

Tecnologie avanzate per valorizzare i rifiuti da RAEE e imballaggi

La corretta gestione e smaltimento dei rifiuti plastici è una problematica particolarmente complessa. L'ENEA studia soluzioni tecnologicamente alternative e ambientalmente sostenibili per la gestione dei rifiuti plastici più complessi, con la produzione di filo per la stampa 3D e attraverso il riciclo chimico

DOI 10.12910/EAI2019-056

di **Lorenzo Cafiero, Doina De Angelis, Letizia Tuccinardi, Riccardo Tuffi**, Laboratorio Tecnologie per il Riuso, il riciclo, il recupero e la valorizzazione di Rifiuti e materiali, e **Roberto Terzi**, Laboratorio materiali funzionali e tecnologie per applicazioni sostenibili, Dipartimento sostenibilità dei Sistemi produttivi e territoriali - ENEA

A livello mondiale la produzione di plastica supera i 340 Mt/anno: di queste, la metà viene utilizzata solo una volta e il tasso di riciclo è inferiore al 5%¹; in Europa, invece, nel 2016 è stata raggiunta una percentuale del 31%, superando la quota di smaltimento in discarica (27%). Tuttavia, solo pochi polimeri hanno un mercato del riciclo consolidato e, di conseguenza, non tutta la plastica raccolta allo scopo viene reimmessa in circolazione. Inoltre, la recente messa al bando dell'importazione di rifiuti plastici da parte del Governo cinese ha profondamente colpito il settore del riciclo, soprattutto per quelle frazioni con una bassa qualità e con un mercato non stabile. D'altra parte, la simultanea saturazione degli impianti di incenerimento sta causando un preoccupante aumento di rifiuti plastici che rimangono stoccati in depositi non sempre autorizzati con rilevanti problematiche per l'ambiente e la sicurezza. In Italia, nel biennio 2017-2018 nei depositi di plastica

senza mercato si sono verificati oltre 300 incendi².

Poiché il ricorso alla discarica è una soluzione non sostenibile per mancanza di spazio, ma soprattutto per lo spreco di risorse, la ricerca di una alternativa idonea e complementare ai metodi di riciclo tradizionale è un tema prioritario. **L'ENEA mediante un approccio multidisciplinare studia soluzioni tecnologicamente alternative e ambientalmente sostenibili per la gestione dei rifiuti plastici. Si tratta di tecnologie complementari tra loro: una è rivolta alle frazioni da plastica omogenea con un unico polimero presente e l'altra alle frazioni di plastica eterogenea costituite da un miscuglio di polimeri diversi non separabili.**

Produzione di filo per la stampa 3D

Dei 4,5 milioni di tonnellate di rifiuti elettrici ed elettronici (RAEE) raccolti in Europa, una percentuale fra il

10 e il 50 % è costituita da materiali plastici. Gli impianti di trattamento RAEE sono principalmente focalizzati sul recupero e la vendita dei metalli, ma per raggiungere gli obiettivi minimi stabiliti dalla Direttiva RAEE³ è fondamentale il recupero della frazione plastica. Si tratta però di un'operazione molto complessa a causa delle diverse dimensioni dei rifiuti da trattare (dallo smartphone al frigorifero), della variabilità dei polimeri impiegati e della presenza di quantità, a volte considerevoli, di additivi, utilizzati per fornire alle plastiche determinate caratteristiche. La plastica RAEE di buona qualità oggi è venduta ai riciclatori ad un valore compreso tra 0,1÷0,25 €/kg mentre il resto viene inviato a incenerimento o in discarica, con i relativi costi.

Una possibile soluzione alternativa è l'utilizzo come filamento per stampanti 3D⁴, dei polimeri a base stirenica, come l'acrilonitrile butadiene stirene o il polistirene ad alto impatto,

che rappresentano più del 50% in peso della plastica RAEE (Figura 1).

La stampa 3D ha innumerevoli applicazioni e la vendita di stampanti e filamenti è in costante crescita: il mercato della plastica per la stampa 3D è infatti proiettato a raggiungere i 1.965,3 milioni US\$ al 2023 ⁵.

I fili commerciali in plastica vergine sono venduti a 25÷50 €/kg a seconda delle qualità e caratteristiche peculiari: **di conseguenza, la produzione di filamenti per la stampa 3D da plastica RAEE potrebbe rappresentare una via più remunerativa per valorizzare questa frazione con i vantaggi ambientali annessi al recupero di materia attraverso il riciclo meccanico. L'ENEA sta conducendo uno studio sperimentale per verificare se le plastiche RAEE, o almeno alcune tipologie, possono essere sfruttate per questa applicazione.** In Tabella 1 sono riportate sinteticamente le diverse attività dello studio.

Venti plastiche appartenenti a diverse categorie di RAEE sono state campionate in due impianti di trattamento: tutti i campioni sono stati sottoposti a identificazione spettrofotometrica e a caratterizzazione chimico-fisica per

selezionare i più idonei a questo scopo, ovvero polimericamente omogenei, privi di impurezze e con un basso contenuto di alogeni e composti inorganici. In seguito, sono stati lavati, ridotti a una granulometria inferiore a 4 mm ed estrusi in filamenti di diametro di 1,75 mm. Il problema principale

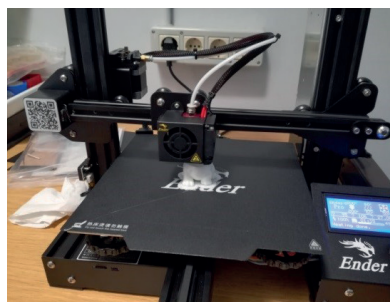


Fig. 1 Stampante 3D a deposizione fusa









Fig. 2 Riduttore di flusso per flebo ottenuto da stampa 3D

riscontrato durante l'estrusione dei filamenti è la presenza di piccole inclusioni di materiali diversi che possono rovinare la qualità di un intero lotto: questa criticità può essere risolta solo durante la selezione iniziale da parte degli impianti che devono dotarsi degli strumenti per identificare in modo sicuro le plastiche dai dispositivi disassemblati. I filamenti idonei sono stati usati per stampare modelli con differenti geometrie e dimensioni e oggetti complessi con una propria funzione (Figura 2).

Il controllo di qualità eseguito da uno scanner laser ha dimostrato che gli oggetti realizzati con plastica RAEE deviano dal modello CAD in modo solo leggermente superiore agli stessi oggetti stampati con fili commerciali. Inoltre, l'aggiunta di compatibilizzanti e additivi permette di aumentare il range di plastiche utilizzabili e migliorare le caratteristiche fisiche e meccaniche dei filamenti.

Riciclo chimico di rifiuti plastici

Il riciclo meccanico richiede un elevato grado di efficienza delle tecnologie di separazione dei rifiuti per

| | |
|---|---|
|  | Indagine presso impianti di trattamento RAEE. Analisi infrarossa per l'individuazione dei polimeri componenti 20 campioni |
|  | Caratterizzazione chimico-fisica dei campioni. Messa a punto dei metodi di preparazione degli standard e di calibrazione di un analizzatore a fluorescenza X per la determinazione del Cl e del Br in matrici plastiche |
|  | Estrusione a filo dei campioni idonei. Analisi meccanica e al microscopio ottico dei fili prodotti. Realizzazione di oggetti attraverso la stampa 3D e analisi di confronto con il modello di riferimento CAD. Analisi dei VOC prodotti durante la stampa |
|  | Produzione di mescole a diversa composizione tra polimeri differenti con o senza l'utilizzo di opportuni compatibilizzanti |
|  | Review delle prestazioni ambientali del processo di riciclo della plastica RAEE per la stampa 3D |
|  | Produzione di filo in polimero additivato per migliorare la conduzione termica ed elettrica. Realizzazione di un dispositivo a basso costo per la misura dei parametri di processo del compostaggio |

Tab. 1 Descrizione sintetica dello studio ENEA sui filamenti 3D da plastica RAEE

poter generare dei flussi di materie plastiche, ognuno dei quali costituito da un unico polimero⁶. Purtroppo, questo non sempre corrisponde alla situazione reale sia a causa della natura stessa dei rifiuti e delle tecnologie di separazione attualmente disponibili sia di considerazioni sull'opportunità economica di una separazione così spinta.

Una valida e promettente alternativa per il trattamento di questi miscugli plastici è rappresentata dalla pirolisi che rientra nella categoria delle tecnologie di riciclo chimico. La pirolisi promuove la scissione termica in ambiente inerte delle catene polimeriche, conducendo alla formazione di composti chimici a basso peso molecolare valorizzabili come materia prima per la chimica di sintesi o come combustibile alternativo⁷. Questi prodotti consistono prevalentemente di composti idrocarburici nella forma di gas, olio/cera e un solido carbonioso.

L'ENEA studia processi di pirolisi applicati a tipologie di rifiuti plastici diversi, come il *plasmix* (residuo della separazione degli imballaggi in plastica) o le plastiche dei piccoli RAEE, per la produzione di combustili e *chemicals*. I principali obiettivi del lavoro riguardano:

1. l'individuazione delle condizioni operative di processo che permettano di ottenere da un determi-

- nato rifiuto prodotti valorizzabili;
- lo studio dell'influenza di catalizzatori sulla temperatura di degradazione del rifiuto, sulle rese e sulla composizione dei prodotti;
- la sintesi di catalizzatori a basso costo da materiali di scarto per la sostituzione dei catalizzatori commerciali.

Come esempio applicativo, in Figura 3 sono riportati i risultati ottenuti in termini di rese in composti monoaromatici utilizzando catalizzatori a basso costo⁸. L'aumento della concentrazione dei composti monoaromatici come benzene, stirene, toluene ed etilbenzene nell'olio di pirolisi aumenta il suo valore commerciale. I catalizzatori in questione sono stati preparati da *fly ash* (FA) della combu-

stione del carbone dopo trattamento acido (FAMA) o basico (FAMB) e sono costituiti essenzialmente da silico-alluminati amorfi. Come si può vedere tutti i catalizzatori utilizzati aumentano la produzione totale di monoaromatici. Il catalizzatore FAMB è risultato essere quello con le prestazioni migliori, raddoppiando la resa in stirene rispetto alla pirolisi termica. L'utilizzo di catalizzatori a basso costo ottenuti da materiali di scarto comporta un duplice vantaggio: da una parte il recupero di materia da un altro rifiuto ottenendo un prodotto ad elevato valore tecnologico e dall'altro la sostituzione dei catalizzatori commerciali che costituiscono uno dei costi maggiori in un impianto di pirolisi.

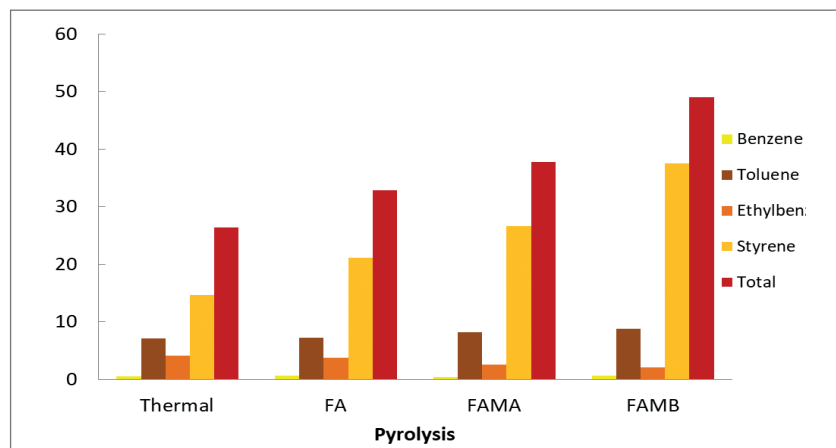


Fig. 3 Rese dei composti monoaromatici ottenute dalla pirolisi con catalizzatori a basso costo (FA, FAMA e FAMB) in confronto alla pirolisi termica⁸

¹ A circular economy for plastics. European Commission B-1049 Brussels Manuscript completed in January 2019

² I. Gilberto. "Raccolta rifiuti, l'Italia sommersa verso la paralisi totale". *Il Sole 24 ore*, 15 ottobre 2018

³ Directive 2012/19/EU on waste electrical and electronic equipment

⁴ Il termine stampa 3D si riferisce ad un gruppo di tecnologie utilizzate al fine di stampare oggetti tridimensionali, a partire da un file CAD 3D che fornisce le istruzioni alla stampante

⁵ <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/3d-printing-plastic-market-21707470.html>. Ultimo accesso 26-08-2019

⁶ J. Brandrup. Hanser Publishers, 1996, 893

⁷ Kiran N, Ekinci E, Snape C E. *Resour Conserv Recy* 2000, 29: 273–283

⁸ Benedetti M, Cafiero L M, De Angelis D, Dell'Era A, Pasquali M, Stendardo S, Tuffi R, Vecchio Cipriotti S. *Front Env Sci Eng* 2017; 11, 11–21