

# *La biodegradazione delle bioplastiche nel compostaggio e nella digestione anaerobica: metodiche di monitoraggio e influenza delle condizioni di processo*

*Federica Ruggero<sup>1</sup>*

*Claudio Lubello<sup>1</sup>, Emiliano Carretti<sup>2</sup>, Tommaso Lotti<sup>1</sup>, Riccardo Gori<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> DICEA Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze

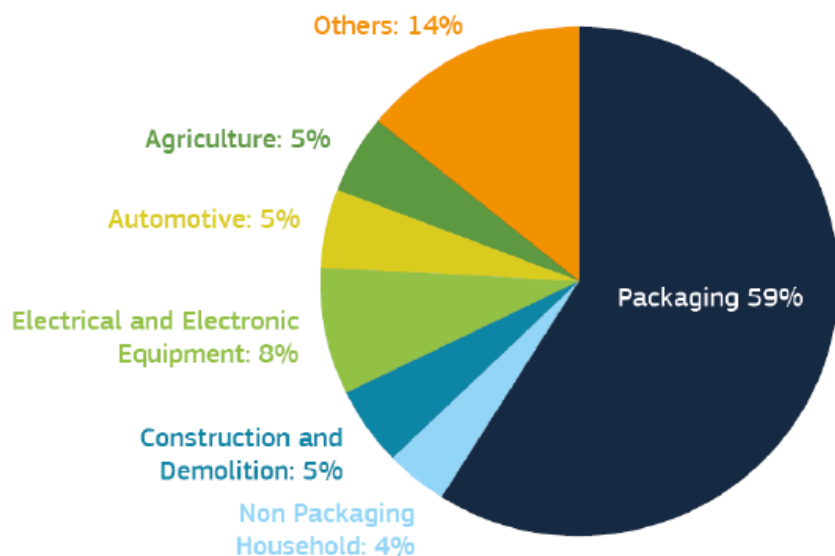
<sup>2</sup> CHIM Dipartimento di Chimica 'Ugo Schiff', Università di Firenze



## Strategy for Plastics in Circular Economy

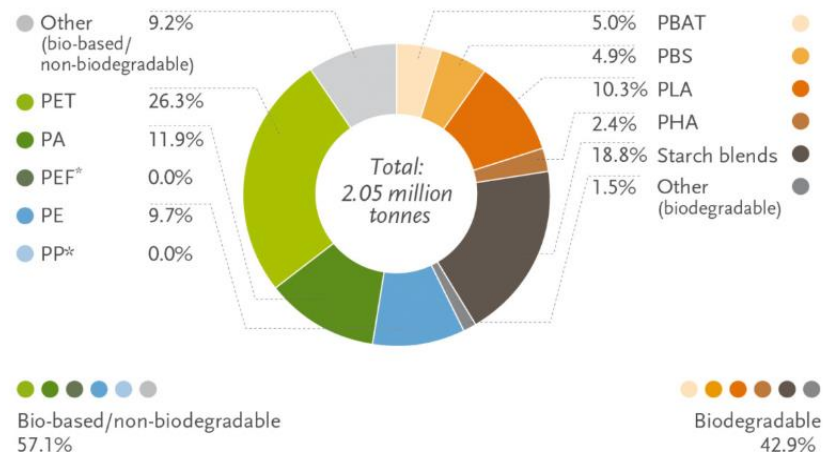
(European Commission, Gennaio 2018):

- ❖ Minimizzare il packaging mono-uso;
- ❖ Obiettivo di riciclo del 100% entro 2030;
- ❖ Controllo del marine litter;
- ❖ Promuovere l'uso di plastiche biodegradabili e bio-based.



Source: Euronomia (2017)

## Global production capacities of bioplastics 2017 (by material type)



Fonte: European Bioplastica (2017)

## Bioplastiche sono bio-based e biodegradabili

- ❖ Derivano da risorse rinnovabili;
- ❖ Sono compostabili garantendo opportune condizioni di processo degli impianti di trattamento dei rifiuti organici;
- ❖ Sono riciclabili diventando compost;
- ❖ Dal rifiuto ad una risorsa per l'agricoltura sostenibile.

Le bioplastiche compostabili come da EN 13432:2000 entrano nella catena circolare del food waste

Ad oggi circa il 50% dei sacchetti in arrivo agli impianti sono in plastica tradizionale



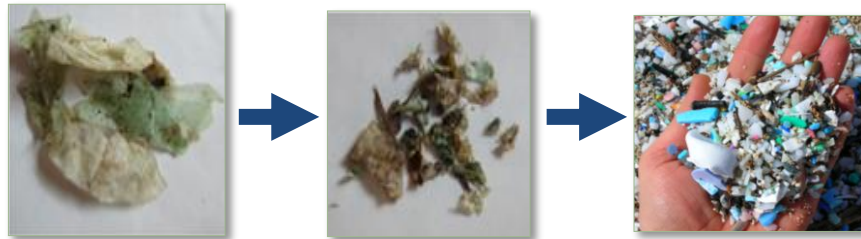
Individuare e quantificare microplastiche inferiori ai 2 mm per evitarne il rilascio nell'ambiente

Studio e ottimizzazione delle condizioni di processo negli impianti per la biodegradazione delle bioplastiche

## Monitoraggio del processo di degradazione

### Disintegrazione

Fenomeno di frammentazione, dovuto alle alte temperature in fase termofila.



### Biodegradazione

Trasformazione di composti organici complessi in biomassa e prodotti metabolici semplici



### Metodologie di monitoraggio

#### Quantitative

Permettono di ottenere risultati in valori percentuali del livello di biodegradazione e perdita di massa del materiale.

#### Qualitative

Permettono di valutare i cambiamenti chimico-fisici del materiale durante la biodegradazione e sono usate a conferma delle metodologie quantitative.

## Metodologie quantitative

- ❖ **Perdita di massa** intesa come variazione della massa del campione residuo > 2 mm pulito ed essiccato a 40 °C.
- ❖ **Produzione di CO<sub>2</sub>** può essere effettuata solo su una matrice di base già stabile a cui si aggiungono le bioplastiche da degradare. Possibili metodi sono il cumulative measurement respirometry (CMR) e il direct measurement respirometry (DMR).
- ❖ **Analisi termogravimetrica (TGA)** da letteratura è usata per ricavare la variazione delle proprietà termiche del materiale.  
Si è sperimentata un'ulteriore elaborazione dati per l'estrapolazione dati su perdita di peso e cinetica di degradazione

$$\ln\left(-\frac{d\alpha}{dt}\right) = \ln A + n \ln(1 - \alpha) - \frac{A \cdot E.}{RT}$$

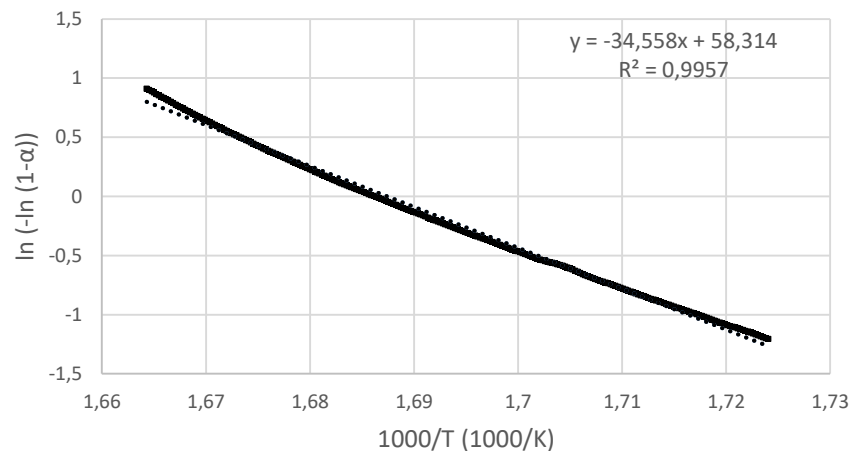
$$\alpha = \frac{w_0 - wt}{w_0 - winf}$$

$w_t$  weight at time t (%)

$w_0$  sample weight (%) at  $T_0$

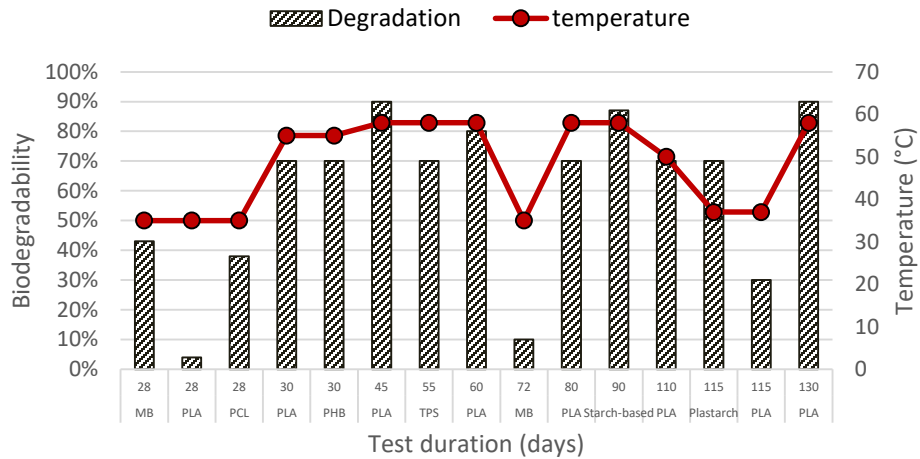
$w_{inf}$  sample weight (%) at  $T_{inf}$

E.A. Starch MB

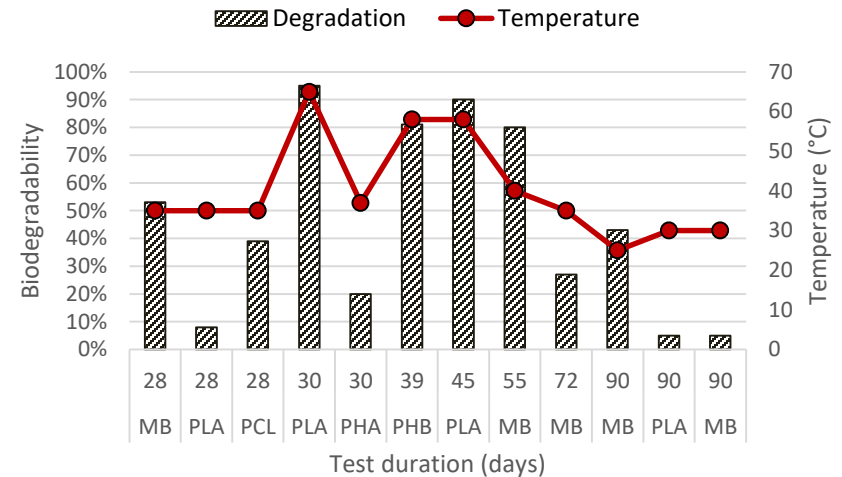


## Review: compostaggio aerobico

Gas (CO<sub>2</sub>) production methodology



Mass loss methodology

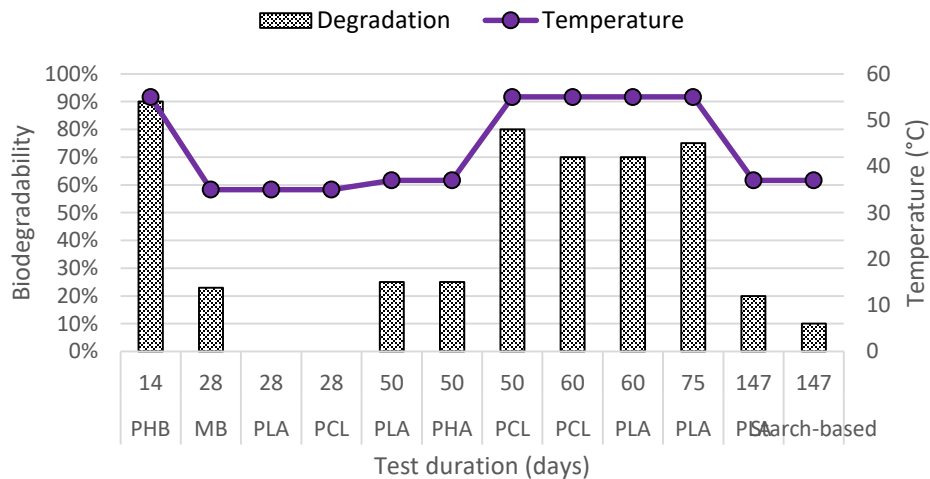


❖ Le differenti condizioni di processo, in particolare temperatura e durata, hanno permesso di osservarne l'influenza sulla biodegradazione.

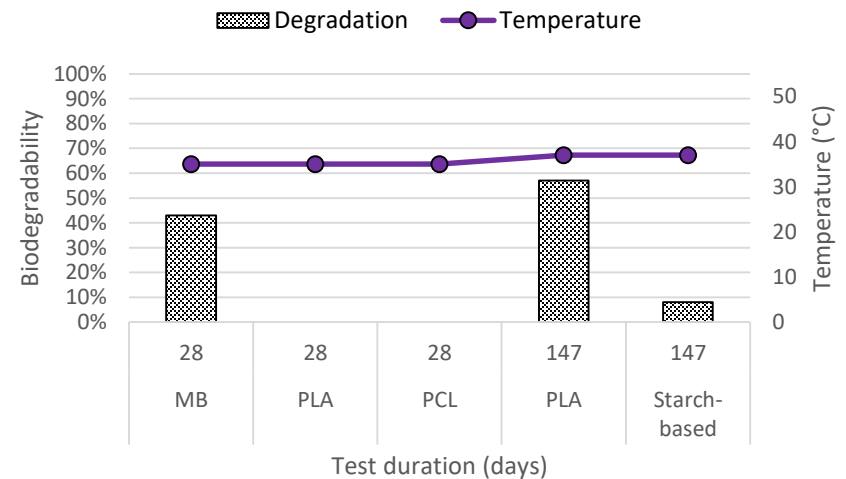
- Se  $T \leq 37$  °C biodegradazione inferiore al 43-45%, indipendentemente dalla durata del test e dalla metodica usata;
- Se  $T \geq 58$ °C biodegradazione massima di **70 - 90%** con produzione di CO<sub>2</sub> e di **80 - 95%** con la perdita di massa.

## Review: digestione anaerobica

Gas (CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>) production methodology



Mass loss methodology

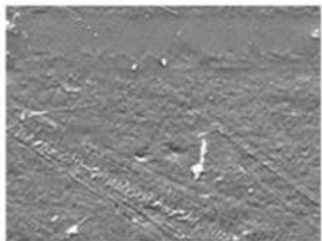


❖ Le differenti condizioni di processo, in particolare temperatura e durata, hanno permesso di osservarne l'influenza sulla biodegradazione.

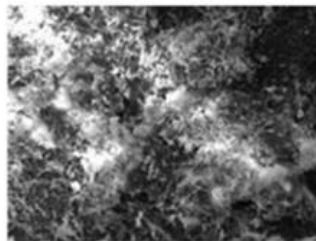
- Se  $T \leq 37$  °C biodegradazione inferiore al **35%** con produzione di biogas e al **55%** con perdita di massa;
- Se  $T = 55$  °C biodegradazione massima di **90%** (studi di Yagi et al. 2010, Yagi et al. 2013).

## Metodologie qualitative

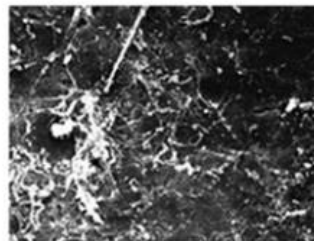
- ❖ **Attenuated total reflectance – Fourier transformation (ATR-FTIR) e Near infrared (NIR).** Questa metodica permette di identificare i picchi corrispondenti ai legami chimici caratteristici del polimero; ripetendo la misura durante il processo di biodegradazione, le variazioni dei picchi forniscono informazioni qualitative sulla semplificazione della struttura polimerica nel tempo.
- ❖ **Analisi visive** come suggerite nella EN 14045 indagano aspetto, colore, forma e segni di erosione sul materiale. Inoltre possono rivelare alcune caratteristiche che emergono durante il processo di degradazione.
- ❖ **Scanning Electron Microscope (SEM)** viene utilizzato per studiare la superficie del materiale identificando segni di erosione e di colonizzazione batterica.



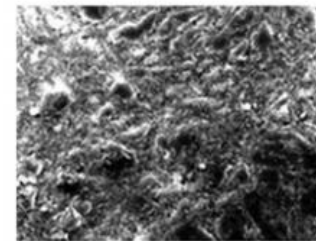
0 day



after 10 days



after 20 days



after 30 days

Filamenti batterici e segni di erosione visibili nel PHB degradato (Weng et al. 2011).

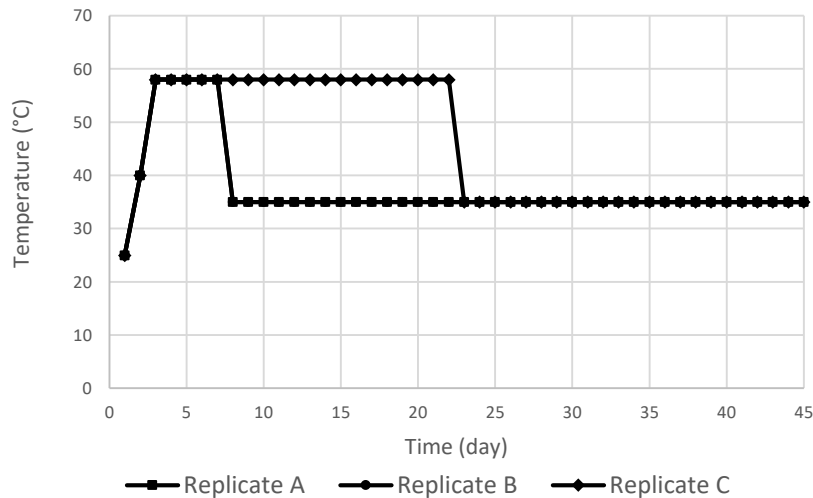


## Test sperimentale: compostaggio aerobico

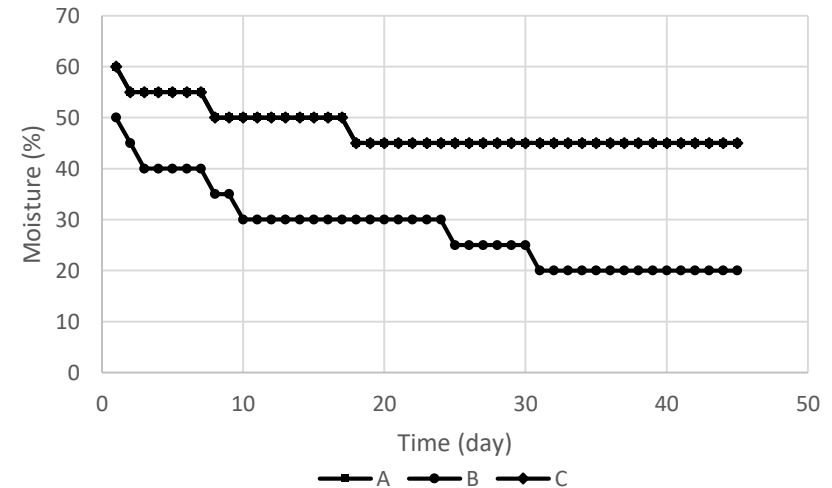
- ❖ Test di compostaggio su 5 kg di rifiuti organici (2:3 cibo e 1:3 verde) con 1% w.w. Mater-Bi film;
- ❖ Le bags di Mater-Bi classe N sono composte da 20% amido -10% cellulosa-70% PBAT;
- ❖ Sono state fatte tre repliche con differenti condizioni di umidità e temperatura.

	$T (^{\circ}\text{C})$	Moisture (%)	Time (day)
<b>High-rate phase</b>			
<b>A</b>	58±2	55-60	5
<b>B</b>	58±2	40-50	5
<b>C</b>	58±2	55-60	20
<b>Maturation phase</b>			
<b>A</b>	35±5	45-50	40
<b>B</b>	35±5	20-30	40
<b>C</b>	35±5	45-50	25

Temperature trend

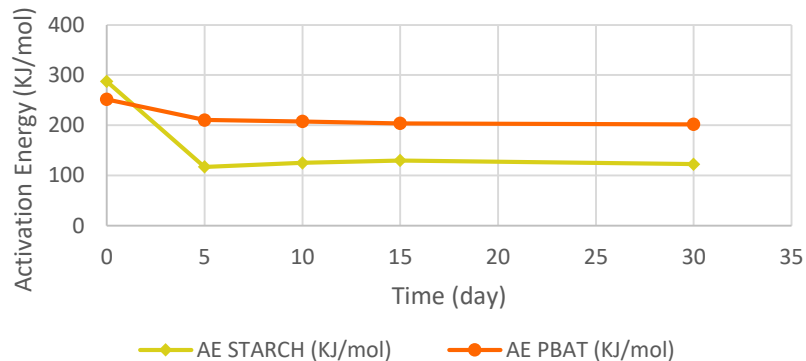


Moisture trend



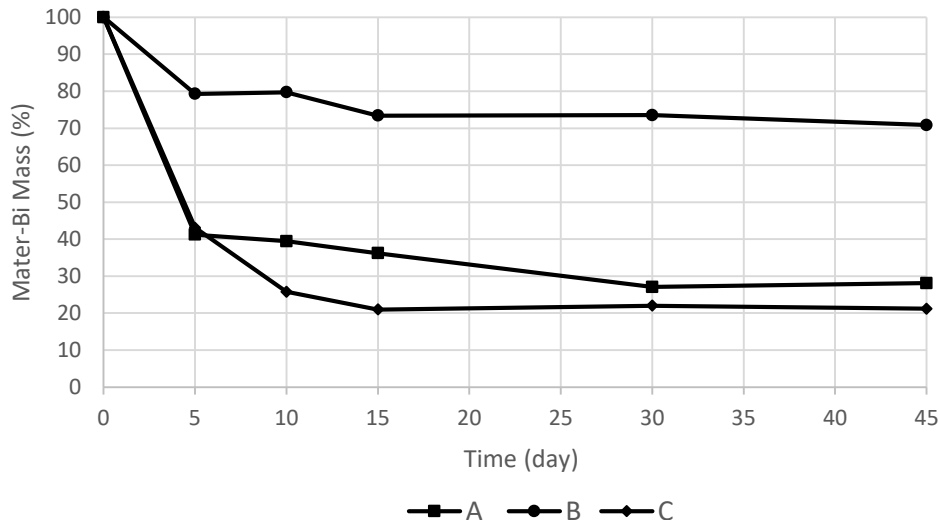
## Test sperimentale: compostaggio aerobico

A.E. trend (replicate C)

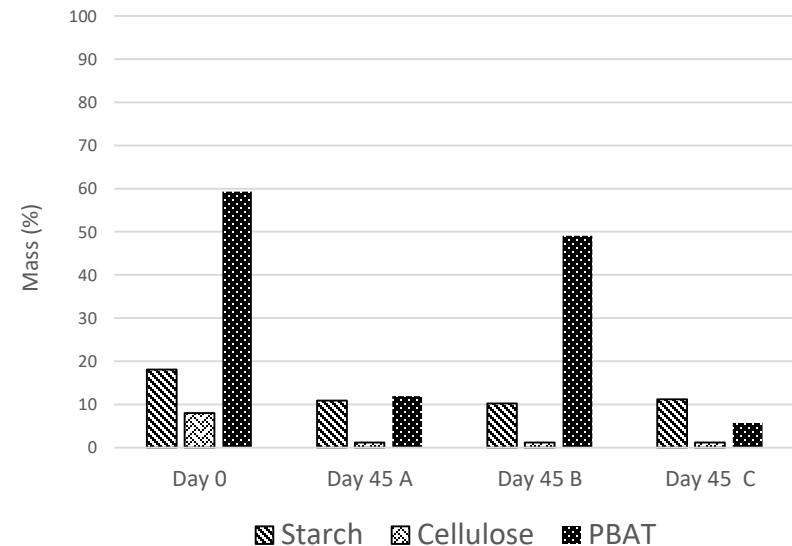


- ❖ La perdita di massa è misurata sia sull'intero campione che sulle singole componenti del Mater-Bi film.
- ❖ L'Energia di attivazione è stata elaborata per amido e PBAT

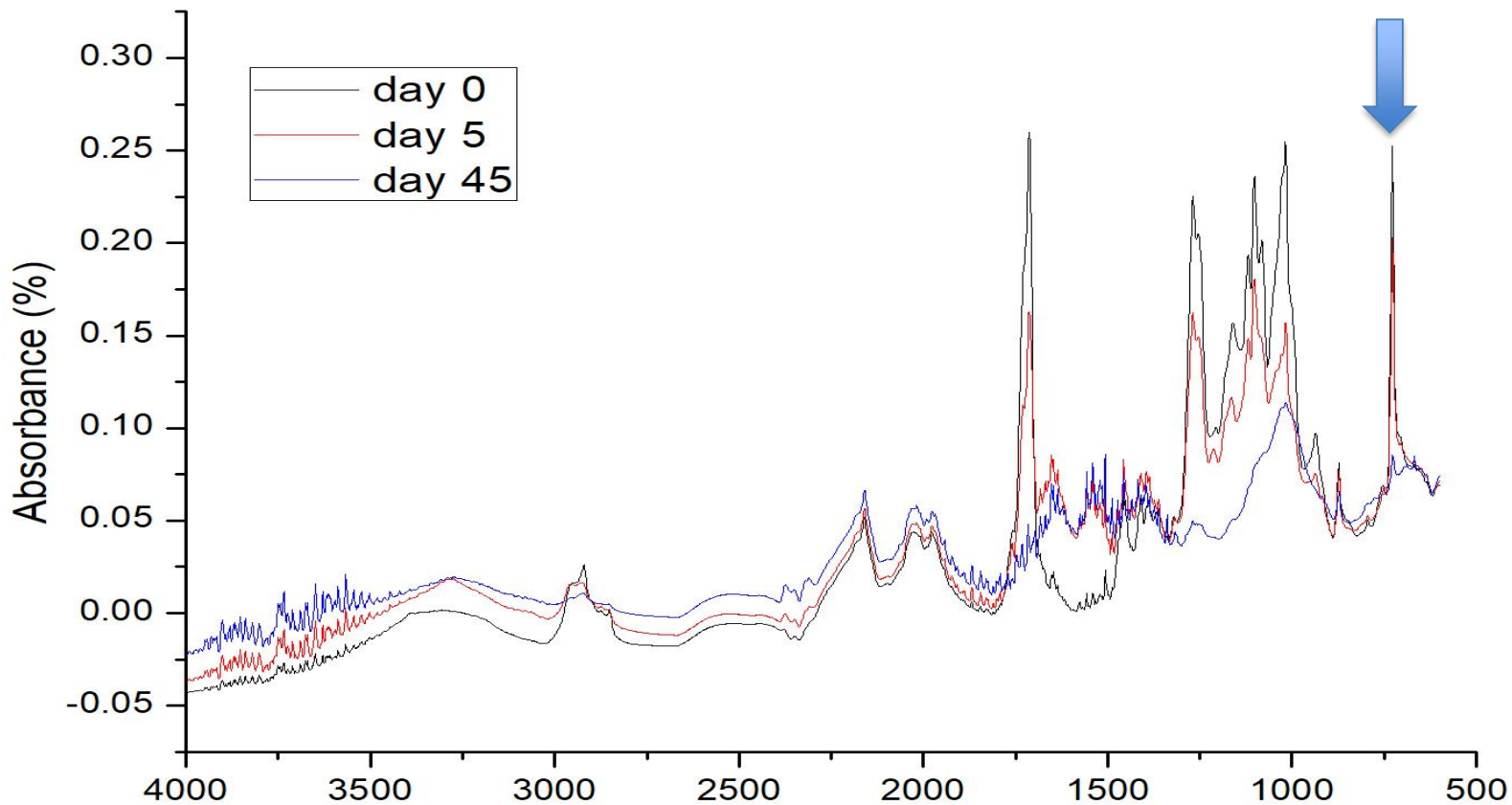
Mass trend



Peak Mass



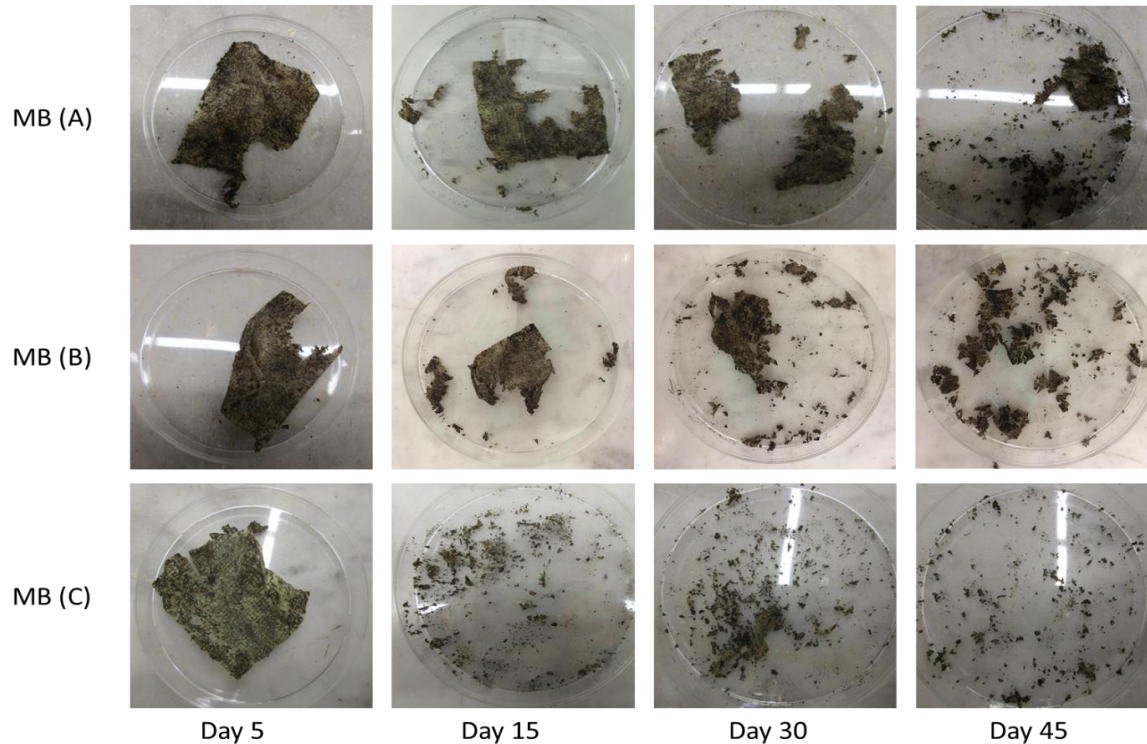
## Experimental study: Spectroscopic Analysis (ATR-FTIR)



Spettri delle bioplastiche nelle condizioni di processo del caso C.

La variazione della struttura polimerica e la diminuzione dell'intensità dei picchi sono una conferma qualitativa della biodegradazione del materiale.

## Test sperimentale: compostaggio aerobico



Le analisi visive sui campioni estratti mostrano che l'effetto di disintegrazione è accentuato dal protrarsi della fase termofila in C

### Conclusioni dal test sperimentale

- ❖ Si osserva nel complesso che la biodegradazione è variabile nelle tre condizioni;
- ❖ Amido e cellulosa non sono influenzati dal variare di temperatura e umidità;
- ❖ PBAT ha una struttura più complessa e dai test sperimentali risulta che l'abbassamento dell'umidità nella matrice comporta un rallentamento della biodegradazione

## Conclusioni

- ❖ Considerando i numeri relativi alle quantità di rifiuti da plastica, specialmente imballaggi, si pone la necessità di migliorare la filiera del riciclo e di proporre sul mercato delle alternative ai prodotti in plastica.
- ❖ Le bioplastiche assumono un ruolo fondamentale come materiale compostabile, che contribuisce agli obiettivi di riciclo entrando nella catena circolare della FORSU e diventando da rifiuto a risorsa in termini di ammendante organico per uso agricolo.
- ❖ Le (bio)plastiche durante il processo di compostaggio subiscono due fenomeni: la disintegrazione fino a dimensione di microplastiche e la biodegradazione che le rende assimilabili a compost. Per assicurare la qualità del compost ed evitare la dispersione su suoli coltivati di microplastiche non del tutto degradate, è prevedibile un abbassamento della soglia di controllo rispetto agli attuali 2 mm.
- ❖ Nell'ambito dello studio della degradazione delle bioplastiche, molti sono gli studi ad oggi presenti in bibliografia svolti in diverse condizioni abiotiche come proposto dalle normative. Tuttavia è sempre più rilevante riportare gli studi di degradazione alle reali condizioni degli impianti per valutare quali siano le condizioni di processo che maggiormente favoriscono il trattamento delle bioplastiche.

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE

