



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-1

Materie prime e MPS di origine sintetica per materiali riciclabili

1. Descrizione degli obiettivi

Il work package è stato suddiviso in 3 sezioni, per le quali si identificano i seguenti obiettivi:

- Task 1, 'Mappatura dei prodotti in commercio', ha richiesto la selezione di dispositivi di protezione (DPI) rappresentativi delle differenti tipologie in commercio; a partire dai DPI raccolti è richiesta l'analisi e la definizione delle tipologie e loro composizioni. Successivamente la caratterizzazione delle prestazioni del prodotto (es. traspirabilità ed efficacia filtrante nel caso delle mascherine) risulta necessaria per stabilire le performance obiettivo dei DPI commerciali. L'ultimo obiettivo è invece relativo alla caratterizzazione in laboratorio dei materiali che compongono i prodotti dal punto di vista chimico-fisico (analisi FT-IR), termico (analisi DSC, TGA) e meccanico (es. prove a trazione, flessione, resistenza all'impatto).
- Task 2, 'Tecnologie di raccolta/smaltimento/riciclo', si è posto l'obiettivo di analizzare i sistemi di recupero/riciclo esistenti per i DPI e le criticità rilevabili negli attuali processi di trattamento dei rifiuti (es: separazione).
- Task 3 infine, relativo ai 'Materiali riciclabili', ha richiesto lo studio dei materiali riciclabili individuati, analisi dei processi di riciclo e loro possibile ottimizzazione, ed in un secondo momento la caratterizzazione dei prodotti ottenuti dai test di riciclo.



2. Modalità di attuazione della ricerca

Nel Task 1 è stata eseguita una ricerca bibliografica riguardante le varie categorie di DPI in commercio e le relative peculiarità. In seguito è stata proposta una selezione di DPI rappresentativi delle differenti categorie rilevate nella precedente fase precedente, i quali sono stati poi raccolti e caratterizzati a livello chimico e termico per l'individuazione univoca dei materiali all'interno di ogni DPI. Parallelamente all'analisi dettagliata dei materiali costituenti i DPI, è risultata fondamentale in primis la raccolta delle normative tecniche applicabili ai DPI in commercio, ed in secondo luogo lo studio della reologia dei materiali usati per la realizzazione del tessuto non tessuto (TNT) costituente molti DPI, quali mascherine, copricamici, cuffie, al fine di definire standard di riferimento di prestazioni e caratteristiche di processo per l'eventuale progettazione e produzione di nuovi DPI maggiormente sostenibili.

Nel Task 2 è stata dapprima eseguita una ricerca bibliografica riguardante la gestione attuale dei rifiuti provenienti da DPI e sulle attuali quantità di DPI smaltiti per ogni categoria di dispositivo. Sono state successivamente individuate le criticità correlate ai metodi usati oggi per smaltire i rifiuti generati dai dispositivi di protezione e sulle soluzioni di fine vita considerate singolarmente più sostenibili rispetto ai metodi attuali. È stata poi elaborata un'analisi SWOTH (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats*) per il riciclo di DPI. A fronte di queste valutazioni sono stati predisposti 3 layout di processi di recupero dei DPI a fine vita, mediante studio e progettazione di un impianto di riciclo di dispositivi di protezione individuale (DPI), studio dei pretrattamenti e dei macchinari richiesti.

Nell'ultimo Task è stata condotta un'indagine su materiali polimerici da fonte fossile e non, riciclabili e possibilmente mimetici a livello di prestazioni e caratteristiche di processo per la produzione di DPI maggiormente sostenibili. Una volta valutati gli eventuali sostituti, sono state riportate le schede tecniche. Sui materiali riciclabili scelti sono stati poi eseguiti dei test di riciclo per valutare, tramite caratterizzazione del materiale riciclato, le proprietà chimico-fisiche, termiche, meccaniche di quest'ultimo.

Riciclo dei DPI: analisi SWOT

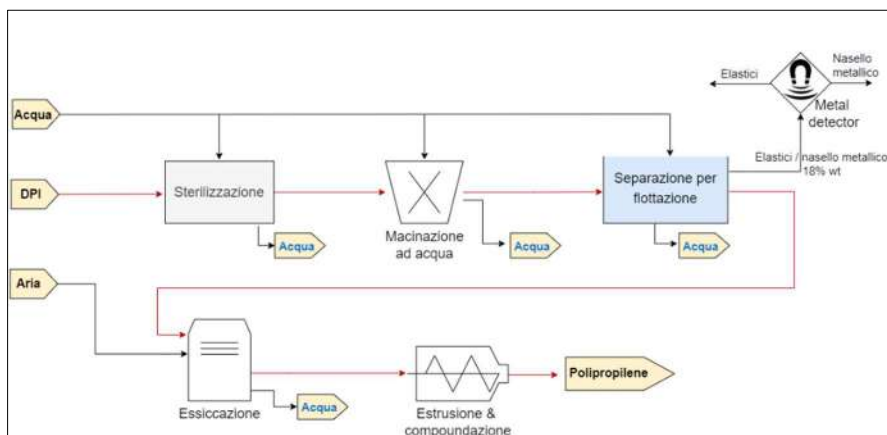
<i>STRENGTHS (S)</i> S1: Disponibilità di DPI a fine vita S2: Riciclabilità dei polimeri costituenti i DPI S3: Rivalorizzazione di prodotti monouso S4: Riduzione del conferimento in discarica e dell'incenerimento S5: Esistenza di realtà territoriali che riciclano DPI S6: Percezione del consumatore riguardo a prodotti provenienti da processi di riciclo	<i>WEAKNESSES (W)</i> W1: Ostacoli legislativi e pratici alla raccolta di DPI W2: Assenza di una filiera unificata di riciclo W3: Prodotti potenzialmente infetti W4: Disomogeneità nei materiali costituenti i DPI W5: Necessità di additivazione per raggiungere le performance richieste per una specifica applicazione
<i>OPPORTUNITIES (O)</i> O1: Trasferibilità delle conoscenze in altri settori O2: Educazione del consumatore O3: Ecodesign dei DPI O4: Studio e ottimizzazione della raccolta per una maggiore riciclabilità dei DPI O5: Creazione di una nuova filiera di riciclo per i DPI O6: Rivalorizzazione degli scarti post industriali nella filiera di produzione dei DPI	<i>THREATS (T)</i> T1: Omogeneizzazione della composizione dei DPI in commercio T2: Creazione filiera di riciclo nazionale T3: Fluttuazione della domanda di DPI post-pandemia T4: Individuazione di un mercato per il reinserimento della materia prima seconda T5: Costo delle materie seconde ottenuta dal riciclo dei DPI T6: Requisiti tecnici richiesti alla MP seconda a seconda dell'applicazione finale T7: Variabilità di composizione del materiale in ingresso

3. Risultati ottenuti

Lo screening preliminare sulle tipologie di DPI esistenti, sui loro materiali costituenti e sulle performance richieste ha permesso da un lato di stabilire l'attuale riciclabilità dei dispositivi di protezione in commercio, e parallelamente di stabilire i requisiti tecnici e di processo, grazie allo studio della reologia, per questo tipo di prodotti.

In seguito la valutazione delle attuali procedure di gestione dei DPI a fine vita ha determinato l'assenza di un percorso virtuoso per i dispositivi di protezione, che vengono destinati alla discarica se provenienti da fonti domestiche, o a termovalorizzazione se rifiuti ospedalieri. A fronte di questa criticità sono state studiate prospettive di fine vita maggiormente sostenibili, quali il riutilizzo o il riciclo via fisico-meccanica o chimica. Per ciascun polimero costituente i DPI è stata valutata la prospettiva di riciclo più adatta alle caratteristiche chimico-fisiche del materiale stesso, e sono state selezionate infine due tecnologie di riciclo adatte, se integrate, a trattare tutti i rifiuti da DPI: il riciclo meccanico per la componente poliolefinica (PP, PE, spesso usati nella produzione del TNT costituente i DPI) ed il riciclo mediante pirogassificazione, in grado di trattare matrici miste. Sono quindi state definite le tecnologie disponibili per ogni step di pre-trattamento degli scarti, con focus sull'analisi di sistemi di raccolta di DPI, di prodotti tessili, e sono state formulate ipotesi di sistemi

di raccolta di DPI, step fondamentale per la qualità del riciclato, ed è stato progettato un esempio di contenitore di raccolta (*mockup*). Successivamente sono stati strutturati 3 layout di riciclo per DPI misti, nel dettaglio: raccolta differenziata di DPI in TNT (ricchi in poliolefine) destinati al riciclo fisico-meccanico, nel secondo caso raccolta di DPI misti destinati a riciclo chimico mediante pirogassificazione (con impianto pilota disponibile presso l'azienda Elite Ambiente) e nel terzo caso un riciclo integrato che prevede la raccolta di DPI misti e la separazione della componente poliolefinica (PP, PE) da destinare al riciclo fisico-meccanico, mentre la restante parte viene riciclata per via chimica mediante pirogassificazione. Per questi 3 scenari è stata operata un'opportuna scelta dei pretrattamenti degli scarti e dei macchinari richiesti, con valutazione delle portate in gioco e dei consumi.



3.1 Nuove conoscenze acquisite

Gli output del WP-RI-1 hanno permesso di:

1. Individuare la grande varietà di polimeri costituenti i diversi tipi di DPI, al fine di stabilire le corrette tecnologie e parametri di *reprocessing* per la loro rivalorizzazione a fine vita.
2. Stabilire metodi di rivalorizzazione adatti ai materiali costituenti i rifiuti da DPI, portando alla riduzione dei conferimenti in discarica per l'intera filiera.
3. Selezionare e ottenere materie prime seconde provenienti da processi di riciclo fisico-meccanico dei DPI in tessuto non tessuto (TNT), o chimico mediante pirogassificazione dei DPI misti. Le MPS dal processo di riciclo meccanico possono essere valorizzate tramite collocazione in altre filiere (es. complementi d'arredo), aprendo un mercato legato ai materiali da riciclo, con conseguente beneficio economico.

3.2 Tecnologie impiegate

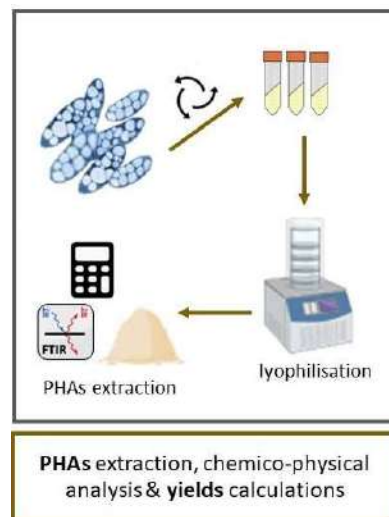
Per lo screening dei DPI commerciali e ugualmente per la definizione delle proprietà delle materie prime seconde ottenute da test di riciclo su alcuni DPI sono state eseguite prove di caratterizzazione chimica con spettroscopia infrarossa in trasformata di Fourier (FT-IR), caratterizzazione termica con calorimetria a scansione differenziale (DSC) ed analisi termogravimetrica (TGA), meccanica con test di trazione, flessione e impatto con metodo Izod, secondo normative ISO di riferimento.

I test di *reprocessing* dei DPI per la simulazione del processo di riciclo fisico-meccanico sono stati eseguiti con l'utilizzo di tecnologie di estrusione, per la fusione e miscelazione con opportuni additivi, granulazione per la formazione dei granuli di materia prima seconda e stampaggio ad iniezione e compressione della MPS in manufatti destinati alle caratterizzazioni suddette.

3.3 Pubblicazioni scientifiche

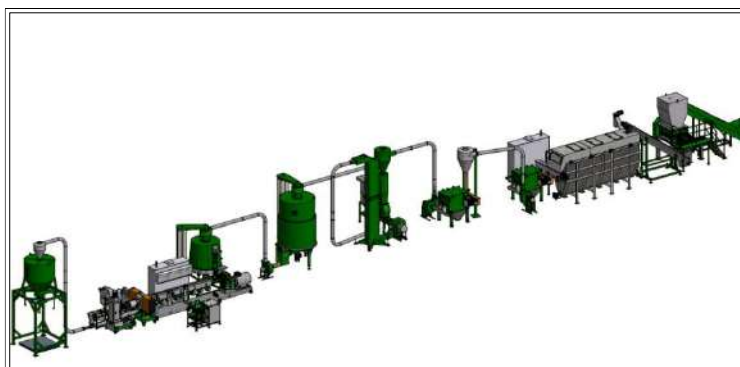
Grazie alla collaborazione tra i partner, è stata prodotta la seguente pubblicazione riguardante la caratterizzazione di PHA prodotti da biomasse e destinati alla realizzazione di DPI in biopolimero riciclabile mediante compostaggio:

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>



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

Dopo uno *screening* dello stato dell'arte riguardante i DPI, sono stati definiti alcuni scenari significativi per il riciclo dei DPI stessi e sono stati presi in analisi i pretrattamenti necessari al riciclo sia fisico-meccanico che chimico per le diverse tipologie di polimeri costituenti i DPI (PP, PE, PA, PET, PU, ...). Questa conoscenza è generalizzata e risulta trasferibile a qualsiasi realtà che utilizzi i polimeri sopra citati. In una fase successiva è stata poi studiata la reologia di prodotto ottenuti dal *reprocessing* di DPI in tessuto non tessuto: la conoscenza delle proprietà della MPS permette di stabilirne le condizioni di riciclo fisico-meccanico e può essere trasferita a qualsiasi *blend* polimerico con reologia analoga in input al processo di riciclo. Infine sono stati strutturati 3 layout di riciclo per DPI misti, con opportuna scelta dei pretrattamenti degli scarti e dei macchinari richiesti. Questa filiera, pensata per DPI, può trattare sicuramente prodotti in TNT, nel dettaglio per via meccanica la componente poliolefinica, ma più in generale il processo di riciclo meccanico può essere trasferibile a qualsiasi prodotto in materiale polimerico termoplastico (rifusibile), le cui quantità in ingresso e la qualità della MPS ottenuta diano ragione d'essere al processo stesso. Il processo di riciclo chimico mediante pirogassificazione, essendo in grado di trattare matrici miste non necessariamente omogenee, è poi estensibile a molti altri rifiuti, quali ad esempio: fanghi industriali e civili, ad alto tenore di componente organica, plastiche miste di scarto, non riciclabili direttamente oppure la cui riciclabilità non è al momento economicamente conveniente ("PLASMIX" o plastiche termoindurenti, o ottenute da RAEE), residui di origine animale o vegetale, eventualmente frammisti a componenti non organiche contaminanti, come idrocarburi o metalli, biomasse di varia derivazione e matrici miste ora difficilmente lavorabili come cavi elettrici e schede elettroniche, con recupero dei metalli preziosi presenti e pirolizzazione di tutta la parte organica.





5. Partner di progetto

Imprese:



www.eliteambiente.it



www.agenziachimicaitaliana.it



www.akkotex.it



www.studiogallian.it



www.dolomitcert.it



www.crossing-srl.com



www.filtecsrl.eu



www.3dfast.it



www.chimicambiente.net

Organismi di ricerca:



www.unipd.it



www.dii.unipd.it



www.unive.it



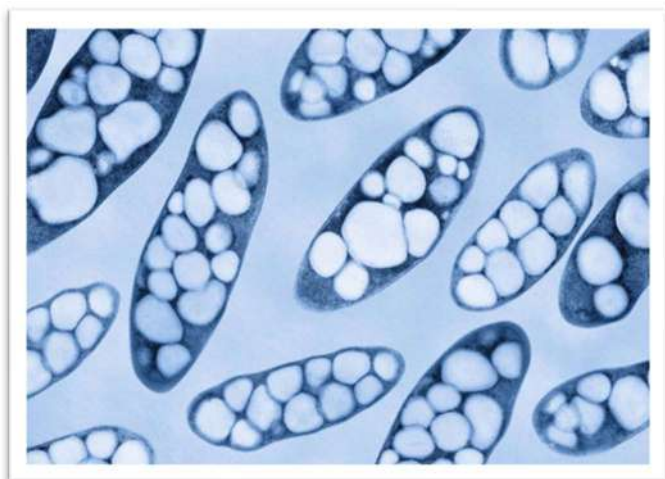
www.galileovisionarydistrict.it

6. Approfondimenti

www.innoveneto.org

www.venetogreencluster.it

www.icer-grp.com



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

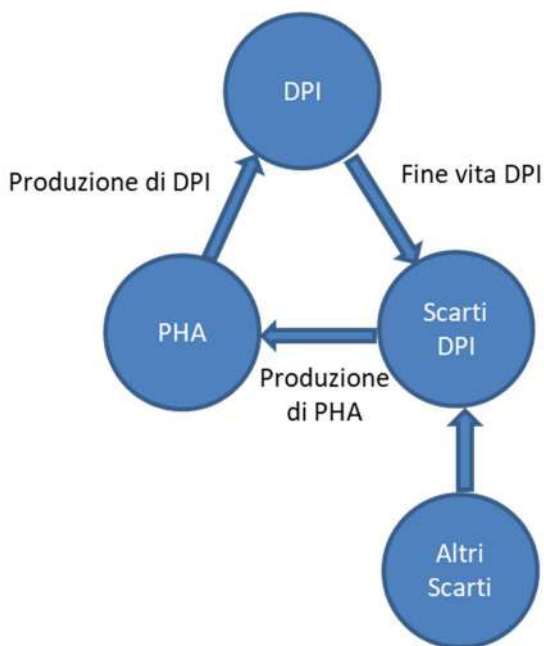
1. Descrizione degli obiettivi

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.

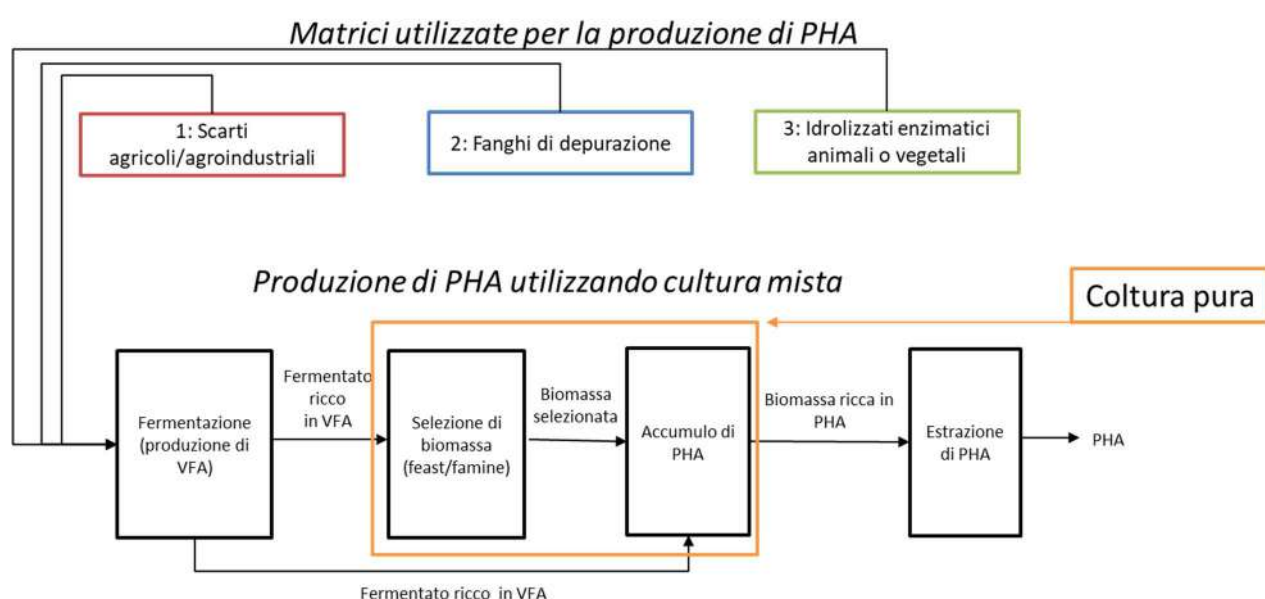
La produzione di PHA è stata eseguita da Innoven srl, l'Università degli Studi di Verona (DB) e l'Università Cà Foscari di Venezia (DAIS), che hanno testato approcci e substrati diversi per valutare le rese e fattibilità tecniche. Innoven e l'Università Cà Foscari di Venezia si sono focalizzate sulla 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

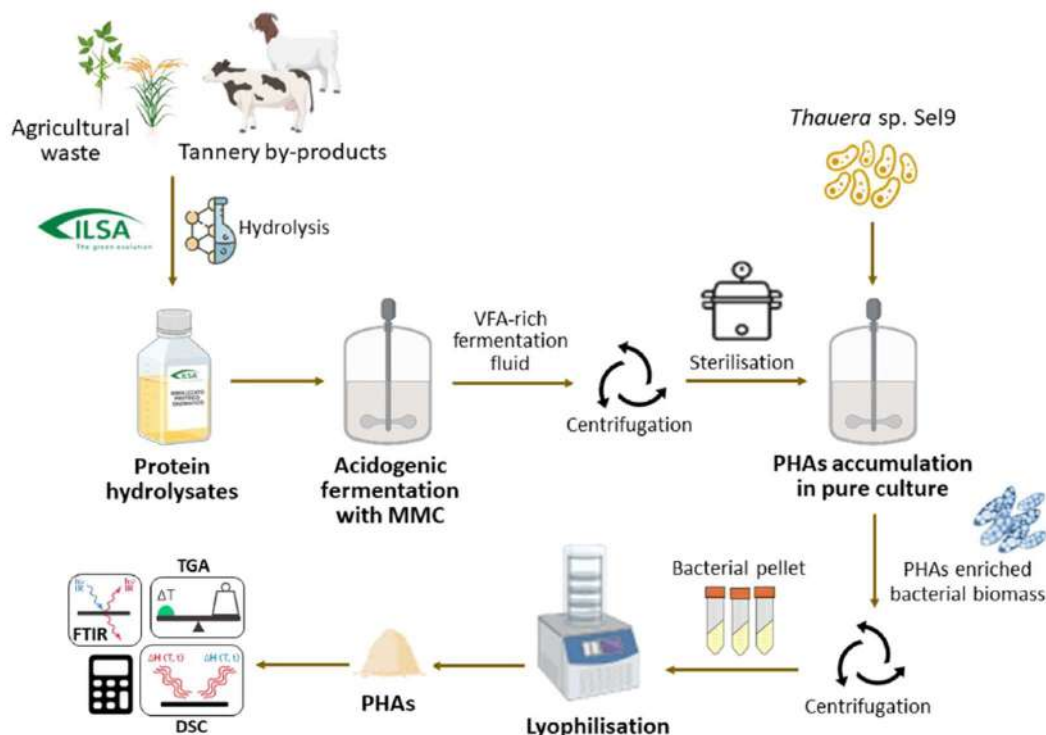
3.2 Tecnologie impiegate

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:

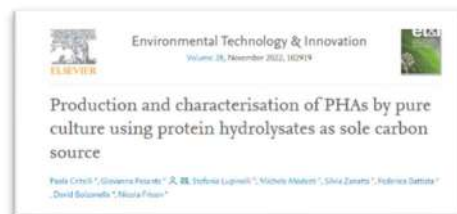
- Fermentazione degli scarti organici: questo passaggio è mirato a massimizzare e concentrare gli acidi grassi volatili (VFA) che verranno poi assimilati e trasformati in PHA dai microrganismi.
- Fase di selezione o accumulo: in questa fase i VFA vengono processati o da un consorzio misto di batteri 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



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. Idrolizzati proteici

1. Descrizione degli obiettivi

Le attività svolte da ILSA nell'ambito del progetto EcoDPI sono state rivolte alla produzione di idrolizzati proteici ottenuti da materie prime rinnovabili e/o materie prime seconde e allo studio delle loro caratteristiche chimico-fisiche quali substrati di partenza per la produzione di poliidrossialcanoati (PHA), biopoliestere di origine batterica, bio-based e biodegradabile, di interesse industriale in quanto utilizzabile per la produzione di materiale plastico biodegradabile e biocompatibile per un'ampia gamma di possibili applicazioni, come suture chirurgiche o contenitori di imballaggio.



2. Modalità di attuazione della ricerca

Le fasi della ricerca sono state:

- attività di studio di letteratura sul ruolo del substrato nella produzione del PHA, al fine di acquisire le conoscenze scientifiche necessarie per l'ottimizzazione di processi/prodotti;
- attività di produzione degli idrolizzati, che comprende una fase di prototipazione, per il fine-tuning del processo di idrolisi su scala laboratorio, seguita da una fase di scale-up industriale del processo;
- attività di caratterizzazione analitica durante tutta l'attività produttiva, con lo svolgimento di analisi chimico-fisiche e la valutazione del profilo di ecocompatibilità degli idrolizzati prodotti, realizzate sia presso il laboratorio ILSA che presso consulenti esterni, al fine di garantire in ogni fase la standardizzazione/ottimizzazione del processo/prodotto in quanto substrato di partenza in grado di influenzare la produzione di PHA.

Le attività di studio e ottimizzazione sono state condotte in collaborazione con l'Università degli Studi di Verona – Dipartimento di Biotecnologie, partner di progetto, al fine di valutare la fattibilità dell'uso degli idrolizzati quali substrati di partenza per la produzione di PHA.

3. Risultati ottenuti

Le attività svolte nel progetto hanno permesso di sviluppare un processo ottimizzato di biocatalisi, da scala laboratorio a scala industriale, per la trasformazione di sottoprodotti in idrolizzati, da



utilizzare quali substrati di partenza per la produzione di PHA.

Hanno inoltre permesso di raccogliere informazioni fondamentali per produrre idrolizzati con caratteristiche standardizzate e riproducibili e porre in tal modo le basi per una produzione standardizzata e riproducibile di biopolimero.

Dall'integrazione dei risultati di ricerca ottenuti da ILSA e UNI VR è possibile iniziare a chiarire in che modo le caratteristiche del substrato di partenza

siano in grado di influenzare resa e caratteristiche del PHA finale, con l'obiettivo di individuare l'idrolizzato o la miscela di idrolizzati ideale per la sintesi di PHA con rese e caratteristiche desiderate.

3.1 Nuove conoscenze acquisite

1. Caratterizzazione chimica delle materie prime oggetto di valorizzazione
2. Caratterizzazione chimico – fisica completa degli idrolizzati prodotti
3. Identificazione delle principali componenti polimeriche degli idrolizzati
4. Biodegradabilità aerobica degli idrolizzati

3.2 Tecnologie impiegate

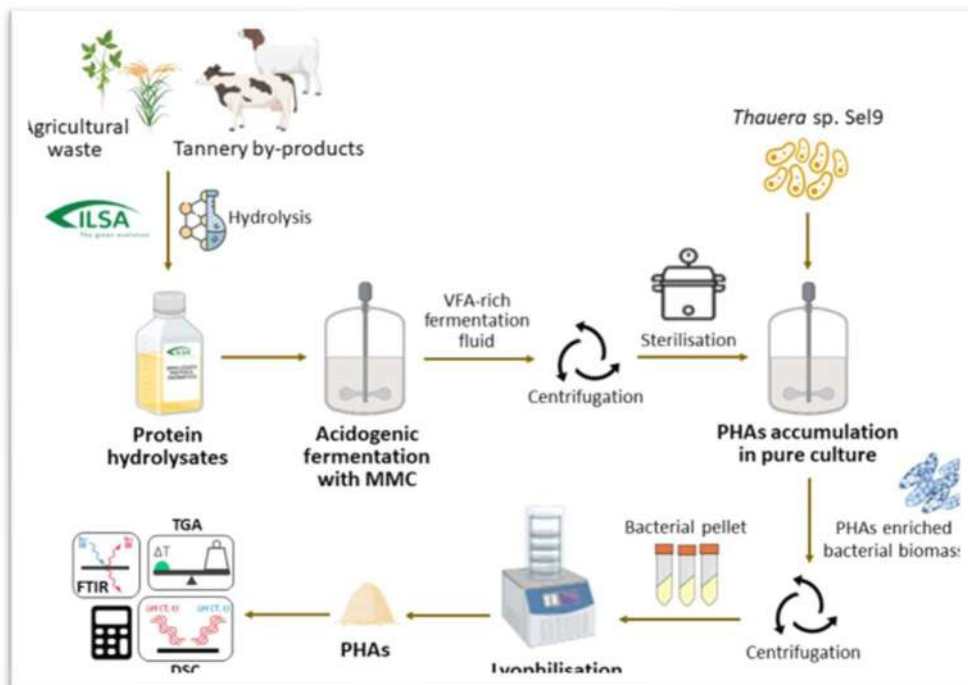
1. **Biocatalisi.**
Il processo di idrolisi enzimatica è altamente idoneo al riciclaggio e alla valorizzazione di biomasse animali e vegetali e sottoprodotti agroalimentari.
Nell'idrolisi enzimatica, enzimi idrolitici scindono i legami di molecole organiche complesse quali proteine e carboidrati, che vengono scomposte nelle loro molecole costituenti a catena più corta quali peptidi, amminoacidi, zuccheri, con l'aggiunta di una molecola d'acqua. Il processo avviene all'interno di bioreattori controllati con bassa temperatura (40-50 °C) e pH vicino alla neutralità,

condizioni ottimali che consentono agli enzimi di idrolizzare il substrato proteico e di conservare gli amminoacidi nella loro forma naturale (levogira). Le blande condizioni di reazione consentono inoltre di non danneggiare i fitocomplessi presenti nelle materie prime vegetali, che conservano intatte le loro attività.



Impianto di idrolisi enzimatica presso ILSA

3.3 Pubblicazioni scientifiche



Critelli, P., Pesante, G., Lupinelli, S., Modesti, M., Zanatta, S., Battista, F., Bolzonella, D., & Frison, N. (2022). Production and characterisation of PHAs by pure culture using protein hydrolysates as sole carbon source. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102919.



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

Lo studio svolto in collaborazione con UNI VR, operando nell'ambito dei principi dell'economia circolare, chimica verde e sviluppo sostenibile, ha dimostrato fino ad un TRL di 4-5 la fattibilità del processo di trasformazione di idrolizzati proteici in bioplastiche.

Il modello proposto per la valorizzazione dei sottoprodotti della filiera agro-alimentare può rappresentare un'opportunità esportabile ad altre imprese produttrici e/o trasformatrici, che desiderino trasformare un sottoprodotto in risorsa. I vantaggi concretizzabili dall'applicazione del modello sono almeno due:

- 1) diminuire il flusso di rifiuti, aumentando la sostenibilità dei processi produttivi.
- 2) dar vita ad un materiale eco-compatibile con caratteristiche idonee a poter essere proposto quale alternativa all'uso di plastiche fossili

5. Partner di progetto

Imprese:



www.ilsagroup.com



www.innoven.it

Organismi di ricerca:



www.univr.it



www.unive.it

6. Approfondimenti

www.venetogreencluster.it

www.icer-grp.com

www.innoveneto.org



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-3

Modificazione dei prodotti

1. Descrizione degli obiettivi

L'Ecodesign e il riciclo/valorizzazione di DPI è stato il filo conduttore della sperimentazione: le imprese coinvolte hanno testato materiali e metodologie di lavorazione innovative, dimostrando la fattibilità di riciclo di DPI come materia prima seconda per prodotti ad alto valore aggiunto in alternativa al conferimento in discarica. Gli obiettivi specifici sono stati:

- Analisi di mercato e della letteratura per identificare tecniche note o in fase di sperimentazione da poter integrare con i processi e i prodotti già adottati dai Partner di progetto
- Identificazione e selezione dei prodotti e processi per la funzionalizzazione dei DPI
- Ottimizzazione di innovativi trattamenti superficiali antimicrobici/antivirali dei DPI
- Prototipazione di manufatti da DPI riciclati
- Verifica ottimizzazione e caratterizzazione dei materiali di riciclo
- Validazione dei DPI e manufatti selezionati.

2. Modalità di attuazione della ricerca

Le attività sono state svolte in collaborazione tra aziende e organismi di ricerca partner del progetto.

In linea con i principi dell'Ecodesign e dell'economia circolare, la sperimentazione ha valutato limiti e vincoli di fattibilità, potenziali tecniche di realizzazione e assemblaggio da DPI esausti e la capacità di industrializzazione delle soluzioni ipotizzate.

Sono stati indagati i seguenti sistemi in ambito DPI:

- 1) tessuti per mascherine/capi indossabili
- 2) maschera facciale con filtro tampone (MFFT) e non DPI:
- 3) materiali polimerici da DPI riciclati (rDPI) per scaffalature e altri manufatti per l'arredo
- 4) calcestruzzo con polimero termoplastico da rDPI per elementi di arredo urbano.

Per i dettagli sulle mascherine facciali MFFT si rimanda a specifica monografia [1].

Per quanto riguarda i capi indossabili durante il progetto è stata valutata la possibilità di migliorare la sanificazione dei DPI, aumentare la loro durevolezza e valore aggiunto mediante deposizione superficiale di innovativi prodotti antibatterici/antimicrobici.

Da un'analisi di mercato, della letteratura anche brevettuale e in base al know-how dei partner coinvolti sono stati selezionati due diversi processi per il trattamento superficiale dei DPI e rDPI, mediante:

- i) coating organici permanenti [2]
- ii) deposizione di rame per Elettrosputtering [3].

La ricerca ha riguardato la prototipazione di capi indossabili (camice, mascherine) da impiegare per i test di deposizione superficiale. I DPI pre e post-modifiche superficiali sono stati caratterizzati per verificare l'efficacia antibatterica, antimicrobica [4] e le prestazioni fisico-meccaniche [5] e riciclabilità.

Gli rDPI sono inoltre stati testati per la produzione di manufatti per l'edilizia e l'arredo urbano quali:

- i) Scaffali misti alluminio/rDPI (per celle frigo, cucine industriali), composti da profili in alluminio e ripiani in PP



Provini stampati a compressione provenienti dal riciclo meccanico di mascherine chirurgiche

ii) Cassero a perdere in rDPI per vespai aerati impiegati per creare una struttura portante in grado di separare l'edificio dal terreno, permettendo di smaltire l'umidità

iii) Panchina per arredo urbano in calcestruzzo/rDPI per arredo urbano.

A completamento è stato progettato un potenziale schema d'impianto Industriale atto al recupero e riciclo dei DPI esausti.

3. Risultati ottenuti

I principali risultati ottenuti dal progetto sono di seguito riportati suddivisi in attività di prototipazione per sistemi in ambito DPI (capo in tessuto, maschera facciale) e non DPI (prodotti per costruzioni, arredo urbano). In particolare:



Capo in tessuto: i diversi prototipi di camice (in PP riciclato) e di mascherine in TNT sono stati impiegati per la modifica superficiale mediante coating organici o deposizione di rame. Quindi i prodotti pre e post coating sono stati testati per verificare l'attività antimicrobica e sottoposti a test fisici-meccanici (sfregamento, trazione, penetrazione, capacità filtrante). Tutti i campioni analizzati hanno mostrato una elevatissima attività antibatterica sia per batteri Gram-positivi che Gram-negativi. Questo aspetto è molto interessante poiché spesso gli antibatterici non hanno la stessa efficacia nei confronti di batteri Gram-positivi che Gram-negativi. Inoltre, risulta che entrambe le tipologie di trattamento superficiali non alterano le prestazioni dei DPI.

L'efficacia antibatterica dei campioni post test meccanici e dopo cicli di lavaggio è stata nuovamente verificata anche mediante Microscopio Elettronico a Scansione (SEM) dimostrando che in tutti i casi l'attività antibatterica dei prototipi rimane invariata. Infine, le

mascherine pre e post-trattamento sono state riproccate per testare la riciclabilità, verificando che anche in questo caso le proprietà dei DPI pre e post riciclo o lavaggio rimangono invariate.

Queste attività hanno consentito di verificare l'efficacia dei trattamenti superficiali quali innovativi metodi per il miglioramento delle prestazioni di DPI nell'ambito dei principi dell'economia circolare e dell'Ecodesign. I dati ottenuti potranno essere applicati senza alcuna variazione su DPI di riciclo di qualsiasi natura.

Produzione di scaffali, casseri e panchine per arredo urbano

le attività svolte hanno permesso di identificare tecniche di formulazione di rDPI secondo i principi dell'Ecodesign al fine di formulare dei prodotti che possano essere recuperati e riciclati con maggior facilità rispetto ai DPI oggi disponibili sul mercato. In base ai risultati delle caratterizzazioni fisico-meccaniche i manufatti (cassero, mensola degli scaffali e panchina per arredo urbano) da rDPI hanno prestazioni equivalenti a quelli da polimeri vergini. Ulteriore punto di forza di questo progetto è il reimpiego di polimeri da riciclo per manufatti di diversa natura (edilizia, arredo urbano) ampliando il mercato di riferimento.



3.1 Nuove conoscenze acquisite

In linea con gli obiettivi di progetto sono state sviluppate una serie di nuove conoscenze ed in particolare:

- 1) Ottimizzazione di innovativi trattamenti superficiali antimicrobici/antibatterici per l'implementazione delle caratteristiche dei DPI/rDPI
- 2) Sviluppo di metodologie semi-industriali per l'impiego di rDPI per manufatti per edilizia e arredo anche urbano
- 3) Prototipazione di manufatti da DPI riciclati che ha consentito di acquisire conoscenze sulla complessità dei DPI disponibili sul mercato, la loro scarsa/nulla riciclabilità e identificare delle linee guida da seguire per l'ecodesign di DPI più sostenibili
- 3) Selezione di materiali riciclabili che ha consentito, anche nei casi di DPI modificati superficialmente di poter riciclare i materiali post consumo
- 4) Sviluppo di una linea pilota di pellettizzazione per il riciclo di DPI
- 5) Messa a punto di metodologie per l'ottimizzazione e la caratterizzazione dei materiali di riciclo.

3.2 Tecnologie impiegate

Le principali tecnologie implementate durante il progetto EcoDPI, WP-RI-3, per il recupero e la rivalorizzazione di DPI e rDPI sono:

1. Elettrospattering
2. Coating a spruzzo
3. Riciclo di DPI mediante pellettizzazione
4. Identificazione di un protocollo per la caratterizzazione chimico-fisica di DPI e loro implementazione secondo i principi dell'Ecodesign e dell'economia circolare
5. Impiego di polimeri da rDPI per la produzione di manufatti per l'edilizia e l'arredo urbano
6. Misure SEM per la verifica dello stato di conservazione dei trattamenti antibatterici post test di usura
7. Analisi e fattibilità di un processo per il recupero/riciclo di DPI a livello industriale

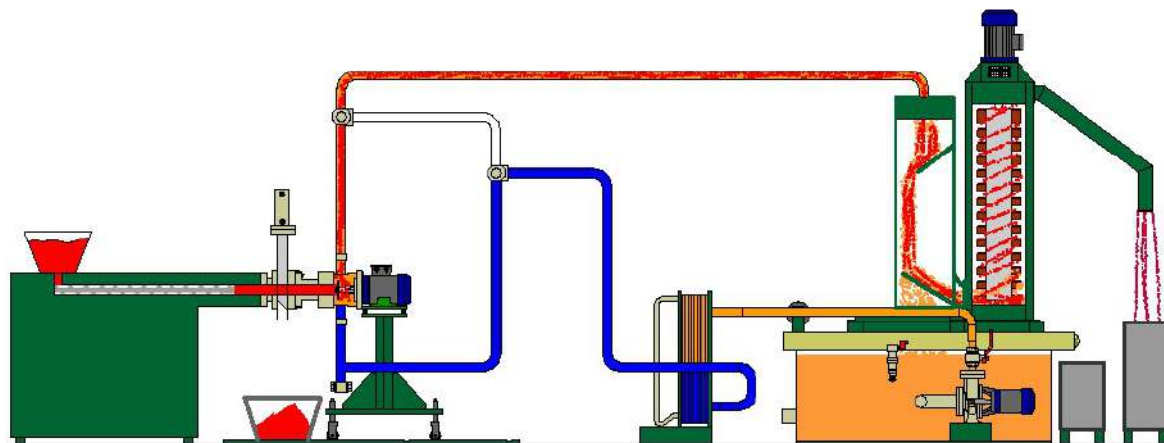


Prove di carico su ripiano della scaffalatura tecnica

3.3 Prototipi o impianti pilota sviluppati

Durante il progetto EcoDPI, WP-RI-3, sono state sviluppate tecnologie prototipali per lo sviluppo di:

- 1) Innovativi trattamenti superficiali antimicrobici/antibatterici per l'implementazione delle caratteristiche dei DPI/rDPI con caratteristiche migliorative rispetto ai DPI disponibili commercialmente.
- 2) Sviluppo di metodologie semi-industriali per l'impiego di rDPI per manufatti per edilizia e arredo anche urbano. La prototipazione di manufatti da rDPI ha consentito di acquisire conoscenze sulla complessità dei DPI disponibili sul mercato, e definire delle linee guida per l'ecodesign di DPI più sostenibili.
- 3) Sviluppo di una linea pilota di pellettizzazione per il riciclo di DPI.
- 4) Prototipazione di manufatti in alluminio/rDPI o calcestruzzo/rDPI per la produzione di manufatti per l'edilizia e l'arredo anche urbano.
- 5) Identificazione di un processo per il recupero/riciclo di DPI a livello industriale.



Processo di granulazione

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

Il TRL dei processi e prodotti sviluppati nell'ambito del progetto sono compresi tra TRL 7/8 e consentono di:

1. Ridurre l'impatto ambientale del ciclo di vita dei DPI, riducendo il conferimento in discarica e la produzione di gas serra dovuta al loro incenerimento.
2. Ridurre il consumo di polimeri fossili vergini, che vengono sostituiti da rDPI riducendo il consumo di risorse non rinnovabili a favore di prodotti di riciclo in linea con i principi dell'Economia Circolare e dell'Ecodesign.
3. Sviluppare processi e prodotti necessari a dimostrare che gli rDPI possono essere trasformati in materie prime seconde (MPS) per la produzione di manufatti ad alto valore aggiunto per alcuni settori industriali.
4. Creare un nuovo contesto industriale per il riutilizzo di tali scarti, tramite lavorazioni/tecnologie apposite.



Prove di carico su ripiano della scaffalatura tecnica

Le attività di EcoDPI sono fondamentali per la cessazione della qualifica di rifiuto secondo quanto richiesto dalla direttiva End of Waste, ossia [6]:

- Gli rDPI testati possono essere trasformati in MPS con un processo industriale noto
- Esiste un mercato di riferimento per gli rDPI
- Il processo per il recupero/riciclo dei testati rDPI è meno impattante da un punto di vista ambientale rispetto allo stato dell'arte.

Le tecnologie implementate nel progetto, dai trattamenti superficiali di DPI, al loro riciclo e reimpiego per la produzione di manufatti per l'edilizia e l'arredo anche urbano saranno facilmente trasferibili e replicabili in altre aree geografiche e applicazioni industriali.



Un moltiplicatore di opportunità.
Da non lasciarsi sfuggire.

5. Partner di progetto



www.eliteambiente.it



www.agenziachimicaitaliana.it



www.akkotex.it



www.studiogallian.it



www.dolomiticert.it



www.crossing-srl.com



www.filtecsrl.eu



www.3dfast.it



www.chimicambiente.net



www.bellitalia.net



www.sintesyplast.it



www.coccitech.com



www.ilsentierocampus.com

Organismi di ricerca:



www.unive.it



www.unipd.it



www.univr.it



www.galileovisionarydistrict.it



6. Approfondimenti

- [1] a) Veneto Green Cluster www.venetogreencluster.it; b) www.innoveneto.org; c) www.icer-grp.com.
- [2] Synthesis and Antimicrobial Evaluation of Bis-morpholine Triazine Quaternary Ammonium Salts, A. Morandini, B. Leonetti, P. Riello, R. Sole, V. Gatto, I. Caligiuri, F. Rizzolio, V. Beghetto, ChemMedChem 2021, 20, 3172-3176. doi: 10.1002/cmdc.202100409.
- [3] F.M. Mwema, E.T. Akinlabi and O.P. Oladijo, Sustainability Issues in Sputtering Deposition Technology in Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Toronto, Canada, October 23-25, 2019.
- [4] Staphylococcus aureus ATCC 6538; Klebsiella pneumoniae - ATCC 4352
- [5] a) Determinazione della resistenza all'abrasione EN 14325:2018 – Clausola 4.4; b) Resistenza allo strappo trapezoidale EN 14325:2018 – Clausola 4.7; c) Resistenza alla perforazione EN 14325:2018 – Clausola 4.10; d) Penetrazione del materiale filtrante EN 149:2001+A1:2009 – Clausola 7.9.2; e) Resistenza respiratoria EN 149:2001+A1:2009 – Clausola 7.16.
- [6] Dlgs. 205/2010, Disposizioni di attuazione della direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 relativa ai rifiuti.



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-3

Modificazione dei prodotti. Prototipi non DPI

1. Descrizione degli obiettivi

Due PMI Venete leader nel loro settore sono state coinvolte nel progetto per sperimentare l'utilizzo di materiali ottenuti dal recupero dei DPI nei loro prodotti di serie. In particolare la società Bellitalia Srl di Ponte nelle Alpi (BL) specializzata nella produzione di elementi di arredo urbano di design doveva da progetto realizzare delle panchine sia con granuli che con fibre polimeriche. La società Sintesyplast Srl di Oderzo (TV) specializzata nello stampaggio di materie plastiche per il settore delle costruzioni edili doveva realizzare vespai areati con i granuli ottenuti dal recupero delle maschere facciali. Entrambe le aziende hanno testato tecniche di realizzazione e assemblaggio di prototipi per verificare limiti e vincoli di fattibilità e la capacità di industrializzazione delle soluzioni ipotizzate.



2. Modalità di attuazione della ricerca

Considerato la mancanza di una filiera esistente nel recupero dei DPI, i partner hanno dovuto simulare e ricreare diversi processi industriali coinvolgendo anche società esterne al progetto. L'attività infatti si è concentrata nella prima fase nella produzione sia di granuli che di fibre plastiche ottenute dal recupero dei DPI. Nel caso dei granuli gli stessi partner di progetto sono riusciti ad ottenere dei batch significativi per le prove industriali di Bellitalia e Sintesyplast. Ma Sintesyplast ha voluto massimizzare la % di recupero del materiale introducendo non solo PP riciclato da DPI ma anche cariche minerali riciclate per la produzione di una serie compound di prova. Lo spin-off dell'Università degli Studi di Padova, Opigeo Srl ha messo a punto la formulazione.

Per la sperimentazione di Bellitalia Srl volta a valutare l'interazione fra conglomerati cementizi e fibre di PP ottenute per semplice "sfilacciatura" di DPI usati, è stata coinvolta una società esterna, che grazie all'utilizzo delle proprie macchine industriali di pressomacinazione, ha fornito un centinaio di kg di materiale per le prove. Realizzata la prima fase di sviluppo del



materiali le aziende si sono concentrate nello sviluppo dei prototipi, analizzando le difficoltà nel processo di produzione e le caratteristiche prestazionali, avvalendosi del supporto dell'Università degli Studi di Padova per l'esecuzione dei test. I parametri principali analizzati sono stati in generale la fluidità del materiale nella lavorazione e le caratteristiche meccaniche dei prodotti finiti.

3. Risultati ottenuti



Attraverso gli strumenti numerici è stato possibile fare valutazioni circa la processabilità dei materiali. Per quanto riguarda lo stampaggio dei granuli termoplastici ottenuti dal recupero di DPI i dati numerici ottenuti dalle simulazioni effettuate sul modello di ripiano per scaffalatura tecnica e sulla panchina per arredo urbano, sono risultati in linea con quelli sperimentali. Si è visto che sia all'aumentare dello spessore che della temperatura stampo, si ha una influenza positiva sul tempo di riempimento, sulla pressione di iniezione massima e sulla forza di chiusura massima richiesta. Con le prove di stampabilità sia Bellitalia che Sintesyplast sono riuscite ad arrivare ad ottenere un prototipo di un prodotto che potrebbe essere utilizzato da un consumatore finale. Bellitalia ha inoltre condotto la sperimentazione per studiare l'interazione fra calcestruzzo e fibre di PP ottenute dalla semplice sfilacciatura di DPI usati. In questo caso sono state valutate sia l'influenza che differenti dosaggi di fibre possono avere sulle prestazioni meccaniche del calcestruzzo sia la durabilità delle fibre di PP in un ambiente fortemente alcalino (qual è la soluzione che permea la matrice cementizia). Le prove di resistenza a

compressione condotte su campioni cubici hanno evidenziato, in accordo con i risultati di altre ricerche sperimentate su fibre di PP di differente geometria, una buona collaborazione con la matrice cementizia, la cui resistenza non risulta inficiata dall'aggiunta delle fibre. Il prototipo di panchina realizzato ha dimostrato la realizzabilità del manufatto con le fibre ma ha evidenziato una difficoltà di lavorazione. La fibrosità del materiale con una determinata volumetria crea nel calcestruzzo delle intercapedini e quindi dei punti di debolezza. Questa criticità è stata superata con una macinazione più fine del materiale.

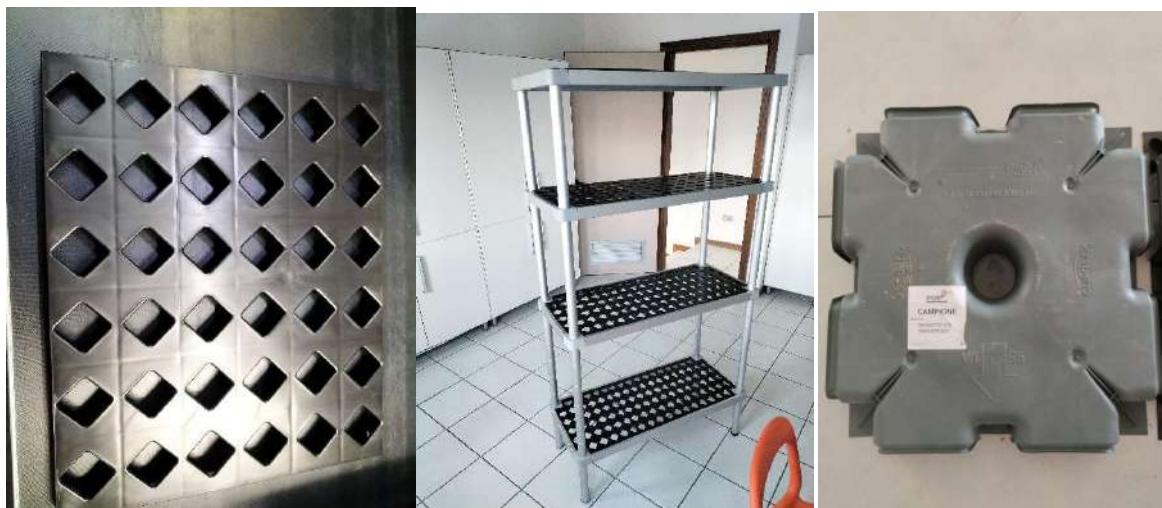
3.1 Nuove conoscenze acquisite

1. Stampabilità materiale plastico di riciclo ottenuto dal recupero dei DPI.
2. Valutazione delle interazioni tra calcestruzzo e fibre plastiche da recupero dei DPI.
3. Conoscenza di nuovi additivi per lavorabilità ottimale del materiale plastico di recupero.
4. Conoscenza di nuove cariche minerali da recupero per produrre granuli termoplastici 100% riciclati.
5. Evidenza di vantaggi e svantaggi della creazione di nuove filiere del recupero.

3.2 Tecnologie impiegate

1. Impianti di trafilatura per la realizzazione dei granuli ottenuti dal recupero dei DPI.
2. Impianti di macinazione per la realizzazione delle fibre ottenute dal recupero dei DPI.
3. Stampaggio ad iniezione per la realizzazione su forme predefinite dei prototipi in plastica (panchina "stone", scaffale industriale, vespaio areato).
4. Formatura su stampo per getto di calcestruzzo con fibre plastiche da recupero dei DPI per prototipo panchina.

3.3 Prototipi o impianti pilota sviluppati



Sintesyplast ha scelto di prototipare con il materiale termoplastico ottenuto dal recupero dei DPI due prodotti. Il primo prodotto scelto è un ripiano degli scaffali della linea Shelving Up, scaffali misti in alluminio/plastica, dove la struttura è composta da profili in alluminio e i ripiani sono composti da basi stampate in PP adatto per il contatto con gli alimenti. Questi scaffali sono prodotti solitamente utilizzati per celle frigo o cucine industriali, utili in quanto facili da pulire, componibili e flessibili per quanto riguarda le dimensioni. Il secondo prodotto scelto è un cassero a perdere per la creazione del vespaio aerato che consente la realizzazione veloce ed economica del vuoto sanitario. Un vespaio aerato (o vespaio ventilato) serve a creare una struttura portante in grado di formare una camera d'aria che separa l'edificio dal terreno e permette di smaltire l'umidità.



Bellitalia ha scelto di prototipare due panchine di arredo urbano. La prima è stata fatta con gli stesso granuli ottenuti dal recupero dei DPI usati da Sintesyplast ed il prodotto scelto è una panchina della serie "stone", realizzato come alternativa allo stesso manufatto prodotto in calcestruzzo. La seconda panchina invece è stata realizzata impiegando le fibre di rinforzo in PP da riciclo dei DPI e una miscela di calcestruzzo con aggregati riciclati. La forma della panchina è stata appositamente studiata per valutare la distribuzione del materiale nello stampo e la sua efficacia in termini di resistenza meccanica dopo la maturazione.



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

I risultati di progetto hanno dimostrato la validità tecnica dell'utilizzo di materiali riciclati ottenuti dal recupero dei DPI nei settori dei manufatti per l'arredo urbano e per le costruzioni. L'analisi economica della sostenibilità della filiera del riciclo evidenzia però la mancanza di alcuni soggetti industriali che siano in grado di minimizzare i costi del recupero. I materiali riciclati sono ancora introdotti nel mercato a costi molto bassi e questo limita necessariamente la possibilità di gestire pochi volumi con costi di processo alti. Oggetto di ulteriore sviluppo dell'attività sarà la messa a punto di un sistema di recupero su scala interregionale ma ancor di più nazionale per ottimizzare i parametri economici domanda-offerta.

5. Partner di progetto

Imprese:



www.bellitalia.net

SINTESYPLAST

www.sintesyplast.it



www.agenziachimicaitaliana.it



www.studiogallian.it



www.eliteambiente.it



www.chimicambiente.net

Organismi di ricerca:



www.unipd.it



www.unive.it



www.univr.it

Fornitori:



www.opigeo.eu

6. Approfondimenti

www.innoveneto.org www.icer-grp.com
www.venetogreencluster.it



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

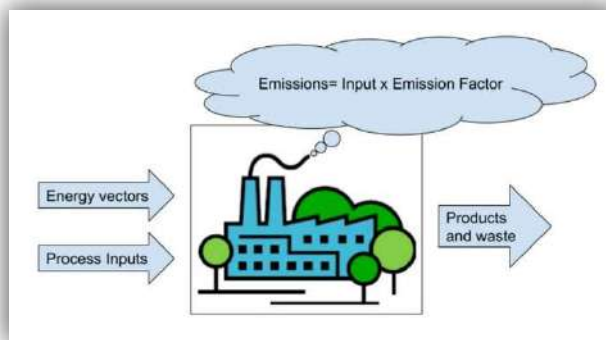
L'obiettivo generale del progetto è la valorizzazione dei rifiuti provenienti dall'uso di dispositivi di protezione individuali (d'ora in poi DPI), anche sanitari. L'obiettivo viene perseguito studiando le fasi chiave di una potenziale filiera circolare per la produzione di tali dispositivi (acquisizione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

SOTTOPROGETTO – WP-RI-4

Sostenibilità dei cicli produttivi

1. Descrizione degli obiettivi

Nel contesto del progetto ECODPI, è stata valutata la sostenibilità dei cicli produttivi coinvolti nella filiera del recupero dei DPI, attraverso due metodologie distinte: da un lato, attraverso l'uso di un modello in grado di stimare su base oraria i consumi energetici e idrici e le emissioni di anidride carbonica delle diverse unità componenti i processi analizzati; dall'altro, attraverso un'analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment – LCA*), in grado di stimare i potenziali impatti ambientali associati alle diverse alternative valutate. Nello specifico, sono state analizzate due alternative di recupero dei DPI, la prima relativa al recupero di materia (polipropilene) attraverso un processo di riciclo meccanico, e la seconda relativa invece ad una valorizzazione di tipo energetico, attraverso la produzione di energia elettrica mediante pirogassificazione del materiale plastico.



2. Modalità di attuazione della ricerca

Le attività di ricerca sono state svolte dal Centro Levi Cases dell'Università di Padova (sviluppo del modello predittivo degli impatti energetici, idrici, ed emissioni di CO₂) e dal Dipartimento di Ingegneria Industriale del medesimo Ateneo (studio LCA), con il supporto informativo delle imprese partner di progetto. I due studi sono stati condotti in parallelo poiché, pur essendo caratterizzati da scopi diversi, ponendo l'accento su diversi aspetti legati alla sostenibilità dei cicli produttivi, i processi presi in esame sono i medesimi.

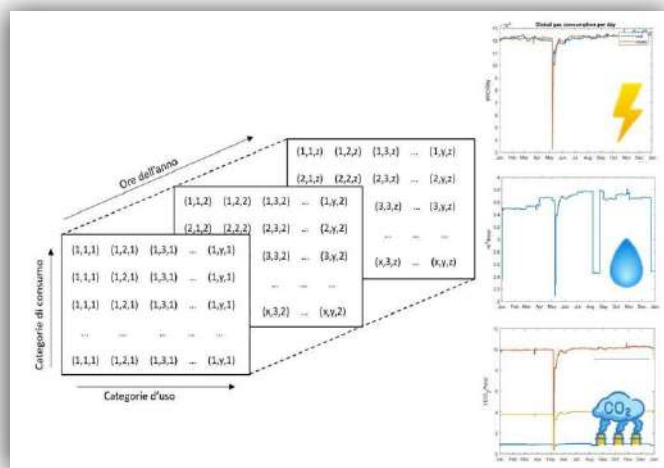
La prima fase della ricerca ha previsto di individuare due diverse alternative per il recupero dei DPI, rispettivamente atte al recupero di materia prima (polipropilene) attraverso un processo di riciclo meccanico, oppure alla valorizzazione energetica mediante un processo chimico di piro-gassificazione. Sono quindi state formalizzate le relative schede per la raccolta delle informazioni necessarie allo sviluppo di entrambi gli studi, quali le apparecchiature coinvolte e le relative potenze, il loro regime di funzionamento, i vettori energetici ed eventuali sostanze chimiche impiegati, il fabbisogno idrico, gli scarti generati dalle lavorazioni. La fase di raccolta delle informazioni ha visto una stretta collaborazione tra gli Organismi di Ricerca e imprese coinvolte nel progetto.

A partire dai dati raccolti il modello matematico, concettualizzato sulla base della compilazione di matrici tridimensionali aventi come dimensioni le diverse categorie d'uso e di consumo di un determinato impianto produttivo, e il tempo (ore), è in grado di simulare il profilo orario dei consumi energetici ed idrici e delle emissioni di anidride carbonica.

Lo studio LCA è stato condotto considerando come unità funzionale il trattamento di una tonnellata di DPI, e includendo tutte le fasi comprese tra la raccolta di DPI (considerati come rifiuto) fino al recupero di materiale e/o energia. Esso permette di valutare i potenziali impatti ambientali dei processi oggetto di studio fornendo una visione completa e totale dei diversi comparti ambientali (aria, acqua, suolo, utilizzo delle risorse).

3. Risultati ottenuti

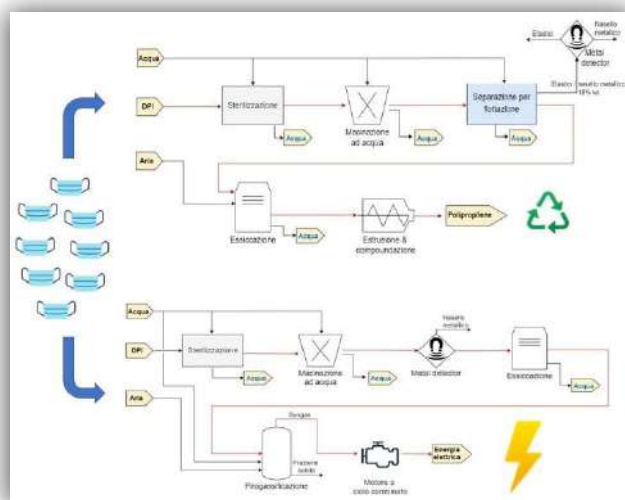
Gli studi condotti hanno permesso di valutare gli impatti di due diverse alternative per il recupero e la valorizzazione dei DPI. Si precisa che il processo di riciclo meccanico concettualizzato all'interno del progetto,



pur essendo composto da una sequenza di operazioni ed unità già esistenti ed applicate industrialmente, non è al momento esistente a livello di filiera. Inoltre, necessita di una raccolta differenziata condotta a monte per ottenere una matrice costituita prevalentemente da polipropilene (ovvero mascherine chirurgiche e FFP2). Il processo di piro-gassificazione, il cui impianto pilota è stato costruito e messo in funzione all'interno del progetto, può essere invece alimentato da qualsiasi matrice plastica. Il modello matematico ha permesso di evidenziare che, da un punto di vista di consumi energetici ed idrici, il processo di piro-gassificazione risulta conveniente rispetto a quello di riciclo meccanico. Il primo infatti non solo

è caratterizzato da consumi specifici per kg di DPI alimentati pari a circa la metà rispetto al secondo, ma genera energia elettrica in eccesso, essendo dunque pienamente in grado di autosostenersi. Il processo di riciclo meccanico è inoltre caratterizzato da ingenti consumi idrici, associati principalmente alla fase di essiccazione che precede quella di estrusione. Da un punto di vista di emissioni di anidride carbonica, invece, il processo di piro-gassificazione genera impatti maggiori. Ciò è principalmente dovuto al fatto che, mentre le emissioni del riciclo meccanico sono esclusivamente legate al consumo di energia elettrica, nel caso del processo chimico esse derivano invece dalla combustione del syngas prodotto dalla gasificazione del materiale plastico alimentato.

Lo studio LCA ha inoltre evidenziato come, per entrambe le alternative esaminate, i benefici associati rispettivamente al recupero di materiale o di energia sono maggiori degli impatti generati dai relativi processi di trattamento per la maggior parte delle categorie d'impatto considerate (ovvero l'impatto netto è negativo). Coerentemente con i risultati del modello predittivo, il processo di riciclo meccanico con recupero del propilene è risultato generare maggior beneficio per le categorie d'impatto relative ai cambiamenti climatici e all'utilizzo di risorse, mentre quello di piro-gassificazione con recupero di energia appare migliore per le categorie d'impatto relative ai consumi di risorse idriche.



3.1 Nuove conoscenze acquisite

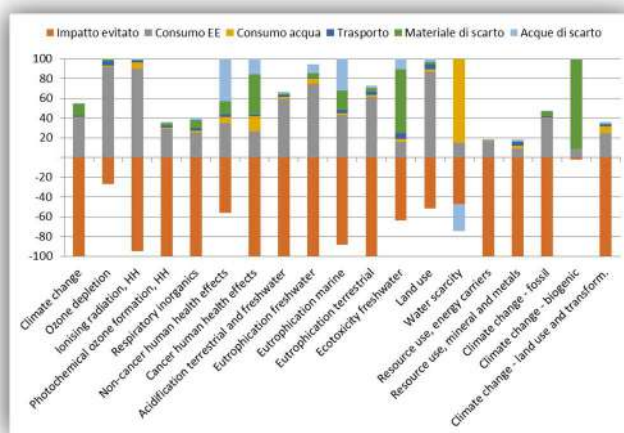
- Il modello matematico ha permesso di quantificare i consumi energetici, idrici e le emissioni di anidride carbonica su base oraria e annua per le due alternative di recupero dei DPI analizzate, e di farne un confronto.
- Il processo di riciclo meccanico comporta elevati consumi energetici nella fase di estrusione, ed elevati consumi idrici nella fase di essiccazione.
- Entrambe le alternative di recupero analizzate sono caratterizzate da impatti netti negativi, ovvero il beneficio generato dal recupero di polipropilene o energia è maggiore rispetto agli impatti generati dal trattamento stesso.

3.2 Tecnologie impiegate

- Software per l'implementazione del modello matematico secondo matrici tridimensionali (MATLAB®)
- Software per lo svolgimento dello studio LCA (SimaPro)

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

Lo strumento di simulazione integrata degli impatti legati ai consumi energetici/idrici e alle emissioni di anidride carbonica su base oraria, messo a punto all'interno del progetto EcoDPI con riferimento a due specifici processi di recupero dei DPI, rappresenta in generale una risorsa per le aziende anche di altre filiere, poiché consente un monitoraggio in tempo reale dei consumi e degli impatti, permettendo di agire tempestivamente nel caso di scostamenti tra le misurazioni e i dati attesi. Grazie all'implementazione su un portale web (TRL 5), lo strumento è potenzialmente sfruttabile da qualsiasi utente, purché vengano fornite tutte le informazioni relative al processo necessarie per l'elaborazione dei calcoli.





Un moltiplicatore di opportunità.
Da non lasciarsi sfuggire.

4. Partner di progetto

Imprese:



www.eliteambiente.it



www.innoven.it



www.chimicambiente.net



www.studiogallian.it

Organismi di ricerca:



www.unipd.it



www.levicases.unipd.it



www.dii.unipd.it



www.unive.it



www.univr.it



www.galileovisionarydistrict.it

5. Approfondimenti

www.innoveneto.org

www.venetogreencluster.it

www.icer-grp.com



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-SS-1

Tecniche di pirolisi per la valorizzazione industriale dei rifiuti da DPI

1. Descrizione degli obiettivi

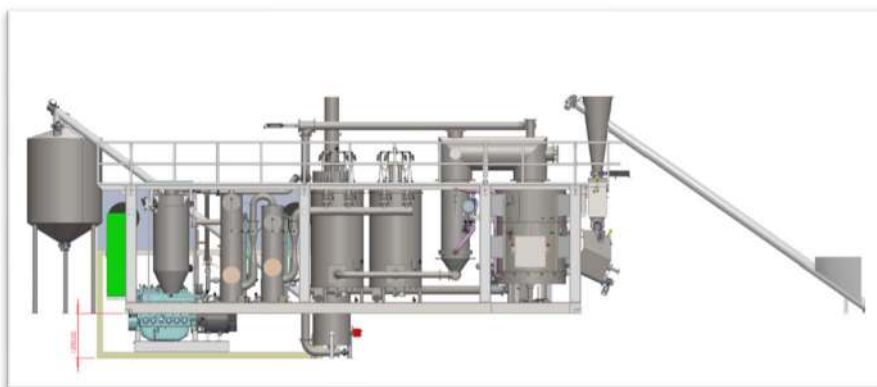
Con l'obiettivo di identificare soluzioni per valorizzare il fine vita dei dispositivi di protezione individuali utilizzati particolarmente dalla popolazione durante la pandemia causata dal virus SARS-CoV-2, è stata identificata, nei processi pirolitici, una via estremamente interessante per il trattamento dei materiali di cui sono composti prevalentemente i DPI presi in esame: in particolare il processo ritenuto più idoneo per il raggiungimento degli obiettivi è stato quello della gassificazione.

La gassificazione (processo di sublimazione) condotta su materiali di matrice organica, cioè composti del carbonio, dà come risultato: un gas (syngas) che, una volta purificato, potrebbe essere assimilabile agli idrocarburi leggeri; una fase solida composta da ceneri e carboncino; una fase liquida composta dalle acque di lavaggio. In tale contesto i DPI presi in considerazione, composti per la maggior parte da materiale di origine organica, possono essere trattati agevolmente per gassificazione. L'obiettivo è stato quindi quello di progettare e realizzare un impianto pilota di gassificazione durante il periodo progettuale.



2. Modalità di attuazione della ricerca

Il panorama italiano dei costruttori di impianti di Pirolisi e Pirogassificazione, è attualmente in via di sviluppo: per lo più sono presenti operatori che non hanno realizzato veri e propri impianti a scala industriale o ne hanno realizzati alcuni su scala molto ridotta. L'indagine effettuata da Elite Ambiente srl è stata particolarmente laboriosa, l'analisi dell'offerta tecnologica e la comparazione delle possibili soluzioni applicabili alla linea pilota e rispondente ai requisiti di progetto, ha portata alla scelta di acquisire alcune componenti (unità di caricamento e gassificazione) dalla società PFG-HYBRID (tecnologia PIROFLAMEGAS); il sistema si basa sulla gassificazione di materia solida in carenza di ossigeno, i materiali utilizzabili sono tutti i materiali combustibili a base carbonica. Nella fase di sviluppo e realizzazione delle unità funzionali presso i fornitori, sono state eseguite prove funzionali, ossia verifiche in bianco delle unità funzionali prototipo. Sono state realizzate verifiche del corretto funzionamento di tutti i componenti, singolarmente, e nel loro insieme,



con simulazione dei loop di avviamento e controllo e delle routine di sicurezza e verifica dell'allineamento tra quadro di controllo ed utenze in campo. Le prove presso fornitori, rappresentando periodi di training per il personale che dovrà successivamente gestire in campo l'impianto.

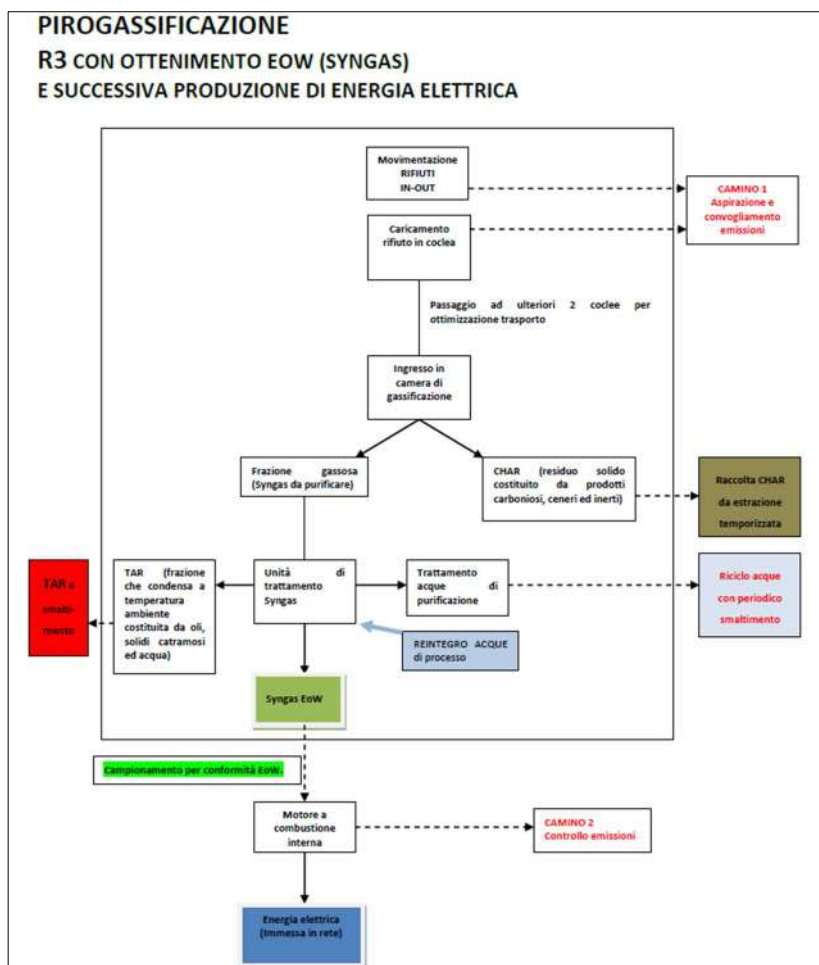
Realizzato quindi il progetto, acquisite tutte le tecnologie e

competenze necessarie, si è proceduto a realizzare l'impianto pilota e alle sperimentazioni con matrici derivanti da rifiuti di DPI e altre, verificando le rese e le prestazioni complessive dell'impianto.

3. Risultati ottenuti

La linea pilota impiega una superficie 600 metri quadrati, ospita il modulo di gassificazione progettato da 200 Kw/h, caricamento, gassificazione e cogenerazione.

Le condizioni di base in riferimento alle matrici in ingresso sono le seguenti:



- Potere calorifico non inferiore 16.00 MJ/Kg sulla materia secca
 - Umidità massima ammissibile 10% all'ingresso del gassificatore
 - I rifiuti devono essere trattati, tritati ed essiccati prima di essere inviati alla coclea di caricamento del gassificatore
 - I materiali devono essere forniti nella base di caricamento dell'impianto con granulometria non superiore a ϕ 3 cm oppure quadrato di 3*3*3 cm
 - Peso specifico minimo 200 Kg/Mc
 - Quantità annua di prodotti smaltiti circa 1.600 tonnellate (questo dato dipende dal potere calorifico dei rifiuti inseriti nel gassificatore).
 - Assenza o comunque presenze insignificanti di materiali ferrosi, minerali, o comunque materiali inquinanti che provocano la produzione di particelle o componenti che possano pregiudicare il buon funzionamento del motore.
- In presenza di inquinanti quali metalli pesanti, sono estratti dall'impianto miscelati al carbone attivo o sali

minerali inorganici, oppure nei liquidi di condensazione e questi dovranno essere successivamente trattati per il recupero o conferiti per lo smaltimento.

3.1 Nuove conoscenze acquisite

L'impianto pilota di gassificazione progettato, trattando 50 ton/anno di DPI, può godere di un'autorizzazione sperimentale. Inoltre, trattando rifiuti presenti in Tabella 6.A D.M. 6/07/2012, può essere considerato come "Impianto ibrido alimentato da rifiuti parzialmente biodegradabili"; tale impianto rientra quindi nel regime delle fonti rinnovabili. L'impianto nel suo complesso prevede diversi processi di seguito descritti; il punto di partenza è la camera di gassificazione. Tale sistema necessita di un bruciatore interno, alimentato a metano o GPL, per l'avvio; una volta raggiunto il regime termico tale sistema risulta auto sostentante.

Il rifiuto trattato in questo modo dà come risultato syngas e come prodotto di scarto carboncino, ceneri e acqua di condensa; a seconda delle impurità contenute quali, ad esempio, inerti inorganici, la qualità del syngas potrebbe cambiare, come potrebbero aumentare i prodotti di scarto. I prodotti di scarto (ceneri e



carboncino), quando non contaminati, potrebbero avere una seconda vita, ad esempio come carbone attivo in processi di depurazione. Essendo un sistema chiuso, durante la gassificazione non si generano emissioni di alcun tipo. In generale l'impatto ambientale è da ritenersi decisamente trascurabile.

Il syngas così ottenuto, perché possa essere utilizzato successivamente, viene trattato attraverso uno specifico impianto. Una volta trattato il gas viene inviato al motore endotermico per la produzione di energie elettrica e termica.

Per quanto riguarda i sistemi di controllo remoto dell'impianto, è presente un software di gestione che permette di dialogare costantemente con i server di sicurezza, in modo di controllare le funzioni e regolazioni impostate dall'utente; oltre a questo, in caso di anomalia o di errore da parte dell'utente, il server può correggere i valori impostati per garantire gli standard di sicurezza.

Lo sviluppo del processo di progettazione della linea pilota ha messo in evidenza tutte le competenze che devono essere presenti in azienda per condurre adeguatamente un impianto del genere; il conduttore deve avere buone basi di elettromeccanica e garantire conoscenze in relazione ai seguenti temi:

- Processo termochimico del sistema
- Processo meccanico del sistema
- Software di sistema
- Possibili cause sul funzionamento dovuto alle matrici in ingresso
- Possibili cause di malfunzionamento dovuto alla regolazione parametrica non corretta
- Manutenzioni giornaliere, settimanali, mensili ed annuali da eseguire sull'impianto di gassificazione
- Manutenzioni giornaliere, settimanali, mensili ed annuali da eseguire sull'impianto di cogenerazione
- Ricerca di guasti meccanici, elettrici, elettronici e di processo

3.2 Tecnologie impiegate

Sono state utilizzate tecniche/tecnologiche sostanzialmente diverse rispetto agli attuali gassificatori presenti nel mercato, rendendo l'impianto pilota di Elite Ambiente un ibrido di nuova concezione.

La tecnologia di processo impiegata prevede:

1. Impianto di caricamento del composto da utilizzare
2. Gassificatore
3. Filtrazione, Raffreddamento e Lavaggio del Syngas
4. Motore a combustione interna
5. Software Gestionale e di Controllo Automatismi

Nel processo di gassificazione si generano: carboncino in granuli, carboncino sotto forma di talco, ceneri e acqua di processo. Le percentuali ovviamente cambiano a seconda del tipo di materiale utilizzato.

Il potere calorifico del syngas dipende dalla % d'idrogeno (H₂) e metano (CH₄) presenti, rispetto a monossido di carbonio (CO) e biossido di carbonio (CO₂) e dipende naturalmente dall'origine del materiale che ne ha consentito la formazione.

INSERIRE FOTO IMPIANTO



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

La tecnologia adattata ai DPI e validata come processo, è estensibile a molti altri “scarti o rifiuti” simili, o di diversa natura. Ad esempio:

- Fanghi industriali e civili, ad alto tenore di componente organica (dopo essiccazione adeguata e magari granulazione)
- Plastiche di scarto, non riciclabili direttamente oppure la cui riciclabilità non è al momento economicamente conveniente (“PLASMIX” o plastiche termoindurenti, o ottenute da RAEE)
- Residui di origine animale o vegetale, eventualmente frammisti a componenti non organiche contaminanti, come idrocarburi o metalli.

5. Partner di progetto

Imprese:



www.eliteambiente.it



www.chimicambiente.net

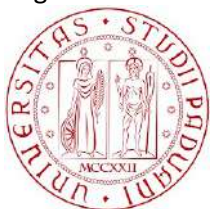


www.crossing-srl.com



www.studiogallian.it

Organismi di ricerca:



www.unipd.it



www.unive.it

6. Approfondimenti

www.innoveneto.org

www.venetogreencluster.it

www.icer-grp.com



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-SS-2

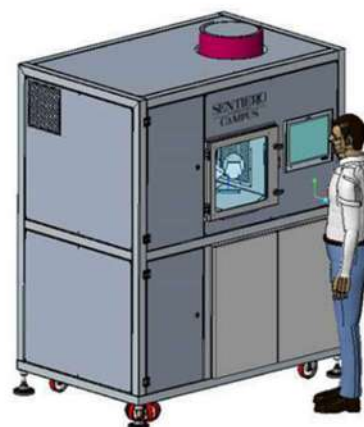
Soluzioni integrate processo/prodotto per la sterilizzazione. Perossido di idrogeno

1. Descrizione degli obiettivi

Le attività realizzate sono state dedicate allo sviluppo di soluzioni per la sterilizzazione dei DPI, con la finalità di poterne permettere il riutilizzo o di renderli manipolabili in sicurezza nel loro smaltimento come rifiuti, avendone eseguito la decontaminazione.

Il lavoro svolto è stato articolato secondo diversi obiettivi, fra loro sinergici:

- lo sviluppo del design, la progettazione e quindi la realizzazione di un impianto prototipale per la sterilizzazione di DPI attraverso l'utilizzo di vapori di perossido di idrogeno;
- l'ottimizzazione del trattamento di sterilizzazione, verificando l'impiantistica ed i parametri del ciclo, individuando test di validazione dell'efficacia della sterilizzazione e di verifica dello stato dei materiali del DPI post trattamento;
- la realizzazione del progetto esecutivo di un impianto di sterilizzazione a vapori di perossido di idrogeno "full scale".



2. Modalità di attuazione della ricerca

Le attività di ricerca si sono sviluppate attraverso passaggi successivi, fra loro concatenati.

È stata analizzata la letteratura tecnico-scientifica, allo scopo di definire le fasi principali di cui si costituisce un processo di sterilizzazione che utilizzi vapori di perossido di idrogeno e di individuare eventuali criticità associabili alle varie fasi.

Sulla base della struttura così definita per il ciclo di sterilizzazione, è stato realizzato il design dell'impianto prototipale avvalendosi del supporto della modellistica fluidodinamica, attraverso la simulazione del trattamento di sterilizzazione, integrare nel trattamento di sterilizzazione a vapori di perossido di idrogeno anche altre tecnologie note per la loro efficacia di sterilizzazione, quale la radiazione UVC. È stato quindi progettato e realizzato il sistema prototipale a vapori di perossido di idrogeno, così come definito dal design. Sono state eseguiti cicli di sterilizzazione dei DPI nell'impianto prototipale realizzato, selezionando per il trattamento le mascherine FFP2 a 5 strati, al fine di ottimizzare i parametri del processo di sterilizzazione con vapori di perossido di idrogeno, avvalendosi del contributo dei partner del progetto che hanno eseguito test di sterilizzazione batterica e fungina (Chimicambiente) e test di resistenza respiratoria e di penetrazione dei materiali filtranti (Dolomitcert) delle mascherine FFP2, per poter valutare rispettivamente l'efficacia di sterilizzazione del trattamento e l'eventuale degrado apportato al materiale filtrante. Nei test sono stati utilizzati due diversi ceppi microbici, scelti per le loro caratteristiche di elevata resistenza rispetto ad altre specie, il ceppo batterico di *Bacillus Subtilis* sub. *spizzenii* ATCC 6633 e il ceppo fungino *Aspergillus niger* ATCC 6275. Nei test di resistenza respiratoria sono stati eseguiti test di inalazione con flusso di aria di 30L/min e di 95 L/min e test di esalazione con flusso di 160L/min; i test di penetrazione sono stati eseguiti con aerosol di olio di paraffina.

Per valutare l'applicabilità del sistema di sterilizzazione ad altri DPI, sono stati ottimizzati i parametri di processo per il trattamento nel dispositivo prototipale di un camice in tessuto.

Sulla base dei risultati conseguiti dai cicli di trattamento e dai test di validazione post sterilizzazione, è stata quindi realizzata la progettazione esecutiva dell'impianto "full scale" per la sterilizzazione di DPI.

3. Risultati ottenuti

L'impianto prototipale realizzato permette la sterilizzazione di DPI attraverso la micro-condensazione di vapori di perossido di idrogeno. Sono stati ottimizzati i parametri del processo di sterilizzazione e definito un protocollo di verifica post trattamento. I campioni da sterilizzare sono appesi ad una rastrelliera in rotazione all'interno della camera di trattamento. La camera è dotata di un impianto di deumidificazione per non inficiare con l'acqua l'azione del perossido e lampade UVC sterilizzano l'eventuale condensa che esca dall'impianto. Sensori presenti nel sistema permettono di monitorare il corretto andamento del trattamento. L'impianto è stato dotato di un sistema di movimentazione che ne permette la collocazione nel sito ove occorra effettuare il trattamento (H=2125mm, L=1550mm, W=1050mm).



Durata delle fasi e concentrazione di perossido sono stati modificati fino a individuare le condizioni meno gravose che garantiscono la sterilizzazione; il flusso di perossido è stato selezionato per essere capace di penetrare attraverso gli strati che costituiscono le mascherine FFP2. Indicatori chimici sono stati usati per assicurarsi che la concentrazione di perossido fosse sufficiente a garantire la sterilizzazione superficiale dei DPI, indicatori biologici sono stati usati per selezionare la durata del ciclo.

Nei test di validazione, il trattamento con perossido si è rivelato essere estremamente efficace sia nei confronti delle cellule batteriche vegetative, che nei confronti delle spore fungine, che rappresentano strutture biologiche robuste e create per sopravvivere nell'ambiente per lunghi periodi di tempo. Nei test di resistenza respiratoria e di penetrazione con olio di paraffina la valutazione del degrado del materiale filtrante è risultata influenzata dall'uniformità dei campioni, indicando variazioni non significative o meno lievi.

Dopo aver validato l'efficacia del trattamento, si è passati all'ottimizzazione del processo per la sterilizzazione di un camice in tessuto, sfruttando la possibilità di variare i parametri e di poterli monitorare attraverso i vari dispositivi di misura inseriti nel sistema;

L'impianto "full scale" prevede lo stesso principio di funzionamento dell'impianto prototipo, con dimensioni maggiori per essere in grado di soddisfare un fabbisogno maggiore. Pur avendo aumentato le dimensioni, la progettazione esecutiva dell'impianto "full scale" ne ha tuttavia preservato la possibilità di movimentazione, come nel prototipo.

3.1 Nuove conoscenze acquisite

1. I vapori di perossido di idrogeno hanno mostrato di essere una valida metodologia di sterilizzazione, mostrandosi efficaci nella loro azione contro i micro-organismi sia verso i ceppi batterici che verso le spore fungine.
2. Il flusso di vapori di perossido di idrogeno può essere ottimizzato così da creare micro-condensazione, mentre sensori posti nella linea di flusso ne consentono il monitoraggio dei parametri e la verifica di fenomeni di correlazione fra questi.

3. Variando i parametri del flusso di vapori di perossido di idrogeno è possibile adattare il ciclo di sterilizzazione al dispositivo da sterilizzare. Gli indicatori chimici e gli indicatori biologici sono un valido strumento di supporto di facile utilizzo in ambienti industriali.

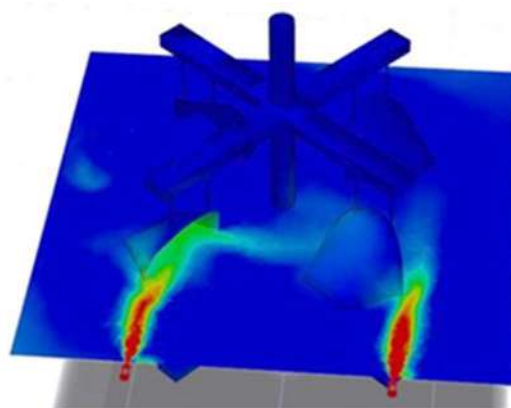
3.2 Tecnologie impiegate

1. Il flusso di vapori di perossido di idrogeno è prodotto con dispositivo selezionato per l'alto grado di controllo delle condizioni di processo.

2. L'impianto prototipale è stato progettato seguendo i principi di progettazione igienica e farmaceutica.

3. Sono state realizzate numerose analisi fluidodinamiche al fine di ottimizzare il processo ed uniformare la distribuzione del flusso di perossido di idrogeno in camera e per ottimizzare i passaggi dell'aria sulle lampade UV e la deumidificazione del flusso.

4. Per verificare la corretta esposizione dei DPI ai vapori, sono stati utilizzati gli indicatori chimici True Indicating VH2O2 Process Indicator e True Indicating Vaporized Hydrogen Peroxide Process Indicator e l'indicatore biologico Mini Self-Contained Biological Indicators MSCBIs con l'associato True Indicating LLC incubator. La risposta degli indicatori è stata validata tramite esecuzione di test con batteri e spore.



3.3 Prototipi o impianti pilota sviluppati

È stato realizzato un impianto prototipo con caratteristiche:



- dimensioni del modulo: H=2125mm, L=1550mm, W=1050mm;
- massa totale: approx 500 Kg;
- movimentazione: facilitata da ruote mobili con bloccaggio;
- potenza elettrica: approx 15 kW (total max), 380V Three-phase, Aria compressa 5bar max;
- sistema di recupero e scarico di fluidi decontaminati (fluidi non pericolosi);
- requisiti area di posizionamento: ventilazione oppure sistema di ricircolo dell'aria.

Tutte le superfici coinvolte dal passaggio di aria di sterilizzazione o aria contaminata sono in acciaio inossidabile. Tutti i materiali sono adeguati alla presenza di perossido di idrogeno combinato a temperatura oltre 100°C (puntuale).

Il modulo principale è la camera di trattamento dove una rastrelliera permette il posizionamento dei DPI e la rotazione controllata attraverso un motore dotato di riduttore.

Sensori presenti nel sistema permettono di monitorare il corretto andamento del trattamento:

- termocoppie per la temperatura;
- sensore di umidità;
- sensore di punto di rugiada;
- sensore di concentrazione di perossido;
- flussimetro.

Il sistema è stato progettato per essere facilmente scalabile su volumi di trattamento diversificati.

3.4 Pubblicazioni scientifiche



1. In Gazzetta Ambiente n.6/2021 (Il corretto smaltimento dei dispositivi di protezione individuali-DPI) Domenico Stocchi, Alessandra Bellucci "Progetto EcoDPI: prototipazione di sistemi di sterilizzazione con perossido di idrogeno e UVC"

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

Le attività sviluppate hanno consentito di realizzare dei sistemi per i quali la flessibilità ed il controllo dei valori dei parametri di processo consentono la messa a punto di trattamenti diversificabili in funzione delle specifiche applicazioni analizzate; inoltre, la movimentazione dei sistemi che è stata prevista per entrambe le tecnologie di decontaminazione ne permette il posizionamento "on-site". Tali caratteristiche consentono quindi l'applicabilità dei sistemi di sterilizzazione in vari ambiti, diversificati sia per l'oggetto del trattamento di sterilizzazione, che per l'ambiente in cui il trattamento può essere realizzato.

Lo sviluppo di un processo di sterilizzazione a vapori di perossido con un controllo molto preciso dei suoi parametri nonché la sua pre-validazione, pone le basi per estendere applicazione nei settori Pharma e biomedicale, quali ad esempio la sterilizzazione protesi. I risultati conseguiti hanno evidenziato come sia stato possibile oltrepassare i limiti di questa tecnologia per l'utilizzo nei settori specificati.

Le imprese coinvolte sullo sviluppo di linee pilota a TRL 6-7, potranno incrementare uno specifico know how sull'applicazione della tecnologia sia in ambiti di business attuali sia a nuovi connessi all'economia circolare, asset futuro dell'economia mondiale.



5. Partner di progetto

Imprese:



Organismo di ricerca:



www.unive.it

6. Approfondimenti

www.icer-grp.com; www.innoveneto.org; www.venetogreencluster.it

- Face Masks in the New COVID-19 Normal: Materials, Testing, and Perspectives, Research, vol. 2020, Article ID 7286735, 40 pages, 2020
- <https://www.n95decon.org/>
- Mode of action of hydrogen peroxide and other oxidizing agents: differences between liquid and gas forms. J Antimicrobial Chemotherapy. 2010;65 (10):2108–2115
- Effect of decontamination on the filtration efficiency of two filtering facepiece respirator models, Journal of the International Society for Respiratory Protection, vol. 24, pp. 93–107, 2007
- Final Report for the Bioquell Hydrogen Peroxide Vapor (HPV) Decontamination for Reuse of N95 Respirators, Battelle Columbus, OH, USA, 2016
- Hydrogen peroxide vapor sterilization of N95 respirators for reuse, medRxiv, 2020
- N95 mask decontamination using standard hospital sterilization technologies, medRxiv, 2020
- Effect of various decontamination procedures on disposable N95 mask integrity and SARS-CoV-2 infectivity, medRxiv, 2020
- Hydrogen Peroxide Methods for Decontaminating N95 Filtering Facepiece Respirators, Applied Biosafety Volume 00, Number 00, 2021
- Understanding dew point in vaporized hydrogen peroxide applications, Application note, Ref. B211920EN-A ©Vaisala 2020
- European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals Report 22 Sep. 1992
- UVC Fact Sheet (www.n95decon.org)
- Raccomandazioni ad interim sulla sanificazione di strutture non sanitarie nell'attuale emergenza COVID-19: superfici, ambienti interni e abbigliamento. Versione del 15 maggio 2020, Gruppo di Lavoro ISS Biocidi COVID-19 2020, 28 p. Rapporto ISS COVID-19 n. 25/2020
- Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV, J Virol Methods 2004 Oct;121(1):85-91



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-SS-2

Soluzioni integrate processo/prodotto per la sterilizzazione. Radiazioni UVC

1. Descrizione degli obiettivi

Arte Light srl ha sperimentato l'efficacia di sterilizzazione delle radiazioni UVC su DPI quali: mascherine FFP2, occhiali e visiere. In particolare ha sviluppato un dispositivo capace di sterilizzare e/o sanitzare DPI usati.

Un altro aspetto affrontato nella ricerca è stato quello relativo alla necessità di sterilizzare e/o sanitzare l'aria negli ambienti, al fine di evitare inquinamento/contaminazione durante il processo stesso di sterilizzazione, che può prevedere anche altre tecnologie o dispositivi quali, ad esempio, sistemi che utilizzano il perossido di idrogeno. Integrando i dati raccolti della ricerca documentale e dai risultati ottenuti dalla sperimentazione prototipale, è stato quindi sviluppato il modulo standard di trattamento DPI. Il modulo è facilmente trasportabile e previsto per essere scalabile con facilità, accoppiando più moduli. Sono stati sperimentati sistemi a ciclo fisso, con carico scarico manuale di un telaio di supporto dei DPI, sistemi a ciclo continuo trasportato da un sistema a carosello.



2. Modalità di attuazione della ricerca

Le attività di ricerca e sperimentazioni sono state suddivise in varie fasi:

- 1) ricerca documentale sulla tecnologia di sterilizzare mediante l'uso di radiazioni UVC
- 2) selezione delle più opportune sorgenti di radiazioni UVC
- 3) definizione del processo di trattamento in aria e sulle superfici dei DPI; il processo di trattamento dell'aria è importante per contrastare la diffusione della pandemia in ambienti critici come le strutture sanitarie sottoposte al maggior rischio in termini di carica aero diffusa
- 4) calcolo dei parametri di processo di sterilizzazione / sanificazione a mezzo UVC
- 5) sviluppo dell'apparecchiatura e selezione del tipo di DPI da trattare con UVC; è stato considerato importante il requisito di trasportabilità e di peso
- 6) realizzazione del primo prototipo per trattamento in aria
- 7) verifica di rispondenza alle norme di sicurezza (EN 60335).
- 8) realizzazione del modulo standard di trattamento DPI stand – alone, realizzazione del modello 3D, generazione dei files di taglio e piegatura delle lamiere e definizione dell'assemblaggio.
- 9) sviluppo del modello stand – alone, i cui componenti del modello sono accoppiabili, passando dal concetto di apparecchiatura stand – alone a un tunnel a processo continuo
- 10) prove e stime del numero di riusi dei diversi DPI; individuazione del livello di degrado prestazionale e curva di deriva dopo un certo numero di ore di trattamento.
- 11) collaborazione con i partner del progetto per applicazione della metodologia di trattamento aria proveniente dalla camera di sterilizzazione a perossido
- 12) test microbiologici, test ottici su alcuni DPI e test di filtrazione delle mascherine.
- 13) test di funzionamento del modulo continuo, verifica e gestione delle criticità in particolare inerenti la tendenza di un aumento delle temperature interne dei componenti (sovratemperatura rispetto all'ambiente) abbattute con un sistema di ventilazione forzata

3. Risultati ottenuti

Le prove effettuate hanno evidenziato un decadimento dell'aerosol microbico maggiore in presenza del dispositivo UV, rispetto quello "naturale", generalmente nei primi 60 minuti di attivazione.

Già a 30 minuti, la carica batterica e micetica, risultano del 40-50%, mentre in condizioni naturali si ha ancora un 80% della carica batterica. Le radiazioni UVC abbattano il 30-40%. Molto più efficace risulta essere la tecnica di diffusione delle radiazioni UVC direttamente in aria, è necessario attivare delle sicurezze che impediscano l'emissione di radiazioni in presenza di persone.



Per le mascherine il processo del trattamento considerato è stato di 10 minuti con l'apparecchiatura prototipo, considerando le condizioni peggiori. Trattare le mascherine con le radiazioni UVC non è risultato il metodo più efficace; essendo prodotte con 5 strati di tessuto (FFP2), le radiazioni hanno difficoltà a superare il primo strato. Si è ottenuta al massimo una riduzione della carica di log 4. Entro i 10 – 15 minuti di trattamento si raggiunge un livello di sanitizzazione massimo, anche aumentando il tempo non si ottengono vantaggi ulteriori. La stima di vita utile delle mascherine è di circa 10 – 15 processi di sanitizzazione.

Per le visiere e occhiali il processo viene indicato in 10 – 15 minuti di trattamento, stimando una vita accettabile del DPI di almeno 15 – 20 ore di esposizione complessiva si indica come utile una vita della visiera con circa 90 – 120 trattamenti UVC complessivi. Si evidenzia che alcuni tipi di batteri si sterilizzano con molta facilità in 10 secondi, le spore sono molto più resistenti, si è considerato quindi un processo nel caso peggiore. Dove la visione deve essere chiara e non si devono riportare variazioni cromatiche, la vita media è stimata in 100 – 150 cicli, nei casi dove è accettabile un piccolo degrado di nitidezza e di colorazione la vita media può essere elevata di un ordine di grandezza.

In conclusione, le radiazioni UVC sono adatte a trattare materiali esenti da cavità anche minuscole, possibilmente prive di strutture a tessuto, in quanto gli strati interni non vengono raggiunti dalla radiazione. Le radiazioni UVC degradano nel tempo le caratteristiche dei materiali.

Le cariche batteriche e virali utilizzate per test hanno mostrato che non possono adattarsi alle radiazioni, infatti le prove dimostrano che lo stesso ceppo di batterio viene distrutto in tempi uguali.

La necessaria energia di trattamento è comunque elevata, comportando consumi e riscaldamenti elevati. Sulle superfici non porose il trattamento di sterilizzazione è molto efficace, e i parametri di sterilizzazione dipendono esclusivamente dal tipo di microorganismo trattato.

3.1 Tecnologie impiegate

La progettazione dei modelli è stata realizzata con CAD 3D, usando poi la tecnologia laser di taglio per lavorazione delle lamiere. Le lavorazioni sono state effettuate all'interno dell'azienda. Con l'uso di celle peltier è stato studiato e sviluppato un dispositivo per il trattamento della condensa di umidità dell'aria. Sono stati effettuati i test microbiologici in aria e sui DPI trattati con radiazioni UVC. È stato valutato il degrado dei DPI con prove di tipo ottico al fine di valutare il degrado prestazionale su occhiali e visiere con test di Haze e con il test di indice di giallo. Sulle mascherine sono stati effettuati dei test di filtrazione e respirabilità con il metodo della paraffina per misurare la resistenza alla respirazione.

3.2 Prototipi sviluppati

La realizzazione del prototipo ha tenuto conto di più fasi di sviluppo: trattamento aria, trattamento DPI a ciclo statico, trattamento Dpi a ciclo continuo "full scale". Sono stati sviluppati i componenti modulari, validi per tutti i cicli. Il modulo base si compone di telaio, elettronica di controllo, pannelli di contenimento delle radiazioni, pannello di ventilazione, pannello supporto lampade, supporto telaio e/o catena di trasporto a ciclo continuo. Le dimensioni del modulo prototipo sono: altezza 780 mm; profondità 420 mm, larghezza 480, peso 45 Kg; potenza: 220 W. La versione "full scale" usa N moduli ed il passo tra un modulo e l'altro è di 420 mm. Le prime sperimentazioni, hanno fornito indicazioni sulla ottimizzazione dei processi: aria, DPI a ciclo fisso e continuo. Il trattamento messo a punto ha durata di 10 – 15 minuti, a piena potenza. Prove intensive hanno evidenziato una criticità legata alla sovratemperatura interna, tale da alterare l'attività delle radiazioni, permettendo cioè di aiutare a combattere batteri, virus ecc., poiché oltre alle radiazioni UVC



entra in gioco la sovratemperatura che facilita il raggiungimento degli obiettivi. L'introduzione del raffreddamento forzato per le parti elettroniche, offre la possibilità di applicare continuamente un ciclo dopo l'altro senza interruzioni, a maggior ragione è valido nel caso dei cicli continui. L'attività di apertura dell'apparecchiatura per accedere ai DPI, onde effettuare le attività di carico e scarico, possono raffreddare la parte interna del reattore, ma non le parti elettroniche che restano segregate tra la camera di trattamento e l'involucro di protezione dell'apparecchiatura. L'integrazione del progetto, risponde a questa esigenza, risulta essere necessaria anche nella versione a più moduli in cui ogni modulo ha il suo ventilatore di raffreddamento. Il risultato delle temperature interne verificate ha comportato un delta T nell'area degli alimentatori di 12°C, elevando l'applicabilità dei sistemi "stand alone" e del sistema a tunnel in ambienti aventi temperature ambiente fino a 38°C.

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

La tecnologia a radiazioni UVC trova applicazioni utilissime sia industriali che civili, è possibile sfruttare meglio le potenzialità di tali radiazioni per applicazioni in ambiti molto diversi tra loro.

Ci sono potenziali mercati di utilizzo di queste tecnologie (in particolare per le radiazioni UV più facilmente gestibili ai fini della sicurezza). Esempi: tutta la filiera della potabilizzazione e distribuzione dell'acqua, dell'alimentare trova utilità sanificare/sterilizzare ambienti e attrezzature onde evitare contaminazioni nella



frutta e verdura e potenziare la conservazione, ma anche la loro conservazione; i servizi alla persona come per esempio parrucchieri, barbieri e centri estetici hanno il problema di sterilizzare gli utensili che utilizzano per contrastare ogni contaminazione tra le persone, così come fisioterapisti, palestre, piscine e in genere ogni attività svolta negli ambienti interni. Nell'agricoltura, queste tecnologie contrastano l'uso di pesticidi per il controllo dei parassiti delle piante. La filiera della conservazione della frutta e degli ortaggi, controllando la qualità dell'aria, per arricchire alcuni frutti di resveratrolo, (utile come anti age). Nei sistemi di condizionamento di mezzi aerei, sottomarini e navi, ma anche su metropolitane gallerie, ospedali, a strutture sanitarie per il contrasto della diffusione di cariche virali pericolose, infine alla prevenzione al rischio del bioterrorismo. Infine le tecnologie UVC sono molto utilizzate per effettuare misure di varia natura, introducendo sensori efficienti, a basso consumo, precisi, ecc.

5. Partner di progetto

Imprese:



Organismo di ricerca:



www.unive.it

6. Approfondimenti

www.icer-grp.com

www.innoveneto.org

www.venetogreencluster.it