

## TIPO DI OPERAZIONE

### 16.1.01 - Gruppi operativi del partenariato europeo per la produttività e la sostenibilità dell'agricoltura

**DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE N. 153 del 10/02/2020**

### FOCUS AREA 3A

### RELAZIONE TECNICA FINALE

**DOMANDA DI SOSTEGNO: N. 5200076**

**DOMANDA DI PAGAMENTO: N. 5688354**

Titolo Piano	STRATEGIE PER LA RIDUZIONE E LA RAZIONALIZZAZIONE DELL'USO DELLE PLASTICHE NELLA FILIERA FRUTTICOLA
Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario)	APOFRUIT Soc. Coop. Agricola Viale della Cooperazione 400 Cesena (FC)
Partner del GO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CANOVA</li> <li>- GRANFRUTTA ZANI</li> <li>- ASTRA Soc. r. l.</li> <li>- RI.NOVA Società Cooperativa</li> <li>- UNIMORE</li> <li>- UNIBO</li> <li>- DINAMICA Soc. Cons. r.l.</li> <li>- AZ. AGRICOLA GOVONI (partner associato)</li> <li>- AZ. AGRICOLA BALDINI (partner associato)</li> <li>- AZ. AGRICOLA GRASSILLI (partner associato)</li> </ul>

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	24
Data inizio attività	1-01-2021
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	7-06-2023

Relazione relativa al periodo di attività dal	1-01-2021	al 7-06-2023
Data rilascio relazione	20-07-2023	

Autore della relazione	Daniele Missere (RI.NOVA)		
telefono		email	dmissere@rinova.eu
pec	amministrazione@pec.rinova.eu		

## Sommario

1	-	DESCRIZIONE
	DEL PIANO	pag. 3
2	-	DESCRIZIONE
	PER SINGOLA AZIONE	pag. 6
	<u>Esercizio della cooperazione</u>	
2.1	Attività e risultati	pag. 6
2.2	Personale	pag. 8
	<u>Impiego di materiali alternativi alla plastica in campo</u>	
2.1	Attività e risultati	pag. 9
2.2	Personale	pag. 23
	<u>Implementazione di un sistema di gestione delle reti antigrandine e antinsetto con l'obiettivo di favorire il riciclo e riuso dei polimeri</u>	
2.1	Attività e risultati	pag. 24
2.2	Personale	pag. 47
	<u>Sviluppo di imballaggi a base di prodotti alternativi alla plastica convenzionale</u>	
2.1	Attività e risultati	pag. 48
2.2	Personale	pag. 53
	<u>Impatto di materiali compostabili e biodegradabili sugli impianti di compostaggio</u>	
2.1	Attività e risultati	pag. 54
2.2	Personale	pag. 55
	<u>Sviluppo/Progettazione di un servizio di supporto organizzativo per il ritiro e riciclo dei materiali plastici (convenzionali e alternativi)</u>	
2.1	Attività e risultati	pag. 56
2.2	Personale	pag. 59
	<u>Divulgazione</u>	
2.1	Attività e risultati	pag. 61
2.2	Personale	pag. 62
2.3	Collaborazioni, consulenze, altri servizi	pag. 62
2.4	SPESE PER ATTIVITA' DI FORMAZIONE E CONSULENZA	pag. 62
3	-	CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ
		pag. 63
4	-	ALTRE INFORMAZIONI
		pag. 63
5	-	CONSIDERAZIONI FINALI
		pag. 63

## 1 - DESCRIZIONE DEL PIANO

### **Esercizio della cooperazione**

RINNOVA, per conto del mandatario Apofruit, ha svolto la funzione di coordinamento generale e organizzativo per garantire il funzionamento tecnico e amministrativo del Gruppo Operativo (GO). RI.NOVA ha quindi pianificato tutte attività previste nel piano, mettendo in atto tutte le iniziative necessarie alla realizzazione e al conseguimento dei risultati previsti dal piano stesso.

### **Impiego di materiali alternativi alla plastica in campo**

L'attività ha inteso indagare in maniera approfondita l'utilizzo degli attuali teli di pacciamatura biodegradabili/compostabili per la coltivazione della fragola, con l'obiettivo di misurarne la sostenibilità ambientale ed economica in relazione ai valori agronomici rilevati.

La prova in campo sull'utilizzo di pacciamature a base amido (Mater-Bi) a confronto con quella convenzionale a base di polietilene è stata condotta regolarmente sia in coltivazione integrata che in coltura biologica. La pacciamatura biodegradabile, in entrambi i campi, è stata in grado di mantenere la copertura del suolo fino alla fine della produzione e ha mostrato un efficiente controllo delle infestanti. Le performance produttive e qualitative sono risultate perfettamente paragonabili a quelle ottenute con l'impiego di pacciamature convenzionali di polietilene. I residui di bio-telo nel terreno sono presenti in percentuale molto limitata già in fase di interrimento della pacciamatura e dopo 6 mesi si sono ulteriormente ridotti.

L'attività è proseguita con uno studio di fattibilità tecnico-economica relativo alle due tecniche di pacciamatura poste a confronto (Mater-Bi e polietilene).

### **Implementazione di un sistema di gestione delle reti antigrandine e antinsetto**

Lo scopo di questa attività è stato quello di valutare la fattibilità del riciclo meccanico di reti antigrandine e anti-insetto. Lo studio è stato effettuato su 5 campioni di rete differenti per marca, tipologia di impiego, condizione di utilizzo, età complessiva e quantitativo. Per prima cosa è stato necessario caratterizzare tutti i campioni per determinarne la natura chimica e le proprietà termiche. Allo scopo di riciclare meccanicamente le reti in esame, queste sono state per prima cosa compattate tramite pressa riscaldata ottenendo delle lastre che sono state tagliate in foglietti. Questi sono stati quindi processati tramite due approcci diversi:

- Termoformatura in stampo;
- Estrusione per la produzione di filamenti utilizzabili nell'Additive Manufacturing.

Dopo aver ottimizzato i processi, i materiali ottenuti sono stati caratterizzati allo scopo di verificare e confrontare le loro proprietà termiche e meccaniche. Al termine del lavoro sperimentale è stato possibile proporre una schema di processi per il riciclo meccanico di tali reti utilizzate intensivamente in ambito agricolo.

L'attività è proseguita con uno studio di fattibilità tecnico-economica e la valutazione degli impatti ambientali derivanti dalle diverse soluzioni individuate (riciclo meccanico, termovalorizzazione, riciclo chimico).

### **Sviluppo di imballaggi a base di prodotti alternativi alla plastica convenzionale**

Relativamente l'individuazione delle attuali tipologie di contenitori e di materiali e l'individuazione delle alternative possibili e disponibili in commercio, l'attività è stata condotta tramite ricerche di mercato eseguite in loco, presso vari supermercati presenti nella zona di Reggio Emilia, quali Coop, Esselunga, Conad ecc. Con tali informazioni è stato creato un database contenente tutte le informazioni relative alla tipologia di materiali e confezioni impiegate nella fase di confezionamento della filiera ortofrutticola.

L'attività svolta in merito alla verifica dell'idoneità dei materiali alternativi è stata focalizzata sul reperimento di alternative commercialmente disponibili identificabili secondo i seguenti criteri: 1) da fonti

rinnovabili; 2) compostabili in impianti di compostaggio industriale; 3) da materiali di riciclo. Per la valutazione dell'influenza dei nuovi materiali/delle nuove confezioni sulla conservabilità dei prodotti, sono stati oggetto della sperimentazione i seguenti prodotti frutticoli: uva di IV gamma, piccoli frutti rossi (mirtilli, more, lamponi) e macedonie di frutti (IV gamma). La scelta è stata motivata da un lato dalla delicatezza di alcuni frutti (piccoli frutti rossi, dall'altro dal più elevato valore aggiunto dei prodotti di IV Gamma, che proprio per tale motivo potrebbero "sopportare" meglio un leggero aumento del costo dell'unità packaging dovuto all'impiego di materiali non convenzionali.

#### **Impatto di materiali compostabili e biodegradabili sugli impianti di compostaggio**

Da una visita effettuata presso l'impianto HERA di Sant'Agata Bolognese (trattamento A/AN, rappresentativo per dimensioni) è emersa chiara la difficoltà che queste tipologie di impianto avrebbero nel vedere aumentare la quota di materiale "plastico" certificato compostabile rispetto alla massa di frazione umida e di verde. Risulta quindi chiaro l'impedimento a una diffusione allargata di questi materiali nella frazione umida, stanti le modalità di raccolta e conferimento della stessa che non può discriminare tra ciò che viene trattato per compostaggio o con trattamento A/AN. Occorrerà ripensare ai modelli di produzione e di post consumo al fine di rendere davvero fattibile lo smaltimento di quote consistenti di materiali plastici compostabili e/o biodegradabili.

#### **Sviluppo/Progettazione di un servizio di supporto organizzativo per il ritiro e riciclo dei materiali plastici**

Oltre ad avere realizzato una analisi delle esigenze degli attori coinvolti, svolto attività di informazione dei consumatori sulla corretta gestione del fine vita degli imballaggi e valutato gli elementi necessari per un servizio di raccolta, smaltimento e riciclo, il progetto ha implementato un metodo quantitativo per analizzare alternative sostenibili per una migliore gestione della plastica in agricoltura, abbozzando anche uno schema raffigurante un possibile servizio organizzativo per il ritiro dei materiali plastici convenzionali o alternativi.

#### **Divulgazione**

In accordo con i partner del GO, il personale RI.NOVA ha organizzato e gestito diverse iniziative e azioni divulgative. In particolare sono stati organizzati nel complesso n. 3 incontri tecnici, n. 4 articoli tecnici, n. 1 comunicato stampa e n.1 audiovisivo. RI.NOVA ha inoltre messo a disposizione del Gruppo Operativo il proprio Portale Internet, affinché le attività ed i risultati conseguiti nel presente piano siano facilmente identificabili e fruibili dall'utenza. Il personale RI.NOVA si è fatto carico di predisporre in lingua italiana e inglese, le modulistiche richieste per la presentazione del Piano al fine del collegamento alla Rete PEI-Agri.

## **1.1 STATO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PIANO**

<b>Azione</b>	<b>Unità aziendale responsabile</b>	<b>Tipologia attività</b>	<b>Mese inizio attività previsto</b>	<b>Mese inizio attività effettivo</b>	<b>Mese termine attività previsto</b>	<b>Mese termine attività effettivo</b>
Cooperazione	RI.NOVA	Esercizio della cooperazione	1	1	24	32
Impiego di materiali alternativi alla plastica in campo	ASTRA	Azione specifica legata alla realizzazione del Piano	1	1	24	32
Implementazione di un sistema di gestione delle reti antigrandine e antinsetto	UNIBO	Azione specifica legata alla realizzazione del Piano	3	3	24	32
Sviluppo di imballaggi a base di prodotti alternativi alla plastica convenzionale	UNIMORE	Azione specifica legata alla realizzazione del Piano	1	1	24	32

Impatto di materiali compostabili e biodegradabili sugli impianti di compostaggio	UNIMORE	Azione specifica legata alla realizzazione del Piano	12	12	24	32
Sviluppo/Progettazione di un servizio di supporto organizzativo per il ritiro e riciclo dei materiali plastici	UNIBO	Azione specifica legata alla realizzazione del Piano	14	14	24	32
Divulgazione	RI.NOVA	Azione divulgazione	9	9	24	32
Formazione/Consulenza	Dinamica	Formazione/Consulenza	12	24	24	32

## 2 - DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE

### AZIONE: ESERCIZIO DELLA COOPERAZIONE

#### 2.1 - ATTIVITA' E RISULTATI

Azione	ESERCIZIO DELLA COOPERAZIONE
Unità aziendale responsabile	RI.NOVA Soc. Coop.
Descrizione delle attività	<p>Apofruit, nel suo ruolo di mandatario, ha mantenuto la funzione di coordinamento generale, demandando, in accordo con gli altri Partner, a RI.NOVA la funzione di coordinamento organizzativo per garantire il funzionamento tecnico e amministrativo del Gruppo Operativo (GO).</p> <p>RI.NOVA ha quindi avuto il compito di pianificare le attività previste nel Piano mettendo in atto tutte le iniziative necessarie alla realizzazione e al conseguimento dei risultati previsti. Per fare questo si è avvalso di proprio personale tecnico, amministrativo e di segreteria qualificato e dotato di esperienza pluriennale nel coordinamento tecnico-organizzativo di progetti di ricerca, sperimentazione e divulgazione a vari livelli, nonché nella gestione di comitati tecnici e gruppi di lavoro riguardanti i principali comparti produttivi.</p> <p><u>Attivazione del Gruppo Operativo</u></p> <p>La fase di attivazione del GO ha riguardato sia gli aspetti formali e amministrativi, sia il consolidamento degli obiettivi con l'intero gruppo di referenti coinvolti a vario titolo nel Piano.</p> <p>In merito agli aspetti formali, con particolare riferimento alle attività del Piano e ai relativi costi ammessi, RI.NOVA, unitamente al Responsabile Scientifico (RS) e ai Responsabili dei partner del GO, ha verificato la congruenza dei budget approvati rispetto alle attività da svolgere. Con questo passaggio si è autorizzata l'attivazione del GO, comunicata a tutti i partner tramite e-mail. Inoltre, in questa fase si è proceduto alla costituzione formale del raggruppamento (ATS).</p> <p>Una volta soddisfatti gli aspetti formali, è stata indetta una riunione del GO nella sua interezza (13-05-2021), alla presenza di tutte le figure coinvolte per ogni partner. In questa sede, il Responsabile del Progetto (RI.NOVA) e il Responsabile Scientifico (UNIMORE) hanno riproposto i contenuti e gli obiettivi del Piano, al fine di avere la più ampia condivisione possibile delle informazioni e impostare le modalità di realizzazione delle azioni d'innovazione.</p> <p><u>Costituzione del Comitato di Piano</u></p> <p>In occasione della riunione di attivazione si è anche proceduto alla costituzione del Comitato di Piano (CP) per la gestione e il funzionamento del GO, che è così composto:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- RO, (RiNova)</li><li>- RS, (UNIMORE)</li><li>- Astra Innovazione e Sviluppo</li><li>- UNIBO</li><li>- Apofruit</li><li>- Granfrutta Zani</li><li>- Az. Grassilli</li><li>- Az. Baldini</li><li>- Az. Govoni</li></ul> <p><u>Gestione del Gruppo Operativo</u></p> <p>Dalla data di attivazione del GO, il Responsabile di Progetto ha svolto una serie di</p>

attività funzionali a garantire la corretta applicazione di quanto contenuto nel Piano stesso, e in particolare:

- Il monitoraggio dello stato d'avanzamento dei lavori;
- La valutazione dei risultati in corso d'opera;
- L'analisi degli scostamenti, comparando i risultati intermedi raggiunti con quelli attesi;
- La definizione delle azioni correttive.

Il Responsabile di Progetto (RP), in stretta collaborazione con il Responsabile Scientifico (RS), si è occupato di pianificare una strategia di controllo circa il buon andamento delle attività del Piano, attraverso un sistema basato sull'individuazione delle fasi decisive, cioè momenti di verifica finalizzate al controllo del corretto stato di avanzamento lavori. Allo stesso modo, il RP e il RS si sono occupati di valutare i risultati/prodotti intermedi ottenuti in ciascuna fase. Tutto ciò agendo in coerenza con quanto indicato dalle procedure gestionali di RI.NOVA (v. Autocontrollo e Qualità).

#### Verifica dei materiali, strumenti e attrezzature impiegate in campo e in laboratorio

A campione, il RP ha verificato la congruenza tra le caratteristiche dei materiali e prodotti impiegati dai partner, rispetto a quanto riportato nel Piano. A tal fine il RP ha eseguito alcune verifiche ispettive presso i partner, in coerenza con quanto indicato dalle procedure gestionali del Sistema Gestione Qualità di RI.NOVA.

#### Preparazione dei documenti per le domande di pagamento

In prossimità della domanda di pagamento, il RP e il RS, insieme a tutti i partner coinvolti, hanno effettuato l'analisi dei risultati intermedi e finali ottenuti, nonché l'analisi della loro conformità a quanto previsto dal Piano. In particolare, è stata verificata la completezza della documentazione relativa alle spese affrontate dai singoli soggetti operativi e raccolta la documentazione per la redazione del rendiconto tecnico ed economico.

#### Altre attività connesse alla gestione del GO

Oltre alle attività descritte in precedenza, RI.NOVA ha svolto una serie di attività di supporto al GO, come le attività di interrelazione con la Regione Emilia-Romagna, l'assistenza tecnico-amministrativa agli altri partner, le richieste di chiarimento, la richiesta di variante in seguito alla fusione di CRPV e Alimos in RI.NOVA e la redazione e l'inoltro della richiesta di proroga di 90 gg.

RI.NOVA si è inoltre occupato dell'aggiornamento della Rete PEI-AGRI in riferimento al Piano, come richiesto dalla Regione, al fine di stimolare l'innovazione, tramite l'apposita modulistica presente sul sito.

#### Autocontrollo e Qualità

Attraverso le Procedure Gestionali e le Istruzioni operative approntate nell'ambito del proprio Sistema Gestione Qualità, RI.NOVA ha lavorato al fine di garantire efficienza ed efficacia all'azione di esercizio della cooperazione, come segue:

- Requisiti, specificati nei protocolli tecnici, rispettati nei tempi e nelle modalità definite;
- Rispettati gli standard di riferimento individuati per il Piano;
- Garantita la soddisfazione del cliente tramite confronti diretti e comunicazioni scritte;
- Rispettate modalità e tempi di verifica in corso d'opera definiti per il Piano;
- Individuati i fornitori ritenuti più consoni per il perseguimento degli obiettivi.

La definizione delle procedure, attraverso le quali il RP ha effettuato il coordinamento e applicato le politiche di controllo di qualità, sono la logica conseguenza della

	<p>struttura organizzativa di RI.NOVA. In particolare, sono state espletate le attività di seguito riassunte.</p> <p><i>Attività di coordinamento</i> Le procedure attraverso le quali si è concretizzato il coordinamento del GO si sono sviluppate attraverso riunioni e colloqui periodici con il Responsabile Scientifico e con quelli delle Unità Operative coinvolte.</p> <p><i>Attività di controllo</i> La verifica periodica dell'attuazione progettuale si è realizzata secondo cadenze temporali come erano state individuate nella scheda progetto. Più in particolare è stata esercitata sia sul funzionamento operativo che sulla qualità dei risultati raggiunti; in particolare è stata condotta nell'ambito dei momenti sotto descritti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verifiche dell'applicazione dei protocolli operativi in relazione a quanto riportato nella scheda progetto;</li> <li>- Visite ai campi sperimentali e ai laboratori coinvolti nella conduzione delle specifiche attività.</li> </ul> <p><i>Riscontro di non conformità e/o gestione di modifiche e varianti</i> Non si sono verificate situazioni difformi a quanto previsto dalla scheda progetto. Tutte le attività svolte come previsto nella procedura specifica di processo sono registrate e archiviate nel fascicolo di progetto e certificate attraverso visite ispettive svolte dal Responsabile Gestione Qualità di RI.NOVA. Il Sistema Qualità RI.NOVA, ovvero l'insieme di procedure, di misurazione e registrazione, di analisi e miglioramento e di gestione delle risorse, è monitorato mediante visite ispettive interne e verificato ogni 12 mesi da Ente Certificatore accreditato (DNV).</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati completamente raggiunti. Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta.</p>

## 2.2 - PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	Impiegato RI.NOVA	Segreteria	27	9	1.768,50
	Impiegato RI.NOVA	Amministrazione	27	5	540,00
	Impiegato RI.NOVA	Amministrazione	27	6	783,00
	Impiegato RI.NOVA	Direzione	43	4	1.376,00
	Impiegato RI.NOVA	Tecnico	43	14	4.386,00
	Impiegato RI.NOVA	Tecnico	43	6	1.204,00
	Impiegato RI.NOVA	Responsabile progetto	43	46	9.417,00
	Impiegato RI.NOVA	Amministrazione	43	21	4.171,00
				<b>Totale:</b>	<b>23.645,50</b>



## AZIONE: IMPIEGO DI MATERIALI ALTERNATIVI ALLA PLASTICA IN CAMPO

### 2.1 - ATTIVITA' E RISULTATI

Azione	Impiego di materiali alternativi alla plastica in campo
Unità aziendale responsabile	ASTRA INNOVAZIONE E SVILUPPO
Descrizione delle attività	<p><b>Identificazione e classificazione dei materiali disponibili per i film per pacciamatura</b></p> <p>La pacciamatura è una pratica agricola in grado di aumentare la produttività delle colture attraverso la sua capacità di controllare le erbe infestanti, mantenere una corretta temperatura e umidità del suolo in relazione alle diverse fasi del ciclo di crescita dei semi/piante e garantire buone condizioni del suolo (basso degrado e alta compattazione). Le materie plastiche, in particolare il PE (PE a bassa densità – LDPE; e lineare LDPE – LLDPE), sono il materiale da pacciamatura più utilizzato in quanto più economico di altri materiali e facile da applicare in cantiere, determinando minori tempi e costi di manodopera. In particolare si tratta di film, con spessore da 12 a 80 µm, disponibili in diversi colori (prevalentemente nero, trasparente o bianco) a seconda delle diverse colture, che hanno un ciclo di vita in sito di 2-4 mesi.</p> <p>Nonostante i vantaggi delle materie plastiche per l'applicazione della pacciamatura, l'uso intensivo di teli di pacciamatura in plastica ha portato un impatto negativo sull'ambiente a causa dei residui di macro e microplastica nel terreno, che determinano una riduzione della salute del suolo e degli animali, la crescita delle prossime colture e qualità del cibo. Anche se i teli di pacciamatura vengono tipicamente rimossi dai campi dopo la stagione del raccolto (determinando anche costi elevati, in media 185 €/ha, non è possibile raccogliere completamente tutti i detriti plastici. Si verifica poiché i teli plastici di pacciamatura devono essere parzialmente interrati nel terreno durante la sua posa, e vengono danneggiati dalle piante, dall'uso di macchinari e dalla raccolta, determinandone la frammentazione.</p> <p>Soluzioni più sostenibili per la plastica in agricoltura devono affrontare due diversi aspetti dei film per pacciamatura. In particolare, il problema principale della pacciamatura sono i residui di plastica nel terreno. Questi detriti hanno effetti diversi sulle loro dimensioni e si riferiscono al rilascio di plastificanti e sostanze chimiche assorbite nella loro superficie per lisciviazione. Le microplastiche diventano parte della miscela del suolo e raggiungono livelli più profondi.</p> <p>Una delle alternative per l'utilizzo della plastica in agricoltura, soprattutto per la pacciamatura, è l'applicazione di film realizzati con plastiche biodegradabili/compostabili. Sul mercato sono già disponibili almeno 20 film biodegradabili/compostabili per la pacciamatura (es. Ecovio, Mater-Bi). In quanto film pacciamanti, questo tipo di materiale determina numerosi benefici in termini di un ridotto impatto ambientale dei suoi detriti nel suolo e di un potenziale rilascio di carbonio, che può tornare al suolo per la sua biodegradabilità. Nonostante questi vantaggi, la diffusione delle plastiche biodegradabili/compostabili è limitata per i seguenti aspetti: (i) mancanza di informazioni attendibili sui loro effetti agronomici; (ii) incertezza circa il tempo e le condizioni di degrado del ciclo colturale; (iii) mancanza di dati sul rilascio di nano- e micro-plastiche nel suolo a causa della presenza di una piccola parte di materiali non degradabili; (iv) costi di acquisto elevati rispetto alle plastiche tradizionali.</p> <p>Negli ultimi dieci anni, diversi studi in letteratura hanno indagato le prestazioni delle plastiche tradizionali e biodegradabili/compostabili su diverse colture e condizioni tipiche della specifica località (es. temperatura media e umidità). Questi studi hanno riguardato sia la produttività delle colture che il degrado del film di pacciamatura. La variabilità delle colture e delle condizioni analizzate rende difficile il confronto dei</p>

risultati della letteratura. Tuttavia, è possibile riassumere quattro conclusioni principali sul confronto tra plastiche tradizionali e biodegradabili/compostabili: (1) il tasso di resa è paragonabile (in alcuni casi maggiore, in altri casi inferiore, ma sempre con una differenza massima del 10%); (2) la riduzione delle infestanti è paragonabile; (3) il deterioramento dei film biodegradabili/compostabili è molto variabile all'interno del ciclo colturale (<10 – 90% dopo 12 mesi); (4) la biodegradazione di tutti i film può essere molto bassa anche dopo 18 mesi (30%) il che rende necessaria la rimozione meccanica del film anche nel caso di materiali biodegradabili/compostabili. L'ultimo dato è strettamente correlato al fatto che le condizioni di biodegradazione dipendono non solo dal materiale ma anche dagli additivi, dalle attività microbiche del suolo, dalla fauna, dalle condizioni climatiche (temperatura, umidità, esposizione solare), dalle pratiche agricole.

Inoltre, non è facile misurare correttamente la biodegradazione poiché sia gli standard che i metodi sono stati definiti univocamente e spesso viene utilizzata un'ispezione visiva. Infine, il passaggio alle plastiche biodegradabili/compostabili non elimina tutti i problemi dei polimeri tradizionali. Diversi film per pacciamatura biodegradabili/compostabili disponibili sul mercato derivano da materie prime fossili (es. PBAT, PBS, PCL) e, in generale, tutte le plastiche biodegradabili/compostabili necessitano di additivi per garantire specifiche proprietà meccaniche non biodegradabili, determinando nano - e rilascio di microplastiche.

### **Prova in campo sull'utilizzo di pacciamature a base amido (Mater –Bi)**

#### Materiali e metodi

La prova è stata realizzata sia in coltura integrata, presso l'Unità Operativa Martorano 5 di Astra Innovazione e Sviluppo, sia in coltivazione biologica, presso un socio della cooperativa Apofruit. Entrambe le colture sono state gestite in pieno campo, in ambiente non protetto, come avviene nella maggior parte delle aziende nel territorio cesenate. Le piante sono state messe a dimora su terreno pacciamato binato con doppia manichetta a bassa portata.

La sperimentazione prevedeva il confronto tra due tesi:

- Tesi 1: pacciamatura convenzionale (polietilene);
- Tesi 2: pacciamatura in bio-plastica biodegradabile e compostabile (Mater-bi).

In entrambe le aziende ciascuna tesi è stata replicata 4 volte secondo uno schema sperimentale a parcelloni e la scelta varietale è ricaduta su Elodì una cultivar di recente introduzione aromatica e resistente. Il trapianto è avvenuto il 29 luglio 2021 presso l'azienda integrata e il 30 luglio 2021 nell'azienda biologica.

I rilievi eseguiti sono stati i seguenti:

- Valutazione della tenuta dei film;
- Rilievi vegetativi (stato fitosanitario e vigoria);
- Peso e conteggio della produzione raccolta, suddivisa nelle tipologie commerciale, deformato, piccolo e marcio;
- Calcolo del peso medio del prodotto commerciale e dell'indice di precocità di raccolta, espresso dalla media ponderata dei giorni necessari a raccogliere tutta la produzione a partire dal 1° gennaio;
- Determinazioni di laboratorio sulle caratteristiche organolettiche dei frutti: residuo secco rifrattometrico e consistenza della polpa;
- Analisi del terreno (valutazione dimensioni frammenti di pacciamatura).

La tenuta dei film alle rotture è stata monitorata costantemente durante tutta la durata del ciclo vegetativo effettuando dei rilievi a cadenza quindicinale, documentati anche con fotografie, durante i quali venivano monitorate le eventuali comparse di rotture e eventuali problemi di sviluppo di malerbe.

Durante tutta la permanenza della coltura in campo, inoltre, sono stati raccolti i dati meteorologici mediante una stazione meteo Winet ponendo particolare attenzione alla presenza di vento e alla sua velocità e alla piovosità e irradiazione solare in modo da poter individuare eventuali connessioni del clima con la biodegradazione dei film.

### Risultati

La prova in oggetto è stata condotta regolarmente ed i risultati sono da considerare attendibili. I dati ottenuti sono stati elaborati statisticamente utilizzando l'analisi della varianza ANOVA ed effettuando la separazione delle medie tramite DUNCAN test per  $p > 0,05$ . Nelle tabelle a lettere diverse corrispondono risultati statisticamente diversi.

Non sono emerse differenze significative tra le due tesi in prova per quel che riguarda lo stato fitosanitario della coltura e lo sviluppo vegetativo in nessuno dei due campi prova (Tab. 1).

Dall'analisi dei rilievi produttivi riportati in tabella 2a e 2b si evince come non ci siano state differenze significative tra le due pacciamature in prova neanche in termini di produzione commerciale. Nella produzione di scarto l'unica differenza significativa è risultata la produzione di frutti piccoli nell'azienda integrata, che è risultata significativamente superiore nella tesi pacciamata con Mater-bi.

Tabella 1: Rilievi vegetativi

AZIENDA	TESI	Vigoria (1-9)	Stato fitosanitario (1-9)
Az. Integrata	POLIETILENE	6,0	8
	MATER BI	6,0	8
	<i>Media campo</i>	6,0	8
Az. Biologica	POLIETILENE	7,0	8
	MATER BI	7,0	8
	<i>Media campo</i>	7,0	8

Tabella 2a: Rilievi produttivi

AZIENDA	TESI	Indice di precocità	*	N° frutti commerciali/ pianta	*	Peso frutti commerciali / pianta (g)	*	peso medio frutti commerciali (g)	*
Az. Integrata	POLIETILENE	20/05/2022	a	27,2	a	516,2	a	17,7	a
	MATER BI	20/05/2022	a	28,5	a	506,2	a	16,8	a
	<i>Media campo</i>	20/05/2022		27,8		511,2		17,2	
Az. Biologica	POLIETILENE	20/05/2022	a	17,8	a	293,4	a	16,9	a
	MATER BI	20/05/2022	a	14,9	a	262,7	a	16,8	a
	<i>Media campo</i>	20/05/2022		16,4		278,1		16,8	

Tabella 2b: Rilievi produttivi

AZIENDA	N° frutti deformati/ pianta	*	Peso frutti deformati / pianta (g)	*	N° frutti piccoli/ pianta	*	Peso frutti piccoli/ pianta (g)	*	N° marci/ pianta	*
Az. Integrata	0,7	a	19,7	a	5,1	a	37,1	a	0,02	a
	1,2	a	32,5	a	7,2	b	51,8	b	0,03	a
	1,0		26,1		6,1		44,4		0,02	
Az. Biologica	1,0	a	6,8	a	3,1	a	18,4	a	0,06	a
	0,9	a	6,2	a	2,2	a	14,2	a	0,02	a
	0,9		6,5		2,6		16,3		0,0	

Anche in riferimento alle analisi qualitative (Tab. 3) non sono emerse differenze significative tra i due film pacciamanti in nessuna delle due aziende in sperimentazione.

Tabella 3: Analisi qualitative

AZIENDA	TESI	DUREZZA	*	BRIX	*
Az. Integrata	MATER BI	0,43	a	9,7	a
	POLIETILENE	0,40	a	9,7	a
	<i>Media campo</i>	<i>0,41</i>		<i>9,68</i>	
Az. Biologica	MATER BI	0,43	a	10,3	a
	POLIETILENE	0,45	a	9,6	a
	<i>Media campo</i>	<i>0,44</i>		<i>9,91</i>	

Per quel che riguarda la valutazione della tenuta dei film qualche rottura (dovuta alle operazioni colturali) si è formata già a partire dalle prime fasi dell’impianto, ma non si è espansa durante la stagione vegetativa (Foto 1 e 2). Alla ripresa vegetativa la degradazione del biofilm a livello del terreno era già iniziata (Foto 3) però la copertura del suolo è stata assicurata fino alla fine del ciclo produttivo (Foto 4).

Anche l’eventuale rottura del telo a causa dello sviluppo di malerbe è stato costantemente monitorato fino alla fine del processo produttivo e oltre, e non sono emersi problemi di comparsa di infestanti.



Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4

Dopo la fine delle raccolte la coltura è stata estirpata e i film di Mater-Bi sono stati frantumati mediante erpicatura e incorporati al terreno. Successivamente sono stati prelevati 4 campioni di suolo da 0 cm alla profondità di lavorazione (20-30 cm) secondo una modalità random in modo da poter escludere le eventuali variabilità del campo al fine di valutare la degradazione del bio-telo in base alla dimensione dei frammenti. I campionamenti sono stati eseguiti al momento dell’espanto (T0 = agosto 2022) e dopo 6 mesi (T1= febbraio 2023).

I risultati delle analisi svolte sui campioni di terreno sono riportati nella tabella seguente.

Campione	Peso totale umido (g)	Umidità suolo (%)	Peso totale secco (g)	Frammenti di telo da pacciamatura con diametro >2mm (g)	% di telo residuo per kg di suolo <u>umido</u>	% di telo residuo per kg di suolo <u>secco</u>
T0 11/08/22	2.133	13,2	1.851	1,2500	0,0586	0,0675
T1 08/02/23	2.052	20,6	1.637	0,0185	0,0009	0,0011

### Conclusioni

La pacciamatura biodegradabile, in entrambi i campi, è stata in grado di mantenere la copertura del suolo fino alla fine della produzione e ha mostrato un efficiente controllo delle infestanti.

Le performance produttive e qualitative sono risultate perfettamente paragonabili a quelle ottenute con l'impiego di pacciamature convenzionali di polietilene.

Dall'osservazione dei risultati delle analisi del suolo si può notare come i residui di biotelo fossero presenti in percentuale molto limitata già in fase di interrimento della pacciamatura (T0). In Febbraio (T1), dopo 6 mesi, tale presenza si è ulteriormente ridotta, a dimostrazione che il processo di biodegradazione è proseguito anche nel periodo invernale anche a temperature ridotte e nonostante il periodo autunno-invernale sia risultato nel complesso piuttosto secco.

### **Studio di fattibilità tecnico-economica**

Allo scopo di determinare quale tra i materiali di pacciamatura sia il più economicamente conveniente, si sono modellizzati i costi e la resa della pacciamatura. In termini di costi, differenti tipologie di pacciamatura differiscono sotto molti aspetti, a partire dal prezzo di acquisto e di installazione, fino ad arrivare ai costi di rimozione. Per quanto riguarda la resa, pacciamature diverse possono originare raccolti differenti in termini di qualità e quantità.

Si ha un beneficio a passare dal film di pacciamatura in polietilene ad una delle altre soluzioni se:

$$\Delta \text{resa} > \Delta \text{costi}$$

La modellizzazione dei costi è stata condotta per i film polimerici di pacciamatura, sia biodegradabili che non biodegradabili, in quanto attualmente utilizzati per la produzione commerciale. Tuttavia questo modello può essere riadattato in futuro ad altre tipologie di pacciamatura (pacciamature organiche, pacciamature polimeriche spruzzabili) che attualmente non sono applicate commercialmente su larga scala.

### Dettagli del modello di costo

Il costo complessivo può essere espresso in € su metro di pacciamatura (misura più precisa), € su m<sup>2</sup> di pacciamatura (misura precisa) o in € su ettaro (ha) di terreno pacciamato (stima generica). Si può passare da €/m a €/ha conoscendo il numero e la lunghezza delle file pacciamate in un ettaro di terreno. Si può passare da €/m a €/m<sup>2</sup> conoscendo la larghezza del rotolo di pacciamatura.

Il modello di costo è la somma delle seguenti voci di costo ed è specifico per ogni

tipologia/marca/materiale di pacciamatura:  $\text{costo totale} = \text{costi di acquisto} + \text{costi di gestione} + \text{costi di smaltimento}$

*Divisione dei costi*

- Costi di acquisto: Prezzo Pacciamatura, Costo di Spedizione
- Costi di gestione (o costi operativi): Costi di Installazione
- Ammortamento dei macchinari
- Costo del carburante
- Costo della manodopera: Costi di manutenzione: gestione malerbe, riposizionamento, ecc...; Costi relativi alla coltivazione (acqua, fertilizzanti, ecc...); Costi di rimozione
- Ammortamento del macchinario
- Costo del carburante
- Costi di smaltimento: prezzo + trasporto

Si procede analizzando ciascuna voce nel dettaglio.

I costi di acquisto si dividono in prezzo di acquisto e costo di spedizione.

$\text{Costo di Acquisto} = \text{Prezzo Pacciamatura} + \text{Costo di Spedizione}$

Il prezzo di acquisto può essere espresso in €/rotolo (e quindi è necessario conoscerne la lunghezza).

Dati utili: Produttore, Materiale, Lunghezza rotolo, Larghezza, Spessore, Peso specifico per unità di area, Prezzo al m, m2 o rotolo, Costo di spedizione.

Prezzo di Acquisto e Costo di Spedizione sono influenzate da: Fornitore, Dimensione del lotto di acquisto, Distanza dal fornitore

I dati richiesti si possono verificare direttamente con i fornitori.

I costi di gestione o costi operativi sono i costi relativi alla gestione del metodo di pacciamatura scelto. Si dividono in costi di installazione, costi di manutenzione, costi relativi alla coltivazione e costo di rimozione, e si ottengono moltiplicando il relativo coefficiente di costo, espresso in euro su unità di tempo, per il tempo richiesto per l'operazione.

Per l'installazione della pacciamatura è necessario un trattore, una macchina pacciamatrice, del carburante e degli operatori. Ognuno di essi ha un costo.

$\text{C.di Installazione} = \text{Tempo Richiesto} * (\text{Consumo Orario Trattore} * \text{Costo Gasolio Agricolo} + \text{Quota Oraria Amm.Trattore} + \text{Quota Oraria Amm.Pacciamatrice} + \text{Costo Orario Operatore} * \text{N}^\circ \text{ di Operatori})$

Il tempo richiesto può essere espresso in ore su ha oppure ore, minuti o secondi su metro, ettometro o chilometro. Il tempo richiesto è funzione del materiale (materiali più delicati richiedono velocità di posa minori) e lunghezza del rotolo (rotoli più corti richiedono operazioni di cambio più frequenti).

- Proprietà meccaniche: se la tensione e l'allungamento a rottura sono maggiori, allora l'operazione di posa può procedere in maniera più spedita, riducendo quindi il tempo necessario.

- Lunghezza del rotolo: è necessario considerare il numero di volte in cui i lavoratori devono fermarsi per cambiare rullo, interrare le estremità e fissarle al terreno.

I pacciami di carta devono essere installati più lentamente perché non sono flessibili e si rompono facilmente. Inoltre, un rotolo di PE contiene solitamente 2400 metri lineari di pacciamatura mentre un rotolo di carta contiene circa 250 metri lineari.

$\text{Tempo richiesto (approssimato)} = \frac{1}{\text{Velocità di pacciamatura}} \text{Tempo richiesto (stima migliore)} = \frac{1}{\text{Velocità di Pacciamatura}} + \text{Tempo di Cambio}$

### *Rotolo Lunghezza Rotolo*

Per il passaggio da tempo/lunghezza a tempo/area di campo coltivato è necessario sapere il numero e la lunghezza delle file di pacciamatura e il tempo necessario per preparare la pacciamatura di una nuova fila e fissare la pacciamatura a fine fila.

La quota di ammortamento oraria di un macchinario si ottiene dividendo il prezzo di acquisto per la vita utile del macchinario. Ciò vale sia per i trattori che per le pacciamatrici.

*Quota Oraria di Amm. Macchinario [€/h]=Prezzo di Acquisto [€]Vita del Macchinario [h]*

Domande:

- A che velocità si effettua la pacciamatura?
- Quanto tempo è necessario per effettuare il cambio del rotolo?
- Quanto tempo è necessario per fissare una fila di pacciamatura?
- Quanto tempo è necessario per iniziare una nuova fila di pacciamatura?
- Quanto consuma un trattore durante la pacciamatura?
- Qual è il costo di un trattore e qual è la sua vita utile (in ore)?
- Qual è il costo di una pacciamatrice e qual è la sua vita utile (in ore)?
- Quanti operatori servono durante la pacciamatura? Qual è il costo orario lordo di ogni operatore?

I costi di manutenzione sono i costi relativi alla manutenzione del campo pacciamato, quali ad esempio la rimozione di erbe infestanti, il riposizionamento del paccame, riparazioni, e simili.

*Costi di Manutenzione=  $\Sigma$ Tempo richiesto\*Costo Orario OperatoreOperazioni*

I costi di manutenzione sono un po' criptici e probabilmente è più facile reperirli per ha di coltivazione.

Domanda: sono necessarie delle operazioni di manutenzione relative alla pacciamatura? Quanti operatori e per quanto tempo richiedono?

Si potrebbe conteggiare tra i costi anche l'acqua consumata e i fertilizzanti necessari, ma a scopo comparativo è opportuno realizzare un confronto a parità di irrigazione e fertilizzazione, considerando poi la differenza di performance nella voce di resa.

Per la rimozione della pacciamatura è necessario un trattore e un macchinario dedicato, del carburante e degli operatori.

*C.di Rimozione = Tempo Richiesto \* ( Consumo Orario Trattore\*Costo Gasolio Agricolo + Quota Oraria di Amm.Trattore + Quota Oraria Amm.Depacciamatrice + Costo Orario Operatore\*N° di Operatori )*

Il tempo richiesto può essere espresso in ore su ettaro oppure ore, minuti o secondi su metro, ettometro o chilometro. Il tempo richiesto è funzione del materiale (materiali biodegradabili richiedono unicamente la rimozione della manichetta di irrigazione e quindi tempi minori).

*Tempo richiesto (approssimato)=1Velocità di DepacciamaturaTempo richiesto (stima migliore)=1Velocità di Depacciamatura+Tempo di Spostamento/ScaricoCapienza Depacciamatrice*

Per il passaggio da tempo/lunghezza a tempo/area di campo coltivato è necessario sapere il numero e la lunghezza delle file di pacciamatura.

A fine stagione, il film di pacciamatura in polietilene va rimosso (tramite apposito macchinario), si rimuovono i tubi di irrigazione, si fresa/ara il terreno.

La macchina avvolgitrice per complessità e funzionalità è molto simile alla macchina

pacciamatrice e per questo si può supporre che abbia un costo simile ad essa.

Il costo della rimozione può essere minimizzato nel momento in cui il materiale è biodegradabile e non necessita di essere rimosso dal terreno, in quanto l'incorporamento nel suolo avviene durante la normale operazione di fresatura/aratura, necessaria per la coltivazione successiva. È comunque necessario rimuovere i tubi di irrigazione.

La quota di ammortamento oraria di un macchinario si ottiene dividendo il prezzo di acquisto per la vita utile del macchinario. Ciò vale sia per le avvolgitrici delle pacciamature che per le avvolgitrici delle sole manichette.

*Quota Oraria di Amm. Macchinario [€/h]=Prezzo di Acquisto [€]Vita del Macchinario [h]*

Domande:

- A che velocità si effettua la depacciamatura?
- Che macchinari sono necessari per la depacciamatura? E quanto costano?
- Quanto tempo è necessario per la sola rimozione della manichetta di irrigazione?
- Quanto tempo è necessario per scaricare la depacciamatrice?
- Quanto consuma un trattore durante la depacciamatura?
- Qual è il costo di un avvolgitore per la pacciamatura e qual è la sua vita utile (in ore)?
- Qual è il costo di un avvolgitore per la sola manichetta e qual è la sua vita utile (in ore)?
- Quanti operatori servono durante la depacciamatura? Qual è il costo orario lordo di ogni operatore?

L'eventuale materiale rimosso dal campo necessita di essere opportunamente smaltito. Il centro di raccolta o il riciclatore potrebbero addebitare dei costi per lo smaltimento, che si andrebbero a sommare al costo del trasporto fino allo stabilimento.

*C.di Smaltimento = Tempo Richiesto \* Costo Orario Operatore \* N° di Operatori + Distanza da Percorrere \* Consumo Carburante Veicolo \* Costo Carburante + Tariffa Smaltimento \* Peso Pacciamatura*

Il peso del pacciamatura può essere specifico (g/m o g/m<sup>2</sup>) oppure riferito all'ha di campo coltivato (kg/ha).

Nel caso di materiali incorporati nel terreno, i costi di smaltimento sono nulli.

I rifiuti speciali provenienti dall'attività agricola, siano essi pericolosi o non pericolosi, devono essere raccolti temporaneamente, per gruppi omogenei, in appositi ambienti che posseggano caratteristiche tali da impedire danni a cose o a persone. I rifiuti speciali dell'attività agricola possono poi essere smaltiti attraverso il servizio pubblico, se esiste una specifica convenzione, o attraverso il conferimento a ditte autorizzate allo smaltimento, strada obbligata per i rifiuti speciali pericolosi (come i contenitori dei fitofarmaci). Gli oneri relativi allo smaltimento sono a carico del detentore dei rifiuti, siano essi pericolosi o non pericolosi.

In Emilia-Romagna i teli di pacciamatura in polietilene rientrano tra i rifiuti speciali agricoli non pericolosi, sotto il codice CER 020104: "rifiuti plastici (ad esclusione degli imballaggi)". Il codice comprende inoltre la copertura delle serre e silos, reti per filari e/o antigrandine, spaghi e avvolgimento rotoballe (reti e film). Dalle rilevazioni eseguite la tariffa di smaltimento per i teli di pacciamatura in polietilene risulta essere di circa 10€ a quintale.

I rifiuti speciali agricoli CER 020104 sono assimilabili ai rifiuti urbani e pertanto possono essere conferiti direttamente nelle isole ecologiche (dette anche centri di raccolta). Durante i mesi estivi, nei quali avviene la rimozione del pacciamatura, il conferimento dei film di polietilene usati può essere gratuito. Il requisito fondamentale è che i teli siano



divisi per colore/trasparenza e lavati dai detriti residui.

L'operazione di smistamento e lavaggio dei teli potrebbe comportare ulteriori costi in termini di manodopera.

*Costo di lavaggio=Tempo di Lavaggio\*Costo Orario Operatore*

Domande:

- Dove viene smaltito il pacciame? Chi se ne occupa?
- Quanto tempo richiede lo smaltimento del pacciame? Quanti operatori sono coinvolti?
- Quanto dista il centro di smaltimento dall'azienda?
- Qual è la tariffa di smaltimento?
- Nella rimozione del pacciame in polietilene, quanto ne rimane all'incirca nel terreno?
- È necessario lavare il pacciame in polietilene prima dello smaltimento? Quanto tempo richiede questa operazione?

La resa (€/ha coltivato o €/m di pacciamatura) è uguale a:  $resa = \sum \text{quantità} \cdot \text{valore} \cdot i$

Dove:

- $i$  è il singolo calibro/dimensione/qualità della coltivazione
- $quantità \cdot i$  è la quantità raccolta di quel determinato calibro, in kilogrammi, quintali o tonnellate su ha o m
- $valore \cdot i$  è il valore di quel calibro, espresso in € su kilogrammo, quintale o tonnellata

Il valore inoltre è influenzato dal prezzo di mercato al momento della raccolta, che è tanto maggiore quanto la raccolta può essere anticipata.

La resa è influenzata principalmente dai seguenti parametri:

- Umidità → traspirazione del pacciame
- Temperatura → colore del pacciame
- Riduzione delle malerbe → durabilità e pigmentazione del pacciame
- Durabilità nel tempo del pacciame → materiale del pacciame

Il confronto delle rese dei vari pacciami va effettuata a parità di condizioni al contorno:

- Luogo di coltivazione
- Periodo di coltivazione
- Quantità di irrigazione
- Quantità di fertilizzazione

#### Analisi comparativa dei costi delle pacciamature

E' stata effettuata un'analisi comparativa dei costi delle pacciamature in plastica, basata sui dati raccolti, allo scopo di determinare quale sia la tipologia di pacciamatura più conveniente in termini di costi. Si ricorda che non vi è sostanziale differenza di resa tra i teli biodegradabili e quelli in polietilene, per tale motivo i costi associati possono determinare o meno la convenienza economica di un materiale di pacciamatura rispetto ad un altro.

Si sono considerate 3 tipologie di teli: polietilene di spessore 50 µm (Polietilene 50), mater-bi 15 µm (MaterBi 15), mater-bi 12 µm (MaterBi 12). Dal colloquio con alcuni fornitori di mezzi tecnici della provincia di Forlì-Cesena, i film di pacciamatura più utilizzati sono Polietilene 50 e MaterBi 15. Si considera anche il MaterBi 12 quale confronto in un'ottica di risparmio del materiale, allo scopo di minimizzare le risorse utilizzate e l'impatto ambientale.

Ipotesi

Allo scopo di semplificare la comparazione, altrimenti estremamente complessa e potenzialmente inconcludente, si sono adottate le seguenti ipotesi:

- Data la variabilità dei dati, per ogni soluzione di pacciamatura si definiranno due casi

estremi: uno che considera tutti gli estremi inferiori delle voci di costo, e una che considera tutti gli estremi superiori delle voci di costo. In tal modo, si otterranno i due estremi che racchiuderanno un intervallo dei costi plausibili.

- I costi oggetto di questa analisi differenziale saranno: acquisto e spedizione, installazione, rimozione e smaltimento.
- Si prenderanno a esempio teli di pacciamatura larghi 1 m.
- Per semplicità, nel considerare i tempi di pacciamatura e depacciamatura, non si considereranno esplicitamente i tempi necessari per il cambio da una fila di pacciamatura ad un'altra, e non si considererà nemmeno il tempo necessario per il cambio rotolo (spesso avviene con continuità senza interrompere l'operazione). Per compensare ciò, si arrotonderà per difetto la velocità di pacciamatura e depacciamatura.
- Installazione e rimozione richiedono 2 persone, un trattore (costo 80000€, consumo 20L/h) e macchinari specializzati per la pacciamatura/depacciamatura.
- Per il traino di una pacciamatrice da 1 m (costo: 1500 – 3000€, durata plausibile: 1500 h) è sufficiente un trattore a trazione posteriore da 80cv (costo: 50000€, durata: 10000 h). La pacciamatura si esegue a 0.5 – 1 m/s.
- Per la posa delle pacciamature biodegradabili è necessario procedere a una velocità leggermente inferiore (0.3 – 0.8) rispetto alle pacciamature in polietilene (0.4 – 1 m/s).
- Per la rimozione della pacciamatura serve un macchinario detto avvolgitrice o depacciamatrice, il cui costo è analogo a quello di una pacciamatrice (1500 – 3000€) e una durata analoga se non superiore (almeno 3000h). La depacciamatura procede ad una velocità di 0.5 – 1 m/s.
- Per la rimozione della sola manichetta di irrigazione, come accade per i teli biodegradabili, si utilizza un'avvolgitrice dedicata di costo contenuto (500€) e durata analoga (1500h). La rimozione della manichetta procede ad una velocità di 2 – 2.5 m/s.
- Nella successiva conversione in costo per ettaro di terreno coltivato, si considererà un quadrato di lato 100m (superficie totale 1 ettaro o 1000 mq) con una distanza tra le file e i bordi di 0.5m, per un totale di 66 file da 99m, ovvero 6534m.

Calcolo dei coefficienti di costo operativi (per macchinari e personale)

I costi di pacciamatura e depacciamatura sono costi operativi, ovvero dipendono sostanzialmente dalla loro durata e dal costo per unità temporale di personale e macchinari. In questa sezione si andrà a stimare i costi per unità temporale di manodopera, trattore (incluso carburante), pacciamatrice, avvolgitrice per pacciamatura e manichetta di irrigazione.

Manodopera

$Coeff. Costo Manodopera [€s] = Costo Orario Lordo [€h] * Numero di Persone$   
3600 [sh]

Trattore (incluso carburante)

$Coeff. Costo Trattore [€s] = Costo Trattore [€] Vita Utile [h] + Consumo Trattore [Lh] * Costo Gasolio [€L]$   
3600 [sh]

Pacciamatrice

$Coeff. Costo Pacciamatrice [€s] = Costo Pacciamatrice [€] Vita Utile [h] * 3600$  [sh]

Avvolgitrice Pacciamatura (Depacciamatrice)

$Coeff. Costo Avvolgitrice Pacciamatura [€s] = Costo Avvolgitrice Pacciamatura [€] Vita Utile [h] * 3600$  [sh]

Avvolgitrice Manichetta

$Coef. Costo Avvolgitrice Pacciamatura [\text{€s}] = Costo Avvolgitrice Pacciamatura [\text{€}] Vita Utile [h] * 3600 [sh]$

Il costo complessivo di acquisto è dato dal prezzo della pacciamatura, a cui si aggiunge l'IVA e la tariffa di spedizione.

Il prezzo dei film di pacciamatura viene spesso indicato dai fornitori in € per Kg di materiale. Dividendo questo valore per la riuscita del film, espressa in m<sup>2</sup> su kg, è possibile ottenere il prezzo al m<sup>2</sup>. Risultato analogo si ottiene se si moltiplica il prezzo al kg per il peso specifico espresso in kg su m<sup>2</sup>.

$Prezzo [\text{€m}^2] = Prezzo [\text{€kg}] Riuscita [m^2/kg] = Prezzo [\text{€kg}] * Peso Specifico [kg/m^2]$

Per l'aggiunta dell'IVA al prezzo di acquisto, è sufficiente moltiplicarlo per un fattore pari a 1 + IVA[%]

$Prezzo (IVA inclusa) [\text{€m}^2] = (1 + IVA) * Prezzo [\text{€m}^2]$

Anche il costo di spedizione viene spesso indicato per unità di massa dell'oggetto spedito. In tal caso, per ottenere il prezzo per unità di superficie il ragionamento è analogo a quello del prezzo.

$Costo Spedizione [\text{€m}^2] = Costo Spedizione [\text{€kg}] Riuscita [m^2/kg] = Costo Spedizione [\text{€kg}] * Peso Specifico [kg/m^2]$

Il costo totale di acquisto è dato dalla somma di prezzo (IVA inclusa) e costo di spedizione.

$Costo di Acquisto [\text{€m}^2] = Prezzo (IVA inclusa) [\text{€m}^2] + Costo Spedizione [\text{€m}^2]$

Per il passaggio da unità di superficie a unità di lunghezza, è sufficiente moltiplicare per la larghezza del film di pacciamatura. *Costo di Acquisto*

$[\text{€m}] = Costo di Acquisto [\text{€m}^2] * Larghezza Telo [m]$

Installazione

Il costo di installazione si ottiene moltiplicando i coefficienti di costo di manodopera, trattore e pacciamatrice per il tempo impiegato per posare l'unità di lunghezza della pacciamatura, o il reciproco della velocità di pacciamatura.

$Costo di Installazione [\text{€m}] = (Coef. Costo Manodopera + Trattore + Pacciamatrice) [\text{€s}] Velocità di Pacciamatura [ms]$

Il costo di installazione si ottiene moltiplicando i coefficienti di costo di manodopera, trattore e avvolgitrice per il tempo impiegato per rimuovere l'unità di lunghezza della pacciamatura, o il reciproco della velocità di depacciamatura. Per quanto riguarda i teli biodegradabili, si considera il coefficiente di costo dell'avvolgitrice per manichette al posto del coefficiente di costo dell'avvolgitrice per teli di pacciamatura.

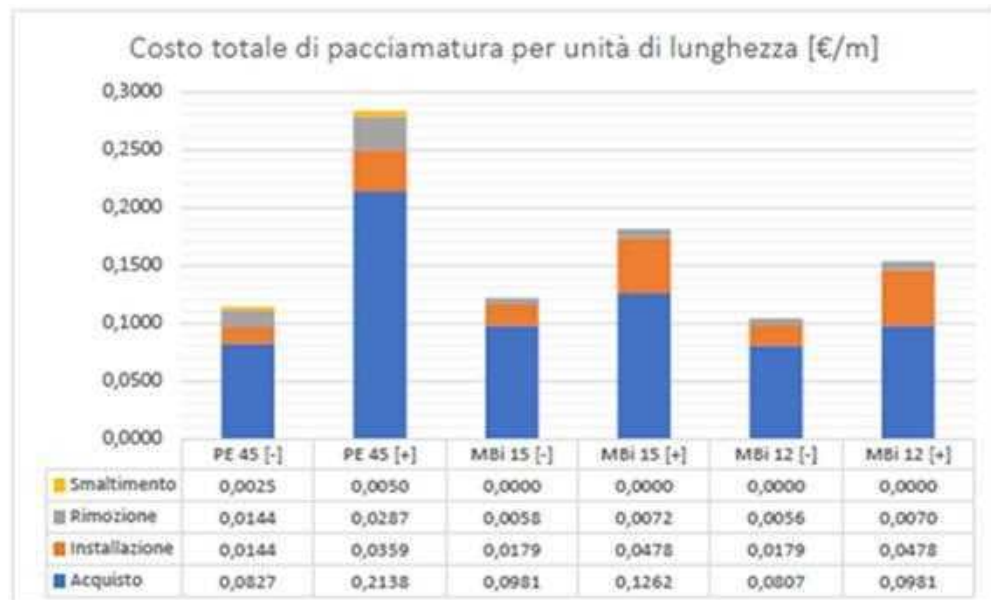
$Costo di Rimozione [\text{€m}] = (Coef. Costo Manodopera + Trattore + Avvolgitrice) [\text{€s}] Velocità di Pacciamatura [ms]$

Smaltimento

La tariffa di smaltimento in genere viene indicata per unità di materiale, è può essere comprensiva o meno del servizio di ritiro in loco. Il costo di smaltimento per unità di superficie di pacciamatura si ottiene moltiplicando la tariffa di smaltimento per il peso specifico, e moltiplicando questo valore per la larghezza del telo di pacciamatura si ottiene il costo di smaltimento per unità di lunghezza.

$Costo di Smaltimento [\text{€m}^2] = Tariffa di Smaltimento [\text{€kg}] * Peso Specifico [kg/m^2]$   
 $Costo di Smaltimento [\text{€m}] = Costo di Smaltimento [\text{€m}^2] * Larghezza Telo$

[m]



Come si può notare dal grafico sopra riportato, i teli Mater-Bi nel loro ciclo di vita hanno costi di poco superiori ai teli in Polietilene negli scenari minimi (-), mentre negli scenari conservativi, che considerano i costi attuali del materiale (era Covid) e dati più realistici, il polietilene risulta più costoso rispetto al Mater-Bi.

L'acquisto dei teli rappresenta la maggior voce di costo ed è di molto superiore ai costi operativi di installazione e dalla rimozione dei teli. I costi cumulati di installazione e rimozione delle tre tipologie di pacciamatura risultano inoltre paragonabili negli stessi scenari (di minimo e di massimo costo). Questo risultato è stato confermato dal colloquio con alcuni operatori del settore.

Infine, il costo dello smaltimento del polietilene risulta potenzialmente trascurabile.

Date le precedenti considerazioni, si può tranquillamente ritenere che l'unica differenza rilevante a livelli di costi di pacciamatura è quella relativa al prezzo di acquisto del materiale.

### Valutazione degli impatti ambientali

Di seguito si identificano i possibili impatti dei materiali biodegradabili sulle colture successive e sull'eco-sistema (suolo, acqua, fauna) in relazione all'effettivo livello e tempo di degradazione e alla valutazione dei residui nel terreno. Tali impatti sono da confrontare con quelli della gestione del fine vita dei materiali plastici convenzionali.

Un polimero è tipicamente definito come "degradabile in ambiente" o "biologicamente degradabile" se ha la capacità di subire la disintegrazione, ovvero il deterioramento delle proprietà meccaniche, seguita dalla frammentazione e dal successivo attacco microbico. I prodotti di degradazione del pacciame plastico biodegradabile non devono essere tossici o persistere nell'ambiente, ma devono essere completamente assimilati dagli organismi del suolo. Se i pacciami di plastica biodegradabili devono essere incorporati nel terreno dopo l'uso, la loro completa distruzione deve essere assicurata e verificata nell'ampia varietà di terreni e ambienti in cui possono essere applicati. La degradazione incompleta della plastica biodegradabile potrebbe portare ad un accumulo di frammenti di plastica e particolato nel suolo.

Per le plastiche biodegradabili, il deterioramento è generalmente caratterizzato da disgregazione fuori terra (durante la posa e l'utilizzo) e biodegradazione sotterranea. Tra i fattori che influenzano il deterioramento in superficie vi sono la temperatura, la

luce solare, l'umidità e le sollecitazioni meccaniche, nonché le interazioni tra questi fattori. Questi processi possono aumentare la biodegradazione diminuendo il peso molecolare del materiale.

Nel suolo, funghi, batteri, alghe e altri macro e microrganismi contribuiscono alla biodegradazione. La biodegradazione avviene in condizioni aerobiche e anaerobiche. In entrambe le condizioni, i microrganismi secernono enzimi che scindono le catene molecolari dei polimeri e incorporano le molecole risultanti nelle loro cellule per il supporto del metabolismo microbico. Questo processo di biodegradazione fornisce alle cellule microbiche sia carbonio che energia chimica per la crescita e la riproduzione. La biodegradazione completa comprende la scomposizione di un prodotto polimerico in anidride carbonica e acqua attraverso la respirazione ossidativa, con alcuni componenti del pacciame incorporati nella biomassa microbica. Anche i lombrichi partecipano al processo di biodegradazione, frammentando i film plastici e areando il suolo.

#### I materiali di pacciamatura

La capacità di un BDPM di soddisfare lo standard di compostaggio è considerata il primo test critico di biodegradabilità; se un pacciame non è compostabile, probabilmente non sarà biodegradabile in condizioni di campo. Pertanto, gli agricoltori e gli altri che utilizzano o raccomandano BDM in plastica dovrebbero prima verificare se il prodotto è stato testato secondo lo standard di compostaggio ASTM o ISO e soddisfa i criteri di biodegradabilità. Se il prodotto non è stato testato, si dovrebbe presumere che il pacciame non sia biodegradabile.

Negli standard proposti, il 90% di un BDPM in plastica deve scomporre in anidride carbonica e acqua e il restante 10% in sostanze rispettose dell'ambiente, compresa la biomassa microbica, entro uno o due anni.

I test sul campo fino ad oggi indicano che i pacciami biodegradabili potrebbero non raggiungere il tasso di biodegradazione del 90% entro 2 anni in alcune località. Tuttavia, è importante notare che nella maggior parte dei test sul campo la biodegradazione di per sé non viene misurata (l'evoluzione della CO<sub>2</sub> non viene monitorata), ma piuttosto, i campioni di suolo vengono valutati visivamente per il pacciame e il livello di biodegradazione viene dedotto in base alla presenza visiva o assenza di frammenti di pacciame nei campioni.

La velocità e l'entità della biodegradazione del pacciame plastico dipendono dalle materie prime e dalle condizioni del suolo. In condizioni di temperatura del suolo più fredde (soprattutto durante i mesi invernali), il tasso di biodegradazione si riduce man mano che l'attività microbica rallenta o cessa. Al contrario, la biodegradazione in condizioni di compostaggio tende ad essere più rapida poiché i microrganismi mesofili e termofili sono attivi in condizioni di alta temperatura (40–60 °C).

In un esperimento collaborativo sul campo agricolo a Knoxville, TN; Lubbock, TX; e Mount Vernon, WA; un pacciame di carta commerciale non era più visibile nei campioni in tutti e tre i siti dopo 1 anno, quindi si presumeva una biodegradazione completa. Al contrario, nello stesso studio dopo 2 anni, la degradazione media di due pacciami di plastica biodegradabili commerciali è stata del 52% a Knoxville, del 98% a Lubbock e del 6% a Mount Vernon, a conferma che l'elevata temperatura, la luce solare e l'incorporazione dell'umidità nel suolo e i fattori del suolo come l'umidità e l'attività biologica possono favorire la biodegradazione.

#### *Ecotossicità*

Il polietilene ha meno probabilità di molte altre materie plastiche di contenere riempitivi, plastificanti e additivi, ma potrebbero essere ancora presenti. Sfortunatamente, senza una migliore divulgazione da parte dei produttori sul contenuto di specifici materiali plastici, possiamo solo parlare di tossicità e sicurezza in

termini generali. Sono stati condotti innumerevoli studi a riguardo, sia di tossicità che di ecotossicità. Alcuni studi e alcuni prodotti hanno attivato una gamma di end point tossicologici, mentre altri no. La tossicità di questi prodotti dipende dalla loro composizione chimica individuale, che spesso rimane sconosciuta.

#### *Accumulo nel suolo*

In alcune aree (ad es. Cina e Spagna meridionale), gli agricoltori incorporano annualmente pacciamatura di PE nel terreno e l'accumulo è così significativo che la ritenzione idrica del suolo e la resa delle colture sono ridotte. In particolare, le conseguenze dell'accumulo di polietilene nel terreno sono:

1. Effetto sull'umidità e sul trasporto dei nutrienti nel suolo: la pacciamatura residua blocca l'infiltrazione dell'acqua nel suolo, riducendo la penetrazione dell'umidità ed il movimento dei nutrienti.

2. Effetto sulla germinazione delle colture e sulla crescita delle radici: studi nello Xinjiang hanno mostrato che livelli residui di pacciamatura di film plastico di 200 kg/hm<sup>2</sup> nel terriccio (0-20 cm) hanno influenzato il tasso di germinazione dei semi di cotone e ne hanno ridotto la produzione del 15%.

3. Salinizzazione secondaria del suolo: gli studi hanno dimostrato che la pacciamatura per 5-20 anni consecutivi ha portato a un aumento del 122-146% del contenuto di sale del terriccio.

4. Formazione di prodotti tossici: la degradazione del film di pacciamatura residua in polietilene può portare alla formazione di prodotti chimici dannosi per l'ambiente come esteri di ftalati, di-(2-etilesil)ftalato, aldeidi e chetoni.

5. Accumulo di pesticidi: i pesticidi possono migrare dalla superficie all'interno del film plastico senza l'ausilio di un solvente organico e le frazioni trattenute dipendono dallo spessore del film. I pesticidi accumulati nel film plastico possono migrare da queste plastiche ad altre matrici come il suolo e l'atmosfera, essendo questo processo modulato dalla loro struttura. Quando nel terreno agricolo sono presenti residui di film plastico, essi possono fungere da collettori di pesticidi.

Uno studio avvenuto in Argentina ha evidenziato che la presenza di film di pacciamatura in PE nel terreno orticolo è significativa, rappresentando circa il 10% della superficie campionata. Un altro studio ha affermato che la mediamente quantità di rifiuti di plastica in un campo agricolo della Cina potrebbe raggiungere i 317.4 kg/ha. Un altro studio condotto in Cina ha evidenziato che quantità di film di pacciamatura residui di 320 kg ha<sup>-1</sup> potrebbero interferire nella resa delle colture di pomodoro, causando diminuzioni del 5,9% nella resa del terreno.

#### Film biodegradabili

Dopo che il film di pacciamatura in plastica biodegradabile viene incorporato nel terreno alla fine della stagione di raccolta, dovrebbe degradarsi rapidamente senza influire negativamente sulla salute del suolo. Le indagini fino ad oggi hanno rivelato che la degradazione è funzione dell'ambiente e gli effetti a breve termine sulla salute del suolo sono trascurabili. Tuttavia, l'uso prolungato di BDPM sulla salute del suolo non è stato completamente compreso; sono necessarie delle indagini a lungo termine che considerino l'accumulo di sostanze nel suolo.

L'accumulo di una determinata sostanza nel suolo può essere ottenuto dalla seguente formula, conoscendone la concentrazione iniziale nel materiale.

*Sostanza accumulata nel suolo = concentrazione sostanza nel materiale\*quantità di materiale incorporato nel suolo*

#### *Ecotossicità*

La sicurezza ecologica dei BDPM può essere valutata mediante test di ecotossicità. Nel complesso, diversi tipi di materiali biodegradabili, tra cui PBAT, PLA e materiali a base di amido, non hanno mostrato tossicità in diversi test. Ad esempio, il Mater-Bi sembra soddisfare un adeguato standard di sicurezza ambientale, in quanto nonostante studi

	<p>approfonditi non sono stati rilevati effetti nocivi, sia nel suolo che nell'acqua. Tuttavia, i test effettuati riguardano l'ecotossicità a breve termine (ovvero risposte acute) e tutt'ora mancano prove sperimentali sull'ecotossicità a lungo termine. Infatti, la potenziale ecotossicità della plastica biodegradabile può derivare non solo dai polimeri e dai composti rilasciati dai polimeri durante il processo di biodegradazione, ma anche da additivi come plastificanti, stabilizzanti termici e UV, e antiossidanti. La quantità di additivi è solitamente troppo piccola per causare differenze nei test delle risposte acute, ma questi possono accumularsi a seguito di applicazioni ripetute nel tempo. Si ribadisce quindi la necessità di test di tossicità a lungo termine per determinare completamente la sicurezza ecologica dei BDPM.</p> <p><i>Accumulo nel suolo</i></p> <p>Un recente studio ha ipotizzato il caso in cui un agricoltore incorpori nel terreno tutto il paccame biodegradabile alla fine del ciclo colturale. I test standardizzati applicati alle materie plastiche (ASTM D5988 e ISO 17556) considerano un tasso di biodegradazione del 90% entro 2 anni; considerato ciò, il 45% di questa plastica rimarrà in campo durante il primo anno. Dopo il secondo anno, un 10% della plastica del primo anno rimarrà probabilmente nel suolo e la plastica dalla seconda applicazione con il suo 10% rimanente al terzo anno. Se si presume che questo 10% non si degradi mai, si accumulerà ogni anno. Gli autori ipotizzano che 350 kg / ha di plastica non degradabile riducano la resa del terreno del 6,45% al quinto anno di utilizzo di film biodegradabili incorporati nel terreno. Sfortunatamente, non esiste un metodo standard per misurare il tasso di degradazione dopo l'incorporazione nel terreno e le percentuali potrebbero essere molto variabili.</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati completamente raggiunti.</p> <p>Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta.</p>

## 2.2 - PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	Impiegato Astra	Tecnico	27,00	298	8.046,00
	OTD Astra	Operaio	19,50	132	2.574,00
	OTD Astra	Operaio	19,50	482	9.399,00
	GF Zani	Tecnico	27,00	150	4.050,00
	Impiegato Apofruit	Tecnico	27,00	150	4.050,00
	Ricercatore UniBo	Ricerca	48,00	13	624,00
	Ricercatore UniBo	Ricerca	48,00	10	480,00
	Ricercatore UniBo	Ricerca	73,00	20	1.460,00
	Assegnista UniBo	Ricerca	18,61	430	8.002,30
				<b>Totale:</b>	<b>38.685,30</b>

## AZIONE: IMPLEMENTAZIONE DI UN SISTEMA DI GESTIONE DELLE RETI ANTIGRANDINE E ANTINSETTO CON L'OBIETTIVO DI FAVORIRE IL RICICLO E RIUSO DEI POLIMERI

### 2.1 - ATTIVITA' E RISULTATI

Azione	Implementazione di un sistema di gestione delle reti antigrandine e antinsetto con l'obiettivo di favorire il riciclo e riuso dei polimeri
Unità aziendale responsabile	UNIBO
Descrizione delle attività	<p><b>Identificazione e classificazione dei materiali plastici utilizzati per realizzare reti antigrandine/antinsetto</b></p> <p>Le reti di plastica sono più spesso utilizzate in agricoltura, per la coltivazione di alberi da frutto, per riparare le colture da diversi fattori naturali, come grandine, insetti, vento e luce solare eccessiva. Il materiale, lo spessore e la dimensione delle maglie, gli additivi e il colore delle reti influenzano le loro proprietà meccaniche e ottiche, come la resistenza alla trazione, la durata, la porosità, il fattore di ombreggiatura e la trasmissione della luce. Di conseguenza, vengono selezionati in base alla funzione specifica delle reti. Questo ampio spettro di scelta rende le reti commerciali disponibili molto diverse. Grazie alla versatilità, la plastica è un materiale adatto per le reti, e in particolare l'HDPE è il materiale più diffuso per le reti agricole, seguito dal PP.</p> <p>Tuttavia, il crescente utilizzo di reti in plastica genera problemi legati alla gestione del fine vita di questi prodotti. Le tipiche problematiche legate al trattamento dei rifiuti plastici sono complicate dalle caratteristiche delle reti a fine vita. La durabilità delle reti è legata alla stabilità delle loro proprietà meccaniche agli agenti climatici, come i raggi UV, che ne determinano il degrado. Di conseguenza, la grande varietà di proprietà nette iniziali legate al loro diverso livello di degrado, in funzione della specifica esposizione climatica e del tempo di applicazione, determinano un flusso di rifiuti plastici altamente disomogeneo, per il quale non è possibile conoscere effettivamente le effettive proprietà degradate e che risultano difficile da riciclare senza generare una plastica riciclata con proprietà molto basse. Ne deriva che, anche se le reti agricole consentono di riparare gli alberi da frutto da diversi fattori naturali, spesso molto estremi a causa dei cambiamenti climatici, determinano un altro tipo di problema e impatto ambientale.</p> <p><b>Analisi delle soluzioni esistenti (in ottica di economia circolare) per il trattamento dei prodotti polimerici in relazione alle loro caratteristiche iniziali e a fine vita</b></p> <p>Lo scopo di questa attività è quello di valutare la fattibilità del riciclo meccanico di reti antigrandine e anti-insetto.</p> <p><u>Materiali studiati</u></p> <p>Sono stati forniti cinque campioni di reti per protezione di alberi da frutto (Figura 1) differenti per:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Produttore (A = Agrinova; H = Helios);</li><li>• Impiego (G = Antigrandine; I = Anti-insetto);</li><li>• Condizione di uso (M= Magazzino; U=Usata);</li><li>• Età (Espressa in Anni).</li></ul>





Figura 1. Campioni di rete studiati

#### Metodi e strumentazione

L'analisi FT- IR è stata effettuata mediante lo strumento Bruker Alpha, il software utilizzato per l'elaborazione degli spettri è Opus. Gli spettri risultanti sono stati ottenuti da 32 analisi in modalità ATR con cristallo di diamante su medesimo campione tra i 4000 cm<sup>-1</sup> e i 400 cm<sup>-1</sup>, la risoluzione impostata è di 4 cm<sup>-1</sup>. Gli spettri ottenuti vengono confrontati con il database certificato da Bruker.

L'analisi DSC è stata effettuata in atmosfera inerte (azoto) utilizzando uno strumento DSC Q2000 della TA Instruments equipaggiato con sistema di raffreddamento RCS e calibrato con standard di Indio ad elevata purezza nelle stesse condizioni di prova (20°C/min velocità di riscaldamento, stessa tipologia di pan di alluminio portacampione).

La programmata di temperatura prevede:

- I riscaldamento da -90 a 150°C (20°C/min)
- raffreddamento da 150 a -90°C (20°C/min)
- Il riscaldamento da -90 a 150°C (20°C/min)

L'analisi TGA è stata effettuata utilizzando uno strumento Netzsch TG 209 F1 Libra.

La programmata di temperatura prevede:

- riscaldamento da 40°C a 600°C (20°C/min) in atmosfera inerte (azoto)
- isoterma a 600°C per 5 minuti
- switch in atmosfera ossidante (aria)

L'analisi dinamico-meccanica è stata effettuata utilizzando una DMA 242 E Artemis della Netzsch, raffreddata ad azoto liquido. I provini sono stati testati con serraggio in dual cantilever, a 1Hz di frequenza, in un range di temperature da -160 a +60 °C con una rampa di riscaldamento di 3°C/min. I risultati sono stati elaborati tramite software Netzsch Proteus.

Le prove meccaniche di trazione in modalità sforzo/deformazione sono state effettuate mediante un dinamometro Remet TC 10 equipaggiato con cella di carico

da 10kN.

I campioni di rete sono stati compattati tramite utilizzo di una pressa idraulica a 2 piatti riscaldati della Monti Sistemi. Il materiale è stato tagliato in quadrati di circa 20cm di lato e sovrapposto in numero di 16 strati prima di venire processato in pressa a 50 Bar per 3 minuti alla temperatura di 140°C. I fogli risultanti, di uno spessore variabile tra 1 e 2.5mm, sono poi stati tagliati in riquadri di circa 1cm<sup>2</sup>.

Il processo di termoformatura è stato effettuato in pressa idraulica a 2 piatti riscaldati (Monti Sistemi) utilizzando uno stampo quadrato (dimensione 80x80 mm) in acciaio bonificato costituito da parte fissa e parte mobile.

Nello stampo sono stati inseriti 10g di scaglie di materiale polimerico ottenute dal processo di compattazione. La termoformatura è stata effettuata a 160°C mantenendo la pressione a 20 Bar per 2 minuti e poi a 10 Bar per 8 minuti.

Terminato il ciclo di lavorazione, lo stampo è stato estratto dalla pressa idraulica e lasciato raffreddare a temperatura ambiente prima di procedere al demolding. Dalle piastre ottenute (spessore tra 3 e 1.5 mm) sono stati ricavati, tramite fustellatrice, i provini per la caratterizzazione termico-meccanica.

Le scaglie di materiale polimerico sono state alimentate in un estrusore con vite monofilare di marca 3DEVO (The Netherlands) modello Composer 450. Lo strumento presenta quattro zone di temperatura controllabili indipendentemente, una vite ottimizzata per la miscelatura del materiale e un ugello da 4mm. Il raffreddamento del fuso in uscita dall'ugello viene effettuato tramite due ventole a flusso centrifugo contrapposte, con un cammino di raffreddamento tra ugello e tendifilo di 20cm. Per mantenere il controllo del diametro del filato estruso, impostabile tra 0.5 e 3mm, l'apparato è dotato di sensore a fotocellula collegato in retroazione al sistema tendifilo di avvolgimento della bobina, variando la velocità di quest'ultima per mantenere il diametro del filato omogeneo.

Per aumentare la qualità del filamento in termini di omogeneità del diametro, è stato necessario modificare il sistema di raffreddamento rimuovendo una delle due ventole e adottando un condotto di raffreddamento anulare realizzato in PLA+ (marca SUNLU) tramite stampante 3D Ender 3 Pro (Figura 2). La seconda ventola è stata rimossa dal suo supporto originario e installata sul condotto di raffreddamento.

*Fig. 2 - Condotto di raffreddamento anulare in PLA+.*



I filamenti sono stati alimentati a una stampante FDM a doppio ugello con cinematismo Core-XY Mustang M400 della Vepram–Vetoplast s.a.s. (Italia), avente un'area di lavoro utile di 280x220x200 mm.

Come software di slicing è stato impiegato il programma Simplify3D, mentre la creazione e la modifica dei modelli digitali è stata effettuata tramite il software CAD FreeCAD.

Al fine di ottenere una stampa ottimale, nel caso di filati molto disomogenei si è proceduto all'identificazione della porzione di filo più regolare lungo tutta la bobina tramite calibro centesimale, provvedendo poi ad isolare i segmenti utili per la stampa.

Risultati

Tutti i campioni di rete oggetto dello studio, risultano essere costituiti da numerosi filamenti di diversi colori. Per prima cosa è quindi stato necessario verificare la natura di tutti i filamenti costituenti ogni campione mediante analisi FT-IR in modalità ATR e Calorimetria Differenziale a Scansione (DSC).

Tali analisi, assieme a quella termogravimetrica (TGA), hanno permesso anche di confrontare le proprietà termiche delle reti tenute in magazzino, con quelle impiegate in maniera attiva sui campi per tempi prolungati (10 e 15 anni).

Durante il loro utilizzo, infatti, questi manufatti subiscono una costante esposizione all'ossigeno atmosferico, all'irraggiamento solare e sono sottoposti a sforzi meccanici discontinui dovuti agli agenti atmosferici che possono portare a una loro parziale degradazione. Questa compagine di fattori degradativi con effetto frequentemente sinergico (ad es. l'effetto combinato della radiazione UV e dell'ossigeno) fa sì che sia essenziale la presenza massiccia di additivi quali ad esempio stabilizzanti alla luce, come riportato in letteratura, per prolungare la vita di questi manufatti. Questo è anche uno dei motivi per cui è preferito l'uso di polimeri non biodegradabili, come l'etilene ad alta densità (HDPE) rispetto a materiali biocompatibili o compostabili come acido polilattico (PLA), policaprolattone (PCL), poliidrossibutirrato (PHB), avendo questi ultimi inferiori proprietà meccaniche e resistenza alla degradazione.

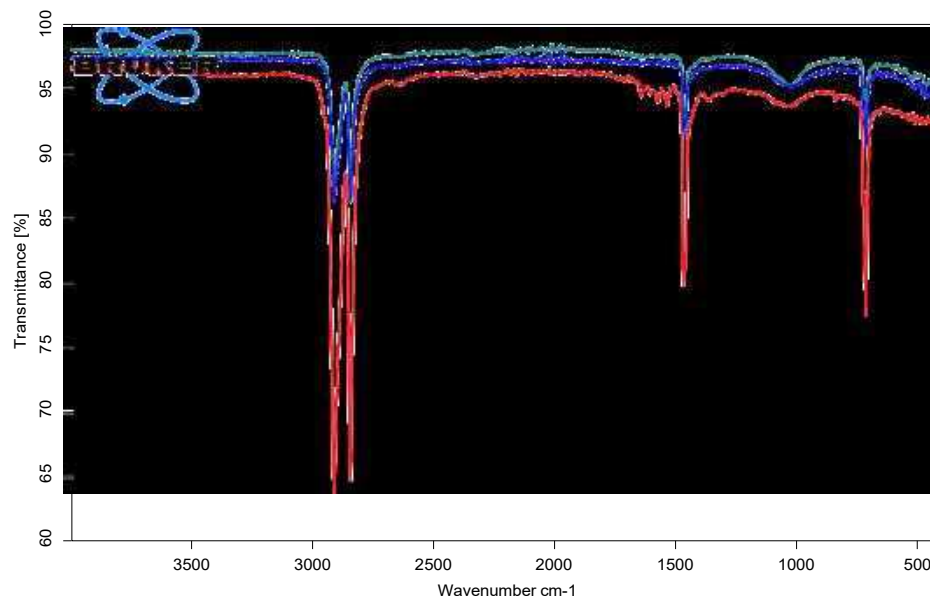
Inoltre l'impiego in ambito agricolo comporta il contatto dei materiali polimerici con prodotti chimici quali fertilizzanti, antiparassitari e agrofarmaci in generale, quasi sempre a carattere acido o precursori di specie acide. È stato dimostrato come l'interazione con questi prodotti vada a inibire, o quantomeno a ridurre, l'efficacia dell'azione protettiva svolta dagli additivi nei confronti della radiazione UV e dell'ossigeno atmosferico, causando un degrado più rapido delle proprietà meccaniche dei manufatti.

Gli spettri FT-IR in modalità ATR dei diversi filamenti colorati all'interno di ogni campione sono risultati praticamente sovrapponibili tra loro, confermando quindi che tutte le reti sono costituite da un unico materiale. Come esempio in Figura 3 sono riportati gli spettri dei filamenti costituenti il campione 3-AG-M-5. Inoltre tutte le reti risultano costituite dallo stesso materiale che da confronto degli spettri registrati con quelli noti in letteratura e forniti da un software di ricerca di spettri FT-IR supplied by Bruker, risulta essere polietilene (Figura 4).

In tutti gli spettri, infatti, si notano i seguenti segnali:

- 2850 e 2912 cm<sup>-1</sup> stretching dei CH alifatici;
- 1470 cm<sup>-1</sup> bending del CH<sub>2</sub> alifatici;
- 722 cm<sup>-1</sup> rocking dei CH<sub>2</sub>.

L'analisi FT-IR ha quindi messo in evidenza che tutte le reti in esame sono costituite da polietilene (PE).



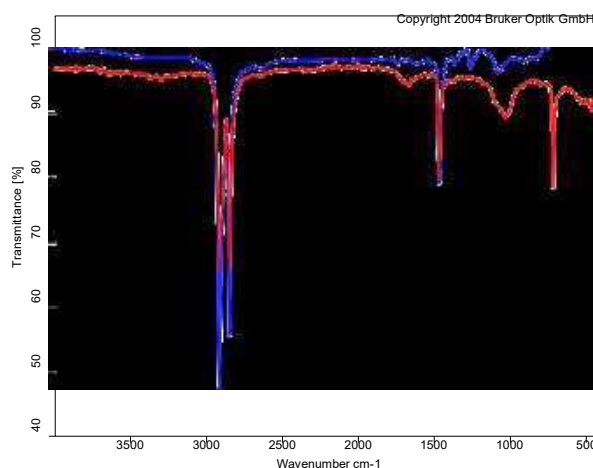
C:\OPUS_7.2.139.1294\MEAS\POLIMERI\Benelli\Giacomo G\003-AG-A-M-Nero.0	003	Instrument type and / or accessory	29/03/2022
C:\OPUS_7.2.139.1294\MEAS\POLIMERI\Benelli\Giacomo G\003-AG-A-M-Trasl.0	003	Instrument type and / or accessory	29/03/2022
C:\OPUS_7.2.139.1294\MEAS\POLIMERI\Benelli\Giacomo G\003-AG-M-A_Rosso.0	003-AG-M-A_Rosso	Instrument type and / or acce	30/03/2022

Figura 3. FT-IR in modalità ATR di tutti i filamenti che costituiscono il campione 3-AG-M-5.

OPUS/SEARCH

30/03/2022

C:\OPUS_7.2.139.1294\MEAS\POLIMERI\Benelli\Giacomo G\005-HG-U-B_Verde.0	005-HG-U-B_Verde	Instrument type and / or accessory
---	------------------	------------------------------------



Compound information  
 Name Spunbonded Olefin Polyethylene  
 Color white  
 Company Dupont Tyvek  
 Thickness 6mils

Spunbonded Olefin Polyethylene

Figura 4. Confronto dello spettro FT-IR in modalità ATR del campione 5-HG-U-10 con quello di un polietilene di riferimento del database dello strumento.

In particolare, come mostrato dall'analisi DSC, tutte le reti risultano essere costituite completamente da polietilene ad alta densità (HDPE). I termogrammi ottenuti, infatti, sono risultati molto simili tra loro (Figura 5 e Tabella 2) e mostrano, sia in I che in II riscaldamento, una transizione endotermica intorno ai 135°C, tipica della fusione della parte cristallina dell'HDPE.

La temperatura di transizione vetrosa del materiale (-120°C) non è stata determinata in quanto lo strumento utilizzato non permette di raffreddare al di sotto dei -90°C.

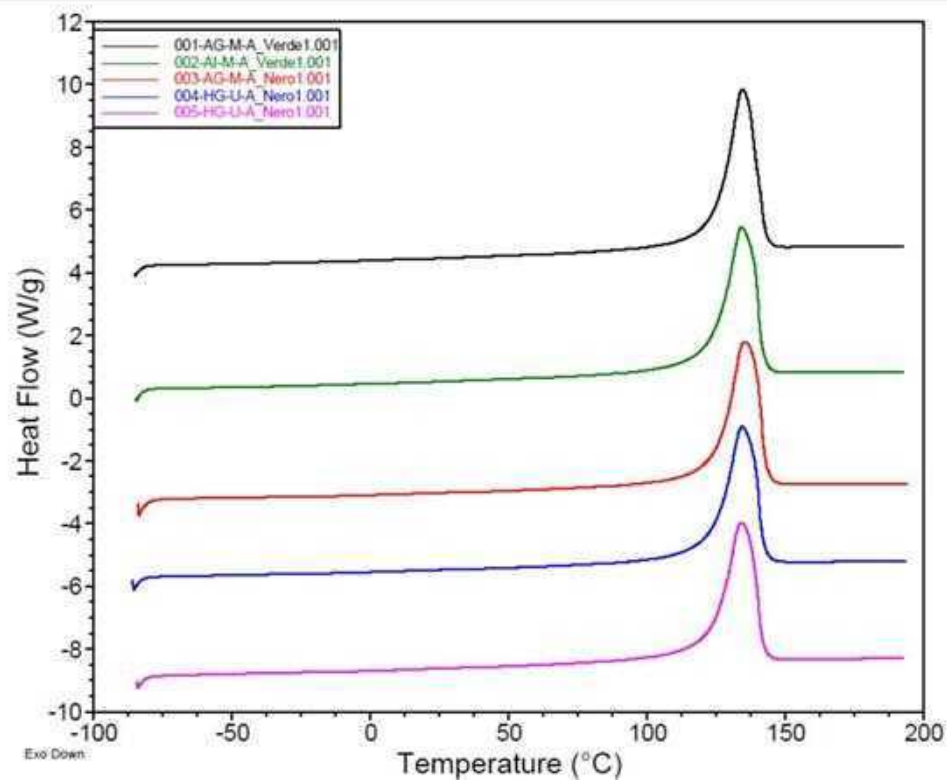


Figura 5. Termogrammi DSC (II riscaldamento) delle diverse reti in esame.

Tabella 2. Temperatura ( $T_m$ ) ed entalpia di fusione ( $\Delta H$ ) di tutti i fili costituenti le reti, ottenute da analisi DSC

Campione	I scan		II scan	
	$T_m$	DH	$T_m$	DH
<b>1-AG-M-5-trasl</b>	137	196	133	213
<b>1-AG-M-5-verde</b>	138	188	134	211
<b>2-AI-M-5-nero</b>	136	214	133	218
<b>2-AI-M-5-verde</b>	136	188	134	212
<b>3-AG-M-5-nero</b>	138	190	136	201
<b>3-AG-M-5-rosso</b>	134	177	133	194
<b>3-AG-M-5-trasl</b>	140	192	135	207
<b>4-HG-U-15-blu</b>	138	193	135	189
<b>4-HG-U-15-giallo</b>	136	193	133	195
<b>4-HG-U-15-nero</b>	140	198	134	197
<b>4-HG-U-15-trasl</b>	139	191	137	205
<b>4-HG-U-15-verde</b>	136	195	135	200
<b>5-HG-U-10-bianco</b>	141	185	135	209
<b>5-HG-U-10-nero</b>	137	182	134	201
<b>5-HG-U-10-rosso</b>	138	193	135	210
<b>5-HG-U-10-trasl</b>	137	192	134	208
<b>5-HG-U-10-verde</b>	138	186	139	206

I risultati dell'analisi DSC risultano quindi in accordo con quanto mostrato da quella FT-IR e confermano che tutte le reti sono costituite unicamente da filamenti di HDPE. È da notare che l'analisi non ha evidenziato differenze significative nelle proprietà termiche delle reti lasciate in magazzino (1-AG-M-5, 2-AI-M-5 e 3-AG-M-5) e quelle utilizzate sul campo anche per tempi lunghi (4-HG-U-15 e 5-HG-U-10) sia in termini di temperatura di fusione ( $T_m$ ) che di entalpia di fusione ( $\Delta H$ ). Sembra quindi che le condizioni di utilizzo non portino alla degradazione del materiale.

Le reti possono quindi essere riciclate insieme; il diverso colore comporterà, però, problematiche estetiche e di controllo qualità del colore. Ciò potrebbe essere risolto aggiungendo del pigmento nero.

Tutti i campioni sono stati caratterizzati anche mediante analisi TGA mostrando dei termogrammi praticamente sovrapponibili tra loro.

In particolare, come mostrato in Figura 6, tutti i campioni mostrano un'unica perdita di peso con temperatura di decomposizione ( $T_d$  onset) nel range 460-480°C (Tabella 3), in accordo con quanto previsto per l'HDPE. Tutti i campioni mostrano la stessa temperatura di decomposizione a prescindere dall'invecchiamento. Si nota inoltre che tutti i campioni mostrano un contenuto di ceneri inorganiche (cariche e pigmenti) simili, nel range 0.3-0.8% in peso.

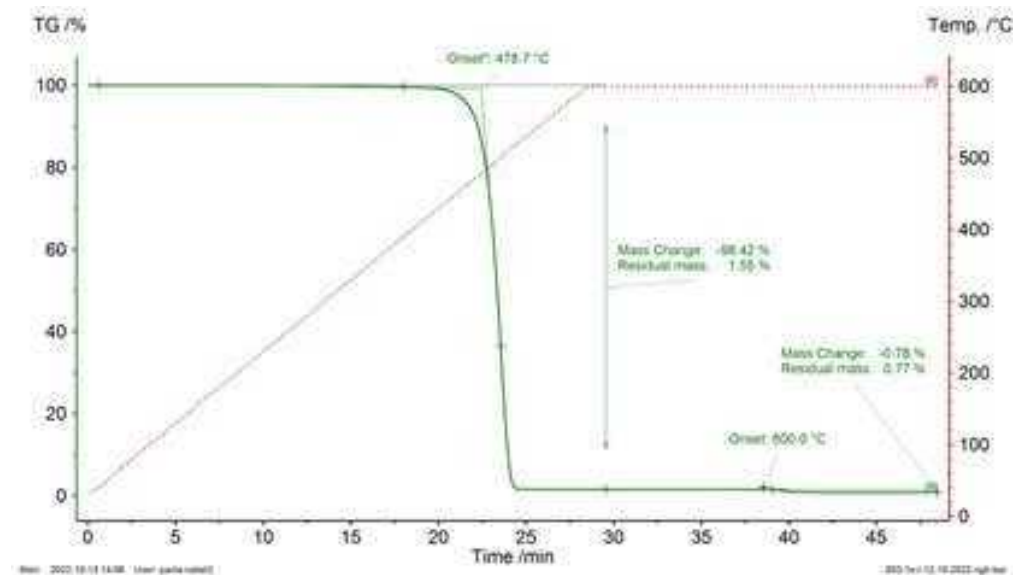


Figura 6. Termogramma TGA di 3-AG-M-5.

Tabella 3. Risultati delle analisi TGA

Campione	$T_d$ onset	Residuo %
1-AG-M-5	465	0.8
2-AI-M-5	479	0.5
3-AG-M-5	479	0.8
4-HG-U-15	482	0.4
5-HG-U-10	475	0.3

La mancanza di differenze tra i campioni stoccati in magazzino e quelli utilizzati sul campo, sia in termini di temperatura di decomposizione che di residuo %, suggerisce che le reti non abbiano subito processi degradativi significativi, in accordo con i risultati dell'analisi DSC.

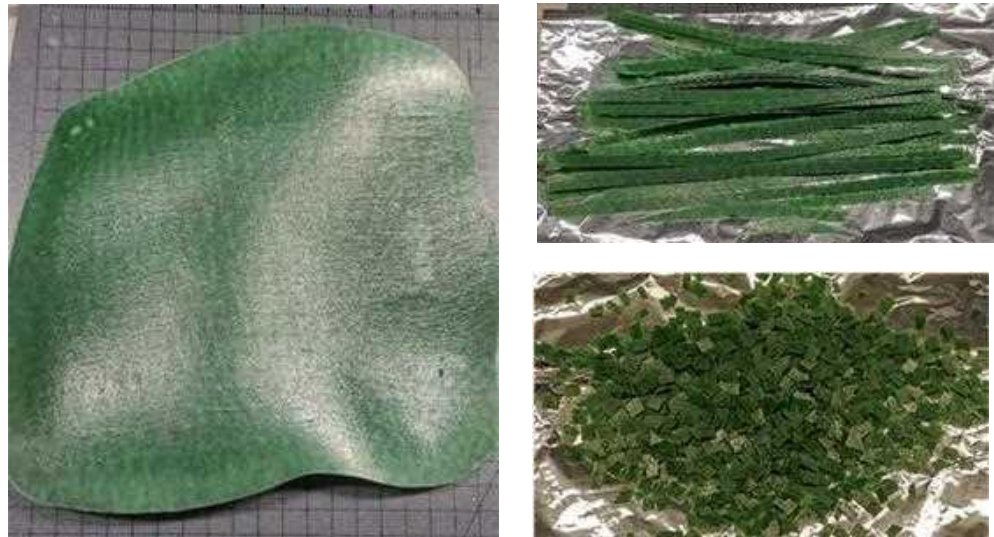
Potrebbero quindi essere riciclate tutte assieme, con la minima aggiunta di pigmento

nero per omogeneizzare il colore (fino a uno 0.4% w/w, mantenendo la % di cariche e pigmenti al di sotto del 1% w/w).

#### Prove di riciclo meccanico

Allo scopo di valutare la possibilità di riciclare le reti antigrandine e anti-insetto tramite riciclo meccanico, è stato necessario, per ogni batch, omogeneizzare e compattare i materiali.

Ogni campione in esame è stato quindi trattato in pressa a piatti caldi operante a temperature superiori alla fusione dell'HDPE ( $T_m = 140^\circ\text{C}$ ) senza necessità di pretrattamenti ulteriori. Le lastre così ottenute sono state ritagliate in frammenti di circa  $1\text{cm}^2$  per la successiva lavorazione (Figura 7).



*Figura 7. Lastre ottenute dal processo di compattazione che sono poi state tagliate fino a ottenere dei frammenti di circa  $1\text{cm}^2$ .*

I materiali sono poi stati processati tramite due approcci diversi:

- Una parte del materiale, è stato termoformato in stampo mediante pressa a caldo ottenendo in questo modo lastre omogenee che sono state caratterizzate dal punto di vista termo-meccanico.
- Il materiale restante è stato estruso tramite estrusore monovite al fine di ottenere un filamento utilizzabile in Additive Manufacturing (AM).

#### *Riciclo mediante termoformatura in stampo*

Per ogni campione sono state prodotte due piastre (dimensione  $80 \times 80\text{ mm}$ ) tramite processo di termoformatura in stampo (Figura 8).

Tutti i manufatti termoformati sono stati sottoposti ad analisi DSC e DMA, e a test di trazione allo scopo di verificare l'effetto del processo di formatura sulle proprietà termiche e meccaniche del materiale.

Confrontando i termogrammi DSC in II riscaldamento di ogni rete tal quale e dopo processo di compattazione e termoformatura, non si notano differenze significative per quanto riguarda temperatura ed entalpia di fusione (Tabella 4). Questi risultati suggeriscono che il processing delle reti non abbia indotto processi degradativi significativi. Inoltre le reti utilizzate sul campo anche per tempi lunghi (10-15 anni) mostrano le stesse proprietà termiche in termini di temperatura ed entalpia di fusione di quelle stoccate in magazzino.

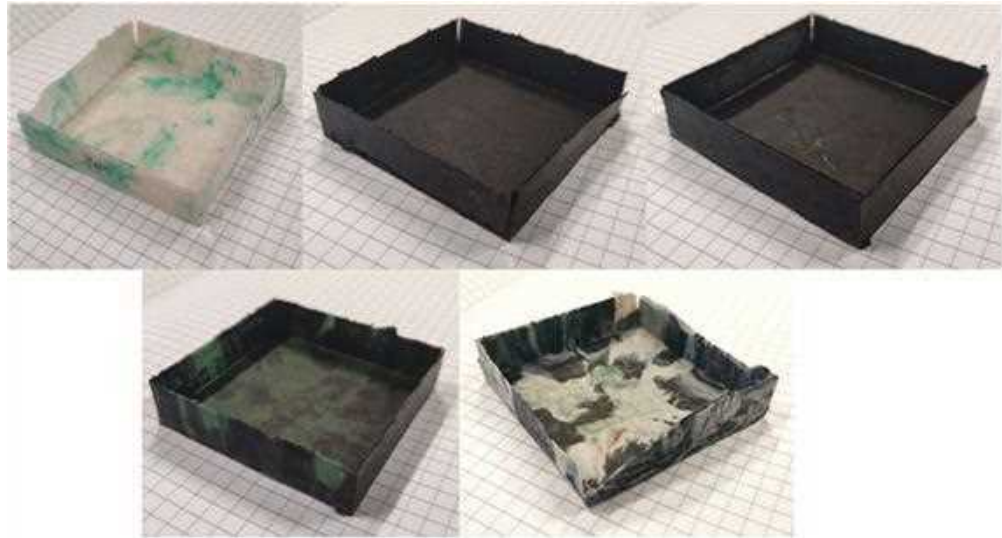


Figura 8. Campioni ottenuti dal processo di termoformatura in stampo.

Tabella 4. Dati DSC (Il riscaldamento) dei campioni prima e dopo riciclo tramite termoformatura in stampo

Campione	T <sub>m</sub>	Il scan	
		ΔH	
1-AG-M-5	134	211	
1-AG-M-5-term	137	201	
2-AI-M-5	134	212	
2-AI-M-5-term	138	198	
3-AG-M-5	136	204	
3-AG-M-5-term	139	200	
4-HG-U-15	134	199	
4-HG-U-15-term	136	191	
5-HG-U-10	134	199	
5-HG-U-10-term	136	200	

In Figura 9 sono mostrati i provini utilizzati per l'analisi DMA, effettuata in modalità dual cantilever (DCB). Questa ha permesso di determinare la temperatura di transizione vetrosa (T<sub>g</sub>) dei materiali in esame che, come mostrato in Figura 10, risulta per tutti i campioni termoformati intorno ai -128°C.



Figura 9. Provini per test di trazione.

Le analisi effettuate non hanno quindi evidenziato differenze nelle proprietà termiche dei campioni di HDPE riciclato mediante processo di termoformatura, nonostante le differenze di utilizzo (stoccaggio in magazzino o uso sui campi) e invecchiamento (5, 10 e 15 anni) delle reti di partenza.

Sono state infine eseguite le prove di trazione su provini ottenuti tramite fustellatrice a partire dai campioni termoformati (Figura 10).

Per ogni materiale sono stati analizzati almeno 5 provini e i risultati sono stati mediati.



Come esempio del comportamento dei materiali, in Figura 11 sono riportati le curve sforzo-deformazione ottenute per i provini del campione 1-AG-M-5.

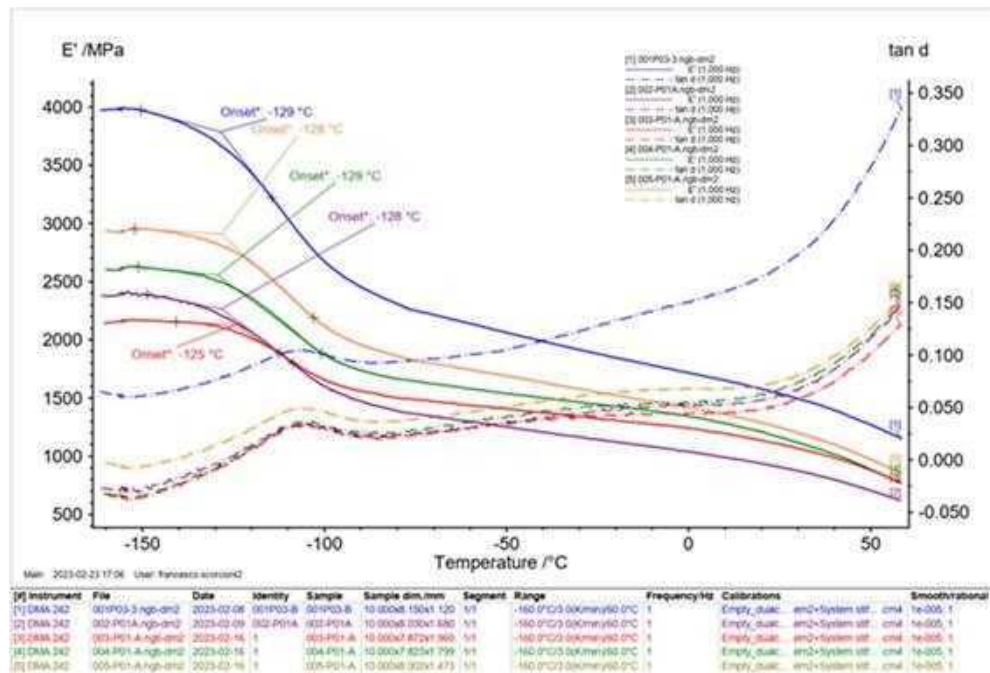


Figura 10. Spettri DMA dei campioni termoformati

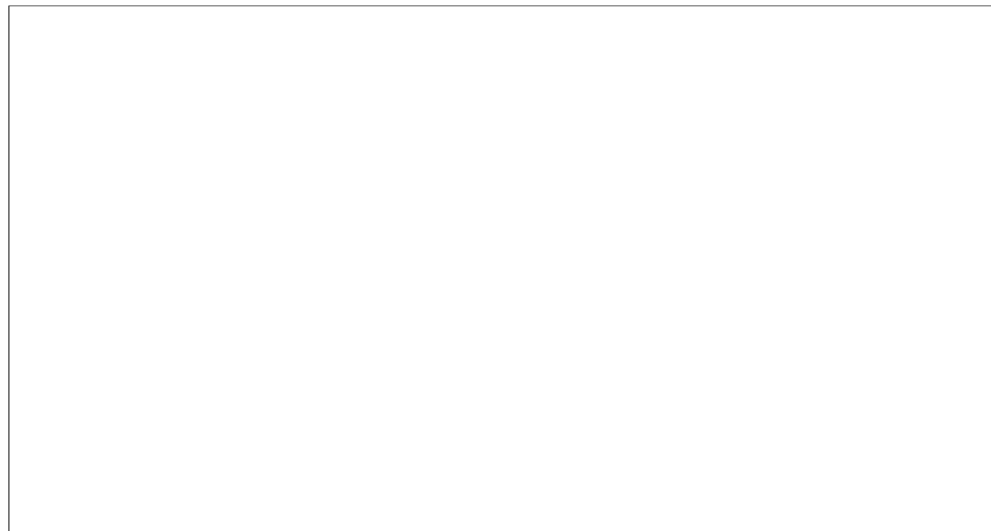


Figura 11. Confronto curve Sforzo – Deformazione delle prove di trazione campione 1-AG-M-5

Riportando in grafico il modulo elastico (Figura 12) si nota che tutti i campioni in esame mostrano valori diversi tra loro, legati probabilmente al materiale di partenza e al tipo di additivi utilizzati. Questi valori, però, sono comparabili a quelli riportati in letteratura per HDPE vergine che hanno naturalmente un range di proprietà meccaniche (minimo verde, massimo rosso) in funzione del peso molecolare e della polidispersità del polimero vergine.

È da sottolineare che la produzione industriale permetterà di ottimizzare il processo di termoformatura in pressa e di stampaggio ad iniezione, migliorando le proprietà ottenute.



*Figura 12. Modulo Elastico (MPa) ottenuto dalle prove di trazione*

Si nota inoltre che le reti che sono state utilizzate su campo per tempi prolungati (4-HG-U-15 e 5-HG-U-10), sono caratterizzate da moduli elastici più elevati rispetto a quelli stoccati in magazzino (1-AG-M-5, 2-AI-M-5 e 3-AG-M-5). Questo irrigidimento potrebbe anche essere dovuto all'esposizione del materiale alle condizioni atmosferiche.

#### *Riciclo mediante stampa 3D*

Per poter riciclare le reti tramite stampa 3D, per prima cosa è stato necessario estrudere i diversi materiali per ottenere i filamenti da alimentare alla stampante.

Durante il processo di estrusione sono state rilevate alcune difficoltà. In particolare il filato è risultato disomogeneo sia in termini di uniformità del diametro che di ovalizzazione del medesimo (Figura 13).



*Figura 13. Porzioni di estruso del campione 5-HG-U-10.*

Ciò comporta dei problemi nel momento in cui il filamento viene alimentato a una stampante FDM. L'omogeneità del diametro del filamento di alimentazione è infatti un fattore essenziale nel processo di stampa in quanto il software di slicing si basa proprio sul diametro del filo per determinare l'avanzamento del motore passo-passo dell'estrusore. Una disomogeneità nel filo può comportare una discontinuità nel

processo di alimentazione all'hot-end e la formazione di vuoti nello stampato, inficiando quindi la qualità di stampa e le proprietà finali del manufatto, sia dal punto di vista estetico, ma soprattutto da quello meccanico.

È stato quindi necessario ottimizzare il processo di filatura.

Per prima cosa è stato perfezionato il profilo di temperatura allo scopo di ottenere un fuso omogeneo ed è stata variata la velocità della vite. Purtroppo, nonostante i filamenti siano anche stati pellettizzati e sottoposti a estrusioni successive, non sono stati raggiunti i risultati sperati.

L'eccentricità del filato, presente in maniera estremamente consistente nelle prime prove, è stata ridotta notevolmente modificando il sistema di raffreddamento.

Allo scopo di far raffreddare più lentamente il fuso, sono state effettuate delle prove eliminando completamente il sistema di raffreddamento biassiale. Ciò ha però reso necessario di rallentare l'avanzamento della vite e quindi l'erogazione del materiale portando a un significativo aumento dei tempi di estrusione.

L'inserimento di un sistema di raffreddamento anulare ha permesso di migliorare in maniera significativa l'eccentricità del filato, aumentando al tempo stesso la velocità di estrusione e riportando quindi i tempi di processo a valori accettabili. In Figura 14 sono riportati i filamenti ottenuti per ogni singolo campione che sono stati poi alimentati alla stampante 3D per la produzione dei provini da analizzare mediante DSC, DMA e test in trazione.

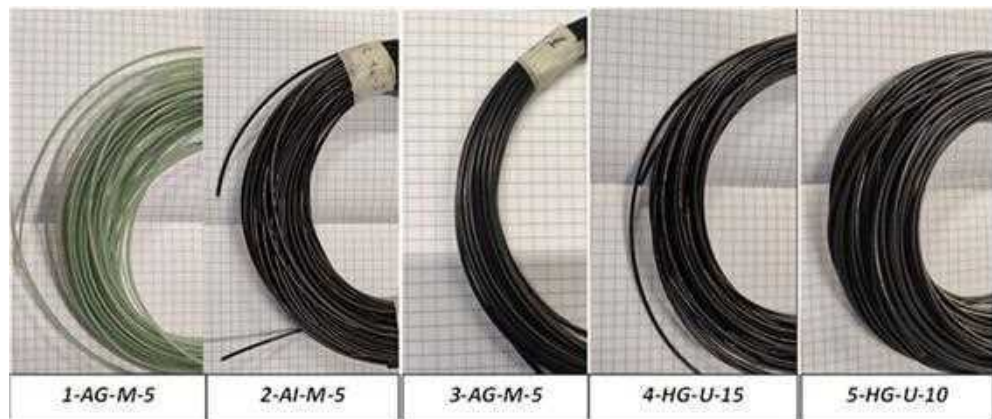


Figura 14. Filamenti ottenuti dalle prove di estrusione dei diversi campioni di rete.

Le prime prove di stampa effettuate hanno messo in evidenza che l'HDPE tende a dare marcati fenomeni di shrinkage durante il raffreddamento (Figura 15), che portano al distacco del pezzo dalla superficie di stampa.



Figura 15. Prove di stampa di HDPE vergine su vetro.

Questo fenomeno può essere limitato utilizzando una superficie di stampa a cui l'HDPE possa aderire bene e che quindi ostacoli il distacco del pezzo durante il raffreddamento. Come ampiamente riportato in letteratura, però, l'HDPE non aderisce sulle superfici di stampa più comunemente utilizzate nella stampa 3D, come Vetro, Vetro e lacca, Kapton Tape o Nastro di carta.

Sono stati effettuati numerosi tentativi adottando degli accorgimenti comunemente utilizzati nella stampa 3D per migliorare l'adesione dell'estruso al piano di stampa e diminuire la ritrazione durante il raffreddamento. Questi hanno compreso:

- l'utilizzo di collanti (Lacca spray, Collante Neoprenico) e nastro di carta per migliorare l'adesione al piano;
- riduzione della velocità di avanzamento della testa;
- adozione di un bordo (brim) al profilo del provino per aumentare la superficie aderente al piano;
- ottimizzazione della geometria del provino per minimizzare i cambi di direzione della testa durante la stampa del primo strato;
- aumento della rugosità della superficie di stampa tramite trattamento con carta abrasiva;
- ottimizzazione della temperatura della testa di deposizione per aumentare la fluidità del fuso;
- ottimizzazione del sistema di raffreddamento;
- ottimizzazione del percorso di stampa del riempimento (infill diagonale al posto di infill rettilineo) (Figura 16).

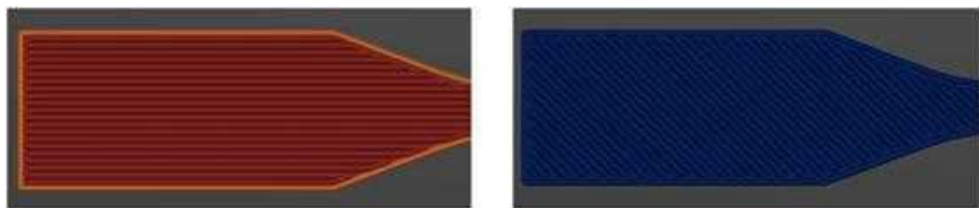


Figura 16. Infil rettilineo (sx) e diagonale (dx).

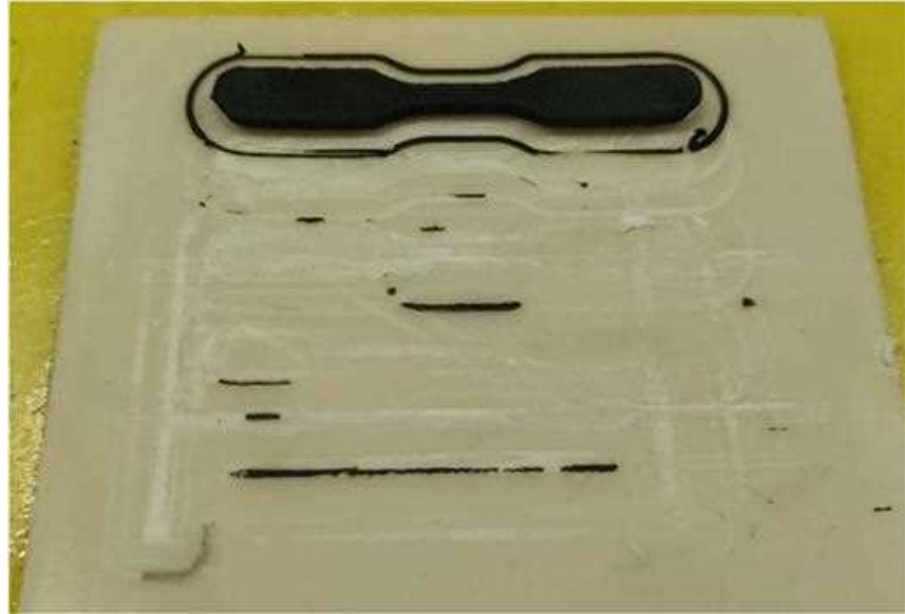
Come si può notare dalle immagini riportate in Figura 17, purtroppo tutti questi accorgimenti hanno portato solo a parziali miglioramenti della qualità di stampa dei provini.



Figura 17. Prove di stampa utilizzando accorgimenti per aumentare l'adesione del materiale alla superficie e limitare lo shrinkage.

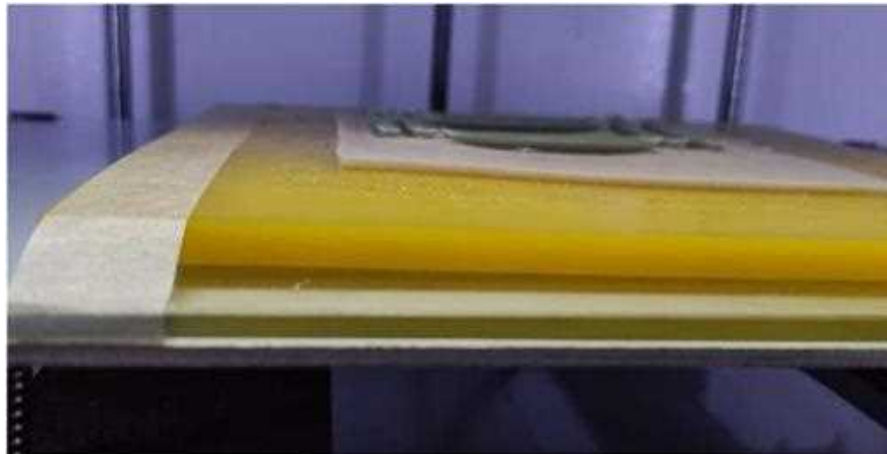
I risultati migliori sono stati ottenuti effettuando la stampa direttamente su dei tappetini di SBS (elastomero termoplastico, Shore 70, spessore 3mm) fissato tramite nastro biadesivo al vetro del piano di stampa. Purtroppo l'adesione dell'HDPE a

questo materiale risulta talmente elevata da portare a problemi di distacco alla fine del processo e consumo della superficie a seguito di stampe ripetute (Figura 18).



*Figura 18. Superficie di SBS usurata dopo ripetute stampe.*

Ciò ha reso difficile anche mantenere la superficie di stampa adesiva al piano riscaldato, necessitando dell'aggiunta di un ulteriore tappetino di gomma (spessore 8mm) incollato all'SBS tramite collante neoprenico, fissato a sua volta al piano tramite nastro biadesivo (Figura 19).



*Figura 19. Superficie di stampa costituita da tappetino in SBS (spessore 3mm) incollato con colla neoprenica su tappetino di gomma (spessore 8mm) fissato al piano tramite nastro adesivo.*

Seppur coadiuvata dall'aggiunta di ulteriori porzioni di nastro di carta, la stampa contemporanea di un quantitativo elevato di provini ha portato ad un sollevamento della superficie totale. È stato quindi necessario continuare le prove di stampa limitandosi alla creazione di un solo provino alla volta.

Definita la superficie di adesione migliore, è stato ottimizzato il profilo di stampa per limitare il più possibile lo shrinkage dell'HDPE e mantenere di conseguenza accuratezza dimensionale dei manufatti stampati.

Come verificato durante le prove di adesione, la variazione di velocità della testa di deposizione non influisce in alcun modo sulla deformazione innescata dal

raffreddamento dell'HDPE.

Lo spegnimento completo della ventola di raffreddamento e la rimozione del condotto hanno permesso di evitare che lo shrinkage eccessivo causato dal cambio di temperatura repentino portasse ad un sollevamento delle estremità del provino che andavano conseguentemente ad impattare sul secondo ugello della testa di deposizione durante il movimento di quest'ultima. Ciò dava origine alla formazione di artefatti nel provino che avrebbero potuto incidere sulla caratterizzazione meccanica successiva.

Un risultato estremamente positivo per la riduzione dello shrinkage è stato il cambio della geometria dell'infill. Passando da un infill rettilineo a uno inclinato a  $+45^{\circ}/-45^{\circ}$  a strati alterni, si è ottenuto una riduzione considerevole dei fenomeni di deformazione, come osservabile in Figura 20.



Figura 20. Campione 1-AG-M-5 stampato con infill diagonale.

Un altro risultato positivo nella riduzione dello shrinkage e nel mantenimento dell'accuratezza dimensionale dei provini, si è avuto adottando un moltiplicatore di estrusione (Extrusion multiplier) variabile a seconda del layer. Per compensare la ritrazione del materiale negli strati superiori, agevolata dalla non adesione a una superficie vincolante come il piano di stampa per il primo strato, si è proceduto ad adottare un incremento della quantità proporzionale di fuso depositato in maniera crescente per 7 layer successivi al primo, passando dal 100% del primo strato al 107% per lo strato numero 8. Unitamente al cambio di geometria del riempimento, questo accorgimento ha permesso di eliminare quasi totalmente lo shrinkage dei provini durante la stampa e il raffreddamento.

Un problema riscontrato in alcune stampe è stata la formazione di difetti sui provini, imputabile a una deposizione non ottimale del fuso causata da una geometria non omogenea del filato di alimentazione. Questo ha causato la formazione di cavità all'interno e sulla superficie del provino, come si può notare nella Figura 21.



Figura 21. Provino di 3-AG-M-5 prodotto con filamento non sufficientemente regolare

Per evitare fenomeni di questo tipo si è cercato di alimentare alla stampante filamenti con dimensioni più costanti possibili, sia in termini di diametro che di eccentricità della sezione.

In questo modo è stato possibile stampare una serie di provini per tutti i campioni di rete in esame (Figura 22).

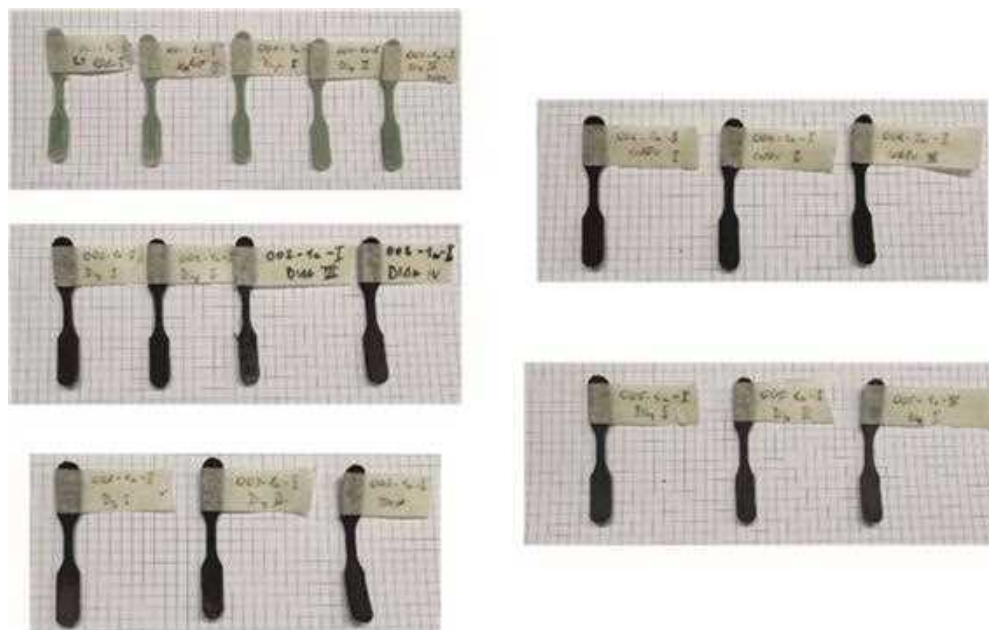


Figura 22. Provini ottenuti mediante stampa 3D.

Sia i filamenti (-F) che i provini stampati (-3D) sono stati caratterizzati mediante analisi DSC (Tabella 5).

I termogrammi DSC in II riscaldamento dei campioni tal quali (Allegato 2), dei filamenti e dei provini stampati 3D (Allegato 7) risultano praticamente sovrapponibili tra loro: la temperatura di fusione rimane costante mentre si nota solo una leggera diminuzione dell'entalpia di fusione dopo il processo di stampa 3D.

Tabella 5. Dati DSC (II riscaldamento) di filamenti e stampati a confronto

Campione	II scan	
	$T_m$	$\Delta H$
1-AG-M-5-F	136	216
1-AG-M-5-3D	135	205
2-AI-M-5-F	135	210
2-AI-M-5-3D	135	210
3-AG-M-5-F	137	214
3-AG-M-5-3D	138	212
4-HG-U-15-F	135	206
4-HG-U-15-3D	134	200
5-HG-U-10-F	134	210
5-HG-U-10-3D	134	192

Come esempio in Figura 23 sono stati riportati i termogrammi relativi al campione 1-AG-M-5 tal quale, dopo estrusione (filamento) e dopo stampa 3D. Questi risultati suggeriscono che il processing necessario per il riciclo meccanico delle reti mediante stampa 3D non abbia indotto processi degradativi significativi. Inoltre le reti utilizzate sul campo anche per tempi lunghi mostrano le stesse proprietà termiche in termini di temperatura ed entalpia di fusione di quelle tenute in magazzino.

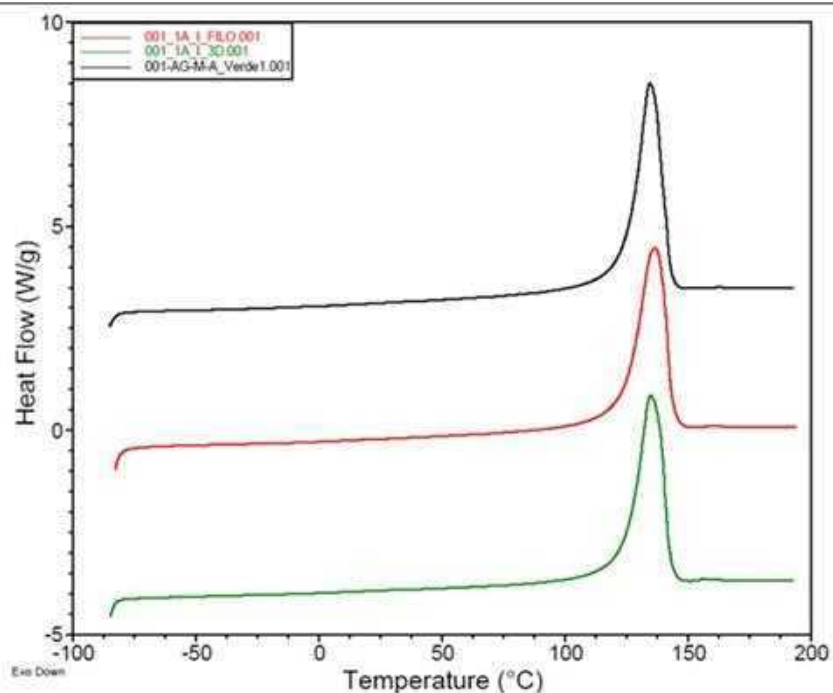


Figura 23. Termogrammi DSC (Il scansione) del campione 1-AG-M-5 tal quale (nero), dopo estrusione (rosso) e dopo stampa 3D (verde).

Tutti i campioni sono stati sottoposti anche ad analisi TGA. Come riportato in Tabella 6, le temperature di decomposizione e i residui % ottenuti risultano praticamente identici a quelli ottenuti per le reti non processate (Tabella 4). Questi risultati, assieme a quelli delle analisi DSC, suggeriscono che il processo di estrusione e stampa 3D non abbiano portato a degradazione del materiale.

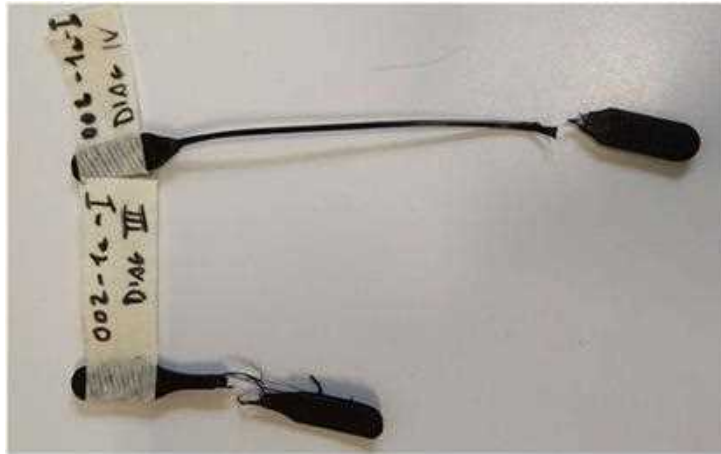
Tabella 6. Risultati delle analisi TGA

Campione	T <sub>d</sub> onset	Residuo
1-AG-M-5	465	0.8
1-AG-M-5-F	466	0.7
1-AG-M-5-3D	465	0.8
2-AI-M-5	479	0.5
2-AI-M-5-F	479	0.4
1-AG-M-5	47	0.4
3-AG-M-5	479	0.8
3-AG-M-5-F	479	0.9
3-AG-M-5-3D	478	0.6
4-HG-U-15	482	0.4
4-HG-U-15-F	476	0.6
4-HG-U-15-3D	482	0.7
5-HG-U-10	475	0.3
5-HG-U-10-F	476	0.8
5-HG-U-10-3D	475	0.5

I provini stampati sono infine stati sottoposti a prove di trazione.

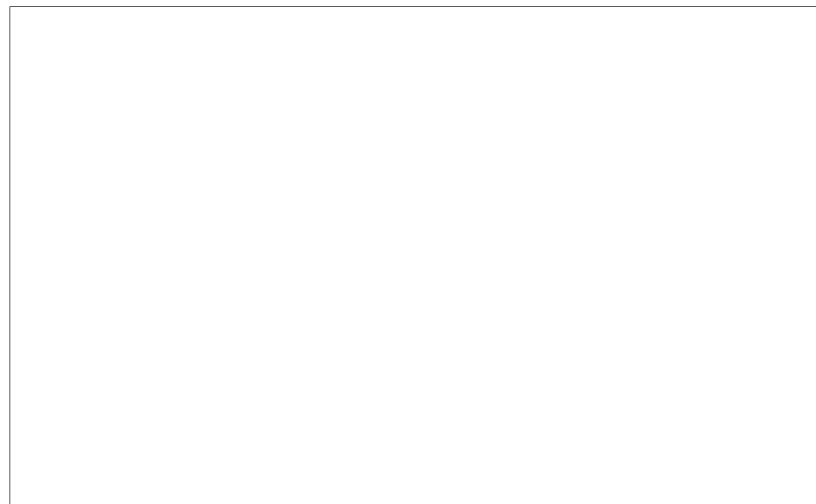
Queste hanno evidenziato però una mancanza di riproducibilità tra un provino e l'altro. Come si può notare in Figura 24, infatti, alcuni provini hanno mostrato rottura plastica, con allungamento % estremamente elevato, altri rottura più fragile, con allungamenti ridotti. Ciò può essere dovuto a difetti di stampa e in particolare ad una ridotta adesione tra i diversi layers.





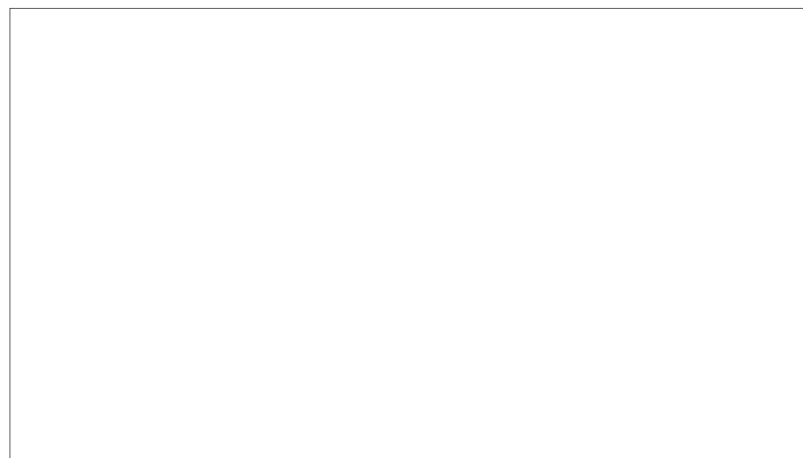
*Figura 24. Provini stampati 3D del campione 1-AG-M-5 dopo test di trazione.*

Confrontando le diverse reti in esame, non si notano significative differenze nel valore di modulo elastico ottenuto (Figura 25).



*Figura 25. Modulo elastico dei provini stampati 3D.*

Questi valori, però, risultano molto più bassi rispetto a quelli riportati in letteratura per HDPE vergine e quelli ottenuti dagli stessi materiali dopo processo di termoformatura (Figura 26).



*Figura 26. Confronto del modulo elastico dei provini ottenuti da stampa 3D (blu) e per termoformatura (arancione).*

Ciò può essere dovuto in parte all'anisotropia data dalla stampa con infill diagonale, ma è anche indice della presenza di difetti dovuti al processo di stampa. L'utilizzo di filamenti con diametri non omogenei, infatti, può portare alla formazione di microcavità all'interno del provino non visibili ad una prima ispezione superficiale e, in generale, a una deposizione irregolare del fuso e quindi a una adesione non ottimale tra i layer.

### Conclusioni

Lo studio effettuato ha dimostrato che il riciclo meccanico di reti antinsetto e antigrandine utilizzate comunemente in agricoltura è fattibile e porta all'ottenimento di un materiale con proprietà simili a quello vergine e quindi riutilizzabile per la produzione di altri manufatti.

In particolare è stato dimostrato che:

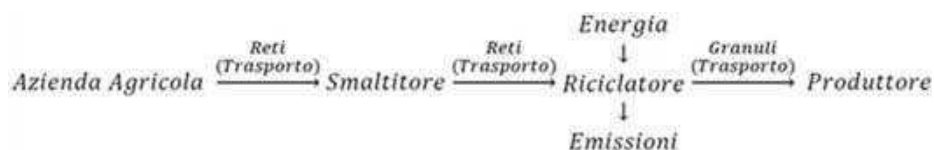
- Le reti investigate rimaste in campo per 10-15 anni hanno lo stesso comportamento chimico e termo-meccanico di quelle mantenute in magazzino per 5 anni. Tutte le reti possono quindi essere riciclate assieme e additivate di un pigmento nero per eliminare problemi estetici;
- I processi impiegati (granulazione, estrusione, termoformatura e stampa 3D), necessari per il riciclo meccanico delle reti, non degradano il materiale;
- I provini di materiale riciclato ottenuti per termoformatura mostrano ottima qualità superficiale ed estetica e proprietà termomeccaniche simili tra loro e con quelle riportate in letteratura per HDPE vergine;
- Le reti riciclate possono ritrovare applicazioni in agricoltura e nel settore ortofrutta in sostituzione del HDPE vergine;
- Il processo di filatura per estrusione e la successiva stampa 3D necessitano di ottimizzazione mediante l'utilizzo di estrusori più performanti (industriali: bivate, ecc.) e stampanti a granuli oltre che a filamento.

Un ulteriore sviluppo del processo potrebbe prevedere prove preliminari di riciclo termochimico delle frazioni di reti che non siano riciclabili meccanicamente, ad esempio mediante processo pirolitico come mostrato di seguito. In questo caso la frazione condensabile potrebbe essere utilizzata per il recupero di chemicals da riutilizzare nell'industria chimica, mentre quella gassosa potrebbe essere impiegata come fuel.



### Fattibilità tecnico-economica

Attualmente in Emilia-Romagna non esiste un sistema dedicato per la raccolta delle reti antigrandine e antinsetto. Nel momento in cui un'azienda agricola ha la necessità di smaltire delle reti dismesse, è costretta a contattare uno degli enti privati autorizzati allo smaltimento. Previo pagamento di una certa tariffa, essi si occupano del ritiro del materiale e del suo successivo avviamento agli impianti di riciclaggio, secondo il seguente schema di funzionamento:



Un agricoltore che intende smaltire il proprio impianto antigrandine (480 kg/ha) o antinsetto (670 kg/ha), dovrà quindi contattare una delle aziende che si occupa del ritiro di questi rifiuti. Prendendo come riferimento la tariffa di 30€ quintale, il costo sarà quindi di 144 – 200 € per ogni ettaro di impianto dismesso. Se paragonato al costo di acquisto di tali impianti, che indicativamente partono dai 22-24 mila € (Corradi, 2013), si tratta comunque di una cifra minima e facilmente sostenibile.

### Riciclo meccanico

I costi delle operazioni di raccolta, separazione, trasporto e riciclaggio di molti polimeri vengono controbilanciati dai potenziali ricavi derivanti dalla vendita di materiale riciclato nel mercato. La frazione di materiale che per contaminazione o degradazione non può essere riciclata, viene generalmente mandata a incenerimento o purtroppo esportata all'estero.

Il polietilene ad alta densità è uno dei polimeri più proficui e diffusi in termini di riciclabilità.

Il riciclo meccanico delle reti antigrandine e antinsetto è una pratica attualmente in uso e per tale motivo si può dedurre che sia proficuo per gli smaltitori e i riciclatori coinvolti nel processo.

Le reti vengono quindi stoccate e poi inviate a impianti di riciclaggio di materie plastiche, affinché vengano macinate ed estruse in granuli.

Il materiale così ottenuto viene quindi inviato alle industrie che si occupano della produzione e della lavorazione di manufatti in plastica.

Se si considera una tariffa di smaltimento di 30€ a quintale, le potenziali 780 tonnellate di reti di scarto potrebbero generare un totale di 230.000€ di fatturato ogni anno.

Il polietilene ad alta densità viene venduto a partire da 1-1.50€/kg (PlasticPortal, 2021) (Plasticker, 2021), mentre il polimero riciclato si attesta intorno ai 0.50-0.80€/kg (RecycleInMe, 2021) (Recycling Today, 2021) (Plasticker, 2021)

Considerando il prezzo minimo di rivendita del HDPE di 500€ a tonnellata ed una riciclabilità del 90%, l'indotto generato dal riciclaggio delle 780 tonnellate di reti ogni anno potrebbe essere di 351.000€.

La somma del fatturato annesso allo smaltimento e alla vendita del polimero riciclato si attesta quindi intorno ai 570.000€/anno.

### Termovalorizzazione

Gli impianti di termovalorizzazione possono avere un significativo vantaggio in termini di costi rispetto ai tradizionali impianti termoelettrici, in quanto l'operatore di termovalorizzazione ha un guadagno sia dallo smaltimento dei rifiuti, sia dalla produzione elettrica.

Il costo del carburante può rappresentare fino al 45 percento del costo per produrre elettricità in una centrale a carbone e il 75 percento o più del costo in un impianto alimentato a gas naturale.

L'impiego di materiale plastico innalza sensibilmente il potere calorifico dei rifiuti inceneriti, migliorandone quindi l'efficienza.

Il conferimento di rifiuti agli impianti di incenerimento risulta però più costoso del riciclaggio e si attesta intorno ai 100-150€/tonnellata. (Stato Quotidiano, 2016) (ATO-R, 2017) (Regione Veneto, 2019)

#### Riciclo chimico

Il costo e la complessità sono i principali fattori negativi: un impianto di riciclaggio chimico ha un CAPEX molto più elevato rispetto a un impianto di riciclaggio meccanico di capacità comparabile. Un regime di tassazione dell'impronta di carboni aumenterebbe il costo della produzione di resina vergine, ma anche così, un tipico progetto di riciclo chimico faticerebbe a soddisfare il ritorno dell'investimento necessario per la maggior parte delle aziende. (IHS Markit, 2019)

A livello economico, questo processo conviene quindi solo a quelle industrie chimiche che hanno già gli impianti necessari, e i campi in cui vale la pena applicare questo metodo risultano tutto sommato pochi (PET, poliammidi, policarbonati).

Tuttavia in futuro, l'aumento delle tariffe di responsabilità estesa del produttore (EPR) e di altre forme di tassazione delle materie plastiche fossili, combinato con il miglioramento dei processi di riciclo chimico, potrebbe permettere la diffusione su larga scala di questa pratica.

#### **Valutazione degli impatti ambientali**

Alle analisi tecnico-economiche precedenti è stata associata la valutazione degli impatti ambientali per il riciclo meccanico e il riciclo chimico a confronto alle modalità di gestione tipicamente utilizzate, ossia termovalorizzazione e discarica.

#### Termovalorizzazione

I termovalorizzatori causano meno inquinamento atmosferico degli impianti a carbone, ma più degli impianti a gas naturale. Allo stesso tempo, l'incenerimento ha un impatto climalterante inferiore rispetto allo stoccaggio in discarica: la trasformazione dei rifiuti in carburante non rilascia nell'aria metano come avviene invece per la decomposizione dei rifiuti nelle discariche (POWERmagazine, 2016).

Gli impianti di termovalorizzazione vengono progettati per ridurre l'emissione di inquinanti nei fumi scaricati in atmosfera, quali ossidi di azoto, ossidi di zolfo e particolato solido, e per distruggere gli inquinanti già presenti nei rifiuti, mediante misure di controllo dell'inquinamento come filtri a maniche, scrubber e precipitatori elettrostatici. L'alta temperatura, l'efficienza di combustione, il lavaggio dei gas di scarico e i controlli possono ridurre significativamente le emissioni di inquinanti atmosferici.

La combustione dei rifiuti urbani produce quantità significative di diossine e furani rispetto alla generazione di energia con impianti termoelettrici a carbone o gas naturale. Diossine e furani sono sostanze pericolose per la salute umana, in quanto cancerogene e interferenti con l'apparato endocrino. Tuttavia, i progressi nei progetti di controllo delle emissioni, le nuove normative governative molto rigorose e l'opposizione dell'opinione pubblica hanno causato una drastica riduzione della quantità di diossine e furani prodotti dagli impianti di termovalorizzazione.

Le diossine sono sostanze particolarmente stabili e resistenti, ma a temperature superiori agli 800°C esse si degradano perdendo la loro pericolosità, per cui munendo i termovalorizzatori di un camino che raggiunga certe temperature si riesce a minimizzare il problema. Oggi i prodotti in uscita dal camino del termovalorizzatore sono prevalentemente CO<sub>2</sub> e vapor d'acqua. I dati delle emissioni dei vari inceneritori sono spesso pubblicamente disponibili come avviene per i due termovalorizzatori presenti a Forlì (HERAmbiente, s.d.) (EcoEridania, s.d.).

Gli impianti di termovalorizzazione producono ceneri leggere e pesanti come avviene per la combustione del carbone. La quantità totale di ceneri prodotte dai

termovalorizzatori varia dal 15% al 25% in peso della quantità originaria di rifiuti, e le ceneri leggere ammontano a circa il 10%-20% delle ceneri totali. La cenere volatile costituisce di gran lunga il maggior pericolo per la salute umana (rispetto alla cenere pesante) perché contiene metalli tossici quali piombo, cadmio, rame e zinco, nonché piccole quantità di diossine e furani. La cenere pesante può contenere o meno livelli significativi di sostanze pericolose per la salute.

La legge richiede che le ceneri siano testate per la tossicità prima dello smaltimento nelle discariche. Se le ceneri risultano pericolose, possono essere smaltite solo in discariche accuratamente progettate per evitare che gli inquinanti possano raggiungere le falde acquifere sotterranee.

#### Riciclo chimico

Il riciclo chimico è molto energivoro e ha multiple richieste energetiche intrinseche e ausiliari, rendendola una tecnologia non sostenibile. Anche se i prodotti vengono bruciati per energia, non esiste attualmente una tecnologia di riciclo chimico che consenta di ottenere un bilancio energetico positivo (Rollinson & Oladejo, 2020).

La gassificazione di materie prime plastiche è associata alla produzione di ftalati, BPA, composti bromurati tossici e IPA - molti dei quali sono mutageni, cancerogeni e dannosi per i sistemi respiratorio o neurologico. (Verma, Vinoda, Papireddy, & Gowda, 2016)

È anche noto che la pirolisi crea prodotti organici tossici e i fattori di emissione di IPA mutageni dal polietilene aumentano notevolmente con temperature superiori a 700°C (Rollinson & Oladejo, 2020).

#### Riciclo meccanico

Il riciclo meccanico richiede preliminarmente la raccolta e la movimentazione di voluminose quantità di plastica. In particolare la raccolta e la movimentazione richiedono l'utilizzo di mezzi stradali che consumano carburante e producono emissioni nocive.

I processi di selezione e lavaggio richiedono flussi costanti di acqua che, anche se depurata, causa l'immissione nell'ambiente di sostanze contaminanti quali microplastiche, metalli pesanti e composti organici.

Il processo di macinatura ed estrusione comporta invece il consumo di energia elettrica convertita in forma di lavoro meccanico e calore.

#### LCA: Confronto tra riciclo chimico, riciclo meccanico, incenerimento e discarica

Riciclo meccanico, riciclo chimico e termovalorizzazione comportano tutti l'emissione di sostanze inquinanti e l'utilizzo di energia elettrica e combustibili in quantità variabili. Allo scopo di determinare quale delle tre soluzioni comporta l'impatto ambientale minore, sono stati identificati ed analizzati 11 studi LCA presenti in letteratura. Questi studi sono stati scelti in quanto comparano almeno un metodo di riciclaggio chimico, termovalorizzazione e riciclo meccanico. Gli studi individuati considerano l'efficienza energetica nonché l'emissione di sostanze climalteranti e inquinanti.

Dall'analisi delle conclusioni derivanti dagli 11 documenti LCA esaminati sono emersi alcuni punti in comune.

Per gli studi LCA che hanno modellato utilizzando il metodo di modellazione di tipo comparativo, un confronto diretto tra riciclaggio meccanico, riciclaggio chimico e incenerimento, mostra che:

- il riciclaggio meccanico di solito funziona meglio del riciclaggio chimico
- qualsiasi processo di riciclaggio funziona meglio dell'incenerimento
- la termovalorizzazione è più performante della discarica.

Basandosi su questa conclusione, un'ulteriore scoperta chiave di molti dei modelli combinati è che il riciclaggio chimico è una buona opzione per supportare i processi di riciclaggio meccanico. Ad esempio, utilizzando tecniche di riciclaggio chimico per i

rifiuti di plastica che il riciclaggio meccanico non è in grado di gestire, come le pellicole di plastica o i multimateriali. Ciò rafforza ulteriormente la necessità di allontanarsi da LCA comparativi di riciclaggio meccanico e chimico per muoversi verso studi di LCA combinati che determinano il potenziale d'uso del riciclaggio chimico con altri processi di gestione dei rifiuti di plastica.

Quando i processi di riciclaggio chimico vengono confrontati tra loro, la pirolisi è la tecnologia consigliata più frequentemente. Tuttavia la pirolisi è anche la tecnica di riciclo chimico che viene modellata più frequentemente, oltre ad essere il processo con il maggior numero di risultati di ricerca. Ciò indica una potenziale distorsione o incompletezza del corpo dei risultati e dei dati, poiché sono disponibili più dati sulla pirolisi rispetto ad altri metodi di riciclaggio chimico. È necessaria quindi una maggiore modellizzazione delle altre tecniche di riciclaggio chimico, in modo da costruire un quadro più equilibrato degli impatti di tutti i metodi di riciclaggio chimico (gassificazione, idrocracking e depolimerizzazione).

Per quanto riguarda la prospettiva combinata di prodotti e rifiuti, uno studio ha evidenziato come il riciclaggio chimico per pirolisi abbia un impatto sul cambiamento climatico leggermente superiore (7%) rispetto al riciclaggio meccanico, ma inferiore del 42% rispetto all'opzione di recupero energetico. La maggior parte degli altri impatti considerati, tra cui l'acidificazione, l'eutrofizzazione, la formazione di ozono fotochimico, risultano invece significativamente più elevati per il riciclo chimico rispetto al riciclaggio meccanico e al recupero energetico a causa della richiesta elevata di energia nei processi di pirolisi e purificazione (Jeswani, et al. 2021).

Dal punto di vista delle specifiche del modello LCA, è stato riscontrato che alcuni modelli LCA utilizzano un approccio comparativo, confrontando i metodi di riciclaggio chimico con altre tecniche di gestione dei rifiuti di plastica per determinare il metodo migliore. Poiché è stato evidenziato che il riciclo chimico dovrebbe supportare il riciclo meccanico e non sostituirlo, si è concluso che il confronto diretto tra riciclo chimico e riciclo meccanico non ha più valore. Invece, un altro approccio osservato alle LCA di riciclaggio chimico è quello di modellare l'uso di metodi di riciclaggio chimico in combinazione con altre tecniche di gestione dei rifiuti di plastica per trattare un flusso di rifiuti di plastica misti. I modelli combinati analizzano l'impatto ambientale dell'inclusione di diversi metodi negli scenari di gestione dei rifiuti di plastica. Si è concluso che la modellazione del riciclaggio chimico tramite questi modelli di tipo combinato è più utile per rappresentare e analizzare potenziali scenari futuri dell'infrastruttura di gestione dei rifiuti di plastica.

#### Riutilizzo delle reti antigrandine e antinsetto

Si ritiene che il riutilizzo delle reti, quando applicabile, sia la strategia più efficace per ridurre l'impatto ambientale di questi manufatti polimerici, in quanto non comporta sostanziali emissioni e permette di evitare direttamente la produzione di nuove reti.

La strada del riutilizzo è perseguibile in quei casi in cui la rete possiede ancora una certa integrità funzionale e meccanica. Nel caso in cui la rete fosse in stato avanzato di degradazione, i fili di cui è composta potrebbero iniziare a demagliersi e si potrebbero disperdere elevate quantità di polietilene nell'ambiente.

Il riutilizzo può essere di varie tipologie, a seconda dello stato di degradazione delle reti:

- Riutilizzo con la medesima funzione: consiste nel riutilizzo delle reti antigrandine/antinsetto nuovamente nella medesima applicazione. Ciò può avvenire quando la rete viene dismessa anticipatamente rispetto alla sua completa degradazione, come accade quando un frutteto viene dismesso per le ragioni più svariate (improduttività, malattie, ed altri). Le reti dismesse in tal modo possono essere riutilizzate con la medesima funzione, in maniera economicamente



	<p>conveniente, in quei frutteti già stabiliti e che avranno vita restante pari a quella rimanente della rete. Ciò è avvenuto in una delle aziende con cui si è preso contatto: le reti dismesse anticipatamente è stata presa in carico da un altro agricoltore della zona, eliminando così i costi di smaltimento per l'azienda e i costi di acquisto della rete per l'agricoltore, e riducendo l'impatto ambientale della rete stessa.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Riutilizzo come copertura ombreggiante: le reti antigrandine/ant insetto dismesse possono non avere più le caratteristiche di resistenza meccanica e l'integrità necessarie per un funzionamento efficace. Tuttavia, le proprietà possono essere sufficienti per un nuovo riutilizzo in ambito agricolo, quali reti ombreggianti nelle zone che ricevono un'eccessiva esposizione solare, tale da impedire la corretta crescita delle coltivazioni. Un'applicazione di questo tipo non richiede una perfetta continuità delle maglie (come per le reti ant insetto), o un'elevata resistenza meccanica (come per le reti antigrandine). Di questa tipologia di riutilizzo se ne è trovato un esempio in una delle aziende agricole che hanno fornito i campioni di rete: alcuni operai agricoli hanno imballato le reti dismesse da un frutteto con l'intento di spedirle in Senegal, dove saranno riutilizzate come reti ombreggianti.</li> <li>• Riutilizzo in altre applicazioni: quando le reti perdono buona parte della loro integrità, il riutilizzo nei due modi precedentemente elencati non è possibile. Tuttavia, alcune sezioni della rete possono essere impiegate in nuove applicazioni (shopper, elementi di arredo, ed altri).</li> </ul>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati completamente raggiunti. Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta.</p>

## 2.2 - PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	Ricercatore UniBo	Ricerca	48,00	102	4.896,00
	Ricercatore UniBo	Ricerca	48,00	40	1.920,00
	Ricercatore UniBo	Ricerca	73,00	60	4.380,00
	Assegnista UniBo	Ricerca	18,61	430	8.002,30
<b>Totale:</b>					<b>19.198,30</b>

## AZIONE: SVILUPPO DI IMBALLAGGI A BASE DI PRODOTTI ALTERNATIVI ALLA PLASTICA CONVENZIONALE

### 2.1 - ATTIVITA' E RISULTATI

Azione	Sviluppo di imballaggi a base di prodotti alternativi alla plastica convenzionale																								
Unità aziendale responsabile	UNIMORE																								
Descrizione delle attività	<p><b>Individuazione, per categorie di prodotti, delle attuali tipologie di contenitori e di materiali; Individuazione delle alternative possibili e disponibili in commercio</b></p> <p>L'attività è stata condotta tramite ricerche di mercato eseguite in loco, presso vari supermercati presenti nella zona di Reggio Emilia, quali Coop, Esselunga, Conad ecc. Questa indagine di mercato aveva come obiettivo quello di individuare e rilevare quali fossero i contenitori ed i materiali maggiormente impiegati/usati per i prodotti frutticoli al momento.</p> <p>Con tali informazioni è stato creato un database (di seguito un esempio).</p> <p style="text-align: center;"><small>DATABASE DI CONTENITORI E MATERIALI NEL SETTORE FRUTTICOLI</small></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">CONFEZIONE</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">PESO CONF.</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">PESO PRODOTTO</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">DESIGN DEL PACKAGING</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">N° COMPONENTI</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">MATERIALE IMPIEGATO</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">SOSTENIBILITA'</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">POSSIBILITÀ RIUTILIZZO</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">CRITICITÀ</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">SONNABACKING</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">PFO</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">CONTINIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1)</td> <td></td> <td>250g</td> <td>Cestino rettangolare+ film forato che avvolge la confezione</td> <td>2 Assenza tappetino sfilabile</td> <td>Cestino in R-PET + film in PP</td> <td>😊</td> <td></td> <td>elevata condensa sulla superficie del film per elevato tasso di respirazione delle fragole</td> <td>no</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Allegata foto confezione:</i></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Esso contiene tutte le informazioni relative alla tipologia di materiali e confezioni impiegate nella fase di confezionamento della filiera ortofrutticola. Tale database è stato riassunto tramite la costruzione di una tabella, che presenta i seguenti parametri: il tipo di contenitore, la tipologia di materiale impiegato, la sostenibilità del materiale, il numero dei componenti dell'imballaggio, i punti critici di imballaggio ed eventuale presenza o meno di lid a chiudere le confezioni.</p> <p>Riassumendo i risultati ottenuti ci consentono di dire che tra i materiali plastici tradizionali spicca l'elevato utilizzo di vaschette (con coperchio a incastro o top film saldato) realizzate in R-PET, ovvero PET proveniente dal riciclo. Anche il polipropilene (PP) risulta ben rappresentato (materiale vergine) per la realizzazione di vassoi, vaschette e cestini, ma anche come film per il confezionamento flow-pack di cestini di altro materiale.</p> <p>Ben rappresentato su alcune referenze frutticole e soprattutto per i grandi formati (cassettine e cassette) il materiale cellulosico (cartoncino): in ogni caso tali confezioni risultano chiuse, per il contenimento del prodotto, con coperchi e avvolgimenti in materiale plastico tradizionale. Non risultavano impiegati, allo stato dell'indagine condotta, materiali compostabili e/o biodegradabili, presenti invece in altre referenze orticole (es. pomodorini).</p>	CONFEZIONE	PESO CONF.	PESO PRODOTTO	DESIGN DEL PACKAGING	N° COMPONENTI	MATERIALE IMPIEGATO	SOSTENIBILITA'	POSSIBILITÀ RIUTILIZZO	CRITICITÀ	SONNABACKING	PFO	CONTINIO	1)		250g	Cestino rettangolare+ film forato che avvolge la confezione	2 Assenza tappetino sfilabile	Cestino in R-PET + film in PP	😊		elevata condensa sulla superficie del film per elevato tasso di respirazione delle fragole	no		
CONFEZIONE	PESO CONF.	PESO PRODOTTO	DESIGN DEL PACKAGING	N° COMPONENTI	MATERIALE IMPIEGATO	SOSTENIBILITA'	POSSIBILITÀ RIUTILIZZO	CRITICITÀ	SONNABACKING	PFO	CONTINIO														
1)		250g	Cestino rettangolare+ film forato che avvolge la confezione	2 Assenza tappetino sfilabile	Cestino in R-PET + film in PP	😊		elevata condensa sulla superficie del film per elevato tasso di respirazione delle fragole	no																



### Verifica dell' idoneità dei materiali alternativi

L'attività svolta è stata in un primo momento focalizzata sul reperimento di alternative commercialmente disponibili identificabili secondo i seguenti criteri: 1) da fonti rinnovabili; 2) compostabili in impianti di compostaggio industriale; 3) da materiali di riciclo. L'ultima referenza (3) è stata aggiunta come materiale di controllo per tutte le prove eseguite sia sui materiali che sui prodotti, di cui all'attività descritta di seguito.

Partendo dai materiali/confezioni disponibili commercialmente sono state reperite le seguenti tipologie:

NUMERO	Materiale vaschetta	Materiale chiusura	Fonte rinnovabile	compostabilità	riciclabilità
1	Acido polilattico (PLA)	PLA Coperchio a incastro	SI	SI	NO
2	CARTA accoppiata con cellophane	Cellophane termosaldato	SI	SI	NO
3	R-PET	R-PET A incastro termosaldato	NO	NO	SI
4	CONTROLLO	Variabile a seconda del prodotto frutticolo considerato	NO	NO	SI

Per quanto attiene al campione 1, i contenitori sono stati reperiti gratuitamente presso un'azienda con sede in Emilia-Romagna, che si è resa disponibile a stampare appositamente ai fini della sperimentazione i contenitori. La stessa azienda ha messo a disposizione i propri laboratori pilota per realizzare le confezioni sperimentali (campione 3) quando si è reso necessario chiudere mediante film termosaldato le confezioni sperimentali.

Il campione 2 è stato gentilmente fornito in forma gratuita da una ditta, che ha anche messo nelle disponibilità dei laboratori UNIMORE la saldatrice necessaria alla chiusura delle confezioni.

Per quanto attiene la caratterizzazione dei materiali, ponendoli a confronto con quelli standard utilizzati per le prove di conservazione, si evince quanto segue:

- le prestazioni delle confezioni con chiusura a incastro (non ermetiche) sono risultate comparabili con quelle dei contenitori standard. In particolare, la resistenza meccanica e la trasparenza dei campioni 1 e 3 sono risultate del tutto simili a quelle dei campioni di controllo 4;
- per il campione 2, la trasparenza del film di chiusura termosaldato è stata giudicata ottimale, anche se durante le prove di conservazione si è potuto verificare un eccesso di condensa che ha pregiudicato la perfetta visibilità del prodotto;
- le proprietà diffusionali sono state valutate direttamente sulle confezioni sperimentali con i prodotti frutticoli.

### Valutazione dell'influenza dei nuovi materiali/delle nuove confezioni sulla conservabilità dei prodotti

Sono state condotte due prove con i seguenti prodotti frutticoli: uva di IV gamma, piccoli frutti rossi (mirtilli, more, lamponi) e macedonie di frutti (IV gamma). La scelta è stata motivata da un lato dalla delicatezza di alcuni frutti (piccoli frutti rossi, dall'altro dal più elevato valore aggiunto dei prodotti di IV Gamma, che proprio per tale motivo potrebbero "sopportare" meglio un leggero aumento del costo dell'unità packaging dovuto all'impiego di materiali non convenzionali.

L'organizzazione delle prove di conservazione ha richiesto un elevato grado di coordinamento tra il personale UNIMORE e i fornitori di materia prima "frutta" e dei contenitori. Ove possibile il confezionamento è stato condotto presso le aziende fornitrici, ma considerando la necessità di spostare elevati numeri di referenze da questi luoghi verso i laboratori universitari, dove sono state realizzate alcune delle confezioni sperimentali ed eseguiti tutti i controlli analitici necessari alla valutazione dello stato di conservazione del prodotto.

#### Materiali e metodi

##### Prova 1

Nella tabella seguente è riportata una sintesi dei materiali utilizzati.

NUMERO TESI	Materiale vaschetta	Materiale chiusura	UVA IV gamma	Piccoli frutti rossi (mirtilli, more, lamponi)	Macedonia di frutta
1	Acido polilattico (PLA)	PLA Coperchio a incastro	X	X	
2	CARTA accoppiata con cellophane	Cellophane termosaldato	X	X	X
3	R-PET	R-PET termosaldato termosaldato e microperforato	X	X	X
4 CONTROLLO	R-PET	4a R-PET a incastro forato 4b R-PET termosaldato	X	X	X



Nel corso della conservazione, i campioni sono stati mantenuti alla temperatura di 7°C. Su tutti i prodotti sono stati eseguiti controlli analitici di natura chimico/fisica/microbiologica/sensoriale sui prodotti: variazioni di peso, variazione delle proprietà meccaniche (tramite penetrometro e dinamometro per la valutazione della resistenza al taglio), variazioni di colore e dei principali parametri chimici; analisi sensoriale durante la conservazione e alla fine della shelf life.



*Conservazione: 4°C – 75% umidità relativa - SHELF LIFE: 3 GIORNI*

#### *Prova 2*

La prova ha avuto lo scopo di valutare la capacità di mantenere gli indici qualitativi dell'uva di IV gamma impiegando packaging realizzati con materiali alternativi alla plastica tradizionale.

Sono state testate e confrontate le prestazioni di tre differenti tipologie di imballaggi: un bicchiere in PET (polietilene tereftalato) riciclato (R-PET) chiuso con coperchio ad incastro (imballaggio tradizionale); una vaschetta di carta ricoperta da uno strato barriera idoneo al contatto alimentare, chiusa con film di cellophane (imballaggio innovativo) e una vaschetta in acido polilattico (PLA) chiusa con coperchio ad incastro (imballaggio innovativo).

Gli imballaggi citati sono stati testati su due varietà differenti di uva bianca da tavola, Melanie e Sugar Crisp.

L'uva utilizzata durante la sperimentazione è stata sottoposta al normale ciclo di lavorazione previsto per questo tipo di prodotto che comprende: lavaggio, sgrappolamento e successivo confezionamento. Nel corso della conservazione, i campioni sono stati mantenuti alla temperatura di 7°C e contestualmente sottoposti a diversi controlli analitici quali: calo peso, misurazione del contenuto zuccherino, misurazione dell'acidità titolabile, valutazione della resistenza al taglio, analisi microbiologiche, analisi sensoriale e controllo dell'atmosfera nello spazio di testa delle confezioni ermetiche.

Tutte le prove sono state replicate almeno due volte per dare maggiore significatività ai risultati ottenuti.

## Risultati

### *Prova 1*

Per quanto attiene i parametri chimici e la loro evoluzione nell'ambito dei processi di maturazione/senescenza del prodotto, tutte le confezioni (sperimentali e convenzionali) hanno dimostrato di preservare la qualità, per tempi ragionevoli e coerenti con la normale durabilità dei differenti prodotti.

I parametri fisici (colore, texture) seguono lo stesso andamento per tutte le confezioni; per quanto attiene il parametro calo peso, correlato alla traspirazione del prodotto e alle caratteristiche di ermeticità delle confezioni, si è assistito a un minore calo peso nelle confezioni 1, 2, 3 e 4b, per l'assenza di soluzioni di discontinuità nel contenitore. Si stima una variazione media percentuale di peso mai superiore allo 0.5% (contro valori variabili tra 1.5%-2.0% per le confezioni 4a).

Le analisi microbiologiche condotte, di particolare importanza per i prodotti di IV gamma che, per quanto minimamente, subiscono una maggiore manipolazione all'atto della preparazione, hanno mostrato che tutti i prodotti alla fine della loro shelf life sono ampiamente accettabili in quanto la loro carica microbica (mediamente pari a 105 UFC/g) non raggiunge mai i valori limite di 10<sup>7</sup> per la microflora mesofila aerobica e di 10<sup>6</sup> per lieviti e muffe. Si sottolinea tuttavia che l'evoluzione è più lenta nei campioni 2, 3 e 4b in virtù della ermeticità delle confezioni che consente l'accumulo di piccole percentuali di CO<sub>2</sub> che potrebbero aver esercitato un certo effetto batteriostatico.

L'evoluzione dell'atmosfera interna delle confezioni, monitorata nei campioni 2, 3, 4b ha messo in evidenza come le proprietà di barriera ai gas dei diversi materiali siano coerenti con la necessità di mantenere a contatto con il prodotto una certa percentuale di Ossigeno e di Anidride carbonica: il primo per evitare l'instaurarsi di un metabolismo fermentativo, la seconda per il rallentamento che provoca sulla respirazione e per l'effetto leggermente batteriostatico. Tutti i materiali si sono mostrati adeguati.

Le analisi sensoriali condotte su tutti i prodotti hanno evidenziato una sostanziale comparabilità nell'apprezzamento dei diversi prodotti da parte di un panel allargato di consumatori, abituali consumatori di frutta, non consentendo di evidenziare una maggiore o minore accettabilità dei frutti confezionati nei materiali alternativi.

### *Prova 2*

Nel complesso il calo peso del prodotto sgrappolato è stato molto contenuto (1-3%) con risultati maggiormente performanti per le confezioni "innovative" in cellophane o PLA. Relativamente agli altri parametri qualitativi monitorati, dolcezza acidità, durezza e croccantezza degli acini, essi seguono una dinamica prevedibile che tuttavia non distingue la diversità delle confezioni allestite. Il controllo della componente gassosa interna è stata effettuata nell'unica tipologia di packaging ipoteticamente chiusa ermeticamente ovvero quelle in carta, al fine di verificare l'eventuale sviluppo di atmosfere potenzialmente dannose per il prodotto.

I risultati ottenuti evidenziano che non si è verificato accumulo di CO<sub>2</sub> e la composizione dell'atmosfera nello spazio libero si è mantenuta simile a quella esterna durante tutto il periodo di conservazione. Nei prodotti semilavorati di IV gamma un aspetto particolarmente importante è rappresentato da possibili inquinamenti di natura microbiologica che potrebbero intervenire durante il seppur breve periodo di conservazione. Anche questo aspetto particolarmente critico e sensibile non sembra essere condizionato dalla tipologia di packaging.

Al termine del periodo di conservazione tutti i campioni analizzati nel tempo hanno riportato una carica microbica inferiore ai limiti di legge, risultando pertanto idonei al consumo. A tale proposito il giudizio finale che sancisce la possibilità di utilizzare

	packaging diversi, specie se adibiti a contenere frutta semilavorata, spetta al consumatore. Nel caso dell'attività condotta, le analisi sensoriali effettuate non hanno evidenziato alcuna differenza significativa tra i prodotti contenuti nei diversi imballaggi, sottolineando una generale accettabilità di tutti i prodotti da parte dei giudici.
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati raggiunti. Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta.

## 2.2 - PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	Ricercatore Unimore	Ricerca	48	370	17.760,00
	Ricercatore Unimore	Ricerca	48	296	14.208,00
	Ricercatore Unimore	Ricerca	73	60	4.380,00
	Assegnista	Ricerca	13,81	600	8.286,00
	Assegnista	Ricerca	13,92	600	8.352,00
	Impiegato Apofruit	Tecnico	27,00	450	12.150,00
	Impiegato Canova	Tecnico	27,00	150	4.050,00
				<b>Totale:</b>	<b>69.186,00</b>

## AZIONE: IMPATTO DI MATERIALI COMPOSTABILI E BIODEGRADABILI SUGLI IMPIANTI DI COMPOSTAGGIO

### 2.1 - ATTIVITA' E RISULTATI

Azione	Impatto di materiali compostabili e biodegradabili sugli impianti di compostaggio															
Unità aziendale responsabile	UNIMORE															
Descrizione delle attività	<p><b>Rapporto con gli impianti di compostaggio industriale</b></p> <p>Da una ricognizione effettuata per l'anno 2021, emerge che in ER sono attivi 11 impianti di compostaggio industriale e 9 impianti di Trattamento integrato aerobico e anaerobico (A/AN). Di seguito alcuni numeri.</p> <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th>Tipologia impianto</th> <th>Frazione umida trattata (t)</th> <th>Verde trattato (t)</th> <th>Biogas prodotto/anno (Nmc)*</th> <th>Ammendante (t)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Compostaggio</td> <td>56.421</td> <td>95.502</td> <td>-</td> <td>35.729</td> </tr> <tr> <td>Trattamento integrato A/AN</td> <td>428.000</td> <td>82.283</td> <td>40.871.112</td> <td>79.214</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Normal metro cubo</p> <p>Come si può notare, una quota consistente di materiale organico viene trattata negli impianti concepiti per la produzione di biogas e di ammendati.</p> <p>Da una visita effettuata presso l'impianto HERA di Sant'Agata Bolognese (trattamento A/AN, rappresentativo per dimensioni) è emersa chiara la difficoltà che queste tipologie di impianto avrebbero nel vedere aumentare la quota di materiale "plastico" certificato compostabile rispetto alla massa di frazione umida e di verde: già attualmente il processo di selezione in ingresso di questo impianto elimina quasi tutto ciò di diverso dalla frazione umida, al fine di garantire che il primo step del trattamento (anaerobico) utile alla produzione di biogas possa procedere con velocità e rese ragionevoli dal punto di vista economico.</p> <p>Risulta quindi chiaro l'impedimento a una diffusione allargata di questi materiali nella frazione umida, stanti le modalità di raccolta e conferimento della stessa che non può discriminare tra ciò che viene trattato per compostaggio o con trattamento A/AN. Occorrerà ripensare ai modelli di produzione e di post consumo al fine di rendere davvero fattibile lo smaltimento di quote consistenti di materiali plastici compostabili e/o biodegradabili.</p> <p><b>Valutazione delle proprietà del compost/ammendante</b></p> <p>Alla luce dell'indagine condotta, i cui risultati sono sintetizzati nel paragrafo precedente, si è ritenuto non significativo impostare un esperimento volto alla valutazione delle proprietà di un ammendante prodotto a partire da rifiuto organico addizionato di materiali plastici certificati compostabili presso un impianto di compostaggio industriale di tipologia a prevalenza A/AN. Pertanto l'attività prevista non è stata eseguita e sostituita con una seconda prova (prova 2) condotta nell'ambito dell'azione precedente.</p>	Tipologia impianto	Frazione umida trattata (t)	Verde trattato (t)	Biogas prodotto/anno (Nmc)*	Ammendante (t)	Compostaggio	56.421	95.502	-	35.729	Trattamento integrato A/AN	428.000	82.283	40.871.112	79.214
Tipologia impianto	Frazione umida trattata (t)	Verde trattato (t)	Biogas prodotto/anno (Nmc)*	Ammendante (t)												
Compostaggio	56.421	95.502	-	35.729												
Trattamento integrato A/AN	428.000	82.283	40.871.112	79.214												
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati in gran parte raggiunti.</p> <p>Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta.</p>															

## 2.2 - PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	Ricercatore Unimore	Ricerca	48	84	4.032,00
	Ricercatore Unimore	Ricerca	48	60	2.880,00
	Ricercatore UniBo	Ricerca	48,00	102	4.896,00
	Ricercatore UniBo	Ricerca	48,00	20	960,00
	Ricercatore UniBo	Ricerca	73,00	20	1.460,00
	Assegnista UniBo	Ricerca	18,61	430	8.002,30
				<b>Totale:</b>	<b>22.230,30</b>

**AZIONE: SVILUPPO/PROGETTAZIONE DI UN SERVIZIO DI SUPPORTO ORGANIZZATIVO PER IL RITIRO E RICICLO DEI MATERIALI PLASTICI (CONVENZIONALI E ALTERNATIVI)**

**2.1 - ATTIVITA' E RISULTATI**

Azione	Sviluppo/Progettazione di un servizio di supporto organizzativo per il ritiro e riciclo dei materiali plastici (convenzionali e alternativi)
Unità aziendale responsabile	UNIBO
Descrizione delle attività	<p><b>Analisi delle esigenze degli attori coinvolti</b></p> <p>I tempi e i costi legati alla raccolta e allo stoccaggio in loco delle plastiche agricole a fine vita spingono spesso gli agricoltori a utilizzare un trattamento improprio dei rifiuti che determina la contaminazione dell'ambiente da parte dei residui di plastica. È rilevante per le reti agricole, per le quali soluzioni come le plastiche biodegradabili/compostabili non sono ancora idonee in quanto non sarebbero garantite le necessarie proprietà meccaniche. L'implementazione di un adeguato sistema di raccolta dei rifiuti plastici agricoli potrebbe portare numerosi vantaggi per tutta la filiera, agricoltori inclusi, derivanti da un maggiore recupero e riciclo delle materie plastiche. Diversi paesi dell'UE – l'Italia non è uno di questi paesi – hanno già implementato uno schema nazionale/locale per trattare efficacemente questo flusso di rifiuti. La Tabella III (Appendice A) riassume alcuni schemi disponibili nell'UE e le loro principali caratteristiche. Tuttavia, per favorire la sostenibilità di questi schemi attraverso il riciclaggio della plastica, è necessario garantire un flusso pulito e ben differenziato dei rifiuti di plastica.</p> <p>Garantirlo in loco non è così scontato. Richiede la suddivisione dei rifiuti plastici in base a diverse tipologie/polimeri, evitando di esporre i rifiuti ai raggi UV e all'acqua, proteggendoli con una copertura, pulendo i rifiuti dopo l'uso per eliminare residui di terra, sassi, piante e frutti, e altro componenti, come fertilizzanti e pesticidi. Se queste buone pratiche non sono attuate, la qualità dei rifiuti di plastica come risorsa di riciclaggio non è sufficiente.</p> <p>Attualmente, la mancanza di standard e informazioni per gli agricoltori non consente un'adeguata raccolta differenziata dei rifiuti di plastica, impedendo la possibilità di raggiungere un elevato tasso di riciclaggio. Inoltre, anche se i rifiuti di plastica in loco potrebbero raggiungere alcune centinaia di chili all'anno, tale quantità è ancora troppo lontana dalla quantità minima consentita dagli impianti di riciclaggio (&gt;25 tonnellate). Di conseguenza, i numerosi compiti richiesti per preparare i rifiuti (ad esempio raccolta, cernita, pulizia) e la scarsa quantità rendono il processo di riciclaggio dei rifiuti plastici agricoli troppo costoso rispetto al prezzo delle materie prime vergini (almeno durante una situazione economica mondiale stabile).</p> <p><b>Attività di informazione dei consumatori sulla corretta gestione del fine vita degli imballaggi</b></p> <p>E' stata condotta una indagine tramite la formulazione di un questionario che è stato erogato a consumatori frequentatori abituali della GDO e con il quale si interrogava un campione rappresentativo di persone sulla percezione di naturalità delle confezioni destinate ai prodotti ortofrutticoli e sul grado di conoscenza delle modalità di smaltimento dei differenti materiali, nonché delle sigle e i simboli che li identificano.</p> <p>In occasione delle interviste si è potuto stabilire che:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Il 60% degli intervistati si fida della propria capacità di distinguere i materiali (carta da plastica);</li> </ul>



- Il 30% degli intervistati dichiara di leggere le indicazioni di smaltimento delle diverse parti di un imballaggio riportare sull'imballo stesso;
- L'80% degli intervistati dichiara di giudicare più "ecologica" la carta in tutte le sue forme, anche rispetto a materiali plastici biobased, che spesso vengono confusi con i materiali plastici tradizionali. A tal proposito, la vaschetta in carta (v. azione 2.3) è stata giudicata favorevolmente, ma la presenza del film di cellophane di chiusura ha messo in difficoltà gli intervistati, perché nell'immaginario collettivo la parola cellophane è sinonimo di plastica.
- La stragrande maggioranza degli intervistati ha espresso il desiderio di una maggiore chiarezza sulle modalità di smaltimento dei materiali.

#### **Valutazione degli elementi necessari per un servizio di raccolta, smaltimento e riciclo**

Secondo la revisione presentata dell'attuale stato dell'arte dell'uso della plastica in agricoltura, le soluzioni sostenibili disponibili per ridurre l'impatto ambientale di questo materiale non sono completamente pronte per essere implementate. In questo paragrafo vengono analizzati i principali ostacoli e le opportunità in questi campi.

##### Plastiche biodegradabili/compostabili

Uno dei principali limiti nell'innovazione e nello sviluppo delle plastiche biodegradabili/compostabili è il maggior costo necessario per produrle rispetto alle plastiche tradizionali. Inoltre, la produzione di plastica biodegradabile/compostabile ha alcuni impatti ambientali legati al maggiore consumo di energia, all'uso del suolo e al consumo di combustibili fossili per produrre colture per questa applicazione. Questi aspetti limitano la diffusione di questi materiali, che non hanno la grande scala produttiva delle plastiche tradizionali, con un effetto ciclico sul loro prezzo che rimane elevato.

Un aumento della produzione di plastica biodegradabile/compostabile potrebbe ridurre i costi e il prezzo. Inoltre, viste le pratiche agricole, l'utilizzo di questi materiali potrebbe ridurre la necessità di alcune attività (es. rimozione del telo di pacciamatura), generando ulteriori vantaggi economici. Infine, le plastiche biodegradabili/compostabili potrebbero derivare da residui e sottoprodotti colturali, senza bisogno di ulteriore produzione agricola.

Lo studio di fattibilità economica applicati nel progetto (v. azioni 2.1 e 2.2) ha fornito indicazioni quantitative su questa direzione, che non è stata ancora approfonditamente analizzata nello stato dell'arte.

##### Riciclo di materie plastiche agricole

Fino a quando la gestione dei rifiuti di plastica rimarrà un costo aggiuntivo per gli agricoltori, coinvolgerli come partner in un adeguato sistema di raccolta e riciclaggio non sarà facile. Di conseguenza, è necessario rivedere l'intera filiera, dal produttore al riciclatore, per ripensare i prodotti in plastica agricola, considerando la loro riprogettazione, produzione e logistica, per sfruttare il loro trattamento a fine vita (raccolta, cernita e riciclaggio). Significa sviluppare innovazione e investimenti in prodotti e processi per cambiare la visione dello scarto, che deve essere considerato una risorsa.

Alcune soluzioni innovative da sviluppare potrebbero fare riferimento ai seguenti aspetti: (i) tecnologie innovative da implementare in loco per aiutare gli agricoltori a pulire la plastica e rimuovere residui di suolo, piante e sostanze chimiche; (ii) attrezzature innovative per garantire adeguate attività di stoccaggio e raccolta nelle aziende agricole per ridurre i tempi e i costi di manodopera e anche i danni dei rifiuti

di plastica; (iii) processi di riciclaggio adattati per aumentare la qualità delle plastiche agricole riciclate che derivano necessariamente da un'analisi più approfondita delle caratteristiche dei rifiuti plastici generati dalle applicazioni agricole; (iv) riprogettare i prodotti agricoli per facilitarne il riciclaggio e il riutilizzo come materia prima secondaria nella stessa o in altre applicazioni.

Nel progetto sono stati valutati tutti gli elementi necessari per implementare un adeguato sistema di gestione dei rifiuti plastici, considerando tutti gli attori che partecipano a questa filiera e identificando le procedure per garantire una migliore raccolta, selezione e riciclaggio dei rifiuti plastici agricoli. Tali procedure saranno confrontate con l'attuale quadro legislativo per identificare come questo sistema possa essere applicato in Italia, in particolare nella Regione Emilia-Romagna.

Anche in questo caso, l'implementazione dello strumento ViVACE messo a punto da UNIBO, che consente di quantificare i flussi di risorse in diversi scenari di business, rendendo immediatamente visibili opportunità nuove e/o inesplorate e fornendo i dati per il calcolo di KPI di sostenibilità (ambientale, economica, sociale), fornirà dati quantitativi per alimentare uno studio di fattibilità tecnico-economica e la valutazione di indicatori chiave di prestazione significativi per confrontare gli impatti ambientali e sociali di questo schema con la situazione attuale.

#### **Progettazione di un servizio organizzativo per il ritiro e riciclo dei materiali plastici**

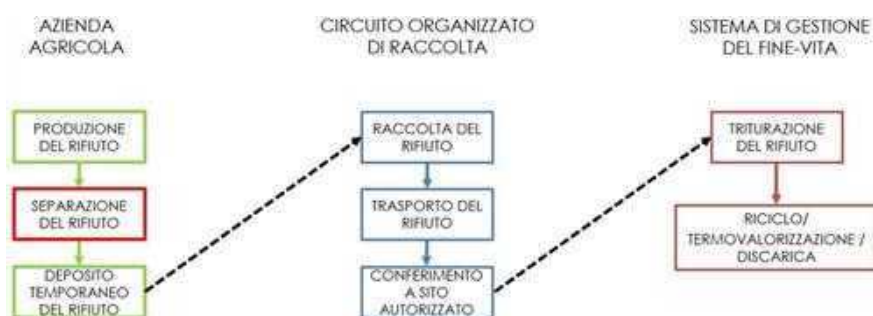
La plastica è un materiale adatto a rispondere alle esigenze tecniche di diverse pratiche agricole, consentendo l'aumento della produttività delle colture e mantenendo bassi i costi. Tuttavia, l'impatto negativo della plastica sul suolo e sull'ecosistema costringe il settore agricolo a trovare soluzioni più sostenibili, che prendono due direzioni principali: sostituirla con plastica biodegradabile/compostabile e migliorarne la gestione del fine vita attraverso il riciclaggio. Tuttavia, sia dal punto di vista economico che ambientale, ulteriori aspetti devono essere testati e verificati per garantire la completa sostenibilità di queste soluzioni alternative proposte.

In questo contesto, gli agricoltori hanno un ruolo rilevante, ma devono essere aiutati ad affrontare questa sfida. In particolare, è necessario diffondere la consapevolezza su questi temi, comunicando agli agricoltori le condizioni di insostenibilità della situazione attuale, rendendo comprensibili gli impatti ambientali (anche sulle loro attività), e condividendo le buone pratiche e i loro effetti positivi. Attualmente, la mancanza di informazioni quantitative sui miglioramenti generati dal passaggio alla sostenibilità limita la possibilità di prendere decisioni adeguate in materia di innovazione e investimenti. Nel fare ciò, è anche necessario raccogliere i bisogni e le barriere percepite degli agricoltori, ed evitare di imporre limiti legislativi e tasse, considerandoli come l'unico attore responsabile della filiera. L'integrazione della catena di approvvigionamento e l'attuazione di attività e procedure collaborative è un passaggio necessario per l'attuazione.

Sicuramente, la legislazione potrebbe incentivare notevolmente misure efficaci per la diffusione di soluzioni più sostenibili. In particolare, la standardizzazione in fase di progettazione, l'etichettatura e gli incentivi per una corretta raccolta differenziata dei rifiuti di plastica potrebbero migliorare la gestione della plastica nel settore agricolo, riducendone l'impatto negativo e mantenendone i vantaggi, come il basso costo e la versatilità.

Il progetto ha implementato un metodo quantitativo per analizzare alternative sostenibili per una migliore gestione della plastica in agricoltura. Informazioni affidabili e solide sulla sostenibilità sono fondamentali per prendere la decisione giusta per confrontare tutti i possibili effetti positivi e negativi delle diverse soluzioni disponibili, fornendo indicazioni per migliorare ulteriormente gli aspetti limitanti.

Di seguito si riporta lo schema raffigurante un possibile servizio organizzativo per il ritiro dei materiali plastici convenzionali o alternativi elaborato da UNIBO nell'ambito del progetto.



### Conclusioni

L'agricoltura è uno dei principali utilizzatori di plastica, che non gestita correttamente a fine vita potrebbe generare gravi danni all'ambiente (suolo, acqua, ulteriori colture, qualità del cibo e della fauna), di conseguenza più sostenibile sono necessarie soluzioni di gestione. L'approccio tipico in letteratura è quello di indagare gli aspetti agronomici di diverse soluzioni, in termini di resa (quantità e qualità del cibo) a diverse condizioni climatiche. Tuttavia, la completa sostenibilità di soluzioni alternative non viene considerata e valutata quantitativamente. Di conseguenza, l'analisi quantitativa svolta nell'ambito del progetto fornirà modelli utili per confrontare diverse soluzioni, in termini di diversi materiali e/o diversi sistemi di gestione, per supportare efficacemente il processo decisionale sulle pratiche agricole.

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati completamente raggiunti. Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta.

## 2.2 - PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	Ricercatore UniBo	Ricerca	48,00	38	1.824,00
	Ricercatore UniBo	Ricerca	48,00	10	480,00
	Ricercatore UniBo	Ricerca	73,00	10	730,00
	Assegnista UniBo	Ricerca	18,61	430	8.002,30
	Ricercatore Unimore	Ricerca	48,00	45	2.160,00

Licciardello	Ricercatore Unimore	Ricerca	48,00	55	2.640,00
	Assegnista	Ricerca	13,81	44	607,64
	Assegnista	Ricerca	13,92	44	612,48
				<b>Totale:</b>	<b>17.056,42</b>

## AZIONE: DIVULGAZIONE

### 2.1 - ATTIVITA' E RISULTATI

Azione	Divulgazione								
Unità aziendale responsabile	RI.NOVA								
Descrizione delle attività	<p>RI.NOVA, per conto del partenariato, ha messo in atto un piano di divulgazione che comprende interventi sia di tipo interpersonale che mediatico, tramite un'azione sinergica tra vari strumenti di comunicazione di seguito descritti. In particolare sono state realizzate diverse azioni divulgative per contribuire a rendere concreto un collegamento funzionale multi-actor tra innovazione, trasferimento e applicazione, che è obiettivo intrinseco del PSR e della Misura 16.1, al fine di stimolare un nuovo approccio tra tutti gli attori della filiera frutticola.</p> <p><b>Incontri tecnici</b> Sono stati organizzati n. 2 incontri tecnici: il primo si è svolto il 21-07-2022 e il secondo il 18-11-2022 entrambi a Cesena. Gli incontri sono stati indirizzati in prevalenza ai tecnici e frutticoltori soci delle OP interessate, sia direttamente che indirettamente, ai risultati del Piano, con l'obiettivo di portare le competenze e i risultati dell'innovazione il più possibile vicino agli utilizzatori finali: le imprese agricole. Nel corso degli incontri sono state illustrate le attività svolte e i principali risultati ottenuti nell'ambito del Piano d'innovazione. La documentazione relativa alle locandine prodotte e diffuse e i fogli firma registrati in occasione delle diverse iniziative, è riportata in allegato (v. allegato Divulgazione).</p> <p><b>Convegno Finale</b> In data 3-5-2023, nell'ambito della manifestazione Macfrut, è stato organizzato un convegno dal titolo "Meno plastica nella frutta, dal campo alla tavola". Nel corso del convegno, organizzato con il coinvolgimento di tutti i soggetti coinvolti nel GO, sono stati presentati il lavoro svolto e i principali risultati ottenuti dal progetto. La documentazione relativa alla locandina prodotta e diffusa e i fogli firma registrati in occasione delle diverse iniziative, è riportata in allegato (v. allegato Divulgazione).</p> <p><b>Comunicato stampa</b> In data 22-4-2021 è stato redatto e inviato a diverse testate locali e nazionali, un comunicato stampa dal titolo: "CRPV, meno plastica per la frutta, dal campo alla tavola, al via il progetto step: nuovi materiali ed economia circolare per una frutticoltura sempre più ecosostenibile", con lo scopo di raggiungere un pubblico di natura generalista principalmente caratterizzato dai consumatori della filiera agroalimentare. In seguito alla pubblicazione del comunicato stata confezionata una relativa rassegna stampa (v. allegato Divulgazione).</p> <p><b>Articoli tecnici</b> Sono stati realizzati i seguenti articoli tecnici, pubblicati su riviste specializzate a diffusione tradizionale oppure online e riportati in allegato (v. allegato Divulgazione).</p> <table border="1"><thead><tr><th>DATA</th><th>TITOLO</th></tr></thead><tbody><tr><td>Giugno 2022</td><td>Strategie per la razionalizzazione dell'impiego delle materie plastiche nel settore frutticolo, Aponotizie n. 3/2022</td></tr><tr><td>Ottobre 2022</td><td>Impiego di imballaggi realizzati con materiali alternativi alla plastica tradizionale per la conservazione dell'uva da tavola, Aponotizie n. 3/2022</td></tr><tr><td>Giugno 2023</td><td>Meno plastica in frutticoltura, dal campo alla tavola, Rivista di Frutticoltura, Edagricole, in stampa.</td></tr></tbody></table>	DATA	TITOLO	Giugno 2022	Strategie per la razionalizzazione dell'impiego delle materie plastiche nel settore frutticolo, Aponotizie n. 3/2022	Ottobre 2022	Impiego di imballaggi realizzati con materiali alternativi alla plastica tradizionale per la conservazione dell'uva da tavola, Aponotizie n. 3/2022	Giugno 2023	Meno plastica in frutticoltura, dal campo alla tavola, Rivista di Frutticoltura, Edagricole, in stampa.
DATA	TITOLO								
Giugno 2022	Strategie per la razionalizzazione dell'impiego delle materie plastiche nel settore frutticolo, Aponotizie n. 3/2022								
Ottobre 2022	Impiego di imballaggi realizzati con materiali alternativi alla plastica tradizionale per la conservazione dell'uva da tavola, Aponotizie n. 3/2022								
Giugno 2023	Meno plastica in frutticoltura, dal campo alla tavola, Rivista di Frutticoltura, Edagricole, in stampa.								

	<p><b>Portale RI.NOVA</b>  RI.NOVA ha messo a disposizione del Gruppo Operativo il proprio portale Internet, affinché le attività ed i risultati conseguiti nel presente Piano siano facilmente identificabili e fruibili dall'utenza. All'interno del portale (<a href="http://www.rinova.eu">www.rinova.eu</a>) è stata individuata una pagina (<a href="https://rinova.eu/it/progetti/step-riduzione-delle-plastiche-nella-filiera-frutticola/">https://rinova.eu/it/progetti/step-riduzione-delle-plastiche-nella-filiera-frutticola/</a>) dedicata al Piano, composta da una testata e da un dettaglio dove sono stati caricati tutti i dati essenziali del progetto gli aggiornamenti relativi alle attività condotte. Inoltre, attraverso un contatto continuo con il Responsabile di Progetto, un referente RI.NOVA ha proceduto all'aggiornamento della pagina con notizie, informazioni e materiale divulgativo ottenuti nell'ambito del Piano.</p> <p><b>Audiovisivo</b>  E' stato realizzato n. 1 audiovisivo dedicato alla presentazione del progetto STEP della durata di circa 5 minuti. Tecnici RI.NOVA si sono occupati di individuare i referenti per le interviste, l'organizzazione, la definizione delle riprese filmate, la "traccia" degli argomenti da trattare e la verifica delle immagini. L'audiovisivo prodotto è pubblicato sulla pagina dedicata al progetto del portale RI.NOVA e su un canale dedicato sulla piattaforma Youtube dove può anche essere condiviso da altri utenti su siti, blog e social network, moltiplicando le possibilità di contatto con gli utenti.</p> <p><b>Collegamento alla rete PEI-Agri</b>  Come indicato nell'Azione 1, il personale RI.NOVA si è fatto carico di predisporre in lingua italiana e inglese, le modulistiche richieste per la presentazione del Piano al fine del collegamento alla Rete PEI-Agri.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati completamente raggiunti. Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta.

## 2.2 - PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	Impiegato RI.NOVA	Tecnico	27	2	216,00
	Impiegato RI.NOVA	Tecnico	27	10	1.512,00
	Impiegato RI.NOVA	Tecnico	27	11	1.242,00
	Impiegato RI.NOVA	Tecnico	27	6	918,00
	Impiegato RI.NOVA	Tecnico	43	23	7.396,00
	Impiegato RI.NOVA	Responsabile progetto	43	9	2.408,00
	Impiegato RI.NOVA	Tecnico	43	20	4.515,00
				<b>Totale:</b>	<b>18.207,00</b>

## 2.3 - COLLABORAZIONI, CONSULENZE ESTERNE, ALTRI SERVIZI

### CONSULENZE – SOCIETA'

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo contratto	Attività realizzate/ruolo nel progetto	Costo	
Publisole Spa		500,00	Realizzazione audiovisivo	500,00	
Orma		1.250,00	Comunicato stampa	1.250,00	
				<b>Totale:</b>	<b>1.750,00</b>

## 2.4 - SPESE PER ATTIVITA' DI FORMAZIONE E CONSULENZA

E' stata realizzata da Dinamica l'attività di formazione di seguito descritta.  
Corso di formazione (5201457): "Strategie per la riduzione e la razionalizzazione dell'uso della plastica nella filiera frutticola"  
ID proposta: 5533749  
Durata: 29 ore  
Numero partecipanti: 18  
Costo totale: 12.924,72 Euro (>50 % dell'importo ammesso)  
Numero domanda di rendiconto: 5675153

## 3 - CRITICITA' INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITA'

<b>Criticita' tecnico scientifiche</b>	Nessuna criticità tecnico-scientifica incontrata nella realizzazione dell'attività
<b>Criticita' gestionali</b> (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.)	Nessuna criticità gestionale incontrata nella realizzazione dell'attività.
<b>Criticità finanziarie</b>	Nessuna Criticità incontrata nella realizzazione dell'attività.

## 4 - ALTRE INFORMAZIONI

Si fa presente che la spesa di 6.000,00 euro prevista da UNIMORE in fase di presentazione della domanda di sostegno nell'ambito dell'azione "SVILUPPO DI IMBALLAGGI A BASE DI PRODOTTI ALTERNATIVI ALLA PLASTICA CONVENZIONALE" per "consulenza/servizi aziende esterne per progettazione imballaggi" non è stata sostenuta dalla stessa UNIMORE in quanto l'attività è stata svolta con risorse interne.

## 5 - CONSIDERAZIONI FINALI

////////

### **Descrizione delle attività complessivamente effettuate**

#### **Esercizio della cooperazione**

Apofruit, nel suo ruolo di mandatario, ha mantenuto la funzione di coordinamento generale, demandando, in accordo con gli altri Partner, a RI.NOVA la funzione di coordinatore e gestore delle azioni del Piano d'innovazione, pianificando e mettendo in atto tutte le iniziative necessarie a realizzare l'attività progettuale e conseguire i risultati previsti dal Piano stesso. In primo luogo è stato costituito un Comitato di Progetto, composto dal Responsabile del Piano d'innovazione, dal Responsabile Scientifico e da almeno un Rappresentante per ogni Unità Operativa coinvolta nella realizzazione delle diverse azioni previste dal Piano. Per tutta la durata del Piano, RI.NOVA ha quindi svolto una serie di attività funzionali a garantire la corretta applicazione di quanto contenuto nel Piano stesso, e in particolare: il monitoraggio dello stato d'avanzamento dei lavori; la valutazione dei risultati in corso d'opera; l'analisi degli scostamenti, comparando i risultati intermedi raggiunti con quelli attesi; la definizione delle azioni correttive. Inoltre il Responsabile del Piano d'innovazione, in stretta collaborazione con il Responsabile Scientifico, si è preoccupato di pianificare una strategia di controllo circa il buon andamento delle attività del Piano.

#### **Impiego di materiali alternativi alla plastica in campo**

La prova in campo sull'utilizzo di pacciamature a base amido (Mater -Bi) a confronto con quella convenzionale a base di polietilene è stata condotta regolarmente sia in coltivazione integrata che in coltura biologica. La pacciamatura biodegradabile, in entrambi i campi, è stata in grado di mantenere la copertura del suolo fino alla fine della produzione e ha mostrato un efficiente controllo delle infestanti. Le performance produttive e qualitative sono risultate perfettamente paragonabili a quelle ottenute con l'impiego di pacciamature convenzionali di polietilene. I residui di bio-telo nel terreno sono presenti in percentuale molto limitata già in fase di interrimento della pacciamatura e dopo 6 mesi si sono ulteriormente ridotti, a dimostrazione che il processo di biodegradazione è proseguito anche nel periodo invernale anche a temperature ridotte e nonostante il periodo autunno-invernale sia risultato nel complesso piuttosto secco.

Allo scopo di determinare quale tra i materiali di pacciamatura sia il più economicamente conveniente, si sono modellizzati i costi e la resa della pacciamatura. In termini di costi, differenti tipologie di pacciamatura differiscono sotto molti aspetti, a partire dal prezzo di acquisto e di installazione, fino ad arrivare ai costi di rimozione. Per quanto riguarda la resa, pacciamature diverse possono originare raccolti differenti in termini di qualità e quantità. La modellizzazione dei costi è stata condotta per i film polimerici di pacciamatura, sia biodegradabili che non biodegradabili, in quanto attualmente utilizzati per la produzione commerciale. Tuttavia questo modello può essere riadattato in futuro ad altre tipologie di pacciamatura (pacciamature organiche, pacciamature polimeriche spruzzabili) che attualmente non sono applicate commercialmente su larga scala.

#### **Implementazione di un sistema di gestione delle reti antigrandine e antinsetto**

Lo scopo di questa attività è stato quello di valutare la fattibilità del riciclo meccanico di reti antigrandine e anti-insetto. Lo studio è stato effettuato su 5 campioni di rete differenti per marca, tipologia di impiego, condizione di utilizzo, età complessiva e quantitativo. Per prima cosa è stato necessario caratterizzare tutti i campioni per determinarne la natura chimica e le proprietà termiche. Allo scopo di riciclare meccanicamente le reti in esame, queste sono state per prima cosa compattate tramite pressa riscaldata ottenendo delle lastre che sono state tagliate in foglietti. Questi sono stati quindi processati tramite due approcci diversi:

- Termoformatura in stampo;
- Estrusione per la produzione di filamenti utilizzabili nell'Additive Manufacturing.

Dopo aver ottimizzato i processi, i materiali ottenuti sono stati caratterizzati allo scopo di verificare e confrontare le loro proprietà termiche e meccaniche. Al termine del lavoro sperimentale è stato possibile



proporre uno schema di processi per il riciclo meccanico di tali reti utilizzate intensivamente in ambito agricolo, riportato nella figura che segue.



L'attività è proseguita con uno studio di fattibilità tecnico-economica e la valutazione degli impatti ambientali derivanti dalle diverse soluzioni individuate (riciclo meccanico, termovalorizzazione, riciclo chimico). Si ritiene che il riutilizzo delle reti, quando applicabile, sia la strategia più efficace per ridurre l'impatto ambientale di questi manufatti polimerici, in quanto non comporta sostanziali emissioni e permette di evitare direttamente la produzione di nuove reti. La strada del riutilizzo è perseguibile in quei casi in cui la rete possiede ancora una certa integrità funzionale e meccanica. Nel caso in cui la rete fosse in stato avanzato di degradazione, i fili di cui è composta potrebbero iniziare a demagliersi e si potrebbero disperdere elevate quantità di polietilene nell'ambiente. Il riutilizzo può essere di varie tipologie, a seconda dello stato di degradazione delle reti: riutilizzo con la medesima funzione; riutilizzo come copertura ombreggiante; riutilizzo in altre applicazioni (shopper, elementi di arredo, ed altri).

### **Sviluppo di imballaggi a base di prodotti alternativi alla plastica convenzionale**

Relativamente all'individuazione delle attuali tipologie di contenitori e di materiali e l'individuazione delle alternative possibili e disponibili in commercio, l'attività è stata condotta tramite ricerche di mercato eseguite in loco, presso vari supermercati presenti nella zona di Reggio Emilia, quali Coop, Esselunga, Conad ecc. Con tali informazioni è stato creato un database contenente tutte le informazioni relative alla tipologia di materiali e confezioni impiegate nella fase di confezionamento della filiera ortofrutticola. I risultati ottenuti consentono di dire che tra i materiali plastici tradizionali spicca l'elevato utilizzo di vaschette (con coperchio a incastro o top film saldato) realizzate in R-PET, ovvero PET proveniente dal riciclo. Anche il polipropilene (PP) risulta ben rappresentato (materiale vergine) per la realizzazione di vassoi, vaschette e cestini, ma anche come film per il confezionamento flow-pack di cestini di altro materiale. Ben rappresentato su alcune referenze frutticole e soprattutto per i grandi formati (cassettine e cassette) il materiale cellulosico (cartoncino): in ogni caso tali confezioni risultano chiuse, per il contenimento del prodotto, con coperchi e avvolgimenti in materiale plastico tradizionale. Non risultavano impiegati, allo stato dell'indagine condotta, materiali compostabili e/o biodegradabili, presenti invece in altre referenze orticole (es. pomodorini).

L'attività svolta in merito alla verifica dell'idoneità dei materiali alternativi è stata focalizzata sul reperimento di alternative commercialmente disponibili identificabili secondo i seguenti criteri: 1) da fonti rinnovabili; 2) compostabili in impianti di compostaggio industriale; 3) da materiali di riciclo.

Per la valutazione dell'influenza dei nuovi materiali/delle nuove confezioni sulla conservabilità dei prodotti, sono stati oggetto della sperimentazione i seguenti prodotti frutticoli: uva di IV gamma, piccoli frutti rossi (mirtilli, more, lamponi) e macedonie di frutti (IV gamma). La scelta è stata motivata da un lato dalla delicatezza di alcuni frutti (piccoli frutti rossi, dall'altro dal più elevato valore aggiunto dei prodotti di IV Gamma, che proprio per tale motivo potrebbero "sopportare" meglio un leggero aumento del costo

dell'unità packaging dovuto all'impiego di materiali non convenzionali. Per quanto attiene i parametri chimici e la loro evoluzione nell'ambito dei processi di maturazione/senescenza del prodotto, tutte le confezioni (sperimentali e convenzionali) hanno dimostrato di preservare la qualità, per tempi ragionevoli e coerenti con la normale durabilità dei differenti prodotti. Le analisi sensoriali condotte hanno evidenziato una sostanziale comparabilità nell'apprezzamento dei diversi prodotti da parte di un panel allargato di consumatori, abituali consumatori di frutta, non consentendo di evidenziare una maggiore o minore accettabilità dei frutti confezionati nei materiali alternativi.

### **Impatto di materiali compostabili e biodegradabili sugli impianti di compostaggio**

Da una visita effettuata presso l'impianto HERA di Sant'Agata Bolognese (trattamento A/AN, rappresentativo per dimensioni) è emersa chiara la difficoltà che queste tipologie di impianto avrebbero nel vedere aumentare la quota di materiale "plastico" certificato compostabile rispetto alla massa di frazione umida e di verde. Risulta quindi chiaro l'impedimento a una diffusione allargata di questi materiali nella frazione umida, stanti le modalità di raccolta e conferimento della stessa che non può discriminare tra ciò che viene trattato per compostaggio o con trattamento A/AN. Occorrerà ripensare ai modelli di produzione e di post consumo al fine di rendere davvero fattibile lo smaltimento di quote consistenti di materiali plastici compostabili e/o biodegradabili.

### **Sviluppo/Progettazione di un servizio di supporto organizzativo per il ritiro e riciclo dei materiali plastici**

Oltre ad avere realizzato una analisi delle esigenze degli attori coinvolti, svolto attività di informazione dei consumatori sulla corretta gestione del fine vita degli imballaggi e valutato gli elementi necessari per un servizio di raccolta, smaltimento e riciclo, il progetto ha implementato un metodo quantitativo per analizzare alternative sostenibili per una migliore gestione della plastica in agricoltura, abbozzando anche uno schema raffigurante un possibile servizio organizzativo per il ritiro dei materiali plastici convenzionali o alternativi.

### **Divulgazione**

In accordo con i partner del GO, il personale RI.NOVA ha organizzato e gestito diverse iniziative e azioni divulgative. In particolare sono stati organizzati nel complesso n. 2 incontri tecnici, n. 1 convegno finale, n. 3 articoli tecnici, n. 1 comunicato stampa e n.1 audiovisivo. RI.NOVA ha inoltre messo a disposizione del Gruppo Operativo il proprio Portale Internet, affinché le attività ed i risultati conseguiti nel presente piano siano facilmente identificabili e fruibili dall'utenza. Il personale RI.NOVA si è fatto carico di predisporre in lingua italiana e inglese, le modulistiche richieste per la presentazione del Piano al fine del collegamento alla Rete PEI-Agri.

### **Risultati innovativi e prodotti che caratterizzano il Piano**

Le prove sull'impiego della bio-plastica biodegradabile e compostabile (Mater-Bi) impiegata come pacciamatura della fragola, in alternativa alla pacciamatura convenzionale con film in polietilene, hanno dimostrato che la pacciamatura biodegradabile è in grado di mantenere la copertura del suolo fino alla fine della produzione mostrando un efficiente controllo delle infestanti. Le performance produttive e qualitative sono risultate perfettamente paragonabili a quelle ottenute con l'impiego di pacciamature convenzionali di polietilene.

Lo studio sulla fattibilità del riciclo di reti antigrandine e anti-insetto utilizzate comunemente in agricoltura ha dimostrato che il loro riciclo meccanico è fattibile e porta all'ottenimento di un materiale con proprietà simili a quello vergine e quindi riutilizzabile per la produzione di altri manufatti. Al termine del lavoro sperimentale è stato possibile proporre una schema di processi per il riciclo meccanico di tali reti utilizzate intensivamente in ambito agricolo.

I nuovi materiali compostabili utilizzati per il confezionamento di uva di IV gamma, piccoli frutti rossi (mirtilli, more, lamponi) e macedonie di frutti (IV gamma) hanno dimostrato di preservare la qualità, per tempi ragionevoli e coerenti con la normale durabilità dei differenti prodotti. Le analisi sensoriali condotte hanno evidenziato una sostanziale comparabilità nell'apprezzamento dei diversi prodotti da parte di un panel allargato di consumatori, abituali consumatori di frutta, non consentendo di evidenziare una

maggiore o minore accettabilità dei frutti confezionati nei materiali alternativi.

Il progetto, infine, dopo avere realizzato una analisi delle esigenze degli attori coinvolti e valutato gli elementi necessari per un servizio di raccolta, smaltimento e riciclo, ha implementato un metodo quantitativo per analizzare alternative sostenibili per una migliore gestione della plastica in agricoltura, definendo anche uno schema raffigurante un possibile servizio organizzativo per il ritiro dei materiali plastici convenzionali o alternativi.

### **Potenziali ricadute in ambito produttivo e territoriale**

In termini di potenziali ricadute sul sistema produttivo, i soggetti che in primo luogo saranno in grado di avvantaggiarsi dei risultati ottenuti sono le cooperative Apofruit Italia e Granfrutta Zani che, entrambe, hanno partecipato attivamente alla realizzazione delle attività previste. Nel complesso si tratta di oltre 4.600 produttori, di cui circa 4.000 afferenti ad Apofruit e 600 a Granfrutta Zani, con indirizzo in prevalenza frutticolo e 30 stabilimenti di conferimento, conservazione, lavorazione e confezionamento della frutta dislocati su varie parti del territorio regionale e nazionale. In concreto, i risultati consistono in una serie di innovazioni lungo la filiera, sia in fase di campo che in quella di raccolta e packaging, capaci di fornire le necessarie garanzie sulla qualità e presentazione del prodotto. Si ritiene, inoltre, che i risultati ottenuti possano avere una buona trasferibilità nel territorio, grazie soprattutto al coinvolgimento di grandi realtà produttive di natura cooperativa come Apofruit, Granfrutta Zani e Canova (società specializzata del Gruppo Apofruit nata per valorizzare le produzioni biologiche degli associati, in rapporto diretto con oltre 800 aziende agricole biologiche in Italia), che possono contare su di un bacino di utenza molto importante, compreso le principali catene della GDO che operano a livello nazionale.

Data: 24-07-2023

Firma del legale rapp.te<sup>1</sup>

(Mirco Zanotti)

*F.to Digitalmente*

---

<sup>1</sup> Il documento trasmesso per via telematica, deve essere sottoscritto con firma autografa e presentato unitamente a copia del documento di identità in corso di validità ovvero sottoscritto con firma digitale (art. 65 D.Lgs 82/2005 C.A.D.). Ai sensi dell'art. 24 del C.A.D., è legittima l'apposizione della firma digitale generata con certificato valido, non revocato o sospeso alla data della sottoscrizione. La struttura competente provvederà alla verifica della stessa.