



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo Agricolo
per lo Sviluppo Rurale



Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

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 5197421

DOMANDA DI PAGAMENTO 5668555; 5682664; 5692219; 5692865; 5692468; 5692834; 5692339.

Titolo Piano	Packaging alimentare sostenibile dai residui AgriColi: dalla natura per la natura – AgriCo.Pack
Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario)	Open Fields Srl
Elenco partner del Gruppo Operativo	Open Fields Srl CIPACK – UNIPR DICAM – UNIBO EcorNaturaSi Reipack (partner non beneficiario) Biologica Ortigiani Azienda Agricola Bio Fratelli Brugnoli Centoform

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	24
Data inizio attività	09/03/2021
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	07/06/2023

Relazione relativa al periodo di attività dal	09/03/2021	Al 07/06/2023
Data rilascio relazione	31/07/2023	

Autore della relazione	Mia Marchini
telefono	m.marchini@openfields.it

Sommario

- 1 - DESCRIZIONE DEL PIANO
- 1.1 STATO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PIANO
- 2 - DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE
- 2.1 ATTIVITÀ E RISULTATI
- 2.2 PERSONALE
- 2.3 MATERIALI E LAVORAZIONI DIRETTAMENTE IMPUTABILI ALLA REALIZZAZIONE DEI PROTOTIPI
- 2.4 SPESE PER MATERIALE DUREVOLE E ATTREZZATURE
- 2.5 COLLABORAZIONI, CONSULENZE ESTERNE, ALTRI SERVIZI
- 2.6 SPESE PER ATTIVITÀ DI DIVULGAZIONE E DISSEMINAZIONE
- 2.7 SPESE PER ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E CONSULENZA
- 3 - CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ
- 4 - ALTRE INFORMAZIONI
- 5 - CONSIDERAZIONI FINALI
- 6 - RELAZIONE TECNICA

1 - DESCRIZIONE DEL PIANO

Le attività previste dal Piano sono state concluse nei 24 mesi inizialmente previsti a cui ha fatto seguito una proroga di 90 giorni fino al 7/06/2023.

L'attività di **esercizio della cooperazione** ha assicurato il coordinamento, la corretta collaborazione tra i vari gruppi, il controllo delle operazioni, il mantenimento delle relazioni con l'area Innovazione, formazione e consulenza del Settore Competitività delle imprese e sviluppo dell'innovazione della Regione Emilia-Romagna - Direzione generale agricoltura, caccia e pesca, la preparazione di domande di variante ed il supporto ai partner nella rendicontazione a saldo.

L'**azione 1** che prevedeva attività finalizzate allo sviluppo, su scala di laboratorio, di materiali composti compostabili a partire da biopolimeri commerciali e diverse percentuali di scarti agricoli (le biomasse scarti di fieno, bucce di patata, potature) è stata svolta dai partner Dicam-Unibo, Open Fields e dalle aziende agricole partner. Tutti i materiali composti realizzati sono stati caratterizzati presso i laboratori di Dicam-Unibo, per selezionare le migliori composizioni e gli scarti vegetali più promettenti per un passaggio di scala della produzione del materiale. In particolare, sono state selezionate le matrici bio-polimeriche acido polilattico (PLA) e una blend costituita da 60% PLA e 40% polibutilen-adipato-tereftalato (PBAT) e la biomassa fieno macinato.

L'**azione 2** prevedeva la produzione dei composti selezionati nell'azione 1 nei quantitativi necessari ad effettuare prove di compounding, filmatura e termoformatura su scala pilota per arrivare a prototipi di vaschette da caratterizzare nell'azione 3. Le prove pilota sono state svolte presso il Consorzio Proplast, fornitore di servizi del partner EcorNaturaSì. All'azione 2 hanno partecipato anche Dicam-Unibo, Open Fields e le aziende agricole, che hanno recuperato e fornito gli scarti utili ad effettuare le prove su più larga scala. Sono state prodotte vaschette a base PLA e blend PLA + PBAT in diversi rapporti con percentuali di scarti di fieno del 10, 15 e 20%.

L'**azione 3**, che riguardava la caratterizzazione delle vaschette compostabili sperimentali mediante prove di resistenza a trazione e a compressione, è stata svolta presso i laboratori del Cipack-Unipr. Le vaschette contenenti il 10% di fieno avevano caratteristiche migliori.

Nell'**azione 4** è stata svolta l'analisi della sostenibilità ambientale dell'innovativo packaging sviluppato effettuando uno studio del ciclo di vita. Il calcolo degli impatti è stato effettuato utilizzando i metodi EPD (2018), utilizzato per le certificazioni ambientali Environmental Product Declarations, e il metodo IPCC 2021. È stato analizzato anche l'impatto delle vaschette sperimentali in un contesto produttivo ottimale. L'analisi del ciclo di vita è stata svolta da Cipack-Unipr con la collaborazione dei partner per la raccolta dei dati. La vaschetta con impatto più basso è quella che, a partire da PLA, massimizza il contenuto di fieno (20%) e viene prodotta con processi ottimizzati in termini energetici. Per realizzarla tuttavia sarà necessario ottimizzare la fase di produzione.

L'**azione 5** è stata svolta da EcorNaturaSì con il supporto di Open Fields ed ha previsto un'analisi della filiera di produzione del packaging innovativo per arrivare ad una stima dei quantitativi di vaschette e di scarti agricoli necessari a regime. Nell'azione 5 il sistema di anagrafica dei prodotti in fase di sviluppo presso EcorNaturaSì è stato adattato al packaging innovativo.

Nell'**azione divulgazione** sono stati realizzati: sito internet di progetto in Italiano ed Inglese, pagina web sul sito internet dei partner, materiale divulgativo (leaflet, roll-up), pagina e video sul sito Innovazione dell'Assessorato Agricoltura, Caccia e Pesca, partecipazione attiva ad eventi pubblici, partecipazione a fiere, conferenze tecniche e scientifiche. È stato organizzato un convegno finale presso il campus dell'Università di Parma con possibilità di collegamento online.

L'azione **Formazione** ha visto la realizzazione di un corso di 24 ore a cui hanno partecipato 19 aziende agricole. Il corso ha descritto i principi dell'economia circolare attraverso il riutilizzo degli scarti agricoli in azienda agricola. La formazione è stata svolta al 50%.

1.1 STATO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PIANO

Azione	Unità aziendale responsabile	Tipologia attività	Mese inizio attività previsto	Mese inizio attività effettivo	Mese termine attività previsto	Mese termine attività effettivo
Cooperazione	Open Fields	Amministrazione, monitoraggio, coordinamento	1	1	24	24+3
Azione 1	DICAM – UNIBO	Sviluppo Di Composti Polimerici Da Scarti Della Produzione Agricola	1	1	12	16
Azione 2	DICAM – UNIBO	Scale-Up Industriale Del Protocollo Sviluppato E Produzione Di Bobine/Contenitori Per Il Confezionamento	9	11	18	24
Azione 3	CIPACK - UNIPR	Caratterizzazione Del Packaging	15	15	24	24+3
Azione 4	CIPACK - UNIPR	Studi Di Impatto Ambientale	4	4	24	24+3
Azione 5	Open Fields	Sviluppo Di Supporti Organizzativi E Servizi Di Filiera	12	12	24	24+3
Divulgazione	Open Fields	Diffusione attività e risultati	1	1	24	24+3
Formazione	Centoform	Formazione alle aziende agricole	1	18	24	24+3

2 - DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE

2.1 ATTIVITÀ E RISULTATI AZIONE ESERCIZIO DELLA COOPERAZIONE

Azione	ESERCIZIO DELLA COOPERAZIONE
--------	------------------------------

Unità aziendale responsabile	OPEN FIELDS
Descrizione attività	<p>L'azione ha previsto lo svolgimento di attività di monitoraggio e di gestione del progetto quali: organizzazione ed esecuzione di riunioni (online), visite ai partner, raccolta dati e documentazione tecnica, supporto ai partner nella pianificazione delle attività, supporto ai partner nella fase di rendicontazione tecnico-scientifica (corretta emissione delle fatture, verifica delle conformità delle voci di spesa, compilazione dei documenti).</p> <p>L'azione è stata condotta da Open Fields con la collaborazione di tutti i partner in funzione del proprio ruolo nel piano.</p> <p>(Open Fields) , responsabile organizzativo, (CIPACK -UNIPR) responsabile scientifico, si sono relazionati durante tutto il progetto per garantire il raggiungimento degli obiettivi ed una efficace cooperazione tra i partner.</p> <p>Durante la riunione di inizio progetto (Kick off meeting), il 26 maggio 2021, è stato nominato il gruppo direttivo, formato da: (Open Fields), (CIPACK - UNIPR), (DICAM -UNIBO), (REIPACK FOIL), i (EcorNaturaSi), (Az. Agr. F.lli Brugnoli), (Soc. Agr. Ortigiani), (Centoforn).</p> <p>Ciascuna azienda/ente ha quindi definito i tecnici e ricercatori coinvolti nelle attività progettuali (gruppo tecnico). Il gruppo tecnico è stato tempestivamente informato delle decisioni prese dal gruppo direttivo.</p> <p>Il gruppo direttivo si è riunito nel corso di tutto il piano, principalmente in video-conferenza, data la distanza tra le sedi dei partner. Di seguito si riportano le date delle riunioni: 26/05/2021; 04/06/2021, 07/06/2021, 08/11/2021, 26/01/2022, 04/03/2022, 09/05/2022, 08/06/2022, 21/06/2022, 14/11/2022, 16/02/2023, 09/05/2023.</p> <p>Durante le riunioni è stato verificato lo stato di avanzamento delle attività, sono stati analizzati i risultati e i prodotti delle attività concluse e sono state pianificate le attività future, incluse quelle divulgative e della formazione.</p> <p>Open Fields ha mantenuto i rapporti con l'area Innovazione, formazione e consulenza del Settore Competitività delle imprese e sviluppo dell'innovazione della Regione Emilia-Romagna - Direzione generale agricoltura, caccia e pesca.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>Gli obiettivi sono stati pienamente raggiunti.</p> <p>E' stata autorizzata una proroga di 90 giorni, motivata soprattutto dalla necessità di completare l'attività di formazione e caratterizzazione del packaging.</p> <p>E' stata presentata una richiesta di variante per l'attività di scale-up industriale che prevedeva l'uso di un estrusore pilota per compounding. La variante è stata approvata con Atto del Dirigente DETERMINAZIONE N. 17596 del 19/09/2022.</p>

	<p>La nuova società è stata inserita nell'ATS ed il subentro della stessa nel progetto è stato gestito da Open Fields e l'area Innovazione, formazione e consulenza del Settore Competitività delle imprese e sviluppo dell'innovazione della Regione Emilia-Romagna - Direzione generale agricoltura, caccia e pesca e approvato con DETERMINAZIONE N. 14795 del 05/07/2023.</p>
--	---

2.2.1 PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
- OPEN FIELDS SRL	impiegato TI / da gennaio 2023 quadro	responsabile organizzativo	€ 27 / € 43	264,50	€ 8.117,50
- OPEN FIELDS SRL	impiegato TI part time 80%	attività amministrative relative alla cooperazione	€ 27,00	192,00	€ 5.184,00
- OPEN FIELDS SRL	impiegato TI part time 50%	attività di coordinamento	€ 27,00	82,00	€ 2.214,00
- OPEN FIELDS SRL	impiegato TI	attività di coordinamento	€ 27,00	7,00	€ 189,00
- EcorNaturaSì S.p.A.	Consulente	consulente / attività di coordinamento	€ 54,00	65,00	€ 3.510,00
Totale:					€ 19.214,50

2.5 COLLABORAZIONI, CONSULENZE ESTERNE, ALTRI SERVIZI

CONSULENZE ESTERNE - PERSONE FISICHE

Nominativo del Consulente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
OPEN FIELDS		atto di associazione temporanea di scopo per progetto AgriCo.Pack	550 euro
Totale			550,00

2.2 ATTIVITÀ AZIONE 1

Azione	1 - SVILUPPO DI COMPOSTI POLIMERICI DA SCARTI DELLA PRODUZIONE AGRICOLA
Unità aziendale responsabile	DICAM - UNIBO
Descrizione attività	<p>Al fine di ottenere per estrusione e successiva termoformatura un imballaggio compostabile, in questa attività sono stati selezionati alcuni scarti agricoli e testati alcuni materiali polimerici. Gli scarti agricoli sono stati selezionati sulla base della stagionalità, della disponibilità in azienda e sulla base di studi di letteratura che valutavano in modo preliminare l'idoneità degli stessi ad essere impiegati nella realizzazione di packaging bio-based per il confezionamento di prodotti alimentari.</p> <p>Gli scarti agricoli selezionati in collaborazione con EcornaturaSì e le aziende agricole partner del progetto sono i seguenti: bucce di patate, residui delle potature di alberi di melo (entrambi conferiti da Biologica Ortigiani) e fieno proveniente da scarti di mangiatoia (conferito dall'Azienda Agricola Fratelli Brugnoli).</p> <p>I residui sono stati bio-triturati (Biotrituratore Caravaggi grazie ad una collaborazione con Iridenergy), macinati con molino a martelli (impianto prototipale realizzato da Marani Srl, Sissa Trecasali, PR) e ulteriormente sottoposti a micronizzazione con micronizzatore KMX-300-7,5 PLT/CD 170 Hz (SeparMicroSystem Sas, Flero, BS), per ottenere residui con granulometria idonea alla produzione di bio-compositi presso UNIBO. I residui agricoli così processati sono stati conferiti ad UNIBO per la produzione di un materiale composito prototipale in blend con biopolimeri selezionati. Le blends ed i materiali puri sono stati sottoposti ad analisi chimico-fisiche e meccaniche.</p> <p>Prima della bio-triturazione, le bucce di patata sono state essiccate in stufa per 10 ore a 105 °C (Pid System, MPM Instruments, grazie ad una collaborazione con Azienda Agraria Sperimentale Stuard, PR).</p> <p>Presso UNIBO state studiate 6 differenti matrici polimeriche (poli(butilene succinato), gradi differenti di acido polilattico e blends a diverso contenuto di acido polilattico e poli(butilene adipato-co-terefalato), ed i 3 differenti scarti agricoli. Gli scarti sono stati analizzati in termini di granulometria, stabilità termica, morfologia e composizione. Gli scarti e i polimeri sono stati inizialmente ulteriormente essiccati in stufa in laboratorio e successivamente miscelati in fuso attraverso l'utilizzo di un mescolatore di tipo Brabender secondo diverse percentuali. I biocompositi ottenuti sono stati caratterizzati in termini di morfologia, proprietà termiche e meccaniche. I materiali che hanno</p>

	<p>presentato il miglior compromesso tra quantità dello scarto agricolo e proprietà del biocomposito sono stati selezionati per l'up-scaling. Per l'ottenimento dei biocompositi, preparati tramite miscelazione in fuso con un mescolatore di tipo Brabender, si sono impiegati scarti vegetali e matrici polimeriche. Come scarti vegetali si sono sfruttati i materiali forniti dalle aziende agricole partner del progetto, essiccati, biotriturati e macinati da Open Fields: sfalci di potatura di melo (PMMM), bucce di patata (BPM) e fieno da scarto di mangiatoia (FM). Come materiali polimerici si sono invece impiegati il PBS (FZ91 di Mitsubishi), vari gradi di PLA (Luminy LX175 di Corbion, INGEO 2003D di NatureWorks), il PBAT (EcoFlex C1200 di Basf) e varie blend a base di PLA (ECOVIIO TA1241 e ECOVIIO T2308, entrambi di Basf).</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Gli obiettivi sono stati pienamente raggiunti, nonostante alcune criticità che hanno rallentato il decorso delle attività previste. Per l'impiego dei residui agricoli e per la definizione del protocollo per la formulazione del materiale bio-composito si è reso necessario un impiego di attrezzature, risorse umane ed economiche straordinario e non previsto. Dopo l'individuazione dei residui agricoli oggetto della sperimentazione, è sorto il problema di come processarli al fine di poterli impiegare in blend con i biopolimeri. I residui agricoli tal quali non erano infatti idonei ad un impiego diretto in blend con bio-polimeri. È stato necessario procedere alla bio-triturazione e macinazione dei residui in modo che raggiungessero una granulometria ottimale (<300 micron). Le bucce di patata conferite fresche settimanalmente da Biologica Ortigiani (circa 3-4 kg a settimana) presentavano un livello di umidità troppo elevato per poter essere bio-triturate tal quali. È stato quindi necessario essicarle in stufa a 105°C per 20 ore fino a peso costante, con un notevole dispendio settimanale di energia e risorse.</p> <p>Open Fields ha provveduto direttamente alla biotriturazione, macinazione e micronizzazione dei residui mediante risorse proprie. Per la biotriturazione è stato necessario rivolgersi alla ditta Iridenergy Srl di Parma, che ha supportato le attività con strumenti e risorse proprie, mentre per la macinazione è stato essenziale il supporto di Molino Marani Srl di Sissa Trecasali (PR), che ha supportato il processamento dei residui con un proprio molino prototipale e affiancando Open Fields con risorse umane proprie. Per l'ulteriore micronizzazione dei residui di potatura, si è reso necessario coinvolgere Separ Micro System Sas (BS), che a sua volta ha supportato la realizzazione del progetto mediante l'impiego di macchinari e risorse proprie.</p> <p>Presso UNIBO sono state preparate alcune formulazioni di biocompositi in cui un biopolimero commerciale costituisce la matrice polimerica ed uno scarto vegetale è il secondo componente. I biocompositi sono completamente (o quasi</p>

	completamente) di origine naturale e compostabili. Alcune formulazioni testate sono risultate interessanti per il successivo passaggio di scala. Tra i polimeri commerciali utilizzati, alcuni sono risultati essere già additivati con un elevato contenuto di cariche inorganiche, precludendo possibili ulteriori aggiunte di scarti vegetali. Inoltre l'irrigidimento impartito dalla presenza di cariche vegetali è stato corretto indirizzandosi verso l'uso di materiali più flessibili. In tale maniera, con matrici polimeriche quali il PBS o le miscele PLA/PBAT 60/40 si sono ottenute in scala di laboratorio buone proprietà per contenuti di scarto fino al 30%.
--	---

2.2.1 PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
- OPEN FIELDS SRL	impiegato TI	responsabile organizzativo	€ 27,00	50,00	€ 1.350,00
- OPEN FIELDS SRL	impiegato TI	attività preparazione scarti e coordinamento	€ 27,00	4,00	€ 108,00
- EcorNaturaSì S.p.A.	impiegato	Azione 1: sviluppo di composti polimerici da scarti della produzione	€ 27,00	74,40	€ 2.008,80
- Società agricola Ortigiani	Imprenditore Agricolo	recupero scarti	€ 19,50	45,00	€ 877,50
- ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA	Professore associato	Coordinamento attività sperimentali, discussione e interpretazione risultati	€ 48,00	93,00	€ 4.464,00
LAURA SISTI - ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA	Professore associato	Coordinamento attività sperimentali, caratterizzazione dei materiali, discussione e interpretazione dei risultati	€ 48,00	150,00	€ 7.200,00
- ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA	Ricercatore	Caratterizzazione dei composti, discussione dei dati ed avanzamenti nella preparazione delle	€ 31,00	100,00	€ 3.100,00

		formulazioni			
- ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA	Assegnista	Analisi dei residui, preparazione dei compositi e loro caratterizzazione, discussione e presentazione dei risultati	€ 13,99	1.328,00	€ 18.578,72
- BRUGNOLI F.LLI SOCIETA' AGRICOLA	Imprenditore Agricolo	attività di campo azione 1	€ 19,50	45,00	€ 877,50
Totale:					€ 38.564,52

2.3 ATTIVITÀ AZIONE 2

Azione	2 - SCALE-UP INDUSTRIALE DEL PROTOCOLLO SVILUPPATO E PRODUZIONE DI BOBINE/CONTENITORI PER IL CONFEZIONAMENTO
Unità aziendale responsabile	DICAM-UNIBO
Descrizione attività	<p>Obiettivo dell'attività è stato quello di produrre granuli di compound sulla base delle formulazioni individuate nell'AZIONE 1. In particolare, sono state selezionate due differenti matrici bio-polimeriche: acido polilattico (PLA) e una blend costituita da 60% PLA e 40% polibutilen-adipato-tereftalato (PBAT). Tramite studi di compatibilità fra matrice e filler realizzati nell'ambito dell'azione precedente, il fieno macinato è stato selezionato come scarto agricolo da utilizzare per la preparazione dei compound. Un quantitativo di 1000 kg di fieno derivante da scarti di mangiatoia è stato fornito dal partner del progetto Azienda Agricola F.lli Brugnoli. Il fieno è stato macinato da Agrindustria Tecco (CN) a spese di EcorNaturaSi (spesa non inclusa nella rendicontazione). Il processo è stato condotto eseguendo diversi passaggi: in prima istanza una separazione manuale delle pietre dal fieno, seguita da una separazione in spietratrice. Successivamente, il fieno è stato macinato utilizzando un mulino con setaccio da 0,5 mm e si sono ottenuti in output 840 kg di fieno macinato caratterizzato da una granulometria <300 µm e dunque adatta al compounding. Il fieno è stato poi confezionato in sacchi di carta da 20 kg l'uno ed inviato al Consorzio Proplast (spedizione e costi a carico di Open Fields) in collaborazione col quale sono state condotte le seguenti attività:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Valutazione delle matrici bio-polimeriche, selezionate

nell'ambito dell'AZIONE 1, da utilizzare in combinazione con la carica vegetale;

- Prove di compounding con estrusore bi-vite co-rotante con le diverse matrici bio-polimeriche;
- Prove di filmatura cast con estrusore monovite delle formulazioni preparate con le diverse basi biopolimeriche;
- Prove di termoformatura sui film preparati con le formulazioni ottenute dalle diverse basi biopolimeriche;

Per le prove sperimentali sono state selezionate le seguenti matrici bio-polimeriche:

- Acido polilattico PLA, grado commerciale di Total Energies Corbion PLA Luminy® L105 usato in combinazione con diverse percentuali di fieno macinato
- Polibutirrato-adipato-tereftalato PBAT, grado commerciale di BASF PBAT Ecoflex® F Blend C1200 usato per preparare blend con il PLA e la carica naturale
- Acido polilattico PLA, grado commerciale di Total Energies Corbion PLA Luminy® LX175, usato sia in combinazione con il fieno macinato sia per preparare blend con la matrice polimerica PBAT e la carica naturale.

La tabella di seguito riporta le formulazioni oggetto di sperimentazione associate ad un corrispondente codice identificativo.

Codice	Formulazione
PLA 045	80 % PLA L105 + 20 % FM
PLA 046	90 % PLA L105 + 10 % FM
PLA 047	85 % PLA L105 + 15 % FM
PLA 049	PLA LX175/PBAT 60/40
PLA 050	PLA LX175/PBAT 60/40
PLA 051	PLALX175/PBAT 60/40
PLA 052	PLA LX175/PBAT 60/40
PLA 053	PLA LX175/PBAT 60/40 + 20 % FM
PLA 054	PLA LX175/PBAT 60/40 + 10 % FM
PLA 055	PLA LX175/PBAT 75/25 + 20 % FM
PLA 056	80 % PLA LX175 + 20 % FM
PLA 057	PLA LX175/PBAT 75/25

PLA, acido polilattico, FM, fieno micronizzato, PBAT, polibutilen-adipato-tereftalato.

Prima di essere processati, sia i polimeri che la carica sono stati essiccati; in particolare i PLA tal quali sono stati essiccati ad 80 °C per 4 ÷ 6 ore in essiccatore, il PBAT tal quale è stato essiccato ad 80 °C per 4 ore in essiccatore e il fieno macinato è stato essiccato in stufa a vuoto a 60 °C per 24 ore.

Tutte le formulazioni sono state ottenute con un estrusore bi-vite co-rotante, caratterizzato da una vite avente diametro di 27 mm e rapporto L/D pari a 40. I polimeri sono stati alimentati dalla tramoggia principale tramite un dosatore gravimetrico Brabender, mentre la carica è stata inserita mediante un dosatore laterale con velocità di rotazione della vite pari a 50 rpm. Per tutte le formulazioni la velocità di rotazione delle vite è stata mantenuta costante a 180 rpm e una pompa a vuoto è stata utilizzata per favorire

	<p>il degasaggio durante il processo ed evitare la presenza di umidità residua nella miscela polimerica allo stato fuso. Per tutti i compound realizzati, la portata è rimasta compresa tra i 15 e i 20 kg/h. Il filamento in uscita dall'estrusore è stato poi raffreddato in una vasca ad acqua di lunghezza pari a 4 m e tagliato in pellet per le successive fasi di filmatura cast tramite il pellettizzatore ad aria.</p> <p>Data l'elevata quantità di acqua presente all'interno dei granuli al termine della fase di compounding, questi sono stati essiccati ad 80 °C per 12 ore complessive. La successiva filmatura è stata eseguita con un estrusore a testa piana la cui larghezza nominale è di 200 mm. La distanza tra i rulli della calandra permette di fissare lo spessore nominale. Si è deciso di lavorare su spessori piuttosto elevati: 800 µm per le formulazioni PLA045 e PLA046 e 1000 µm per le formulazioni PLA053, PLA054, PLA055 e PLA056.</p> <p>Le prove di termoformatura sono state eseguite utilizzando una termoformatrice mono-stampo con preriscaldamento a raggi infrarossi. Il processo di termoformatura consiste nello scaldare un film in materiale plastico ad una temperatura tale per cui sia possibile una formatura all'interno di uno specifico stampo, senza arrivare alla completa fusione o alla degradazione del materiale che si sta termoformando. Lo schema 3D dello stampo consiste in una vaschetta dalla profondità di 50 mm con base rettangolare e angoli raggiati. Il film viene scaldato tramite una lampada ad infrarossi e la temperatura è regolabile agendo sul tempo di riscaldamento che, a seconda della formulazione, è stato fatto variare mediamente tra i 20 e 30 s per ottimizzare le condizioni di processo ed evitare la formazione di fori o deformazioni nel materiale. Successivamente il film è stato fatto aderire allo stampo attraverso l'azione del vuoto ottenendo la vaschetta.</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>I risultati dell'AZIONE 1 hanno mostrato come su scala di laboratorio fosse possibile ottenere dei compound contenenti fino al 30%-40% di fieno macinato. Per trasferire al meglio il processo su scala industriale si è deciso di procedere ad effettuare prove intermedie su estrusori di media dimensione prima di passare a quelli industriali. E' stato deciso di procedere in questo modo in quanto è noto che nel passaggio da un'estrusione effettuata in discontinuo su scala pilota ad una effettuata in continuo a livello industriale possono sorgere dei problemi di cattiva miscelazione tra il bio-polimero e il filler tali per cui le percentuali di filler che si riescono a raggiungere risultano limitate (non superiori al 30%). Da qui l'esigenza di fare un passaggio intermedio per studiare al meglio il comportamento dei materiali in fase di estrusione.</p> <p>Per questa attività era stato individuato il fornitore di servizi PlastAnalisi, che presentava caratteristiche di unicità poiché soggetto con alta competenza tecnica e scientifica che poteva mettere a disposizione estrusori di materiali plastici su scala pilota per prove sperimentali (non occupati da produzioni industriali), unico in regione, avendo sede operativa a Luzzara (RE), consentendo di ottimizzare la logistica ed il trasporto delle biomasse prodotte dalle aziende agricole partner site nell'appennino parmense (PR). Plastanalisi in fase di realizzazione del progetto ha</p>

	<p>comunicato di avere dismesso l'estrusore bi-vite corotante per la trasformazione dei polimeri (compounding) su scala medio-piccola (dai 5 ai 100 kg). Questo estrusore avrebbe permesso di riprodurre, su scala medio-piccola, processi di trasformazione per ottenere nuove formulazioni di polimeri e verificarne la lavorabilità.</p> <p>I partner si sono quindi attivati per individuare un fornitore alternativo che disponesse di estrusori pilota per compounding. Il Consorzio Proplast è stato il soggetto selezionato, avendo presentato la migliore offerta tecnico-economica e potendo garantire la flessibilità e le competenze tecnico-scientifiche per l'individuazione dei parametri di processo utili allo scale-up industriale, necessarie al progetto. Possiede inoltre impianti pilota che permettono di verificare la scalabilità industriale di tutte le fasi di produzione di packaging alimentare: compounding, filmatura e termoformatura della vaschetta.</p> <p>Proplast ha dunque eseguito prove di compounding preliminari e poi con estrusore bivate co-rotante, prove di filmatura cast con estrusore monovite e prove di termoformatura.</p> <p>Durante le prove di compounding sono state rilevate criticità ad una percentuale di filler aggiunto alla mescola pari al 20%. In particolare, il filamento in uscita dall'estrusore tendeva a rompersi e pertanto non è stato possibile superare questa percentuale in nessuna formulazione.</p> <p>Durante le prove di filmatura invece, le difficoltà riscontrate sono dovute al fatto che i granuli di compound, nonostante siano stati sottoposti ad essiccazione, continuavano a presentare un certo grado di umidità residua, che ha determinato un'elevata porosità riscontrata nelle formulazioni dopo filmatura. Inoltre, tali condizioni di processo hanno impedito di ottenere una distribuzione omogenea dello spessore dei campioni filmati.</p> <p>In fase di termoformatura sono state rilevate ulteriori criticità in alcune formulazioni legate alla degradazione del materiale, con conseguente formazione di fori (materiali con filler superiori al 20%). I fori formati in fase di riscaldamento hanno impedito la corretta aderenza allo stampo a causa dell'impossibilità di raggiungere una condizione di vuoto completo. Anche la porosità del materiale dei film ha contribuito negativamente alla buona riuscita del processo di termoformatura su alcuni campioni, in quanto la porosità consente il passaggio di aria impedendo di ottenere il vuoto completo.</p> <p>Durante le prove di termoformatura si è verificato inoltre un guasto alla termoformatrice utilizzata presso il Consorzio Proplast, che ha determinato un rallentamento delle attività progettuali. Nonostante le criticità sopra elencate, è stato possibile termoformare con successo 3 tipologie diverse di materiale, ottenendo così le 48 vaschette previste originariamente dal progetto. Molte altre vaschette non conformi sono comunque state realizzate ma considerate non industrializzabili e utilizzabili per gli scopi previsti.</p>
--	--

2.3.1 PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
- OPEN FIELDS SRL	impiegato TI	responsabile organizzativo	€ 27,00	52,50	€ 1.417,50
- EcorNaturaSì S.p.A.	impiegato	coordinamento attività compounding e relazioni con fornitore	€ 27,00	37,20	€ 1.004,40
- EcorNaturaSì S.p.A.	impiegato	coordinamento attività compounding e relazioni con fornitore	€ 27,00	93,00	€ 2.511,00
- EcorNaturaSì S.p.A.	Consulente	coordinamento attività compounding e relazioni con fornitore	€ 54,00	80,00	€ 4.320,00
- Società agricola Ortigiani	Imprenditore Agricolo	recupero scarti	€ 19,50	127,00	€ 2.476,50
- ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA	Professore associato	Attività svolta nell'azione trasferimento delle formulazioni per il passaggio di scala e supporto ai partners per la preparazione dei manufatti. Collaborazione con i partners per analisi LCA	€ 48,00	45,00	€ 2.160,00
- ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA	Professore associato	trasferimento delle formulazioni per il passaggio di scala e supporto nella messa a punto delle condizioni di estrusione e di filmatura al fine di ottenere lastre idonee per la termoformatura.	€ 48,00	16,00	€ 768,00
- BRUGNOLI F.LLI SOCIETA' AGRICOLA	Imprenditore Agricolo	attività di campo azione 2	€ 19,50	127,00	€ 2.476,50
Totale:					€

2.3.4 COLLABORAZIONI, CONSULENZE ESTERNE, ALTRI SERVIZI

CONSULENZE – SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
Proplast		20.000	Prove da svolgersi in un progetto Misura 16.1.01 focus are 3A del PSR 2015-2020 della Regione Emilia Romagna – domanda di sostegno n.5197421 finalizzato allo studio di un packaging alimentare costituito a partire da biomasse agricole.	20.000
			Totale	20.000

2.4 ATTIVITÀ AZIONE 3

Azione	3 - CARATTERIZZAZIONE DEL PACKAGING
Unità aziendale responsabile	CIPACK-UNIPR
Descrizione attività	<p>L'obiettivo dell'attività è stato quello di analizzare le caratteristiche del packaging innovativo sviluppato nelle azioni precedenti. Sulle vaschette realizzate con i materiali identificati dai codici PLA 054 (90% PLA/PBAT +10% FM) e PLA 046 (90% PLA +10% FM) sono state effettuate prove di resistenza a trazione e a compressione. Anche su vaschetta PLA 056 sono stati fatti alcuni test preliminari. Su tutte è stata valutata solo la compressione in verticale simulando la condizione di impilamento in presenza del prodotto. Questo perché, a causa della conformazione del bordo delle vaschette, non sussistevano le condizioni idonee per simulare nel modo più corretto la distribuzione del carico sul bordo e per poter quindi svolgere le prove di compressione in direzione trasversale.</p> <p>Per ogni test di trazione, si sono calcolati i valori di:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modulo elastico, E - Carico di scostamento dalla proporzionalità dello 0,2%, R_{p02} - Carico di rottura, σ_{max} - Deformazione a rottura, ϵ_{max} - Deformazione corrispondente a carico di rottura, $\epsilon@S_{max}$

	<p>Per ogni test di compressione sono stati calcolati i valori di:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rigidezza secante all'origine, k_s - Carico di plateau corrispondente al compattamento, P_p - Deformazione di inizio compattamento, ϵ_{start} - Deformazione di fine compattamento, ϵ_{end} <p>Sono state inoltre studiate le proprietà meccaniche a trazione di nuove blend costituite da PLA + una percentuale di plasticizzante variabile tra il 10% e il 15% + una percentuale di scarto agricolo (FM) pari ad almeno il 20%. Sono stati prodotti dei campioni di tipo 5A (ISO 527) con le seguenti composizioni:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 70% PLA + 20% fieno + 10% plasticizzante (Triacetato di glicerolo, CAS 102-76-1) 2) 55% PLA + 30% fieno + 15% plasticizzante (Triacetato di glicerolo, CAS 102-76-1) <p>Il comportamento di questi materiali è stato messo a confronto con campioni costituiti da 100% PLA e da 80% PLA + 20% senza l'aggiunta di plasticizzante. Sono stati ricavati il modulo di Young [GPa], sforzo a snervamento [MPa], sforzo a rottura [MPa], deformazione, tenacità [MJ/m³].</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Il Piano prevedeva di effettuare su tutti i campioni sviluppati i seguenti test: test di resistenza a compressione e a trazione, valutazione della resistenza alla saldatura, test di scoppio, "bubble test", valutazione della "shelf life" e test di idoneità organolettica. Le difficoltà riscontrate in fase di termoformatura hanno reso necessari tempi più lunghi del previsto per la produzione delle vaschette (AZIONE 2) e hanno costretto alla realizzazione di studi aggiuntivi e non previsti sui materiali oggetto della sperimentazione. Nonostante le difficoltà, si è in conclusione arrivati ad ottenere vaschette termoformate e successivamente confezionate tramite sistema flow pack. Non è stato possibile eseguire su vaschetta direttamente test di tenuta delle saldature.</p> <p>Se da un lato ci si è dovuti limitare ai test di resistenza a compressione e a trazione per la caratterizzazione delle vaschette, dall'altro sono stati però eseguiti nuovi test sui materiali per individuare delle nuove combinazioni tra matrice bio-polimerica e scarto agricolo che permettessero di superare le difficoltà incontrate nella realizzazione della vaschetta in fase di scale-up industriale e che dessero maggior beneficio ambientale secondo quanto evidenziato dagli studi di impatto ambientale condotti nell'ambito dell'AZIONE 4.</p>

2.4.1 PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
----------------	---------------------	-----------------------------	--------------	-----	--------------

-	Professore associato	attività sperimentale di	€ 48,00	204,00	€ 9.792,00
- UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA	Assegnista	Attività sperimentale di caratterizzazione del packaging		7 mesi	€ 13.935,88
Totale:					€ 23.727,88

2.5 ATTIVITÀ AZIONE 4

Azione	4 - STUDI DI IMPATTO AMBIENTALE
Unità aziendale responsabile	CIPACK-UNIPR
Descrizione attività	<p>L'obiettivo dell'azione è stato quello di analizzare la sostenibilità ambientale dell'innovativo packaging sviluppato effettuando uno studio del ciclo di vita tramite Life Cycle Assessment (LCA). Si tratta di una metodologia riconosciuta dalla Comunità Europea come migliore strumento per svolgere analisi di impatto ambientale.</p> <p>Le principali norme di riferimento sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ISO 14040. Environmental Management – Life Cycle Assessment- Principles and Framework; - ISO 14044. Environmental Management – Life Cycle Assessment- Requirements and Guidelines; <p>Nell'ambito della progettazione di nuovi prodotti, LCA diventa fondamentale per guidare i processi decisionali ed individuare l'alternativa più eco-sostenibile tra quelle a confronto. Pertanto, le attività dell'AZIONE 4 sono state svolte parallelamente a quelle delle AZIONI 2 e 3 al fine di selezionare le matrici polimeriche e gli scarti che non solo rispondessero al meglio a certe esigenze dal punto di vista meccanico, ma anche a certi requisiti di performance ambientale.</p> <p>Ogni studio LCA si suddivide in 4 fasi principali:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Definizione dello scopo e dell'obiettivo; 2) Analisi di inventario; 3) Valutazione degli impatti; 4) Interpretazione dei risultati. <p>Nella prima fase vengono stabiliti gli obiettivi dello studio e la sua applicazione. Inoltre, è definita l'unità funzionale, ossia l'unità di riferimento che quantifica la performance del sistema e a cui tutti i dati di consumo e dunque i risultati sono riferiti. Come unità funzionale è stata scelta una unità di packaging adatta al contenimento di topinambur o fragole. Il confronto fra le varie possibili soluzioni di packaging tiene in conto che ciascuna vaschetta debba contenere lo stesso volume di prodotto. In questo modo viene quantificata la performance funzionale del sistema in analisi.</p> <p>I confini del sistema definiscono i processi da includere nello studio (confini fisici), l'area geografica di riferimento (confini geografici) e i riferimenti temporali (confini temporali). Dal momento che nei</p>

confini fisici rientrano tutte le fasi del ciclo di vita del packaging in analisi, dall'estrazione delle materie prime allo smaltimento a fine vita, l'LCA effettuata è del tipo *from cradle to grave* (dalla culla alla tomba). Non sono state considerate le fasi di distribuzione e uso del prodotto, essendo rappresentative della situazione in cui il packaging venga immesso sul mercato, di cui si poteva avere solo un'eventuale rappresentazione approssimativa derivante da dati previsionali.

In fase di analisi di inventario sono stati raccolti tutti i dati di consumo, sia materiali che energetici, legati a tutti i processi coinvolti nel ciclo di vita del packaging oggetto di analisi. Tutti i dati raccolti sono stati rielaborati per riferirli all'unità funzionale e per convertire le unità di misura in quelle accettate da software Simapro 9.4. Tutti i processi sono stati modellati all'interno del software al fine di associare ai dati di consumo dei valori di emissioni che nella successiva fase di valutazione dell'impatto sono convertiti in indicatori ambientali caratterizzati da unità di misura equivalenti. Al fine di ricostruire un inventario delle emissioni è inoltre stato utilizzato il database Ecoinvent 3.8 che include 18000 processi relativi ad una vasta gamma di settori, quali agricoltura, sostanze chimiche e plastiche, energia, trasporti, trattamento dei rifiuti, approvvigionamento idrico ecc...

Per quanto riguarda l'approccio di modellazione utilizzato per valutare i benefici dati dall'utilizzo di materiale di scarto secondo i principi di economia circolare, è stato scelto l'approccio Cut-off secondo cui l'impatto relativo alla componente materiale dello scarto deve essere considerato nullo, dato che non viene effettuata alcuna attività estrattiva, e il beneficio aggiuntivo è dato dall'impatto evitato per il fatto che lo scarto non venga smaltito a fine vita.

Le ultime fasi della metodologia comprendono la valutazione e l'interpretazione degli impatti ambientali. Il calcolo degli impatti è stato effettuato utilizzando 2 metodi: l'EPD (2018), utilizzato per le certificazioni ambientali Environmental Product Declarations, e il metodo IPCC 2021. Ogni metodo è stato sviluppato a partire dalla selezione delle problematiche ambientali di interesse, rappresentate da opportune categorie di impatto. Tramite la fase di classificazione ogni emissione quantificata in fase di inventario viene associata alla problematica ambientale a cui contribuisce tramite una relazione qualitativa. Con la successiva fase di caratterizzazione a ciascuna sostanza viene assegnato un fattore di caratterizzazione che rappresenta il peso che quella specifica sostanza ha sulla problematica ambientale a cui contribuisce. Tale fattore è calcolato rispetto alla sostanza presa come riferimento per quella categoria di impatto e che ne rappresenta l'unità di misura.

Le categorie di impatto incluse nel metodo EPD (2018) e le relative unità di misura sono riportate di seguito.

- Global warming potential (calcolato in kg di CO₂ eq prendendo come riferimento un orizzonte temporale di 100 anni): rappresenta il potenziale di riscaldamento globale causato dall'immissione in atmosfera di gas climalteranti.

- Acidification potential (calcolato in kg di SO₂ eq): si riferisce al fenomeno di acidificazione delle acque dovuto alle emissioni in aria di sostanze acidificanti come ossidi di zolfo e azoto che sono i principali responsabili delle piogge acide);
- Eutrophication potential (misurato in unità di massa di PO₄³⁻ eq): rappresenta l'aumento eccessivo della concentrazione di sostanze nutritive in ambienti acquatici e quindi un aumento di alghe, che causa un abbassamento della quantità di ossigeno presente e la conseguente morte della fauna acquatica;
- Photochemical oxidation potential (misurato in kg di NMVOC ossia composti organici volatili non metanici): l'inquinamento fotochimico è dovuto agli ossidi di azoto e agli idrocarburi, che, per effetto delle reazioni fotochimiche indotte dai raggi solari, portano all'ossidazione del monossido di azoto (NO) il quale diventa biossido di azoto (NO₂) e alla formazione di ozono (O₃) e di altri composti chimici con effetti di tossicità sull'ecosistema e sulla salute umana.
- Abiotic depletion potential – fossil fuels (misurato in MJ): si riferisce all'impatto relativo all'utilizzo di risorse non rinnovabili;
- Abiotic depletion potential – elements (misurato in kg Sb eq): fa riferimento all'esaurimento degli elementi naturali come ad esempio i metalli;
- Water scarcity (misurata in m³): si riferisce al volume m³ di acqua consumato;
- Ozone layer depletion potential (misurato in kg CFC⁻¹¹ eq): si riferisce all'assottigliamento dello strato di ozono.

Il metodo IPCC 2021 considera invece il solo impatto relativo al riscaldamento globale suddividendolo in: GWP100 – fossil, GWP100 – biogenic, GWP100 – CO₂ uptake e GWP100 – land transformation. L'unità di misura è il kg CO₂ eq. La scelta di questo metodo è particolarmente indicata ogni volta che nel sistema in analisi vi sono prodotti di scarto di origine vegetale. Questo perché l'impatto della CO₂ biogenica, emessa in atmosfera in seguito alla combustione di biomassa, è differente rispetto a quello dovuto alle emissioni di gas climalteranti in seguito alla combustione di combustibili fossili. Inoltre, il metodo tiene conto anche della CO₂ assorbita (uptake) dalle piante.

L'LCA è stata svolta sia in fase preliminare per guidare la scelta dello scarto e della matrice bio-polimerica verso le soluzioni con migliori performance ambientali, sia in fase di scale up-industriale per valutare l'impatto dei processi di essiccazione, estrusione, filmatura e termoformatura.

Per quanto riguarda gli scarti sono state valutate le seguenti alternative: bucce di patata, scarti da potatura di melo, fieno ottenuto come scarto di mangiatoia.

Sono stati raccolti i consumi relativi ai trattamenti per rendere lo scarto idoneo al compounding e relativi ai trasporti effettuati. Per quanto riguarda la selezione dei bio-polimeri, sono state inizialmente valutate le performance ambientali di PLA, PHB e PBS e parallelamente alle attività condotte nell'ambito

	<p>dell'AZIONE 1 è stata poi fatta una valutazione sul PBAT e delle miscele PLA/PBAT. Tutti i bio-polimeri sono stati modellati all'interno del software SimaPro 9.4 utilizzando dati secondari di letteratura o dal database Ecoinvent 3.8.</p> <p>Una volta scelti il PLA e la miscela PLA/PBAT (60% PLA e 40% PBAT) come migliori matrici da utilizzare in combinazione con il fieno micronizzato, è stata analizzata la fase di produzione della vaschetta.</p> <p>I risultati sono stati calcolati per le vaschette che presentavano le migliori caratteristiche in uscita dal processo di termoformatura. In particolare, sono state valutate le seguenti formulazioni: PLA046 (90% PLA + 10% fieno), PLA054 (90% PLA/PBAT 60-40 + 10% fieno), PLA056 (80% PLA +20% fieno).</p> <p>Ciascuna formulazione è stata confrontata con l'analogo commerciale, laddove disponibile, che non prevede l'uso del filler da scarto industriale.</p> <p>Alla luce dei risultati ottenuti, che mettono in evidenza l'elevato impatto legato alle fasi di essiccazione che il fieno micronizzato e i granuli di compound devono subire, è stato valutato uno scenario ottimale per condurre il processo: in particolare, si è ipotizzato di utilizzare un essiccatore industriale da 1 ton alimentato da energia elettrica da fonte rinnovabile. La taglia dell'essiccatore mira a sfruttare i benefici dati dalla logica dell'economia di scala, in cui i consumi sono ripartiti su un maggiore quantitativo di prodotto, e la scelta di alimentare la macchina con l'energia fornita da pannelli fotovoltaici mira ad abbassare l'impatto legato al consumo di energia elettrica, che dipende dal mix di fonti primarie utilizzate per la generazione elettrica.</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Essendo l'attività di LCA strettamente correlata alle attività sperimentali per la realizzazione delle vaschette, si è arrivati a calcolare i carichi ambientali associati alle vaschette ottenute dalle prove effettuate presso il consorzio Proplast. I calcoli si sono basati su una configurazione della vaschetta a doppio guscio in cui una vaschetta è utilizzata come fondo e una come chiusura superiore. Questa configurazione è stata però considerata come la più adatta a rappresentare il sistema anche in ottica di confronto con un'alternativa commerciale costituita da 100% PLA.</p> <p>È stata fatta una analisi anche della configurazione con flowpack che ha dimostrato maggiori vantaggi in termini di impatto ambientale anche se minor uso di matrice di scarto avendo solo una vaschetta per il contenimento del prodotto.</p>

2.5.1 PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
----------------	---------------------	-----------------------------	--------------	-----	--------------

- UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA	Professore associato	analisi Life Cycle assesment - responsabile scientifico	€ 48,00	185,00	€ 8.880,00
- UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA	Assegnista	analisi Life Cycle assesment		6,25 mesi	€ 12.458,62
- UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA	Assegnista	analisi Life Cycle assesment		1 mese	€ 1.990,84
				Totale:	€ 23.329,46

2.6 ATTIVITÀ AZIONE 5

Azione	5- SVILUPPO DI SUPPORTI ORGANIZZATIVI E SERVIZI DI FILIERA
Unità aziendale responsabile	OPEN FIELDS
Descrizione attività	<p>Finalizzata a rafforzare e consolidare il valore del packaging innovativo messo a punto nell'ambito del progetto AgriCo.Pack, l'Azione 5 ha colto l'opportunità di un'intersezione tra il Piano ed un'importante innovazione introdotta, sostanzialmente in contemporanea, all'interno di EcorNaturaSi per intercettare l'apprezzamento di tracciabilità e garanzie qualitative da parte dei consumatori attenti alle tematiche ambientali. Si è trattato, in particolare, di un processo di adeguamento e miglioramento del processo di gestione del packaging avviato nel luglio del 2020 e che ha coinvolto diverse funzioni interne aziendali, con risultati che sono via via stati messi a disposizione anche come input per lo svolgimento del Piano. L'ufficio Sviluppo Packaging interno e Ufficio Qualità di EcorNaturaSi sono stati attivati – tramite numerose riunioni interne e processi desk - nella definizione delle caratteristiche tecniche e delle procedure di codifica e tracciabilità dei materiali utilizzati nei pack dei prodotti a marchio proprio e a marchio del fornitore. In stretta relazione con tali funzioni, l'Ufficio Anagrafiche ha operato nella definizione dei flussi e delle informazioni necessarie alla registrazione nei nuovi gestionali e successiva pubblicazione online delle caratteristiche del pack. La società Pack&Co è stata coinvolta per una consulenza su processi, la massima correttezza sia dei processi di gestione sia della comunicazione al consumatore circa i materiali utilizzati nel pack. Nel maggio 2021 si è pervenuti alla struttura di codifica del pack (processo, informazioni, definizione dei codici dei materiali da inserire, adeguamento alla normativa, ...), con condivisione delle linee guida con tutti i fornitori di prodotto ed attivazione del nuovo gestionale informativo. L'intersezione con il progetto AgriCo.Pack ha richiesto meeting ed attività dedicate coinvolgenti, oltre che i partner di progetto, anche specifiche funzioni interne di EcorNaturaSi, in particolare l'ufficio Sviluppo Pack per la parte relativa all'analisi delle possibilità di utilizzo e l'ufficio Acquisti area Ortofrutta per</p>

l'individuazione dei primi prodotti adatti al confezionamento con le nuove vaschette frutto del Piano.

Si è lavorato con l'obiettivo di predisporre il "sistema" in via anticipata rispetto all'effettiva messa in produzione delle vaschette del progetto, in modo da minimizzare i tempi di inserimento sul portale e-commerce EcorNaturaSi una volta portata a regime la produzione.

Le funzioni Anagrafiche e Packaging di NaturaSi hanno pertanto collaborato con i partner per l'impostazione del mock-up della landing page relativa sul Sito NaturaSi, visualizzata qui di seguito.



Figura 1. Mock-up della landing page

Si è giunti a concludere come l'assortimento "pilota" dei prodotti adatti ad essere veicolati al consumatore nelle prime versioni del packaging possa comprendere i seguenti prodotti: topinambur, funghi, mirtilli e lamponi, con il seguente dimensionamento stimato: 13mila vaschette annue di topinambur, 11mila di funghi, 20mila di mirtilli e 45mila di lamponi. La filiera produttiva (consideriamo quella del fieno, impiegato nell'ambito del progetto) i cui scarti siano utili come componente delle vaschette innovative da progetto è in grado di fornire uno scarto dell'84% sul totale di materia prima disponibile. Se consideriamo un peso medio della vaschetta di 20 grammi, possiamo impostare il seguente ragionamento, illustrato nella tabella seguente. L'insieme dei 4 prodotti e del loro assortimento "pilota" può dare luogo a 89mila pezzi (vaschette), per un totale complessivo di 1780 kg. Possiamo stimare che, su questo volume, lo scarto agricolo pesi per un 20%, ammontando pertanto a 356 kg, che rappresentano l'84% della materia prima agricola di partenza (la quale ammonterà quindi a 424 kg). La semplice tabella excel sotto riportata permette di eseguire analoghi calcoli anche per i futuri, auspicabili sviluppi della filiera.

Tabella 1. Calcoli per sviluppi di filiera


		1	2	3	4	
	Udm	Topinambur	Funghi	Mirtilli	Lamponi	Totale
n° vaschette all'anno	pezzi	13000	11000	20000	45000	89000
peso medio di una vaschetta	g	20	20	20	20	
peso complessivo delle vaschette alla vendita	kg	260	220	400	900	1780
percentuale di scarto agricolo su mix materiali vaschetta (proxy della percentuale sulla vaschetta finita)	%	20%	20%	20%	20%	
kg scarto prodotto da cui proviene il composto	kg	52	44	80	180	356
resa scarto prodotto agricolo di partenza (% scarto)	%	84%	84%	84%	84%	
quanto materia prima di partenza occorre per ott	kg	62	52	95	214	424

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>Il collegamento tra il sistema NaturaSì ed il progetto AgriCo.Pack è stato realizzato grazie alla partecipazione di diverse funzioni aziendali di EcorNaturaSì. Ciò significa che, non appena le vaschette che rappresentano l'output del Piano saranno in produzione, sarà possibile inserirle in un assortimento "pilota". La loro successiva evoluzione permetterà di ampliare successivamente il range di prodotti che potranno agevolmente esservi contenuti. La realizzazione di una pagina mock-up per il sito EcorNaturaSì permetterà di rendere rapidamente disponibili al consumatore non solo i contenitori, ma anche informazioni chiare e "valorizzanti".</p> <p>La pagina di mock-up rappresenta la landing page che verrà attivata ed entrerà in funzione non appena si renderà disponibile sul mercato l'assortimento pilota.</p>

2.6.1 PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
- OPEN FIELDS SRL	impiegato TI part time 80%	stima volumi e costi e analisi della filiera	€ 27,00	97,00	€ 2.619,00
- EcorNaturaSì S.p.A.	impiegato	stima volumi e costi e analisi della filiera	€ 27,00	93,01	€ 2.511,27
- EcorNaturaSì S.p.A.	impiegato	sviluppo sistema tracciabilità interna	€ 27,00	111,60	€ 3.013,20
- EcorNaturaSì S.p.A.	Consulente	sviluppo sistema tracciabilità interna	€ 54,00	80,00	€ 4.320,00
Totale:					€ 12.463,47

2.7 ATTIVITÀ AZIONE DIVULGAZIONE

Azione	DIVULGAZIONE
Unità aziendale responsabile	OPEN FIELDS
Descrizione attività	<p>Sono stati presi in considerazione tre livelli di divulgazione:</p> <ul style="list-style-type: none"> - tecnico-scientifica, con lo scopo di diffondere le evidenze raggiunte presso la comunità tecnico-scientifica, quale base per ulteriori studi o per la realizzazione di prodotti; - rivolta agli operatori coinvolti nella filiera o interessati (anche istituzioni pubbliche), mediante l'impiego di linguaggi e strumentazioni agevolmente accessibili; - rivolta alla popolazione: ai cittadini (<i>citizen science</i>) e agli studenti, per rendere effettiva la capacità del Piano di creare consapevolezza e diffusione di comportamenti virtuosi nella scelta dei prodotti e degli imballaggi. <p>Di seguito le attività realizzate:</p> <p>Ideazione e realizzazione della identità visiva del progetto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il logo del progetto: <div style="text-align: center;">  <p>Il logo del progetto GRI CO.PACK è composto da un simbolo a forma di 'A' stilizzata con una freccia verde che punta verso l'alto e a destra, e il testo 'GRI' sopra e 'CO.PACK' sotto.</p> </div> <p style="text-align: center;">Figura 1. Logo del progetto</p>

- Il template per le presentazioni, per i documenti PDF:



Figura 2. Template per presentazioni ufficiali

- Inserimento dell'abstract del progetto sui siti web di Open Fields e dei partner:
- <https://www.openfields.it/progetto/agrico-pack/>
- <https://www.centritecnopolo.unipr.it/cipack/2021/07/14/agrico-pack/>
- <https://www.naturasi.it/progetti-finanziati>
- <https://centoform.it/portfolio/packgo-studio-e-sviluppo-di-un-nuovo-packaging-per-prodotti-agricoli-freschi-e-trasformati-finalizzato-a-ridurre-limpatto-ambientale-e-a-sviluppare-un-nuovo-modello-di-consumo-diretto-e-multican-2/>
- <https://www.unibo.it/it/ricerca/progetti-e-iniziative/fondi-strutturali-europei/642/642/8747>

- <https://www.aziendabrugnoli.it/agrico-pack/>

Biologica Ortigiani non ha inserito l'abstract del progetto sul sito <https://biologicaortigiani.it/> in quanto non si tratta di un sito aziendale ma una pagina con i prodotti aziendali su un sito di e-commerce gestito da Ecwid (by Lightspeed). Non è possibile quindi inserire altre pagine relative a progetti finanziati di cui l'azienda è partner o altri contenuti non previsti da Ecwid. Di ciò è stata data puntuale comunicazione all'area Innovazione, formazione e consulenza del Settore Competitività delle imprese e sviluppo dell'innovazione della Regione Emilia-Romagna - Direzione generale agricoltura, caccia e pesca in data 14/06/2023.



- Presentazione del progetto sul Portale Innovazione della Direzione generale Agricoltura, caccia e Pesca ER: <https://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/progetti-innovazione/raccolta-progetti-innovazione/competitivita-delle-filiere-agroalimentari/bando-2020/packaging-alimentare-sostenibile-dai-residui-agricoli-dalla-natura-per-la-natura-agrico-pack>

- presentazione del progetto sul portale Innovarurale:

<https://www.innovarurale.it/it/pei-agri/gruppi-operativi/bancadati-go-pei/packaging-alimentare-sostenibile-dai-residui-agricoli>

- presentazione sul sito web EIP-AGRI:

<https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/find-connect/projects/packaging-alimentare-sostenibile-dai-residui.html>

- sito internet ufficiale del progetto AgriCo.Pack in cui divulgarne programma, obiettivi e finalità, partner e news ed eventi: <https://www.goagricopack.it/>

- Dépliant informativi in italiano e inglese destinati ad un pubblico più vasto con l'intento di promuovere e diffondere le azioni del progetto e lo strumento finanziario PSR RER:

GRI CO.PACK **Packaging alimentare sostenibile dai residui AgriColi: dalla natura per la natura**

L'obiettivo
Realizzazione di un packaging alimentare per prodotti freschi sostenibile ed innovativo, ottenuto a partire da materiale polimerico bio-based compostabile a cui viene aggiunta, in fase di processo, una significativa percentuale di scarti agricoli come riempitivo, al fine di ottenere un nuovo bio-composito.

Gli scarti agricoli da valorizzare



Scarti di potatura Buccie di patata Fieno

Il programma



I partner



Per saperne di più...
<http://www.gri.co.pack.it> m.marchini@openfields.it

Iniziativa realizzata nell'ambito del Programma Regionale di Sviluppo Rurali 2014-2020 - Tipo di operazione 18.1.01 - Gruppi operativi del partenariato europeo per l'innovazione: Produttività e sostenibilità dell'agricoltura - Focus Area 2^a - Progetto n. 2.187421

GRI CO.PACK **Sustainable food packaging from agro-waste: from Nature for Nature**

The aim of the project
Implementation of a sustainable and innovative food packaging for fresh products, obtained from bio-based compostable polymeric material to which is added, during the process, a significant percentage of agricultural waste in order to obtain a new bio-composite.

The agricultural waste



Pruning residues Potato peels Hay

The program



Partners



To know more...
<http://www.gri.co.pack.it> m.marchini@openfields.it

Initiative funded within the framework of the Rural Development Programme 2014-2020 of the Emilia Romagna Region - Operation Type 18.1.01 - Focus Area 2^a - Project n. 2.187421


Figura 4. Volantini informativi in italiano e inglese

- Realizzazione e stampa di roll up da esporre a tutti gli eventi ufficiali del progetto:

GRI CO.PACK **Packaging alimentare sostenibile dai residui Agricoli: dalla natura per la natura**
Sustainable food packaging from agro-waste: from Nature for Nature

L'obiettivo
 Realizzazione di un packaging alimentare per prodotti freschi sostenibile ed innovativo, ottenuto a partire da materiale polimerico bio-based compostabile a cui viene aggiunta, in fase di processo, una significativa percentuale di scarti agricoli come riempitivo, al fine di ottenere un nuovo bio-composito.
 Implementation of a sustainable and innovative food packaging for fresh products, obtained from bio-based compostable polymeric material to which is added, during the process, a significant percentage of agricultural waste in order to obtain a new bio-composite.

Gli scarti agricoli da valorizzare




Residui di potatura
Pruning residues


Bucce di patata
Potato skins

Fieno
Hay

Il programma



I Partner



Per saperne di più...
<https://www.goagricopack.it/> m.marchini@openfields.it

Initiative funded within the framework of the Rural Development Programme 2014-2020 of the Emilia Romagna Region - Operation Type 41.4.2 - Focus Area 41.4 - Azioni 4.1.2.1/2/3/4

Programma di Sviluppo Rurali 2014-2020

U'NITARIO INIZIATIVE NATURA 2014-2020

Figura 5. Roll-up

Presentazione del progetto presso SANA 2021 – 33° salone internazionale del biologico e del naturale (BO), presso lo spazio della Regione Emilia-Romagna dedicato all’innovazione. Presentazione a cura del Prof. Giuseppe Vignali e disponibile sul sito internet del progetto, al link: <https://www.goagricopack.it/news-e-documenti/>;

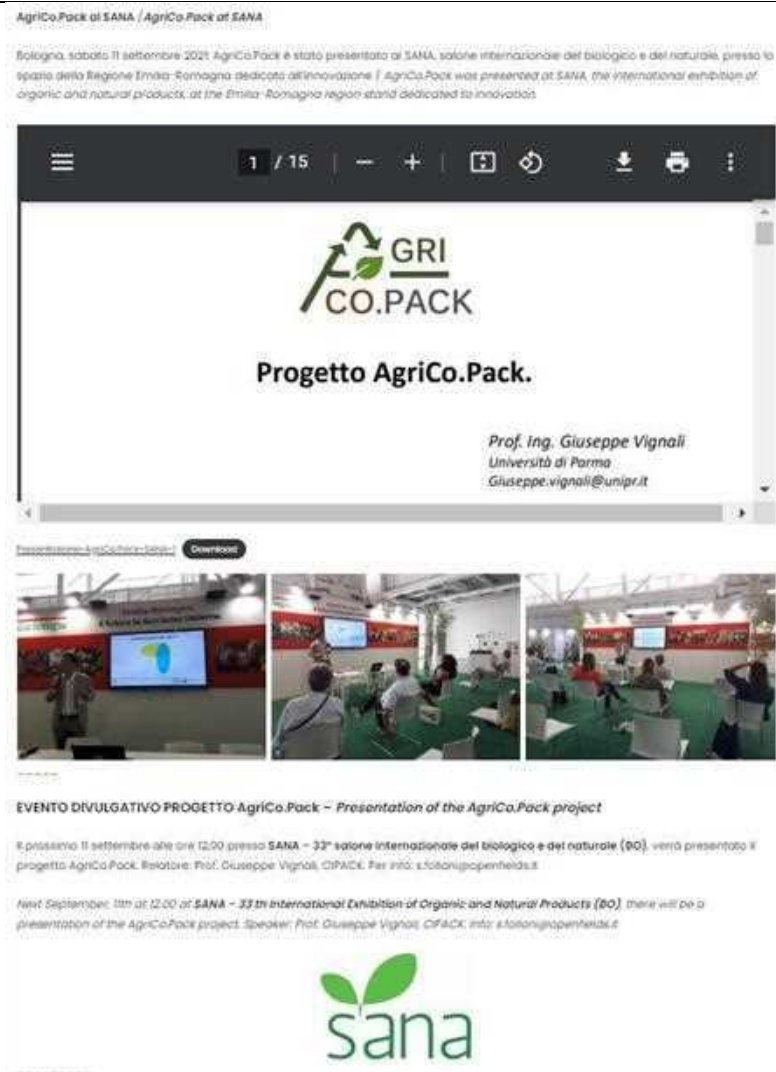


Figura 6. Presentazione AgriCo.Pack presso SANA 2021 a cura del Prof. Vignali

- Video di presentazione del progetto AgriCo.Pack girato dalla Regione Emilia-Romagna presso SANA, visionabile al link: https://www.youtube.com/watch?v=neEKUgsu8Ts&t=2s&ab_channel=ERAgriCoIlturacacciaepesca
- presentazione del progetto presso IPACK-IMA 2022 allo stand di CIPACK-UNIPR



Figura 7. AgriCo.Pack ad IPACK-IMA 2022

- Presentazione del Progetto al Circularity and Sustainability in the Food System – Preview Event – 7 giugno 2022 organizzato dal Dipartimento di Scienze e Tecnologie Alimentari per una filiera agro-alimentare Sostenibile (DiSTAS) dell'Università Cattolica del Sacro Cuore, nell'ambito del progetto di alta formazione "Sostenibilità alimentare: da problema globale a opportunità di sviluppo socioeconomico regionale". Presentazione a cura di Silvia Folloni (Open Fields).

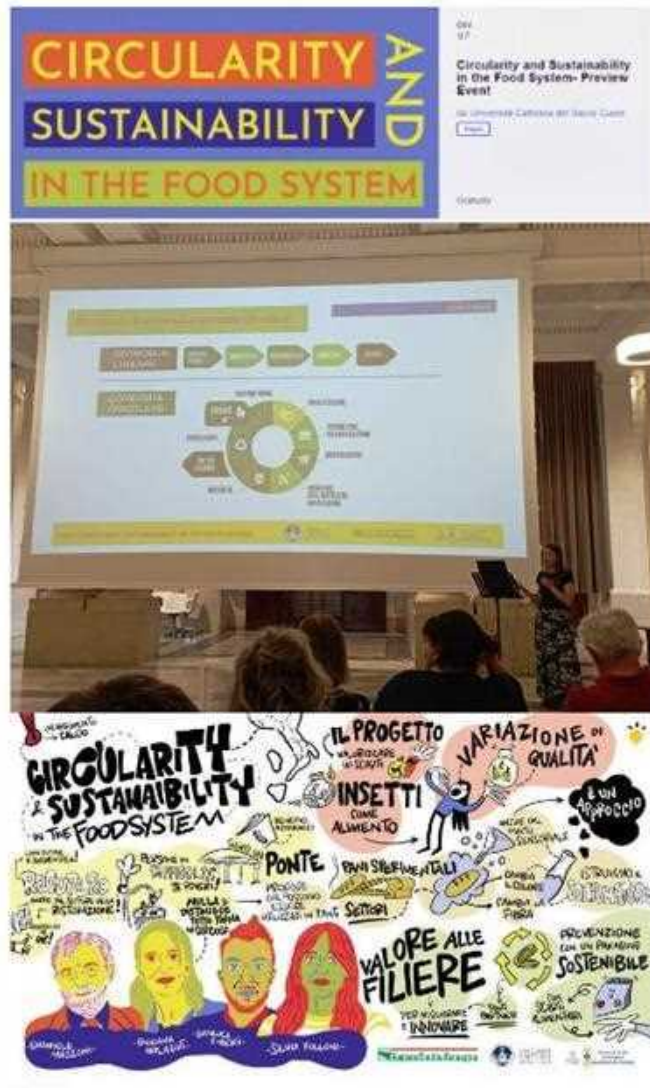


Figura 8. -Presentazione del Progetto al Circularity and Sustainability in the Food System – Preview Event

-Partecipazione alla conferenza “6th International Conference on Food and Wine Supply Chain”, (Bologna, Giugno 7-10 2022). Durante la sessione dedicata al packaging alimentare eco-sostenibile, è stato presentato l'articolo dal titolo *"Environmental impact assessment of a compostable packaging made of biopolymers with added agricultural waste fillers"* in cui sono stati discussi i risultati degli studi Life Cycle Assessment preliminari condotti sul packaging innovativo sviluppato nell'ambito del progetto. Di seguito i riferimenti dell'articolo: “A. Painsi, M. Marchini, S. Folloni, G. Vignali, *Environmental impact assessment of a compostable packaging made of biopolymers with added agricultural waste fillers, 6th International Conference on Food and Wine Supply Chain, Bologna, June 7-10 2022*”.

Nell'ambito della stessa conferenza, si è tenuto un intervento orale a cura di Micaela Vannini (UNIBO) dal titolo *“From Nature for Nature: eco-compatible biocomposites developed within the AgriCo.Pack project”*.

- Presentazione presso il convegno tecnico-scientifico dal titolo “Imballaggi compostabili: teoria e realtà. Casi studio dall'applicazione al fine vita”, tenutosi il 21/10/2022 a Castiglione delle Stiviere (MN). EcorNaturaSì ha presentato il

caso studio del progetto AgriCo.Pack con un intervento dal titolo: “Organic Food e packaging compostabile: un matrimonio possibile?”. Presentazione a cura di Francesca Mostardini



Figura 9. – Volantino del convegno tecnico-scientifico dal titolo “Imballaggi compostabili: teoria e realtà

-Pubblicazione divulgativa redatta da Francesca Mostardini, Membro del Consiglio Direttivo di GSICA (Gruppo Scientifico Italiano di Confezionamento Alimentare) e socio fondatore di Pack Co, realizzata a seguito del convegno sopra descritto. Pubblicazione consultabile al link: <https://www.goagricopack.it/wp-content/uploads/2022/10/Articolo-Focus-Mostardini.pdf>

-Conferenza stampa conclusiva del progetto, tenutasi il 6 giugno 2023 presso il Centro S. Elisabetta, Via delle Scienze 95, Parco Area Delle Scienze (Campus Università degli Studi di Parma). Dopo un intervento a cura di Piero Pastore Trossello, Regione Emilia Romagna circa l’innovazione, la formazione e la consulenza per il settore agricolo ed agroalimentare regionale, Francesca Mostardini ha esposto i trend di sostenibilità del packaging alimentare. Dopo una panoramica del progetto effettuata da Silvia Folloni di Open Fields, il team di ricerca di DICAM-UNIBO composto dalle Prof. Vannini, Sisti, Celli e Marchese, ha relazionato circa la ricerca e sviluppo di bio-compositi effettuato nell’ambito del progetto. CIPACK-UNIPR con il Prof. Vignali e Pains hanno presentato i processi di lavorazione e formatura di materiali compositi con scarti agricoli per l’ottenimento di vaschette a ridotto impatto ambientale e l’analisi LCA condotta sugli stessi materiali. Simone Grigoletti, infine, ha presentato l’esperienza di EcorNaturaSì sul packaging alimentare. Le presentazioni mostrate durante il convegno finale sono disponibili sul sito internet del progetto. Il convegno ha visto la partecipazione di 40 persone in presenza e 5 online da remoto tramite piattaforma Teams messa a disposizione da UNIPR.

-Poster presentation del Progetto AgriCo.Pack presso la fiera “Ecomondo – The

green technology expo”, Rimini (26-29/10/2021). Titolo del poster: “Sustainable food packaging from agro-waste: from Nature for Nature” (Figura 10).

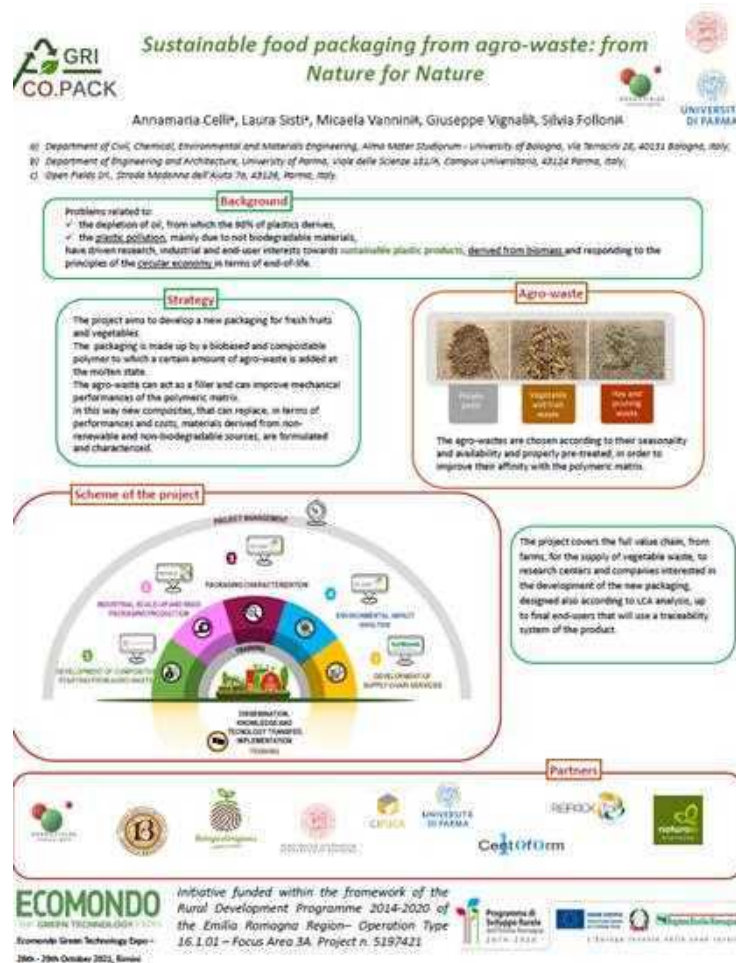


Figura 10 – Poster presentato presso Ecomondo 2021

-Plenary Lecture di Annamaria Celli (UNIBO) dal titolo “From agro-waste and agro-industrial residues to bioactive additives and new polymeric materials: a contribution to the circular economy concept”, tenutasi alla Conference on “Bio-based polymers at the forefront of innovation in materials science”, Bertinoro, 12-14 Aprile 2023.

-Convegno finale del Progetto, realizzato presso il Centro Sant’Elisabetta del Parco Area delle Scienze (Campus) UNIPR martedì 6 giugno 2023.

Il convegno ha visto la partecipazione di 40 persone. È stato previsto anche il collegamento da remoto tramite piattaforma Teams per coloro che avessero desiderato seguire online il convegno.

Il convegno è stato un’importante occasione per fare il punto della situazione circa le nuove tendenze del packaging alimentare sostenibile. Dopo un intervento a cura di Piero Pastore Trossello, Regione Emilia Romagna circa l’innovazione, la formazione e la consulenza per il settore agricolo ed agroalimentare regionale, Francesca Mostardini ha esposto i trend di sostenibilità del packaging alimentare. Dopo una panoramica del progetto effettuata da Silvia Folloni di Open Fields, il team di ricerca di DICAM-UNIBO composto dalle Prof. Vannini, Sisti, Celli e Marchese, ha relazionato circa la ricerca e sviluppo di bio-compositi effettuato nell’ambito del progetto.

CIPACK-UNIPR con il Prof. Vignali e Pains hanno presentato i processi di lavorazione e formatura di materiali compositi con scarti agricoli per l'ottenimento di vaschette a ridotto impatto ambientale e l'analisi LCA condotta sugli stessi materiali.

Simone Grigoletti, infine, ha presentato l'esperienza di EcorNaturaSi sul packaging alimentare. Le presentazioni illustrate al convegno sono consultabili al link: <https://www.goagricopack.it/news-e-documenti/>

CONVEGNO FINALE Agrico.Pack
Packaging alimentare sostenibile dai residui Agricoli:
dalla natura per la natura

MARTEDI 6 GIUGNO 2023
ore 10.00-12.30

Centro S. Elisabetta, Parco Area Delle Scienze (Campus)
Università degli Studi di Parma
Via delle Scienze, 95 - 43124 (PR)

Programma

Ore 9.30 - **Registrazione**

Ore 10.00 - **L'innovazione, la formazione e la consulenza per il settore agricolo ed agroalimentare dell'Emilia-Romagna** - Piero Pastore Trossello, Area Innovazione, Formazione e Consulenza, Direzione Generale Agricoltura, Caccia e Pesca Regione Emilia-Romagna

Ore 10.20 - **La sostenibilità del packaging alimentare: dai principi di Ecodesign alla valorizzazione dei materiali durante l'intero ciclo vita** - Francesca Mastordini, C.A.R.E. & Sustainability

Ore 10.40 - **Il progetto Agrico.Pack** - Silvia Falloni, Open Fields

Ore 11.00 - **Dalla Natura per la Natura: sviluppo di bio-compositi nell'ambito del progetto Agrico.Pack** - Micaela Vannini, Paola Marchese, Laura Sisti, Annamaria Celli, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, Università di Bologna, DICAM-UNIBO

Ore 11.20 - **Processi di lavorazione e formatura di materiali compositi con scarti agricoli per l'ottenimento di vaschette a ridotto impatto ambientale** - Giuseppe Vignali, Centro Interdipartimentale per il Packaging, Università di Parma, CIPACK-UNIPR

Ore 11.40 - **Valutazione della sostenibilità ambientale di vaschette prodotte da scarti agricoli tramite Life Cycle Assessment** - Arianna Pains, CIPACK-UNIPR

Ore 12.00 - **Riduci, Riusa, ... Ripensa il pack: l'esperienza di EcorNaturaSi sul packaging** - Simone Grigoletti, Marketing Prodotto, Responsabile Prodotti a marchio NaturaSi, R&D EcorNaturaSi

Ore 12.20 - **Discussione** - Madera: Giuseppe Vignali, CIPACK-UNIPR

Ore 12.40 - **Light lunch**

Partecipazione gratuita, è richiesta la registrazione presso il b.u.de. al link: <https://www.unipr.it/nuoveiniziative/2023/06/06>

iniziativa realizzata nell'ambito del Programma regionale di Sviluppo Rurali 2014-2020: Tipo di operazione 38.1.01 - Gruppi operativi del partenariato europeo per l'innovazione - produttività e sostenibilità dell'agricoltura - Focus Area SA - Progetto n. 3287421

Programma di Sviluppo Rurali dell'Emilia Romagna 2014-2020

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

CONVEGNO FINALE AgriCo.Pack Packaging alimentare sostenibile dai residui AgriColi: dalla natura per la natura



L'obiettivo

Realizzazione di un packaging alimentare per prodotti freschi sostenibile ed innovativo, ottenuto a partire da materiale polimerico bio-based compostabile a cui viene aggiunta, in fase di processo, una significativa percentuale di scarti agricoli come riempitivo, al fine di ottenere un nuovo bio-composito.



I partner



<https://www.openfields.it/>

m.marconi@openfields.it

Iniziativa realizzata nell'ambito del Programma regionale di Sviluppo Rurali 2014-2020. Tipo di operazione 14.1.01 - Gruppo operativi del partenariato rurale per l'innovazione, produttività e sostenibilità dell'agricoltura - Focus Area 14.1
Progetto n. 5187421



Figure 10 - Volantino e foto del convegno finale del progetto AgriCo.Pack

Parallelamente alle attività divulgative sopra descritte, il progetto è stato presentato anche nell'ambito di lezioni di corsi di laurea e di alta formazione erogati da Università di Bologna e destinati a studenti universitari e/o dipendenti di aziende/ ex-studenti specializzandi nell'ambito della chimica dei materiali e del packaging. Di seguito il dettaglio delle lezioni:

1. Corsi di Chimica Università di Bologna:

- Laura Sisti, corso di "CHIMICA T" per la laurea in Ingegneria per l'ambiente e il territorio, a.a. 2021-2022 e 2022-2023;
- Micaela Vannini, corso di "FONDAMENTI DI CHIMICA T-A (A-K) per la laurea in Ingegneria Gestionale, a.a. 2022-2023;
- Micaela Vannini, una lezione per il corso Biopolymers Chemistry per la Laurea Magistrale in Ingegneria per l'ambiente e il territorio, a.a. 2021-2022;
- Annamaria Celli, corso di "FONDAMENTI DI CHIMICA" per la laurea in Ingegneria Aerospaziale e Ingegneria Meccanica, a.a. 2021-2022 e 2022-2023, sede di Forlì;
- Annamaria Celli, corso di "MATERIALS CHEMISTRY" per la laurea in Aerospace Engineering, Forlì, a.a. 2021-2022 e 2022-2023;

	<p>2. Scuola di alta formazione sul packaging - “Le sfide del Packaging per l’economia circolare” percorso di alta formazione per dipendenti di aziende, ex-studenti di Master in packaging e dottorandi</p> <p>-24/06/2022, ore 11.00-13.00 Laura Sisti: “Bioplastiche e sostenibilità”</p> <p>-02/02/2023, ore 14.00-16.00 Annamaria Celli: “Progetti europei: bioplastiche e sostenibilità”.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Tutti gli obiettivi sono stati raggiunti.

2.2 PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
- OPEN FIELDS SRL	impiegato TI / da gennaio 2023 quadro	attività divulgative di progetto	€ 27 / € 43	166,50	€ 5.903,50
- OPEN FIELDS SRL	impiegato TI part time 50%	attività divulgative di progetto	€ 27,00	126,50	€ 3.415,50
- OPEN FIELDS SRL	impiegato TI part time 80%	attività divulgative di progetto	€ 27,00	28,00	€ 756,00
- EcorNaturaSi S.p.A.	impiegato	attività divulgative di progetto	€ 27,00	111,60	€ 3.013,20
- Società agricola Ortigiani	Imprenditore Agricolo	attività divulgative di progetto	€ 36,41	30,00	€ 1.092,30
- ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DIBOLOGNA	Professore associato	attività divulgative di progetto	€ 48,00	31,00	€ 1.488,00
- ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DIBOLOGNA	Professore associato	attività divulgative di progetto	€ 48,00	4,00	€ 192,00
- BRUGNOLI F.LLI SOCIETA' AGRICOLA	Imprenditore Agricolo	attività divulgative di progetto	€ 36,41	30,00	€ 1.092,30
Totale:					€ 16.952,80

2.7.1 SPESE PER ATTIVITÀ DI DIVULGAZIONE E DISSEMINAZIONE

Fornitore	Descrizione	Costo
	catering evento finale	€ 900,00
Totale:		€ 900,00

2.8 SPESE PER ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E CONSULENZA

ID DOMANDA: 5536147

È stato realizzato un corso di formazione che ha accompagnato 19 agricoltori alla scoperta dei principi dell'economia circolare attraverso il riutilizzo degli scarti agricoli in azienda agricola. Il corso è stato occasione per approfondire le diverse tecniche e modalità per realizzare un'agricoltura più sostenibile, che possa creare maggiore valore per l'azienda agricola stessa.

La crisi climatica rappresenta una delle sfide principali per il settore dell'agricoltura. Oltre ai temi relativi alla resilienza dei terreni e delle coltivazioni in risposta a condizioni in rapido mutamento, le singole aziende agricole e le filiere devono fronteggiare la continua evoluzione del sistema regolatorio. Grazie alle innovazioni sviluppate nell'ambito di AgriCo.Pack, il corso ha permesso ai partecipanti di apprendere tecniche sostenibili per la produzione di scarti agricoli che possano essere valorizzati e reimpiegati in un'ottica di economia circolare.

Durante il corso sono stati approfonditi inoltre i metodi che consentono di monetizzare titoli di cattura primaria (soprasuolo) e rendere possibili pratiche di cattura secondaria (*Soil Carbon Sequestration -o- cattura Carbonio nel sotto suolo*), nonché forniti esempi di tali pratiche riconosciute nelle misure agroambientali.

Il corso è stato realizzato nella provincia di Rimini.

In conformità alla Delibera N. 1965 del 14/12/2022, la formazione è stata completata per almeno il 50% della spesa ammessa.

Il budget del corso è stato pari a 13,642.76 €, il contributo ammonta a 12,278.56 €.

3 CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Lunghezza max 1 pagina

Criticità tecnico
scientifiche

AZIONE 1

Per l'impiego dei residui agricoli nella produzione di bio-compositi e per la definizione del protocollo sperimentale per la formulazione del materiale bio-composito (UNIBO), si è reso necessario un impiego di attrezzature, risorse umane ed economiche straordinari e non previsti. Dopo l'individuazione dei residui agricoli oggetto della sperimentazione, è sorto l'ostacolo del loro processamento al fine di poterli impiegare in blend con biopolimeri. I residui agricoli tal quali non erano infatti idonei per poter essere impiegati direttamente nella formulazione delle blend con bio-polimeri. È stato necessario procedere alla bio-triturazione e macinazione dei residui in modo che raggiungessero una granulometria idonea al loro impiego presso UNIBO per le prove sperimentali (<300 micron). Le bucce di patata conferite fresche settimanalmente da Biologica Ortigiani (circa 3-4 kg a settimana) presentavano un livello di umidità troppo elevato per poter essere bio-triturate tal quali. È stato quindi necessario essiccarle in stufa a 105°C per 20 ore fino a peso costante, con un notevole dispendio di energia e risorse per 5 mesi circa.

Open Fields ha dovuto procedere alla biotriturazione, macinazione e micronizzazione dei residui mediante risorse proprie. Per la biotriturazione è stato necessario rivolgersi alla ditta Iridenergy Srl di Parma, che ha supportato le attività con strumenti e risorse proprie, mentre per la macinazione è stato essenziale il supporto di Molino Marani Srl di Sissa Trecasali (PR), che ha supportato il processamento dei residui con un impianto prototipale proprio e affiancando Open Fields con risorse umane proprie. Per l'ulteriore micronizzazione dei residui di potatura, Open Fields ha dovuto coinvolgere Separ Micro System Sas di Ernesto Bastoni (BS), che a sua volta ha dovuto supportare la realizzazione del progetto mediante l'impiego di macchinari e risorse proprie.

La selezione delle opportune matrici polimeriche ha messo in luce come alcuni materiali commerciali non fossero impiegabili in tale progetto, in quanto già additivati. In particolare, l'ECOVIO TA1241 è risultato contenere una notevole quantità di talco. La presenza di un alto contenuto di carica inorganica limita la possibilità di ulteriori aggiunte di materiale non-polimerico, precludendo di fatto l'impiego degli scarti vegetali. Pertanto, si è provveduto a preparare *ex novo* alcune blends che contenessero gli stessi polimeri ritrovati in Ecovio, senza aggiungere alcun additivo ulteriore. Poiché le cariche vegetali tendono a irrigidire e quindi infragilire i materiali, per compensare questa caratteristica ci si è rivolti verso matrici polimeriche caratterizzate da una maggiore flessibilità, quali il PBS o il PBAT. Con tali materiali o con mescole basate su di essi, si sono ottenuti compositi contenenti fino al 30% di scarto vegetale.

AZIONE 2

Guasto delle termoformatrice: durante la seconda serie di prove di termoformatura si è verificato un guasto nella termoformatrice utilizzata all'interno del Consorzio Proplast, per cui è stato necessario sospendere le prove appena iniziate. I tempi di ripristino sono stati lunghi (mesi) dal momento che non si riusciva a identificare la reale origine del guasto e tutti gli interventi effettuati non risultavano risolutivi del problema.

La larghezza del film di 200 mm vincolava all'utilizzo di quella termoformatrice dal momento che tutte le alternative individuate per svolgere quella fase con una diversa macchina prevedevano dei film larghi circa il doppio. Per cui è stato necessario attendere che la macchina in questione fosse riparata, ma questo ha portato ad avere tempi poi molto ristretti per concludere le attività previste dall'AZIONE 3.

<p>Criticità gestionali (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.)</p>	<p>AZIONE 2 Difficoltà nel reperimento del PLA della corretta gradazione: le prime prove di estrusione delle blend sono state effettuate con il PLA Luminy L105, la cui gradazione non era però idonea all'applicazione. Sono serviti un paio di mesi prima di ricevere il PLA della gradazione desiderata (PLA Luminy LX175) per continuare le prove. Questi tempi di attesa hanno avuto ricadute negative sul fieno micronizzato che, avendo assorbito umidità, ha reso difficoltose le fasi successive del processo di produzione delle vaschette. In particolare, è stato necessario essiccare i granuli estrusi per 12 h a 80° C e, nonostante ciò, i film in uscita dall'estrusore a testa piana risultavano molto porosi.</p> <p>L'attività formativa ha risentito delle limitazioni in vigore in seguito alla pandemia COVID-19, ed è stata svolta in maniera ridotta conformemente a quanto stabilito dalla Delibera Num. 1965 del 14/11/2022.</p>
<p>Criticità finanziarie</p>	<p>I partner del progetto hanno sostenuto sforzi economici notevoli derivanti dalla necessità di realizzare le attività progettuali e all'impossibilità di effettuare una rendicontazione economica intermedia delle spese sostenute nel corso del progetto.</p>

4 - ALTRE INFORMAZIONI

5 - CONSIDERAZIONI FINALI

Per le prossime programmazioni suggeriamo di prevedere sempre una rendicontazione intermedia delle attività e delle spese condotte nell'ambito del progetto. Riteniamo infatti che essa svolga una duplice fondamentale funzione: 1) compensare parte delle spese sostenute nell'ambito del progetto, evitando sforzi economici talvolta insostenibili per i partner, 2) permettere ai partner meno esperti di familiarizzare con la procedura di rendicontazione e di utilizzo della piattaforma SIAG, e dunque di procedere più spediti in fase di rendicontazione finale del progetto. Qualora una rendicontazione intermedia non fosse possibile, suggeriamo di prolungare da 60 a 90 giorni il tempo a disposizione per provvedere alla pratica di rendicontazione finale, permettendo al capofila di supportare debitamente tutti i partner che, per inesperienza, potrebbero avere difficoltà nella compilazione documenti, svolgimento procedure amministrative e utilizzo di SIAG per la presentazione della domanda di pagamento a saldo.

6 - RELAZIONE TECNICA

1. Preparazione degli scarti per le successive lavorazioni

Per le caratterizzazioni chimico-fisiche dei materiali, per la definizione del protocollo sperimentale per la realizzazione del materiale composito presso UNIBO, le aziende agricole partner del progetto hanno fornito circa 40 kg di bucce di patata fresche, circa 15 kg di residui di potature di alberi di melo (Biologica Ortigiani) e circa 50 kg di fieno da scarti di mangiatoia (Az. Agricola Fratelli Brugnoli).

Le bucce di patata sono state conferite fresche da Biologica Ortigiani. Per poter essere biotriturate, è stato necessario essiccarle in stufa a 105°C per 20 h circa fino a peso costante (Pid System, MPM Instruments). Il calo peso a seguito di essiccamento è stato notevole (-80%). I residui agricoli sono stati processati presso Iridenergy Srl (Parco Area delle Scienze, PR) con un biotrituratore (Caravaggi) per ottenere un prodotto sufficientemente frammentato da poter essere successivamente processato con un molino a martelli.



Figura 1.1 Biotriturazione fieno



Figura 1.2. Biotriturazione bucce di patata e residui di potatura

I residui tritati sono stati quindi sottoposti a macinazione con molino a martelli (Marani Srl, Sissa Trecasali, PR – Figura 1.3) al fine di ottenere frazioni con dimensioni opportune per l'impiego nei bio-compositi (granulometria < 300 µm).



Figura 1.3. Molino a martelli presso Marani Srl

I residui di fieno sono stati sottoposti a macinazione con griglia da 1075 μm , dalla quale sono state ottenute una frazione fine (passaggio velo) ed una frazione piú grossolana (residuo velo).

Quest'ultima è stata sottoposta ad una seconda macinazione con griglia da 1000 μm . La frazione fine ottenuta da questa seconda lavorazione è stata unita alla frazione fine ottenuta dalla prima macinazione (resa produttiva complessiva 51% circa, Figura 1.4) ed è stata poi conferita ad UNIBO per la successiva caratterizzazione.

Un uguale processo di macinazione è stato condotto sulle bucce di patata (resa di macinazione frazione fine complessiva 65% circa, Figura 1.5), mentre sui residui di potatura è stato necessario effettuare 3 cicli di macinazione (resa di macinazione frazione fine complessiva 60% circa). La frazione fine (passaggio velo) ottenuta dalla macinazione dei residui di potatura, tuttavia, non aveva dimensioni particellari idonee per poter essere direttamente impiegata nella formulazione di bio-compositi (granulometria $<300 \mu\text{m}$) (Figura 1.6). Per questo, è stato necessario sottoporre il materiale ad un ulteriore processo di micronizzazione impiegando micronizzatore KMX-300-7,5 PLT/CD 170 Hz (SeparMicroSystem Sas, Flero (BS)).



Figura 1.4. Residuo velo (A) e passaggio velo (B) 1000 μm ottenuti dalla macinazione del fieno biotriturato.

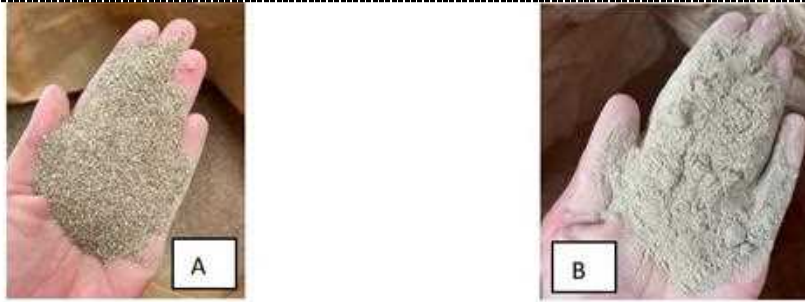


Figura 1.5. Residuo velo (A) e passaggio velo (B) 1000 μm ottenuti dalla macinazione delle bucce di patata biotriturate.



Figura 1.6. Residuo velo (A) e passaggio velo (B) 1000 μm ottenuti dalla macinazione dei residui di potatura.

2. Caratterizzazione dei residui agricoli

I residui dopo bio-triturazione e macinazione (e micronizzazione nel caso dei residui di potatura) sono stati studiati dal punto di vista delle proprietà termiche, morfologiche e chimiche attraverso l'analisi termo-gravimetrica (TGA), la microscopia a scansione elettronica (SEM), le analisi della composizione chimica e della granulometrica.

L'analisi granulometrica è molto importante perché consente di individuare quali residui presentino dimensioni opportune per l'impiego nei bio-compositi. Poiché la ditta che si occupa di produrre il prototipo ha indicato uno spessore target per la foglia, da cui si ricaveranno le vaschette, pari a circa 300 μm , tale valore risulta essere anche il valore dimensionale massimo consentito per i residui, affinché possano essere omogeneamente mescolati nella matrice polimerica. Come si può notare dagli istogrammi riportati in Figura 2.1, dopo la granulazione la maggior parte dei residui ha dimensioni inferiori ai 250 μm e, pertanto, risulta essere idonea per la preparazione dei biocompositi. Solo nel caso degli scarti di potatura, la componente di dimensioni superiori ai 300 μm si attesta intorno al 25% e, pertanto, per tale tipo di scarto è preferibile prevedere un ulteriore processo di micronizzazione che ne riduca ulteriormente le dimensioni.

Dopo tale lavorazione, effettuata quindi solo sullo scarto di potatura, la frazione con dimensioni superiori ai 300 μm risulta essere meno del 10%, confermando il successo dell'operazione.

La caratterizzazione TGA sugli scarti mostra che dopo un'iniziale perdita di peso dovuta all'eliminazione di umidità (visibile dal calo ponderale registrato a temperature inferiori ai 100°C nelle curve riportate in Figura 2.2a) gli scarti sono stabili fino a temperature prossime ai 200°C.

Questa caratteristica rende tutti gli scarti idonei alla miscelazione in fuso con le matrici polimeriche, che solitamente è realizzata a temperature variabili nel range 140-190°C (in funzione del tipo di polimero selezionato). Inoltre le derivate delle curve termogravimetriche, riportate in Figura 2.2b, permettono una valutazione approssimata della composizione chimica dei residui: fieno e bucce di patate sembrano essere più ricchi in cellulosa ed emicellulosa (picchi intorno ai 300-350°C).

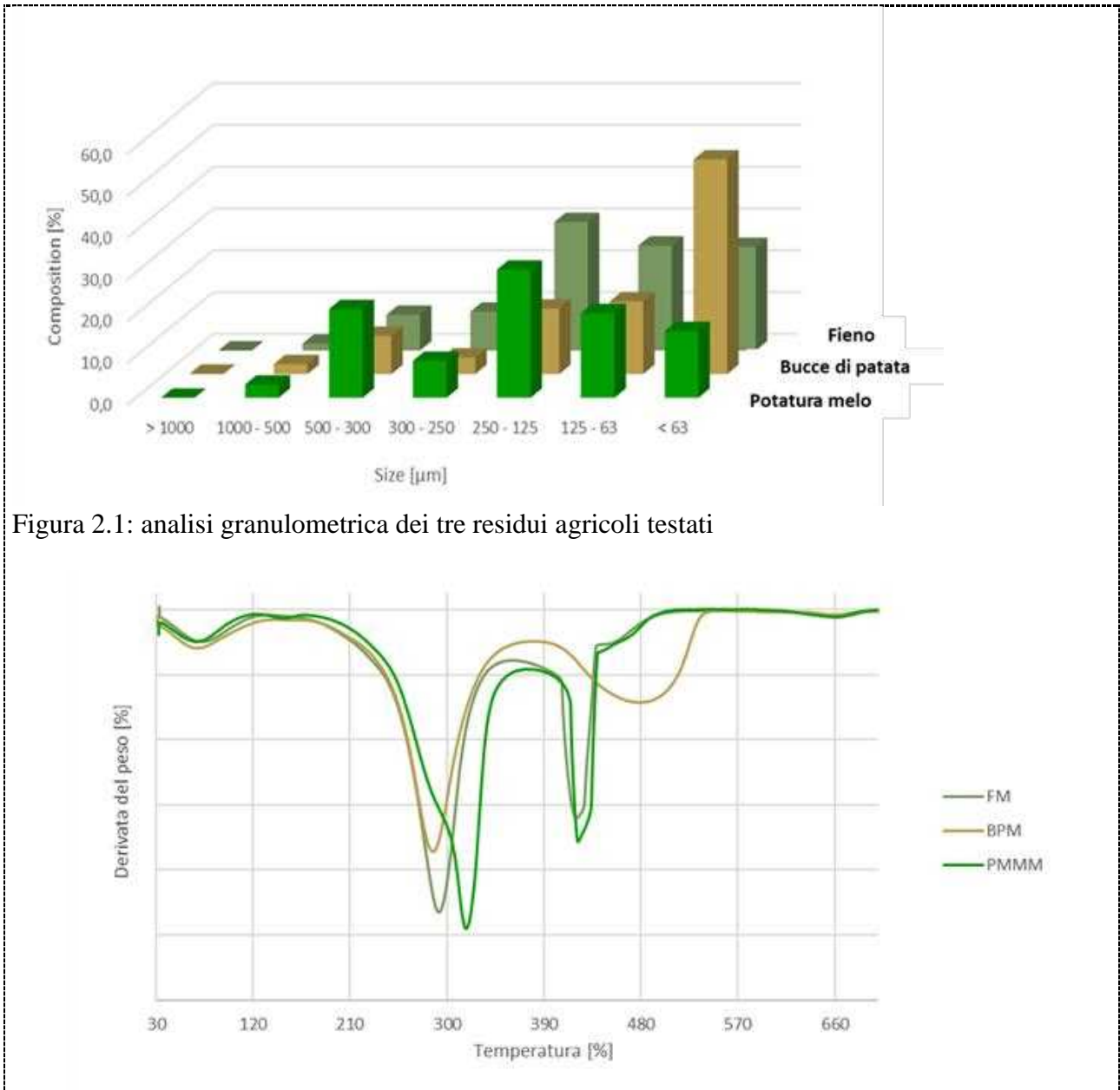


Figura 2.1: analisi granulometrica dei tre residui agricoli testati

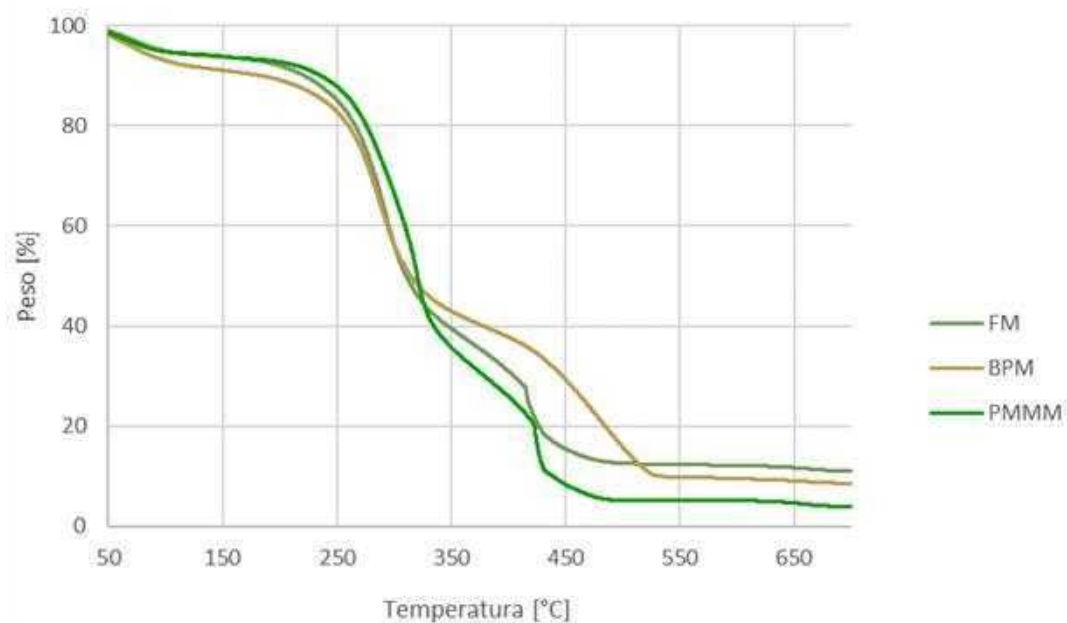


Figura 2.2: a) curve TGA e b) derivate delle curve TGA per i tre scarti agricoli: fieno macinato (FM), bucce di patata macinate (BPM) e potatura di melo micronizzata (PMMM)

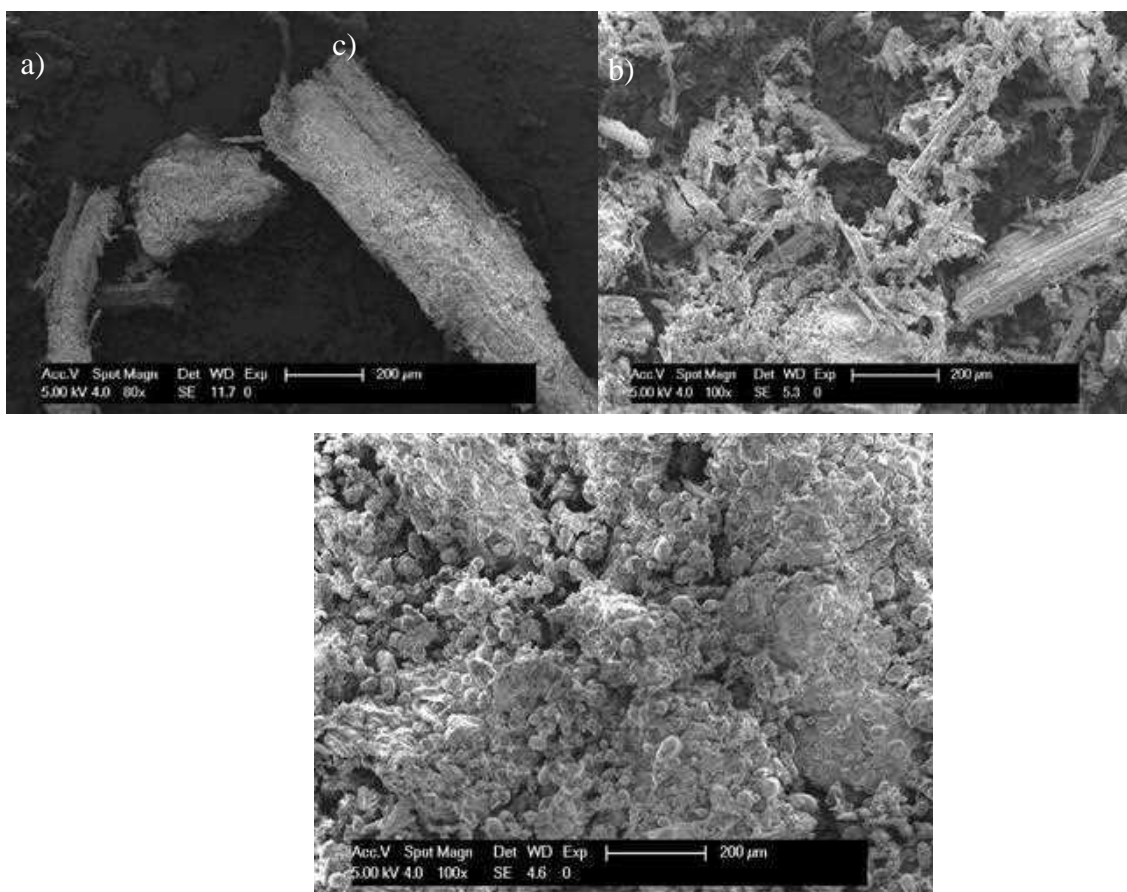


Figura 2.3: immagini SEM degli scarti (a) potatura di melo micronizzata (PMMM), b) fieno macinato (FM), c) bucce di patata macinate (BPM))

Le immagini SEM riportate in Figura 2.3 mostrano invece che negli scarti sono presenti particelle

irregolari con morfologia eterogenea. La forma di queste particelle è tipica delle fratture e dell'usura da molatura. La potatura del melo e il fieno sembrano formate da particelle più allungate e squadrate con proporzioni inferiori rispetto a quelle delle bucce di patata che sono più sferiche (probabilmente perché ricche in amido che si presenta usualmente con questa morfologia). Dai diametri delle fibre e dalla loro architettura complessiva, si osserva che il rapporto lunghezza/diametro (L/D) è massimo per le particelle di fieno, suggerendo un più efficace effetto rinforzante sulla matrice polimerica di questo scarto rispetto agli altri due.

Preparazione dei biocompositi

I biocompositi sono stati preparati per miscelazione in fuso, a differenti temperature (in funzione della matrice polimerica impiegata) e con diverse percentuali di scarto. La lista dei biocompositi preparati, le sigle di riconoscimento attribuite, le composizioni e le condizioni di preparazione sono riportati in Tabella 2.1.

Tabella 2.1: lista dei biocompositi e condizioni di preparazione

codice	filler	Quantità (%)	Matrice polimerica	Temperatura di mescolamento (°C)	Tempo di mescolamento (min)
AGP1	-	-	ECOVIO TA1241	155	5
AGP29	-	-	ECOVIO TA1241	155	5
AGP2	PMMM	10	ECOVIO TA1241	155	5
AGP3	PMMM	20	ECOVIO TA1241	155	5
AGP4	PMMM	30	ECOVIO TA1241	155	5
AGP30	BPM	10	ECOVIO TA1241	155	5
AGP31	BPM	20	ECOVIO TA1241	155	5
AGP32	BPM	30	ECOVIO TA1241	155	5
AGP33	FM	10	ECOVIO TA1241	155	5
AGP34	FM	20	ECOVIO TA1241	155	5
AGP35	FM	30	ECOVIO TA1241	155	5
AGP15	-	-	ECOVIO T2308	155	5
APG21	-	-	ECOVIO T2308	155	5
AGP25	-	-	ECOVIO T2308	155	5
AGP16	PMMM	10	ECOVIO T2308	155	5
AGP17	PMMM	20	ECOVIO T2308	155	5
AGP22	PMMM	30	ECOVIO T2308	155	5
AGP23	PMMM	40	ECOVIO T2308	155	5
AGP26	FM	10	ECOVIO T2308	155	5
AGP24	FM	20	ECOVIO T2308	155	5
AGP27	FM	30	ECOVIO T2308	155	5
AGP28	FM	40	ECOVIO T2308	155	5
AGP5	-	-	INGEO 2003D	195	6
AGP9	-	-	INGEO 2003D	195	6
AGP18	-	-	INGEO 2003D	195	6
AGP6	PMMM	10	INGEO 2003D	195	6
AGP7	PMMM	20	INGEO 2003D	195	6
AGP8	PMMM	30	INGEO 2003D	195	6
AGP10	BPM	10	INGEO 2003D	195	6
AGP11	BPM	20	INGEO 2003D	195	6
AGP12	BPM	30	INGEO 2003D	195	6
AGP13	FM	10	INGEO 2003D	195	6
AGP14	FM	20	INGEO 2003D	195	6
AGP19	FM	30	INGEO 2003D	195	6
AGP20	FM	40	INGEO 2003D	195	6
AGP41	-	-	FZ91	140	5
AGP42	PMMM	30	FZ91	140	5
AGP43	PMMM	40	FZ91	140	5
AGP44	FM	30	FZ91	140	5
AGP45	FM	40	FZ91	140	5
AGP46	BPM	30	FZ91	140	5
AGP47	BPM	40	FZ91	140	5
AGP48	-	-	Luminy/EcoFlex 60/40	160	5

AGP49	PMMM	30	Luminy/EcoFlex 60/40	160	5
AGP50	PMMM	40	Luminy/EcoFlex 60/40	160	5
AGP51	FM	30	Luminy/EcoFlex 60/40	160	5
AGP52	FM	40	Luminy/EcoFlex 60/40	160	5
AGP53	BPM	30	Luminy/EcoFlex 60/40	160	5
AGP54	BPM	40	Luminy/EcoFlex 60/40	160	5
AGP55	-	-	Luminy/EcoFlex 40/60	160	5
AGP56	PMMM	30	Luminy/EcoFlex 40/60	160	5
AGP57	PMMM	40	Luminy/EcoFlex 40/60	160	5
AGP58	FM	30	Luminy/EcoFlex 40/60	160	5
AGP59	FM	40	Luminy/EcoFlex 40/60	160	5
AGP60	BPM	30	Luminy/EcoFlex 40/60	160	5
AGP61	BPM	40	Luminy/EcoFlex 40/60	160	5

Caratterizzazione dei biocompositi

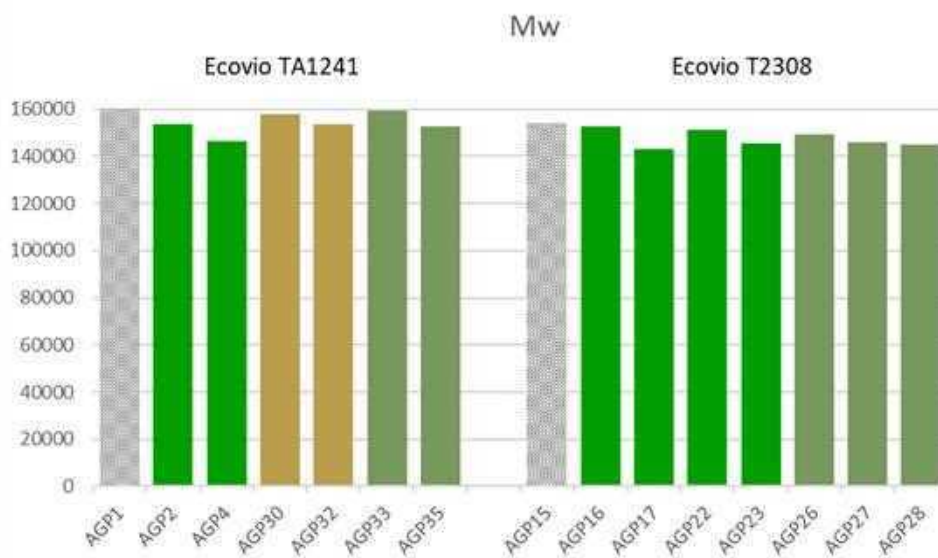


Figura 2.4: dati GPC per alcuni biocompositi a base di Ecovio TA1241 e Ecovio T2308

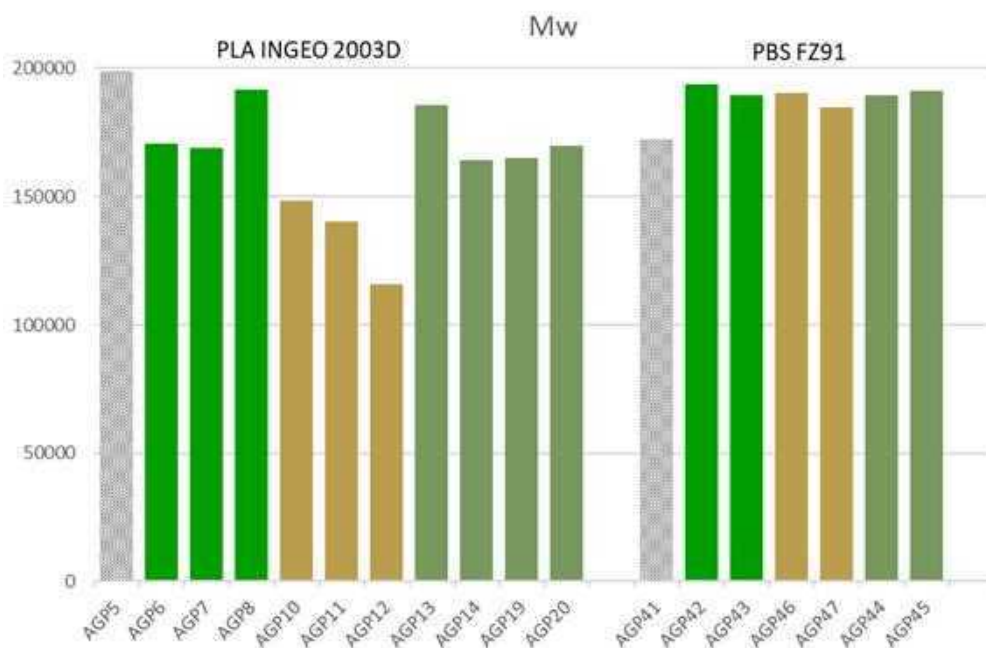


Figura 2.5: dati GPC per alcuni biocompositi a base di PLA Ingeo 2003D e PBS FZ91

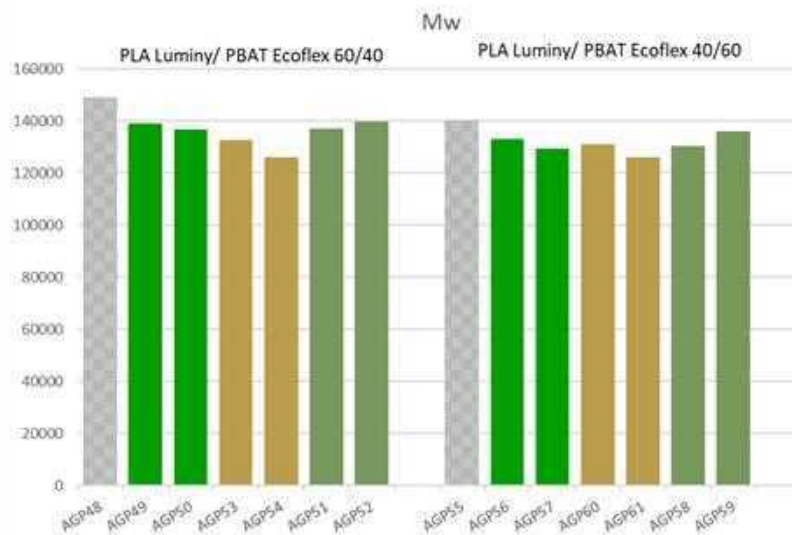


Figura 2.6: dati GPC per alcuni biocompositi a base della blend PLA Luminy LX175/PBAT Ecoflex C1200 (nei due rapporti ponderali 60/40 e 40/60)

In Figura 2.4, 2.5 e 2.6 sono riportati gli andamenti dei pesi molecolari (Mw) attraverso cromatografia a permeazione su gel (GPC) di alcuni dei biocompositi preparati.

Per alcuni campioni si osserva una diminuzione del peso molecolare della matrice polimerica, che può essere imputata ad una reazione di idrolisi della catena polimerica, probabilmente indotta dal residuo stesso o da altri composti presenti in esso. Tale diminuzione, poco evidente nel caso delle matrici denominate Ecovio (v. Figura 2.4), è significativa per i biocompositi a base di PLA Ingeo 2003 (v. Figura 2.5): in tal caso probabilmente gioca un ruolo chiave l'elevata temperatura di miscelamento richiesta dalla matrice. È inoltre evidente che lo scarto BPM, probabilmente per un non trascurabile contenuto di acqua residuo, favorisce la reazione di idrolisi della matrice polimerica in misura maggiore degli altri scarti testati. Tale effetto è osservabile anche nel caso dei biocompositi ottenuti per mescolamento dei residui con la blend PLA/PBAT. L'analisi di tali dati suggerirebbe, quindi, di scartare sia il grado Ingeo 2003 come matrice polimerica che le bucce di patate come riempitivo nella preparazione dei biocompositi.

Le proprietà termiche dei biocompositi sono state investigate tramite analisi termogravimetrica (TGA) e calorimetrica a scansione differenziale (DSC). Le curve TGA, evidenziano la stabilità termica dei materiali di partenza definendo per ciascun biocomposito la massima temperatura di impiego (valore oltre la quale esso inizia a degradare). In Figura 2.6 è riportata, a titolo di esempio, la curva TGA del campione commerciale Ecovio TA1241: dal suo profilo si deduce che tale materiale è termicamente molto stabile poiché le prime degradazioni iniziano a temperature superiori ai 300°C. In aggiunta, poiché si osserva il permanere di una grande quantità di residuo che non degrada a temperature molto elevate, si può dedurre che il campione contiene quasi il 30% di una frazione non polimerica. Da analisi spettroscopica infrarossa essa è risultata corrispondere a talco. Il campione commerciale Ecovio TA1241 è risultato, quindi, essere già additivato con cariche inorganiche presenti in quantità elevate, che hanno evidenziato la difficoltà di preparazione di compositi omogenei con scarti vegetali in alta percentuale.

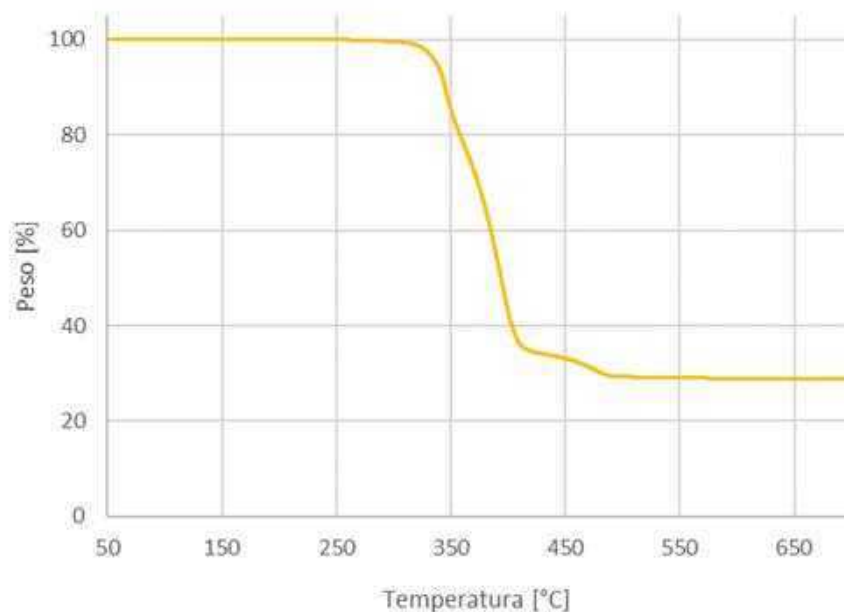


Figura 2.6: TGA della matrice polimerica Ecovio TA1241, analizzata sotto flusso di azoto.

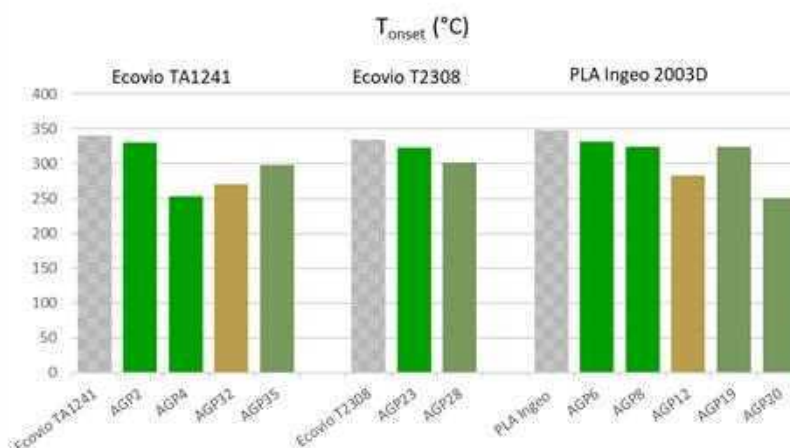


Figura 2.7: valori di T_{onset} derivati da analisi TGA per alcuni biocompositi preparati.

Alcuni valori di T_{onset} , che vengono presi come riferimento per confrontare la stabilità termica dei materiali durante l'analisi termogravimetrica, sono riportati in Figura 2.7. In tale grafico si può osservare che l'introduzione degli scarti vegetali tende a diminuire la stabilità termica del composito e che tale diminuzione è proporzionale alla quantità di residuo introdotto. Inoltre, gli andamenti registrati confermano quanto già osservato tramite analisi GPC: gli scarti delle patate tendono a influire negativamente e in maniera più significativa sulla stabilità del biocomposito rispetto agli altri due residui.

Le analisi DSC permettono invece di investigare sul comportamento a fusione e cristallizzazione dei compositi. Poiché nei biocompositi i valori delle temperature di fusione e cristallizzazione delle matrici polimeriche si modificano di pochissimi gradi e ciò accade indipendentemente dal tipo di scarto impiegato, si può dedurre che la presenza di questi residui non influisca significativamente su questi processi.

I biocompositi sono stati quindi stampati, attraverso stampaggio ad iniezione, sotto forma di ossi di cane di dimensioni come da normativa ISO527-2-1BA (alcuni dei quali sono mostrati a titolo di esempio in Figura 2.8) e successivamente sottoposti a prove di trazione, impiegando un dinamometro INSTRON 5966.

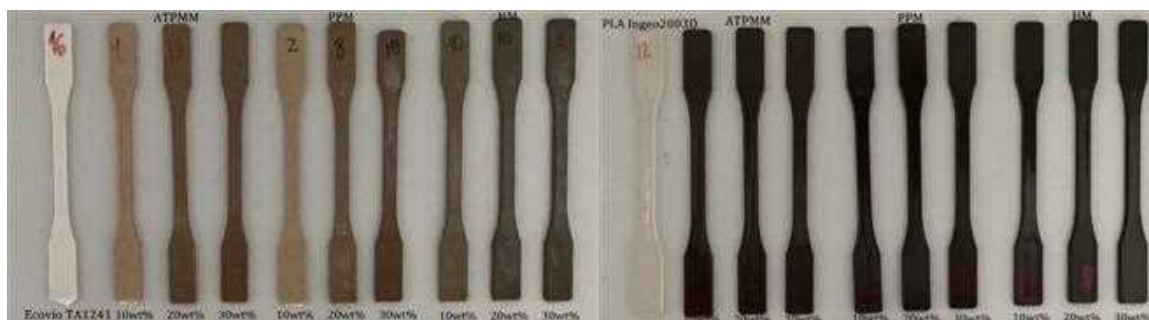


Figura 2.8: provini per le prove a trazione dei biocompositi a base di Ecovio TA1241 e PLA Ingeo 2003D, contenenti nell'ordine PMMM, BPM e FM.

I risultati delle prove a trazione, in termini di modulo elastico (E), sforzo a rottura (σ) e allungamento a rottura (ϵ), sono mostrati nelle Figure 2.9-2.18.

In generale, si può osservare che l'inserimento degli scarti vegetali all'interno della matrice polimerica porta ad un innalzamento del modulo elastico e ad una diminuzione sia dello sforzo che dell'allungamento a rottura, in misura proporzionale al quantitativo di scarto inserito. Questi andamenti si traducono in un sostanziale irrigidimento del materiale e ad una riduzione della sua duttilità. Tali andamenti sono ben visibili per i biocompositi a base di Ecovio TA1241 ed Ecovio T2308 (Figure 2.9-2.11).

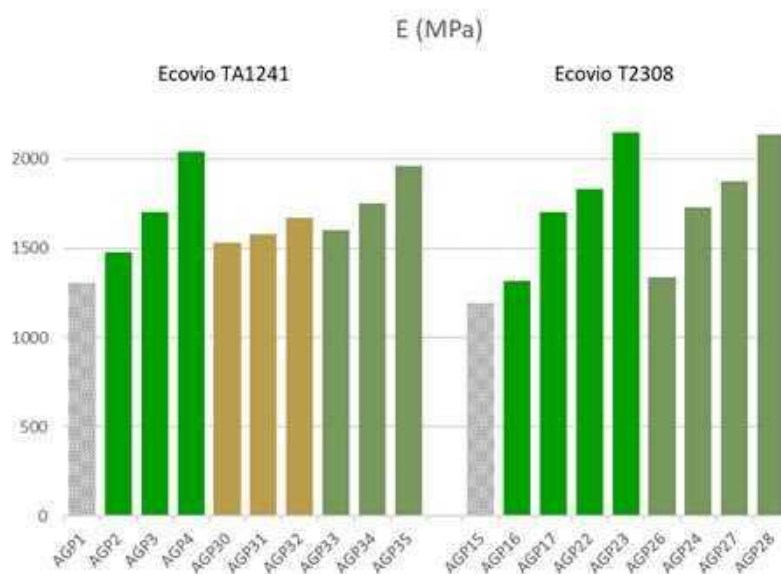


Figura 2.9: modulo elastico (E) per i biocompositi a base di Ecovio (TA1241 e T2308)

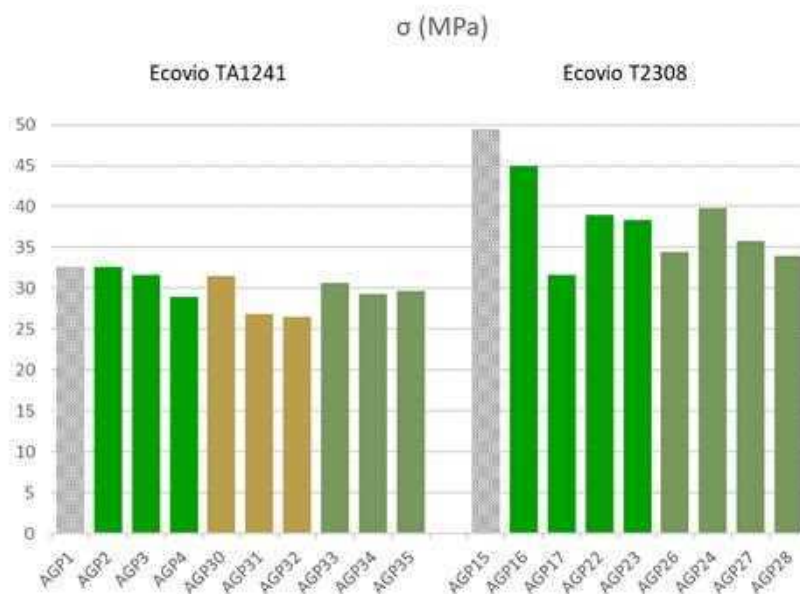


Figura 2.10: sforzo a rottura (σ) per i biocompositi a base di Ecovio (TA1241 e T2308)

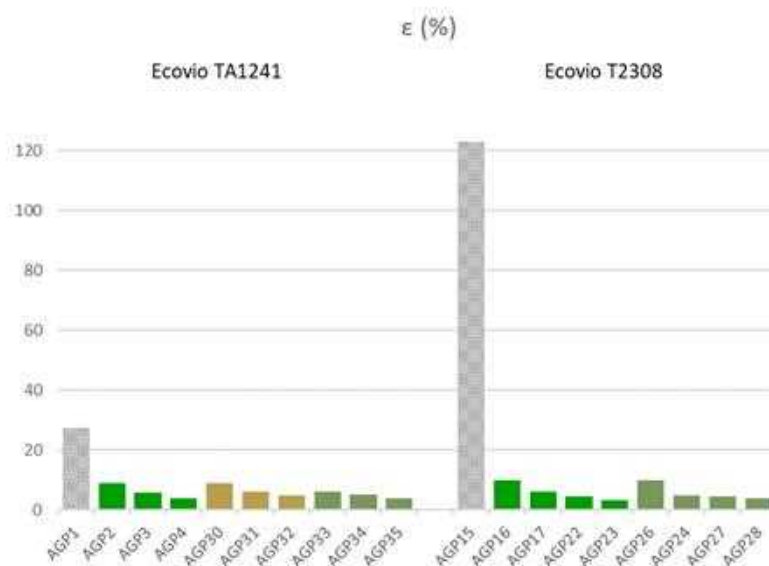


Figura 2.11: allungamento a rottura (ϵ) per i biocompositi a base di Ecovio (TA1241 e T2308)

Le proprietà meccaniche dei biocompositi a base di PLA e PBS sono mostrate nelle Figure 2.12-2.14. Anche in questo caso, si osserva il medesimo andamento per tutti gli scarti impiegati. Le bucce di patata, però, sembrano portare ad un irrigidimento più contenuto rispetto agli altri due scarti vegetali, segno di una probabile migliore interazione tra le due fasi all'interno del biocomposito. Il modulo elastico, infatti, per il biocomposito a base di PLA, cresce intorno al 40% se è presente un 30% di FM o di PMMM mentre cresce solo del 20% per il biocomposito contenente il 30% di BPM. Analogamente, nel caso del PBS, il modulo elastico aumenta oltre il 150% con fieno e potatura, mentre cresce del 94% con la buccia di patate (Figura 2.12). Anche dall'allungamento a rottura mostrato in Figura 2.14 si arriva alle medesime considerazioni: i campioni AGP46 e AGP47 presentano valori di allungamento, seppure diminuiti rispetto a quelli della matrice, comunque maggiori dei biocompositi ottenuti con gli altri scarti.

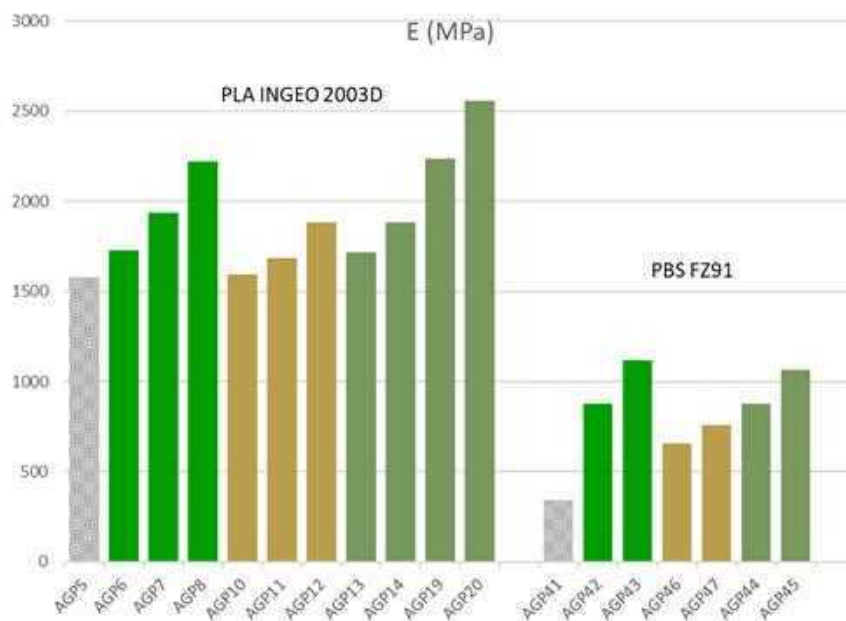


Figura 2.12: modulo elastico (E) per i biocompositi a base di PLA Ingeo 2003D e PBS FZ91

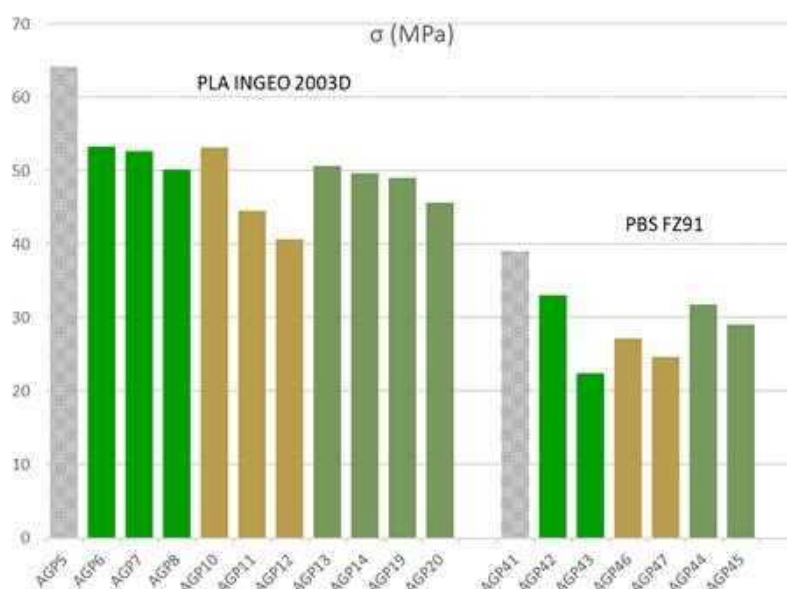


Figura 2.13: sforzo a rottura (σ) per i biocompositi a base di PLA Ingeo 2003D e PBS FZ91

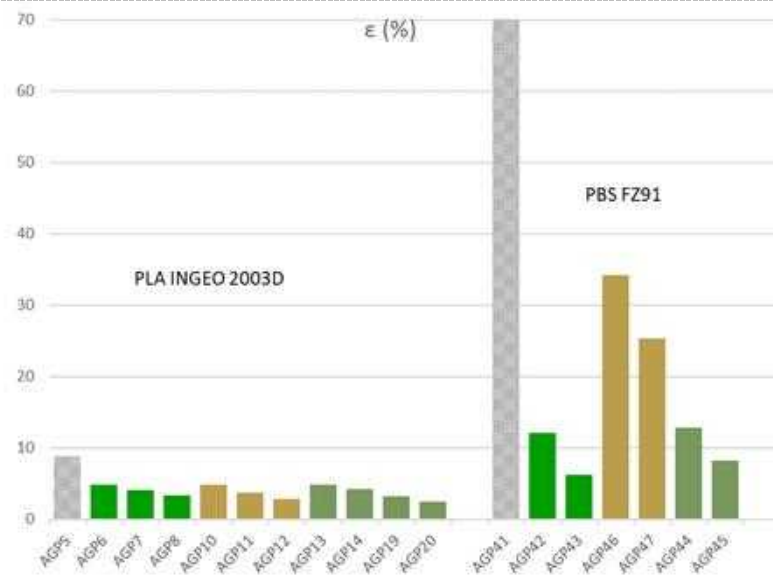


Figura 2.14: allungamento a rottura (ϵ) per i biocompositi a base di PLA Ingeo 2003D e PBS FZ91

Per compensare la diminuzione di duttilità che si è registrata a causa dell'inserimento degli scarti vegetali, si sono preparate blends contenenti un materiale intrinsecamente caratterizzato da elevata flessibilità, quale il PBAT. Le proprietà meccaniche dei biocompositi ottenuti per mescolamento degli scarti vegetali con le blends PLA/PBAT 60/40 e PLA/PBAT 40/60 sono mostrate nelle Figure 2.15-2.17. Data la buona lavorabilità delle blends preparate internamente, è opportuno sottolineare che si è proceduto col preparare biocompositi che contenessero sempre elevati quantitativi di scarto vegetale (mai inferiore al 30%).

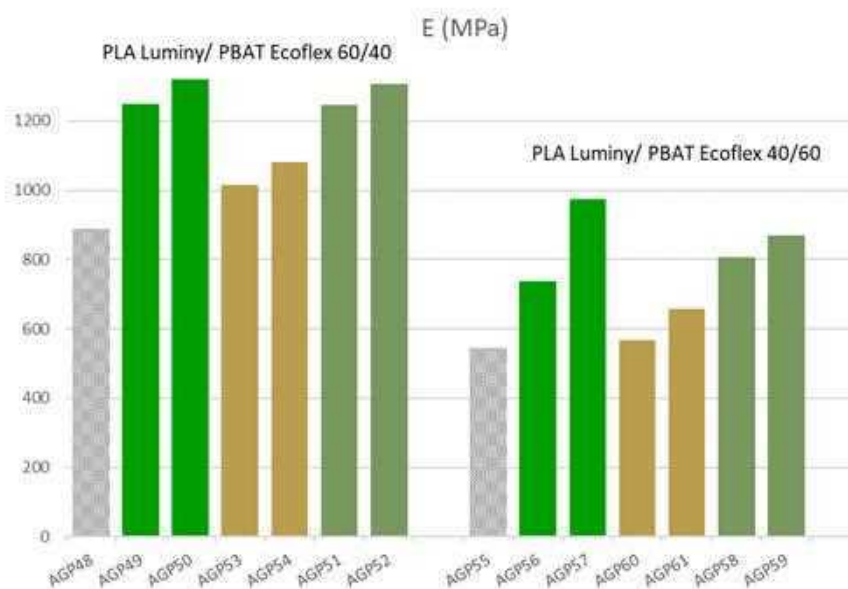


Figura 2.15: modulo elastico (E) per i biocompositi a base delle blends di PLA Luminy LX175 ed Ecoflex C1200

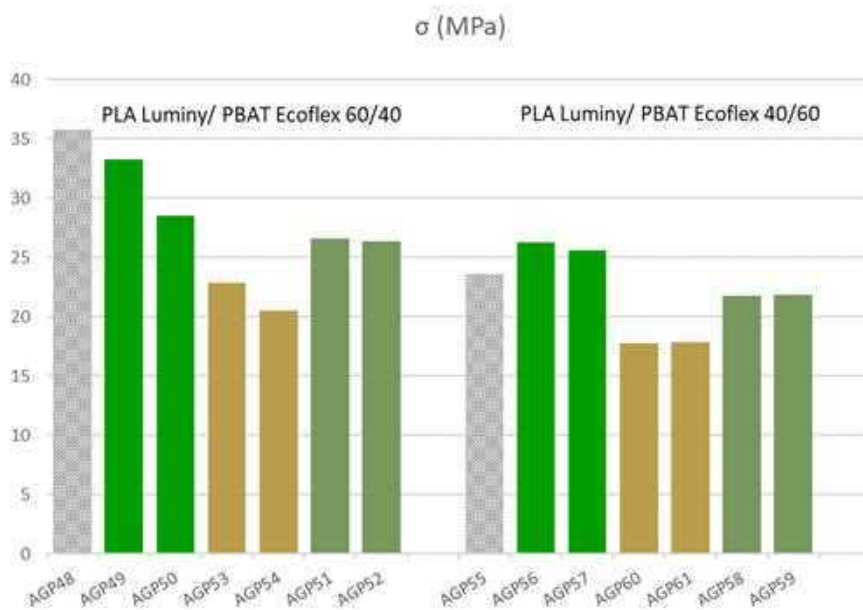


Figura 2.16: sforzo a rottura (σ) per i biocompositi a base delle blends di PLA Luminy LX175 ed Ecoflex C1200

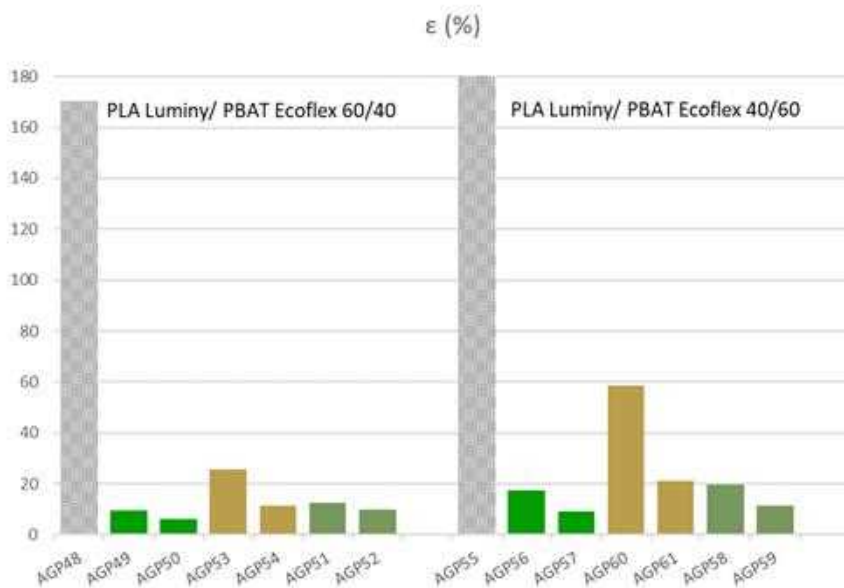


Figura 2.17: allungamento a rottura (ϵ) per i biocompositi a base delle blends di PLA Luminy LX175 ed Ecoflex C1200

Ancora una volta, si è registrato un irrigidimento del materiale, comunque più contenuto nel caso delle bucce di patate: il modulo elastico per entrambe le matrici polimeriche cresce circa del 40% con fieno e sfalci di potatura, mentre aumenta meno del 15% con le bucce di patata (Figura 2.15). Le analisi di microscopia elettronica in scansione (SEM) hanno permesso di investigare sulla morfologia dei materiali. In Figura 2.18 sono riportate le immagini SEM acquisite sulle superfici di frattura dei biocompositi sottoposti alle prove a trazione a base di Ecovio TA1241 e PLA Ingeo 2003D e contenenti il 10% dei 3 scarti vegetali. Confrontando le immagini di sinistra (relative a Ecovio) con quelle di destra, si può immediatamente osservare come le due matrici polimeriche siano molto differenti: la superficie dei campioni a base di Ecovio appare tendenzialmente più

ruvida e irregolare e mostra la presenza di piccolissime scaglie di carica inorganica uniformemente distribuite al suo interno; la matrice di PLA mostra invece una superficie liscia, densa e abbastanza uniforme. La presenza dei diversi residui è chiaramente distinguibile in tutti i campioni (evidenziata da circoletti gialli) che risultano essere distribuiti in maniera omogenea nella matrice.

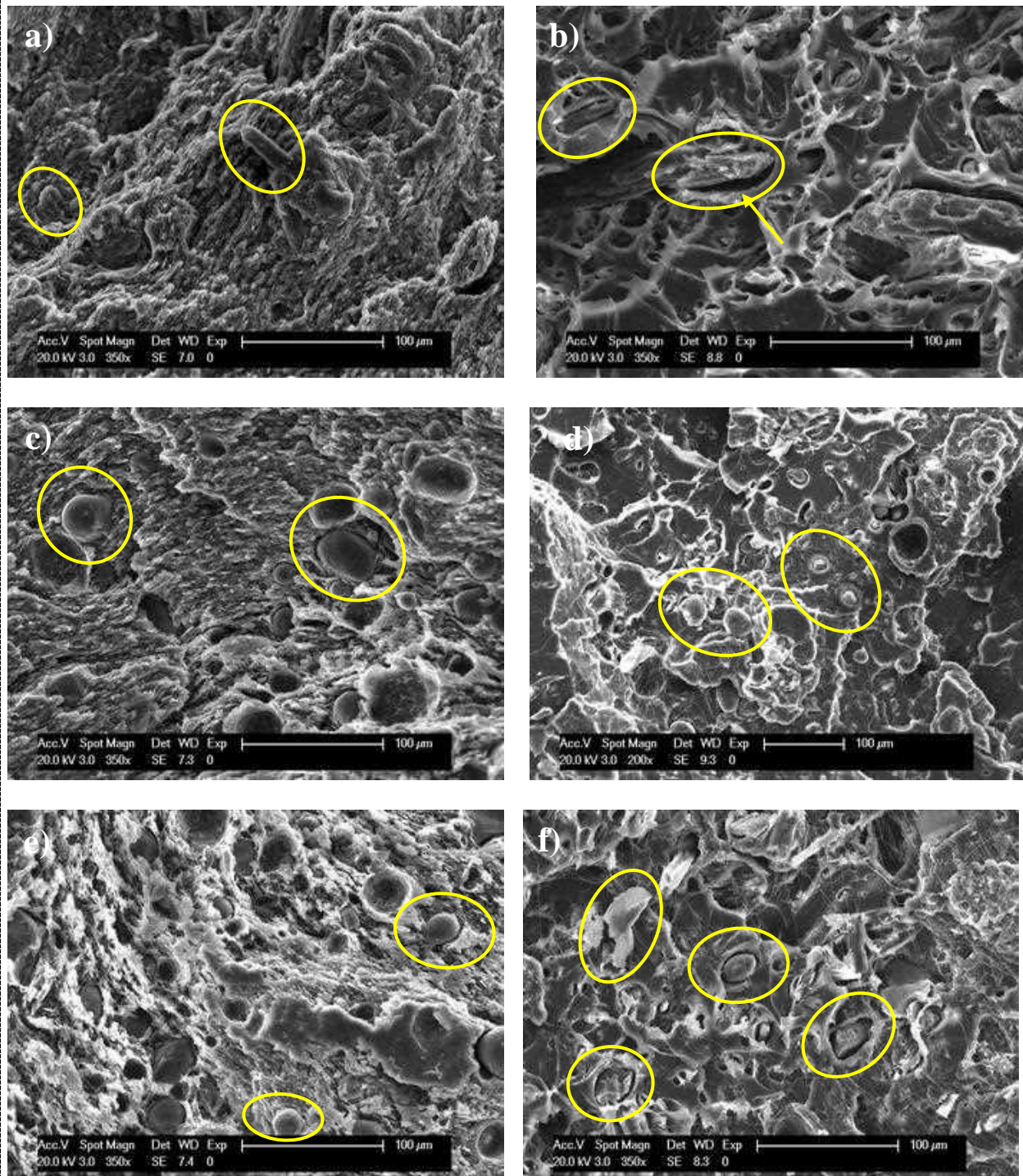


Figura 2.18: immagini SEM a medesimo ingrandimento per i biocompositi a base di Ecovio TA1241 (nella colonna di sinistra) e PLA Ingeo 2003D (nella colonna di destra) caricati con il 10% di PMMM (2.18a e 2.18b), BPM (2.18c e 2.18d), FM (2.18e e 2.18f).

Mentre i residui di BPM all'interno del composito mantengono la loro morfologia essenzialmente globulare (Figure 2.18c e 2.18d), gli scarti di fieno e sfalci di potatura presentano forme

leggermente più allungate. La presenza di numerosi vuoti è generalmente indice di una scarsa adesione tra fibra e matrice polimerica e sembra essere più evidente nei compositi a base di Ecovio. Questa ridotta interazione è anche grossolanamente quantificabile, osservando l'interfase, cioè lo spazio che intercorre tra il residuo e la matrice polimerica. Nel caso del PMMM si può notare come questo spazio sia maggiore (evidenziato dalla freccia in Figura 2.18b), portando quindi a dedurre una scarsa adesione tra le fasi per questo tipo di residuo.

Alla luce di tutte le analisi effettuate, il confronto delle proprietà meccaniche tra le composizioni che sono risultate più promettenti e l'ECOVIO TA1241, che possiamo considerare come materiale benchmark, ha permesso di concludere che sono diversi i materiali che presentano caratteristiche adeguate all'impiego nell'ambito dell'imballaggio (v. Figura 2.19). Un quantitativo pari al 30% di FM o al 40% di BPM risulta essere ottimale se come matrice polimerica si impiega il PBS. Questi scarti inoltre producono indifferentemente lo stesso risultato se si impiega la blend PLA/PBAT 60/40. Risultati leggermente meno performanti, ma comunque molto promettenti si sono ottenuti per i compositi ottenuti da PLA Ingeo 2003D e FM in quantità fino al 30%.



Figura 2.19: confronto tra le proprietà meccaniche per i biocompositi più promettenti

Pertanto si può concludere che un grado differente di PLA (potenzialmente meno rigido e lavorabile a temperature inferiori), così come una sua miscela PLA/PBAT o il PBS sono ottime matrici per la preparazione di biocompositi a base di bucce di patate o fieno. Inoltre, al netto delle più vantaggiose caratteristiche morfologiche del FM (in termini di rapporto di forma) e della ridotta stabilità termica (osservata sia attraverso i dati GPC che TGA) indotta dal residuo BPM, si può suggerire l'impiego preferenziale degli scarti a base di fieno.

3. Scale-up industriale del protocollo e produzione di contenitori per il confezionamento

Come sopra descritto, obiettivo dell'attività successiva è stato quello di produrre granuli di compound sulla base delle formulazioni individuate in laboratorio. Sono state selezionate due matrici: acido polilattico (PLA) e una blend costituita da 60% PLA e 40% PBAT. Tramite studi di compatibilità sopra descritti, il fieno micronizzato è stato selezionato come scarto agricolo da utilizzare per la preparazione dei compound. 1000 kg di fieno derivante da scarti di mangiatoia dell'Az. Agr. F.lli Brugnoli sono stati macinati presso Agrindustria Tecco (per la descrizione completa della fase di macinazione, vedasi Paragrafo 2.3). Il fieno macinato con granulometria <math><300 \mu\text{m}</math> è stato inviato a Proplast per (i) prove di compounding con estrusore bi-vite co-rotante con le diverse matrici bio-polimeriche, (ii) prove di filmatura cast con estrusore monovite delle formulazioni preparate con le diverse basi biopolimeriche; (iii) prove di termoformatura sui film preparati con le formulazioni ottenute dalle diverse basi biopolimeriche.

Le matrici bio-polimeriche utilizzate per le prove sono state: PLA con due gradi commerciali diversi ((i) grado commerciale di Total Energies Corbion PLA Luminy® L105 e (ii) grado

commerciale di Total Energies Corbion PLA Luminy® LX175) e PBAT (grado commerciale di BASF PBAT Ecoflex® F Blend C1200).

La tabella di seguito riporta le formulazioni oggetto di sperimentazione associata ad un corrispondente codice identificativo.

Codice	Formulazione
PLA 045	80 % PLA L105 + 20 % FM
PLA 046	90 % PLA L105 + 10 % FM
PLA 047	85 % PLA L105 + 15 % FM
PLA 049	PLA LX175/PBAT 60/40
PLA 050	PLA LX175/PBAT 60/40
PLA 051	PLALX175/PBAT 60/40
PLA 052	PLA LX175/PBAT 60/40
PLA 053	PLA LX175/PBAT 60/40 + 20 % FM
PLA 054	PLA LX175/PBAT 60/40 + 10 % FM
PLA 055	PLA LX175/PBAT 75/25 + 20 % FM
PLA 056	80 % PLA LX175 + 20 % FM
PLA 057	PLA LX175/PBAT 75/25

PLA, acido polilattico, FM, fieno micronizzato, PBAT, polibutilen-adipato-tereftalato.

Le condizioni operative delle prove realizzate in collaborazione con Proplast sono sopra descritte (Paragrafo 2.3).

Essiccazione del fieno e dei bio-polimeri

Prima di essere processati, sia i polimeri che la carica sono stati essiccati; in particolare i PLA tal quali sono stati essiccati ad 80 °C per 4 ÷ 6 ore in essiccatore, il PBAT tal quale è stato essiccato ad 80 °C per 4 ore in essiccatore e il fieno macinato è stato essiccato in stufa a vuoto a 60 °C per 24 ore. In Figura 3.3 è riportata la fotografia di uno degli essiccatori utilizzati.

Prove di compounding

I polimeri sono stati alimentati dalla tramoggia principale tramite un dosatore gravimetrico Brabender, mentre la carica è stata inserita mediante un dosatore laterale con velocità di rotazione della vite pari a 50 rpm. Il particolare profilo a vite utilizzato è stato selezionato al fine di ottenere una buona dispersione della carica all'interno della matrice e, al contempo, evitare la degradazione dei polimeri e della carica stessa.

Per tutte le formulazioni la velocità di rotazione delle vite è stata mantenuta costante a 180 rpm e una pompa a vuoto è stata utilizzata per favorire il degasaggio durante il processo ed evitare la presenza di umidità residua nella miscela polimerica allo stato fuso. Per tutti i compound realizzati la portata è rimasta compresa tra i 15 e i 20 kg/h.

Il filamento in uscita dall'estrusore è stato poi raffreddato in una vasca ad acqua di lunghezza pari a 4 m e tagliato in pellet per le successive fasi di filmatura cast tramite il pellettizzatore ad aria. Le formulazioni PLA 045 (80 % PLA L105 + 20 % FM), PLA 046 (90 % PLA L105 + 10 % FM) e PLA 047 (85 % PLA L105 + 15 % FM) sono state tutte raccolte in quantitativi compresi tra i 5 e i 10 kg, in modo da poter essere trasformate tramite filmatura cast. La formulazione a più alta percentuale di carica è risultata però critica in quanto il filamento tendeva a rompersi e, a causa dell'elevata fragilità, è stato difficoltoso poterlo raccogliere per le successive fasi di taglio.

Per le formulazioni PLA 049, PLA 050, PLA 051 e PLA 052 (tutte composte da PLA LX175/PBAT 60/40) sono state effettuate diverse prove a condizioni di processo differenti in quanto il processo si è dimostrato fortemente instabile. Nonostante le numerose prove purtroppo non è stato possibile

ottenere un filamento stabile in uscita dall'estrusore in quanto all'uscita dalla testa di estrusione il blend tendeva a rigonfiarsi e a pulsare. Di conseguenza, non sono stati raccolti granuli di questi blend.

Si è quindi provato a modificare il rapporto relativo dei due polimeri con il PLA 057 (PLA LX175/PBAT 75/25) ma, anche in questo caso, la reologia del sistema non era stabile e non ha permesso di raccogliere granuli per le successive fasi di trasformazione.

I blend PLA 053 (PLA LX175/PBAT 60/40 + 20 % FM), PLA 054 (PLA LX175/PBAT 60/40 + 10 % FM) e PLA 055 (PLA LX175/PBAT 75/25 + 20 % FM) sono risultati invece più stabili, e dal momento che non si verificava alcuna pulsazione del flusso polimerico e nessuna rottura del filamento, è stato possibile raccogliere granuli di queste formulazioni.

Infine, la formulazione PLA 056 (80 % PLA LX175 + 20 % FM) è stata realizzata per confrontarla con la formulazione contenente la stessa quantità di carica, ma prodotta con il PLA Luminy L105.

In generale, però, si deve affermare che per nessuna delle formulazioni prodotte si è riusciti a superare il 20 % di carica. Infatti, un'eccessiva quantità di filler infragiliva il filamento estruso, impendendone la raccolta.



Figura 3.1. Granulo della formulazione PLA054

Prove di filmatura

Partendo dai granuli realizzati nella fase di compounding ed essiccati, si sono realizzati dei film tramite la linea di estrusione per filmatura cast BGplast SD30. La strumentazione consiste di un estrusore monovite, attrezzato con testa piana (larghezza nominale di 200 mm) ed equipaggiato di un sistema di rulli a calandra. In generale, si può affermare che tutti i film sono risultati essere molto rigidi e fragili, con un aspetto superficiale molto poroso.

In particolare, in fase di processo, si è deciso di filmare i blend a base di PLA/PBAT ad uno spessore superiore rispetto alle formulazioni a base di solo PLA per cercare di limitare il più possibile la porosità di questi campioni, che, nonostante la fase di essiccazione prolungata ad alta temperatura, presentavano ancora una percentuale di umidità piuttosto rilevante.

Un certo miglioramento estetico si è osservato per i campioni di PLA 045 (80 % PLA L105 + 20 % FM) e PLA 046 (90 % PLA L105 + 10 % FM) dopo aver compresso il film tra i rulli della calandra. La formulazione PLA 047 (85 % PLA L105 + 15 % FM) non è stata filmata in quanto si è deciso di concentrarsi sulla valutazione della processabilità alle concentrazioni di carica estreme massima e minima.

La formulazione PLA 056 (80 % PLA LX175 + 20 % FM) è stata filmata, ma, dato che non si è riuscito a mantenere costante il processo e lo spessore del film, ne è stato raccolto un quantitativo limitato.



Figura 3.2. Film della formulazione PLA056

Prove di termoformatura

Le prove di termoformatura sono state eseguite utilizzando la termoformatrice a scala laboratorio (O.M.G. srl – modello MA). Il processo di termoformatura consiste nello scaldare un film in materiale plastico ad una temperatura tale per cui sia possibile una formatura all'interno di uno specifico stampo, senza arrivare alla completa fusione o alla degradazione del materiale che si sta termoformando. Lo schema 3D dello stampo utilizzato in questo caso consiste in una vaschetta della profondità di 50 mm con base rettangolare e angoli raggiati. Si è deciso di utilizzare questa particolare conformazione di stampo in quanto tale vaschetta rappresenta una forma standard di packaging, in particolare per quello alimentare, per far sì che le vaschette prototipo si avvicinassero il più possibile a quelle pensate per l'applicazione finale. Nella termoformatrice utilizzata i film sono stati scaldati con una lampada ad infrarossi e, successivamente, fatti aderire alle pareti dello stampo attraverso l'azione del vuoto. Subito dopo si è proceduto alla fase di raffreddamento e all'estrazione dallo stampo. Per ciascuna formulazione di blend riportata in tabella sono state eseguite prove a tempi di riscaldamento differenti al fine di ottimizzare le condizioni di processo ed evitare il danneggiamento (fori o deformazioni) dei campioni nella fase di riscaldamento.

Le vaschette in PLA 045 (80 % PLA L105 + 20 % FM) risultano essere molto rigide, e la forma denota una scarsa adesione delle pareti allo stampo. Inoltre, sono presenti numerosi fori.

Per le vaschette in PLA 046 (90 % PLA L105 + 10 % FM) è stato raggiunto un buon grado di sfondamento; le pareti hanno aderito allo stampo in modo soddisfacente.

Per quanto riguarda le vaschette in PLA 053 (PLA LX175/PBAT 60/40 + 20 % FM) e PLA 055 (PLA LX175/PBAT 75/25 + 20 % FM) si osserva che queste non hanno aderito alle pareti dello stampo in maniera ottimale a causa della presenza di fori che permettevano il passaggio dell'aria non appena veniva creato il vuoto in macchina, non garantendo un buon grado di sfondamento.

Per l'unica vaschetta ottenuta in PLA 056 (80 % PLA LX175 + 20 % FM) si nota una discreta adesione alle pareti dello stampo, che però non risulta perfetta a causa della presenza di fori.

Infine, le vaschette in PLA 054 (PLA LX175/PBAT 60/40 + 10 % FM) risultano essere abbastanza flessibili, e la forma mostra una buona adesione alle pareti dello stampo. Il colore è chiaro e abbastanza omogeneo.

La presenza dei fori è indice di degradazione del materiale a causa di un'eccessiva esposizione alla lampada ad infrarossi in termini di tempo, mentre la mancata copiatura della forma dello stampo da parte del film è legata all'impossibilità di ottenere un vuoto completo in fase di termoformatura a causa dell'eccessiva porosità dei campioni filmati che hanno consentito il passaggio dell'aria in fase di processo.



Figura 3.3. Alcuni esempi di campioni danneggiati durante le fasi preliminari di termoformatura

I campioni meglio riusciti sono quelli relativi alle formulazioni PLA046 e PLA054. Sono stati selezionati anche alcuni campioni della formulazione PLA056.



Figura 3.4. In ordine da sinistra, vaschetta PLA046, PLA054, PLA056

4. Caratterizzazione delle vaschette

L'attività prevedeva inizialmente l'esecuzione di test di vario tipo sia sul materiale delle vaschette che sulla vaschetta contenente il prodotto. A causa delle criticità riscontrate nell'attività precedente di scale-up industriale del protocollo sviluppato e produzione di bobine/contenitori per il confezionamento, è stato necessario limitare le prove ai soli test di compressione e trazione e lavorare piuttosto su nuove formulazioni di materiali per migliorare le proprietà meccanico-visive e le performance ambientali delle vaschette.

Le prove di resistenza a compressione e a trazione sono state effettuate sulle due formulazioni meglio riuscite, ossia quelle identificate dai codici PLA054 (90% PLA/PBAT 60/40 + 10% fieno) e PLA046 (90% PLA + 10% fieno).

Le **prove di compressione** sono state eseguite sulla macchina servomeccanica TesT GmbH model 112, a disposizione

presso i laboratori del centro interdipartimentale Cipack dell'Università di Parma, in controllo di spostamento e con cella di carico di 2 kN.

In mancanza di una normativa di riferimento per tale tipologia di prodotto, si è utilizzata per analogia la stessa velocità di prova, fissata a $v = 10 \text{ mm/min}$, utilizzata per le prove di caratterizzazione a trazione secondo ASTM D882 di campioni ritagliati da fogli precedentemente utilizzati per la termoformatura delle stesse vaschette.

Si sono effettuate 3 ripetizioni per ognuno dei 2 gruppi di vaschette, distinte in base al materiale.

Per ogni test, si sono calcolati i valori di:

- Rigidezza secante all'origine, k_s
- Carico di plateau corrispondente al compattamento, P_p
- Deformazione di inizio compattamento, ϵ_{start}
- Deformazione di fine compattamento, ϵ_{end}

Per illustrare il significato delle grandezze elencate, si riporta a titolo esemplificativo una curva

caratteristica ottenuta come risultato del test sulla vaschetta “PLA054 02” in Figura 4.1.

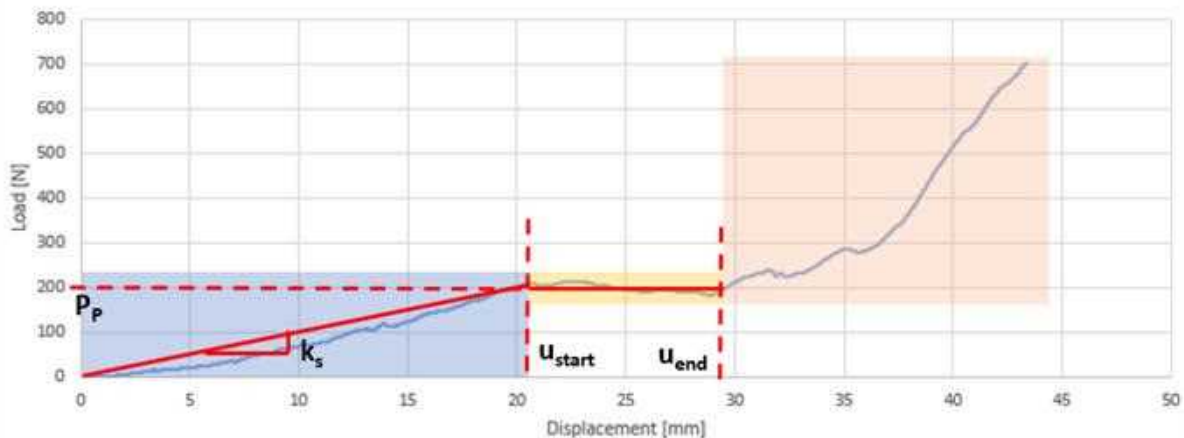


Figura 4.1. Curva caratteristica di prova di compressione su vaschetta

In particolare, si deduce come all’interno della curva caratteristica si possano distinguere macroscopicamente tre differenti zone a comportamento differente:

- una prima zona (box blu) per carichi da 0 fino all’inizio del plateau, in cui la vaschetta viene progressivamente caricata con l’effetto di stabilizzare la superficie di appoggio della vaschetta stessa sul piatto di riscontro e in cui, in virtù della sostanziale continuità della curva, è possibile calcolare una rigidezza secante k_s ;
- una seconda zona (box arancione), compresa tra i valori di spostamento u_{start} e u_{end} , corrispondente al compattamento vero e proprio della vaschetta e caratterizzata da un sostanziale plateau di forza, più o meno accentuato a seconda della prova e del materiale, in cui comunque la curva ha una pendenza molto limitata e il carico è oscillante attorno ad un valore medio, P_p ;
- una terza e ultima zona (box rosso) in cui il compattamento della vaschetta può considerarsi ultimato e in cui la vaschetta viene progressivamente pressata in modo rigido contro il piatto di riscontro.

I valori approssimativamente stimati di u_{start} e u_{end} vengono normalizzati in base all’altezza nominale della vaschetta, misurata uguale a $h_0 = 54$ mm, in modo da calcolare la relativa deformazione $\varepsilon_i = u_i / h_0$, con $i = start$ o $i = end$.

Per ogni grandezza viene calcolata poi la media sui 3 campioni, la deviazione standard e il coefficiente di variabilità (CV).

Si forniscono di seguito i risultati relativi alle due campagne, distinte in base al materiale (PLA054 e PLA046)

Risultati prove di compressione sul PLA 054:



Figura 4.2. Vaschetta in PLA054 in macchina di test



Figura 4.3. Curve forza-spostamento per vaschette in PLA 054

	PLA046 01	PLA046 02	PLA046 03	Media	Dev.st.	C.V. (%)	U.M.
k_s	11.49	17.61	14.95	14.68	2.51	17.06%	N/mm
P_p	197.63	208.50	223.08	209.74	10.43	4.97%	N
ϵ_{start}	30.19	28.23	23.11	27.18	2.98	10.98%	%
ϵ_{end}	39.44	48.23	45.33	44.34	3.66	8.25%	%

Tabella 4.1. Risultati test vaschette PLA 054

Risultati prove di compressione sul PLA046:



Figura 4.4. Vaschetta in PLA046 in macchina di test

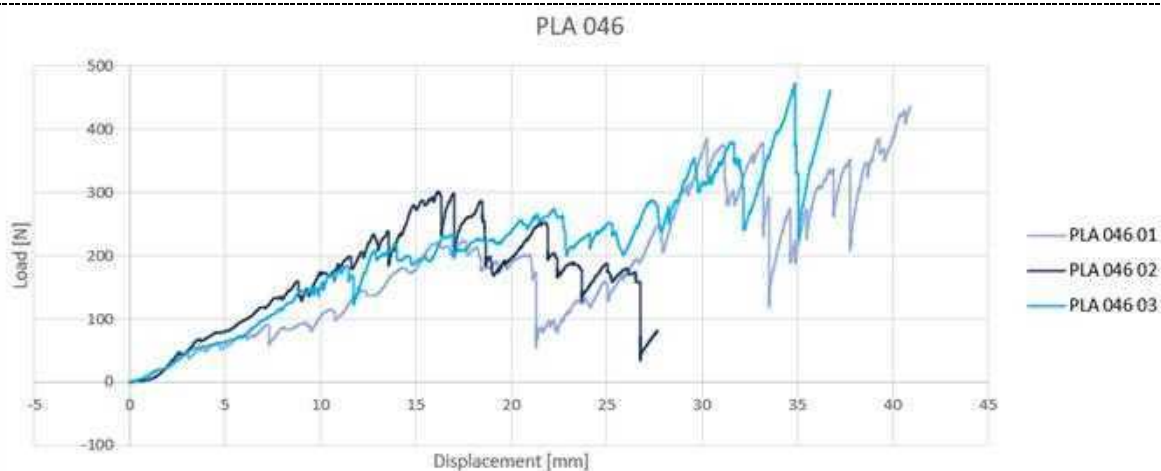


Figura 4.5. Curve forza-spostamento per vaschette in PLA 046

	PLA046 01	PLA046 02	PLA046 03	Media	Dev.st.	C.V. (%)	U.M.
k_s	11.49	17.61	14.95	14.68	2.51	17.06%	N/mm
P_P	197.63	208.50	223.08	209.74	10.43	4.97%	N
ϵ_{start}	30.19	28.23	23.11	27.18	2.98	10.98%	%
ϵ_{end}	39.44	48.23	45.33	44.34	3.66	8.25%	%

Tabella 4.2. Risultati test vaschette PLA 046

Dato il comportamento fragile del PLA046, la zona di plateau non è così marcata come nel caso del PLA054, motivo per cui i valori di ϵ_{start} e ϵ_{end} e, conseguentemente, il valore di P_P risultano approssimati e frutto di una divisione in zone alla luce dell'osservazione delle curve.

Le **prove di trazione** sono state eseguite secondo il metodo ASTM D882 – 12 – Standard test method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. I provini stati ritagliati manualmente da fogli precedentemente utilizzati per termoformatura di vaschette ad uso alimentare, in zone non deformate e al di fuori del perimetro esterno delle vaschette.

Si riportano in Tabella 3.

Grandezza	Valore	U.M.
Lunghezza tratto utile, L_G	100	mm
Lunghezza nominale, L	150	mm
Larghezza nominale, w	25	mm
Rateo di deformazione, C	0.1	mm/min min
Velocità di prova, $v = C \cdot L_G$	10	mm/min

Tabella 4.3. Dimensioni dei provini e caratteristiche del test

La normativa ASTM D882 utilizzata come standard di riferimento prescrive una lunghezza del tratto utile, L_G , dei provini per la determinazione del modulo elastico pari a 250 mm, ma consente di ricorrere a sezioni più corte, fino ad un minimo di 100 mm (par. 6.7). La normativa prescrive inoltre che la lunghezza complessiva dei provini L superi di almeno 50 mm quella del tratto utile, L_G . Di conseguenza, alla luce dell'incompatibilità della lunghezza consigliata con le dimensioni massime dei provini ricavabili dal foglio a disposizione, si è optato per una lunghezza del tratto utile $L_G = 100$ mm e per una lunghezza complessiva del provino $L = 150$ mm.

La stessa normativa prescrive un range ammissibile di larghezza del provino da 5.0 mm a 25.4 mm, un rapporto larghezza/spessore, w/t , di almeno 8 e una precisione pari a ± 0.25 mm. Alla luce degli spessori medi dei materiali, misurati in un range $t_{054} = 1.052 \div 1.168$ mm per il PLA 054 e $t_{046} = 0.744 \div 0.774$ mm, si è optato per una larghezza, w , pari a 25 mm, in linea con le prescrizioni e controllando il mantenimento della precisione richiesta lungo L .

Le prove sono state eseguite sulla macchina servomeccanica TesT GmbH model 112, a disposizione presso i laboratori del centro interdipartimentale Cipack dell'Università di Parma, in controllo di spostamento e con cella di carico di 2 kN.

La velocità di prova è impostata secondo ASTM D882 in cui si individua un rateo di deformazione, C , pari a 0.1 mm/mm per la determinazione del modulo elastico e di altre grandezze in caso di provini con deformazione a rottura $\epsilon_r < 20\%$. Ricadendo in tale caso, si è calcolata la velocità di prova, v , come:

$$v = C * L_G = 10 \text{ mm/min}$$

Si sono effettuate 3 ripetizioni per ognuno dei 2 gruppi di provini.

Per ogni test di trazione effettuato sui 3 provini di PLA054 e PLA046, si sono calcolati i valori di:

- Modulo elastico, E
- Carico di scostamento dalla proporzionalità dello 0,2%, R_{p02}
- Carico di rottura, σ_{max}
- Deformazione a rottura, ϵ_{max}
- Deformazione corrispondente a carico di rottura, $\epsilon @ \sigma_{max}$

Per ogni grandezza viene calcolata poi la media sui 3 provini, la deviazione standard e il coefficiente di variabilità (CV). Si riportano di seguito i risultati ottenuti su ciascuna delle tipologie di materiale testato.

Risultati prove di trazione sul PLA054

Tutti i provini di questo gruppo hanno subito rottura all'interno del tratto utile per la misura. La Tabella 4.4 illustra le dimensioni misurate sui provini (5 misure per ogni campione).

	PLA054_01	PLA054_02	PLA054_03	U.M.
w1	24.78	24.81	25.06	mm
w2	24.80	25.05	24.85	mm
w3	24.96	25.11	25.25	mm
w4	24.94	24.97	25.15	mm
w5	24.84	25.07	25.06	mm
t1	1.14	1.05	1.08	mm
t2	1.16	1.05	1.04	mm
t3	1.13	1.03	1.05	mm
t4	1.06	1.06	1.19	mm
t5	1.07	1.08	1.22	mm
w(*)	24.86	25.00	25.07	mm
t(*)	1.17	1.05	1.06	mm

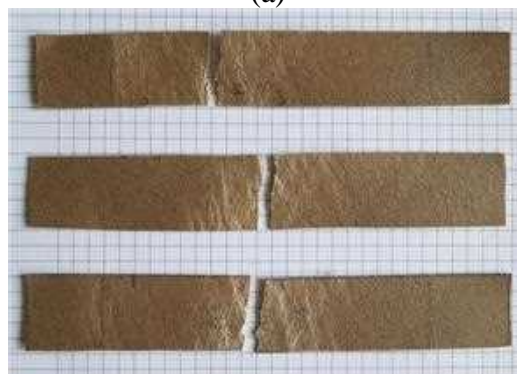
(*) media sulle 5 posizioni misurate

Tabella 4.4. Dimensioni misurate dei provini PLA 054 testati

La Figura 4.6 illustra un'immagine dei provini, prima (a) e dopo (b) il test.



(a)



(b)

Figura 4.6. Immagine dei provini PLA054: prima (a) e dopo (b) rottura

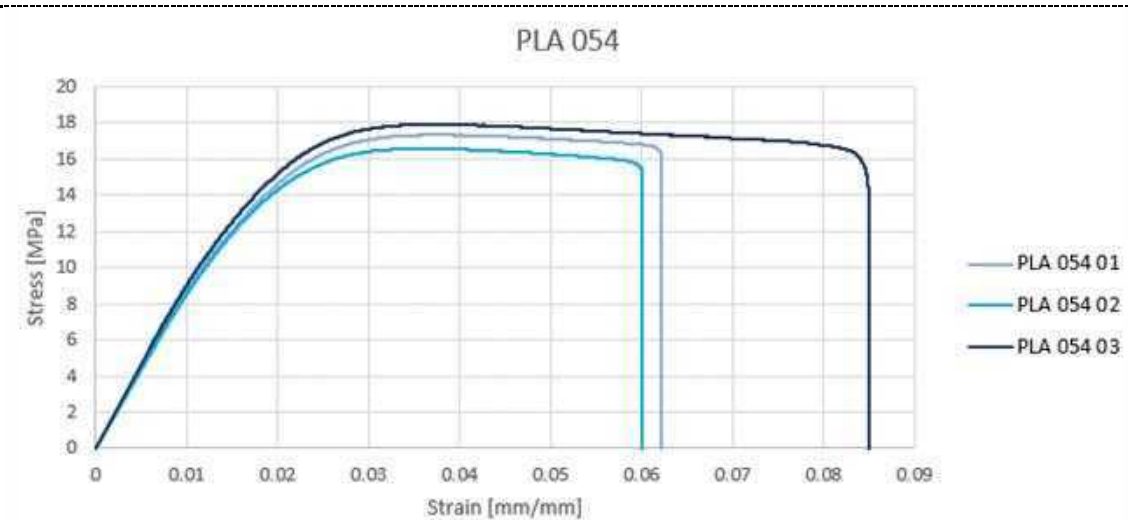


Figura 4.7. Curve tensione-deformazione per provini PLA 054

	PLA054 01	PLA054 02	PLA054 03	Media	Dev.st.	C.V. (%)	U.M.
E	889.58	873.71	934.03	899.11	25.53	2.84%	MPa
Rp0.2	12.98	12.77	13.23	12.99	0.19	1.43%	MPa
σ_{max}	17.35	16.59	17.92	17.29	0.55	3.16%	MPa
ϵ_{max}	6.22	6.01	8.50	6.91	1.13	16.30%	%
$\epsilon @ \sigma_{max}$	3.83	3.69	3.86	3.79	0.07	1.91%	%

Tabella 4.5. Risultati test provini PLA054

Risultati prove di trazione sul PLA046

Tutti i provini di questo gruppo hanno subito rottura all'interno del tratto utile per la misura. La Tabella 4.6 illustra le dimensioni misurate sui provini (5 misure per ogni campione).

	PLA046_01	PLA046_02	PLA046_03	U.M.
w1	25.14	24.81	24.76	mm
w2	25.21	24.82	25.02	mm
w3	24.78	24.75	25.16	mm
w4	24.90	24.97	25.10	mm
w5	24.76	25.20	24.90	mm
t1	0.76	0.77	0.78	mm
t2	0.75	0.74	0.75	mm
t3	0.74	0.72	0.78	mm
t4	0.76	0.75	0.80	mm
t5	0.76	0.74	0.76	mm
w(*)	24.96	24.91	24.99	mm
t(*)	0.75	0.74	0.77	mm

(*) media sulle 5 posizioni misurate

Tabella 4.6. Dimensioni misurate dei provini PLA 046 testati

La Figura 4.8 illustra un'immagine dei provini, prima (a) e dopo (b) il test.

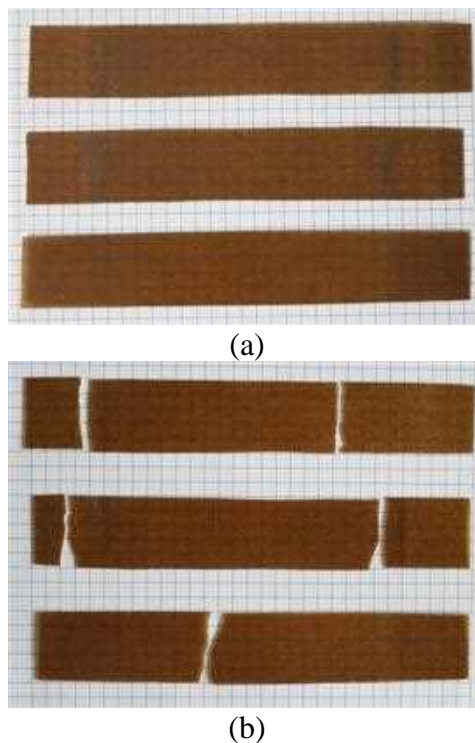


Figura 4.8. Immagine dei provini PLA046: prima (a) e dopo (b) rottura

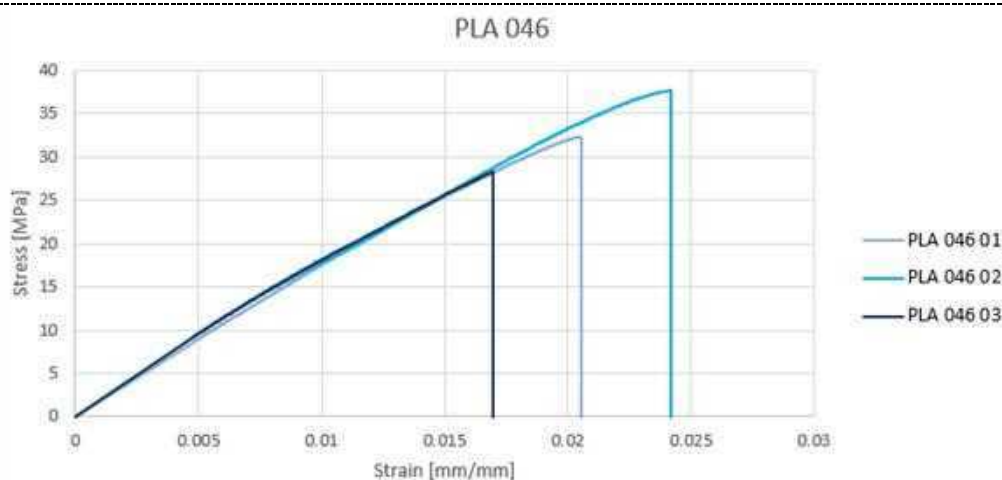


Figura 4.9. Curve tensione-deformazione per provini PLA046

	PLA046 01	PLA046 02	PLA046 03	Media	Dev.st.	C.V. (%)	U.M.
E	1798.60	1925.91	1924.81	1883.11	59.76	3.17%	MPa
Rp02	--	--	--	--	--	--	MPa
σ_{max}	32.33	37.65	28.29	32.76	3.83	11.70%	MPa
ϵ_{max}	2.06	2.42	1.70	2.06	0.29	14.29%	%
$\epsilon @ \sigma_{max}$	2.05	2.41	1.70	2.05	0.29	14.26%	%

Tabella 4.7. Risultati test provini PLA046

Dato il comportamento fragile del materiale, non si rileva nel caso del materiale PLA046, alcuno scostamento sensibile dalla proporzionalità.

Le attività condotte sul materiale sviluppato nell'ambito del progetto non hanno riguardato solo la caratterizzazione delle vaschette, ma anche dei test su nuovi materiali studiati per superare le criticità riscontrate in fase di realizzazione delle vaschette e per migliorare le performance ambientali rendendo possibile l'incremento al 20% della percentuale di fieno micronizzato all'interno della vaschetta. In particolare, le nuove formulazioni studiate prevedono l'utilizzo di una ridotta quota di plasticizzante triacetato di glicerolo (CAS 102-76-1, Sigma-Aldrich) per rendere meno fragile il PLA (Corbion Luminy® L105). Si riportano di seguito le formulazioni testate:

- PLA puro (nome identificativo: PLA)
- PLA 80wt%, Fieno 20wt% (nome identificativo: PLA80-Fieno20)
- PLA 70wt%, Fieno 20wt%, Plasticizzante 10wt% (nome identificativo: PLA70-Fieno20-Plast10)
- PLA 55wt%, Fieno 30wt%, Plasticizzante 15wt% (nome identificativo: PLA55-Fieno30-Plast15)

Da un punto di vista operativo il fieno è stato inizialmente setacciato meccanicamente a 50 µm e trattato termicamente in forno a 80°C per circa 8 ore per allontanare l'acqua adsorbita

Il PLA, il fieno e il plasticizzante sono stati poi estrusi insieme (temperatura di estrusione 185-195°C) con la produzione di un filamento composito, successivamente pellettizzato. Si riportano a titolo illustrativo i granuli ottenuti.



Figura 4.10. Granuli delle varie formulazioni testate

I granuli sono stati stampati a iniezione per la produzione di campioni di tipo 5A (ISO 527), utilizzati per la successiva caratterizzazione meccanica.



Figura 4.11. Campioni stampati

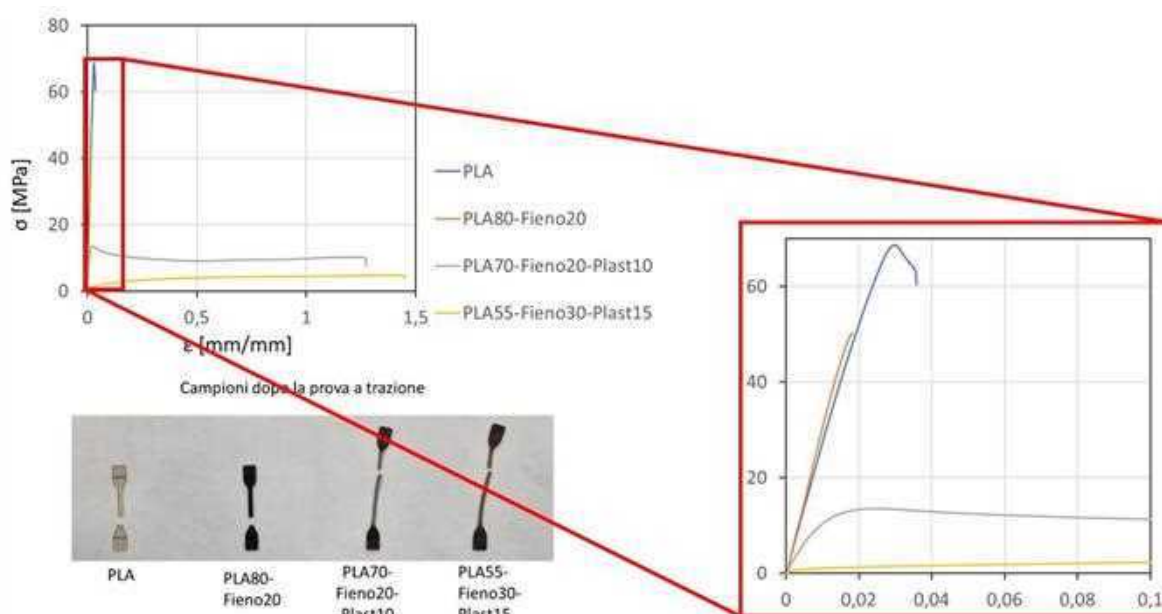


Figura 4.12. Caratterizzazione meccanica – Prova a trazione – Curve sforzo (σ)/deformazione(ϵ)

I risultati ottenuti dalle prove di caratterizzazione sono riportati in Tabella 4.8.

	Modulo di Young, E [GPa]	Sforzo a snervamento, σ_S [MPa]	Sforzo a rottura, σ_R [MPa]	Deformazione, ϵ_R	Tenacità, T [MJ/m ³]
PLA	2,98±0,09	69±12	60±4	0,036±0,004	0,46±0,06
PLA80-Fieno20	3,41±0,05	/	50±2	0,018±0,001	0,034±0,009
PLA70-Fieno20-Plast10	1,39±0,07	14±5	8±2	1,27±0,03	7,68±0,09
PLA55-Fieno30-Plast15	0,27±0,08	/	4±1	1,45±0,05	3,01±0,09

Tabella 4.8. Proprietà meccaniche a trazione

Dall'analisi dei risultati riportati in Tabella 4.8 è possibile fare le seguenti considerazioni:

- L'aggiunta di solo fieno ha l'effetto di irrigidire e infragilire la matrice polimerica (nel campione PLA80-Fieno20, E aumenta ma diminuiscono gli altri parametri, soprattutto ϵ_R e T)
- Il plasticizzante aggiunto insieme al fieno permette di mantenere una certa rigidità del materiale, ma conferisce soprattutto maggiore lavorabilità (nel campione PLA70-Fieno20-Past10, E è circa la metà del PLA puro ma aumentano di circa 16 volte ϵ_R e T)
- L'eccesso di plasticizzante, anche in presenza di notevoli quantità di fieno, determina una diminuzione generalizzata delle proprietà meccaniche (il campione PLA55-Fieno30-Plast15 risulta molto flessibile, ma scarsamente rigido e resistente).

5. Valutazione dell'impatto ambientale

L'attività di valutazione dell'impatto ambientale ha accompagnato ogni fase di progettazione e test sul packaging in modo da guidare ogni scelta verso la soluzione più eco-sostenibile. È stata utilizzata la metodologia del **Life Cycle Assessment** secondo un'approccio dalla culla alla tomba che valuta tutte le fasi del ciclo di vita del sistema in analisi, la cui performance funzionale è rappresentata da un'unità di riferimento detta unità funzionale (FU). In particolare, come unità funzionale è stata scelta un'unità di packaging adibita all'applicazione individuata, ossia contenere prodotti come topinambur e fragole.

I confini del sistema includono tutte le fasi del ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime per la produzione del bio-polimero e trattamento degli scarti agricoli, alla preparazione del compound con cui realizzare la vaschetta e allo smaltimento finale tramite processo di compostaggio. Una rappresentazione delle fasi del ciclo di vita della vaschetta che rientrano nei confini considerati è fornita in Figura 5.1.

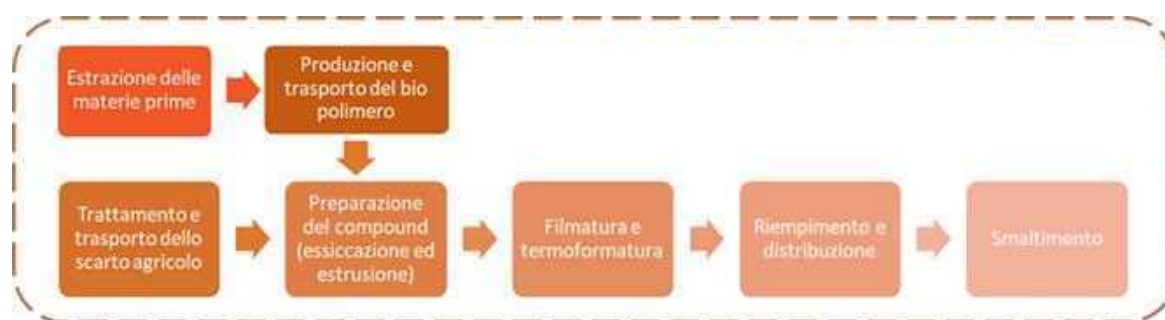


Figura 5.1. Confini fisici del sistema

L'unica fase tra quelle indicate che non è stata valutata in termini di impatto ambientale è quella di riempimento e distribuzione dato che non è stato possibile raccogliere dati a riguardo.

Prima di fare una valutazione complessiva sul ciclo di vita del packaging, sono state condotte delle analisi preliminari finalizzate a indirizzare la scelta dello scarto e del bio-polimero verso le alternative che, oltre a rispondere a certi requisiti in termini di proprietà meccaniche, garantissero elevate performance ambientali.

Le prime analisi sono state effettuate sugli scarti con l'obiettivo di selezionarne una tipologia tra le alternative possibili: scarti di potatura di melo, fieno da scarti di mangiatoia, bucce di patata. Sono stati raccolti i dati relativi ai trattamenti effettuati su ciascuna tipologia di scarto e rielaborati in modo da riferirli ad 1 kg di scarto.

A titolo esemplificativo si riportano i dati raccolti e rielaborati relativi ai trattamenti effettuati sul fieno.

Fieno (FM)								
	Condizioni di trattamento	kg trattati	kg ottenuti	Ore	Potenza elettrica assorbita [kW]	Produzione [kg/h]	Consumo [kW/kg]	Energia elettrica consumata [kWh/kg]
Biotriturazione	1 passaggio	18,4	12,5	1	7,5	12,5	7,5 kW / 12,5 kg = 0,6	0,6 kW/kg * 1 h = 0,6 kWh/kg
Macinazione	2 passaggi	50	25	4,5	36	5,55	36 kW / 25 kg = 1,44 (dp)	1,44 kW/kg * 4,5 h = 6,48 kWh/kg

Tabella 5.1. Analisi di inventario - trattamenti preliminari sul fieno

I trattamenti effettuati sulle bucce di patata comprendono un'essiccazione a 105°C per circa 20 h e due step di macinazione. Sugli scarti di potatura del melo sono stati effettuati tre diversi trattamenti (biotriturazione, macinazione e micronizzazione) due dei quali eseguiti in due step. Il numero elevato di trattamenti ha determinato dei consumi energetici maggiori per quest'ultima tipologia di scarto e di conseguenza un maggiore impatto ambientale.

Residuo	Energia elettrica consumata [kWh/kg]
Bucce di patata (BPM)	4 + 0,61 = 4,61
Fieno (FM)	0,6 + 6,48 = 7,08
Potatura di melo (PMMM)	0,88 + 11,52 + 6,2 = 18,6

Tabella 5.2. Consumi energetici dovuti ai processi di trattamento degli scarti

I risultati di impatto ambientale riferiti ad 1 kg di scarto trattato calcolati con metodo EPD (2018) sono riportati in Tabella 5.3 e confermano il risultato atteso sulla base di quanto emerso dal confronto dei consumi energetici.

Categoria d'impatto	Unità	Trattamenti fieno	Trattamenti potatura di melo	Trattamenti bucce di patata
Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	1,00E-02	2,73E-02	9,39E-04
Eutrophication	kg PO4--- eq	2,67E-03	7,28E-03	2,51E-04
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	2,43E+00	6,64E+00	2,28E-01
Photochemical oxidation	kg NMVOC	5,64E-03	1,54E-02	5,29E-04
Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	2,43E-05	6,62E-05	2,28E-06
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	3,17E+01	8,65E+01	2,98E+00
Water scarcity	m3 eq	1,63E+00	4,43E+00	1,53E-01
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	2,94E-07	8,01E-07	2,76E-08

Tabella 5.3. Risultati ambientali relativi ai trattamenti degli scarti

Sono stati inoltre valutati gli impatti relativi ai trasporti, per il calcolo dei quali sono stati raccolti i dati relativi alle distanze percorse per trasportare gli scarti da una fase di trattamento all'altra e il mezzo di trasporto utilizzato, come riportato in Tabella 5.4.

	Trasporto	Processo	Distanza percorsa [km]	TOTALE [km]
Bucce di patata	Azienda Ortigiani - Azienda Stuard	Essiccazione	60	98
	Azienda Stuard - Campus	Biotriturazione	8	
	Campus - Marani srl Sissa Trecasali	Macinazione	30	
Fieno	Azienda agricola Brugnoli - Campus	Biotriturazione	70	100
	Campus - Marani srl Sissa Trecasali	Macinazione	30	
Potatura di melo	Azienda Ortigiani - Campus	Biotriturazione	65	182
	Campus - Marani srl Sissa Trecasali	Macinazione	30	
	Marani srl Sissa Trecasali - SeparMicroSystem Flero (BS)	Micronizzazione	87	

Tabella 5.4. Trasporto degli scarti da una fase di trattamento all'altra

I risultati sono stati calcolati considerando come mezzo di trasporto un camion di portata 7,5-16 tonnellate di classe euro 5 (dataset di Ecoinvent *Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER}* | *market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5* | *Cut-off, S*) ottenendo i risultati comparativi riportati in Figura 5.2.

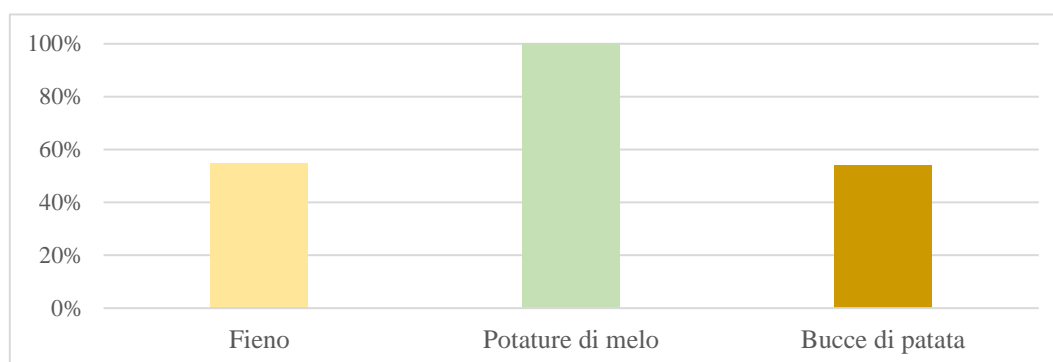


Figura 5.2. Impatto trasporto 7.5-16 metric ton Euro5, Global warming GWP100a [kg CO2 eq], Metodo EPD 2018

Anche dall'analisi degli impatti dei trasporti si deduce che le potature di melo siano lo scarto con impatto ambientale maggiore. Abbinando i risultati ottenuti dalle analisi LCA con gli studi di compatibilità tra scarti e matrici bio-polimeriche, si è selezionato il fieno come filler da utilizzare per la realizzazione del materiale delle vaschette.

Parallelamente alla valutazione dell'impatto ambientale degli scarti, è stata condotta l'LCA su varie alternative di bio-polimeri da utilizzare come matrice. Sono stati inizialmente considerati i seguenti bio-polimeri: PLA, PHB e PBS. Il PHB e il PBS sono stati modellati a partire da dati secondari di letteratura, mentre il PLA è stato modellato utilizzando il dataset Ecoinvent *Poly lactide, granulate {GLO}* | *market for* | *Cut-off, S*.

I risultati ambientali sono riferiti ad 1 kg di ciascun biopolimero e comprendono le fasi del ciclo di vita dall'estrazione delle materie prime alla produzione del granulo. Come si evince dai valori di impatto riportati dalla Tabella 5, il PLA presenta le migliori performance ambientali.

Categoria d'impatto	Unità	1 kg PLA	1 kg PHB	1 kg PBS
Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	1,67E-02	1,27E-02	1,97E-02
Eutrophication	kg PO4--- eq	7,74E-03	6,73E-03	8,14E-03
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	3,02E+00	3,25E+00	4,75E+00
Photochemical oxidation	kg NMVOC	1,18E-02	6,89E-03	1,43E-02
Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	2,65E-05	1,41E-05	3,58E-05
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	3,55E+01	4,28E+01	8,35E+01
Water scarcity	m3 eq	4,38E+00	8,08E+00	-1,92E+00

Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	2,00E-07	3,01E-07	5,45E-07
--	--------------	----------	----------	----------

Tabella 5.5. Risultati ambientali bio-polimeri calcolati con metodo EPD (2018)

In Figura 5.3 è riportato il grafico percentuale comparativo delle tre alternative relativo alla categoria Global warming potential (GWP).

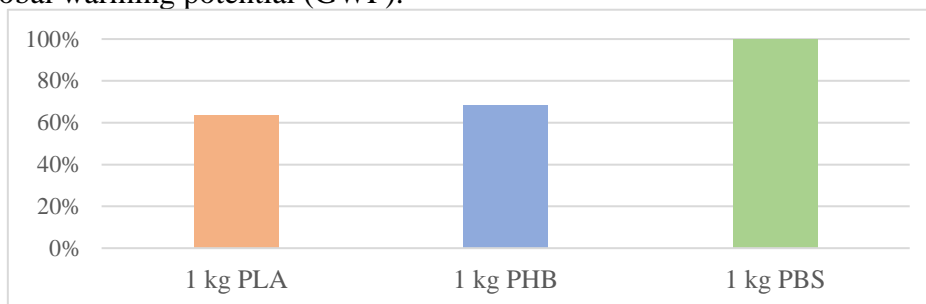


Figura 5.3. Confronto percentuale relativo alla categoria di impatto GWP 100a [kg CO₂ eq]

È noto che il PLA, risultato migliore da un punto di vista ambientale, presenti però un'elevata fragilità, incrementata ulteriormente dall'aggiunta del fieno micronizzato. Pertanto, si è pensato di aggiungere al PLA una quota di PBAT per dare maggiore flessibilità al materiale. In particolare, sono state valutate due diverse miscele: la prima costituita dal 60% PLA e dal 40% PBAT e la seconda costituita dal 40% PLA e 60% PBAT. I risultati ambientali, riportati in Figura 5.4 relativamente alla categoria di impatto *Global warming potential (GWOP 100a)*, mostrano come l'aumento della quota di PBAT si traduca in un incremento dell'impatto e, pertanto, è stata selezionata la miscela 60% PLA e 40% PBAT.

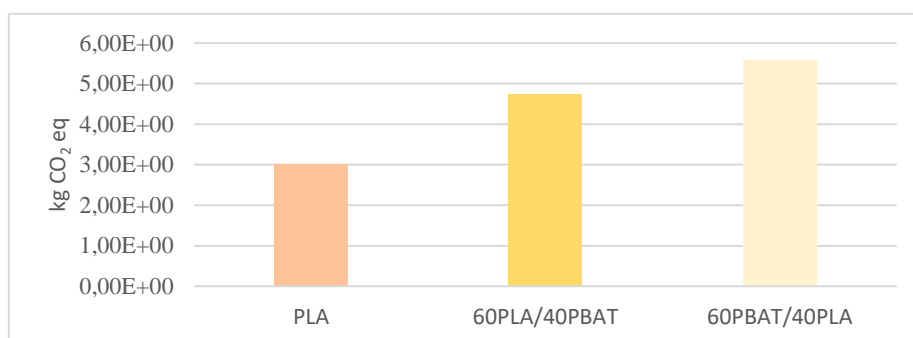


Figura 5.4. Confronto relativo alla categoria di impatto GWP 100a [kg CO₂ eq]

Una volta selezionato lo scarto e le matrici bio-polimeriche con cui produrre il compound su scala industriale le successive analisi LCA effettuate si sono focalizzate sulle fasi produttive della vaschetta condotte presso il consorzio Proplast.

I trattamenti sul fieno utilizzato nelle prove di compounding sono stati eseguiti da Agrindustria Tecco S.r.l che ha provveduto a macinare il fieno in modo che la granulometria fosse mediamente al di sotto dei 300 µm.

I dati di consumo raccolti per l'analisi LCA sono riportati in Tabella 5.6.

Dati processo macinazione fieno		
Quantità fieno in input	1000	kg
Assorbimento massimo	30-32	A
Quantità ottenuta	840	kg
Ore lavorazione	14	h
Consumo energetico macinazione	355	kWh
Consumo energetico macinazione unitario	0,42	kWh/kg

Tabella 5.6. Consumi legati alla macinazione del fieno eseguita da Agrindustria Tecco

Il fieno macinato è stato poi inviato al consorzio Proplast dove, in primo luogo, sia il fieno che i

bio-polimeri sono stati essiccati. In particolare, il PLA tal quale è stato essiccato ad 80 °C per 4 ÷ 6 ore in essiccatore, il PBAT tal quale è stato essiccato ad 80 °C per 4 ore in essiccatore e il fieno macinato è stato essiccato in stufa a vuoto a 60 °C per 24 ore.

Materiale	Temperatura essiccazione [°C]	Tempo essiccazione [h]	Potenza essiccatore [kW]	Consumo energetico [kWh]	Quantità essiccata [kg]	Consumo energetico unitario [kWh/kg]
PLA	80	5	4	20	10	2,00
PBAT	80	4	4	16	10	1,60
PLA/PBAT 60/40	80	6	4	24	10	2,40
FM	60	24	1,8	43,2	10	4,32

Tabella 5.7. Consumi energetici relativi alla fase di essiccazione dei materiali tal quali

Nelle successive prove di compounding sono state testate dodici diverse formulazioni che differiscono tra loro nella matrice e nella percentuale di filler che è stato possibile inserire nel compound. Non è stato possibile ottenere granuli con un contenuto di fieno macinato superiore al 20%. I consumi relativi a questa fase di processo sono riportati in Tabella 5.8.

Dati fase di compounding		
Portata	15	kg/h
Prodotto estruso	10	kg
Potenza motore a 181 rpm	2,098	kW
Tempo estrusione	40	min
Consumo energetico a 181 rpm	1,399	kWh
Consumo energetico unitario a 181 rpm	0,14	kWh/kg
Consumo acqua	84	l
Consumo acqua unitario	8,4	l/kg

Tabella 5.8. Consumi energetici relativi alla fase di compounding

Data l'elevata quantità di acqua presente all'interno dei granuli, è stato necessario condurre una nuova essiccazione a 80°C per 12 ore complessive. Si focalizza l'attenzione su tre diverse formulazioni con le quali è stato possibile realizzare delle vaschette conformi ai requisiti stabiliti.

In particolare, tali formulazioni sono le seguenti:

- PLA046: 90% PLA + 10% fieno
- PLA054: 90% PLA/PBAT 60/40 + 10% fieno
- PLA056: 80% PLA + 20% fieno

I consumi energetici relativi a questa essiccazione aggiuntiva sulle formulazioni selezionate sono riportati in Tabella 5.9.

Formulazione	Step essiccazione	Quantità essiccata [kg]	Potenza essiccatore [kW]	Tempo [h]	Consumo energetico [kWh]	Consumo energetico unitario [kWh/kg]	Consumo energetico totale unitario [kWh/kg]
PLA 046	1	10	4	6	24	2,4	3,36
	2	10	1,6	6	9,6	0,96	
PLA 054	1	10	6	6	36	3,6	4,38
	2	10	1,3	6	7,8	0,78	
PLA 056	1	10	6	6	36	3,6	4,38
	2	10	1,3	6	7,8	0,78	

Tabella 5.9 Consumi energetici relativi all'essiccazione dei granuli

Per il calcolo dei consumi energetici relativi all'intera fase di filmatura è necessario considerare, oltre la potenza assorbita dal motore, anche i consumi legati al termoregolatore, che ha la funzione

di regolare il riscaldamento dei rulli della calandra, alla calandra stessa e alle resistenze. Il valore della potenza assorbita dalle resistenze è istantaneo e rilevabile solo in fase di lavorazione. I dati di consumo sono riportati nelle Tabelle 5.10 e 5.11.

Blend	Portata [kg/h]	Corrente assorbita dal motore [A] - nominale	Potenza assorbita dal motore [kW]	Consumo energetico motore [kWh]	Consumo energetico motore unitario [kWh/kg]
PLA 046	10	6,8	2,7	1,4	0,27
PLA 054	10	6,2	2,5	1,2	0,25
PLA 056	10	6,0	2,4	1,2	0,24

Tabella 5.10. Consumi energetici per l'alimentazione del motore della macchina filmatrice

Parametri relativi alla fase di filmatura		
Tensione estrusore monovite	400	V
Tempo di estrusione medio stimato	0,5	h
Tensione termoregolatore	380	V
Corrente assorbita termoregolatore	16	A
Potenza assorbita dal termoregolatore	6,08	kW
Consumo energetico termoregolatore	3,04	kWh
Consumo energetico termoregolatore unitario	0,61	kWh/kg
Potenza nominale calandra	2	kW
Consumo energetico calandra	1	kWh
Consumo energetico calandra unitario	0,20	kWh/kg
Potenza media resistenze	2,9	kW
Consumo energetico resistenze	1,45	kWh
Consumo energetico resistenze unitario	0,29	kWh/kg

Tabella 5.12. Consumi energetici relativi al termoregolatore, alla calandra e alle resistenze

Si sono ottenuti film rigidi e fragili con aspetto superficiale molto poroso e caratterizzati da elevati spessori: 700 µm per il film PLA044, 960 µm per il film PLA054 e 910 µm per il film PLA056.

I film prodotti sono stati poi termoformati in una termoformatrice da laboratorio in grado di deformare il materiale grazie all'incremento di temperatura ottenuto tramite una lampada ad infrarossi e farlo poi aderire alle pareti di uno stampo attraverso l'azione del vuoto. I consumi relativi a questa fase, riportati in Tabella 5.13, sono stati ricavati a partire dalla potenza della macchina e dal tempo di riscaldamento e sono stati riferiti alla singola vaschetta caratterizzata da un peso medio differente a seconda della formulazione.

Blend	Potenza della macchina [kW]	Tempo riscaldamento [s]	Tempo riscaldamento [h]	Consumo energetico [kWh]	Peso medio vaschetta [g]	Consumo energetico unitario [kWh/p]
PLA 046	5	22	0,006	0,03	19,23	0,03
PLA 054	5	40	0,011	0,06	19,89	0,06
PLA 056	5	25	0,007	0,03	17,48	0,03

Tabella 5.13. Consumi relativi alla termoformatura

Tutti i consumi di energia elettrica sono stati modellati all'interno del software SimaPro 9.4 tramite il dataset *Electricity, low voltage {IT} | market for | Cut-off, S*. Per quanto riguarda invece i consumi di acqua è stato invece utilizzato il dataset *Tap water {Europe without Switzerland} | market for | Cut-off, S*.

Per la modellazione del fine vita delle vaschette, ossia il compostaggio, è stato utilizzato il dataset *Biowaste {CH} | treatment of biowaste by anaerobic digestion | Cut-off, S*.

Risultati ambientali PLA046

Per il calcolo dei risultati ambientali relativi alla soluzione PLA046 è stata definita come unità funzionale una doppia vaschetta dal peso di 38,45 g. La ragione per cui è stata considerata doppia è legata alla funzione del packaging per l'applicazione prevista. I risultati ambientali riportati in Tabella 5.14 e rappresentati dal graficamente in Figura 5.15 mostrano come il contributo maggiore all'impatto totale sia dato dal PLA della matrice bio-polimerica seguito dall'operazione di essiccazione effettuata sui granuli di compound (blend 90% PLA +10% fieno).

Categoria d'impatto	Unità	PLA	Fieno macinato	Essiccazione e granuli PLA	Essiccazione fieno	Compoundin g	Essiccazione e granuli blend	Filmatura	Termoformatura a vaschetta	Smaltimento (compostaggio)
Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	5,77E-04	6,04E-06	1,07E-04	2,56E-05	8,79E-06	1,99E-04	8,11E-05	4,62E-05	8,41E-05
Eutrophication	kg PO4-- eq	2,68E-04	1,61E-06	2,84E-05	6,82E-06	2,49E-06	5,31E-05	2,16E-05	1,23E-05	9,75E-06
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1,04E-01	1,47E-03	2,59E-02	6,22E-03	2,12E-03	4,84E-02	1,97E-02	1,12E-02	2,31E-03
Photochemical oxidation	kg NMVOC	4,08E-04	3,40E-06	6,00E-05	1,44E-05	5,02E-06	1,12E-04	4,57E-05	2,60E-05	5,40E-06
Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	9,18E-07	1,46E-08	2,58E-07	6,20E-08	2,06E-08	4,82E-07	1,97E-07	1,12E-07	6,16E-09
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	1,23E+00	1,92E-02	3,38E-01	8,11E-02	2,75E-02	6,31E-01	2,57E-01	1,46E-01	1,73E-02
Water scarcity	m3 eq	1,51E-01	9,82E-04	1,73E-02	4,16E-03	1,46E-02	3,23E-02	1,32E-02	7,51E-03	7,02E-05
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	6,93E-09	1,77E-10	3,13E-09	7,51E-10	2,50E-10	5,84E-09	2,38E-09	1,36E-09	2,08E-10

Tabella 5.14. Impatto ambientale delle fasi di produzione e fine vita della vaschetta PLA046, calcolati con metodo EPD (2018)

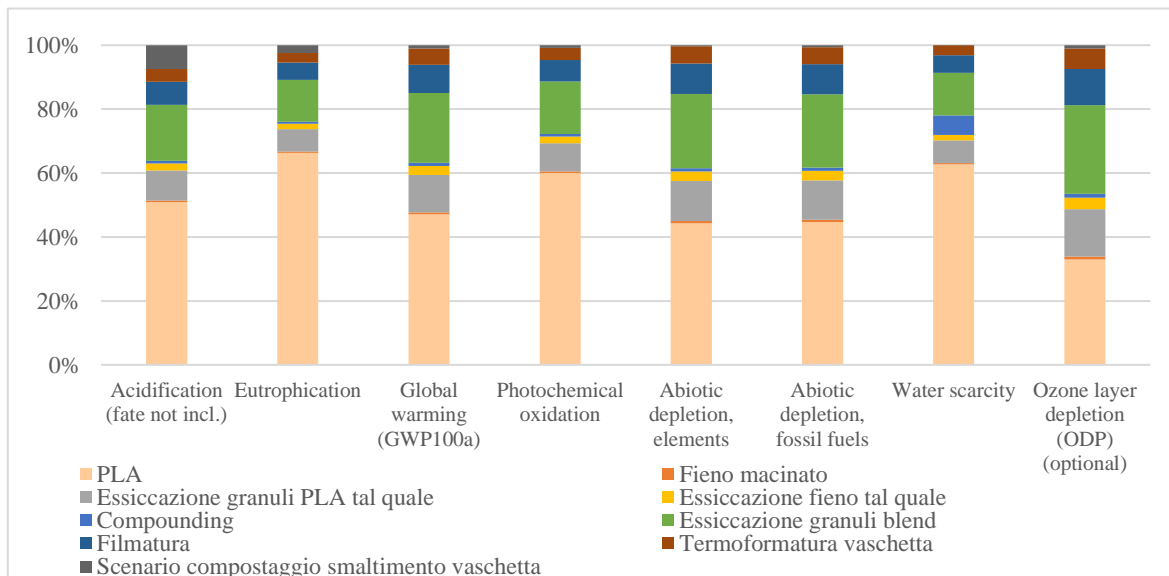


Figura 5.5. Contributo percentuale di ciascuna fase sul totale dell'impatto – PLA046

In Tabella 5.15 si riportano i risultati di impatto calcolati con metodo IPCC 2021.

Categoria d'impatto	Unità	PLA	Fieno macinato	Essiccazione e granuli PLA	Essiccazione e fieno	Compoundin g	Essiccazione e granuli blend	Filmatura	Termoformatura a vaschetta	Smaltimento (compostaggio)
---------------------	-------	-----	----------------	----------------------------	----------------------	--------------	------------------------------	-----------	----------------------------	----------------------------

GWP100 - fossil	kg CO2 -eq	1,04E-01	1,46E-03	2,58E-02	6,18E-03	2,11E-03	4,81E-02	1,96E-02	1,12E-02	1,35E-03
GWP100 - biogenic	kg CO2 -eq	4,02E-03	2,20E-04	3,88E-03	9,30E-04	3,09E-04	7,24E-03	2,95E-03	1,68E-03	8,73E-03
GWP100 - CO2 uptake	kg CO2 -eq	-8,00E-02	-9,23E-05	-1,63E-03	-3,91E-04	-1,32E-04	-3,04E-03	-1,24E-03	-7,06E-04	-7,86E-05
GWP100 - land transformation	kg CO2 -eq	8,31E-04	2,73E-07	4,83E-06	1,16E-06	5,62E-07	9,01E-06	3,67E-06	2,09E-06	5,63E-07
TOTALE	kg CO2 -eq	2,90E-02	1,59E-03	2,80E-02	6,72E-03	2,28E-03	5,23E-02	2,13E-02	1,21E-02	1,00E-02

Tabella 5.15. Impatto ambientale delle fasi di produzione e fine vita della vaschetta PLA046, calcolati con metodo IPCC 2021

Risultati ambientali PLA054

I risultati di impatto sono riferiti ad una doppia vaschetta costituita dall' 90% PLA/PBAT 60/40 e 10% fieno macinato dal peso complessivo di 39,79 g. Dall'analisi dei risultati calcolati con i due metodi è possibile fare delle considerazioni analoghe a quelle fatte per la formulazione PLA046, ossia che il peso maggiore sull'impatto totale è dato dalla matrice e dal processo di essiccazione. Tuttavia, dato che l'impatto della matrice PLA/PBAT è superiore a quello della matrice costituita da solo PLA, la percentuale di impatto dovuto alla matrice bio-polimerica supera il 60% nella categoria *Global warming potential* ed è più alta rispetto a quella associata al PLA nella formulazione PLA046.

Categoria d'impatto	Unità	PLA/PBAT	Essiccazione granuli PLA	Essiccazione granuli PBAT	Compounding	Essiccazione granuli blend	Filmatura	Termoformatura	Smaltimento (compostaggio)
Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	5,45E-04	5,54E-05	2,96E-05	6,86E-06	1,11E-04	6,24E-05	9,24E-05	7,27E-05
Eutrophication	kg PO4---eq	2,44E-04	1,48E-05	7,88E-06	1,95E-06	2,96E-05	1,66E-05	2,46E-05	8,42E-06
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1,48E-01	1,35E-02	7,19E-03	1,65E-03	2,70E-02	1,52E-02	2,25E-02	1,95E-03
Photochemical oxidation	kg NMVOC	3,89E-04	3,12E-05	1,67E-05	3,92E-06	6,24E-05	3,51E-05	5,20E-05	4,46E-06
Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	8,23E-07	1,34E-07	7,17E-08	1,61E-08	2,69E-07	1,51E-07	2,24E-07	5,14E-09
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	1,64E+00	1,76E-01	9,38E-02	2,14E-02	3,52E-01	1,98E-01	2,93E-01	1,42E-02
Water scarcity	m3 eq	1,49E-01	9,01E-03	4,81E-03	1,14E-02	1,80E-02	1,01E-02	1,50E-02	5,83E-05
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	5,26E-08	1,63E-09	8,68E-10	1,95E-10	3,25E-09	1,83E-09	2,71E-09	1,71E-10

Tabella 5.16. Impatto ambientale delle fasi di produzione e fine vita della vaschetta PLA054, calcolati con metodo EPD (2018)

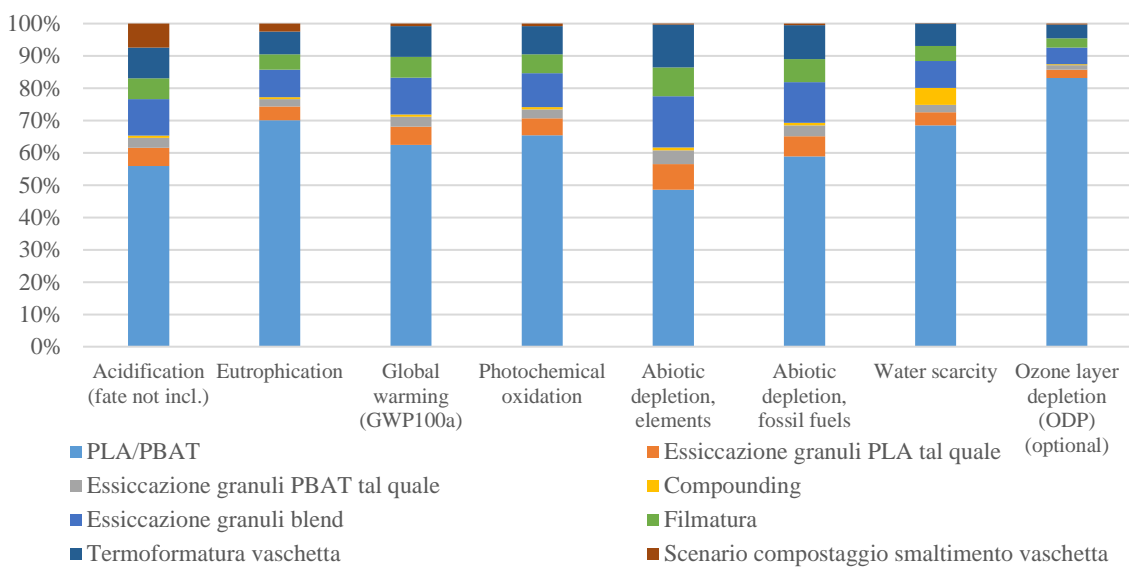


Figura 5.6. Contributo percentuale di ciascuna fase sul totale dell'impatto – PLA054

Categoria d'impatto	Unità	PLA/PBAT	Essiccazione granuli PLA	Essiccazione granuli PBAT	Compounding	Essiccazione granuli blend	Filmatura	Termoformatura	Smaltimento (compostaggio)
GWPI100 - fossil	kg CO ₂ -eq	1,49E-01	1,34E-02	7,14E-03	1,64E-03	2,68E-02	1,51E-02	2,23E-02	1,12E-03
GWPI100 - biogenic	kg CO ₂ -eq	5,86E-03	2,02E-03	1,08E-03	2,41E-04	4,03E-03	2,27E-03	3,36E-03	7,57E-03
GWPI100 - CO ₂ uptake	kg CO ₂ -eq	-4,49E-02	-8,48E-04	-4,52E-04	-1,03E-04	-1,70E-03	-9,54E-04	-1,41E-03	-6,77E-05
GWPI100 - land transformation	kg CO ₂ -eq	4,66E-04	2,51E-06	1,34E-06	4,39E-07	5,02E-06	2,82E-06	4,18E-06	4,66E-07
TOTALE	kg CO ₂ -eq	1,10E-01	1,46E-02	7,77E-03	1,78E-03	2,91E-02	1,64E-02	2,43E-02	8,62E-03

Tabella 5.16. Impatto ambientale delle fasi di produzione e fine vita della vaschetta PLA054, calcolati con metodo IPCC 2021

Risultati ambientali PLA056

I risultati di impatto sono riferiti ad una doppia vaschetta costituita dall' 80% PLA e 20% fieno macinato dal peso complessivo di 34,96 g. L'incremento della percentuale di fieno determina una riduzione dell'impatto della matrice e da un punto di vista di ripartizione percentuale degli impatti si osserva che aumenta il contributo all'impatto totale dato dai processi di essiccazione.

Categoria d'impatto	Unità	PLA	Fieno macinato	Essiccazione granuli PLA	Essiccazione fieno	Compounding	Essiccazione granuli blend	Filmatura	Termoformatura	Smaltimento (compostaggio)
Acidification (fate not incl.)	kg SO ₂ -eq	4,67E-04	1,10E-05	8,61E-05	4,65E-05	7,99E-06	2,36E-04	7,21E-05	4,62E-05	6,82E-05
Eutrophication	kg PO ₄ -eq	2,17E-04	2,93E-06	2,30E-05	1,24E-05	2,27E-06	6,29E-05	1,92E-05	1,23E-05	7,93E-06
Global warming (GWP100a)	kg CO ₂ -eq	8,44E-02	2,67E-03	2,09E-02	1,13E-02	1,93E-03	5,73E-02	1,75E-02	1,12E-02	1,93E-03
Photochemical oxidation	kg NMVOC	3,30E-04	6,19E-06	4,85E-05	2,62E-05	4,57E-06	1,33E-04	4,06E-05	2,60E-05	4,63E-06
Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	7,42E-07	2,66E-08	2,09E-07	1,13E-07	1,88E-08	5,72E-07	1,75E-07	1,12E-07	5,20E-09
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	9,93E-01	3,48E-02	2,73E-01	1,47E-01	2,50E-02	7,48E-01	2,29E-01	1,46E-01	1,49E-02
Water scarcity	m ³ eq	1,22E-01	1,78E-03	1,40E-02	7,56E-03	1,33E-02	3,83E-02	1,17E-02	7,51E-03	5,96E-05

Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	5,60E-09	3,22E-10	2,53E-09	1,37E-09	2,27E-10	6,92E-09	2,12E-09	1,36E-09	1,80E-10
--	--------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Tabella 5.17. Impatto ambientale delle fasi di produzione e fine vita della vaschetta PLA056, calcolati con metodo EPD (2018)

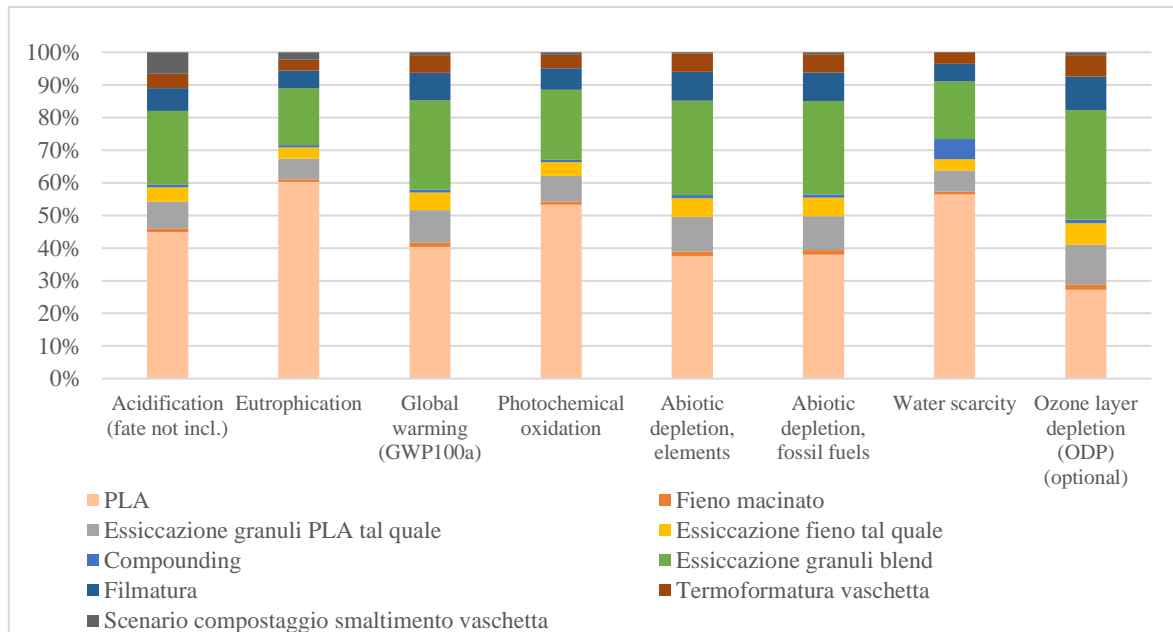


Figura 5.6. Contributo percentuale di ciascuna fase sul totale dell’impatto – PLA056

Categoria d’impatto	Unità	PLA	Fieno macinato	Essiccazione e granuli PLA	Essiccazione e fieno	Compounding	Essiccazione e granuli blend	Filmatura	Termoformatura	Smaltimento (compostaggio)
GWP100 - fossil	kg CO ₂ -eq	8,41E-02	2,65E-03	2,08E-02	1,12E-02	1,92E-03	5,70E-02	1,74E-02	1,12E-02	1,16E-03
GWP100 - biogenic	kg CO ₂ -eq	3,25E-03	4,00E-04	3,13E-03	1,69E-03	2,81E-04	8,58E-03	2,62E-03	1,68E-03	7,06E-03
GWP100 - CO ₂ uptake	kg CO ₂ -eq	-6,46E-02	-1,68E-04	-1,32E-03	-7,11E-04	-1,20E-04	-3,61E-03	-1,10E-03	-7,06E-04	-6,39E-05
GWP100 - land transformation	kg CO ₂ -eq	6,71E-04	4,97E-07	3,90E-06	2,11E-06	5,11E-07	1,07E-05	3,27E-06	2,09E-06	4,81E-07
TOTALE	kg CO ₂ -eq	2,34E-02	2,89E-03	2,26E-02	1,22E-02	2,08E-03	6,20E-02	1,90E-02	1,21E-02	8,15E-03

Tabella 5.18. Impatto ambientale delle fasi di produzione e fine vita della vaschetta PLA056, calcolati con metodo EPD (2018)

Risultati comparativi totali considerando l’impatto evitato

Seguendo le regole dell’approccio di modellazione Cut-off, è stato inoltre considerato l’impatto evitato legato dello smaltimento del fieno qualora non sia valorizzato come nella presente applicazione. Nell’ipotesi che il fieno scartato venga smaltito in un impianto di incenerimento, è stato selezionato come dataset rappresentativo di questo processo il dataset Ecoinvent *Biowaste {GLO} | treatment of biowaste, municipal incineration | Cut-off, S*.

I risultati totali che tengono conto anche dell’impatto evitato sono stati confrontati con quelli relativi ad una soluzione analoga commerciale costituita da 100% PLA. Tale vaschetta, valutata a parità di

volume con le altre vaschette, risulta avere un peso di 30 g. Inoltre, è stata anche considerata una soluzione costituita da 100% blend PLA/PBAT dello stesso peso della vaschetta 100% PLA per identificare se e in che misura l'introduzione di una percentuale di fieno macinato all'interno della matrice porti ad eventuali benefici ambientali. Dai risultati ambientali calcolati col metodo EPD (2018), riportati in Tabella 19 e rappresentati graficamente in Figura 5.7, si evince che la formulazione PLA054 sia quella a cui è associato l'impatto ambientale maggiore in tutte le categorie di impatto incluse nel metodo EPD (2018). Questo è dovuto al fatto che la presenza del PBAT all'interno della matrice bio-polimerica determina un incremento dell'impatto della matrice e il beneficio legato all'impatto evitato introdotto dall'uso dello scarto non è sufficiente a compensare l'impatto associato ai trattamenti aggiuntivi sul fieno. L'aggiunta del 10% di fieno non rende questa tipologia di vaschetta un'alternativa migliore a quella costituita da 100% PLA/PBAT 60/40. La formulazione PLA046 presenta delle performance ambientali migliori rispetto alla formulazione PLA054 grazie alla matrice costituita da solo PLA. Tuttavia, anche in questo caso l'aggiunta del 10% di fieno non porta a benefici ambientali rispetto all'analogo commerciale costituito da 100% PLA. Anche incrementando al 20% la percentuale di fieno macinato (formulazione PLA056) non si arriva a risultati analoghi a quelli della vaschetta commerciale.

Categoria d'impatto	Unità	LCA vaschetta PLA	LCA vaschetta PLA 046	LCA vaschetta PLA 056	LCA vaschetta PLA/PBAT 60/40	LCA vaschetta PLA 054
Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	7,75E-04	1,13E-03	1,04E-03	9,75E-04	1,32E-03
Eutrophication	kg PO4 ⁻⁻⁻ eq	2,95E-04	4,03E-04	3,58E-04	3,48E-04	4,57E-04
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1,42E-01	2,22E-01	2,09E-01	2,37E-01	3,21E-01
Photochemical oxidation	kg NMVOC	4,72E-04	6,79E-04	6,17E-04	5,95E-04	7,99E-04
Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	1,29E-06	2,07E-06	1,97E-06	1,69E-06	2,41E-06
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	1,72E+00	2,74E+00	2,61E+00	2,79E+00	3,84E+00
Water scarcity	m3 eq	1,64E-01	2,42E-01	2,17E-01	2,17E-01	2,86E-01
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	1,21E-08	2,10E-08	2,06E-08	6,33E-08	8,02E-08

Tabella 5.19. Risultati ambientali totali calcolati con metodo EPD (2018)

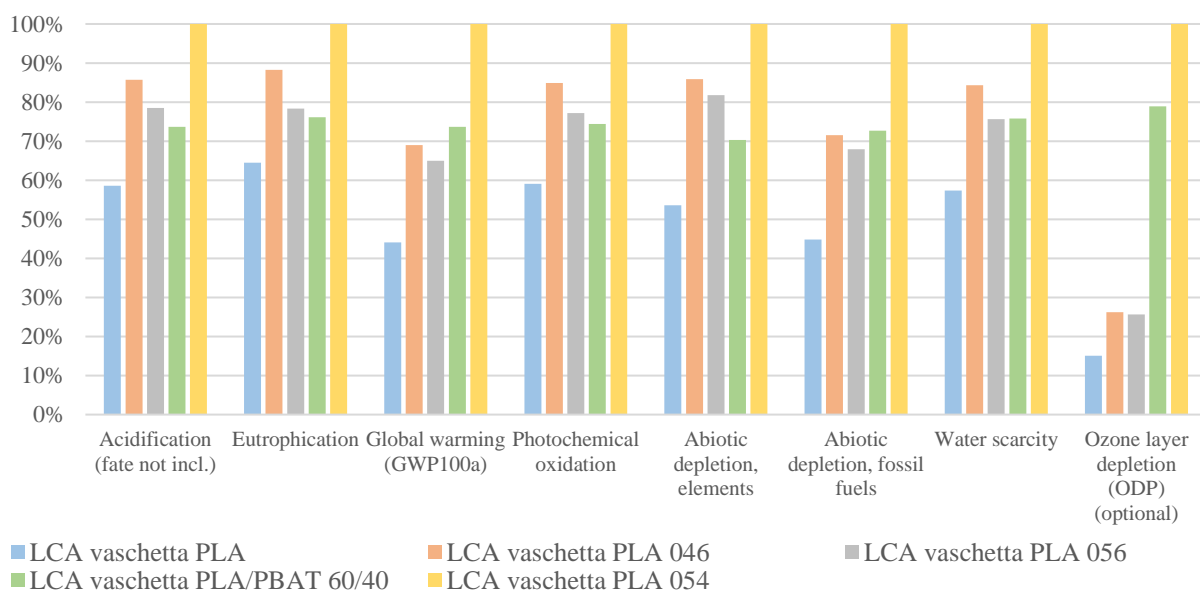


Figura 5.7. Risultati comparativi delle varie soluzioni di packaging

I risultati calcolati utilizzando il metodo IPCC 2021 riportati in Tabella 5.20 confermano le considerazioni fatte analizzando i risultati calcolati con il metodo EPD (2018), se si considera l'impatto legato alla CO₂ eq di tipo fossile. Si può osservare che la presenza del fieno incrementa invece il valore di CO₂ eq assorbita (uptake).

Categoria d'impatto	Unità	LCA vaschetta PLA	LCA vaschetta PLA 046	LCA vaschetta PLA 056	LCA vaschetta PLA/PBAT 60/40	LCA vaschetta PLA 054
GWP100 - fossil	kg CO ₂ -eq	1,40E-01	2,20E-01	2,07E-01	2,37E-01	3,21E-01
GWP100 - biogenic	kg CO ₂ -eq	1,84E-02	2,80E-02	2,51E-02	2,64E-02	3,53E-02
GWP100 - CO ₂ uptake	kg CO ₂ -eq	-7,25E-02	-8,73E-02	-7,24E-02	-5,05E-02	-6,27E-02
GWP100 - land transformation	kg CO ₂ -eq	7,30E-04	8,53E-04	6,95E-04	4,82E-04	5,83E-04
TOTALE	kg CO ₂ -eq	8,68E-02	1,61E-01	1,60E-01	2,13E-01	2,94E-01

Tabella 5.20. Risultati ambientali totali calcolati con metodo IPCC 2021

Dall'analisi dei risultati effettuata si può concludere che:

- I contributi maggiori di impatto ambientale derivano dai materiali delle matrici biopolimeriche e, laddove presente, dalla fase di essiccazione dei granuli di compound. È possibile affermare ciò sia relativamente al calcolo con metodo EPD (2018) che con metodo IPCC 2021.
- Una vaschetta in 100% PLA impatta meno rispetto a vaschette in PLA a cui si aggiunge una percentuale di fieno macinato (PLA 046 e PLA 056).
- La vaschetta in PLA 046, contenente il 10 % di fieno macinato, impatta di più rispetto alla vaschetta in PLA 056 che contiene invece il 20 % di fieno macinato.
- Una vaschetta in PLA/PBAT 60/40 impatta meno rispetto ad una vaschetta in PLA/PBAT 60/40 a cui viene aggiunta una percentuale di fieno del 10 % (PLA 054).

Analisi di sensibilità

Dal momento che le vaschette realizzate aggiungendo una percentuale di fieno macinato alla matrice bio-polimerica risultano impattare maggiormente rispetto alle loro analoghe non contenenti alcun filler da scarto agricolo, si è deciso di effettuare un'analisi di sensibilità ipotizzando uno scenario in cui si ottimizzi il processo di essiccazione considerando che la macchina sia alimentata da energia elettrica da fonte rinnovabile fornita da un impianto fotovoltaico anziché dalla rete elettrica

nazionale. Il dataset di Ecoinvent utilizzato per ricreare l'energia elettrica da impianto fotovoltaico è *Electricity, low voltage {IT}/ electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted / Cut-off, S*. Inoltre, sfruttando i principi dell'economia di scala secondo cui l'aumento della taglia della macchina consente di distribuire i consumi energetici su quantitativi maggiori di materiale. Pertanto, è stato considerato un essiccatore industriale da 1 ton caratterizzato da una potenza del motore di 42,2 kW. I risultati relativi a questo scenario sono riportati in Figura 5.8. L'attenzione è stata focalizzata sulla categoria di impatto Global warming potential (GWP 100a) e calcolati con il metodo EPD (2018) ed è stata considerata sia la situazione in cui l'unico intervento di ottimizzazione del processo di essiccazione sia l'utilizzo di energia rinnovabile sia quella in cui si combina l'effetto dell'utilizzo di energia fotovoltaica con quello dell'utilizzo di un essiccatore da 1 ton.

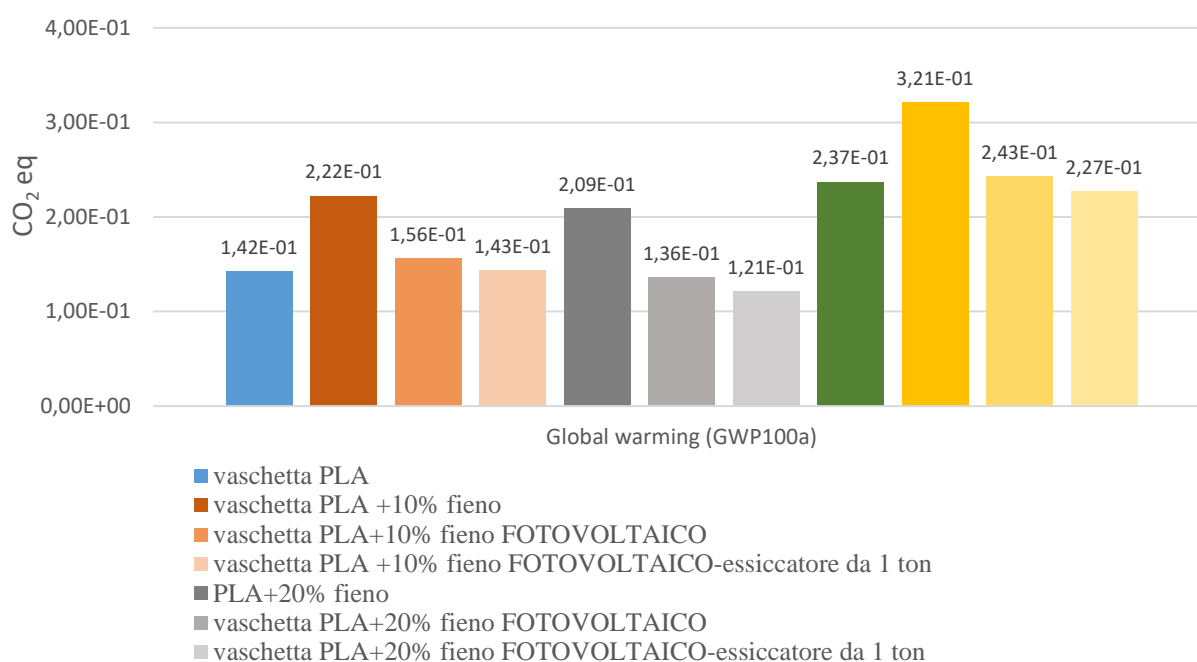


Figura 5.8. Risultati comparativi delle varie tipologie di vaschette considerando il processo di essiccazione ottimizzato

Utilizzando essiccatori più grandi e alimentati da energia rinnovabile l'impatto ambientale della vaschetta 90% PLA + 10% FIENO diventa analogo a quella 100% PLA, mentre le vaschette con matrice polimerica costituita da PLA/PBAT 60/40 continuano a presentare un impatto elevato riconducibile alla quota presente di PBAT.

La vaschetta con impatto più basso è quella contenete il 20% fieno e prodotta con processi ottimizzati in termini energetici. Da quest'ultima considerazione è sorta la necessità di studiare nuovi materiali che permettano di incrementare il contenuto di fieno senza compromettere le caratteristiche meccaniche della vaschetta.

Data, 31/07/2023.

Firma del legale rapp.te¹

¹ 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.