

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

Federica Ruggero¹

Claudio Lubello¹, Emiliano Carretti², Tommaso Lotti¹, Riccardo Gori¹

¹ DICEA Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze

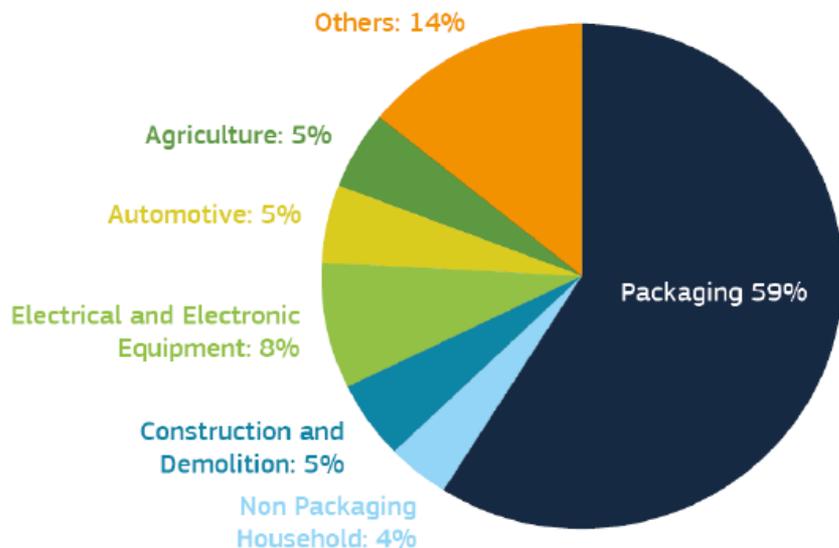
² CHIM Dipartimento di Chimica 'Ugo Schiff', Università di Firenze



Strategy for Plastics in Circular Economy

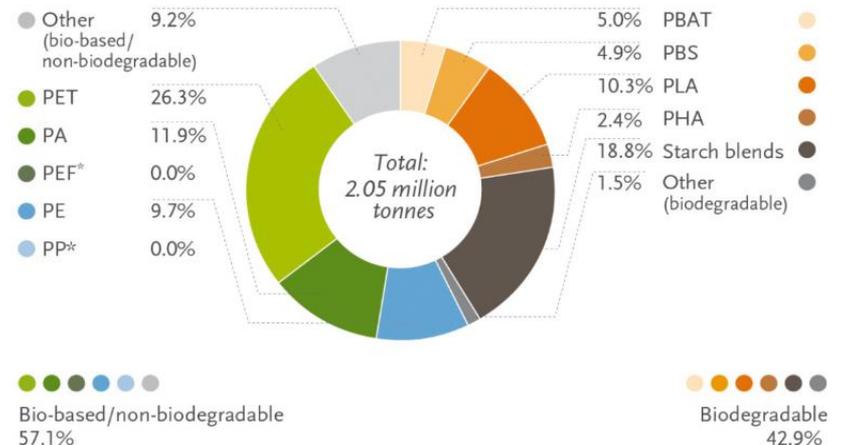
(European Commission, Gennaio 2018):

- ❖ 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 CO₂** 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

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

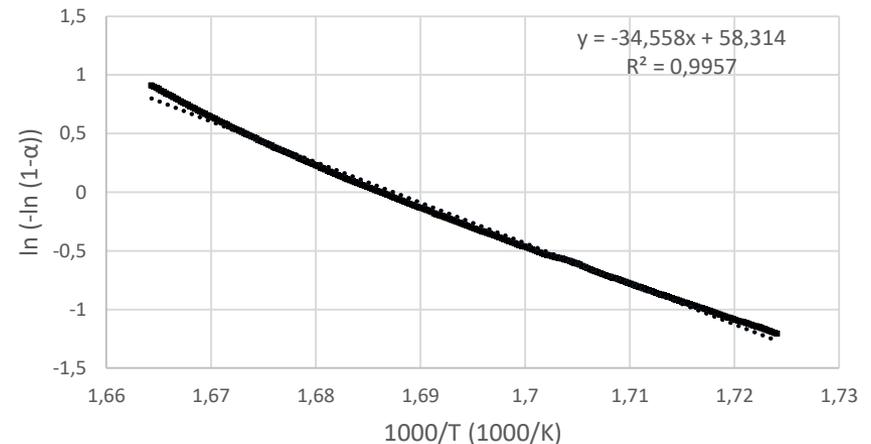
$$\alpha = \frac{w_0 - wt}{w_0 - winf}$$

w_t weight at time t (%)

w_0 sample weight (%) at T_0

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

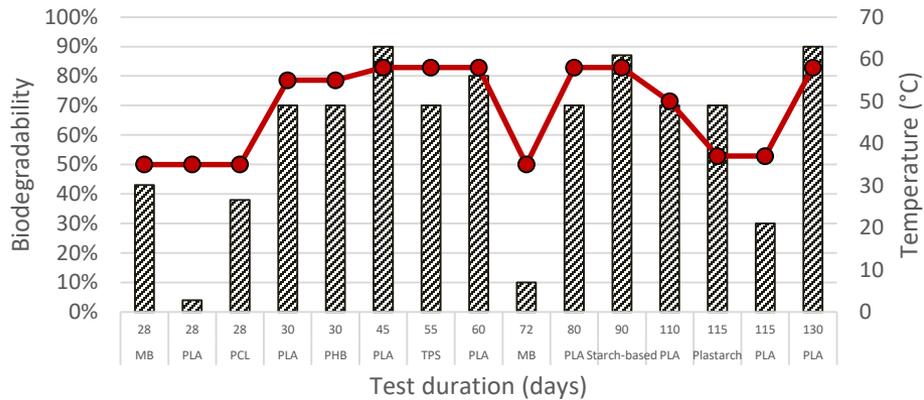
E.A. Starch MB



Review: compostaggio aerobico

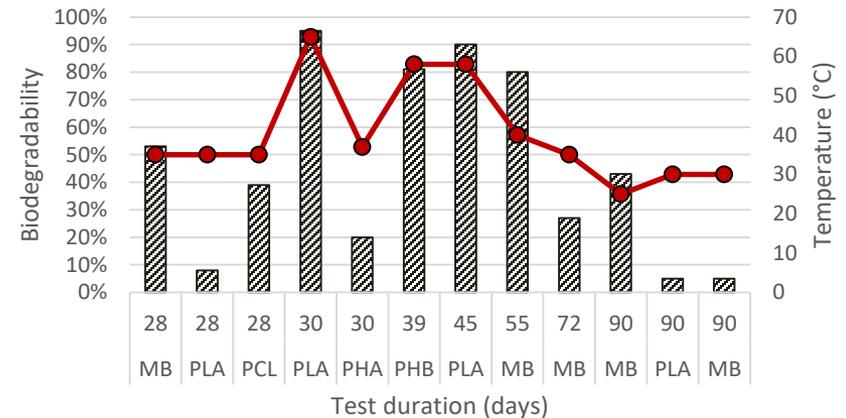
Gas (CO₂) production methodology

▨ Degradation ● temperature



Mass loss methodology

▨ Degradation ● Temperature

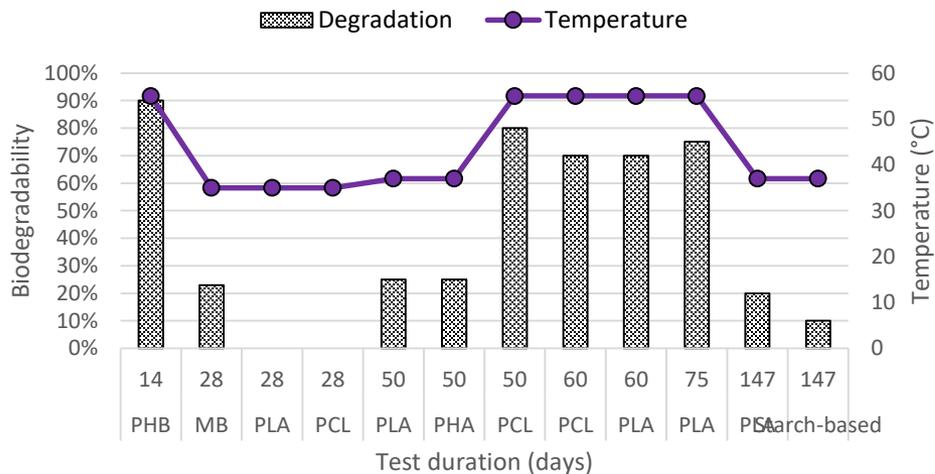


❖ Le differenti condizioni di processo, in particolare temperatura e durata, hanno permesso di osservarne l'influenza sulla biodegradazione.

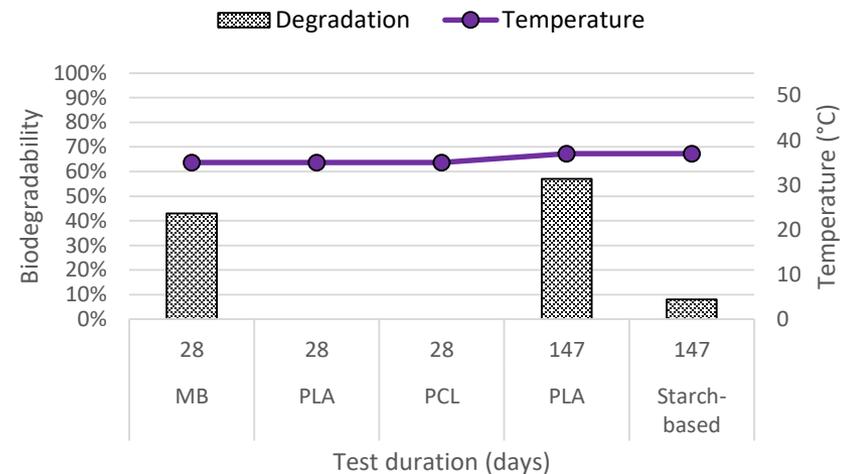
- Se $T \leq 37 \text{ }^\circ\text{C}$ biodegradazione inferiore al 43-45%, indipendentemente dalla durata del test e dalla metodica usata;
- Se $T \geq 58^\circ\text{C}$ biodegradazione massima di **70 - 90%** con produzione di CO₂ e di **80 - 95%** con la perdita di massa.

Review: digestione anaerobica

Gas (CH₄ and CO₂) production methodology



Mass loss methodology

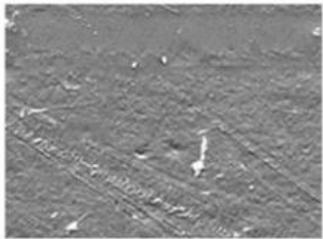


❖ Le differenti condizioni di processo, in particolare temperatura e durata, hanno permesso di osservarne l'influenza sulla biodegradazione.

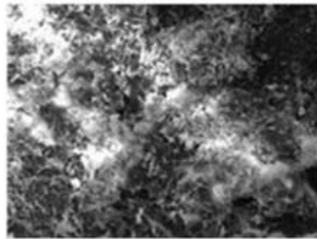
- Se $T \leq 37$ °C biodegradazione inferiore al **35%** con produzione di biogas e al **55%** con perdita di massa;
- Se $T = 55$ °C biodegradazione massima di **90%** (studi di Yagi et al. 2010, Yagi et al. 2013).

Metodologie qualitative

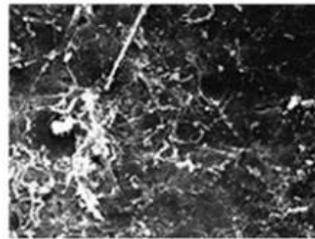
- ❖ **Attenuated total reflectance – Fourier transformation (ATR-FTIR) e Near infrared (NIR).** Questa metodica permette di identificare i picchi corrispondenti ai legami chimici caratteristici del polimero; ripetendo la misura durante il processo di biodegradazione, le variazioni dei picchi forniscono 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.



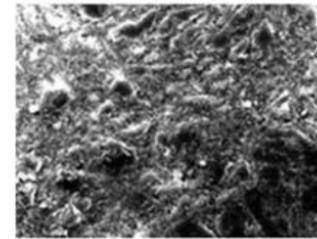
0 day



after 10 days



after 20 days



after 30 days

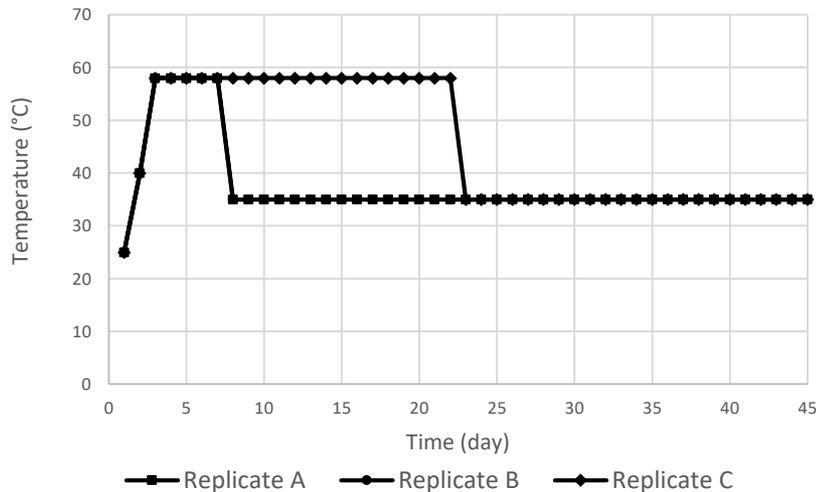
Filamenti batterici e segni di erosione visibili nel PHB degradato (Weng et al. 2011).

Test sperimentale: compostaggio aerobico

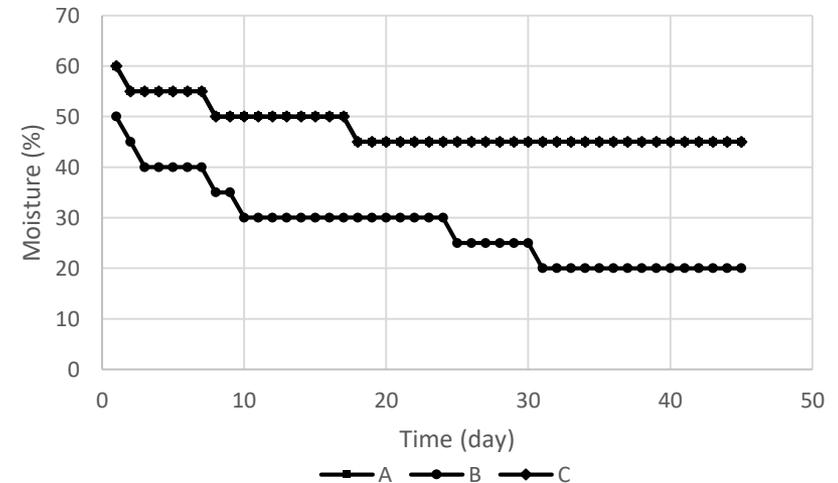
- ❖ Test di compostaggio su 5 kg di rifiuti organici (2:3 cibo e 1:3 verde) con 1% w.w. Mater-Bi film;
- ❖ Le bags di Mater-Bi classe N sono composte da 20% amido -10% cellulosa-70% PBAT;
- ❖ Sono state fatte tre repliche con differenti condizioni di umidità e temperatura.

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

Temperature trend

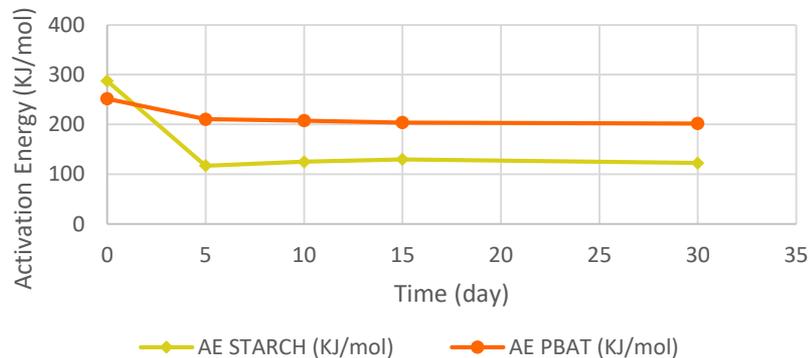


Moisture trend



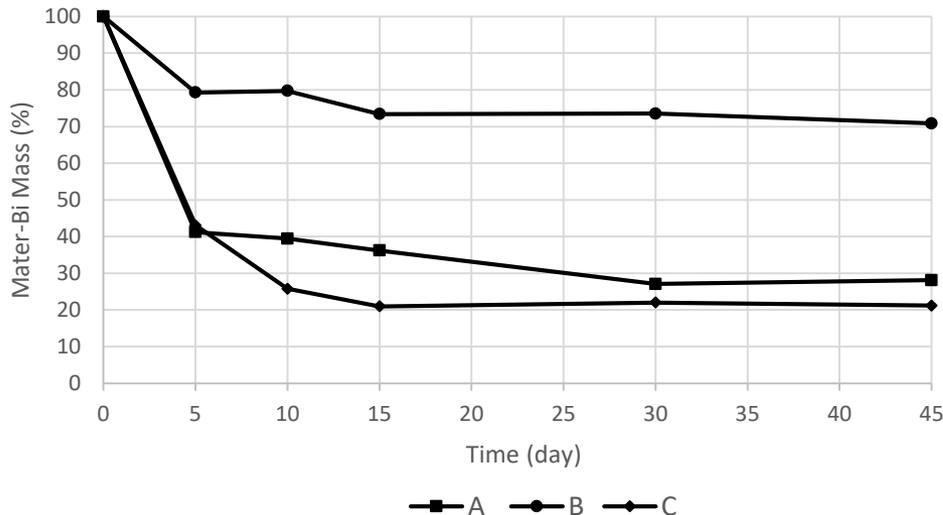
Test sperimentale: compostaggio aerobico

A.E. trend (replicate C)

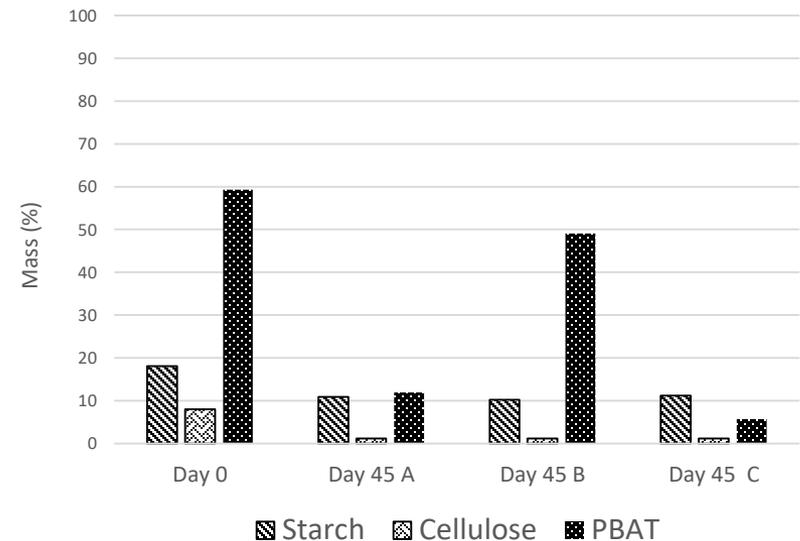


- ❖ La perdita di massa è misurata sia sull'intero campione che sulle singole componenti del Mater-Bi film.
- ❖ L'Energia di attivazione è stata elaborata per amido e PBAT

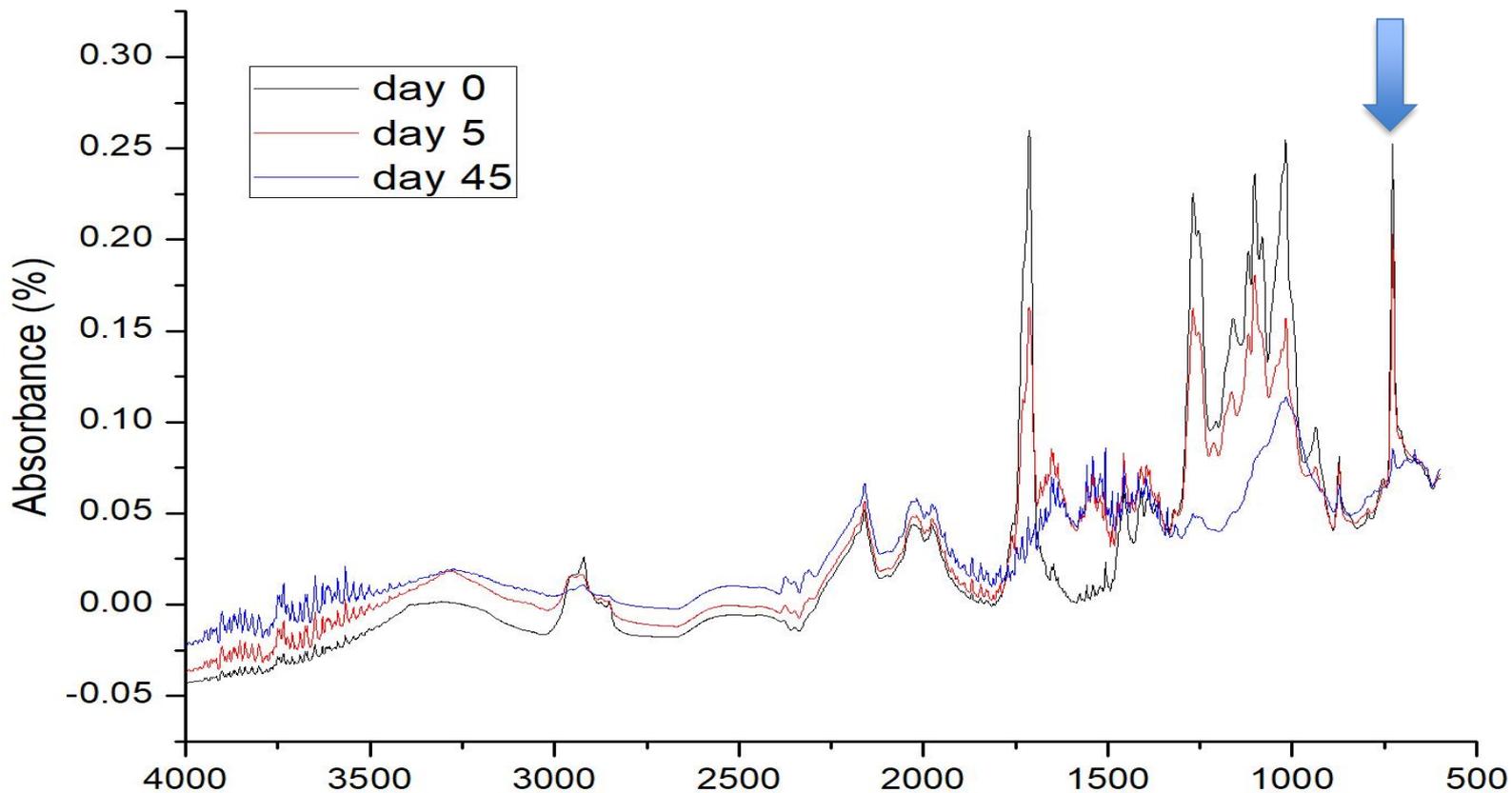
Mass trend



Peak Mass



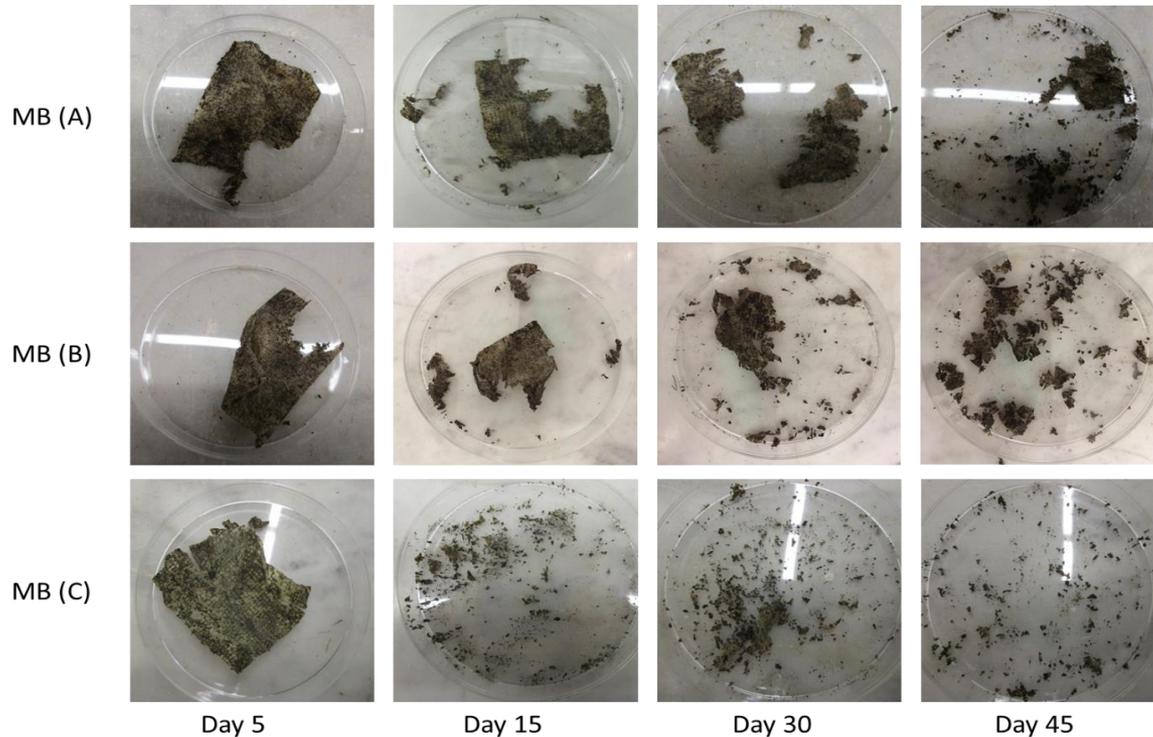
Experimental study: Spectroscopic Analysis (ATR-FTIR)



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



federica.ruggero@dicea.unifi.it

riccardo.gori@dicea.unifi.it