

DESIGN FOR RECYCLING GUIDELINES ON PLASTIC PACKAGING: OPAQUE PET BOTTLES STUDY CASE

Questo lavoro di tesi è stato finalizzato a descrivere lo scenario europeo attuale circa gli imballaggi in plastica, in seguito all'emanazione della Proposta sugli imballaggi e rifiuti da imballaggio della Commissione Europea del Novembre 2022, che ha fissato standard elevati per quanto riguarda gli obiettivi di riciclo della plastica. Dati il crescente numero di bottiglie in PET opaco utilizzate nell'industria alimentare e attualmente immesse sul mercato – principalmente bottiglie di latte – e l'aumento dei rifiuti di plastica provenienti da questo imballaggio, l'attenzione è stata concentrata sulla valutazione del fine vita di questo particolare rifiuto.

Per inquadrare dal punto di vista normativo il packaging in questione, un'ampia analisi della cornice legislativa Europea ha permesso di individuare i pezzi di legislazione che ad oggi sono interessati dal tema della circolarità e sostenibilità della catena di raccolta, selezione e riciclo meccanico degli imballaggi.

Un accenno all'economia circolare del PET è stato, poi, il punto di lancio per introdurre il tema fondamentale di questo lavoro di tesi, con un particolare riferimento alle definizioni di ciclo chiuso e ciclo aperto e di DRS (Deposit Refund System), come strumenti utili al più semplice sviluppo dell'economia circolare.

Entrando più nel dettaglio, dunque, è stata condotta un'analisi dei differenti tipi di polimeri plastici che esistono ad oggi, riportando le loro caratteristiche e particolari campi applicativi, fornendo una particolare overview sul PET, che è stato il polimero oggetto dello studio. È stato poi fatto riferimento alla categoria del PET opaco, polimero utilizzato soprattutto in applicazioni legate all'industria alimentare, che, grazie all'aggiunta di Diossido di Titanio (TiO₂) permette di ottenere un effetto screening sul contenuto della bottiglia dai raggi UV esterni e minimizza la permeazione di gas. Tuttavia, la catena di riciclo del PET opaco è capace di tollerare in misura molto minore gli opacizzanti che, invece, vengono trattati in maniera più semplice nelle applicazioni e i mercati del PEAD riciclato.

Alcuni dati riportati nella letteratura utilizzata ai fini dello sviluppo dell'elaborato, mostrano che, da uno studio sulla composizione delle balle condotto nel 2014, il PET opaco da latte rappresenta il 5% dei flussi di PET colorato, ovvero uno stock di circa 2000 tonnellate. La percentuale di PET opaco nelle balle colorate è cresciuta dal 7% del 2012 al 10% del 2014, e questa percentuale è destinata ad aumentare.

Sulla base dell'inquadramento legislativo europeo e della cornice di informazioni raccolte circa il PET opaco, il piano sperimentale è stato articolato in tre fasi:

1. Caratterizzazione di una bottiglia in PET opaco di latte immessa sul mercato italiano, per definirne la composizione e le percentuali di polimeri presenti nell'imballaggio.
2. Analisi e confronto di diversi scenari di selezione del flusso di bottiglie in PET opache a fine vita, che portano a diversi sbocchi per il riciclo.
3. Valutazione della riciclabilità della bottiglia di PET opaca e commenti sulle linee guida per la progettazione dell'imballaggio.

Per la prima fase dello studio, è stata analizzato il campione di bottiglia. Dall'analisi condotta presso il Politecnico di Bari, laboratorio del Dipartimento DICATECh (Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e Chimica) è emerso che il peso totale della bottiglia di latte in PET opaco che è stata valutata misura 36 g, che corrisponde al 100% del corpo totale. Il tappo pesa 3 g, pari all'8,3% del corpo totale, e l'etichetta pesa 1,5 g, pari al 4,2% del peso totale.

L'etichetta copre il 47,47% della superficie totale, calcolata come segue:

si è suddivisa la superficie totale della bottiglia in 5 cilindri aventi la stessa area di base;

1. Cilindro 1: raggio 7,5 cm, altezza 4,5 cm
2. Cilindro 2 (coperto dall'etichetta): raggio 7,5 cm, altezza 9,5 cm
3. Cilindro 3: raggio 7,5 cm, altezza 4 cm
4. Cilindro 4: raggio 7 cm, altezza 2 cm
5. Cilindro 5: raggio 4 cm, altezza 1 cm

Sono stati calcolati i volumi dei cilindri, i cui risultati sono qui riportati:

1. Cilindro 1: 795,21 cm³
2. Cilindro 2 (coperto dall'etichetta): 1678,75 cm³
3. Cilindro 3: 704,28 cm³
4. Cilindro 4: 307,88 cm³
5. Cilindro 5: 50,27 cm³

Il volume totale della bottiglia è di 3536,39 cm³. Il volume coperto dall'etichetta copre 1678,75 cm³. Pertanto, utilizzando una proporzione, la superficie dell'etichetta corrisponde al 47,47% del totale.

$3536,39 \text{ cm}^3 : 100\% = 1678,75 \text{ cm}^3 : x(\%)$, dove $x(\%) = 47,47\%$ della superficie di copertura dell'etichetta.

La seconda fase si è concentrata sulla definizione dei tre scenari di outcome del PET opaco.

In funzione del processo di raccolta e selezione, il rifiuto può essere avviato a differenti trattamenti: termovalorizzazione, riciclo meccanico, riciclo a ciclo chiuso (nel quale il rifiuto viene impiegato per essere riutilizzato per gli stessi scopi).

- Scenario 1: il PET opaco viene selezionato in un flusso misto insieme al PET di colore chiaro.
- Scenario 2: PET opaco smistato in un flusso misto insieme a flussi di PET di colore scuro.
- Scenario 3: PET opaco smistato come flusso singolo.

Per definire lo Scenario 1, è stato preso come riferimento un impianto MRF nel Sud Italia (Molfetta), dotato di un'unità di apertura dei sacchi, separatori balistici bidimensionali che suddividono il flussi di rifiuti 3D, 2D e fini (rifiuti con dimensioni < 40 mm). Quindi, i diversi flussi di imballaggi in plastica possono essere selezionati mediante una catena di selezione automatizzata composta da separatori ottici. Infine, una cernita manuale finale rimuove tutti i rifiuti erroneamente presenti in altri flussi, allontanando il flusso PLASMIX alla fine della linea di selezione. Tuttavia, stando alla gerarchizzazione dei rifiuti definita dalla Waste Framework Directive (e dal D.lgs 152/2006), questo scenario deve essere evitato, perché l'invio dei rifiuti agli impianti di incenerimento non dovrebbe mai essere la prima opzione

per trattare i flussi di rifiuti. Il recupero di energia viene, secondo la piramide della gerarchia dei rifiuti, dopo la "prevenzione", la "preparazione per il riutilizzo" e il "riciclo".

Inoltre, come riportato nella letteratura analizzata, questo profilo mostra un importante contributo alle emissioni nell'aria derivanti dalla combustione dei rifiuti ed alla produzione di varie sostanze chimiche necessarie per il trattamento post-incenerimento dei fumi (come gli NOx).

D'altra parte, il processo di selezione del PET opaco all'interno del flusso di PET di colore scuro (Scenario 2) potrebbe essere il maggior responsabile del consumo di elettricità, richiesta per alimentare tutte le apparecchiature dell'impianto di selezione, seguita dalla necessità di acqua calda di lavaggio e dall'impiego di prodotti chimici necessari per la pulizia.

Attualmente, alcuni riciclatori rimuovono e scartano sistematicamente le bottiglie in PET opaco perché i loro sistemi non sono in grado di tollerarle. Tuttavia, nei sistemi in cui sono accettate, le bottiglie in PET opaco non apportano alcun valore aggiunto alla qualità del materiale riciclato prodotto.

Poiché la fibra è l'applicazione principale di questo tipo di flusso misto (PET scuro e PET opaco), il Centro di risorse e competenze sulla riciclabilità degli imballaggi domestici in plastica in Francia ha condotto un test per valutare la qualità della fibra prodotta in base a due parametri diversi, quali il colore e le proprietà meccaniche. È stato riscontrato che, fino a concentrazioni del 15-20% di PET opaco nelle applicazioni di fibra di PET di colore scuro, le proprietà meccaniche non sono influenzate, mentre la variazione del colore non è percepibile. Da un punto di vista tecnico, al di sopra della percentuale citata, il riciclo della miscela di PET per produrre fibra non è più possibile, a causa dell'eccessiva percentuale di opacizzante che crea problemi di processabilità e riduce le proprietà meccaniche.

Dagli studi di letteratura, nonostante gli sbocchi opachi del PET riconosciuti come praticabili siano più di uno, è stato stabilito che le materie prime di PET opaco reimpiegate nel riciclo sono almeno un decimo in meno rispetto alla disponibilità delle quantità di stock, che sta crescendo rapidamente. Pertanto, invece di incorporare il PET opaco nel flusso di PET scuro, è necessario trovare nuove soluzioni.

Dal momento che la tecnologia sta facendo grandi progressi nel campo del riciclaggio, lo Scenario 3 è stato valutato come il profilo migliore tra i tre ipotizzati.

Rendere riciclabili le bottiglie in PET opaco in uno schema close-loop diminuisce la quantità di PLASMIX da inviare agli impianti di incenerimento e, di conseguenza, la quantità di plastica residua che non può essere trattata e viene portata in discarica.

Questo scenario è già applicato e ben consolidato nel caso di bottiglie di PET trasparenti e, in linea con questo processo, le bottiglie di PET opaco dovrebbero essere raccolte, selezionate e riciclate per ottenere un ciclo da bottiglia a bottiglia.

È necessario tenere in considerazione che la possibilità di creare più flussi di rifiuti è la migliore in base alla processabilità dei rifiuti plastici, ma questo implica la necessità di una maggiore organizzazione degli impianti di trattamento dei rifiuti e quindi, si devono prendere in considerazione costi più elevati.

Lo Scenario 3, dunque, mira a realizzare uno schema a ciclo chiuso da bottiglia a bottiglia per le bottiglie in PET opaco, separando le bottiglie in PET opaco in un unico flusso differenziato. Il rilevatore di tecnologie per il PET è oggi in grado di selezionare i diversi imballaggi in base alla natura del polimero, alle dimensioni e al colore. Il PET opaco può essere rilevato con la tecnologia di selezione NIR (Near Infra-Red sorting) che separa le resine in base al colore.

In questo modo, il biossido di titanio TiO_2 contenuto nelle bottiglie di PET opaco come opacizzante, non solo non può essere considerato un contaminante per il flusso dei rifiuti di plastica, ma, in base alla

percentuale di opacizzante contenuta, se il ciclo chiuso consente di ottenere nuove bottiglie da materiale riciclato, non sarà necessario aggiungere quantità supplementari di diossido di titanio, o se necessario, sarà utile aggiungerne in quantità minore rispetto alla percentuale aggiunta al materiale vergine.

Stabilito che lo Scenario 3 è l'opzione migliore tra quelle proposte, la terza fase ha previsto lo sviluppo della valutazione di riciclabilità, condotta per assicurarsi che l'imballaggio sia conforme alla metodologia RecyClass (sviluppata da Plastic Recyclers Europe) e ai criteri di riciclabilità da essa stabiliti. È importante sottolineare che attualmente le bottiglie in PET opaco non sono incluse nelle categorie di imballaggi che possono essere valutate con la metodologia RecyClass, poiché è ancora in corso uno studio sull'argomento che definirà le nuove linee guida.

Come mostrano i risultati della sperimentazione, il livello di riciclabilità della bottiglia in PET bianco opaco è molto alto e rientra ancora nel range più alto di riciclabilità della metodologia RecyClass. La valutazione di riciclabilità ha interessato i parametri definiti nella tabella sottostante, ovvero:

1. Idoneità
2. Esistenza di un flusso di pre-riciclo
3. Presenza di contenuto plastico da riciclo
4. Selezionabilità
5. Progettazione per incompatibilità di riciclo
6. Indice di facilità di svuotamento
7. Conformità al regolamento REACH (protegge la salute umana e l'ambiente dai rischi che possono derivare dalle sostanze chimiche).

CRITERIUM	RESULT	
1. SUITABILITY	100% - Class A	<input checked="" type="checkbox"/>
2. PRE RECYCLING STREAM EXISTENCE	100% - Class A	<input checked="" type="checkbox"/>
3. RECYCLABLE PLASTIC CONTENT	99.5% - Class A	<input checked="" type="checkbox"/>
4. SORTABILITY	99.5% - Class A	<input checked="" type="checkbox"/>
5. DFR INCOMPATIBILITY	95.5% - Class A	<input checked="" type="checkbox"/>
6. EASY TO EMPTY	95.5% - Class A	<input checked="" type="checkbox"/>
7. REACH COMPLIANCE	95.5% - Class A	<input checked="" type="checkbox"/>
Opaque PET bottle		High degree of recyclability

È risultato che:

1. L'imballaggio è costituito per oltre il 50% da PET. Più della metà della sua superficie è in plastica e la bottiglia non è accoppiata con altri materiali. L'imballaggio è adatto all'analisi. **Compatibilità 100%**
2. Come stabilito nello Scenario 3, un flusso di PET opaco viene realizzato, pertanto la **compatibilità** è ancora **100%**.
3. 0,5% di contenuto può essere considerato non riciclabile, pertanto il grado di **compatibilità** diventa **99.5%**
4. Il coefficiente di selezionabilità è pari a 1, pertanto la **compatibilità** resta **99,5%**
5. Le incompatibilità di design rimovibili (presenza di poliolefine nel packaging) contano una perdita di 4 punti percentuali, pertanto la valutazione intermedia risulta essere **95,5%**
6. Indice di facilità di svuotamento è pari a zero, che corrisponde ad una capacità di svuotamento pari al 100%, pertanto la valutazione resta invariata, con un punteggio di **95,5%**
7. La conformità al regolamento REACH è pari al 100%, in quanto, essendo imballaggi a contatto con il cibo, non possono contenere sostanze chimiche pericolose. La **compatibilità finale** è, dunque, **95.5%**

È proprio a partire dalla situazione attuale, sia dal punto di vista normativo, che tecnologico, relativo agli impianti reali e alla letteratura, che questo studio si è proposto di individuare lo scenario migliore per il fine vita delle bottiglie in PET opaco. Tale studio ha portato ad individuare per il PET opaco, l'opportunità di creare un nuovo flusso all'interno della raccolta differenziata per una migliore selezione dell'imballaggio.

Uno studio di design di una LCA (Life Cycle Assessment), ha mostrato che le bottiglie bianche opache in PET producono un'impronta di carbonio significativamente inferiore rispetto ai materiali di imballaggio alternativi, offrendo l'opportunità di risparmiare emissioni di gas serra, ridurre il consumo energetico e la produzione di rifiuti, contribuire a ridurre l'impatto ambientale complessivo degli imballaggi in PET rispetto ad altri materiali impiegati per gli stessi scopi.

Le sfide relative alla produzione, al consumo e al fine di vita della plastica possono essere un'opportunità per l'industria Europea per condurre finalmente l'Europa verso un'economia circolare con bassa impronta di carbonio, fornendo ai cittadini un ambiente più chiaro e più sicuro e promuovendo una sensibilizzazione attraverso tutti i mezzi possibili e creare consapevolezza nei cittadini di oggi e di domani, per chiarificare che il mondo in cui viviamo appartiene a noi e soltanto a noi ed in quanto tale, dobbiamo prendercene cura.

Al fine di avere un'analisi completa sull'argomento, sarebbe interessante collezionare altre informazioni tecniche da venditori e riciclatori che potrebbero aiutare a capire in che modo creare un ciclo virtuoso di bottiglie in PET riciclato bianco opaco.

Giulia Casoli