

ECODESIGN E RICICLO DI DPI IN UNA FILIERA INDUSTRIALE CIRCOLARE

PROGETTO EcoDPI cofinanziato dalla Regione del Veneto nell'ambito del POR FESR 2014-2020 Azione 1.1.4

REPORT DIVULGATIVO

L'obiettivo generale del progetto è la valorizzazione dei rifiuti provenienti dall'uso di dispositivi di protezione individuali (d'ora in poi DPI), anche sanitari. L'obiettivo viene perseguito studiando le fasi chiave di una potenziale filiera circolare per la produzione di tali dispositivi (acquisizione della materia prima e preprocessi, produzione, utilizzo, fine vita)

SOTTOPROGETTO – WP-RI-2

Biopolimeri per materiali riciclabili

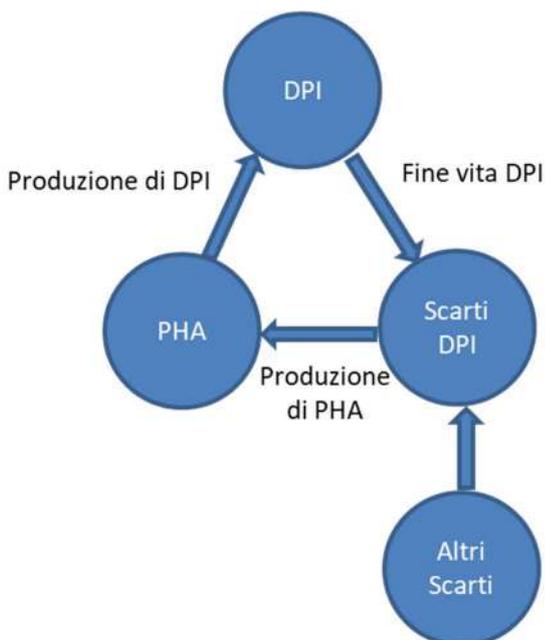
1. Descrizione degli obiettivi

Durante la pandemia causata dal virus COVID-19 la produzione e l'utilizzo di dispositivi di protezione individuali (DPI) come guanti e mascherine è cresciuto esponenzialmente ma il loro corretto smaltimento non è sempre avvenuto correttamente. Si stima infatti che circa 8 milioni di tonnellate di plastica, tra mascherine, guanti e altri prodotti legati alla pandemia sia state riversate nell'ambiente. Di queste circa 25'000 tonnellate sono finite negli oceani causando un ulteriore pressione sugli ecosistemi naturali. Per arginare questo problema di scala globale il progetto EcoDPI si è impegnato nella ricerca di soluzioni innovative per il riciclo e la valorizzazione dei DPI già prodotti e lo sviluppo e il design di materiali innovativi, ecocompatibili e biodegradabili per diminuire l'impatto dei rifiuti plastici sull'ambiente. Tra le varie soluzioni, un in particolare, ha riguardato una filiera circolare in cui i rifiuti organici sono convertiti in bioplastiche biodegradabili sia nel suolo che in mare.



2. Modalità di attuazione della ricerca

Il progetto EcoDPI ha permesso di far progredire le tecniche volte alla valorizzazione di scarti e/o rifiuti organici per la produzione di bioplastiche. Dopo una ricerca preliminare, i biopolimeri appartenenti alla classe dei polioidrossialcanoati (PHA) sono stati selezionati per le loro proprietà fisico chimiche, simili se non superiori ai polimeri di origine petrolchimica, e di biodegradabilità. Inoltre i PHA possono essere sintetizzati da speciali microorganismi a partire da scarti di produzione o rifiuti organici, fornendo così un valore aggiunto alle aziende capaci di chiudere il ciclo produttivo dando nuova vita ai loro scarti.



I PHA sono i poliesteri degli idrossialcanoati (HA) e vengono sintetizzati nel citoplasma di alcuni batteri come riserva energetica che permette loro di sopravvivere anche in condizioni ambientali variabili. Tali polimeri sono per loro stessa natura biodegradabili al 100%, e, se ottenuti da prodotti di scarto, sono 100% rinnovabili e rappresentano un ottimo esempio di economia circolare.

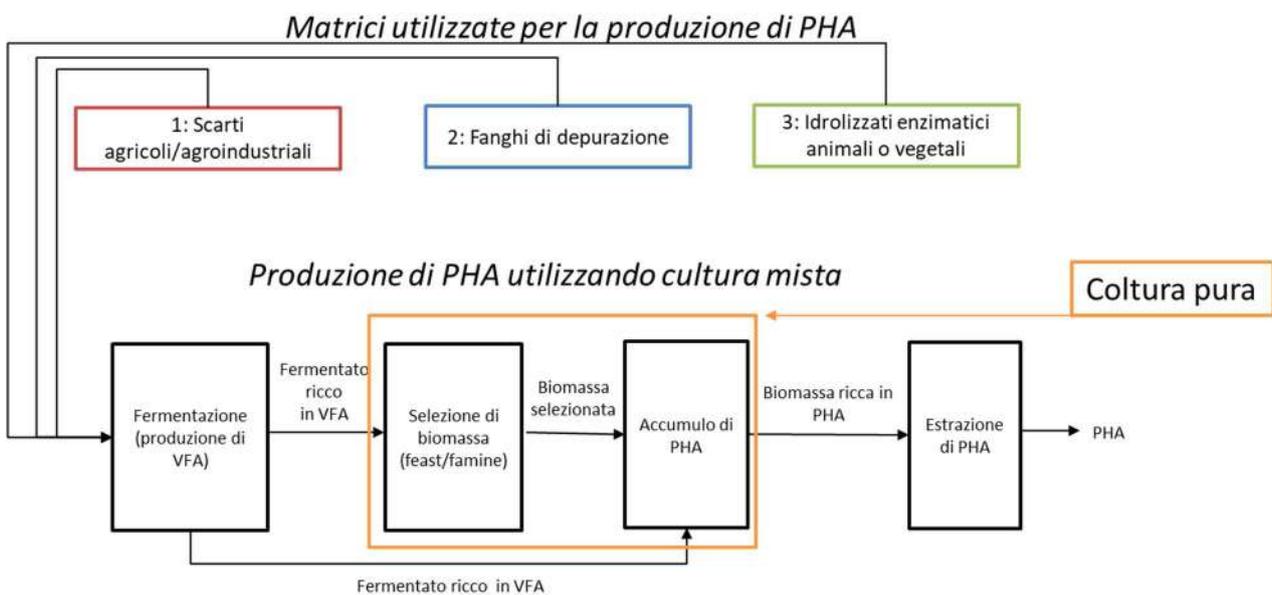
La produzione di PHA è stata eseguita da Innoven srl, l'Università degli Studi di Verona (DB) e l'Università Cà Foscari di Venezia (DAIS), che hanno testato approcci e substrati diversi per valutare le rese e fattibilità tecniche. Innoven e l'Università Cà Foscari di Venezia si sono focalizzate sulla produzione di PHA usando scarti alimentari e fanghi di depurazione in due impianti pilota, mentre l'Università degli Studi di Verona ha testato nei loro laboratori le rese di scarti agricoli e zootecnici.

Nell'impianto di Isola della Scala (VR), Innoven ha prodotto PHA utilizzando scarti della produzione della pasta mentre l'Università Cà Foscari di Venezia ha gestito l'impianto pilota sito all'interno del depuratore di Treviso

alimentandolo con i fanghi secondari prodotti all'interno dell'impianto di trattamento. Nell'Università di Verona è avvenuta una collaborazione tra ILSA spa e il Dipartimento di biotecnologie industriali dove gli scarti della produzione di erba medica fornita da ILSA sono stati utilizzati per produrre PHA utilizzando uno speciale ceppo batterico del genere *Thauera*, noto per accumulare grandi quantità di PHA al suo interno.

I PHA così prodotti sono stati inizialmente caratterizzati nei laboratori del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Padova ed infine affidati Coccitech srl, che ha studiato la l'applicazione dei biopolimeri nella stampa 3D prototipando alcuni DPI e la loro relativa componentistica.

- *Produzione di PHA da matrici organiche*



3. Risultati ottenuti

Il progetto EcoDPI, stimolando la collaborazione tra enti di ricerca e aziende, ha permesso di testare e sperimentare sul campo la creazione di una filiera circolare in cui scarti di produzione o rifiuti organici possono essere valorizzati per la produzione di bioplastiche utili alla creazione di DPI biodegradabili e sostenibili.

Il programma ha reso possibile l'efficientamento del processo di produzione che si è incentrato su due substrati molto diffusi sul territorio: fanghi di depurazione e scarti derivanti dalla produzione di cibo.

Grazie alle due piattaforme pilota, Innoven e l'Università Ca' Foscari hanno prodotto circa 10 kg di PHA migliorando ed efficientando il processo. Le rese, diverse a causa della diversa matrice di partenza ma comunque paragonabili e dello stesso ordine di grandezza sono le seguenti: i fanghi secondari possono generare 1 kg di PHA ogni 700 litri utilizzati mentre gli scarti di cibo -più facilmente fermentabili - generano 1 kg di PHA ogni 100 kg di substrato.

Il lavoro di ricerca svolto invece dall'Università di Verona ha dimostrato che l'erba medica utilizzata come mangime animale può essere utilizzata efficacemente per la produzione di PHA, ottenendo rese simili agli altri substrati utilizzati nel progetto.

Parte del polimero prodotto biologicamente è stato estratto e purificato per renderlo lavorabile e trasformarlo in prototipi di DPI. Questo passaggio si è rivelato essere molto delicato poiché prevede l'utilizzo di acidi o solventi organici che sono necessari per idrolizzare le pareti cellulari e liberare il PHA contenuto all'interno del microorganismo. Tali reagenti devono essere dosati correttamente poiché se in eccesso, possono danneggiare la struttura molecolare del PHA e comprometterne le caratteristiche fisico chimiche, mentre se troppo diluiti non garantirebbero la purezza necessaria per le lavorazioni successive. Una volta



estratto il PHA è stato affidato a Coccitech srl che si è occupata della fase di estrusione - in cui il polimero sotto forma di polvere viene lavorato a temperature e pressioni elevate per produrre filamenti dal diametro di 1.75 mm necessari poi per le prove di stampa 3D - e sia di stampa producendo i prototipi di DPI mostrati nella figura riportata qui sopra. A sinistra sono rappresentati i naselli per mascherine FFP2, al centro una montatura per occhiali protettivi e a destra un supporto per gli elastici delle mascherine.

Rispetto ai polimeri presenti sul mercato, i filamenti di PHA prodotti da scarti hanno dimostrato una variabilità maggiore nella composizione chimica dovuta alla eterogeneità della matrice di partenza ma mantenendo comunque le doti meccaniche dei polimeri commerciali usati come benchmark.

3.1 Nuove conoscenze acquisite

1. Maggiore controllo del processo fermentativo per la valorizzazione degli scarti organici
2. Validazione della produzione dei risultati a partire da matrici di partenza diverse
3. Aumento dell'efficienza di selezione di microorganismi capaci di sintetizzare PHA, sia utilizzando un consorzio misto e sia utilizzando culture pure microbiologiche.
4. Maggior controllo e possibilità di modificare la composizione finale del polimero in base alla composizione della matrice organica di partenza
5. Ottimizzata la fase di estrazione e purificazione del polimero senza l'utilizzo di solventi organici pericolosi
6. Durante la fase di estrusione diverse temperature sono state testate per migliorare le proprietà del filamento in PHA ed ottimizzarne la successiva stampa 3D

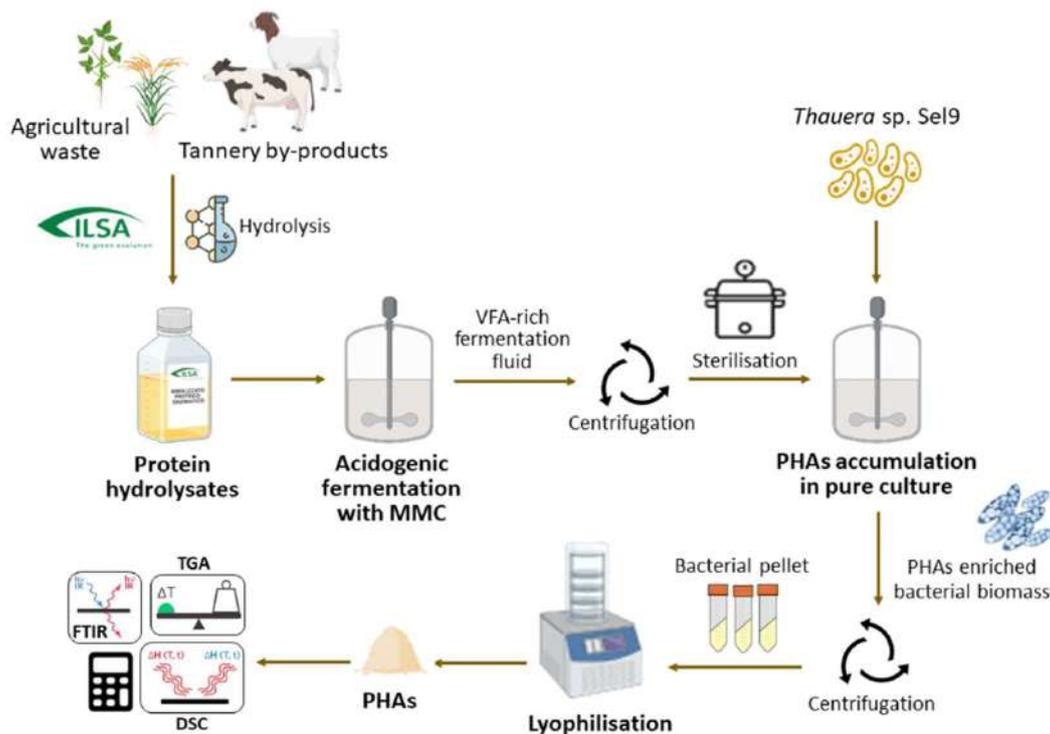
3.2 Tecnologie impiegate

1. Negli impianti pilota di Treviso e di Isola della Scala è stato utilizzato efficacemente il processo di selezione biologica dei microorganismi chiamato *feast-famine* che permette di isolare i batteri capaci di produrre PHA. Agendo infatti sulla dieta dei microrganismi è possibile selezionare efficacemente solo i ceppi capaci di produrre PHA
2. Per aumentare le rese, nell'impianto pilota di Treviso è stato utilizzato un pretrattamento termico dei fanghi volto a massimizzare il contenuto organico disponibile ai microorganismi.
3. Nell'impianto di Isola della Scala sono inoltre state adottate delle speciali membrane a filtrazione tangenziale per filtrare i fanghi di processo
4. Nella fase di lavorazione sono stati utilizzati stampanti 3D ed estrusori da banco per prototipare DPI

3.3 Prototipi o impianti pilota sviluppati

Ad oggi, la produzione di poliidrossialcanoati (PHA) da fanghi di depurazione nell'impianto pilota dell'Università Ca' Foscari Venezia è limitata alla scala pilota (Technology Readiness Level 5-6) ed è stata sperimentata nel corso del progetto. I dati di letteratura disponibili sono in linea con i risultati ottenuti nel corso del progetto; questo conferma la robustezza dell'approccio e la possibile progressione della tecnologia a TRL più elevati. L'impianto di Innoven invece ricade tra TRL 6-7 per via dell'elevato grado di automazione raggiunto durante il progetto: il PLC e il controllo remoto rendono minori gli interventi degli operatori. Nell'immagine seguente è invece schematizzato il processo individuato dai ricercatori dell'Università di Verona per sfruttare scarti agricoli e della concia delle pelli. Il processo, che è simile ai processi applicati negli impianti pilota può essere scomposto nei seguenti step:

- Fermentazione degli scarti organici: questo passaggio è mirato a massimizzare e concentrare gli acidi grassi volatili (VFA) che verranno poi assimilati e trasformati in PHA dai microrganismi.
- Fase di selezione o accumulo: in questa fase i VFA vengono processati o da un consorzio misto di batteri PHA accumulanti o, nel caso dell'Università di Verona dai batteri appartenenti al genere *Thauera*. In genere utilizzare una monocultura ha un vantaggio in termini di rese di processo ma richiede di lavorare in sterilità e quindi dei costi gestionali molto più elevati in caso di scale-up.
- Nella fase di estrazione il PHA viene estratto dalle cellule tramite l'utilizzo di acidi o solventi.
- Il PHA estratto può essere lavorato a seconda dell'uso previsto



Produzione di PHA da Idrolizzati enzimatici animali o vegetali utilizzando coltura pura

3.4 Pubblicazioni scientifiche

1. Paola Critelli, Giovanna Pesante, Stefania Lupinelli, Michele Modesti, Silvia Zanatta, Federico Battista, David Bolzonella, Nicola Frison, Production and characterisation of PHAs by pure culture using protein hydrolysates as sole carbon source, *Environmental Technology & Innovation*, Volume 28, 2022, 102919, ISSN 2352-1864, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102919>.
2. Laura Lorini, Gianluca Munarin, Gaia Salvatori, Sara Alfano, Paolo Pavan, Mauro Majone, Francesco Valentino, Sewage sludge as carbon source for polyhydroxyalkanoates: a holistic approach at pilot scale level, *Journal of Cleaner Production*, 2022, 131728, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131728>.
3. Un terzo articolo è in preparazione sotto il titolo "Oxygen limitation in aerobic polyhydroxyalkanoates production from sewage sludge fermentation liquids: effect of the organic loading rate on kinetics and polymer properties"



4. Trasferibilità dei risultati all'interno della RIR o in altri contesti

I risultati ottenuti a livello dell'impianto pilota rientrano nei livelli tra 5 e 7 dei Livelli di Maturità Tecnologica in quanto il lavoro è stato dimostrato in un ambiente industrialmente rilevante. Il lavoro in impianto pilota è stato svolto per poter dimostrare l'effettivo passaggio dal laboratorio all'industria.

I risultati ottenuti dimostrano che il PHA è un polimero che può essere utilizzato per la produzione di DPI ma gli ambiti di applicazione sono estendibili anche ad altri settori quali packaging e mangimistica.

I risultati infatti dimostrano che la biomassa ottenuta possiede una percentuale di polimero sufficiente da essere utilizzata nel settore del feed data la spiccata proprietà probiotica del PHA. Questo infatti potrebbe integrare la dieta proteica negli allevamenti di pollame o nell'itticoltura.

Un ulteriore ambito in cui è possibile applicare il biopolimero ottenuto è la produzione di oggetti monouso come bicchieri e posate data la biodegradabilità del materiale.

Infine, i PHA non sono l'unico prodotto dal valore aggiunto che è possibile sfruttare. Infatti anche i prodotti intermedi della fermentazione come gli acidi volatili hanno un elevato valore di mercato e offrirebbero un'alternativa green visto che il 75% della produzione di questi acidi avviene dalla carbonilazione del metanolo. Questi acidi hanno svariati usi di impiego, dalla cosmetica agli integratori alimentari.





5. Partner di progetto

Imprese:



www.coccitech.com/



www.ilsagroup.com



www.innoven.it



www.eliteambiente.it



www.3dfast.it

Organismi di ricerca:



www.unipd.it



www.unive.it



www.univr.it

6. Approfondimenti

www.venetogreencluster.it

www.icer-grp.com

www.innoveneto.org