del 2018 (Plastic Consult, 2018)¹⁷.

In **Regione Lombardia** il settore della produzione di materie plastiche biodegradabili e compostabili rappresenta circa **un quarto del comparto nazionale** in termini di contributo al valore della produzione, ed è costituito da operatori di prima e seconda trasformazione per la produzione di shopper monouso per la spesa, sacchi per la raccolta della frazione organica, manufatti per l'agricoltura, la ristorazione, il packaging alimentare e l'igiene della persona. Nel 2018 il valore della produzione ha raggiunto i **264 milioni di euro** impiegando **700 addetti** (elaborazione dati LGCA, 2019)¹⁸.

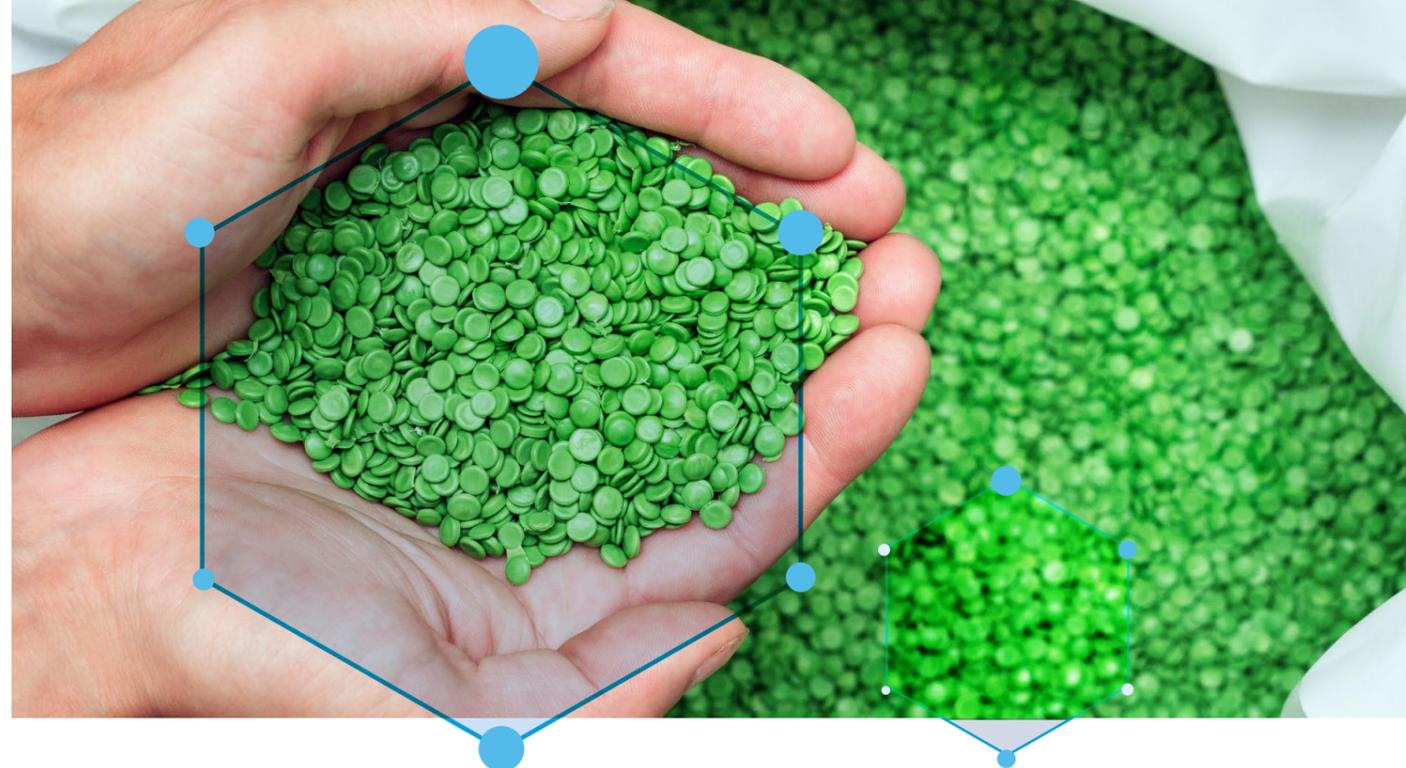
Il potenziale innovativo della produzione di bioplastiche compostabili può quindi contare su un sistema economico complesso, in grado di poter affrontare la sfida di una riconversione delle attività produttive basate su fonti fossili con processi bio-based.

Questo studio intende considerare l'intera filiera delle bioplastiche compostabili dai produttori di materie prime di partenza, ai trasformatori sino alla gestione post-consumo, verificando i casi dimostrativi considerati e il potenziale impatto economico, sociale ed ambientale generato sul territorio lombardo.

2.1 IL SISTEMA AGRO-INDUSTRIALE IN LOMBARDIA: UN UTILIZZO SOSTENIBILE DELLE MATERIE PRIME

La produzione di bioplastica utilizzando i sottoprodotti agricoli e agro-industriali rappresenta un mercato dal forte impatto potenziale per il territorio lombardo. Ottenuta da fonti vegetali rinnovabili, la bioplastica non entra in competizione con le filiere alimentari e presenta i vantaggi di essere biodegradabile, non utilizzare processi petrolchimici e di garantire le medesime proprietà termomeccaniche delle plastiche tradizionali.

La disponibilità locale di materie prime è pertanto una precondizione fondamentale per lo sviluppo di questo mercato, che diviene realmente sostenibile anche attraverso un sistema logistico accessibile. In questo contesto, il settore agroindustriale lombardo è il più importante a livello italiano ed uno dei più rilevanti nel contesto europeo. Nel 2016 il valore della produzione agro-industriale regionale ha raggiunto i **12,8 miliardi di euro**, pari a circa il 3,5% del Pil regionale. La produzione agricola, le attività connesse e quelle di trasformazione alimentare coinvolgono **60.000 strutture produttive e 225.000 lavoratori**, di cui 140.000 stabilmente occupati, pari al 3,2% delle unità lavorative lombarde (Il sistema Agroalimentare della Lombardia 2017)¹⁹.



2.2 BIOTRASFORMAZIONI: UN MODELLO DI BIORAFFINERIA PER LA LOMBARDIA

Ottenere bioplastica dai rifiuti urbani rappresenta un ulteriore modello di bioraffineria insieme a quelli connessi alla valorizzazione di materie prime di origine agricola e agro-alimentare (insilato di mais, canna da zucchero, siero di latte). L'adozione di consorzi microbici in grado di migliorare l'efficienza di conversione dei Rifiuti Solidi Urbani (RSU) in polimeri organici riutilizzabili, rappresenta la nuova frontiera dell'economia circolare che sfrutta la capacità dei batteri di metabolizzare grandi quantità di carbonio per produrre molecole ad alto valore aggiunto.

Un modello di bioraffineria integrata si basa sulla valorizzazione di sottoprodotti inutilizzati, facendo ricorso a tecnologie di conversione tra le quali, la **digestione anaerobica**, un processo biologico che, in assenza di ossigeno, trasforma la sostanza organica contenuta nei materiali di origine vegetale e animale in biogas, costituito principalmente da metano (CH₄) e anidride carbonica (CO₂).

Nel corso degli ultimi anni i processi di digestione anaerobica hanno registrato un notevole incremento, grazie anche alla combinazione di approcci di codigestione utilizzando differenti biomasse (reflui zootecnici, colture dedicate, sottoprodotti e rifiuti).

La metodologia applicata prevede il riutilizzo di reflui degli allevamenti, sottoprodotti delle coltivazioni, della trasformazione agroalimentare e dei rifiuti urbani per la produzione di energia rinnovabile e altri prodotti ad alto valore aggiunto, ottenuti riducendo le emissioni in at-

La produzione di bioplastiche mediante il recupero dei sottoprodotti della filiera agro-industriale ha una duplice valenza innovativa: utilizzare tutti i prodotti secondari il cui potenziale industriale è sotto-sfruttato e azzerare la creazione di rifiuti lungo tutta la filiera, attraverso la produzione di materiale biodegradabile. Tra i settori agroalimentari considerati per la produzione di bioplastiche, il comparto lattiero-caseario è tra quelli a maggiore impatto potenziale sul territorio lombardo.

Secondo i dati del mercato del latte (CLAL) aggiornati al 2019²⁰, la **Regione Lombardia** produce il **44% del latte italiano**. Ne consegue una produzione significativa di sottoprodotti come siero di latte e scotta, rilevanti sia rapportate al contesto nazionale (**36% del siero prodotto in Italia**), sia su scala globale (2,75% del siero mondiale). La valorizzazione del siero di latte in un prodotto ad alto valore aggiunto è in grado inoltre di generare un beneficio indiretto per i produttori, i quali riuscirebbero a convertire il costo di smaltimento del surplus di siero di latte in fonte di reddito, creando sinergie con le aziende che si occupano della produzione di granuli.

Il costo della produzione di granuli di plastica da fonte fossile, con fine ultimo la produzione di PE, si aggira intorno ai 600-800 euro/ton. Nel caso della produzione di granuli di bioplastiche (PHA), i costi di estrazione e processamento si aggirano intorno ai 300-350 euro/ton, evidenziando che esistono i margini per una filiera competitiva e portando il materiale alla fruibilità del granulo di plastica attualmente commercializzato, nonostante le proprietà tecnologiche del materiale richiedano ulteriori passaggi di affinamento (dati LCA Progetto CoWBoy – Fondazione Cariplo 2015)²¹.

¹⁹ Il Sistema Agroalimentare della Lombardia. Rapporto 2017: <https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/servizi-e-informazioni/Imprese/Imprese-agricole/ricerca-e-statistiche-in-agricoltura/rapporto-agroalimentare-2017/rapporto-agroalimentare-2017>

²⁰ CLAL Regione Lombardia 2019: https://www.clal.it/?section=quadro_lombardia

²¹ Progetto CoWBoy – Fondazione Cariplo 2015: <https://www.italbiotec.it/index.php/it/progetti/374-cowboy>

¹⁷ V Rapporto Annuale Assobioplastiche 2018 <http://www.assobioplastiche.org/ricerca.html>

¹⁸ Dati elaborati da Lombardy Green Chemistry Association, 2019

mosfera. Il digestato, ossia ciò che rimane dopo il processo di digestione anaerobica delle matrici, rappresenta un prodotto intermedio della trasformazione, e secondo una logica a cascata, una materia prima per la produzione di ulteriori prodotti utilizzabili in alternativa a quelli di origine fossile.

Nel 2017 in Regione Lombardia la produzione totale dei rifiuti urbani è stata di 4.685.489 tonnellate, pari al 15% del totale della produzione italiana. Di questi, **1.206.000 tonnellate** rappresentano la frazione organica (FORSU) della raccolta differenziata prodotta nell'anno 2017 in Lombardia (dati Ispra, 2018)²².

La quasi totalità della FORSU prodotta in Lombardia è conferita ai siti produttivi che si differenziano in base al tipo di trattamento. I quantitativi di frazione organica trattati in impianti di digestione anaerobica in Lombardia ammontano a 77.352 tonnellate e vengono conferiti ai 7 impianti operativi presenti sul territorio regionale (dato Ispra, 2018).

La FORSU è caratterizzata da un elevato contenuto di carboidrati e di proteine e rappresenta un ottimo substrato per la digestione anaerobica. Dal 2018 sul territorio lombardo sono attivi oltre **300 impianti di biogas agricolo**, aventi un peso di **1,6 miliardi di euro** di investimenti, cui si sommano i circa 300 milioni di euro all'anno sostenuti dalle aziende per la manutenzione degli impianti (dati Consorzio Italiano Biogas, 2018)²³.

La filiera del biogas agricolo lombardo rappresenta pertanto la capofila in Italia e unisce aziende del settore primario con un elevato grado di tecnologia a impianti di importanza a livello internazionale e fortemente impegnate nel campo ricerca e sviluppo.

2.3 IL POST-CONSUMO: RACCOLTA, RICICLO E RIUSO IN LOMBARDIA

Tutti i Paesi membri EU attraverso il pacchetto per l'Economia circolare sono chiamati a rispondere alla sfida lanciata dalla Commissione Europea di garantire entro il 2025 il riciclo del 55% dei rifiuti urbani e la progressiva riduzione dei rifiuti conferiti in discarica fino a portarli nel 2035 al 10% del totale dei rifiuti prodotti. Per poter raggiungere questi obiettivi ambiziosi, è necessario trovare soluzioni per superare i limiti tecnologici e normativi all'utilizzo di materie prime, incoraggiare la creazione di nuove filiere integrate e sostenere strumenti normativi a supporto della raccolta, riciclo e riuso.

In Lombardia la **raccolta differenziata per i rifiuti solidi urbani è pari al 61%**, con casi molto virtuosi co-



me Mantova, Varese, Cremona. L'obiettivo contenuto nel piano rifiuti è sfidante e vuole raggiungere il 67% di raccolta differenziata a livello regionale nei prossimi anni. A livello comunale, i comuni che superano il 65% di raccolta differenziata sono in costante aumento (nel 2016 sono stati 686 su 1527).

Il 59,3% è la percentuale di rifiuti urbani avviati ad impianti del recupero di materia (tale percentuale è in costante aumento di circa 1,5-2 punti percentuali in più ogni anno). Per l'anno 2016 si registra una percentuale di avvio a recupero materia o di energia dei rifiuti urbani pari a 89,6%. È stato quindi superato il modello del deposito in discarica, dove oggi viene collocato soltanto il 2,6% dei rifiuti urbani. Il deposito in discarica diretto è addirittura sceso 0,6%, mentre fino a 20 anni fa si attestava a oltre l'80% (dati Legambiente, 2018)²⁴.



LE BIOPLASTICHE

3.1 I PRODOTTI BIO-BASED E MERCATO DI RIFERIMENTO.....	18
3.2 BARRIERE ALLA PRODUZIONE DI BIOPLASTICHE.....	21

²² Rapporto Rifiuti Urbani - Edizione 2018: <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-urbani-edizione-2018>

²³ VI Commissione permanente ambiente e protezione civile della Regione Lombardia: <https://www.consorziobiogas.it/biogas-agricoltura-lombardia-primi-come-investimenti/>

²⁴ Legambiente, Comuni ricicloni Lombardia 2018 <https://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/comuniciclonilombardia-2018.pdf>

3. Le bioplastiche

3.1 I PRODOTTI BIO-BASED E MERCATO DI RIFERIMENTO

Le bioplastiche sono costituite parzialmente o interamente da polimeri derivati da fonti biologiche, come la canna da zucchero, l'amido, la cellulosa, la paglia e il cotone e comprendono un'ampia famiglia di materiali con differenti proprietà e applicazioni.

Esse forniscono il doppio vantaggio della conservazione delle risorse fossili e la riduzione delle emissioni di anidride carbonica, rendendole così una risorsa chiave per uno sviluppo sostenibile.

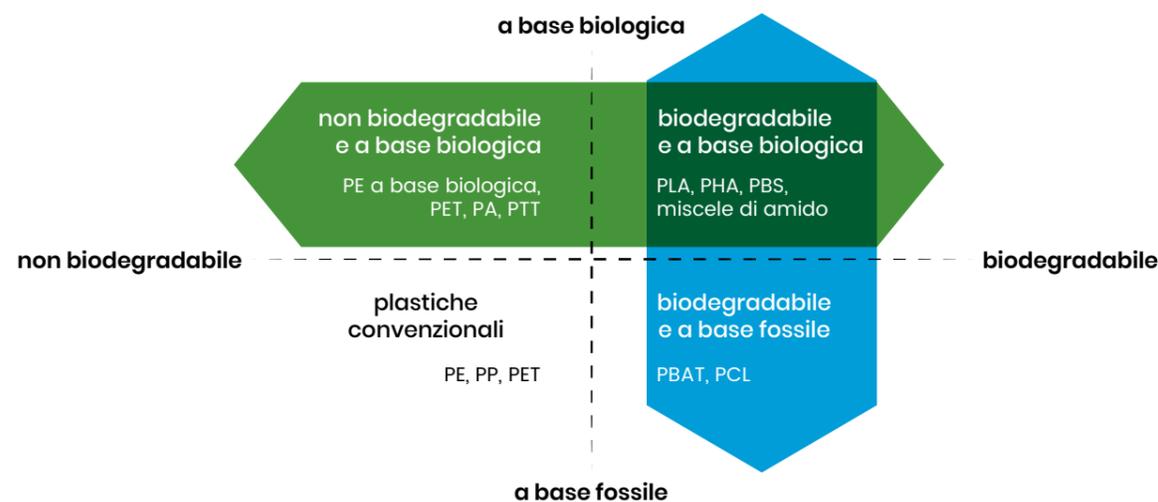
In accordo con la European Bioplastics, la bioplastica è un tipo di plastica che può essere biodegradabile, a base biologica (bio-based) o possedere entrambe le caratteristiche²⁵.

Un materiale "bio-based" è interamente o parzialmente ricavato da biomassa vegetale, quindi è di origine biologica e non include componenti di origine fossile (carbone o petrolio).

Con il termine "biodegradabile" si intende invece un materiale che può essere degradato da microrganismi (batteri o funghi) in acqua, gas naturali, come l'anidride carbonica e il metano, o in biomassa.

Esistono materiali a base biologica che sono biodegradabili, come l'acido polilattico (PLA), i poliidrossialcanoati (PHA), il polibutilene succinato (PBS) ed altri che, pur essendo bio-based, non lo sono, come il bio-polietilene tereftalato (bio-PET), il bio-politrimetilente-reftalato (PTT) e il bio-polietilene (bio-PE).

Allo stesso modo alcuni polimeri prodotti da fonti fossili, come il PBS, un polimero semicristallino prodotto attraverso la fermentazione batterica, presentano la ca-

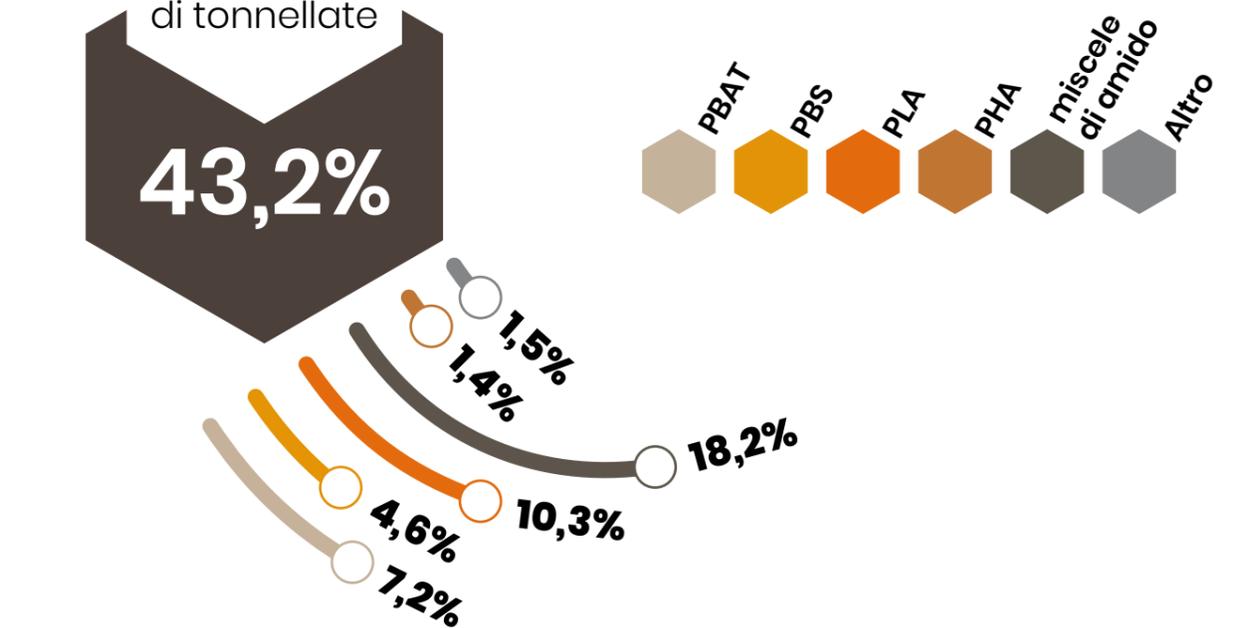
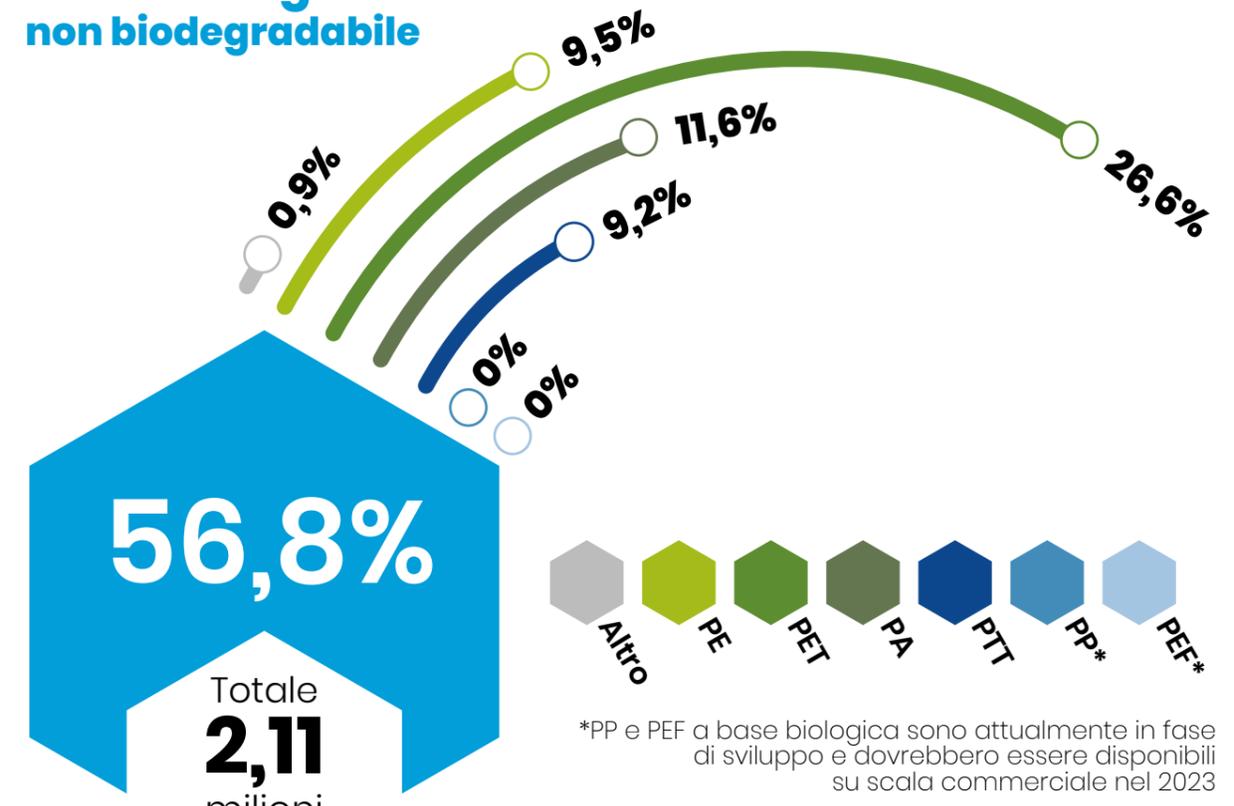


²⁵ <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>

Capacità di produzione globale di bioplastiche 2018

per tipologia di materiale

Base biologica - non biodegradabile



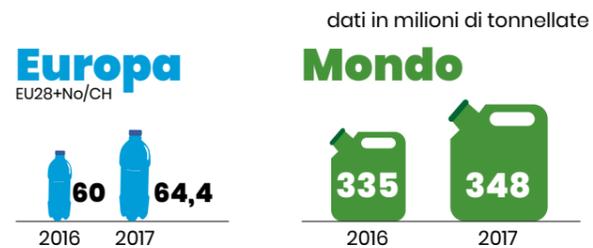
Biodegradabile

Fonte: European Bioplastics, Nova-Institute 2018



Dati sulla produzione di plastica nell'UE e nel mondo

La produzione globale di plastica ha quasi raggiunto i **350 milioni di tonnellate** nel 2017



Fonte: PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG)/Conversio Market & Strategy GmbH

ratteristica della biodegradabilità. In genere, però, la maggior parte dei polimeri convenzionali che costituiscono gli imballaggi alimentari attualmente in circolazione non è biodegradabile, come il polipropilene (PP), il polietilene (PE) e il cloruro di polivinile (PVC).

Secondo i dati condivisi dal Plastics Europe Market Research Group nel 2017²⁶, la produzione di plastica mondiale è stata pari a 348 milioni di tonnellate, di cui 64,4 prodotte in Europa. Purtroppo, il modo in cui spesso la plastica è prodotta, utilizzata e smaltita non permette di cogliere i vantaggi di un approccio "circolare" e danneggia l'ambiente. Ci si trova quindi a dover affrontare con urgenza i problemi ambientali derivanti dalla produzione, dall'utilizzo e dal consumo della plastica. Un allarmante esempio è rappresentato dalle tonnellate di plastica presenti negli oceani, portando a importanti conseguenze sulla vita marina, sulla salute umana, sull'economia e sul clima. Questo contesto di urgenza ambientale

ha stimolato la domanda di prodotti a basso impatto ambientale come le bioplastiche, in grado di offrire le stesse funzionalità della plastica tradizionale ma con un impatto ambientale potenzialmente inferiore.

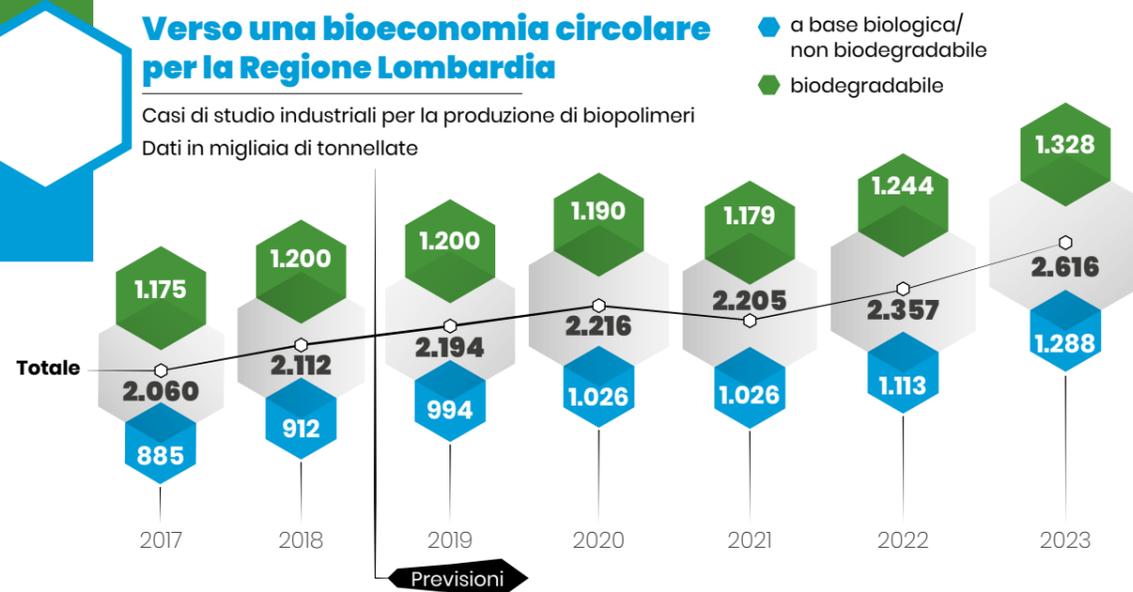
Di estremo interesse sono le sperimentazioni per **produrre biopolimeri da materiali di scarto**, come ad esempio quelli derivanti dall'industria agroalimentare (conserviera, casearia e della lavorazione del pomodoro), ma anche da alghe, stoppie di mais o da raccolta differenziata della frazione organica dei rifiuti urbani (FORSU). Attualmente, le bioplastiche rappresentano circa l'1,7% delle oltre 335 milioni di tonnellate di plastica prodotti annualmente (Plastics Europe Facts and Figures 2017)²⁷.

La European Bioplastics, in cooperazione con l'istituto di ricerca Nova-Institute, ha dichiarato che la produzione globale di bioplastiche incrementerà da circa 2,11 milioni di tonnellate nel 2018 a circa 2,62 milioni di tonnellate nel 2023²⁸.



Verso una bioeconomia circolare per la Regione Lombardia

Casi di studio industriali per la produzione di biopolimeri
Dati in migliaia di tonnellate



3.2 BARRIERE ALLA PRODUZIONE DI BIOPLASTICHE

Nonostante i molteplici vantaggi delle bioplastiche, tra cui il minore impatto ambientale, la possibilità di poter essere riciclate e la produzione a partire da fonti rinnovabili, la loro introduzione sul mercato presenta diversi ostacoli.

COMPETITIVITÀ DEL COSTO DELLE BIOPLASTICHE NEI CONFRONTI DI QUELLE TRADIZIONALI

Il costo di produzione dei PHA supera di almeno 5 volte quello delle plastiche tradizionali, a causa degli elevati costi del processo di fermentazione e delle tecnologie di recupero e purificazione e, proprio per questo motivo, la loro introduzione sul mercato rappresenta un percorso particolarmente lento.

DISPONIBILITÀ DELLE MATERIE PRIME

Dato che la produzione di bioplastiche prevede l'utilizzo di biomassa vegetale è necessario evitare

il conflitto tra risorse alimentari e materie prime necessarie alla produzione di bioplastiche e individuare risorse sufficientemente abbondanti per rifornire le aziende produttrici.

PRESTAZIONI E QUALITÀ RISPETTO A QUELLE TRADIZIONALI

Nella produzione della plastica tradizionale vengono usati additivi per conferire caratteristiche uniche ai materiali; questa tecnica potrebbe essere utilizzata anche nell'ambito delle bioplastiche. Tuttavia, il mercato degli additivi per i biopolimeri è ancora molto piccolo. Inoltre, è necessario generare un prodotto con caratteristiche costanti ma la grande varietà di materie prime non sembra portare all'uniformità chimica.

Per tutti questi motivi, attualmente, i materiali "eco" si posizionano con successo solamente in nicchie di mercato come quelle degli alimenti biologici o dei beni di lusso, spesso sottoforma di packaging.

²⁶ Plastics - the Fact 2018: <https://www.plasticseurope.org/it/resources/market-data>

²⁷ <https://www.plasticseurope.org/it/resources/publications>

²⁸ Bioplastic market data: <https://www.european-bioplastics.org/market/>



PRODOTTI DI ECO-DESIGN DA BIOPLASTICHE SOSTENIBILI: IL CASO STUDIO DI PHA-STAR

4.1 SFIDE E OPPORTUNITÀ PER LA PRODUZIONE DI BIOPOLIMERI DI REGIONE LOMBARDIA	24
4.2 I POLIIDROSSIALCANOATI: PROPRIETÀ, VANTAGGI COMPETITIVI E SFIDE TECNOLOGICHE	25
4.3 IL PROCESSO DI PRODUZIONE DI PHA DAL SIERO DI LATTE	27
4.4 APPLICAZIONI COMMERCIALI DEI PHA.....	30

4. Prodotti di eco-design da bioplastiche sostenibili: il caso studio di PHA-STAR

4.1 SFIDE E OPPORTUNITÀ PER LA PRODUZIONE DI BIOPOLIMERI DI REGIONE LOMBARDIA

Il progetto PHA-STAR finanziato da Regione Lombardia nel contesto del bando Smart Fashion and Design è finalizzato alla validazione di un protocollo di produzione sostenibile di poliidrossialcanoati (PHA), biopolimeri di origine microbica, utilizzando i sottoprodotti della filiera lattiero-casearia lombarda (siero di latte e scotta).



Il piano sperimentale ha incluso la messa a punto di un processo sostenibile per la produzione di PHA, per l'ottenimento di manufatti di Eco-Design completamente biodegradabili per il settore del gardening.

Il concetto di sostenibilità è declinato in tutte le fasi di produzione, inclusa la messa a punto di sistemi eco-sostenibili di separazione ed estrazione dei PHA dalle colture microbiche attraverso l'uso di solventi non tossici; nonché l'utilizzo di colture microbiche miste per garantire una maggiore competitività rispetto ad altri biopolimeri in commercio.

Il modello proposto da PHA-STAR consente l'apertura dell'industria agroalimentare a un mercato molto dinamico e in evoluzione, rappresentando un'alternativa rispetto al sostenimento dei costi di smaltimento del siero di latte e presentandosi come opportunità di trasformazione degli scarti in prodotti ad alto valore aggiunto.

Il recupero e il riutilizzo dei sottoprodotti provenienti dall'industria lattiero-casearia consente lo sviluppo di nuove filiere produttive circolari.

Con un investimento complessivo di oltre 1.500.000 euro, il progetto PHA-STAR è coordinato dall'azienda **Agromatrici Srl**, (www.agromatrici.com) una startup innovativa operante nel settore del recupero delle biomasse. Agromatrici sviluppa soluzioni per promuovere l'utilizzo sostenibile delle risorse, scarti, sottoprodotti e rifiuti organici, per la generazione di energia verde e prodotti ad alto valore aggiunto per applicazioni agricole.

I partner di progetto sono rappresentati dal Gruppo Ricicla dell'Università degli Studi di Milano e dal Consorzio Italtotec.

Il **Gruppo Ricicla** (<http://users.unimi.it/ricicla/gruppo.html>) vanta una consolidata competenza internazionale nel campo della fermentazione anaerobica, lavorando su progetti di ricerca per l'ottenimento di prodotti ad alto valore aggiunto e contribuendo ad apportare significative innovazioni industriali²⁹.

Il **Consorzio Italtotec** (www.italbiotec.it), primo ente no-profit italiano nel settore delle biotecnologie industriali, lavora alla costituzione di un ecosistema di cooperazione tra università e imprese operanti nei settori Life Science, Bioeconomy e Agrofood. Si è occupato di elaborare in collaborazione con il Cluster Lombardo della Chimica Verde, uno studio di mercato e di impatto socioeconomico valutando il potenziale industriale presente in Regione Lombardia per lo sviluppo di nuove filiere, analizzando tutti gli attori presenti nella catena del valore della produzione delle bioplastiche.



4.2 I POLIIDROSSIALCANOATI: PROPRIETÀ, VANTAGGI COMPETITIVI E SFIDE TECNOLOGICHE

I poliidrossialcanoati (PHA) sono polimeri poliesteri termoplastici e rappresentano una delle categorie di biopolimeri più studiate grazie alla loro idoneità come potenziali sostituti delle plastiche derivate dal petrolio, in quanto completamente biodegradabili e biocompatibili (Bordes et al., 2009; Chanprateep, 2010).

I PHA sono dei prodotti intracellulari di diverse specie batteriche appartenenti principalmente ai generi *Bacillus*, *Rhodococcus*, *Ralstonia* e *Pseudomonas* e sono ottenuti per via fermentativa utilizzando come substrato zuccheri o lipidi.

In particolari condizioni di coltura, quale l'assenza di determinati nutrienti come azoto, fosforo e zolfo o in presenza di fonti di carbonio in eccesso vengono accumu-

lati dai batteri come fonte di carbonio di riserva, sotto forma di granuli (Anderson and Dawes, 1990; Lee, 1996).

I granuli possono raggiungere elevate concentrazioni, raggiungendo anche il 90% del peso secco della massa batterica (Khanna et al., 2005). Questi granuli variano per dimensione e quantità nelle diverse specie batteriche e sono formati per il 97% di PHA, 1-2% di proteine e 0.5% di lipidi (Koller et al., 2009).

La grande variabilità delle catene laterali e dei monomeri conferisce ai PHA altrettanta variabilità di caratteristiche fisiche, con punti di fusione che variano da 40 a 180°C.

Ciò che ne deriva è che alcuni PHA sono polimeri termoplastici, come ad esempio il poliidrossibutirrato, mentre altri sono gomme o elastomeri, come ad esempio il poliidrossiottanoato. La composizione dei PHA risulta quindi molto varia e dipende inoltre dal tipo di batteri da cui sono sintetizzati nonché dalla matrice di coltura (Koller et al., 2011).

²⁹ Cowboy (Fondazione Cariplo) per la validazione in scala di laboratorio di metodi pre-trattamento di sotto-prodotti della produzione lattiero-casearia; AgrIdEn - Production of bio-hydrogen and renewable energy residues from agrolivestock (Regione Lombardia); Biobi - Biomass to biogas (Regione Lombardia); Eco-Biogas - Economic and environmental impacts analysis of biogas production: implications for the agri-food chains and regional policies (Regione Lombardia).

I PHA si caratterizzano per numerosi vantaggi competitivi:

● **TERMOPLASTICITÀ:**

proprietà di alcuni materiali solidi che quando riscaldati, riducono la propria rigidità e con il crescere della temperatura si trasformano in liquidi. Al raffreddamento i materiali termoplastici riacquistano le loro caratteristiche originarie.

● **BIODEGRADABILITÀ:**

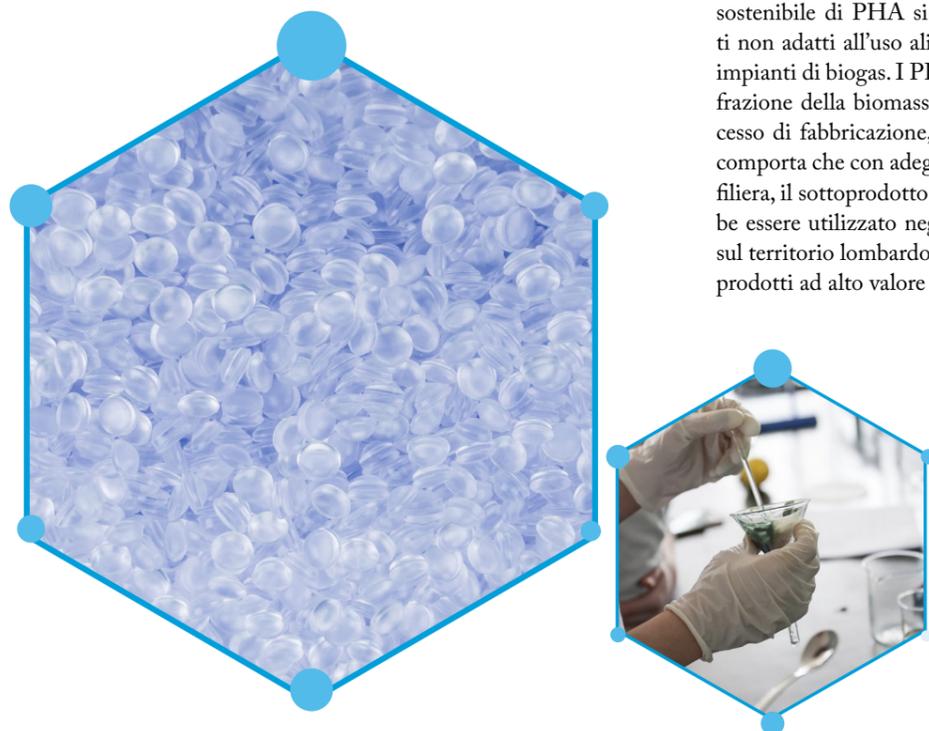
capacità dei biopolimeri di essere degradati in sostanze più semplici attraverso l'azione enzimatica dei microorganismi. Tale caratteristica rende possibile la diminuzione di volume nelle discariche, a differenza delle plastiche convenzionali (Koller et al., 2009).

● **BIOCOMPATIBILITÀ:**

possibilità di utilizzare i biopolimeri in campo medico per la preparazione di protesi o dispositivi chirurgici (Koller et al., 2009).

● **EQUILIBRIO DEL CARBONIO:**

la combustione del petrolio genera un'ingente quantità di CO₂ che, diffondendosi nell'atmosfera, non può essere riassorbita dal ciclo del carbonio. Sfruttando la biodegradabilità dei PHA da parte della microflora presente nel suolo, il ciclo si chiuderebbe. Inoltre, i biopolimeri provengono da fonti rinnovabili, non dipendendo quindi dalla disponibilità di materie prime fossili.



● **FRAGILITÀ ED ELASTICITÀ:**

tendenza a rompersi e a deformarsi sotto l'azione di una forza applicata e di riacquistare la forma originale al venir meno dell'azione imposta.

Il poliidrossibutirrato (PHB) è il PHA più studiato nonché uno dei pochi PHA prodotti ad oggi a livello industriale per svariati usi (imballaggi, banconote, parti di automobili).

Il PHB è un film trasparente e possiede proprietà fisiche simili al polipropilene (PP) tra cui una buona permeabilità all'ossigeno, una buona resistenza ai raggi UV, un'elevata cristallinità che gli conferisce un'eccellente resistenza ai solventi, ma scarsa resistenza agli acidi e basi (Shen et al., 2009).

Il principale svantaggio dei PHA è rappresentato dal costo di produzione, che è stimato a partire da 5.0 €/Kg e pertanto non risulta essere ancora competitivo rispetto al prezzo di mercato dei polimeri convenzionali (<1,0 €/Kg), contribuendo ad essere il principale limite alla diffusione su larga scala dei PHA.

Ciò che il progetto PHA-STAR propone è l'adozione di strategie alternative attraverso l'utilizzo di colture microbiche miste e il reimpiego di rifiuti organici a basso costo come fonti di carbonio per la fermentazione microbica, in sostituzione dei substrati sintetici.

Inoltre, l'utilizzo di solventi non tossici ed ecosostenibili per il processo di estrazione e di purificazione dei PHA, risulta essere di fondamentale importanza per l'economia del processo, poiché influenza notevolmente la qualità del polimero ottenuto, le sue possibilità di applicazione e, di conseguenza, il suo valore di mercato.

Ciò che è necessario considerare è che la produzione sostenibile di PHA si basa sull'utilizzo di sottoprodotti non adatti all'uso alimentare, ma molto richiesti dagli impianti di biogas. I PHA rappresentano quindi solo una frazione della biomassa di batteri prodotta nel suo processo di fabbricazione, tipicamente attorno al 10%. Ciò comporta che con adeguati accordi e regolamentazioni di filiera, il sottoprodotto della produzione di PHA potrebbe essere utilizzato negli impianti di biogas già presenti sul territorio lombardo, contribuendo a generare ulteriori prodotti ad alto valore aggiunto.



4.3 IL PROCESSO DI PRODUZIONE DI PHA DAL SIERO DI LATTE

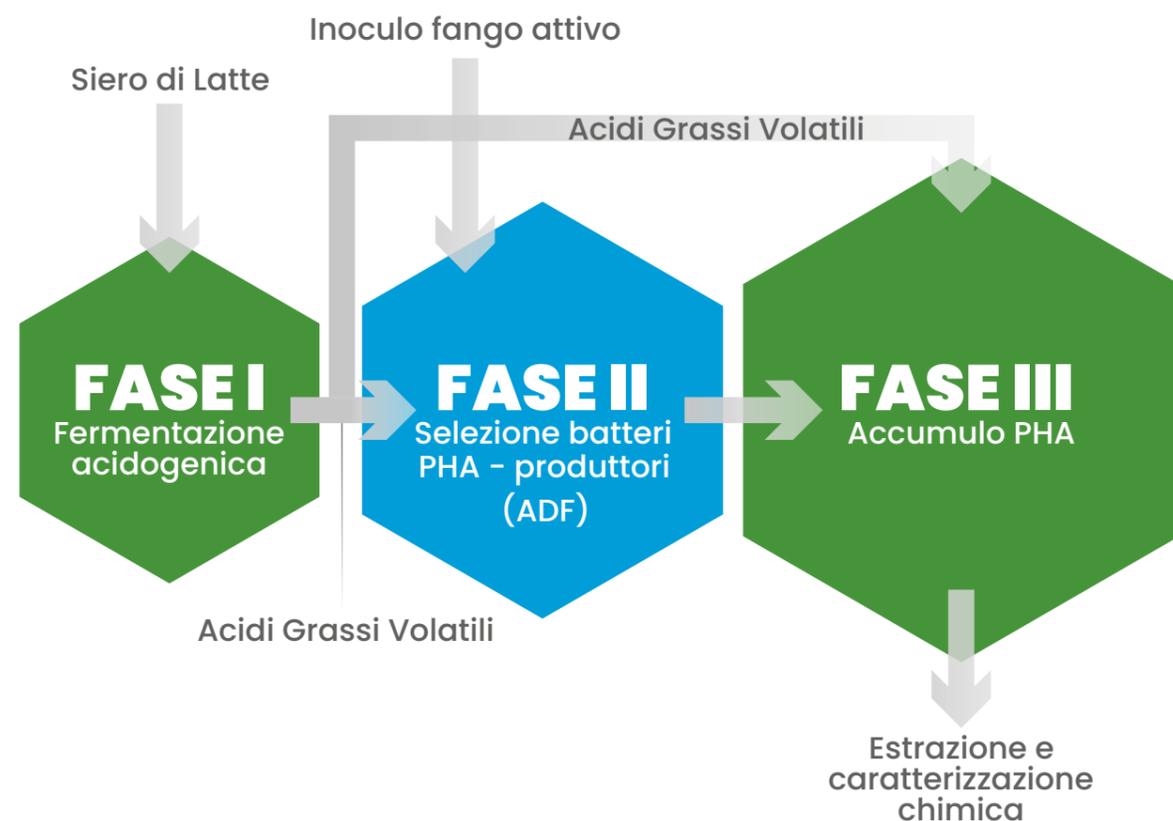
Il siero separato dalla cagliata durante la caseificazione rappresenta il principale sottoprodotto dell'industria lattiero-casearia e costituisce l'85-95% del volume iniziale del latte, contenendo il 55% dei suoi nutrienti. Tra questi i più importanti sono il lattosio (4.5-5%), le proteine solubili (0.6-0.8%), i lipidi (0.4-0.5) e i sali minerali (8-10% della sostanza secca) (Gonzalez-Siso, 1996).

Il **siero** è considerato il più importante **inquinante del settore lattiero-caseario**, a causa dell'elevato carico organico che lo caratterizza (COD=50-102 g L⁻¹) e degli ingenti volumi che vengono generati (Carvalho et al., 2013). Circa il 50% di siero viene smaltito in impianti di acque reflue o usato per il nutrimento animale (Pescuma et al., 2015). Talvolta è impiegato anche come fertilizzante in agricoltura, ma l'elevata salinità ne limita l'utilizzo (Gonzalez-Siso, 1996). Nell'Unione Europea se ne producono ogni anno circa **80 milioni di tonnellate** (Niko-

dinovic-Runic et al., 2013) delle quali 8 solo in Italia. Uno dei sistemi più economici impiegati dall'industria lattiero-casearia per utilizzare il siero di latte è la produzione di ricotta. Durante il processo di produzione della ricotta viene generato un ulteriore sottoprodotto, la scotta, un importante inquinante con effetti negativi soprattutto sugli ecosistemi acquatici (Carvalho et al., 2013).

Attualmente una frazione della scotta viene impiegata come integratore alimentare negli allevamenti, ma la maggior parte resta inutilizzata e, se venisse smaltita senza alcun trattamento, causerebbe gravi danni ambientali. Lo smaltimento del siero rappresenta quindi un problema che l'industria lattiero-casearia deve affrontare e ciò rende questo sottoprodotto adatto ad un suo reimpiego per la produzione di PHA (Giroto et al., 2015).

Il processo di produzione sperimentato dal progetto PHA-STAR si articola in 3 principali fasi, dalla raccolta e trattamento della biomassa di partenza fino alla produzione dei granuli di PHA



1 PRETRATTAMENTO DEL SIERO DI LATTE

Prima di poter essere utilizzato come substrato di partenza per la produzione di poliidrossialcanoati, il siero di latte è stato sottoposto ad un riscaldamento finalizzato alla termocoagulazione delle sieroproteine e filtrato per la loro rimozione.

Il siero così trattato è stato immesso all'interno di un reattore per la fermentazione (1 m³), da cui mediante un processo di dark fermentation, è stato ottenuto un fermentato ricco in acidi grassi volatili (AGV) da impiegare come fonte di carbonio per la coltura microbica mista contenuta nel secondo reattore dell'impianto pilota.

2 FASE DI SELEZIONE DEI BATTERI PHA-PRODUTTORI

La selezione dei batteri PHA-produttori all'interno del reattore di selezione (1 m³) è stata ottenuta partendo da una sospensione in acqua di biomassa attiva sottoposta ad un regime di selezione definito Aerobic Dynamic Feeding (ADF). La selezione è stata garantita attraverso l'alimentazione del refluo con proprietà costanti e sottoponendo i batteri a cicli di alimentazione in condizioni controllate, in modo da favorire la proliferazione dei soli batteri in grado di resistere a tali condizioni.

Il regime consiste nell'imposizione di condizioni alternate di feast (presenza di una fonte di carbonio

in eccesso) e famine (assenza di fonti carboniose), ossia il fermentato di siero, in condizioni di aerobiosi. L'assenza prolungata della fonte di carbonio durante la fase di fame causa la diminuzione delle componenti intracellulari necessarie per la crescita batterica (enzimi, RNA). Quando la fonte di carbonio torna ad essere disponibile a concentrazioni elevate nella fase di feast, i microorganismi non hanno sufficiente quantità di enzimi per raggiungere il tasso di crescita massimo.

Invece, per l'accumulo di PHA sono richiesti meno enzimi e di conseguenza si verifica a una velocità molto maggiore rispetto alla crescita della biomassa batterica; in questo modo ai microorganismi risulta più conveniente accumulare PHA piuttosto che utilizzare il substrato per la crescita. Nella successiva fase di fame, i PHA accumulati vengono utilizzati per la crescita e il mantenimento cellulare. Mantenendo queste condizioni nel tempo si genera un vantaggio competitivo per i batteri PHA-produttori e questo permette di selezionare colture con costante ed elevata capacità di accumulo.

3 FASE DI ACCUMULO ED ESTRAZIONE DI PHA

All'interno di un secondo reattore (0,2 m³) è stata svolta la fase di accumulo di PHA, durante la quale la biomassa di batteri PHA-produttori prodotta durante la selezione è stata sottoposta ad un'alimentazione della fonte di carbonio (siero fermentato) in modalità fed-batch. La coltura in fed-batch (sistema chiuso alimentato) consente di prolungare il tempo di crescita delle cellule prima di raggiungere lo stato stazionario. Il terreno viene infatti continuamente addizionato alla coltura, fino al raggiungimento del massimo contenuto di PHA all'interno della biomassa batterica.

Attraverso il monitoraggio puntuale dei parametri di processo quali la temperatura, la quantità di ossigeno e i tempi di reazione è possibile gestire modalità e quantità con cui i batteri accumulano PHA. In particolare, sono ottimizzati i tempi di crescita della biomassa e di



accumulo dei polimeri all'interno dei batteri, così come il processo fermentativo del siero di latte per trasformare il lattosio in zuccheri più semplici come glucosio e galattosio. Tale attività consente rese di produzione con percentuale massima di PHA stoccati pari al 70% del peso della cellula batterica in assenza di azoto, fosforo e ossigeno. L'efficienza di utilizzo del lattosio da parte dei batteri è monitorata analizzando la scomparsa di esso all'interno della coltura, dovuta alla capacità dei batteri di degradarlo ed immagazzinarlo. Una volta conclusa la fase di accumulo, i PHA sono stati estratti dalle cellule e successivamente purificati utilizzando solventi non tossici e caratterizzati chimicamente. L'operazione è stata effettuata mediante la rottura della parete cellulare (lisi cellulare) a temperatura ambiente, immergendo i batteri in acqua distillata portando così ad un rigonfiamento della cellula e successiva rottura.

I PHA fuoriusciti dalla cellula sono stati separati attraverso centrifugazione, sedimentazione e filtrazione. I granuli sono stati lavati con solventi non tossici e separati dai residui cellulari. Il brodo separato dai granuli può essere impiegato come potenziale fertilizzante o inviato ad impianti di digestione anaerobica per valorizzazione energetica. Il polimero lavato ed essiccato viene trasformato in una polvere bianca che viene fusa, estrusa e convertita in pellet, lavorabile come la plastica tradizionale.

4.4 APPLICAZIONI COMMERCIALI DEI PHA

Nell'ultimo decennio le applicazioni dei PHA sono aumentate in maniera esponenziale e oggi i principali settori di impiego sono quello industriale, medico ed agrario.

Le potenziali applicazioni dei PHA includono il packaging commerciale (Bhardwaj et al., 2014; Bugnicourt et al., 2014), scopi agricoli (Akaraonye et al., 2010) e utilizzi medici (Dinjaski and Prieto, 2015; Mوزه-jko-Ciesielska and Kiewisz, 2016), nel campo dell'ingegneria tissutale e della produzione di piastre ossee e suture chirurgiche.

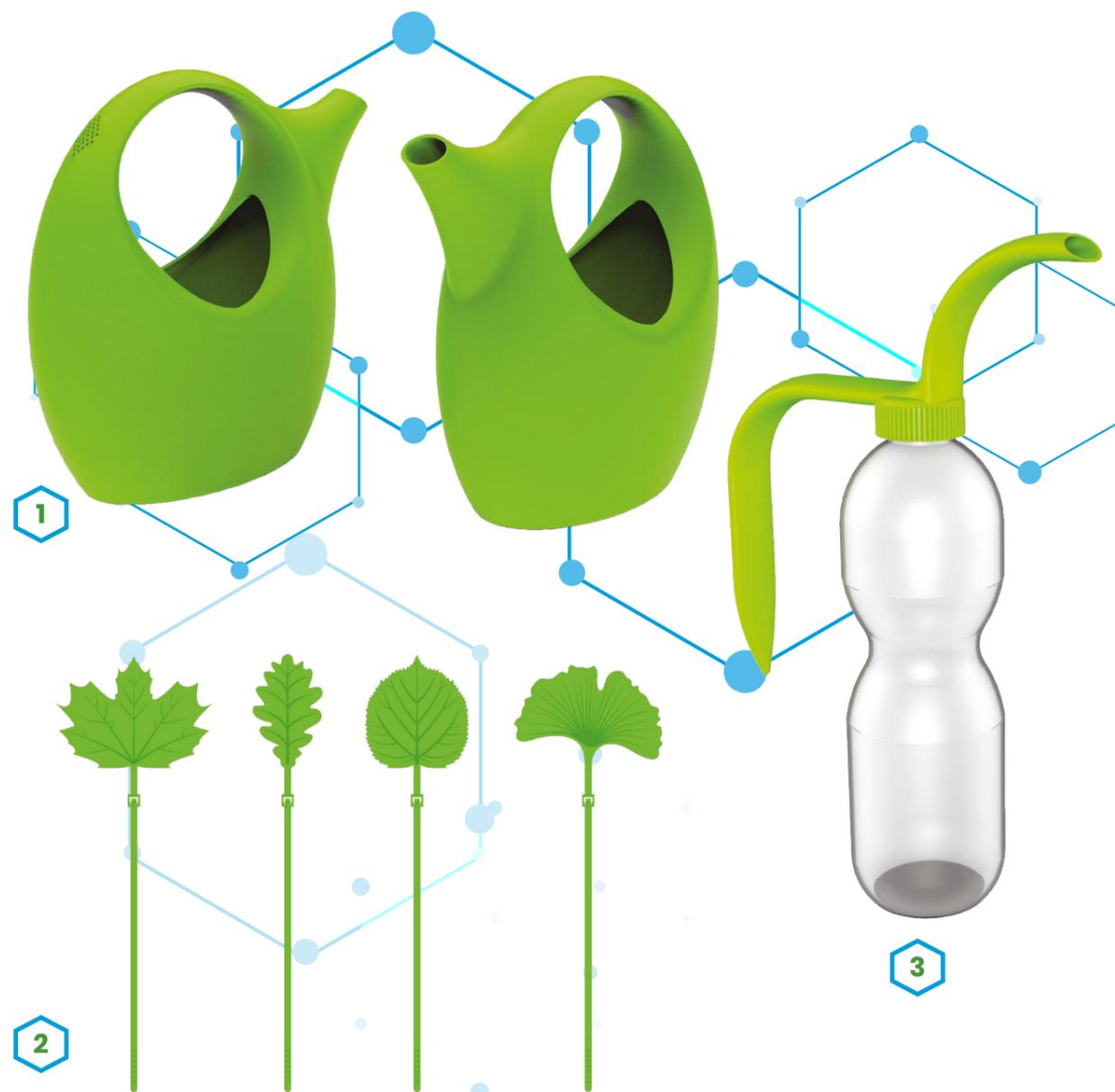
Nel comparto agricolo i PHA sono già ampiamente utilizzati per la produzione di teli pacciamanti; un esempio è rappresentato da Nodax™, prodotto da Procter & Gamble, che viene impiegato per la produzione di film biodegradabili. Una delle applicazioni più importanti dei polimeri di PHA in agricoltura è quella del rilascio graduale di fertilizzanti e di sostanze ad azione insetticida. I fertilizzanti e gli insetticidi vengono integrati nei pellet di PHA e seminati insieme alle colture. Gradualmente i batteri degradano il polimero e la sostanza viene rilasciata (Philip et al., 2007). Nonostante la speranza sia quella di arrivare a sostituire le plastiche tradizionali con i PHA, attualmente il costo di produzione risulta essere proibitivo per tutte le applicazioni, eccetto usi medici di alto valore (Keshavarz and Roy, 2010; Chen and Patel, 2012).

Uno dei maggiori ostacoli alla produzione industriale dei PHA è il costo dei substrati di carbonio, che è stato stimato essere il 28-50% del totale del processo produttivo (Choi and Lee, 1999; Obruca et al., 2015).

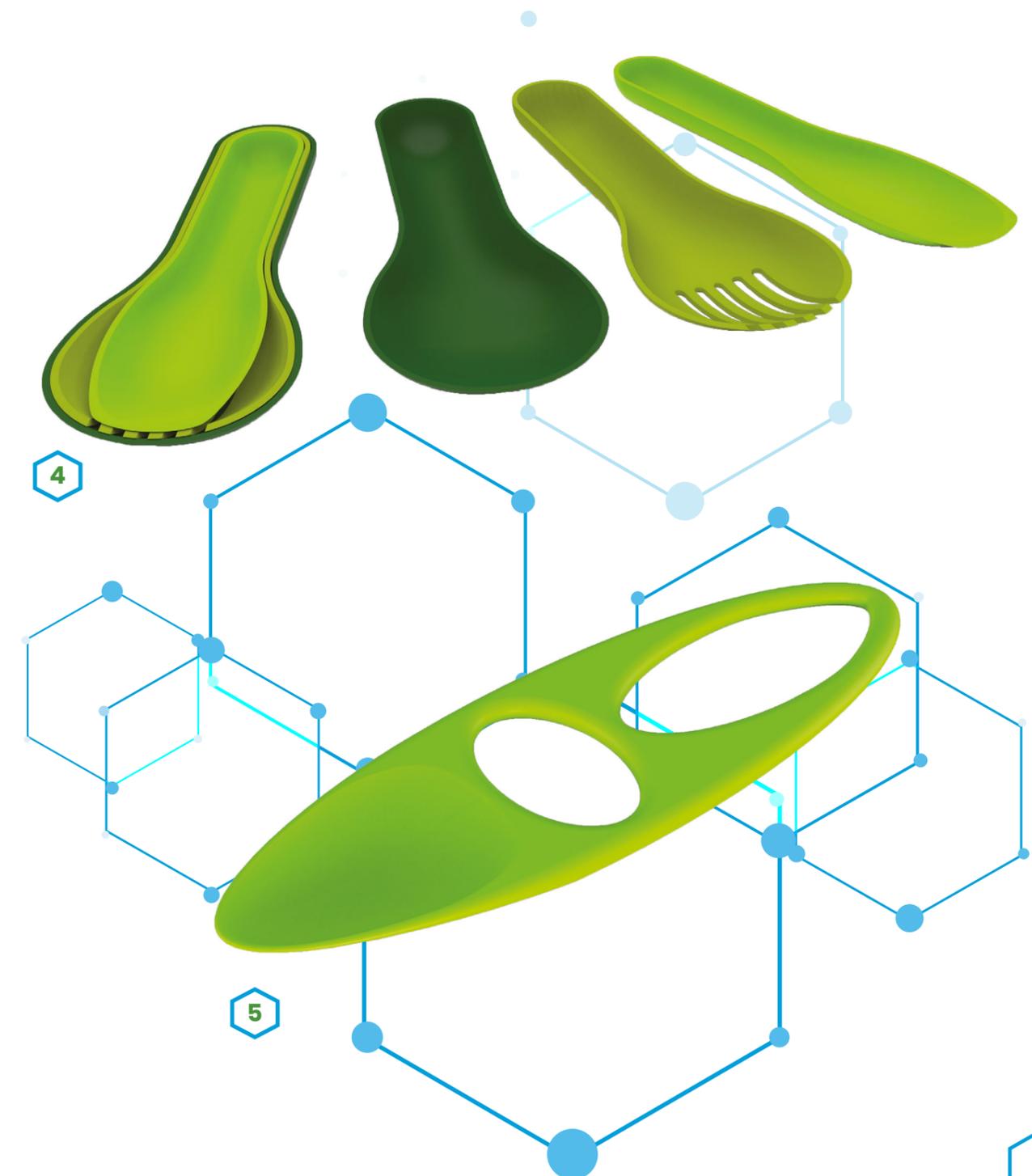
Per ovviare a questo problema, sono stati analizzati diversi tipi di rifiuti che potessero agire come fonti di carbonio per la produzione microbica di PHA, come quelli derivanti dalla produzione di biodiesel (Kenny et al., 2012; Escapa et al., 2013), dalle acque reflue municipali (Rahman et al., 2014), e dagli scarti agroindustriali (Linton et al., 2012).

I rifiuti alimentari rappresentano ad oggi i migliori candidati come fonte di carbonio poco costosa, a causa della loro diffusa disponibilità. Utilizzare rifiuti alimentari aiuterebbe a rendere più circolare l'economia, facendo sì che una sostanza di scarto venga reimmessa nella produzione di altre filiere creando prodotti ad alto valore aggiunto.

Nel contesto del progetto PHA-STAR in collaborazione con lo Studio Rossari&Associati sas sono stati sviluppati 5 prototipi di manufatti di Eco-design progettati per applicazioni nel settore gardening.



Studio Rossari&Associati. Da sinistra a destra: Innaffiatoio, fascette, imbuto, kit per giardinaggio



CONCLUSIONI

Regione Lombardia è stata la prima regione italiana a dotarsi di una normativa a supporto della ricerca e dell'innovazione e, attraverso l'elaborazione del Programma Strategico Triennale, ha mobilitato oltre 250 milioni tra fondi propri, Fondo Europeo di sviluppo regionale (Fesr), Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale (Feasr). La vocazione all'innovazione si traduce anche nel costante impegno verso uno Sviluppo Sostenibile in grado di considerare la dimensione ambientale, sociale ed economica della crescita.

La nascita di nuove filiere produttive attente alla sostenibilità è parte di questo impegno e, in tema di bioeconomia, l'affermazione del settore industriale basato sulla valorizzazione delle risorse di origine biologica rappresenta il primo passo verso un ecosistema sostenibile e integrato.

Regione Lombardia detiene un quarto del valore della produzione nazionale delle plastiche biodegradabili e compostabili, con un valore della produzione di 264 milioni di euro ed impiegando 700 addetti, indicatori di un tessuto imprenditoriale innovativo e aperto alla valorizzazione di biomasse localmente disponibili. Regione Lombardia si colloca infatti in una posizione trainante all'interno del settore agro-alimentare, da cui derivano le biomasse di riutilizzo, con oltre 60000 imprese presenti sul territorio e 140.000 addetti.

L'utilizzo di materie seconde di origine agro-industriale garantisce la riduzione della produzione di rifiuti lungo la filiera e rappresenta un potenziale industriale sotto-sfruttato sul territorio lombardo. Tra i settori agro-alimentari considerati per la produzione di bioplastiche, il comparto lattiero-caseario è tra quelli a maggiore impatto potenziale sul territorio lombardo, con la produzione di oltre il 44% del latte italiano e la generazione di grandi quantità di siero di latte, risorsa ad oggi sottoutilizzata.

Questo Studio mira a dimostrare il potenziale della filiera lombarda delle bioplastiche biodegradabili, a partire dal modello industriale del progetto PHA-STAR che

ha dimostrato la sostenibilità di una nuova filiera attraverso l'incontro del mondo agro-industriale e quello del design.

I casi di studio riportati in questo Studio si propongono come esempi virtuosi di bioeconomia circolare valorizzati a livello interregionale grazie al lavoro del Cluster Lombardo della Chimica Verde, coordinatore del Pilot sulla Bioeconomia dell'Iniziativa Vanguard.

Questo Studio intende infine contribuire all'implementazione di strumenti di valutazione del potenziale industriale presenti sul territorio da integrarsi nel contesto della Smart Specialization Strategy regionale nonché all'interno del Programma Strategico Triennale, nel quale l'economia circolare ricopre un ruolo strategico per la competitività del nostro territorio.

Akaraonye E., Keshavarz T., Roy I. Production of polyhydroxyalkanoates: the future green materials of choice (2010) *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 85(6):732 – 743 DOI: 10.1002/jctb.2392

Anderson A.J., Dawes E.A. Occurrence, metabolism, metabolic role, and industrial uses of bacterial polyhydroxyalkanoates (1990) *Microbiological Reviews* 54(4):450-472

Bhardwaj D., Ansari M.W., Sahoo R.K., Tuteja N. Bio-fertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity (2014) *Microbial Cell Factories* 13:66 <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66>

Bordes P., Pollet E., Averous L. Nano-biocomposites: Biodegradable polyester/nanoclay systems (2009) *Progress in Polymer Science* 34(2):125-155. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2008.10.002

Bugnicourt E., Cinelli P., Alvarez V.A., Lazzeri A. Polyhydroxyalkanoate (PHA): Review of synthesis, characteristics, processing and potential applications in packaging (2014) *eXPRESS Polymer Letters* 8(11):791-808 DOI: 10.3144/expresspolymlett.2014.82

Carvalho F., Prazeres A.R., Rivas J. Cheese whey wastewater: Characterization and treatment (2013) *Science of the Total Environment* 445-446 (2013) 385-396

Chanprateep S. Current trends in biodegradable polyhydroxyalkanoates (2010) *Journal of Bioscience and Bioengineering* 110(6):621-32. doi: 10.1016/j.jbiosc.2010.07.014

Chen G.Q., Patel M.K. Plastics derived from biological sources: present and future: a technical and environmental review (2012) *Chemical Reviews* 112(4):2082-99. doi: 10.1021/cr200162d

Choi J., Lee S.Y. Efficient and economical recovery of poly(3-hydroxybutyrate) from recombinant *Escherichia coli*

by simple digestion with chemicals (1999) *Biotechnology and Bioengineering* 62(5):546-53

Dinjaski N., Prieto M.A. Smart polyhydroxyalkanoate nanobeads by protein-based functionalization (2015) *Nanomedicine* 11(4):885-99. doi: 10.1016/j.nano.2015.01.018

Escapa I.F., del Cerro C., García J.L., Prieto M.A. The role of GlpR repressor in *Pseudomonas putida* KT2440 growth and PHA production from glycerol (2013) 15(1):93-110

Geyer R., Jambeck J.R., Law K.R. Production, use, and fate of all plastics ever made (2017) *Science Advances* 3(7), e1700782. DOI: 10.1126/sciadv.1700782

González-Siso M.I. The biotechnological utilization of cheese whey: A review (1996) *Bioresource Technology* 57(1):1-11

Gruppo Ricicla. Cheese-industry waste to added-value compounds and biomaterials: an integrated biorefinery (CoWBioy). Integrated research on industrial biotechnologies (2015)

Kenny S.T., Runic J.N., Kaminsky W., Woods T., Babu R.P., O'Connor K.E. Development of a bioprocess to convert PET derived terephthalic acid and biodiesel derived glycerol to medium chain length polyhydroxyalkanoate (2012) *Applied Microbiology and Biotechnology* (2012) 95:623-633 DOI 10.1007/s00253-012-4058-4

Keshavarz T., Roy I. Polyhydroxyalkanoates: bioplastics with a green agenda (2010) *Current Opinion in Microbiology* 13(3):321-6. doi: 10.1016/j.mib.2010.02.006

Khanal, S. Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production (2008) *Principles and Applications*

Khanna S., Srivastava A.K. Recent avances in microbial polyhydroxyalkanoates (2005) *Process Biochemistry* 40: 607-619

Koller M., Gasser I., Schmid F., Berg G. Linking ecolo-

gy with economy: Insights into polyhydroxyalkanoate-producing microorganisms (2011) *Engineering in life sciences* 11(3):222-237 <https://doi.org/10.1002/elsc.201000190>

Koller M., Salerno A., Dias M., Reiterer A., Braunegg G. Modern biotechnological polymer synthesis: a review (2009) *Food Technology and Biotechnology* 48 (3): 255-269

Lee S.Y. Bacterial polyhydroxyalkanoates (1996) *Biotechnology and Bioengineering* 49(1):1-14

Linton E., Viamajala S., Rahman A., Sims R.C. Polyhydroxyalkanoate quantification in organic wastes and pure cultures using a single-step extraction and H-1 NMR analysis (2012) *Water Science & Technology* 66(5):1000-6 DOI: 10.2166/wst.2012.273

Mozejko-Ciesielska J., Kiewisz R. Bacterial polyhydroxyalkanoates: Still fabulous? (2016) *Microbiological Research* 192:271-282. doi: 10.1016/j.micres.2016.07.010

Nikodinovic-Runic J., Guzik M., Kenny S.T., Babu R., Werker A., O'Connor K.E. Carbon-rich wastes as feedstocks for biodegradable polymer (Polyhydroxyalkanoate) production using bacteria (2013) *Advances in Applied Microbiology* 84:139-200

Novaes R.F. Microbiology of anaerobic digestion (1986) *Water Sci. Technol.* 18 (12), 1-14.

Obruca S., Benesova P., Kucera D., Petrik S., Marova I. Biotechnological conversion of spent coffee grounds into polyhydroxyalkanoates and carotenoids (2015) *New Biotechnology* 32(6):569-74. doi: 10.1016/j.nbt.2015.02.008

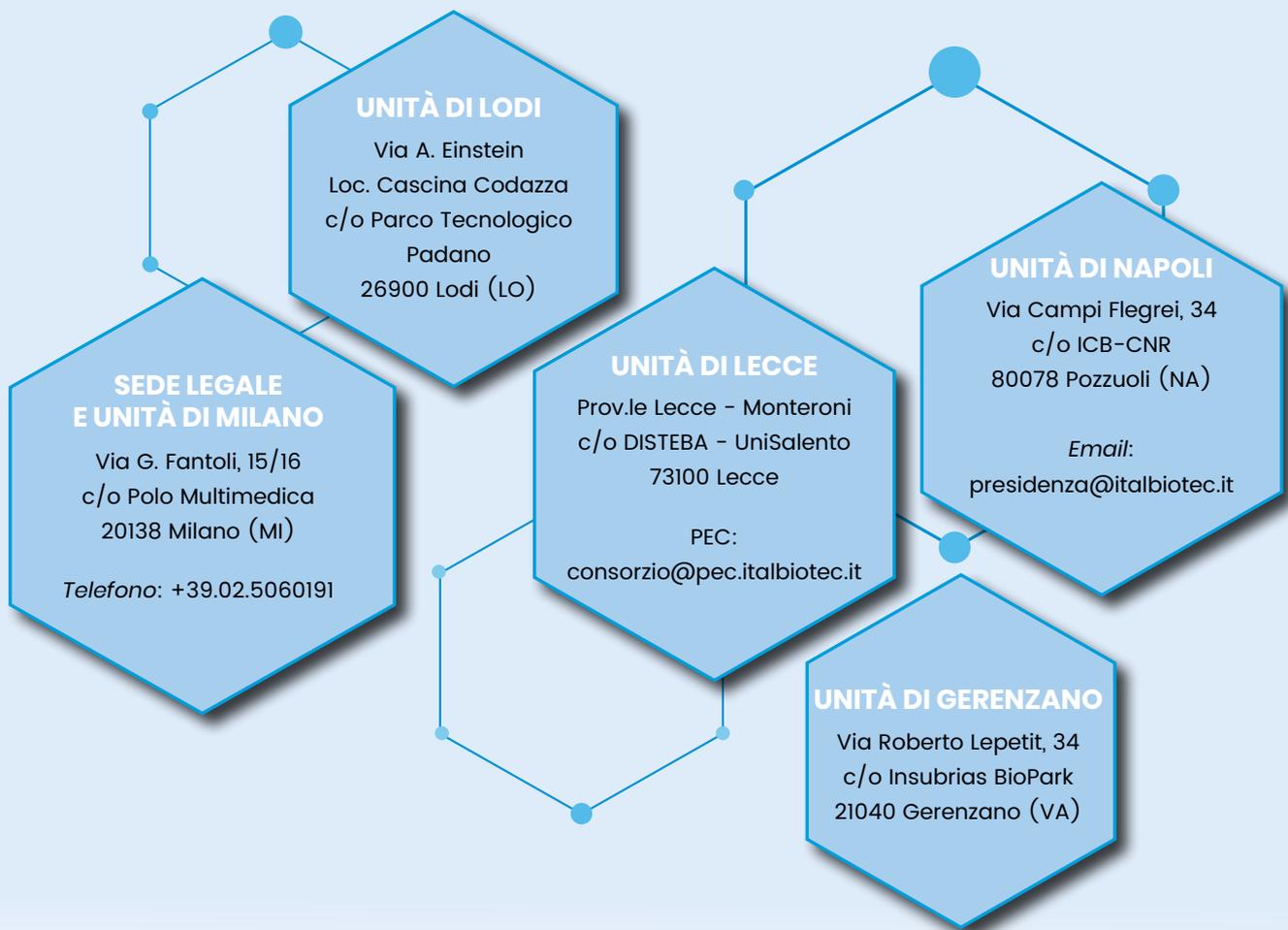
Pescuma M., Mozzi F., Font de Valdez G. Whey-derived valuable products obtained by microbial fermentation (2015) *Applied Microbiology and Biotechnology* 99(15)
Rahman A., Anthony R.J., Sathish A., Sims R.C., Miller C.D. Effects of wastewater microalgae harvesting methods on polyhydroxybutyrate production (2014) *Bioresource Technology* 156:364-367

Rasi S., Veijanen A., Rintala J. Trace compounds of biogas from different biogas production plants (2007) *Energy* 32, 1375-1380

Shen J., Song Z., Qian X., Liu W. Modification of paper-making grade fillers: a brief review (2009) *BioResources* 4(3):1190-1209



Consorzio Italbiotec



ISBN 978-88-907628-4-0

