

# 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 FINALE DEL PROGETTO ECODPI

ECODPI ha l'obiettivo generale di valorizzazione i rifiuti provenienti dall'uso di dispositivi di protezione individuali (d'ora in poi DPI, inteso come presidio di prevenzione per la salvaguardia della salute delle persone), anche sanitari. L'obiettivo è stato perseguito studiando le fasi chiave di una potenziale filiera circolare per la produzione di tali dispositivi (acquisizione della materia prima e pre-processi, produzione, utilizzo, fine vita)

## RISULTATI INTERMEDI

Limiti e opportunità di una filiera circolare per la produzione di DPI

## 1. Descrizione degli obiettivi di progetto

Veneto Green Cluster, guidata dal capofila Green Tech Italy, ha coinvolto sedici imprese, di dimensioni da piccole a grandi, più otto dipartimenti universitari degli Atenei di Padova, Verona e Venezia e il parco Scientifico tecnologico di Padova, al fine di realizzare il progetto denominato ECOdesign e riciclo di DPI in una filiera industriale circolare (d'ora in poi EcoDPI), focalizzando l'attenzione sui seguenti obiettivi specifici:

- (i) definizione di un modello produttivo sostenibile di produzione e gestione di DPI che, nel contesto della pandemia COVID19, ha chiaramente denunciato la sua assenza
- (ii) integrazione di competenze specifiche e capacità produttive ora frammentate e disperse nel territorio
- (iii) produzione di nuova conoscenza (su temi di maggior valore quali: ecodesign, materiali rigenerativi, gerarchia dei rifiuti) trasferibile in diversi ambiti applicativi e altre filiere produttive
- (iv) applicazione dei principi di economia circolare in una filiera produttiva integrata territoriale, in accordo al Circular Economy Action Plan promosso dalla UE al fine di accelerare la transizione indicata dall'European Green Deal.

## 2. Una filiera circolare per la produzione di DPI

Il primo tema che è stato indagato è stato quello di verificare e studiare una filiera industriale circolare capace di produrre localmente DPI.

È stato confermato che i DPI, attualmente, non vengono recuperati per riciclo a causa di limiti: (i) legislativi che, per esempio, non permettono di trattare i rifiuti ospedalieri poiché contaminati; (ii) logistici/produttivi, per la mancanza di una filiera territoriale predisposta al riciclo di questo tipo di prodotti (i DPI sono infatti spesso realizzati accoppiando diversi materiali) e organizzata per operare fasi molto peculiari (ad es. pre-trattamenti quali decontaminazione). Uno dei limiti tecnici al riciclo dei DPI è il fatto che siano spesso prodotti multimateriale, ciascuno di diversa natura e che quindi necessita di diversi tipi e condizioni di trattamento per il suo recupero. Per esempio, una mascherina chirurgica, che è certamente rappresentativa dei vari DPI presi in esame da questo studio, spesso è realizzata nei seguenti materiali:

- 4 strati in TNT di PP
- 1 strato in TNT di PET
- Nasello in metallo ricoperto di PE (ed eventuale coprinasello in PU espanso)
- Elastico in PA

Questi materiali sono di per sé riciclabili (essendo PE, PP, PET, PA termoplastici quindi rifusibili e PU termoindurente, riciclabile per via chimica) ma non sono compatibili se si considera un riciclo che tratti questi materiali in modo unificato. Ciò significa che per poter migliorare la riciclabilità dei DPI si può agire in 2 modi:

1. In fase di progettazione, predisporre la realizzazione di DPI monomateriale riciclabile, in modo che a fine vita non sia necessaria una separazione dei vari componenti prima del reprocessing;
2. In fase di recupero, si realizzi un sistema di separazione dei vari materiali, che vengano poi inviati separatamente a centri di riciclo idonei. Esistono numerose tecniche di separazione, suddivise in macrosorting (separazione macroscopica, come per le bottiglie) e microsorting (separazione di componenti di piccola pezzatura ottenuti dalla triturazione dei rifiuti).





Un moltiplicatore di opportunità.  
Da non lasciarsi sfuggire.

Nonostante lo studio di varie ipotesi di lavoro e il confronto serrato con gli addetti ai lavori (gestori di impianti di trattamento), le valutazioni costi/benefici portano a concludere che, nel caso dei DPI, è necessario attuare una raccolta differenziata a monte che divida i dispositivi ricchi in poliolefine (polipropilene, polietilene) come mascherine, copricamici, copriscarpe, cuffie (realizzati spesso in TNT di PP) dai dispositivi realizzati con altri polimeri (guanti, visiere, ...) e successivamente destinare la frazione ricca in poliolefine a riciclo meccanico e la frazione di polimeri misti a riciclo chimico. Il riciclo meccanico richiederebbe i seguenti pretrattamenti:

1. Sterilizzazione
2. Macinazione
3. Separazione (microsorting – esistono numerose tecnologie ma la più utilizzata ed economica risulta essere la flottazione in umido)
4. Essiccazione
5. Densificazione
6. Estrusione (ed eventuale miscelazione con additivi)
7. Rigranulazione.

Lo studio ha fatto emergere con chiarezza che le tecnologie richieste per i processi sopra elencati esistono ma non sono unificate e non trattano rifiuti da DPI; risulta inoltre impossibile realizzare uno studio in scala di laboratorio che consideri tutti questi step poiché impianti che utilizzano le suddette tecnologie richiedono ingenti quantità di materiale (per esempio un impianto di densificazione richiede tonnellate di materiale) per capire gli effetti ed impatti. Estrusione, miscelazione e pellettizzazione/granulazione costituiscono invece processi che possono essere studiati in scala di laboratorio, per valutare la qualità del riciclato proveniente da un reprocessing di questo tipo. È infatti necessario uno studio della qualità del materiale riciclato poiché il processo trova ragione d'essere solo se il prodotto in uscita ha mercato (è quindi di buona qualità ed ha un basso costo). Una volta valutate le proprietà del materiale riciclato tal quale (tramite caratterizzazione fisico-meccanica, reologica e termica dello stesso), è possibile valutarne, in base all'applicazione a cui viene destinato, l'additivazione con compatibilizzanti, cariche inorganiche o polimero vergine, per migliorare le performance fisico-meccaniche e la lavorabilità. Per lo studio di miscela in scala di laboratorio tramite estrusione, miscelazione e pellettizzazione si rende necessario utilizzare un polimero in granuli (non TNT perché necessiterebbe della fase di densificazione) con lo stesso comportamento reologico (quindi simili caratteristiche di processo) di quello utilizzato per la realizzazione dei 2 tipi di TNT costituenti i DPI (meltblown e spunbond).

A differenza del riciclo meccanico, per il quale è stato realizzato un layout teorico e verranno poi studiate in scala reale solo le fasi finali (estrusione e rigranulazione), il riciclo chimico è invece analizzabile in via sperimentale poiché è in fase di costruzione e collaudo l'impianto di pirogassificazione presso Elite Ambiente, partner del progetto.

Sebbene lo studio sia focalizzato sui DPI, i risultati in termini di conoscenza e tecnologia sono utilizzabili anche per altri materiali e facilmente trasferibili in altri contesti produttivi.



Un moltiplicatore di opportunità.  
Da non lasciarsi sfuggire.

### 3. Risultati ottenuti nel primo periodo di attività (fino al 31/12/2021)

#### **WP-RI-1: Materie prime e MPS di origine sintetica per materiali riciclabili**

##### *Task 1: Mappatura dei prodotti in commercio*

Attività svolte:

- Selezione dei DPI rappresentativi delle differenti tipologie in commercio, quali mascherine, occhiali e visiere protettive, guanti, camici, copriscarpe, e raccolta di alcuni campioni per ciascuna tipologia
- Caratterizzazione chimica, con spettrofotometria a raggi infrarossi (FT-IR) e termica, con calorimetria a scansione differenziale (DSC), di ciascun componente di ogni DPI commerciale (es. per la mascherina: corpo a 3 strati, nasello, elastico), per l'individuazione univoca del materiale costituente ogni parte; individuazione dei polimeri (di origine fossile) maggiormente impiegati nei DPI
- Studio delle prestazioni richieste per le mascherine in commercio (chirurgiche ed FFP2)
- Studio della reologia dei materiali usati per la realizzazione delle mascherine chirurgiche e FFP2
- Studio sugli attuali sistemi di rivestimento antimicrobici

##### *Task 2: Tecnologie di raccolta/smaltimento/riciclo*

Attività svolte:

- Indagine sulle attuali procedure di gestione dei DPI a fine vita, quantità e tipologia di rifiuti da DPI e delle relative caratteristiche
- Analisi delle criticità della gestione esistente dei rifiuti da DPI e delle soluzioni maggiormente sostenibili per la gestione dei rifiuti da DPI
- Definizione di un Layout rappresentativo di un processo di recupero dei DPI a fine vita, tramite riciclo chimico e meccanico, quali soluzione industrialmente praticabile

##### *Task 3: Materiali riciclabili*

Attività svolte:

- Indagine su materiali polimerici da fonte fossile e non, riciclabili e possibili sostituti per la produzione di DPI
- Indagine sui materiali polimerici usati per la produzione di TNT destinato a DPI o ad altre applicazioni
- Valutazione dei materiali maggiormente riciclabili per la realizzazione di DPI e relative schede tecniche
- Prove di riciclabilità su alcuni DPI e caratterizzazione dei prodotti ottenuti dal reprocessing
- Analisi dei pretrattamenti necessari al riciclo predisposto per i DPI

#### **WP-RI-2: Biopolimeri per materiali riciclabili**

##### *Task 4: Stato dell'arte conoscenze e tecnologie disponibili*

Attività svolte:

- Indagine sui biopolimeri più promettenti che possono essere utilizzati per la produzione dei DPI
- Focus sugli poliidrossialcanoati (PHA), quali sostituti di plastiche fossili grazie a proprietà fisico-chimiche eccellenti, analisi della produzione PHA a livello industriale, evidenziazione criticità, applicazioni

#### *Task 5: Produzione a scala laboratorio e pilota di PHA*

Attività svolte:

- Studio e produzione di PHA a partire di scarti agricoli, agroindustriali e da fanghi di depurazione
- Studio idrolisi enzimatica: condizioni di fermentazione, prototipazione e scale-up; gli idrolizzati ottenuti sono stati utilizzati come substrato di partenza per la produzione di PHA

#### *Task 6: Caratterizzazione dei PHA prodotti*

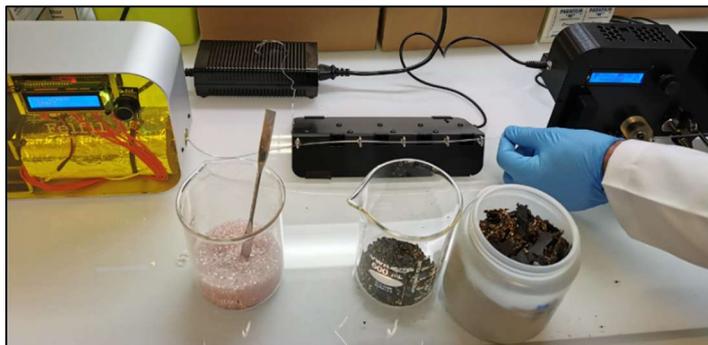
Attività svolte:

- I campioni di PHA prodotti ed estratti sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio (FT-IR, DSC, TGA) per determinare l' idoneità nella conformazione di filamenti, biofilm o polveri per la stampa 3D, comparazione con campioni di PHA commerciali di alta purezza.

#### *Task 7: Bio-materiali per le conformazioni di filamenti, bio-film o polveri per la stampa 3D*

Avvio anticipato, attività svolte:

- Analisi possibilità di estrarre i materiali prodotti con relativa produzione di filamenti di adeguato diametro e proprietà atte alla stampa additiva con un primo sistema prototipo da banco
- Prove di stampa additiva con una stampante da banco aperta



### **WP-RI-3: Modificazione dei prodotti**

#### *Task 8: Identificazione dei prodotti/processi per la funzionalizzazione dei DPI*

Attività svolte:

- Selezione DPI da impiegare per i trattamenti superficiali
- Analisi della letteratura anche brevettuale e dei processi/prodotti impiegati dalle aziende partner, per identificare le diverse metodologie da impiegare per la loro modifica antimicrobica/antibatterica/antivirale
- Selezione di processi di modifica dei DPI in tessuto mediante trattamento superficiale a spruzzo o coating in assenza di metalli e mediante deposizione di rame
- Sviluppo di una mascherina facciale di protezione e monitoraggio

**Task 9: Ottimizzazione dei materiali e funzionalizzazione dei prodotti**

Attività svolte:

- Trattamenti e verifica dell'efficacia dei trattamenti e materiali in confronto a materiali tradizionali non modificati
- Sviluppo due tipologie di sistema Filtro-Tampone
- Concettualizzazione di un granulatore per una linea pilota da integrare nella filiera di recupero e riciclo di polimeri regenerati



**Task 10: Ecodesign di prodotto e prototipizzazione**

L'attività produrrà i risultati più significativi nel secondo periodo, si è avviata nei seguenti filoni di ricerca:

- Capo in tessuto: realizzazione di una camicia, un camice e dei pantaloni con polipropilene avente quantità crescenti di polimero riciclato: i prototipi verranno quindi trattati con coating superficiale o rame in modo da verificare le prestazioni secondo la stessa procedura impiegata per le mascherine (Akkotex).
- Messa a punto della Maschera Facciale con Filtro Tampone (MFFT 3Dfast)
- Utilizzo di granuli termoplastici ottenuti dal recupero dei DPI negli elementi di produzione standard cassero a perdere per vespai areati (prodotti da costruzione non strutturali - Sintesyplast)
- Sviluppo elemento per l'arredo urbano 100% di plastica riciclata da recupero dei DPI (Bellitalia)

**Task 11: Riciclabilità dell'intero prodotto**

L'attività in corso produrrà i risultati significativi nel secondo periodo

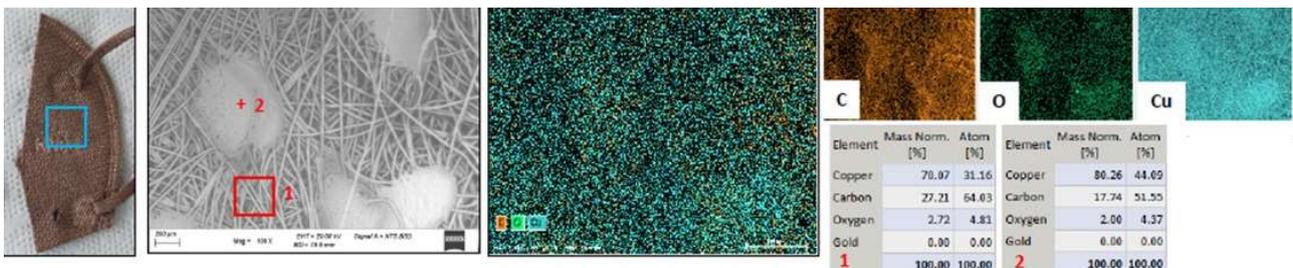
**Task 12: Caratterizzazione dei materiali di riciclo**

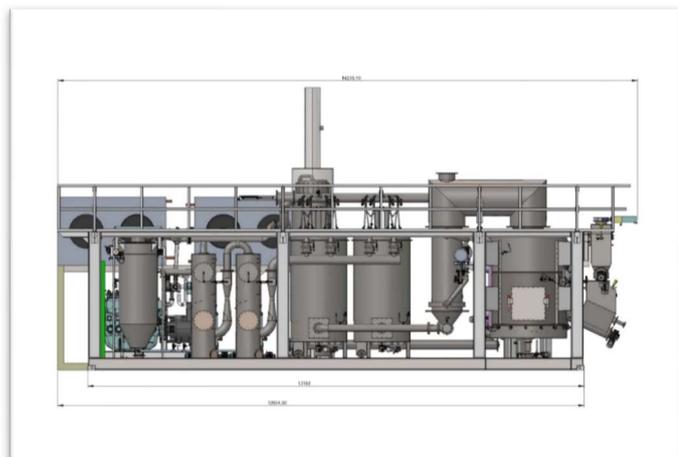
L'attività in corso produrrà i risultati significativi nel secondo periodo

**Task 13: Validazione e test dei DPI**

Attività svolte:

- Esecuzione test funzionali
- Test biodegradabilità dei manufatti realizzati con PHA in condizioni di anaerobiosi (digestione anaerobica) che aerobiche (compostaggio).
- Test di caratterizzazione





**WP-SS-1: Tecniche di pirolisi per la valorizzazione industriale dei rifiuti da DPI**

*Task 14: Dati di base per identificare DPI/materiali*

Attività svolte:

- Identificazione DPI oggetto di sperimentazione: i DPI adeguatamente confezionati in imballaggi adeguati, sono classificati con CER 180104, quindi non caratterizzati da pericolosità infettiva e corrispondono a: mascherine chirurgiche usa e getta (TNT di vari materiali quali polipropilene e polietilene); guanti monouso in lattice, in nitrile o in PVC; camici monouso in TNT di polipropilene.

*Task 15: Definizione tecnologia applicabile*

Attività svolte:

- Progettazione di una linea pilota che opera attraverso un processo di gassificazione (sublimazione e non combustione)
- Identificazione delle tecnologie utilizzabili e dei fornitori di componenti e unità funzionali

*Task 16: Costruzione, avviamento, collaudo*

Attività svolte:

- Progettazione di unità funzionali (unità di caricamento e gassificazione) alla linea pilota in collaborazione con il fornitore selezionato
- Realizzazione di prime prove in bianco e test su rifiuti aventi codici CER 191204 e 191212, molto simili per composizione chimica e merceologica dei DPI selezionati, utilizzati sulle unità realizzate presso fornitori sulla base delle specifiche di progetto.

*Task 17: Test su matrici DPI e altre matrici*

L'attività prende avvio nel secondo periodo

**WP-SS-2: Soluzioni integrate processo/prodotto per la sterilizzazione**

*Task 18: Soluzioni integrate processo/prodotto per la sterilizzazione DPI mediante sistemi a perossido e/o UVC*

Attività svolte:

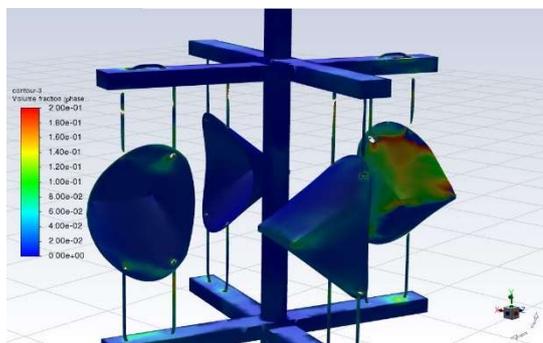
- Analisi della letteratura tecnico-scientifica dedicata ai trattamenti basati su tali tecnologie
- Definizione delle fasi principali dei trattamenti di decontaminazione ed all'individuazione dei fattori di criticità
- Configurazioni preliminari dei sistemi, su cui è stata impostata la modellistica fluidodinamica

- Ottimizzazione assistita dei modelli sviluppati e l'analisi di fattibilità dell'integrazione delle due tecnologie
- Definizione dei test da eseguire a supporto ed al termine dei trattamenti di decontaminazione

*Task 19: Progettazione di dettaglio-costruzione impianti prototipo e metodologie di verifica/validazione*

Attività svolte:

- Progettazione di dettaglio di entrambi sistemi di sterilizzazione prototipali, al fine di fornire sistemi prototipali che riproducano le condizioni di processo degli impianti full-scale



*Task 20: Ottimizzazione parametri di processo, testing funzionale, analisi/caratterizzazione DPI post trattamento*

L'attività è in corso

*Task 21: Progettazione esecutiva degli impianti full scale*

L'attività prende avvio nel secondo periodo. Nel primo periodo era prevista una spesa per la realizzazione del prototipo che non è stata eseguita a causa di difficoltà nell'approvvigionamento dei componenti.

#### **WP-RI-4: Sostenibilità dei cicli produttivi**

*Task 22: Sviluppo di un modello predittivo*

Attività svolte:

- Concettualizzazione del modello predittivo, basata sulla compilazione di matrici tridimensionali per il calcolo dei vari impatti su base oraria
- Formalizzazione di schede per la raccolta delle informazioni relative ai processi identificati
- Applicazione ad un caso studio generico allo scopo di dimostrarne il funzionamento

*Task 23: Validazione del modello*

Attività in leggero ritardo (causa ritardo WP sperimentali), ha previsto:

- Identificazione e schematizzazione di un processo di riciclo meccanico di mascherine chirurgiche e/o FFP2 ed uno chimico basato su pirogassificazione di diversi DPI, su cui applicare il modello nel secondo periodo

*Task 24: Implementazione web application*

Prende avvio nel secondo periodo

*Task 25: Studi LCA, LCC e SLCA*

Attività in leggero ritardo, si è integrata con i Task 22 e 23 nella:

- Formalizzazione di schede per la raccolta delle informazioni
- Identificazione dei processi su cui validare il modello predittivo e sviluppare lo studio LCA, LCC e SLCA