# **Test di compostabilità del materiale**

**INTRODUZIONE**

L’ imponente diffusione di plastica nell’ambiente ha spinto la comunità scientifica a proporla come indicatore stratigrafico geologico dell’era dell’Antropocene. Tra le proposte volte al contenimento di questo tipo di inquinamento spiccano, oltre alla riduzione della produzione di oggetti monouso, lo sviluppo di nuovi materiali in grado di sopperire alle funzioni della plastica convenzionale, ma che siano in grado di biodegradarsi in tempi ammissibili, come le bioplastiche. Nel mercato dei manufatti bioplastici, il settore degli imballaggi è trainante. La richiesta crescente di alternative sostenibili per il packaging da risorse rinnovabili è fortemente incentivata, per ridurre sprechi promuovendo il riciclo di materiale di scarto all’interno di progetti di economia circolare. Il presente lavoro, si concentra sullo studio della disintegrazione e sulla valutazione dell’eventuale ecotossicità di un packaging innovativo bio-based costituito prevalentemente da paglia compressa e film bioplastico. Di questo imballaggio è stata valutata la disintegrabilità fisica in un processo aerobico di compostaggio, il packaging è stato testato alle concentrazioni del 6 e 2% (w/w) mescolandolo ad un substrato costituito da scarti organici. Dal ventunesimo giorno, ogni tre settimane, sono stati condotti campionamenti per valutare l’ipotesi di disintegrazione accelerata. I risultati del compostaggio hanno mostrato livelli di disintegrazione elevati e vicini alla soglia del 90% già dal primo campionamento in entrambe le tesi.

**MATERIALI E METODI**

Il test di compostaggio su mesoscala ha avuto come obiettivo principale la valutazione della disintegrabilità fisica in un processo aerobico di compostaggio la disintegrazione di un bio-packagingideato per il trasposto di bottiglie di vino e costituito da paglia compressa rivestita da un film multistrato di differenti polimeri *bio-based*.. Le analisi sono state condotte seguendo gli standard europei UNI EN 13432:2002 e UNI EN 14045:2003. Il film bioplastico è composto da copoliestere aromatico alifatico a base dei monomeri: 1,4-butandiolo, acido adipico e acido tereftalico nella catena polimerica, ed è caratterizzato da uno spessore totale di 50 μm (BASF, ecovio® M2351, Aprile 2016).



**Figura 1** Packaging di partenza da testare.

Prima dell’inizio della prova di compostaggio il bio-packaging da testare è stato sminuzzato in pezzetti di grandezza approssimativa 2x5 cm per simulare le sollecitazioni meccaniche (quali triturazione, rivoltamento, vagliatura ecc.) previste dal processo industriale. In questo modo è stato possibile effettuare la misurazione del rapporto tra bioplastica e fibre di paglia, che era rispettivamente 1 a 5 (p/p).



**Figura 2** Materiale da testare sminuzzato per la prova di compostaggio.

La durata della prova di compostaggio è stata di 12 settimane come previsto dalla normativa, periodo al termine del quale è stata valutata la disintegrazione del materiale. A partire dal ventunesimo giorno (fine terza settimana), sono stati condotti campionamenti ogni tre settimane per valutare anche l’ipotesi di disintegrazione accelerata (per un totale di quattro campionamenti distruttivi). Questo potrebbe essere un vantaggio per il materiale, in quanto gli impianti di compostaggio industriali utilizzano tempistiche ben inferiori rispetto a quelle riportate negli standard citati.

Il cumulo di compost è stato realizzato da un substrato di partenza costituito da una miscela di materiali organici, tutti vagliati e privi di bioplastiche. Il substrato misto (MS) comprendeva, in proporzione uguali, le seguenti matrici:

- scarti alimentari domestici della frazione organica, provenienti dalla raccolta differenziata urbana;

- scarti vegetali del mercato ortofrutticolo locale;

- scarti della manutenzione del verde urbano quali residui di potatura, ramaglie, erba e foglie.



**Figura 3** Preparazione del substrato misto (MS) per l’allestimento del cumulo di compost prima, durante e dopo la vagliatura.

Con il substrato misto è stato creato un cumulo di volume 1 m3, collocato su una piattaforma in cemento coperta da un tetto in legno impermeabile per ovviare all’eventuale presenza di precipitazioni durante la prova.

Per monitorare la disintegrazione, il bio-packaging triturato è stato mescolato al substrato misto in percentuali diverse, rispettivamente al 2 e 6% p/p sul tal quale, inoltre alcune sacche sono state riempite solamente con il MS per avere un controllo negativo (C). Ognuna di queste tre tesi è stata organizzata in 16 repliche rappresentate da sacche a rete con maglie 1 mm contenenti ciascuna l’equivalente di 1 kg di substrato secco.

Il cumulo è stato suddiviso in quattro strati principali, (denominati strati 1, 2, 3 e 4 dal basso verso l’alto), dove all’interno di ognuno sono state posizionate in modo casuale 12 sacche, (quattro controlli, quattro con bio-packaging al 2% e quattro al 6%), in modo tale che ad ogni tempo di prelievo e da ogni strato è stato possibile prelevare una sacca per tesi, per un totale di quattro repliche distruttive per tesi ad ogni prelievo. Il design delle sacche-campione ed il numero viene schematicamente descritto in tabella 1.

******

**Figura 4** Schema del design del cumulo per il compostaggio.



**Figura 5** Preparazione delle sacche-campione per la prova di compostaggio.

**Tabella 1** Schema descrittivo delle sacche-campione.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tesi** | Repliche | Sacche per tempo di prelievo | % campione in peso | Peso MS (g) | Peso  bio-packaging (g) |
| **Bio-packaging 2%** | 16 | 4 | 2% | 980 | 20 |
| **Bio-packaging 6%** | 16 | 4 | 6% | 940 | 60 |
| **Controllo** | 16 | 4 | - | 1000 | - |

Il posizionamento delle sacche nel cumulo è stato applicato al fine di garantire che tutte le tre tesi (controllo, bioplastica al 6% e bioplastica al 2%) siano state soggette a temperature simili, che sono state monitorate durante tutta la prova tramite apposite sonde.

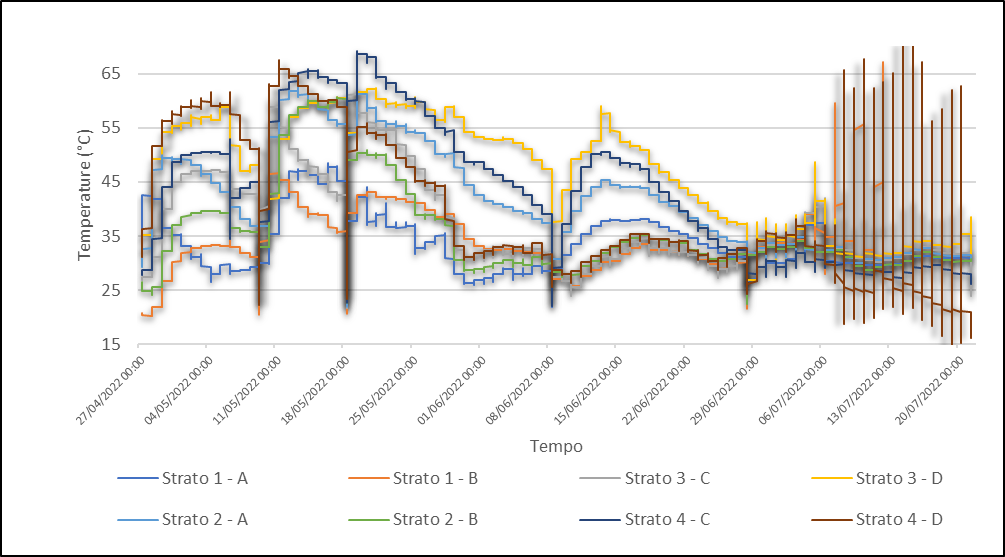
Le 8 sonde sono state posizionate a due a due per ogni strato, cercando di mantenerne una nel nucleo del cumulo e una più esterna, di modo da avere un quadro chiaro e complessivo dell’andamento della temperatura nel cumulo.

La temperatura è stata monitorata come indicatore del corretto andamento del compostaggio. Sono state impiegate delle sonde datalogger a misurazione della temperatura in continuo (ogni 15 minuti) nei diversi punti.

Per garantire un’ottimale areazione della massa, i rivoltamenti del cumulo sono stati svolti una volta a settimana nel primo mese, e successivamente ad ogni campionamento.

**RISULTATI**

In figura 6 vengono riportate le temperature registrate da ogni sonda dall’inizio alla fine della prova, si notano i bruschi abbassamenti di temperature in corrispondenza dei rivoltamenti e dei campionamenti. Le sonde A e D sono quelle posizionate nel centro del cumulo, mentre le sonde B e C sono quelle ai bordi.

****

**Figura 6** Andamento delle temperature dall’inizio (27 aprile) alla fine (20 luglio) in ogni sonda

Si notano bruschi cali della temperatura in corrispondenza dei rivoltamenti e dei campionamenti. Sebbene siano stati rilevati andamenti di temperatura molto variabili tra la parte più esterna (sonde al bordo B) e la parte più interna (sonde al centro C) del cumulo, si può notare che in tutti gli strati siano stati raggiunti i 60 °C per almeno due settimane, valore soglia per l’attivazione dei processi di degradazione come descritto dalla normativa.

Ad ogni campionamento il contenuto delle sacche è stato sottoposto alla seguente procedura:

Vagliatura mediante setaccio con maglie di 10 mm;

Sul materiale con dimensioni > 10 mm (sopravaglio) ricerca degli eventuali residui di bioplastica;

Ulteriore vagliatura del materiale con dimensioni < 10 mm mediante setaccio con maglie di 2 mm;

Dal materiale > 2 mm (sopravaglio) ricerca degli eventuali residui di bioplastica;

Valutazione del rispetto della normativa UNI EN 13432: il target di disintegrazione fissato è ≥ 90%, ossia non più del 10% del materiale deve avere dimensioni > 2 mm.

Ad ogni campionamento è stato calcolato il grado di disintegrazione (UNI EN ISO 20200) della bioplastica da testare con la seguente formula:

Dove mi = massa iniziale della bioplastica; mr = massa secca del campione estratto ad un determinato tempo.

Si riportano i risultati delle pesate in grammi e relativi valori di disintegrazione (D) nei quattro campionamenti nella tabella di seguito (Tabella 2).

**Tabella 2** Risultati delle pesate delle bioplastiche e del loro tasso di disintegrazione nei 4 campionamenti (risultati medi e deviazione standard da quattro repliche)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tempo di prelievo**  **(Giorni)** | **Disintegrazione (%)** | |
| **2 % bio-packaging** | **6 % bio-packaging** |
| **21** | 87.10 ± 8.60 | 90.05 ± 0.98 |
| **42** | 90.70 ± 1.46 | 90.31 ± 1.63 |
| **63** | 92.28 ± 1.80 | 92.00 ± 5.61 |
| **84** | 91.41 ± 2.98 | 93.13 ± 2.17 |

Come si evince dalla tabella 2, in entrambe le tesi sono stati raggiunti valori vicini al 90 % già al primo tempo di campionamento. Lo standard prevede il superamento del 90% di disintegrazione al termine del compostaggio, parametro acquisito in entrambe le tesi a partire dal secondo tempo di campionamento ovvero a 42 giorni.

L'analisi dei metalli del compost campionato dai sacchi di controllo e dai sacchi di prova con il 2 e il 6% di bio-imballaggio alla fine del processo di compostaggio sono mostrate nella Tabella 3. Pb, Cd, Cu, Ni, Zn e Hg sono stati rinvenuti in concentrazioni inferiori alle soglie indicate dal Decreto Legislativo del 2010 (Gazzetta Ufficiale 75/2010).

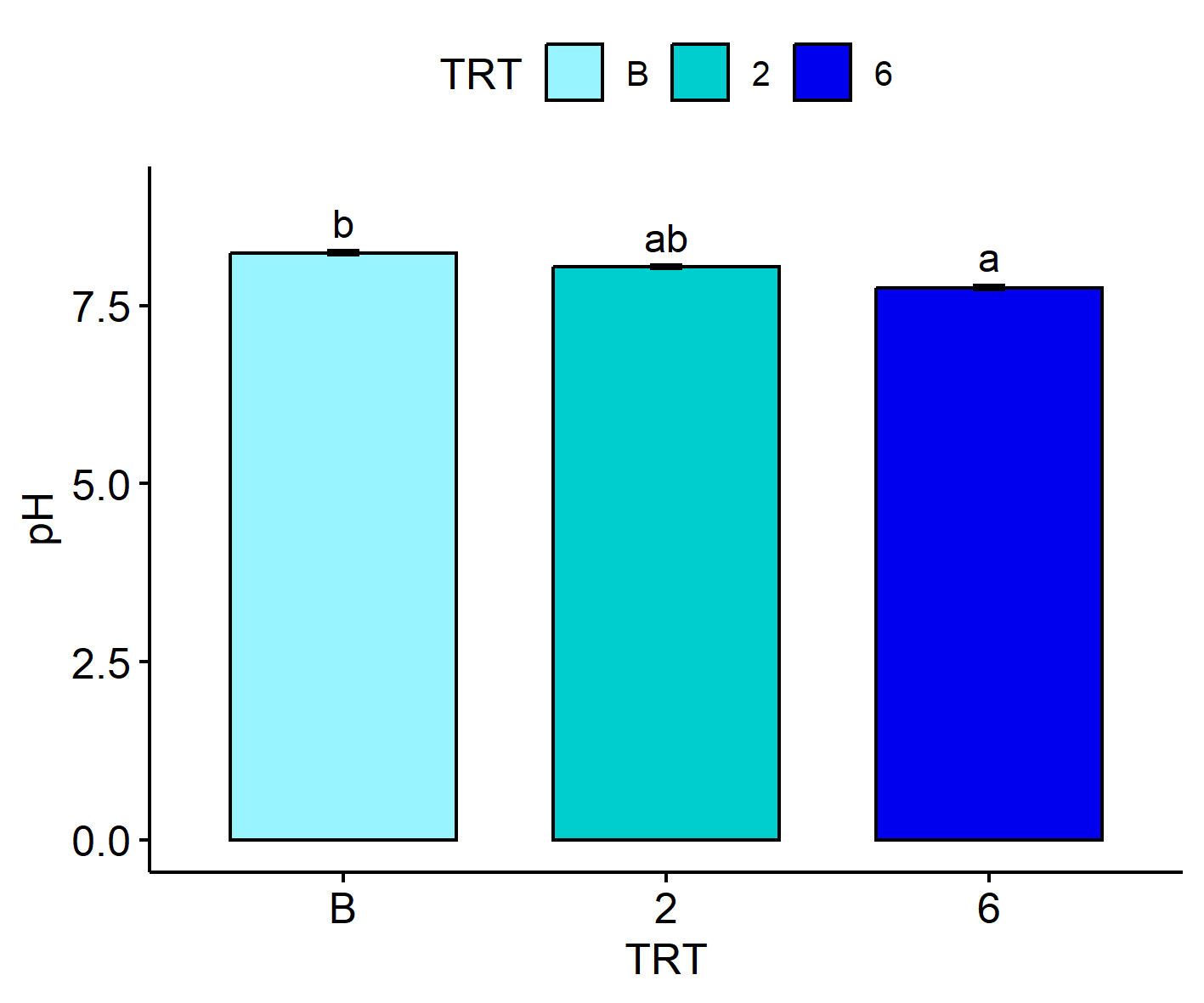
**Tabella 3** Analisi degli elementi nel compost a fine processo di compostaggio

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tesi** | **Cd** | **Cr** | **Cu** | **Fe** | **K** | **Mn** | **Ni** | **Pb** | **Zn** | **Hg** |
| **Bio-packaging 2%** | **mg/Kg** | **mg/Kg** | **mg/Kg** | **mg/Kg** | **mg/Kg** | **mg/Kg** | **mg/Kg** | **mg/Kg** | **mg/kg** | **mg/kg** |
| **Bio-packaging 6%** | <0,01 | 38,72 | 40,59 | 6849,11 | 21770,53 | 252,53 | 36,58 | 5,74 | 116,95 | 0,04 |
| **Controllo** | <0,01 | 32,27 | 37,49 | 6265,77 | 23510,38 | 237,73 | 31,48 | 5,04 | 119,65 | 0,03 |
|  | <0,01 | 43,92 | 35,84 | 6465,77 | 20362,06 | 238,38 | 33,63 | 4,59 | 112,85 | 0,05 |

La sostanza organica misurata sui trattamenti al termine del compostaggio è stata pari a 20,14 ± 5,73 %, 18,89 ± 1,71 % e 19,78 ± 1,78 %, rispettivamente per MS, 2 % e 6 % (dati riportati in figura 7). Non sono state riscontrate differenze significative nel contenuto di materia organica tra i trattamenti (n=6, test post hoc di Kruskal Wallis e Dunn).



**Figura 7** Sostanza organica sul compost campionato dal cumulo (B) e dalle tesi con il 2% (2) e 6% (6) di bioplastica a fine processo di compostaggio. Non sono state misurate differenze significative (n=6) con KW perché non rispettato assunto normalità residui.



**Figura 8** pH (CaCl2) sul compost campionato dal cumulo (B) e dalle tesi con il 2% (2) e 6% (6) di bioplastica a fine processo di compostaggio. Diverse lettere minuscole rappresentano differenze significative tra i trattamenti secondo i test non parametrici Kruskal Wallis e Dunn test (n=3).

Come emerge dalla figura 8, ci sono differenze significative di pH tra il compost del controllo e il compost ottenuto dalle tesi dove era stato addizionato il 6% di *bio-packaging*. In particolare, si può notare come il pH scenda all’aumentare della concentrazione delle bioplastiche nel compost. Tuttavia i valori di pH registrati sono intorno a 8 in tutti i campioni e il compost non presentava odori sgradevoli; pertanto sono stati raggiunti gli standard richiesti (UNI CEN/TS 16202:2013). Sono stati misurati anche il contenuto di fosforo e azoto totale che sono risultati rispettivamente 21,2 g kg-1 e P (3,65 g kg-1).

A fine processo il compost ottenuto e i residui di bioplastica sopra vaglio di 2 mm sono stati testati separatamente addizionati a diverse concentrazioni ad un suolo artificiale standard normalmente impiegato nei test ecotossicolpogici, per valutarne gli effetti sul lombrico *Eisenia fetida* in termini di fertilità, biomassa, danno genotossico (Comet Assay). I risultati di questi test ecotox hanno dimostrato che i residui del biopolimero a seguito del processo di compostaggio sono ininfluenti sull’attività riproduttiva dei lombrichi. Al contrario il compost, se addizionato nella misura del 20% in un suolo artificiale stimola significativamente la fertilità in termini di produzione di opoteche e giovani lombrichi. Questo effetto positivo però non si mantiene se il compost è addizionato in modo più cospèiquo (40%) inoltre se aggiunto fino all’80% si registrano addirittura dei casi di mortalità. A livello di danni precoci al DNA sul lombrico, è stato notato un trend dose dipendente con l’aggiunta di compost, probabilmente a causa della salinità di questa matrice.